

95-15-3289

MOTC-IOT-94-SBB009

# 飛航安全研究之回顧與發展 (附冊一文獻精讀)

著者：戴佐敏、汪進財、袁曉峰、溫蓓章、郭兆書、陳冠旭、  
蔡立農、王佳鈴、黃士軒、姚雋偉、葉文健、  
陳一昌、張開國、喻世祥

交通部運輸研究所  
財團法人成大研究發展基金會  
合作辦理

中華民國 95 年 2 月





## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：飛航安全研究之回顧與發展（附冊一文獻精讀）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN986-00-4585-2（平裝）	政府出版品統一編號 1009500460	運輸研究所出版品編號 95-15-3289	計畫編號 94-SBB009
本所主辦單位：運輸安全組 主管：陳一昌 計畫主持人：陳一昌 研究人員：張開國、喻世祥 聯絡電話：(02)23496853 傳真號碼：(02)25450429		合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：戴佐敏 研究人員：汪進財、袁曉峰、溫蓓章、郭兆書、陳冠旭、蔡立農、王佳鈴、黃士軒、姚雋偉、葉文健 地址：臺南市大學路1號 聯絡電話：(06)2751164	
研究期間 自 94 年 1 月 至 94 年 12 月			
關鍵詞：疏失、組員資源管理、飛航安全、文獻			
摘要：  <p>由於航空事業的快速發展，全球航空營運量每年以 7% 成長，若飛機失事率無法改善，則 10 年或 20 年後的飛航事故將增加數倍。因此世界各國都在積極提昇其飛航安全水準。人依然是疏失發生的起源，因此國際皆投入相當大的資源研究，以管理疏失及增進人的績效。我國政府部門重視飛航安全人為因素的訓練，航空業界運用組員資源管理（CRM）以增進組員的應變能力，學術界也發表了部分相關的研究，透過瞭解我國飛航組員的特性並加以控制及管理，才能降低風險因子，飛航安全才得以確保。</p> <p>為建立我國在飛航安全之研究基礎，以利政府部門、航空業界及學術機構等進行後續深入且系統化及本土化的研究，本案希望藉由回顧國外主要飛安研究先進國家的重要文獻，以瞭解各國的發展及未來趨勢，並歸納重要的成果以建構我國未來進行相關研究的方向，以與世界飛航安全管理同步提昇我國的飛航安全。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
95 年 2 月	712	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級：			
<input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密）			
<input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE: A Study on the Review and Development Trend of Flight Safety Studies</b> ( Appendix-Literature Review )			
ISBN(OR ISSN) ISBN986-00-4585-2 ( Pbk. )	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009500460	IOT SERIAL NUMBER 95-15-3289	PROJECT NUMBER 94-SBB009
DIVISION: Safety Division DIVISION DIRECTOR: Isaac I. C. Chen PRINCIPAL INVESTIGATOR: Isaac I. C. Chen PROJECT STAFF: Shih-Hsiang Yu PHONE:886-2-23496853 FAX:886-2-25450429			PROJECT PERIOD FROM: January 2005 TO: December 2005
RESEARCH AGENCY: NCKU research and development foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Dzwo-Min Dai PROJECT STAFF: Jinn-Tsai Wong, Hsiao-Feng Yuan, Pei-Chang Wen Chao-Shu Kuo, Kuan-Hsun Chen, Wen-Chien Yeh, Li-Nung Tsai, Chun-Wei Yao, Chia-Ling Wang, Shih-Hsuang Huang ADDRESS: No.1, Ta-Hsueh Road, Tainan 701, Taiwan (R.O.C.) PHONE:886-6-275-7575			
KEY WORDS: Error, Crew Resource Management , Flight safety, Literature			
<b>ABSTRACT:</b> <p>With the rapid growth of aviation business, the global aviation operation is increasing by 7%. If the accidents on air transport cannot be improved, the number of accidents will double in the following 10 or 20 years. Countries all over the world try to raise the aviation safety level and allocate a lot of resources in human error studies to strengthen human performance. Our government places importance on human factor training, the airlines use crew resource management (CRM) to improve the abilities of dealing with a contingency or emergency of flight crewmembers, and academics conduct aviation safety related researches. These efforts can help to manage crewmembers to reduce the risk factors and the flight safety can be assured.</p> <p>In order to set up the research foundation of air transport safety, the study first reviews essential air transport safety literatures of advanced countries to reveal their developments and future trends in air safety area. After summarizing the achievements, the directions of air transport safety issues can be decided to improve the flight safety of our country, which is to keep pace with international safety management system. The study can also lead the government, aviation industry and the academia to conduct further systematic and local research.</p>			
DATE OF PUBLICATION February 2006	NUMBER OF PAGES 712	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

## 目 錄

機場 .....	1
----------	---

### Ramp Safety

Survey of Airport Apron Incidents Generates Numerous Suggestions for Improving Safety	3
Applying Take-off Thrust on Unsuitable Pavement Surface May Have Hidden Dangers	7
Ground Safety & Threat and Error Management (TEM)	9
Analyzing Human Error in Aircraft Ground Damage Incidents	13

### Runway Incursion

Study Looking at Runway Incursions Identifies Contributing Factors and Recommends Solutions	21
Problem of Runway Incursions Among Most Urgent Issues Facing Aviation Community	27
ICAO Providing Support for Implementation of Runway Safety Programmes	31
System Uses Embedded Sensors to Track and Report on Airfield Ground Movements	33
Runway Incursion Prevention: A Technology Solution	35

### 低能見度操作

A Post-Hoc Analysis of Navigation Errors During Surface Operations: Identification of Contributing Factors and Mitigating Solutions	43
---	----

### 濕滑跑道操作/衝出跑道

A Decision Support System for The Safety of Airport Runways: The Case of Heavy Rainstorms	49
Safety Aspects Of Aircraft Performance On Wet And Contaminated Runways	63
The Normalization of Aircraft Overrun Accident Data	73

### Airport Oversight

New Requirement for Airport Certification is Major Step in Expanding Safety Oversight Activities	81
--	----

## 氣象

Long Experience with AWOS Indicates a Level of Safety Comparable to Human Observation	85
Safety Aspects of Aircraft Operations in Crosswind	89

## 法規

國內外機場規劃設計規範之初探—以高雄國際機場為例	103
--------------------------	-----

## **ATC..... 113**

### 人為因素

Air Traffic Control System Baseline Methodology Guide	115
New Technique Improves Analysis of Human Factors in ATM Incidents	125
Air Traffic Controller Performance and Workload Under Mature Free Flight: Conflict Detection and Resolution of Aircraft Self-Separation	131
Analysis of Factors Affecting Occurrence and Severity of Air Traffic Control Operational Errors	143
Development of an FAA-EUROCONTROL Technique for the Analysis of Human Error in ATM	151
Guidelines for Trust in Future ATM Systems: A Literature Review	163
Air Traffic Control(ATC) Related Accidents And Incidents: A Human Factor Analysis	181
Retrospective Human Factors Analysis of ATC Operational Errors	187
Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA)	193
CWS Applied to Controllers in a High Fidelity Simulation of ATC	205

### 工作負荷(Workload)

Factors Affecting Air Traffic Controller Workload - Multivariate Analysis Based on Simulation Modeling of Controller Workload	211
---	-----

### 溝通(Communication)

Human Communication, Mutual Awareness and System Dependability. Lessons Learnt from Air-traffic Control Field Studies	219
---	-----

### 情境察覺(Situation Awareness)

A Model of The Air Traffic Controller's Picture	227
A Review of Situation Awareness Literature Relevant to Pilot Surveillance Functions	239

Salsa: A New Approach to Measure Situation Awareness In Air Traffic Control	251
---	-----

### **團隊資源管理(TRM)**

A Feasibility Study of the Use of Incidents and Accidents Reports to Evaluate Effects of Team Resource Management in Air Traffic Control	259
--	-----

## **維修管理 ..... 263**

### **Human Factor**

Considering Maintenance Human and Organizational Factors and Related Errors During Aircraft Accident and Incident Investigations	265
Date Operator A/c Reg No. Location Ops Phase Event Fatalities/Damage	273
Lack of Error Mitigation Tools: The Weakest Link in Maintaining Airworthiness?	283
Maintenance Human Factors From A European Research Perspective: Results From The ADAMS Project and Related Research Initiatives	299
A Review of Human Error in Aviation Maintenance and Inspection	313
Safety Management Systems and Safety Culture in Aircraft Maintenance Organisations	333
Posterior Probabilities of Causal Factors Leading to Unairworthy Dispatch after Maintenance	349
Development and Evaluation of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) Process	359
User Feedback Regarding the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) Process	373

### **Training**

Situation Awareness in Aircraft Maintenance Teams	383
Competency-Based On-The-Job Training for Aviation Maintenance and Inspection - a Human Factors Approach	397

### **MRM**

Four Generations of Maintenance Resources Management Programs in The United States: An Analysis of The Past, Present, and Future	407
--	-----

**Safety Management**

Continuing Analysis and Surveillance System (CASS) Description and Models	423
---	-----

**Aging Aircraft**

容損設計與非破壞性檢驗	441
-------------	-----

**Maintenance Program**

Age-related Maintenance Versus Reliability Centred Maintenance : A Case Study on Aero-engines	447
---	-----

**Maintenance Policy**

Delays and Safety in Airline Maintenance	453
--	-----

飛航操作 .....	465
------------	-----

**CRM**

Advanced Applications of CRM	467
Developing a Method for Evaluating Crew Resource Management Skills A European Perspective	475
Safety: Beginning at the Bottom: A Response Based Pilot-oriented Safety Program Toward Safer Flight Operations and a Joint IPA-UPS Flight Safety Program	481
Behavioral Markers for Crew Resource Management: A Review of Current Practice	485

**FOQA**

FOQA Contribution to Flight Safety Management	493
FOQA : Aviation's Most Important Safety Tool	497

**LOSA**

Crew Performance Monitoring Programme Continues to Evolve as Database Grows	501
System Safety and Threat and Error Management: The Line Operational Safety Audit (LOSA)	505

### **Training**

Turbulence Education and Training Aid	511
At the Breaking Point: The Ever-increasing Risk Associated With Runway Incursions in the Rapidly Expanding Global Aviation Environment	515
The Controlled Flight into Terrain(CFIT) Education and Training Aid	521
Approach-and-Landing Accident Reduction Task Force - Operations and Training Working Group Final Report	525
Losing Situational Awareness Indications of That Loss and Avoiding the Controlled-flight-into-terrain Accident	529

### **Cabin Safety**

Development and Evaluation of Cabin Crew Expected Safety Behaviours	533
---	-----

### **Others**

The Use of Vertical Navigation for Non-precision Instrument Approaches	543
Understanding Flight Crew Adherence to Procedures: The Procedural Event Analysis Tool (PEAT)	549

## **風險管理 ..... 555**

### **風險管理理念**

The Impact of Human Factors on the Development and Risk of Safety-Relevant Events— Methodology and Results of the Lufthansa Cockpit Safety Survey	557
Injury Prevention: Dependent, Independent and Interdependent Exploring the Third Frontier in Safety Excellence	563
Aviation Risk Management	575
Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem	583
Detecting and Eliminating the Hazard	591

### **風險管理方法**

Models of Threat, Error, and CRM in Flight Operations	599
Culture, Error and Crew Resource Management	609
The Systemic Incident Analysis Model (SIAM) — A New Approach to Safety Information	625
Aviation Human Factors: a Framework for the New Millennium	635
Derivation of Pilot Performance Measures from Flight Data Recorder	645



Information	
-------------	--

#### 風險分析模式

Work Process Analysis: A Necessary Step in the Development of Decision Support Systems- An Aviation Safety Case Study	653
An Assessment of Risk and Safety in Civil Aviation	671
Judging a Book by it's Cover: the Relationship Between Service and Safety Quality in US National and Regional Airlines	679
A New Airline Safety Index	689
Risk Assessment-Hazard Management Using Dependency Modeling	697

## 機場

### Ramp safety

Airports Council International **Survey of Airport Apron Incidents Generates Numerous Suggestions for Improving Safety.** *ICAO Journal*, Vol.54, No.1, 1999, pp. 18-19

Bertrand de Courville, and Jean-Jacques Thisselin **Applying Take-off Thrust on Unsuitable Pavement Surface May Have Hidden Dangers.** *ICAO Journal*, Vol.59, No.3, 2003, pp. 7-8

Gunther, D. **Ground Safety & Threat and Error Management (TEM).** *Aviation Safety & Security Seminar*, 2005

Wenner, C.A., and Drury, C.G. **Analyzing Human Error in Aircraft Ground Damage Incidents.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.26, 2000, pp. 177-199

### Runway Incursion

Bryce, F. E. **Study Looking at Runway Incursions Identifies Contributing Factors and Recommends Solutions.** *ICAO Journal*, Vol.57, No.1, 2002, pp. 13

Cote, D. **Problem of Runway Incursions Among Most Urgent Issues Facing Aviation Community.** *ICAO Journal*, Vol.57, No.3, 2002, pp. 26-27

Deleon, D. **ICAO Providing Support for Implementation of Runway Safety Programmes.** *ICAO Journal*, Vol.59, 2004, pp. 13-14

Garner, A., and Petrescu J. **System Uses Embedded Sensors to Track and Report on Airfield Ground Movements.** *ICAO Journal*, Vol.55, No.4, 2000, pp. 29

Steven, D. Y., and Jones D. R. **Runway Incursion Prevention: A Technology Solution.** *International Aviation Safety Seminar*, 2001

### 低能見度操作

Becky L. Hooey, and David C. Foyle **A Post-Hoc Analysis of Navigation Errors During Surface Operations: Identification of Contributing Factors and Mitigating Solutions,** *International Symposium on Aviation Psychology* 2001

### 濕滑跑道操作/衝出跑道

Benedetto, A. **A decision Support System for The Safety of Airport Runways: The Case of Heavy Rainstorms.** *Transportation Research Part A : Policy and Practices*, Vol.36, No.8, 2002, pp. 665-682

Gerard, W.H. van Es, Alfred, L.C. Roelen, Eric, A.C. Kruijsen, and Marijn, K.H. Giesberts **Safety Aspects Of Aircraft Performance On Wet And Contaminated Runways.** *EASS*, 1998, pp. 155-190

Kirkland, R. E., Caves, M. H., and Pitfield, D. E. **The Normalization of Aircraft Overrun Accident Data.** *Journal of Air Transport Management*, Vol. 9, No. 6, 2003, pp. 333-341

### Airport Oversight

Arunao Rao **New Requirement for Airport Certification is Major Step in Expanding Safety Oversight Activities,** *ICAO Journal* Vol.57 No.2 2002 pp9-10

### 氣象

#### 自動觀測系統

Maynard B. **Long Experience with AWOS Indicates a Level of Safety Comparable to Human Observation,** *ICAO Journal*, Vol.59, 2004 p11-13,24

#### 側風運作

Gerard W.H. van Es, Peter J.van der Geest, Ton M.H. Nieuwpoort **Safety Aspects of Aircraft Operations in Crosswind,** *European Aviation Safety Seminar* 1999 p285-333

### 法規

戴佐敏，楊蕙如，國內外機場規劃設計規範之初探-以高雄國際機場為例，*土木水利工程學會會刊*，第二十九卷 第一期 74-92 頁 民國九十一年五月

# **Survey of Airport Apron Incidents Generates Numerous**

## **Suggestions for Improving Safety**

**Airports Council International**

**ICAO Journal 1999 Vol.54 No.1 pp18-19, 29**

### **[英文摘要]**

A survey of apron incidents at the world's major airports highlights the importance of reporting even minor or apparently unimportant incidents. The survey results also underscore the importance of promoting safety awareness through measures developed and implemented by an apron safety committee.

### **[中文摘要]**

本文主要說明 Airport Council International(ACI)所進行之機坪安全研究結果。針對 1997 年 300 座機場的機坪安全事件，執行統計分析。分別說明飛機機體損傷與地面裝備毀損兩種機坪事件分類，以及包括機坪裝卸設備、航機移動過程、噴射氣流、地面裝備碰撞等幾項肇因，最後提出以下三點結論以及促進機坪安全的相關建議。

### **[內容]**

航機落地後到下次再起飛前的回轉時間(turnaround time)內，必須完成所有包括旅客及其行李的裝卸、貨艙作業、機上餐點的供應、加油等相關作業，內容相當繁瑣且複雜，因此操作這些裝備的人員除了需要接受完善的訓練之外，亦必須保持高度的情境察覺(Situational Awareness)，隨時注意可能與其他機具甚至於飛機機體的碰撞意外，更重要的是所有作業單位與人員，包括飛機駕駛員，必須保持良好的溝通，以確保機坪作業的流暢與安全。

另一方面，機坪作業事件往往與飛航操作安全沒有相當直接的關係，而且除了機體遭撞擊毀損之類似事件外，其對於飛航安全的影響並不直接，因此過去較未受到重視，對於不嚴重之機坪安全事件往往忽略而沒有回報相關單位。然而，任何一個機坪操作的安全事件，無論大小，皆有可能代表潛在的風險以及組織、作業程序、人員訓練上的缺失；此外，根據 ICAO 的統計資料，每年機坪事件造成相關業者高達 30 億美元的損失，因此透過航空公司、機場與其他地勤作業單

位的良好溝通，以及機場專責單位對於各機坪事件之分析，找出安全問題的癥結，加以改進，加強人員訓練與品質，提升所有作業員工的飛安觀念與態度，才能減少機坪安全事件之發生，促進飛航安全，降低設備維修的額外支出。

結論：

1. 航空公司、機場以及其他機坪作業單位必須維持良好的溝通，並且認為機場應有負責機坪安全的專責小組，針對所有機坪事件，無論大小，進行分析與成因探究，提升飛安觀念與態度，提出安全問題解決方案，避免類似事件再發生之風險。
2. 航空公司與機坪作業單位必須負責其員工受到完善的機坪安全訓練。
3. 無論任何有關或無關飛航操作皆有可能對於機坪安全產生潛在的威脅，因此航空公司應該回報所有機坪安全事件，無論事件的大小以及重要性，而機場方面亦必須確保這些回報資料的保密性。

建議：

1. 與航空公司、機場單位以及地勤業者舉行機坪安全會議，討論事件之成因，並且建立解決方案與相關措施。
2. 加強空側工作人員包括駕駛規則、特殊機具的使用與操作的定期訓練與教育。
3. FOD 的檢查應列為機坪安全會議的討論項目之一。
4. 裝備與車輛的定期安全測試。
5. 運用雷達、雷射或其他相關裝置監控車輛行車速度。
6. 機坪安全表現查核。
7. 維持機坪標示正常運作。

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

1. 本文的主要貢獻在於指出機坪作業事件的重要性，包括安全因素和經濟因素二方面。因為機坪操作事件可能代表潛在的風險，以及組織、作業程序、人員訓練上的缺失。對於機坪操作事件之重視，應為檢視飛航安全所不可或缺的部分。另一方面，作者則根據 ICAO 的統計資料指出，每年機坪事件造成相關業者高達 30 億美元的損失，呈現了重視此一課題對實際營運可能貢獻的財務效果。
2. 本文認為改善機坪作業的安全所需之各項工作，涉及航空公司、機場與地勤作業單位等不同單位，彼此間的訊息整合和資源搭配，是降低機坪作業事件的關鍵。此研究中提出的機坪運作建議，包括各方單位良好的協調工作，針對各種機坪安全事件，建立回報機制並且交由專責單位進行分析，此外，加強人員的訓練，建立完善的飛安態度與觀念亦十分重要。以上這些建議，

均可作為我國發展此一研究課題的方向指導。

3. 然而上述相關工作的進行，涉及多方單位的各種資源。應先建立各項工作對於降低機坪作業事件的重要順序，再考量相關單位資源可承受程度，建立起研究的優先順序。以避免研究投入的偏誤。
4. 本文受限於資料來源和篇幅，並未深入詳細討論各種機坪作業事件的肇事類型、主要作業流程缺失、操作性失誤等因素之影響，僅指出此問題之重要性及一般概念性的解決方向。事實上，檢討現行相關作業流程，找出相關的作業衝突或訊息漏失之處，更具有防範事件發生的預視性。目前的安全研究，已經由事故的事後分析，走向預應式的流程控管與風險管理。本文的研究方向，似乎尚未能回應這樣的發展趨勢。

## [相關文獻]

N.A.



# **Applying Take-off Thrust on Unsuitable Pavement Surface**

## **May Have Hidden Dangers**

Bertrand De Courville, Jean-Jacques Thisselin,

ICAO Journal 2003, vol.59, no. 3, pp. 7-8, 24

### **[英文摘要]**

Most flight crews are well aware of the danger jet blast can pose to people and equipment. However, few are aware of the risks associated with applying high thrust while the aircraft is standing on or near pavement surfaces not normally used for take-off or engine run-up.

### **[中文摘要]**

駕駛員和管制員大多知道航機引擎所噴出的氣流會對後方人員和設備造成傷害，但是很少人真正瞭解，航機在不適當的鋪面之上或附近對航機施以大推力之危險。

### **[內容]**

作者舉出二個例子指出這種危險，顯示出發動機所噴出的氣流會損害瀝青鋪面（無法承受噴射氣流），其所掀起的碎塊可能會被氣流捲回，而被吸入或擊中航機的水平安定面，造成嚴重的安全危害。另外也以一個例子指出，瀝青碎塊嵌入航機水平安定面之升降舵，所導致失控的致命事故。對此作者提出三點建議：

第一，飛航組員、機場管理人員和飛航管制員必須要瞭解，在跑道盡頭之外的地區，讓航機停留或準備起飛的可能危害。

第二，飛航管制員給予的操作流程指令，應該明確要求必須要在適當的鋪面上進行。

最後，為免低估這種危害，應在航機操作人員的流程中，清楚說明要求採取這些措施的詳細理由。

航機引擎所噴出的噴射氣流會對機場環境造成危害。如以美國氣象局的颶風分級標準來看，噴射氣流經常會超出第五級（最危險）颶風的標準(135 knots)。例如在全動力狀況下，發動機噴出氣流在航機後方 200 尺處的速度，經常高達



130 knots，由此可見噴射氣流的危害之大，航空公司和機場管理單位必須正視這項風險。航空器的操作人員應該與相關的機場權責單位諮商，確認機坪、跑道、機棚，以及發動機啟動區域等設施，都足以承受航空器的操作。

## **[文獻評析]**

### **本文獻優缺點**

本文之主要貢獻在於指出噴射氣流對於飛航安全的影響，其中最為重要的是會掀起鋪面碎塊，若是再被吸入或擊中航機的重要組件，將會造成安全危害，甚至是航機失控的致命事故。

由本文的得到啟發是：機場跑道周邊淨空範圍的鋪面，特別是起飛暫停區域周邊，應定期維持良好鋪面狀況，最好能達到一般鋪面之標準，以避免鋪面受噴射氣流衝擊，掀起碎塊的危害。

## **[相關文獻]**

[www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_06/textonly/s02txt.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_06/textonly/s02txt.html)

ICAO Aerodrome Design Manual (Part 3—Pavement)

ICAO Aerodrome Design Manual (Part 9—Airport Maintenance Practices)

US Federal Aviation Administration, 150 series advisory circulars

# Ground Safety & Threat and Error Management (TEM)

Captain Don Gunther

Aviation Safety & Security Seminar 2005

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

本文為 2005 年航空安全與保安研討會之文獻。主要說明機坪安全(Ramp Safety)之威脅與誤失管理(Threat & Error Management, TEM)概念、安全管理系統之機坪線上安全稽核(Ramp LOSA)以及 TEM 事件分析作法。

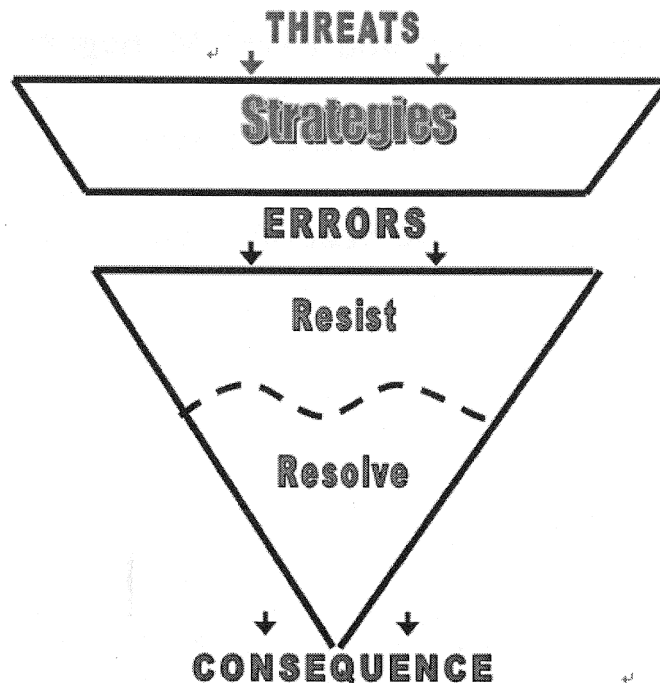
## [內容]

### 威脅與誤失管理(TEM)

簡報中首先定義幾個名詞：

1. 誤失(Error)：不小心之動作或是非動作導致人員無法達成原先之工作意圖或需求。
2. 誤失管理(Error Management)：為了改正誤失或降低誤失造成之影響所採取的行動。
3. 威脅(Threat)：威脅為任何會增加操作複雜性且若未適當管理則可能降低安全限度的事件。威脅並不等於誤失，但威脅卻可能造成誤失。

目前美國大陸航空採行之 TEM 概念如下圖所示。其中可能造成地面人員誤失的威脅種類包括：分心、客艙組員錯誤、天氣、維修、新進人員、飛航組員錯誤、遲到貨物與行李、時間壓力、旅客因素...等等。透過產業、組織與人員的相關對策來控制威脅的情況，減少可能之誤失數量，並且藉由加強潛在誤失的警覺來提升誤失管理的程序。



### 安全管理系統(SMS)與機坪線上安全稽核(Ramp LOSA)

在任何的安全管理系統當中，必定存在某些誤失的風險，雖然某些威脅可以加以控制並且降低，但要將其完全去除則不可能，此外目前業界的主要安全問題在於一定要等到事件或意外發生才知道有問題存在。故若要降低系統中的風險則首先必須透過人員之間的團隊合作與互動溝通來確認威脅。另一方面，若要確實減少或降低系統中之潛在誤失，則必須建立起組織良好的安全文化，特別是針對飛安通報系統，必須完全保密而且不以懲罰為目的，使員工願意通報錯誤及時加以改進。

執行 Ramp LOSA 的第一步為資料蒐集，接著確認威脅的確認與評估，此階段可依照威脅可能造成的意外事件之嚴重性排序來找出需要改進的部份，最後透過威脅管理來建立解決方法並且付諸施行。

### TEM 事件分析

本文在此部份則說明 IATA 之 Incident & Accident Analysis 中針對 TEM 的分析執行方針。其中首先定義包括：威脅、誤失、非期望狀況(undesired state)以及恰當處理(managed)與不恰當處理(mismanaged)等；接著舉例說明機坪安全事件中的威脅、誤失與結果之區別；然後討論預防與改進措施；最後再藉由一大陸航空 B757 擦撞餐車的機坪安全事件實例，來說明該事件中的威脅確認、誤失項目、處理狀況以及改善建議等。

## 結論

本文最後做出下列結論：

1. 要成為好的威脅管理者(安全經理)，則必須主動確認自身部門運作時的各種威脅情況。
2. 威脅管理係在管理未來可能造成的問題與如何避免；誤失管理則在考慮過去的狀況與如何改進。
3. 期望業界持續建立安全文化的工作，鼓勵公開與誠實的溝通。

## [文獻評析]

潛在的威脅並不等於誤失，唯有當這些威脅沒有被適當的管理與發現時，才會造成實際上誤失的發生。因此要減少錯誤的發生，首先必須找出威脅的種類以及可能造成威脅的原因，並且提升人員對於這些狀況的警覺程度，才能防堵失誤的產生，減少飛安事件。

機坪安全事件每年造成航空業者不小的損失，然而這些事件多數由於人為因素而造成，而且都是可以避免的，本文以威脅和誤失管理的觀點來看機坪安全事件之預防，討論可能造成機坪安全事件之潛在威脅因素，並且以實際案例來說明機坪潛在威脅與實際造成誤失的關係。

持續得建立組織安全文化是目前全世界努力的方向，鼓勵主動誠實回報潛在錯誤，並且不以懲罰為目的，才有辦法確實達到確認潛在威脅的目的，並且設法找出防禦的機制，以避免錯誤之發生；另一方面，公司上層的支持也是促進安全文化建立的重要推手，我國業者可以參考國外的相關做法，朝向威脅與誤失管理方面著手，來改進機坪安全事件的問題。

## [相關文獻]

N.A.



# **Analyzing Human Error in Aircraft Ground Damage**

## **Incidents**

Caren A. Wenner, Colin G. Drury

International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000)

177-199

### **[英文摘要]**

Ground damage incidents (incidents in which airline personnel cause damage to an aircraft on the ground) occur as airline personnel are working on, or around, an aircraft on the ground, either on the ramp or at a maintenance facility. Each incident can be quite costly to the airline, with costs both tangible (repair costs and lost revenue) and intangible (passenger inconvenience, increased maintenance workload). Thus, airlines have a financial incentive to reduce the number of ground damage incidents that occur. One of the airline's most difficult tasks has been to utilize the information collected in their existing error reporting systems to determine the common latent failures which contribute to typical ground damage incidents. In this study, 130 ground damage incidents from a major airline were reviewed to determine the active and latent failures. Twelve distinct hazard patterns (representing the active failures) were identified, with three hazard patterns accounting for 81% of all ground damage incidents. Nine major latent failures were identified, and the relationships between the hazard patterns and latent failures were examined in depth. This type of analysis allows the latent failures common to different hazard patterns to be identified, and provides a means for developing focused intervention strategies to prevent future ground damage.

### **[中文摘要]**

航空器地面損壞事件是發生在機坪或維修設施上，因航空公司人員對於航空器執行工作，或在飛航器附近執行工作時，所造成的航空器損壞。對航空公司而言，每一起事件都造成嚴重的損失，包括可計算的維修成本、收入減少等損失，以及無法計算的損失，如導致乘客不便、增加維修工作負荷等。因此，對航空公司而言，會因財務動機而要減少地面損壞事件。然而航空公司卻很難從其現有的

失誤報告系統中，運用資訊以找出造成地面損壞事故之最重要的潛在失誤(Latent failures)。本文運用某一主要航空公司之地面損壞事件資料，找出顯性失誤與潛在失誤。界定出 12 類危險型式(Hazard pattern)，並指出最重要的其中三類，與 81%的地面損壞事件相關。同時界定出九類潛在失誤，並深入分析危險類型和潛在失誤類型之間的關係，以指出對不同的危險類型而言，最主要的潛在失誤之所在，而可發展出具有針對性的介入策略工具，以預防地面損壞事件之發生。

## [內容]

### 1. 研究方法與過程

本研究根據 1992 年 1 月至 1995 年 4 月之間某一航空公司發生的 130 件航空器地面損壞事件為研究樣本，並且依據以下步驟進行研究。

- (1) 採用 Drury and Brill(1978)的定義界定出 12 類危險類型，並將所蒐集的 130 件航空器地面損壞事件的調查報告，依據危險類型分類(如表 1)。為確保分類的正確性，本研究採用二位研究人員獨自進行分類，其結果之一致性為 70%，而造成其不一致之原因為對危險類型定義之解讀，因此再修正危險類型的定義描述方式，使之更為精確，以進一步降低事件分類差異的狀況。
- (2) 分析每一事件，以確認該事件之顯性失誤、潛在失誤，以及導致事件發生的直接因子。之後再對所有危險類型運用情境模擬(Scenario)，來指出造成事故的共通原因，並對每一事件以事件樹(event tree)來表示潛在失誤對於最終損壞事件的貢獻，可參見圖 1。
- (3) 針對每一事件的潛在失誤，運用國際民航組織(ICAO)的 SHELL 模型來分析，其中因為並未發現如文件設計錯誤等軟體失誤，所以航空器地面損壞的原因包括：所牽涉到的硬體(Hardware)、環境(Environment)、人(Liveware)以及人(Liveware)與人(Liveware)之間的潛在失誤。在危險類型中對每一種潛在失誤，均有詳盡的描述，可參見表 2。此處所指的潛在失誤，主要針對能夠透過維修系統的改變，而改善的潛在失誤。至於個別維修人員的特性等，並不納入本研究的潛在失誤分析之中。
- (4) 採用統計 Chi-square 檢定，以分析危險類型與潛在因素的關係如原文表 8，結果發現硬體失誤所造成的停駐航空器(parked aircraft)損壞格外多，而環境失誤所造成被拖駛中的航空器(towed aircraft)損壞格外多等(參見原文表 9)。由此指出並非所有潛在失誤會均一的導致所有的危險類型，而是不同的危險類型有不同的潛在失誤，如表 10。因此可以對於某一危險類型，針對其主要的潛在失誤，研提改善對策，以降低發生危險的機會。

Table 1  
GDI hazard patterns

Hazard pattern	Number of incidents			% of Total
1. Aircraft is Parked at the Hangar/Gate/Tarmac	81			62
1.1. Equipment Strikes Aircraft		51		39
1.1.1. Tools/Materials Contact Aircraft			4	3
1.1.2. Workstand Contacts Aircraft			23	18
1.1.3. Ground Equipment is Driven into Aircraft			13	10
1.1.4. Unmanned Equipment Rolls into Aircraft			6	4
1.1.5. Hangar Doors Closed Onto Aircraft			5	4
1.2. Aircraft (or Aircraft Part) Moves to Contact Object		30		23
1.2.1. Position of Aircraft Components Changes			15	12
1.2.2. Center of Gravity Shifts			9	7
1.2.3. Aircraft Rolls Forward/Backward			6	4
2. Aircraft is Being Towed/Taxied	49			38
2.1. Towing Vehicle Strikes Aircraft		5		4
2.2. Aircraft is Not Properly Configured for Towing		2		2
2.3. Aircraft Contacts Fixed Object/Equipment		42		32
2.3.1. Aircraft Contacts Fixed Object/Equipment			13	10
2.3.2. Aircraft Contacts Moveable Object/Equipment			29	22
Total	130	130	130	100%



Table 2  
Latent failure descriptions

SHELL category	Latent failure	Latent failure description
Hardware	Poor Equipment	Equipment was not suitable for the task being performed, and this contributed to an incident
	Poor Equipment: Inappropriate for Task	Equipment used to perform a task was not the correct type of equipment for that task, and the use of improper equipment contributed to the incident
	Poor Equipment: Mechanical Problem	Equipment used to perform a task had a mechanical problem that caused it to behave erratically, contributing to the incident
Environment	Inadequate Space	Space in which a task was performed was not sufficient, and the lack of space contributed to the incident
	Inadequate Space: Congested Area	Space in which a task was performed was crowded with other equipment/aircraft/etc., causing special attention to maneuvering within this space to be required. The crowded nature of the space contributed to the incident.
	Inadequate Space: Ill suited for Task	Task was performed in a space that was known to be inappropriate for the work to be performed, and this lack of space contributed to the incident.
	Problems with Painted Guidelines	Guidelines used to position aircraft contribute to the incident
	Guidelines: Do Not Exist	Guidelines are not painted at a particular location, requiring maintenance personnel to use their 'best guess' in positioning aircraft.
	Guidelines: Do Not Extend Out of Hangar	Guidelines for positioning aircraft in a hangar begin at the Hangar door, requiring maintenance personnel to use their 'best guess' to position aircraft to begin the tow into the hangar.
	Guidelines: Not Suitable for Aircraft	Guidelines for a different type of aircraft than the one being moved are painted on the ground, and the lack of suitable guidelines contributes to the incident.
Liveware (Individual)	Lack of Awareness of Risks/Hazards	Maintenance personnel are unaware of the possible risks associated with their actions, and the lack of awareness contributes to the incident.
Liveware-Liveware	Poor Communication	Problems with the transfer of information between maintenance personnel, and this lack of information contributed to an incident
	Poor Communication: Between Crew	Problems with the transfer of information between maintenance personnel working together on one shift
	Poor Communication: Between Shift	Problems with the transfer of information between maintenance personnel on different shifts
	Personnel Unaware of Concurrent Work	Maintenance personnel working on one area of the aircraft are unaware of work being performed by other personnel (who may be from other departments or other agencies) on other areas of the aircraft. This lack of awareness contributes to the incident
	Pressures to Maintain On-Time Departures	Maintenance personnel are subjected to subtle and not so subtle pressures to remain on schedule at 'any cost'. These pressures affect the decisions made by the maintenance personnel, and these decisions contribute to the incident
	Pushback Policies Not Enforced	Pushback policies, as written in the operating procedures of the airline, are not enforced on a regular basis, leading to company norms on how a pushback should be conducted. These norms are followed by all personnel, without being questioned (and perhaps even encouraged) by management, until an incident occurs, when the personnel involved are reprimanded for not following the operating procedure. The willingness of management to accept a company norm for day-to-day operation contributes to the incident

### 1.2.1 Position of Aircraft Components Changes

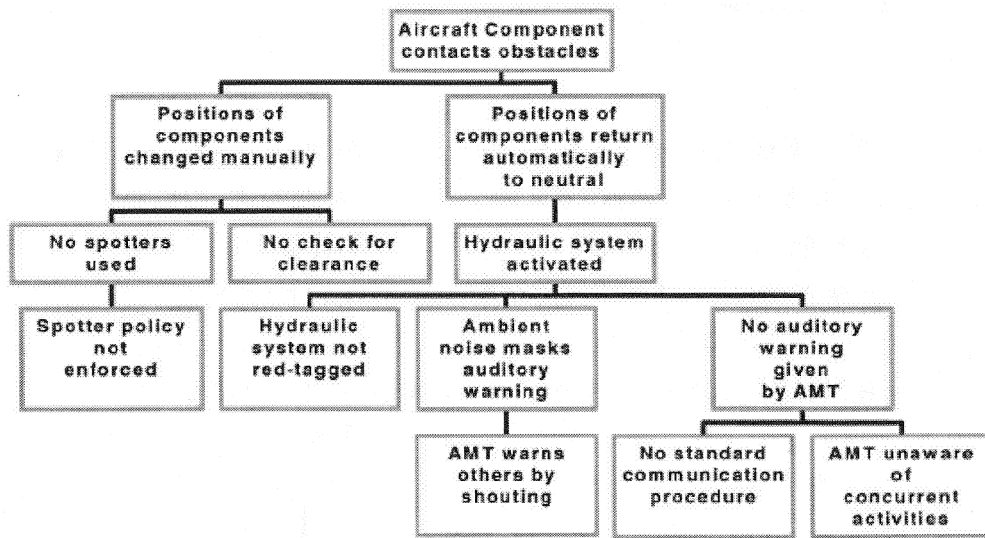


Fig. 1. Example of hazard pattern event tree.

表 10 綜整危險類型與潛在失誤的 Chi-squared 分析結果

潛在因素

相關的危險類型

硬體

H1. 設備不良

1.1 設備衝撞停駐航空器

H1.1. 設備不良：不適用於該項任務

H1.2. 設備不良：機械問題

環境

E1. 空間不當

2.3 拖駛中的航空器(aircraft under tow)

E1.1. 空間不當：擁擠

E1.2. 空間不當：不適於該項任務

E2. 標線引導的問題

2.3 拖駛中的航空器

E2.1. 引導：缺乏引導

E2.2. 引導：引導標線未適當的延伸至棚廠外

(do not extended out of hangar)

E2.3. 引導：對航空器不適用

人（個別）

L1 對風險或危險缺乏知覺

1.2 航空器或零件移動時撞到物體

人與人

LL1. 溝通不良

1.2 航空器或零件移動時撞到物體

LL1.1. 溝通不良：組員之間

LL1.2. 溝通不良：換班時

LL2. 人員不瞭解同時執行中的其它工作

1.2 航空器或零件移動時撞到物體

LL3. 沒有配足人力

(一般性)

LL4. 為能準時起飛所造成的維修壓力

(一般性)

LL5. 未落實後推政策(pushback policy)

2.3 拖駛中的航空器

## 2. 研究結果

(1) 只有兩種主要的危險類型，每一種有其下層結構。

a 共有三項為重要的危險類型，造成 94%的航空器地面損壞事件。

- 危險類型 1.1：航空器停駐(Parked)而遭裝備撞擊(39%)

- 危險類型 1.2：航空器停駐(Parked)而航空器(或航空器零件)移動接觸到外物(23%)

- 危險類型 2.3：航空器拖行接觸到固定或可移動外物(32%)。

(2) 只有 9 項主要的潛在失誤，其中有些具備下層結構。

a 有些潛在失誤屬於一般性，有些則與某些特定危險類型之間具有相關性。

b 所有危險類型均出現的一般性潛在失誤，占有所有潛在失誤的 21%，

- LL3 人力配置不當(14%)

- LL4 航空器準時起飛的壓力(Pressures for On-time departure) (7%)。

c 特定危險類型的潛在失誤(Latent failures)佔 66%，分別為：

- H1 設備不良，是危險類型 1.1 設備撞擊航空器(27%)的具有相關性之潛在失誤。

- LL1 溝通不良，是危險類型 1.2 航空器或其零件移動而撞擊物件(11%)的具有相關性之潛在失誤。

- LL2 人員未察覺同時執行中的工作，是危險類型 1.2 航空器或其零件移動而撞擊物件(3%)的具有相關性之潛在失誤

- E1 空間不當，是危險類型 2 航空器被拖駛或滑行(11%)的具有相關性之潛在失誤

- E2 標線引導的問題，是與危險類型 2 航空器被拖駛或滑行(8%)的具有相關性之潛在失誤

- LL5 未落實後推政策，是與危險類型 2 航空器被拖駛或滑行(6%)的具有相關性之潛在因素

(3) 發生的頻率最高的是與裝備問題有關的潛在失誤(Latent failures)(72 件)，其次為人力配置不當(36 件)，以及對危險缺乏警覺性(34 件)。

(4) 本研究所分析地面損壞事件顯示：造成大多數地面損壞事件的因素相當少，因此導入少量的介入干預，可預防為數眾多的航空器地面損壞事件。

(5) 研究結果亦顯示：若僅僅採取責罵-與-訓練(Blame-and-train)的方式來預防航空器地面損壞事件，則效果不彰。因為地面損壞事件經常是因系統性的潛在失誤所造成的，必須採取在系統面的改變，才能消除這些潛在失誤。所以必須從管理高層開始帶頭改善，才能夠改善整個航空器維護系統。

### 3.結論

- (1) 航空器地面損壞事件主要有 3 大類，包含：航空器停駐(Parked)而遭裝備撞擊(39%)、航空器停駐(Parked)而航空器(或航空器零件)移動接觸到外物(23%)、航空器拖行接觸到固定或可移動外物(32%)。
- (2) 主要的潛在失誤(Latent failures) 共有 9 項，其中一般的潛在失誤(Latent failures)佔 21%，具有特定危險型式(Hazard pattern)的潛在失誤(Latent failures)佔 66%。
- (3) 作者認為若僅僅採取責罵-與-訓練(Blame-and-train)的方式來預防航空器地面損壞事件，則效果不彰。必須從管理高層開始帶頭改善，以及維護人員、第一線主管及管理高層的整合與改變才能夠改善整個航空器維護系統。

### [文獻評析]

本文的主要貢獻在於：建立一套可操作的方法，運用統計檢定，界定出某一航空公司所面臨的危險類型與潛在失誤之間的特殊關係。藉此可以集中資源，擬定具有針對性的改善對策，降低進行普遍性改善的成本，藉以提高航空公司努力投入於改善航空器地面損壞事件之經濟成效。同時，本研究的方法應用在不同的航空公司時，可能會得到不同的結果，而可作為該航空公司建立安全文化時，改善潛在失誤的起步研究。同時，本研究明確定義 12 類危險類型，及潛在失誤的描述界定，亦可作為後續進行分析航空器地面損壞事件之用。

然而，由於潛在失誤可能涉及航空公司以外的相關作業單位，例如機場與地勤作業單位等不同單位，本文所採用以航空公司為分析對象，無法顧及針對機場或地勤作業單位的改善建議方向，及三方訊息整合與資源搭配的減輕對策，這些因素可能對於降低航空器地面損壞事件，更具意義。例如不同的機場環境，由於實質環境、管理制度、實際操作流程不同，可能會形成相差各異的潛在失誤結構。若能採用本研究方法，將不同航空的資料彙整，區分不同機場在進行類似分析，可能會得到不同的結果。此時的結果，可對該機場全面性的飛航安全管理制度，具有研提改善對策的啟發效果。

### [相關文獻]

- Chandler, J.G., 1995. Putting a dent in ground damage. *Aviation Equipment Maintenance* 14 (6), 22-25.
- Drury, C.G., 1994. The speed-accuracy trade-off in industry. *Ergonomics* 37 (4), 747-763.
- Drury, C.G., Brill, M., 1978. New methods of consumer product accident investigation.

- Human Factors and Industrial Design in Consumer Products* 196}229.
- Fox, J.G., 1992. The ergonomics audit as an everyday factor in safe and efficient working. *Progress in Coal, Steel and Related Social Research* 10}14.
- Fuller, R., McDonald, N., White, G., Walsh, W., 1994. *Strategies to improve human performance safety in ground handling operations*. Presented at the Airports Council International
- Apron Safety Seminar, Caracas, Venezuela. ICAO, 1989. *Human Factors Digest No. 1 Fundamental Human Factors Concepts, Circular 216-AN/131*, International Civil Aviation Organization, Canada.
- Marx, D., 1992. Looking toward 2000: the evolution of human factors in maintenance. Meeting Proceedings *Sixth Federal Aviation Administration Meeting on Human Factors Issues in Aircraft Maintenance and Inspection 'Maintenance 2000a*, 22}23 January 1992, Alexandria, Virginia, pp. 64}76.
- Maurino, D., Reason, J., Johnston, N., Lee, R., 1995. *Beyond Aviation Human Factors*. Avebury Aviation, Hants, U.K.
- McDonald, N., Fuller, R., 1996a. *Safety in airport ground operations*. A proposal to the Scarf International Group to establish a company, Trinity College, Dublin.
- McDonald, N., Fuller, R., 1996b. *Human Factors and Airside Safety Management*. Trinity College, Dublin.
- Monteau, M., 1977. *A practical method of investigating accident factors*. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- Reason, J., 1990. *Human Error*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Senders, J.W., Moray, N.P., 1991. *Human Error: Cause, Prediction and Reduction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, NJ.
- Transport Canada, 1997. *The Third Conference on Maintenance/ Ground Crew Errors and Their Prevention: Conference Notes*. Toronto, Canada.
- C.A. Wenner, C.G. Drury / *International Journal of Industrial Ergonomics* 26 (2000) 177}199 199

# **Study Looking at Runway Incursions Identifies Contributing Factors and Recommends Solutions**

Bryce Fisher

ICAO Journal 2002 Vol.57 No.1 pp13, 27-28

## **[英文摘要]**

According to a Canadian report on the phenomenon of runway incursions, factors that are potentially responsible for an upward trend in occurrences include traffic volume, use of capacity-enhancing procedures, airport layout, overall complexity and, of course, human factors.

## **[中文摘要]**

依據加拿大報導，跑道入侵事件增加的主要因素包括：交通量成長、採用容量提昇的程序、機場佈設、整體複雜性，以及人為因素。

## **[內容]**

此研究報導加拿大對於跑道入侵事件發生原因的研究成果。本研究綜整二項研究，其一為 Transport Canada 的研究，依據 1996～1999 年間的跑道入侵事件報告，指出造成跑道入侵事件快速增加的主要原因有四：1.逐年增加的運輸量；2.為配合增加之運輸量而執行之配套措施(如：平行跑道起降)；3.機場設施擴建或改變造成之影響；4.人為因素錯誤。該報告並提出 23 項建議。

另一項研究為 Nav Canada 的研究，指出類似的趨勢，提出 27 項建議。多數的建議均已進入執行階段，少數涉及法令修改者需要較長時間才能落實。

該二單位並合組了入侵防止小組(incursion prevention team)，以監督各項建議事項之執行成效、監控和分析跑道入侵事件並研提減輕對策。

## **[文獻評析]**

本文所提之研究報告，以較為宏關的角度切入跑道入侵議題，相比於前一篇僅探討航管人員改善建議的文獻[13]，相信本文所提供之建議，可較為廣泛且平衡。

預防跑道入侵事件已經成為飛航安全的重要課題，加拿大已有系統性的研究，並提出改善建議。我國可在此基礎上，檢視國內跑道入侵事件之改善對策。

Transport Canada 研究之 23 項建議：

1. 與 NAV CANADA 商議之後，加拿大運輸部正式定義「跑道入侵」：在機場裡，凡有關於飛機、車輛或人員之未經許可或不預期的出現，進入飛機起降之地面管制區域者，謂之「跑道入侵」。
2. 加拿大運輸部將發展建立一套完備的跑道入侵定期警示計畫，可能會與 NAV CANADA、加拿大機場委員會和其他飛航專業組織合作來共同完成。
3. 加拿大運輸部將專注於建立有關駕駛員偏誤而導致跑道入侵的預防策略。短期策略包括定期提供廣泛發佈相關資訊，使駕駛員瞭解：人很容易會因工作負荷而犯錯，還有，執行駕駛艙內任務時所潛藏的不明確性。
4. 加拿大運輸部將修改訓練指南和監管流程，更強調無線電通訊程序，ICAO 標準用語，交叉跑道同時起降(Simultaneous Intersecting Runway Operations, SIRO)操作流程之熟悉度，以及起降前預先對可能採行的滑行路線，進行規劃和作簡要報告，以減少駕駛員在滑行過程中的其他工作。加拿大運輸部的駕駛員指導手冊應作對應修改，以呈現這些原則。
5. 加拿大運輸部要求對於飛行器需穿越跑道時，均應給予清晰明確的航管許可。
6. 加拿大運輸部必須修改現有的「等候程序」，預期起飛會延誤的狀況下，應將位在使用中的跑道的飛行器也納入考量。
7. 加拿大運輸部與飛航服務提供者合作，將發展出一套有關於跑道交叉式起飛(runway intersection departure)的作法，目的在於盡量減少交叉式起飛(intersection departure)，甚至盡可能完全不採用交叉式起飛(intersection departure)。
8. 加拿大運輸部將建立一套標準滑行路線的公告準則，並鼓勵在某些受管制的機場裡盡量使用這些標準滑行路線。
9. 加拿大運輸部將為全加拿大機場，發展一套共用標準與建議的執行步驟(CAR 322)。
10. 加拿大運輸部將更加重視飛機在地面操作時，機場的標誌標線應清晰可見和明確，特別會在機場查核的時候多作此一要求。
11. 與機場管理單位商量之後，加拿大運輸部將研究跑道入侵自動警示系統的有效性，採用感應式迴圈或類似技術，直接提供警示資訊給朝向等候線移動的駕駛員。
12. 加拿大運輸部將建立一套能適用跑道和滑行道多寡的標準，約略固定交叉位置，以減少跑道與滑行道交叉時的偏差角度。
13. 加拿大運輸部公告一分 ICAO 標準，稱之為滑行道協議(Convention for taxiways)，或是標準滑行路線。
14. 加拿大運輸部將研究發展一套可行的客觀方法和所需設備，以決定機場表面

的標誌是否需要重新塗漆，例如已遭輪胎磨蝕、自然磨損、褪色、與鋪面之間缺乏對比性等。

- 15.加拿大運輸部將探討能否讓駕駛員更容易取得機場地圖，可能以網路方式提供，或以類似航站區域圖的格式，繪製這些地圖。
- 16.加拿大運輸部或許會採用修正 CAR 302.07 的方式，擴充相關規範的定義，包括：CAR 705.07(2)、航管人員安全飛行計畫(air operator flight safety program)、CAR 573.09(NPA 2000-031)、品質保證計畫(Quality Assurance Program)等，以使其納入經認證合格的機場。
- 17.加拿大運輸部發起一項計畫，可能將會與 NAV CANADA 合作，以便深入瞭解人為因素在跑道入侵事件中的角色，並將特別探討管制程序與機場佈設複雜化，對於地面運作的駕駛員和飛航服務人員，其績效表現的影響。並認為應該要考量是否應執行 TSB Class 4 研究，以收集詳細的事件資訊。
- 18.加拿大運輸部與 NAV CANADA 將建立一套共享資料庫，紀錄跑道入侵事件、調查研究、分析與後續採取的行動等。
- 19.加拿大運輸部將定期更新跑道入侵統計和後續預防措施，提供給機場管理當局、商業營運單位和其他有關人員。
- 20.加拿大運輸部將增加對於跑道入侵的研究和執行措施，並將針對所採行的措施，增加與飛航相關單位、機關或組織之間的溝通。
- 21.加拿大運輸部將在某些跑道入侵機率特別高的機場，採用風險基礎、資料導向的方式，在動態基礎上監控跑道入侵事件，以衡量新近執行的預防措施之成效，並倡導重要的預防策略。
- 22.加拿大運輸部將與 NAV CANADA、機場管理當局和地方相關單位等，建立合作關係，執行卡加利國際機場(Calgary International Airport)跑道入侵風險的深入研究，評估現有及將來擬採行的預防措施之成效。
- 23.加拿大運輸部將監督艾德蒙頓市中心機場(Edmonton City Center Airport)之跑道入侵預防措施的研究和落實，並在必要時給予資源支持。

NAV CANADA 研究 27 項建議：

- 1.委員會認為前次修改的定義太過狹隘，而建議跑道入侵事件的定義應為：在機場裡，凡有關於飛機、車輛或人員之未經許可或不預期的出現，進入飛機起降之地面管制區域者，謂之「跑道入侵」。
- 2.委員會建議採用加拿大運輸部 SCRI 所建議的事件嚴重程度表示方法，由「可忽略」到「嚴重」。
- 3.改善既有的跑道入侵資料庫及 AOR 分類標準，以放寬評議事件報告、萃取出益資訊的時間限制。
- 4.委員會決議：應持續由各機場取得跑道入侵的資料，但應區分為受管制地區和不受管制地區。委員會建議 NAV CANADA 管理部門重新設計資料庫結構，以確認所必須包含的要素和必要維護措施，以及與外界機構分享資訊的方



法。

- 5.委員會建議 NAV CANADA 內建立一組常態人員，持續探討跑道入侵問題，提出簡報資料，並持續對所有 NAV CANADA 所屬機場的各種員工，提供必要的提醒警示計畫，
- 6.委員會檢視了機場營運的所有面向，因為這是討論跑道入侵事件這種共同問題的必要步驟。
- 7.委員會建議機場管理當局要和加拿大運輸部討論，針對機場車輛操作，界定出一套提醒警示計畫。
- 8.委員會建議 NAV CANADA 應建議要求建立一套標準的全國入侵警示系統。
- 9.建議應提醒現場管理人員和督導人員，他們職責所在的第一項功能性目標就是：毫不鬆懈的監督飛航活動。
- 10.委員會建議 NAV CANADA 管理當局應更為積極的督導管制用語和流程，包括隨機錄音查核和即時在現場督導。
- 11.在訓練課程時應持續強調情境察覺和專業性的重要性。(請參見建議 13)
- 12.委員會建議：應鼓勵機場管理當局去發展有關跑道入侵的雇員矯正訓練課程。
- 13.委員會建議；NAV CANADA 應持續將「專業溝通」視為是管制員和飛航服務專家之年度訓練課程的一項主題。這個建議雖然和建議 11 非常接近，但未來將被獨立出來，作為對操作人員的教學重點。(請參見建議 11)
- 14.委員會建議修改飛航管制程序，應規定：預期起飛會延誤的狀況下，飛機不得滑行進入跑道裡。
- 15.委員會建議下次航空服務諮詢小組(Air Traffic Services Advisory Group)會議時，應討論用語問題。
- 16.委員會建議 NAV CANADA ATS 應提供如何限制採用 intersection departure 的方針給操作現場。
- 17.委員會建議飛航服務現場管理人員應定義出所要求的標準滑行路線，必要時應在當地現場營運委員會的諮詢協助之下，出版這份標準滑行路線圖。
- 18.委員會同意任何飛機、車輛的移動穿越跑道，無論跑道是否為使用中，都需經過核准授權。此一程序與現有的 FAA 程序，二者一致。
- 19.在資料佐證之下，委員會認為需要透過加拿大運輸部既有的文件，強化駕駛員教育訓練，以及問題察覺。
- 20.委員會建議可選擇幾處測試地點，運用中頻和地面管制頻道的即時傳輸，實行橫越車輛管制服務(interim vehicle control service)。這些測試地點將可提供交通量和氣象條件的斷面資料，並可測試「在跑道旁滑行道等待」指令。
- 21.委員會認為解決此問題最好的方式，是交付飛航諮詢小組(Air Traffic Advisory Group)處理，並建議 NAV CANADA 檢討：是否可讓 FSS 協調所屬區域管制中心，以確認可使用跑道。
- 22.委員會建議機場管理當局應考量在高風險機場，建立感應式迴圈系統，類似加州長堤機場使用中的系統。

- 23.委員會建議：某些受管制的機場應製作低成本的圖表，讓普通民航駕駛員可以取得。委員會也建議：邀請管制者來討論，如何管制和執行，以要求駕駛員攜帶這些主要機場的圖表。
- 24.委員會認為需要組成「推動小組」，以落實跑道入侵的減輕對策。委員會建議應和加拿大運輸部和主要的相關機構合作，組織推動小組，以推動跑道入侵的減輕對策。
- 25.有人建議可以運用渥太華的 NAV CANADA 設施的快速模擬，來評估高事故地點的入侵風險。運用模擬交通流動狀況，可對某些機場的高風險地區，提供分析觀點或解決方案。
- 26.有些委員建議：NAV CANADA針對那些跑道入侵事件趨近於零的地點，建立一套表揚計畫。可以像是目前的「傑出獎」。而且應針對表揚的對象是察覺和注意以追求卓越的地方，而不是那些不規則運作的方式。可與安全品質部門(Office of Safety and Quality Management, OSQM)、Airspace和程序部門合作，持續擴充既有的公告資訊和安全通訊報導。
- 27.重新評估放行/交接用語(relief/handoff phraseology)和掃描技術。

## [相關文獻]

本文相關的完整報告書可在以下網站取得：

Transport Canada 報告書：

<http://www.tc.gc.ca/civilaviation/SystemSafety/Pubs/tp13795/menu.htm#pdf>

Nav Canada 報告書：<http://www.navcanada.ca/navcanada.asp>

[13] Don Cote, 2002, PROBLEM OF RUNWAY INCURSIONS AMONG MOST URGENT ISSUES FACING AVIATION COMMUNITY, *ICAO Journal* 2002 Vol.57 No.3 pp26-27, 30



# **Problem of Runway Incursions Among Most Urgent Issues Facing Aviation Community**

Don Cote

ICAO Journal 2002 Vol.57 No.3 pp26-27, 30

## **[英文摘要]**

Studies show that in spite of years of professional training, pilots, airport vehicle operators, air traffic controllers and flight service specialists continue to unwittingly find themselves involved in runway incursion incidents.

## **[中文摘要]**

跑道入侵為當前航空界非常重要的飛航安全課題，過去研究指出，儘管駕駛員、航管人員、場面車輛操作員多年來不斷接受專業訓練，跑道入侵的安全事件仍然不斷的上演，

## **[內容]**

### **重要內容**

本文為 Nav Canada 執行跑道入侵之研究，針對人為因素的部份做探討。以加拿大為例，1997-2000 年共四年的期間，跑道入侵事件 279 件，平均每星期有 4-5 個跑道入侵事件發生，其發生率以及發生次數皆在不可接受的範圍之內，問題相當嚴重。NAV Canada 對於這些事件進行統計分析，將跑道入侵事件分為航管錯誤(Operation Irregularity OI)、駕駛員錯誤(Pilot deviation PD)與車輛及人員錯誤(Vehicle/Pedestrian Deviation VPD)等三種。

根據上述的統計資料結果可以發現，雖然航管人員錯誤(OI)所造成之跑道入侵事件僅佔總事件的 15%以下，然而，有許多駕駛員錯誤以及地面車輛錯誤必須歸咎於與航管人員之溝通協調問題，有鑑於此，本研究即針對以下航管作業問題提出幾項建議：

1. 複誦(The Read Back)：許多跑道入侵事件成因為駕駛員誤解或是遺漏 Hold-Short 或 Hold 的指示，因此要求航管人員必須確認聽取駕駛員之複誦。
2. 地面滑行階段：無論起飛前或落地後，駕駛員於航機地面滑行階段必須

完成許多工作，因此建議航管人員若非必要，盡量減少與駕駛員通話頻率。

3. 運用記憶輔助工具：建議未來航管人員訓練加強輔助工具之使用，例如 alert strip、red lights 等，幫助管制員記憶過去下達之指令。
4. Use of Position Relief List：另有二個調查委員會也指出，航管人員移交簡報（position relief briefing）亦為造成跑道入侵事件的原因之一，因此需要在往後的定期訓練中持續強化
5. 場面的掃描技術：管制員必須隨時對於其管控之場面進行監控掃描，以檢視是否有潛在跑道入侵之風險。
6. 機場服務車輛之進場許可(Cleared-on-the-field)：此類許可應該避免使用，因為許多時候，管制員准許航機落地或起飛時，已經完全忘記跑道上還有工作車輛存在。

透過美國以及加拿大的經驗可知，跑道入侵最主要的成因為不預期之人為因素，還有航管人員與駕駛員以及地面車輛溝通協調等。本文為 Nav Canada 執行跑道入侵之研究，針對人為因素的部份做探討，將跑道入侵的成因歸類為 1.航管錯誤(OI)；2.駕駛員錯誤(PD)；3.地面車輛與人員錯誤(VPD)三種。並藉以探討不同類型的跑道入侵事件發生數量。並針對航管人員管制作業提出幾項改善建議，包括：1.指示之複誦；2.地面滑行階段；3.記憶輔助工具；4.移交程序；5.場面監控掃描；6.服務車輛進場許可等。有助於未來關於跑道入侵研究的進一步聚焦。

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

本研究為 NAV CANADA 所執行，為加拿大之航管單位，故研究中著重於管制員的部份，其建議可提供思考降低跑道入侵事件的一個改進方向，但是不應忽略在駕駛員、地面車輛人員部分所應改進之處（包括作業流程等）；以及機場環境實質規劃面的改善，如動線或區隔等，均是降低跑道入侵的重要面向。

但是，依據分類圖形來看，因航管錯誤而發生的跑道入侵事件所占比例最少；但本文基於「駕駛員錯誤及地面車輛錯誤必須歸咎於與航管人員之溝通協調問題」的認定，而針對航管作業提出各項建議，要求航管人員的操作性改進。相反的，對於所占比重最多的駕駛員錯誤（PD），以及重要性逐漸增加的車輛與人員錯誤（VPD），本文並未試圖詳細探討其成因及解決對策。結果使得本文針對航管作業的建議，多針對航管人員所提，這對於未來降低 PD 和 VPD 這二類主要的跑道入侵事件，很難確保是否能發生具體效果。

另外，本文認為有許多的駕駛員錯誤以及地面車輛錯誤的發生，皆與錯聽或是誤解航管人員指令等溝通協調問題有關，因此 Nav Canada 即針對航管人員管制作業提出幾項改善建議。但因溝通錯誤是雙向認知差異的問題，不應僅針對管

制員部分提出建議，也應對駕駛員和地面車輛人員提出建議，才能雙向的降低事件發生的風險。

甚至許多溝通錯誤的原因，來自於機場環境或動線規劃不明確或區隔不佳，導致不在事件現場的管制員，和在事件現場的駕駛員或地面車輛人員，雙方對於情境認知有所差異。但本文並未試圖討論此一機場環境實質規劃對於跑道入侵事件的影響。

### **[相關文獻]**

Gustavo De Leon, ICAO providing support for implementation of runway safety programmes, ICAO Journal 2004 Vol.59 pp13-14, 28-29.



# ICAO Providing Support for Implementation of Runway Safety Programmes

Gustavo De Leon

ICAO JOURNAL 2004 VOL.59 PP13-14, 28-29

## [英文摘要]

Spurred by a rising number of runway incursions at the world's aerodromes, States and organizations have launched comprehensive runway safety programmes and are making extensive use of the Internet to disseminate runway safety information.

## [中文摘要]

由於全球機場之跑道入侵事件數目持續增加，各締約國和相關組織均展開跑道安全改善計畫，並透過網際網路廣為傳布有關跑道安全之資訊。

## [內容]

### 1. 主要內容

根據美國以及歐洲等地的統計資料顯示，跑道入侵的案例有逐年增加的趨勢，而且許多事件是由於人為錯誤所造成，Transport Canada 的研究以整體系統的觀點認為跑道入侵的成因包括：運量增加、機場配置以及人為因素等問題；Nav Canada 則針對人為錯誤方面將跑道入侵事件主因歸咎於不預期之人為因素，還有航管人員與飛行員以及地面車輛溝通協調等，並且將此類事件之成因分為航管錯誤(OI)、飛行員錯誤(PD)以及地面車輛與人員錯誤(VPD)。近年來美國、歐洲、加拿大與歐洲等世界各地皆積極推行跑道安全相關計畫，以降低跑道入侵事件之發生。因此 ICAO Air Navigation Commission 即針對包括無線電用語、航空英文的熟悉、航管程序、機場設備之需求、燈光與標示之標準、機場圖、ATC 與飛航操作、情境認知以及人為因素等 8 個方向進行研究。

此外，11th ICAO Air Navigation conference 有許多研究建議 ICAO 應採取以下行動：

1. 應該建立全球化的標準來解決跑道安全問題，例如無線電用語的統一；
2. 再者，根據 Annex 13 的規定，所有締約國應該共享跑道安全事件資料



以利事故調查；

3. 欲建立容量增加計劃的國家必須先進行其對於跑道安全之評估與研究；
4. 建議 ICAO 針對跑道入侵作出明確定義，並且對於事件種類與嚴重性建立分類準則；
5. 建立相關回報系統，蒐集資料以利後續統計分析。

## 2.研究結論

針對跑道入侵事件的成因，ICAO Air Navigation Commission 已訂定八項因素，包括無線電用語、航空英文的熟悉、航管程序、機場設備之需求、燈光與標示之標準、機場圖、ATC 與飛航操作、情境認知以及人為因素等 8 個方向進行研究。此一取向可系統性檢視，以降低跑道入侵事件之發生。

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

本文綜整美國、加拿大和歐洲主要機構成果，建議應全面檢視跑道入侵研究的八項因素，清楚指出後續的研究方向。但具體研究成果或建議內容，則有待 ICAO 預計將在 2005 年第四季完成的全球統一化的跑道安全計畫標準手冊與正式的回報系統等。

針對跑道入侵事件的成因，ICAO Air Navigation Commission 已訂定八項因素，包括無線電用語、航空英文的熟悉、航管程序、機場設備之需求、燈光與標示之標準、機場圖、ATC 與飛航操作、情境認知以及人為因素等 8 個方向進行研究。此一取向可系統性檢視，以降低跑道入侵事件之發生。我國對此課題，可積極採納國際文獻與操作流程之建議，配合相關人員之教育訓練，以及相關流程之改進。

然而，美國、加拿大和歐洲等主要機構所分析跑道入侵事件的取向有所不同，僅是研究分析機構的切入視角的差異？或係回應在不同地區所發生的跑道入侵事件的特性差異？例如不同語言文化的地區，語言在跑道入侵事件的成因上，重要性是否有所不同？在資料可取得且可比對的條件下，此點值得進一步比較探討。如此可進一步瞭解：在不同地區所需要的避免跑道入侵之改善對策是否亦不相同。

## [相關文獻]

目前 ICAO 對於跑道安全的工作除了已經完成之跑道入侵定義之外，未來將會建立相關事件的分類與錯誤類型之準則，並且建立全球統一化的跑道安全計畫標準手冊與正式的回報系統，預計將在 2005 年第四季可以完成。後續應持續追蹤 ICAO 在此主題的文獻進展。

# **System Uses Embedded Sensors to Track and Report on Airfield Ground Movements**

Arthur Garner, Jon Petrescu,

ICAO Journal 2000 Vol.55 No.4 pp29, 40-41

## **[英文摘要]**

A newly developed ground tracking and reporting system that is now undergoing evaluation in the United States can detect unauthorized movements by vehicles or aircraft on the ground and alert the tower controller to a potentially dangerous runway incursion.

## **[中文摘要]**

最近發展出一套地面偵測報告系統，刻正於美國進行評估中，主要用於在地面偵測車輛或飛行器的不當移動，並對塔台管制員提出警告，以預防跑道入侵事件。

## **[內容]**

本文介紹一套裝設於跑道或是滑行道的偵測系統，用於防止跑道入侵事件之發生。此系統(GSTARS)透過設置於道面之電子偵測系統，自動測量橫越道面之航空器、地面車輛等之電子訊號，並且計算這些車輛或飛機的速度與位置，並將資料傳輸到電腦主機，透過電腦主機的運算再將這些資訊顯示給塔台管制員，進一步防止跑道入侵事件之發生。

為降低跑道入侵的問題，當前美國機場測試的主要是各種雷達技術。但是本文介紹的 GSTARS 不是採用雷達技術，而是 Orincon 公司運用一套相當簡單，且多年來已廣泛應用在地面交通上的成熟技術，所發展出一套可應用在機場環境的感應式迴圈偵測技術。這套技術原本就可以計算、辨認機動車輛，並控制號誌。現在再採用了類神經網路方法，來強化系統在辨認和分類上的作業效率。這套系統主要組成可分為五大功能(參見原文 p29 圖)：迴圈介面、軌跡間的關連性、軌跡產生與更新、軌跡預測、顯示介面。預期將在 2000 年 7 或 8 月完成此次的 GATARS 研究。

這套系統可持續提供動態的、多層次的圖像，一旦有未經許可的車輛闖入，

會立即自動送出警示訊號，包括在塔台監視器上的畫面上出現閃爍的紅色區域的視覺警示，以及聲音的警訊。使管制員可以迅速瞭解狀況，並可通知相關車輛。針對一件發生在芝加哥歐海爾機場涉及 2 架波音 747 的跑到入侵事件，模擬結果顯示：這套系統可在相撞之前 35 秒發出警訊。

GATARS 的效益包括：即時監測和自動警示，可降低管制員的工作負荷；協助管制員掌握低能見度的狀況，或是太遠或被遮蔽而無法看到的區域的狀況；可與現有的雷達技術合作並存；不受天候影響，故更有助於缺乏雷達系統的小型機場（這些小型機場依賴管制員和望遠鏡的目視觀測，在起霧或下雨等能見度低的情況下，很難判斷跑道入侵事件）；系統可分階段逐步建構，可依據預算優先應用在最需要的區域，之後再逐步依據需求擴大；短時間內可建置完成而不會中斷機場的日常運作，且相對於雷達系統的建置經費更低；建置之後可建立詳細的交通紀錄，有助於機場規劃適當的使用收費等。

### **[文獻評析]**

本文介紹的系統值得進一步追蹤其後續發展，並評估是否值得引入應用在我國機場上，以降低跑道入侵危害。

### **[相關文獻]**

NA

# Runway Incursion Prevention: A Technology Solution

Steven D. Young And Denise R. Jones,

IASS 2001, PP.221-238

## [英文摘要]

A runway incursion occurs any time an airplane, vehicle, person or object on the ground creates a collision hazard with an airplane that is taking off or landing at an airport under the supervision of air traffic control (ATC)[1]. Despite the best efforts of the Federal Aviation Administration (FAA), runway incursions continue to occur more frequently. The number of incursions reported in the U.S. rose from 186 in 1993 to 431 in 2000, an increase of 132 percent. Recently, the National Transportation Safety Board (NTSB) has made specific recommendations for reducing runway incursions, including a recommendation that the FAA “require, at all airports with scheduled passenger service, a ground movement safety system that will prevent runway incursions; the system should provide a direct warning capability to flight crews” [2]. To this end, NASA and its industry partners have developed an advanced surface movement guidance and control system (A-SMGCS) architecture and operational concept that are designed to prevent runway incursions while also improving operational capability. This operational concept and system design have been tested in both full-mission simulation and operational flight test experiments at major airport facilities. Anecdotal, qualitative and specific quantitative results will be presented along with an assessment of technology readiness with respect to equipage.

## [中文摘要]

由於航空運輸的發展，航空交通量持續增加，機場的擁擠情況也日益嚴重，跑道入侵所造成的潛在飛安危險也漸漸受到重視。NTSB 近來即針對 FAA 提出改善跑道入侵之建議，希望 FAA 要求所有提供定期客運服務的機場，裝設地面移動安全系統(Ground Movement Safety System)，來進一步防止跑道入侵問題。本文即在說明 NASA 發展中的先進場面移動導引和管制系統(Advanced Surface Movement Guidance and Control System, A-SMGCS)之運作原理與概念，以及實際電腦模擬測試結果(全任務模擬以及操作性航班測試實驗)，最後評估此系統的成熟度以及實際裝設的優缺點與困難之處。

## [內容]

### 引言

NTSB 要求的「地面移動安全系統」(Ground Movement Safety System)，必須要能夠直接警告飛航組員。這套系統不僅可預防跑道入侵，也可改善操作容量。本文假設會發生跑道入侵事件主要是因為駕駛員和管制人員的無預期疏失，因此認為改善駕駛員和管制人員在操作過程中的的情境察覺(SA, situation awareness)，可降低跑道入侵發生的機率。本研究所建立的架構，運用改善情境察覺的技術，基於現有流程與設施所受影響最少的目標，功能性的拆解整個流程，由考量降低跑道入侵危害的角度，執行漸進式的改善，逐步增加安全性。本研究評估了目前可應用的相關技術，並指出應用上需要進一步解決的課題。

### 研究背景與系統架構

本文首先說明當前避免與偵測跑道入侵的現況，以及 FAA、NASA 等機構在這方面的投入。接著提出的系統架構，包括自身定位、交通定位、路線定位、路線偏離偵測、跑道入侵偵測等五方面，指出目前在航空器與機場雙方面可採用的技術設施(表 1)。並回顧了採用航空公司駕駛員模擬航班狀況的一項研究，來評估這些技術與新增功能的績效，以提出一套建議的執行計畫。最後也指出在執行上所需解決的課題，例如需要認證或進一步的飛航測試，以及與之相關的航空需求及技術觀念(requirements and technical concepts for aviation, RTCA)的標準。

「跑道入侵」是指在地面的航空器、地面車輛、人員或物體對受航管單位監控而正在機場起降中的航空器造成危害。發生跑道入侵的主因是現行的機場地面移動管制多仰賴於目視和無線電溝通。管制員以語音通訊對航空器頒佈離到場許可和場面移動路線。駕駛員必須覆誦並記住此一路線，再觀看航圖、燈號、標線以遵循指定路線行進。管制員也要記住所有在場航空器的路線，並監看其移動情況，確保不會發生衝突。一旦發現可能有危險，則會使用無線電要求航空器停留原地不動。由此可知，只要駕駛員或管制員在目視和無線電溝通的過程中稍有疏忽，就可能發生跑道入侵。所以在美國，跑道入侵的次數已由 1993 年的 186 起，大幅增加到 2000 年的 431 起。

所謂「避免」跑道入侵，是指「讓飛航組員降低不當進入使用中跑道的可能性的能力」。目前並沒有機載系統可協助駕駛員避免跑道入侵，而完全仰賴前述的「見物閃避」方式。為了讓駕駛員避免跑道入侵，必須具備下列三種資訊：(1)自身定位、(2)交通定位、(3)路線定位。且因情境察覺(SA)的需要，駕駛員對機場平面圖的瞭解也是不可或缺的。當時位置的經緯度對駕駛員而言是無意義的，駕駛員要知道的是當時在機場內的什麼地點。所以，前述三種資訊都要對應到各機場的平面圖。

所謂「偵測」跑道入侵，是指「察覺到跑道入侵已經發生而需採取避讓行動的能力」，包含路線偏離偵測、跑道入侵偵測。有兩個關於偵測的問題：(1)跑道

入侵並不常見，所以時時查看行進路線的必要性就不高；(2)即使駕駛員或管制員發現跑道入侵，經常沒有足夠時間來應對。影響及時偵測的因素有三：(1)濃霧或夜色所造成的視線不良、(2)無線電通訊擁塞、(3)機場佈設的複雜性。

目前 FAA 對跑道入侵所做的努力主要在機場的基礎建設和訓練，而 NASA 則著手改進駕駛艙的情境察覺(SA)。NASA 已經發展了兩種顯示器，一是即時圖形顯示器，可以指出航空器自身在機場的位置、其他航空器的位置和滑行路線，另一是抬頭顯示器，可為駕駛員提供觸地著陸點和脫離跑道出口之間的行進指引。基於先前這些研究，NASA 提出一個改進跑道入侵預防和偵測能力的系統架構，包含下列五個功能要素：(1)自身定位、(2)交通定位、(3)路線定位、(4)路線偏離偵測、(5)跑道入侵偵測，如表 1 所示。

### 功能 1 自身定位

自身定位需要借助全球定位系統(GPS)、機場平面圖資料庫(AMDB, airport mapping database)和像是抬頭顯示器或導航螢幕(ND)這些現有的顯示器。駕駛員可利用這些技術得知：(1)相對於跑道/滑行道邊線的位置、(2)目前正在哪一條跑道或滑行道上、(3)相交跑道或滑行道的編號和位置。如果 AMDB 的精確度夠高的話，可以提供類似飛航指引器(flight director)的地面指引。而將慣性導航資料和 GPS 整合起來，可以提升系統的性能。

### 功能 2 交通定位

交通定位是將所有航空器的位置與機場平面圖重合顯示。機場平面圖資料庫(AMDB)當然是必要的，此外，還需要監視的能力來掌握所有航空器的位置。機載雷達是一種可行方式，而廣播式自動回報監視(automatic dependent surveillance - broadcast, ADS-B)系統則更好，但要注意兩件事：(1)並不是每架航空器都裝有 ADS-B、(2)即使裝了 ADS-B 也可能故障，所以場面雷達也值得考慮。機場雷達的訊號可以廣播到每架航空器，讓駕駛員知道其他航空器的位置，這項技術稱為廣播式地面交通資訊服務(STIS-B, surface traffic information service - broadcast)。

### 功能 3 路線定位

路線定位是把滑行路線和行進限制顯示在駕駛艙。同樣需要 AMDB，也建議使用管制員駕駛員數據鏈通訊(controller-pilot data link communication, CPDLC)。CPDLC 可將管制員的指示傳送到航空器的顯示器上，一則便於引導駕駛員，二則若指示有誤，駕駛員也容易從顯示器的圖形發現問題。

### 功能 4 路線偏離偵測

路線偏離偵測是利用 GPS、AMDB 和 CPDLC 讓航空器知道是否自身偏離了預定路線，一旦發現有偏離，自動化系統便透過機上顯示器告知駕駛員並透過 CPDLC 轉告管制員。如此不只減少駕駛員偏離路線的機會，也提供足夠的時間

好讓駕駛員及早改正。

功能 5 跑道入侵偵測

跑道入侵偵測需要準確的交通定位才能自動運作。一旦發現跑道入侵的情況，就像空中防撞系統(TCAS, traffic alert and collision avoidance system)一樣，系統會發出警告，而為駕駛員和管制員提供最寶貴的時間來因應。

表 1 系統功能與元件技術

功能	航空器技術	機場技術
1. 自身定位	GPS, AMDB, 顯示器	--
2. 交通定位	GPS, AMDB, 顯示器, ADS-B, STIS-B, 雷達	AMDB, 顯示器
3. 路線定位	AMDB, 顯示器 CPDLC	AMDB, 顯示器
4. 路線偏離偵測	GPS, AMDB, 顯示器 CPDLC	顯示器
5. 跑道入侵偵測	同功能 2	同功能 2

飛行模擬

模擬機的導航螢幕(ND)具有電子地圖(EMM, electronic moving map)的功能，不僅顯示機場的平面圖，還可以顯示自身目前位置、其他航空器位置和 ATC 指示。ATC 指示以圖形和文字兩種方式呈現，圖形包含指定路線和中停點。

系統在起飛滾行和終端進場時監看跑道上的活動情況。一旦偵測到跑道入侵和路線偏離，便會響起”runway traffic, runway traffic”的警告聲，同時在抬頭顯示器和 EMM 上顯示文字。發生衝突的航空器或地面車輛在 EMM 上的符號也會改變顏色並閃爍。

模擬的結果顯示自動偵測和警告系統可帶來六秒的因應時間(約 60 英尺高度)好讓駕駛員避免跑道入侵。藉由觀察系統觸發警告到駕駛員致動自動駕駛的起飛/重飛模式的時間差，可知駕駛員需要的反應時間大約兩秒。若沒有自動偵測功能，就有幾次模擬是在低於 45 英尺才開始爬升，這樣的高度已經造成某些航空器的機尾觸地。如果駕駛員嚴密監控駕駛艙內的交通顯示器，有幾次模擬是在自動系統觸發警告之前，駕駛員就已經開始重飛。

問卷調查的結果顯示駕駛員和管制員都一致認同 NASA 所提的這套系統架構。駕駛員覺得 EMM 對第二類儀降作業來說已經足夠，但第三類儀降作業則可能需要抬頭顯示器。駕駛員建議提供發現跑道入侵後的飛航操作引導。聲音警告很合適。所有參與飛行模擬的駕駛員都覺得有這套系統會更加安全。管制員則認為 CPDLC 是一項重要的工具。

飛行測試

五項功能全在德州沃斯堡機場(DFW)測試。DFW 機場的 AMDB 準確度達 0.3 米。由於 NASA 的測試政策，抬頭顯示器和具有 EMM 的導航螢幕這些實驗設備只裝在左座而不裝在右座。

在 DFW 機場有三種自動化跑道入侵偵測系統被測試，分別是：跑道安全監控器(RSM, runway safety monitor)、跑道入侵諮詢和警告系統(RIAAS, runway incursion advisory and alerting system)、地面警告(GBA, ground-based alerting)系統。

RSM 在航空器上獨立運作，經由數據鏈接收交通定位資料。若有物體侵入即將使用跑道的三維保護空間內，RSM 就會觸發跑道入侵警告。保護空間是從跑道頭延伸 1.1 海哩、從跑道邊線延伸 220 英尺、從地面向上延伸 400 英尺。RSM 依據自身航空器的操作、交通狀況和像是隔離和接近率等其他準則來判斷有無跑道入侵。

RIAAS 類似於 RSM，差別在於 RIAAS 不只依據自身航空器的操作和交通狀況，也視多於 40 種特定情境的準則而定。RIAAS 的警告類似 TCAS，跑道交通警告(RTA, runway traffic alert)用來提醒飛航組員有潛在的跑道入侵或衝突不必立即處理，跑道衝突警告(RCA, runway conflict alert)則在確實有跑道入侵的現象且需要立即避讓時發出警告。

GBA 利用數據鏈將 FAA 地面監視系統所發出的警告傳送給航空器。當兩物體的隔離近於下限時，就會以 STIS-B 將警告和交通定位資料傳送出去。

在進場測試時，RIAAS 的 RTA 比 RSM 提前幾秒觸發，之後 5 至 10 秒才有 GBA 的警告，再隔 5 至 15 秒發出 RIAAS 的 RCA。在離場測試時，RIAAS 的 RTA 先觸發，1 至 5 秒後輪到 RIAAS 的 RCA，幾乎同時產生 RSM 的警告，過了 10 至 20 秒才有 GBA 的警告。

問卷調查的結果顯示所有的駕駛員都認為這套系統有很大的潛力可以降低或消弭跑道入侵。駕駛員認為 RIAAS 兩階段的警告(RTA 和 RCA)不像 TCAS 那麼有用。但這可能是因為飛行測試只是單人操作(僅左座安裝實驗設備而右座無)而沒有另一名駕駛員從旁協助的緣故。

DFW 機場的飛行測試有三項心得：(1)可靠、及時和準確的交通資料是必需的；(2)不建議採用由地面系統上傳航空器的跑道入侵警告；(3)要定義偵測功能所需交通報告的需求。

## 研究討論與建議

考量到技術成熟性與所觀察到的績效，本文認為所建議的系統應採取區塊改良的取向(evolutionary building-block approach)，主要原因是相對應的技術系統處在不同的發展階段。表 4 僅列出 RTCA 標準，EUROCAE 和 ICAO 以及 SAE 也有相對應的標準。

表 4 顯示，功能 1(自身定位)是可以立即實施的。許多航空器均已配備機載顯示器和 GPS 接收器，尤其是 GPS 已整合在慣性導航系統中，以增進定位績效。



但是推動機場平面圖資料庫(AMDB)系統的挑戰在於要增進所需資料的可取得性，以及建立資料分享交換格式。功能 2(交通定位)和功能 5(跑道入侵偵測)則需要新增標準或規範要求，以使產品取得認證。包括廣播式自動回報監視(ADS-B)的標準，目前缺乏地面操作相關的規範，還需要修改；以及廣播式地面交通資訊服務(STIS-B)也要制訂標準，可參考相關的數據鏈技術之要求文件。功能 3(路線定位)和功能 4(路線偏離偵測)要求管制員駕駛員數據鏈通訊(CPDLC)來提高效率，目前測試版本並未包含地面運作部分，應加在後續版本之中。

基於改裝的需要，未來可將功能 1、3 和 4 納入飛航管理系統(FMS, flight management system)中，而功能 2 和 5 則可視為空中防撞系統(TCAS)的擴充。但要顧及未來向下相容的適用性，應要求特殊應用上可分階段實施。

另外，必須指出功能 5 所涉及的 2 項基本概念。第一是關於績效的權衡取捨，即在駕駛員嚴密監控交通顯示器，和系統提供跑道入侵的自動偵測二者之間，是要容許人為觀察失誤的缺乏警示，或是接受自動偵測系統的假警報。第二則是偵測入侵的操作性安全意涵，採用航管為主的地面系統，或是運用駕駛員為主的機載系統。

表 4 技術成熟性

技術	操作階段	相關 RTCA 標準	具備功能
顯示器	已認證	DO-257	1,2,3,4,5
GPS	已認證	DO-202, DO-208, DO-217, DO-228, DO-229B, DO-245, DO-246A, DO-247, DO-253, DO-261	1,2,-,4,5
AMDB	飛航測試	DO-200A, DO-201A, DO-272	1,2,3,4,5
ADS-B	飛航測試	DO-242, DO-249, DO-260	-,2,-,-,5
STIS-B	飛航測試	DO-224A, DO-239, DO-243, DO-259	-,2,-,-,5
APDLS	飛航測試	DO-224A, DO-250, DO-256	-, -,3,4,-
機場地面雷達	委員會議	不適用	-,2,-,-,5

## 研究結論

應鼓勵政府管制人員以及航站和航空器操作人員參考本文所建議的技術性對策，雖然這些都需要投資，但確實可逆轉跑道入侵漸增的趨勢。

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

本文獻之優點有二：(1)整合各種已成熟(如 GPS、ND)或發展中(如 ADS-B、CPDLC)的技術，從航空器和機場的軟硬體建設著手解決跑道入侵的問題，為科技研發人員提供了具體的出發點；(2)讓航空公司和機場管理當局瞭解各種技術

的強弱勢，有助於日後進行機隊規劃和機場規劃時參考運用，以達事半功倍之效。

但因本研究強調技術取向，著重於航空器或機場設備的更新，藉以解決跑道入侵問題。固然技術進步，可提供更為充分周延的資訊，讓駕駛員或管制員進行判斷，從而降低跑道入侵事件發生的可能性。然而更新設備資訊需要大規模且全面性的投資，且在機場與航空器二者間必須保持相對應性；因此從實際推動到看到成效，可能需要相當長的時間。在此期間又該如何遏止跑道入侵事件增加的趨勢？此為本文未能討論之處。

另外，有研究顯示，增加新的設備可能造成駕駛員或管制員的工作負荷增加，從而降低導入新設備的效果。此點也是評估導入系統之績效時，需要注意之處。

由本文表 4 可以看出，部分設備(如顯示器、GPS, AMDB)可對五大功能均具有增進的效果，但其它設備則僅能提升少數功能。就投資績效的角度，似乎應先衡量成本效益，再作建議是否應推廣，較為妥適。

## [相關文獻]

Federal Aviation Administration, *Runway Incursion Severity Trends at Towered Airports in the United States: 1997-2000*, FAA Runway Safety Report, FAA Office of Runway Safety, June, 2001.

National Transportation Safety Board, *Safety Recommendation Letter to the FAA Administrator*, A-00-66, July 6, 2000.

Young, S., and Jones, D. "Flight Testing of an Airport Surface Movement Guidance, Navigation, and Control System." In *Proceedings of the Institute of Navigation National Technical Meeting*. Long Beach, California, United States, January 21-23, 1998.

Federal Aviation Administration, *Surface Movement Guidance and Control System*, Advisory Circular No. 120-57A, December 19, 1996.

Federal Aviation Administration, *Safe Flight 21 Program Overview*, <http://www.faa.gov/safeflight21>, August, 2001.

McCann, R., et. al. "An Evaluation of the Taxiway Navigation and Situational Awareness (T-NASA) System in High-Fidelity Simulation." In *Proceedings of the World Aviation Congress*. Paper No. 985541, September 28-30, 1998.

Otero Beskenis, S., et. al. "*Integrated Display System for Low Visibility Landing and Surface Operations*." NASA Contractor Report CR-1998-208446, July, 1998.

Hueschen, R., et. al. "Description and Flight Test of a Rollout and Turnoff Head-Up Display Guidance System.", In *Proceedings of the 17<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference*. Seattle,

Washington, United States, November, 1998.

Proctor, P. "New Head-Up Tool Aims to Cut Runway Incidents." *Aviation Week and Space Technology* (August 14, 2000): 48-50.

Jones, D., et. al. "Runway Incursion Prevention System – Demonstration and Testing at the Dallas/Fort Worth International Airport." In *Proceedings of the 20<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference*. Daytona Beach, Florida, United States, October, 2001.

Young, S., and Jones, D. "Runway Incursion Prevention Using an Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS)." In *Proceedings of the 19<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference*. Philadelphia, Pennsylvania, United States, October, 2000.

EUROCAE. *User Requirements for Aerodrome Mapping Information*, ED-99, September, 2001.

Cassell, R., et. al. "Initial Test Results of PathProx – Runway Incursion Alerting System." In *Proceedings of the 20<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference*. Daytona Beach, Florida, United States, October, 2001.

Rankin, J., and Mattson, P. "Controller Interface for Controller-Pilot Data Link Communications." In *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference*. Baltimore, Maryland, United States, October, 1997.

RTCA. *Minimum Aviation System Performance Standards for Local Area Augmentation System (LAAS)*. DO-245, September 28, 1998.

RTCA. *Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment*. DO-229B, October 6, 1999.

RTCA. *Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)*. DO-242, February 19, 1998.

Cassell, R., et. al. "Development of Aerodrome Surface Required Navigation Performance (RNP)." NASA Contractor Report, CR-1999-209109, June, 1999.

EUROCAE. *Minimum Aviation System Performance Standards for Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems*. ED-87A, January, 2001.

RTCA. *Standards for Processing Aeronautical Data*. DO-200A, September 28, 1998.

# **A Post-Hoc Analysis of Navigation Errors During Surface Operations: Identification of Contributing Factors and Mitigating Solutions**

Becky L. Hooey, and David C. Foyle

ISAP 2001

## **[英文摘要]**

Two full-mission simulation studies of surface operations conducted at NASA Ames Research Center revealed that, in low-visibility and night conditions, pilots committed navigation errors on 17% of trials. A post-hoc analysis of these navigation errors uncovered three distinct classes of errors: Planning Errors, Decision Errors, and Execution Errors. Each class has a unique set of contributing factors, and therefore demands unique solutions to mitigate error. Results from the two full-mission simulations revealed that advanced navigation and communication technologies designed specifically to address each class of error can mitigate pilot deviations and increase surface operations safety.

## **[中文摘要]**

本研究採取模擬實驗設計的具體方式，模擬芝加哥歐海爾機場之二種情境，務實地探討導航錯誤的類型、成因和解決對策。

本研究執行兩種模擬機場操作的實驗，結果顯示在低能見度以及夜間狀況時，駕駛員犯下導航錯誤為 17%。透過 Post-Hoc(因果分析)的方法，可以發現這些導航錯誤可歸為：計畫性錯誤、決策性錯誤與執行性錯誤等三類。研究並且對於這些錯誤的成因以及相關的解決方法加以說明。

## **[內容]**

### **1. 背景**

本研究延伸Kelley& Adam(1997)的研究，採用來自在NASA Ames Advanced concept Flight Simulator裡進行之芝加哥歐海爾機場低能見度和夜間狀況等兩種地面操作之全任務模擬結果資料(McCann, et al., 1998; Hooey, Foyle, Andre, & Parke, 2000)，並且將之進行因果分析，並區分出包括計畫性、決策性與執行性

等三類造成導航錯誤的相關因素。

## 2. 模擬實驗

第一個實驗當中，16 組雙飛航組員共 32 位駕駛員完成芝加哥歐海爾機場之 18 次落地到滑行至停機坪的模擬情境試驗，每組駕駛員完成 6 次僅持有 Jeppesen Chart 作為導航的平日操作；6 次使用電子移動地圖(EMM)以及 6 次使用 EMM 與滑行抬頭顯示儀(HUD)的試驗。一半的組員(8 組)在低能見度的情境下進行模擬試驗(跑道能見度 700 呎, RVR 700')，而另一半的組員則在夜間情境下完成試驗(Visual Meteorological Conditions, VMC)。

在第二個模擬實驗當中，18 組雙飛航組員共 36 位駕駛員完成芝加哥歐海爾機場之 9 次落地到滑行至停機坪的模擬情境試驗，而本次實驗的跑道能見度固定在 1000 呎(RVR 1000')。各組駕駛員皆分別完成 3 次平常日操作；3 次運用數據鏈許可；以及 3 次運用 EMM, HUD 與數據鏈許可的飛行試驗。表 1 為兩次模擬實驗之能見度情境狀況與配合使用之儀器水準。

Table 1. Summary of Simulation Studies.

	Visibility (Number of crews)	Taxi Conditions (# of trials /crew)
Study 1	Night VMC (8 crews)	Current-Day (6)
	RVR 700' (8 crews)	EMM (6) EMM + HUD (6)
Study 2	RVR 1000' (18 crews)	Current-Day (3) Datalink (3) Datalink+EMM+HUD (3)

每一次試驗的資料皆被用來分析是否出現導航錯誤(Navigation Error)，並且配合使用錄影帶來確認該錯誤之發生。導航錯誤在本研究中定義為：(1)在不被許可的場面上滑行；與(2)偏離許可之滑行到中心線至少 50 呎等兩種情況。結果發現在所有 150 次的試驗當中，共出現 26 次的導航錯誤(17.3%)。進一步觀察三中能見度狀況下的導航錯誤發生次數(RVR, 700'；Night VMC；RVR 1000')，可以發現夜間航行發生導航錯誤的次數甚至高於因氣候因素造成之低能見度情況(圖 1)。此結果顯示導航錯誤之發生不純粹是由於天候惡劣因素或是機場經常處於低能見度情況下所造成。

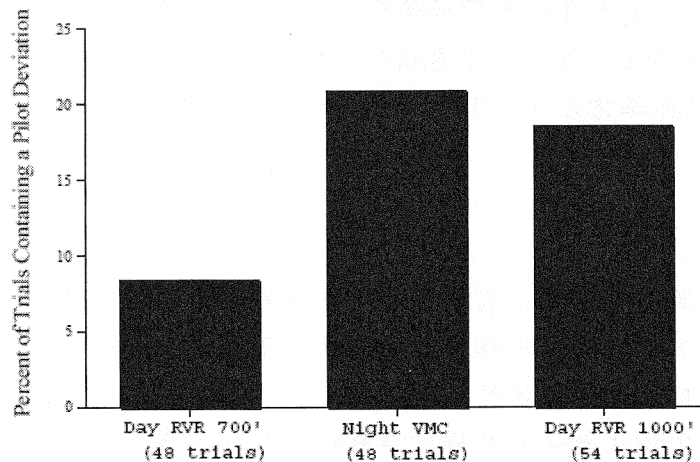


Figure 1. Navigation Errors as a Function of Visibility

### 3.結果討論

對於計畫性錯誤，駕駛艙內的低頭電子移動地圖（T-NASA EMM）可提供許可路線的圖面和文字資訊，可以降低對於許可路線的誤解和混淆。數據鏈則有助於駕駛員勤於確認數據鏈許可，而進一步減少路線途中的替換錯誤或疏失。要降低決策性錯誤，首先要減少不在跑道上時（runway turnoff）的工作負荷。駕駛艙內的低頭移動電子地圖（EMM）和抬頭顯示系統（HUD）都可明確的提供自身航機相對於許可路線的地區引導，以及許可轉向或目標大廳的方向。對於執行性錯誤的成因而言，環境因素扮演了最重要的角色。因此，提供駕駛員有關於外部環境之輔助性視覺顯示，將可降低這種錯誤。

結論如表 2。

表 2 錯誤類別、成因和解決對策之彙整

錯誤類別	錯誤描述	造成因素	減輕對策	可採用技術
計畫性	擬定不正確的滑行計畫	溝通錯誤	駕駛艙內提供明確的許可資訊	數據鏈
	臨時改變滑行計畫	不準確的預期或許可確認		駕駛艙內低頭電子移動地圖
	轉錯方向	過量的工作負荷	減少工作負荷	駕駛艙內低頭電子移動地圖+駕駛艙
決策性	沒有轉向	整體環境認知不佳	強化整體環境認知	內抬頭顯示系統
	不必要的轉向	缺乏局部引導	強化局部引導	
	誤認不正確的滑行道中心線	過於複雜的滑行道配置	明確的環境	駕駛艙內抬頭顯示系統
執行性	選錯滑行道	不明確的標誌	強化局部引導	
	誤解標誌	（夜間）能見度條件		

這些模擬確實可幫助我們瞭解導致駕駛員疏失的程序性、操作性和環境性因素。然而，應該要進一步驗證這些發現，並試圖釐清這些資料與實質環境（芝加

哥歐海爾機場在低能見度和夜間的離峰交通情況)的關連性,以及其與其他機場和操作環境的相關性。為此,需要執行 FAA 的計畫,發展出駕駛員疏失之人為因素調查分析的標準方法,以更深入理解這些飛航失誤。

## [文獻評析]

1. 本研究模擬實驗設計係針對芝加哥歐海爾機場之二種情境:低能見度和夜間離峰交通狀況,但並沒有解釋此二情境是否為最容易出現導航錯誤的情境,或是否有其他的導航錯誤情境。
2. 另外,本研究採用歐海爾機場作為模擬背景,其模擬結果對於其他機場是否亦能夠適用?需要進一步評估。
3. 在解決對策及可採用技術部分,本研究傾向以導航設備來解決各項錯誤。但是表 2 所列的各項肇因裡,許多並非仰賴導航設備即可改善。例如:溝通錯誤,經常不是資訊提供的問題,而是駕駛員彼此之間與管制員之間的資訊接收與處理能力的差異;還有過量的工作負荷,如果想以電子地圖等顯示性資訊的提供,來解決此一課題,可能導致增加其他類型的工作負荷的問題。因為曾經有其他研究指出:增加電子地圖等顯示資訊,將會增加駕駛員認知和辨識的工作負擔。因此,所提的減輕技術對策,值得再予以檢視是否能發揮預期成效。

## [相關文獻]

Federal Aviation Association, (2000). National Blueprint for Runway Safety. <http://www.faarsp.com/blueprint/>.

Foyle, D. C., Andre, A. D., McCann, R. S., Wenzel, E., Begault, D., & Battiste, V. (1996). Taxiway Navigation and Situation Awareness (T-NASA) system. Problem, design, philosophy, and description of an integrated display suite for low visibility airport surface operations. *SAE Transactions: Journal of Aerospace*, 105, 1411-1418.

Hooey, B. L., Foyle, D. C., Andre, A. D., & Parke, B (2000). Integrating datalink and cockpit display technologies into current and future taxi operations. *Proceedings of IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference*. Philadelphia.

Kelley, D. R., & Adam, G. L. (1997). The human factors of runway incursions caused by "pilot error": A survey of U.S. Airline pilots. . In R. S. Jensen & L. Rakovan (Eds.) *Proceedings of the 9th International Symposium on Aviation Psychology*, 911-917, Columbus, OH: Ohio State University.

Lasswell, J. W. & Wickens, C. D. (1995). *The effects of display location and*

*dimensionality on taxi-way navigation* (Tech. Report ARL-95-5/NASA-95-2). Savoy, IL: University of Illinois Aviation Research Laboratory.

McCann, R. S., Hooey, B. L., Parke, B. Foyle, D. C., Andre, A. D., & Kanki, B. (1998). An evaluation of the Taxiway Navigation and Situation Awareness (T-NASA) system, in high-fidelity simulation. *SAE Transactions: Journal of Aerospace*, 107, 1612 - 1625.

Parke, B., Kanki, B., McCann, R. S., & Hooey, B. L. (1999). The Effects of Advanced Navigation Aids on Crew Roles and Communication in Ground Taxi. *Proceedings of the 10th International Symposium on Aviation Psychology*. (pp. 804-809). Columbus, OH: Ohio State University.

Parke, B., Kanki, B. G., Munro, P. A., Patankar, K., Renfroe, D. F., Hooey, B.L., & Foyle, D. C. (2001). The effects of advanced navigation aids and different ATC environments on task-management and communication in low visibility landing and taxi. In *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Aviation Psychology*, Columbus, OH: Ohio State University.

Reason, J. (1990). *Human Error*. New York: Cambridge University Press.





# **A Decision Support System for The Safety of Airport**

## **Runways: The Case of Heavy Rainstorms**

Benedetto, A.

Transportation Research Part A : Policy and Practices, Vol.36,

No.8,2002, pp665-682

### **[英文摘要]**

The hydroplaning caused relevant plane accidents in landing and taking off phases. A decision support system is here proposed in order to assess the safety standard during heavy rainstorms. The geometry of the runways and the pavement characteristics are investigated in different hydrological conditions. The decision support system outcomes show that the very short rainstorms (duration of about 5 minutes) are the most critical. The decision support system dynamically computes the depth of the water film through a hydraulic model, which numerically integrates the complete energy and mass differential equations. The reliability of the mathematical solution of the varied flow algorithm is validated.

A conceptual, physically based, model is proposed to simulate how the skid resistance decreases during the rainstorm. This model, called “three points” model, fits well the existing models both for a low water film and for a deeper one. It is integrated in the decision support system so that an analysis of the skid resistance during rainstorm is possible. The role of the pavement macrotexture is investigated for different slopes of the runway surface and in different hydrological conditions (return period of the event and duration of the rainfall). It is interesting to underline that the skid resistance increases with the macrotexture, though the water film is deeper during poor weather conditions. Moreover the safety conditions can be completely investigated.

Finally the open graded pavements are considered. The infiltration into the pavement texture seems to be the best solution to reduce the hydroplaning risk and the reliability of landing and taking off in poor weather conditions.

Then the decision support system can be considered a strategic diagnostic tool, for the runway management, in order to identify the critical rainstorm that crucially makes the airport unsafe. And, at the same time, the decision support system is a useful tool to choose the geometry (runway slope) and the pavement materials (texture), in the

## [中文摘要]

跑道濕滑往往是飛機在起降階段造成意外的原因，因此該研究提出一套決策支援系統，可以衡量暴雨情境下的跑道安全標準。在各種水文狀態下，研究跑道幾何特性與鋪面特性。所建立的決策支援系統的結果顯示，極短的暴雨(約歷時 5 分鐘)，是最危險的狀況。這套決策支援系統運用水工模型，數值方法上整合了質能微分方程式，可以動態計算水膜厚度。此模式數值求解的可靠度，亦經多種流量演算方法予以驗證。

本研究所提出的概念性物理模式，可以模擬暴雨時側滑阻力(防滑性)的衰減狀況。本研究稱此為「三點模式」(圖 4)，不論水膜厚度深淺，模擬結果均能充分符合現況。本研究將此模式整合到決策支援系統中，使決策支援系統能夠分析暴雨期間的側滑阻力。本研究在各種水文狀態下(考慮因素包括事件發生後的回復期間、降雨期間)，以及不同的跑道表面坡度狀況下，分析鋪面粗質紋理的功能，發現了有趣的結果。即使天候惡劣使水膜變厚，側滑阻力仍會隨粗質紋理而增加。由此可以完整地分析濕滑跑道的安全條件。

最後，本研究針對開放級配鋪面的狀況進行模擬。具下滲性質的鋪面紋理，似乎是降低濕滑跑道風險的最佳解決對策，能夠在惡劣天候狀況下，確保起降的穩定性。

因此，這套決策支援系統可視為一種策略診斷工具，在跑道管理上，可用以界定出讓機場轉為危險的臨界暴雨量。而在計畫階段，此套決策支援系統也有助於決定跑道坡度的幾何條件，以及鋪面材質。

## [內容]

### 1. 前言

由飛機意外事故的歷史資料分析顯示：天候相關的意外事故占總事故 29%，且起降階段顯然是最危險的。而飛機起降階段的安全性，深受跑道狀況的影響，包括跑道的內部和外部條件。其中內部條件為跑道材質和摩擦力性質；外部條件則與天候相關，且與降雨量的關係最為密切。在鋪面特性領域裡，已有許多關於維護和修復策略的研究成果，可為機場營運決策的參考。最近的研究則較偏重探討附帶有水膜的輪胎之接觸力、操控性能和煞車性能的課題。這是因為飛機需要在暴雨的短暫間隙之間，快速減速，且飛機的起降速度非常快；其次也是因為跑道的排水長度通常是一般道路的二倍以上，因此容易積水而形成較厚的水膜。

針對輪胎與濕滑跑道的研究，已經有些模擬模式可供應用。但是這些研究並未考慮水文臨界條件的多樣性，這點對於機場跑道是非常重要的。因為需要考慮

形成水膜的轉換過程，跑道上即使是極短時間出現水膜，都可能造成致命危害。因此需要動態模式來衡量水膜形成的物理過程，其中必須包含二種基本現象：暴雨的演變過程，以及逕流的水工效率。分析暴雨的演變過程是非常重要的水文問題，而且必須考慮極短時間大量降雨的狀況。而逕流過程則應以水工模式來評估，才能動態處理與時間相關的質能方程式。所以需要結合水文與水工模式，才能正確模擬真實的狀況。

最後還需要輪胎與鋪面接觸的模式，有些模式可以有效模擬薄層水膜的情況，另外則有一些模式可掌握厚層水膜的情形。本研究在此基於相關現象的物理特性，提出一套概念模式，稱為「三點模式」，並與相關研究結論與實驗資料作了驗證和比較。

由於問題非常複雜，因此建議採用決策支援系統作為操作性的工具，藉以辨認出讓機場跑道變得不安全的臨界暴雨情況。

## 2. 輪胎與鋪面側滑阻力

輪胎與鋪面側滑阻力有賴於表面粗糙性的變化，可將此粗糙性區分為細質紋理(microtexture)與粗質紋理(macrotecture)二類，另外還有一項重要的特性為不規則度波長，三者的關係可以圖 1 表示。則側滑阻力(SN)可以表現如式 1，由圖 2 可看出在速度 40 km/h 的狀況下，側滑阻力對於粗質紋理、不規則度波長的敏感度很低，但對細質紋理則非常敏感。

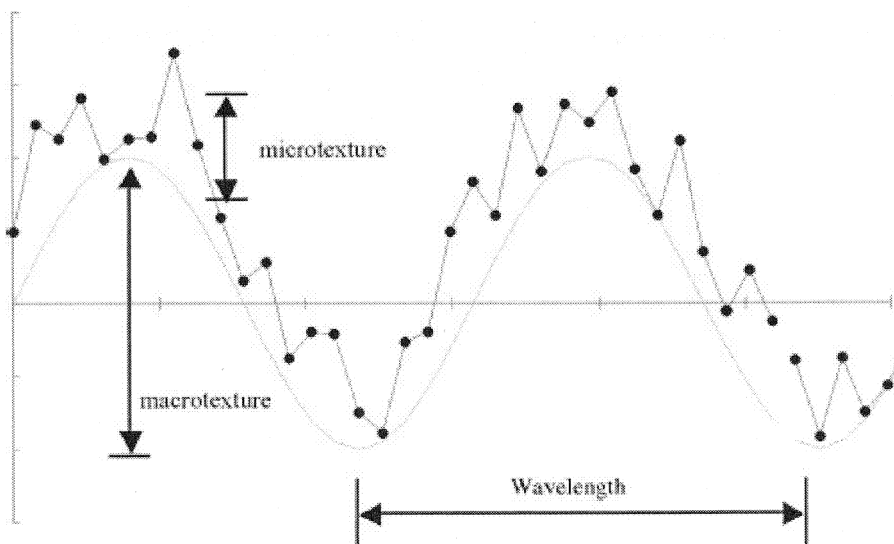


Fig. 1. Macro- and microtexture of a pavement.

$$SN_{40} = \frac{9.4m_i - 38}{4.25w^{0.1}e^{(0.14/m_a^{0.72})}} \quad (1)$$

where  $m_i$  is the average depth of the microtexture ( $\mu\text{m}$ ),  $m_a$  is the average depth of the macrotexture (mm) and  $w$  is the wavelength (average distance between asperities expressed in times greater than the depth of the irregularities themselves). The correlation factor  $R$  is computed to be 0.98 (Kokkalis and Panagouli, 1998). Eq. (1), for a speed of 40 km/h, shows a low sensitivity of SN from the macrotexture and from the wavelength, but the sensitivity is crucially relevant in terms of microtexture, as shown in Fig. 2.

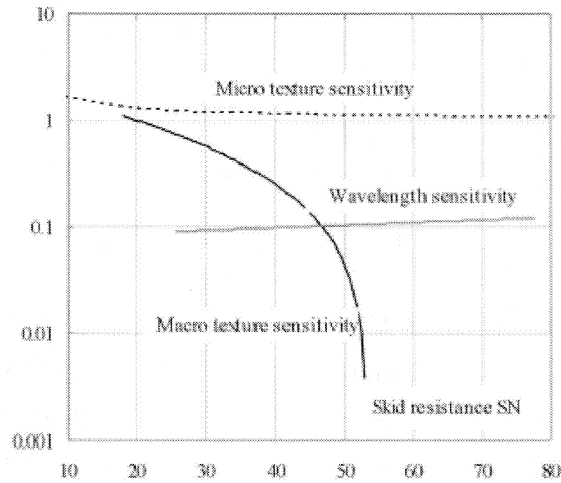


Fig. 2. Skid resistance sensitivity ( $\Delta SN (\%) / \Delta m_i$  or  $m_a$  or  $w (\%)$ ) to the pavement intrinsic characteristics.

### (1) 濕滑鋪面的側滑阻力

側滑阻力在濕滑鋪面上急速降低，降低的情況與水膜厚度密切相關。水膜厚度對於不同速度下飛機的側滑阻力之影響關係，如圖 3。

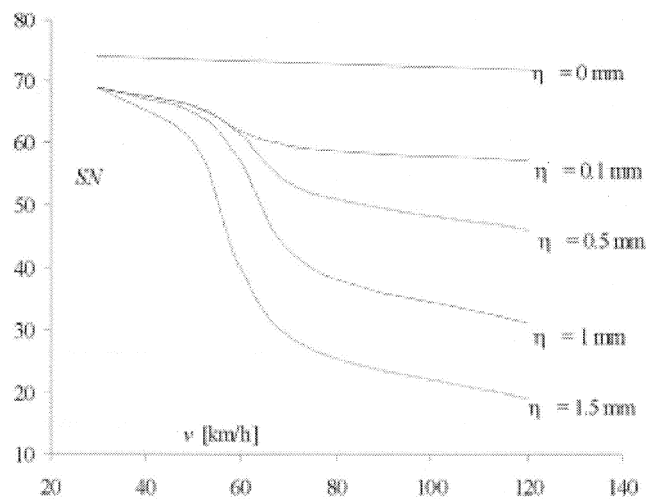


Fig. 3. Influence of water film depth and vehicle speed on the skid resistance.

### (2) 概念化的三點模式

三點模式採用普遍接受的假設，將輪胎和鋪面的接觸關係分為三個區域：沈沒區(輪胎浮在水膜中，不與鋪面接觸)、轉換區(輪胎和鋪面局部接觸而阻斷了水膜，細質紋理有機會形成阻力)和曳引區(輪胎會把水排開)。這個三點模式中，透過鋪面材質特性，建立了側滑阻力與水膜厚度的關係，如圖 4 所示，也顯示出這個模式和其他模式的結果頗為一致。

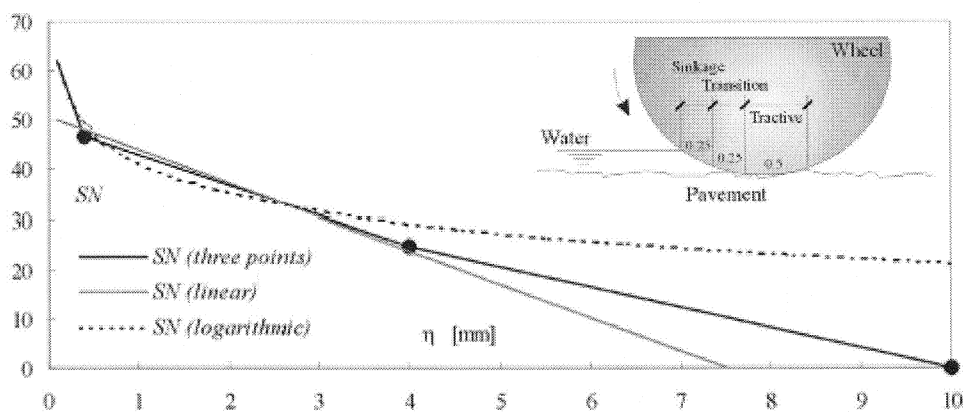


Fig. 4. Skid resistance-water depth (mm) models; conceptual model approach.

圖 4 側滑阻力與水膜厚度模式(概念模式)

### 3. 濕滑表面的水文評估

水膜厚度則由水文和鋪面幾何條件的臨界值來決定，因為是由降雨量和排水速度的差距，而形成了鋪面表面的水膜。其中降雨量可以水文條件來界定，而排水速度則由水工和幾何條件來決定，

#### (1) 水工與幾何臨界條件

鋪面表面的水膜厚度決定於鋪面表面的最大幾何坡度，和時均流速。其中跑道的最大幾何坡度，可以將跑道想像成一個斜坡，最大坡度和長度可以圖 5 表示。而時均流速則取決於鋪面的粗質紋理，可用曼寧係數 Manning coefficient  $n$  來表示，如圖 6。

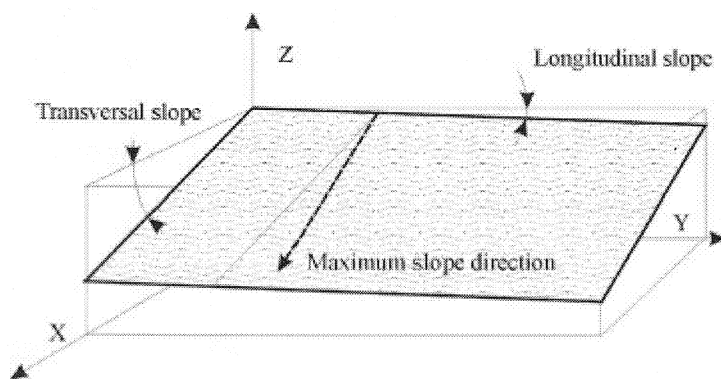


Fig. 5. Maximum slope path on surface pavement.

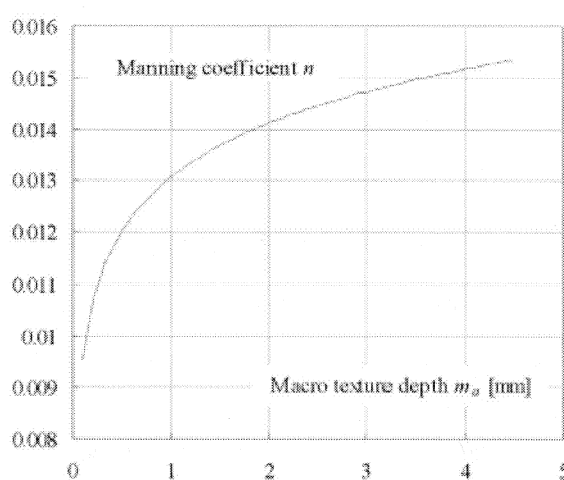


Fig. 6. Computed approximated relationship between hydraulic roughness ( $n$ ) and macrotexture ( $m_a$ ).

如前式 1 所示，側滑阻力會隨粗質紋理平均深度  $M_a$  的增加而增加，同時在暴雨情形下，水膜厚度則隨時均流速  $n$  而增加。

## (2) 水文臨界條件

已知降雨量和降雨期間( $\delta$ )、水文事件的重現期( $T$ )有相關性，將此關係式稱為 idf。關鍵的降雨期間長短  $\delta c(T)$ ，會受到幾何條件和水文集水區域的水工特性的影響。本文將累積降雨表現成長方形的累積形式，如圖 7 顯示米蘭機場某一短期間的時間對雨量之曲線圖，採用的資料如表 3，是蒐集米蘭機場雨量資料再計算得來的。

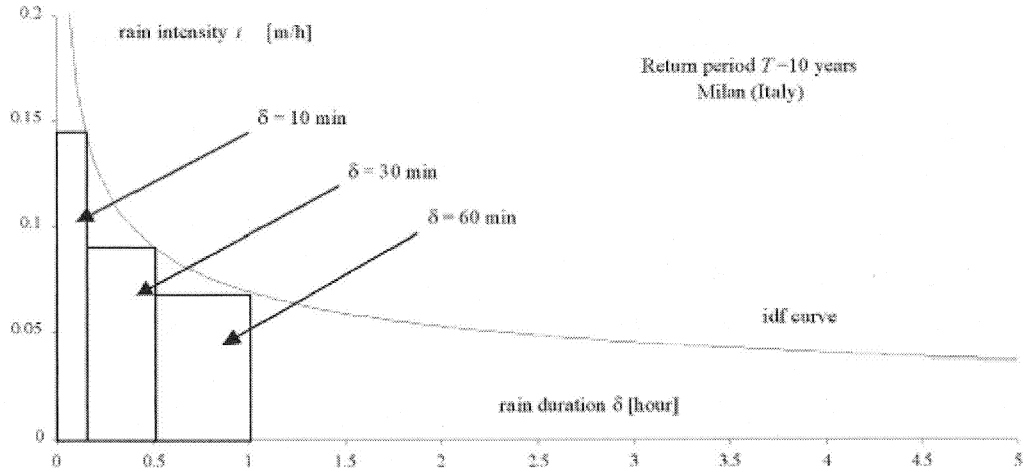


Fig. 7. Pulse hyetographs derived from the idf curves of Milan ( $T = 10$  years).

Table 3

Assumed rate  $r_\delta$  between the rain depth for very short durations  $\delta$  and the 1-hour depth

Duration (minute)	1	2	3	4	5	10	15	30	45
Rate $r_\delta$	0.13	0.18	0.22	0.27	0.32	0.48	0.60	0.81	0.91

### (3) 水膜的形成

形成水膜的過程如圖 8。

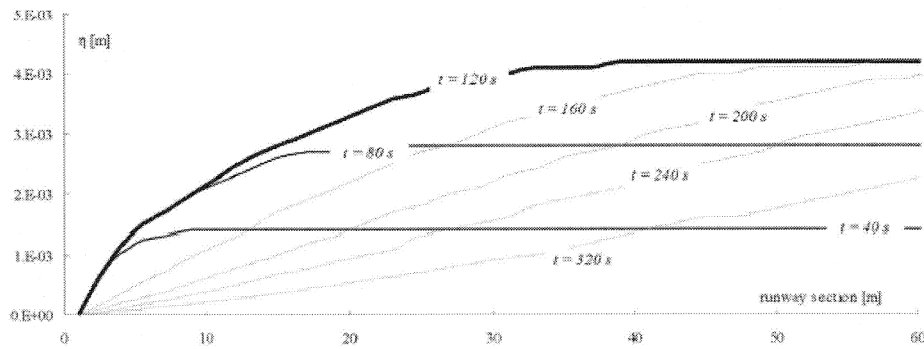


Fig. 8. The water layer creation on an indefinite inclined plane (slope=0.02;  $m_x = 5$  mm; rain intensity = 250 mm/h;  $\delta = 120$  s).

質能互換微分方程式可以寫如式 3，而鋪面材質特性可以式 4 表示。

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Omega U)}{\partial s} + \frac{\partial \Omega}{\partial t} &= q_{in} - q_{out}, \\ \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial s} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{q_{in} U}{g \Omega} &= -j, \end{aligned} \quad (3)$$

where  $\Omega$  is the wetted section,  $U$  the water velocity,  $h = \eta + z$  where  $z$  is the geometric head and  $\eta$  is the water depth,  $g$  the gravity acceleration,  $q_{in}$  and  $q_{out}$  the in- and outflow and  $t$  is time. The equations system can be numerically solved on a space-time grid, as shown in Appendix A. The inflow is the rain intensity and the outflow is the drainage through the pavement.



The texture pavement characteristics ( $m_a$  or  $n$ ) are represented in  $j$  function as follows, where  $q = U \cdot \Omega$  is the instantaneous flow:

$$j = j(m_a) = j(n) = \frac{q^2 n^2}{\eta^{10/3}}. \quad (4)$$

#### 4. 決策支援系統之討論

本研究採用的決策支援模式探討側滑摩擦的變化，可以式 5 表示。

$$SN = SN(\eta, m_i, m_a, w) = SN\{\eta[n(m_a), s_{\max}, L_{\max}, k, i(\delta_c, T)], m_i, m_a, w\}. \quad (5)$$

本研究並以米蘭 Malpensa 機場降雨統計的歷史資料來試算，該降雨統計的精密度很高，可以精細到 1 分鐘左右。首先，探討粗質紋理的重要性。側滑阻力會隨粗質紋理而增加，但水膜厚度也會隨粗質紋理增加而增加。那麼，粗質紋理越大，是否會有較佳的側滑阻力，或是會有較厚的水膜？或是，較差的粗質紋理代表水膜較薄？本研究採用 2 種不同的鋪面表面坡度，五種降雨期間，考慮 10-15 年間之重現期，模擬的結果如圖 9。

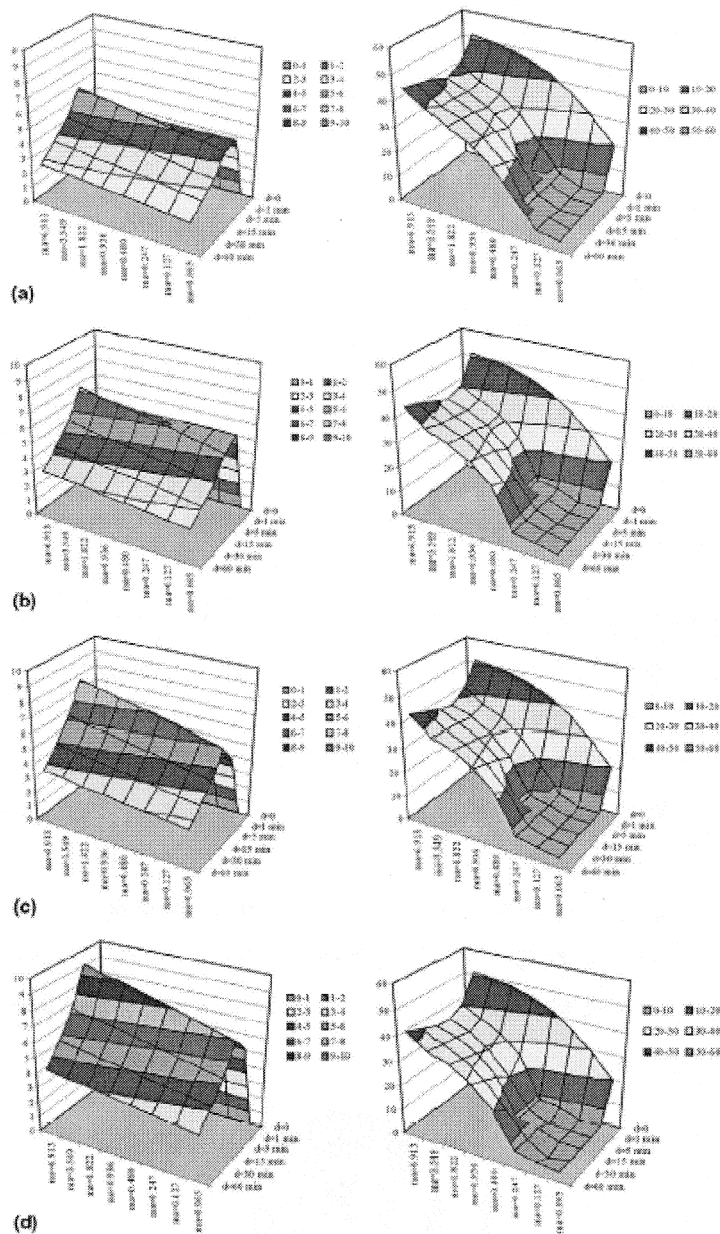


Fig. 9. Depth of water film in mm ( $\eta$ ) and skid resistance (SN) for different values of the pavement macrotexture and rain duration: (a)  $T = 10$  years, slope = 0.025,  $m_1 = 35 \mu\text{m}$ ,  $w = 13m_1$ ; (b)  $T = 50$  years, slope = 0.025,  $m_1 = 35 \mu\text{m}$ ,  $w = 13m_1$ ; (c)  $T = 10$  years, slope = 0.010,  $m_1 = 35 \mu\text{m}$ ,  $w = 13m_1$ ; (d)  $T = 50$  years, slope = 0.010,  $m_1 = 35 \mu\text{m}$ ,  $w = 13m_1$ .

圖 9 顯示在本個案中，最關鍵的情況是降雨期間約 5 分鐘左右，而對攸關起降安全的水膜形成而言，最重要的影響因素是跑道表面坡度。而對固定的坡度來說，結果大致顯示側滑阻力會隨粗質紋理的增加而增加，但是水膜厚度也會隨之增加。因此，建議可採取的鋪面管理策略是：要維持粗質紋理必須超過臨界水準，否則將會危及飛機操作的安全性。在決策支援系統裡可以設定一個符合安全標準的門檻值，經由系統運算出結果，再用暴雨期間側滑阻力之實際資料，作相同的運算，二者結果相比較，以供決策參考。米蘭機場的臨界情況如圖 10。

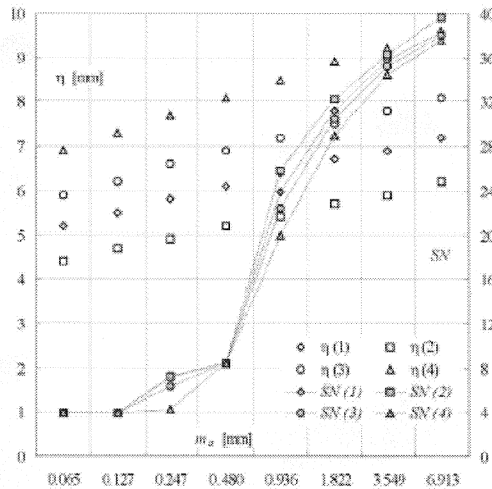


Fig. 10. Depth of water film in mm ( $\eta$ ) and skid resistance (SN) in most critical condition ( $\delta = 5$  min).

由此可知：(a)隨粗質紋理變大，側滑阻力也變大，但是水膜厚度也會變厚。(b)可以辨認出粗質紋理的臨界點，之後側滑阻力會急遽降低。例如圖 10 中的粗質紋理臨界門檻值，可辨認出在 0.9mm。

探討暴雨期間側滑阻力減少的相對比例也很重要。圖 11 顯示：當粗質紋理增加的時候，暴雨期間側滑阻力的減少會變得比較緩慢。因此，對機場跑道安全性而言，鋪面粗質紋理的良好標準變成是一種策略標的。原因是：(a)暴雨期間，鋪面如無不良的粗質紋理，側滑阻力顯然會好很多。(b)，鋪面的側滑阻力緩慢減少，所以在惡劣天候狀況下起降時，駕駛員的預期和事實相去不遠。

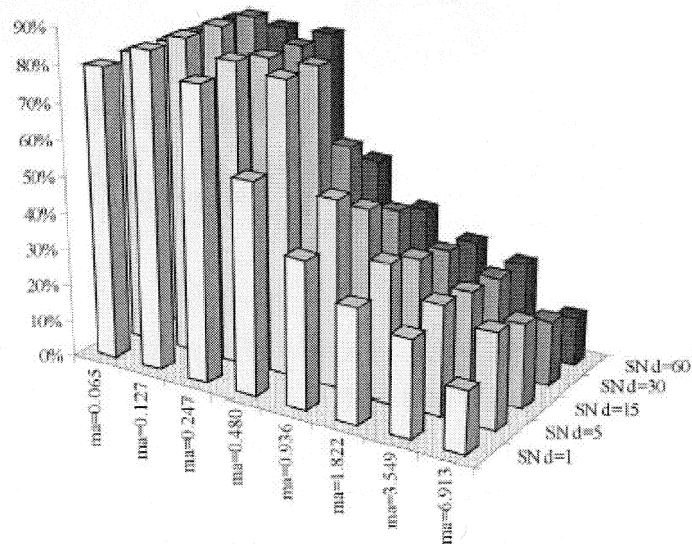


Fig. 11. Skid resistance reduction for different pavement macrotextures and rainfall durations.

事實上，開放級配鋪面應是對濕滑跑道起降最有效的解決對策，因為開放級

配鋪面的高下滲率，可以有效減少水膜，並使側滑阻力的減少略為輕微。圖 12 顯示四種不同鋪面的數值模擬結果，可以看出好的粗質紋理的鋪面(D3)，下滲率高，側滑阻力會非常接近於乾燥狀態；但是不良的粗質紋理(D2)，側滑阻力會降低約 50%。而對中低程度下滲率的鋪面(D1)，甚至完全不下滲的鋪面(D0)，側滑阻力會急遽衰減到無法接受的程度。

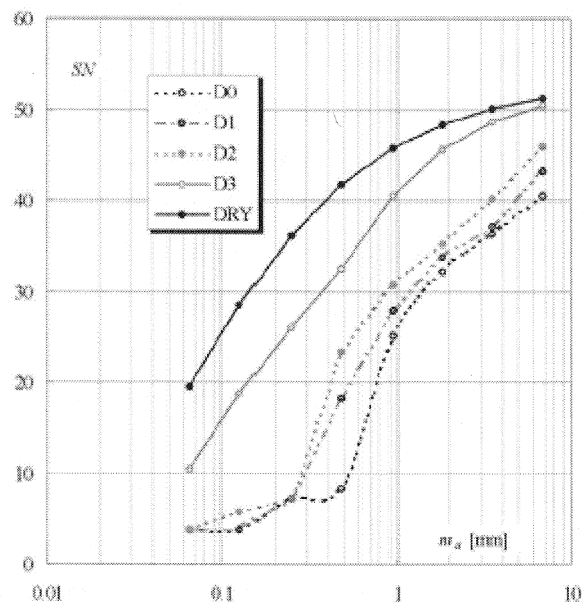


Fig. 12. Skid resistance for different draining pavements.

最後，應該要在危害分析的研究架構之下，來討論模擬的結果。此時，事件的重現期是非常重要的因素。結果顯示：在 10-50 年的重現期間，危險情況並沒有明顯的變化，因為(a)跑道有限的幾何條件，使得水流聚集的時間很短；(b)水膜厚度和側滑阻力的關係，是一種門檻值的模式，超過或低於門檻值，側滑阻力與水膜厚度的關係就變得很弱。降雨量變化(約 22%)表示水膜厚度的差異不大(約 1mm 以下的 15%)，所以對側滑阻力不具有關鍵影響力(約 2%)。

決策支援系統可以應用在現有跑道的管理上，也可應用在新機場、修復或延伸跑道的規劃上。就管理的角度而言，可以迅速準確分析安全性狀況和危害程度。特別是決策支援系統可以評估：(a)由統計角度，預測危害機場的重大事件，並依據可接受的安全標準設定相應的機場安全水準。(b)實際管理機場時，可即時量測降雨量與實際的跑道狀況，分析每一次起降的安全性。(C)對管理政策來說，可以評估何時應修復跑道鋪面。

而就規劃的角度，決策支援系統有助於評估計畫的安全條件，並可策略性的用於決定跑道之幾何條件和鋪面特性這樣的重大決策上。本研究的方法論可以摘要如下：

(a)水文研究以評估 idf 曲線

- (b)將 idf 曲線依據時間切分，以計算不同期間的預期降雨量
- (c)跑道幾何設計
- (d)鋪面設計
- (e)決策支援系統模擬，並作計畫驗證

## 5. 結論

濕滑跑道是飛機起降階段意外事故的重大成因。最關鍵的問題即是極高速度，和跑道的低排水性。此處必須指出，對於第一點，顯然我們無法降低速度。更糟糕的是，跑道的縱坡和橫坡受到許多限制，而且橫坡長度經常大於一般的道路。這就是暴雨時，跑道鋪面水膜會比較厚的原因。

必須動態模擬雨水累積的水工過程，才能找出導致濕滑跑道上航機起降的危害轉折點。因此需要一套決策支援系統，整合跑道相關的質能微分方程式，衡量各種因素在穩定和不穩定狀況之間的界線，包括：鋪面粗細質紋理、不規則度波長、下滲性能和降雨強度等。

本套決策支援系統可用在管理和規劃階段。米蘭機場個案研究的數值分析顯示幾項有趣的發現：

1. 粗質紋理是非常關鍵的，尤其是在暴雨時，其功能格外重要。事實上，良好天候條件下，側滑阻力主要視細質紋理而定，但惡劣天候時，側滑阻力卻有賴於粗質紋理。因為唯有粗糙程度較大的鋪面，才能穿透水膜，確保輪胎和鋪面能夠接觸。
2. 良好的跑道鋪面管理，必須維持足夠深度的粗質紋理。
3. 在跑道的規劃和設計階段，必須由濕滑跑道操作風險的角度，來適當考慮鋪面的粗糙程度和縱坡。因此水文研究是很基本的工作，應該要依據降雨時間長短區分降雨量多寡，以及採用動態取向的總體評估。
4. 為了有效降低水膜厚度，具有高度下滲性質的鋪面是值得進一步探究的解決對策。

## [文獻評析]

本文建立的決策支援系統，運用水工模型，在數值方法上整合了質能微分方程式，可以動態計算水膜厚度，進而可應用在跑道鋪面安全性的分析、評估與規劃上，對於相當具有實用價值。然而在建立模式時需要精密度很高的降雨量資料，如本研究所採用的米蘭機場降雨量資料細至 1 分鐘左右，同時也需要相當微觀的鋪面粗糙性資料(粗質紋理與細質紋理特性)，這兩項均並非很容易取得。因此會限制這個決策支援系統的應用性。

最後的結論仍回到鋪面材質的下滲特性，認為此為影響機場跑道安全性的關鍵因素，此結果與傳統看法並無重大差異。

## [相關文獻]

- Bell, F.C., 1969. Generalized rainfall-duration–frequency relationships. *Journal Hydraulic Division* 95 (HY1), 311–327.
- Balmer, G.G., Gallaway, B.M., 1983. Pavement design and controls for minimizing automotive hydroplaning and increasing traction, frictional interaction of tire and pavement. In: *ASTM-STP*, vol. 793.
- Domenichini, L., Remedia, G., 1992. Condizioni di deflusso su piani stradali in zone di transizione. In: *Proceedings of the XIII National Congress of Hydraulics and Hydraulic Works*, Florence, Italy.
- Domenichini, L., La Torre, F., 1995. Relationship between friction, surface characteristics and rain intensity to evaluate road safety. In: *Proceedings of the International Forum on Road and Safety Research*, Bangkok.
- Domenichini, L., Remedia, G., 1995. Il rischio di aquaplaning in zone di transizione stradali. In: *Proceedings of the World Congress of Roads*, Montreal.
- Gendreau, M., Soriano, P., 1998. Airport pavement management systems: an appraisal of existing methodologies. *Transportation Research A* 32 (3), 197–214.
- Goswami, A.C., 1973. Short duration rainfall depth-duration-frequency map of India. Decision with inadequate hydrologic data. In: *Proceedings of the Second Symposium on Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, pp. 48–56.
- Johnson, E.A., White, T.D., 1976. Porous friction course solves airport hydroplaning problem. *Civil Engineering* 46 (4), 90–92.
- Kokkalis, A.G., Panagouli, O.K., 1998. Fractal evaluation of pavement skid resistance variations. I: surface wetting. *Chaos, Solitons and Fractals* 9 (11), 1875–1890.
- Marchi, E., Rubatta, A., 1981. *Meccanica dei Fluidi*. UTET, Turin.
- Newell, B., 1991. Landing on frictionless surface. In: *Proc. Aircraft/pavement interaction: an integrated system*, Kansas City, Missouri, pp. 112–120.
- Pelloli, R., 1976. Road surface characteristics and hydroplaning. *Transportation Research B* (Record no. 624).
- Ross, N.F., Russam, K., 1968. *The depth of rain water on road surface*, Road Research Laboratory, Ministry of Transport, RRL Report LR 236.
- Scott Huebner, R., Reed, J.R., Henry, J.J., 1986. Criteria for predicting hydroplaning

potential. *Journal of Transportation Engineering* 112 (5), 549–553.

Stong, J.B., Reed, J.R., 1995. Water film depth and hydraulic resistance from runoff experiments on Portland cement concrete surfaces. In: *Proc. of Integrated water resources planning for the 21st century 22nd Annual Conference*, Cambridge, MA, pp. 129–132.

Veith, A.G., 1983. Tires, roads, rainfall, vehicles: the traction connection, frictional interaction of tire and pavement. In: *ASTM-STP*, vol. 793.

Zmindak, M., Grajciar, I., 1997. Simulation of the aquaplane problem. *Computers and Structures* 64 (5/6), 1155–1164.

# **Safety Aspects Of Aircraft Performance On Wet And Contaminated Runways**

Gerard W.H. van Es , Alfred L.C. Roelen, Eric A.C. Kruijsen,

Marijn K.H. Giesberts

EASS 1998, pp. 155-190

## **[英文摘要]**

The runway surface condition at airports is a critical safety concern. The exploratory study described in this paper examined the influence of wet and contaminated runways on the take-off and landing performance of aircraft. The operating problems, which arise when taking off from or landing on wet or contaminated runways, are explained in detail. Certification of operations on wet and contaminated runways is reviewed. Tests conducted by NLR on water covered runways are briefly described. In order to quantify the degree to which the runway surface condition is associated with the probability of an accident, both accident and movement data for West-European Airports were collected from the Air Safety databases of NLR. Accident and movement data were evaluated for 136 airports. The accident sample comprised 91 overruns and veer-offs. The study concludes that there is a four-fold increase in the accident risk for aircraft operating on wet and contaminated runways.

## **[中文摘要]**

本研究的主要目的在於回顧濕滑跑道之操作問題以及認證程序，並且利用數量化的方法來探討濕滑跑道與航機意外事故發生率之間的關係。本研究針對濕滑跑道起降操作對於航機性能表現，以及可能發生危害飛航安全之問題，進行說明，包括航機減速性能衰退、航機加速阻力增加、水飄、方向控制以及其他損害等。並探討認證程序，最後以歷史資料統計分析濕滑跑道的事務機率。

## **[內容]**

### **1.濕滑跑道之操作問題**



濕滑跑道對於航機的起降性能表現以及飛行安全有顯著的影響，根據 JAR AMJ25X1591，跑道道面情況有下列幾種定義：

- I. 乾跑道。
- II. 濕跑道(跑道溼潤但無明顯積水)。
- III. 25%面積遭水、融雪(slush)或是新雪(loose snow)覆蓋超過 3mm 之跑道。
- IV. 遭 compacted snow 覆蓋之跑道。
- V. 結冰跑道。

本研究中所指的濕滑跑道是以後三項定義為主。然而值得注意的是，由於整條跑道面上的積水、融雪或是結冰情況可能都不一樣，而且積水深度也可能隨跑道不同區域而異，因此判斷道面積水屬於何種情況絕非易事。

本研究為進一步了解濕滑跑道對於航機操作以及事故發生之機率的影響，航機動態資料來源採用西歐資料庫 NLR Air Safety Database，分析 134 座國際機場 1976-1995 年間，5700 公斤以上航機於起降時衝出跑道之濕滑跑道意外事件共 91 件，進行數量化分析，蒐集包括機場動態資料與氣象資料，分析航機起飛與落地之事故成因與跑道情況之間的關係。並採用 Boeing 以及 ALPA 提供的資料輔助。此外，為瞭解濕滑跑道起降與航機意外事件之關係，便須取得每一事故發生時之確切天候資訊，然而此法太過費時且昂貴，因此本研究採用長時間的航機起降次數總量，配合美國聯邦氣象機構(Federal Climate Complex Asheville)全球機場氣象資料，以其中過去 20 年來各氣象站以每 3 小時為觀察基準之每月降雨次數資料，來計算跑道溼滑的次數。透過此計算方法，配合個別機場的起降航機動態資料(from NLR Database)，可以求得 1976-1995 年間，有 24%的航機於濕滑跑道上進行操作。

本研究除了運用一般統計方法以及單一變量分析(Univariate Analysis)意外事件與濕滑跑道間的關係之外，並且採用雙變量(Bivariate Analysis)之風險率的計算模式，求取濕滑跑道操作與一般跑道操作之事故發生機率，其模式如下：

$$RR = \frac{a/A}{n/N}$$

a = 濕滑跑道事故數量

A = 一般跑道事故數量

n = 濕滑跑道的起飛與降落次數

N = 一般跑道的起飛或降落次數

計算結果若為「1」代表濕滑跑道事故發生率與一般跑道相同；若結果大於「1」，則表示濕滑跑道事故發生率高於一般跑道，研究結果如表 7 所示。

Table 7: Risk Ratio for several combinations of aircraft type and flight phase.

Flight phase	Jet & Turboprop aircraft	Jet aircraft	Turboprop aircraft
Take-off & Landing	4.1	4.1	3.9
Take-off	3.2	2.5	10.8
Landing	4.4	4.9	3.2

All Risk Ratios are significant at the 0.05 level.

本研究針對濕滑跑道起降操作對於航機性能表現以及可能發生危害飛航安全之問題進行說明，包括航機減速性能衰退、航機加速阻力增加、水飄、方向控制以及其他損害等，分述如下：

### 1.1 航機減速性能衰退

輪胎與跑道之間的摩擦力為煞停航機最重要的因素，然而濕滑跑道卻直接造成跑道與輪胎間的摩擦力降低，本研究以波音 737 客機在不同跑道情況下，地面速度以及煞車摩擦係數間的關係為例(圖 1)，說明此一情況。此外，透過跑道面側向溝槽紋路的建置，以及改善跑道面之結構，能夠有效的提升濕滑跑道上航機輪胎的煞車性能。

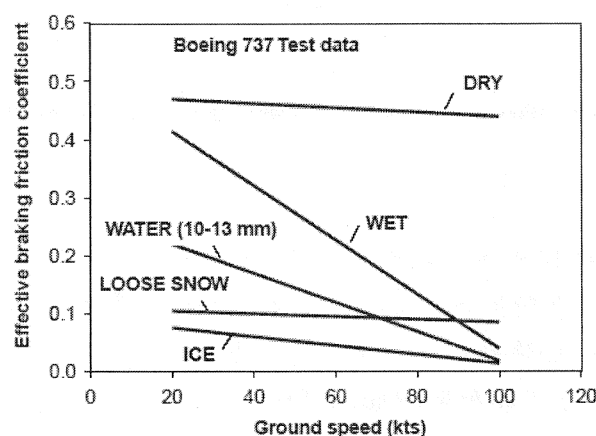


Figure 1: B-737 Tire-to-ground braking performance for different runway conditions.

### 1.2 航機加速阻力增加

道面上堆積之降水(雨水、融雪、新雪)導致航機阻力增加，降低加速性能的主要原因為航機滾行時輪胎排水以及揚起之積水(雪)撞擊機身所造成。道面積水(雪)所造成之阻力總和隨著積水(雪)之深度以及航機地面速度的平方成線性關係。圖 2 與圖 3 分別說明 BAC1-11 以及 B737 客機加速時，積水和新雪(loose snow)造成之輪胎額外加速阻力與地面速度間的關係。

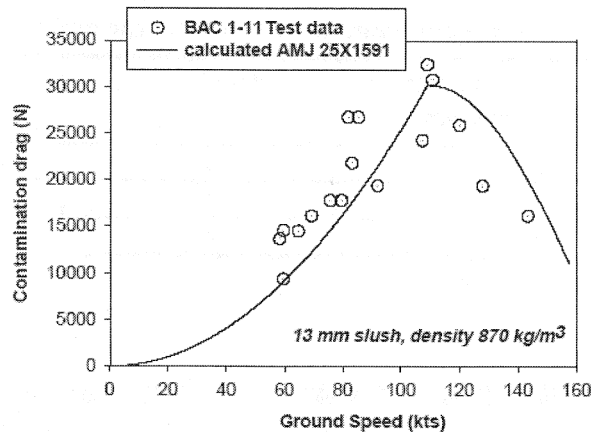


Figure 2: Contamination drag versus ground speed of a BAC 1-11 aircraft.

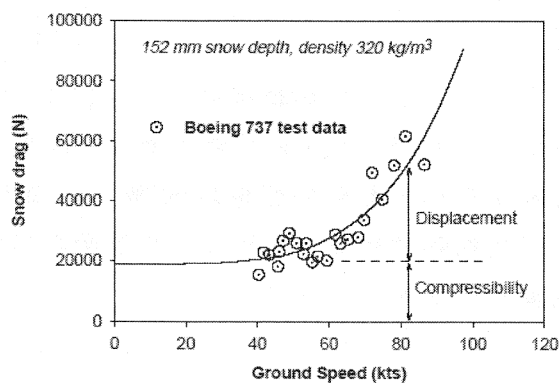


Figure 3: Snow contamination drag versus ground speed for a B-737 aircraft.

### 1.3 水飄問題(註)

水飄對於航機起降操作有相當嚴重的影響，例如航機於濕滑跑道落地時若遭遇水飄，將可能造成自動煞車、反推力裝置或減速板等輔助減速工具延遲甚至未啟動，導致無法及時煞停而發生危險。過去對於水飄問題的研究很多，圖 4 說明在相同胎壓下輻射胎(Radial Ply)的水飄發生速度比交叉布層輪胎(Cross Ply)低 27%；透過圖 5 與圖 6 則可以看出一般航機的起降操作速度皆高於理論上所計算出的水飄發生速度，意即於濕滑跑道操作之航機遭遇水飄之機率很高。

(註)依據專家座談會意見，本處所指的狀況是跑道並非全濕狀態所遭遇的水飄問題，此時輪胎會被鎖死，造成偏滑，或發生因水飄而削掉一塊輪胎等的危害。

此部分感謝與飛安基金會王董事長之協助與確認。

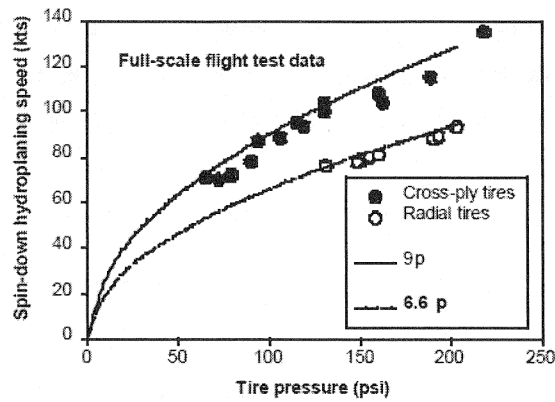


Figure 4: Experimental hydroplaning speeds versus tire pressure on water covered runways.

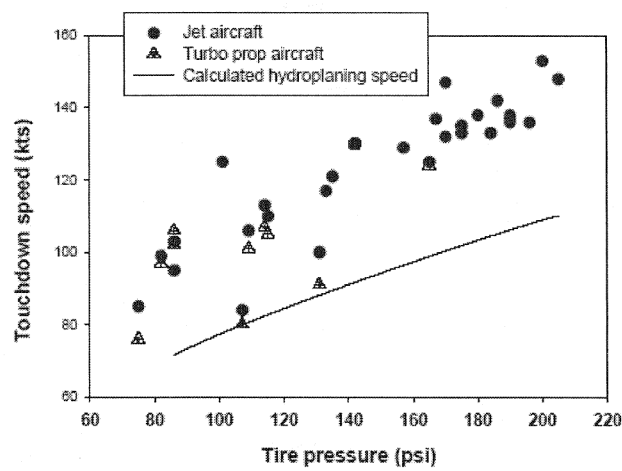


Figure 5: Touchdown and hydroplaning speeds versus main gear tire pressure.

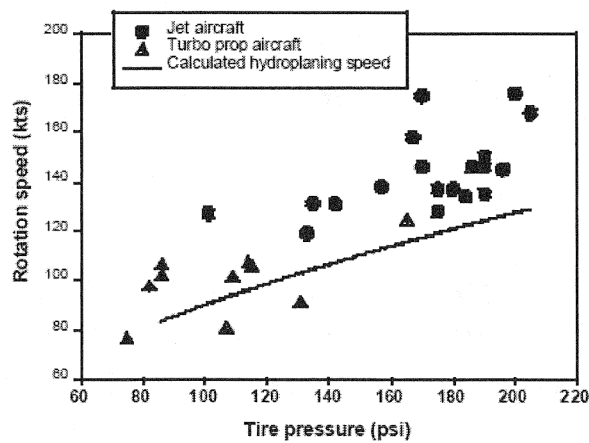


Figure 6: Rotation and hydroplaning speeds versus main gear tire pressure.

#### 1.4 方向控制問題

航機於濕滑跑道操作時若遭遇側風影響，將使原本即因為道面積水造成輪胎側向摩擦力減低的情況更加嚴重，此時若同時使用反推力裝置減速，極有可能導致航機偏離跑道中心線而發生危險。圖 7 與圖 8 分別說明輪胎側向力係數與跑道情況間的關係，以及 F-28 客機之最大側風和煞車摩擦之間的影響。

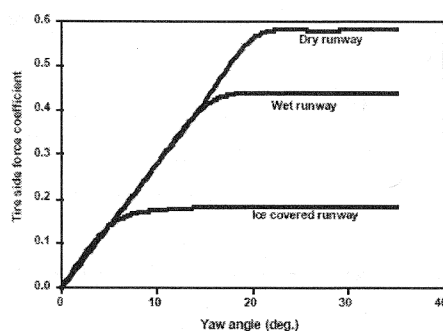


Figure 7: Tire side force coefficient as functions of tire yaw angle and surface conditions.

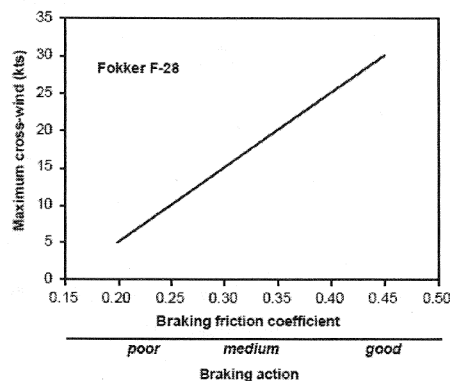


Figure 8: Maximum crosswind versus braking friction for an F-28 aircraft (from Ref. 15).

## 1.5 其它損害

如發動機吸入融雪造成推力降低、襟翼結冰或遭雪花撞擊受損。

## 2. 認證程序

就認證面而言，本研究討論 FAA 與 JAA 等制度面對於濕滑跑道操作相關規定的優缺點，雖然 JAA 的 AMJ 25X1591 與 FAA 的 AC-91-6A 飛航通告，針對此類操作與性能評估皆有相關規定，然而相較之下，AMJ 25X15912k7 的內容較為詳盡，並且提供數量化的方法來計算航機之濕滑跑道操作性能，不過 AMJ 25X1591 仍有其限制，例如：其用以計算積水所增加之阻力的方法，大幅低估其對於小型航機(business jet)的影響；計算積雪影響的方法與計算積水的模式相同，但實際上雪可以被壓縮，而水則否。目前已有針對 AMJ 25X1591 上述缺點的計畫進行當中。再者，雖然 FAA 並沒有提供類似 JAA 的計算方法，但美國波

音與麥道公司皆有進行相關之研究。

另一方面，JAR-OPS 亦規定所有締約國進行濕滑跑道操作時必須遵照 AMJ25X1591 的相關規定；此外 FAA 和 JAA 皆有規定要求飛機製造商必須有避免航機於濕滑跑道或滑行道操作時激起之水花吸入發動機或是 APU 之設計(JAR, FAR 25.1029)；至於側風起降操作，FAR/JAR25.237 僅針對乾跑道操作時的側風風速有相關規定，而濕滑跑道的相關側風操作值須透過分析方法或是模擬方式取得，並未要求實際試飛的資料。

就實際操作面來說，飛行員在進行濕滑跑道起飛或降落之前，必須取得例如積水深度等足夠的資訊來計算相關的跑道長度、V1 速度以及最大起飛重量等，而這些資料多半來自於摩擦力測試器或是其他飛行員的回報資料，然而這些摩擦力測試器所測得之資訊或是飛行員回報資料，是否能夠確實反映航機在濕滑跑道上的操作表現以及輪胎摩擦力的情況，令人質疑，過去即有相關研究指出飛行員的報告與實際摩擦力之間的關係不顯著，因此目前仍有許多跑道摩擦力測試的相關研究仍在進行當中。

另一方面，就機場而言，根據 ICAO “Airport Services Manual, Part 2: Pavement Surface Conditions”，機場單位必須負責維護跑道摩擦力、定期運用測試機具評估跑道摩擦係數以及移除跑道之積雪，並且將這些資訊公佈於 AIP 當中。

### 3. 結論

1. 航機於濕滑跑道情況下操作的事故發生機率為一般跑道的 4 倍。
2. 噴射機與螺旋槳客機的事故發生率沒有顯著差異。
3. 濕滑跑道之起飛與落地事故風險發生率沒有顯著差異。

### 4. 建議

1. 飛行員若發現於濕滑跑道落地階段可能超過預定落地區域時，應考慮重飛。
2. 航機濕滑跑道操作的風險應傳達給所有的航空業者以及機場主管單位。
3. 濕滑跑道操作的側風忍受程度應被考慮列入 JAR 與 FAR 的適航規定之內。
4. AMJ 25X1591 的缺點應儘速改進。
5. 開始進行有關輻射胎水飄問題以及積雪阻力的相關研究。
6. 應針對例如北美等其它地區進行濕滑跑道相關風險評估。

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

本研究首先由定義、相關問題探討入手，採用 Boeing 及 ALPA 資料呈現濕滑跑道各項課題的統計趨勢；之後探討認證程序；最後再以西歐國際機場的歷史

資料分析航機於濕滑跑道上起降的事故機率。針對濕滑跑道的課題，探討範圍相當完整。

惟在資料分析上受限於氣象資料之取得不易，故採用 3 小時氣象資料來判斷航機起降是否在濕滑跑道狀態，此一作法可能會錯估在濕滑跑道上起降的機率，而使數量分析結果推論的正確性，受到質疑。

其次，由表 7 來看，螺旋槳客機在濕滑跑道上起飛時發生意外事件的機率，顯著高於其他。但本文未對此現象作進一步探討，殊為可惜。由此點切入時，在探討濕滑跑道起降的意外事件上，似乎應優先著重螺旋槳客機起飛的相關課題，例如優先探討螺旋槳客機在濕滑跑道情況下起飛之認證程序。

另外，本文針對跑道類型 III、IV、V 三種情況合併下所進行的研究，可能是受到統計方法上樣本數的限制。但在跑道類型不同的條件下，意外事故率是否也會不同？或者，意外事故損害的嚴重程度會不同？亦值得進一步探討。但考量樣本資料的限制，未來進行後續研究時，似乎不適合採用統計分析方法，可考慮採用新的事故預防或風險管理之研究取向，才不至於使研究受到資料數量不足的限制。

在飛航安全研究的領域中，濕滑跑道意外事件的研究相當完整。本文可作為我國進一步探討濕滑跑道意外事件的研究基礎。但對我國的天候條件來說，應特別針對跑道類型 III 的濕滑跑道意外事故進行後續探討。故在採用國外相關研究資料時，應謹慎區分濕滑跑道事故之跑道類型，剔除積雪或結冰的意外事故之相關結論與建議。

## [相關文獻]

Anon., "Joint Technical Conference on Slush Drag and Braking Problems," FAA and NASA, December 1961.

Maltby, R.L. et al, "Some Measurements of the Drag Due to Slush on an Ambassador Aircraft," RAE, TN AERO 2968, 1964.

Jordan, A. (editor), "Proceedings of the International Meeting on Aircraft Performance on Contaminated Runways," Transport Canada, TP 12943, October 1996.

Lidström, M., "Aircraft Rolling Resistance in Loose Dry Snow," VTI Rapport 173A, 1979.

Agrawal, S.K. "Braking Performance of Aircraft Tires," *Prog. Aerospace Sci.*, Vol. 23, pp. 105- 150, 1986.

Van Es, G.W.H., "A Note on Aircraft Tire Hydroplaning," National Aerospace Laboratory NLR, Department of Flight Testing & Safety, Memorandum VV-97-009,

Amsterdam, June 1997.

Giesberts, M., “*Precipitation Drag Measurements Obtained in a Pond for a Citation II*,” National Aerospace Laboratory NLR, TR-97574 L, Amsterdam, December, 1997.

Bastian, M. et al, “*Braking Friction Coefficient and Contamination Drag Obtained for a Falcon 20 Aircraft on Winter Contaminated Runways*,” NRC, LTR-FR-132, Sept. 1996.

Anon., “*Understanding Contaminated & Slippery Runway Performance*,” Flight Operations Symposium, Boeing Commercial Airplane Group, 1991.

Fender, C.S., “*Published Crosswind Values*,” FAA, September, 1996.

Baldasare, P. et al., “*Evaluation of Two Transport Aircraft and Several Ground Test Vehicle Friction Measurements Obtained for Various Runway Types and Conditions*,” NASA TP-2917, 1990.

Anon., “*An Evaluation of Winter Operational Runway Friction Measurement Equipment, Procedures, and Research*,” submitted by the Winter Runway Friction Measurement and Reporting Working Group, 1995.

Anon., “*Large Airplane Operations on Contaminated Runways*,” NTSB, Special Investigation Report SIR-83/02, 1983.

Anon., “*Airport Services Manual, Part 2: Pavement Surface Conditions*,” ICAO Doc 9137- AN/898, 1984.

Biggs, D.C. et al, “*Aircraft Take-off Performance and Risks for Wet and Contaminated Runways*,” Transport Canada, TP 10888E, June 1991.





# **The Normalization of Aircraft Overrun Accident Data**

I. Kirkland, R. E. Caves, M. Hirst And D. E. Pitfield

Journal Of Air Transport Management, Volume 9, Issue 6,2003,

Pp.333-341

## **[英文摘要]**

This paper is concerned with normalising runway overrun aircraft accident data so as to allow all accident data to be properly relevant to any overrun accident investigation. This task is part of a wider research task that addresses the need for models to assess the risk of aircraft operations at any particular airport based on risk management principles and to use all available data on previous accidents. The case of runway overruns is taken because new regulations require consideration of the provision of much longer Runway End Safety Areas than had been previously the norm. The reported research collects accident data and then describes its normalisation based on corrections made due to the effects of terrain, aircraft performance and required distances on the accident locations.

## **[中文摘要]**

針對航機衝出跑道的意外事故，本文提出資料標準化的方法，以使事故資料與各種相關調查資料，能夠建立起正確的相關連性。本文是一大研究中的一部份，該研究認為應發展出一些模式，以便能夠基於風險管理原則評估所有機場的飛航操作，並可運用所有可用的先前事故資料。該項大研究蒐集了事故資料，並以事故發生地點的地形特徵、航機操作特性、要求長度等因素，修正事故資料，使之標準化。該研究選擇衝出跑道事件為研究對象，是因為新實施的法規，相比於之前的規範，要求更長的跑道端安全地帶（Runway End Safety Area），但是否所有的跑道都需要如此長的跑道端安全地帶，其實是有待商榷。

## **[內容]**

### **1. 引言**

ICAO 要求機場在跑道盡頭至少設置 90 公尺之跑道端安全地帶，此一規範是依據過去調查報告歸納而得。然而各機場環境條件因素皆不相同，因此過去對

於衝出跑道之研究，都僅能侷限於各項環境條件因素相似之機場。本研究針對數項可能影響衝出跑道事件之因素，包含機場周圍地形對航機加速度之影響、航機性能因素之調校、起降跑道長度之調校，將衝出跑道之歷史資料標準化，建立一具有同質性（homogeneous）的衝出跑道資料庫，藉以整合各地機場衝出跑道事件之調查。

本研究首先回顧了先前有關航機之起飛/爬升和進場/降落階段的風險評估研究，其次蒐集衝出跑道的事故資料，無論就事件數量或單一事件紀錄的完整性而言，所建立的資料庫都比先前研究使用的更為廣泛。第三，需要將資料標準化，以便各筆紀錄均可直接相互比較，而無須顧及航機預期的操作狀況。因此進行了一系列的衝出跑道之影響因素與成因的雙變數分析，建立部分量化模式，以供估算衝出跑道的機率、航機停止的最後位置、和衝出跑道事件後果的嚴重性。本文主要關注資料標準化的過程，以建立具備同質性的衝出跑道事故資料庫。本文將說明先前的相關研究，接著說明資料庫標準化的過程，以及針對地形、航機操作特性和必要距離等因素之修正方法。

## 2. 前期研究：風險評估與航機事故

針對衝出跑道的意外事故的前期研究文獻，主要為 CAA 1998 的報告；另外還有一些相關研究，但都有以下特性。第一，缺乏資料，尤其是缺少每一事故的詳細資訊，一般研究都只能將就手邊有限的資料。第二，事故與機場之相關性的界定，經常是主觀界定的；但這種相關性會影響預測的事故率等研究結果。例如有些研究會將研究對象限定於某些地理區域，以求合理的相似性；有些研究則刪除一些與地形相關的事故，因為研究對象的機場所在地不具備類似的地形條件。然而主觀判斷會造成兩個問題：第一，如何確認該項風險因素絕對不會出現；第二，人為刪除事故會低估事故率。並沒有相關研究試圖探討這些問題對於衝出跑道事故率的影響，這是本研究的主要目的。第一步即是要建立一套新的、經過標準化的事故資料庫。

## 3. 新的標準化資料庫

本研究運用大多數已有的事故資料，以標準機場的參數，將資料標準化，以使用於各種分析。原始資料中事故航機最後停止的位置與跑道端點的關係，如圖 1 所示。設定標準機場的狀況為位於海平面，國際標準大氣條件，水平、硬鋪面、無止盡的跑道。因此需要更正地形特性的影響，還有標高、氣壓和坡度對於航機操作的影響。

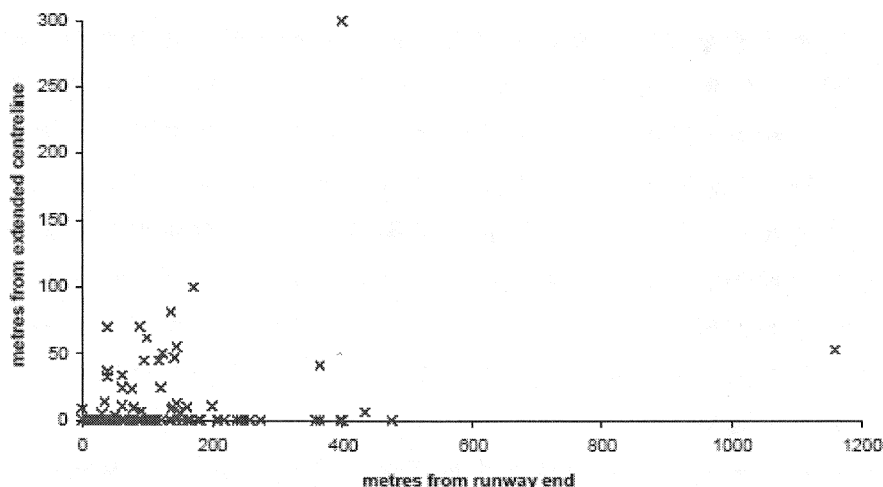


Fig. 1. Locations of raw landing overruns relative to the runway end.

### (1) 地形特性的修正

用三個例子來說明修正地形特性的方法，三例的飛航資料紀錄器(FDR)之減速特性如圖 2 所示。對於可由飛航資料紀錄器取得減速資料的部分，假設在跑道最後 400m 可以固定減速率持續減速。對於無法由飛航資料紀錄器取得減速資料者，但是有航機重量、跑道端點速度、衝出跑道的距離、跑道盡頭的地面條件等資料時，可以不同的方法修正地形特性。可用式 1 估算衝出跑道後的平均減速度。

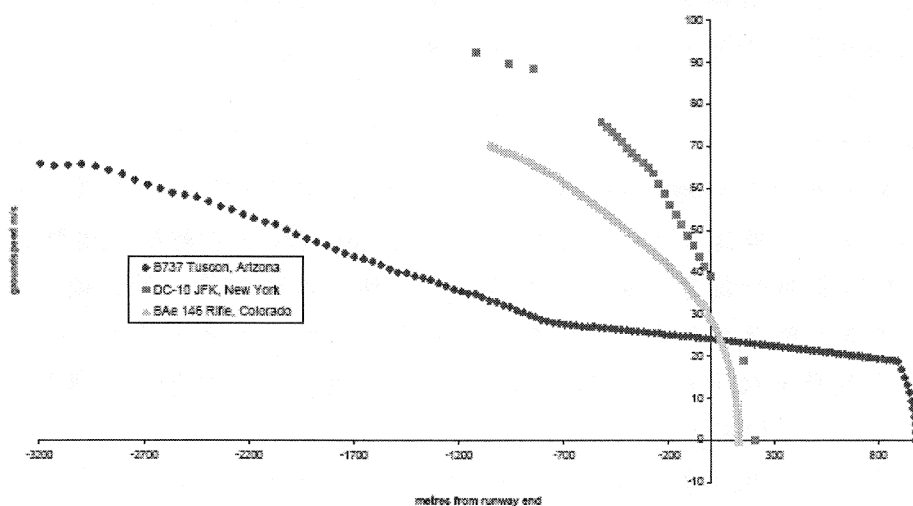


Fig. 2. Examples of overrun deceleration characteristics.

式 1

$$a = \frac{V^2 - u^2}{2s}, \quad (1)$$

where  $V$  is final velocity ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $u$  is initial velocity ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $a$  is acceleration ( $\text{m s}^{-2}$ ),  $s$  is displacement (m), (m s is metres per second and m is metres).

有幾個因素會影響航機的減速度。包括航機行駛的地面狀況、航機的空氣動力因素、煞車和反推力、航機的原始速度等。本研究假設可以忽略煞車的空氣動力效果，因為航機在離開跑道時通常速度已經很慢了。根據迴歸分析的結果顯示：跑道的表面狀況並非航機減速度的主要決定因素，更重要的是駕駛員的反應。另一項迴歸分析結果顯示：與結冰鋪面相比，出現顯著的統計差異的鋪面狀況為障礙物、水面或碎石路面。第三項迴歸分析將地面狀況再依據前向迴歸分析的檢定結果作進一步的群組，概略區分地面為三類，結果雖然顯示出三種地面狀況彼此之間的差異非常顯著，但迴歸式的統計解釋能力不及前項迴歸式。

對於無法由飛航資料紀錄器中取得減速資料的事故，航機最後停止的位置之標準化公式可以式 2 表示，其中依據本研究迴歸分析得到參數如下：p：濕草地、乾草地、乾鋪面時為-0.0185；泥土或碎石表面時為-2.8065；障礙物、水面時為-8.5365。而 q 對所有狀況都是常數，單位為 ms。

$$\text{Acceleration } a = p + q (\text{runway exit speed}) \quad (2)$$

當航機衝出跑道的速度已知時，式 2 可以計算出航機在標準地面狀況下的移動距離。若航機衝出跑道的速度不明時，則可依據實際的地面狀況，用衝出跑道後的距離來帶入式 2 計算起始速度，之後再用這個計算出的起始速度，來求算標準地面狀況下的移動距離。

## (2) 航機性能的修正

航機的降落距離和減速到停止的距離，深受環境條件的影響；重要的影響因素有三：跑道坡度、跑道標高和氣壓。跑道坡度會影響減速到停止的距離，跑道標高和氣壓則會同時影響降落距離和減速到停止的距離。受到這些因素影響，降落距離和減速到停止距離在各機場間的差異很大，所以要模擬航機最後停止位置時，也必須標準化這些因素。一般的修正數據取自 ICAO 的數據資料(1984)。

首先修正坡度的影響。參考機場設計手冊的建議，在坡度方面，在起飛方面的需求是每 1% 的坡度，距離需增加 10%；在高度方面每 300 公尺高度應增加 7% 的距離；在氣溫方面，凡每高於標準氣壓溫度攝氏 1 度，則增加跑道長度 1%。這些修正對衝出跑道事故資料庫中大多數的數據沒有影響，只有約 5% 的衝出跑道事故發生在標高 2000ft 以上的機場，約 1% 發生在攝氏 30 度以上。

飛行手冊的數據也用在修正航機衝出跑道後的實際運作狀況，包括頂風和尾風的影響。但因缺乏參考數據和可靠的資料，所以不對濕滑跑道作修正。

### (3) 必要距離的修正

修正後的衝出跑道到停止的移動距離如圖 3 所示。與圖 1 多數資料都小於 500 為相比，出現許多大於 1000m 的狀況。完全標準化的數據相對於落地距離需求之比較如圖 4，最後將衝出跑道表現成必要距離的百分比，如圖 5。顯示出有些衝出跑道的實際距離是標準距離的 2 倍以上。

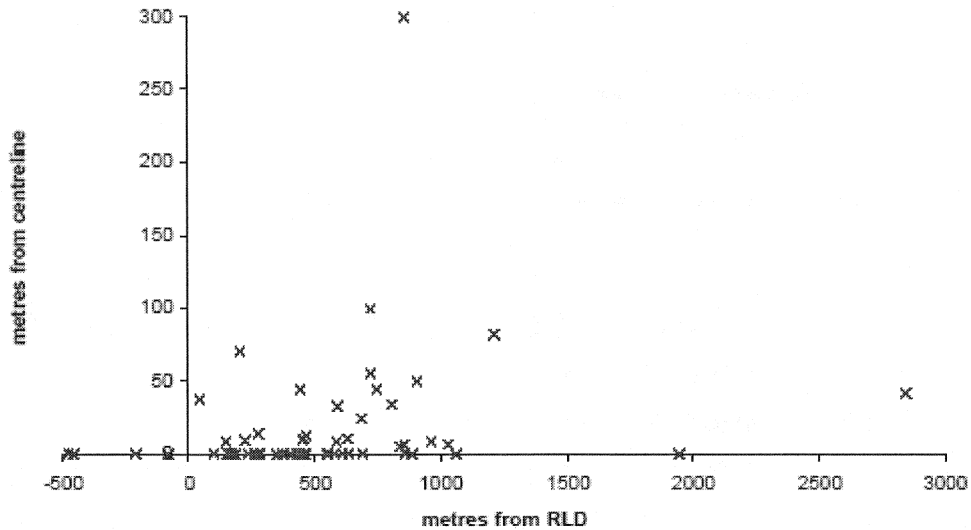


Fig. 3. Landing overrun locations relative to the required landing distance.

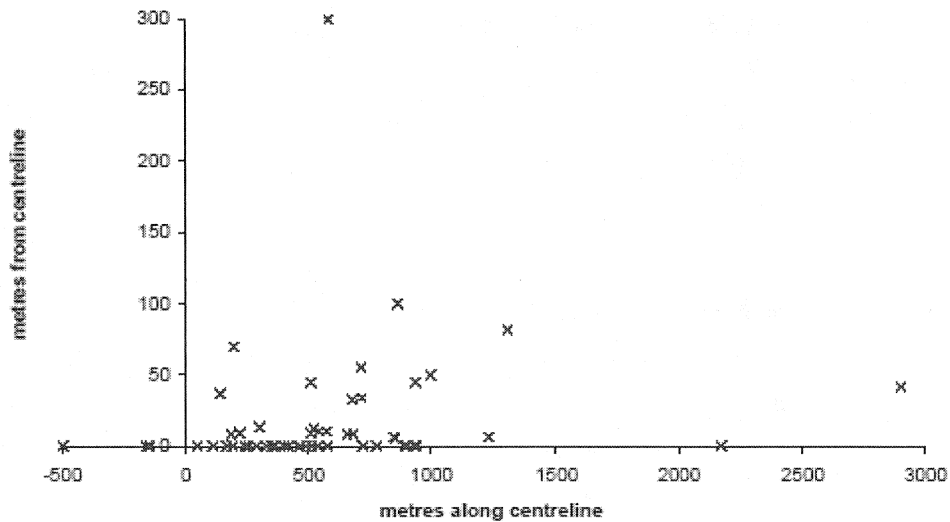


Fig. 4. Fully normalised landing overrun locations relative to required landing distance.

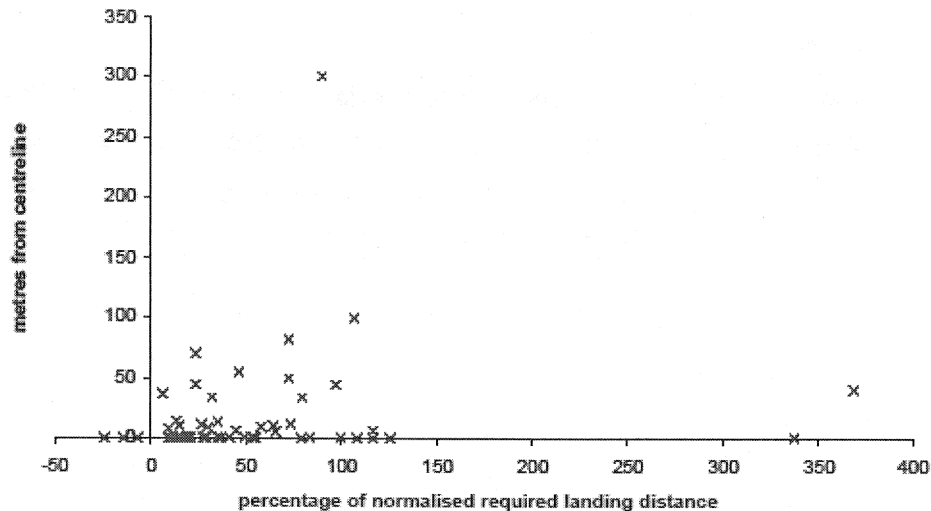


Fig. 5. Landing overrun locations, fully normalised and as a percentage of required landing distance.

實際操作時，駕駛員不會蓄意追求最小需求距離。駕駛員會依據實際狀況，判斷是否有足夠的緩衝距離。一旦遇到緊急狀況，並非標準必要距離，而是實際的跑道鋪面距離才是決定風險程度的關鍵因素。即使如此，本研究用航機衝出跑道到停止位置的絕對距離，也有助於判斷未來的風險，並評估現有風險管理程序下是否可以認為，對各類機場而言，所有的跑道運作的操作危險比例都相當接近。這樣的作法顯然忽略了擴大緩衝區的價值；而在現行的管理方式下，緩衝區包括了駕駛員主動的操作緩衝區，還有被動的機場保護設施，也就是所要求的跑道端安全地帶。

本研究沒有將事故分類為正常或失常飛行，但可依據最小需求距離和實際的跑道狀況，導出航機衝出跑道到停止的距離資料。此處的距離均依據機場條件予以標準化，而實際移動超出的距離則表現為需求距離的百分比。如此可在單一資料庫內，結合各種航機的資料。

#### 4. 結論

本文說明如何蒐集資料，並以地形和航機操作特性作為地區條件的函數，再加上需求長度，來修正這些資料。相比於先前業界或政府相關單位的資料庫，無論是以事故次數或機場數量來說，這樣都可以運用更多更廣泛的資料。這樣可以將實際的航機操作狀況、預期的航機操作狀況和地形條件等，均予以標準化。最後可將每一件衝出跑道的事件，表達成一個預期（必要）長度的比例。這使得資料可以直接相互比較，或具備同質性。因此可以在類似條件下進行有意義的比較，並可運用資料建立各機場的風險模式。這樣的模式才能不受特殊條件的限制，而能應用在所有機場。

## [文獻評析]

本文嘗試修正地形、航機性能與需求距離等因素，使不同地形特性、航機性能、需求距離等因素各不相同的衝出跑道事件資料，具備可比較的基礎。因此可取得較多的事件資料樣本，有助於數量化的分析衝出跑道事件。

## [相關文獻]

Ale, B.J.M., Piers, M., 2000. The assessment and management of third party risk around a major airport. *Journal of Hazardous Materials* 71, 1–16.

Bade, E., 1968. *Soft ground arresting of civil aircraft RAE Technical Report 68032*, Royal Aircraft Establishment, Farnborough.

Biggs, D.C., Hamilton, G.B., Owen, K.D.J., McLeish, W., Black, F., 1994. *Aircraft Takeoff Performance and Risks for Wet and Contaminated Runways in Canada* TP11966E Sypher Mueller International Inc., Ottawa.

CAA, 1998. Civil Aviation Authority. *Risks from aeroplanes overrunning aerodrome runways*. UK Civil Aviation Authority, London.

CAA, 2001. Civil Aviation Authority. *Licensing of Aerodromes, CAP 168*, UK Civil Aviation Authority, London.

Cowell, P.G., Gerrard, R., Paterson D.S., 1997. *A crash location model for use in the vicinity of airports*, NATS R&D report 9705, National Air Traffic Services, London.

Evans, A.W., 1997. *Third party risk near airports and public safety zone policy*, R&D report 9636, National Air Traffic Services, London.

Hillestad, R., Solomon, K., Stoop, J.A., Chow, B., Kahan, J., 1993. *Airport Growth and Safety—A study of the external risks of Schiphol airport and possible safety enhancement measures*. EAC-RAND, Santa Monica.

International Civil Aviation Organisation, 1984. *Aerodrome design manual Part 1 Runways Second edition Doc. 9157-AN/901*, International Civil Aviation Organisation, Montreal.

International Civil Aviation Organisation, 1999. *Annex 14—Aerodromes International Civil Aviation Organisation*, Montreal.

Jowett, J., Cowell, C.J., 1991. *A study into the distribution of near airfield accidents (for fixed wing aircraft of mass greater than 2.3Te)*. AEA Reactor Services. Safety and



Performance Division. United Kingdom Atomic Energy Authority, AEA RS 5168, Birchwood Park, Risley, Warrington.

Khatwa, R., Helmreich, R.L., 1999. Analysis of critical factors during approach and landing in accidents and normal flight, *Flight Safety Digest*,. Flight Safety Foundation, Alexandria.

Kirkland, I., Caves, R.E., 2002. A New Aircraft Overrun Database, Paper Number 02-2966 to *US Transportation Research Board at the 80th Annual Meeting*, Washin

# **New Requirement for Airport Certification is Major Step in Expanding Safety Oversight Activities**

Arun Rao

ICAO Journal 2002 Vol.57 No.2 pp9-10, 31

## **[英文摘要]**

With more and more airports becoming privately operated, ICAO has introduced a requirement for States to certify their aerodromes, a precursor to expansion of the organization's universal safety oversight audit programme.

## **[中文摘要]**

越來越多的機場改由私人單位營運，ICAO 對其締約國要求應導入一套認證機場的程序，作為 ICAO 全球安全查核計畫的第一步。

## **[內容]**

隨航空需求增加，為能更有效率的規劃和管理機場開發計畫，並賦予機場更大的財務自主性，過去由政府擁有和營運的機場，逐漸被移轉給自主的機場管理機構，但仍受政府的整體控制。雖然建立自主的機場管理機構，不必然會使不賺錢的機場變得具有獲利能力，但是全世界的經驗顯示，把機場(和其他航空服務)交付給自主管理機關，通常可以改善總體財務狀況。尤其是對機場的改善效果格外明顯。因此 ICAO 建議，衡量供給者和使用者的最佳利益，國家應考慮建立具備自主性的管理局來管理機場、飛航服務，甚至是兩者皆然，以改善效率和財務產出。

這個漸形興盛的趨勢，將機場營運和管理工作改由機場公司執行，並將政府營運的機場移轉給私人部門，可以部分減輕政府的資本投資負擔。也可以迫使在取得新機場的貸款或投資資本時，機場管理的成效必須直接受到開放的貸款市場之檢核。很顯然地，這個趨勢更可以讓機場免受某些管制，而獲得好處；像是可在機場裡開發更多的無關飛航的商業活動。

然而私人企業依循商業法則提供機場營運管理，仍有許多需要謹慎考慮的因素。私有化機場和飛航服務之營運管理的效果，可能會顯現在營運者對於 ICAO 管制的落實程度上，因為營運者必需要以商業投資的角度來營運這些設施。在這

樣的改變下，應該要由強化安全政策的考量，檢討主管機關的角色。

芝加哥會議賦予政府的責任，在於提供安全和適當的設施與服務，至今仍然沒有改變，國家仍然要執行安全防護工作。國家的飛安政策必須要確保在機場能持續提供安全的飛航操作。國家必須確保機場的營運者掌握適當的資源，具備有效營運機場的能力。因此，打從處理申請營運機場特許營運的流程開始，國家就應該要發揮其安全督導的功能，透過監督、評估，確保能提供適當的設施和服務。在這樣的情況下，目前最重要的是要求各國開始執行機場的認證。

### 新的 ICAO 規範

因此，ICAO 為避免民營機場因為營利導向而忽略飛安問題，特別在 2001 年 11 月 1 日生效的第四號修正案(Amendment 4 to ICAO ANNEX 14, Volume I) 中，首次提出機場認證的需求，要求所有締約國機場，凡開放公眾使用者，都應該經由國家認證，且要求締約國供國際航班使用的機場，應於 2003 年 11 月 27 日前取得認證。同時也提出另一項標準，要求所有機場都必須有完善的飛安管理計畫，此要求將於 2005 年 11 月 24 日起生效。

針對這些要求，ICAO 在新版的機場認證手冊(Manual on Certification of Aerodromes, Document 9774 )中納入了相關的指導文件。手冊內容包括：

1. 建立國家級認證制度的模式或修正範例；
2. 認證程序；
3. 機場營運人員應提出之機場手冊的細節；
4. 主管單位與查核機關之權責範圍；
5. 機場安全管理系統之概念；
6. 標準之主管機關組織架構圖；
7. 機場認證相關表格與證書範例等。

主要目的在於確保機場能維持 ICAO 第十四號附約(Annex 14, Volume I)所要求的最低安全查核標準，並統合締約國個別建立的準則。締約國必須檢討其飛航管理法令，以確保政府主管機關(通常是民航局)具有執行權責與適當的能力，能夠處理認證申請流程、執行現場查核、確保服務的品質與形式、評量營運者之競爭並給予認證。各締約國的民航局具備應有的管理規章和良好的認證制度，應給予其人員適當的訓練課程使其具備執行勤務的必要能力，並確保機場營運管理能與相關政府服務單位(如飛航管制單位、飛航安全單位、氣象單位等)，彼此之間有明確適當的整合。

所有機場都已經執行某種程度的安全管理系統，但是在政府管理鬆綁的趨勢中，機場營運管理確實需要系統性地落實政府安全管理政策。因此，第四號修正案才需要提出機場營運者之認證程序的要求，以使機場營運管理之中包含有安全管理系統。另外，第四號修正案中也更新了機場緊急規劃和救援、消防滅火等措施，以及有關鳥擊危害的研究，以強化機場運作的安全性。

要求締約國辦理機場認證，是 ICAO 在全球安全查核計畫(Universal Safety

Oversight Audit Program, USOAP)納入機場，擴大USOAP適用範圍的第一步。USOAP在人員給證、飛航操作以及航機適航的執行成果，在在顯示出安全評估工具的重要性以及必要性。1997年在蒙特婁Montreal舉行初期實施檢討研討會時，已肯定安全查核計畫是評估締約國是否遵從落實既定安全標準的重要工具，並建議應逐步將機場、飛航服務以及支援設備與服務等納入計畫之內。隨後ICAO委員會也立即決議：USOAP於2004年納入機場和飛航服務。目前正在進行對應的認證範圍、稽核強度等準備工作。新的第十四號附約要求機場認證，便是USOAP擴大納入機場營運安全的一項重要工作。

## [文獻評析]

民營化的趨勢逐漸將機場管理機關轉化成為一種具有自主性的機構，對私人機構而言，經營管理機場成為一種新的商業投資標的。這種轉變環境下，對於機場經營管理機構的管制，成為政府維護飛航安全的重要課題。我國機場未來也考慮走向民營化，但相關之安全管理制度與監督查核機制等課題，應在機場民營化的財務考量之先，優先處理。特別是應在安全政策中設立風險管理策略，將飛航安全及損害賠償的責任，適度分散於民間經營團體、政府管制機構以及其他機構（例如保險）。如此才能在維護飛航安全的基礎上，追求機場的營運效率與服務品質提升。

## [相關文獻]

ICAO, Manual on Certification of Aerodromes, Document 9774



# **Long Experience with AWOS Indicates a Level of Safety**

## **Comparable to Human Observation**

Bill Maynard

ICAO 2004 5904, p 11-13, 24

### **[英文摘要]**

#### Conclusions

AWOS is not the best choice for use at many airports because of the potential impact on efficiency or extreme climatological factors. The frequency and duration of deficiencies that can be expected in the automatic system are associated with climatological factors which vary significantly from one airport to another. Therefore, a high traffic airport with frequent near-minima weather conditions would benefit from

the additional capabilities of a human observer who could assess weather in the vicinity or visibility by sector. The use of site-specific consultations and risk analyses ensures that these factors, as well as other costs and benefits, are considered and understood prior to the installation of a new AWOS. The AWOS, as currently used in Canada, is maintained on essentially the same basis as that which was established prior to the commercialization of the Canadian air navigation system in 1996. Until a complete domestic standard has been developed, any further expansion of AWOS in Canada will be on a limited basis. Transport Canada is engaged in a consultative process with the aviation community to develop a new and comprehensive standard for AWOS technology. Significant progress has been made towards reaching a domestic consensus, and a new Canadian standard for the use of automation is pending in the short to medium term. Canada is also participating in ICAO efforts to develop an international standard for the use of this technology in the

Aerodrome Meteorological Observing Systems Study Group (AMOSSG). It can be said that the 13-year history of aviation AWOS in Canada indicates that human and automated systems provide an equivalent level of safety. However, the characteristics and limitations of human and AWOS observation are different and must be well documented and communicated to stakeholders prior to the implementation of automatic systems. Any further expansion using a new generation of AWOS should only be undertaken when a meaningful, and ideally international, standard is available

that includes quality assurance practices and also ensures, at a minimum, continuity with present automated capabilities.

## [中文摘要]

本文旨在介紹 13 年來加拿大應用自動氣象觀測系統 (Automated Weather Observation System, AWOS) 的經驗，並說明由經驗顯示：必須要建立完備的標準後，才能進一步推廣應用 AWOS。

### 1. 引言

ICAO 最近更新的第 3 號附約(Annex 3)即將於 2004 年底實施，倡導在機場非營運期間內可運用全自動氣象觀測系統。ICAO 及其締約國正在探討這套系統是否可在近期內運用於實際營運上。在各締約國之中，加拿大致力於發展這項技術。以下將介紹加拿大在應用 AWOS 的經驗。

1991 年加拿大第一座自動氣象站開始應用在航空運輸上。到現在加拿大已經有 46 座自動氣象站，為 34 座機場提供即時機場預測(TAF)，其中 11 座機場全日均不提供人工觀測報告。加拿大所發出的航空氣象定期報和特別報(METAR and SPECI)，均會標註是人工觀測或是自動觀測的報告，以提醒駕駛員注意這兩種觀測報告的特性差異。

自 1994 年起在蒙特利和艾德蒙頓(Edmonton)這二座高運量的機場裝設 AWOS 後，民航運輸界即開始嚴密評估系統的績效，發現了一些缺失，並因此而在主要機場重新配置觀測人員。1994 年 12 月加拿大運輸部暫時禁止新設 AWOS 來全面負責民航運輸的氣象資訊服務。並組成執行委員會評估檢討 AWOS，在 1995 年 2 月委員會由技術面和其他角度提出 25 項 AWOS 的缺失，並進行評估改善研究。

### 2. 評估方法

基本上，各種天候條件的變化下 AWOS 的運作績效均應納入評估研究。準此，執行委員會挑選 7 處加拿大機場，可以涵蓋各種天候狀況，包括暴雨或大雪、降霜、強風、極端氣溫等等。收集到 1996 年 8 月為止計 11 個月的資料，涵蓋 70,000 小時觀測結果。其中 AWOS 發出約 96,000 份特別報，觀測人員則僅發出 12,500 份特別報。多數地點的觀測人員可以取得 AWOS 的結果，所以，基本上觀測人員是觀測氣象，並對 AWOS 結果進行驗證。評比假設人工觀測結果是正確的。

### 3. 研究發現

3.1 能見度：AWOS 預報能見度的結果不佳，會高於觀測人員報告結果。

3.2 天空狀況：加拿大採用雲幕高(ceiling)來表示天空的垂直能見度。

- 3.2.1 研究團隊特別重視降雪時，AWOS 是否會誤報天空晴朗，因為下大雪時，雲幕儀的雷射雷達會無法接收到回傳的訊號。在研究小組建議修改軟體和硬體之後，已經克服了這項缺失，將誤報天空晴朗的機率降到 0.03%。
- 3.2.2 AWOS 所報告的雲幕高度，與觀測人員報告結果相近似，或者略低於人工報告數值。
- 3.2.3 針對在降水、結冰或冬季逆溫(winter inversion)情形下，AWOS 誤報低雲幕高度的錯誤率為 5.4%。另一方面，與人工報告相比，總計所有天候狀況，當人工報告無雲幕高度時，85%的情形下，AWOS 報告也是無雲幕高度。
- 3.2.4 一般認為 AWOS 對於快速變化的天空狀況，反應較慢。但是研究評估發現，AWOS 其實是先於觀測人員發現這些變化。
- 3.3 結冰：原先 AWOS 沒有結冰偵測設備，研究團隊認為這是很重要的，而建議加入合適的偵測設備。結果顯示裝設特殊偵測器之後，AWOS 報告結果可符合 90%的狀況。但是觀測人員能夠注意到非常輕微的細雨，AWOS 卻會完全忽略這樣的狀況。
- 3.4 降水：這是 AWOS 報告表現差異最大的一項。下雨時，AWOS 報告符合率達 70%，下雪時達 65%；特別是細雨的情況，AWOS 無法與觀測人員的報告結果相比。至於對暴風雨的報告，因為無法偵測和報告閃電的狀況，所以 AWOS 無法符合飛航要求。
- 3.5 機場預測的即時性 (timeliness of aerodrome forecast, TAF)：結果顯示 AWOS 與人工觀測的 TAF 結果相近，但是在低階條件下，AWOS 報告較容易出現假警報。
- 3.6 研究結果：1997 年 9 月提出了期末評估報告，指出在研究期間改善了 AWOS 的多項缺失，之後只剩下 6 項缺失，多數與 AWOS 無法準確報告暴風雨有關。未來是否應強化 AWOS 在航空運輸上的運用，需視使用者的反應而定。

回應這份期末評估報告的各項結果，加拿大運輸部要求未來裝設 AWOS 取代觀測人員之前，必須執行該地點的風險分析，並與相關人員諮商。風險分析應包括以下項目：評估該地點的氣候、針對會使 AWOS 報告出現缺失的氣候條件，估計其出現頻率和持續期間長短。在此要求下，1998 年加拿大解除了新設 AWOS 的禁止命令，之後通過了 5 處 AWOS 新設。

#### 4. 結論

對多數機場而言，考慮到效率以及極端的天候因素等，AWOS 並非最佳選擇。這套系統的失誤頻率和失誤期間長短，受到個別機場之極端天氣因素的影響。因此對於經常處於極端天氣狀況的高流量機場而言，更需要仰賴觀測員的能力，以判斷預測周遭的天候狀況。在裝設導入 AWOS 之前，應事先進行針對機



場特殊性的顧問諮詢和風險分析工作，以確實評估和充分瞭解 AWOS 的特性，以及導入 AWOS 的成本效益等考慮因素。

目前加拿大所應用的 AWOS，基本上與 1996 年初建制還尚未商業化應用時的情況相當。必須要先建立完整的國內標準，才能進一步擴大 AWOS 在加拿大國內的應用。

加拿大運輸部和民航業界所共同發展中的 AWOS 技術標準，正在尋求國內共識，中短期內不會有新的自動化標準。同時加拿大也參與 ICAO 之制訂國際標準的工作。

13 年來 AWOS 應用於加拿大的經驗指出：人工觀測系統和 AWOS 自動系統的安全性相當，但是二者的特性和限制不同。在應用自動化系統之前，務須詳細紀錄此二系統不同的特性和限制，並和各方相關部門溝通。擴大應用新一代的 AWOS 之前，必須先建立適合有效的國際標準，以確保實務操作的品質。

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

本文介紹了加拿大在 AWOS 與人工觀測結果的比較，提供不同的氣象內容之比較分析的摘要結果。可供評估 AWOS 之適用性，以及運用 AWOS 報告之參考。

原始報告採用大規模的調查資料，詳細比較 AWOS 與人工觀測結果的差異。但在方法上，對於 AWOS 績效的評估基準，是假設人工觀測結果正確，比較 AWOS 的差異。如此有可因觀測人員失誤，而誤判了 AWOS 的績效。這一點應如何克服，是研究上需要強化之處。方法上可以採用二組獨立的觀測人員，比較二者觀測結果，二者相符合時才視為是正確的狀況，再與 AWOS 比較。如此評估出的 AWOS 績效將更為正確。

## [相關文獻]

加拿大運輸部的完整評估報告

# **Safety Aspects of Aircraft Operations in Crosswind**

Gerard W.H. van Es, Peter J. van der Geest and Ton M.H.

Nieuwpoort

EASS 1999 p.285-333

## **[英文摘要]**

In the next decades, airline operations will continue to grow. It is expected that the number of departures will almost double by 2016. This increase in departures requires an increase of the capacity of many airports worldwide. An important aspect, which affects the potential growth of airport capacity, as well as the optimal layout of new airports, is the crosswind limit imposed on runway availability.

In order to assess the safety margins inherent to current operational crosswind limitations, and to get an impression of the impact on safety margins, if crosswind limitations would be relaxed, this reports gives a broad overview of all safety aspects related to operations in crosswind conditions.

The report presents first some background on the flight mechanics involved in crosswind operations. Further the wind climate around airports, as well as the measurement and reporting procedures of wind conditions are discussed.

Next an inventory is given of certification rules and operational guidelines for crosswind operations. Results of a survey among a large number of operators, concerning applied operational limitations for the aircraft types in use are presented. Also current crosswind limitations used by particular airports for runway assignment are provided.

Subsequently an analysis of historical accident and incident data is presented, focusing on quantification of the risk associated with crosswind operations.

Finally, based on the results of this report, a number of conclusions and recommendations are given.

One of the main conclusions drawn, is that crosswind operations in general are surrounded with substantial uncertainty, warranting substantial margins relative to theoretical limitations when operating in crosswind conditions.

Supported by statistical analysis of historical data it is concluded, that general crosswind limitation recommended by ICAO (15 Kt. including gust), cannot be relaxed without compromising safety unless additional measures are taken.

## [中文摘要]

全球民航需求增加，隨之而來的是機場容量提升的課題。其中，跑道使用的側風上限值不僅攸關新機場的最佳配置，且是提高機場容量的潛在因素。本文回顧各項有關於側風條件限制的安全因素，以評估目前所執行的側風上限值之安全範圍，並瞭解放寬側風上限值之影響。

首先本文綜整與側風相關的飛航動力概念，並討論機場之風力氣象，和量測及呈報程序。其次依據大規模調查全球管制員所取得的資料，列出所有與側風運作有關的認證規定和操作準則，其中已考量了當前的航機類型之實務操作限制，也提供了某些機場對起飛許可的跑道側風上限值。接著本文分析了過去的意外事故資料，以掌握側風運作相關的風險之量化特性。最後，提出結論與建議。

相對於理論條件來說，實務上的側風運作大多存在相當程度的不確定性，因此必需設定相當大的安全範圍。針對歷史資料進行統計分析結果顯示：為了維護飛航安全，除非能增加其他的措施，否則不應放寬 ICAO 所建議之 15kt 的側風上限值。

### 1. 引言

根據預測，飛機起降需求將於 2015 年增加一倍，因而需要增加機場跑道容量。在機場容量評估和新機場佈設規劃時，所容許的跑道側風上限值，非常關鍵；此外側風上限值也會影響能否配置跑道。可見側風上限值阻礙了起降容量的成長。因此本文提出能否放寬側風上限值的問題。另外，意外事故中約有 10% 是因氣候問題所致，其中多數與風向有關，但過去的文獻並無太多相關討論。在此，本文即主要探討起降階段的側風安全課題。

### 2. 基本之側風運作

起降階段的側風運作，可以區分為空中階段(airborne)和地面滑行階段(ground roll)，如圖 A 所示(原文無，在簡報資料中)。側風對飛航安全的影響，在空中階段以降落較受影響，起飛所受影響較小；但在地面滑行階段則無論起降，側風都是影響飛航安全的重要因素。因此，綜合而言，側風對於降落的影响較為重要。

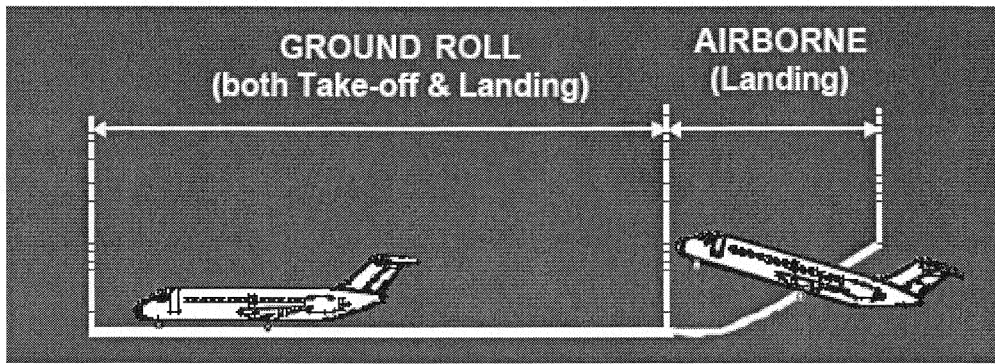


圖 A 區分二階段之側風運作

空中階段的飛航操作上，可以兩種技巧處理側風的影響，第一種是歪斜飛行 (crabbed or drift approach)，如圖 1，即是將機頭朝向來風方向歪斜，以抵消側風的力量。第二種如圖 2，是壓低單邊機翼的方式(wind-down approach)，以抵消側風的影響。實際操作上均是二者混合使用，在不同飛行高度時調整二者的組合。

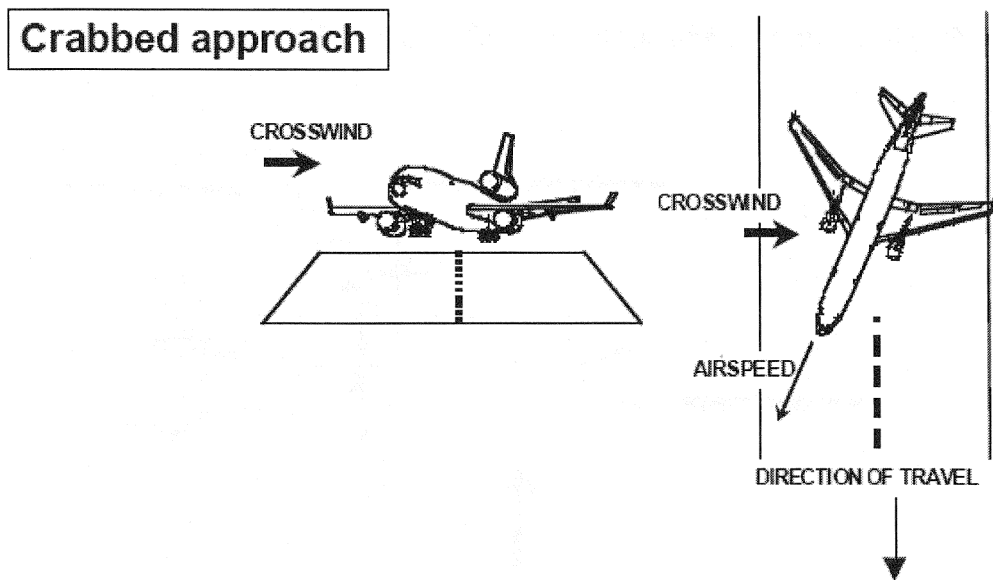


Figure 1: Crabbed approach for a crosswind landing.

### Wing-down approach

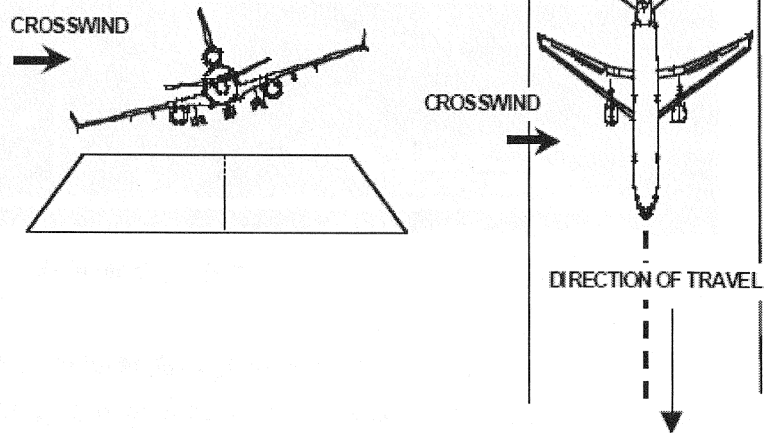


Figure 2: Wind-down approach for crosswind landing.

地面滑行階段之側風運作，需兼顧空氣動力學和輪胎力量之間的複雜平衡，可參見圖 3。由此可知跑道狀況的影響，也非常重要。

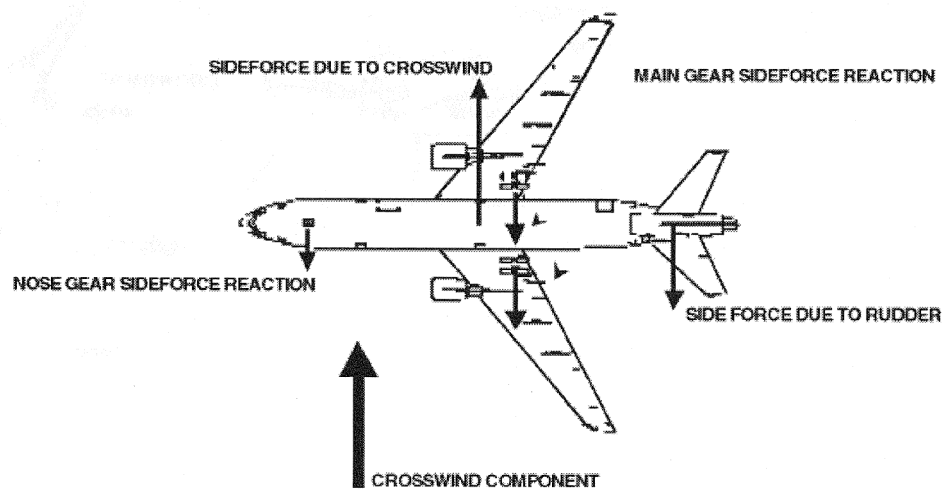


Figure 3: Forces acting on an aircraft during the ground run in crosswind.

### 3. 風象與量度方法

機場周邊影響風速的因素包括：地表起伏狀況、地理位置、周邊地形地勢(例如有山丘等)。而機場之風象觀測、量度和呈報程序，主要依據 ICAO 第 3 號附約(Annex 3)規定，在地表高度 6-10 公尺處量測風象，並應對所有起降操作提供 2 分鐘平均風速和風向的資訊，以及報告以下之變動情形：

- 平均風速超過 3 Kt 時，超過 60 度以上之風向變化；
- 超過平均風速 10 Kt 之陣風風速；

■ 塔台准予起降時，應一併提供當時風象。

ICAO 允許之風象量測準確度如下：

- 風向：±5 度
- 風速：20 Kt 以下容許±1 Kt 之誤差，20 Kt 以上容許±5%之誤差

風速風向的資訊來自於實際氣象報告(包括：航路之航空氣象定期報告(METAR)，塔台報告及終端資料自動廣播服務(ATIS)所提供的起降報告)；以及 9 到 24 小時之機場預測報告(TAF)。其中對駕駛員判斷是否可以起降最為關鍵的，就是塔台報告；但塔台最後報告會因為以下因素而有不確定性：

- 風象的隨機行為
- 依據 ICAO ANNEX3 之報告程序、風速測量程序
- 量測儀器之準確度

本研究採用自動降落系統認證程序中運用 JAR-AWO 的紊流模式，來模擬一小時之風象，其中依據 Dryden 模式設定風速為 Gaussian 分配。模擬參數設定如下：地表 10 公尺處之風象，平均風速 18 Kt，平均風向為偏離跑道中心線之 50 度。用這個模擬結果，依據 ICAO ANNEX3 的規定，製作航空氣象定期報告和塔台報告。結果顯示二者報告內容相當一致，且符合輸入參數之結果。本研究分析報告風象和實際風象的差異結果可如表 1 和圖 5 所示。由此結果顯現出風象之隨機性質，會導致報告風象和實際風象之間的重大差異。由表一可看出，塔台短期風象報告和降落時實際面臨的風象，其間的差異有時可達 10 kt 以上。且真正運作的實際狀況會比這個模擬情形還要嚴重。由此可見，考量實際最大風速與報告風象間的差異很大，航機認證時確實必須要設定充裕的安全範圍。

Table 1: Statistic properties of simulated wind measurements over a one-hour period.

	Mean	Min	Max	Stand. Dev.	Exceedance Time	
Actual wind speed (Kt)	18.4	3.4	35.5	4.2	>25 Kt: 228 s	>30 Kt: 15 s
Moving averaged wind speed (Kt)	18.4	7.4	31.1	3.4	>25 Kt: 106 s	>30 Kt: 2 s
Wind direction (deg)	50	-5	114	14	>80 dg 73 s	<20 dg 69 s
Crosswind	13.8	-1.3	30.4	4.2	>20 Kt: 262 s	>25 Kt: 16 s

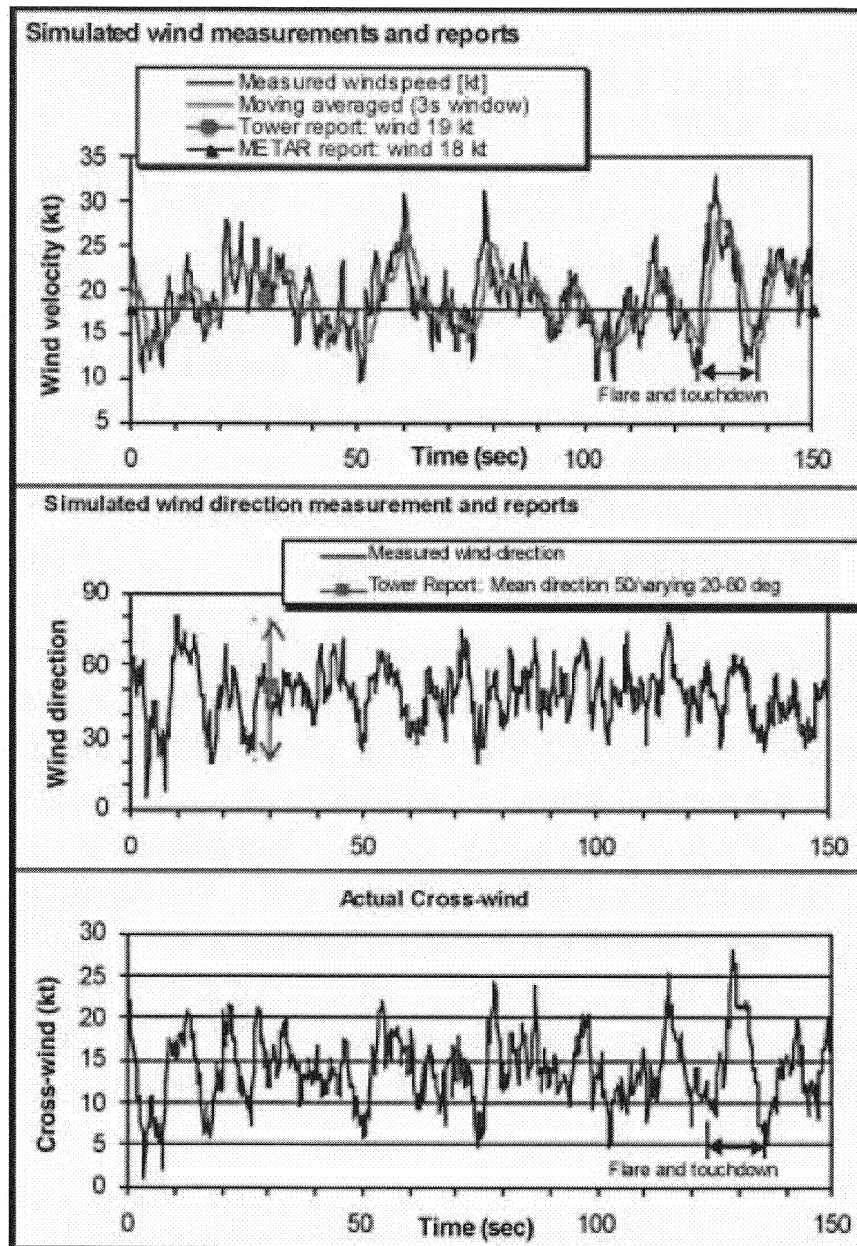


Figure 5: Illustration of wind reported and actually encountered during the landing

#### 4. 認證規則與執行準則

本研究探討 JAR 25 或 FAR 25 機型，二者認證上均受相同的側風規定 (JAR/FAR 25.237 風速)，其規定不明確之處如下：

- 僅考慮乾跑道的狀況
- 所謂風速，不清楚是否包括陣風
- 沒有設定認證之側風上限值，而是提供數值而已

由於 JAR/FAR 25.237 不夠明確，因此 FAA 又以 AC25-7A 建議文件(Advisory

Circular)提供給運輸型航機機型認證時之試飛指南。其中包括：若試飛時證明航機能承受之側風符合法規之最小側風要求，但此一限制風值並不構成航機操作上之限制，則建議將此資訊列於航機飛航手冊中(AFM)，倘若試飛時所證明航機能承受側風值係航機運作之上限值，則此一資訊亦建議列於航機飛航手冊之操作限制章節中。事實上，如 Boeing 和 Fokker 等製造商，通常把側風視為限制，依據機型給予不同的側風上限值。但因為試飛時尚無資料，故無法將數據顯現在 AFM 上。另外，建議文件 AC25-7A 並未清楚說明所採用的是 2 分鐘平均風象，或是陣風風象。Boeing 和 Fokker 則要求飛機所能承受之側風，應大於 AFM 所列風速 10 Kt 以上。綜合而言，目前的認證規定限制有以下缺失：

- 各單位量測風象的方式不同
- 只考慮了乾跑道的情況
- 各單位解讀規則的方式不同

再針對全球管制員大規模調查，請他們回報他們所使用的航空器操作手冊 (Aircraft Operating Manuals)上所規定的側風上限值，以及任何有關側風運作的其他限制。調查結果顯現以下事實：

- 多數管制員應用的側風上限值均包括陣風在內
- 所有管制員均會因濕滑跑道而調整側風上限值，調整依據是製造商所提供的建議資訊(如表 3)。但是各機場不同跑道鋪面性質會影響所允許的側風上限值，而使不同機場無法適用同一上限值，因此飛機製造商都僅能提供建議參考資訊
- 有些管制員會依據能見度而調整側風上限值
- 多數管制員都會針對缺乏經驗的駕駛員而降低側風上限值。根據 FAR part 121.438 要求：針對所運作的航機型態，正駕駛之駕駛經驗時數低於 100 小時者，不得在風速超過 15 Kt 的側風狀況下操作起降
- 多數管制員使用的側風上限值，不超過所規定的側風上限值。
- 多數管制員均會考慮跑道寬度
- 多數管制員對於自動降落時，會設定較低的側風上限值。通常自動降落系統所設定的側風上限值，會低於真正能處理的側風上限值。

Table 3: Revised Operations Manual Landing Crosswind\* Guidelines for Boeing aircraft (Kt.).

Runway Condition	737	747	757	767	777
Dry	40	36	40	40	45
Wet	40	32	40	40	40
Standing Water/Slush	20	20	20	20	20
Snow - No Melting	35	25	35	35	35
Ice - No Melting	17	15	17	17	17

\* Note: These crosswinds are derived using piloted simulations and engineering analyses. These are not demonstrated values.



機場也會設定側風上限值。原文表 4 檢視了一些機場的側風上限值，得到以下結論：

- 除了一座機場以外，側風上限值均未包含陣風在內
- 實際應用的側風上限值由 10-25 Kt 不等。其中有一座機場，對日夜間採用不同的側風上限值。多數機場均以 ICAO 建議的 15 Kt 為不含陣風之側風上限值
- 多數機場的側風上限值均會考慮跑道鋪面狀況的影響

以上有幾點需要說明。第一，ICAO 原文規定的 15 Kt，清楚敘明需包含陣風，以典型陣風乘數 1.5 倍計算，平均風速為 10 Kt。但因 ICAO 附約 3 又規定，超過平均風速 10 Kt 以上的陣風才需要提出報告，因此只有超過 20 Kt 的陣風才會列入報告，又違背了原文規定側風上限值為 15 Kt 的規定。因此，實務上均建議超過 15 Kt 的陣風均列入報告，但如此計入陣風的平均風速將為 22.5 Kt，則又不同於飛行器操作手冊上的規定。

另外，加拿大 AIP 針對跑道的詹姆氏煞車係數(James Brake Index)，設定不同的側風上限值，請參見圖 7。但不確定其側風上限值是否包含陣風。

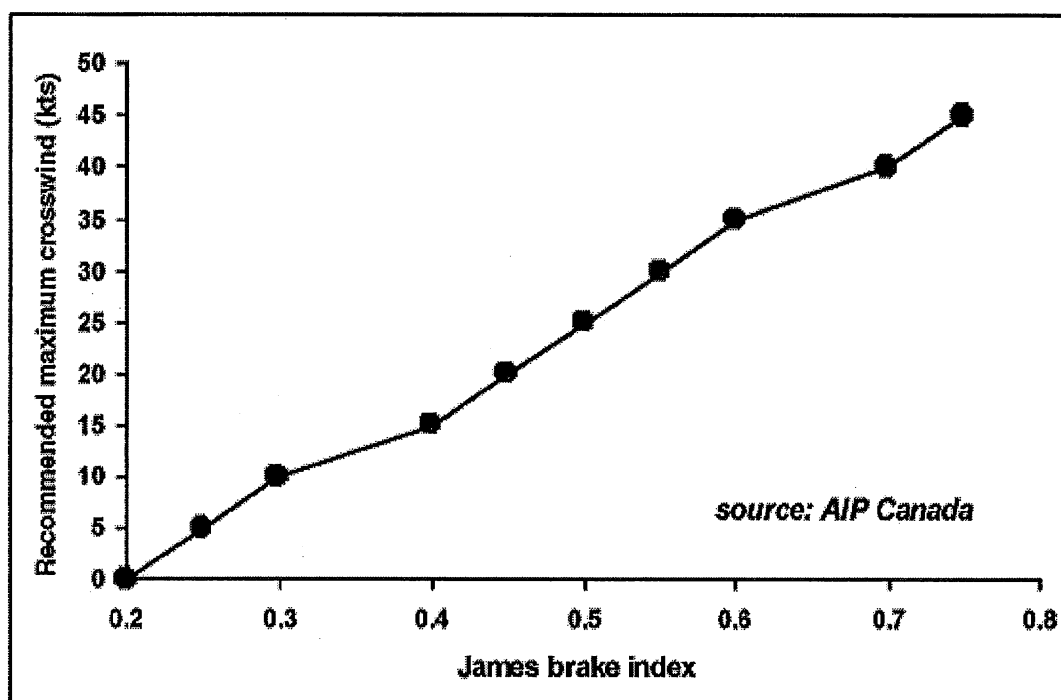


Figure 7: Maximum crosswind as function of the James brake index.

在機場設計階段，ICAO ANNEX14 所提供的機場設計與營運設計準則中，要求在考慮跑道多寡和方向時，必須確保跑道的可用率達 95%；而分析可用率的跑道容許側風上限值如表 5。表 5 中 reference field length 即是跑道長度。大多

數中大型飛機所需的跑道長度均超過 1,500 公尺。實際運用上均會適度考量以下因素折減表 5 所列之側風上限值：跑道表面狀況、不同機型航空器的操作特性、跑道寬度等。

Table 5: Maximum crosswind recommended for usability analysis.

Reference field length	Maximum crosswind
Meters	Kt. (mean wind, excl. gust)
1500 or more	20 (13 for poor braking condition)
1200 up to but not including 1500	13
less than 1200	10

## 5. 事故歷史資料分析

為能數量化分析側風運作的風險，以掌握側風對意外事故的影響，本研究分析了美國之事故歷史資料。分析資料中包括了各種機型，以代表全球商務運作中的大型飛機，也包括了各種天候條件，以足以代表美國以外的平均機場狀況。選用美國資料來作分析，是因為美國的資料較為完整之故。

本研究在 NLR 飛安資料庫下進行，可運用的資料包括 FAA、NTSB、ALPA、FAA 等資料。依據以下原則篩選事故：

- 側風或陣風是造成事故的重要影響因素
- 事故發生時間在 1983-1995 年間，發生地點在美國
- 事故班機是由美國航空公司所運作，受 14 CFR 121 之管制，定期航班或不定期航班均納入
- 在起飛或降落階段發生事故
- 排除因怠工、恐怖攻擊、軍事行動等所造成之事故

事故特性分析結果如下：

- 共有 69 件事故，84%發生在降落階段，16%在起飛階段
- 事故中 52%發生在地面滑行階段，48%在空中階段。
- 地面滑行階段事故中
  - 28%是起飛時發生，72%是降落時發生
  - 跑道濕滑狀態者占 52%
- 空中階段之事故中
  - 3%是起飛時發生，97%是降落時發生。
  - 70%發生機翼端點或引擎觸地的狀況
- 事故因素包括：不當的航高 (Level off)控制 27%，飛機在地面時不當煞車或控制不當 14%，飛機與跑道的相關位置不當 12%，飛行前的規劃不良 10%，疏於避免地面碰撞 7%，飛機在空中時控制不當 7%，矯正偏離角

度失敗 2%，其他因素 21%。

■ 其他重要發現

- 能見度是重要的因素之一
- 陣風是最重要的肇事因素
- 駕駛員的控制處理能力是最關鍵的

本研究數量化分析不同側風運作風險之結果請參見圖 13、14。

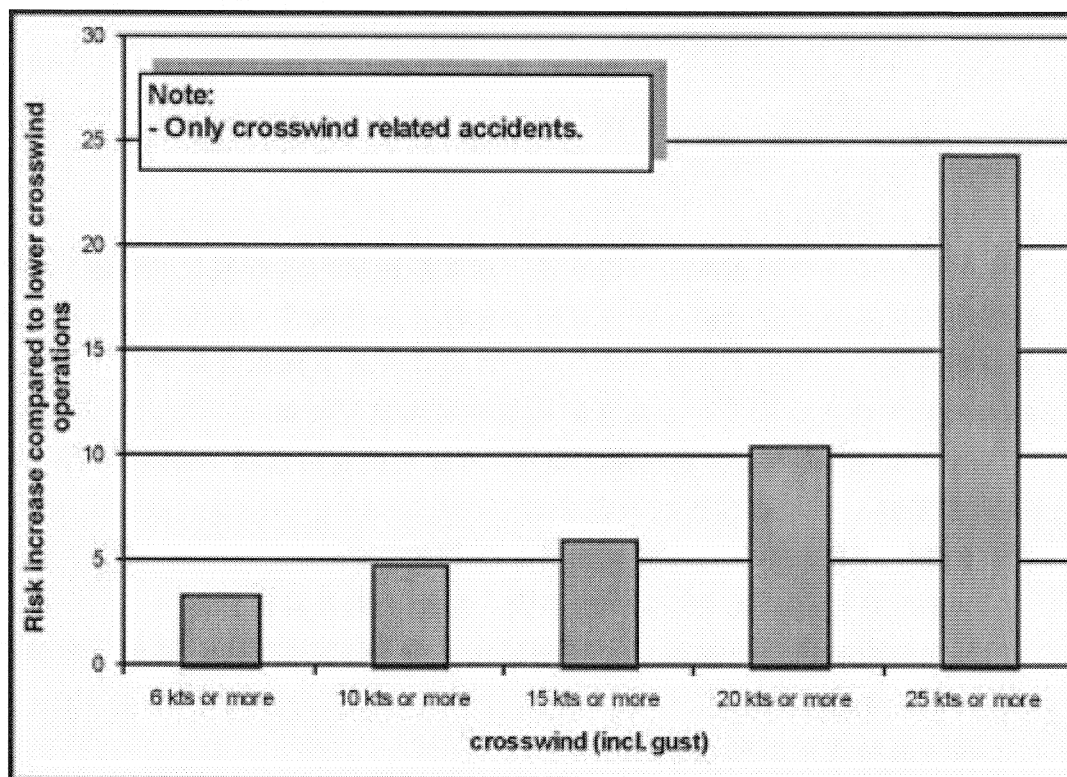


Figure 13: Risk ratio for different crosswind conditions.

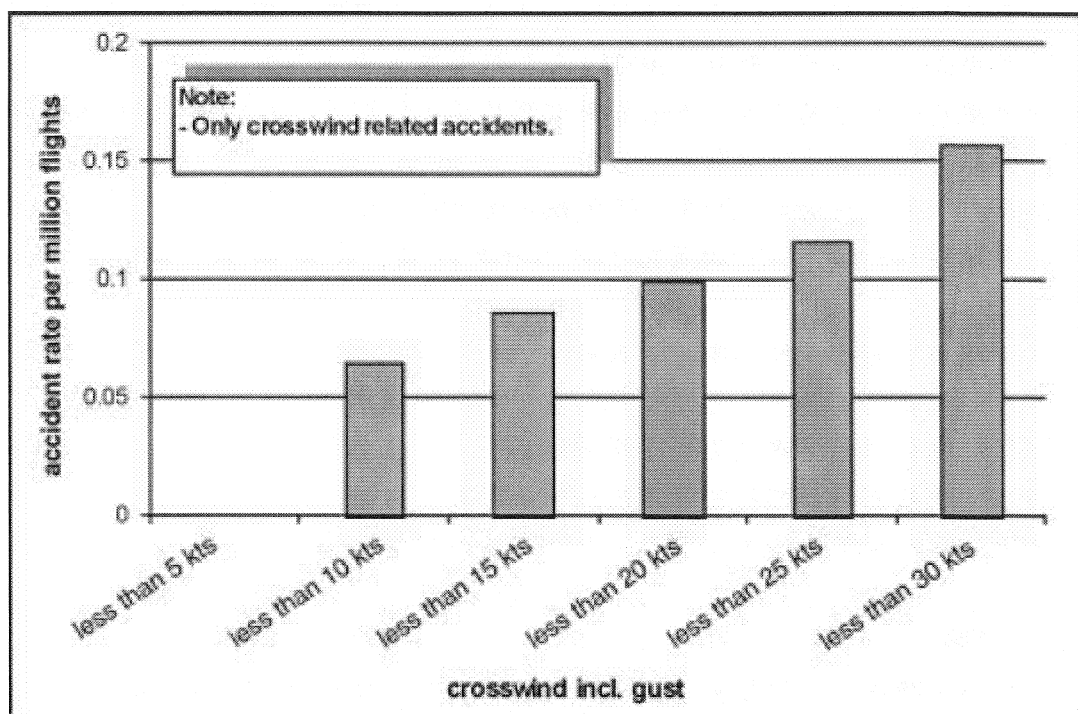


Figure 14: Rate of crosswind related accidents for given crosswind conditions.

## 6. 結論與建議

### 6.1 結論

- 目前 FAR/JAR 25 認證規定中有關側風上限值的規定非常有限，只能算是安全運作的最低標準。同時，該認證規定並未清楚敘明認證時是否應包含陣風
- FAR 建議文件中有關認證側風容許能力的說明，包括二種不同的程序，據以執行的結果可能差異很大
- 對於 FAR/JAR 25 進行認證之運輸類航空器試飛時所顯示之側風值可以是一限制值或是連續值，其決定完全是由試飛駕駛員或認證單位決定
- 目前 ICAO 所建議的風速報告程序，通常不含陣風。如此可能會遇到報告風象和實際風象差異很大的狀況。依據駕駛員所感受的，如此狀況導致在側風比較緩和的狀況下，會縮小安全範圍。
- ICAO 建議機場規劃選擇跑道時，包含陣風之側風上限值 15 Kt，不是絕對正確的規定，因為 ICAO ANNEX3 規定在實際運作時之陣風報告又不相同
- 多數的管制員考慮側風限制的作法大致相同，但本研究發現：實際運用中的側風上限值仍有些明顯的歧異
- 在空中階段，側風是事故最重要的因素之一，通常降落時會較受影響，起飛時的影響較少
- 地面滑行階段，無論是起飛或降落階段，濕滑跑道上因受側風影響的事故，均是乾跑道上的 3.5 倍
- 相比於無關側風的事故而言，能見度低於 1 英里時，側風相關的事故顯著較多

- 多數側風相關事故均與不當操控航空器或不當處理有關係，雖然還無法確認其原因理由，但可某種程度解釋多數駕駛員不太會在強側風狀況下降落
- 陣風是側風相關事故之是最重要影響因素，特別要注意的是：陣風風象的強度會遠遠超過側風風象報告的數值
- 側風相關事件的發生機率，隨側風狀況增加而提高。統計顯示：歷史事故資料中，在超過 20 Kt 的測風狀況(包含陣風)下運作，事故風險呈現指數增加的趨勢
- 考慮側風運作，降落階段是最關鍵的
- 陣風風象、能見度、跑道狀況是重要的影響因素
- 駕駛員的控制處理能力是一項關鍵因素
- 不同的管制員顯然採用不同的側風上限值
- 報告風象和實際風象之間的差異可能會很顯著

## 6.2 建議

- 本研究瞭解了：報告風象和降落所面臨的實際風象間之風速差異很顯著，以及多數航空器所能承受的側風為 30 Kt。由此可認為：ICAO 規定包含陣風 15 Kt 的側風上限值，實不宜提高，除非再考慮其他的措施，以降低目前量測和報告程序系統中所隱含的不確定性
- 報告風速應包含風速大於 5 Kt 的側風，而不是目前規定的 10 Kt
- 風象報告應包含側風，以讓駕駛員評估實際側風狀況，確認航空器運作上的限制
- 可考慮對降落和起飛設定不同的側風上限值，因為本研究顯示在這二階段的事務機率差異很大。但目前尚未評估：在選擇適當跑道起飛時，容許較高的側風上限值，與目前所接受的側風上限值狀況下降落之安全性，二者能否維持一致
- 在航空器認證過程中應更為制度性的考慮跑道狀況的影響，如濕滑狀況。建議應修正 FAAAC 和 JAAAMJ 的表格中相關資訊
- 除了風速風向之外，跑道的側風狀況也應提供給駕駛員，以避免駕駛員錯誤估算側風狀況
- 試飛過程中所建立之航空器的側風容許能力，應以管制塔台實際報告風象為依據(依據 ANNEX 3 設定)。就飛行器在側風狀況下之實際運作規定而言，這樣做最具有的一致性。可以避免其他方式(如目前 FAR 建議文件所容許之程序)與實際運作規定的差異
- 所顯示的最大側風上限值應被視為是限制條件，並應列入 AFM 的操作限制章節內容
- 根據相關研究顯示：各種建議均不應讓實際運作之側風限制，超越規定的側風容許能力
- FAR 和 JAR 規定應更明確界定風象，例如是否根據 2 分鐘平均風象，或有無包括陣風。在決定起降階段可容許的側風上限值時，各機場均應將跑道阻力係

數和陣風納入制度規定的考慮因素中

- 建議再對低能見度狀況，分析側風之限制
- 建議應分析在能見度佳、強側風的狀況下，運用自動降落系統降落的可行性，以探討是否可提高標準 FAR/JAR 所規定的自動降落側風限制

## [文獻評析]

### 本文獻優缺點

本文完整的探討側風運作，並對後續研究提出建議。研究方法上首先由理論上探討側風運作的特性，再就現行規定上探討側風量度、認證規則與執行準則等，在就歷史事故資料分析側風的影響，最後綜整提出結論與建議。特別是在認證規則與執行準則部分，區分了書面規定、管制員實際執行資料和機場實際運作資料，以及機場跑道規劃時的相關規定等，分別蒐集分析側風運作的特性，分析向度相當完整。

唯一可議之處是在歷史資料上係選用美國的事故資料，雖然研究上已盡可能兼顧了資料可取得性，以及涵蓋各種極端的天候狀況，以期其研究成果能適用全球各地。但因各地氣象狀況差異很大，故其結論是否能適用於台灣，須待進一步檢證。尤其是建議應研究可否放寬自動降落系統之側風上限值一議，以及針對起飛和降落設定不同的側風上限值，會否造成新的飛安危害風險(例如讓管制員的工作變得更為複雜，而增加風險)，值得仔細探討。

另外，不同地區的駕駛員、管制員，是否會有不同的側風限制判斷，也是值得進一步探討的。而在機場部分，除了跑道寬度、跑道煞車阻力等因素之外，跑道障礙物淨空範圍，可能也是影響側風運作的因素之一。例如：跑道道肩寬度、跑道帶寬度長度與寬度、跑道端安全區、清除區或緩衝區等大小，以及前述範圍內的障礙物設施與設施之易碎性等。特別是要回應本文原始提問：可否放寬側風限制以提高跑道容量，針對機場規劃相關因素，探討其與側風上限值的關係，應是最為直接且急迫的。這類研究需要建立機場風象的模擬程式，並要該機場起降之主要機型試飛結果。但研究結果將有可能提高跑道容量，因此提升機場營運效率，或減少新增機場的建設壓力。可以針對起降運作已趨近飽和的機場，優先考慮。

## [相關文獻]

Van Es, G.W.H. et. al., "Safety Aspects of Aircraft Performance on Wet and Contaminated Runways", paper presented at the 10th annual European Aviation Safety Seminar (FSF), Amsterdam, March 16-18, 1998.

Fender, C., "Published Crosswind Values," FAA, 1996.



# 國內外機場規劃設計規範之初探—以高雄國際機場為例

楊蕙如

成功大學交通管理科學研究所碩士論文(2002 年 7 月)

## [英文摘要]

The airport design manual is the guideline for designing airport facilities, thus, has significant influence on airport operations and costs. This research tried to study various airport design manuals, such as Aerodrome Design Manual by ICAO, Airport Design by FAA, and Airport Design Manual by Taiwan CAA.

A comparison was made among the above design manuals. This research focused on airport reference code system and airport geometric design elements, such as runway width, runway longitudinal slopes, runway transverse slopes, runway shoulder, runway strips, runway safety area, clearways, stopways, taxiway width, taxiway longitudinal slopes, taxiway transverse slopes, taxiway shoulder, taxiway strips, taxiway safety area, the minimum separation between taxiways, exit and entrance taxiways, holding bay, bypass and aprons. Some inconsistencies were found between ICAO and FAA manuals.

A case study for the Kaohsiung International Airport was conducted. The results showed that the runway length was not enough for B747 with maximum takeoff weight at the Kaohsiung International Airport. This deficiency might cause some problems for future demand situations. In addition, most of design elements could fulfill the international standards. The ones not fulfilled the international standards were due to land restrictions.

## [中文摘要]

機場設計規範為機場各項設施設計之依據，故規範之適切與否對機場運作及建設成本之影響極大，本研究為國內機場規劃設計規範之初步研析，主要在探討目前國內與 ICAO、FAA 等機場設計規範之要求，分別針對各規範之機場分類與跑道相關幾何佈設，包含跑道寬度、跑道縱向坡度等各項設計要素、跑道橫向坡度、跑道道肩、跑道帶、跑道安全區、清除區、緩衝區以及滑行道相關幾何佈設，包含滑行道寬度、滑行道坡度要求、滑行道道肩、滑行道帶、滑行道安全區、滑行道最小隔離距離、出入口滑行道、等待彎、旁越滑行道與停機坪等規範內容作深入之了解。



本研究首先探討 ICAO 與 FAA 機場分類碼系統所造成之差異，而後針對同一設計要素探討兩規範之異同，最後針對目前國內所有起降機型，分別探討各規範對同一類機型所要求之標準或建議之差異；上述分析結果顯示 ICAO 與 FAA 二設計規範確實有差異性存在。

本研究針對高雄國際機場進行實例研討，蒐集跑道、滑行道及停機坪之實際佈設相關資料，與 ICAO、FAA 之規範比較，此外並與機場實際運作人員進行訪談，了解機場佈設對航機實際運作可能產生之安全性影響，由研究結果顯示，高雄國際機場之跑道長度無法提供 B747 系列機型於最大起飛重量下起降，機場未來運作或將受此因素限制，此外，亦有部分設計要素因土地取得問題未滿足國際規範之標準。

## 1. 研究目的

本研究之目的在針對國內、外機場規劃設計規範中跑道、滑行道與停機坪等相關佈設部分作深入了解，並比較其間之差異，說明如下：

- 一、瞭解 ICAO 與 FAA 之规范要求：ICAO 與 FAA 之機場設計相關規範所涵蓋的範圍相當廣，本研究針對航機於機場運作中最密切相關之跑道、滑行道與停機坪等規範準則進行詳細之比較，以瞭解其相同佈設項目間在規定上的異同處。
- 二、國外規範與國內規範之間的差異比較：瞭解國外規範訂定之原則以及其間的差異後，本研究進一步與國內目前採用的規範作詳細比較，探討相關規定間之異同。
- 三、蒐集高雄國際機場實際佈設情形之資料：包含目前與未來可能服務之機型詳細資料，機場內跑道、滑行道與停機坪相關佈設項目之實際規模、設置情形，以及航機於跑道、滑行道與停機坪進行相關作業時所遭遇之問題瞭解。
- 四、探討高雄國際機場實際佈設與規範之差異：實地蒐集高雄國際機場內跑道、滑行道與停機坪等相關佈設的詳細資料，並進一步針對實際佈設與國內外規範間之異同作比較，並針對佈設中未達要求之項目進行深入探討。
- 五、提出後續研究方向之建議：比較 ICAO 與 FAA 兩套規範中跑道、滑行道與停機坪等相關佈設部分的規定，提出未來可進行之研究方向的建議。

## 2. 比較 ICAO 與 FAA 規範

綜合 ICAO 與 FAA 對於機場分類、跑道實體特性、滑行道實體特性、停機坪等相關規範之整理可發現，對於跑道相關佈設所涵蓋之範圍與定義之內容有所出入，並且同一佈設會因兩者之定義不同而有差異。另外之差異與影響還包括：

- 一、機場分類：分類之方式不同，易造成航機分類時的衝突。
- 二、跑道寬：FAA 除依不同機型與進場速度分類不同，而對跑道寬之要求有差異外，不同於 ICAO 的是 FAA 尚將機場分類第二碼為 I 與 III 之航機再依其最大核定起飛重量作細分，以針對不同之機型作適當之設計，故相較之下，

FAA 較 ICAO 為嚴謹。

- 三、跑道橫向坡度：ICAO 以航機翼展/輪距作分類，FAA 則以進場速度分類，故同一翼展分類之航機，將可能因其進場速度不同而有不同之橫向坡度要求。
- 四、跑道縱向坡度：於坡度計算以及視距 ICAO 之要求皆較 FAA 嚴格，但於最小豎曲線半徑與坡度變化點間之距離計算上則以 FAA 較為嚴格。
- 五、跑道道肩寬度與跑道道肩橫向坡度：ICAO 對於機型較小（機場分類第二碼為 A、B、C）之航機，其跑道道肩寬度與跑道道肩橫向坡度皆無要求；而 FAA 則對於各種機型皆有作詳細之規範，故 FAA 較 ICAO 嚴格。
- 六、起落安全地帶：ICAO 包含跑道端安全區與跑道帶，其中跑道帶對於障礙物之要求嚴格，並且亦規定不同進場跑道下之整地要求；而 FAA 則包含了跑道、緩衝區，其中 FAA 嚴格要求跑道上之空域範圍之障礙物，而 ICAO 僅限制跑道道面之障礙物，由於 FAA 之涵蓋範圍比 ICAO 來得大，故 FAA 較 ICAO 嚴謹。
- 七、清除區：ICAO 與 FAA 之差異在於清除區之長度計算方式，不因機型之不同而有差異。
- 八、緩衝區：ICAO 與 FAA 皆定義此部分之要求與其銜接之跑道相同。
- 九、跑道噴氣防護坪：FAA 將其歸類於跑道相關之佈設中，位置與緩衝區相同，僅設置之功能上有差異。
- 十、滑行道系統：ICAO 與 FAA 明顯差異的部分主要在於滑行道各項隔離要求，大致而言，滑行道與儀器跑道之最小隔離以 ICAO 較嚴格，而滑行道與非儀器跑道則以 FAA 較嚴格。

### 3. 國內規範探討

國內規範主要依據「國內機場規劃設計規範之研究」，其中探討跑道及滑行道之幾何設計要求與應考量因素。其所訂定之規範，引用來源不同，可參見表 2.69 及 2.70。

表2.69 國內機場跑道相關佈設之引用來源

跑道實體特性	ICAO	FAA
跑道寬	✓	
跑道縱向坡度相關規範	✓	
跑道橫向坡度	✓	
跑道帶	✓	
跑道道肩		✓
跑道端安全區	✓	✓
跑道噴氣防護坪		✓
跑道保護區		✓

表2.70 國內機場滑行道相關佈設之引用來源

滑行道實體特性	ICAO	FAA
滑行道與跑道最小間距	✓	✓
滑行道與滑行道最小間距	✓	
滑行道各部分寬度	✓	✓
滑行道各部分坡度		
出入口滑行道		✓
等待彎	✓	
旁越滑行道	✓	
跑道/滑行道橋	✓	

#### 4. 高雄國際機場實例探討與分析

本研究實際訪談取得高雄國際機場實際佈設資料，與 ICAO、FAA 之規範進行比較。針對所蒐集得之資料，綜合整理實際佈設情形與 ICAO、FAA 之比較，本研究做幾點歸納：

- 一、高雄機場實際佈設之跑道寬、跑道縱向坡度等皆滿足 ICAO 與 FAA 之要求，並且寬度部分就目前起降航機之需要而言皆大於規範之最小要求。
- 二、跑道帶、清除區等佈設，主要目的在於保持淨空以避免對航機於起降操作或偏離跑道時造成損壞，而高雄國際機場中於實際設置長度皆符合 ICAO 之要求，然寬度部分可能由於用地之取得不易之故，皆未達規範要求。
- 三、FAA 所定義之跑道噴氣防護坪主要功能在於防止飛機之氣流對地表之毀損與沖刷，而國內之實際佈設規格較小或許是由於用地取得不易，然而飛機機尾亂流所造成之影響範圍是否需要如此大之範圍，將於後續進行討論。
- 四、就滑行道系統而言，目前實際佈設規模皆符合 ICAO 與 FAA 之最小要求，無明顯之差異，另外，機場中僅設有一般之垂交滑行道，而垂交滑行道是否可符合目前機場之運量需求，以及是否需增設快速出口滑行道之相關議題，本研究基於時間之限制，不進行討論。
- 五、機場中未符合要求之部分（如跑道帶寬度、清除區），主要受限於國內土地取得不易，針對此項影響因素之影響，國內規範是否應進行深入探討以制定符合國內特性之要求為一值得探討之課題。

#### 5. 高雄國際機場之相關問題探討

##### 5.1 跑道長度分析

根據本研究實地瞭解目前之操作情形發現由於高雄國際機場主要營運航點為東南亞地區與日本，並且由於運量不高，B747 系列航機僅達 80% 之載重，就目前營運狀況而言並無全載重起降之需要，但根據「台灣地區民用機場整體規劃

及未來五年發展計畫」之定位，未來之運量有上昇之趨勢，故為了提升高雄國際機場之競爭力，以符合其營運需求，實有必要作適當之調整。以下分為航程長度與航機起飛重量做討論。

一、航程長度：本研究做了兩種假設，以了解不同航程長度下，高雄國際機場之跑道長度是否足夠。

1. 高雄—歐美（法蘭克福、舊金山）航線：航程長度約 11000 公里以上，以 FAA 之計算結果，跑道長度約需 3470 公尺以上，目前之跑道長度顯然不足。
2. 高雄—南太平洋（雪梨）航線：航程長度約 7500 公里以上，以 FAA 之計算結果，跑道長度約需 3380 公尺以上，目前之跑道長度亦不足以負荷。

二、航機起飛重量：目前高雄國際機場中最大起降機型為 B747 系列，其中 B747-200 由其性能參數中得知，此機型於最大起飛重量（max take-off weight）下，所需之起飛長度約為 3399 公尺，所需之落地長度為 2109 公尺，B747-400 於最大起飛重量下，所需之起飛長度約 3383 公尺，所需之落地長度為 2285 公尺，全載重起飛的情況下高雄國際機場之跑道長度明顯不足。

三、小結：綜合可知，要符合機場未來發展需求，跑道長度應拓建置 3380~3470 公尺。由於主跑道已達機場用地範圍之極限，若欲延長跑道則需往東西兩側進行擴充。

## 5.2 跑道障礙物淨空分析

### 一、跑道帶

目前高雄國際機場 09L/27R 跑道之跑道帶實際佈設情形為一 3270 m × 252 m 之矩形區域，跑道帶北側寬度僅 102 公尺，假若依 ICAO 之要求 150 公尺，將觸及機場北側之圍牆，透過資料蒐集得知機場北側圍牆外之土地多屬農業用地，尤其於 27R 外側有房舍緊鄰，而 ICAO 定義跑道帶之目的在於航機起降時提供一淨空區域，以防止航機因某些因素偏離跑道或因事故衝出跑道時，可對航機之損害減至最小；因此本研究建議機場當局在考量國內地窄人稠、土地取得不易之情況下作深入之研究，視其是否可由規範要求以及國內人文環境因素間取得較佳之權衡，以進行適當之規劃。

另外，就障礙物限制與整地寬度部分，於目前跑道帶範圍內之地面皆屬平整，並且除了導航設備以外並無障礙物存在，符合規範之要求。

### 二、清除區、緩衝區與噴氣防護坪

透過實際之訪談瞭解高雄國際機場於「台北飛航情報區飛航指南（AIP）」中定義清除區與緩衝區之規模，但實際上於機場中並未設置，此外由本研究之分析比較中發現噴氣防護坪實際之佈設並不符合 FAA 之要求，並且噴氣防護坪之目的在於防止航機吸入異物而影響航機操作，然根據本研究的瞭解發現航機於實際運作時，有吸入異物之經驗，因此噴氣防護坪

之佈設尺寸實有調整之必要。

### 三、小結

就實地了解高雄國際機場針對跑道帶寬度不足之處理方式，相關單位目前配合高雄市都市發展計畫，已進行徵收機場北側圍牆外之農地，待土地徵收完成將可進行擴建，如此即可達 ICAO 所規定之安全淨空要求。

而就清除區、緩衝區以及噴氣防護坪之問題而言，機場當局並未納入機場規劃調整之內容，建議應深入了解其佈設情形對於航機起降運作之影響程度，期使未來高雄國際機場之運作環境更具安全性。

#### 5.3 停機坪設置分析

透過高雄國際機場實地訪談所蒐集之資料，將目前航機於停機坪運作產生安全疑慮之部分作一整理。

1. 目前佈設情況下，23 號與 18 號停機位置為互相鄰接之停機位置，由於停機位置間之淨空不足，無法供 A330、MD-90 同時使用；但若同時停放 A330 與 DASH-8 兩種機型時，因 DASH-8 之機型較小，則可允許有較大之空間供航機移動、操作。
2. 17 號與 18 號停機位置，同時停放 MD-90 與 B757 時，其間之淨空有不足之疑慮。

### 6. 結論

透過對於 ICAO 與 FAA 規範以及目前高雄國際機場實際面臨課題的了解，本研究針對現階段機場規劃設計過程中最主要限制因素作一整理並提出建議。

ICAO 訂定之規範為國際間通用標準，並且考量眾多會員國之適用性，為一原則性之規範，而 FAA 則主要以美國境內機場為設計對象，制定時所考量之因素乃依據美國境內機場實際要求而訂定，二者制定背景不同。國內機場環境的運作特性不同於其他國家，於規範上的適用性必然會出現疑慮；再者，透過本研究比對 ICAO、FAA 規範後亦發現：於跑道帶、清除區等用地需求較大之佈設設計要求上，高雄國際機場明顯的不符合要求，於此便可清楚的了解國內實際運作環境與 ICAO、FAA 規範間之衝突。

本研究建議之處理方式為：

1. 蒐集國內各機場之起降機型、周邊環境資料：本研究僅針對高雄國際機場進行實例研討，但欲建立一完善的設計規範實應了解國內各機場之特性，針對不同機場周邊環境以及不同起降機型作最佳之規劃。
2. 針對國內地理特性問題研擬解決方案：國內地狹人稠、土地取得不易之問題，影響機場佈設。然而為了提高國內之機場起降環境的安全性，制定一最佳的機場規劃設計規範乃是刻不容緩的。必須協調周邊環境衝突，滿足規範準則以確保航機之安全。機場設計不足將對航機產生威脅，過度設計亦會造成資源之浪費，考量航機之運作安全與國內特性，實需於其中取得較佳的權衡。

3. 根據各機場之周邊環境特性訂定準則：建議針對國際機場與國內機場之主要特性制定不同的設計要求。
4. 調和民用機場與軍民合用機場之差異：目前國內機場中僅中正國際機場、高雄國際機場及台中水湳機場為完全民用機場，其他如松山、嘉義、台南、屏東、花蓮、台東、金門與馬公等機場皆為軍民合用機場，軍民合用機場需由軍方與交通部民航局共同管理，並且軍機與民航機之性能不同，對於機場中佈設之要求亦有差異，故於機場規劃過程中將有其困難度；因此本研究建議國內機場規劃設計規範制定過程中除了機場周邊環境與地理因素之考量外，也需要同時考量軍機與民航機之最小要求。
5. 高雄國際機場部分
  - 5.1. 就高雄國際機場實際運作情況與運量而言，目前跑道長度足以應付 B747 系列以下航機起降之需求，但若考量未來發展將有延長之必要。
  - 5.2. 就滑行道系統而言，目前實際佈設規模皆符合 ICAO 與 FAA 之最小要求，且機場之滑行道皆為垂交滑行道，考量未來運量增加之情形下是否需增設快速出口滑行道之相關議題，將有待進一步討論。
  - 5.3. 停機坪之設置情形，高雄國際機場停機坪之淨空及實際操作情形而言仍有所需進行改善之空間。
6. 於實例分析中，本研究以高雄國際機場為研究對象仍發現多處未達規範要求之佈設情形，而其他國內機場之佈設情形或將會有更大之差異。

## 7.建議

1. ICAO 與 FAA 對於起降地帶相關之障礙物限制面間之要求是否也有差異，未來將可針對此部分作深入探討。
2. 欲瞭解機場之佈設情形是否恰當需同時蒐集實際操作人員（如駕駛員）、機場管理者以及機場運作人員等各方意見，本研究基於時間之限制，僅取得部分機場操作人員之意見，建議未來可再深入蒐集多方實際操作經驗，以利未來規範制定單位之參考。
3. 建議未來之研究可針對國內各機場蒐集起降機型特性資料與機場周邊社經、環境發展計劃，進行更深入之分析，作為機場規劃設計規範訂定之依據，使國內之機場規劃設計規範更臻完備。
4. 機場週邊之發展亦可能對航機起降運作產生影響，因此建議未來可針對機場週邊禁限建之規定作深入探討。
5. 高雄國際機場部分
  - 5.1. 高雄國際機場中跑道噴氣防護坪之設置並未達到規範要求，建議未來可針對此項課題進行深入探討。
  - 5.2. 高雄國際機場中停機坪部分所面臨之淨空不足問題，建議後續研究可針對其佈設規模作重新之檢討。

## [文獻評析]

國內少有關於機場設置規範之相關研究。本文即擬針對此課題，分別由機場分類、跑道實體特性(包含跑道寬度、跑道縱向坡度等各項設計要素、跑道橫向坡度、跑道道肩、跑道帶、跑道安全區、清除區、緩衝區)、滑行道實體特性(包含滑行道寬度、滑行道坡度要求、滑行道道肩、滑行道帶、滑行道安全區、滑行道最小隔離距離、出入口滑行道、等待彎、旁越滑行道)與停機坪等項目，比較分析 ICAO 與 FAA 之規範差異，可作為國內設置相關規範之重要參考。

本文透過高雄國際機場的實際案例分析，探討國內機場設計是否符合 FAA/ICAO 之規範，以及無法滿足規範時之重要障礙所在。特別舉出土地取得困難，是國內佈設機場時必須格外考慮的因素，且指出：應平衡考量飛航安全與機場用地之取得困難和投資經濟效益等因素，檢視 FAA/ICAO 規範之國內適用性。此一結論非常寶貴。

因 FAA/ICAO 規範均只單方面著重飛航安全之需求，並未顧及土地取得困難度或投資經濟效益。但是機場建設與營運目前已有逐漸走向民營化的趨勢，未來機場設置規範應適度考量資源有效運用的因素，包括土地取得與利用面向，航機及地勤業務在機場內運作等，由建設營運之成本效益分析的概念，考量輔助儀器設備等之技術進展的協助，以檢討 FAA/ICAO 機場規劃設計規範。

另外，本研究如能在高雄國際機場案例比較中，增列是否符合我國相關規範，或我國規範缺乏此一項目，不僅將更有助於國內機場規範之後續研究，亦有助於分析 FAA/ICAO 規範在國內之適用性。

針對國內機場多為軍民合用機場一特性，未來國內機場設置準則相關研究上，似乎可格外著重探討軍用機場之設置準則，與 FAA/ICAO 相衝突之處，並檢視其對民航機操作之限制或潛在危險。以使我國機場設置準則標準，更能符合情。

## [相關文獻]

ICAO Doc 9157-AN/901 “**Aerodrome Design Manual Part 1 Runways**”, Second Edition 1984.

ICAO Doc 9157-AN/901 “**Aerodrome Design Manual Part 2 Taxiways, Aprons and Holding Bays**”, Third Edition 1991.

FAAAC 150/5300-13 “**Airport Design-Advisory Circular**”, 1989.

FAA AC 150/5360-13 “**Planning and Design Guidelines for Airport Terminal Facilities-Advisory Circular**”, 1988.

FAAAC 150/5325-4A “**Runway Length Requirement for Airport Design**”, 1990.

交通部民用航空局，「民航機場土木設施設計標準規範」，民國 76 年 9 月。

財團法人中華顧問公司，「國內機場規劃設計規範之研究(一)期末告報(規範)」，民國 89 年 11 月。





## ATC

### 人為因素(Human Factor)

Allendoerfer, K. R., and Galushka J. **Air Traffic Control System Baseline Methodology Guide.** *DOT/FAA/CT-TN99/15*, June 1999

FAA, European Organization for the safety of air navigation **New Technique Improves Analysis of Human Factors in ATM Incidents.** *ICAO Journal*, Vol.59, No.8, 2004, pp. 16-18

Galster, S. M., Duley, J. A., Masalonis, A. J., and Parasuraman R. **Air Traffic Controller Performance and Workload Under Mature Free Flight: Conflict Detection and Resolution of Aircraft Self-Separation.** *International Journal Of Aviation Psychology*, Vol.1, No.1, 2001, pp. 71–93

Gosling, G. D. **Analysis of Factors Affecting Occurrence and Severity of Air Traffic Control Operational Errors.** *Transportation Research Record* , No. 1788, 2003, pp. 49-57

Julia, P., and Anne, I. **Development of an FAA-Eurocontrol Technique for the Analysis of Human Error in ATM.** *DOT/FAA/AM-02/12, Final Report*, July 2002

Kelly, C., Boardman M., Goillau P., and Jeannot E. **Guidelines for Trust in Future ATM Systems: A Literature Review.** *HRS/HSP-005-GUI-0 Eurocontrol*, Mar. 2005

Pape, A.M., Wiegmann, D.A., and Shappell, S. **Air Traffic Control (ATC) Related Accidents and Incidents: Human Factor Analysis.** *International Symposium on Aviation Psychology*, 2001

Scarborough, M.P.H., and Pounds J. **Retrospective Human Factors Analysis of ATC Operational Errors.** *International Symposium on Aviation Psychology*, 2001

Shorrock, I. S. T., Kennedy, R., Kirwan, B., Andersen, H., and Bove T. **Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA).** *HRS/HSP-002-REP-01 Eurocontrol*, Apr. 2002

Thomas, R. P., Willem, B., Shanteau, J., Raacke, J., Friel, B., and Hughes, W. J. **CWS Applied to Controllers in a High Fidelity Simulation of ATC.** *International Symposium on Aviation Psychology*, 2001

### 工作負荷(Workload)

Majumdar A. and Ochieng W. Y., **Factors Affecting Air Traffic Controller Workload - Multivariate Analysis Based on Simulation Modeling of Controller Workload**, *Transportation Research Record* , No. 1788 ,2003, pp.58-69

### 溝通(Communication)

Rognin L., Blanquart J.P., **Human Communication, Mutual Awareness and System Dependability. Lessons Learnt From Air-traffic Control Field Studies**, *Reliability Engineering and System Safety* Vol.71 No.3, 2001 pp327-336

### 情境察覺(Situation Awareness)

Niessen, C., and Eyferth, K. **A model of the Air Traffic Controller's Picture**. *Safety Science*, Vol.37, No. 3, 2001, pp. 187-202

Uhlarik, J., and Comerford, D. A. **A Review of Situation Awareness Literature Relevant to Pilot Surveillance Functions**. *DOT/FAA/AM-02/3, Final Report*, Mar. 2002

Yorck, H., Gauss, B., and Eyferth, K. **Salsa: A New Approach To Measure Situation Awareness In Air Traffic Control**. *International Symposium on Aviation Psychology*, 2001

### 團隊資源管理(TRM)

Andersen V., Bove T., **A Feasibility Study of the Use of Incidents and Accidents Reports to Evaluate Effects of Team Resource Management in Air Traffic Control**, *Safety Science*, Vol.35, 2000 pp87-94

# Air Traffic Control System Baseline Methodology Guide

Joseph Galushka, Kenneth R. Allendoerfer

FAA Technical Note DOT/FAA/CT-TN99/15, June 1999

## [英文摘要]

The Federal Aviation Administration (FAA) has sponsored several system baseline studies since 1995. These studies used controlled human-in-the-loop simulations to collect data regarding the operational effectiveness of several major air traffic control (ATC) systems. These data allowed direct comparisons between ATC systems and helped identify deficiencies in new ATC systems. System baseline studies provide data following five operational constructs: safety, capacity, performance, workload, and usability. Each construct comprises objective and subjective measures and provides converging indicators for that construct. In addition, data are collected about the realism of the baseline simulations to ensure their external validity.

The *Air Traffic Control System Baseline Methodology Guide* serves as a reference for engineering research psychologists and others interested in conducting system baselines in the ATC domain. The Methodology Guide provides the following information: (a) descriptions of and references to past baselines that have successfully used the methodology, (b) detailed descriptions of the operational constructs and corresponding objective and subjective measures, (c) a description of the overall baseline methodology, (d) other recommendations and lessons learned regarding the successful conduct of system baselines, and (e) a discussion of the role of system baselines in the ATC system acquisition process.

## [中文摘要]

從 1995 年起 FAA 贊助數個航管系統基準性研究，這些研究皆使用真人參與 (human-in-the-loop) 的模擬方式進行有關系統運作有效性之資料蒐集，這些資料可供航管系統間之比較分析，並協助找出新航管系統之缺失，這些系統基準性研究所提供的資料涵蓋五個構面：安全、容量、績效、工作負荷與使用性，每一個構面包含客觀性與主觀性之量測，並提供該構面之收斂性指標，此外，並蒐集有關該模擬之真實性資料以確保其外在之正確性。

此一研究報告為一進行航管系統基準性研究之參考，主要提供工程研究心理

學家(engineering research psychologists)研究航管系統和管制員互動關係時的參考，報告中提供下列資訊：(1)有關過去基準性研究所成功使用方法論之說明與參考(2)有關各運作構面與相關之主、客觀量測之詳細說明(3)有關整體基準性研究方法論之說明(4)有關成功進行系統基準性研究之建議與教訓(5)對於航管系統取得過程中系統基準性研究所扮演角色之討論。

## [內容]

從 1995 年起 FAA 贊助數個航管系統基準性研究，這些研究皆使用真人參與(human-in-the-loop)的模擬方式進行有關系統運作有效性之資料蒐集，這些資料可供航管系統間之比較分析，並協助找出新航管系統之缺失，這些系統基準性研究所提供的資料涵蓋五個構面：安全、容量、績效、工作負荷與使用性，每一個構面包含客觀性與主觀性之量測，並提供該構面之收斂性指標，此外，並蒐集有關該模擬之真實性資料以確保其外在之正確性。

此一研究報告為一進行航管系統基準性研究之參考，主要提供下列資訊：(1)有關過去基準性研究所成功使用方法論之說明與參考(2)有關各運作構面與相關之主、客觀量測之詳細說明(3)有關整體基準性研究方法論之說明(4)有關成功進行系統基準性研究之建議與教訓(5)對於航管系統取得過程中系統基準性研究所扮演角色之討論。

### 1. 此一報告彙總之系統基準性研究包括：

- (1) Host Computer System (HCS) and Plan View Display (PVD)：此裝備於 1999 年以前使用於各區域管制中心(ARTCCs)。
- (2) Automated Radar Terminal System(ARTS)III and Data Entry and Display Subsystem(DEDS)：此裝備目前為許多近場管制中心所使用。
- (3) Operational Display and Input Development IV：為一 Eurocontrol 發展之航管計畫。
- (4) Display System Replacement：DSR 系統於 1999-2000 年間將逐步取代 PVD
- (5) Standard Terminal Automation Replacement System(STARS)：新的近場與塔台雷達顯示與自動化裝備

除了 ODID IV 之基準性研究是在 Eurocontrol 之實驗中心進行外，其他的都在 William J. Hughes Technical Center 進行。

### 2. 運作構面與量測：以下說明各構面所包含之量測，報告內容包括各量測之定義、資料之取得、資料表達之層級及其他相關之資訊。

- 2.1 安全，安全構面之量測包含：操作誤失(Operational Errors)、衝突警示(Conflict Alerts)、光圈使用(Halo Initiations)、資料區塊放置(Data Block Positioning)及其他安全關鍵性議題(如結束問卷(Final Questionnaire)與觀察者記錄本(Observer Log))。

- 2.1.1 操作誤失：違反最小隔離的次數。資料源自於 TGF，若 TGF 無法取得，則透過 SAR tapes，此外也可由觀察者記錄本取得席位、時間及涉及的飛機等資訊。
  - 2.1.2 衝突警示：衝突警示發出警報的次數，由 ATC 自動化系統根據 FAA 規則所設計。資料由 SAR tapes 或 CDR tapes 取得，此外也可由觀察者記錄本取得席位、時間及涉及的飛機等資訊。
  - 2.1.3 光圈使用：以管制員使用光圈的次數為衡量標準。資料取自於 SAR tapes。
  - 2.1.4 資料區塊放置：管制員改變引導線長度及方向改變的次數，以維持資料區塊的可讀性。航路部分的資料由 HCS 和 SAR tapes 取得；終端區域部分則建議由 STARS 蒐集。
  - 2.1.5 其他安全關鍵性議題：主要是藉由問卷及專家觀察的方式找出其他量測無法衡量的安全關鍵性議題，但須注意是與安全相關的概念。資料源自於問卷及專家觀察。
- 2.2 容量，容量構面之量測包含：管制之架數(Aircraft Under Control)、航機在一席位空域之時間(Time in Sector)、最終進場之間隔(Spacing on Final Approach)、兩到場航機間之時間間隔(Time Between Arrivals)。
- 2.2.1 管制之架數：一位管制員所接管的航機架數。
  - 2.2.2 航機在一席位空域之時間：航機在一特定席位空域內的時間。
  - 2.2.3 最終進場之間隔：到場時，第一架飛機通過中信標台時與第二架飛機的距離。
  - 2.2.4 兩到場航機間之時間間隔：連續的兩架飛機其通過中信標台的時間差。此種量測方法僅適用於終端區域。
- 上述的資料都取自於 TGF，亦可透過 AMP 取得。
- 2.3 績效，績效構面之量測包含：整體輸入之資料(Overall Data Entries)、特定輸入資料種類(Specific Data Entry Types)、資料輸入錯誤(Data Entry Errors)、高度、速度與航向改變次數(Number of Altitude, Speed and Heading Change)、自我績效評估(Self-Assessment of Performance)、觀察者對績效之評估 (Observer Assessment of Performance)。
- 2.3.1 整體輸入之資料：管制員藉由鍵盤或軌跡球等方式輸入資料的次數。
  - 2.3.2 特定輸入資料種類：管制員藉由鍵盤或軌跡球等方式輸入某特定資料的次數。
  - 2.3.3 資料輸入錯誤：自動化系統退回資料輸入錯誤的次數。
- 上述三個的量測資料都取自於 SAR 或 CDR tapes。。
- 2.3.4 高度、速度與航向改變次數：管制員發出高度、速度與航向改變指令的次數。資料源自於 TGF 紀錄。
  - 2.3.5 自我績效評估：於模擬測試結束後參與者的主觀績效衡量，評比

等級為 1(低)~7(高)，包含管制員及駕駛員雙方觀點的飛航服務品質。

2.3.6 觀察者對績效之評估：觀察者對模擬參與者其模擬過程的評估，評比等級為 1(Least Effective)~8(Most Effective)，衡量包含(1)安全維持及流量效率(2)注意力與情境察覺的維持(3)排序(4)管制資訊的提供(5)技術知識(6)溝通等六個項目。資料取自於 Subject Matter Expert Observer Rating Form，並分為航路及終端區域兩部分。

2.4 工作負荷，工作負荷構面之量測包含：ATWIT 工作負荷、模擬結束後之工作負荷評等、溝通性負荷、協調性負荷。

2.4.1 ATWIT 工作負荷：一特定時段內參與者的主觀工作負荷評比，而為確保工作負荷評比的穩定性，因此以連續三個評比的平均作為一時段的工作負荷評比。評比等級為 1(低)~7(高)。

2.4.2 模擬結束後之工作負荷評等：模擬結束後參與者的主觀工作負荷評比。

2.4.3 溝通性負荷：管制員發出 push-to-talk、空-地通訊的次數。

2.4.4 協調性負荷：管制員發出 push-to-talk、地-地通訊的次數。

2.5 使用性，使用性構面量測資料主要由結束問卷(Final Questionnaire)取得，探討項目包括：管制條取用性、管制條易讀性/加註性、管制之易取用性、管制之直覺操作性、鍵盤之易使用性、雷達及地圖之易讀性、雷達及地圖之易瞭解性、工作站空間、裝備、顯示及管制對航管效率之支持；裝備、顯示及管制所附加之限制；裝備、顯示及管制之整體有效性，與裝備互動之品質。

2.6 模擬真實度，模擬真實度構面包括：交通情境特性、其他模擬特性(如標準作業程序、管制單位間之 LOAs 等)、真實性評等、技術問題之影響評等、代理駕駛員影響評等、情境困難度評等。

2.6.1 交通情境特性：交通模擬情境中包含的重要交通特性，如平均每分鐘進入席位的架刺、到達與離開的架次。

2.6.2 其他模擬特性：交通模擬情境中包含的其他重要交通特性，如如標準作業程序、管制單位間之 LOAs 等。

2.6.3 真實性評等：參與者對模擬情境的真實度評等。

2.6.4 技術問題之影響評等：管制員於模擬進行中處理管制交通任務可能會面臨之問題，由模擬後問卷中取得資料。

2.6.5 代理駕駛員影響評等：代理駕駛員對管制員處理管制交通任務的影響，由模擬後問卷中取得資料。

2.6.6 情境困難度評等：參與者對模擬的交通情境困難度評等，亦是由模擬後問卷中取得資料。

2.7 其他量測指標，有關個別基準性研究所使用特殊量測指標之說明。

- 3 基準性研究方法論：主要探討模擬狀況一致性、模擬真實度、測試計畫、排程與排班、實驗室平台、模擬器、空域、交通情境、參與之管制員、專家觀察員、實驗前後之簡報及訓練等。
- 3.1 模擬狀況一致性：不同基準性研究的模擬狀況應保持一致性以利於比較。
  - 3.2 模擬真實度：建議可詢問模擬實驗參與者的意見，以評估模擬的真實度。
  - 3.3 測試計畫：一個正式的基準性研究計畫應包含簡介、方法、資料歸納與分析、參考文獻與附錄等部分。
  - 3.4 排程與排班：規劃實驗時須考慮員工排班限制及設備重新啟動時間等因素，此外應使每位參與者都可以參與實驗中模擬的每個情境，並且避免選定某一特定的參與者類別。
  - 3.5 實驗室平台：航管模擬系統的設備都位於實驗中心的 Building 300，設備包含：En Route Simulation Support Facility、DSR Laboratory、Integration and Interoperability、Terminal Simulation Support Facility、STARS、Transition Laboratory、Oceanic Laboratory 等的實驗室平台。
  - 3.6 模擬器：包含主要的模擬器 TGF(Target Generation Facility)、航路模擬器 DYSIM 以及終端區域模擬器 ETG，需要有虛擬的駕駛員及管制員進行操作。
  - 3.7 空域：基準性研究的空域選擇應避免太多的特性，ZCY generic airspace 與 Genera 是一般性的空域模擬環境。
  - 3.8 交通情境：基礎性研究的交通情境應達到中-高層級的複雜度。
  - 3.9 參與之管制員：參與基準性模擬的管制員必須為成熟之管制員，並建議只邀請有該席位證書的管制員進行模擬。
  - 3.10 專家觀察員：專家觀察員通常為模擬設備的監督者，亦可由品保或訓練人員擔任，但應盡量避免由同領域的管制員擔任。
  - 3.11 實驗前後之簡報：實驗前的簡報中研究人員應探討(1)研究如何進行(2)研究結果如何應用(3)如何確保參與者的機密性與匿名性(4)參與者在研究中扮演的角色(5)資料如何蒐集(6)模擬器和真實狀況有何差異(7)模擬實驗的啟動、休息時間。實驗後的簡報應探討(1)確認系統間是否有所差異(2)探討系統是否有那個構面需再進一步評估或改進(3)模擬的系統相較於目前的系統改進了什麼構面(4)此模擬系統的真實度。
  - 3.12 訓練：訓練最少應包含新設備、不熟悉的空域、不熟悉的程序、WAK 等訓練項目。
- 4 資料蒐集技巧與工具：所討論議題涵蓋 TGF(Target Generation Facility)記錄資料、SAR(System Analysis Recording)記錄資料、AMP(Aircraft Management Program)記錄資料、CDR(Continuous Data Recording)記錄資料、通訊記錄資料、錄音帶及錄影帶、工作負荷評估鍵盤、問卷及評等、鍵盤使用記錄資料、資料之確認與保存。
- 4.1 TGF 紀錄：TGF 紀錄的資料包含航機位置、飛航計畫、隔離、代理駕駛



- 員的動作，但沒有紀錄管制員與顯示或自動系統的互動資料。
- 4.2 SAR 紀錄：SAR 紀錄管制員與 HCS 的互動資料。
  - 4.3 AMP 紀錄：AMP 紀錄航機移動與飛航資料，如席位裡的航機架數、航機在該席位的時間。
  - 4.4 CDR 紀錄：CDR 可以紀錄管制員與 ARTS 的互動資料。
  - 4.5 通訊資料：VSCS 可以紀錄 Legal Record 系統的語音通訊，並紀錄 VSCS Log Recorder 系統的地-空和地-地通訊次數。
  - 4.6 錄音帶及錄影帶：錄音帶主要目的可提供備份資料，且領域專家可藉此回顧關鍵如操作誤失等關鍵的事件。另外建議紀錄雷達螢幕的影像，可作為操作誤失的檢視依據。
  - 4.7 工作負荷評估鍵盤：工作負荷評估鍵盤是用以蒐集 ATWIT 工作負荷資料的一有效方法。
  - 4.8 問卷及評等：包含五個基準性問卷：背景問卷、模擬前問卷、觀察者記錄簿、結束問卷、領域專家觀察評等表格。
  - 4.9 鍵盤使用記錄資料：可利用鍵盤使用記錄資料分析所按之按鍵以及排字上的誤失。
  - 4.10 資料之確認與保存：模擬進行前必須確認所有時間同步、紀錄工具都是合適的且有足夠空間並且加以標記，另外亦必須有足夠的空白問卷。模擬進行中則需確認影像與語音記錄有實際作用、WAK 的時間間隔正確、評比資料確切記錄資料庫中，且領域專家實際填寫觀察評等表格。模擬結束後則需確認所有的資料、語音紀錄、影像紀錄及問卷的標記，抽查語音、影像紀錄的品質及問卷是否被確切填寫。
- 5 資料分析技巧與工具：所討論議題涵蓋自動化工具、人工技巧、品質保證、資料保存等。
- 5.1 自動化工具：自動化工具所蒐集之資料於分析進行前必須先行簡化，其中 TGF tape 利用 DRAT、SAR tape 利用資料分析與簡化工具、CDR tape 利用 ARTS。
  - 5.2 人工技巧：必須以人工方法將問卷資料填入表格或統計分析格式，此外可能需利用人工方法簡化影像資料。
  - 5.3 品質保證：研究人員需確保基準性資料與分析的完整性，建議可利用抽用的方式加以驗證。
  - 5.4 資料保存：研究所蒐集的資料必須依據 FAA 的計畫架構管理指導方針 (Project Configuration Management Guidance) 的要求格式保存，以利於後續研究的進行。
- 6 系統間比較之方法論：此部分包括建議組成一審查小組以檢視研究結果之合理性，及報告表達方式等。
- 6.1 審查小組：建議組成一審查小組以檢視資料及分析的正確性與完整性、提供系統運作的基本原理、並協助更詳細的資料分析。審查小組的成員

應包含：工程研究心理學家、航空領域專家、管制員、資料簡化及分析技術專家、模擬器及實驗平台的技術專家、系統比較的專家。

6.2 報告表達方式：建議基準性研究的報告格式應包含三個層級：(1)整體

Over-all：提供整個研究進行中所需的資料，以及不會於每次模擬進行中都蒐集的資料，如背景問卷以及結束問卷中的資料。(2)席位 Sector：提供每個席位所需的資料。(3)時段 Interval：每 12 分鐘提供給席位的資料。並建議以表格或圖表的方式呈現系統之間的比較結果。

7 系統基準性研究資料之使用：研究人員可利用系統基準性研究資料比較新舊系統，且可將資料應用於系統硬體、軟體、程序等修正的參考依據。然而系統基準性研究僅為人為因素評估的一部份，其他包含使用性評估、系統原型設計驗證、訓練與程序發展、系統改進及運作概念發展等。

7.1 使用性評估：使用性評估的目地在於找出人為因素課題，蒐集使用者對新系統的看法與意見，研究採中規模、使用真人的模擬方式進行，不使用基準性操作架構且基準性研究亦不需要大規模的資料蒐集與模擬真實度，研究人員與領域專家共同發展與新系統相關的 ATC 活動腳本，邀請參與者在低-中度交通量下完成腳本的 ATC 活動並提供回饋，人為因素專家再彙整、歸類使用者的回饋並列出相關課題的清單，以導引系統原型設計驗證活動的進行。

7.2 部分任務評估與反覆快速原型設計：此一階段的目的是在於發展並評估用以解決使用性評估清單的方法。由人為因素專家、硬體及軟體工程學家、原型發展者以及使用者代表共同組成一原型小組，將使用性評估清單歸納為不同的設計脈絡並據此發展出可快速修正的原型，並依據各設計脈絡原則進行小規模、部分工作的模擬評估，最後將評估結果整合至原型設計中並再次模擬評估，反覆進行直到原型設計妥善。

7.3 系統原型設計驗證：系統原型設計驗證的目的在於確認原型設計的結果，整個流程大致與上述使用性評估相似，參與者完成活動腳本並提供回饋給人為因素專家。理論上此階段的參與者應與可用性評估的參與者一致，必要時需將驗證結果再次回顧至原型設計小組以改善、提昇原型。

7.4 訓練與程序發展：人為因素專家協同 Air Traffic Operations、Air Traffic Resource Management Organization 的人員共同發展用以緩和新系統轉變的程序與訓練計畫，主要針對如何減輕新系統所產生的負面移轉影響。此外新的訓練與程序亦可彌補如成本或時間限制而導致的系統設計缺陷。

7.5 系統基準性：系統基準性為高真實度、使用真人參與的 ATC 運作模擬，可提供涵蓋安全、容量、績效、工作負荷與使用性等五個構面的資料，這些資料可用以比較新舊系統，以確保新系統可帶來效益並藉此找出新系統的缺陷。

7.6 先行計畫產品改進(Pre-Planned Product Improvement, PI<sup>3</sup>)：先行計畫產

品改進是新系統仍在發展的新功能，建議利用部分工作評估和反覆快速原型設計的方式進行評估，以減少基準性模擬的成本。

7.7 運作概念：此階段的目的是在於檢視新系統運作概念對於安全、容量、績效、工作負荷與使用性等五個構面的影響，建議以小規模的模擬方式進行。

## [文獻評析]

本技術指引的優點有：一、明確地指出 FAA 在評估 ATC 系統的五大基本要求——安全(Safety)、能力(Capacity)、性能(Performance)、工作負荷(Workload)、可用性(Usability)；二、提出基礎方法讓研究人員可以稍做修改就能適用於各種 ATC 系統之研究；三、讓研究人員吸取以往的研究經驗，以節省摸索試誤的時間。但由於報告中沒有提供 ATC 相關的背景知識，因此較適合熟悉 ATC 作業的人來閱讀，而不適合 ATC 基礎知識薄弱的新進研究人員。

本技術指引所預設的讀者是工程研究心理學家，因此認為不需對相關理論進行說明，而只著墨於實際從事研究的細節，並沒有進一步探討各種研究方法的優缺點。所以不熟悉這方面理論的研究人員，必須先閱讀本技術指引提及的各種基礎研究報告，才能真正了解文句的意思。

總之本研究是就 FAA 從 1995 年以來的基礎研究做一個整理，對 ATC 系統評估的規範相當明確且完整，詳述美國在 ATC 領域的研究做法，集合多年經驗的技術指引，可做為國內研究 ATC 的良好參考。

交通部、民航局、飛安會等政府部門將可由本文獻獲得助益。藉著這份技術指引，將讓政府部門在進行專案研究和更新 ATC 系統時，有一套合理的制度可供仿效。

另外此一報告所彙整的五個系統基準性研究，除了 ODID IV 基準性研究是在 Eurocontrol 之實驗中心進行外，其他四個都在 William J. Hughes Technical Center 進行，然而目前國內尚未建立類似之研發中心與能量，對於研發之進行可能會有所限制，因此這篇報告除了可供國內進行 ATC 研究的參考外，並可藉此評估國內建構 ATC 研發中心及能量的必要性。

## [相關文獻]

Allendoerfer, K. R., Mogford, R. H., & Galushka, J. J. (1999). *Comparison of the Plan View Display and Display System Replacement system baselines*. Manuscript in preparation.

Cardosi, K. M., & Murphy, E. D. (1995). *Human factors in the design and evaluation of air traffic control systems* (DOT/FAA/RD-95/3). Washington, DC: Federal Aviation Administration Office of Aviation Research.

- Federal Aviation Administration. (1996). *Project configuration management guidelines*. Unpublished manuscript. Atlantic City International Airport, NJ: DOT/FAA William J. Hughes Technical Center.
- Federal Aviation Administration. (1997). *Human factors job aid*. Washington, DC: Office of Chief Scientific and Technical Advisory for Human Factors.
- Galushka, J., Frederick, J., Mogford, R., & Krois, P. (1995). *Plan View Display baseline research report* (DOT/FAA/CT-TN95/45). Atlantic City International Airport, NJ: DOT/FAA Technical Center.
- Guttman, J. A., Stein, E. S., & Gromelski, S. (1995). *The influence of generic airspace on air traffic controller performance* (DOT/FAA/CT-TN95/38). Atlantic City International Airport, NJ: DOT/FAA Technical Center.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam: North-Holland.
- Hering, H., & Coatleven, G. (1996). *ERGO (Version 2) For instantaneous self assessment of workload in a real-time ATC simulation environment* (Report No. 10/96). Brétigny-sur-Orge Cedex, France: Eurocontrol Experimental Centre.
- Keegan, C., Skiles, T., Krois, P., & Merkle, M. (1996). Baseline measurement approach to ATC acquisitions. *The Journal of Air Traffic Control*, 38, 33-37.
- Krois, P., & Marsden, A. (1997). *FAA ODID VI: En route baseline comparison simulation final report* (Report No. 311). Brétigny-sur-Orge Cedex, France: Eurocontrol Experimental Centre.
- Mogford, R. H., Allendoerfer, K. R., & Galushka, J. J. (1999). *ARTS IIIA terminal baseline research report* (DOT/FAA/CT-TN99/7). Atlantic City International Airport, NJ: DOT/FAA William J. Hughes Technical Center.
- Skiles, T., Graham, R., Marsden, A., & Krois, P. (1997). En route ODID-PVD baseline comparisons. *The Journal of Air Traffic Control*, 39, 38-41
- Sollenberger, R. L., Stein, E. S., & Gromelski, S. (1997). *The development and evaluation of a behaviorally based rating form for assessing air traffic controller performance* (DOT/FAA/CT-TN96/16). Atlantic City International Airport, NJ: DOT/FAA William J. Hughes Technical Center.
- Stein, E. S. (1985). *Air traffic controller workload: An examination of workload probe* (DOT/FAA/CT-TN84/24). Atlantic City International Airport, NJ: DOT/FAA

Technical Center.

# **New Technique Improves Analysis of Human Factors in ATM Incidents**

FAA, European Organization for the safety of air navigation

ICAO Journal, Vol.59, No.8, 2004, pp.16-18

## **[英文摘要]**

Through close collaboration, human factors researchers in the United States and Europe have developed a better technique for identifying and understanding the causal factors behind human error in ATM operations.

## **[中文摘要]**

美國與歐洲的人為因素研究人員透過密切的合作方式，共同發展出一套用以識別及瞭解空中交通管理人為誤失發生的原因。

## **[內容]**

FAA 與 Eurocontrol 近期共同完成一人為因素研究，探討飛航管理的人為誤失事件，並發展出一套歸類與評估人為誤失肇因的方法～JANUS。

根據研究人為因素往往是事件的主要風險來源，在飛航管理領域中亦面臨同樣之問題，因此識別及減少航管人為誤失造成的事件，尤其針對航機隔離距離不足、空中接近之問題，是全球航空領域共同關心的重點，以美國統計資料為例，隔離不足的事件從 1998 年的 894 起增加到 2003 年的 1212 起。而利用人為因素方法評估航管人為誤失事件所面臨的挑戰不斷增加，因此發展出許多事件調查、報告的新工具和方法，例如利用雷達或語音紀錄器自動重現資料，以便於瞭解管制員在進行航管通訊時所接收的資訊；而事件調查報告格式中也逐漸將概括性的人為因素項目細分為不同等級的情境察覺因素，以利於後續探討人為誤失因素的肇因。

FAA 和 Eurocontrol 於 1995 年共同成立研究發展委員會(Research and Development Committee, RDCom)決定飛航安全研究活動的優先順序，其中空中交通管理的人為誤失被列入十二項行動計畫(Action Plan 12)中，該行動計畫的目的地在於發展出一套 ATM 事件中人為誤失因素的歸類方法，並作為新系統設計時評估潛在人為誤失的參考依據，其中 JANUS 就是由該合作計畫所發展一套用以

歸類、評估人為錯誤因素的方法。

而根據回顧研究發現 JANUS 分類方法作為調查工具是可行的，然而實務面是否真的可行，且相較於目前的調查技術方法則需要再進一步分析、驗證，因此 FAA 與 Eurocontrol 同意進行 JANUS 適用版的測試。

Action Plan 12 計畫執行時間由 1999 年至 2003 年中，整個計畫包含四個階段：規劃、發展 JANUS、現場測試與驗證，自 2002 年 6 月開始將重點著重於 JANUS 適用版的測試和驗證，而整個計畫在 2003 年 6 月完成。

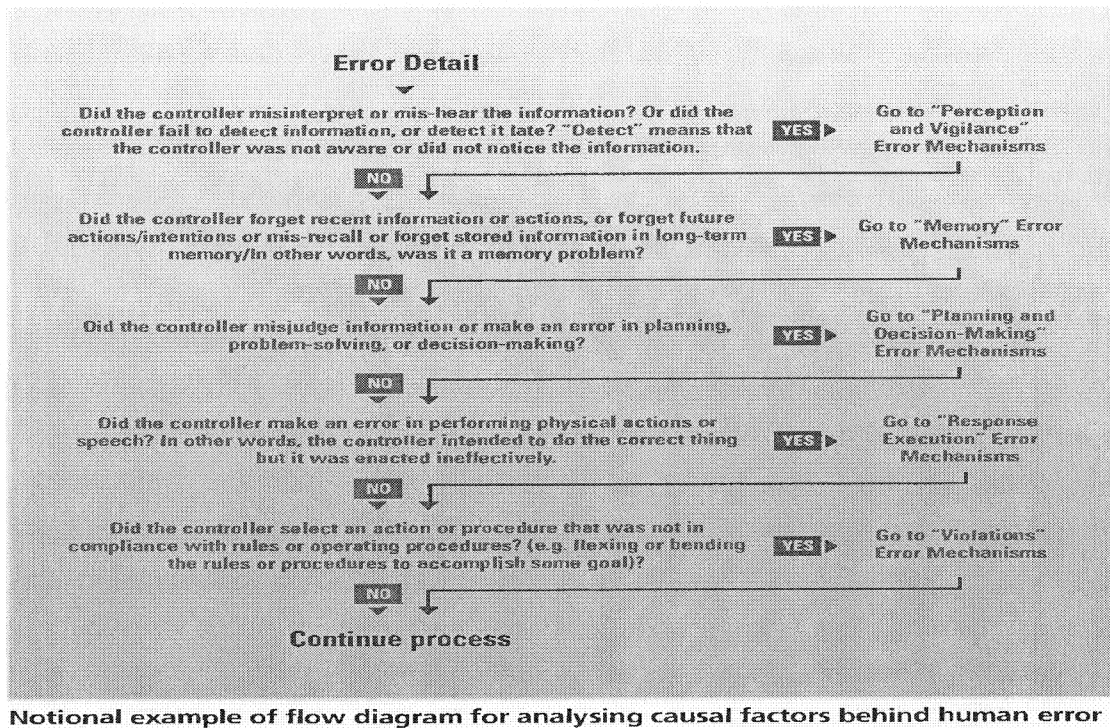
在發展出 JANUS 前，FAA 與 Eurocontrol 分別有不同的人為因素歸類系統：FAA 使用 HFACS(Human Factor and Classification Systems)系統，該方法原本應用於分析軍用航機事件，由外顯及隱藏誤失的觀點將誤失分為不安全的行為、不安全行為的先決條件、不安全的督導與組織影響四個層級；而 Eurcontrol 則採用 HERA 方法，由個體的認知處理程序指出誤失本身，再配合執行的工作、資訊和設備，以及背景環境中找出導致最終誤失的相關因素。而 JANUS 的發展分為兩個階段，首先航管專家利用 HFACS 與 HERA 方法分析過去的失事報告，評估兩方法應用於誤失原因診斷的敏感度，調查管理專家再依據研究結果比較兩分類方法並綜整成通用的項目。

JANUS 的分類法包含五個主要類別及數個次分類(如圖一所示)，五個主要類別分別為：(1)誤失類別(Error Type)：錯誤如何呈現 (2)誤失細節(Error Detail)：認知過程所產生的錯誤 (3)誤失機制(Error Mechanism)：認知功能的失效 (4)資訊處理(Information Processing) (5)背景條件(Contextual Conditions)：包含監督、組織、天氣、交通狀況等的影響。整個 JANUS 方法的主要架構是一系列的複雜診斷流程圖，使調查員和研究者可藉由一系列的問題有系統地找出特定的事件肇因，以避免調查員的潛在偏見或直接跳到事件肇因的結論。JANUS 方法以事件發生的時間軸為基準，評估每個關鍵點的肇因，且於訪談操作人員時會利用流程圖的方式直接詢問，蒐集調查所需的資料。而圖二為一個分析誤失細節的流程圖範例。

Category	Subcategories and Examples
Error Type - How the error was manifested	Required action omitted, right action on the wrong object
Error Detail - Cognitive domain of the error	Perception, Memory, Planning and Decision-Making, Response
Error Mechanism - Cognitive function that failed	Late detection of information
Information Processing - The psychological process	Tunnelling, forgot to monitor
Contextual Conditions	Pre-conditions (airspace, teamwork), supervision, organizational factors

JANUS taxonomic categories

圖一 JANUS 分類方法



圖二 人為誤失因素分析流程圖

JANUS 的現場測試階段，Eurocontrol 進行為期八個月的測試，發展訓練計畫來訓練 60 位的調查員，蒐集近期發生以及過去已調查過的 ATM 事件，利用 JANUS 方法重新分析調查，此外奧地利、愛爾蘭以及荷蘭三個國家以 JANUS 為主要的事件調查方法。而美國亦進行八個月的測試，以 FAA Civil Aerospace Medical Institute 的研究員為對象，從 12 個工作場所中蒐集了 79 件新的事件，與正式的調查單位進行平行、獨立的調查分析，此外亦訪談管制員、12 個工作場所的工作人員、監督者及管理人員等共 215 位人員。

JANUS 的驗證可建構於下列五個問題：

- JANUS 發揮功用了嗎？ Does JANUS work?
- JANUS 的功用有多好？ How well does JANUS work?
- JANUS 比目前的制度更好嗎？ Is JANUS better than the current method?
- JANUS 可以實際執行了嗎？ Is JANUS ready for implementation?
- 由 JANUS 所獲得的成果有助於改善安全管理嗎？ Will the results from JANUS help to improve safety management?

由 FAA 訪談的調查結果顯示 JANUS 確實是可行的，且根據 FAA 與 Eurocontrol 的試驗結果都顯示使用 JANUS 方法所分析出的原因大致與目前使用的方法一致，但仍有可以改善進步的空間。此外 FAA 的調查結果顯示使用 JANUS 方法，平均一個事件可以發現 13.2 個原因，遠高於基本調查報告格式的 1.7 個，且 JANUS 分類法中，約有 47% 的原因是基本調查格式所沒有的。Eurocontrol 的調查結果顯示，HERA-JANUS 訓練計畫對於安全管理者以及調查員是有幫助



的，且利用 JANUS 方法可以使調查訪談過程中取得更多人為因素相關的資訊，並促使管制員更詳細地發覺誤失如何發生。就整個驗證結果顯示 JANUS 方法相較於目前所使用的方法而言更加敏銳、有用、全面且可行。

JANUS 的主要效益在於比傳統方式更全面性、更具有敏銳性，另外 JANUS 可作為人為誤失分析的通用分類法，並藉此鼓勵國際性與地方性執行全面標準化。此外透過此共同研究計畫也可發現航管領域相關人員與調查員間互動、溝通協調的重要性，透過彼此密切的協調以提昇人為因素研究的價值。

JANUS 的未來發展：JANUS 目前已被視為符合歐洲安全法規要求 (European safety regulatory requirements, EASRR) 的方法之一，且在 2007 年前也將被應用為滿足人為因素相關的歐洲整合與執行計畫 (European Convergence and Implementation Programme, ECIP) 計畫；FAA 方面，2005 年至 2009 年間持續進行 JANUS 的相關研究，將 JANUS 視為改進美國國家空域系統安全的主要議題，尤其是評估如何利用 JANUS 來處理涉及駕駛員和地勤人員的跑道入侵事件。

## [文獻評析]

這篇報告只是簡要介紹 JANUS 模式及初步的測試結果，建議可針對此模式的後續發展再進行深入探討，以瞭解此一重要的航管人為因素研究，做為國內發展 ATM 人為因素或相關學術研究的參考。

另外可參考目前 FAA~HAFACS 與 Eurocontrol~HERA 兩大系統，依此找出適合國內的模式。相關的 FAA 研究報告已從 FAA 網站下載 pdf 檔全文，分別是：

- DOT/FAA/AM-01/3, “A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)”
- DOT/FAA/AM-02/12, “Development of an FAA-EUROCONTROL Technique for the Analysis of Human Error in ATM”
- DOT/FAA/AM-03/21, “Validation of the JANUS Technique: Causal Factors of Human Error in Operational Errors”

## [相關文獻]

DOT/FAA/AM-01/3, “A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)”

DOT/FAA/AM-02/12, “Development of an FAA-EUROCONTROL Technique for the Analysis of Human Error in ATM”

DOT/FAA/AM-03/21, “Validation of the JANUS Technique: Causal Factors of Human Error in Operational Errors”



# **Air Traffic Controller Performance and Workload Under Mature Free Flight: Conflict Detection and Resolution of Aircraft Self-Separation**

Scott M. Galster, Jacqueline A. Duley, Anthony J. Masalonis,  
and Raja Parasuraman

International Journal of Aviation Psychology Vol1 No.1,  
pp.71–93, 2001

## **[英文摘要]**

The effects of conflict detection and self-separating aircraft resolution on the mental workload and performance of en-route air traffic controllers were examined. An air traffic control simulator was used to manipulate traffic loads and traffic complexity. A mature stage of free flight was simulated by having controllers monitor self-separating aircraft. Four 30-min scenarios were created to combine moderate (11 aircraft) and heavy traffic loads (17 aircraft) in a 50-mile radius sector with the presence or absence of self-separating and conflicting aircraft. Conflicts (defined as a loss of separation of 5 nm laterally and 1,000 ft vertically) were indicated to the controller by the appearance of a red circle around each of the aircraft involved. A self-separation event was defined as an evasive maneuver (either altitude or speed change) made by 1 aircraft to avoid a potential conflict with another aircraft. Performance and workload measurements indicated that controllers had difficulty both in detecting conflicts and in recognizing self-separating events in a timely manner in saturated airspace. Controller mental workload also increased, as indexed both by subjective and secondary task measures. Implications for the design of automated tools to support controllers under free flight environments are discussed

## **[中文摘要]**

此一研究探討衝突偵測(Conflict Detection)與航機自我隔離(Self-Separation)對航路管制員精神工作負荷與績效的影響。飛航管制模擬設備被用於控制交通負

荷量(traffic load)與交通複雜度(traffic complexity)，以管制員監控自我隔離航機的方式模擬成熟之自由飛行環境。研究以模擬方式進行，包含四個不同情境，探討在中(50 海哩半徑範圍內 11 架飛機)、高(50 海哩半徑範圍內 17 架飛機)交通量下，分別有、無衝突(水平隔離少於 5 海哩或垂直隔離低於 1000 呎)及自我隔離(一航機改變速度或高度，以避免和其他飛機發生衝突)，衝突偵測與自我隔離對管制員工作量與績效的影響。模擬過程中，用紅色圓圈標示衝突的航機以提醒管制員。績效與工作負荷的測量指出管制員在及時方式與飽和空域環境下，對於偵測衝突以及識別自我隔離事件會覺得困難，此外利用主觀與次要任務衡量方法結果皆顯示管制員的精神負荷也會增加。報告中並探討設計用以支援管制員在自由飛行環境下的自動化工具時所需考慮之因素。

## [內容]

由於全球交通量不斷成長，飛航服務的需求也隨之不斷增加，許多航管系統所處理的交通量都已接近系統設計的最大處理容量，因此許多解決空域擁擠及系統延滯以提昇整體航管效率的策略方法相繼被提出。美國方面提出自由飛行的概念(RTCA, 1995)，允許各航機可自由選擇喜好的航路，降低地面飛航管制的限制；另一個策略則是增加目前地基系統的自動化程度以支援管制員(Parasuraman, Duley, & Smoker, 1998; Wickens, Mavor, & McGee, 1997; Wickens, Mavor, Parasuraman, & McGee, 1998)。歐洲方面所提出的策略則蓋全面自我隔離至提昇通訊、導航及監視各種地基系統等不同的概念。

自由飛行將會大幅改變過去傳統飛航管理的概念，允許各航機可選擇其最佳的航路、速度以及高度，減少地面飛航管制限制，如此不僅使空域使用更有效、減少延滯，同時也可以降低操作成本。然而要達到這樣的目標必須以航機位置及速度基礎的隔離方式取代過去航路基礎的隔離策略方法，且機載及地基等各種通訊、導航及監視系統設備都必須全面提昇。整個自由飛行概念可視為一系列不斷改進階段，最終的成熟自由飛行環境將有極少甚至完全沒有航管的限制，航機可以選擇其最佳的航路、自由調度，因此管制員將由主控的角色改為監督(mointor)的角色，而 NCR(National Research Council)對此發展進行兩個相關的研究(Wickens et al., 1997; Wickens et al., 1998)：(1)探討管制員是否可以有效扮演監督的角色，以及分析管制員錯誤修補(Failure Recovery)的能力。(2)建議增加人在整個系統迴路中(human-in-the-loop)的模擬，以評估不同自由飛行概念對安全及效率所造成的衝擊，以及對管制員工作負荷量及績效的影響。

兩個探討自由飛行對管制員工作負荷和績效之影響的研究：(1)Endsley, Mogford, Allendoerfer, Snyder, and Stein, 1997：以四個不同程序(傳統程序、直接指示航機路線、直接指示航機路線且允許駕駛於告知管制員後偏離航路、直接指示航機路線且允許駕駛不告知管制員下偏離航路)分析民用管制員的績效，結果顯示管制員沒有事先取得駕駛意向(intenton)時，其工作量會比較大且有較多的操

作性錯誤發生；當管制員不清楚駕駛員意向時，對於維持航機隔離會有困難。

(2)Hilburn, Bakker, Pekela, and Parasurman, 1997：探討在低、高交通下，傳統航管與自由飛行對於軍用航空管制員的影響，結果顯示在自由飛行下，管制員精神工作負荷，或以生理機能測試的工作負荷都比傳統航管低。而後續有許多研究進行探討分析這兩個研究的分歧，可能是因為英國軍用航管員習慣不用管制條，因此可較快適應自由飛行的特性。此外有許多研究探討導航、通訊與監督等各種先進系統對於隔離程序及監督所造成的影響，然而儘管可以達到完全授權隔離管制的目標，管制員的角色仍是無法全面被替代，仍須負責(1)確保航機間的隔離(2)避免機場超出設計容量(3)禁止未核准的飛機進入某特定空域(4)確保安全等工作(RTCA, 1995)。

此一研究報告主要探討在成熟自由飛行環境下的三個重要議題：(1)在自由飛行環境下隔離的責任授權給駕駛後，管制員是否可有效地監督空域(2)管制員需要多久的時間才可以發覺潛在的威脅狀況(3)自由飛行環境下管制員的工作負荷。研究邀請有經驗的航路管制員模擬成熟的自由飛行環境，在整個過程中管制員僅扮演監督空域的角色，模擬的重點包含飽和空域、隔離違規與駕駛員在沒有管制員的導引下自行採取規避動作。以下將分別探討此一研究的模擬實驗設計、方法、結果，及分析討論。

## 一、研究方法

### 1. 參與對象

10 位平均年齡 35.6 歲(32~42 歲)，平均航管經驗 12.1(8~15 年)年的全職航路管制員，多數來自於華盛頓飛航管制中心。

### 2. 航管模擬設備

以中真實度的 ATC 模擬訓練裝置(Masalonis et al, 1997)進行，包含顯示交通狀況的主要螢幕，與涵蓋資料鍊結介面及電子管制條的次要螢幕，並提供一軌跡球使管制員可轉換兩螢幕，以便於同時監督。此模擬設備可以顯示北美空域的所有狀況，但在模擬過程中將發展一般性的空域情境，以避免管制員因熟悉某空域環境而影響模擬的結果。

### 3. 交通情境設計

包含四個各 30 分鐘的情境：中(50 海浬半徑範圍內 11 架飛機)、高(50 海浬半徑範圍內 17 架飛機)交通量下，分別有、無衝突及自我隔離事件，每個情境模擬都從沒有航機的狀況下開始，啟動後十分鐘內達到欲模擬的交通量，最後 20 分鐘的模擬過程中則保持固定的交通量。有衝突及自我隔離事件的情境中，包含兩個衝突及四個自我隔離事件，且四個自我隔離事件中，兩個於達到衝突前的 250 秒即採取避讓措施，而其他兩個則在 150 秒內才採取隔離措施。

### 4. 航管任務

管制員必須接管所有進入該席位的航機，從航機進入該航路交管點至離開並

進入下一席位其間必須全程監控航機的動向，且在有衝突的模擬情境下，管制員必須指出潛在的衝突事件。由於考慮生態效度(ecological validity)，當事件發生的次數增加時，管制員可能因而特別留意是否有衝突或自我隔離事件的發生，如此則會影響模擬之結果，因此模擬實驗中衝突以及自我隔離事件的次數不多，但也因衝突及自我隔離事件的次數少，管制員的偵測績效難以利用統計方法評估，所以管制員的績效評估除了衡量管制員的主要工作(航機的接管、交管以及衝突與自我隔離偵測)之外，並評估次要工作的績效(航機的追蹤與監督、更新管制條)，從模擬試驗中蒐集工作正確執行的平均時間及”錯過”的比率，以作為衡量的依據。

## 5. 程序

參與者會先接受訓練並進行練習，直到充分熟悉模擬環境後才進行正式的模擬，而模擬過程中，每 30 分鐘的模擬實驗結束後參與者必須填寫 NASA-Task Load Index (NASA-TLX)主觀精神工作負荷問卷。

整個研究中，十位參與者皆完成中、高度交通量下沒有衝突與自我隔離事件的兩種情境之模擬，後續由於時間限制，且考慮交通模擬情境建構之時間及管制員交通意象構建之因素，因此僅由其中 5 位進行中交通量下有衝突與自我隔離事件情境之模擬，而其他 5 位則進行高交通量下有衝突與自我隔離事件情境之模擬。

## 6. 相關量測

將衝突及自我隔離偵測、交管與接管視為管制員的主要任務(primary task)，而追蹤、監督航機動向並更新電子管制條則視為管制員的次要任務(secondary task)，主要用以協助衡量管制員的工作負荷。在模擬過程中，必須詳細紀錄每架航機及每個航管任務的反應時間(response time, RT)及錯過 (miss)頻率，其定義分別為：(1) 航機接管的反應時間：管制員從資料鍊結介面讀到資訊至接管此航機的時間。(2) 監督任務的反應時間：航機通過一航路參考點至管制員在電子管制條上按下對應按鈕的時間。倘若管制員沒有在航機通過此席位的航路參考點前按下對應之按鈕則視為錯過。(3) 交管的反應時間：主要螢幕上顯示航機進入交管區域至管制員完成交管程序的時間。(4) 衝突的事先通報時間：隔離違規發生的時間減去管制員口頭指出衝突的時間，當衝突事先通報的時間愈大，代表管制員愈早偵測出衝突的存在，其績效越好。若管制員在衝突發生前並未指出衝突的存在則視為錯過。(5)自我隔離的事先通報時間：管制員在駕駛員尚未採取規避動作前即回報潛在衝突存在的時間。若管制員未能於駕駛員採取規避動作前指出衝突的存在則視為錯過。由(4)與(5)兩項可發現衝突偵測與自我隔離偵測最主要的差別在於：衝突偵測部分只要管制員在航機違反最小隔離距離前指出即可，然而自我隔離的偵測則必須於駕駛員採取規避動作前即先行指出，但有人因而指出自我隔離的限制，因為當航機進行高度或速度改變時，管制員則需注意是否有潛在的衝突存在。

而在模擬研究中，操作、分析數個不連續事件時通常無法看出績效的時間趨勢，因此此研究利用累積的效率評等衡量管制員績效的時間變動，以 10 秒為時間基本單位，計算管制員識別出事件的比率。另外管制員主觀工作負荷是由六個次規模的 NASA-TLX 平均而得，分別為：精神的需求(mental demand)、生理的需求(physical demand)、時間的需求(temporal demand)、績效(performance)、努力(effort)及挫折(frustration)。

二、模擬結果

1. 主觀及次要任務衡量法評估駕駛員的精神工作負荷

模擬結果以單因子變異數分析(ANOVA)或重複量數單因子變異數分析(repeated measures ANOVA)進行評估。

每次模擬實驗後的 NASA-Task Load Index Scores 問卷資料(如 Table1 所示)的分析結果顯示當交通量增加時，管制的工作負荷會顯著地增加，然而並不會因為有無衝突事件而有顯著差異，且利用次要任務衡量評估管制員工作負荷亦有相似之結果。

TABLE 1  
Mean NASA-Task Load Index Scores

Scenario	M	SE
Without conflicts		
Moderate traffic	49.33	5.42
High traffic	71.42	3.49
With conflicts		
Moderate traffic	49.50	5.40
High traffic	71.33	5.33

下表(Table 2)為接收、監督以及交管的平均反應時間及錯過比率，其中監督任務部分經單因子變異數分析後顯示：(1)沒有衝突事件時，高交通量狀況下錯過的比率高於中交通量狀況。(2)在中度交通量下，有衝突事件的情境其錯過率高於沒有衝突事件的情境。(3)然而在高度交通量下，錯過率在有無衝突事件兩種狀況下沒有顯著差異。綜整上列三個結果可推測，造成錯過任務的主要原因是因交通量增加而不是衝突事件的有無。而航機平均接收時間及處理時間在中、高兩種不同交通量下，或有、無衝突事件不同情境下都不會有顯著差異。

TABLE 2  
Mean Response Times (Seconds) and Percentage of Missed Events for Acceptance, Monitoring, and Hand-Off Tasks for Each Scenario Type

Scenario	Acceptance Task				Monitoring Task				Hand-Off Task			
	Response Time		% Missed		Response Time		% Missed		Response Time		% Missed	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Without conflicts												
Moderate traffic	35.50	2.99	0.00	—	60.40	9.86	4.70	1.70	11.75	1.73	6.10	2.10
High traffic	44.04	9.76	2.40	1.50	82.97	10.41	31.90	7.80	22.87	3.71	6.50	2.70
With conflicts												
Moderate traffic	40.09	12.11	0.70	0.70	95.53	17.54	18.20	5.70	40.09	12.11	0.10	0.10
High traffic	38.89	2.40	2.90	0.90	110.89	24.40	33.70	9.80	38.89	2.40	8.50	4.30

2. 主要任務績效：航機接收及交管



由 Table 2 可發現平均航機接收時間在中、高交通量下，及衝突事件有無狀況下都沒有顯著差異，顯示航機正確接收與否，與交通量及交通狀況沒有關係。而航機交管的部份，在沒有衝突事件的狀況下反應時間會隨著交通量增加而延長，然而有衝突事件的狀況下則無顯著差異。

### 3. 主要任務績效：衝突及自我隔離的偵測

Figure 3 及 Figure 4 分別為中高度交通量環境下，衝突與自我隔離事件的偵測率及事先通報時間。利用無母數測試(Mann-Whitney U test)結果顯示衝突的偵測率會隨著交通量的增加而顯著的降低，且衝突偵測的事先通報時間也會減少，而不管在高或中交通量下，管制員對於航機的自動隔離(self-separation)偵測率均不高，但在高交通量下的自我隔離平均事先通報時間顯著較中交通量小。此外亦利用 Wilcoxon Signed Rank test 比較衝突偵測與自我隔離偵測的績效，結果顯示在兩種交通量下，衝突偵測率均顯著高於自我隔離偵測率。

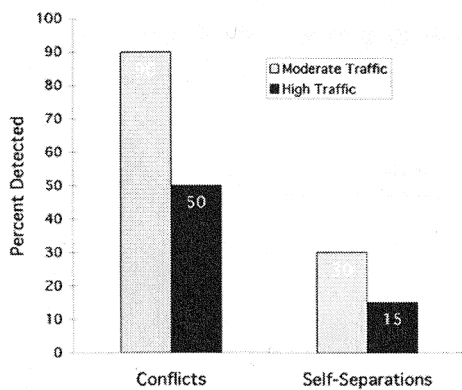


FIGURE 3 Percentage of detected conflict and self-separation events under moderate and high traffic loads.

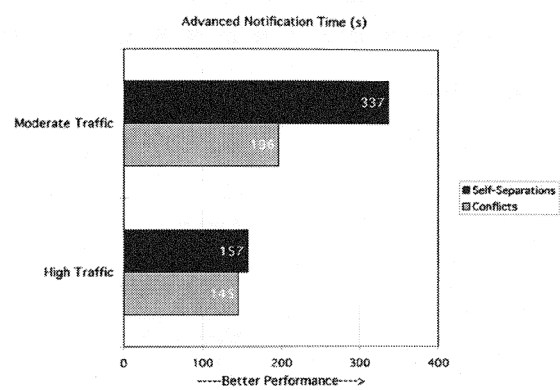


FIGURE 4 Mean advanced notification times given by air traffic controllers for correctly identified conflicts and self-separations by traffic load.

### 4. 效率評等

模擬研究中，分析數個不連續事件時通常無法看出績效的時間趨勢，因此以效率評等的方式檢視管制員績效隨時間的變動狀況。Figure 5 為高度交通量且有衝突事件下，管制員監督航機動向的效率評等，以第四位管制員為例(ATCo4)，其效率評等多低於其他管制員，然而其衝突與自我隔離事件偵測的表現是五位管制員中最優的，可推估此管制員的運作策略可能偏重於衝突的偵測與解決而非次要任務。

研究亦利用效率評等方式比較管制員在衝突或自我隔離事件發生前後是否有系統地變化，例如出現航機違反最小隔離的紅色圓圈後，是否會影響管制員的工作策略，而根據效率評等分析結果顯示並沒有這樣的變化，管制員的效率評等在衝突或自我隔離事件前後不會有顯著的差異，只有在高交通量環境下第二次自我隔離事件發生的前後，交管任務的效率評等會有比較大的變化，因為第二次自我隔離事件發生的時間與模擬器暖機完成的時間大約重疊，而進一步的觀察顯示：當越多航機離開該席位管制區域交通量越趨於穩定，且管制員越熟悉交管任務後此差異會逐漸減小，雖然此一結果在理論或實務上沒有很大的影響，因為實

際狀況不會有交通量漸增的暖機情形，但可看出效率評等方法對短暫任務複雜度變化的敏感度。

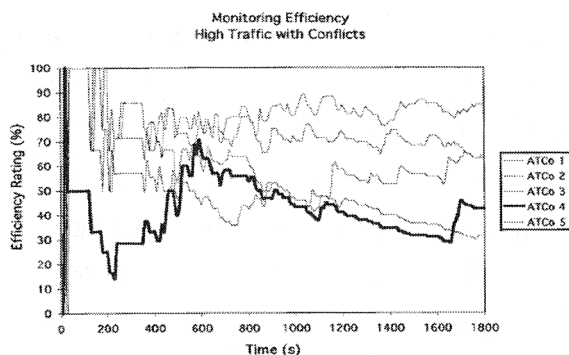


FIGURE 5 Efficiency ratings (percentage) for monitoring aircraft task in the high traffic condition with self-separations and conflicts present.

TABLE 3  
Mean Efficiency Ratings for Detected (Hit) and Undetected (Miss) Self-Separation and Conflict Events

Event	Efficiency Rating					
	Monitoring Task		Hand-Off Task		Total	
	Hit	Miss	Hit	Miss	Hit	Miss
Self-separation 1	76	56	n/a	n/a	84	76
Self-separation 2	68	39	n/a	n/a	81	65
Conflict 1	68	50	78	67	78	67
Conflict 2	47	62	65	80	66	77

此外該研究並比較有與沒有偵測出衝突或自我隔離事件的管制員，其效率評等是否有所差異，如 Table 3 所示(由於第三與第四次的自我隔離事件沒有管制員偵測出，因此不考慮)，除了第二次的衝突外，有偵測出衝突或自我隔離事件的管制員其效率評等會比較高。

研究亦利用交通量與時間進行雙因子變異數分析，如 Figure 6 所示，交通量與時間之間有顯著的交互作用，在高交通量環境下效率評等會隨著時間而降低，而中度交通量時其效率評等在初始階段會增加，但隨著時間的增加則逐漸將低最後趨於穩定。

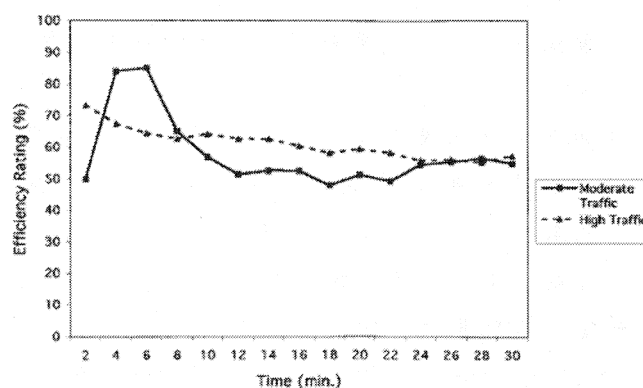


FIGURE 6 Monitoring efficiency ratings (percentage) in high and moderate traffic.

### 三、分析討論

此一研究主要評估成熟的自由飛行對航路管制員精神工作負荷與績效的影響，主要探討三個議題：(1)在 FF 下隔離的責任授權給駕駛後，管制員是否可有效地監控空域(2)管制員需要多久的時間才可以發覺潛在的威脅狀況(3)FF 下管制員的精神工作負荷。利用中真實度 ATC 模擬裝置(Masalonis et al, 1997)進行模擬實驗，並以主觀的 NASA-TLX 衡量法與客觀的次要任務進行分析，結果指出隨著交通量的增加，管制員的工作負荷會隨之增加，但不會因為衝突事件的有無而

有顯著之差異。

#### 1. 成熟自由飛行環境下的管制員

在成熟的自由飛行環境之下，即使各航機可自由選擇最佳航路並採取規避動作以避免衝突的發生，但管制員在駕駛員未偵測出衝突或無法解決衝突事件時仍須適時介入，確保最後的安全，而此一研究利用高交通量狀況，且沒有提供任何自動化工具及駕駛員相關資訊的最嚴格情境進行模擬，結果顯示在自由飛行環境下且沒有自動化支援工具輔助或駕駛員意圖資訊時，管制員對於衝突偵測及自我隔離的識別感到困難，且隨著交通量的增加，管制員偵測衝突及自我隔離事件的錯過率隨之增加，由此可見管制員在完全授權航機自我隔離的自由飛行環境之下，可能無法有效處理衝突事件，必須提供管制員相關的自動化輔助工具，以下將進一步地探討此一議題。

#### 2. 成熟自由飛行環境下支援管制員的自動化工具

增加地基系統的自動化程度是另一用以解決空域擁擠及系統延滯、提昇整體航管效率的策略，但如何設計出一合適之自動化工具則是另一值得探討的重要議題。Wickens et al. (1998)建議資訊取得與分析功能可高度自動化，然而決策訂定則不建議全面自動化，且在高度自動化環境之下，錯誤修補(failure recovery)的部分需審慎的權衡，因為在高度決策自動化與先進自由飛行環境之下，減少隔離距離及空域擁擠，管制員的錯誤彌補可用時間減少，但由於情境察覺降低及不在系統迴圈內等問題，因此管制員需要更多的時間來處理緊急事件。而根據此研究的結果顯示，管制員在自動化工具錯誤的彌補可用時間內無法識別出衝突的存在，且即使發現衝突，其事先通報時間也會縮短，可將此結果應用於探討管制員監督成熟自由飛行環境的能力。

此外該研究結果亦可作為自動化工具對管制員績效提昇評估研究的參考，如衝突偵測工具可提昇管制員的衝突偵測，使管制員增加更多的時間採取解決方法，並提供自動化工具其性能參數設定的參考，如由模擬過程中得到在高度交通量下，自我隔離事先通報時間 157 秒，因此建議衝突偵測工具的通報時間必須大於 157 秒。而除了衝突偵測時間外，衝突解決時間亦是設計自動化工具時的一重要因素，Coker, Pisanich and Bunzo(1997)的研究指出管制員介入解決一 90°衝突時，平均需要 134 秒的時間，且衝突的角度降低時則需要更長的時間。如上所述之各種人員績效數據都可應用於地基或機載自動化系統參數設定之參考。

#### 四、結論

在成熟的自由飛行環境下，尤其是在高密度的空域下，仍必須有管制員的介入以解決駕駛員及航機系統無法偵測、解決的衝突，且需提供管制員更多的自動化工具，包含 CTAS、URET、ADS-B、TMA 等，而這些工具必須具備一定程度的自動化以協助管制員進行決策分析，但不全然取代管制員決策訂定的職務。但隨著自動化程度的增加，管制員錯誤修補與可介入系統的時間相對減少，而此一研究

模擬過程中所蒐集之管制員相關反應時間可做為日後地基與機載自動化工具的參數設定參考。

## [文獻評析]

對該文獻之質疑：

1. 模擬實驗的真實度是否足以反應未來自由飛行的實際運作狀況？
2. 模擬實驗中參數設定的依據，如中、高交通量下的航機數；採取衝突解決動作的時間點？
3. 此研究中的事先通報時間數據是在沒有任何自動化支援工具或駕駛員意圖資訊下所蒐集的，然而當提供自動化支援工具後，需將自動化自滿等因素納入考慮，因此所得的事先通報時間是否足以作為地基系統最小通報時間設定的參考？

對該文獻優缺點之評論

1. 管制員工作負荷的衡量非常完整，不僅利用 NASA-TLX 方法，以問卷方式詢問管制員的主觀想法，並配合次要任務衡量的客觀評估。此外並以效率評等方式衡量不連續事件的績效時間變動，整個研究相當縝密。
2. 文獻中探討並依結果指出許多新一代航管系統的觀念，值得相關研究參考。

結論

1. 此文獻中有自由飛行對於管制員的工作負荷、績效、角色定位以及錯誤修復等相關研究之彙整，可供相關研究參考。
2. 未來國內發展自由飛行時，可參考該研究的模擬實驗設計，並進行實際模擬，找出我國管制員的平均反應時間等數據，作為自動化工具參數設定的依據。
3. 該研究是以管制員在沒有任何自動化支援系統或駕駛員企圖資訊的情境下，衡量自由飛行概念對管制員工作負荷與績效的影響，建議可參考此研究方法與架構，探討提供不同自動化支援工具或相關資訊對管制員工作負荷與績效的影響。

## [相關文獻]

Ball, M., DeArmon, J. S., & Pyburn, J. O. (1995, January–March). Is free flight feasible? Results from initial simulations. *Journal of ATC*, 14–17.

Billings, C. E. (1996). *Aviation automation: The search for a human-centered approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Billings, C. E., & Woods, D. D. (1994). Concerns about adaptive automation in aviation systems. In M. Mouloua & R. Parasuraman (Eds.), *Human performance in automated systems: Current research and trends* (pp. 264–269). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Corker, K., Pisanich, G., & Bunzo, M. (1997). Empirical and analytic studies of human/automation dynamics in airspace management for free flight. In *Proceedings of the 10th International CEAS Conference on Free Flight* (pp. 11–1/11–19). Amsterdam: CEAS.
- Duley, J. A., Galster, S. M., Masalonis, A. J., Hilburn, B. G., & Parasuraman, R. (1997). En route controller information requirements from current ATM to free flight. In *Proceedings of the 10th International CEAS Conference on Free Flight* (pp. 12–1/12–13). Amsterdam: CEAS.
- Duong, V. (1996). *Dynamic models for airborne air traffic management capability: State-of-the-art analysis*. Bretigny, France: Eurocontrol.
- Endsley, M. R. (1996). Automation and situation awareness. In R. Parasuraman & M. Mouloua, (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (pp. 163–181). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Endsley, M. R., Mogford, R., Allendoerfer, K., Snyder, M. D., & Stein, E. S. (1997). *Effect of free flight conditions on controller performance, workload, and situation awareness: A preliminary investigation of changes in locus of control using existing technology* (DOT/FAA/CT-TN 97/12). Atlantic City, NJ: Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center. Eurocontrol. (1998). *Operational concept document*. Brussels, Belgium: Author. Federal Aviation Administration. (1981). *Operation free flight* (ATT-300 FAA-AT-81-1). Washington, DC: Author. Federal Aviation Administration. (1997). *ATS concept of operations for the national airspace system in 2005*. Washington, DC: Author.
- Hilburn, B. G., Bakker, M. W. P., Pekela, W. D., & Parasuraman, R. (1997). The effect of free flight on air traffic controller mental workload, monitoring and system performance. In *Proceedings of the 10th International CEAS Conference on Free Flight* (pp. 14–1/14–12) Amsterdam: CEAS.
- Hilburn, B. G., Jorna, P. G. A. M., & Parasuraman, R. (1995). The effect of advanced ATC automation on mental workload and monitoring performance: An empirical investigation in Dutch airspace. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 387–391). Columbus: Ohio State University.

- Hilburn, B.G. ,&Parasuraman, R. (1997). Free flight: Military controllers as an appropriate population for evaluation of advanced ATM concepts. In *Proceedings of the 10th International CEAS Conference on Free Flight*. Amsterdam: CEAS.
- Kerns, C. (1991). Data link communications between controllers and pilots: A review and synthesis of the simulation literature. *International Journal of Aviation Psychology*, 1, 181–204.
- Kreifeldt, J. G. (1980). Cockpit displayed traffic information and distributed management in air traffic control. *Human Factors*, 22, 671–691
- Masalonis, A. J., Le, M. A., Klinge, J. C., Galster, S. M., Duley, J. A., Hancock, P. A., Hilburn, B. G.,& Parasuraman, R. (1997). Air traffic control workstation mock-up for free flight experimentation: Lab development and capabilities. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41st Annual Meeting* (p. 1379). Albuquerque, NM: Human Factors and Ergonomics Society.
- McAlindon P. J., & Gupta, U. G. (1993). A structured approach to the verification and validation of expert systems. In J. A. Wise, V. D. Hopkin,&P. Stager (Eds.), *Verification and validation of complex systems: Additional human factors issues* (pp. 15–23). Daytona Beach, FL: Embry-Riddle Aeronautical University Press.
- Morphew, M. E., & Wickens, C. D. (1998). Pilot performance and workload using traffic displays to support free flight. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting* (pp. 52–56). Chicago: Human Factors and Ergonomics Society.
- Nordwall, B. D. (1998). FAA programs advance, with caution flags flying. *Aviation Week and Space Technology*, 148(5), 43–47. Nygren, T. E. (1991). Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: Implications for their use in the assessment of perceived mental workload. *Human Factors*, 33, 17–31.
- Parasuraman, R., Duley, J. A.,&Smoker, A. (1998). Automation tools for controllers in future air traffic control. *The Controller*, 37, 8–13.
- Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation induced complacency. *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 1–23.
- Parasuraman, R., Mouloua, M., Molloy, R.,&Hilburn, B. (1996). Monitoring automated systems. In R. Parasuraman&M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (pp. 91–115). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Parasuraman, R., & Riley, V. A. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39, 230–253.

Perry, T. S. (1997). In search of the future of air traffic control. *IEEE Spectrum* (August), 19–35. RTCA. (1995). *Report of the RTCA Board of Director's Select Committee on free flight*. Washington, DC: Author.

Sarter, N., & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors*, 37, 5–19.

Small, R. L., Hammer, J. M., & Rouse, W. B. (1997). Comparing display symbology for an advanced air traffic control tower application. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part A. Systems and Humans*, 27, 783–790.

Smith, P. J., Woods, D., Billings, C., Denning, R., Dekker, S., McCoy, E., & Sarter, N. (1999). Conclusions from the application of a methodology to evaluate future air traffic management system designs. In M. Scerbo & M. Mouloua (Eds.), *Automation technology and human performance: Current research and trends* (pp. 81–85).

Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. van Gent, R. N. H. W., Hoekstra, J. M., & Ruigrok, R. C. J. (1998). Free flight with airborne separation assurance. In *Proceedings of the International Conference on Human Computer Interaction in Aeronautics* (pp. 63–69). Montreal, Canada: Editions de l'Ecole Polytechnic de Montreal.

Wickens, C. D., Mavor, A. S., & McGee, J. P. (1997). *Flight to the future: Human factors in air traffic control*. Washington, DC: National Academy Press.

Wickens, C. D., Mavor, A., Parasuraman, R., & McGee, J. (1998). *The future of air traffic control: Human operators and automation*. Washington, DC: National Academy Press.

Wiener, E. L. (1988). Cockpit automation. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Eds.), *Human factors in aviation* (pp. 433–461). San Diego, CA: Academic

# **Analysis of Factors Affecting Occurrence and Severity of Air Traffic Control Operational Errors**

Geoffrey D. Gosling

Transportation Research Record , No. 1788 ,2003, pp.49-57

## **[英文摘要]**

The rate of occurrence of air traffic control operational errors is recognized as an important measure of the safety performance of the National Airspace System. As the volume of air traffic increases and new automated air traffic control decision support tools are introduced, there is a concern not only to increase the level of safety in the system by reducing the occurrence of operational errors but also to ensure that efforts to increase the capacity of the system do not adversely affect safety. Recent trends in air traffic control operational errors in the United States are analyzed. Factors that have been found to influence the rate of occurrence of these errors are discussed, and the relationship between the severity of operational errors in an en route environment and the traffic characteristics at the time are examined. The limitations of the information currently available to support the analysis of operational errors are described. Finally, the data requirements are addressed for future research to better understand the causal factors affecting the rate of occurrence of operational errors and to develop strategies to enhance the safety of the National Airspace System.

## **[中文摘要]**

飛航管制操作誤失發生機率為National Airspace System重要的安全評量準則，隨著空中交通量的成長，與自動決策支援系統等先進科技之運用，未來飛航管制的發展除了希望藉由降低操作誤失來增進安全水準外，同時希望能夠確保航空運量的增加不會造成飛航安全之負面效果。

本研究首先針對近年來飛航管制誤失進行分析，瞭解造成飛航管制操作誤失的因素，以及探討操作誤失嚴重程度與航路環境交通特性關係等議題，文中並說明類似操作誤失研究資料取得上之限制，最後作者提出相關研究所需之資料，並發展加強National Airspace System安全的策略。



## [內容]

### 1. 研究背景

為將National Airspace System現代化，並使之因應持續成長的航空交通量，FAA積極改善其飛航管制程序與自動化決策支援系統，以期降低飛航管制操作誤失發生的機率。根據FAA Order 7210.56A (1999)之定義，飛航管制操作誤失包含航機與航機、地形之間水平或垂直隔離低於要求之距離，或是起降於附近有其它航機作業之跑道。

FAA過去針對飛航管制作業疏失之原因建立一資料庫，並且進行相關調查研究。Rodgers整理了資料庫中1992年七月至1995年七月於亞特蘭大區域管制中心的85件操作誤失，並針對操作誤失發生時空域之特性進行分析，研究結果顯示空中交通複雜度為操作誤失之最主要影響因素；在作者歸納出16項影響複雜度因素(complexity factor)當中，可以分為三個主要的特性，包含該管制空域範圍大小、空中交通量以及該空域是否有特殊用途（例如軍事行動）等特性。

自動決策支援系統的目標在於透過增加空中交通之複雜度，藉以提高空域之容量；但依據過去研究之結論可以發現，空中交通的複雜度的提升雖可增加空域容量，同時也會造成管制員發生錯誤潛在風險的增加。而從不同角度觀察，自動決策支援系統可以幫助管制員以更有效率的方式管理逐漸增加之交通流量，並且在交通衝突發展早期警示管制員。

為持續改進自動決策支援系統，影響操作誤失之因素必須更進一步探討，藉以降低風險，並在安全無虞之前提下提升交通運量。本研究將先介紹近年飛航管制操作誤失之趨勢，透過文獻回顧瞭解影響誤失發生之因素，並且探討操作誤失嚴重程度之關係，最後針對此一類型研究未來發展方向做出建議。

### 2. 操作誤失發生率之趨勢

1999年全美所有航路管制中心(Air Route Traffic Control center, ARTCCs)的統計顯示，每十萬架次的航機操作就會產生1.41次操作誤失，同時期進場雷達管制(Terminal Radar Approach Control, TRACON)則是每十萬架次的航機操作就會產生0.65次操作誤失。圖1為全美1996年至2000年航路管制中心與近場雷達管制每十萬架次操作誤失發生次數，由圖中可發現近年來航路管制中心操作誤失發生比率有逐年增加的趨勢，而近場雷達管制則是呈現微幅下降。

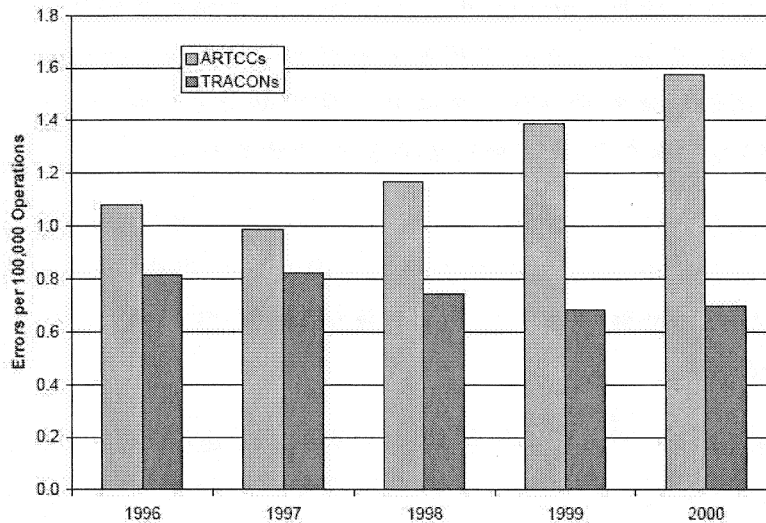


FIGURE 1 Operational error rates.

圖2(左)為ARTCCs每十萬架次操作誤失發生次數與該年總架次之分佈圖，由於TRACON操作誤失發生率變化較小，故圖3(右)以TRACON操作誤失總次數取代每十萬架次發生次數。

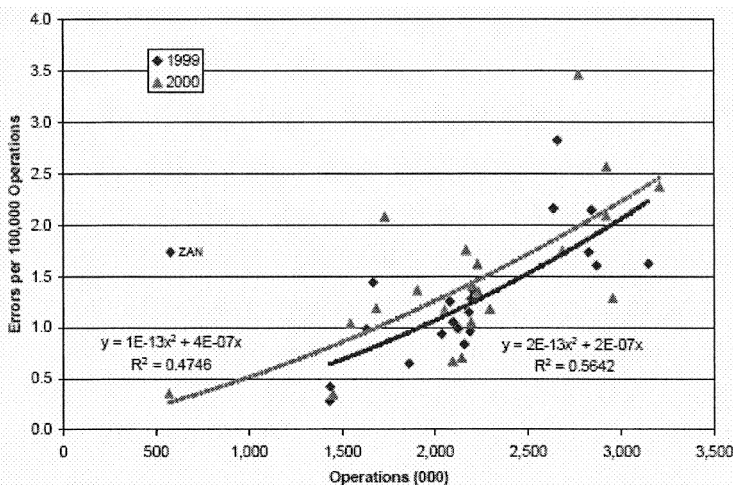


FIGURE 2 ARTCC operational error rate—Calendar Years 1999 and 2000.

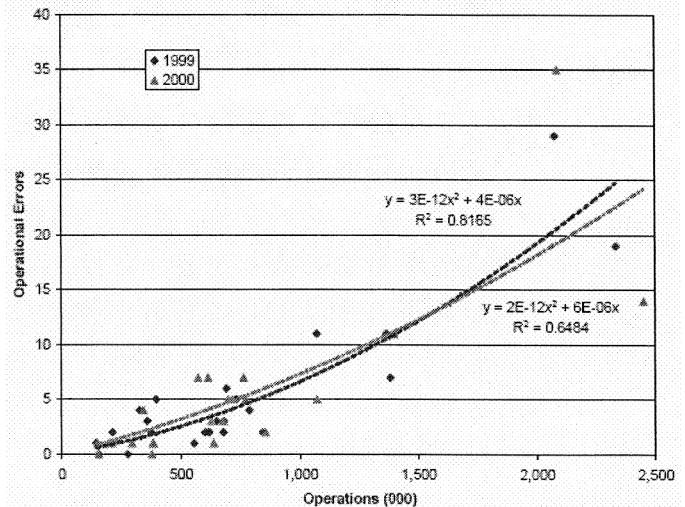


FIGURE 3 TRACON operational errors—Calendar Years 1999 and 2000.

由圖2兩迴歸方程可以發現，1999、2000年ARTCC的操作誤失發生率與操作架次呈現平方的指數關係，由圖3也可發現TRACON發生率變化雖低，但操作誤失之次數與架次依然呈現指數成長。這樣的現象顯示了在過去幾年當中飛航管制操作誤失與航班架次的關係，隨著航空運量不斷成長，未來若無法提出有效降低錯誤發生之方法，操作誤失的次數將會更顯著地成長。

### 3. 相關研究文獻

Schroeder與Nye透過誤失報告的資料蒐集進行管制員工作量與操作誤失因素之分析，研究結果發現操作誤失事件的發生與空中交通複雜度、空域內航機數等因素相關較低；Rodgers與Nye則是將操作誤失的嚴重程度分為三等級，並針對

管制航機量、交通複雜度、aircraft flight profile、操作誤失肇因等因素進行分析，瞭解各項因素的差異是否會造成不同嚴重程度的操作誤失；研究結果發現上述管制航機量、交通複雜度與操作誤失嚴重程度間有顯著之相關，而aircraft flight profile、操作誤失肇因等因素則會造成較嚴重的操作誤失。

Isaac與Ruiteberg(1999)針對操作錯誤發生與人為表現(Human performance)進行研究，發現有70~74%的操作錯誤發生於簡單到中等的交通量與複雜度，同時45%的操作錯誤發生於該管制員接手工作後的前15分鐘，並且62%操作錯誤的管制員資歷低於6年。

Mogford於1993年針對會影響管制員決策的因素進行研究，並列出16項飛航管制複雜度因素。Rodgers(1998)則針對亞特蘭大區域管制中心的85件操作誤失進行研究，歸納出三項影響操作誤失發生最主要的空域特性，包含管制空域範圍大小、空中交通量以及該空域是否有特殊用途（例如軍事行動）等特性；其中兩萬九千英呎為垂直隔離要求改變的高度，於該區域造成操作誤失的機會較高。Rodgers將空域依據操作誤失發生機率分為no-error、low-error、high-error，影響此三類別的因素包含惡劣天氣發生頻率、無線電頻道壅塞、整體複雜度、平均複雜度，另外high-error空域一般交通流量較大較複雜，同時管制員工作量也較no-error、low-error為繁重。

當管制員對環境失去情境察覺，對於飛航管制潛在風險無法及時加以修正避免時，常會造成航機失去應有之隔離，Endsley與Rodgers(1997)在螢幕上重建操作誤失發生時的狀況，在實驗過程當中數次關上螢幕，要求管制員回答出該管制空域中所有飛機的位置、高度、航向、速度等資訊，研究結果發現在許多狀況下管制員並不能完全清楚指出相關資訊，空域中航機數是影響實驗結果最主要的因素。Durso等人(1999)應用NASA Task Load Index進行航路管制中心管制員工作量之調查，作者認為該指標可以充分瞭解管制員的工作量以及個人的表現(subjective performance)。

Stein(1985)則是進行一實驗探討影響工作量的因素，結果發現空域中航機數量是影響之主因，Bruce(1993)的研究也同樣認為交通量、交通複雜度以及管制單位工作分配都會影響管制員工作量。近年來則是希望將數個影響工作量之因素結合為一dynamic density模式，Laudeman(1998)整合了多項飛航管制的特性，並提出一衡量管制員工作量之標準模式。

#### 4. 研究母體

本研究資料來自於北美七大航路管制中心(Atlanta、Chicago、Cleveland、Indianapolis、Kansas city、Memphis、Washington) 1997年至1999年間的操作誤失報告；此七大航路管制中心所連結之空域為全美最忙碌的區域，根據1999年統計資訊，在北美地區20個航路管制中心當中，上述七大航路管制中心管制北美42%

的交通量，並且發生56%的操作誤失。1997年至1999年間，研究範圍內之航路管制中心共發生816件操作誤失，其中操作誤失次數最低的航路管制中心為Kansas city(共60件)，操作誤失次數最多的管制中心則為Washington(160件)。

## 5. 操作誤失之嚴重程度分析

根據統計，僅有10%操作誤失的水平隔離低於2海里，2%低於1海里，而超過30%以上的操作誤失水平隔離超過4海里；在垂直隔離方面，於29000呎以下的空域中，8%的操作誤失報告垂直隔離接近0，45%低於500呎，10%低於800呎(最小垂直隔離標準的20%)；29000呎以上的空域中，7%的操作誤失報告垂直隔離接近0，16%低於500呎，20%低於1600呎(最小垂直隔離標準的20%)。

由上述統計資料可以發現並不是所有的操作誤失都會造成空中接近甚至空中相撞(Mid-air collision)的危險，FAA根據航機最小隔離、接近速度、天氣狀況、是否有收到空中防撞系統(Traffic Alert Collision Avoidance System, TCAS)之警告與建議等因素，將操作誤失之嚴重程度加以分級，此一分類指標2001初才開始實行。表1為操作誤失分類準則，FAA認為僅有Near Mid Air Collision、Critical、Serious會有高度之風險，若航機不足之隔離低於20%則被視為技術違規(technical violation)，但不會造成立即性之風險。

TABLE 1 Classification of Operational Error Severity

Severity Classification	Criteria
Near Mid Air Collision (NMAC)	Less than 500 feet slant separation
Critical	500 feet or more slant separation Horizontal separation less than 1 nm <i>and</i> vertical separation less than 500 feet
Serious	Horizontal separation of less than 1 nm <i>and</i> vertical separation of at least 500 feet but less than 800 feet (FL 290 and below) or 1,600 feet (above FL 290) <i>or</i> Horizontal separation of at least 1 nm and less than 4 nm <i>and</i> vertical separation less than 500 feet
Intermediate	Horizontal separation of at least 1 nm and less than 4 nm <i>and</i> vertical separation of at least 500 feet but less than 800 feet (FL 290 and below) or 1,600 feet (above FL 290)
Procedural	Horizontal separation of 4 nm or more <i>and</i> vertical separation of 800 feet or more (FL 290 and below) or 1,600 feet or more (above FL 290)

根據統計，有超過40%的操作誤失屬於Procedure層級，35%屬於Intermediate層級，僅有21%屬於Serious，Critical僅有0.6%，NMAC則佔2%。作者認為NMAC所佔比例會較Critical高之因素是由於部分操作誤失無法明確指出明確之航機隔離，輸入操作誤失內容時將隔離狀況設為0，因此NMAC有被高估的可能。但無

論是否被高估，由上述統計都可發現真正會造成空中相撞的操作誤失所佔比例極低。

本研究首先探討工作量與交通複雜度對於操作誤失嚴重程度之影響。操作誤失報告提供誤失發生當時受到該管制員管制之航機數，並以五等第評量當時交通複雜度(5代表高複雜度)。研究結果發現約50%操作錯誤發生在低於9架航機的狀況下，80%發生於12架次以下。圖6則利用五等第評量交通複雜度與各程度操作誤失之分配，由圖6可發現在各等級的交通複雜度都會發生操作錯誤，Critical、NMAC則是集中發生於3、4兩等級，而交通複雜度最高的第5級反而發生次數較低。

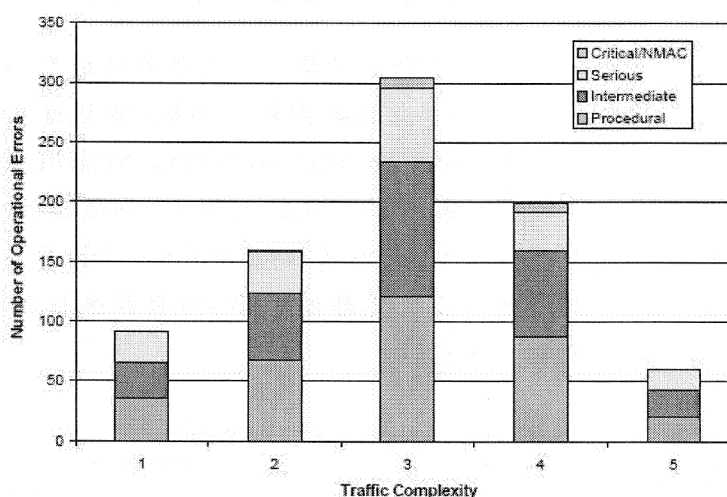


FIGURE 6 Severity of errors at different levels of traffic complexity.

除了工作量與交通複雜度之外，管制員情境察覺能力同樣會對操作誤失造成影響。根據FAA操作誤失報告，較複雜的空域管制員發現操作誤失的次數反而較高，作者認為此一情形是因為較高的交通量會讓管制員精神較為集中，同時高交通量的狀況下會讓航機組成較有秩序，也可能是因為當交通量較高時會由資深之管制員負責。

## 6. 未來研究方向與結論

過去研究顯示了各空域交通量與交通複雜度對於操作誤失相關研究之重要性，為更深入瞭解上述因素影響之程度，未來必須取得更詳細之資料；目前各航管設施詳細之運作資訊僅保留15天供調查之用，同時該誤失報告僅能提供當時的交通量等相關資訊，並不能讓研究者瞭解該特殊狀況發生之頻率，以及同樣狀況在其他時間是否也會發生類似的操作誤失。未來應加強資料之蒐集，設法建立一完整的資料庫，提供更詳細資訊，瞭解各種交通複雜度或交通量的發生頻率，並幫助建立一衡量操作誤失發生之標準。

根據本研究統計之七航路管制中心當中，僅有2.3%操作誤失被歸類為可能造成危險(水平隔離低於1海里，垂直隔離低於500英尺)之誤失，由此可發現探討整

體操作誤失發生的次數之變化意義不大，而是應該將注意力集中於少數真正會造成危險的操作誤失。

## [文獻評析]

### 本文獻的缺點

作者於分析階段說明管制空域中航機架數越多越可能發生操作誤失，但根據文中僅說明50%操作錯誤發生在低於9架航機的狀況下，80%發生於12架次以下，並沒有針對更高的交通量進行統計，此一敘述應僅能說明大部分操作誤失發生於某特定之交通量。

本研究所提之層面相當廣，但都未進行更深入之分析，後續研究應繼續針對操作誤失之特性進行瞭解。

### 本文獻的優點

為能夠更深入瞭解飛航管制操作誤失，作者認為對操作誤失之特性有深入的探討。作者從操作誤失發生時的相關特性進行探討，瞭解管制員在何種情況下比較容易失去警覺心或是造成比較大的工作壓力，進行造成航機之隔離不足；本研究從各個層面探討操作誤失之發生，可提供後續研究參考。同時作者並建議應加強操作誤失相關資訊之建檔，唯有詳細之事件資料庫才能容許後續研究針對相關特性進行更深入之探討。

航機飛行過程中必須維持水平與垂直隔離，根據FAA所定義，只要隔離不足就被視為操作誤失，然而不一定所有的操作誤失都有立即性之風險，相關文獻所探討之操作誤失皆以整體之數據作為分析之用，但是大部分之誤失紀錄僅屬於違反程序等級，對飛安影響較低，本研究認為欲加強飛安必須將資源集中於會造成立即危險的操作誤失。

## [相關文獻]

Rodgers, M. D., R. H. Mogford, and L. S. Mogford. *The Relationship of Sector Characteristics to Operational Errors*, Report DOT/FAA/AM-98/14. Office of Aviation Medicine, FAA, Washington, D.C., May 1998.

Isaac, A. R., and B. Ruitenberg. *Air Traffic Control: Human Performance Factors*. Ashgate Publishing, Aldershot, United Kingdom, 1999.

Mogford, R. H., E. D. Murphy, G. Yastrop, J. A. Guttman, and R. J. Roske-Hofstrand. *The Application of Research Techniques for Documenting Cognitive Processes in Air Traffic Control*. Report DOT/FAA/CT-TN93/39, FAA Technical Center, Atlantic City, N.J., 1993.

Endsley, M. R., and M. D. Rodgers. *Distribution of Attention, Situation Awareness, and Workload in a Passive Air Traffic Control Task: Implications for Operational Errors and Automation*. Report DOT/FAA/AM-97/13. Office of Aviation Medicine, FAA, Washington, D.C., July 1997.

Durso, F. T., C. A. Hackworth, T. R. Truitt, J. Crutchfield, D. Nikolic, and C. A. Manning. *Situation Awareness as a Predictor of Performance in En Route Air Traffic Controllers*. Report DOT/FAA/AM-99/3. Office of Aviation Medicine, FAA, Washington, D.C., Jan. 1999.

Stein, E. *Air Traffic Controller Workload: An Examination of Workload Probe*. Report DOT/FAA/CT-TN84/24. FAA Technical Center, Atlantic City, N.J., 1985.

Bruce, D. S. *An Explanatory Model for Influences of Air Traffic Control Task Parameters on Controller Work Pressure*. Proc., 37th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, Calif., 1993

# **Development of an FAA-EUROCONTROL Technique for the Analysis of Human Error in ATM**

J. Pounds, A. Isaac

FAA Technical Report DOT/FAA/AM-02/12, July 2002

## **[英文摘要]**

Human error has been identified as a dominant risk factor in safety-oriented industries such as air traffic control (ATC). However, little is known about the factors leading to human errors in current air traffic management (ATM) systems. The first step toward prevention of human error is to develop an understanding of where it occurs in existing systems and of the system variables which contribute to its occurrence. This paper reports on the project to harmonize the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) and the Human Error Reduction in ATM (HERA) technique. Two groups of air traffic control subject-matter experts (SMEs) participated. The first group analyzed incident cases using each technique and identified the useful concepts from each technique for these cases. The second group evaluated the concepts identified by the first group. Based on these activities, the techniques were deemed to be compatible and harmonization proceeded. Elements from both techniques were retained and many were elaborated based on the SMEs' feedback. The integrated approach, called JANUS, is currently undergoing beta testing by seven European nations and the US Federal Aviation Administration.

## **[中文摘要]**

本研究之目的在於發展出一套新的航管人為誤失分析方法，以整合目前 FAA 的 HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)與 EUROCONTROL 的 HERA(Human Error Reduction in ATM)。HERA 方法由航管背景出發，歸納出調查事件中的航管行為、所用裝備與任務職能，再依據管制員的工作環境及組織影響詳細分析其資訊處理的過程，探討誤失造成的因素。而 HFACS 方法則是以 Reason 模式的隱性和顯性失效為基礎發展而成，分別描述：(1)不安全的行動、(2)不安全行動的先決條件、(3)不安全的監督、(4)組織影響力四個層級的錯誤。

本研究首先比較兩個方法在理論背景、觀念涵蓋性、分析方法、信度等四方面的異同，並將兩方法整合發展出新的分析方法。其過程主要分為下列三個階段：



1. 比較兩方法：由不同的航管領域專家小組分別利用這兩種方法分析事件，並經過跨小組之間的討論提出一個一致性結果，以比較兩方法觀念的異同，並做為第二階段挑選出有益於調查事件之概念的參考依據。

2. 分析兩方法：此階段的目的有三個：(1)歸納出每個方法中有益於操作誤失調查的概念、(2)決定事件分析詳細的程度、(3)評估兩個方法做為操作工具的優缺點。召集有實務調查經驗及參與相關整合發展的專家，實際熟悉、應用這兩個分法，並要求評比兩方法其要素的重要性，以及分析方法的優劣點。

3. 整合方法 JANUS：此階段之目標在於檢視前面兩階段的研究結果並評估發展出一個整合性分析方法的可行性。透過會議研討的方式，評估分析前兩階段的結果，並提出新的分析方法 JANUS。JANUS 由個人認知過程階段診斷誤失的原因，但同時考慮個體是整個人-電腦-組織大系統的部分。

## [內容]

### 一、前言

目前對空中交通管制(ATC, Air Traffic Control)系統的人為誤失肇因所知不多，所以預防人為誤失的第一步就是設法瞭解人為誤失在何處發生。本研究企圖將兩個調查 ATC 人為誤失的方法予以統一化。第一個方法「人為因素分析和分類系統」HFACS，最早是由美國海軍發展用來調查軍用航空失事事件的人為因素分類法，而目前已被 FAA 用於調查民用航空失事和 ATC 操作失誤肇因。第二個方法「降低空中交通管理的人為誤失」HERA，是由歐洲 EUROCONTROL 所發展的人為誤失識別方法，用於航管意外事件的事後調查和發展空中交通管理系統過程當中的事前分析。

能否讓兩個方法取得統一有賴於兩組航管專家的投入。第一組使用每個方法來分析事故，並從每個方法找出有用的部份。第二組評估第一組所找出的有用部份。基於這些行動，兩個方法被統一並可相容。將整合之後的新方法命名為 JANUS，現正由歐洲七個國家和美國 FAA 進行 beta 測試。

在 ATM/ATC 系統中，人為誤失被 Isaac 和 Ruitenber 定義成「想做好卻沒做好的行為」(intended actions which are not correctly executed)。而 Hollnagel、Cacciabue 和 Hoc 則將人為誤失視為一種原因和一種行動。Dekker 認為要將人為誤失視為人類缺點(human shortcomings)，並以譬如「失去情境察覺」這樣的觀念來解釋誤失，並將對個人的歸咎轉移到對組織高層的歸咎。他認為注意有限資源和多重競爭目標所造成的失敗情況可以讓人充分了解安全。因此，為了廣泛地評斷 ATC 的人為誤失，必須考慮認知失敗的可能性，這或許是由不正確地做行動所致，但只是潛在失敗的多樣性的一部份而已。

以往的研究將認知程序分解成注意力和溝通等層面，這與美國空域的操作誤失有關。操作誤失被定義成可歸因於空中交通系統某一成份的事件，包含：1) 航空器之間或航空器與地障之間的隔離不足(不符合 FAA Order 7110.65 的規

定)、2)航空器獲得授權後卻在關閉的跑道上起降、3)航空器在非管制機場的關閉的跑道上起降，而其因是尚未對駕駛員發布跑道關閉的 NOTAM(FAA Order 7210.56.2001)。Kinney、Spahn、Amato 在 1977 年發現區管中心 95%的隔離違規可歸類為注意力、判斷力或溝通誤失所造成的操作誤失。相同的誤失型態也被其他 ATC 操作誤失的研究所發現，例如 1992 Redding、1993 Rodgers & Nye、1982 Schroeder、1993 Schroeder & Nye、1990 Stager & Hameluck。

FAA 有許多計畫發展模式來識別並降低民航界的人為誤失。現正在民用航醫研究所(CAMI, Civil Aerospace Medical Institute)進行的一個計畫是將先前的 HFACS 方法修改成適用於 ATC 環境以便研究有關操作誤失的人為因素。而 EUROCONTROL 也知道需要建立模式以了解人為誤失，因此展開相似的 HERA 計畫。

FAA 和 EUROCONTROL 都著重於人為誤失、認知程序和其他操作因素。但是這兩個計畫有些差異，比較陳述於後。

## 二、理論架構

### 2.1 EUROCONTROL 的 HERA

HERA 有六個研究活動：

1. 回顧過去 50 年有關人員表現模式和人為誤失分類的產學研究文獻。
2. 利用文獻回顧的結果，選擇最適當的人員表現模式來形成概念性的架構。架構是 Martiniuk(1976)和 Wickens(1992)的資訊處理模式。它強調輸入、思考、輸出和回饋，最適合用來解釋行為，並對設計新式顯示器等實務而言是很有用的。人類的資訊處理模式適用於所有相關的 ATM 行為，並允許集中焦點於某些特定的 ATM 觀點，像是意像和情境察覺。因此，若能適度配合 ATM 進行修正的話，很有希望成為 HERA 技術的候選平台。
3. 綜整今後 ATM 系統和管制員任務分析。與管制員訪談所得的資訊不只用於發展 HERA 技術和分類，也是一個更加了解管制員的誤失是「如何」和「為何」發生的狀況方法(contextual approach)。此工作也考慮未來 ATM 系統，像是電腦化的衝突偵測支援工具、電子管制條、終端進場隔離工具、數據鏈。
4. 被選中的概念化模式和架構將經修正後用於 ATM。此階段，多組人同時從事研究來調查管制員對空中交通的心智意像，然後整合入最終的模式，這最終模式比先前模式更加關注於「工作記憶」扮演的角色。表現形成因子(PSF, Performance Shaping Factors，例如運量混雜、空域特性、程序、訓練、裝備、個人因素)是與誤失成因相關的額外因子，所以包含在此方法內。
5. HERA 包含了一些組織因素。但因安全文化仍是一個有待發展的領域，特別是在 ATM，這些組成份子的細節將留待 HERA 的後續階段，等到安全文化領域可以提供更實務的指引，而讓人知道應該包含什麼因素、如何與 HERA 模式的其他部份互動。
6. 最後形成滿足準則的 HERA 原型技術。這些技術，整合入類似錯誤樹方法

的流程圖當中，以識別出誤失行為的心理學基礎，並將此基礎納入 HERA 系統。

因此 HERA 將航管事故以航管行為、所用裝備、航管職能來表現。

## 2.2 FAA 的 HFACS

HFACS 是由航空失事調查人為誤失方法——不安全操作的分類(TOU, Taxonomy of Unsafe Operations)而來。TOU 是肇因導向而非結果導向的調查方式，可用於多個領域而不只專用於航空。TOU 著重於了解肇因，而非只是強調失效本身，這個方法找出需要介入的地方。但是，TOU 並未觸及其他的可能相關變數，像是硬體、軟體、裝備失效、設計缺陷、環境分心、管理、組織影響。

HFACS 合併了人為因素的多重定義而成為條理清楚的分類方法，包含了管理和組織失效的論點，並採用航空失事調查和預防的系統方法。基於隱性和顯性失效的觀點，HFACS 指出了四個層級的失效：1)不安全的行動、2)不安全行動的先決條件、3)不安全的督導、4)組織的影響力。

HFACS 原本是利用航空失事事故的資料來發展而成，目的是妥善分類肇因以識別重覆發生的肇因和系統的趨勢。此一基本分類法還有其他用途。例如，可適用於涉及人為誤失和失事的任何領域，而可喚起對人為誤失和失事預防的警覺心，或做為肇因因子分析工具。

因此，HFACS 基於 Reason 的不安全行動模式，將人為誤失視為龐大系統問題的一部份。至今，HFACS 架構已被美國海軍、海陸、陸軍、空軍、FAA、森林勤務總隊、海岸防衛隊以及加拿大軍方所使用。

## 2.3 理論背景之比較

HERA 的文獻回顧顯示用來識別人為失效的方法首先應對人類認知(human cognition)的結構和程序的存在做出假設，再來是決策所形成的行為、行為是有意或無意的。文獻回顧的結果是由四階段人類資訊處理模式的變形、認知失效模式(cognitive malfunction)、不安全行動模式這三個方法整合成一個分類法。此外，HFACS 也含社會變數(團隊合作)、生理學變數(疲勞)、督導和狀況因子(contextual factors)。因此，HFACS 納入了 Bird 等人所指出的人、環境和組織成份。

## 2.4 理論背景之討論

對 HERA 和 HFACS 這兩種方法進行比較，在識別與 ATM/ATC 相關的有用架構後發現 HERA 技術是系統化的。進一步地說，HERA 的發展包含了航管性能模式和今後航管工作和行為需求的模式。HFACS 則以一組源自心理學、航空、失事和產業界人為誤失識別的 mode 為基礎，當初不是專門為 ATC 而設計。HFACS 和 HERA 都包含相同的理論概念，但舉例來說，HERA 在識別心理誤失機制的特長是 HFACS 所沒有的，而在分類認知程序時就需要 HFACS 分析。

### 三、觀念涵蓋性

#### 3.1 觀念涵蓋之比較

HERA 探討人為誤失與狀況因子(像是誤失發生時所做的工作和所用的裝備)之關係，允許分析者藉由關鍵字來解釋狀況。分析可識別人為誤失發生時知覺和警覺的認知維度、工作記憶、長期記憶或判斷、規劃、決策。

HERA 使用認知領域(CD, Cognitive Domains, 例如感官接受、感知、工作記憶)來指出誤失的構造。每個認知領域會進一步以內部誤失型式(IEM)和心理學誤失機制(PEM)來分析。IEM 代表誤失的內部產出(例如識別有誤、偵測太慢、判斷有誤)，而 PEM 則描述與 IEM 有關的心理機制(例如感知的傳遞 perception tunneling)。每個誤失的分析也包含表現形成因子(PSF)的識別(變數包含組織影響、督導、團隊和個人問題、空運性質)和外部誤失型式(EEM)像是太慢採取行動。

HFACS 探討最終產出—不安全行動—的肇因來為誤失進行分類。基於系統中顯性和隱性「失效點」(failure points)的觀念，HFACS 找出系統中可能產生人為誤失的防禦「漏洞」。在觀念上，HFACS 鼓勵分析者從深度和廣度來討論問題。

如前述，HFACS 將肇因分成四個層級，每個層級再分成主類別和次類別。不安全的行動涉及顯性失效——由操作者所做的行為。其下的誤失類別包含決策、技巧、感知，或是經常性或異常性的違規。為了瞭解為何會發生事件的原因，以前兆—不安全行動的先決條件—來探討行為。此層級的誤失類別包含操作者不合標準的情況、操作者不合標準的實作。關於不安全的督導，HFACS 探討督導不當、操作規劃不當、無法解決問題、督導違規的可能性。組織的影響力和上層管理的因素在此層級(組織的影響力)探討，包含資源管理、組織文化、組織程序等主類別。

#### 3.2 觀念涵蓋之討論

在觀念上，HFACS 和 HERA 兩種技術在分析誤失時，均考慮組成份子彼此之間的關係，也都探討各別誤失和情況與組織因素。但 HFACS 的長處是它強迫分析者從個人行為到先決條件、督導、組織影響力來獲得觀念上的深度和廣度。HERA 的長處則是它提供對各人知覺程序的細膩分析，以找出導致誤失的原因。

### 四、分析方法和產出

#### 4.1 分析方法之比較

分析者採用 HERA 分類法來處理空域事故調查的敘事式描述，以識別每一人為誤失，並將每一人為誤失被視為單獨的個體連續地用 HERA 技術分析。

每一人為誤失被填入 HERA 分析表格內，包含誤失如何被發覺並挽回。誤失後果的型態可分成因果的 causal、分擔的 contributory、合成的 compounding、非分擔的 non-contributory。與誤失有關的情況式因子(任務、裝備、資訊)則由檢查表來識別。在誤失或違規型態被識別後，分析者藉由一連串流程圖來識別認知

領域(CD)和合成的內部誤失型式(IEM)和心理誤失機制(PEM)的程度。最有可能引起誤失或造成事故的任何表現形成因子(PSF)也會被記錄。

HFACS 分析者使用航空事故，例如使用當初由事故調查員在現場報告中發現的肇因清單。意外過程的陳述成為進一步的內容，但分析者使用 HFACS 只評估在失事調查和附帶陳述中所提到的資訊，且不要對沒有提及的資訊做假設。分析者首先找出操作者是否有不安全行動。若有，分析者將行為分類成誤失或故意違規。然後分析者根據適當的子類別來對誤失做分類。接著在不安全行動之後，與誤失有關的肇因被找出並從事件發生起向前回溯而按順序排列。每一肇因根據 HFACS 分類法的層級、主類別、次類別來做分類。

#### 4.2 分析方法的討論

在分析所用的肇因識別方面，HERA 分析者主要從事故陳述來著手，並使用 HERA 程序來識別並分類肇因。HFACS 分析者則使用航空事故報告，主要以事故調查者所發現的肇因清單來著手，將這些肇因按事故陳述分類成適當的類別。

分析的單位也有不同。進行分析時，HERA 在每一個被發現的人為誤失點進行分析，HFACS 分析則是把事故當成分析的單位。因此 HERA 從陳述的開端順著時間往後處理，HFACS 分析則從事故發生起倒著時間回溯。

由於這些差異，兩種技術造成了不同型態的產出。HERA 允許分析者闡述原始調查的結果。空域事件的 HERA 分析會對每一人為誤失產生一組類別、心理機制和表現形成因子 PSF。例如可以由多重人為誤失、多重任務型態等等來產生 HERA 分析。對分析者而言，如此創造出人為誤失如何串連起來，並隨時間發展而造成意外。

HFACS 分析由最可能發生意外的不安全行動的肇因的分類而來。HFACS 分析者從最終的不安全行動回溯，將造成最終產出的相關事件做分類。HFACS 的產出包含兩種資料型態。一是肇因次類別、主類別、層級的發生頻率。這些資料可寫成總結資料以掌握趨勢，例如決策誤失、不安全行動、不安全督導。第二種資料型態是 HFACS 分析所記錄的每一肇因的敘述。

### 五、信度

#### 5.1 信度之比較

任何有用的人為誤失架構應可廣泛地運用。也就是說，不同人使用這個方法來分析同一事件應得到相似的因子。HERA 和 HFACS 兩個方法都用多人一致性程度的指標 Cohen's Kappa 準則來評斷。當  $k$  值=0.40 或更低，就被視為「缺乏」一致性，而  $k$  值=0.75 或更高，就被視為「非極有」一致性。

HERA 的驗證有 26 名參與者使用歐洲空域事故的意外報告，評斷是否可讓不同群組的使用者用起來很可靠。在認知領域(CD)普通類別的  $k$  值是 0.44~0.50，以分析者工作職能—ATM、人為因素研究員、意外事故調查員—來看，顯示主要使用者(意外事故調查員)呈現最高度的一致性( $k$  值 0.61)。ATM 和研究員的總體

k 值分別是 0.23、0.43。

信度研究也在 HFACS 模式發展期間進行，最初採用美國軍方的肇因清單。駕駛員和航空心理學家的信度介於 0.60~0.95，由 NTSB 和 FAA 的民航失事肇因所得的信度介於 0.65~0.75。

## 5.2 信度之討論

兩種方法都做過信度檢定，不過 Kappa 值在很大的範圍變動。雖然這兩種方法在信度方面有重大的差異，使用技術的技巧和程序也有重大的差異，而可能影響一致性的量測。因此在兩種方法之間比較 k 值就可能是沒有意義。

其中一項差異是分析者用來輸入的資訊。HERA 使用調查員所寫的 ATC 意外調查陳述報告做為主要輸入。而 HFACS 則以調查員所找出的肇因清單來做主要輸入。因此輸入的品質和差異可能影響分析者一致性的範圍。

此外，HERA 分析者是按照事故陳述來回應一系列是非題而做判斷，再由檢查表來識別相關的 PSF。問卷讓分析者利用流程圖形式的三層問題來識別每個成份。另一方面，診斷決策需要識別 HFACS 的肇因清單已由初始的意外調查來完成。因此，HFACS 主要是按清單項目決定每一肇因應被歸類於分類法之中。

## 六、統一化

JANUS 是 HERA 和 HFACS 統一化的成果。如何達成統一化將在未來的報告中介紹。本計畫顯示 HERA 和 HFACS 是彼此互補的。因此，HFACS 對掌握督導和組織的弱點的能力便與 HERA 技術相結合，而產生統一化的 JANUS 技術。JANUS 是可以同時看見過去和未來的女神，用以代表此技術由過去的誤失獲得經驗而用於未來的飛安。此技術是在個人的認知程序層面進行診斷，但也把個人視為龐大的人類-電腦-組織系統當中的一部份。

在 JANUS 技術中，人為因素只被視為「人」在特定「環境」中使用特定「裝備」來執行特定「任務」，且包含督導和組織的影響。JANUS 技術允許細看和泛觀事故為何發生。HERA 識別認知程序的專長與 HFACS 的層級相結合。合併後的方法具有個人層次的診斷能力，但也能掌握廣泛的表現形成因子，以及督導和組織的影響。系統層面因子的彼此關係可藉由程序與個人層面因子相連結。

JANUS 是結構化的，用人為誤失影響事故的一系列關鍵點來解釋每一事故。這些關鍵點隨時間而發生，並形成最後發生意外的事件鏈連結。此技術用幾個分析使用法。每一關鍵點可被找出，並接收深度分析以識別相關的系統變數和特定的認知、行為、系統弱點。如此可讓肇因在個人和系統層面被識別。接著，這些資料可被分析以產生有關個人事件和系統趨勢的從情境察覺到組織資源管理的有意義資訊。

未來發展 JANUS 的工作將是探討有用性和信度。從發展 HERA 的過程中獲得的經驗，發現若需要用來將誤失點歸類的決策數目增加，評量者之間的一致性就會減少。同樣地，早期發展 HFACS 的工作需要某些類別精細化以增加評量者

一致性。

為了評估 JANUS 的信度，數個因子需要被考慮。首先就是是否「第一階」或「第二階」資料被用來檢定評量者一致性。若 JANUS 由涉及意外的人來使用(即當時的空域管制員)，則應是初始意外調查識別肇因的一部份(第一階分析)。相較之下，若 JANUS 技術用於分析意外報告，那就是調查結果(第二階分析)。

另一個對評量者一致性的考量是訂出規範指明什麼東西要被分析。在第二階分析時，許多事物會影響評量者的一致性，例如 a)是否全部有關意外的資訊都已在手中的分析卷宗內，b)什麼關鍵點(例如誤失或肇因)在分析中被發現，c)是否預設的結論已達到並已包含在分析卷宗內。

JANUS 的核心技術，藉由採用特定的診斷問題，並不依賴傳統的意外分析方法。取而代之的，這項技術使用 HERA 結構化的訪談方法來填補並擴充 HFACS 分類法的成份，因此全部的構面都被涵蓋。為 ATC 領域而寫的問題可以掌握從個人認知機制、所做任務、與裝備的互動到形成表現狀況(天候、交通量、裝備)的各種意外肇因。此技術可證明不管是第一階或第二階分析都是有用的。

此一廣泛化技術允許識別肇因和涉及因素，因此適合的修正可以被發展並應用。現有資料蒐集技術的問題是，資料不等於資訊。許多組織花費龐大氣力和資源來蒐集並存放資料，且依據這些資料出版報告。但然，挖掘這些資料並不常產生有意義的資訊而可用來改善訓練計畫、裝備發展，或是其他矯正措施。例如，只不過是計算和報告跑道入侵的數目、型態和位置，並不足發展出更有效率的補救策略。HFACS 和 HERA 已被發展來處理此一資訊問題。

## 七、結論

在 Action Plan 12 之前，HFACS 和 HERA 發展成為事故調查報告的因果關係(post hoc)分析工具。此外，HFACS 架構已被擴展到其他組織，並被用於失事預防的警覺協助。

基於不同 SME 的輸入，Action Plan 12 欲將兩種方法統一成單一資料挖掘工具的原始目標已自然地形成「統一化的技術對 ATC 意外調查人員蒐集第一階肇因資料是否有用處？」的討論。假如統一化的技術最終會發展成熟，那麼工具應可以與現有調查員的品保訓練和程序相互整合。不令人驚訝地，許多發展活動介於現今點和最終狀態之間，包含驗證技術在實際使用上的可用性(usability)和有益性(informative)、如何適當使用者的訓練的評估、減少任何實際使用的工作負擔。

JANUS 現在正在美國 ATM 系統和七個歐洲國家進行實驗測試。將測試工具會增加有關操作誤失的肇因的相關資訊。JANUS 將由調查員和人為因素研究者以操作誤失的事故來測試。當測試階段完成後，技術將被審查並評估其做為事故調查工具的效度和用途。

當新的 ATM 系統被發展來符合未來的容量需求，很重要的一件事是了解人類和系統誤失可能影響產出的所在點。有可能這些工具會把增加的需求加入管制

員的認知程序中，以安全地促進空中交通。除了已知可能的誤失型態，新的策略規劃工具可能會引進新型態的誤失。一旦被驗證後，JANUS 技術可能提供更敏感的方法來識別並評估人類和 ATM 系統的誤失。

## [文獻評析]

本研究的優點有：一、綜合比較 HFACS 和 HERA 兩種人為因素調查方法的異同，讓讀者瞭解其優劣，也更能掌握人為誤失分析的要旨；二、介紹歐美合作的 JANUS 計畫現況，使有意從事 ATM 人為因素研究的人得知最近的發展情況，而符合時代潮流。可惜的是，本文只說明兩種方法的異同，並未以實際案例來進一步說明，因此對於 HFACS 和 HERA 不熟悉的讀者，很難立刻進入狀況。

目前 JANUS 尚在驗證階段，最終的結果還不確定，因此暫時無法對其做出評斷。然而，就現今的發展來看，似乎還有很大的發展空間，像是如何更方便地運用流程圖、如何歸納以往的事故資料以預測未來趨勢、如何配合未來 CNS/ATM 的運作。這也是國內民航界可以深入探討的課題。

總之，對 ATM 人為因素有興趣的研究者來說，本文獻相當值得參考。然而，建議先瞭解 HFACS 和 HERA 的理論架構和使用方法再閱讀本文獻，方能收到事半功倍之效。

## [相關文獻]

Bird, F. (1974). Management guide to loss control. Atlanta, GA: Institute Press.

Dekker, S. (1999). The re-invention of human error. Paper presented at the 3rd International Human Error, Safety, and System Development Workshop, Liege, Belgium.

Edwards, E. (1988). Introductory overview. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Eds.), Human factors in aviation (pp. 3-25). San Diego: Academic.

EATMP. (1999a). Short Report on Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in Air Traffic Management. (HUM.ET1.ST). Brussels: Eurocontrol.

EATMP. (1999b). Technical review of human performance models and taxonomies of human error in air traffic management. (HUM.ET1.ST). Brussels: Eurocontrol.

EATMP. (2000). Validation of the human error in ATM (HERA) classification system. Draft report. Brussels: EUROCONTROL.

Federal Aviation Administration. (2001). Air traffic quality assurance (FAA Order 7210.56). Washington, DC: Department of Transportation.



- Fleiss, J.L. (1981). Statistical methods for rates and proportions. New York: Wiley.
- Heinrich, H., Petersen, D., & Roos, N. (1931). Industrial accident prevention: A safety management approach (1st ed.). New York: McGraw-Hill.
- Hollnagel, E., Cacciabue, P.C., & Hoc, J. (1995). Work with technology: Some fundamental issues. In J. Hoc, P.C. Cacciabue, and E. Hollnagel (Eds.), *Expertise and technology* (pp. 1-15). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Isaac, A.R., & Ruitenberg, B. (1999). Air traffic control: Human performance factors. Hants, England: Ashgate.
- Kinney, G.C., Spahn, M.J. & Amato, R.A. (1977). The human element in air traffic control: Observations and analyses of the performance of controllers and supervisors in providing ATC separation services (MTR-7655). McLean, VA: MITRE Corporation, METRIEK Division.
- Jensen, R. (1995). Pilot judgment and crew resource management. Brookfield, VT: Avebury Aviation.
- Martiniuk, R.G. (1976). Information processing in motor skills. New York: Rinehart and Winston.
- O'Hare, D., Wiggins, M., Batt, R., & Morrison, D. (1994). Cognitive failure analysis for aircraft accident investigation. *Ergonomics*, 37(11), 1855-69.
- Rasmussen, J. (1982). Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4, 311-33.
- Reason, J. (1990). Human error. New York: Cambridge University Press.
- Redding, R.E. (1992). Analysis of operational errors and workload in air traffic control. *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting* (pp. 1321-5), Vol. 2. Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Rodgers, M.D., & Nye, L.G. (1993). Factors associated with the severity of operational errors at air route traffic control centers. In M.D. Rodgers (Ed.), *An examination of the operational error database for air route traffic control centers* (pp. 11-25). Washington, DC: Federal Aviation Administration (Report No. DOT/FAA/AM-93/22), ADA 275986.
- Schroeder, D.J. (1982). The loss of prescribed separation between aircraft: How does it occur? *Proceedings (P-114), Behavioral Objectives in Aviation Automated Systems Symposium*, Society of Automotive Engineers (SAE), 257-69.

Schroeder, D.J., & Nye, L.G. (1993). An examination of the workload conditions associated with operational errors/deviations in air route traffic control centers In M.D. Rodgers (Ed.), *An examination of the operational error database for air route traffic control centers* (pp. 1-10). Washington, DC: Federal Aviation Administration (Report No. DOT/FAA/AM-93/22), ADA 275986.

Shappell, S.A., & Wiegmann, D.A. (1997). A human error approach to accident investigation: The Taxonomy of Unsafe Operations. *International Journal of Aviation Psychology*, 7(4), 269-91.

Shappell, S.A., & Wiegmann, D.A. (2000). The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS. (DOT/FAA/AAM-00/07). Washington, DC: Federal Aviation Administration.

Shappell S., & Wiegmann, D. (2001). Uncovering human error trends in fatal general aviation accidents using HFACS. Presented at the 72nd Annual Meeting of the Aerospace Medical Association, Reno, NV.

Stager, P., & Hameluck, D. (1990). Ergonomics in air traffic control. *Ergonomics*, 33, 493-9.

Wickens, C.D. (1992) *Engineering Psychology and Human Performance* (Second ed.). New York: Harper-Collins.

Wickens, C.D., & Flach, J.M. (1988). Information processing. In E.L. Wiener & D.C. Nagel (Eds.), *Human factors in aviation* (pp. 111-55). San Diego: Academic.

Wiegmann, D.A., & Shappell, S.A. (1997). Human factors analysis of postaccident data: Applying theoretical taxonomies of human error. *International Journal of Aviation Psychology*, 7(1), 67-81.

Wiegmann, D., & Shappell, S. (2001a). Assessing the reliability of HFACS within the context of aviation. Presented at the 72nd Annual Meeting of the Aerospace Medical Association, Reno, NV.

Wiegmann, D.A., & Shappell, S.A. (2001b). Human error analysis of commercial aviation accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 72(11), 1006-16.



# Guidelines for Trust in Future ATM Systems: A Literature Review

C. Kelly, M. Boardman, P. Goillau and E. Jeannot

HRS/HSP-005-GUI-0 Eurocontrol, Mar. 2005

## [英文摘要]

The purpose of this document and its sequels is to provide a set of human factors guidelines for facilitating and fostering human trust in Air Traffic Management (ATM) systems. The guidelines are primarily concerned with the trust of computer-assistance tools and other forms of automation support, which are expected to be major components of future ATM systems.

This deliverable, on the subject of trust guidelines, is the first one developed within the 'Solutions for Human-Automation Partnerships in European ATM (SHAPE)' Project. There are two subsequent deliverables on trust issues; one is dealing with the measurement of trust (see EATMP, 2003a), the other provides detailed info about trust principles (see EATMP, 2003b).

## [中文摘要]

這篇報告中回顧、彙整人為因素之信任(trust)議題的相關文獻，針對電腦輔助工具及其他形式的自動化支援系統等未來航管系統的主要部分，提供一系列關於人為因素的指導方針，希望藉此促進人對於未來航管系統的信任，並對航管自動化設計議題的相關研究提出建議。

這篇報告是 Eurocontrol 人為因素與人力資源單位(Human Factors and Manpower Unit, DIS/HUM)所執行之 SHAPE(Solution for Human-Automation Partnerships in European ATM)計畫的第一個部份，SHAPE 是為因應因航管系統自動化程度不斷增加而衍生的議題，探討七個主要課題：信任、情境察覺、團隊、從系統失敗之修補、工作負荷與自動化、未來管制員之技術需求、及經驗與年齡。

這篇報告中涵蓋四個主題的文獻回顧，最後並提出自動化系統信任的指導方針，詳述如下：

1. 自動化：首先明確定義何謂自動化，並介紹十種不同程度的自動化概念，最後將過去人為因素所進行之相關研究做一簡單之整理。
2. 信任：由社會心理學、系統工程及資訊技術等三領域解釋信任之構面，並探

討因過度自動化而造成之自滿問題，最後再針對飛航管制領域之自動化信任議題進行討論。

3. 信任與人-機器系統：首先彙整過去其他領域對於人-機器系統及信任之研究，並探討飛航管理領域中與信任相關之議題，最後依此提出一簡單信任模式。
4. 信任的衡量：內容涵蓋各種信任衡量的指標及方法，包含客觀衡量和主觀衡量兩部分，最後提出發展航管系統之信任衡量方式的幾項建議。
5. 信任的指導方針：由文獻回顧發現自動化信任的研究主要著重於程序控制(process control)系統部分，很少關於管制員信任航管系統的相關研究，且主要是探討自動化系統對於工作負荷的影響及人員的接受度等議題。綜整的指導性原則重點如下：
  - (1) 管制員必須瞭解自動化系統的功能及限制，知道系統可能會造成的誤失及狀況
  - (2) 管制員必須接受適當且足夠的訓練
  - (3) 不管是模擬系統還是自動化工具都必須具備極高的可靠度
  - (4) 透過模擬過程及實務運作中蒐集數據，以做為系統設計、研究等的參考

## [內容]

“信任”為整體航管系統運作的一重要因素，從管制員必須信任所使用的雷達和通訊設備、信任操作程序及指令的安全性、至相信駕駛員及其他相關人員會正確地遵循所指示之指令進行等一系列的過程皆取決於“信任”。而隨著更多電腦支援工具及其他形式自動化支援系統的引進，且人對於系統的信任建構困難但喪失容易，因此自動化信任的議題將更為重要。而這篇報告所探討的自動化信任課題為 SHAPE(Solution for Human - Automation Partnerships in European ATM)計畫的第一個部分，SHAPE 是由 Eurocontrol 的航管人力資源單位，即目前更名為人為因素與人力資源單位(Human Factors and Manpower Unit)從 2000 年歐洲飛航管理計畫之人力資源計畫(Human Resources Programme, HRS)下的人為因素次計畫(Human Factors Sub-Programme, HSP)開始執行的，SHAPE 主要是為因應因航管系統自動化程度不斷增加而衍生的議題，以作為新系統發展的依據，並依此發展出所需的訓練需求，以確保自動化支援系統和管制員間可以達到最佳的平衡關係，由 SHAPE 歸納出的七個主要課題分別為：信任、情境察覺、團隊、從系統失敗之修補、工作負荷與自動化、未來管制員之技術需求、及經驗與年齡。這篇報告為信任課題之探討，研究彙整了與自動化人員信任相關的文獻，針對電腦輔助工具及其他形式的自動化支援系統等未來航管系統的主要部分，希望可提供 Eurocontrol 計畫與航管自動化設計研究實質的建議及人為因素的指導性原則。報告分別由自動化、瞭解信任、信任與人-機器系統及信任的衡量等四個主題切入，先簡述自動化及信任的概念，回顧一般及航管領域中人-機器系統的信任研究，

以及各種信任的衡量方法，最後依此提出自動化系統信任的指導方針。

1. 自動化

探討自動化信任議題首先需瞭解自動化的定義及概念，該主題提供下列資訊：自動化定義、十種不同程度的自動化概念、彙整人為因素相關之研究，詳述如下。

1.1 何謂自動化

美國國家研究委員會的航管自動化人為因素小組(US National Research Council, Panel on Human Factors in Air Traffic Control Automaton)對於自動化的定義為：設備或系統完成(部分或全部)原先由人執行(部分或全部)的職責。這個定義的幾個重點：(1)必須區分是技術的創新或更新(2)自動化可分為不同的程度(3)隨著技術的改變，自動化也會跟著改變(4)若某一功能可完全由設備或系統完成則是視為系統的一部份而非自動化。

1.2 自動化程度

由上述自動化定義中發現自動化可應用於人為操作與完全自動化兩個極端程度之間的各種不同程度，因此過去有許多研究探討自動化程度的概念，其中 1988 年 Thomas Sheridan 所提出的十種不同自動化程度最為廣泛接受，目前最新的版本是 2000 年由 Parasuraman, Sheridan 和 Wikckens 所提出的，如表一所示。

表一、自動化程度(Parasuraman et al., 2000)

程度	人-機器的協調
10(高)	電腦決定所有事情並自動採取動作
9	電腦決定是否通知人員
8	要求時再通知人員
7	自動執行後再通知人員
6	允許人員在電腦未執行動作且有限時間內反對自動化的執行
5	經人員認可後電腦及執行所提的建議
4	建議一個最終決策
3	降低可選擇的數目
2	電腦提供完整的決策/行動選擇
1(低)	電腦沒有提供任何協助，人員需決策所有決定並採取所有動作

儘管達到全面自動化的程度，人所扮演的系統維修及修正角色仍是無法由機器所替代，Shorrock 和 Scaife(2000)認為飛航管制中心(Air Traffic Control Centre，ATCC)仍須有管制和監督系統運作的角色，即 Bainbridge(1982)所提出自動化系統仍是人-機器系統的想法。

1.3 人為因素研究回顧

過去20年來，自動化課題的研究逐漸吸引大眾的注意，相關的研究倍增，尤

其針對航空領域中的航機駕駛艙及商用飛機的客艙自動化兩議題(Wiener & Curry, 1980; Wiener, 1985; Billings, 1991; ICAO, 1994; Funk *et al.*, 1996)，根據近期的兩個研究回顧報告(Mouloua & Koonce, 1997; Scerbo & Mouloua, 1999)顯示，目前自動化已散佈至所有的人-機器系統，且自動化是人為因素領域中的一個主要研究課題，包含信任、情境察覺、警示、壓力和工作負荷等議題。Parasuraman和Riley等進行自動化之濫用、誤用的相關研究，指出應適度瞭解人為因素各層面的問題以提昇系統設計。

而在飛航管理系統中，尤其是航管系統的部分，在過去數十年中自動化課題同樣為重點研究方向，如Hopkin, 1975; Erzberger, 1989; Wise *et al.*, 1991; Hollnagel *et al.*, 1994等之研究。FAA方面，Cardosi和Murphy(1995)帶領航管自動化議題的回顧研究，探討自動化的優缺點，並提出自動化設計建議表。美國國家研究中心人為因素研究小組亦針對航管系統及技術等進行一系列之研究，尤其針對自動化議題部分(Wickens *et al.*, 1997)。此外探討自動化對管制員的影響亦為一個重點研究方向，如Kelly & Goillau, 1996; Hopkin, 1998; Cox & Kirwan, 1999等之研究，也是Eurocontrol的調協飛航管理研究計畫(Programme for Harmonised Air Traffic Management Research in EUROCONTROL, PHARE)(Eurocontrol, 1993)及航管系統演進中人所扮演之角色計畫(Role of the Human in the Evolution of ATM Systems, RHEA)(Nijhuis, 1998)兩研究計畫的主要重點，而該研究主題及自動化的相關議題將由SHAPE計畫進行探討。

## 2. 瞭解信任

主題內容涵蓋信任之定義、信任的不同構面、自動化自滿之議題及信任與飛航管制等四個部分。

### 2.1 何謂信任

Madsen and Gregor(2000)對於信任的定義為：使用者對於人工智慧決策支援工具所提供建議、行動及決策的確信程度及願意採取動作的意願，該定義有益於SHAPE計畫之目的，然人工智慧該詞彙過於強調專家系統及相關的電腦系統，因此在該研究中將信任定義為：使用者對於以電腦為基礎之工具或決策支援所提供之建議、行動及決策的確信程度及願意採取動作的意願。

### 2.2 信任之構面

為提供人-機器系統設計的信任原則，首先需對於信任有全面性的瞭解，以下為三個研究領域對於信任議題的探討：

(1) 社會心理學(Social psychology)：即人-人間的互動。

Rempel, Holmes 和 Zanna(1985)利用可預測性(predictability)、可依賴性(dependability)及信仰(faith)三個要件所構成的信任模式。該模式的兩個重點：(I)可預測性與可依賴性與過去經驗及顯示的可靠度相關，而信仰則關係未來狀況的推論。(II)此模式有階層性，第一階段(可預測性)針對具體、

特定的行為，第二階段(可依賴性)則專注於人的特質與特徵，第三階段(信仰)則是針對未來事件的信念。此外組織信任課題亦是研究的重點方向，如 Kramer, 1999。

(2) 系統工程(Systems engineering)：即人-機器間的互動。

Sheridan(1998)提出可用以定義、衡量及建構信任的七個信任特性，分別為可靠度(reliability)、健全度(robustness)、熟悉度(familiarity)、瞭解度(understandability)、意圖的解釋(explication of intention)、有效性(usefulness)及依賴性(dependence)。

根據 Muir(1994)與 Muir, Moray(1996)實驗結果顯示 Rempel 等人所提出之人-人的信任模式可有效應用於人-機器系統信任的發展。此外 Muir 亦發現對機器適職性(competence)的期望可最佳的描述對機器的信任。

Lee 與 Moray(1992,1994)延續 Muir 所進行的研究，發現管制員對於自動化的依賴不僅取決於對自動化系統的信任，同時會受到操作者自信(self-confidence)所影響。

(3) 資訊科技(Information technology)：透過機器的居中協調，人-人間的互動。

除了探討對複雜、安全關鍵性與半自動化系統的信任課題外，有些研究則是針對資訊科技範疇內的電腦系統信任議題進行研究，如 Hall(1996)探討使用者對協助式介面(assistant-like interface)的信任；Abdul-Rahman and Hailer(1999, 2000)則提出一社會學基礎的信任衡量模式以探討可靠的資訊修補問題。

透過資訊系統，群眾可以透過不同介面與方式進行溝通，但須利用電腦設備以及 National Research Council study(NRC, 1997)稱為 Every-Citizen Interfaces(ECIs)的關鍵性介面設計才能執行，然而透過 ECIs 的合作與通訊衍生了四個的議題(I)隱私：對系統與資訊的信任，包含系統的使用者與發展者(II)證實(Authentication)：信任系統的報告(III)可信度(Credibility)：信任系統的內涵(IV)可靠度：信任系統的功能。而網路資訊系統的可信度研究目前為一重點研究方向，但大部分都是針對軟體可靠度、可用性、隱私與安全性等課題進行探討，建議可探討人為因素相關的議題，此外由不值得信任的組件建構值得信任的系統(Schneider, 1999)亦是日後值得研究的課題。

## 2.3 自滿

自滿(complacency)意指使用者過度信任自動化工具導致未能及時偵測出系統的錯誤，Parasuramanc 與 Riley(1997)認為過度信任自動化工具為自動化誤用(mis-use)的狀況之一。Moray, Inagaki and Parasuraman(2001)歸納出三種不同的監視行為，若操作人員所發現的錯誤數都低於最佳專注策略下的需求數，則稱為自滿；若操作人員所發現的錯誤數都高於最佳專注策略下的需求數，則稱為“懷疑”(sceptical)；若操作人員可正確的發現所有的錯誤，則稱為 eutactic。然而當實際處理航管等系統時，需具備合理的懷疑，而不只是滿足於可正確找出錯誤。



## 2.4 信任與飛航管制

在 ATC 領域中，信任可視為固有的一部份，管制員需信任所用的設備、工具，並相信駕駛員會正確執行接收指令，而系統的可靠度是決定管制員信任的關鍵因素，唯有管制員實際瞭解自動化限制，清楚看到使用自動化所帶來的效益，才會信任自動化工具。

## 3. 信任和人-機器系統

該主題內容涵蓋一般性的人-機器系統及信任研究的彙整、飛航管理系統與信任的研究，最後依此提出一簡單的信任模式。

### 3.1 一般性研究

根據文獻回顧結果發現，自動化人員信任研究主要著重於兩個方向：(1)偏重模擬工業程序系統的監督管控，僅少數探討 ATM 系統；(2)偏重於調查自動化錯誤的影響。

而過去人-機器系統與信任的相關研究課題包含：時間序列的信任經驗模式之研究；比較自動化與人員參與在相同狀況下的信任；系統不信任擴散之研究；combat identification systems；自動化錯誤之研究；操作人員對醫療決策支援系統之信任研究；驗證人-人信任模式可應用於人-機器信任的假設等。

### 3.2 信任與飛航管理系統

ATM 領域中與信任相關研究主要著重於管制員工作負荷及不影響工作負荷前提下提昇交通容量的方法。

其他相關的研究則包含：(1)以模擬實驗所蒐集參與者對不同電腦支援系統的可靠度建議資料為基礎，探討自動化與信任的問題。(2)分析並評估各種不同的自動化概念，以引進未來航管系統的自動化工具。(3)飛航管理系統信任之社會-技術研究。

### 3.3 一簡單的信任模式

依據上述內容所探討各種不同構面的信任及影響信任的各项因素，彙整成一信任與其相關因素間之關係的簡單模式，如 Figure 3 所示。此簡單模式可作為權衡不同影響因素時的參考，並可提供系統設計準則及指導性方針的架構。

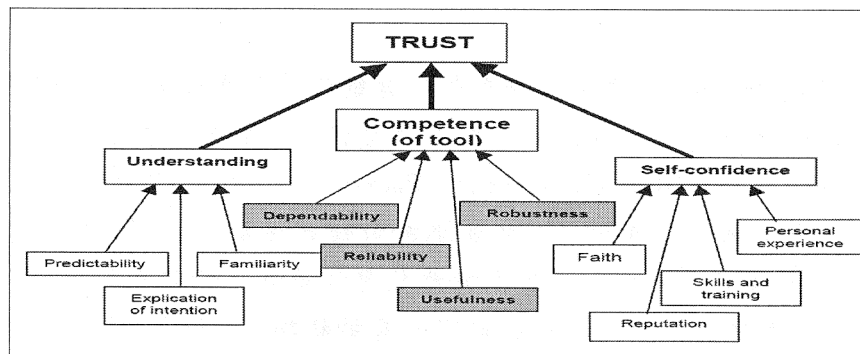


Figure 3: Simple model of trust and the relationship between factors

4. 信任的衡量

內容涵蓋各種信任衡量的指標及方法，包含客觀衡量和主觀衡量兩部分，最後提出發展航管系統之信任衡量方式的幾項建議。

4.1 主觀性的衡量

主觀性的衡量為最常用的方法，以下將介紹四種不同的評比方式。

- (1) Lee and Moray scale(1992, 1994)：利用 1(低)至 10(高)的評等標準於每次試驗後詢問操作者對系統的信任，問項如“對系統的整體信任度”。
- (2) Muir scales：Muri(1994)與 Muri、Moray(1996)利用左邊標示”一點也不”右邊標示”極高”的評比衡量圖，詢問操作者對於 process control pump 的信任程度，含 pump 的反應正確性、顯示及整體等三個部分。此外由適職性、可預測性、可依賴性、回應性、時間面的可靠性及未來能力的信任等六方面來評估 pump 的績效。
- (3) Madsen and Gregor：Madsen and Gregor (2000)以 Rempel *et al.* (1985), Sheridan (1988), Muir and Moray (1996)過去的研究為基礎發展 Human - Computer Trust(HCT)以衡量對電腦系統的信任，HCT 包含五個主要部分及各四個次要項目，如 Table 4 所示，此外五個主要部分之間的關係如 Figure 4 所示。

Table 4: Human-Computer Trust (HCT) rating scale (Madsen & Gregor, 2000)

<b>1. Perceived reliability</b> R1. The system always provides the advice I require to make my decision. R2. The system performs reliably. R3. The system responds the same way under the same conditions at different times. R4. can rely on the system to function properly. R5. The system analyzes problems consistently.
<b>2. Perceived technical competence</b> T1. The system uses appropriate methods to reach decisions. T2. The system has sound knowledge about this type of problem built into it. T3. The advice the system produces is as good as that which a highly competent person could produce. T4. The system correctly uses the information I enter. T5. The system makes use of all the knowledge and information available to it to produce its solution to the problem.
<b>3. Perceived understandability</b> U1. I know what will happen the next time I use the system because I understand how it behaves. U2. I understand how the system will assist me with decisions I have to make. U3. Although I may not know exactly how the system works, I know how to use it to make decisions about the problem. U4. It is easy to follow what the system does. U5. I recognize what I should do to get the advice I need from the system the next time I use it.
<b>4. Faith</b> F1. I believe advice from the system even when I don't know for certain that it is correct. F2. When I am uncertain about a decision I believe the system rather than myself. F3. If I am not sure about a decision, I have faith that the system will provide the best solution. F4. When the system gives unusual advice I am confident that the advice is correct. F5. Even if I have no reason to expect the system will be able to solve a difficult problem, I still feel certain that it will.
<b>5. Personal attachment</b> P1. I would feel a sense of loss if the system was unavailable and I could no longer use it. P2. I feel a sense of attachment to using the system. P3. I find the system suitable to my style of decision-making. P4. I like using the system for decision-making. P5. I have a personal preference for making decisions with the system.

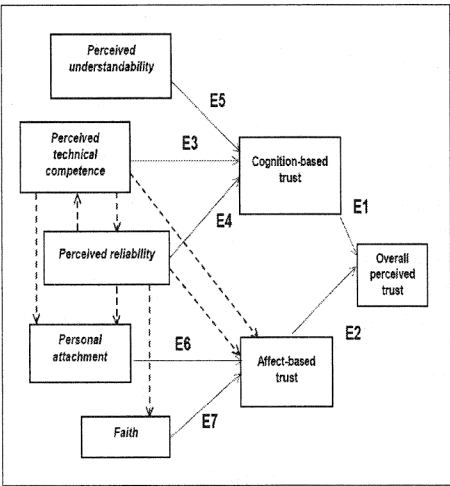


Figure 4: Model of Human-Computer Trust (HCT) components (from Madsen & Gregor, 2000)

- (4) Jian er al.：Jian, Bizantz 與 Drury(2000)發展一包含 12 個信任問項的信任衡量

方法，其評等標準分為 1(低)至 7(高)個等級。該信任問項的發展分為三個階段，第一階段蒐集與信任和不信任概念相關的字彙，第二階段為問卷研究，探討如何連結所蒐集之資料，第三階段為配對比較的研究，參與者評估配對字彙的相似度。根據第二與第三階段的結果建構一多構面的信任評估標準，如 Figure 5 所示。

而以下兩個為應用於軍用航空領域的信任衡量範例。

- (1) Taylor et al：Taylor, Shadrake 和 Haugh(1995)這研究是軍用航空領域中探討 human-electronic crew 的一部份，探討操作者對電腦輔助工具時間及合適性的看法，包含 17 個項目，分為 1(低)至 7(高)的評等標準，如 Table 5 所示。

Below is a list of statements for evaluating trust between people and automation. There are several scales for you to rate intensity of your feeling of trust, or your impression of the system while operating a machine. Please mark an 'x' on each line at the point which best describes your feeling or your impression. (Note: 'not at all' = 1; 'extremely' = 7)

1.	The system is deceptive	1	2	3	4	5	6	7
2.	The system behaves in an underhanded manner	1	2	3	4	5	6	7
3.	I am suspicious of the system's intent, action, or outputs	1	2	3	4	5	6	7
4.	I am wary of the system	1	2	3	4	5	6	7
5.	The system's actions will have a harmful or injurious outcome	1	2	3	4	5	6	7
6.	I am confident in the system	1	2	3	4	5	6	7
7.	The system provides security	1	2	3	4	5	6	7
8.	The system has integrity	1	2	3	4	5	6	7
9.	The system is dependable	1	2	3	4	5	6	7
10.	The system is reliable	1	2	3	4	5	6	7
11.	I can trust the system	1	2	3	4	5	6	7
12.	I am familiar with the system	1	2	3	4	5	6	7

Figure 5: Checklist for trust between people and automation (Jian et al., 2000)

Table 5: Trust and awareness scale (from Taylor et al., 1995)

Construct	Description
1. Confidence	Confidence in own ability to successfully complete the tasks with the aid of the adaptive automation
2. Self-confidence	Confidence in own ability to successfully complete the tasks
3. Accuracy	Accuracy of own performance on the tasks with the aid of the adaptive automation
4. Self-accuracy	Accuracy of own performance on tasks
5. Automation confidence	Confidence in ability of the machine to support successful completion of the tasks
6. Automation accuracy	Accuracy of machine in supporting successful completion of tasks
7. Automation dependability	The extent to which you can count on the machine to provide the appropriate support to the tasks
8. Automation reliability	The extent to which you can rely on the machine to consistently support the tasks
9. Predictability	The extent to which you can anticipate and expect the machine to support the tasks
10. Risk	The probability of negative consequences of relying on the machine to support successful completion of the tasks
11. Impact / Survivability	The severity and criticality of adverse or negative consequences of relying on the machine to support successful completion of the tasks
12. Decision complexity	The extent to which the machines' decision on when and how to intervene and support the task can be regarded as a simple and obvious choice
13. Uncertainty / doubt	The extent to which you have confidence in the machines' decision on when and how to intervene and support the task
14. Judgement / awareness	The extent to which the machines' decision on when and how to intervene and support the task requires assessment, knowledge, and understanding of the task
15. Faith	The extent to which you believe that the machine will be able to intervene and support the tasks in other system states in the future
16. Demand for trust	Level of trust required from you when the machine intervenes and supports the task
17. Supply of trust	Level of trust actually provided by you when the machine intervenes and supports task

- (2) Controller Acceptance Rating Scale(CARS): 由 Cooper-Harper scale 發展而成。

4.2 客觀性的衡量

Moray與其同僚(Moray, Inagaki & Itoh, 2000; Moray, 1999; Muir & Moray, 1996; Moray, Lee & Muir, 1995; Lee & Moray, 1992, 1994)的研究結果顯示發展一衡量信任的經驗模式是可行的，建議自動化信任的研究可由(1)透過詢問操作者/管制員直接衡量(2)以系統的物理特性(如生產力輸出、特殊系統功能的選擇、人為操作介入的頻率)評估為基礎構建模式(3)建構模式以可動態預測自動化系統其信任、自信與操作者可能介入的機率。然而不管該方法應用於航管領域是否可行，建議都必須找出與航管相關的變數並進行敏感度分析，若可直接利用所觀察的系統物理特性進行特性，如此則可客觀地衡量管制員介入的變數。

另一個簡單衡量方法是基於管制員未觸動某工具則代表對此工具不信任之假設，因此可透過管制員處動某工具與否衡量對該工具的信任度。然而此假設不全然正確，根據Moray et al(2000)研究指出，人為或人與機器之組合的操作績效在某些狀況下會高於自動化系統的最佳化績效，因此儘管對此工具的信任度高，仍須選擇人為操作方式。此外，假設工具被開啟或觸動則代表管制員信任此工具也不全然正確，因為管制員可能會忽略工具所顯示之資訊，因此需要比較複雜的信任衡量方法，例如可蒐集反應速度或時間數據作為衡量信任的參考。

#### 4.3 發展應用於航管系統的信任評估方法

航管系統的自動化信任衡量課題將由另一研究(EATMP, 2003a)所探討，以下根據上述的文獻回顧結果提出幾項建議：(1)利用評等衡量表衡量管制員的信任是一合適之方法，其中 Madsen and Gergor(2000)似為最可行之方法，因經驗的驗證性，而 Jian, Bisantz and Drury(2000)所用之方法則似乎過於情感上的判斷。(2)建議利用單一評等衡量表量測不同構面的信任或自信，可包含可靠(reliability)、正確度(accuracy)、瞭解度(understanding)、信任度(faith)、喜歡的程度(liking)、熟悉度(familiarity)與健全度(robustness)等七個構面。(3)建議模糊(fuzzy)的問項會較全部/沒有的問項更為合適。

縱整上述的文獻及研究結果，這篇報告最後提出自動化的指導性原則資訊，詳述如下：

##### 1. 自動化的信任

- (1) 訓練及經驗的目的在於使管制員可以適度的信任系統，而非完全信任。
- (2) 管制員應瞭解工具的功能及使用的目的
- (3) 管制員應接受適當的訓練以瞭解自動化工具
- (4) 不可因管制員幾天前通過訓練的測試即假定他們可以清楚瞭解工具的功能，必須再接受測試
- (5) 管制員必須瞭解在何種狀況下自動化工具可能會產生錯誤
- (6) 衡量信任時必須將系統的限制納入考慮
- (7) 信任會受到系統的可靠度影響而非自信(系統的不信任通常因系統的不可靠所導致)，因此評估人員績效前需確定系統是可靠的
- (8) 必須準備系統和管制員最終可能導致任何型式的錯誤
- (9) 信任受到系統屬性影響，而自信則受管制員經驗影響。
- (10) 根據實驗結果發現管制員對系統的不信任較信任難以改變，因此必須確定系統是合理的可靠度下，再使人員使用該系統。
- (11) 根據實驗結果發現管制員對於”智慧型”自動工具(如專家系統、決策支援系統)與”簡單型”的信任不同(如衝突警示)，因此確定管制員瞭解自動化工具、接受適當的訓練且系統是可靠非常重要的。

##### 2. 信任的衡量

- (1) 由模擬過程中衡量管制員信任是有效的
- (2) 建議以單一的衡量標準同時衡量管制員對系統整體的信任及其他組成

要件的信任

- (3) 設計問項需注意用字遣詞
- (4) 根據研究結果發現信任和不信任可視為兩個相對的極端，因此信任度評等可利用單一數字，如-5~5
- (5) 模糊的衡量標準設定可能較為適合
- (6) 為確保資料的有效性，在每次模擬進行後都需進行相關的衡量

## [文獻評析]

1. 報告中彙整人-機器系統之信任及信任衡量的相關研究及結果，可供相關研究參考。
2. 此一報告首先探討自動化及信任的基本概念，接而彙整一般及航管領域中因應自動化而衍生之信任問題的相關研究，最後彙整信任的衡量方法，整體架構明確，可使讀者對此一主題有完整且明確的架構概念，可作為相關研究之參考。
3. 報告中彙整了各項影響信任的因素，並建構成一簡單之模式，清楚描述各項因素與信任之間及各因素之間的相互關係，雖僅為一簡單之架構圖，但值得參考。
4. 可追蹤報告中所提及的 SHAPE 計畫，以瞭解可能因自動化而衍生的相關課題。

## [相關文獻]

Abdul-Rahman, A. & Hailes, S. (1999). Relying on trust to find reliable information. *1999 International Symposium on Database, Web and Cooperative Systems (DWACOS'99)*, Baden-Baden, Germany.

Abdul-Rahman, A. & Hailes, S. (2000). Supporting trust in virtual communities. *Hawaii International Conference on System Sciences 33*, Maui, Hawaii, 4-7 January 2000.

Bainbridge, L. (1982). Ironies of automation. In: G. Johanssen & J.E. Rijnsdorp, *Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems*, Proc. of IFAC Conf., Baden-Baden, Germany, 129-135.

Bisantz, A.M., Llinas, J., Seong, Y., Finger, R. & Jian, J.Y. (2000). *Empirical investigations of trust-related system vulnerabilities in aided, adversarial decision-making*. Center for Multi-Source Information Fusion, Dept. of Industrial Engineering, State University of New York at Buffalo.

Billings, C.E. (1991). Human-centred Aircraft Automation Philosophy: A Concept and Guidelines. *NASA Technical Memorandum No. 103885*. National Aeronautics and Space Administration.

Bonini, D., Jackson, A. & McDonald, N. (2001). Do I trust thee? An approach to understanding trust in the domain of air traffic control. In: *Proceedings of People in Control*, 19-21 June, UMIST Manchester.

Cardosi, K. & Murphy, E. (1995). *Human Factors in the Design and Evaluation of Air Traffic Control Systems*. Federal Aviation Administration, Office of Aviation Research, DOT/FAA/RD-95/3.

Chabrol, C., Vigier, J.C., Garron, J. & Pavet, D. (1999). CENA PD/3 Final Report, PHARE/CENA/PD/3-2.4/FR/2.0.

Cooper, G.E. & Harper, R.P. (1969). The use of pilot rating in the evaluation of *aircraft handling qualities*, NASA-AMES Report TN-D-5153.

Cox, M. & Kirwan, B. (1999). The future role of the air traffic controller: Design principles for human-centred automation. In: M.A. Hanson, E.J. Lovesey & S.A. Robertson, *Contemporary Ergonomics 1999*, Taylor & Francis Ltd., 27-31.

DERA (1997) WP6: Application of evaluation techniques. Annex B. Results of DERA cognitive walkthrough activity. EC DGVII RHEA Project, Ref. RHEA/TH/WPR/6/2.0, 30th July.

Du Boulay, E., Cox, M., Hawkins, J.R. & Williams, J. (1994). NODE-M STCA: ATC Evaluation. National Air Traffic Services, CS Report 9439, May.

Dzindolet, M., Pierce, L.G., Beck, H.P. & Dawe, L. (1999). Misuse and disuse of automated aids. Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society 43rd Annual Meeting, 339-343.

Dzindolet *et al.* (2000a). Building trust in automation. Paper presented at *Human Performance, Situation Awareness and Automation: User-Centered Design for the New Millennium*, The 4th Conference on Automation Technology and Human Performance and the 3<sup>rd</sup> Conference on Situation Awareness in Complex Systems, October 15-19.

Dzindolet, M., Pierce, L.G., Beck, H.P. & Dawe, L. (2000b). A framework of automation use. *Manuscript submitted for publication*. EATMP (2000). *Human Resources Programme - Stage 1: Programme Management Plan*. Edition 1.0. Brussels: EUROCONTROL.

EATMP Human Resources Team (2003a). *Guidelines for Trust in Future ATM Systems: Measures*. HRS/HSP-005-GUI-02. Edition 1.0. Released Issue. Brussels: EUROCONTROL.

EATMP Human Resources Team (2003b). *Guidelines for Trust in Future ATM Systems: Principles*. HRS/HSP-005-GUI-03. Edition 1.0. Released Issue. Brussels: EUROCONTROL.

EATMP Human Resources Team (2003c). *The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems*. HRS/HSP-005-REP-01. Edition 1.0. Released Issue. Brussels: EUROCONTROL.

EATMP Human Resources Team (2003d). *Age, Experience and Automation in European Air Traffic Control*. HRS/HSP-005-REP-02. Edition 1.0. Released Issue. Brussels: EUROCONTROL.

Erzberger, H. (1989). ATC automation concepts. In: *Proceedings of the Aviation Safety and Automation Program Conference*, NASA Conf. Publication 3090.  
EUROCONTROL (1993). *Role of Man within PHARE*; EUROCONTROL DOC 93-70-35.

EUROCONTROL (2000a). Air traffic controller attitudes toward future automation concepts: A literature review. In: EUROCONTROL Report ASA.01.CORA.2.DEL02-A.RS, 4th December.

EUROCONTROL (2000b). Conflict Resolution Assistant level 2 (CORA2). Controller assessments. In: EUROCONTROL Report ASA.01.CORA.2. DEL02-b.RS, 4th December.

Funk, K., Lyall, B. & Riley, V. (1996). A comparative analysis of flightdecks with varying levels of automation. In: *Phase 1 Final Report: Perceived human factors problems of flight deck automation*, FAA.

Goillau, P., Woodward, V., Kelly, C. & Banks, G. (1998). Evaluation of virtual prototypes for ATC – the MACAW technique. In: M. Hanson (Ed) (1998) *Contemporary Ergonomics '98*, London: Taylor & Francis, p. 419-423.

Graham, R., Young, D., Pichancourt, I., Marsden, A. & Irkiz, I. (1994). ODID IV simulation report. *EEC Report No. 269/94*. Brétigny-sur-Orge, France: EUROCONTROL.

Hale, S. & Baker, S. (1990). The presentation of Short Term Conflict Alert: A human factors perspective. Civil Aviation Authority, *DORA Repor 9018*, June.

- Hall, R.J. (1996). Trusting your assistant. In: *Proceedings of KBSE '96*, 42-51.
- Hollnagel, E., Cacciabue, P.C. & Bagnara, S. (1994). Workshop report. The limits of automation in air traffic control; *Int. J. Human-Computer Studies*, 40, 561-566.
- Hopkin, V.D. (1975). The controller versus automation. In: AGARD AG-209. Hopkin, V.D. (1995). *Human Factors in Air Traffic Control*. Taylor & Francis Ltd.
- Hopkin, V.D. (1998). The impact of automation on air traffic control specialists. In: M.W. Smolensky & E.S. Stein, *Human Factors in Air Traffic Control*, Academic Press, 391-419.
- ICAO (1994). *Human Factors Digest No.11. Human factors in CNS/ATM systems. The development of human-centred automation and advances technology in future aviation systems*. International Civil Aviation Organization, ICAO Circular 249-AN/149. Inagaki, T. (1999). Automation may be given the final authority. Proceedings of CybErg 1999: The 2nd Int. Cyberspace Conf. on Ergonomics. Int. Ergonomics Assoc. Press, 68-74.
- Jian, J.-J., Bisantz, A.M. & Drudy, C.G. (1998). Towards an empirically determined scale of trust in computerized systems: Distinguishing concepts and types of trust. Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Chicago, 501-505.
- Jian, J.-J., Bisantz, A.M. & Drudy, C.G. (2000). Foundations for an empirically determined scale of trust in automated systems. *Int. J. of Cognitive Ergonomics*, 4(1), 53-71.
- Kelly, C.J., Goillau, P.J., Finch, W. & Varellas, M. (1995). *CAER Future System 1 (FSI) Final trial report*. Defence Research and Evaluation Agency, Report No. DRA/LS(LSC4)/CTR/RPT/CD246/1.0, November.
- Kelly, C.J. & Goillau, P.J. (1996). Cognitive Aspects of ATC: Experience of the CAER & PHARE Simulations; Paper presented at *8th European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE - 8)*, Granada, 10th - 13<sup>th</sup> September.
- Kramer, R.M. (1999). Trust in organizations: Emerging perspectives, enduring questions. *Annu. Rev. Psychology*, Vol 50, 569-598. Lee, K. & Davis, T.J. (1995). The development of the Final Approach Spacing Tool (FAST): A cooperative controller-engineer design approach; NASA Technical Memorandum 110359, August.
- Lee, J.D. & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35, 10, 1243-1270. Lee, J.D. & Moray, N.



- (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *Int. J. Human-Computer Studies*, **40**, 153-184.
- Lewandowsky, S., Mundy, M. & Tan, G. (2000). The dynamics of trust: Comparing humans to automation. *J. of Experimental Psychology: Applied*. Vol 6, 2, 104-123.
- Liu, C. & Hwang, S. (2000). Evaluating the effects of situation awareness and trust with robust design in automation. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4 (2), 125-144.
- Madsen, M. & Gregor, S. (2000). Measuring human-computer trust. In: *Proceedings of Eleventh Australasian Conference on Information Systems*, Brisbane, 6-8 December.
- Masalonis, A.J., Duley, J., Galster, S., Castano, D., Metzger, U. & Parasuraman, R. (1998). Air traffic controller trust in a conflict probe during Free Flight. Proc. of the 42nd Annual meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, 1607.
- Moffa, A.J. & Stokes, A.F. (1997). Trust in a medical system: Can we generalize between domains? In: M. Mouloua & J.M. Koonce (Eds). *Human-Automation Interaction: Research and Practice*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp 127-224.
- Moray, N. (1999). Monitoring, complacency, scepticism and eutectic behaviour. In: *Proceedings of CybErg 1999: The 2nd Int. Cyberspace Conf. on Ergonomics*. Int. Ergonomics Assoc. Press. Moray, N., Inagaki, T. & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust and selfconfidence in fault management of time-critical tasks; *J. of Experimental Psychol: Applied*, **6**, 1, 44-58.
- Moray, N., Inagaki, T. & Parasuraman, R. (2001). Attention and complacency. *Paper submitted for publication*. Moray, N., Lee, J. & Muir, B. (1995). Trust and human intervention in automated systems. In: J.M. Hoc, P. Cacciabue & E. Hollnagel (Eds). *Expertise in Technology. Cognition and Human-Computer Cooperation*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Mouloua, M. & Koonce, J. (1997). *Human-automation interaction: Research and Practice*. Lawrence Erlbaum Associates. Muir, B. (1987). Trust between humans and machines, and the design of decision aids, *Int. J. Man-Machine Studies*, **27**, 527-539.
- Muir, B. (1994). Trust in automation: Part 1. Theoretical issues in the study and human intervention in automated systems. *Ergonomics*, **37**, 1905-1923.
- Muir, B. & Moray, N. (1996). Trust in automation. Part II. Experimental studies of

trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, **39**, 3, 429-460.

Nijhuis, H. (1998). Automation Philosophies: Evaluation of Some Concepts. In: *Proceedings of the Third EUROCONTROL Human Factors Workshop: Integrating Human Factors into the Life Cycle of ATM Systems*. Luxembourg, 7-9 October 1998. HUM.ET1.ST13.000-REP- 03. Edition 1.0 Released Issue. Brussels: EUROCONTROL.

Nijhuis, H., Buck, S., Kelly, C., Goillau, P., Fassert, C., Maltier, L. & Cowell, P. (1999). WP8: Summary and consolidation of RHEA results. European Commission DGVII, Report RHEA/NL/WPR/8/04, 28th Feb. NRC (1997). *More Than Screen Deep: Toward Every-Citizen Interfaces to the Nation's Information Infrastructure*. Commission on Physical Sciences, Mathematics and Applications. National Research Council.

Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, **39**, 2, 230-253.

Parasurman, R., Molloy, R. & Singh, I.L. (1993). Performance consequences of automation-induced "complacency". *Int. J. of Aviation Psychology*, 3, 1-23.

Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, Vol30, No.3, 286-297.

Reichmuth J., Schick, F., Adam, V., Hobein, A., Link, A., Teegen, U. & Tenoort, S. (1998). PD/2 Final Report. EUROCONTROL PHARE Report PHARE/DLR/PD/2-10.2/SSR;1.2. February.

Rempel, J.K., Holmes, J.G. & Zanna, M.P. (1985). Trust in close relationships. *J. of Personality and Social Psychology*, 49, 1, 95-112. Riley, V. (1994). Human use of automation. Unpublished doctoral dissertation, University of Minnesota.

Scerbo, M.W. & Mouloua, M. (1999). Automation technology and automation performance: Current research and trends. Lawrence Erlbaum Associates. Schneider, F.B. (1999). Trust in cyberspace. National Academy Press.

Sheridan, T.B. (1988). Trustworthiness of command and control systems. *Proc. of Analysis, Design and Evaluation of man-Machine Systems 1988*, 3rd IFAC/IFIP/IEA/IFORS Conf., Finland, 14-16 June.

Shorrock, S. & Scaife, R. (2000). Evaluation of an alarm management system for an

ATC centre. In: D. Harris (Ed). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Volumes 5 and 6*. Ashgate Publishing.

Simpson, A. (1992). *HCI issues in trust and acceptability*; Defence Evaluation and Research Agency, Report No. DRA TM(CAD5) 92018, November.

Simpson, A. (1995). Seaworthy trust: Confidence in automated data fusion. In: R. Taylor & J. Reising (Eds). *The Human-Electronic Crew: Can we Trust the Team? Proc. of the 3rd Int. Workshop on Human-Computer Teamwork*. Defence Evaluation and Research Agency, Report No. CHS/HS3/TR95001/02, 77-81

Stoner, C. (1995). Controllers as air traffic managers. In: *Proceedings of Global NAVCOM'95*, Montreal, 23-25 May.

Tan, G. & Lewandowsky, S. (1996). A comparison of operator trust in humans versus machines. Proc. of CybErg 1996: The 1st Int. Cyberspace Conf. on Ergonomics. Int. Ergonomics Assoc. Press.

Taylor, R.M. (1988). Trust and awareness in human-electronic crew teamwork. In: *The Human-Electronic Crew: Can They Work Together?* Wright-Patterson AFB, OH., Report WRDC-TR-89-7008.

Taylor, R.M., Shadrake, R. & Haugh, J. (1995). Trust and adaptation failure: An experimental study of uncooperation awareness. R. Taylor & J. Reising (Eds), *The Human-Electronic Crew: Can we Trust the Team? Proc. of the 3rd Int. Workshop on Human-Computer Teamwork*. Defence Evaluation and Research Agency, Report No. CHS/HS3/TR95001/02, 93-98.

Weigner, M.B. (1997). Human-user medical device interactions in the anesthesia work environment. In: M. Mouloua & J. Koonce (Eds), *Human-Automation Interaction: Research and Practice*. Lawrence Erlbaum Associates, 241-248.

Whitaker, R. & Marsh, D. (1997) PD/1 Final Report, PHARE Report DOC 96- 70-24, PHARE/NATS/PD1-10.2/SSR, 1.1.

Wickens, C.D., Mavor, A.S. & McGee, P. (1997). *Flight to the future. Human factors in air traffic control*; Commission on Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council, National Academy Press. Wiener, E.L. (1985). Beyond the sterile cockpit. *Human Factors*, **27**, 1, 75-90.

Wiener, E.L. & Curry, R.E. (1980). Flightdeck automation: promises and problems. *Ergonomics*, **23**, (10), 995-1011.

Wise, J.A., Hopkin, V.D. & Smith, M.L. (1991). *Automation and system issues in air*

*traffic control*. Springer-Verlag.

Yeh, Y.Y. & Wickens, C.D. (1984). Why do performance and subjective workload measures dissociate? In: *Proceedings of the Human Factors Society 28th Annual Meeting*, 504-508.



# **Air Traffic Control(ATC) Related Accidents And Incidents:**

## **A Human Factor Analysis**

Anthony M. Pape and Douglas A. Wiegmann, Scott Shappell

International Symposium on Aviation Psychology, 2001

### **[英文摘要]**

To date, the nature and role of ATC personnel in aviation accidents and incidents has yet to be fully examined. To remedy this situation, a comprehensive review of ATC-related accidents and incidents that occurred between January 1985 and December 1997 was conducted using records maintained by the NTSB. Results of the analysis revealed that ATC-related accidents and incidents are infrequent events. However, when these events do occur they are likely to involve local controllers interacting with multiple aircraft in the air during daylight VFR conditions. An in depth analysis of the narrative reports using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) revealed that skill-based errors (attention failures and memory lapses) were the most common type of error committed by ATC personnel. Supervisory and organizational factors such as controller training, procedures, and oversight were cited in only a small fraction of the incident and accident reports. However, current accident and incident reporting systems were not designed with ATC errors in mind, making the analysis of latent factors, such as supervisory and organizational issues, extremely difficult. What is needed is a new error-analysis framework that will facilitate the gathering of information during ATC related accident and incident investigations.

### **[中文摘要]**

為深入瞭解飛航管制人為因素之特性，本研究蒐集1985年至1997年之NTSB飛航管制相關失事、意外事件報告，並應用Human Factors Analysis and Classification System(HFACS)之分類系統進行分析；研究結果發現，大多數之事件被分為技術類型之錯誤，管理、組織層面所佔比例極低，然而目前之報告系統並非針對飛航管制人為因素相關特性所設計，造成無法突顯管理組織層面之因素，因此本研究認應建立新的分析架構進行事故與重大意外之調查。

## [內容]

### 1. 研究背景

人為誤失被認為是航空失事或重大意外的主要因素，至今相關失事調查與人為因素調查主要針對飛行組員之特性，近年越來越多的研究將注意力移轉至飛航管制人為因素。

過去飛行員必須倚靠駕駛艙內簡單的儀表與地貌作為飛行之依據，近年飛航管制技術之發展讓航機得以在低能見度等狀況下飛行，管制員之職責即在於提供相關資訊以維持航機之安全隔離，避免航機與其他航機或地形發生衝撞。然而隨著航空運輸之發展，飛航管制相關失事、意外事件、跑道入侵等逐漸增加，而大部分意外的發生並非由於硬體因素，而是由人為誤失所造成。

過去僅有少數研究針對相關影響因素進行探討，包含飛航之類別(普通航空、民用航空)、時間(白天、夜晚)、天氣(目視天氣狀況、儀器天氣狀況)等，飛航管制特性與飛航操作不同之處在於飛航管制組織與職責繁複，相關人員層面甚廣，包含地面管制、區域管制、進離場管制、航路管制等，現有之研究尚未針對各階層管制人員對失事、意外及其對管制工作成效之影響。

欲避免人為誤失及改善飛航安全的第一步為瞭解操作誤失之類別與特性，但大部分之報告系統並非針對人為因素之分析而設計，造成進行人為誤失分析分類的困難；Shappell、Wiegmann 於 2000 年根據 Reason's 模式提出人為因素分析與分類系統(Human Factors Analysis and Classification System, HFACS)，該系統將人為因素分為不安全行為(Unsafe Acts)、造成不安全行為之因素(Preconditions of Unsafe Acts)、管理層面之失效(Supervisory Failures)、組織面影響(Organizational Influence)。

本研究利用 HFACS 概念分析管制員操作誤失的類型與趨勢，並且進一步分析飛航管制相關失事、意外事件發生當時之狀態，瞭解其特性與不同管制人員發生誤失之頻率。

### 2. 研究母體與方法

作者蒐集 1985 年至 1997 年 NTSB 之調查報告，本研究主題為飛航管制之人為因素分析，所蒐集之報告必須至少部分與飛航管制作業相關，維修、不可避免之天氣因素、重大災難等報告不納入本研究；本研究使用之調查報告必須為已結案之狀態，事故因素必須在報告中清楚描述。本研究最後納入 110 件失事報告，以及 69 件意外事故報告。

### 3. 研究結果

本研究針對航機操作之類型、航機位置、事件內容、天氣狀況、時間、管制人員、誤失分類等七個方向進行。

179件ATC相關報告中，61%屬於FAR 91之飛行作業，33%屬於FAR 121，22%

屬於FAR 135。其中FAR 91相關報告中，81%為失事，29%為意外事故；FAR 121當中，65%為失事，13%為意外事故。

在航機位置相關統計上，65%的航機是在空中，僅有6%的航機在地面發生意外。航機在地面之報告中，48%為失事，7.2%為意外事故；航機在空中之報告中，46.4%為失事，8.7%為意外事故；而航機在即將落地階段之報告中，5.5%為失事，5.8%為意外事故。

意外類型統計上，61%為兩航機間之衝突，38%則為航機與其他物體之衝突；航機與其他物體衝突事件當中，54%為失事，13%為意外事故。

天氣狀況相關統計方面，71%的航機當時處於目視天氣狀況(Visual Meteorological Condition, VMC)，29%則處於儀器天氣狀況(Instrument Meteorological Condition, IMC)；在儀器天氣狀況下之報告中，36%屬於失事，17%屬於意外事故。

事件發生時間統計方面，65%發生於白天，35%發生於其他時間(夜晚、清晨、黃昏等)；其他時間報告當中，42%屬於失事，25%屬於意外事件。

所有報告當中，41%與地面管制員相關，36%與進場離場管制員相關，17%與航路管制中心管制員相關，7%與FAA人員相關。地面管制員相關之報告當中，14%屬於失事，1.4%屬於意外事故；航路管制中心相關報告當中，12%屬於失事，25%屬於意外事故。

依據 HFACS 將本研究納入調查報告加以分類；Unsafe Acts 分類當中，技術不足因素佔 82%，違規佔 33%，決策錯誤佔 2.2%；Precondition of Unsafe Acts 當中，僅有 CRM 較高，佔 17%；Unsafe Supervising 當中，不正確的管理因素佔 14%；Organizational Influences 當中，操作程序因素佔 8%。

#### 4. 結論

飛航管制相關事件發生機率雖低，但本研究仍發現相關意外多數發生於白天與目視天氣狀況，並且在當地管制員的管制下與其他航機在空中發生接近，此一結論顯示飛航管制意外並非受到視覺上之限制所影響，而根據本研究之歸納認為飛航操作誤失主要為管制員技術類因素。

飛航管制相關失事多數肇因於普通航空業在夜間與儀器天氣狀況下，受到地面管制員技術層面錯誤之影響，造成航機與其他設備、地形隔離不足；於FAR Part 121類型航機之飛航管制相關失事中，航機多處於在白天與目視飛行規則下，由於航路管制中心管制員違反規定或正常程序造成空中接近之意外。失事與意外事故並非僅結果不同，意外事故通常是發生於有較大容錯空間之環境，例如高度較高、FAR Part 121飛行有兩名較資深之駕駛等因素，同時在目視情況下，航機較容易偵測空中接近之風險並做出妥善之決策。

由本研究也可發現，相關統計中較少與管理與組織層面相關之因素，本研究認為HFACS組織與管理層面相關因素發生次數較低，但該因素也可能對飛航管制造成影響，但現有失事調查程序無法明確瞭解組織與管理層面因素之影響。因



此，本研究認為應建立一更完整之調查系統，藉以深入瞭解組織與管理層面對飛航管制相關意外之影響。

## [文獻評析]

### 本文獻的缺點

本研究之資料來自於 NTSB 之失事與意外事件報告，作者透過簡單的統計進行分析比較做出結論；然而本文僅針對航機操作外在環境之特性進行分析，並未針對組員互動、管理階層、公司運作等其他狀態進行探討，未來應可建立完整之失事與意外事件資料庫，取得其他相關訊息以深入分析。

### 本文獻的優點

本研究應用 HFACS 概念針對人為操作誤失進行分析，希望能夠瞭解人為誤失發生之特性，研究結果顯示在過去的統計資料當中，特殊的狀態下，例如普通航空業、夜間、儀器天氣狀況等，其風險程度遠較其他狀態高，此一結論除了顯示資料之趨勢外，作者並試圖探討該趨勢所代表之意義，瞭解問題真正之肇因，研究結果則可作為有關單位加強飛航安全之依據。

多數文獻認為 HFACS 雖以提供一明確之人為因素分類根據，然而該系統注意力集中於操作層面之誤失，管理與組織層面相關之因素較少著墨，作者在本文最後提出此一質疑，後續研究應針對管理與組織層面因素進行分析，並且將該因素納入誤失報告與分析當中。

## [相關文獻]

Federal Aviation Administration (2000). *National summit on runway safety*, Washington DC.

Hopkin, D. (1995). *Human factors in air traffic control*. Taylor and Francis, Bristol, PA.

National Transportation Safety Board. Aviation accident statistics (2001. [On-line]. Available: [www.nts.gov/aviation/Stats.htm](http://www.nts.gov/aviation/Stats.htm).

Pounds, J., Scarborough, A., & Shappell, S. (2000). A human factors analysis of Air Traffic Control operational errors. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71, 329.

Reason, J. (1990). *Human error*. New York: Cambridge University Press.

Shappell, S., & Wiegmann, D. (1996). U. S. Naval Aviation mishaps 1977-92: Differences between single- and dual-piloted aircraft. *Aviation, Space and*

*Environmental Medicine*, 66, 65-9.

Shappell, S.A., & Wiegmann, D.A. (2000). *The human factors analysis and classification system (HFACS)* (Report Number DOT/FAA/AM-00/7). Federal Aviation Administration, Washington DC

Wiegmann, D.A., & Shappell, S.A. (1997). Human factors analysis of post-accident data: Applying theoretical taxonomies of human error. *International Journal of Aviation Psychology*, 7, 67-81.

Wiegmann, D.A. & Shappell, S.A. (in press). Human error analysis of commercial aviation accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). *Aviation, Space, and Environmental Medicine*.



# **Retrospective Human Factors Analysis of ATC Operational Errors**

A. Scarborough, M.P.H. & J.Pounds, Ph.D.

International Symposium on Aviation Psychology, 2001

## **[英文摘要]**

Identifying those human factors issues that contribute to the loss of the separation between aircraft will become increasingly important as the complexity of the national airspace system (NAS) increases. Modifications to the NAS to support increases in air traffic will also depend on supporting the performance of the controller who is responsible for maintaining the separation standards. An air traffic controller's ability to maintain high levels of performance is becoming increasingly interdependent with advanced interfaces and computerized support technology. Therefore, appropriate methods are needed for the investigation and identification of human factors related to maintaining separation standards. This paper reports on the results from retrospective analysis of separation violations reported as air traffic operational errors (OEs). Analysis was conducted using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS; Shappell & Wiegmann, 2001), which was modified for investigation of air traffic incidents (HFACSATC). Results showed that most causal factors were classified as failures at the individual level while few could be classified at the levels, of supervision or organization. This distribution was, in part, attributed to the type of data available for the analysis.

## **[中文摘要]**

管制員操作誤失造成航機隔離不足對飛航安全影響極大，隨著航空交通量的成長，人為發生錯誤的機會也隨之增加，National Airspace System不斷改進發展希望能夠透過自動化的輔助系統幫助管制員做出正確判斷。然而本系統需要一機制發現並調查人為因素造成的航機失去應有間隔之事件，本研究以Shappell與Wiegmann於2001年發表之Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)系統為基礎，針對飛航管制環境加以修改為HFACS-ATC，用以分析過去空中交通管制操作誤失，研究結果發現管制員人為因素造成的誤失主要發生在Individual Level。

## [內容]

### 1. 研究背景

隨著航空運量之成長，若沒有正確的策略進行飛航安全之改善，則操作誤失的發生也會隨著運量增加而成長。為降低操作誤失發生之機率，必須對人為因素對操作誤失的影響有進一步之瞭解。

根據美國 FAA Order 7210.56A 之定義，飛航管制操作誤失包含航機與航機、地形之間水平或垂直隔離低於要求之距離，或是起降於附近有其他航機作業之跑道。當航機違反最小隔離之規定時，該事件會被記錄，由地方主管機關進行調查，最後報告則是會送交 FAA 飛航服務調查與評量辦公室(Air Traffic Service Office of Investigation and Evaluation)進行調查。

目前關於操作誤失之研究已逐漸聚焦於管制員情境察覺、工作量、疲勞、空域複雜度等議題上，本研究則是希望透過 HFACS 進行管制員操作誤失之分類，並且了解操作誤失之發生成因。

HFACS 被應用於飛行組員人為因素之分類，該分類系統提供使用者友善之介面進行意外事故之分析，並且幫助管理者發展以資料為導向之改進策略。本分類系統將 17 項人為因素分為四大類型，包含 Organization influence、Unsafe supervision、Precondition for unsafe acts、Unsafe acts。

由於 HFACS 設計之初為針對飛航操作特性的分類系統，本研究依據飛航管制相關特性加以修改，詳細項目架構如圖 2；

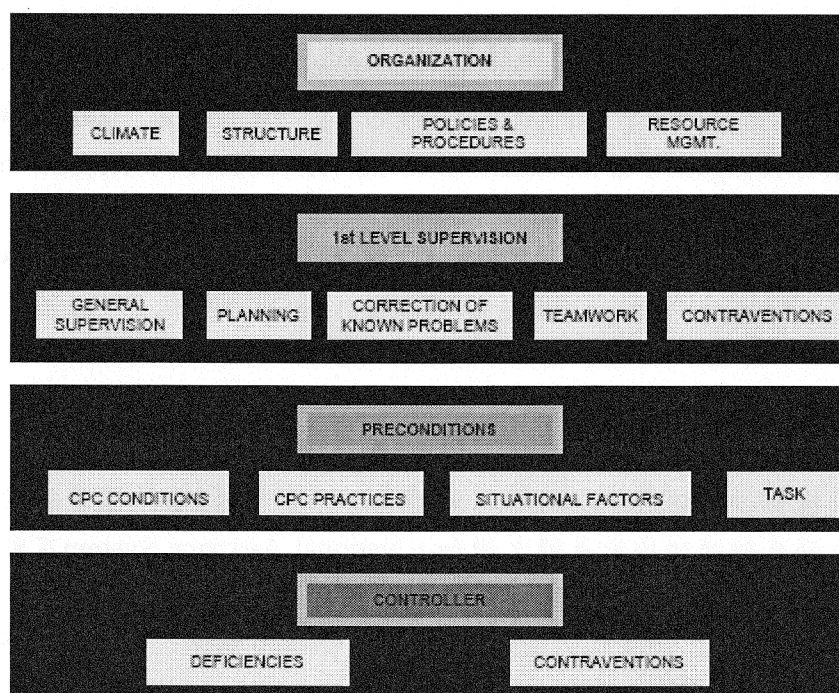


Figure 2. The adapted version of Human Factors Analysis and Classification System for Air Traffic Control.

上述四分類當中，前兩項分類(Organization、1<sup>st</sup> Level Supervision)屬於組織與管理層面之因素，後兩項分類(Precondition、Controller)則著重於個人能力與表現上，各分類下屬之人為因素項目也必須修改，以符合飛航管制作業特性。分析過程當中，每一操作誤失紀錄不是以事件為分類單位，而是將該事件中每一項可能造成誤失的動作為單位，此一觀念可以幫助後續分析人員瞭解操作誤失發生過程的「錯誤鏈」現象。

## 2. 研究母體

操作誤失報告可分為 Primary、Contributory 兩等級，本研究僅納入 1992 年起 4108 件 Primary 等級之報告，其中包含 5741 項人為因素，經過飛航管制 Subject Matter Experts (SMEs)的分析，最後研究納入其中 5568 項人為因素，其餘人為因素記錄資料缺誤而加以排除。

FAA 操作誤失調查報告可以分為三部份，包含事件的時間、摘要以及詳細事件說明，本研究所分析之調查報告皆來自於 FAA 資料庫，該資料庫記載了 1992 年至今的調查報告。

## 3. 研究方法

相較於失事、意外事件調查報告，操作誤失報告沒有明確指出誤失之肇因，必須要由SME進行分析瞭解，並且以HFACS加以分類。本研究由六位擁有管制作業20~30年經驗，並且來自不同飛航管制單位，以及擔任不同職務SME負責操作誤失之分析。

參與研究之SME首先必須先接受一小時的HFACS訓練，接著接受HFACS-ATC之課程，並且在訓練課程中應用HFACS-ATC進行人為誤失之分類。在練習階段，SME分組進行20項人為誤失事件之分類，接著每個人必須完成兩組各50項人為誤失事件之分類以測試分類之一致性(訓練課程的成效以kappa值進行衡量)，kappa值高於0.75以上被視為極佳(excellent)，低於0.4則被視為不良(poor)；課程最後的評量當中，在第一層(time level)的類別當中，kappa值為0.81與0.66，於第二層(category level)的類別當中，kappa值為0.54與0.49。若有難以分類之情形發生時，六位參與者會進行討論，並將結果回饋至該分類系統。

## 4. 研究結果

研究結果發現操作誤失的分類以管制員本身疏失居多，於 5568 件樣本當中，共有 4952 項被分類為管制員本身之因素(如圖 3)，而其中又以管制員技術因素為主(如圖 4)。

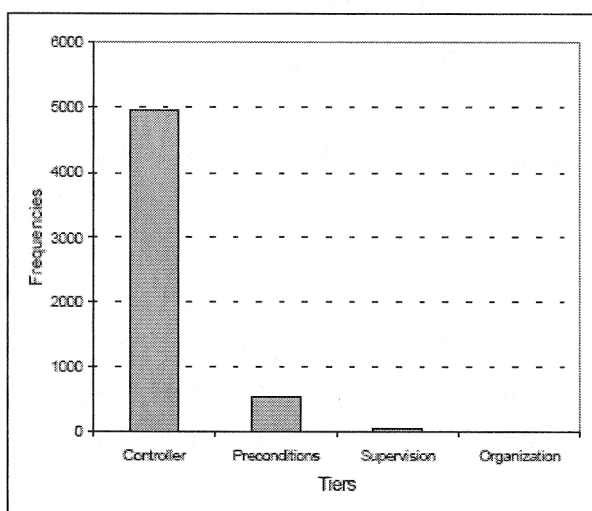


Figure 3. Distribution of failure points at the tier level.

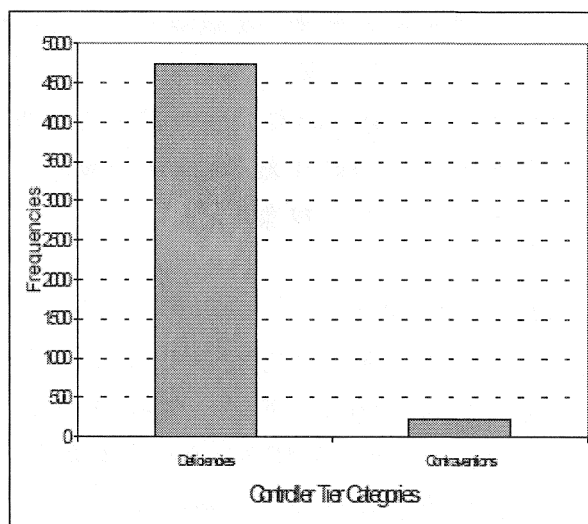


Figure 4. Frequency of failure points identified for the Controller tier.

從結果可以發現現行的誤失報告制度主要還是偏向個人錯誤的角度，相較之下，對於管理階層、組織則較少著墨。而過去誤失報告僅能瞭解造成誤失的因素，本研究認為應針對該報告更深入瞭解可以加強的部份，以及透過資料比對，了解該錯誤發生時的外在環境狀況，了解設備、天氣等其他因素對於人為誤失發生的影響。

人為誤失的發生常會有「錯誤鏈」之現象，在發展過程當中有非常多的機會可以避免誤失的發生；為更了解操作誤失對飛航管制之影響，未來應改善誤失報告之格式與分類準則，評估人為因素報告模式應用之可行性，深入探討人為因素特性。

## [文獻評析]

### 本文獻的缺點

本研究仍是以 HFACS 最為最基本的分類架構，並未針對分類架構缺失作出更具體之說明或建議，同時也僅針對操作誤失報告進行簡單的敘述統計，後續研究應可深入探討操作誤失之影響因素。

### 本文獻的優點

本研究納入 1992 年起之操作誤失報告，涵蓋之範圍非常廣，同時作者對於操作誤失特性有深入的分析探討。

與過去類似研究不同之處在於作者將原有之 HFACS 稍作修改；HFACS 設計之初目的在於分析飛航操作之人為誤失，其環境設定是以飛航管制之特性為基礎，作者則是針對飛航管制環境之特性提出 HFACS-ATC 之架構，文中對於此一新概念作了初步的介紹，該分類系統較傳統 HFACS 更適於飛航管制操作誤失領

域；作者並且利用 kappa 值的檢定分析瞭解 SMEs 相關訓練課程之成效。

現行 ATC 操作誤失事件之資料紀錄顯示，現行之報告系統仍著重於人為錯誤為主，作者認為應加強組織與管理方面因素之分析，此一建議可做為後續相關研究之參考。

## [相關文獻]

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46.

Fleiss, J. L. (1981). *Statistical methods for rates and proportions*. New York: Wiley.

Kinney, G. C., Spahn, M. J., & Amato, R. A. (1977). *The human element in air traffic control: Observations and analyses of the performance of controllers and supervisors in providing ATC separation services*. McLean, VA: METREK Division of the MITRE Corp., MTR-7655.

Shappell, S.A., and Weigmann, D.A: (2000). *The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS*. Washington D.C. Federal Aviation Administration Report No. DOT/FAA/AM-00/7.

Shappell, S.A., and Weigmann, D.A: (2001). *Beyond Reason: Defining the holes in the Swiss cheese*. *Human Factors in Aviation Safety*, 1(1), 59- 86.





# **Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA)**

A. Isaac, S. T. Shorrock, R. Kennedy, B. Kirwan, H. Andersen  
and T. Bove

EUROCONTROL Document HRS/HSP-002-REP-01, April  
2002

## **[英文摘要]**

This report is the first of a series of three which, within Phase 1 of the Human Error in ATM (HERA) Project, deals with how human errors in Air Traffic Management (ATM) can be analysed to improve safety and efficiency in European ATM operations. The purpose of this work is to increase the effectiveness of error recording, analysis and prevention. This first report reviews the theoretical and practical techniques from other industries, from general psychology, and from the few ATM-oriented approaches that have been developed so far. This review culminates in a conceptual framework, which will be the basis for a detailed methodology for analysing and learning from error-related incidents in ATM. A shorter management summary of this report is also available (EATMP, 2002a).

## **[中文摘要]**

本文獻是 EUROCONTROL 進行降低 ATM 人為誤失(HERA, Human Error Reduction in ATM)計畫的第一階段第一期報告。

本研究採用文獻回顧法，探討從 1948 到 1999 年歐美各國有關人類績效和誤失的模式和分類法，包含任務分類法(Task-based Taxonomies)、溝通系統模式和分類法(Communication System Models and Taxonomies)、資訊處理模式和分類法(Information Processing Models and Taxonomies)、符號處理模式和分類法(Symbolic Processing Models and Taxonomies)、認知模擬(Cognitive Simulations)，讓研究人員對人員績效機制(human performance mechanism)和人為誤失有清楚而完整的了解，以便在 ATM 人為誤失的記錄、分析和預防上提升效率。結論指出資訊處理是最適合用於 ATM 誤失分類的模式，但符號處理模式和分類法的

SRK、SHERPA、GEMS、CREAM 也有可取之處。

## [內容]

本研究之目的在於增進對人員表現機制和人為誤失的知識和瞭解。HERA的第一階段是發展分析ATM人為誤失的方法，第二階段尚未完全定義，但將鼓勵歐洲國家實施此方法。

本研究之重點在於觀念性架構和ATM人為誤失模式的發展。這將由整合現有不同的模式和方法以及像是管制員所需行為和職能等ATM任務的知識來達成。

本研究回顧了數十年來各種分類法的理論和方法，由於篇幅有限，僅條列理論名稱、相關學者、年代以及對 HERA 計畫的啟示如下：

方法及相關學者	年代
一、任務分類法(Task-based Taxonomies)	
1.1 誤失型式(Error Modes)	1982
1.2 系統導向分類法(System-oriented Taxonomy, Spurgin et al)	1987
上述這些方法對 HERA 的啟示：	
(1) 「外在誤失型式」(EEM)必須納入 HERA 之中，以便呈現誤失的表現形式，像是「發生了什麼事」。	
(2) EEM 應以層級的結構來呈現。	
(3) 只有 EEM 是不能滿足 ATM 誤失分析的需求。	
(4) HERA 應考慮情況因素，以描述發生誤失時管制員所做的任務。	
(5) HERA 應能夠描述引起事故的誤失、挽救行動、合成/惡化的誤失。	
二、溝通系統模式和分類法(Communication System Models and Taxonomies)	
2.1 Lasswell 方程式(Lasswell Formula, Lasswell)	1948
2.2 溝通之線性模式(Linear Model of Communication, Shannon & Weaver)	1949
2.3 溝通之循環模式(Circular Model of Communication, Osgood & Schramm)	1954
2.4 溝通之螺旋模式(Helical Model of Communication, Dance)	1967
2.5 溝通之來源、訊息、管道和接收者模式 SMRC(Source, Message, Channel, Receiver Model of Communication, Berlo)	1960
2.6 ASB 之溝通模式(Andersch, Staats and Bostrom's Model of Communication, Andersch, Staats and Bostrom)	1969
2.7 駕駛員-管制員溝通迴路—文化、語言和技術因素(Pilot-Air Traffic Controller Communication Loop – Cultural, Linguistic and Technical Factors)	

方法及相關學者	年代
2.8 組織內之溝通(Communication within the Organisation)	
2.9 跨文化之溝通(Communication across Cultures)	
<p>上述這些方法對 HERA 的啟示：</p> <p>(1) HERA 必須呈現在溝通過程中的誤失。</p> <p>(2) 應呈現溝通媒介對誤失的影響，包含影響溝通的雜訊。</p> <p>(3) 應考慮個人的意圖和先驗知識。</p> <p>(4) 必須考慮誤失的內容，包含社會學的、文化的和組織的觀點。</p>	
三、資訊處理模式和分類法(Information Processing Models and Taxonomies)	
3.1 早期的資訊處理分類法(Early Information Processing Taxonomies)	1962
3.2 威氏資訊處理模式(Wickens' Model of Information Processing, Wickens)	1992
3.3 MF 人類資訊處理模式(McCoy and Funk Model of Human Information Processing, McCoy & Funk)	1991
3.4 使用資訊處理觀念的其他研究	
<p>上述這些方法對 HERA 的啟示：</p> <p>(1) 資訊處理允許經由人員表現的各個階段和層面對誤失進行「追蹤」。</p> <p>(2) 資訊處理應被考慮做為一個有用的分類系統，以便有條理地在資訊處理的各個階段中歸類誤失型態。</p> <p>(3) 威氏模式為建構誤失分類法提供了一個很好的「平台」。</p> <p>(4) 威氏模式允許針對感官和感知、工作記憶、長期記憶、決定和回應選擇、回應執行的誤失進行分類。</p> <p>(5) 威氏資訊處理階段的其他子模式可用來衍生出誤失型態(例如感知的模式、工作記憶和決策)。</p> <p>(6) 可用威氏模式來表達注意力資源所扮演的角色及其對誤失的效果。</p> <p>(7) 長期記憶中的特徵，像是「世界模式」(world model)的觀念、「自我」(self)、任務、事實、程序和感知參數的記憶，都應納入 HERA。</p>	
四、符號處理模式和分類法(Symbolic Processing Models and Taxonomies)	
4.1 SRK 以技能、規則和知識為基礎之行為(Skill-, Rule- and Knowledge-based Behaviour, Rasmussen)	1981
4.2 台階-階梯模式(Step-ladder Model, Rasmussen)	1986
4.3 拉氏多面向分類法(Rasmussen's Multifaceted Taxonomy, Rasmussen)	1982
4.4 摩菲圖解(Murphy Diagrams, Pew et al.)	1982
4.5 控制系統之操作(Operations in Control Systems, Rouse & Rouse)	1983
4.6 SHERPA 系統化之人為誤失降低和預測方法(Systemic Human Error Reduction and Prediction Approach, Embrey)	1986

方法及相關學者	年代
4.7 疏忽、小錯、失誤和違規(Slips, Lapses, Mistakes and Violations, Reason)	1990
4.8 心手不一('Actions not as Planned', Reason)	1979
4.9 GEMS 一般性的誤失模式系統(Generic Error-modelling System, Reason)	1990
4.10 行動疏忽之分類(Categorisation of Action Slips, Norman)	1981
4.11 人類行動之七階段模式(Seven-stage Model of Human Action, Norman)	1986
4.12 CREAM 感知可靠度誤失分析方法(The Cognitive Reliability Error Analysis Method, Hollnagel)	1993
4.13 情況控制模式(COCOM, The Contextual Control Model, Hollnagel)	1993
<p>上述這些分類法對 HERA 的啟示：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) HERA 必須掌握所有以技能為基礎、以規則為基礎、以知識為基礎的誤失機制。</li> <li>(2) HERA 應考慮 Rasmussen 的全部子系統。</li> <li>(3) 應考慮使用決策流程圖以助於建構技術。</li> <li>(4) 任務表現的階段，像是「假設的選擇」和「假設檢定」不能明顯地專用於 ATM，因為 ATM 的多變本質和歐洲國家的差異。</li> <li>(5) 假設檢定的觀念不能好好地用在 ATM。</li> <li>(6) 在不同任務表現觀點的「外在誤失型式」(EEM)型態誤失分類，應被 HERA 考慮。</li> <li>(7) 連串活動可用資訊處理的術語來描述以進行更適合 ATM 的分類。</li> <li>(8) 「程序」在 ATM 中是指寫成文字的程序，而非一連串的行為。</li> <li>(9) HERA 應表達任務觀點的差異(例如 EEM)。</li> <li>(10)HERA 應表達會導致誤失的不同的心理學狀態和機制(例如心理學誤失機制 PEM)。</li> <li>(11)應採用決策流程圖以助於建構 HERA 技術。</li> <li>(12)避免鬼話連篇。</li> <li>(13)HERA 應可歸類疏忽、小錯、失誤和違規。</li> <li>(14)行動的疏忽和記憶的小錯會在 ATC 環境發生，而應納入 HERA 之內。</li> <li>(15)Reason 的誤失型態應被納入 HERA 之內。</li> <li>(16)HERA 應掌握 GEMS 中相關的誤失型態。</li> <li>(17)行動的疏忽應納入 HEAR 中。</li> <li>(18)圖式理論不適合用於 ATM 誤失的分類。</li> <li>(19)表現成形因子 PSFs 必須在失事分析時扮演重大角色。</li> <li>(20)在 PSFs 之間的交互作用應以 CREAM 來理想地建立。</li> </ol>	

方法及相關學者	年代
(21)在發展 HERA 時，CREAM 的 PSFs 和相互關係應被考慮成有潛力的起始點。	
五、其他模式和分類法	
5.1 情境知覺誤失分類法(Situation Awareness Error Taxonomy, Jones & Endsley)	1996
5.2 控制系統模式(Control System Models)	
5.2.1 最佳控制模式(OCM, Optimal Control Model, Baron & Levinson)	1980
5.2.2 程序導向之組員模式(PROCRU, Procedure-oriented Crew Model, Baron)	1984
5.2.3 人類控制行為之感知模式 The Perceptually-centred Model of Human Control Behaviour (McRuer et al.)	1980
5.3 訊號偵測理論(Signal Detection Theory)	
5.4 做錯的誤失之方法(Errors of Commission Approaches)	
5.4.1 潛在之人為誤失肇因分析(PHECA, Potential Human Error Cause Analysis, Whalley)	1988
5.4.2 複雜性技術之附屬物審查和評估程序(PREDICT, Procedure to Review and Evaluate Dependency In Complex Technologies, Williams & Munley)	1992
5.4.3 做錯的誤失之分析(EOCA, Error of Commission Analysis, Kirwan; Kirwan, Scannali & Robinson)	1994; 1995; 1996
5.4.4 人為誤失分析之技術(ATHEANA, A Technique for Human Error Analysis, Cooper et al.)	1996
5.5 違規(Violation, Mason)	1997
<p>此種分類法對 HERA 的啟示：</p> <p>(1) HERA 必須清楚地表達感知、警覺和工作記憶的誤失。</p> <p>(2) 需要結構化的技術來更直截了當地進行分類。</p> <p>(3) HERA 必須掌握情境知覺 SA 觀念。</p>	
六、認知模擬(Cognitive Simulations, Cacciabue & Hollnagel)	1995
6.1 認知環境模擬(Cognitive Environment Simulation, Woods et al.)	1990
6.2 認知模擬模式(Cognitive Simulations Model, Cacciabue et al.)	1992
6.3 組員模擬(CREWSIM, Crew Simulation, Dang et al.)	1993
6.4 誤失操作者任務分析工具之認知行動模式化(Cognitive Action-Modelling of Erring Operator Task Analysis Tool, Fujita et al.)	1994
6.5 操作小組之行為系統(SYBORG, System of the Behaviour of the Operating Group, Takano, Sasou & Yoshimura)	1996
6.6 MoFL (Model der Fluglotsenleistungen, Neissen et al.; Neissen & Eyferth)	1997; 1999

方法及相關學者	年代
6.7 人機整合設計和分析系統(MIDAS, Man-machine Integration Design and Analysis System, Corker & Smith; Pisanich et al., Corker)	1993; 1997; 1998
<p>此種分類法對 HERA 的啟示：</p> <p>儘管認知模擬不能用來發展 ATM 誤失的分類法，它們嘗試將內在心智功能和誤失機制加以模式化可以為 ATM 誤失的模式化提供支援。認知模擬代表解釋性(explanative)模式和工作分類法的中途點，且在某些情況對一者如何連結到另一者提供有用的見解。所以第二期所發展的 HERA 模式和分類法應從這些模擬當中取用一些資訊，以有用的認知架構(例如聽覺默述迴圈 audio rehearsal loop、聚焦和逾焦的記憶(focal and extra-focal memory)等等)來構成模式，或以誤失機制(例如緊張影響聚焦記憶功能的範圍和機動性)來形成分類法。</p>	
七、其他領域之方法	
7.1 當代失事理論(Contemporary Accident Theory, Reason)	1998
7.2 人員表現評估系統(HPES, The Human Performance Evaluation System)	80 年代
7.3 評估反應爐可靠度資料庫之核子電腦化圖書館(NUCLARR, The Nuclear Computerised Library for Assessing Reactor Reliability Database, Gertman et al.)	1988
7.4 電腦化操作者可靠度和誤失資料庫(CORE-DATA, The Computerised Operator Reliability and Error Database, Taylor-Adams; Taylor-Adams & Kirwan)	1995
7.5 分析和評估操作資料研究室(AEOD, The Office for the Analysis and Evaluation of Operational Data Study, US Nuclear Regulatory Commission)	1994
7.6 海事操作之人為誤失模式化(Human Error-modelling in Maritime Operations)	1998
7.7 飛航操作之人為誤失模式化(Human Error-modelling in Flight Operations)	
<p>上述這些分類法對 HERA 的啟示：</p> <p>(1) 事故分析方法需要表現成形因子 PSFs 的至少兩種層面——特定的 PSFs 可掌握事故有關於 ATM 運作的細節、更一般或更基本的 PSFs 可紮根於操作表現——並共同指出系統的「健康」。</p> <p>(2) 一組基本的 PSFs 應被探究於全部的事故，不論這種 PSFs 在開始是否有關連。</p> <p>(3) 像是 HPES 的系統，即使有限制，也是有用和耐久的，有助於安全相關產業的誤失分類法和降低誤失。在第二期，可能值得調查在 HPES 等類系統實施過程中所獲得的經驗。</p> <p>(4) 當代的分類系統 CORE-DATA 顯示有潛力的分類法結構，可用於 ATM 方面。</p> <p>(5) 經由 AEOD 等類核電廠的經驗，為 ATM 團體帶來日後資料如何建設性地、</p>	

方法及相關學者	年代
前攝地使用的展望。	
(6) 在海事環境所用的方法可以應用在本計畫。	
(7) 駕駛艙的工作，特別是心智模式的建立和誤失對決策的貢獻，應納入本計畫。	
(8) 由實際失事分析所發現誤失而發展的模式將有益於本計畫的第二期。	

由於本研究的重點是在 ATM，故有關 ATM 誤失理論的部份，特別詳細說明，方便讀者理解。

## 八、ATM 績效誤失模式

### 8.1 金字塔模式(Pyramid Model, Isaac, 1995)

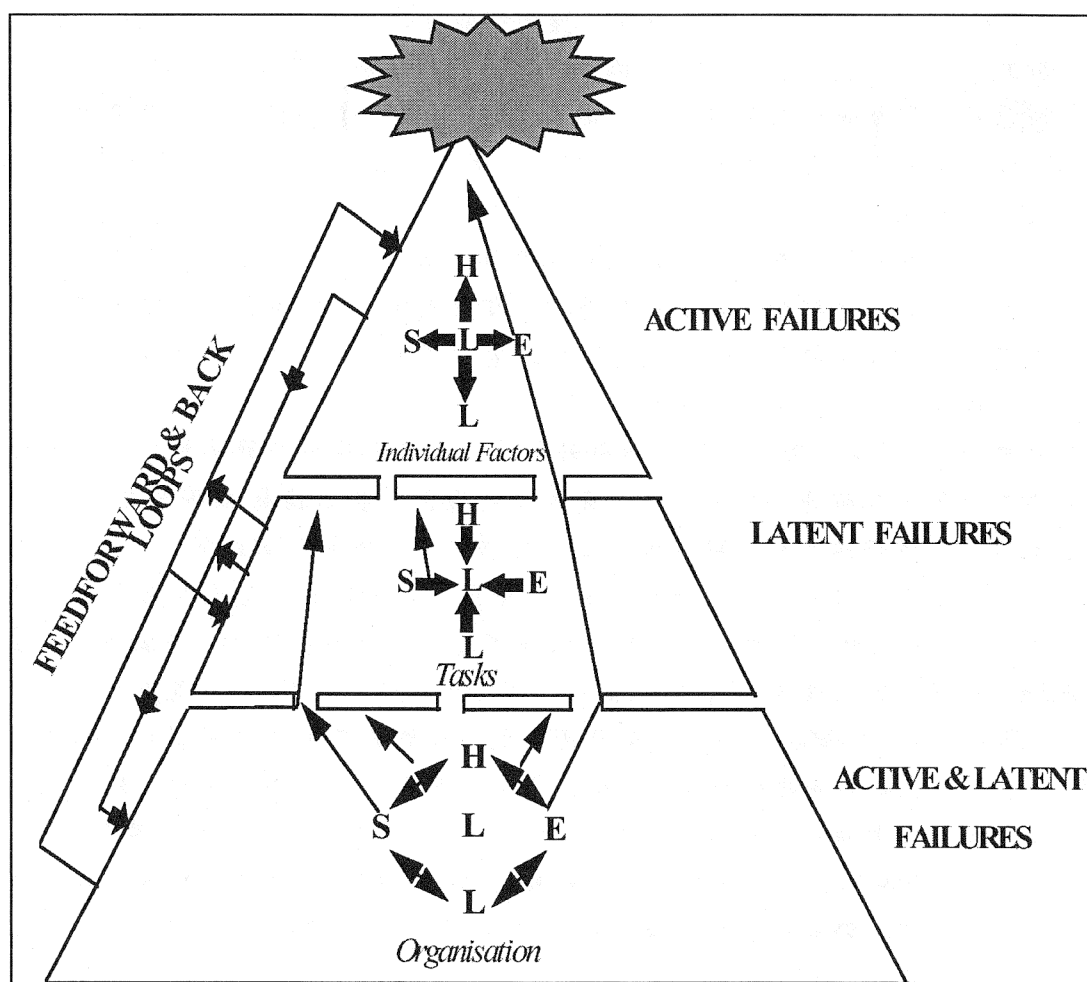


Figure 26: Pyramid Model of error in ATM incident investigation (Isaac, 1995).

金字塔模式因其形狀而命名。模式表達了複雜系統中許多誤失型態對事故發展的貢獻。它也藉由加入每層面之間的漏洞或縫隙來表達誤失在每一層面連通的機會。每個層面對事故的影響力以其尺寸來表達。在頂點，個人處於不幸的位置而犯下最後的誤失。

如同 Reason 所述，機會通道不是直線。各層之間漏洞的排列代表只有一條直接路徑，就像金字塔，這些通道不會經常是排成直線的。模式也指出每一層面都有前饋和回饋的迴路，而迴路的強度影響了金字塔內失效機會的數目。回饋迴



路越強，機會越少。

每一層都有 SHELL 圖示，這是模式中交互作用複雜性的關鍵。應注意到個人出現在每一層面 SHELL 圖示的中央，而在最頂層有最大的影響力。此模式的三個層面指出任何控制系統變數涉入的程度；個人、任務和組織。典型地，在所有層面上，有複雜的交互作用環繞著個人，雖然經常有回饋迴路在兩層之間，在每一層面都有某些明顯的限制。

在與個人因素有關的層面上，與其他 SHELL 變數之間的交互作用經常受限於個人對其他變數的行動。ATC 系統有賴操作人員以有效和安全的方式來處理空中交通。

就 ATM 環境的調查結果而論，發現下列誤失：不適當的交通處理或毫無計畫、無法維持 SA 或交通情景、依賴「預期的航空器性能」、不合適的彈性使用或改變程序、對主要任務不專心、協調失效、飛行資料處理誤失。

模式的中間層面代表任務的組成要素。操作者有某些任務是他們所熟悉、有技能和受過訓練的。然而在此層面，SHELL 系統的成份經常衝擊操作者使其很少或沒有機會來修改任務。

某些與任務相關的誤失可能與人員本身相連結，而其他則直接與組織有關。然而系統中人員和技術的失效並非罕見的。在組織內，可能有數個有關管理決定的議題將建立天生的缺陷。這些決定經常與資訊或資源的缺乏、時間壓力、高層決定或組織改造所帶來的決定有關。

在調查 ATM 系統時，發現下列任務因素：關注戰術而非戰略控管、過度使用預期的事物、工作負荷問題，不管是太小或過度、在服務及/或安全方面的話語含糊、在工作環境中允許頻繁的分心、在工作時允許系統有缺陷。

在最底層面，此模式再次指出 SHELL 變數之間的關係，並指出儘管人被放在中央，他們經常被有關於工作情境的決策所圍繞而只有很少或沒有輸入。此層面也納入顯性和隱性失效。這與 Reason 早年的模式不同，Reason 並沒有在此層面提到顯性失效。將顯性失效加入的原因是假設組織在其層級中確實且將建立情境，而主動地鼓勵誤失鏈的建立。此類決定的複雜度可能暫時沈睡於系統內很多年，且經常由事件或情勢的結合來讓這些易犯錯的決定引起意外或安全事故。

在 ATM 誤失的調查中，發現下列組織課題：明確安全哲理的發展、服務與安全之間的澄清、發展和實施訓練的整合方法、有效品保職能的建立、提供適當防禦以增加 ATM 的誤失容差。

此模式協助找出由個人所產生的人為誤失但也關注任務和組織議題。雖然在高層是有用的，但本計畫的目的是侷限在人類資訊表現層面的人為誤失。

## 8.2 ATM 認知誤失之回溯分析技術(TRACEr, Technique for the Retrospective Analysis of Cognitive Errors in ATM, Shorrock, 1997; Shorrock & Kirwan, 1998)

TRACEr 包含來自三種來源的誤失型態：

- (1) 人為誤失的學術研究、

- (2) 現有「人為誤失識別」(HEI, Human Error Identification)技術的誤失型態(例如 Embrey 的 SHERPA 和 Reason 的 GEMS)、
- (3) ATM 研究和即時 ATM 模擬。

TRACER 使用 Fleishman 和 Quaintance 所指導的正式分類法程序來建立，以確保分類法是廣泛的且兼顧排外性和結構。

Wickens 在 1992 年的人類資訊處理模式被用為 TRACER 的基礎模式。此模式的階層被轉換成適用於 ATM 的五個「認知領域」(cognitive domains)：

- 感知和警覺：在視覺偵測和視覺搜尋方面的誤失、在聽覺方面的誤失；
- 工作記憶：忘了最近聽到或看到的資訊、忘了先前的行動、忘了等一下要做什麼規劃的行動；
- 長期記憶：忘了學過的資訊；
- 判斷、規劃和決策：在下判斷和做決策方面的誤失、在規劃方面的誤失；
- 回應執行：行動或說話不如所想

此外，另一個 Wickens 的資訊處理階層也被納入：

- 訊號接收：與訊號本身有關的問題。

根據文獻中現有人員表現的理論區分將認知領域用來組成誤失型態。

TRACER 也指明誤失型態之間的三分區別——外在誤失型式 EEMs、內在誤失型式 IEMs (Internal Error Modes) 和心理學誤失機制 PEMs。

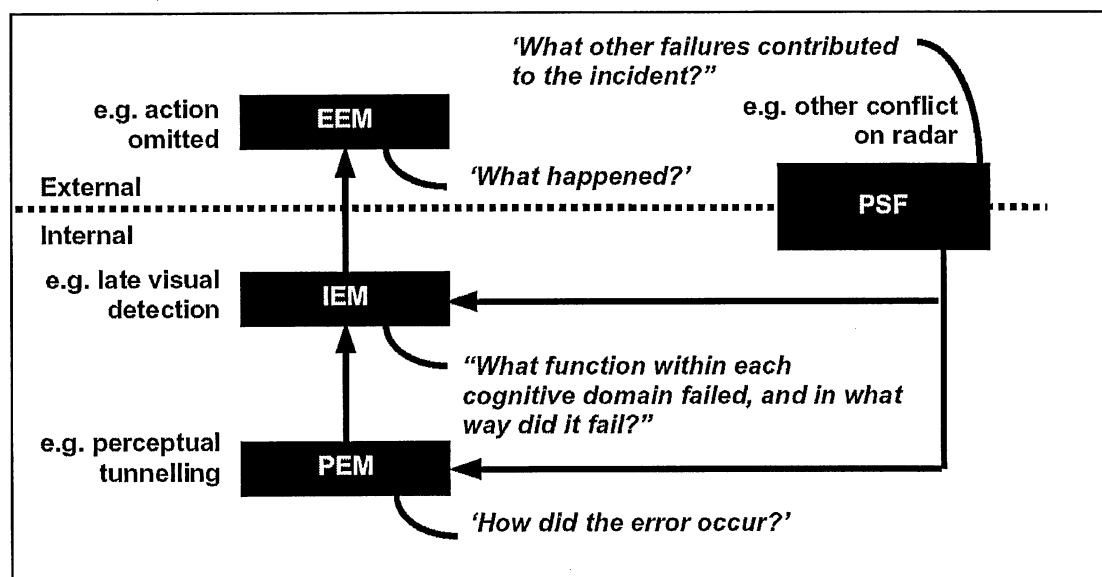


Figure 27: Relationship between TRACER classification systems

EEM 是指發生了什麼誤失，代表誤失的外在和可觀察的形式。EEM 並不暗示任何關於誤失的認知起源的事物(例如意圖 intentionality)。

IEM 是指誤失在每一認知領域的內在形式(例如錯誤的識別、偵測太慢、錯誤的判斷)。為了識別 IEMs，認知領域被進一步分割成 ATM 的子範圍。例如，認知領域「感知和警覺」分成「視覺」和「聽覺」以及「偵測」和「辨認/識別」。在「感知和警覺」中的 IEMs 包含「hearback 誤失」、「偵測太慢」、「錯誤的識別」。IEMs 在 EEMs、PEMs 和資訊處理模式之間提供了一個介面，且在觀念上等同於

Rasmussen 在 1992 年所提的「內在人員機能失常」的分類法。

PEMs 是指在 IEM 的心理學機制方面，誤失如何在每一認知領域內發生。

一份表現成形因子 PSFs 的清單找出人為因素的問題，而有助於解釋誤失為何發生。

TRACEr 也包含重大 ATM 任務的分類(例如管制條標記和雷達監控)和 ATM 資訊要素的分類，包含航空器、空域和機場的細節。這可找出什麼是被錯誤判斷的、忘記的、誤解的(例如呼號 call sign、飛航空層 Flight Level、航向、航路)，並因此提供誤失的背景資料。這已提供證據指出 IEMs 和此模式在 ATM 任務方面是廣泛的。此分類由 ATM 層級任務分析 HTA 和 AIRPROX 報告所發展。

TRACEr 以一系列流程圖來表達。選用決策流程圖的原因是它們增加了技術可用性、增加了分析者之間的一致性、增加了誤失相互關係規格的需要，這是與分類法和清單最主要的差異。

可由一些認知技能來呈現管制員任務的特性。TRACEr 是一項廣泛的 HEI 技術，可掌握這些認知技能的潛在失效。就降低誤失來說，此技術是結構化的、可用的。Wickens 的資訊處理模式配合誤失型態之間的三分區別已證明在分析誤失是成功的，而導出衡量它們的降低或它們的有害效果。TRACEr 將關注重點從其他誤失分析工具以知識為基礎的誤失移到更佳反應出 ATM 視覺和聽覺的本質、現今和隨後雷達隔離的判斷、快速決策和溝通。

IEMs 已將被幾個 HEI 技術所忽略的一個觀念重新引進。IEMs 加入了誤失分析的價值，因為它們提供了在 PEM 和 EEM 分析之間的中間步驟。不一定都能定義 PEM，但它經常可能導出 IEM。例如很明顯的一項錯誤的判斷已被發現(IEM)，但不清楚是否由於「錯誤的假設」(PEM)所造成。因此，IEMs 比單獨的 EEMs 更能讓分析者找到減少誤失的方法。

## 九、結論

文獻回顧發現資訊處理是最適合用於 ATM 誤失分類的模式，再者，TRACEr 也被選為發展 HERA 的基礎。然而，本研究所回顧的其他方法也有助於發展 HERA，例如 SRK、SHERPA、GEMS、CREAM。

新技術的架構將包含：

- 人類資訊處理模式；
- 外在誤失型式 EEMs、內在誤失型式 IEMs、心理學誤失機制 PEMs；
- 表現成形因子 PSFs；
- 像是任務、裝備和資訊等情況因素；
- 流程圖，以便讓技術更為結構化。

## [文獻評析]

本研究的優點有：一、從最早期美國人提出的溝通之線性模式(Linear Model

of Communication)到新近由德國人所發展的「管制員表現模式」(Modell der Fluglotsenleistungen)，不論在年代上或地域上，文獻回顧的範圍都很齊全；二、由於本計畫的目標是建立一套適用於 ATM 的模式和分類法，故本研究文獻回顧的過程不只是介紹每個學者所架構的理論而已，還更進一步探討運用在 ATM 上的重點，這對研究人員來說就十分具有啟發性。可惜的是，本文只提出幾個未來可能發展的方向，至於何者最為合適，或者要合併創造出新的模式和分類法，還必須由其他文獻繼續追蹤其進展。

以第一期的成果看來，本研究確實朝向正確的目標邁進，不過即使未來順利建立一套適用於 ATM 的模式和分類法，能否廣為被國際民航界接受，則是一大問題。若只是單純在少數國家實施，無法被 ICAO 採用做為世界標準，那麼目前各個飛安資料庫所遭遇到的因分類法不同而不能順利交換資訊的困境，將成為實際運用上的障礙。

總之，本研究花費相當多時間和人力投入在整理各種有關人類性能和誤失的模式和分類法的研究，所涵蓋的年代和地域也很廣泛，足以做為 ATM 人為因素研究的最佳出發點。

## [相關文獻]

(因文獻眾多，僅選錄最重要的幾篇如下)

Embrey, D.E. (1986). SHERPA - a systematic human error reduction and prediction approach. Paper presented at the International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems, Knoxville, Tennessee.

Hollnagel, E. (1993). Human Reliability Analysis: Context and Control. London: Academic Press.

Isaac, A. and Guselli, J. (1995) Human Factors in ATS en-route centres. Paper presented at the Australasian Societies of Air Safety Investigators Seminar, Brisbane, Australia.

Rasmussen, J. (1981). Human Errors. A Taxonomy for Describing Human Malfunction in Industrial Installations. Risø National Laboratory, DK- 4000, Roskilde, Denmark.

Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, knowledge; signals, signs, symbols, and other distinctions in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. SMC-13 (3), 257-266.

Reason, J.T. (1987). Generic Error-modelling System: A cognitive framework for locating common human error forms. In Rasmussen, J., Duncan, K.D. and Leplat, J. (eds). New Technology and Human Error. Chichester, England: Wiley.

Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Shorrocks, S.T. (1997). The Development and Evaluation of TRACER: A Technique for the Retrospective Analysis of Cognitive Errors in Air Traffic Control. MSc (Eng) Thesis: The University of Birmingham, September 1997.

# **CWS Applied to Controllers in a High Fidelity Simulation of ATC**

Rickey P. Thomas, Ben Willem, James Shanteau, John Raacke,  
Brian Friel, William J. Hughes

International Symposium on Aviation Psychology, 2001

## **[英文摘要]**

The study applied the CWS index, a measure of expertise that integrates discrimination and consistency. Larger CWS scores are indicative of better evaluation, i.e., greater discrimination and consistency. CWS was used to assess controller performance operating in high-fidelity simulations of air traffic control (ATC). Large CWS scores were associated with superior performance, e.g., fewer separation errors. CWS indices were also sensitive to changes in task complexity and controller efficiency. The findings indicate that we can calculate valid CWS scores in high-fidelity simulations of ATC that capture the performance of expert controllers.

## **[中文摘要]**

本研究提出以CWS指標作為飛航管制員工作成效之衡量依據，CWS指標透過鑑別力與一致性的檢定進行專業技術能力的評估，CWS指標得分越高，代表具有較高的鑑別力與一致性，專業技術能力較好。本研究採用高真實度的飛航管制模擬進行實驗，研究結果發現工作表現較佳(較少隔離不足誤失)者CWS指標得分也較高，同時CWS指標對於工作複雜度與管制員效率的變化非常敏感。最後作者認為可以在高真實飛航模擬環境下，計算正確的CWS指標以反應管制員績效。

## **[內容]**

### **1. 研究背景**

長久以來，相關研究學者試圖建立一個客觀的專業技術評量標準，例如飛航管制領域，FAA過去希望建立管制員工作成效評量標準，然而至今的衡量模式仍無法完全客觀進行。

飛航管制工作大部分為隱性之工作(covert cognitive)，無法將工作成效以具體衡量標準評估，同時飛航管制為一動態(dynamic)之工作，一般標準之評估模式通常使用於靜態之環境，並不適合使用於飛航管制之績效評估。由於難以透過外顯之行為評估管制員之工作成效，故相關研究會由Subject matter experts(SMEs)進行衡量，但飛航管制SMEs卻常會出現意見分歧的情況，由於管制員在面對相同狀況時，可採取各種不同的方式解決，因此SMEs亦無法提出一完整之評估標準。

由於上述之缺點，本研究認為CWS指標可以有效衡量此類之專門技術。CWS指標假設欲評估之技能必須涵蓋該領域所有專業技術，同時該專業技術必須擁有滿足鑑別力(discrimination)、一致性(consistency)兩項條件。

CWS指標可被用來分辨各項專業技術之成效，瞭解受評估者在該技術的經驗，此一指標已被成功運用在稽核、人員聘用、牲畜評估等領域，本研究將應用CWS指標於高精確度之飛航管制模擬當中。若欲應用CWS指標，研究者必須分析受評估者之反應回答，量測其鑑別力與一致性，CWS指標即為兩者之比率，指標值越高(鑑別力均方離差越高，一致性均方離差越低)代表其專業技術之exhibited degree越高。

## 2. 研究母體

本研究之參與者為 12 位來自 Level 5 終端雷達進場管制的 full-performance 飛航管制員。

## 3. 研究方法

本研究之參與者為12位來自Level 5終端雷達進場管制的full-performance飛航管制員，實驗模擬可以2 x 2之矩陣表達(兩種航機密度與兩種衝突形式)，低航機密度15分鐘實驗當中平均有7架航機需管制，高航機密度則是平均有14架航機需管制；兩種衝突形式則包含超越(overtake)與穿越(intersecting)，在模擬過程當中，若管制員無法及時避免，則在六分鐘後航機會發生衝突。

此一模擬器創造一高真實度的飛航管制環境，並且提供客觀的管制員工作成效、工作效率、工作複雜度評估模式；模擬管制績效以航機隔離發生錯誤的次數，以及錯誤發生持續的時間作為衡量標準，若錯誤時間持續越久則代表管制員工作成效越低；工作效率則是以該空域管制員要求航機變換高度、速度、航向等動作的次數為衡量標準，管制動作越少代表效率越高；工作複雜度則是以管制員管制航機數、航機受到管制之總時間為衡量標準。

SMEs 對管制員績效作成 24 個評等，此 24 個評等涵蓋績效、情境察覺、排序(prioritization)、效率、專業知識及溝通構面。

## 4. CWS 評估

為評估管制員工作成效，本研究透過各航機在該管制員管制下飛行之距離(海

湮)計算CWS指標，同樣的航機可能因為空域擁擠或其他因素，因此在不同階段的模擬當中，同架航機飛行之路徑可能不同，飛行距離也會不同。CWS鑑別力指標則是計算各航機間不同飛航條件的飛行距離之均方離差(mean square deviation)，若變異數較大代表具有較佳之鑑別力；一致性則是計算在相同情境下，同一航機在重複模擬之飛航距離，若其變異數較小代表具有較佳之一致性。

本研究假設管制員工作量增加，會造成一致性之降低，同時本研究認為工作量之增加會造成航機飛行距離增加，並且降低鑑別力；最後，本研究假設空域模擬之情境越複雜，會造成較低的一致性。

## 5. 實驗結果

由圖1可以發現，在高密度與穿越(intersecting)的情境下，管制員之CWS指標極低；由本研究之實驗結果可發現，CWS指標對於管制員在不同航機密度、衝突形式的行為改變相當敏感；相較於圖2以SMEs衡量管制員的表現可發現，SMEs實驗結果與CWS指標實驗之圖形相似，但是各情境之間差異與CWS指標相比較不敏感。

Figure 1

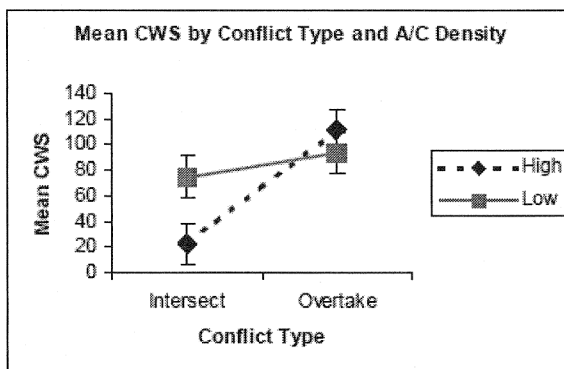
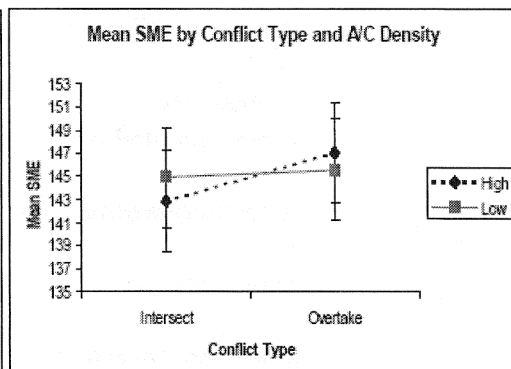


Figure 2



由表3可發現，應用CWS所得之指標與管制員工作成效、效率、複雜度之相關係數較高，代表CWS能夠充分評估管制員之績效，表3中顯示CWS與飛航管制模擬績效評估值之相關係數皆為負數，表示當工作成效降低(操作誤失次數、持續時間增加)、效率降低(管制員管制之動作增加)、複雜度增加(航機數增加)時，CWS指標皆降低。



Table 3: Correlations of CWS and Composite SME ratings by Simulator Measures of Performance, Efficiency, and (Task) Complexity.

Simulator Measures	CWS	SME
<b>Performance</b>		
Separation errors	-.47*	-.17
Duration of Separation errors	-.52*	-.26
<i>Composite performance</i>	-.53*	-.25
<b>Efficiency</b>		
Altitude changes	-.35*	-.30*
Heading changes	-.35*	-.29*
Speed changes	-.47*	.18
<i>Composite efficiency</i>	-.41*	-.27*
<b>Complexity</b>		
Aircraft handed-off	-.36*	.08
Aircraft controlled	-.38*	-.14
System activity	-.34*	-.04
<i>Composite complexity</i>	-.39*	-.14
<i>Spearman's rho, *p &lt; .05</i>		

而表 3 之 SMEs 績效評估與管制員工作成效、效率、複雜度之相關係數較低，本研究認為這是由於擔任評估之專家以其專業素養進行評分，而非依據客觀之量化資料，例如工作成效，CWS 以操作誤失之次數為衡量標準，然而 SMEs 則是依據其專業之經驗；另外，SMEs 之標準可能因為個人因素而有所差異；最後。SMEs 於其專業領域皆為經驗豐富之管制員，但其對評估績效之經驗卻不見得豐富。由上述因素可發現，利用 SMEs 進行衡量評估並不客觀。

## [文獻評析]

大部份關於飛航管制之研究皆採用 SME 進行主觀評量的方式，但這樣的評量方式卻可能由於每位專家對飛航管制的認知不同，造成評量結果不夠客觀。本研究最重要之處在於提出以 CWS 指標進行績效衡量，此一觀念已被廣泛利用於其他專業技術領域，作者以模擬的方式進行比較，證明 CWS 指標的確較傳統 SME

式的主觀評量還要敏感、客觀。然而此一研究測試之情境太少，尚不足以確認 CWS 指標應用之廣泛性。

### [相關文獻]

Sollenberger, R. L., Stein, E. S., & Gromelski, S. (1997). *The development and evaluation of a behaviorally based rating form for assessing air traffic controller performance*. (FAA Technical Note). Atlantic City: William J. Hughes Technical Center. DOT/FAA/CT-TN96/16.

Manning, C. A., Mills, S., Mogilka, H., Hedge, J., Bruskiewicz, P., Pfleiderer, E., (in preparation) Prediction of subjective ratings of air traffic controller performance by computer-derived measures and behavioral observations.

Gilbert, T. F. (1978). *Human competence. Engineering worthy performance*. New York: McGraw-Hill.

Cochran, W. G. (1943). The comparison of different scales of measurement for experimental results. *Annals of Mathematical Statistics*, 14, 205- 216.

Thomas, R. P., Pounds, J., & Shanteau, J. (in press). Evaluation of a performance-based measure of expertise in a dynamic complex environment. *Federal Aviation Administration*.

Ettenson, R. (1984). A schematic approach to the examination of the search for and use of information in expert decision making. Unpublished doctoral dissertation, Kansas State University



# **Factors Affecting Air Traffic Controller Workload - Multivariate Analysis Based on Simulation Modeling of Controller Workload**

Arnab Majumdar and Washington Y. Ochieng

Transportation Research Record , No. 1788 ,2003, pp.58-69

## **[英文摘要]**

Airspace capacity in a high-density air traffic network is determined by controller workload. Controller workload is primarily affected by the features of the air traffic and air traffic control (ATC) sector. Factors that affect controller workload are examined by, first, a review of the literature in this subject and then a multivariate analysis of the data obtained from simulations of a model of air traffic controller workload. This model, the European Airspace Model (EAM), has been widely used in European airspace planning. The results from simulations of five very different areas of European airspace are analyzed. In particular, the results of principal components analysis and factor analysis provide a valuable insight into the aircraft profile factors affecting controller workload.

## **[中文摘要]**

高密度空域的容量主要受到管制員工作量之限制，而管制員工作量則主要受到空中交通與空域相關特性之影響；本研究首先透過文獻回顧整理可能造成影響之因素，並且透過 EAM 模式模擬以及搭配多變量分析瞭解各影響因子間之關係。EAM 模式已被廣泛使用於歐洲空域規劃，本研究透過歐洲五大空域的模擬分析進行研究，經主成份分析與因素分析所得之資訊可更深入了解航機操作對於管制員工作量之影響。

## **[內容]**

### **1. 研究背景**

確保空中交通之安全，飛航管制的角色在隨著航空運輸發展越顯重要，以歐洲為例，歐洲地區於1985年至1990年當中每年空中交通呈現7.1%的成長，同時大

部分交通運量集中在倫敦、巴黎、布魯塞爾、法蘭克福、米蘭等西歐地區，相關研究預測認為1990年到2010年間將會呈獻110%的成長幅度，屆時航空運量會高達每年1100萬架次。

然而歐洲大陸缺乏一個單一整合之航管系統，造成許多資源浪費的情形發生，日漸成長之運量同時也造成飛行延誤的增加，以及多餘的飛行距離與可能的安全顧慮；根據研究統計，延誤造成之損失每年超過50億美元。

為提昇運量增加效率，1980年末期EUROCONTROL發展European Air Traffic Control Harmonization and Integration Program(EATCHIP)計畫，透過新科技以及新作業程序的應用，例如RNAV提昇飛航管制之精準度、協調軍民用航機以更有彈性的方式使用空域。EATCHIP計畫有效的改善空域容量問題，至1990年為止增加了40%的空域容量。

EATCHIP 計畫的成功關鍵因素是由於 European Air Traffic Management Program (EATMP)的運作，EATMP 將航機操作以”gate-to-gate”的觀念管理，此一觀念將有可能改變未來管制員的工作方式。為有效達成此一目標，必須對於空域特性有充分之瞭解；高密度的空域容量不僅受到航機隔離之規範，同時亦受到管制員工作量的影響，本研究針對可能影響管制員工作量之因素進行探討。

研究內容可以分為兩大部分；首先作者針對空域之特性進行討論，提出管制員工作量對空域特性之影響；接著透過相關文獻回顧，瞭解會影響管制員工作量以及操作誤失之因素並且進行討論分析。第二部分則是應用 European Airspace Model 模擬歐洲五地區空中交通，以主成份分析瞭解影響因素，並且應用主成份分析之結論進行迴歸分析瞭解變數間之關係，最後提出結論。

## 2. 影響空域容量之因素

高密度空域的環境當中，空域容量可被定義為在一個可接受的工作量狀態下，該空域於特定時段可以管制的最大航機數；此一定義為計算被管制的航機數，而非航機進入、離開、經過的總數，同時該定義突顯管制員工作量之影響。過去研究對於工作量之定義不一，但一般的文獻認為管制員工作量受到空域實體特性、設備狀態、管制員狀態等因素的交互影響。

Mogford(1995)等人認為影響管制員工作量的因素可以分為主要因素來源與次要因素來源；主要因素為飛航管制複雜度，空域中航機組成之複雜、航機動態等因素都會造成管制員工作量增加，而飛航管制複雜度會受到航空器相關因素(架次、航機速度、航空器混合程度 etc.)、空域相關因素(空域大小、航路結構、進入與離開點的數量 etc.)、航空器與空域相關因素(無線電與雷達覆蓋率、頻道擁擠、天候狀況 etc.)之影響。作者透過相關研究之回顧，並將文獻中相關之主要因素列出，如表 1。

TABLE 1 Summary of Factors in the Literature That Affect Controller Workload

Variable	Author
<b>AIRCRAFT</b>	
<i>Traffic density/Number of flights</i>	Davis (15); Arad (16); Buckley et al. (17); Stein (18); Corker et al. (19); Eurocontrol (20); Pawlak et al. (21); Laudeman et al. (22)
<i>Traffic mix</i>	Davis (15); Mogford et al. (11); Pawlak et al. (21)
<i>Separation standards, sequencing, spacing – longitudinal, lateral and vertical directions</i>	Arad (16); Schmidt (23); Mogford et al. (11); Pawlak et al. (21); Lamoureux (24)
<i>Aircraft speeds</i>	Arad (16); Schmidt (23); Delahaye et al. (25); Pawlak et al. (21); Laudeman et al. (22); Corker et al. (19)
<i>Traffic flow rate</i>	Schmidt (23)
<i>Cruising traffic</i>	Schmidt (23); Eurocontrol (20)
<i>Crossing aircraft profiles</i>	Pawlak et al. (21)
<i>Confliction (conflict factors)</i>	Buckley et al. (17); Laudeman et al. (22)
<i>Occupancy</i>	Buckley et al. (17)
<i>Delay</i>	Buckley et al. (17)
<i>Fuel consumption</i>	Buckley et al. (17)
<i>Aircraft clustering</i>	Stein (18)
<i>Angle of intersection between routes</i>	Schmidt (23); Pawlak et al. (21)
<i>Hourly traffic</i>	Hurst & Rose (26)
<i>Peak Traffic</i>	Hurst & Rose (26)
<i>Climbing/Descending traffic</i>	Mogford et al. (11); Eurocontrol (20); Dalichampt et al. (27); Pawlak et al. (21); Lamoureux (24)
<i>Horizontal conflicts</i>	Siddiquee (28)
<i>Ascending conflicts</i>	Magill (29)
<i>Military flights</i>	Mogford et al. (11)
<i>Airline hubbing</i>	Mogford et al. (11)
<i>Aircraft position</i>	Delahaye et al. (25)
<i>Directions of flight</i>	Pawlak et al. (21)
<b>SECTOR</b>	
<i>Sector Size</i>	Arad (16); Mogford et al. (11); Eurocontrol (20); Pawlak et al. (21)
<i>Sector/flow design</i>	Arad (16); Stein (18)
<i>Number of flight levels</i>	Schmidt (23); Dalichampt et al. (27)
<i>Coordinations</i>	Mogford et al. (11); Pawlak et al. (21); Corker et al. (19)
<i>Number of intersections</i>	Couluris & Schmidt (30)
<i>Boundary location</i>	Couluris & Schmidt (30)
<i>Airway configuration</i>	Couluris & Schmidt (30)
<i>Number of intersecting flight paths</i>	Mogford et al. (11)
<i>Complex routing</i>	Mogford et al. (11); Dalichampt et al. (27)
<i>Restricted areas</i>	Mogford et al. (11); Pawlak et al. (21)
<i>Number of entry and exit points</i>	Dalichampt et al. (27)
<i>Location of conflicts in sector</i>	Pawlak et al. (21)
<i>Number of facilities in sector</i>	Pawlak et al. (21)
<b>COMBINATION</b>	
<i>Radio and radar coverage</i>	Mogford et al. (11)
<i>Frequency congestion</i>	Mogford et al. (11)
<i>Communications</i>	Buckley et al. (17); Corker et al. (19)
<i>Multiple control functions</i>	Mogford et al. (11)
<i>Required procedures</i>	Mogford et al. (11)
<i>Weather</i>	Mogford et al. (11)
<i>Wind</i>	Pawlak et al. (21)
<i>Level of knowledge of aircraft intent</i>	Pawlak et al. (21)

次要因素來源則可分為三大類，包含管制員對程序的瞭解程度(工作經驗)、設備的品質、管制員本身特性(年齡、經驗等)。管制員所感受到之工作量會隨其處理資訊以及完成工作的策略差異而有所變化，這樣的技術與工作經驗必須透過訓練以及工作之累積，良好之工作經驗可以幫助管制員在正確時刻做出最為有效之決策；設備之有效利用為另一個影響工作量之因素，良好的設備介面與自動化操作可以幫助管制員正確處理資訊，並且降低其工作負荷；管制員工作量之變化

同時也會受到個人特質之影響，例如年齡等因素。

本研究主要探討主要因素(飛航管制複雜度)對於工作量之影響，次要因素則被視為定值，不納入本研究分析範疇。

### 3. 飛航管制複雜度與操作誤失之關係

當飛航管制複雜度增加時，可以合理假設管制員的工作量也隨之增加，進而造成管制員在航機隔離上產生操作誤失；美國FAA Order 7110.65中說明，操作誤失為造成航機未達最低安全隔離限制之誤失事件。Rodgers等人認為，當工作相關之資訊量超過管制員能夠接受的程度時，航機可能會無法接受到足夠的注意力，甚至造成隔離之不足，在各種複雜度因素的交互影響下，管制員的心智能力(cognitive resources)不足以應付所有資訊，此一狀況可能會造成管制員工作量的增加。

過去許多研究針對操作誤失之發生進行研究；當偵測到操作誤失發生時，相關單位會進行深入調查，蒐集當時所有資訊，包含管制員的操作、通訊紀錄等，瞭解所有可能造成誤失發生的事件；FAA並發展Systematic Air Traffic Operations Research Initiative (SATORI)系統，重建誤失發生之狀態進行分析。

根據上述資訊可以發現操作誤失的兩大特性：

- (1) 大部分操作誤失發生於中等的交通量與工作量；
- (2) 管制員的合作亦會造成顯著影響。

表 2 為本研究整理過去針對造成操作誤失發生之因素相關文獻。

TABLE 2 Summary of Relationships Between Traffic and Sector Variables and OE Occurrence

Variable	Author
Traffic load	Empson (34); Grossberg (12); Redding (35); Rodgers and Nye (36); Rodgers et al. (31)
Traffic complexity	Redding (35); Schroeder and Nye (37)
Time pressure	Empson (34)
Climbing/Descending traffic	Grossberg (12)
Traffic mix	Grossberg (12)
Frequent coordination	Rodgers & Manning (38); Grossberg (12); Schroeder (39); Redding (35); Schroeder and Nye (37); Rodgers et al. (31)
Sector transit time	Rodgers and Manning (38)
Horizontal conflicts	Kinney et al. (14)
Light/moderate workloads	Schroeder (39); Stager and Hameluck (40)
Conflicts when one aircraft in ascend/descend and other aircraft in cruise	Rodgers and Nye (36)
Separation control	Grossberg (12)
Vertical separation	Rodgers and Manning (38)
Airspace structure	Empson (34); Rodgers et al. (31)
Procedures	Empson (34)
Military/Restricted areas	Rodgers et al. (31)
Radio frequency congestion	Rodgers et al. (31)

#### 4. 透過簡單迴歸分析建立變數間之關係

早期相關研究希望可以簡單線性迴歸的方式建立管制員工作量與其他空域相關變數之線性關係，然而大部分的研究都指出管制員的工作量無法以該空域之航機數來評量，並且指出需要利用更詳細的航機操作資訊來衡量管制員之工作量。近年來許多研究則以管制員工作量做為依變數，飛航管制複雜度為自變數，以簡單線性迴歸進行研究；表 3 為近年各研究所定義之依變數、自變數，以及該迴歸方程式之判定係數( $R^2$ )；

TABLE 3 The Dependent Variable, Independent Variable, and Coefficient of Determination in Attempts to Derive a Functional Relationship Between Controller Workload and ATC Complexity

Author	Dependent Variable	Independent Variables	$R^2$
Stein (18)	The ATWIT <sup>a</sup> subjective workload	<ul style="list-style-type: none"><li>• clustering of aircraft in a small amount of sector airspace;</li><li>• number of hand-offs outbound;</li><li>• total number of flights handled;</li><li>• number of hand-offs inbound.</li></ul>	0.72
Hurst and Rose (26)	Pace ratings, behavioural response workload	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hourly traffic</li><li>• Peak hour traffic</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 0.24 (hourly);</li><li>• 0.49 (peak)</li></ul>
Laudeman et al. (22)	Set of controller activities	Multiple, distance dependent: <ul style="list-style-type: none"><li>• dynamic factors,</li><li>• aircraft density factors and</li><li>• conflict factors</li></ul>	0.55
Corker et al. (19)	Controllers' subjective workload	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amount of time to respond to the on-screen prompt to record workload;</li><li>• Number of aircraft;</li><li>• Communications time;</li><li>• The difference in communications time between control and self separating exercises;</li><li>• Number of slow-moving aircraft;</li><li>• Number of aircraft waiting handoff.</li></ul>	0.50
Rodgers et al. (31)	Number of OEs in a sector	<ul style="list-style-type: none"><li>• radio frequency congestion;</li><li>• effects of restricted areas.</li></ul>	0.31
Majumdar and Polak (41)	Task time controller workload	<ul style="list-style-type: none"><li>• Number of aircraft in cruise</li><li>• Number of aircraft in ascend</li><li>• Number of aircraft in descend</li><li>• Interactions of aircraft</li></ul>	0.88

<sup>a</sup> ATWIT = air traffic workload input technique.

簡單線性迴歸已被廣泛利用在類似研究上，但此一方法仍有其不足之處：

- (1) 上述研究假設變數間存在線性相關，並未考慮變數間之交互作用，或是考慮二次方程式之可能性；
- (2) 迴歸方程式之判定係數( $R^2$ )多數偏低，顯示仍有其他影響管制員工作量之變數沒有被考慮。

#### 5. 研究母體與方法

由上述研究可以發現，飛航管制複雜度會影響管制員工作量，因此作者以文獻回顧為基礎，蒐集過去飛航管制複雜度與管制員工作量的相關文獻，整理可能會影響飛航管制複雜度與管制員工作量的因素，如表 4：



TABLE 4 List of Air Traffic and Sector Factors That Can Affect ATC Complexity and Controller Workload

Air Traffic Factors	Sector Factors
Total number of aircraft	Sector size
Peak hourly count	Sector shape
Traffic mix	Boundary location
Climbing/ descending aircraft	Number of flight levels
Aircraft speeds	Number of facilities
Horizontal separation standards	Number of entry and exit points
Vertical separation standards	Airway configuration
Minimum distance between aircraft	Proportion of unidirectional routes
Aircraft flight direction	Number of facilities
Predicted closest conflict distance	Winds

本研究則採用 European Airspace Model(EAM)進行模擬分析，此一模式以被廣泛使用於歐洲空域規劃、管理，J.M. Lenzi 的研究亦顯示該模式之成功。於 EAM 模擬模式當中，每個模擬空域各有兩位管制員負責完成所交給的 109 項工作，EAM 模式則會記錄模擬過程當中空域相關特性資料、空中交通資訊、管制工作狀態，並記錄工作完成時間做為本研究之依變數。

根據過去研究，本研究將可能影響工作負荷的因素分為空中交通管制相關因素與空域特性相關因素兩大類別，配合EAM模式進行主成分分析、因素分析與迴歸分析(最小平方法)，找出最適當之主成分，表6為本研究歸納之兩主成分。

TABLE 6 Loadings for the First Two Principal Components for the Pooled ACCs

	<i>Principal Component Loadings</i>
<b>Component 1</b>	$0.32(FlightExitCruise) + 0.32(FlightEnterCruise) + 0.29(ContinuousCruise)$
<b>Component 2</b>	$0.28(ContinuousClimb) + 0.28(ContinuousDescend) - 0.38(FlightLeveldiff)$

依據前兩步驟提出之主成分，本研究以最小平方法歸納出變數之間的相關程度，如表8、表9。

TABLE 8 OLS for Flight Times (All Sectors)

Attitude Variable	$\hat{\beta}$	SE	t
Intercept	24.11	8.73	2.76
Total Cruise Flight Time	0.04	0.017	2.34
Total Climb Flight Time	0.08	0.075	1.10
Total Descend Flight Time	0.32	0.114	2.84
Adjusted R <sup>2</sup>	0.176		
Regression F	4.98		

TABLE 9 OLS for Flight Profiles (All Sectors)

Attitude Variable	$\hat{\beta}$	SE	t
Intercept	-0.17	3.30	-0.05
Climb-Cruise-Flight Profile	1.61	0.221	7.32
Cruise-Descend Profile	1.61	0.222	7.26
Climb-Cruise-Descend Profile	2.85	0.79	3.61
Continuous Climb Profile	0.80	0.258	3.13
Continuous Descend Profile	3.16	0.372	8.50
Continuous Cruise Profile	0.90	0.091	9.90
Adjusted R <sup>2</sup>	0.89		
Regression F	79.84		

## 6. 結論建議

空中交通繁忙地區之運量常受到管制員工作量之限制，為瞭解真正影響管制員工作量之因素，本研究採用EAM之模式進行分析，並且透過多變量分析瞭解眾多因素的關係。研究分析顯示，航機在尖峰時段的操作特性會影響管制員工作量之產生，即使研究並未發現空域相關因素會造成影響，但作者認為空域的設計為非常重要之因素，未來研究應將該變數加入。

另外，本研究建議未來可以採取其他方式進行相關研究，例如：Weighted regression analysis、Spatially autocorrelated regression analysis、最大概似法、Cross-sectional analysis、時間序列分析、非線性迴歸分析等。

## [文獻評析]

### 本文獻的缺點

本研究是以文獻回顧為基礎，整理過去相關研究之結論，假設飛航管制複雜度會影響管制員之工作量，並且列出相關文獻所提及之影響因素。作者並且利用EAM 模式進行模擬，並且將上述整理之影響因素納入實驗，最後透過統計方法(主成份分析、因素分析、迴歸分析)簡化變數，並歸納變數間之關係。

由於本文是以文獻回顧歸納實驗之變數，因此對於飛航管制複雜度與工作量間之關係，以及模擬模式之應用等議題沒有深入介紹。作者在此文最大之貢獻在於提出以EAM 模式搭配多變量分析之方法進行研究，但是在本研究當中應用之迴歸分析仍假設各變數獨立，沒有考慮二次方程式或是其他的函數形式。

## 本文獻的優點

本研究蒐集管制員工作量相關研究之重要文獻，綜整過去研究當中認為會影響管制員工作量之因素，內容涵蓋面甚廣，國內相關研究可參考本文所歸納之重要因素進行探討。

由於影響管制員工作量之因素相當繁多且複雜，本文提出以主成份分析、因素分析的方式將影響因素加以分類，歸納出較為重要之影響因素，幫助研究人員清楚瞭解管制員工作量之特性。

未來相關研究可以本研究使用之 EAM 模式加以修改，並且參考作者之意見，採取 Weighted regression analysis、Spatially autocorrelated regression analysis、最大概似法、Cross-sectional analysis、時間序列分析、非線性迴歸分析等方式進行分析。

## [相關文獻]

Mogford, R. H., J. A. Guttman, S. L. Morrow, and P. Kopardekar. *The Complexity Construct in Air Traffic Control: A Review and Synthesis of the Literature*. Report DOT/FAA/CT-TN92/22. FAA Technical Center,

Kinney, G. C., J. Spahn, and R. A. Amato. *The Human Element in Air Traffic Control: Observations and Analyses of the Performance of Controllers and Supervisors in Providing ATC Separation Services*. Report MTR-7655. METREK Division of the MITRE Corporation, McLean, Va., 1977.

Rodgers, M. D., R. H. Mogford, and L. S. Mogford. The Relationship of Sector Characteristics to Operational Errors. Report DOT/FAA/AM-98/14. FAA, U.S. Department of Transportation, 1998. 11. Mogford, R. H., E. D. Murphy, and J. A. Guttman. Using Knowledge Exploration Tools to Study Airspace Complexity in Air Traffic Control. *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 4, No. 1, 1993, pp. 29–45.

Majumdar, A., and J. Polak. Estimating Capacity of Europe's Airspace Using a Simulation Model of Air Traffic Controller Workload. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1744, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2001, pp. 30–43.

# **Human Communication, Mutual Awareness and System**

## **Dependability. Lessons Learnt from Air-traffic Control**

### **Field Studies**

L. Rognin, J.-P. Blanquart

Reliability Engineering and System Safety Vol.71 No.3, 2001

pp327-336

#### **[英文摘要]**

The dependability of many complex and critical systems strongly relies on human operators, both through human reliability and human ability to handle adequately the unexpected events. This paper focuses on ergonomics field studies of air traffic control activities, and more specifically on the analyses of communication within teams of controllers. We show how operators use spontaneously the natural redundancy and diversity of human communication (multimodality, addressing features...), so as to successfully maintain mutual awareness. This is the key for reliable cooperation, for the sake of global system dependability that rests on mechanisms such as error detection, recovery, and prevention (by anticipation and regulation). This study helps in providing specifications for the design of systems efficiently supporting both human cooperation and human ability to contribute to dependability.

#### **[中文摘要]**

多數複雜且重要的系統之可靠度必須要靠人為操作來維持，其影響因素包含人員的可靠度，以及人員在面對非預期事件下的處理能力。本研究以工程的角度進行飛航管制作業的分析，並且針對管制員間之溝通進行研究，瞭解管制員透過系統的natural redundancy，以及各種不同模式的溝通來維持情境察覺能力。本研究希望能夠探討透過系統的設計，幫助提升管制員合作的效率，並且增進飛航管制的可靠度。

#### **[內容]**

## 1. 研究背景

大部分重要系統的可靠度受到人為因素的影響極大，操作人員必須維持精確的知識，並瞭解系統狀態，藉以面對無法預期的事件，例如錯誤偵測、選擇適當的解決方法等。人因工程學(cognitive ergonomics)可以幫助瞭解人類的行為，並瞭解工作環境如何限制或增加人員的能力。

作者針對愛爾蘭飛航管制中心進行研究，探討管制員如何與其他人員合作，並且利用電腦系統提供飛航管制服務，確保空中交通的順暢與避免可能的航機衝突。本文研究重點在於瞭解工作環境對於人員合作，尤其是有效且可靠的溝通的影響。

本研究共分為四個段落；第一部份介紹人因工程學以及本研究之研究方法；第二部份介紹管制員合作的方式(collaborative dimension)，並指出 shared workspace 在溝通上的重要性；第三部份介紹溝通對系統可靠度的影響；最後則是介紹人員間的溝通與系統可信賴度的因果關係。

## 2. 人因工程學

人因工程學最初探討工作中的人員本身相關特性，現今之研究則納入人員與其環境互動過程的分析，透過工作環境的瞭解，經由工作流程環境的設計、改進、訓練藉以改善人員與環境之互動。

在人因工程學假設中，組織所要求完成的工作(task)與人員在現實環境真正執行的活動(activity)之間存在一定差異，亦即所有規範、程序不一定能被完全、有效率且正確的執行，因此必須依據現實狀況(機械故障、人為誤失etc.)制定規定或程序。藉由瞭解預期工作(task)與實際被執行的活動(activity)間之差距，人因工程學可以幫助瞭解作業程序的限制與人員的能力。

為真正了解人員與工作場所中的活動，本研究認為應在工作現場實地了解該產業的運作，並且觀察人員與環境的互動，以及與其他人員之溝通。若透過訪談的方式可以瞭解工作人員對於其工作環境的意見與工作成效，但許多動作是在人員無意識下的行為，並非全部的工作都會被執行的人員意識到，同時，許多工作是由許多複雜的動作組成，而非單一的行為。

飛航管制是一項高度複雜，並且與飛航安全高度相關之工作，除了日常標準化工作的成效外，本研究希望能夠瞭解管制員對系統可靠度的影響，並且分析工作環境資源(人力、資源、相關文件等)的利用，以及溝通在系統可靠度中扮演的角色。

本研究於管制中心現場實地觀察人員工作，透過筆記、錄影等紀錄資訊，接著透過管制員的回饋證明研究人員對其工作現象的觀察是否正確。研究過程中，必須透過相關文件的閱讀瞭解該項工作的內容，第二步則是透過觀察、訪談瞭解

管制員實際的工作狀況。研究分析重點在於管制員間語音或非語音的溝通、互相合作的機制，以及工具、文件、程序的使用。

### 3. 管制員合作方式

管制員的工作必須由兩名管制員密切配合才能完成，資料席的職責在於協助雷達管制席完成工作，而雷達管制席則是整合雷達與資料席的資訊。管制員必須對不同來源之資訊，加以整合並針對現況提出解決方案。本段落將探討管制員在不同狀況下的合作方式。

管制員在工作之中必須與不同單位的人員合作，包含駕駛員、其他席位的管制員、協調員(coordinator)、data-assistance等。當航機進入或離開管制空域時，管制員必須要與鄰近之席位合作，告知飛行組員改變通訊頻道。若航機在航行中發生異常，管制員必需集合鄰近之席位，透過資訊的傳遞共同解決問題。管制員的工作當中，可以透過許多途徑、設備蒐集資訊，並且集合各種來源的資訊做出正確的判斷與決策。

飛航管制必須要靠兩位管制員在同一個空域共同合作，以提供安全與有效率的飛航管制服務。為確保空域的安全，管制員對航機及交通特性維持高度察覺能力，因此飛航管制資訊必須同時提供給兩位管制員，兩管制員間共通接收視覺的資訊(雷達)、語音通訊，以及互相監視對方的管制動作。然而資訊的取得並不足以確保系統的可靠性，該資訊還必須經過確認的程序，因此管制系統以不同的方式針對同一航機提供相同的資訊，兩管制員必須負責不同的資料來源。此一機制可以幫助提昇資料的品質，並且協助管制員了解航機現狀以及預防可能誤失的發生。

溝通是接收或傳達資訊的流程，在飛航管制工作合作過程中，管制員、駕駛員、其他空域管制員之間常會需要傳達訊息或交換意見，透過的方式包含語音、文字、肢體動作等，資訊傳達交換的模式則可以分為 addressed 與 non-addressed 兩種。Addressed 類型的訊息必須明確指出該訊息的接收者，在面對面溝通的環境下，管制員可以手勢或以語音的方式呼叫，若必須透過電話、無線電、廣播等媒介，亦需在訊息內容中明確列出應接收訊息的對象，並且確保對方確實接收到該訊息；non-addressed 類型的訊息則否，該訊息傳達的過程當中不會指定特定對象，而是希望該區域的所有人員都能聽到，此一類型的溝通方式常出現於尋求其他人員提供意見的狀況之下。

### 4. 溝通與系統可靠度的關係

作者於上述內容中介紹溝通在合作過程中的重要性，溝通可以幫助管制員提供資訊給其他人員，或是接收外界的資訊，所得之資訊則可培養管制員間mutual awareness，藉以提升人員與系統的可靠度。

管制員通常透過溝通來交換意見，除了一般透過語言方式外，管制員亦會透過非語言的肢體動作去提示另外一位管制員。資料傳遞則可為直接由雷達螢幕或其他媒介取得相關訊息，或是經由無線電通話等方式取得他人的資訊；溝通則可以分為三個層級，包含空域狀況的資訊、駕駛員對該資訊的認知程度，最後則是瞭解該狀況對駕駛員飛行的影響。

飛航管制的工作當中，管制員除了注意本身對資訊的察覺能力外，同時還必須瞭解管制員之間mutual awareness，包含其他人員的狀況、工作、空域狀況、系統、程序等，文中並提出數項察覺能力的訓練方式，例如透過收聽無線電對話判斷該管制員現在面臨的狀況或採取的行動等。飛航管制工作要求管制員必須能夠監督他人的工作，並且適時提出相關資訊。

可靠度(dependability)為一系統可正常提供服務的信賴程度，管制員對資訊的察覺能力可以幫助提升可靠度，增進系統的效率以及整體的安全性。主要用來提升可靠度的方法包含預防錯誤的發生以及容錯的概念。

管制工作要求管制員之間必須互相觀察，預測可能的需求，同時兩名管制員必須同時監聽通訊，這些方法可以協助管制員預防可能錯誤的發生。飛航管制作業同時會有兩個以上的資訊來源，兩名管制員透過不同途徑蒐集相關資訊，並且監看對方的工作，藉以提早預測可能的錯誤，並且通知駕駛員或是其他管制員進行必要措施。

## 5. 結論

情境察覺能力可以幫助管制員了解操作相關特性與當時空域的狀況，並且可以幫助管制員選擇正確的決策。過去的研究證明情境察覺可以幫助管制員做出正確判斷，避免發生操作誤失，並且協助解決系統或環境中不正常的狀況，藉以加強整體系統可靠度。

Mutual awareness表示管制員除了必須瞭解本身的工作之外，同時必須觀察其他管制員的作業，在必要時刻提供協助。管制員的工作必須與其他管制員的工作結合才能提供完整的飛航管制服務，此一特性顯示了人員本身情境察覺能力的重要性；飛航管制另項特性則是每位管制員的工作都必須有redundancy的設計，此一特性則突顯mutual awareness的重要，mutual awareness可以幫助管制員監視操作狀況，提升系統可靠度。

大部分系統設計會以較明確(explicit)的機制避免狀況的惡化，例如透過操作程序、工作定義等，然而研究顯示，內隱(inplicit)的機制對系統效率、可靠度也有正面且重要的影響。由於對風險的低估，明確的防範機制(例如任何規定)無法完全有效，而是必須透過內隱的機制來維持組織的mutual awareness。

管制作業的效率與可靠度受到系統設計之影響，對於溝通、mutual awareness

的探討必須深入分析系統設計相關議題。幫助溝通的相關系統技術可增加效率及可靠度，然而此一技術有時卻會降低可用的型態(available modalities)與pluri-addressing能力；本研究認為應提出一新技術來避免造成溝通限制的情形，並且加強其他周遭資訊的取得等特性。

由於資料量相當龐大，本研究建議應根據需求篩選、搜尋相關必要資訊。最後，本研究建議應調查管制單位系統實際操作情形與設計階段預測之間的差異，藉以瞭解設計過程潛在的缺點，並且更深入探討人類的能力。

人因工程學層面的研究中，必須先瞭解在不同領域類似議題的相關研究，接著透過數個相似條件環境的比較完成研究，作者於1998、2000發表針對歐洲國家不同特性之下的相關研究。

## [文獻評析]

### 本文獻的缺點

本文以相當大的篇幅介紹管制員的工作情形，以及飛航管制之基本定義介紹，但作者在本研究僅以描述的方式整理研究過程當中發現的溝通模式，並沒有針對不同溝通模式特性進行比較，或是分析其對於整體工作之影響。作者在本文當中僅概要式的提出了探討管制員溝通問題之概念，若需深入分析不同特性對溝通之影響則可參考作者於1998、2000發表之相關研究。

### 本文獻的優點

作者以人因工程學的方式，藉由工程的邏輯來分析管制員工作的情形；透過訪談或文獻回顧的方式都僅能提供表面的溝通，作者認為應該要在現場實地觀察管制員之互動，才能瞭解每一個動作對溝通之影響。

## [相關文獻]

Morvan E, Rognin L, Spe'randio, J-C. Reshaping task contents: operators' contribution to systems reliability. In Eighth European Conference on Cognitive Ergonomics — ECCE'8, Granada, Spain, 10–13 September 1996. p. 35–40.

Leplat J. Relations between task and activity: elements of elaborating a framework for error analysis. *Ergonomics* 1990;33:1389–402.

Pouge's C, Jacquiau G, Pavard B, Gourbault F, Champion M. Conception de collecticiels pour l'aide à la prise de décision en situation d'urgence: la nécessité d'une approche pluridisciplinaire et intégrée. In: Pavard B, editor. *Systèmes coopératifs: de la modélisation à la conception*, Toulouse: Octare's, 1994. p.



351–75.

Suchman L. Technologies of accountability. Of lizard and aeroplanes. In: Button G, editor. *Technology in working order: studies of work, interaction and technology*, London: Routledge, 1993. p. 113–26.

Schmidt K. Modes and mechanisms of interaction in cooperative work. Outline of a conceptual framework. Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory, 1994 (No. Risø-R-666(EN)).

Bannon L, Bodker S. Constructing common information spaces. In: Hughes J, Rodden T, Prinz W, Schmidt K, editors. *ECSCW'97, Fifth European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, Lancaster, UK, 7–11 September, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p. 81–96.

Rognin L, Bannon L. Constructing shared workspaces through interpersonal communication. In: Fallon E, Hogan M, Bannon L, McCarthy J, editors. *ALLFN'97, Revisiting the Allocation of Functions Issue*, Galway, Ireland, 1–3 October, 1997. p. 227–39.

Rognin L. Handling complexity in control room. Modes and functions of communication in shared workspaces. In: Benckroun TH, Salembier P, editors. *Cooperation and Complexity*, Berlin: Springer, 1999.

Lacoste M. Des situations de parole aux activite's interpre'tatives. *Psychologie Franc,aise* 1983;28(3/4):231–8.

Rognin L. Working in control rooms. Cooperation and communication in shared workspaces. In: Darses F, Zarate P, editors. *Third International Conference on the Design of Cooperative Systems*, Cannes, France, 26–29 May 1998. p. 99–109.

Laprie J-C. Dependability: from concepts to limits. *Symposium on Safety of Computer Control Systems (SAFECOMP'93)*, Poznan, Poland. Springer: Berlin, 1993. p. 157–68.

Rognin L. Coope'ration humaine et su'rete' de fonctionnement des syste`mes complexes. PhD dissertation, Universite' Paul Sabatier, Toulouse, France, 1996.

Rognin L, Salembier P, Zouinar M. Cooperation., interactions and socio-technical reliability: the case of Air-Traffic Control. Comparing French and Irish settings. In *Proceedings of ECCE 9*, Limerick, Ireland, 24–26 August 1998. p. 19–24.

Rognin L, Salembier P, Zouinar M. Cooperation, reliability of sociotechnical systems and allocation of function. *International Journal of Human-Computer Studies*

2000;52(2):357–79.



# **A Model of The Air Traffic Controller's Picture**

Niessen, C.; Eyferth, K.

Safety Science, Vol.37 No.2-3, 2001 pp187-202

## **[英文摘要]**

This paper reviews the development of a model of the air traffic controller's mental image, 'picture', or situation awareness, used for controlling air traffic. The computerised model's development, origins and theoretical basis are outlined, and the model is described in some detail in the context of current air traffic operations. The model can be utilized to explore the potential impacts of future automation on the cognitive performance of the air traffic controller. The general potential contributions of the area of cognitive modeling to system design and training in accelerating industries such as air traffic control, are also discussed.

## **[中文摘要]**

管制員心智意象(或情境察覺)模組可被用於評估自動化對管制員認知績效的影響，在這篇報告中回顧此模式的發展，內容包含電腦化心智意象模式的發展、起源與理論依據，並以目前航管運作環境為基準詳加描述此模組，最後並探討認知模組構建對於系統設計與訓練的貢獻。

## **[內容]**

近年來飛航管制領域中不斷引進新的自動化系統，然而管制員仍須負責最後的系統運作安全與效率，因此當引進新自動化系統或有技術上改變時，必需審慎評估管制員的技術及能力是否足以面對這些轉變，以及這些轉變對管制員造成的影響。此一研究彙整過去六年管制員認知行為之研究成果，整合成一概念性架構，且為了確保所假設的認知行為其功能一致性，因此以電腦模擬有經驗管制員的認知活動來執行此模組，然而不管是電腦模擬或概念性架構都是以管制員的意象(picture)為中心組成。

在飛航管制領域中，將管制員的認知活動稱為對工作環境的意象或情境察覺，代表管制員對目前及未來交通狀況的心智表象(mental representation)，而診斷、決策都是依據目前及期望的情境架構發展而成的，因此當管制員失去交通情境意象時，將會使管制員對相關資訊不瞭解因而導致錯誤的發生。由於管制員的

意象與監督活動關係重大，因此此研究將構建航路管制員的意象與認知處理程序，整個報告分為下列三個部分：(1)彙整理論根據及實驗結果以解釋管制員如何察覺環境中的變動因子(2)介紹整合意象與數個認知處理程序的認知模組(3)分析模組對系統設計、訓練及研究活動的貢獻，以下將一一探討。

## 1. 管制員意象建構之文獻回顧

透過不同的資訊來源(雷達螢幕、管制條、與駕駛員的通訊)，管制員必須管制複雜、變動以及有時間限制的交通環境以診斷航機之間的潛在風險，並解決潛在的衝突事件，因此管制員必須察覺、理解、預測航機的特性與交通狀況之間的關係。Whitfield and Jackson(1982)首先提出意象的概念，有經驗的管制員亦指出意象包含靜態資訊(如對空域架構的知識)與動態資訊(航機的變動數據)，而管制員對航機的記憶取決於航機對管制員的重要性。此外亦有關於意象結構組成之研究，如管制員會依據不同的參數將相關的航機進行群組或配對，而也有研究探討管制員對交通的心智意象是二維或三維構面，Endsley(1995)則提出變動情境的心智表象及情境察覺概念。

## 2. 管制員心智模式構建

建構模組以描述對變動工作環境的心智表象與認知過程之間的複雜交互作用是一有效的方法，而在飛航管制由於工作情境不斷變化，且需與其他相關人員進行協調，因此建構模組時須考慮下列三點：

- (1) 工作環境不斷在改變，而這些變化無法以固定的認知過程描述，需要一個可更新目標與關係的迴圈。
- (2) 必須可預測未來的衝突狀況。
- (3) 必須協調、排序管制工作中同時發生的需求。

在該研究中假定用以處理複雜、變動工作的認知處理方法中，必須有一代表工作環境及促進同時發生的工作要件交互作用的斡旋心智單元(mediating mental unit)，因此以下將概述此一心智表象的基本要項，分別探討心智表象在資訊處理過程中所扮演的角色，以及如何協調同時發生的認知工作。。

### 2.1 理論架構

此一研究回顧過去關於認知行為的相關研究，包含研擬處理動態工作環境特定需求的認知架構圖、認知模組等，並依此為意象下一定義：意象即心智模組，描述顯著的標的及其特性，以及在特定時間點下這些標的之間的關係，而心智表象為按照數個目標所描述而成的交通狀況，當預測航機或排序數個將同時發生的事件時需啟用此意象。而此認知模組被視為工作記憶(working memory)的一部份，所謂的工作記憶是指為了追蹤交通狀況的動態變化及進行複雜推論時可用的資訊，而這些資訊往往只有在變動環境的某時間點下需要，因此一段時間後則無法完整地重現。

### 2.2 MoF1：管制員意象之模組

依據上述對意象之定義建構出一描述管制員認知行為的模組～Modell der Fluglotsenistungen(MoFl)，MoFl 主要由五個模組構建而成，分為：資料選擇(data selection)、預測(anticipation)、衝突解決(conflict resolution)、更新(update)、管制(control)，並由這五個模組構成數個程序以及三個資料處理循環(information processing cycle)，如 Figure 1 所示，未來的模式中預計再加入一個席位知識(sector knowledge)模組，其中資料選擇、預測是主要的診斷程序；衝突解決則包含籌畫並指示管制員的介入；管制程序則以時間管理面排序認知活動。而意象包含標的(航機及其特性)與事件(航機與未來空間、時間關係之預測)兩部分，即所謂的工作記憶(working memory)，是自長期記憶(long-term memory)所觸動的部分，而在工作記憶中，標的與事件的認知可及性並不相等，取決於觸動的等級(activation level)，會受到認知運作的頻率、資料選擇、預測以及執行的控制程序等因素所影響，在 MoFl 模組中，將當下的焦點項目列為最高觸動等級，並假設一次只能專注於一個項目或事件，再隨著外在事件和管制程序轉移至另一項目或事件。

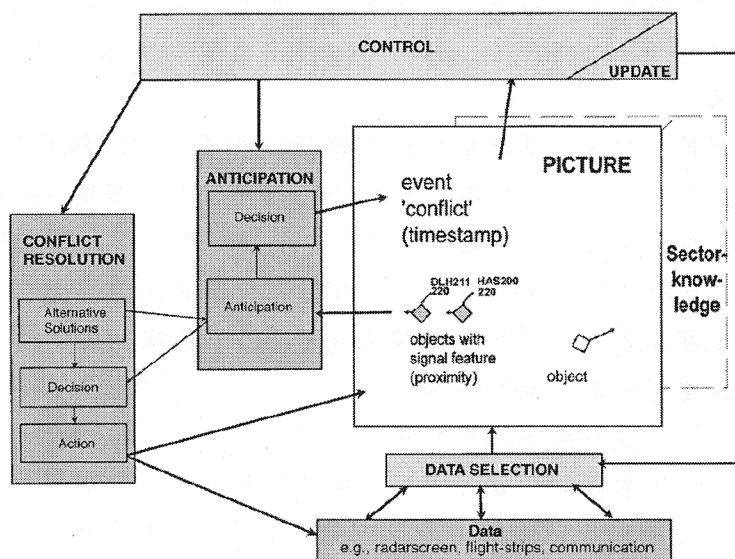


Fig. 1. Main components of MoFl.

以下將依序介紹 MoFl 模組所組成的監督、預測及衝突解決三個資料處理循環，以及管制模組。

### 2.2.1 監督循環(monitored cycle)：資料選擇與更新(如 Figure 2)

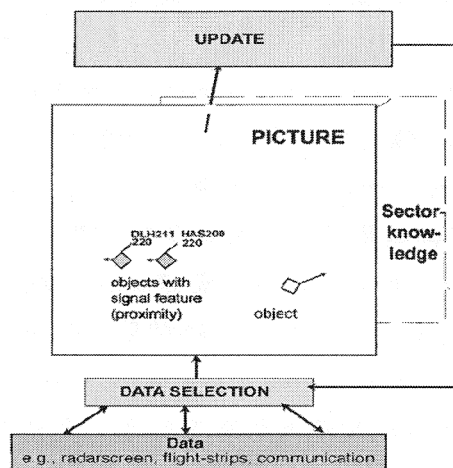


Fig. 2. Monitoring cycle.

監督循環包含資料選擇以及更新兩個程序，由可得的資訊中挑選構成標的的數個特徵並依此建構意象。在此一監督循環中包含了 Endsley(1995)情境察覺中的第一級(認知工作環境中相關因子的狀況、特徵及動態)與第二級(瞭解相關因子的意義)情境察覺。

為瞭解管制員由雷達螢幕及管制條中選擇何種資訊以建構意象，因此以 36 名航路管制員為對象，進行熟悉與不熟悉的動態空域管制模擬，模擬過程中將雷達與管制條上的航機資訊以灰色陰影標記，管制員利用滑鼠的移動選擇所需的資訊，並計算標記改變的頻率及持續時間，以作為量測資訊使用的依據。研究結果顯示管制員會先簡化所得的資訊再構建交通意象，而最常使用的資訊包含航機的識別碼、水平與垂直位置、飛行航向等。

由訪談及其他研究的結果顯示管制員會由雷達中搜尋有意義的信號以避免衝突的發生，這些有意義的信號包含：垂直的移動、和其他航機發生接近事件、或接近空域中衝突經常發生的點等，若航機有上述特徵則代表有較高的觸動程度，管制員會比較注意其動態，且監督該航機的比率會比較高，。

### 2.2.2 預測循環(anticipation cycle) (如 Figure3)

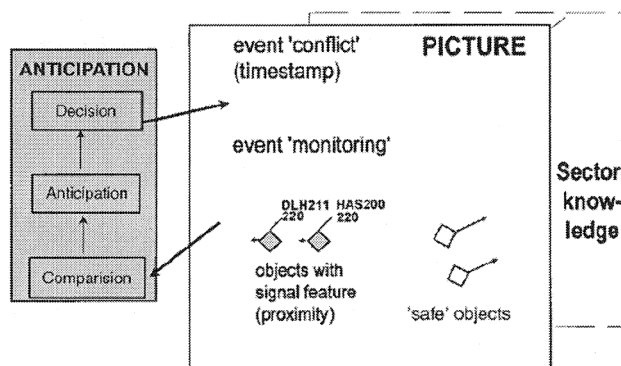


Fig. 3. Anticipation cycle.

預測循環是另一診斷步驟，主要目的在於偵測未來航機之間的關係，包含下

列步驟：(1)若飛機在相同航路或交叉航路上，則必須確認兩架飛機的高度是否相同，或者至少其中一架進行垂直的移動(比較)。(2)心智模擬未來的情況以確定航機之間是否違反隔離標準(預測)。(3)評估模擬的正確性(決策)(4)動態環境的預測包含衡量可採取動作的剩餘時間(時間標記)。由以上的評估結果修正航機的處理順序，並判斷衝突事件是否會發生；若偵測出衝突事件的存在，則需考量衝突解決的剩餘時間，當解決問題的剩餘時間越短，或不能預測未來發展者，則列為優先處理者。

### 2.2.3 衝突解決循環(conflict resolution cycle) (如 Figure 4)

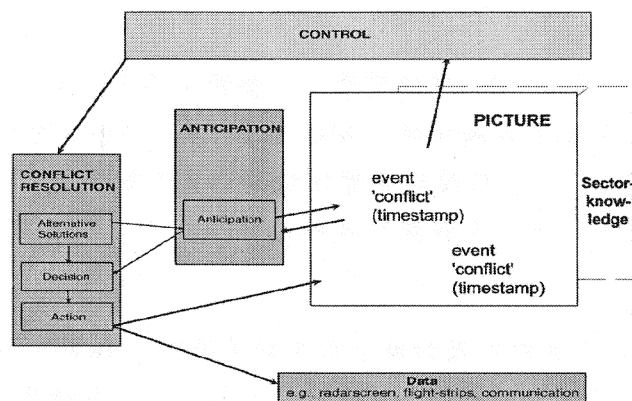


Fig. 4. Conflict resolution cycle.

倘若偵測出衝突的存在，則啟動衝突解決循環以避免衝突的發生，包含下列步驟：選擇最緊急的衝突判斷採取解決行動或撤回解決行動(二擇一的解決)，進行心智模擬解決的過程，並測試解決行動是否會造成後續衝突(決策)，最後執行(行動)。

### 2.2.4 管制模組(control module)

此一模組假設資料選擇、更新、預測、衝突解決等各個模組的流程是不可中斷的，且各模組之間不可同時進行，而管制模組會依排序準則(介入→研擬衝突解決方法→預測所監督的航機或事件→更新航機和事件)以及航機和事件的最新觸動等級擬定處理順序。此外也由於各模組之間不可同時進行，因此必須考慮時間標籤之問題、建構時間管理的策略。

## 3. 航管認知模組的貢獻

構建認知過程並以電腦模擬方式執行的效益包含：(1)提供較口頭描述詳細且清楚的認知過程描述(2)測試理論架構是否可達到預期效果(3)可支援實驗工作所需的假設。而除上述三點外，以下將探討 MoFl 於系統設計及訓練概念上的貢獻。

### 3.1 對系統設計的貢獻

認知模組可應用於評估、預測系統技術上的改變對於管制員的影響，Bass et al.(1995)歸納建構評估人員工作績效的宏觀認知模組需有下列八個要件：可即時



模擬、一般性的技巧以解決非預期事件、可取得新的認知技巧與知識、可以製造錯誤、需包含特定的認知領域以模擬專家績效、需包含認知與技能、使用該介面的知識、可利用該介面和使用者互動等，當模組滿足這些要件時，即可用以評估介面及交通狀況改變對管制員的影響，並依據評估結果判定是否需要修正訓練計畫。然而認知模組應用於系統設計時包含下列3個限制：(1)認知模組的構建往往比較複雜，然而愈複雜的模組需要愈多的人員績效數據才能有效衡量。(2)當管制員接受新的工作引用新的資訊後，必須先檢視對目前技術系統所造成的改變後才考慮對認知模組的影響。(3)由於飛航管制是一團隊工作，管制員之間的行動會相互影響，然而目前的模組仍無法考慮此因素。

### 3.2 對訓練概念的貢獻

情境察覺模組可用於訓練情境察覺，包含資訊選擇的策略、意象的建構、時間管理及注意力的管制等各種訓練，例如 Leuchter(1999)以 MoF1 為基礎建構管制員的電腦訓練環境，是一個情境察覺訓練的專家指導系統，受訓者可直接由系統中接收專家的指導回饋以及模擬情境解說。

## 4. 結論

儘管認知模組於系統設計及訓練上能有諸多限制，但對於系統研究領域仍有相當之貢獻，建議可整合此一研究結果與其他相關研究並構建成一模組，以作為測試其他管制員意象的工具。此外構建認知模組是探討認知過程與意象交互作用的可行研究方向。

## [文獻評析]

這篇報告所介紹的管制員認知行為模組~MoF1，清楚且詳細地描述認知處理程序及意象建構等概念，如報告中所述可應用於研究、設計及訓練之參考，可做為未來發展或設計新航管概念的一重要參考，然而在這報告中並無提及此模組的驗證與評估，因此需再進一步評估此一模組的可用性。另外 MoF1 模組並沒有深入探討管制員認知行為發生的準則及特徵，如管制員選擇資料建構意象所考慮的因素及準則，對此模組後續應用於評估自動化對管制員認知績效影響可能會有所限制。

## [相關文獻]

Amaldi, P. and Leroux, M., 1995. Selecting relevant information in a complex environment: the case of air traffic control. In: Norros, L., Editor, , 1995. *5th European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*, VTT Automation, Finland, pp. 89–98.

Anderson, J.R., 1993. *Rules of the Mind*. , Lawrence Erlbaum, Hillsdale.

- Bainbridge, L., 1975. Working memory in air traffic control. Unpublished manuscripts, University College, Department of Psychology, London.
- Bass, E.J., 1998. Toward an intelligent tutoring system for situation awareness training in complex, dynamic environments. In: Goettl, B.P., Hulff, H.M., Redfield, C.L. and Shute, V.J., Editors, 1998. *Intelligent Tutoring Systems, 4th International Conference, ITS '98. San Antonio, TX, Proceedings Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Berlin, pp. 27–35.
- Bass, E.J., Baxter, G.D., Ritter, F., 1995. Creating models to control simulations: a generic approach. *AI & Simulation* 93, 18–25.
- Bierwagen, T., Eyferth, K., Niessen, C., 1997. Bericht über die Arbeit des DFG-Projektes "Modellierung von Fluglotsenleistungen in der Streckenflugkontrolle" vom 15.9.1994 bis zum 14.9.1996. ZMMS-Forschungsbericht, 97-2. Technische Universität, Berlin.
- Bierwagen, T., Eyferth, K., Helbing, H., Kolrep, H., 1995. Report on the work carried out 15.9.1992–14.9.1994. Forschungsbericht aus dem Institut für Psychologie 95-2. Technische Universität, Berlin.
- Bisseret, A., 1971. Analysis of mental processes involved in air traffic control. *Ergonomics* 14 5, pp. 565–570.
- Bisseret, A., 1981. Application of signal detection theory to decision making in supervisory control. *Ergonomics* 24, pp. 81–91.
- Boudes, N. and Cellier, J.M., 1998. Études du champ d'anticipation dans le controle du trafic aerien. *Le Travail Humain* 61 1, pp. 29–50.
- Boudes, N., Amaldi, P., Cellier, J.M. and Leroux, M., 1995. Forseeing judgement in an informationally rich environment: the case of air traffic control. In: Norros, L., Editor, , 1995. *5th European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*, VTT Automation, Finland, pp. 76–88.
- Brehmer, B., 1992. Dynamic decision making: human control of complex systems. *Acta Psychologica* 81, pp. 211–241. Cellier, J.-M., Eyrolle, H. and Mariné, C., 1997. Expertise in dynamic environments. *Ergonomics* 40 1, pp. 28–50.
- Corker, K.M., Smith, B.R., 1993. An architecture and model for cognitive engineering simulation analysis: application to advanced aviation automation. Presented at AIAA Conference on Computing in Aerospace, San Diego, CA. Available at: [http://george.arc.nasa.gov/af/aff/midas/www/AIAA\\_Final.txt](http://george.arc.nasa.gov/af/aff/midas/www/AIAA_Final.txt).

- Cowan, N., 1993. Activation, attention, and short term memory. *Memory and Cognition* **21**, pp. 162–167.
- Craik, K.J.W., 1943. *The Nature of Explanation*. , University Press, Cambridge.
- Endsley, M.R., 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* **37** 1, pp. 32–64.
- Falzon, P., 1982. Display structures: compatibility with the operator's mental representation and reasoning process. Proceedings of the 2nd European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, pp. 297–305.
- Flach, J.M., 1995. Situation Awareness: Proceed with Caution. *Human Factors* **37** 1, pp. 149–157.
- Garavan, H., 1998. Serial attention within working memory. *Memory & Cognition* **26** 2, pp. 263–276.
- Gentner, G. and Stevens, A.L., 1983. *Mental Models*. , Erlbaum, Hillsdale.
- Glenberg, A.M. and Langston, W.E., 1992. Comprehension of illustrated text: pictures help to build mental models. *Journal of Memory and Language* **31**, pp. 129–151.
- Glenberg, A.M., Meyer, M. and Lindem, K., 1987. Mental models contribute to foregrounding during text comprehension. *Journal of Memory and Language* **26**, pp. 69–83.
- Hacker, W., 1978. *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurspsychologie*. , Hans Huber, Bern.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R. and Boreham, N., 1995. Human operator expertise in diagnosis, decision making, and time management. In: Hoc, J.-M., Cacciabue, P.C. and Hollnagel, E., Editors, 1995. *Expertise and Technology: Cognition and Human-Computer Interaction*, Erlbaum, Hillsdale, pp. 19–42.
- Isaak, A.R., 1997. Situational awareness in air traffic control: human cognition and advanced technology. In: Harris, D., Editor, , 1997. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics 1*, Ashgate, Aldershot, pp. 185–191.
- Isaak, A.R. and Marks, D.F., 1994. Individual differences in mental imagery experience: developmental changes and specialization. *British Journal of Psychology* **85**, pp. 479–500.

- Johnson-Laird, P.N., 1983. *Mental Models.* , Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kirwan, B. (Ed.), 2000a. Coping with accelerating socio-technical systems: a summary of Badhomburg NeTWORK Workshop, July 1997. *Safety Science* 36.
- Kirwan, B., 2000b. The role of the controller in the accelerating industry of air traffic management. *Safety Science* 36.
- Laird, J.E., Newell, A. and Rosenbloom, P.S., 1987. Soar: an architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence* 33, pp. 1–64.
- Leroux, M., 1993. The role of verification and validation in the design process of knowledge based components of air traffic control systems. In: Wise, J.A., Hopkin, V.D. and Stager, P., Editors, 1993. *Verification and Validation of Complex Systems: Human Factor Issues (NATO-ASI Series, F 110)*, Springer, Berlin, pp. 357–373.
- Leuchter, S., 1999. Integration eines kognitiven modells in ein simulationssystem zum training der luftverkehrsüberwachung. Unpublished diploma thesis, Technical University of Berlin, Berlin.
- Leuchter, S., Niessen, C., Eyferth, K., Bierwagen T., 1997. Modelling mental processes of experienced operators during control of a dynamic man–machine system. In: Borys, B.-B. Johannsen, G., Wittenberg, C., Strätz, G. (Eds.), XVI European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control. University of Kassel, Kassel, pp. 268–276.
- Meyer, D.E. and Kieras, D.E., 1997. A computational theory of executive processes and multiple-task performance: part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review* 104 1, pp. 3–65.
- Meyer, D.E. and Kieras, D.E., 1997. A computational theory of executive processes and multiple-task performance: part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review* 104 4, pp. 749–791.
- Mogford, R.H., 1997. Mental models and situation awareness in air traffic control. *The International Journal of Aviation Psychology* 7 4, pp. 331–341.
- Moray, N., 1997. Models of mental models. In: Sheridan, T.B. and Lunteren van, T., Editors, 1997. *Perspectives on the Human Controller*, Erlbaum, Hillsdale, pp. 271–285.
- Niessen, C., Eyferth, K., Bierwagen, T., 1997. Modelling cognitive processes of experienced air traffic controller. In: Bagnara, S., Hollnagel, E., Mariani, M., Norros,

- L. (Eds.), Sixth European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control, Time and Space in Process Control, 23.9.–26.9.1997, Baveno, Italy.
- Niessen, C., Leuchter, S. and Eyferth, K., 1998. A psychological model of air traffic control and its implementation. In: Ritter, F.E. and Young, R.M., Editors, 1998. *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Modelling (ECCM-98)*, Nottingham University Press, Nottingham, pp. 104–111.
- Norman, D.A., 1983. Some observations on mental models. In: Gentner, D. and Stevens, A.L., Editors, 1983. *Mental Models*, Erlbaum, Hillsdale, pp. 7–14.
- Opwis, K., Spada, H. (Eds), 1994. Modellierung mit hilfe wissensbasierter systeme. In: Enzyklopädie der Psychologie. Hogrefe, Göttingen, pp. 199–248.
- Rasmussen, J., 1986. Information Processing and Human–Machine Interaction. , North-Holland, New York.
- Roske-Hofstrand, R.J. and Murphy, E.D., 1998. Human information processing in air traffic control. In: Smolensky, M. and Stein, E., Editors, 1998. *Human Factors in Air Traffic Control*, Academic Press, San Diego, CA, pp. 65–113.
- Sanford, A.J. and Garrod, S.C., 1981. Understanding Written Language. , John Wiley, New York.
- Schmid, U. and Kindsmüller, M.C., 1996. Kognitive Modellierung. , Springer, Berlin.
- Sperandio, J.C., 1971. Variations of operator's strategies and regulating effects on workload. *Ergonomics* **14** 5, pp. 571–577.
- Stark, N.H., Fricke, M., 1998. Zwischenbericht des teilprojektes 1: management von potentiellen luftfahrzeugkonflikten durch einen kooperativen planungsprozeß (Unveröffentlichtes Dokument). Technische Universität, Berlin.
- van Dijk, T. and Kintsch, W., 1983. Strategies of Discourse Comprehension. , Academic Press, San Diego, CA.
- Whitfield, D. and Jackson, A., 1982. The air traffic controller's picture as an example of mental model. In: Johannsen, G. and Rijnsdorp, J.E., Editors, 1982. *Proceedings of the IFAC Conference on Analysis, Design and, Evaluation of Man-Machine Systems*, Pergamon Press, London, pp. 45–52.
- Wilson, J.R. and Rutherford, A., 1989. Mental models: theory and application in human factors. *Human Factors* **31** 6, pp. 617–634.

Woods, D.D., 1988. Coping with complexity: the psychology of human behaviour in complex systems. In: Goodstein, L.P., Anderson, H.B. and Olsen, S.E., Editors, 1988. *Tasks, Errors and Mental Models*, Taylor & Francis, Basingstoke, Hampshire, pp. 128–148



# **A Review of Situation Awareness Literature Relevant to Pilot Surveillance Functions**

John Uhlarik, Doreen A. Comerford

FAA Technical Report DOT/FAA/AM-02/3, March 2002

## **[英文摘要]**

This paper addresses situation awareness (SA) as it relates to surveillance activities in commercial air carriers. The concept of SA in aerospace operations and relevant literature are reviewed and critiqued. Four different approaches that are used to explain SA are examined, and the three major SA measurement techniques and their respective subcategories are described. Research that has explored these techniques is reviewed, and the shortcomings of the measures are discussed in terms of relevant psychology measurement criteria (e.g., validity). Several components of SA also are discussed because they appear to relate to surveillance activities. Research related to these components is reviewed, and a summary that focuses on the current state of SA research is provided, along with an evaluation about the future of SA research and applications.

## **[中文摘要]**

本研究採用文獻回顧法，針對 1998 年之前有關情境察覺(Situation Awareness, SA)的各種研究進行調查，試圖(1)綜整四種 SA 模式——資訊處理模式(information processing models)、感知/行動循環(perception action cycle)、決策模式(decision making models)、現象學描述(phenomenon description)；(2)探討三種衡量 SA 的方法——直接衡量(explicit measures)、含蓄衡量(implicit measures)、主觀衡量(subjective measures)的實際運用及優缺點，並提出未來發展新的衡量方法的建議；(3)以駕駛員的監視活動為例，來說明 SA 的幾項組成要素。本文結論認為目前沒有任何一種 SA 的定義和衡量方法是完美無缺的，因此對 SA 提出未來值得發展的研究議題供大家參考。

## **[內容]**

至今並沒有明確的 SA 定義，在 Human Factor 第卅七卷第一期的 SA 專輯中，



九篇文獻就有九個不同的定義。不過，現今最廣為引用的定義是 Endsley 於 1995 年所述的「情境知覺是在特定的時間和空間內對環境中各種要素的知覺、對其意義的理解，及預測它們隨後的狀態。」

本研究綜整了四種 SA 模式——資訊處理模式(Information-Processing Models)、感知/行動循環(Perception/Action Circle)、決策模式(Decision Making)、現象學描述(Description as Phenomenon)。

### 一、資訊處理模式

Endsley 針對 SA 所提出的資訊處理機制包含短期感覺儲存、圖式(schema)、注意力等心理學概念。個人的 SA 受限於自身有限的注意和工作記憶容量，並受到自身的目標和期望來影響注意被引導的方式、資訊被接收的情況、資訊所具有的意義。自動化雖然可用來克服注意的極限，卻可能讓人過於敏感反而對 SA 有負面影響。

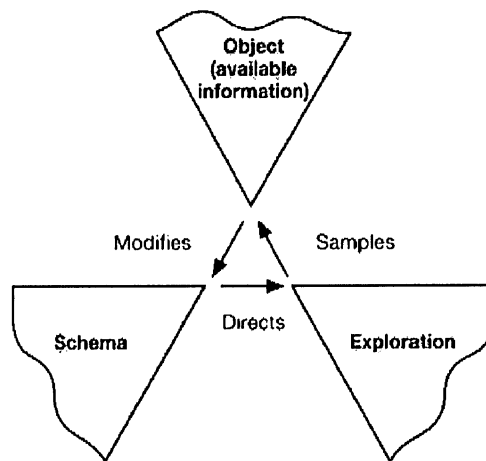
Endsley 將 SA 分成三個層面，第一個層面是對環境中各項要素的感知，第二個層面是對目前情境的理解，第三個層面是對未來狀態的投射。當駕駛員看見地障，代表已經察覺到目前環境中的要素(層面一)，若駕駛員判斷地障有危害，代表已經理解到危險情境(層面二)，假如駕駛員能夠預估航空器碰撞到地障的時間並決定何時需要採取避讓行動，則代表已經預測到未來的狀態(層面三)。

Endsley 認為 SA 的操作型定義不應包含涉及獲得 SA 的任何程序，因此她主張衡量這些程序的結果(例如當事人是否理解該事件)，並建議對 SA 下定義時只能觸及駕駛員對於環境動態變化的知識，而不應觸及駕駛員所有的知識。

資訊處理模式有兩個潛在的問題：(一)此模式包含了本身就不夠明確的心理學概念(如注意、圖式)，容易引發爭論；(二)以此模式來詮釋 SA，會使獲得 SA 的程序變得相對靜態且有限，而無法適切地表現出 SA 的動態特性。

### 二、感知/行動循環

Adams、Tenney 和 Pew 所提出的感知/行動循環有三項組成元素：對象(object)、圖式(schema)、探索(exploration)。第一項是指外部環境可獲得的資訊，第二項是指藉由訓練/經驗而在理論上構成有機體並儲存成長期記憶的內部知識，第三項是指觀察者對環境的搜查。對象會調整圖式，圖式會引導探索，而探索則造成對象的篩選，所以資訊匯集的程序是不斷循環的，既沒有起點也沒有終點。



Adams 等人認為應以結果和過程兩者來將 SA 觀念化：就結果來說，SA 是指目前發揮作用的圖式的狀態，就過程來說，SA 是指整個感知循環的目前狀態。在高需求情境中(例如緊急情況)，可以將圖式分解成兩個部份：外顯焦點(explicit focus)和內顯焦點(implicit focus)。前者在本質上等同於工作記憶，後者則是發揮作用的整個圖式。他們也建議將長期情景記憶(long-term episodic memory)和長期語意記憶(long-term semantic memory)納入此模式之中。

感知/行動循環有兩個重大缺失：(一)如同資訊處理模式一般。此模式也包含了本身就不夠明確的心理學概念(如語意記憶、圖式)，容易引發爭論；(二)無法利用此模式來衡量 SA 的結果(發揮作用的圖式的狀態)和過程(感知循環的狀態)。

Smith 和 Hancock 利用此模式將 SA 重新定義為「適應性的、由外部引導的意識」，「適應性」是指在目前情勢和環境限制下，操作者使用知識和行為來達成目標的過程，「外部引導」是指操作者的目標是位於環境之內而非位於操作者心中，「意識」是指操作者知識生成行為的可以故意操縱的部份。

Smith 和 Hancock 也為感知/行動循環加入一個新的組成元素：常量(invariant)。他們將常量置於整個循環的正中央，並認為常量會聯接對象、圖式、探索而產生勝任的行為。因此他們將 SA 視為在動態工作環境中適當地引導意識而產生勝任表現(competent performance)的能力。這代表 SA 不應由表現的評估來衡量，而應由操作者的勝任能力(對目標的知識、法則)和目前情境來衡量。此方法和 Endsley 的看法同樣強調目前情境的重要性，但有一點和 Endsley 的看法不同，那就是駕駛員的勝任能力包含了靜態的法則(例如 FAA 的儀器飛行規則)。

雖然 Smith 和 Hancock 提出了勝任表現的構想，但勝任表現是否就代表對 SA 的適當衡量呢？具有勝任表現不見得就有 SA，例如自動化系統可以執行工作，其勝任表現只是巧合，因此勝任表現可能只是 SA 的必要條件而非充分條件。

### 三、決策模式

在決策模式方面，Crane 認為 SA 不是單純的一種心理學概念，他認為 SA 等同於專門知識，如同 Smith 和 Hancock 的勝任能力一樣，因此 SA 就是專業水準的表現。如此造成 Crane 的想法有前述的缺失：具有專業水準的表現不見得就

有 SA。另一個缺失是很難對專業水準的表現做出操作性定義。要判斷表現是否快速且無誤是件易事，但要客觀地判斷表現是否毫不費力就比較困難，特別是若要以費力的程度來衡量 SA 就會讓精神工作負荷的問題浮上台面。

Federico 也依據判斷和決策的觀念將 SA 定義為：估算情境、瞭解情境、定義問題、歸類事件、建構情境的模樣、建立事件的心智模式、在心智上描繪情境、或是塑造事件的形象。

有些研究者在用詞上將 SA 與情境評估(situation assessment)視為相同，例如 Wickens、Gordon 和 Liu 交互使用 SA 和情境評估。而 Federico 和 Fracker 則用情境評估來解釋 SA。但無論用詞如何，就像資訊處理模式、感知/行動循環一樣，情境評估也是經常以模糊不清的心理學概念來表達，例如 Federico 在理論上將情境評估視為圖式驅動程序的結果，也就是說，情境評估可看成以知識叢集(即圖式)為基礎的行動而讓駕駛員來歸類事件。目前對圖式的瞭解還不明朗，因此要將情境評估當作 SA 的替代品將會引發許多問題。

#### 四、現象學描述

在現象學描述方面，Flach 根據 Underwood 的心理學分類法，認為 SA 不應用來解釋行為，而應僅僅當作描述性的標籤。Underwood 將心理學觀念分成層次一到層次五：層次一最高，不需要從客觀資料來進行觀念上的躍進；層次五最低，需要從客觀資料進行觀念上的多次躍進；層次二是「現象命名」，代表現象被發現但因果程序或條件超越定義此現象的操作；層次三是「因果命名」，代表名稱被用在假想的程序、狀態或能力而做為觀察的因果。

Flach 發現到將 SA 視為層次三的觀念會有兩個問題：(一)若 SA 可視為層次三的觀念，將因為概念是不可觀察的，而不可能做到實務測試；(二)如 Underwood 所述，層次三的觀念必然導致循環式的推論，而 Flach 和其他學者發現到現今 SA 文獻存在著這種循環，因此在理論上，SA 是不能衡量的，也不能做為解釋性工具或進入循環式邏輯內。

Flach 主張 SA 可以用來界定問題的邊界。首先，SA 使研究者明白客觀工作情境和操作者的精神知覺而協助研究者注意相關變數。其次，界定問題的界線可以讓研究者找出類似的事件而能歸類。

現象學描述的最大問題是：若將 SA 當作描述性的標籤，那麼還需要 SA 這個術語嗎？即使不用 SA 這個術語，還是可以用來描述許多現象。

#### 五、SA 的衡量

大部份的研究者將衡量 SA 的方法區分成下列三種：直接衡量(explicit measures)或稱記憶探查衡量、含蓄衡量(implicit measures)或稱作業績效衡量、主觀衡量(subjective measures)，並探討其實際運用及優缺點。

##### (一) 直接衡量

直接衡量或稱記憶探查衡量，需要受測者自我報告記憶中有什麼內容。幾名研究者同意這種衡量具有高效度，因為與 SA 的理論一致。Endsley 和 Fracker 提出三種類型的直接衡量方法：回溯衡量(retrospective measures)、同時衡量(concurrent measures)、凍結衡量(measures utilizing the freeze technique)。第一種是在任務完成後進行衡量，第二種是在任務執行過程中進行衡量，第三種則介於前兩者之間，是在任務中途向受測者問問題，例如 SAGAT(Situation Awareness Global Assessment Technique)。

第一種方法固然有用，但只在任務剛結束時才能可靠地衡量 SA。第二種方法的缺點是增加受測者在執行任務期間的精神工作負荷，且會誘導受測者注意到平常忽略的地方。第三種方法消除了回溯衡量的時間問題，也沒有同時衡量的工作負荷問題，但並非毫無缺點。首先 Fracker 指出工作記憶的暫存限制會讓凍結之後超過兩秒再來詢問時可能有錯誤的回憶。其次此方法如同同時衡量一般，都不是自然的環境。再者此方法假設受測者可以回想起有關工作環境的記憶，但有些知識是可以沒有知覺就能自然反應出來的。最後，此方法只能讓研究者以其知識狀態來推測受測者的行動。

Endsley 認為直接衡量是客觀的，因為所蒐集的資料可以客觀地與真實狀態做比較。儘管如此，Fracker 卻認為直接衡量是主觀的，因為資料是以自我報告的方式來蒐集，而非來自可觀察的行為，所以可能受到操作者的偏見或先入為主的觀念所污染。此外，由於工作環境是動態的且很複雜，因此直接衡量難以在實驗室之外進行。

## (二) 含蓄衡量

含蓄衡量或稱作業績效衡量，利用任務表現來間接推斷受測者的 SA，例如計算目前航空器機頭朝向和指定朝向之間的偏差量便可衡量 SA。Endsley 提出三種類型的含蓄衡量方法：整體衡量(global measures)、外在任務衡量(external task measures)、嵌入任務衡量(embedded task measures)。

第一種簡單地衡量整體的任務表現。第二種方法讓資訊從顯示器上消失或改變顯示器上的資訊，例如讓一架航空器從航管雷達螢幕上消失，再記錄受測者對此變化做出反應的時間。其缺點是干擾性過強且讓受測者做出不正常的反應，例如航管人員可能察覺到螢幕上某架航空器不見了，但不會立刻表現出這項認知，而是先把手頭上的任務完成後再來處理這個問題。第三種方法評估子任務的表現，例如在模擬機內讓航空器偏離飛航路徑，再由駕駛員做距離估測、目標定位、重新定向。此方法有助於取得與 SA 相關的量化資訊，但 Endsley 認為在某方面有高度 SA 可能造成另一方面有低度 SA，所以此方法只能讓研究者獲得 SA 的部份資訊。另外，Endsley 和 Fracker 也懷疑要確定某些情況的衡量參數將是困難的。

儘管含蓄衡量在理論上是沒錯的，但實際上卻不常被用來衡量 SA。Starter 和 Woods 建議使用測後簡報來瞭解做出行為的原因。另外，Pritchett 等人建議：(一)迫使受測者進行可衡量的活動、(二)讓受測者必須做出符合標準程序的適當

回應以利於推斷 SA、(三)要忽略受測者不夠相信資訊或感到某個行為可能違反標準程序的情況。

含蓄衡量的優點在於此方法是客觀而不干擾衡量且較易於使用。其缺點在於拙劣的表現可能來自其他因素而非 SA 不足。良好的表現需要高度的 SA，但高度的 SA 並不必然就有良好的表現。因此即使含蓄衡量發現拙劣的表現，受測者也可能有高度的 SA。

### (三) 主觀衡量

主觀衡量利用受測者自我評等或觀察者的評估來衡量 SA，例如使用 Likert 七點評量表來給予 SA 的等級高低。優點是易於使用且成本較為低廉，也適合於模擬或實際工作環境。但 Fracker 認為主觀衡量不能在不同評等者的結果之間做比較，意思是說，即使兩個人同樣做出 4 級評等，卻可能代表不同的感受程度。

主觀衡量有三種類型：自我直接評等(direct self-ratings)、自我比較評等(comparative self-ratings)、觀察者評等(observer ratings)。

第一種方法讓受測者自己評斷本身的 SA，例如使用 Likert 七點評量表，優點是受測者最明瞭自己知道什麼和不知道什麼。但 Endsley 認為受測者可能難於在工作當中評估自己的 SA，因為他們當時不能比較本身知覺與真實狀態的差別。雖然研究者可以改在工作後才進行評等，讓受測者知道真實狀態，再與先前經歷過的知覺做比較。如此一來，反而讓受測者的評等受到工作過程中表現優劣的影響，例如駕駛員覺得剛才的飛行表現不錯，於是將 SA 的評等打得很高，但事實上並不盡然。Sarter 和 Woods 也批評此方法忽略了獲得 SA 的過程而只將 SA 當成結果來衡量。

自我直接評等的選擇度(selectivity)是令人質疑的，因為評等是用來衡量受測者對 SA 的信心高低，而不是 SA 的程度。即使如此，Endsley 認為即便是只衡量對 SA 的信心高低，也有某種程度上的意義。例如駕駛員對自己的 SA 沒信心，就會選擇多看幾次儀表而非立刻做出控制行動。

情境知覺評等技術(SART, Situation Awareness Rating Technique)是比 Likert 評量表較為複雜的自我直接評等方法。Taylor 建立了 10 維 SART，十個維度是指：情境的不穩定性、情境的複雜性、情境的變化性、情境的覺醒、注意力集中、注意力分配、備用的心智能力、資訊量、資訊品質、熟悉度。這十個維度可以進一步歸類成三個整體構面：注意力資源的需求(包含情境的不穩定性、情境的複雜性、情境的變化性)、注意力資源的供給(包含情境的覺醒、注意力集中、注意力分配、備用的心智能力)、對於情境的瞭解(包含資訊量、資訊品質、熟悉度)。

SART 的優點是利用飛行組員的知識來發展評比尺度，且 3 維 SART 易於使用，並可掌握 10 維 SART 所能掌握的。雖然 Endsley 發現 SART 比表現衡量來得更敏感，Selcon 和 Taylor 也發現 SART 會比單用一個數字來對整個 SA 做評等來得更為敏感。但不管是 3 維或 10 維 SART 都容易增加工作負荷，反之對整個 SA 做評等就不會那麼容易增加工作負荷。本研究則主張 SART 是否比起對整個 SA

做評等來得敏感，其實並不十分明確。

SART 的選擇度也同樣令人懷疑：SART 的維度到底是在衡量 SA 或在衡量精神工作負荷？於是 Selcon 將 SART 與 NASA 的任務負荷指標(NSAS TLX)做比較。NASA TLX 是用來衡量精神工作負荷，而不是衡量 SA 的。Selcon 等人發現 SART 確實衡量到有別於精神工作負荷的事物，因而認為 SART 是有選擇度的。

自我比較評等讓受測者比較一項測試和另一項測試之間的自我評估 SA，例如從評估精神工作負荷的主觀工作負荷支配技術(SWORD, Subjective Workload Dominance Technique)修正而成的 SA-SWORD。SA-SWORD 讓受測者在各種不同的設計間主觀地對自己所體驗的 SA 做評等，例如比較不同的駕駛艙設計。

SA-SWORD 有兩個缺點：(一)只能用於實驗設計的情況；(二)如同全部的主觀衡量方法，SA-SWORD 並不能確保良好的一致性。例如 Vidulich 和 Hughes 發現半數的受測者以注意到的資訊量來評等自己的 SA，而另一半受測者則以沒注意到的資訊量來評等自己的 SA。

觀察者評等讓無偏見、中立的專家觀察受測者執行任務的情況並對受測者的 SA 做評等。好處是評等者知道真實狀態，但壞處則是評等者不知道受測者心中對情境的瞭解程度。

## 六、結論

本研究對 SA 的衡量提出三項建議：(一)應盡可能採用數項關於 SA 的衡量以確保同時一致的效度；(二)情境要持續夠長的時間好讓受測者融入測試環境當中；(三)要確定 SA 是行為改變的直接原因。

以駕駛員的監視活動為例，SA 的組成元素有四項：環境知覺、空間知覺、時間知覺、導航知覺。在環境知覺方面，駕駛員必須對天氣、風切、鄰近航空器、機場情況、結冰有所瞭解。在空間知覺方面，包含了航空器姿態、相對於地障的位置、航路點和助導航設施、飛行路徑向量、速度。時間知覺是駕駛員要知道在期限之前還有多少時間可用。導航知覺則是駕駛員回答下列問題的能力：「我是否位於我應位於的地方？」、「我是否知道我相對於其他航空器、地障和當地天氣狀況的何方？」。

由前述的論述可知 SA 是難以定義、解釋並衡量的。本研究的結論認為目前沒有任何一種 SA 的定義和衡量方法是完美無缺的，雖然可以從研究 SA 的組成元素著手，但目前的成效並不突出，還需要進一步努力。

## [文獻評析]

本研究之優點有：一、有系統地整理許多 SA 文獻，而能完整地呈現 SA 的各種理論面貌和衡量方法；二、綜合比較各種模式和技術的優劣，讓研究人員在進行 SA 研究之前得以依據研究對象的特質來設計適當的實驗程序，使其論述更為充分且清晰。缺點是僅侷限於行為科學和航空心理學方面的論述而已，並未提

及諸如生理測量等航醫方面對 SA 的影響程度。

由於本研究僅涵蓋 1998 年之前所發表的 SA 文獻，有關精神工作負荷與 SA 之間的相關性研究介紹還不夠充足，只是點到為止，因此不能清楚地回答許多人在 SA 研究當中所面臨的重大疑問：工作負荷與 SA 之間到底有沒有關係呢？關係如何產生？這是研究人員閱讀此一技術報告後必須用心思考的問題，且必須蒐集近幾年探討精神工作負荷與 SA 關係的文獻。如果不能清楚地了解這兩者的關係，就不能保證研究的主題到底是 SA、精神工作負荷，或是兩者都有，而可能在解釋研究結果時發生混淆。

即便存在著前述缺點與問題，就整體來說，作者以公正客觀的立場，從正反兩面來針對各種 SA 研究進行嚴謹的學術批評，提供了許多發人省思的線索。總之，這是一篇十分值得參考的 SA 文獻，必然可為國內 SA 研究人員必然帶來啟發。

本文與駕駛員在 CNS/ATM 的監視活動有關，但某些部份觸及航空心理學方面，也與航醫領域有關。

## [相關文獻]

Adams, M.J., Tenney, Y.J., & Pew, R.W. (1995). Situation awareness and the cognitive management of complex systems. *Human Factors*, 37, 85-104.

Andre, A.D., Wickens, C.D., Moorman, L., & Boschelli, M.M. (1991). Display formatting techniques for improving situation awareness in the aircraft cockpit. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1, 205-18.

Aretz, A.J. (1991). The design of electronic map displays. *Human Factors*, 33, 85-101.

Baxter, G.D. & Bass, E.J. (1998). Human error revisited: Some lessons for situation awareness. *Proceedings of the Fourth Symposium on Human Interaction with Complex Systems*.

Crane, P.M. (1992). Theories of expertise as models for understanding situation awareness. In *Proceedings of the 13th Annual Symposium on Psychology in the Department of Defense* (pp. 148-52).

Endsley, M.R. (1989). A methodology for the objective measurement of situation awareness. In *Situational Awareness in Aerospace Operations* (pp. 1-9). Copenhagen, Denmark: NATO - AGARD.

Endsley, M.R. (1995a). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 65-84.

Endsley, M.R. (1995b). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems.

Human Factors, 37, 32-64.

Endsley, M.R. (1998). A comparative analysis of SAGAT and SART for evaluations of situation awareness. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting (pp. 82-6). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Endsley, M.R., & Rodgers, M.D. (1994). Situation awareness information requirements analysis for en route air traffic control. (DOT/FAA/AM-94/27). Washington, DC: Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine.

Entin, E.B. (1998). Measuring situation awareness in an attack helicopter domain: An exploratory investigation. In Proceedings of the Human Factors Society 42nd Annual Meeting (pp. 249-53). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Federico, P. (1995). Expert and novice recognition of similar situations. Human Factors, 37, 105-22.

Flach, J.M. (1995). Situation awareness: Proceed with caution. Human Factors, 37, 149-57.

Fracker, M.L. (1988). A theory of situation assessment: Implications for measuring situation awareness. In Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting (pp. 102-6). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Fracker, M.L. (1989). Attention allocation in situation awareness. In Proceedings of the Human Factors Society 33rd Annual Meeting (pp. 1396-1400). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Fracker, M.L. (1991). Measures of situation awareness: Review and future directions. (AL-TR-1991-0128). Wright-Patterson AFB OH: Armstrong Laboratory, Crew Systems Directorate.

Gaba, D.M., Howard, S.K., & Small, S.D. (1995). Situation awareness in anesthesiology. Human Factors, 37, 20-31.

Harwood, K., Barnett, B., & Wickens, C.D. (1988). Situational awareness: A conceptual and methodological framework. In F.E. McIntire (Ed.) Proceedings of the 11th Biennial Psychology in the Department of Defense Symposium (pp. 23-7). Colorado Springs, CO: U.S. Air Force Academy.

Kass, S.J., Herschler, D.A., & Companion, M.A. (1991). Training situational



awareness through pattern recognition in a battlefield environment. *Military Psychology*, 3, 105-12.

Metalis, S.A. (1993). Assessment of pilot situational awareness: Measurement via simulation. In *Proceedings of the Human Factors Society 37th Annual Meeting* (pp. 113-7). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

National Transportation Safety Board. (1996). In-flight Icing Encounter and Loss of Control Simmons Airlines, d.b.z. American Eagle Flight 4184 Avions de Transport Regional (ATR) Model 72-212. (Tech. Report NTSB-AAR-96-02). Washington: National Transportation Safety Board.

O'Donnell, R.D., & Eggemeier, F.T. (1986). Workload assessment methodology. In K.R. Boff, Kaufman, & J. Thomas (Eds.). *Handbook of Perception and Human Performance: Vol II: Cognitive Processes and Performance* (Chpt. 42). New York: Wiley.

Pritchett, A.R., Hansman, R.J., & Johnson, E.N. (1995). Use of testable responses for performance-based measurement of situation awareness. In D.J. Garland, & M.R. Endsley (Eds.). *Experimental Analysis and Measurement of Situation Awareness* (pp. 75-81). Daytona Beach, FL: Embry-Riddle Aeronautical University Press.

Regal, D.M., Rogers, W.H., & Boucek, G.P., Jr. (1988). Situational awareness in the commercial flight deck: Definition, measurement, and enhancement. (SAE Technical Paper No. 881508). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Sarter, N.B., & Woods, D.D. (1991). Situation awareness: A critical but ill-defined phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1, 45-57.

Sarter, N.B., & Woods, D.D. (1995). How in the world did I ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors*, 37, 5-19.

Selcon, S.J. & Taylor, R.M. (1989). Evaluation of the situational awareness rating technique (SART) as a tool for aircrew systems design. In *Proceedings of the AGARD AMP Symposium on Situational Awareness in Aerospace Operations*, CP478. Seuilly-sur Seine: NATO AGARD.

Selcon, S.J., Taylor, R.M., & Koritsas, E. (1991). Workload or situational awareness? TLX vs. SART for aerospace systems design evaluation. In *Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting* (pp. 62-6). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Shively, R.J. & Goodman, A.D. (1994). Effects of perceptual augmentation of visual

displays: Dissociation performance and situation awareness. In Proceedings of the Human Factors Society 38th Annual Meeting (pp. 1271-4). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Smith, K. & Hancock, P.A. (1995). Situation awareness is adaptive, externally directed consciousness. *Human Factors*, 37, 137-48.

Taylor, R.M. (1989). Situational awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. In Proceedings of the AGARD AMP Symposium on Situational Awareness in Aerospace Operations, CP478. Seuilly-sur Seine: NATO AGARD.

Underwood, B.J. (1957). *Psychological Research*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Venturino, M., Hamilton, W.L., & Dvorchak, S.R. (1989). Performance-based measures of merit for tactical situation awareness. In *Situational Awareness in Aerospace Operations* (pp. 1-5). Copenhagen, Denmark: NATO - AGARD.

Vidulich, M.A. (1992). Measuring situation awareness. In Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting (pp. 40-1). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Vidulich, M.A. & Hughes, E.R. (1991). Testing a subjective metric of situation awareness. In Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting (pp. 1307-11). Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Walker, N. & Fisk, A (1995, July). Human factors goes to the gridiron. *Ergonomics in Design: The Magazine of Human Factors Applications*, pp. 9-13.

Wickens, C.D. (1992a). *Engineering Psychology and Human Performance* (2nd ed.). New York: Harper Collins.

Wickens, C.D. (1992b, December). Workload and situation awareness: An analogy of history and implications. *Insight: The Visual Performance Technical Group Newsletter*, pp. 1-3.

Wickens, C.D., Gordon, S.E., & Liu, Y. (1998). *An Introduction to Human Factors Engineering*. New York: Addison-Wesley.

楊家忠，張侃(2004)。情境意識的理論模型、測量及其應用。心理科學進展 12(6): 842~850。



# **Salsa: A New Approach to Measure Situation Awareness In Air Traffic Control**

Yorck Hauß, Boris Gauss, & Klaus Eyferth

International Symposium on Aviation Psychology~2001

## **[英文摘要]**

The concept of situation awareness (SA) is essential for the design and evaluation of complex man-machine-systems. For the domain of ATC, the method SAGAT-TRACON is available. Its SA measure is based on the assumption that the relevance of the information recollected in the reproduction test does not change over time, and therefore can be determined a priori. Evidence was found, that this assumption can not be made in dynamic task environment like ATC. A new method to measure SA in ATC, called SALSAs, has been developed. The relevance of the information is determined a posteriori in an expert rating during a replay of the simulation. The SALSAs and the SAGAT measure have been applied in an evaluation study of a future ATM concept (multi-sector-planning).

## **[中文摘要]**

情境察覺(Situation Awareness, SA)的觀念對複雜的人-機器系統的設計與評估是必要的, SAGAT-TRACON(Situation Awareness Global Assessment Technique)為可應用於 ATC 領域的方法之一, 此方法假設重現測試(reproduction test)所蒐集之資訊其適宜性(relevance)不會隨著時間改變, 因此可事先推演決定資訊的適宜性。然而事實證明這樣的假設在不斷變化的 ATC 工作環境中並不合適, 因此發展另一個新的方法~SALSAs, SALSAs 方法利用專家評等方法歸納決定這些資訊的適宜性。在該研究中分別以 SALSAs 與 SAGAT 方法評估一新航管概念~多席位規劃(Multi – Sector - Planning, MSP)。

## **[內容]**

過去十年的時間內民航運輸延滯狀況日益惡化, 主因在於航管系統已超過所能負荷的狀況, 而縮小席位規模方式已無法解決此問題, 必須全面改變飛航管理的概念(Eurcontrol, 1998), 但提昇容量及效率的新航管概念往往會對於目前的航

管系統造成重大衝擊，因此需詳加評估。而隨著自動化不斷的增加，可預測安全的情境察覺概念逐漸成為人為因素領域的一重要概念，因此此一研究則利用情境察覺的方法評估一新航管概念～多席位規劃。

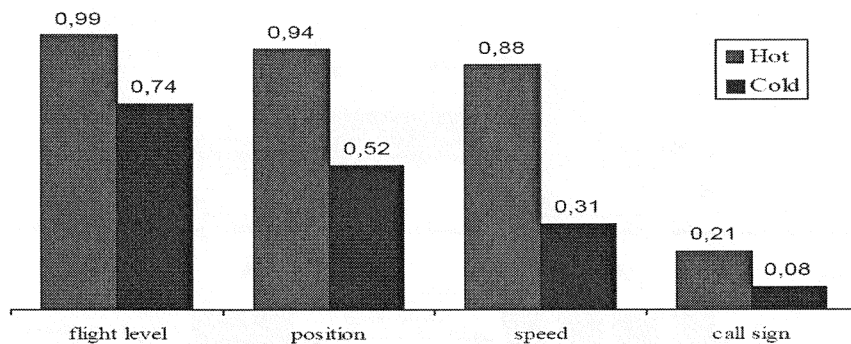
這篇報告首先簡介 SAGAT 與可應用於航管領域的 SAGAT-TRACON，以及針對這兩方法缺點改進的 SALSA 方法，並介紹多席位規劃的新航管概念，最後分別以 SAGAT-TRACON 及 SALSA 兩方法評估管制員在有、無多席位管制規劃支援環境下的情境察覺績效，並提出相關之建議，以下將依序詳加探討。

## 一、SAGAT 方法

SAGAT 是一利用凍結技巧(freeze technique)的線上問卷調查法(online questionnaire)，於模擬進行中隨機暫停，並詢問參與者對於當下狀況的認知瞭解，最後比較模擬參與者對當下環境認知與實際狀況之差異作為衡量的標準(Endsley, 1998)。而 SAGAT 代表此方法的總稱，應用於專門領域前需先確認與該領域相關的情境察覺參數，並依此研擬出重現測試的相關問項。SAGAT 方法以正確重現項目的比率評估情境察覺，當主觀意象(subjective image)與實際狀況吻合度越高代表越好的情境察覺績效，不考慮這些項目對操作者後續決策及行動的重要性，因此以下稱此方法為無權重重現(unweighted production)。SAGAT 以靜態方法決定參數的適宜性，由於在模擬進行前已決定這些參數對於情境察覺的適宜性，因此適宜性與模擬工作環境的變動是獨立的。

## 二、SAGAT-TRACON 的應用

Endsley 與 Kiris 於 1995 年發展出應用於飛航管制領域的情境察覺衡量方法 SAGAT-TRACON，此方法的重現測試包含自由回想(free recall)與提示回想(cued recall)兩部分，由已決定之問題中隨機挑選固定的題數詢問參與者。然而根據 Hauß, Gzuss, Eyferth(2000)的研究結果指出參數適宜性不變之假設並不適用於飛航管制領域，Hauß, Gzuss, Eyferth 的研究邀請專家以(0, 1)的準則判斷不同交通情境下 11 個航機參數的適宜性，其中多數專家認為飛航高度與交通狀況相關，而全部專家都認為航機呼號與交通狀況不相關，此外航向、高度變化、次一定位(next fix)、位置與速度等五個參數之適宜性會隨著不同的交通狀況而有顯著之差異。後續有相關研究歸納不同交通情境特性對航機參數適宜性之影響，初步研究結果顯示航機的衝突傾向類別與程度可作為速度參數的一重要指標，如下圖所示，假設”Hot”代表航機有未解決之衝突或在數分鐘前解決某一衝突事件，”Cold”代表航機沒有任何衝突之狀況，其中速度參數在 Hot 與 Cold 兩不同狀況下的差異最為顯著，此外航機的位置參數在 Hot 與 Cold 兩不同狀況下亦有顯著之差異。



### 三、SALSA

SALSA 是一專門應用於航管領域的情境察覺衡量方法，特別強調參數之適宜性會隨著工作環境及時間而改變的概念。SALSA 與 SAGAT-TRACON 方法一樣都是利用凍結技巧的線上問卷調查法，但主要有下列三點不同之處：

- (1) SALSA 方法會要求專家評等重現測試問項的適宜性，並將評等結果作為重現測試的權重依據，以考量這些項目對操作者後續決策及行動的重要性，而在 SALSA 方法中只考慮評等測試中認為適宜之項目，以下則稱此方法為有權重重現(weighted production)。

根據 Hauß, Gzuss, Eyferth(2000)研究結果顯示專家參數適宜性判斷的評分者之間信度(inter-rater-reliability)值高( $i=0.73$ )、航機衝突程度與專家認為適宜之參數數目的相關性高( $r=0.54$ )，且主觀適宜性衡量也和衝突程度有高度相關( $r=0.64$ )，這些都顯示專家評等方式是一適用於衡量航機參數適宜性的方法。

- (2) 在重現試驗中，因為管制員可透過雷達螢幕中取得航機位置資訊，有比較低的認知成本，且有較為穩定的重現績效，因此將航機位置作為提示回想測試的線索。
- (3) 為了在模擬過程中蒐集更多數據且降低模擬中斷的次數，SALSA 方法會在每次的模擬暫停中問完一航機所有相關的問題。

### 四、多席位規劃(Multi-Sector-Planning)

過去的航管運作方式是由飛航流量管理(Air Traffic Flow Management, ATFM)在航機進入管制區域內的數小時前即進行流量規劃，飛航管制(Air Traffic Control)則於航機進入管制區域內的數十分鐘前與鄰近管制席進行協調，其流量管制是以席位為單位進行流量的管理，因此會有諸多限制，而多席位規劃概念是將區域內數個傳統管制席位整合為一，透過地/空數據鍊結交換資訊，並以多席位規劃作為新的地面管制中心。

多席位規劃新的航管概念包含多席位規劃、管制員與駕駛組員之間的新溝通程序(如下圖 Figure 2 所示)，且需有一完備的飛航計畫資料庫，利用系統偵測出衝突的存在，並透過資鍊鍊結方式與駕駛員及管制員協商新的替代航路，使衝突

在航機尚未進入管制席位前即被解決。

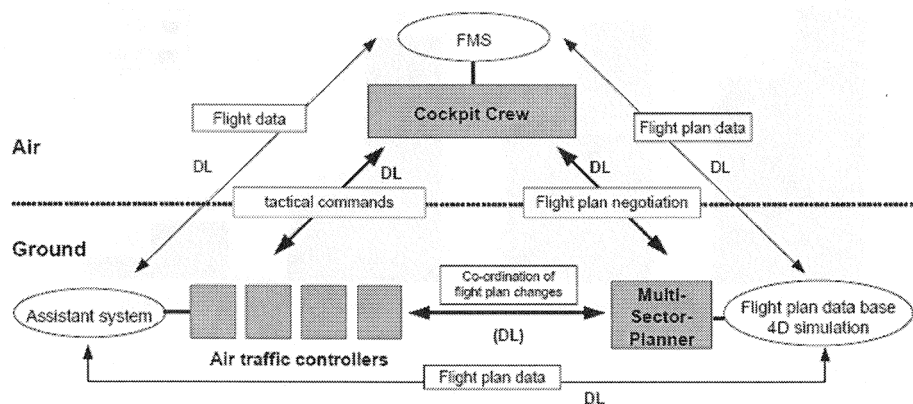


Figure 2. Communication and structure in the studied multi-sector-planner concept

多席位規劃的引進會改變人-機器系統的工作分配，並提供管制員各種新的資訊，其中與目前航管概念最大的改變在於協調的航機(coordinated aircraft)與不協調的航機(uncoordinated aircraft)之間的差異：協調的航機其飛航計畫會被紀錄於MSP資料庫內且符合飛航計畫，而不協調的航機其飛航計畫未被紀錄於MSP資料庫，和/或不符合飛航計畫。航機的飛航資料直接由航機飛航管理系統(Flight Management System, FMS)利用數據鍊結直接傳輸至多席位規劃資料庫，因此配備資料鍊結的航機可優先指派直線航路，且所有協調的航機都可利用中程衝突警示(Medium Term Conflict Alert, MTCA)補償直線航路的衝突偵測，而不協調的航機或沒有配備資料鍊結的航機則可透過雷達資料自動調整航路偏移。目前的規範與航機設備已適合多席位規劃概念，未來隨著更多的航機符合新的配備標準時，此一概念的效益將逐漸顯現。

人-機器系統之間的職責分配調整對於席位管制最主要的改變為：(1)由於所有協調的航機都可利用中程衝突警示，因此只有涉及不協調航機的衝突事件才需由管制席位偵測。(2)管制員所需解決的衝突事件減少。

## 五、多席位規劃概念之評估

如上所述，多席位規劃的引進會改變人-機器系統的工作分配，因此以下設計一模擬實驗，探討多席位規劃概念所造成的人機職責重分配對於雷達管制員情境察覺的影響，此外也同時探討有中程衝突警示支援的標準航機對雷達管制員的支援成效。

- (1) 研究方法：分別利用有權重(SALSA)重現測試與無權重(SAGAT)重現測試兩種方法，並以NSAS-TLX評估主觀工作負荷。
- (2) 模擬設備：包含多席位規劃工作站、交通模擬、虛擬駕駛工作站、區域管制員工作站等，而除了聲音外的溝通都是透過資料鍊路。
- (3) 模擬參與者：以11個平均年齡35.7歲，工作經驗10.1年的管制員進行模擬測試。
- (4) 模擬實驗過程：傳統管制環境與多席位規劃支援環境下各進行45分鐘的模擬，且兩情境有系統地進行轉換以利於比較。多席位規劃支援的狀態

況下，有 70% 屬於協調的航機，30% 屬於不協調的航機，並假設 40% 的衝突在未發生前即被多席位規劃系統偵測並解決。而為了簡化交通模擬情境，一管制席位內的標準航機不會與其他標準航機發生衝突，所以在此模擬過程中，標準航機同於沒有衝突的航機，此外為了不同交通情境之間的可比較性，因此模擬的情境都只限於傳統飛行航路。

每個模擬試驗中共會有 13 次定期的暫停，詢問管制員其中一特定航機 13 個相關問題，但 SALSA 方法所問的問題會剔除 SAGAT 方法中不適宜或適宜低的問題，而電子管制條上除了提供航機呼號資訊外，其他資訊全部隱藏。每次模擬實驗後會衡量管制員的主觀工作負荷，並要求以二等級標準評等另一管制員的重現試驗參數之適宜性。

## 六、研究結果

此一模擬實驗的結果詳述如下：

- (1) 利用權重所得到的績效都會比沒有使用權重的高（如下圖 Figure 3 所示），顯示適宜的參數可以比較容易被察覺。

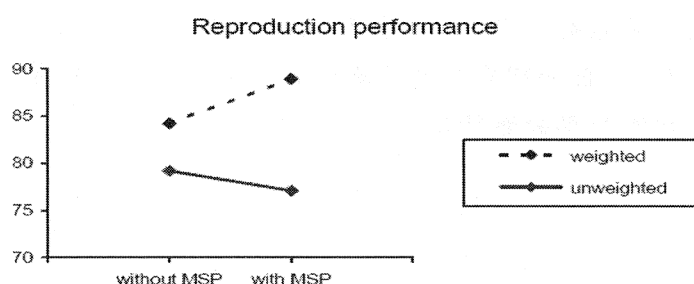


Figure 3. The weighted and the unweighted reproduction performance with and without MSP support.

- (2) 利用權重方法衡量時，有 MSP 支援的績效會比傳統的管制還好，然而使用無權重的衡量方法時，傳統的管制環境會有比較高的績效。
- (3) 協調的航機與不協調的航機其察覺績效沒有顯著差異。
- (4) 就主觀工作負荷而言，在 MSP 支援下會小幅降低。

## 七、討論

以下將針對此模擬實驗的結果作進一步之探討：

- (1) 原本預期有中程衝突警示支援的協調航機會比沒有中程衝突警示的不協調航機更清楚地被描述，但模擬結果發現並非如此，管制員指出他們會忽略協調航機的中程衝突警示，這可能是因中程衝突警示與不協調航機的衝突事件沒有關係，且 30% 的不協調航機對於認知成本的保留 (save cognitive costs) 太高。以操作者的觀點而言，多席位規劃的有無其主要差別在於衝突率的降低。
- (2) Niessen, Eyferth and Bierwagen(1999)指出管制員需要一觸動資料選擇程序以選擇工作所需之資料，因此往往不會選擇不相關的資訊，而在此模擬實驗結果中也證實適宜的參數會比不適宜的參數更正確地被重現。



- (3) 由實驗結果發現利用權重方法衡量時，有 MSP 支援的績效會比傳統的管制還好，然而使用沒有權重的衡量方法時，傳統的管制環境會有比較高的績效，此乃因 MSP 可以降低衝突的比率，在 MSP 環境下被偵測出的參數相對會比較少，因此我們只能考慮適宜的參數部分(即 Figure 3 的 weighted 線)，即在 MSP 支援環境之下管制員的情境察覺會提昇。

## 八、結論

- (1) 當衝突事先解決的比率太小時，無法得到多席位規劃的效益，然而太高時可能會產生自滿之問題，在研究中假設 MSP 可事先解決 40% 的衝突是依據 Hauß, Gauss, Eyferth 之研究(2001)，建議可在針對最佳事先解決比率進行探討。  
不協調航機比率的最大容忍度亦需詳加評估，使得中程衝突警示系統可有效支援管制員。
- (2) 利用 SALSA 方法評估管制員的情境察覺績效是可行的，但仍有改善空間，其中可歸納不同交通情境特性對參數適宜性之影響以取代該研究中所使用的專家評比方法，便於後續研究。
- (3) 自動化工具系統的引進往往會降低操作者對於整個系統運作的瞭解及參與的程度，然而研究中的重現績效可能無法有效衡量此部分建議後續研究可針對此部分進行改進。

## [文獻評析]

### 對該文獻之問題與質疑

1. 此模擬實驗的真實度是否足以代表實際運作狀況。
2. 每個模擬試驗中共會有 13 次定期的暫停，是否考慮管制員學習效果之影響。

### 對該文獻優缺點之評論

以情境察覺概念評估人-機器系統對管制員績效及系統運作安全的影響是一值得參考的研究方向，研究利用 SALSA 方法評估 MSP 新航管概念，不僅可以檢視 SALSA 方法的可行性，同時可以評估 MSP 對於管制員情境察覺的影響。然而該文獻只簡略扼要的簡介各方法、概念及研究過程，必須再參考其他相關文獻以取得更加詳細的資料。

### 結論

這是一篇值得參考的文獻，可將 SALSA 應用於評估其他新的航管概念對於管制員情境察覺績效之影響，或應用於其他領域的情境察覺衡量。

## [相關文獻]

Endsley, M. R. (1987). SAGAT: A methodology for the measurement of situation

awareness (NOR DOC 87-83). Hawthorne, CA: Northrop Corporation..

Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995), Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). TRACON Air Traffic Control Version User Guide. In Final Report of Work Performed for Project Grant #94-G-010. Atlantic City, NJ: Federal Aviation Administration Technology Center.

Endsley, M.R. (1996). Situation Awareness Measurement in Test and Evaluation. In O'Brien, T.G. & Charlton, S.G. (Eds.), Handbook of Human Factors Testing and Evaluation (pp. 159-178).

Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. Eurocontrol (1999). European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme (EATCHIP): Operational Concept Document (OCD) (FCO.ET1. ST07.DEL01) (Edition 1.1; 4 January 1999). Brussels: Eurocontrol. Eurocontrol (1998), ATM Strategy for 2000+ (Volume 1). Brussels: Eurocontrol.

Giesa, H.-G., Müller, T. & Anders, G. (2001). The influence of airborne Data Link on system dependability. In D. Harris (Ed.), Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Volumes 5 & 6 (in press). Aldershot: Ashgate.

Fricke, M., Dehn, D. M. & Müller, T. (2000). Cooperative Air Traffic Management -- Human Factor Aspects of Air/Ground Data Link and Multi-Sector- Planning (VDI Vol. 22, Nr. 4). Düsseldorf (Germany): VDI.

Hauß, Y., Gauss, B. & Eyferth, K. (2001). The Influence of Multi-Sector-Planning on the controllers' representation. In: D. Harris (Ed.). Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Volumes 5 & 6 (in press). Aldershot: Ashgate.

Hauß, Y., Gauss, B. & Eyferth, K. (2000), The Evaluation of a Future Air Traffic Management: Towards a new approach to measure situation awareness in air traffic control. In Camarinha-Matos,

L.M., Afsarmanesh, H. & Erbe, H.H. (Eds.), Advances in Networked Enterprises: Virtual Organizations, Balanced Automation and System Integration, CD-suppl. BASYSs06.pdf. Boston: Kluwer.

Niessen, C., Eyferth, K. & Bierwagen, T. (1999), Modelling cognitive processes of experienced air traffic controllers. Ergonomics, Vol. 42 (11), pp. 1507-1520



# **A Feasibility Study of the Use of Incidents and Accidents Reports to Evaluate Effects of Team Resource Management in Air Traffic Control**

V. Andersen, T. Bove

Safety Science, Vol.35, 2000 pp87-94

## **[英文摘要]**

Valuable improvements in performance have been obtained by ‘Crew Resource Management’ (CRM) courses performed in the domain of aviation related to the crew in a cockpit, and in the maritime domain related to the crew on the bridge of large ships. CRM courses are currently being adapted to the domain of Air Traffic Control under the heading of ‘Team Resource Management’. In this adaptation phase, it is important to obtain knowledge concerning the effectiveness of such training programmes in relation to enhancing human factors awareness and knowledge. This requires a methodology for detecting training effects. For this purpose a feasibility study has been conducted concerning the use of paper cases — short written reports on real or fictitious incidents or accidents — to discriminate air traffic controllers with regard to their ability to identify ‘human factors’ determinants involved in such cases. The outcome of the feasibility study did not show clearly significant discrimination between the selected groups of air traffic controllers, but vague signs indicate that the use of more complex discriminators might be worthwhile to explore.

## **[中文摘要]**

組員資源管理(Crew Resource Management, CRM)訓練課程已成功應用於飛行組員於飛航駕駛艙之訓練,以及航海運輸當中船員於艦橋之合作;目前類似之觀念也被應用於飛航管制領域當中,稱之為團隊資源管理(Team Resource Management, TRM)。此一觀念的轉移必須瞭解訓練計畫對於人為因素察覺能力與知識的有效性,而為了偵測訓練計畫的效果,此一研究透過管制員對真實或虛擬事件所撰寫的簡短報告分析,用以區別管制員識別人為因素的能力。研究結果雖然顯示不同群組之管制員對於人為因素識別能力沒有顯著差異,但可繼續針對較為複雜之識別程度工具進行研究。

## [內容]

將 TRM 方法應用於 ATC 領域前，需有一衡量工具用以評估對團隊訓練的效果，因此進行可行性研究計畫以發展用來測試不同群組管制員其人為因素察覺能力及知識差異性的試驗。而透過可行性研究計畫的過程不僅可顯示團隊資源管理訓練的必要性，並可作為後續評估訓練方法的依據。

### 一、可行性研究

可行性研究的目地在於發展出一報告為主的試驗，以區別有經驗與無經驗等兩群組的管制員其識別人為因素的能力，而這樣的可行性研究有一根本假設：參與團隊資源管理課程的人員對於人為因素察覺較為熟練。而發展以事件報告為基準的報告識別試驗原因有二：(1)應用合適的事件或失事案例來提昇受訓者人為因素察覺能力的方法已被整合至許多組員資源管理訓練課程中。(2)直接詢問管制員的看法是衡量團隊資源管理最簡單的方法，然而管制員通常無法有系統地敘述團隊資源管理系統所學得的技能。

可行性研究的目標在於選出合適的事件案例與固定的格式以應用於區別有經驗與無經驗的兩個管制員群組其人為因素察覺能力。整個研究分為兩個階段：(1)研究 A-自由格式回應：要求有經驗與無經驗的管制員閱讀十篇事件報告，並以自由格式方式描述事件中所涉及的肇因，航管專家再依據事先擬定的編碼系統將自由格式回應的內容進行編碼，並分析最適合用來區別兩個群組的案例。(2)研究 B-標準格式回應：研究 B 進行時所有合適的事件案例都已選定。研究要求有經驗與無經驗兩不同群組的管制員對研究 A 所列出的肇因類別進行評等，若研究 B 的結果顯示是合適的，則此測試工具可用於區別管制員的經驗與人為因素察覺的能力。

#### 1. 研究 A：

##### (1) 對象：

群組 1-有經驗的管制員：指一般或 OJT 訓練，以及討論受訓者績效的講師。群組 2-無經驗的管制員：剛通過管制員資格且沒有受過人為因素訓練的管制員。

##### (2) 程序：首先回顧事件案例報告並從中挑選出十個分析案例，且加上一額外的虛擬案例，要求兩不同群組的管制員以自由之格式描述導致事件發生的原因，並排序這些原因的重要性。

研究中選擇出的案例都屬於幾近誤失(near-miss)程度的事件，因為這是管制員例行工作中比較會面對的問題，包含下列之事件：

- I. 航機並未保持規範之垂直與水平隔離
- II. 准許航機下降或爬升至已有航機佔用之空層
- III. 航機未在規定時間回報進場或位置相關資訊
- IV. 航機提出錯誤之空層要求
- V. 航機提出之空層要求正確無誤，但是管制員接收訊息時發生錯誤

- VI. 不同於一般正常程序所造成之誤解
- VII. 當管制員針對特定航機做出相關指示時，忽略其他可能受到影響的航機
- VIII. 不同單位管制員工作移轉造成之問題
- IX. 不同管制員工作移轉造成之問題
- X. 管制員與規劃席之間合作無法最佳化所造成的問題
- XI. 由於航機飛行時間相關資訊與其飛航計畫所提出之資訊不同所造成的問題
- XII. 非標準航線造成之問題
- XIII. 高交通量造成之問題

兩個不同群組的管制員需回顧上列的幾近誤失事件，並指出錯誤與其發生的原因，以及幾近誤失的責任歸屬，如管制員、飛行組員、技術因素、環境因素、或組織因素等，此外管制員必須提出建議以提昇績效，避免類似事件再次發生。而航管專家將每個案例的誤失分為下列幾個類別：

- I. 心理或人因的錯誤(例如：記憶錯誤)
- II. 技術錯誤(例如：雷達解讀錯誤)
- III. 環境或生理因素(例如：惡劣天氣)
- IV. 組織因素(例如：工作結構)
- V. 組織階層的程序問題(例如：無法建立正確的程序)
- VI. 個人階層的程序問題(例如：違反現有之規定)
- VII. 飛航管制單位間溝通失效(例如：塔台與進場台)
- VIII. 航機與飛航管制單位溝通失效
- IX. 不正確之訓練

- (3) 結果：以檢定方法評估兩個群組的肇因分類，結果顯示有兩個群組對四個案例的肇因分類有顯著差異，但難以偵測出一般性的差別。此外由顯著的差異發現有經驗的管制員較無經驗的管制員傾向於找出認知的/心理的錯誤。

## 2. 研究 B

- (1) 對象：以 10 位正在受訓的管制員代表較無經驗的管制員，以 12 位講師代表經驗豐富的管制員。
- (2) 程序：以研究 A 所找出的四個(兩群組管制員回應有顯著差異)案例進行研究。研究 B 與研究 A 最主要的差異在於研究 B 的管制員需依據一標準格式填寫並評等事件肇因。
- (3) 結果：以 Wilcoxon/Mann-Whitney 方法進行分析，結果顯示兩不同群組管制員對於某些肇因的回應會有顯著差異，然而並無法證實研究 A 所提出的推斷：有經驗的管制員較無經驗的管制員傾向於找出認知的/心理的錯誤。

## 二、結論：

研究之預期結果為兩組管制員對於人為因素之識別會有所差異，如其中一組應較為注意人為因素，而另外一組則會較為注意技術與環境因素；然而研究結果

雖發現相關特性，但兩組管制員之間卻沒有顯著或架構性的差異，可能的原因為；

1. 研究所選擇之案例多為幾近誤失，對於管制員而言屬於例行之工作，無法真正識別出管制員之能力。
2. 研究過程中所選擇的無經驗管制員通常正接受有經驗管制員的訓練，因此可能由於相同的專業文化而導致兩個群組織間沒有顯著之差異。
3. 所選擇之案例其複雜度不夠。
4. 當類似之狀況發生在真實情境時，由於會有壓力之因素，因此兩群組間可能會有差異。
5. 可行性研究有一根本假設：參與團隊資源管理課程的人員對於人為因素察覺較為熟練，因此是以參與團隊資源管理訓練與否為最主要的差異，然而實際上要由團隊合作的航管領域中找出沒有團隊資源管理經驗的管制員是相當困難的。

根據此一可行性研究結果顯示：利用事件或失事報告評估管制員團隊資源管理訓練效果並不足以衡量團隊資源管理所帶來的效果。但研究得到一個含糊的結果：增加研究的案例以及研究對象的數目對於評估 ATC 的團隊資源管理效益是有幫助的。

## [文獻評析]

此一研究以事件或失事報告的方式評估團隊資源管理之效果為一可參考之方式，然而如報告結論中所提及的五個可能缺失，因而導致此方法無法有效評估團隊資源管理效果，後續可針對這些缺失進行改進，以發展出有效的評估工具。

## [相關文獻]

Halvard, A.V., 1998. Some suggestions on management and learning from undesired events. Proceedings of the 15th ESReDA Seminar: Accident Databases as a Management Tool, Antwerpen, 16-17 November.

Helmreich, R.L., Merritt, A.C., 1998. Error and Error Management. University of Texas Aerospace Crew Research Project, Technical Report 98-03, 19 May. Available online at:

[http://www.psy.utexas.edu/psy/helmreich/Error\\_and\\_Error\\_Management.htm](http://www.psy.utexas.edu/psy/helmreich/Error_and_Error_Management.htm)

Ranter, H., 1978. Aircraft Accident Digest (ICAO Circular 153-AN/56), pp. 22±68. Available online at: <http://aviation-safety.net/reports/770327-i.htm>

Wickens, C.D., Mavor, A.S., McGee, J.P. (Eds.), 1997. Flight to the Future. Human Factors in Air Traffic Control. National Academy Press, Washington, DC.

## 維修管理

### Human Factor

Crotty, B. J. **Considering Maintenance Human and Organizational Factors and Related Errors During Aircraft Accident and Incident Investigations.** ISASI, 2002

John, G.H., Patankar, M. S., and Taylor, J. C. **Lack of Error Mitigation Tools: The Weakest Link in Maintaining Airworthiness?** *55th IASS FSF*, Nov. 2002

Jurgen, A.G. van Avermaet<sup>1</sup>, and Martine, Y. Hakkeling-Mesland **Maintenance Human Factors from A European Research Perspective: Result from the ADAMS Project and Related Research Initiatives.** *National Aerospace Laboratory NLR P.O. Box 90502, 1006 BM Amsterdam*, Feb. 2001

Latorella, K. A., and Prabhu, P. V. **A review of human error in aviation maintenance and inspection.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 26, 2000, pp. 133-161

McDonald, N., Corrigan, S., Daly, C., and Cromie, S. **Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organizations.** *Safety Science*, Vol.34 ,2000, pp. 151-176

Patankar, M. S., and Taylor, J. C. **Posterior Probabilities of Causal factors Leading to Unairworthy Dispatch After Maintenance.** *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol.9, No.1, 2003, pp. 38-47

Rankin, W., Hibit, R., Allen ,J., and Sargent, R. **Development and Evaluation of The Maintenance Error Decision Aid (MEDA) Process.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 26, 2000, pp. 261-276

Rankin, W. L. **User Feedback Regarding the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) Process.** *54th International Aviation Safety Seminar*, 2001

### Training

Endsley, M. R. et al. **Situation Awareness in Aircraft Maintenance Teams.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 26, 2000, pp. 301-325



Walter, D. **Competency-Based on-The-Job Training for Aviation Maintenance and Inspection - a Human Factors Approach.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 26, 2000, pp. 249-259

### **MRM**

Taylor J. C., Ph.D., Patankar M. S., Ph.D. **Four Generations of Maintenance Resource Management Programs in the United States: An Analysis of the Past, Present, and Future,** *Sorenson Best Paper Award Recipient 2001 Journal of Air Transportation World Wide* Volume 6, Number 2, 2001, pp. 3-32

### **Safety Management**

FAA, **Continuing Analysis and Surveillance System (CASS) Description and Models,** *FAA final report* 2003

### **Aging Aircraft**

魏楞傑, 容損設計與非破壞性檢驗, *空軍學術月刊* 552 期, 2002

### **Maintenance Program**

Crocker J., Kumar U. D. **Age-related Maintenance Versus Reliability Centred Maintenance : A Case Study on Aero-engines,** *Reliability Engineering and System Safety*, vol.67, 2000, pp.113-118

### **Maintenance Policy**

Sachon M., Pate-Cornell E. **Delays and Safety in Airline Maintenance,** *Reliability Engineering and System Safety* 67, 2000, pp.301-309

# **Considering Maintenance Human and Organizational Factors and Related Errors During Aircraft Accident and Incident Investigations**

Bart J. Crotty

ISASI 2002, Taipei, Taiwan, R.O.C., Sep. 30 ~ Oct. 4, 2002

## **[英文摘要]**

This paper is intended to help those aircraft accident investigators that lack in-depth experience related to investigating accident/incidents for maintenance personnel and organizational error.

First, the paper establishes the importance of focusing the aviation industry's efforts on reducing the number of accidents and incidents caused by maintenance error. A large part of this effort should be directed at improving the investigation process and establishing a data bank of maintenance error casual factors related to accidents and incidents.

Next, the paper informs the general investigator (non-maintenance specialist) about the basics of maintenance human factors and its relationship to personnel and organizational error and where to obtain additional resources.

Lastly, it provides definitions of key terms and a supporting guidance taxonomy and a checklist for investigators to use during accident and incident investigations.

## **[中文摘要]**

本文主要是透過與航空器維護錯誤相關的航空器失事(Accidents)/意外事故(Incidents)之原因的整理以及資料庫的建立，協助在維護方面缺乏深度調查經驗的航空器失事事故調查人員瞭解相關之維護人為因素以及其相互之間的關係，並且可由本文獲得相當具有價值的航空器維護錯誤之分類法、檢查表等參考資料來源。

在簡介中，作者說明由統計發現維護錯誤在航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)中扮演一個顯著的角色。航空界需要即時、包羅廣泛的航空器維護錯誤資料庫以說服航空公司、航空器維護組織加強在人為因素上的努力。

在失事事故維護調查現況與訓練方面，作者提到英國與美國均加強推動維護

人為因素訓練課程，部份國家的航空器事故調查人員並沒有如此訓練課程，因此，本文可以提供這些沒有維護相關背景的調查人員在這方面的協助。

在維護人為因素方面，作者整理相關人為因素訓練的參考資料做一系列的介紹，並詳細解釋可能造成混淆的關鍵名詞定義，此外，推薦本文附錄B由加拿大運輸部(Transport Canada)將失事與意外事故中最普遍的人為錯誤原因所加以歸納而成的“Dirty Dozen”，說明透過安全網(Safety nets)來防止類似事故的再度發生。作者亦提到對於系統化資料蒐集與問題確認有很大的幫助的“Swiss Cheese”模型與SHEL模型。

在失事/意外事故維護調查分類與檢查表方面，作者解釋分類法、檢查表在調查過程中可提供一套架構或指導方針給航空器事故調查人員思考事故可能的範圍與促成因素。

目的

本文目的是協助進行調查與航空器維護人員及組織相關之錯誤造成的失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)而且缺乏深度經驗的航空器失事事故調查人員。作者說明本文著重在敘述航空業界努力於降低起因於維護錯誤的失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)的重要性，並提到這方面的努力應致力於改善調查程序，且透過與航空器維護錯誤相關的航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)之原因因素(Causal factors)的整理以及資料庫的建立可讓一般的調查人員(非航空器維護專家)瞭解與個人和組織相關的維護人為因素以及其相互之間的關係，並可知道從何處得到所需要的資訊來源。此外，作者提供調查人員在進行航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)之調查時所須使用的關鍵名詞的定義、分類與檢查表。

簡介

在過去20年人們逐漸瞭解到肇因於個人的問題和維護組織或管理之缺點相關的維護錯誤，在航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)中扮演一個顯著的角色。作者在文中附錄A提供1977年至2001年全球與航空器維護錯誤相關的航空器失事(Accidents)事故資訊。作者提及美國國家運輸安全委員會(NTSB)在2002年8月1日召開一場關於國際維護人為因素計畫與成果會議，會中人為因素專家David Marx表示航空界的目標是將致命的航空器失事(Accidents)事故之數量到2007年時能夠減少為1997年時的20%(即減少80%)，其中包含與維護錯誤相關的致命失事(Accidents)事故。

從過去10年全球運輸用航空器與維護錯誤相關的致命與非致命的航空器事故約佔7至15%(圖1)。

Source of Information:	Percentage
Sears, R. L., 1986, study covering 1959-83, quoted in “Reducing Human Error in	12

Aviation”, Flight Safety Foundation International Safety Seminar, 1993, and in UK CAA CAP 718.	
NTSB unpublished Figures, 2000, ... 7 of the last 14 large aircraft accidents investigated by NTSB had maintenance as a major factor.	50
Graeber, R. C. and Marx, D. A. 1995, Boeing study covering 1982-91, 39 of 264 accidents had maintenance as a factor.	15
UK AAIB, CAP 701, 2001, worldwide fatal accidents, covering 1990-99, large jet and turboprop aircraft.	4
UK AAIB, CAP 701, 2001 report, UK registered large aircraft, non fatal accidents, covering 1990-99.	7
Boeing Annual Report, 2002, worldwide jet transport fatal accidents/hull losses, covering 1959-2001.	3
Boeing Report, 1996, cited in Bureau of Air Safety Investigation, Australia, Report, 1997, Human Factor in Maintenance, A Study of Incident Reports.	6
Note: Above data is not directly comparable due to different recording criteria.	

**Figure 1.** Various percentages of accident reports citing maintenance as a factor.

澳洲飛航安全調查局(BASI)根據波音資料統計指出，1982年至1991年致命的航空器失事(Accidents)事故之死亡人數中航空器維護相關的死亡人數僅次於可控飛行撞地(Controlled Flight Into Terrain; CFIT)(圖2)。

Safety Issues:	Fatalities
CFIT-----	2169
Maintenance/inspection-----	1481
Loss of control-----	1387
ATC-----	1000
Approach and landing without CFIT-----	910
Post crash smoke and fire-----	644
In-flight smoke and fire-----	610
Ground de-icing and anti-icing-----	384
Windshear-----	381
Uncontained engine failure-----	199
Out of configuration takeoff-----	188

**Figure 2.** Boeing Study, Russell, 1994, Safety issues versus on board fatalities, worldwide large transport fatal accidents, 1982-91, shown in BASI study, 1995.

即使無法得知全球與航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)相關的維護錯誤完整的實際資料庫，但是作者認為仍可瞭解發生何種維護錯誤。圖3所示為英國民航局(UK CAA)所列出的發生次數前7名之維護錯誤，該研究發現航空器維護錯誤發生次數前3名分別為：組件/零件裝置方法錯誤、裝置錯誤的零件、電線配線瑕疵等(圖3)。圖4所示為確認維護錯誤一般種類的另一項研究結果，Graber(1993)研究1989年至1991年共122件維護錯誤的事件發現，維護錯誤的原因前3名為：疏忽、裝置方法錯誤、裝置錯誤的零件等(圖4)。

In leading rank order of occurrence:

1. Incorrect installations of components/parts.
2. Fitting of wrong parts.
3. Electrical wiring discrepancies, including cross connections.
4. Loose objects, tools, material, etc., left in the aircraft.
5. Inadequate lubrication.
6. Cowling, access doors/farings/panels not secured.
7. Landing gear lock pins not removed before departure.

**Figure 3.** UK CAA Listing, 1992, Frequently recurring maintenance errors.

Maintenance error categories:	Percentages
1. Omissions-----	56
2. Incorrect installations-----	30
3. Wrong parts-----	8
4. Other-----	6

**Figure 4.** Graber, R.C. and Marx, D.A. Study, 1993, Reduced Human Error in Aircraft Maintenance, covering one airline, 122 error occurrences over 1989-91.

波音運用維護錯誤決策輔助 (Maintenance Error Decision Aid; MEDA) 資料統計1994年至1995年共74件維護錯誤的事件，發現維護錯誤的種類前3名為：裝置問題(35%)、故障排除/檢查/測試問題(15%)、保養問題(12%) (圖5)，促成因素前3名為：資訊問題(43%)、溝通問題(43%)、工作問題(42%) (圖6)。作者說明圖3、圖4、圖5為發生在航空器上(On-the aircraft)的問題屬於主動型錯誤(Active errors)，圖6所顯示主要為組織/管理相關的問題本質上屬於被動型錯誤(Passive errors)。James Reason教授在他的“管理組織的失事風險(Managing the Risks of Organizational Accidents)”一書(1997)中提供業界面對組織失事(Accidents)原因的

最佳處方。作者提到這裡所顯示的資料已有10年之久，因此若沒有即時、包羅廣泛與航空器維護錯誤相關的航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)資料庫的條件下，則很難說服航空公司、航空器維護組織加強在人為因素上的努力，特別是在其財政困難之時。作者也提到航空器重大意外事故調查以往所記錄表格不是為調查維護錯誤而設計，亦不考慮維護組織之缺點，並非調查人員忽視，而是通常被視為低重要性，除非調查一開始證據就很明顯。

Type of Error Event (% of total)	Events
1. Installations (35%)-----	26
2. Fault isolation/inspection/test (15%)-----	11
3. Servicing (12%)-----	9
4. Repair (4%)-----	3
5. FOD (3%)-----	2
6. Injury (3%)-----	1
7. No error (7%)-----	5
8. Other (23%)-----	17

Figure 5. Boeing MEDA Study, Types of maintenance errors causing 74 events, 1994-95.

Contributing Factors (% of total):	Events
1. Information (43%)-----	37
2. Communication (43%)-----	32
3. Job Task (42%)-----	31
4. Environment/facilities (38%)-----	28
5. Affecting performance (35%)-----	26
6. Technical knowledge/skill (31%)-----	23
7. Design/configuration (30%)-----	22
8. Equipment/tools/parts (27%)-----	20
9. Organization Environment (26%)-----	19
10. Leadership/supervision (16%)-----	12
Note: There were 3.2 contributing factors per each maintenance error event.	

Figure 6. Boeing MEDA Study, Contributing factors causing maintenance errors shown in preceding

Figure 5.

失事事故維護調查現況與訓練

作者估計超過80%的航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)調查人員有飛行員背景，但沒有或很少的航空器維護經驗，此外，當他們在航空器維護領域工作時，很可能維護人為因素的科學還未深入工場或棚廠中，或發展還未如

過去數年的程度。因此，美國國家運輸安全委員會(NTSB)計劃在2002年推動航空器失事(Accidents)調查課程，而且第一次涵蓋維護人為因素與維護錯誤4小時的課程，美國聯邦航空總署(FAA)亦決定在2003年為其適航檢查人員進行維護人為因素與維護錯誤的訓練課程。

英國航空失事調查局(UK Air Accident Investigation Branch; AAIB)調查人員參加英國民航局(UK CAA)所開設的維護人為因素訓練課程，而此課程亦提供給英國民航局(UK CAA)的相關人員。但英國航空失事調查局(AAIB)和美國國家運輸安全委員會(NTSB)均未發展或實施維護錯誤檢查表供調查人員在進行失事調查期間使用。然而，對於部份國家的航空器事故調查人員而言，並沒有如此訓練課程，因此，本文提供這些沒有維護相關背景的調查人員在這方面的協助。

### 維護人為因素

從附錄A可以看到1977年至1988年間有至少43件航空器失事(Accidents)事故中，維護錯誤是主要或是促成因素。但直到1988年4月發生Aloha航空公司的波音737飛機因不確實的目視或非破壞性檢查(NDI)導致飛行途中機身上半部脫落的失事(Accidents)事故，FAA和航空界才投入大量經費來進行維護人為因素以及維護錯誤的研究與訓練課程。FAA和航空界舉辦16場航空器維護與檢查人為因素議題之會議/研討會，許多研究與論文在會中發表。美國航空運輸協會(ATA)所發展的113號規範(Specification 113)“維護人為因素計畫指南((Maintenance Human Factors Program Guidelines)”對於航空公司/航空器使用者是維護人為因素訓練課程很好的教材來源。

作者在文中詳細解釋可能造成混淆的關鍵名詞定義，例如：維護人為因素(Maintenance Human Factors)、維護錯誤(Maintenance Error)、維護資源管理(Maintenance Resource Management)、主動型失效(Active failures)、被動型失效(Passive failures)等。作者推薦Reason教授的“人為錯誤(Human Error)”一書(1990)，認為該書仍是想要學習人為錯誤的人之基本教科書。

國際民航組織(ICAO)修訂第6號附約，要求航空器使用者的訓練計畫須包括人為因素訓練課程，而且要求航空器維護組織在人為因素的訓練計畫須涵蓋與人為績效相關的知識及技術。在第1號附約要求對航空器維護證照持有人應施以人為績效與限制的訓練課程。當國際民航組織(ICAO)的條約簽署國實施維護人為因素訓練課程的要求，可以期待這些努力能夠降低因維護錯誤造成的航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)的次數。

作者提到儘管FAA鼓勵美國籍航空公司、航空器維護組織實施人為因素訓練與維護錯誤降低計畫，但至今卻沒有制定相關法令強制執行。而英國民航局(UK CAA)率先發佈“航空維護人為因素(Aviation Maintenance Human Factors (JAA JAR 145))”CAP 716號官方文件，內容詳細提到人為因素與維護錯誤與相關訓練時程，作者建議每一位航空器事故調查人員應熟悉其內容。另一份是CAP 718號官方文件名稱為“航空器維護與檢查之人為因素(Human Factors in Aircraft

Maintenance and Inspection)”，前述兩份文件均可從該單位網站獲得。此外，國際民航組織(ICAO)1993年曾發佈人為因素概要第7號(Human Factors Digest No.7)：“失事事故與重大意外事故中人為因素的調查(Investigations of Human Factors in Accidents and Incidents)”及人為因素概要第10號(Human Factors Digest No.10)：“管理與組織的人為因素(Human Factors, (in) Management and Organizations)”，目前均仍適用且作者建議在每一個調查機構辦公室應具備這2份人為因素文件。

作者亦推薦附錄B由加拿大運輸部(Transport Canada)將失事與意外事故中最普遍的人為錯誤原因所加以歸納而成的12類，稱為“Dirty Dozen”，詳列如下：自滿大意(Complacency)、溝通不良(Lack of Communication)、缺乏專業知識(Lack of Knowledge)、分心(Distraction)、缺乏團隊精神(Lack of Teamwork)、疲勞(Fatigue)、資源不足(Lack of Resources)、工作壓力(Pressure)、缺乏主見(Lack of Assertiveness)、緊張(Stress)、缺乏警覺性(Lack of Awareness)、積非成是(Norms)，上述12類均會影響工作人員的判斷力，並可透過安全網(Safety nets)來防止類似事故的再度發生。

作者提到航空器事故調查人員應非常熟悉的Reason教授(1990)的“Swiss Cheese”模型，以及Edward教授(1972)的SHEL模型將人與軟體、硬體、環境之間的關係仔細分析，對於系統化資料蒐集與問題確認有很大的幫助。在附錄C有對Reason’s model簡要的說明，在CAP 716號官方文件與國際民航組織(ICAO)的人為因素概要第7號及第10號(Human Factors Digest No.7 and 10)有對於Reason模型與SHEL模型詳細的討論。一本由Ashgate出版社發行，作者為Barry Strauch (U.S. NTSB)的“調查人為因素：重大意外事故、失事與複合系統(Investigation Human Factors: Incidents, Accidents and Complex Systems)”(2002)，該書主要解說航空失事(Accidents)與提供程序之綜觀(Overview)。

### 失事/意外事故維護調查分類與檢查表

附錄C包含對航空器失事(Accidents)/重大意外事故(Incidents)調查人員所需要的模型(Model)、分類法(Taxonomy)、檢查表(Checklist)等。分類法、檢查表並不是可讓航空器事故調查人員很系統化地找到事故的原因，而是分類法、檢查表在調查過程中可提供一套架構或指導方針給航空器事故調查人員思考事故可能的範圍與促成因素。

### [文獻評析]

本文獻優點：

1. 大量引用相關資料數據來輔助作者說明航空器維護錯誤相關的狀況。
2. 以圖表方式清楚地呈現相關數據的分佈與關係以及分類。
3. 提供豐富的航空器維護錯誤相關的失事/意外事故之原因的整理與航空器維護錯誤之分類法、檢查表等參考資料來源，能夠協助在維護方面缺乏深度調



查經驗的航空器失事事故調查人員瞭解相關之維護人為因素以及其相互之間的關係。

4. 豐富的參考資料來源指引，相當值得國內民航主管當局、航空公司、航空器維護組織參考。

### [相關文獻]

Graeber, R. C. and Marx, D. A., Boeing study, 1995.

Boeing Annual Report 2002.

Air Safety Week, Vol. 16, No. 31, August 12, 2002.

Australian BASI Study, Human Factors in Airline Maintenance, June 1997.

Ashgate Publishing Limited, web site, [www.ashgate.com](http://www.ashgate.com)

FAA web site, [www.faa.gov/hfskyway](http://www.faa.gov/hfskyway)

ATA web site, [www.air-transport.org/public/publications/57.asp](http://www.air-transport.org/public/publications/57.asp)

Cambridge University Press, web site, [www.cup.org](http://www.cup.org), [www.cup.cam.ac.uk](http://www.cup.cam.ac.uk)

UK CAA web site, [www.srg.caa.co.uk/pub/pub\\_home.asp](http://www.srg.caa.co.uk/pub/pub_home.asp)

ICAO web site, [www.icao.int](http://www.icao.int)

## APPENDIX A

### List of Maintenance Error Related Large Aircraft Accidents/Serious Incidents

Date	Operator	A/c	Reg No.	Location	Ops Phase	Event	Fatalities/Damage
14/05/77	DanAir	B707	G-BEBP	Luska, AF	climb	horz stab failure	6/tl
25/05/79	AAL	DC10	N110AA	Chicago	t/o	#1 eng mount failure	272/tl
31/07/79	DanAir	HS748	G-BEKF	UK	t/o	gust lock engaged	17
17/09/79	Air Can	DC9	C-FTLU	Boston	in-flt	rear press bulkhd failure	major
27/12/79	PanAm	B747	N771PA	Heathrow	ldg	#4 eng separation	major
16/02/80	Redcoat	BB253	G-BRAC	Boston	t/o	anti-ice system failure	7/tl
14/03/80	LOT	IL62	SP-LAA	Warsaw	approach	eng failure	87/tl
17/07/80	Aliair	VC801	G-ARBY	over UK		forced ldg, fuel exhaustion	tl
19/08/80	Saudia	L1011	HZ-AHK	ov SA	cruise	cargo bay fire	301/tl
26/08/80	Bouraq	VC801	PK-IVS	Jakarta	approach	tail separation	37/tl
16/09/80	PanAm	DC10	N83NA	Heathrow	t/o	tire failure	
08/11/80	AeroMx	DC9	XA-DEO	Acapulco	in-flt	structural failure	18/tl
23/12/80	Saudia	L1011	HZ-AHJ	ov SA	in-flt	ldg wheel explosion	2
26/03/81	LOT	AN24	SP-LTU	Poland	approach	prop failure	1/tl
26/06/81	DanAir	HS747	G-ASFL	UK	in-flt	baggage door opened	3
22/08/81	FEAT	B737	B2603	ov Taiwan	in-flt	fuselage failure	110/tl
20/09/81	Western AL	DC10	N112WA	ov Atlantic		galley lift failure	1
22/09/81	EAL	L1011	N309EA	ov NJ		uncont'd eng failure	
06/07/82	Aeroflot	IL62	?, Sierra Leone	t/o		uncont'd eng failure	90/tl
11/07/82	PAL	HS747	RP-C1014	Jolo, Phi	t/o	eng failure	1/tl
13/09/82	Spantax	DC10	EC-DEG	Malaga	t/o	wheel failure, overrun	51/tl
24/12/82	CAAC	IL18	B202	Canton	landing	cabin fire	25/tl
16/04/83	Air Lib	HS747	EL-ATH	Kartoum	t/o	eng failure	17/tl
29/04/83	SAN	SE210	HC-BAT	Guyaquil	t/o	eng failure	8/tl
05/05/83	EAL	L1011	N334EA	Miami		3 eng SD, missing oil o-rings	
02/06/83	Air Can	DC9	C-FTLU	Cincinnati	in-flt	lavatory fire	23
02/06/83	Garuda	F28	PK-GFV	Branti, Indo	t/o	eng failure	3
23/07/83	Air Can	B767	C-GAUN	ov Canada		fuel exhaustion, forced ldg	
11/10/83	Air Ill	HS747	N747LL	ov Il		lost elect power, MEL item	10
14/12/83	Tampa Air	B707	HK-2401	Columbia		uncont'd eng failure	25/tl
22/03/84	Pacific W.	B737	C-GQPW	Calgary	t/o	uncont'd eng failure	tl
14/06/84	Austrian	DC9	OE-LDP	ov Vienna		uncont'd eng failure	
30/08/84	Air Cam	B737	TJ-CBD	?		uncont'd eng fail., fuel tank fir	2
18/09/84	AECA	DC8	HC-BKN	Quito, Ecuador	t/o	engine power loss	53/tl

21/01/85 Galaxy, L188, N5532, Reno, NV, t/o-climb,	wing LE edge plate open	70/tl
28/05/85 AAL, DC10-10, N129AA, ?,	#3 eng fwd cowl separated in-flt	
15/08/85 Al Yemda, B707, 70-ACO, Aden,	elev. control loss, emerg lndg	3
12/08/85 JAL, B747, JA8119, near Toyko, in-flt,	pressure bulkhead failure	514/tl
22/08/85 BATour, B737, G-BGJL, Manchester, t/o,	uncont'd eng fail., fire	55/tl
06/09/85 Midwest, DC9, N100ME, Milwaukee,	uncont'd eng fail., cntrl loss	31/tl
31/03/86 Mexicana, B727, XA-MEM, Mexico City	brake/tire explosion	167/tl
28/04/88 Aloha, B73, N73711, Maui, HI,	fwd upper fuselage separation	1
24/02/89 UAL, B74, N4713U, ov Pacific,	explosion, cargo door	9
19/07/89 UAL, DC10, N1819U, Sioux city, IA,	eng fan disk failure	111/tl
10/06/90 BA, BAC111, G-BJRT, over UK, in-flt,	cockpit windshield failure	
22/07/90 USA, B737, N?, ?, in-flt,	eng failure improper machining	
21/08/90 UAL, B737, N?, ?,	FOD tool, caused wheels up lndg	
11/07/91 NationAir, DC8, C-GMXQ, Jeddah, SA,	tire failure, fir	263/tl
11/09/91 Contl Exp, EMB120, N33701, ov TX,	horz stab LE separation	14/tl
30/07/92 TWA, L1011, N11002, JFK, t/o,	false stall warning	tl
15/03/93 Contl AL, B737, N?, ?, t/o,	aileron cable fal., emerg lndg	
26 /08/93 Excalibur, A320, G-KAMA, Gatwick, t/o,	rt wing roll cntrl spoiler locked	
06/06/94 CNWAL, TU154, B2610, ov PRC,	auto pilot failure	160/tl
01/03/94 NWA, B747, N637US, Tokyo, lndg,	separation of #1 eng	
06/06/94 China NW, TY154, B2610, ov China,	auto pilot failure	159/tl
23/02/95 Br. Midlands, B737, G-OBMM, Daventry, UK,	double eng loss of oil pressure	
13/05/95 UPS, DC8-71F, N707UP, Louisville, KY,	right gear failed on landing	
09/06/95 VauleJet, DC9-32, N908VJ, ?,	eng failure of comp. disc	
21/08/95 Atlantic SE, EMB-120, N256AS, ?,	failure & separation of prop	9/tl
06/02/96 Birgenair, B757, TC-GEN, Dom. Rep.,	air data system malf.	189/tl
22/02/96 Million Air, B707, N751MA, ov Miami,	loss all hydraulic fluid	
11/05/96 ValueJet, DC9, N90VJ, ov Miami, t/o, climb,	cargo area in-flt fire	110/tl
06/07/96 DAL, MD-11, N?, ?, t/o,	uncont'd eng failure	2
17/07/96 TWA, B74, N93119, JFK, climb,	fuel tank explosion	230/tl
?/11/96 BA, B747, G-BDXK, Gatwick, climb,	L4 door opened in-flt	
?/11/96 ?, A320, ?, UK, in-flt,	eng fan doors separated	
06/11/97 UKRAF, BAe146, n/a, ov London, multi eng SD, missing oil o-rings		
18/03/98 Formosa Air, S340, B1225, ov Taiwan, climb,	lost control, MEL item	13/tl
18/06/98 PropAir, SA226, C-GQAL ov Montreal,	brake malf., in-flt fire, eng SD	11/tl
07/10/98 CAL, B727, N?, ?,	eng comp. disc failure	
20/01/00 ?, A320, G-VCED, ?, t/o,	#1 eng cowl doors separated	
21/01/00 Alaska, MD83, N963A, LA area,	horz stab failure	88/tl

16/02/00 Emery, DC7-71F, N8079U, CA, climb,	lost elevator contro	1 3/tl
25/07/00 Air France, Concorde, F-BTSC, Paris,	tire blowout, mx FOD related	109/tl
21/01/01 Emirates, B777, ?, t/o,	uncont'd eng failure	
26/04/01 Emery, DC8-71F, N8076U,	Indg failed to extend, wrong part	
20/04/01 Lufthansa, A320, ?, ?, t/o,	elev/ail computer malf, crossed pins	
24/08/01 Air Transat, A330, C-GITS, ov Atlantic,	improper eng. mod., fuel exhaustion	

## APPENDIX B

**The Dirty Dozen** – Developed in Canada and refers to 12 major adverse influences on maintenance personnel performance and provides “safety nets” for countervailing these situations. Posters depicting the “Dirty Dozen” and a quarterly publication called “Ground Effects” can be obtained from the Maintenance and Ramp Society (MARRS).<sup>10</sup> A more thorough explanation of the “Dirty Dozen” then presented here can be found in UK CAA publication CAP 716.

1. Lack of Communication – Use logbook, worksheets, etc. to communicate. Discuss work to be done or what has been completed. Never assume anything.
2. Complacency – Expect to find a fault or defect. Never sign for work not done.
3. Lack of Knowledge – Get training on type. Use up to date manuals. Ask for expert help.
4. Distraction – Always finish a job. Mark uncompleted work. When returning to a job go back a few steps.
5. Lack of Teamwork – Discuss what, who and how a job is to be done. Be sure everyone understands and agrees.
6. Fatigue – Be aware of symptoms in yourself and others. Avoid complex jobs at low energy levels. Sleep and exercise regularly. Ask other to check your work.
7. Lack of Resources – Plan, order stock parts in advance. Use the right tools and equipment.
8. Pressure – Avoid self-induced pressure. Communicate concerns. Ask for extra help. Just say no.
9. Lack of Assertiveness – If things are not right speak up. Refuse to compromise your standards.
10. Stress – Be aware how stress can affect your work. Stop and look rationally at a problem. Take a short break. Discuss with someone. Ask fellow work to monitor your work.
11. Lack of awareness – Think what may occur in the event of an accident. Check to see if work will conflict with existing configuration.
12. Norms – Going along with the group do not make things right. Always work per the manuals/work forms or have them changed.

## APPENDIX C

### Accident/Incident Maintenance Investigation Taxonomy and Checklist

The model, taxonomy and checklist presented here serve as aids, guidelines or memory joggers for the investigator who is not a maintenance specialist. Before using the following information during an

investigation, the investigator should become familiar with basic human factors dealing with maintenance error and other information presented in the body of this technical paper.

First presented is a model and taxonomy of broad domain human error causation that does not focus on specific maintenance areas or elements known to be prone to error. A familiarization with this model prepares the investigator with a framework before considering any specific maintenance area. Many investigators no doubt have some familiarity with Reason's model of accident causation first developed in 1990.

The checklist is derived from the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) program developed by Boeing and others and is intended to focus on several general and specific areas of maintenance, both personnel and organizational, known to be potential trouble areas. Boeing reports that since 1995 it has trained about 145 airlines and a few repair stations to use this model in maintenance error reduction programs.

According to Boeing<sup>11</sup>, about 45 airlines and most of the repair stations trained are currently using MEDA

in some form or degree in their error reduction programs.

#### **A. Human Factors Analysis Classification System (HFACS) Maintenance Extension.**

A tool for identifying and classifying the human causes of aviation accidents based on Reason's 'Swiss Cheese' model of latent and active failures and the work of Shappell and Wiegmann with the U.S.

Military and the FAA. In brief, there are four levels, generally known as defenses or blocks that can prevent the occurrence of a maintenance error. The first three levels each influence the next successive level and they are in rank order furthest from the site of an accident; (1) organizational influences, (2) unsafe supervision and (3) preconditions for unsafe acts. Failures of or the absence of defenses at any of these levels are considered latent failures and may exist or be dormant for some period of time, even years, before coming into play or actualized. Level (4), or last level, say the proximal failure, is the unsafe act and this is the only active failure in Reason's model. The taxonomy and lists (Maintenance Extension of original HFACS taxonomy) have been modified from those appearing in the U.S. Naval Aviation Program, document OPNAV 3750.6R.

#### **HFACS Maintenance Error Taxonomy**

First Order	Second Order	Third Order
	Organizational	Inadequate Processes Inadequate Documentation Inadequate Design Inadequate Resources

Management Conditions	Organizational	Inadequate Processes Inadequate Documentation Inadequate Design Inadequate Resources
Management Conditions	Medical Supervisory	Inadequate Medical System Inadequate Pilot/Operator Status Unsafe Leadership
	Crew Coordination	Inadequate Communication Inadequate Assertiveness Inadequate Adaptability/Flexibility
	Readiness	Inadequate Training/Preparation Inadequate Certification/Qualification Personnel Readiness Infringement
Working Conditions	Environment	Inadequate Lighting/Light Unsafe Weather/Exposure Unsafe Environmental Hazards
	Equipment	Damaged/Unserviced Unavailable/Inappropriate Dated/Uncertified
	Workspace	Confining Obstructed Inaccessible
	Error	Attention/Memory Knowledge/Rule Skill/Technique Judgment/Decision
	Violation	Routine Infraction Exceptional Flagrant

**1. Management Conditions (latent)**

Select List of Unsafe Management Conditions	
<b>ORGANIZATIONAL</b>  <b>Inadequate Processes</b> Task Complex/Confusing	<b>SUPERVISORY</b>  <b>Inadequate Supervision</b> Task Planning/Organization

Procedures Incomplete Non-Existing Procedures	Task Delegation/Assignment Amount of Supervision
<b>Inadequate Documentation</b>	<b>Inappropriate Operations</b>
Not Understandable Information Unavailable Conflicting Information	Information Not Used Unrealistic Expectations Improper Task Prioritization
<b>Inadequate Design</b>	<b>Uncorrected Problem</b>
Poor Layout/Configuration Poor/No Accessibility Easy to Incorrectly Install	Manual Not Updated Parts/Tool Incorrectly Labeled Known Hazards Not Controlled
<b>Inadequate Resources</b>	<b>Supervisory Misconduct</b>
Parts Unavailable Manning Shortfall Funding Constraint	Policy/Procedures Not Followed Policy/Procedures Not Enforced Assigned Unqualified Worker

## 2. Maintenance Personnel Conditions (latent)

Select List of Unsafe Maintenance Personnel Conditions		
MEDICAL	CREW COORDINATION	READINESS
<b>Adverse Mental State</b>	<b>Inadequate Communication</b>	<b>Inadequate Training/Preparation</b>
Peer Pressure	Non Standard Hand Signals	New/Changed Task
Complacency	Inappropriate Log Entry	Inadequate Skills
Life Stress	Inadequate Shift Turnover	Inadequate Knowledge
<b>Adverse Physical State</b>	<b>Inadequate Assertiveness</b>	<b>Inadequate Certification/Qualification</b>
Health/Illness	Peer Pressure	Note Certified for Task
Fatigue	New to Group	Not Licensed to Operate
Circadian Rhythm	<b>Inadequate Adaptability</b>	<b>Personnel Readiness</b>
<b>Unsafe Limitations</b>	Non-adherence to Change	<b>Infringement</b>
Body Size/Strength	Different from Similar Tasks	Self-Medication
Eye Sight/Hearing	Disregard of Constraint	Alcohol Use
Reach/View		Crew Rest

## 3. Working Conditions (latent)

Select Examples of Unsafe Working Conditions		
ENVIRONMENT	EQUIPMENT	WORKSPACE

<b>Inadequate Lighting/Light</b>	<b>Damaged/Unserviced</b>	<b>Confining</b>
Inadequate Natural Light	Unsafe/Hazardous	Constrained Tool Use
Inadequate Artificial Lighting	Unreliable/Faulty	Constrained Equipment Use
Dusk/Night time	Inoperable/Uncontrollable	Constrained Position
<b>Unsafe Weather/Exposure</b>	<b>Unavailable/Inappropriate</b>	<b>Obstructed</b>
Temperature	Unavailable for Use	Not Visible
Precipitation	Inappropriate for Task	Not Directly Visible
Wind	Power Sources Inadequate	Partially Visible
<b>Unsafe Environmental</b>	<b>Dated/Uncertified</b>	<b>Inaccessible</b>
<b>Hazards</b>	Unreliable/Faulty	Totally Inaccessible
	Inoperable/Uncontrollable	Not Directly Accessible
	Miscalibrated	Partially Accessible
High Noise Levels		
Housekeeping/Cleanliness		
Hazardous/Toxic Substances		

#### 4. Maintenance Personnel Acts (active)

Select List of Unsafe Maintenance Personnel Acts	
<b>ERROR</b>	<b>VIOLATION</b>
<b>Attention/Memory</b>	
Omitted Procedural Step	Routine (if norm)/Infraction (if isolated)
Distraction/Interruption	
Failed to Recognize Condition	Inappropriate Tools/Equipment
<b>Knowledge/Rule Based</b>	Procedures Skipped/Reordered
Inadequate Task Knowledge	Did Not Use Publication
Inadequate Process Knowledge	Exceptional (if minor)/Flagrant (if blatant)
Inadequate Aircraft Knowledge	
<b>Skill/Technique Based</b>	Not Using Required Equipment
Poor Technique	Signed-off Without Inspection
Inadequate Skills	
Inappropriate Technique	
<b>Judgment/Decision-Making</b>	
Exceeded Ability	
Misjudged/Misperceived	
Misdiagnosed Situation	



**B. Maintenance Error Decision Aid (MEDA) - areas and elements of maintenance error investigation and their corresponding possible contributing factors.**

**1. Areas and elements for maintenance error investigation.**

**(a) Improper Installation:**

- Required equipment not installed
- Wrong equipment/parts installed
- Improper location
- Incomplete installation
- Extra parts installed
- Access panel not closed
- System/equipment not reactivated/deactivated
- Damaged

**(b) Improper Servicing:**

- Insufficient fluid
- Too much fluid
- Wrong type of fluid
- Required servicing not performed

**(c) Improper/Incomplete Repair or Alteration:**

- See improper installation
- See improper fault isolation/inspection/testing
- See actions causing FOD
- Deviated from instructions/manuals
- Induced stress, fatigue, corrosion, lower strength, flutter

**(d) Improper Fault Isolation/Inspection/Testing:**

- Degradation not found
- Access panel not closed
- System or equipment not deactivated/reactivated
- Not properly tested
- Fault not properly isolated

**(e) Actions Causing Foreign Object Damage (FOD):**

- Material left in airplane/engine
- Debris on ramp
- Debris falling into open system

**2. Contributing Factors**

- Information (work cards, procedures, maintenance manuals, service bulletins, maintenance tips, non-routine write-ups, part catalogues, etc.):

Not understandable

Unavailable/inaccessible

Incorrect

Too much/conflicting information

Update process too long/complicated

Incorrectly modified manufacture's MM/SB

Information not used

- Equipment/Tools/Parts:

Unreliable

Poor layout of controls/display

Mis-calibrated

Unavailable

Inappropriate for the task

Can't use in intended environment

No instructions

Too complicated

Incorrectly labeled

Not used

- Aircraft Design/Configuration/Parts:

Complex

Inaccessible

Aircraft configuration variability

Parts unavailable

Part incorrectly labeled

Easy to install incorrectly

- Job Task:

Repetitive/monotonous

Complex/confusing

New task or task change

Different from other similar tasks

- Technical Knowledge/Skills:

Inadequate skills

Inadequate task knowledge

Inadequate task planning

Inadequate operator process knowledge

Inadequate aircraft/engine system knowledge

- Factors Affecting Individual Performance:

Physical health (including hearing and hearing)

Fatigue

Time constraints

- Peer pressure
- Complacency
- Body size/strength
- Personal event (e.g. family problem, etc.)
- Workplace distraction
- Environment/Facilities:
  - High noise level
  - Hot
  - Cold
  - Humidity
  - Rain
  - Snow
  - Lighting
  - Wind
  - Vibration
  - Cleanliness
  - Hazardous/toxic
  - Power sources
- Organizational Factors:
  - Quality of support from technical organization (engineering, planning, tech pubs, training, etc.)
  - Company policies
  - Company work process
  - Union action
  - Corporate change/restructuring
- Leadership/Supervision:
  - Poor planning/organization of tasks
  - Inadequate prioritization of work
  - Inadequate delegation /assignment of task
  - Unrealistic attitude/expectation
  - Amount of supervision
- Communications:
  - Between departments
  - Between technicians
  - Between shifts
  - Between maintenance crew and lead
  - Between lead and management
  - Between flight crew and maintenance

# **Lack of Error Mitigation Tools: The Weakest Link in Maintaining Airworthiness?**

Hon. John Goglia, Manjo S. Patankar, James C. Taylor

55<sup>th</sup> IASS FSF, IFA, IATA, Dublin, Ireland, November 2002

## **[英文摘要]**

This paper presents the most common maintenance error types that are found across three samples: ASRS self-report (n=939), FAA rule violation cases (n=30), and NTSB fatal accident reports (n=14). Five reactive and three proactive error mitigation tools were discovered to be available within the maintenance community. Therefore, the lack of error mitigation tools is not the weakest link in maintaining airworthiness. When the applicability of these tools to the NTSB cases was studied, the authors discovered that although most of the error mitigation tools may have prevented the accidents, the mechanics and managers would have to depend on mutual trust to ensure safety. When the level of such mutual trust was examined, the MRM/TOQ analysis illustrated that up to a third of the mechanics surveyed don't trust that their managers will act in the interest of safety.

## **[中文摘要]**

本篇論文探討航空器維護是否已具備足夠的錯誤減輕工具之問題。內文共分成文獻回顧、研究方法、結果與討論以及結論。

在文獻回顧方面，作者回顧維護資源管理(MRM)訓練的發展與其效用，並探討錯誤減輕工具的觀念與技術(包含事後因應的錯誤減輕技術(Reactive Error Mitigation Techniques)與事前預防的錯誤管理技術(Proactive Error Management Techniques))在航空器維護管理上之應用。在研究方法上，作者針對美國國家運輸安全委員會(NTSB)的 14 件失事樣本報告與航空安全報告系統(ASRS)樣本以及違反規則(Rule violation)樣本做比較分析，嘗試以錯誤減輕工具與技術來解釋如何解決問題，並針對 6 家航空維護組織的 4,650 位員工進行維護資源管理/技術操作問卷的意見調查分析(MRM/TOQ)。

研究結果發現，裝置錯誤(Installation errors)與檢查錯誤(Inspection errors)應該列為首要順序優先處理。此外，事前預防與事後因應兩種錯誤減輕工具可以有效降低目前錯誤的衝擊以及未來錯誤的可能性，而信任在維護程序上扮演一個關

鍵性的角色。因此，實際上並非欠缺錯誤減輕工具，而是在維護領域中機械員和管理階層之間應建立互信，才能從根本改進航空器維護品質，避免維護錯誤的發生。

### 文獻回顧(Literature Review)

#### 維護資源管理(Maintenance Resource Management)

在 1988 年 Aloha 航空失事事故之後，美國航空維護界啟動維護資源管理(Maintenance Resource Management; MRM)計畫，其目標在於瞭解並降低維護錯誤。傳統上，維護資源管理(MRM)計畫著重在提高個人對於影響人為績效(Human performance)相關因素的維護專業警覺性(Awareness)(Taylor 與 Patankar, 2001)。回顧維護資源管理(MRM)訓練的整體效用顯示，提昇了參與者對維護資源管理(MRM)觀念的熱誠、提昇了參與者對安全議題的警覺性(Awareness)、使參與者急切想要應用他們的知識。但是，若初始的維護資源管理(MRM)訓練之後沒有重複的訓練或強化管理階層對安全的承諾，則熱誠將會削減(Taylor, 1998; Taylor 與 Christensen, 1998; Taylor 與 Patankar, 2001)。在維護資源管理(MRM)訓練不久之後，許多機械員(Mechanic)報告他們在個人的工作上做了一些改變以降低錯誤。

傳統上，維護資源管理(MRM)課程包含許多的主題，例如被廣泛使用的“Dirty Dozen”(參照 Taylor 與 Christensen, 1998)、文件作業錯誤的降低(Paperwork error reduction)、運用維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)格式的錯誤調查、利用不同的工作團體的角色扮演(Role-playing)以顯示人際溝通、造成失事的事件鏈(Chain of events)的說明、一些團隊建立(Team-building)或溝通練習、重複強調觀念的影帶觀賞與討論等等。維護資源管理(MRM)訓練從事後因應觀點(Reactive perspective)討論錯誤及其影響，或分析過去的失事/意外事故(Accident/incident)實例以探討原因因素(Causal factors)及其在事件鏈(Chain of events)的連結。第四階段的維護資源管理(MRM)計畫正開始發展並運用錯誤減輕工具(Error mitigation tools)，例如 Concept Alignment Process(參照 Taylor 與 Patankar, 1999)以事前預防管理決策使系統的問題(Systemic problems)以定期且持續的方式(A regular and consistent basis)在變成錯誤之前能夠被確認並加以解決。

#### 錯誤減輕：觀念與技術(Error mitigation: Concept and Techniques)

Reason(1997)定義錯誤管理有 2 種程序：錯誤降低(Error reduction)與錯誤抑制(Error containment)。錯誤降低(Error reduction)程序傾向於著重在將可能導致錯誤的狀況降到最低；錯誤抑制(Error containment)則是傾向於將錯誤不良的影響(Undesirable effects of errors)減到最少。作者在本文中將 Reason 提到的“錯誤抑制(Error containment)”稱之為“錯誤減輕(Error mitigation)”，並將狀態警覺(Situational awareness)、人際溝通(Interpersonal communication)、信任(Trust)、團隊合作(Teamwork)及主見(Assertiveness)納入其中。為了成功地運用錯誤減輕(Error mitigation)工具，必須認識錯誤並瞭解如何介入(Intervene)以便能掌握錯誤經過先前存在的防衛屏障之軌跡(Trajectory)或降低錯誤所導致的傷害。

#### 事後因應之錯誤減輕技術(Reactive Error Mitigation Techniques)

作者介紹 5 種事後因應的錯誤減輕技術(Reactive Error Mitigation Techniques)，包含①維護資源管理警覺性訓練計畫(MRM Awareness Training Programs)②圓桌討論(Round Table Discussions)③焦點團體(Focus Groups)④維護上的航空安全行動計畫(ASAP in Maintenance)⑤MEDA 型事件後調查(MEDA-type Post-event Investigations)，分別敘述如下：

#### **1.維護資源管理警覺性訓練計畫(MRM Awareness Training Programs)**

維護資源管理(MRM)訓練著重在引起參與者對維護環境中對於人類能力和極限的警覺性，並告知參與者他們的行為如何影響飛航安全，希望透過態度的改善使參與者的行為能如預期的方式改變。美國許多航空公司以維護資源管理(MRM)計畫訓練他們的機械員(Mechanic)與管理者(Managers)已達成一些正面的效果；不過，由於來自於資深高層的有限支持使得這些正面的效果是短暫的(Taylor, 1998)。

#### **2.圓桌討論(Round Table Discussions)**

Taylor 與 Christensen(1998)將圓桌討論(Round Table Discussions)描述為防止類似錯誤再度發生的方法。有 1 家維護組織以 4 人組成 1 組團隊：1 位維護管理者(Maintenance managers)、1 位工會代表、1 位 FAA 檢查人員(Inspector)、1 位承認犯錯的工作人員。藉由此種圓桌討論的方法，成功地贏得勞方的信任，並且實施了廣泛、系統的解決方案。

#### **3.焦點團體(Focus Groups)**

在 1 家航空公司的某 1 特定停機線維護單位遭遇明顯較高的文件作業錯誤(Paperwork errors)(Taylor 與 Christensen, 1998)，因此聘請 1 位顧問與領班(Foreman)及機械員(Mechanic)進行討論，希望找出造成文件作業錯誤(Paperwork errors)的原因因素(Causal factors)與可能的解決方案。透過這樣的焦點團體(Focus Groups)，結合勞資的團隊能夠重新設計其維護紀錄本(Logbooks)等文件以降低文件作業的錯誤。

#### **4.維護上的航空安全行動計畫(ASAP in Maintenance)**

美國聯邦航空總署(FAA)(1997)發佈諮詢傳閱文件(Advisory Circular ;AC)120-66A 試圖鼓勵業界及其本身的檢查人員(Inspector)合作參與航空安全行動計畫(Aviation Safety Action Plan)，此計畫類似圓桌討論的方式，已知僅有 1 家航空公司的航空安全行動計畫(Aviation Safety Action Plan)是成功的，另外有 5 家航空公司亦在進行航空安全行動計畫，其結果未知。

#### **5.MEDA 型事件後調查(MEDA-type Post-event Investigations)**

波音公司在 1996 年發佈維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)，用來分析錯誤的種類、錯誤的影響以及錯誤促成因素的調查(參照 Rankin 與 Allen, 1996)，此類事件後調查(Post-event Investigations)用來確認系統的問題。

#### **事前預防之錯誤管理技術(Proactive Error Management Techniques)**

作者介紹 3 種事前預防的錯誤管理技術(Proactive Error Management

Techniques)，包含①工作設計(Work Design)②關鍵行為(Key Behaviors)③觀念一致過程(CAP)，分別敘述如下：

### 1.工作設計(Work Design)

“工作設計(Work Design)”包含將工作與操作者(Operators)連結以及將工作與控制關鍵元素(Control crucial elements)連結以達到所需品質的產品(Drury, 1998)。將社會的(Social)與技術的(Technical)方面結合起來設計反映工作場所的現實狀況(Workplace reality)並產生較佳的績效(Better performance)及更高的工作場所之滿意度(Higher workplace satisfaction)。這個將組織在社會的(Social)與技術的(Technical)方面聯合最佳化的程序稱為“社會技術的系統(Sociotechnical system)(或 STS)設計”(Drury, 1998; Taylor 與 Felten, 1993)。航空維護組織被視為社會技術的系統(Sociotechnical system)(Taylor, 1991; Taylor 與 Felten, 1993; Drury, 1998)。

### 2.關鍵行為(Key Behaviors)

在航空維護方面，“關鍵行為(Key Behaviors)”被用來區分鹵莽的行為(Reckless behavior)與誠實的犯錯(Honest mistake)。關鍵行為(Key Behaviors) 被用來將“責難文化(Blame culture)”轉換成“公平文化(Just culture)”。

在 STS 項目中，影響其產品(Product)的系統元素(System elements)程度最顯著的是“關鍵變數(Key variances)”以及控制關鍵變數(Key variances)的必要行為；可視之為“關鍵行為(Key Behaviors)”。一旦確定關鍵變數(Key variances)，則可運用 STS 程序來設計工作。但大部份的航空維護工作系統並非以相關行為設計以達到有效率地運作。

### 3.觀念一致過程：團隊決策(Concept Alignment Process: Team Decision-making)

(Concept Alignment Process; CAP)是美國麻州 Stow CMR 公司發展出來的(Lynch, 1996)。此過程成功地阻止 1 個進行中的錯誤，並防止未來的錯誤。此過程的成功運用由 Patankar 與 Taylor (1999)加以整理在文獻中。

### 維護錯誤最常產生的影響(Most Common Effects of Maintenance Errors)

根據 Patankar 與 Taylor (1999)分析 939 件航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)的報告發現，維護錯誤造成影響的前 5 項為：40%的維護錯誤造成營運飛行(Revenue flight)的不適航派遣(Unairworthy Dispatch)；16%的維護錯誤在造成損壞前被發現；12%的維護錯誤導致重新處理(Rework)；9%的維護錯誤導致空中回航(Air turnback)；8%維護錯誤導致航空器損壞。其他 31%的維護錯誤分別導致滑回登機門(Gate return)、航班轉降(Flight diversion)、航班延誤(Flight delay)、空中發動機關車(In-flight engine shutdown)、航班取消(Flight cancellation)、人員受傷(Personal injury)。導致將航空器不適航(Unairworthy)簽放的前 3 項錯誤為：不適當的文件(Improper documentation)、不適當的裝置(Improper installation)與在未執行的工作單上簽字(Sign-off of work not performed)。

在航空器機械員違規的根本原因之研究方面，Patankar (2002)發現樣本中維護錯誤造成影響的前 5 項的其中 3 項與 ASRS 的報告樣本相同，分別為：不適航派遣(Unairworthy Dispatch)有 32%，在造成損壞前被發現有 23%，空中回航(Air

turnback)有 13%。另外 2 項維護錯誤造成的影響為：航班延誤(Flight delay)有 7%，對於有疑問之未核准使用零組件的通告未妥善歸檔有 7%(Failure to file suspected unapproved parts notice)。

## 方法(Method)

作者針對美國國家運輸安全委員會(NTSB)的 14 件失事樣本報告與航空安全報告系統(ASRS)樣本以及違反規則(Rule violation)樣本做比較分析，並針對 6 家航空維護組織的 4,650 位員工進行維護資源管理/技術操作問卷的意見調查分析(MRM/TOQ)，分別敘述如下：

### 美國國家運輸安全委員會樣本(The National Transportation Safety Board Sample)

美國國家運輸安全委員會(NTSB)樣本報告是依據下列準則(Criteria)來選取：(a)已有最終報告，(b)失事樣本發生在 1976 年 1 月 1 日至 1996 年 12 月 31 日之間，(c)維護、修理或檢查錯誤被列為可能原因或促成因素之一。共有 14 件失事樣本確認符合準則。此樣本報告確認前 3 項的維護錯誤並與 ASRS 樣本(Patankar 與 Taylor)以及違反規則樣本(Rule violation sample)(Patankar, 2002)做比較。

### 維護資源管理/技術操作問卷調查資料分析(MRM/TOQ Data Analysis)

在 1999 年至 2002 年期間，共有 6 家航空維護組織的 4,650 位員工完成維護資源管理/技術操作問卷調查資料分析(MRM/TOQ)的調查。這 6 家航空維護組織包含主要航空公司(Major airlines)及小型航空公司(Small airlines)的維護單位(Maintenance departments)以及商用航空修理廠所(Commercial aviation repair stations)。每個樣本代表 1 個以美國為基地的航空運輸公司或航空公司內 1 個分離的樣本。參與者包含機械員、維護管理者及維護支援人員。以下是 3,973 位 6 家航空維護組織的受試者的樣本說明：

樣本 A(樣本數=116)：是 1 家大型航空公司(Large airlines)的維護單位中階層隨機選取的 10%。在調查時，並沒有受試者接受人為因素(HF)或維護資源管理(MRM)的課程。

樣本 B(樣本數=129)：包含 1 家大型航空公司(Large airlines)的維護單位中志願參與人為因素(HF)及安全訓練計畫的員工。在調查之前，受試者還沒有接受人為因素(HF)及安全訓練計畫。此樣本包含很高比例的大學教育程度及女性受試者，有相當高比重的管理階層受試者。

樣本 C(樣本數=2,408)：這是另 1 家大型航空公司(Large airlines)的維護單位中被規定參與人為因素(HF)及安全訓練計畫的員工。在調查之前，受試者還沒有接受人為因素(HF)及安全訓練計畫。

樣本 D(樣本數=76)：這是 1 家較小型區域航空公司(Smaller regional airlines)的維護單位之員工。在調查時，並沒有受試者接受人為因素(HF)或維護資源管理(MRM)的課程。



樣本 E(樣本數=209)：是 1 家大型航空器修理廠所(Large aircraft repair station)。包含所有的維護管理階層以及隨機選取 10%的機械員。在調查時，並沒有受試者接受人為因素(HF)或維護資源管理(MRM)的課程。

樣本 F(樣本數=1,035)：這是另 1 家大型航空公司(Large airlines)的維護單位中被規定參與人為因素(HF)及安全訓練計畫的員工。在調查之前，受試者還沒有接受人為因素(HF) 及安全訓練計畫。

在本文中，將檢視機械員(Mechanics)與維護管理者(Managers)的信任程度，並運用變異數分析(Analyses of Variance; ANOVA)來測試 6 家航空維護組織與職業之間的差異性。

## 結果與討論

### 美國國家運輸安全委員會樣本(The National Transportation Safety Board Sample)

#### 案例一：1995 年 8 月 21 日大西洋東南航空公司(Atlantic Southeast Airlines)

NTSB 確定失事可能原因是螺旋槳葉片空中疲勞斷裂並分離，造成左側發動機短艙扭曲產生額外阻力及機翼昇力損失，並導致航空器的方向控制性降低。由於 Hamilton Standard 公司不適當且無效的檢查與修理技術、訓練、文件與溝通造成多重腐蝕凹陷(Multiple corrosion pits)未被 Hamilton Standard 公司發現而導致該次失事。

#### 案例二：1996 年 1 月 7 日 ValuJet 航空公司

NTSB 確定失事可能原因是飛行組員回應飛行中不正常情況時不適當的程序與行動，導致在最後進場至落地過程中飛機的地面用擾流板(Ground spoilers)產生意外的作動(The inadvertent in-flight activation)，使飛機增加下降率以及在進場燈區的嚴重衝撞地面(Excessively hard ground impact)。此失事的促成因素是：(a) ValuJet 航空公司未在其操作與維護手冊內加入寒冷氣候機鼻起落架保養程序(Servicing procedures)；(b)ValuJet 航空公司的快速參考手冊(Quick Reference Handbook)之程序指南不完整；(c)飛行組員對航空器系統的知識與瞭解不夠充分。

#### 案例三：1995 年 6 月 8 日 ValuJet 航空公司

NTSB 確定失事可能原因是 Turk Hava Yollari 維護與檢查人員未成功執行第 7 級高壓壓縮器碟盤(7<sup>th</sup> stage high compressor disk)的檢查工作，導致在正常操作狀況時裂痕成長至碟盤破裂的狀態，使得發動機的破片進到機身內部，且發動機的破片嚴重損壞發動機主燃油管，使客艙迅速陷入火海中。缺乏適當的紀錄保存系統(Record-keeping system)及未能使用“程序單(Process sheets)”將翻修/檢查程序(Overhaul/inspection procedures)的每一步驟文件系統化是促成無法偵測到裂痕以及該次失事的因素。

#### 案例四：1994 年 12 月 14 日 Phoenix Air Group 航空公司

NTSB 確定失事可能原因是(a)為了特殊任務操作所做的不適當之電線裝置，導致飛行中起火使得飛機系統及結構受損，並引造成隨後飛機控制困難；(b)不適當的維護與檢查程序；(c)特殊任務系統裝置的維護與檢查實施之不當監督與核准。

**案例五：1994 年 3 月 1 日西北航空公司(Northwest Airlines, Inc.)**

NTSB 的結論是執行該飛機工作的維護與檢查人員未經適當的訓練及認證。此外，該架飛機的高階維護的工作環境不當促成工作人員容易產生犯錯的狀況。

**案例六：1991 年 9 月 11 日 Continental Express, Inc.**

NTSB 確定失事可能原因是 Continental Express 的維護與檢查人員未遵守適當的飛機水平安定面除冰靴(Airplane's horizontal stabilizer deice boots)的維護與品質確認程序，導致飛行中飛機姿態的失控而使飛機解體(Breakup of the airplane)。促成該次失事的因素是：Continental Express 管理階層未能確認遵循核准之維護程序，且 FAA 未能有效監督 Continental Express 遵循核准之維護程序。

**案例七：1989 年 7 月 19 日聯合航空公司(United Airlines, Inc.)**

NTSB 確定失事可能原因是聯合航空公司發動機翻修工廠在使用檢查與品管程序時未能適當考量人為因素的限制，導致對於 GE 發動機公司製造的第 1 級風扇碟盤(1<sup>ST</sup> stage fan disk)的關鍵區域之金屬缺陷造成的疲勞裂痕(Fatigue crack)未能偵測到。隨後造成負責飛行操控的液壓系統失效。

**案例八：1989 年 3 月 18 日 Evergreen International Airlines, Inc.**

NTSB 確定失事可能原因是由於貨艙門未適度鎖上(原因不明)，導致飛行中飛機貨艙門開啟造成飛機失控。此失事的促成因素是：(a) Evergreen 航空公司使用不當的飛機貨艙門飛行前安全確認程序；(b) Evergreen 航空公司未能適當標飛機機外貨艙門上鎖銷(Cargo door lock pin)手動控制手把(Manual control handle)；(c)麥道公司未能提供飛行組員對於貨艙門飛行中開啟之指南與緊急處理程序。FAA 未能從先前已知的飛行中飛機貨艙門開啟事件學得教訓，要求 DC-9 貨機的貨艙門開啟警告系統執行強制修正。

**案例九：1989 年 2 月 24 日聯合航空公司(United Airlines, Inc.)**

NTSB 確定失事可能原因是飛機前方下貨艙門未適度鎖上，導致飛行中突然開啟造成爆炸式減壓(Explosive decompression)。此失事的促成因素是：飛機貨艙門上鎖機構設計上的瑕疵。此外，聯合航空公司缺乏貨艙門適當的維護與檢查，且波音公司與 FAA 在 1987 年泛美(Pan Am)航空公司 B747 飛機艙門開啟事件後缺乏即時的改正行動亦是促成因素。

**案例十：1988 年 4 月 28 日 Aloha 航空公司(Aloha Airlines, Inc.)**

NTSB 確定失事可能原因是 Aloha 航空公司維護計畫未能偵測到機身結構明顯的分離(Disbonding)與疲勞損傷(Fatigue damage)，導致機身上半部脫離(Separation)。此失事的促成因素是：(a) Aloha 航空公司管理階層未能適當地監督維護人力；(b)FAA 未能適當評估 Aloha 航空公司的維護計畫及找出該航空公司

檢查與品管的缺失；(c)FAA 未能根據波音警戒技術通報(Alert Service Bulletin) SB 737-53A1039 發佈適航指令(Airworthiness Directive)87-21-08 檢查波音 737 飛機所有的 Lap joints；(d)在發現早期生產的波音 737 飛機的 Cold bond lap joint 有低耐用性、腐蝕及過早疲勞裂痕的缺陷之後，缺乏完整的終結行動(Terminating action)。

**案例十一：1983 年 5 月 5 日東方航空公司(Eastern Air Lines, Inc.)**

NTSB 確定失事可能原因是由於機械員未遵照適當的程序裝置所有在主金屬屑偵測器上的 O 型環油封(O-ring seals)，導致潤滑油流失及對 3 具發動機造成損壞。此失事的促成因素是：FAA 維護檢查員未評估主金屬屑偵測器的事務並採取有效的監督與強化行動來預防類似事故的發生。

**案例十二：1981 年 9 月 22 日佛羅里達航空公司(Air Florida Airlines, Inc.)**

NTSB 確定失事可能原因是品管檢查未能偵測到在發動機低壓渦輪模組(Low pressure turbine module)重組時遺留在低壓渦輪凹處的外物(Foreign material in the low pressure turbine cavity)。

**案例十三：1979 年 5 月 25 日美國航空公司(American Airlines)**

NTSB 確定失事可能原因是由於不當的維護程序產生維護誘發的損壞(Maintenance-induced damage)造成發動機掛架結構失效使 1 號發動機在起飛時脫離。此失事的促成因素是：(a)發動機掛架接合點設計上易發生維護損壞的弱點；(b)機翼前緣襟翼系統設計上易發生損壞造成不對稱的弱點；(c)FAA 監督與報告系統未能偵測並預防不當的維護程序之使用；(d)航空公司、製造廠、FAA 對於先前維護損壞事故缺乏溝通；(e)操作程序對於此獨特緊急狀況的偏狹。

**案例十四：1976 年 2 月 8 日 Mercer 航空公司(Mercer Airlines, Inc.)**

NTSB 確定失事可能原因是由於 3 號螺旋槳的 1 號槳葉除冰靴下方槳葉前緣的疲勞裂痕(Fatigue crack)造成螺旋槳失效所引起。該裂痕在翻修(Overhaul)時未被偵測到。

**美國國家運輸安全委員會 NTSB 樣本與 ASRS 樣本及違反規則樣本之比較 (Comparison of the NTSB with ASRS and the Rule Violation Samples)**

表一顯示這 3 種樣本前 3 項維護錯誤之種類之整理：航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)(樣本數=939)，違反規則(Rule violation cases) (樣本數=30)，NTSB 致命失事報告(Fatal accident reports)(樣本數=14)。裝置錯誤(Installation Error)是這 3 種樣本共同的錯誤種類，檢查錯誤(Inspection Error)出現在 NTSB 樣本及 ASRS 樣本內，但未出現在違反規則樣本內。

Table 1: Comparison of maintenance errors across three samples		
Sample	Dominant Effect of Maintenance Error	Types of Maintenance Error
ASRS Reports (n=939)	Unairworthy Dispatch (40% of Cases)	Installation (37%) Documentation (28%) Inspection (8%)
Rule Violation Cases (n=30)	Unairworthy Dispatch (32% of Cases)	Documentation (26%) Installation (19%) Sign-off of Work Not Performed (13%)
NTSB Reports (n=14)	Serious Accident (100%)	Inspection (57%) Installation (36%) Servicing (7%)

### 錯誤減輕工具的選擇(The Choice of Error Mitigation Tools)

作者針對 NTSB 的 14 件失事樣本，根據其原因與促成因素來分析所適用的錯誤減輕(Error mitigation)工具，簡述如下：

#### 裝置錯誤 (Installation Errors)

裝置錯誤 (Installation errors)包含：(a)忘記裝上 1 個零組件(Component)，(b)裝上錯誤的零組件(Wrong component)，(c) 裝上正確的零組件，但方向不正確，(d) 忘記關上蓋板(Access panel)或將航空器恢復為正常狀態。

從 NTSB 的 14 件失事樣本分析可知，案例四、案例五、案例六、案例十一、案例十三是屬於裝置錯誤 (Installation errors)，分述如下：

#### **案例四：1994 年 12 月 14 日 Phoenix Air Group 航空公司**

這是典型使用其他航空器做為維護工作參考依據的組織積非成是之案例。依據其他航空器並複製其修理方法是不專業的做法。若第一架航空器修理方法錯誤，則其餘航空器如法炮製結果都是錯誤的。雖然關鍵行為(Key Behaviors)及觀念一致過程(CAP)具有確認此類錯誤的潛力，但組織的積非成是使得像圓桌討論(Round Table Discussions)或是焦點團體(Focus Groups)等系統化的事後工具更為有效率。

#### **案例五：1994 年 3 月 1 日西北航空公司(Northwest Airlines, Inc.)**

此案例呈現許多維護程序長期系統的缺陷，包含工作卡(Job cards)及維護手冊說明的不一致、缺乏一般的維護訓練、沒有結構化的在職訓練(Unstructured on-the-job training)等等。所有事後因應之錯誤減輕技術(Reactive error mitigation techniques)可以確認此類錯誤的促成因素。

#### **案例六：1991 年 9 月 11 日 Continental Express, Inc.**

這是輪班交接及檢查人員、督導人員、機械員之間溝通的問題。根據關鍵行為(Key Behaviors)方法，第二輪檢查人員有責任告訴他的督導人員他所執行的工作。從 NTSB 報告發現，當第三輪督導人員問第二輪的督導人員時得到負面的回應。從觀念一致過程(CAP)觀點來看，此狀況呈現出觀念衝突的現象。此時觀念一致過程(CAP)採取請第三者做確認(Validation)，而第二輪檢查人員是最佳諮詢對象。事後因應之錯誤減輕技術(Reactive error mitigation techniques)可以確認未依班表(Off-schedule)工作分派的風險。

#### 案例十一：1983 年 5 月 5 日東方航空公司(Eastern Air Lines, Inc.)

從錯誤減輕工具的觀點來看，機械員可能使用事前預防與事後因應兩種工具。關鍵行為(Key Behaviors)及觀念一致過程(CAP)要求機械員(a)質疑若拿到有 O 型環的金屬屑偵測器時為何工作卡(Job cards)仍有裝置 O 型環的項目(b)就防漏測試而論，並沒有特定的發動機運轉測試時間，機械員必須徵詢他人意見或自己實驗來精確地判斷若金屬屑偵測器未裝置 O 型環時多久時間會漏油。

#### 案例十三：1979 年 5 月 25 日美國航空公司(American Airlines)

從關鍵行為(Key Behaviors)的觀點來看，若維護行動造成其他的損壞，表示必定有錯誤存在。可能是程序/工具不正確或是機械員錯誤的使用。在這個特別的案例，似乎是使用者(Operator)為了節省時間而修改製造廠建議的程序。使用者(Operator)至少有 6 次機會應用事後因應工具來解決問題。

#### 檢查錯誤(Inspection Errors)

檢查錯誤(Inspection errors)與個人無法偵測到瑕疵(Flaw)或功能異常(Malfunction)相關聯。無能力(Inability)的原因因素(Causal factors)包含缺乏訓練、知識不足、惡劣的環境狀況、零件檢查的接近性不足(Inaccessibility)、有缺陷或無效用的測試裝備、對缺陷容許裕度標準不適當、自滿(Complacency)以及時間壓力。

從 NTSB 的 14 件失事樣本分析可知，案例一、案例三、案例七、案例八、案例十、案例十二、案例十四是屬於檢查錯誤(Inspection errors)，分述如下：

#### 案例一：1995 年 8 月 21 日大西洋東南航空公司(Atlantic Southeast Airlines)

從事前預防的觀點來看，因為 Hamilton Standard 公司的技術人員熟悉指定的行為，所以關鍵行為(Key Behaviors)策略可能對預防此次失事並無效用。另一方面，觀念一致過程(CAP)能夠讓技術人員認知機上檢查(On-wing inspection)和他自己的檢查結果之間的衝突。在這種衝突之下，徵求第三者的意見，若 Hamilton Standard 公司的技術人員有徵詢第三者的意見，則結果可能會不同。此外，根據觀念一致過程(CAP)，最保守的行動是剔退(Reject)該螺旋槳葉片而不是讓它過關。

就事後因應的觀點來看，維護資源管理(MRM)警覺性訓練可以警惕 Hamilton Standard 公司的技術人員：(a)在執行特定工作的知識或技術不足，(b)混淆或不良的書寫程序造成過去的錯誤。適當成員的圓桌討論(Round Table Discussions)可以釐清修理程序的模稜兩可，並可確認系統的缺陷以及尋求廣泛且長期的解決方法。維護錯誤決策輔助(MEDA)調查可以確認系統的缺陷，例如程序與訓練。

#### 案例三：1995 年 6 月 8 日 ValuJet 航空公司

在檢查方面，程序單(Process sheets)提供零件情況的狀態警覺(Situational awareness)。未使用程序單(Process sheets)或等同的零件追蹤系統是系統的問題。關鍵行為(Key Behaviors)及觀念一致過程(CAP)對於這類情況會產生有利的結果，而圓桌討論(Round Table Discussions)或焦點團體(Focus Group)等事後因應技術可能會引起廣泛且長期的變化。

#### **案例七：1989 年 7 月 19 日聯合航空公司(United Airlines, Inc.)**

在事前預防方面，關鍵行為(Key Behaviors)及觀念一致過程(CAP)均可預防這類情況。從關鍵行為(Key Behaviors)的觀點來看，這僅是專業實作的事項；從觀念一致過程(CAP)的觀點來看，這是練習與自己本身一致。

在事後因應方面，檢視測試與故障排除過程以決定其效用性是很重要的。例如疲勞、有限的照明、有限的複訓、人員輪班的績效等人為因素(Human factors)以及替代測試裝備應仔細加以研究。

#### **案例八：1989 年 3 月 18 日 Evergreen International Airlines, Inc.與案例九：1989 年 2 月 24 日聯合航空公司(United Airlines, Inc.)**

這 2 個案例均是飛行中飛機貨艙門開啟的事故。失事的原因因素是設計與維護。從設計的觀點來看，錯誤顯示系統(False indication system)不應顯示負面的錯誤(False negative)訊息。從維護的觀點來看，修理行動不應延遲造成更多的損壞。

#### **案例十：1988 年 4 月 28 日 Aloha 航空公司(Aloha Airlines, Inc.)**

這件失事事故喚起了航空維護界對於維護錯誤造成航空安全的衝擊之醒思。就風險管理工具(Risk management tools)而言，工作設計在這案例是關鍵，事實上，主要的維護檢查(Maintenance checks)被安排分成許多小包裹式(Small packages)的工作以因應繁忙的飛航班表可能導致災難的發生。高階維護(Heavy maintenance)通常人力不足且由較無經驗的機械員及檢查人員來執行也是工作設計的一部份。這案例引起大家對於操作環境中檢查程序的可靠性(Reliability)及效用性(Effectiveness)的關注。

#### **案例十二：1981 年 9 月 22 日佛羅里達航空公司(Air Florida Airlines, Inc.)**

雖然品管檢查在低壓渦輪模組(Low pressure turbine module)重組後未能偵測到外物，但失效的精確理由並未詳述。因此，很難判斷何種錯誤減輕工具能夠用在這件案例上。

#### **案例十四：1976 年 2 月 8 日 Mercer 航空公司(Mercer Airlines, Inc.)**

這家航空公司將螺旋槳外包給合約商翻修，但未能確認合約商是使用最新且完整的維護手冊。事後因應錯誤減輕工具能夠確認在合約商何處無法取得正確/完整的資訊。

#### **保養錯誤(Servicing Errors)**

從 NTSB 的失事樣本分析可知，案例二是屬於保養錯誤(Servicing Errors)：

#### **案例二：1996 年 1 月 7 日 ValuJet 航空公司**

維護手冊並沒有提供在寒冷天候機鼻起落架保養的說明是促成此失事的因素之一。就事前預防的錯誤減輕工具而論，關鍵行為(Key Behaviors)不能提供此類狀況適當的協助，但是觀念一致過程(CAP)方法是有效的。就事後因應的觀點來看，所有工具均可給予使用者確認因系統無效而導致特定錯誤的機會。

#### **信任在錯誤減輕工具應用上的角色(Role of Trust in the Application of Error Mitigation Tools)**

在本文中探討的 8 種錯誤減輕工具有賴於人際之間高度的互信。因為航空業

具有長期的責難文化(Blame culture)之歷史，之前的意外事故/失事調查目的在於確認誰犯錯，因此我們相信有些地方在管理階層與工作人員之間的互信不足。近年來，已確認系統化的原因因素導致失事是有意義的，而且廣泛的解決方法可以加以運用。

關鍵行為(Key Behaviors)的信任策略是：機械員將會遵守關鍵行為(Key Behaviors)，而且管理階層將會支持機械員按照關鍵行為(Key Behaviors)執行工作。當關鍵行為(Key Behaviors)與生產排程(Production schedules)相牴觸時，機械員相信管理階層將會允許他們繼續按照關鍵行為(Key Behaviors)執行工作，因為是以安全為主要考量。類似地，管理階層相信工會並不會支持機械員不按照關鍵行為(Key Behaviors)執行工作。

在諸如圓桌討論(Round Table Discussions)、焦點團體(Focus Groups)、維護—航空安全行動計畫(Aviation Safety Action Plan)或維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)的事後因應程序中，犯錯的人最瞭解犯錯當時的環境狀況，因此，犯錯當事人對於調查人員信任的意願是計畫成功不可或缺的。

**機械員與管理階層互信的程度(Level of Trust Between Mechanics and Management)**

由維護資源管理/技術操作問卷調查(MRM/TOQ)的6種樣本之分析來判斷互信的程度，6種樣本的整體結果與個別樣本的結果詳述如下：

**公司之間的差異(Inter-company Differences)**

這6家公司在“主管信任與安全”項目的平均分數結果之明顯差異如圖一所示。其中對於“關於安全議題主管是可信任的”問題，D公司的平均分數是4.06為最高，F公司的平均分數是3.34為最低。

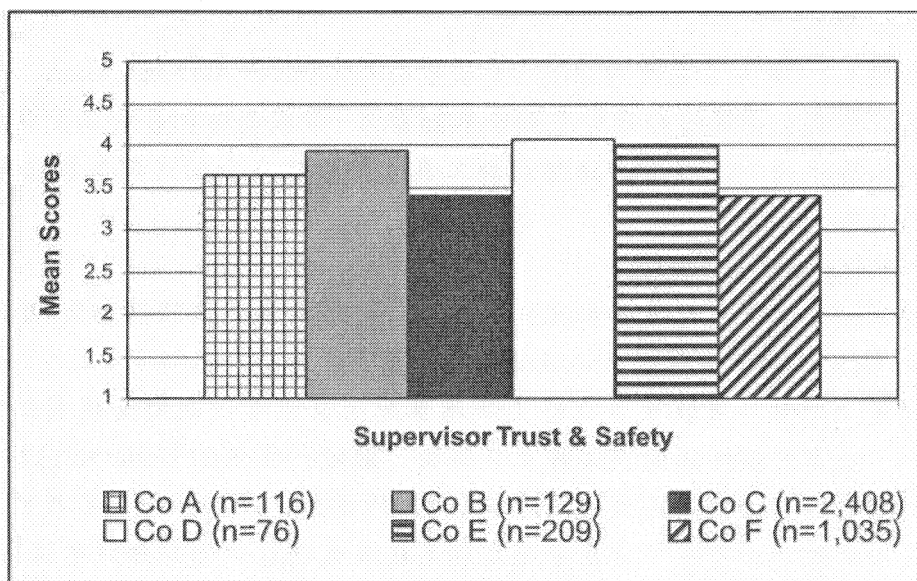


Figure 1: Responses to “Supervisor trust and safety”

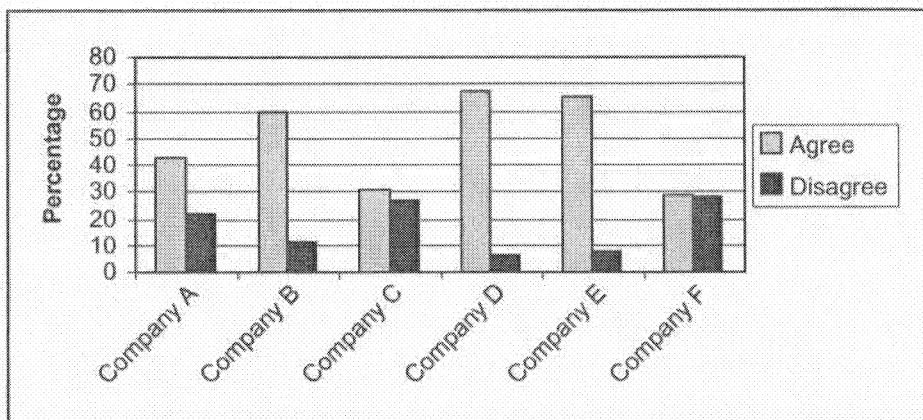


Figure 2: All respondents, "Supervisor's safety practices are trustworthy"

“關於安全議題主管是可信任的”問題之結果如圖二所示，其中 D 公司最高有 68% 受試者同意；F 公司最低有 29% 受試者同意。相對地，D 公司有 6% 受試者不同意“關於安全議題主管是可信任的”，為最低；F 公司有 28% 受試者不同意“關於安全議題主管是可信任的”，為最高。

#### 職業差異(Occupational Differences)

一般而言，對於主管的安全可信任性(Safety-trustworthiness)的解讀，機械員和管理者是有明顯差異的。圖三所示為這 6 家公司的各種職業從業人員對於“主管的安全作為是可信任的(Supervisor's Safety Practices are Trustworthy)”問題之結果。機械員和檢查人員傾向不信任他們的主管。

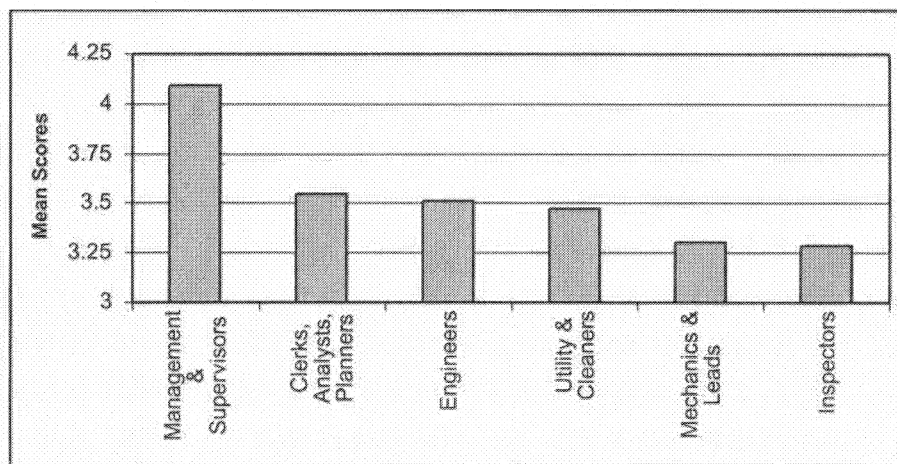


Figure 3: Responses to "Supervisor's safety practices are trustworthy"  
Mechanics & Leads only, Six Companies

圖四顯示這 6 家公司對於“主管的安全作為是可信任的(Supervisor's Safety Practices are Trustworthy)”問題之結果，其中 D 公司最高有 63% 受試者同意；C 公司最低有 24% 受試者同意。相對地，D 公司有 7% 受試者不同意“關於安全議題主管是可信任的”，為最低；C 公司有 31% 受試者不同意“關於安全議題主管是可信任的”，為最高。在 2 家公司(C 公司和 F 公司)有將近三分之一的機械員表示他們不相信他們的主管的安全作為。



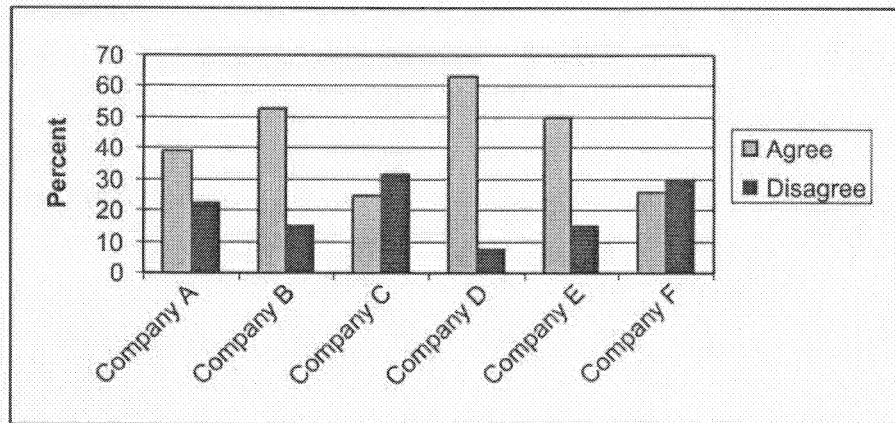


Figure 4: Responses to "Supervisor's safety practices are trustworthy"

## 討論

由本文中呈現的資料顯示，事前預防與事後因應兩種錯誤減輕工具是可供維護業界運用。航空安全報告系統(ASRS)、違反規則(Rule violation)以及 NTSB 失事資料顯示，裝置錯誤(Installation errors)與檢查錯誤(Inspection errors)應該列為首要順序優先處理。

機械員和管理階層之間的互信經由維護資源管理/技術操作問卷調查(MRM/TOQ)進一步加以探索。“主管信任與安全”項目測量出主管的倫理行為(Ethical behavior)與安全作為(Safety practices)以及上司—部屬的關係。調查結果支持航空維護人員發現人為因素中人際之間的信任是有問題之期待。

從過去的研究(參照 Patankar 與 Taylor, 2001)可知，重視主見(Assertiveness)與信任他人或他們的信任度(Trustworthiness)是互為獨立的。公平、公正、誠實與信任他人是維護人員的中心思想同時也是人為因素計畫重要的一部份。

Patankar 與 Taylor 的研究發現，警覺性不足(Lack of awareness)(13%)與自滿(Complacency) (8.4%)是營運飛行(Revenue flight)的不適航派遣(Unairworthy Dispatch)之原因因素(Causal factors)，這些因素可由個人來掌控。另一方面，不當的程序(Poor procedures) (11%)、訓練不足(Lack of training)(1.3%)與維護管理(3.5%)亦是不適航派遣(Unairworthy Dispatch)之原因因素(Causal factors)，這些因素則非個人所能掌控，這些組織因素降低了彼此的互信。若機械員在執行維護工作時使用過時的維護手冊是因為不正確的程序未被更新，則機械員將不會相信管理階層重視品質與安全。同樣地，Patankar 與 Taylor 針對航空安全報告系統(ASRS)的研究發現管理人員在未執行的工作單上簽字(Sign-off of work not performed)。因此，機械員不會相信管理階層。就訓練而論，許多航空安全報告系統(ASRS)的報告顯示，機械員在未受訓的情況下被迫執行工作。經過這些狀況，機械員不會相信管理者或組織。因此，維護資源管理/技術操作問卷調查(MRM/TOQ)的資料顯示，對於某些公司只有 31%的維護人員相信他們的主管——單獨就機械員而論，信任度降至低於四分之一(24%)。

## 結論

事前預防與事後因應兩種錯誤減輕工具可以有效降低目前錯誤的衝擊以及未來錯誤的可能性，而信任在維護程序上扮演一個關鍵性的角色。機械員必須信任維護手冊與相關文件是最新且完整的，測試或故障排除程序在偵測缺陷是有效的，他們使用的備份零件是高品質且符合要求的，而且他們的管理者將會以安全為行動的主要考量。

總之，實際上並非欠缺錯誤減輕工具，本文的資料顯示在機械員和管理階層之間缺乏互信。若欲使裝置錯誤、檢查錯誤與保養錯誤降至最低，則必須重視維護領域中降低互信的因素。

## [文獻評析]

本文獻的優點：

1. 詳述錯誤減輕(Error mitigation)工具與技術的觀念與種類，包含：事前預防與事後因應兩大類，其中事前預防工具包含①工作設計(Work Design)②關鍵行為(Key Behaviors)③觀念一致過程(CAP)，事後因應工具包含①維護資源管理警覺性訓練計畫(MRM Awareness Training Programs)②圓桌討論(Round Table Discussions)③焦點團體(Focus Groups)④維護上的航空安全行動計畫(ASAP in Maintenance)⑤MEDA型事件後調查(MEDA-type Post-event Investigations)，可供國內航空維護界在尋求錯誤減輕(Error mitigation)工具與技術時之參考。
2. 詳述NTSB的14件失事樣本報告之失事原因與促成因素，並嘗試以錯誤減輕工具來解釋如何解決問題，說明了錯誤減輕工具的實務應用。
3. 將美國國家運輸安全委員會(NTSB)的14件失事樣本報告與航空安全報告系統(ASRS)樣本以及違反規則(Rule violation)樣本做比較分析，發現裝置錯誤(Installation errors)與檢查錯誤(Inspection errors)應該列為首要順序優先處理的維護錯誤項目，值得國內航空公司特別注意裝置錯誤(Installation errors)與檢查錯誤(Inspection errors)之問題，並做適當防範因應措施。
4. 以6家航空維護組織的3,973位受試者樣本統計分析，檢視機械員(Mechanics)與維護管理者(Managers)的信任程度，證明航空維護人員認為人際之間的信任度不足，實際上並非欠缺錯誤減輕工具，而是機械員和管理階層之間應建立互信，才能從根本改進航空器維護品質，避免維護錯誤的發生，值得國內航空公司借鏡。
5. 舉例豐富、解說詳盡，而且在問卷調查(MRM/TOQ)分析部份的樣本種類多(6家公司)且數量大(3,973位受試者)，故準確度高，因此值得國內航空維護界參考。

## [相關文獻]

Patankar, M & Taylor, J. (2001). *Analyses of organizational and individual factors*

*leading to maintenance errors*. SAE Technical Paper Number 2001-01-3005. Warrendale, PA:SAE.

Rankin, B. & Allen, J. (1996). Boeing introduces MEDA, Maintenance Error Decision Aid, *Airliner*, April-June, 20-27.

Taylor, J. (2000). Reliability and Validity of the 'Maintenance Resource Management, Technical Operations Questionnaire' (MRM/TOQ). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26 (2), pp. 217-230.

Taylor & Thomas (2001). *The Structure of Trust in Aviation Maintenance*. Technical Report. Santa Clara, CA: Santa Clara University.

# **Maintenance Human Factors From A European Research Perspective: Results From The ADAMS Project and Related Research Initiatives**

Jurgen A.G. van Avermaete

## **[英文摘要]**

The Aircraft Dispatch and Maintenance Safety (ADAMS) project was the first major European study in which the maintenance industry and researchers collaborated to investigate nature and extent of Human Factors aspects in aircraft maintenance. A strong commitment to safety was observed, but also a double standard that allows the official and the actual way of working to exist next to each other. About one-third of the technicians appear to deviate from the official maintenance procedures. Time pressure and inefficiency of the procedures are cited as the main reasons. Technicians and their managers perceive the technician's job differently resulting in a Job Perception Gap that creates time pressure and makes the maintenance operation less effective. Frequent use is being made of so-called blackbooks that contain private notes with useful detailed information. For routine tasks these notes are an important source of information used by the technician. There appears to be consensus in the industry that the importance of written procedures varies with the type of task. Safety risks result from the inability of the aviation community as a whole to have an open discussion on this topic. It is suggested to study other means of task support and to find legal and controlled alternatives for the blackbook. Human Factors training is a crucial means to raise awareness among technicians about the existence and risks of Human Factors problems. The effect of delivering only knowledge in such training will be of short duration. Skills and attitude should be developed to achieve real change. A cost-effective way to realise this is to integrate Human Factors with the technical training. The appearance of and reasons behind Human Factors problems differ between Line and Base Maintenance. It should be considered to approach the two differently, in training as well as in means of task support. Solutions to the existing Human Factors problems in maintenance should be sought further than in training only.

## **[中文摘要]**

本論文主要是運用航空器派遣與維護安全計畫(Aircraft Dispatch and Maintenance Safety; ADAMS)的研究，並透過荷蘭民航局(NLR)的協助蒐集荷蘭3家航空器維護組織的相關資料，探討歐洲航空器維護中人為因素的本質與扮演的角色以及所遭遇之瓶頸(Bottlenecks)。作者先從對人為因素關注的需求談起，接著，介紹歐洲第一個維護人為因素研究的成果——航空器派遣與維護安全計畫(ADAMS)，由該計畫確認了航空器維護現存的瓶頸(Bottlenecks)，包含：程序遵循與維護文件的問題、黑書(Blackbooks)的問題、工作認知代溝(Job perception gap)的問題等。本文亦探討人為因素訓練如何解決人為錯誤的問題。此外，作者亦說明可運用航空器維護程序最佳化系統(AMPOS)的聰明引擎(Smart Engine)分析並找出原因因素(Causal factors)，而維護文件的問題可透過可攜帶式維護電腦的技術來解決。最後，作者提到透過Desmain可維護性計畫的發展來瞭解哪些認知因素(Cognitive factors)扮演維護錯誤的角色。

### 對人為因素關注的需求

1988年Aloha航空公司B-737事件引起大眾對航空器維護人為因素的警覺與重視。由於航空器維護是由人來執行，因此人為錯誤勢所難免，所以必須使維護系統儘可能有錯誤容許裕度(Error tolerant)。

主要失事(Accidents)事件中有12%牽涉到維護瑕疵(Deficiencies)，而與發動機相關的航班延誤有50%牽涉到維護瑕疵(Deficiencies)。波音公司指出在過去10年所有的失事(Accidents)事件中有6.0%的主要原因是維護問題，而過去40年所有的失事(Accidents)中主要原因是維護問題的事件僅有3.4%(Rankin, 1999)。英國民航局的報告結果類似。人為錯誤的數據資料清楚地顯示，我們應該找出為什麼發生這些錯誤然後改善維護系統。

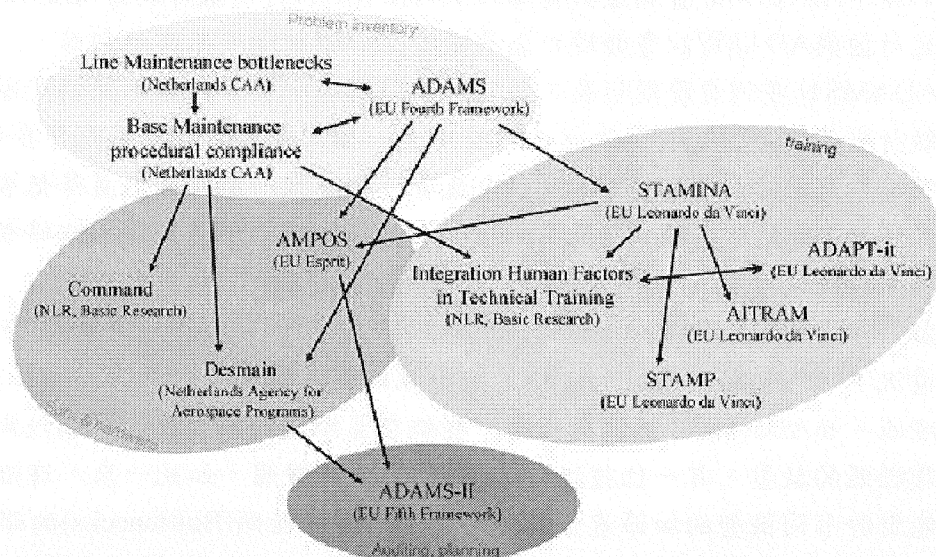
在90年代初的失事(Accidents)事件引發歐洲對於維護人為因素的興趣。Reason模型(Reason's Model)(Reason, 1990)解釋了維護系統中所謂“潛在失效(Latent failures)”的衝擊與危險。從Reason模型學到必須追溯錯誤的根本原因(Root cause)。從事調查工作時Reason模型是非常好的指南，以確認找出事件中所有的潛在失效因素。越來越多的組織從他們的調查發現人為因素與潛在失效因素。若事件的促成因素未被發現或認知不清，則可能有下一位技術人員犯相同的錯誤。

### 航空器派遣與維護安全計畫(The ADAMS project)

在1995年歐洲委員會(European Commission)決定設立一個維護組織與研究人員協會進行航空器維護人為因素的相關研究。航空器派遣與維護安全計畫(Aircraft Dispatch and Maintenance Safety; ADAMS)可視為是歐洲第一個維護人為因素研究努力的成果。這個計畫執行時程是從1996年至1999年，共分成兩個階段：第一個階段主要是調查程序遵循(Procedural compliance)、組織層面以及現代科技扮演的角色，第二個階段則是著重在潛在可改進的領域方面(Potential

improvements)。基於錯誤分類法(Error taxonomy)發展出錯誤報告格式(Error reporting form)以及維護人為因素訓練課程。經由第一個研究階段所收集到關於現存人為因素的瓶頸(Bottlenecks)，荷蘭民航局(NLR)從中領悟維護文件的新觀念雛型。這個計畫所得到的經驗整理在以人為中心的航空器維護管理(Human-Centred Management for Aircraft Maintenance)(McDonald等人, 1999)指南中，可從Trinity College Dublin獲得。

ADAMS計畫產生了許多針對特定問題的其他研究計畫(如圖一)。荷蘭民航局(NLR)從事維護人為因素研究的主要目的是降低書面程序(Written procedures)缺點造成的傷害。

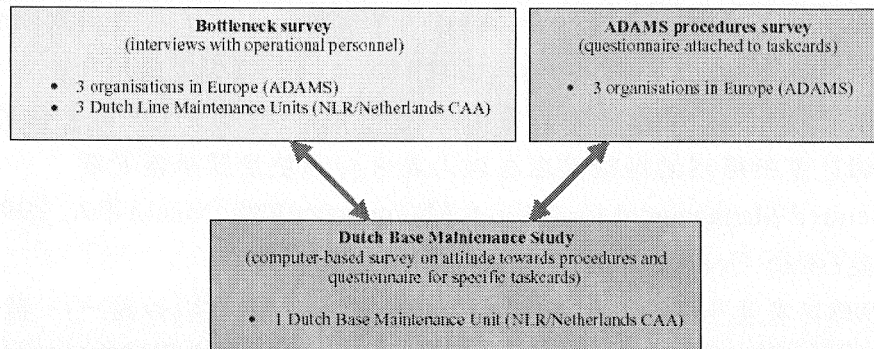


**Figure 1 Relation between ADAMS and other research projects on Maintenance Human Factors (see Appendix A for description)**

ADAMS計畫中部份研究是確認航空器維護現存的瓶頸(Bottlenecks)，其中瓶頸(Bottlenecks)的定義是維護系統限制整體的效率(Efficiency)及/或系統的安全性(Safety)。在參與協會的3家航空器維護組織內進行一系列與操作人員結構化的訪談。並經由附於工作卡上的問卷調查收集技術人員關於查閱維護手冊及依循文件化程序的意見。

### 在荷蘭額外的工作

透過荷蘭民航局(NLR)的協助得以額外收集荷蘭3家航空器維護組織的相關資料，並在這些維護組織的停機線維護(Line maintenance)單位與ADAMS計畫平行進行瓶頸(Bottlenecks)調查訪談。執行此額外工作主要原因是調查荷蘭的狀況是否與歐洲其他國家有差異。其差異可能來自於特定的國家立法或維護人員的教育和訓練。研究確認大致與協會國家有相同的瓶頸(Bottlenecks)，但存在小部份的差異。



**Figure 2 Relation between ADAMS surveys and additional work carried out for the Netherlands Civil Aviation Authorities**

圖二顯示ADAMS計畫調查與荷蘭民航局(NLR)執行的額外工作之關係。本論文僅就荷蘭與ADAMS計畫發現之差異重要的部份討論而不詳述內容。

在ADAMS計畫調查發現超長工作時數的問題，一些案例顯示讓特定團隊從頭到尾執行整個複雜且冗長的工作而不交給下一輪工作人員的政策是存在的，主要是由於輪班交接工作牽涉到風險。但是疲勞可能導致一些技術人員降低警覺心的危險發生。在荷蘭亦有類似防止工作交接錯誤的政策，但是認為工作時數在12小時以內不致於太冗長。

荷蘭的停機線維護(Line maintenance)技術人員通常持有最多2張維護證照，在特殊情況下，例如特定機型的汰換，持有維護證照的數量會更高，但最多為4張維護證照。而ADAMS計畫調查發現一些航空器維護組織並沒有限制技術人員持有維護證照的數量，有一位技術人員持有8張維護證照。如此一來，這位技術人員可能對於不同機型的細節產生混淆，特別是對於瓶頸(Bottlenecks)的部份。

### **主要瓶頸的確認(Main bottlenecks identified)**

經由ADAMS計畫調查確認的瓶頸完整報告可查閱Biemans等人(1998)的文獻，本論文僅選擇性討論主要的發現。

### **程序遵循與維護文件(Procedural compliance and maintenance documentation)**

ADAMS計畫的程序調查完成286份問卷調查，分析結果發現34%案例中受試者表示他們使用維護手冊之外的其他方法完成工作。另外10%案例中受試者表示他們遵循維護手冊，但在工作執行前並未查閱維護手冊。在荷蘭的場站維護(Base maintenance)所做的調查是以較少數的受試者為調查對象而且僅在一家航空器維護組織進行，但卻有類似的結果：26%未遵循維護手冊(Non-compliance)且9%未查閱維護手冊(Not-consulted)。(Hakkeling-Mesland, 2000)

在ADAMS計畫的程序調查中詢問技術人員為何未遵循維護手冊的程序之原因時，技術人員表示有比官方更好或更容易的方法來完成工作 (McDonald等人, 1999)。大約有三分之一的技術人員表示沒有足夠的時間完整地依循維護手冊的方法完成工作。瓶頸調查的訪談發現，對於高例行性的工作被認為不需要查閱維護手冊以及其中的程序。作者發現類似的說法與技術人員的經驗有關：技術人員越有經驗，則越覺得不需要遵循維護手冊。這些發現在荷蘭的場站維護(Base



maintenance)被用來做測試，採用與程序相關的15項工作敘述詢問82位技術人員，這些敘述與ADAMS計畫的措詞(Wording)有一些差異。大約有75%的技術人員同意程序應依工作種類不同而變化，但是有80%的技術人員不同意例行性的工作不需要維護手冊的觀點。而90%的技術人員表示在執行測試時通常會使用維護手冊。與停機線維護(Line maintenance)技術人員訪談發現他們認為程序使工作的滿意度降低而且變得比較困難。此外，技術人員常提到若嚴格地照著程序執行，則無法在容許的時間內完成工作。然而80%的場站維護(Base maintenance)技術人員發現照著程序執行工作感到滿意而且66%的場站維護(Base maintenance)技術人員認為程序使工作變得更容易。

調查發現技術人員同意很難從維護手冊擷取所需的資訊。有87%的荷蘭場站維護(Base maintenance)技術人員曾經看過維護手冊有錯誤的情況。維護手冊內容太過詳細是另一個經常被場站維護(Base maintenance)以及停機線維護(Line maintenance)技術人員報怨的問題。由Trinity College Dublin執行的維護文件之人因調查(Ergonomic survey)發現查詢維護手冊的微縮影片(Microfilm)設備的人因問題，範圍從亮度和微縮影片(Microfilm)閱讀機數量不足到列印品質不佳，這些問題種類在荷蘭的調查並沒有提及。

在ADAMS計畫的程序調查提到技術人員中有45%表示因為有更容易或更快速的方法解決所以沒有依循維護手冊的程序。但是並沒有收集到資訊可以解釋為何技術人員認為維護手冊的方法是不必要地複雜或冗長。荷蘭的場站維護(Base maintenance)調查的目標是找出更多這方面的資訊。資料分析發現僅有少數的問卷調查被完成，因此無法做出有用的結論。例如：有超過80%的曾經查詢維護手冊的受試者表示資訊的品質很好(Good)的有72%或優異(Excellent)的有10%，而反應品質不佳的受試者批評維護手冊的結構或過期(Outdated)，回答這問題的人數僅有5人，因此無法做出結論。另一個問題是詢問關於資訊數量的問題，有60%的受試者表示資訊的數量對於工作剛剛好(Just good)，而不滿意資訊數量的受試者人數大約與希望較少或較多資訊數量的受試者人數相當，亦即認為維護手冊應具備較少或較多資訊數量的受試者人數各佔20%。

對於很難從維護手冊擷取所需的資訊之意見在不同製造廠之間似乎並無差異，然而美國製造的航空器維護手冊常被批評有大量的警告(Warnings)與注意(Cautions)內容，而且數量大到使得文件真正的資訊變得含糊不清。這顯示維護文件並不是如製造廠預期的使用方式或是維護文件並不符合使用者的需求。維護手冊中大量的警告(Warnings)被認為對於有經驗的技術人員而言是多餘的(Trivial)。訪談中發現：超過1位技術人員表示工作時不理會警告(Warnings)與注意(Cautions)因為它們被放入維護文件內只是為了合法性的理由。這些說法清楚地顯現風險：技術人員亦將忽略非多餘的(Non-trivial)警告(Warnings)與注意事項(Cautions)，而且是在執行工作之前必須被瞭解的。

### **黑書(Blackbooks)**



停機線維護(Line maintenance)技術人員常遇到在工作執行場所沒有維護手冊的問題，因此在大型機場技術人員常需要花費許多時間回到棚廠(Hangar)或辦公室查閱維護手冊，所花費時間約半個小時是常見的情形：對於像波音737及空中巴士A-320這類的飛機，其地停時間也差不多半小時，使得有執照的技術人員認為對於大部份的停機線工作不需要查閱維護手冊的工作程序而只靠以往經驗的傾向。這種狀況對於一些需要詳細資訊如扭力值(Torque values)、件號(Part numbers)及限制(Limits)等之工作將產生問題。對此一問題，技術人員使用黑書(Blackbooks)來做因應。所謂黑書(Blackbooks)，就是私人的工作筆記本，其內容記載供自己參考的維護資訊。

雖然無法估計技術人員持有黑書(Blackbooks)的比例，但是從訪談中我們相信這種現象存在於每一家航空器維護組織中。技術人員非常在意黑書(Blackbooks)的違法事實，因此在訪談中拒絕展示他們擁有的黑書(Blackbooks)。此現象可以解釋管理階層要求公司內的技術人員停止使用黑書(Blackbooks)的情況。而黑書(Blackbooks)的使用並非僅限於停機線維護(Line maintenance)部門，在荷蘭的場站維護(Base maintenance)的調查發現許多的查閱及依據黑書(Blackbooks)執行工作。此調查包含10件修理工作的個案，其中無任何一件個案是遵循維護手冊執行工作，其中5件個案是技術人員使用私人的工作筆記本。從Trinity College Dublin執行的維護文件之人因調查(Ergonomic survey)發現黑書(Blackbooks)是無所不在的(Ubiquitous)。(McDonald等人, 1999)

私人工作筆記本的內容及外觀因人而異，大多數是以小冊子的型式以便於放入胸前的口袋。部份技術人員完成工作後留下維護文件的影本，部份技術人員記錄資訊的摘要。現在，掌上型電腦(Palmtop computers)亦被用來當做黑書(Blackbooks)之用，技術人員認為更易搜尋特定主題及更新資訊。

我們所看到的黑書(Blackbooks)包含大量的資訊但很少進行更新，這可能產生誤用過期(Outdated)資訊的風險，如此可能影響操作的安全性。此外，技術人員發現執行工作較容易或較佳的方法並不會回饋至工程部門及製造廠。在禁止使用黑書(Blackbooks)之前，我們應該嚴肅地思考其存在性：停機線維護(Line maintenance)技術人員需要其他型式的工作支援(Task support)。

### 工作認知代溝(Job perception gap)

之前對於程序遵循(Procedural compliance)與黑書(Blackbooks)存在的討論顯現出有雙重標準(Double standard)的狀況存在。維護文件中規劃的是正式的、合法的方法，但並不符合使用者需求。造成雙重標準(Double standard)的主要原因之一是技術人員與他們的管理者之間對於技術人員工作認知上的差異。工作認知代溝(Job perception gap)如下(Biemans等人, 1998)：

1. 技術人員認為本身需對航空器安全負責，用自己的判斷決定何者是必要的以確保航空器安全，甚至他所做的不同於或多過於維護手冊的敘述。
2. 管理者認為技術人員的主要角色是遵循正式的維護文件的程序，若依此執行

則能確保安全性。

停機線維護(Line maintenance)技術人員對工作的解釋為執行小型的檢查(到離與每日檢查)不用檢查表(Checklists)。技術人員所需要做的和如何做是依據本身的經驗與判斷，這意謂他們忽略檢查表(Checklists)上某些項目。在多數情況他們檢查比預期更多的項目。平均而言，技術人員自行執行到離檢查(Turn-around inspection)比使用檢查表(Checklists)執行同樣的檢查所花費的時間更多。為了縮減工作認知代溝(Job perception gap)，應投入更多的努力：我們相信這是技術人員察覺的時間壓力原因之一，僅僅要求技術人員嚴格遵循到離檢查表(Turn-around inspection checklist)將不能解決問題，如此一來甚至可能有非常負面的影響，例如將某些先前例行性檢查的項目移除。

工作認知代溝(Job perception gap)似乎主要是與停機線維護(Line maintenance)狀況有關，但是在場站維護(Base maintenance)卻以不同形式呈現。例如在先前的A/B級檢查執行下一個C級檢查的項目，這對於維護時程的成本效益有很大的影響，但對於安全性卻無貢獻。

#### **增加維護系統錯誤容許裕度的方法範圍(Solution areas to increase the error-tolerance of the maintenance system)**

綜合ADAMS計畫結果與在荷蘭進行的兩項輔助研究決定荷蘭民航局(NLR)研究維護人為因素的方法。從不同贊助者的研究計畫之協助來改善不同領域的解決方法。這些計畫的關係是朝向增加維護系統錯誤容許裕度的定義前進，並且是較沒有程序未遵循 (Procedural non-compliance)的弱點。理論上，應該由下列項目來達成：

1. 提供其他的工作支援(Task support)方法以降低書面程序的數量。
2. 使程序較符合自然或工作邏輯的方法。
3. 排除可能引發錯誤的工作延續之工作程序陷阱。
4. 使程序所包含的資訊更容易獲得。
5. 使人員更能警覺到風險與當偏離程序可能的結果。

本節敘述荷蘭民航局(NLR)進行中的研究活動，部份研究計畫是與其他學術機構及業者共同合作。(參見圖一與附錄A)

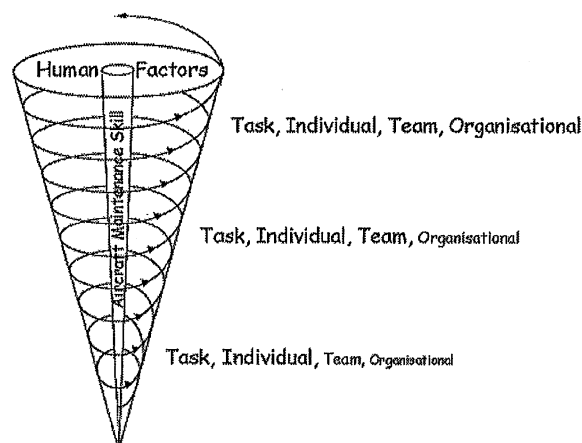
#### **人為因素訓練(Human Factors Training)**

歐盟航空主管當局(Joint Aviation Authorities; JAA)採取重要的步驟：要求執行JAR-145持續的訓練與要求執行JAR-66許多人為因素主題的基本知識之認證需求以確保人為因素得到航空器維護組織應有的注意。而接下來的問題是訓練的形式與頻率。並非僅僅是單純從座艙資源管理課程(Cockpit Resource Management)轉換成維護資源管理(Maintenance Resource Management)的訓練就可滿足維護訓練的需求。(van Bavelgem等人, 2000)

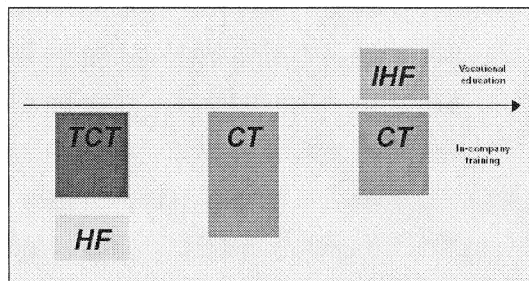
人為因素訓練應包含多於1至2天的課程使技術人員瞭解人為因素是工作的

一部份，並且傳授人為因素相關的知識，而且不應僅限於在幕僚人員認證方面。棚廠(Hangar)與工場(Shop)管理者以及支援部門如工程與品管部門的人員亦應接受人為因素相關的訓練教育。有人認為應該由技術人員先開始進行人為因素相關的訓練，而不是先訓練認證幕僚人員本身。我們考量ADAMS計畫中所發現的由上到下(Down-the-line)亦即由負責管理者(Accountable manager)到棚廠現場人員“安全第一(Safety First)”的訊息愈來愈不清楚，當技術人員所在的環境持續以舊式的方式運作，任何由技術人員帶進工作場所想要付諸實踐的新知識注定要失敗。為了在工作場所建立工作方法與行為持續且有效的改變，技巧的發展與價值的樹立亦是重要的方面。這樣的訓練並非短短幾天的人為因素訓練可以達成。然而，使受訓者花更長的時間在訓練上有其困難，因為在課堂上所花的時間不被視為有生產力(Productive)。

除了現階段維護人為因素訓練不可能在有限的時間發展技巧的問題之外，荷蘭民航局(NLR)發現第二項重要的缺點：人為因素訓練是一個分離的主題，無法直接與工作的技術方面連結。這將導致人為因素訓練被視為持續訓練必要的項目而在每日工作無其實質的價值。荷蘭民航局(NLR)結合上述兩項缺點，將人為因素訓練與技術(持續)訓練加以整合，人為因素訓練在技術訓練的完全整合意謂在技術(持續)訓練討論的每一個主題、工作或系統亦同時包含人為因素方面。在中程進展上，基礎的人為因素訓練所傳授人為因素方面並不特別與特定工作連結。在長程進展上，則必須轉換至職業訓練(Vocational training)。這裡所提到的方法是應用螺旋課程模型(The spiral curriculum model)(如圖四)已應用在航空訓練領域其他部份上(van Bavelgem等人, 2000)。在這種方法中，基礎的(技術的)航空器維護技巧持續地發展且同時加入新的人為因素。在下一個階段與個人相關的人為因素(例如疲勞和壓力的績效影響)應該加入，接下來團隊(Team)以及最後的組織相關的人為因素。訓練設計者的挑戰是在比現在更短的訓練時段內設計全部的持續訓練課程。(如圖五)



**Figure 4 Spiral curriculum; a strategy for integrating Human Factors and aircraft maintenance skills which can be used at macro-, meso- or micro-level (adapted from Palen and Lemay (in Dowding, 1993)).**



**Figure 5 Integration of Human Factors (HF) with Technical Continuation Training (TCT) and introduction of Initial Human Factors (IHF) training in vocational training promises better and more cost-effective results.**

荷蘭民航局(NLR)參與STAMINA協會，並且在JAR-66要求之前已開始進行人為因素訓練，因此STAMINA計畫不能視為配合JAR-66一對一的訓練。此訓練是基於ADAMS計畫已學習到部份，而且在此計畫的上一階段已進行的首次課程草案。當JAR-66法規要求公佈時，Trinity College Dublin與歐盟的聯合研究中心將所有的JAR-66法規主題加入個人與團隊訓練模組(Individual and Team Modules)中。STAMINA計畫訓練包含5項模組：

1. 介紹模組(Introduction module) (TCD)
2. 工作模組(Task module) (NLR)
3. 個人模組(Individual module) (TCD)
4. 團隊模組(Team module) (JRC)
5. 組織模組(Organisational module) (TCD)

荷蘭民航局(NLR)的工作模組(Task module)目標是建立每日工作遭遇的人為因素問題與特定工作狀況的連結。工作模組(Task module)是STAMINA計畫訓練的一部份，但亦可獨立做為人為因素的介紹。反應發現學習(Reflective Discovery Learning)提供受訓者機會主動參與將人為因素的知識反應在他們本身的工作及經驗上。模組著重在告訴受訓者在維護時最常發生的5項不安全行動所代表的意義(Hobbs, 1999)，以及與特定工作單元的關係。為了避免受訓者感覺被侵犯或覺得他們是意外事件(Incidents)與失事(Accidents)的主要原因，此模組刻意不著重於失事(Accidents)方面。

完成工作模組(Task module)的訓練之後，受訓者應能認清在特定工作中人為因素問題扮演的角色。目的是使技術人員回到工作環境之後能夠處理每天工作相關的風險。技術人員將面臨在正式的工作程序中無法查到的狀況或由於操作理由他們所想到的捷徑(Short-cut)的狀況。由工作模組(Task module)的訓練授與的知識可望增進技術人員改變心意並拒絕偏離正式工作程序的誘惑。如果順利的話，當技術人員決定繼續使用非正式工作程序時，他們將會建立另外的安全防護以避免不安全行動。

### 組織的學習(Organisational learning)

ADAMS計畫其中一項實質的產品是意外事件(Incidents)資料收集與分析的書面工具(Paper-based tool)。此工具的基礎是ADAMS維護錯誤分類法(ADAMS

Maintenance Error taxonomy)。此分類法研究並應用之前不同的分類法在維護與派遣(Dispatch)活動上。個案研究一項重要的發現是組織的(品質)回饋系統完全可以處理所發現的技術的瑕疵(Defects)，卻不包含人為績效方面。沒有一家組織具備有效的例行系統以應用工作組織在人為操作需求方面。

航空器維護程序最佳化系統(Aircraft Maintenance Procedure Optimisation System; AMPOS)計畫是歐盟Esprit計畫的一部份。協會(TCD、FLS航太、空中巴士和荷蘭民航局NLR)開始建立一套支援的資訊科技環境(IT-environment)在意外事件(Incidents)發生之後強化組織的學習過程。計畫的目標是找出偵測、分析與改善維護系統的人為因素瓶頸之方法與工具，且將在2001年完成。支援工具的建立是以網路連結維護組織內的不同技術單位，以及製造廠的顧客工程部門。

運用航空器維護程序最佳化系統(AMPOS)分析並找出原因因素(Causal factors)。經由ADAMS維護錯誤分類法(ADAMS Maintenance Error taxonomy)的分類之後將資料儲存在資料庫中。資料庫之目的有兩部份：

1. 儲存意外事件(Incidents)分析結果並與建議事項紀錄可提供長期追蹤結果改變的機會。
2. 個案解決的歷史能提供快速瞭解之前如何解決問題的洞察力以及實施改變之後長期的影響。

所謂航空器維護程序最佳化系統(AMPOS)的聰明引擎(Smart Engine)是使新個案與歷史個案的比較更容易。此引擎是一套軟體模組(Software module)對於輸入的新個案產生自動相似性索引(Automated Similarity Index)，此索引顯示已存在的先前個案的可能相似性。調查人員可以回顧相似的個案來找尋是否可從中有所獲。聰明引擎(Smart Engine)更進一步具備了診斷模組(Diagnostic module)可搜尋在技術操作資料中個案的原因與結果。

意外事件(Incident)可能是航空器機型、組織的因素與環境狀況的特定組合而且是組織內第一次出現的案例，則相似性索引(Similarity Index)將無法從資料庫中找到相似案例。然而別的使用者的同機型可能解決過類似的個案。此時可經由組織之間的分享資料來達成，但是可能遭遇一些問題：

1. 第三者濫用分享的資訊，
2. 解決方法或修改方式資訊的商業價值，
3. 不同組織之間的網路連結，
4. 一種航空器機型所有使用者之間建立安全網路的成本。

航空器維護程序最佳化系統(AMPOS)的聰明引擎(Smart Engine)建立一個安全的“虛擬市場(Virtual Marketplace)”以克服上述的問題。航空器維護程序最佳化系統(AMPOS)讓同機型的使用者在資料保密的保證之下從別人已發現的解決方法中獲益。

### **維護文件(Maintenance documentation)**

在ADAMS計畫的第二階段，協會研究潛在的改進區域。在這一階段荷蘭民

航局(NLR)著重在停機線維護(Line maintenance)維護文件改進觀念的定義，並以互動式電腦模擬來展示(Mesland等人, 1999)。在ADAMS計畫之後繼續成為荷蘭民航局(NLR)的基礎研究計畫的一部份，而且導向成為具備技術人員所有必需的維護文件的基本介面之可攜帶式維護電腦。

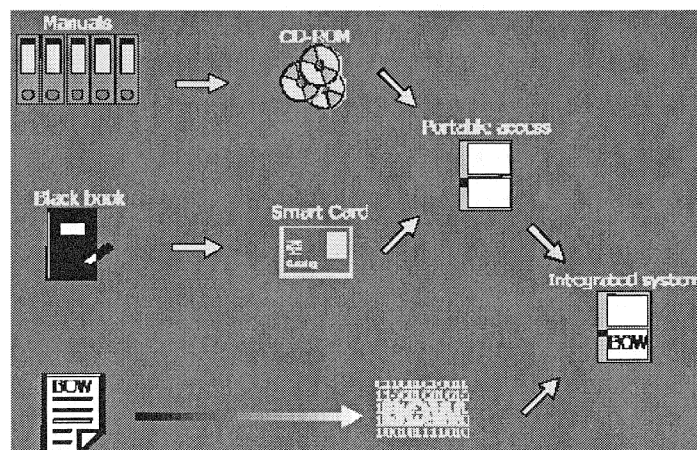
由於瓶頸調查(Bottleneck survey)發現技術人員認為從維護手冊查閱資訊並不方便。在停機線維護(Line maintenance)此發現背後有3項理由：

1. 在工作執行場所沒有放置維護手冊，技術人員沒有或不能有足夠時間在他處找到所需的資訊。
2. 技術人員表示很難從維護手冊擷取所需的資訊。維護手冊的結構複雜且資訊分散在許多不同的文件。大部份缺乏良好的搜尋能力且版面設計(Lay-out)與不相關的資訊使得所需的資訊變得含糊不清。
3. 技術人員相信對於他們在停機線維護(Line maintenance)所經歷的例行性工作除了一些詳細的資訊之外，他們不需要正式的維護手冊。

可攜帶式維護電腦在最終的觀念是當不使用時可放入胸前的口袋裡，其尺寸和解析度容許足夠詳細的圖像呈現供技術人員工作之用。此外，搜尋功能、修訂版期顯示、書籤(Bookmarks)亦是現代應用上的標準功能。

在觀念定義上技術人員的可攜帶式維護電腦是由工程部門控制網路的一部份，工程部門有權回顧技術人員所做的筆記(Notes)，雖然無法得知是誰做的記號。典型的工作方法是當一定人數以上在維護手冊或程序上特定段落所做筆記(Notes)時由工程部門進行回顧。若工程師筆記(Notes)反應危險的解讀或程序的捷徑時他可以採取行動寄出備忘錄(Memo)給所有的技術人員或對特定筆記(Notes)加註回饋說明。工程部門亦可對於要求技術人員每次閱讀整個程序的特定程序防止技術人員在上面做筆記(Notes)或書籤(Bookmarks)。藉由這種方式協助技術人員分辨例行性與安全-關鍵的(Safety-critical)工作。

最後的觀念是擴充其功能性，包含：技術人員工作的派遣、工作卡註冊和下載技術維護紀錄或將工作單放入技術人員的電腦內。這種觀念適用最大的問題是在法律上的層面。



**Figure 6 Combining official maintenance documentation with personal notes: building a legal alternative for the blackbook.**

### 可維護性的設計(Design for maintainability (Desmain))

最近荷蘭民航局(NLR)開始進行Desmain計畫的可維護性設計之研究。此計畫的理論基礎是研究航空器系統在維護時如何經由設計的選擇防止人為因素的問題。計畫未來應訂定一種方法來評估程序或工作的錯誤潛在性。在可靠地判斷程序的錯誤潛在性之前必須先瞭解何者使程序變得更複雜，換言之，必須找出技術人員所說的：目前的程序不符合他們正常的工作方式。

此計畫首先著重在7種裝置工作(Installation tasks)並研究是否這些工作的錯誤潛在性有差異。使用專家判斷技術(Expert judgement techniques)研究技術人員是否同意不同工作相對的錯誤傾向，所得結論是技術人員對於工作相對的錯誤潛在性是相似的(如表一)。工作本質決定錯誤的潛在性(Hoekstr等人, 2000)。

**Table I. Error proneness of seven installation tasks as ranked by eight technicians.**

1. Flaps
2. Wing gear
3. Engine
4. Pylon
5. APU
6. Windshield
7. Water ejection pumps

Desmain計畫才剛開始而其結果應該能夠瞭解哪些認知因素(Cognitive factors)扮演其中的角色。這些所考慮的工作均為場站維護(Base maintenance)的裝置工作(Installation tasks)。由英國民航局在1992年公佈的前3項維護錯誤是不正確的裝置 (Incorrect installations)、錯誤零件的裝置 (Installation of wrong parts)、線路不一致(Wiring discrepancies)，下一步驟是分析航空電子(Avionics)的工作。

### **結論(Conclusions)**

ADAMS計畫研究歐洲航空器維護的人為因素問題之本質與範圍。ADAMS計畫顯示大約有三分之一偏離維護手冊的程序。若是例行性工作，則技術人員認為不需要查閱正式的文件。大部份的技術人員認為從維護手冊找出所需的資訊並不方便：其結構、(高)詳細度以及錯誤是經常被批評。未遵循維護手冊程序的場站維護(Base maintenance)技術人員大約有一半其自認有更好或更容易的方法來完成工作。目前尚未完全瞭解什麼使技術人員對於書面程序有這樣的感覺。在系統與程序設計上應對於維護技術人員的認知期待(Cognitive expectations)有更深入的瞭解。

幾乎每一家航空器維護組織中均有一些技術人員持有私人的工作筆記本即所謂黑書(Blackbooks)，技術人員使用黑書(Blackbooks)的原因是為求方便與時效，但是並不合法。黑書(Blackbooks)清楚地顯示在停機線維護(Line maintenance)與例行性工作時需要其他形式的工作支援。以代用品(Alternatives)提供與黑書



(Blackbooks)相似的優點在技術上是可行的，但發展此種形式的工作支援卻產生法律上的問題。

技術人員與他們的管理者對於技術人員工作的解釋並不相同，所產生的工作認知代溝(Job perception gap)是技術人員感覺的時間壓力(Time pressure)與程序遵循的負面影響的原因之一。航空器維護具有雙重標準存在：正式與實際的工作方式同時並存。技術人員與他們的管理者似乎同意遵循書面程序對於非常簡單的工作之重要性較低。對於這件事不可能公開的討論使技術人員自行決定簡單與關鍵(Critical)的工作之界線。

在維護手冊中大量的警告(Warnings)與注意(Cautions)是類似的僵局(Deadlock situation)，使得文件真正的資訊變得含糊不清。有經驗的技術人員察覺警告(Warnings)被放入維護文件內只是為了合法性的理由。假使不能區分關鍵(Critical)與非關鍵(Non-critical)的警告(Warnings)與注意(Cautions)將會使技術人員視此二者為相同的風險。建議製造原廠、研究人員與法律專家應共同研商找出可讓具經驗的技術人員清楚辨識何者為與安全性有密切關聯(Safety-critical)的警告(Warning)內容的維護文件。

未遵循維護手冊的程序(Procedure Non-compliance)、黑書(Blackbooks)、工作認知代溝(Job perception gap)均發生在停機線維護(Line maintenance)與場站維護(Base maintenance)，但二者的人為因素問題本質與範圍並不相同，因此必須以不同的人為因素訓練方法來改善。

目前存在的人為因素問題不應僅在訓練中尋求答案。組織的學習(Organizational learning)、改進的系統設計(Improved system design)、更佳的維護文件(Better maintenance documentation)很清楚地是潛在可改進的領域。每一家航空器維護組織必須有自己的改進計畫且符合其組織文化以及原已具備的管理系統。

## [文獻評析]

本文獻優點：

1. 清楚地確認航空器維護現存的瓶頸(Bottlenecks)，包含：程序遵循與維護文件的問題、黑書(Blackbooks)的問題、工作認知代溝(Job perception gap)的問題。
2. 明白指出透過系統與程序設計的改進、組織的學習(Organizational learning)、更佳的維護文件(Better maintenance documentation)設計以及人為因素的訓練可以達成改善之目的。
3. 本論文研究結果發現部份的歐洲航空器維護組織的停機線維護(Line maintenance)與場站維護(Base maintenance)均發生未遵循維護手冊的程序(Procedure Non-compliance)、黑書(Blackbooks)、工作認知代溝(Job perception gap)的問題，值得國內相關航空器維護組織注意是否存在類似問題，做為改進的參考。



## [相關文獻]

Bavelgem, J. van, Schuver-van Blanken, M.J., Avermaete, J.A.G. van (2000). *Integration of Human Factors into aircraft maintenance training*, National Aerospace Laboratory, NLR-TR-2000-151.

Cromie, S. (1999). Human Factors training in aircraft maintenance, *In: The Journal of Professional Aviation*, Vol 1(4), pp. 10-13.

McDonald, N. et. al. (1999). *Human-Centered Management for Aircraft Maintenance*, ADAMS-WP4A.R5.

Mesland, M.Y., Avermaete, J.A.G. van, and Duvd, F. (1999), *Concept demonstration of a Personalised Maintenance Information System*, ADAMS-WP4B-TR01

# **A Review of Human Error in Aviation Maintenance and Inspection**

Kara A. Latorella, Prasad V. Prabhu

International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000)

133-161

## **[英文摘要]**

Aviation safety depends on minimizing error in all facets of the system. While the role of flightdeck human error has received much emphasis, recently more attention has been directed toward reducing human error in maintenance and inspection. Aviation maintenance and inspection tasks are part of a complex organization, where individuals perform varied tasks in an environment with time pressures, sparse feedback, and sometimes difficult ambient conditions. These situational characteristics, in combination with generic human erring tendencies, result in varied forms of error. The most severe result in accidents and loss of life. For example, failure to replace horizontal stabilizer screws on a Continental Express aircraft resulted in in-flight leading-edge separation and 14 fatalities. While errors resulting in accidents are most salient, maintenance and inspection errors have other important consequences (e.g., air turn-backs, delays in aircraft availability, gate returns, diversions to alternate airports) which impede productivity and efficiency of airline operations, and inconvenience the flying public. This paper reviews current approaches to identifying, reporting, and managing human error in aviation maintenance and inspection. As foundation for this discussion, we provide an overview of approaches to investigating human error, and a description of aviation maintenance and inspection tasks and environmental characteristics.

## **[中文摘要]**

本文回顧航空器維護與檢查的人為錯誤之本質，並敘述目前對於航空器維護與檢查的人為錯誤進行偵測、確認、報告、預測、控制與管理之研究現況。

在簡介中，作者提到增加的維護與檢查的工作負荷增加與工作人力的減少顯現出維護與檢查之相關人為錯誤(Human error)安全問題的增加。因此人為錯誤的

管理已成為提昇商用航空系統安全與可靠度(Reliability)的關鍵。在第二部份：人為錯誤方面，作者說明人為錯誤的特性、人為可靠度分析、人為錯誤的分類、對於人為錯誤的回應。在第三部份：航空維護任務與環境方面，作者介紹維護與檢查系統模型互動的組件(Components)、維護與檢查系統的功能、組織內涵等。在第四部份：航空維護中的人為錯誤方面，作者舉例說明維護錯誤對於航空器的影響，亦提到關於起因於維護錯誤的失事事故之研究數據與維護錯誤造成的其他影響，以及檢查與維護的人為錯誤之預測形式。在第五部份：管理航空維護上的人為錯誤方面，作者介紹各種錯誤報告系統、事前預防錯誤偵測方法(Pro-active error detection methods)例如稽核與系統可靠性的主觀性評估等，以及航空維護與檢查的人為錯誤控制：例如訓練、工作設計與組織考量、工作場所與周圍環境設計、任務裝備與資訊設計等。在結論中，作者提出他對航空維護與檢查領域未來研究發展方向的想法。

## 1. 簡介 (Introduction)

航空器維護成本與航空器數量的增加遠超過航空器維護技術人員(Aircraft maintenance technician)人數的成長(Air Transport Association, 1994)，隨著商用機隊的老化，航空器需要更多的檢查與維護。增加的維護與檢查的工作負荷以及工作人力的減少似乎透露出維護與檢查之相關人為錯誤(Human error)的安全問題之增加。雖然科技的進步如失效安全系統(Fail-safe system)、改進的硬體、較佳的軟體設計、較佳的維護裝備與方法使上述趨勢某種程度的減緩，但新的科技可能衍生新的人為錯誤之問題。因此，最近的研究著重在降低檢查與修理人員的錯誤(Reason 與 Maddox, 1995)。人為錯誤的管理已成為增加商用航空系統安全與可靠度(Reliability)的關鍵。

## 2. 人為錯誤 (Human error)

人為錯誤具有下列特性：(1)超過可接受極限的任何人為行動(Swain 與 Guttman, 1983)，(2)人為互動之任何行為超過系統所定義的容許裕度(Lorenzo, 1990)，(3)無法達到預定之結果(Reason, 1990)，(4)容許人類探索與瞭解系統必要之結果(如表一)(Rasmussen, 1990; Reason, 1990)，(5)操作人員的責任與價值之社會經驗的衍生物(Taylor, 1987)。基本上，具有兩項互補的內涵：(1)人類是具有器官組織的機構且具有失效率及容許裕度，這與系統具有硬體/軟體單元相似，(2)在一般不友善的環境中，人類的正常行為是對於人為錯誤表現出輕蔑貶損的，若此行為會造成傷害，唯有當結果發生時才會被重視。

### 2.1. 人為可靠度分析(Human Reliability Analysis)

人為可靠度評估(HRA)是機率風險評估(Probabilistic Risk Assessment;

PRA)的延伸，機率風險評估確認系統暴露的所有風險並描述風險之間的關聯性以及量化風險的可能性，並以錯誤樹狀圖(Fault tree)或事故樹狀圖(Event tree)來表達相關訊息。人為可靠度評估(HRA)確認的人為錯誤諸如未能採取行動、未能在安全操作限度內採取行動(例如時間限度、精準度要求限度)或不相干的行為表現使得系統呈現退化(Degrade)的表現。人為可靠度評估(HRA)的缺點是：該系統必須存在以觀察錯誤模式及蒐集錯誤率的資訊。而模擬方法的優點是：提供即時(Real-time)的人為錯誤之產生以回應外部狀況與事故，並由改變模擬狀況進行預測。

## 2.2. 人為錯誤分類(Human Error Classifications)

人為錯誤分類(Human Error Classifications)用以描述本質上的行為(Behavioral)、內涵(Contextual)或觀念(Conceptual)(Reason, 1990)。其中行為分類描述表面易於觀察的人為錯誤，內涵分類表現與環境及任務(Tasks)相關的人為錯誤之特性。但這些分類法不能單獨解釋為何類似的環境無法產生重覆的錯誤(Reason, 1990)。觀念分類法目的在於建立更基本且可預測的人類行為之特性。Reason

(1990)基於社會價值將人為錯誤區分為錯誤(Errors)與違規(Violations)；錯誤(Errors)是無心的偏差行為(Unwitting deviations)，而違規(Violations)則是源自於審慎的操作程序(Operating procedures)、建議實作(Recommended practices)、規則或標準。Reason(1990)亦分辨違規(Violations)與破壞行為(Sabotage)；違規者(Violators)雖然採取偏差行為，但並非意圖產生不良的結果，而破壞者(Saboteurs)採取偏差行為，且意圖產生不良的結果。違規(Violations)是由3種社會因素(Social factors)所形成：行為態度(Behavioral attitude)、主觀的積非成是(Subjective norms)以及行為控制(Behavioral control)(Reason 與 Maddox, 1995)。

Table 1  
Multifaceted human error taxonomy (adapted from Rasmussen, 1982)

---

Factors Affecting Performance
Subjective goals and intentions
Mental load, resources
Affective factors
Situation Factors
Task characteristics
Physical environment
Work time characteristics
Causes of Human Malfunction
External events (distraction, etc.)
Excessive task demand (force, time, knowledge, etc.)
Operator incapacitation (sickness, etc.)
Intrinsic human variability
Mechanisms of Human Malfunction
Discrimination
Input information processing
Recall
Inference
Physical coordination
Personnel Task
Equipment/procedure design, installation, inspection, etc.
Internal Human Malfunction
Detection
Identification
Decision
Action
External Mode of Malfunction
Specified task not performed
Commission of erroneous act
Commission of extraneous act
Accidentally coincidental events (sneak path)

---

為了完整表達人為錯誤的原因和結果，Rasmussen(1982)提出的分類法(如表一)，不僅考量人為資訊處理程序故障的機制(Mechanisms of human information processing malfunction)，同時也考量任務(Tasks)、狀況因素(Situation factors)、操作者影響與意圖(Operator affect and intentions)以及錯誤的外部表現(The external expression of the error)。

### 2.3. 人為錯誤的回應(Responding to Human Error)

為了破除“責難循環”(Blame cycle)，Reason(1990)建議應該：(1)人為績效(Human performance)由狀態內涵(Situational contextual)及環境內涵(Environmental contextual)來加以具體化，(2)告訴工作人員對於無效的行為勿採取行動，(3) 錯誤起因於多重的促成因素，(4)狀態(Situation)及環境(Environment)的相關特性比操作者的相關特性來得容易改變。

對於人為錯誤最顯著的回應是確認原因並且改變系統使錯誤不再發生。Rasmussen(1990)認為錯誤的關鍵是在於降低錯誤的不良後果，而非錯誤本身。因此主張寬恕錯誤的設計(Error-forgiving design)，而不是無錯誤的設計(Error-free design)。

Hollnagel(1990)認為錯誤容許裕度(Error tolerant)的系統設計是必須的，他提出錯誤容許裕度系統應能：(1)在適當的時機提供適當的資訊給使用者(User)以降低系統誘發錯誤行動的機會，(2)經由提供多種(Redundant)且簡化(Simplified)型式的資訊以彌補人類知覺的功能失常(Human perceptual

dysfunction)。(3)經由維持輸入資料的整合性以彌補人類認知的功能失常，(4)偵測錯誤的行動並鼓勵改正程序，(5)提供一個寬恕錯誤的環境以允許對於錯誤的簡易改正與復原行動。Reason(1990)建議系統設計應能夠經由改變組織文化及社會的積習(Social norms)與個人的信仰及價值以降低違規(Violations)的情形。

3. 航空維護任務與環境 (Aviation maintenance tasks and environments)

航空維護與檢查的系統模型定義了 4 個互動的組件(Components)：操作者(Operator)、裝備(Equipment)、文件(Documentation)及任務(Tasks)(Latorella 與 Drury, 1992)，這些組件在實體與社會或組織與環境中互動。操作者類(Operator Classifications)包含各種組織層級的檢查與修理人員以及產品領班和工程師。

3.1. 航空維護與檢查任務(Aviation maintenance and inspection tasks)

Drury(1996)描述航空維護與檢查系統的功能有(1)規劃(Panning)，(2)開啟/清潔(Opening/cleaning)，(3)檢查(Inspection)，(4)修理(Repair)，(5)驗收買回(Buy-back)。而檢查功能包含下列子功能(Sub-functions)：(1)開始(Initiate)，(2)接近(Access)，(3)搜尋(Search)，(4)決定(Decide)，(5)回應(Respond) (Drury 等人, 1996)。在執行檢查工作時，檢查人員必須判斷是否有瑕疵(Faults)存在，若有瑕疵(Faults)則記錄做為修理及驗收買回(Buy-back)之依據。表二提供目視檢查及渦電流檢查(Eddy-current inspection)的功能範例(Drury, 1996)。

Table 2  
Examples of inspection functions: Visual and eddy-current (Drury, 1996)

Function	Visual inspection	Eddy-current inspection
Initiate	Get work card Read and understand requirements	Get work card and equipment Read and understand requirements Calibrate eddy-current equipment
Access	Locate area on aircraft Assume correct position for viewing	Locate area on aircraft Position equipment
Search	View area systematically Stop if any indication detected	Move probe over rivet heads systematically Stop if any indication detected
Decide	Compare indication against remembered standards (e.g., for corrosion)	Re-probe while closely watching signal on equipment monitor
Respond	If indication exceeds standards, mark defect and create repair sheet Else, continue searching	If indication confirmed, mark defect and create repair sheet Else, continue searching

修理(Repair)可分成下列子功能(Sub-functions)：(1)開始(Initiate)，(2)位置接近(Site access)，(3)零件接近(Part access)，(4)診斷(Diagnosis)，(5)更換/修理(Replace/repair)，(6)重新設定系統(Reset systems)，(7)關閉維護蓋板(Close access) (Drury, 1996)。表三呈現修理(Repair)功能的程序(Drury, 1996)。修理(Repair)可在航空器上執行或從航空器上拆下來的次組件(Sub-component)上執行。第二位維護人員執行完成修理之項目的再檢查

(Re-inspect)或“驗收買回”(Buy-back)。維護延遲改正項目(Maintenance deferral)必須是不影響關鍵安全(Safety-critical)的(Drury, 1996)，且須在適當時機完成改正行動。

Table 3  
Generic repair functions and tasks (Drury, 1996)

Function	Tasks
Initiate	Read and understand work card Prepare tools and equipment Collect parts and supplies Inspect parts and supplies
Site Access	Bring parts, supplies, tools and equipment to work site
Part Access	Remove items to access parts Inspect/store removed items
Diagnosis	Follow diagnostic procedures Determine parts to replace/repair Collect and inspect more parts and supplies if required
Replace/Repair	Remove parts to be replaced/repared Repair parts if needed Replace parts
Reset Systems	Add fluids/supplies Adjust systems to specification Inspect adjustments
Close Access	Relit items removed for access Adjust items refitted Remove tools, equipment, parts, and excess supplies

### 3.2. 組織內涵(Organizational context)

航空維護與檢查系統包含航空公司維護技術人員、民航主管當局、航空器製造廠、零組件供應商。組織的另一個功能是提供航空維護與檢查程序的品質管制(Quality control)與品質保證(Quality assurance)。若品質保證或法規策略失效，則將使維護與檢查的人為錯誤發生。

組織因素(Organizational factors)(例如：工作組別的定義/工作人員的隔離、報告架構、薪資支付架構等)影響航空維護操作的形態(Taylor, 1990)。更明確地說，航空公司維護的人為錯誤受到組織架構、人員管理、工具與裝備、訓練、商業與操作壓力、計劃與排程、建築物與裝備的維護以及溝通等因素的影響。

## 4. 航空維護中的人為錯誤 (Human error in aviation maintenance)

現代的航空器及其系統所運用的科技愈來愈複雜，這些系統的檢查與診斷也愈來愈專業，因此，商用航空器的維護與檢查更顯得具組織化地複雜。組織的/經濟上的壓力(Organizational/economic pressures)促使操作者違反檢查/維護的準則。但錯誤的後果卻不是立即明顯可見的(Graeber 與 Marx, 1993)。此外，由於個別操作者看見不同種類的維護問題，因此，對於任何操作者而言是很難鑑定航空器或機構的系統化問題(Inaba 與 Dey, 1991)。由

於複雜性之故，操作人員會犯錯並不讓人驚訝。航空維護與檢查錯誤可以它們在航空器裝備(Equipment)上和飛行任務上最立即、可觀察到的影響(意外事故/失事)(Incidents/accidents)以及在航空業的影響來加以描述。

#### 4.1. 維護錯誤在航空器裝備上的影響(*Effects of maintenance errors on aircraft equipment*)

一家主要航空公司研究顯示，在 3 年內的 122 件維護的錯誤中：56%是由於疏忽(Omissions)造成，30%是由於不正確的裝置造成，8%是由於使用錯誤的零組件造成，6%是由於其他原因造成(Graeber 與 Marx, 1993)。由英國民航局(CAA)耗時 3 年的研究發現 8 種最常見的維護錯誤分別是：零組件(Components)不正確的裝置、錯誤零件(Wrong parts)的組裝、電線線路不一致、遺漏物件(工具等)在航空器上、不適當的潤滑、發動機整流罩(Cowlings)與維護蓋板(Access panels)未上緊、燃油箱蓋(Fuel caps)和加油蓋板(Refuel panels)未上緊、飛行前未將起落架地面插銷(Landing gear ground lock pins)移除(UK CAA, 1992, Allen 與 Rankin 引用, 1995)。

Prabhu 和 Drury(1992)蒐集一家美國主要航空公司的資料研究顯示，在維護與檢查任務的人為錯誤可分成許多種類：有缺陷的零組件(Defective component)、零組件遺失、錯誤的零組件、不正確的構型(Incorrect configuration)、不正確的組裝順序(Incorrect assembly sequence)、功能缺陷(Functional defects)、觸覺上的缺陷(Tactile defects)、程序缺陷(Procedural defects)。

#### 4.2. 起因於維護錯誤的失事事故(*Accidents due to maintenance errors*)

促成失事事故的維護錯誤之種類從具明顯疏忽的直接原因到許多次要的錯誤與不正常事故之結合造成的失事事故(Graeber 與 Marx, 1993)。Sears 提到 1959 年至 1983 年之間維護錯誤是 12%的國際失事事故之促成因素，而有缺陷的維護是 3%的失事事故之主要因素(Boeing, 1993a)。波音最近的研究(1993b)發現，改變航空器維護與檢查方式可防止 1982 年至 1991 年之間約 16%機體全毀(Hull losses)及將近 20%的失事事故。在這段時間，維護與檢查因素牽涉到 47 件失事事故，且造成 1481 機上人員死亡(Graeber 與 Marx, 1993)。

此外，失事調查人員注意到組織因素對於失事事故的影響。Reason 與 Maddox(1995)描述組織對於失事事故的影響，例如在高層決策與公司文化影響之下產生潛在的失誤並傳播至工作場所並形成一種風氣，使工作人員易於犯錯與違規。這些潛在的失誤有時會突破工程安全屏障(Engineered safety features)(例如：設計、標準、程序)而導致失事/意外事故的發生。因此航空公司自我稽核的角色是非常重要的，而獨立的管理單位更是關鍵。

#### 4.3. 維護錯誤在航空維護上的其他影響(*Other effects of human errors in*



*aviation maintenance)*

失事事故基本上肇因於許多的原因因素(Causal factors)的結合而且必須突破許多道的防線。而維護錯誤可能存在但通常未必能偵測到。維護錯誤除了對失事事故有明顯且強烈的影響之外，對其他諸如空中回航(Air turn back)、航班延誤、滑回登機門、空中關車(In-flight shutdown)、航班轉降、維護修理、維護裝備受損、維護人員受傷也有重要的影響。Gregory(1993)發現所有與發動機相關的航班延誤(Flight delays)及航班取消(Flight cancellations)有 50%是由於不適當的維護。這些結果影響顧客的滿意度及航空公司的生產力與利潤。

#### *4.4. 檢查與維護的人為錯誤之預測形式(Predicting forms of inspection and maintenance human errors)*

本節將呈現 3 種研究航空維護與檢查錯誤的方法，與人為可靠度分析(Human Reliability Analysis; HRA)相當類似的是應用錯誤樹狀圖(Fault tree)來調查與量化航空器檢查的人為錯誤(Lock 與 Strutt, 1985)，Lock 與 Strutt(1985)發展流程圖來描述檢查過程(如圖一)，這流程圖分析產生檢查過程的 6 種潛在錯誤(如表四)，這些潛在錯誤可能以更複雜的形式一起發生。而且這些潛在錯誤在錯誤樹狀圖(Fault tree)中呈現(如圖二)。Lock 與 Strutt(1985)確認 5 種與航空器檢查相關的績效成形因素(Performance Shaping Factors; PSF)：區域可接近性(Area accessibility)、一般區域採光(General area lighting)、接近與目視強化工具、動機/態度、工作方法(Work method)，並提供相對的權重(Weights)以顯示在每一檢查步驟中的重要性。

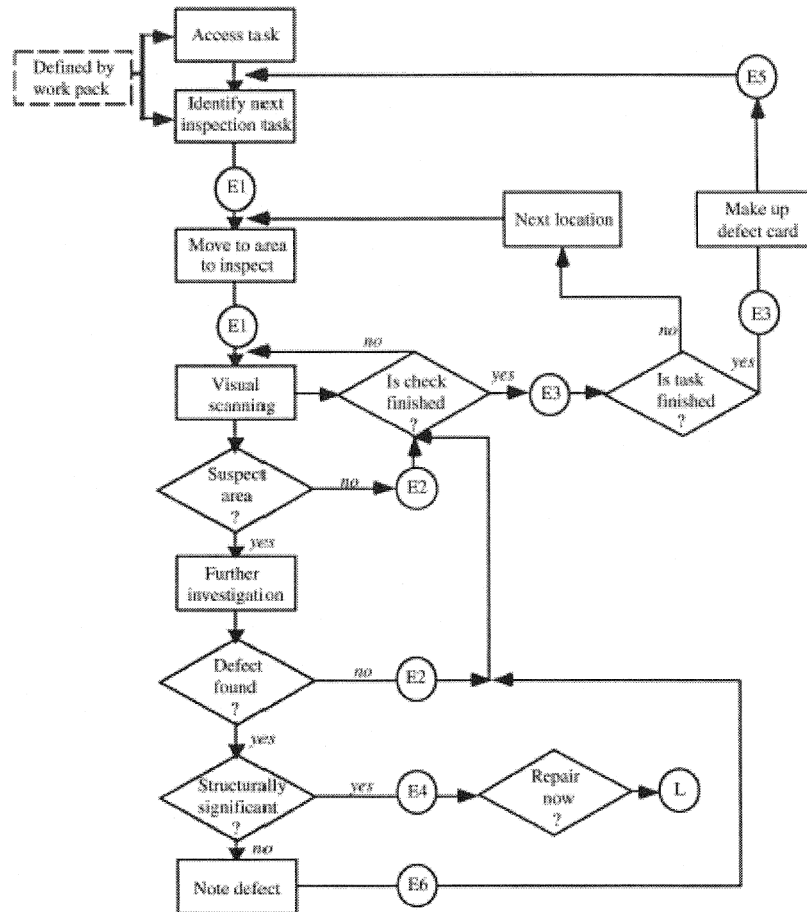


Fig. 1. Inspection Model Flowchart (adapted from Lock and Strutt, 1985).

Drury(1991)藉由將檢查功能分解成任務(Tasks)來定義這些人為錯誤，並且確認這些任務(Tasks)的失效模式(Failure modes)。經由檢查的觀察、與檢查人員、主管及品管人員的討論將這些人為錯誤種類細加區分(Drury et al.,1990; Drury, 1991)。表五呈現此錯誤分類法(Error taxonomy)的樣本。上述分類法僅將觀察到錯誤的呈現，Drury(1991)以 Rouse 與 Rouse 的錯誤下層結構(Error framework)為基礎，針對航空維護與檢查隱藏的錯誤機制提出因子型(Genotypes)的分類架構(Classification scheme)(如表六)。

Foyle 與 Dupont(1995)確認 12 種維護人員最常見的“判斷衝突”(Judgment interference)之原因，其動機可引述飛航安全基金會(Flight Safety Foundation)的名譽主席 Jerome Lederer 的一段話來說明：“維護錯誤不是失事的原因，其原因是在關鍵時刻與維護人員的判斷起了衝突而產生維護錯誤的結果”(Foyle 與 Dupont, 1995)。表七說明特定失事事故的判斷衝突：在 1991 年 7 月 11 日，1 位航空器維護機械員(Aircraft maintenance technician; AMT)察覺到 Nationalair 的 DC-8 至少有 2 個輪胎胎壓過低，共造成此航空器上 260 人死亡。

Table 4  
Potential errors in the inspection process (Lock and Strutt, 1985)

Error Location in Flowchart	Definition
Scheduling (E1)	Wrong execution of either of the two tasks: "identify next inspection" or "move to location"
Inspection (E2)	Not seeing a defect when one exists
Inspection (E3)	If human induced, due to either forgetting to cover area, covering area "inadequately" or a scheduling error
Engineering Judgment (E4)	An error in deciding whether the area in which a defect is found is significant or not
Maintenance Card System (E5)	Arisas because the work cards themselves may not be used to note defects on the hangar floor immediately as they are found
Noting Defect (E6)	The error is noted incorrectly or not noted at all

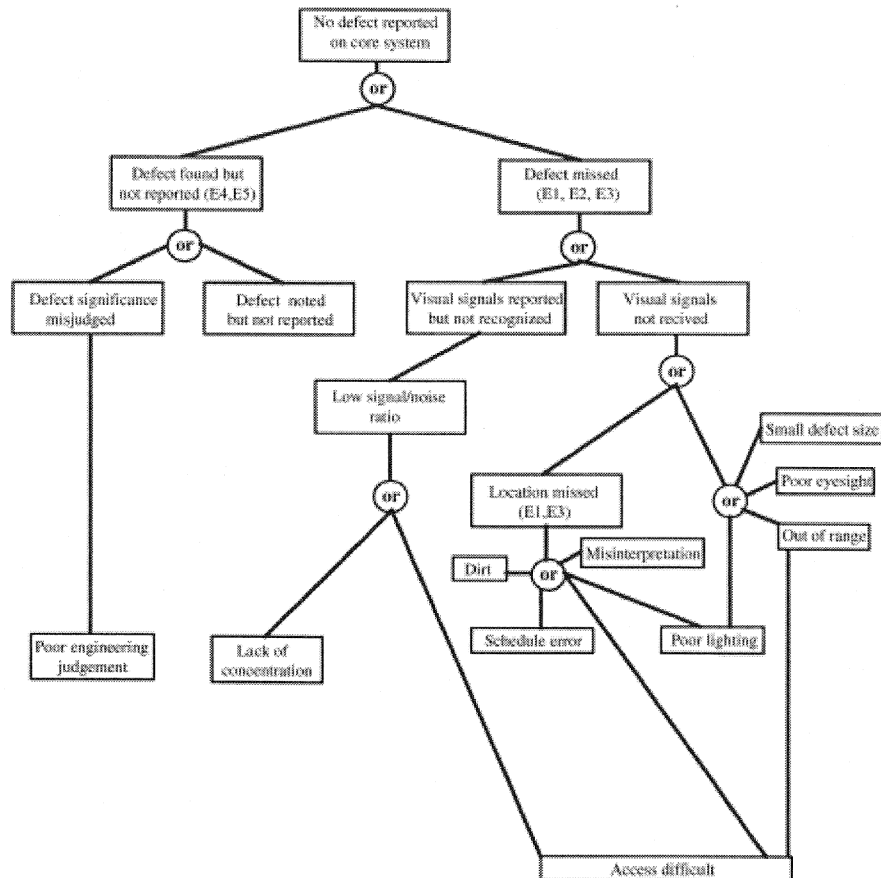


Fig. 2. Inspection Error Fault Tree (Lock and Strutt, 1985).

Table 5  
Sample of aircraft maintenance and inspection errors by task step (Drury, 1991)

Tasks for "Initiate" function	Error(s)
1.1 Correct instructions	1.1.1 Incorrect instructions 1.1.2 Incomplete instructions 1.1.3 No instructions available
1.2 Correct equipment procured	1.2.1 Incorrect equipment 1.2.2 Equipment not procured
1.3 Inspector gets instructions	1.3.1 Fails to get instructions
1.4 Inspector reads instructions	1.4.1 Fails to read instructions 1.4.2 Partially reads instructions
1.5 Inspector understands instructions	1.5.1 Fails to understand instructions 1.5.2 Misinterprets instructions 1.5.3 Does not act on instructions
1.6 Correct equipment available	1.6.1 Correct equipment not available 1.6.2 Equipment is incomplete 1.6.3 Equipment is not working
1.7 Inspector gets equipment	1.7.1 Gets wrong equipment 1.7.2 Gets incomplete equipment 1.7.3 Gets non-working equipment
1.8 Inspector checks/calibrates equipment	1.8.1 Fails to check/calibrate 1.8.2 Checks/calibrates incorrectly

Table 6  
Example of possible errors in calibrating NDI task step (Drury, 1991)

Level of Processing	Possible Errors <sup>a</sup>
1. Observation of system state	Fails to read display correctly
2. Choice of hypothesis	Instrument will not calibrate. Inspector assumes battery is low
3. Test of hypothesis	Fails to use knowledge of NiCads to test
4. Choice of goal	Decides to search for new battery
5. Choice of procedure	Calibrates for wrong frequency
6. Execution of procedure	Omits range calibration step

<sup>a</sup>This example is for task 1.8.2 shown in Table 5.

Table 7  
Judgment interference in aviation maintenance personnel (Foyle and Dupont, 1995)

Judgment Interference	Example
Lack of communication	The AMT did not inform the pilot that tire pressures were low, even after when the pilot stated "we got a flat tire, you figure?" on the final takeoff roll
Complacency	The tires had had low pressure for several days without attention
Lack of knowledge	Ignorance of the manufacturer's specifications for tire pressure
Distraction	(Any distraction to the AMT is unknown.)
Lack of teamwork	The AMT and the cockpit crew were flying together, yet did not appear to know maintenance status of the aircraft
Fatigue	AMTs did not go to sleep until at least 11 pm and were called up at 3 am. They had also been traveling with the aircraft and working on it during down time
Lack of resources	Nitrogen to inflate the tires was not readily available
Pressure	The AMT was apparently under much personal pressure to keep the aircraft flying for job security reasons
Lack of assertiveness	The base manager, who had no authority over the AMT, told him to "forget it" when it appeared they would be delayed 30 min if the AMT inflated the low tires
Stress	The AMT was counting on the success of this deployment to enable him to advance with the company and to be able to settle in Canada
Lack of awareness	The AMT was unaware that tire pressure was critical to the aircraft's safety
Norms	Company procedures allowed the AMT to make an error as an acceptable practice

## 5. 管理航空維護上的人為錯誤 (Managing human error in aviation maintenance)

在 1995 年，美國國家安全會議徵求著重在錯誤偵測與防止的人為因素研究，此外，該會議建議美國聯邦航空總署(FAA)應建立航空人為因素研究的全國資料庫與發展維護錯誤分析工具以及針對維護人員發展和組員資源

管理(Crew Resource Management; CRM)相同原理的系統。

### 5.1. 偵測航空維護與檢查上的人為錯誤(*Detecting human errors in aviation maintenance and inspection*)

由於錯誤比率偏低，因此偵測系統化的人為錯誤及其相關的績效成形特徵(Performance shaping characteristics)並不容易。在航空維護上偵測錯誤有 2 種基本方法：第 1 種是基於系統定義的績效偏差(System-defined performance deviations)的錯誤報告回應(Error reporting responses)追溯既往地偵測人為錯誤，第 2 種是事前預防(Pro-active)的偵測方法。

### 5.2. 航空維護與檢查上的錯誤報告(*Reporting errors in aviation maintenance and inspection*)

錯誤報告系統有許多不同的形式，大多數現有的錯誤報告系統有一些相同的特性(Drury et al.,1991; Drury, 1992)：是由事件所驅動(Event driven)——唯有當遭遇困難或發現缺陷時、以航空器機型和結構為主要報告的分類型別、使用錯誤關鍵性的專家評估之資料被進一步分類、錯誤報告可導致維護與檢查程序的改變等。

本節確認 2 種錯誤報告的形式：首先，失事調查與意外事報告被視為錯誤報告的形式之一，其次，考量最傳統錯誤報告系統，諸如航空公司所使用的錯誤報告系統和更正式的報告系統。

#### 5.2.1. 失事調查(*Accident investigations*)

美國國家運輸安全委員會(NTSB)主導發生人員死亡或航空器損壞的失事調查。這些調查均例行性檢視是否文件反映所執行的維護工作且是否恰當。這些調查亦考量檢查/維護人員是否能夠確認/修理例行性維護之外的問題，此外，若牽連檢查/維護問題，則調查工作進一步考量航空公司的品管與品保計畫是否有可能的缺陷。這些調查產生對航空公司、對美國聯邦航空總署(FAA)以及對製造原廠的建議事項。失事調查亦產生對特定零組件(Components)的檢查/修理/更換的規定或針對某些零組件(Components)增加其檢查/修理/更換的頻率。

#### 5.2.2. 匿名的意外事故報告(*Anonymous incident reports*)

航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)接受個人以匿名方式報告意外事故及問題。此系統(ASRS)主要的使用者是飛行員，飛行員報告航空器操作過程發生的意外事故之頻率較機械員(Mechanics)高出很多。航空安全報告系統(ASRS)的報告是可搜尋的(Searchable)且以明顯的或重複的問題加以檢閱，研究人員可以關鍵字排序來編輯航空安全報告系統(ASRS)的報告，ASRS 報告提供 1 種確認航空意外事故的檢查與維護之人為錯誤促成因素的方法。但是

使用 ASRS 資料時必須注意到許多因素限制資料的解讀例如：(1)這些報告是基於個人看法，而這些看法可能有偏差，(2)ASRS 搜尋的結果並不是全部都包含在內，而是提供包含搜尋項目的例子，(3)ASRS 所包含的報告並非必然呈現真實事件在統計上正確的樣本。

### 5.2.3. 內部錯誤報告系統(*Internal error reporting systems*)

航空公司亦具有自己的錯誤報告系統，航空公司近年來努力於克服先前錯誤報告的問題：(1)航空公司內的錯誤報告系統並未整合，(2)錯誤報告中的績效成形因素(Performance shaping factors; PSF)周遭的錯誤事件(Occurrences)未被妥善文件化(Well-documented)，(3)航空公司之間的錯誤報告系統並未妥善整合。

大部份的航空公司嚴格監控失事與意外事故，但是大多數的錯誤報告系統是由不同部門分別使用，而很少共同運用來分析整個系統(Wenner 與 Drury, 1996)

。因此，分散的錯誤報告系統產生不同的錯誤顯型(Phenotypes)，進而限制了瞭解何者是共同的錯誤因子型(Genotypes)之能力。很明顯地，由不同部門維持的多重錯誤報告系統很難偵測到根本的錯誤(Root error)，所以必須發展意外事故調查與報告工具並應用在航空公司的系統之間。

典型的航空公司的錯誤報告系統架構關心錯誤的責任歸屬及結果，而不是瞭解錯誤的原因因素(Causal factors)與狀態內涵(Situational context)。但是分析錯誤報告系統所收集的資料若只為了釐清責任歸屬及結果。1 套有效的錯誤報告系統必須具備任務(Task)的一般理論以及會影響任務績效(Task performance)的狀態因素(Situational factors)。由波音公司與美國數家航空公司、FAA 等共同發展的維護錯誤決策輔助程序(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)是 1 套嘗試獲取意外事故的促成因素(Contributing factors)之因果關係(Causality)的錯誤報告系統。MEDA 的目標是：改進航空公司維護組織對於人為績效(Human performance)的瞭解、提供線上與組織的維護人員分析錯誤的標準方法、確認系統中增加暴露錯誤與降低效率的缺陷、提供錯誤趨勢分析方法給予商用航空公司的維護組織。MEDA 對於錯誤事件的報告內容包含 5 大部份：(1)一般資訊(General information)，(2)事件(Event)，(3)維護錯誤(Maintenance error)，(4)促成因素(Contributing factors)，(5)改正行動(Corrective actions)。

最近的現場評估顯示 MEDA 符合其目標(Allen 與 Rankin, 1995)，從調查回應及技術人員報告的評估顯示 MEDA 提供維護組織 1 套有效且標準化的方法，MEDA 分析確認了一些維護上的缺陷。調查獲得錯誤調查程序的正面效益。調查資料亦顯示在使用 MEDA 之後，改進了維護人員對人為績效(Human performance)的瞭解(Allen 與 Rankin, 1995)，MEDA 讓航空公司改

進其本身的維護作業(Maintenance operations)以及與波音公司在設計和製造方面議題的溝通(Communications)。MEDA 藉由更有效地獲取狀態因素(Situational factors)進而改善錯誤報告。此外，藉由提供錯誤報告的共同平台(Common platform)，MEDA 讓航空公司之間的錯誤報告有更多的機會與製造廠整合在一起。

航空公司內部的錯誤報告系統透過保養困難報告(Service Difficulty Reports; SDR)與自願報告(Voluntary Disclosures)等正式管道給美國聯邦航空總署(FAA)。美國聯邦航空總署(FAA)依據特定的維護問題發佈諮詢傳閱文件(Advisory Circulars; AC)與適航指令(Airworthiness Directives; AD)，其中，諮詢傳閱文件(Advisory Circulars; AC)提供管控維護程序的指南且屬於非強制性，而適航指令(Airworthiness Directives; AD)則是具法律效力必須強制執行。此外，製造廠發佈服務信函(Service newsletters)與服務技術通報(Service Bulletins)內含人為錯誤意外事故的一些資訊。

### 5.3. 事前預防錯誤偵測方法(*Pro-active error detection methods*)

對於防止重複發生的特定錯誤，錯誤報告系統是最有用的錯誤管理策略。若能夠在重複發生之前確認系統的錯誤與錯誤之績效成形因素(Performance shaping factors; PSF)，則可大幅改善航空系統的安全性。

#### 5.3.1. 稽核(*Audits*)

美國聯邦航空總署(FAA)的飛航標準服務(Flight Standards services)執行對航空公司的定期檢查與維護計畫之稽核，以確保航空公司遵循檢查與維護程序並具有品保計畫。此外，錯誤也可由人為因素稽核偵測到。人為因素稽核是 1 種確認工作的失誤、工作環境的不當、人員-任務之間的不當配合可能導致人為錯誤之方法。大部份的人為因素稽核是採用檢查表(Checklists)與問卷調查(Questionnaires)。部份的人為因素稽核是根據任務分析(Task analysis)的失效模式分類(Classification of failure modes)來進行觀察記錄。

為了進行人為因素稽核，必須定義：(1)如何採樣(頻率與樣本分佈)，(2)測量哪些因素，(3)如何評估樣本，(4)如何解讀結果(Drury, 1997; Chervak 與 Drury, 1995)。稽核必須展現出其正確性(Validity)、可靠性(Reliability)、靈敏性(Sensitivity)與可用性(Usability)。且人為因素稽核必須由具備人為因素及專家能力的個人來執行，要獲得有效稽核所需的足夠多之樣本數並不容易。最後，通常在分析的廣度和深度之間以及進行分析所需的時間做權衡。

#### 5.3.2. 系統可靠性的主觀性評估(*Subjective evaluations of system reliability*)

一些錯誤偵測系統使用主觀性等級的尺度來判斷任務環境(Task environment)的錯誤傾向性(Error-proneness)。這種方法論是假設錯誤的傾向性(Error-proneness)可由在環境中工作的人員主觀地評估 1 組因素(類似績效成形因素或錯誤成形因素的觀念)。必須避免使用有偏差性的問題，而且採

取事實、無成見的評估。而且必須決定資料樣本的大小及對於資料結果如何分析與解讀。此外，提供自願評估回饋也是很重要的。若無可見且有效的回饋與行動，則將失去可信度且變得毫無效果。

James Reason 為英國航空公司(British Airways)發展事前預防主觀性評估工具 MESH(Managing Engineering Safety Health)(Rogan, 1995b)。MESH 是假設系統本身對於失事產生因素(Accident-producing factors)的抵抗性是由於工作場所階層與組織階層許多因素交互作用而形成。MESH 產生在維護工作人力及管理階層對於局部與組織因素的認知方面之定期測量(Regular measurement)(Reason 與 Maddox, 1995)。MESH 計畫累積評估人員的輸入資料並綜整可能促成失事與意外事故的因素，航空公司的品管人員確認這些因素並將其重要性進行排序，由技術人員評估局部因素以及由技術管理人員評估組織因素，技術人員可由信函和公告欄得到回饋(Feedback)(Rogan, 1995b)。

### 5.3.3. 模擬方法 (Simulation approaches)

由於在真實的系統內狀態與操作因素經常改變，因此透過觀察來進行評估通常很困難，模擬方法提供了另一種選擇。模擬方法可以更小心地控制/隔離狀態與操作變數來預測人為錯誤。

### 5.4. 航空維護與檢查的人為錯誤控制 (Addressing human error control in aviation maintenance and inspection)

一旦在失事(Accident)、意外事故(Incident)、事件(Event)或與錯誤可能相關的狀態(Error-likely situation)之人為錯誤被發現，則必須決定如何來控制或管理該錯誤，大部份是透過介入(Interventions)的方式。此外，結合不同的介入(Interventions)方式是最有效的。降低錯誤的介入(Interventions)方式包含：選擇(Selection)、訓練(Training)、裝備設計(Equipment design)、工作設計(Job design)與輔助(Aiding)(Rouse, 1985)。

#### 5.4.1. 訓練(Training)

加拿大運輸部(Transport Canada)舉辦研習會來訓練維護技術人員避免前述的“判斷衝突”(Judgment interference)(Foyle 與 Dupont, 1995)。根據處理分析模型(Transactional Analysis model)，Dupont 模型可分辨理性(“成人”)與感性(“小孩”)的動機。這個研習會提供理性/感性如何互動而影響人在工作時的判斷之範例、確認技術人員的行為種類以及強調壓力(Stress)、疲勞(Fatigue)與缺乏溝通在人為績效的影響(Foyle 與 Dupont, 1995)。這類訓練早已在飛行組員實施一段時間，現在擴展至維護環境。此外，電腦上機訓練(Computer-based training; CBT)亦應用在航空檢查與維護技術人員的訓練上。評估研究結果顯示，接受 CBT 的訓練與傳統的訓練方法的程度相同，而主觀性評估(Subjective evaluations)顯示，維護技術人員較偏好人員與 CBT



結合的訓練方式(Johnson 與 Shepherd, 1993)。

航空器維護與檢查活動是靠團隊中的技術人員共同完成，因此技術人員必須學習成為團隊中的一員並能夠協調和溝通來達到團隊目標。而決策制定(Decision-making)、知識分享(Knowledge-sharing)、溝通目標與目的(Communicating goals and objectives)扮演改善團隊績效的關鍵角色。最近的訓練著重在航空維護與檢查的團隊合作之強化。美國聯邦航空總署(FAA)提出將組員資源管理(Crew Resource Management; CRM)的方法擴展到維護資源管理(Maintenance Resource Management; MRM)或技術人員資源管理(Technician Resource Management; TRM)，促進維護組員的團隊合作與問題解決(FAA, 1991, 1995)。在航空公司實施的一些維護資源管理(MRM)訓練計畫評估(Taggart, 1990; Galaxy Scientific, 1993)顯示在目標績效(Objective performance)與技術人員態度的主觀性量測的努力獲得了成功(Galaxy Scientific, 1993)。Gramopadhye 等人(1996)提出 1 套電腦多媒體團隊訓練工具，稱為航空器維護團隊訓練軟體(Aircraft Maintenance Team Training; AMTT)軟體，其中包含團隊技巧說明模組(Team skills instructional module)。此模組表達團隊技巧關鍵因素：溝通(Communication)、決策制定(Decision-making)、人際關係以及領導(Leadership)。AMTT 同時也是任務模擬模組(Task simulation module)，讓使用者在模擬的航空器維護狀態應用所學習的團隊技巧。Endsley 與 Robertson(1996)分析航空器維護團隊的狀態警覺需求(Situation awareness requirements)(Endsley, 1988)，結果發現技術人員團隊合作訓練以降低錯誤及強化績效獲得了改善(Endsley 與 Robertson, 1996)。

#### 5.4.2. 工作設計與組織考量(*Job design and organizational considerations*)

Drury 提出經由航空維護訓練以改變人因工程/人為因素(Ergonomic/human factors)的研究成果，該研究是由管理階層與棚廠工作人力組成，人為因素專家協調團隊並針對人為因素議題扮演諮詢委員的角色。該研究訓練計畫利用 SHEL 模型(軟體(Software)、硬體(Hardware)、環境(Environment)和人(Liveware))(Edward, 1972)來組織人為因素的內容。從這個研究成果發現，有許多組織因素對於任務的成功是關鍵。Allen 與 Rankin(1995)亦建議透過組織的改變來改善航空維護與檢查，應透過組織將懲戒制式化及結構化。

#### 5.4.3. 工作場所與周圍環境設計(*Workspace and ambient environment design*)

周圍環境在許多方面會影響維護績效(Maintenance performance)，一些維護工作是在極端寒冷的天候下進行，有時迫使維護人員不得不戴上手套執行任務，進而影響手的運用(Manipulation)與觸覺(Tactile sensation)。所有檢查的 90%是目視檢查(Visual inspection)。因此，一般建議對於個別檢查工作採用最佳的照明(Optimal illumination)(Johnson 與 Shepherd, 1993)。

維護工作常常使維護人員以困難的姿勢及在有限的空間進行，Reynolds 等人調查在受限的空間工作之影響，結果發現檢查工作中垂直的限制增加姿勢的壓力及呼吸率的變化性(Respiration rate variability)，而一些身體的限制可改善任務的焦點(Task focus)(Reynolds 等人, 1994)。波音公司發展 B-777 時發展了特殊的設計準則以促進維護的便利性(Marx, 1992)。

5.4.4. 任務裝備與資訊設計(Task equipment and information design)

航空維護與檢查的一些“人為錯誤”衍生自裝備與資訊介面的不當設計，其中 1 種控制錯誤的方法是重新設計裝備與資訊的介面。航空維護與檢查的任務愈來愈多是利用電腦進行，包含新工具與技術的使用。一般而言，設計這些介面能夠從可用性評估(Usability assessment)和工程(Engineering)中獲益(例如 Ravden 與 Johnson, 1989; Nielsen, 1993)(如表八)。

Table 8  
Usability criteria for user interface evaluation (Ravden and Johnson, 1989)

Factors	Guidelines
Visual Clarity	Information displayed on screen should be clear and well organized
Consistency	The way the system looks/works should be consistent at all times
Informative Feedback	Wherever appropriate and possible, the user should be given clear, informative feedback on where they are in the system, what actions they have taken, whether these actions have been successful, and what actions to be taken next
Explicitness	The system structure and working should be clear to the user
Appropriate Functionality	The system should meet the needs of the user when carrying out the task
Flexibility and Control	The interface should be flexible in the way the information is presented to the users
Error Prevention and Control	Design system to minimize the possibility of user error
User Guidance and Support	Informative, easy-to-use and relevant guidance and support should be provided to help users understand the system

工作卡(Work cards)以 3 種基本的方式改善：首先，工作卡的格式重新設計使呈現的資訊更易讀，以及更組織化的形式。其次，工作卡提供適當的內容及有用的格式(例如圖形)，並提供相關的參考資料。第三，工作卡的實體介面(Physical interface)很重要必須考量。Patel 等人的研究(Patel 等人, 1994, 1993; Drury, 2000)確認構成更以技術人員為中心的工作卡之人為因素指導方針(Guidelines)。技術人員在執行檢查與維護工作時常常必須參閱參考維護手冊(Reference manuals)，因此，提供更可接近及更有用格式的參考資訊可促進維護績效(例如 Inaba, 1991)。

5.4.5. 自動化(Automation)

表九呈現以功能分類的航空維護與檢查自動化之方法(Drury, 1996)。Drury 強調考量額外自動化介入訓練需求以及將自動化加入組織與個人工作內的重要性。

Table 9  
Examples of automation in aviation maintenance and inspection (Drury, 1996)

Function	Automation examples
Planning	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automated stock control and parts ordering to ensure that lead times for obtaining parts does not extend with out-of-service time.</li> <li>Optimization heuristics for packaging required items into the length of a check visit.</li> </ul>
Opening/Cleaning	<ul style="list-style-type: none"> <li>NDI devices eliminate need to open aircraft in some cases.</li> </ul>
Inspection: initiate	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automated information presentation (e.g., Marx, 1992)</li> <li>Hypertext workcards allow access to background documentation (Lofgren and Drury, 1994).</li> <li>IMIS system in military aircraft (Johnson, 1990).</li> </ul>
Inspection: access	<ul style="list-style-type: none"> <li>Climbing robot performs eddy-current scanning of lap-splice joints (Albert et al., 1994).</li> </ul>
Inspection: search & decision	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effort towards automating signal processing and aiding final decision making (Johnson, 1989).</li> </ul>
Inspection: response	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hypertext workcards allow integration of inspection performance with documentation of response (Lofgren and Drury, 1994).</li> </ul>
Repair: initiate	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aircraft Visit Management System (AVMS) at United Airlines integrates inspection and repair activities (Goldsby, 1991).</li> </ul>
Repair: diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variety of AI and expert system approaches to diagnosis aiding (e.g., Husni, 1992).</li> <li>Computer-based training with intelligent tutoring for diagnosis (Johnson et al., 1992).</li> <li>On-board diagnostic system improvements (e.g., Hessburg, 1992).</li> </ul>
Repair: repair/replace	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automation mostly limited to individual repair shop lines.</li> <li>CNC machining and robotic welding systems (Goldsby, 1991).</li> </ul>
Repair: reset	(none)
Buyback/Return to Service	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integration of inspection performance and response and maintenance actions makes buyback easier.</li> <li>Bar codes on badges and workcards to automate job control notation (Goldsby, 1991).</li> <li>Fully electronic logbook proposed.</li> </ul>

#### 5.4.6. 錯誤管理的廣泛與整合方法(Comprehensive and integrated approaches to error management)

除了航空維護的人為錯誤管理之外，也必須管理介入方法(Interventions)。Drury 等人(1996)提出針對錯誤降低與管理更廣泛的原型系統，此系統假設事前預防錯誤監控(Pro-active error monitoring)及事後因應錯誤報告(Reactive error reporting)是有效的錯誤控制的要素。該系統包含5項模組(Modules)：(1)錯誤報告(Error reporting)，(2)關鍵事故報告(Critical incident reporting)，(3)錯誤稽核(Error audit)，(4)錯誤評估(Error assessment)，(5)解決方法資料庫(Solutions database)，此原型系統稱為事前預防錯誤降低系統(Pro-active Error Reduction System; PER)，目前在美國聯邦航空總署(FAA)的研究補助下發展中。

## 6. 結論

目前航空維護與檢查的研究著重在瞭解人為錯誤之本質與改善方法，本文回顧錯誤偵測的事前預防(Pro-active)及事後因應(Reactive)的方法，以及航空維護與檢查控制人為錯誤的許多介入策略(Intervention strategies)。在這領域未來的發展方向為：(1)包含報告有限免責權(Limited immunity for reporting)的維護意外事故報告系統，(2)在錯誤報告中以標準化(Standardized)但豐富的字彙/索引(Vocabulary/indexing)之架構對於狀態因素(Situational

factors)與操作者因素(Operator factors)的特性加以記述，(3)以科技促成對於狀態因素(Situational factors)與操作者因素(Operator factors)的危險類型(Hazardous patterns)之認知，(4)航空維護系統模擬，(5)以虛擬環境模擬(Virtual environmental simulations)協助實驗調查(Experimental investigations)，(6)確認影響人為錯誤的組織結構(Organizational structures)與工作設計特性(Job design characteristics)之方法，(7)真正的以人為中心、整合的任務輔助(Integrated task aiding)、自動化(Automation)與訓練(Training)。

## [文獻評析]

特色與優點：

本文獻詳細敘述人為錯誤的特性與航空維護上人為錯誤的種類、偵測方法(包含事前預防(Pro-active)及事後因應(Reactive)的方法)及其影響，以及針對航空器維護與檢查的人為錯誤進行確認、報告、預測、控制與管理之研究現況。本文獻內容詳實豐富，在航空維護之人為錯誤方面的研究與應用具有相當高的參考價值。其中提到下列幾點值得國內航空界參考：

1. 結合不同的介入(Interventions)方式來控制或管理人為錯誤是最有效的。
2. 建議由於航空公司不同部門進行的多重錯誤報告系統很難偵測到根本的錯誤(Root error)，所以必須發展意外事故調查與報告工具並應用在航空公司的系統之間。
3. 維護資源管理(MRM)訓練應著重在航空維護與檢查的團隊合作之強化，以協助問題的解決。
4. 航空公司自我稽核的角色是非常重要的，而獨立的管理單位更是關鍵。

## [相關文獻]

Drury, C.G., Prabhu, P.V., Wenner, C., Ramamurthy, M., 1996. Proactive error reporting system, In: Human Factors in Aviation Maintenance Phase VI Progress Report. FAA, Washington, DC.

Marx, D., 1992. Looking towards 2000: the evolution of human factors in maintenance. In: Proceedings of the Sixth FAA Meeting on Human Factors Issues in Aviation Maintenance and Inspection. National Technical Information Service, Springfield, VA, pp.64-76.

Taylor, J.C., 1990. Organizational context for aircraft maintenance and inspection. In: Proceedings of the Human Factors 34<sup>th</sup> Annual Meeting. Human Factors and

Ergonomics Society, Santa Monica, CA, pp.1176-1180.

# **Safety Management Systems and Safety Culture in Aircraft**

## **Maintenance Organisations**

N. McDonald, S. Corrigan, C. Daly, S. Cromie

Safety Science 34 (2000) 151-176

### **[英文摘要]**

A self-regulatory model was proposed to examine how different organisations manage safety, with particular emphasis on the human and organisational aspects. The relationships of different aspects of safety culture and safety management systems were explored through the deployment of different research measures and methods. Studies of four aircraft maintenance organizations included analysis of documentation and qualitative interviews, surveys of safety climate and attitudes, expected response to incidents and compliance with task procedures. The model was effective in analysing the salient features of each organisation's safety management system, though it underestimated the roles of planning and change. The data from management interviews, the incidents survey and safety climate survey exhibited a large measure of agreement in differentiating between the different safety management systems and safety climate of the four organisations. The measures of compliance with task procedures and safety attitudes did not differentiate between the four organisations (though one organisation did differ from the others in safety attitudes). This suggests a strong, relatively homogeneous professional sub-culture of aircraft technicians spanning the different organisations. Differences in safety attitudes and climate were found between occupational groups, though in the case of climate the differences between occupational groups were a function of the organisation, suggesting a differentiated notion of safety culture. The professional sub-culture of technicians is likely to mediate between the organisation's safety management system and safety outcomes.

### **[中文摘要]**

為了檢視不同組織如何做安全管理，本論文提出自我調整與回饋式的安全管理系統模型(Self-regulatory safety management system model)，所謂自我調整與回饋式的安全管理系統模型，就是一套流程：由“安全政策”(Safety Policy)到“安全

標準”(Safety Standards)再到“工作的計劃與組織”(Planning and Organization of Work)，接著是“正常操作”(Normal Operational Practice)，經由“監控”(Monitoring)再到“回饋”(Feedback)，“回饋”機制視需要進行“調整與改變”(Adjustment and Change)，再回到“安全政策”(Safety Policy)，形成一套迴路式流程模型，不斷循環運作。本論文主要是針對4個航空器維護組織進行文件分析、訪談以及對安全性的態度與風氣(Climate)以及事件(Incident)的調查，探討安全文化與安全管理系統之間不同層面的關係，並特別著重在人與組織方面的研究，以驗證作者所提出自我調整與回饋式的安全管理系統模型(Self-regulatory safety management system model)之正確性。

在簡介中，作者提到從文獻回顧發現：大多數的安全管理系統模型之研究是片斷、不完整的，因此本論文的目標是發展一套整合的安全管理系統並特別著重在安全的人為因素方面，而航空器失事(Accidents)事故與重大意外事故(Incidents)並非僅僅是直接的技術失效(Technical failure)之結果或駕駛員操作錯誤所造成，而是其背後深層的組織與管理因素，因此航空維護是評估本研究模型的合適領域。

在研究方法上，作者以不同的方法來反映組織不同的層面，包含管理系統、態度、期望與行為規範的層面，所運用的方法包含：文件分析、訪談以及2種不同的維護人員樣本(樣本數分別為622及286)之調查。

在研究結果方面，人為因素“瓶頸(Bottlenecks)”調查確認了公司管理階層與技術人員之間對工作認知有明顯差異。作者發現4個航空器維護組織的安全風氣有明顯的不同，而安全風氣也隨工作職業類別有明顯的變化。在安全態度上，亦隨著公司及工作職業類別有明顯的差異。對於事件調查，受試人員最期待公平的調查找出造成事故的因素。由工作程序調查分析發現：全部的受試者中34%表示未遵循工作正式的(Official)程序，其一般的原因是認為有比正式更容易的方法(45%)，其次是有更快的方法(43%)。

在討論方面，作者研究發現：在將失效的人為層面與缺陷的資訊轉換成實施的改變計畫時產生很大的問題。因此，將模型流程修正為：政策、標準、規劃與組織、正常操作、監控、回饋及改變，結果證明此模型對於每個組織的安全管理系統之分析是有效的工具。公司管理階層與技術人員之間對工作認知上的差異意謂技術人員執行工作與公司的期待不同，本論文分析發現：若這種差異變成例行公事且制度化(Institutionalised)，則“正式(Official)”的做法與“實際(Actual)”的做法之間的差異將變得無法改善。

最後，作者針對本論文提出總結與結論：此模型能夠有效分析每個航空器維護組織的安全管理系統之顯著特徵，經由對管理階層的面談以及對安全態度與風氣的調查，發現4個航空器維護組織之間的不同安全管理系統及安全風氣有明顯的差異。但對於工作程序的遵循及對安全性的態度上，在4個航空器維護組織之間並無太大差異，而且在不同的維護組織內航空器維護技術人員相對地具有同質的專業次文化(Professional sub-culture)存在。

## 1. 簡介

為了瞭解人為促成因素對於主要失事(Accidents)事故的影響，必須將組織與管理因素一併考量，但這些因素的影響仍未被很清楚地瞭解：因為沒有可被接受的安全性組織模型，也沒有足夠的文獻可與特定的組織型式及失事(Accidents)事故相連結。本論文探討安全管理系統(Safety management system)、安全風氣(Safety climate)以及安全文化(Safety culture)這3項組織因素在安全性方面扮演的角色。由文獻回顧發現，很少研究產生適合範圍廣泛的安全管理系統模型，大多數的研究是片斷、不完整的，而且研究的目標差異性極大，較具代表性的研究如：在Pidgeon與O’Leary(1994)的研究中，將安全文化(Safety culture)定義為：“在組織內部的信仰(Beliefs)、規範(Norms)、態度(Attitudes)、角色(Roles)與社會(Social)與技術的(Technical)實務之組合(Set)，使在組織內部與外部的個人(Individuals)暴露在危險的狀況達到最小”。

### 1.1 安全管理系統與安全文化之間的關係

為了探索安全管理系統與安全文化之間的關係，可由“成功的健康與安全管理(Successful Health and Safety Management)”(HSE, 1991)得知有效的安全管理之5項組織功能：1.“政策”(Policy)，2.“組織”(Organisation)，3.“降低風險與設定績效標準之規劃(Planning to minimize risks and setting performance standards)”，4.“量測績效(Measuring performance)”，5.“稽核與審查績效(Auditing and reviewing performance)”。

本文之模型採用5項基本元素：1.策略與政策(Strategy and policy)，2.政策實施與設定標準 (Implementation of policy and setting standards)，3.操作規範 (Operational norms)，4.監控 (Monitoring)，5.回饋 (Feedback)，如圖1所示。

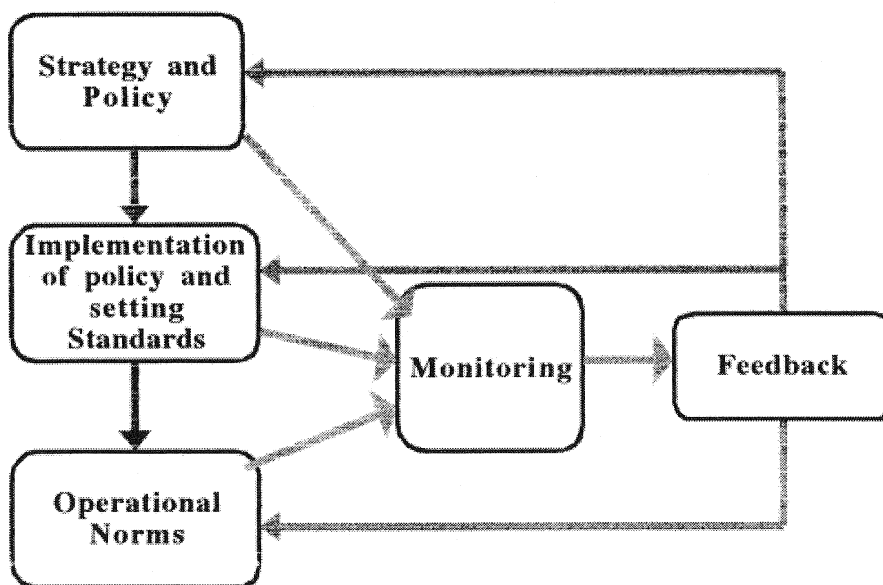


Fig. 1. Safety management system model overview.

### 1.2 航空器維護中的人為因素與安全以及目前的研究



航空器維護是確保整個航空系統安全關鍵性的環節，Marx與Graeber(1994)的研究發現：有20%的主要航空失事(Accidents)事故歸因於維護與檢查有缺陷(Deficiencies)，而人為因素是這些失事(Accidents)事故的關鍵部份。最近的研究發現：航空器失事(Accidents)事故與重大意外事故(Incidents)並非僅僅是直接的技術失效(Technical failure)之結果或駕駛員操作錯誤所造成，而是其背後深層的組織與管理因素。因此，航空維護是評估本研究模型的合適之領域，作者表示本研究的目標是發展一套整合的安全管理系統並特別著重在安全的人為因素方面，並且達到下列目標：1.以4家航空器維護組織的安全組織層面評估本研究模型；2.透過不同的量測與方法探索不同的安全組織層面之間的關係。

## 2. 研究方法

作者以不同的方法來反映組織不同的層面，包含管理系統、態度、期望與行為規範的層面，所運用的方法有：文件分析、訪談以及2種不同的維護人員樣本的調查。

### 2.1 文件

本論文研究人員在受試組織運用“維護說明文件(Maintenance Exposition Document)”，該項文件是遵循歐盟航空法規JAR 145編輯；包含公司維護管理的正式資訊、維護程序與品質系統程序。這些資訊協助研究人員進行訪談與問卷調查的管理。

### 2.2 訪談

4家航空器維護組織負責維護與安全的管理人員共有33人接受個人的次結構管理訪談(Individual semi-structured management interviews)，受訪人員樣本包含執行長、產品與中階管理階層、品質管理階層、品質檢查/稽核人員及訓練人員。

### 2.3 態度、風氣(Climate)與重大意外事故調查

本研究運用的問卷調查包含對安全性的態度與風氣(Climate)的尺度以及重大意外事故(Incident)的調查，其中安全性的態度與風氣(Climate)的尺度是引用Diaz Cabrera與Isla(1997)發展應用在機場地勤公司的研究，採用2階段過程：第1階段因素分析是建立尺度的因素結構，第2階段是篩選以降低項目的數量，由原始69項降低至36項；其中包含16項安全態度及20項安全風氣(Climate)的項目。此外，要求受試者閱讀4份重大意外事故(Incidents)的摘錄(實際重大意外事故(Incidents)案例的調查)，共有2種事故情境(Scenario)，其中1種是空中重大意外事故導致航空器毀損或機上人員死亡的情境(Scenario)，另1種是沒有導致空中重大意外事故。若這2種事故情境(Scenario)發生在他們的公司，要求受試者回答牽涉其中的技術人員會發生什麼事以及他們會如何聽到該事故，這2種事故情境(Scenario)平均分配至各受試組織。

Table 1  
Breakdown of respondents to the survey by occupation and company

	Total count	A	B	C	D
Unqualified operators	29	2	9	0	18
Aircraft technicians	336	94	90	17	135
Licensed technicians	120	68	12	33	7
Quality personnel/inspectors	29	3	12	5	9
Graduate engineers/management	29	12	2	7	8
Shift/crew management	34	9	14	0	11
Planning	28	9	0	5	14
Support	17	3	0	0	14
Total	622	200	139	67	216

受試者分為4類，包括：操作人員(學徒、航空器技術人員、具執照之技術人員)、與產品有直接責任之管理階層(從輪班經理到執行長)、品管人員(稽核、檢查人員、調查人員、品管經理)及規畫單位(規畫與技術支援)。共發出800份問卷調查表到4家航空器維護組織，其中有622份完成並回收(回覆率為77.8%)。表1為受試者的職業與公司之分析表。

#### 2.4 工作程序遵循之調查

運用問卷調查收集維護手冊程序(Maintenance manual procedures)角色與使用的資料，問卷調查詢問受試者是否查閱正式的(Official)維護手冊程序並遵循，若否，為什麼？問卷調查是由初步觀察研究發展而來，且經由許多航空器工程師檢視其適用性及技術精確性。

問卷調查是在每家航空器維護組織為期1週的訪問完成(除了其中1家航空器維護組織是多次為期1天的訪問完成)，研究人員是在受試的航空器技術人員完成工作後進行問卷調查，在4家航空器維護組織共有286份此類問卷調查完成。

### 3. 結果

為了保障受試的航空器維護組織的隱私權，研究結果擬將這4家航空器維護組織分別以A至D公司做為其稱謂。

#### 3.1 管理階層訪談與公司文件

表2說明這4家公司安全管理系統的模型元素(Model elements)內容之差異性。

Table 2  
Summary of elements of safety management systems in the four organisations

Model elements	A	B	C	D
Policy (expressed commitment to safety)	Safety seen to be 'built in'. Explicit policy on human factors (HF)	Safety has to be made compatible with commercial survival. Compliance with JAR 145 a major commitment of effort	Safety — 'sine qua non' of the success of the company. No explicit HF policy but human concerns built in	Safety contrasted with other goals. Inconsistent message at different levels
Standards	Exceed technical requirements. Monitor trends	Reference to compliance with JAR 145 as safety standard	Internal safety standard built into management system	Reference to compliance with JAR 145 as safety standard
<i>Organisation and planning of work</i>				
Methods and documentation	Major initiative on process reengineering. Goal of 'fully engineered task' not realised	Industrial relations (IR) seen as a major constraint on planning, but have achieved improvements with reorganisation. Recent investment in IT with customer focus	Strong commitment to the planning and organisation of work. Has invested heavily in IT to support this function	Demarcations and IR seen to inhibit effective planning, organisation and communication
Personnel training	Extensive management training not always rated effective	Inconsistent management training	Comprehensive and effective management training	Training in management skills not seen to be relevant
Monitoring				
Audits	Main focus on documentation rather than actual work	Auditing of documentation. Informal awareness of actual work standards	Substantial system and process audits	Main focus on documentation rather than actual work
Quality discrepancy reporting	Reporting much used but huge backlog	Quality reporting system recently implemented	Computer-based system recently introduced	Reporting system used but difficulties achieving systematic follow through

Table 2 (continued)

Model elements	A	B	C	D
Incident/accident investigation	Well-developed HF-based investigation	HF investigation method not used by all investigators	Serious incidents or recurring incidents investigated by multi-disciplinary team	No explicit HF method for incident/accident investigation
Feedback	Publication of safety issues especially HF	Verbal briefings only	Feedback through company bulletins and company wide IT network	Accident/incident information not openly distributed
Human/organisational change	Difficulty in translating HF-based information into change	Routine 'retraining session' after incident involvement	Systematic change following recent incidents	No systematic mechanism for managing non-technical change

對管理階層訪談關於安全政策與策略的2項主要的議題是：(1)安全與公司其他的目標之關係有多重要？(2)航空器維護組織的安全政策推動力量為何？資深執行長對於安全的承諾其範圍從“安全是商業成功的核心”到“安全與商業存活有緊要的關係”，對於受試的航空器維護組織而言，遵循JAR 145的要求是推動安全政策與策略最主要的因素。組織在實施政策時，顯現出衝擊規劃的效用性及組織的工作的是：組織的改變、部門之間的協調、科技的角色、業界的關係。其中對於資訊科技的投資對於促進部門之間的水平整合扮演關鍵性的角色。

雖然這4家航空器維護組織均依循歐盟航空法規進行年度稽核，但各家航空器維護組織執行稽核與檢查方式仍有許多差異。例如：A公司和D公司主要著重在所有相關文件與場地實質資源與基礎設施(Infrastructure)的稽核，但不包含觀察與實際工作執行的採樣；B公司主要著重在航空器不同區段由目視檢查的所有相關文件之稽核；C公司則具備實質的稽核部門進行系統和程序的稽核。各家航空器維護組織均有品質不一致報告系統(Quality discrepancy reporting system)，提供技術人員報告所發現的問題，而此系統在各家公司有不同的發展階段。

在失事(Accidents)事故與重大意外事故(Incidents)調查方面，各家公司也不相同，其中2家公司的調查系統發展較完整。而對於調查結果的懲戒方式是值得討論的公司政策：A公司具有“不懲罰(No blame)”的安全政策；B公司有1項非正式

的“不懲罰(No blame)”的政策，但此同時，卻有中止與事故相關人員執照並要求這些人員接受半天訓練課程的例行性規則，此視為“懲罰與訓練(Blame and train)”的政策；在C公司較傾向透過討論來進行處理以取代懲罰，對於嚴重事故的處置必須與工會進行磋商才能決定，此類屬事故調查的多元懲戒團隊；D公司則是強調懲戒的重要性並由資深管理階層提高懲戒標準，對於事故解釋為人員的粗心大意所導致。這4家公司對於重大意外事故(Incidents)調查與品質報告資訊的處理方法亦不相同，這些差異反映了各公司對於將重大意外事故調查與品質報告做為未來改變的可能性，例如：A公司將這些資訊列入該公司的內部刊物中，但因為組織牽涉在重大意外事故中，所以管理者很難處理；B公司對於重大意外事故調查與品質報告資訊採取保密做法，在該公司內部很難詳細討論相關事故；在C公司，可視需要取得調查報告並找出事故中人為與組織的缺陷；D公司則是依管理者的角色與資歷來給予某種程度的重大意外事故內容，由最近的重大意外事故的反應看得出D公司強調懲戒的重要性。在另一方面，各公司在品質報告系統的回饋(Feedback)也各不相同，A公司和C公司的品質報告系統有運作不順的現象導致回饋延遲的情況；D公司則是由於懲戒的風氣，人們害怕遭受懲罰使得自發性報告率偏低。

### 3.2 人為因素“瓶頸(Bottlenecks)”調查

人為因素“瓶頸(Bottlenecks)”調查確認了公司管理階層與技術人員之間對工作認知有明顯差異。部份維護技術人員表示他們對航空器執行適航簽署並沒有依循規定的工作程序，而管理階層即使他們承認若每項工作都嚴格地遵循程序則工作可能會嚴重延誤，但還是認為技術人員的角色應該是明確地依循規定的工作與組織程序。

### 3.3 安全風氣(Climate)調查

圖2為各公司的平均安全風氣分數(Mean safety climate scores)與標準差(Standard deviation)的說明圖，所有公司的平均安全風氣分數為1.494，幾乎是尺度的中間點。單向變異數分析(ANOVA)結果顯示：各公司的平均安全風氣有明顯的差距( $F(3, 662)=30.55, P<0.001$ )。Tukey's post hoc比較法證明各公司的各個平均安全風氣明顯的不同( $P<0.05$ )。

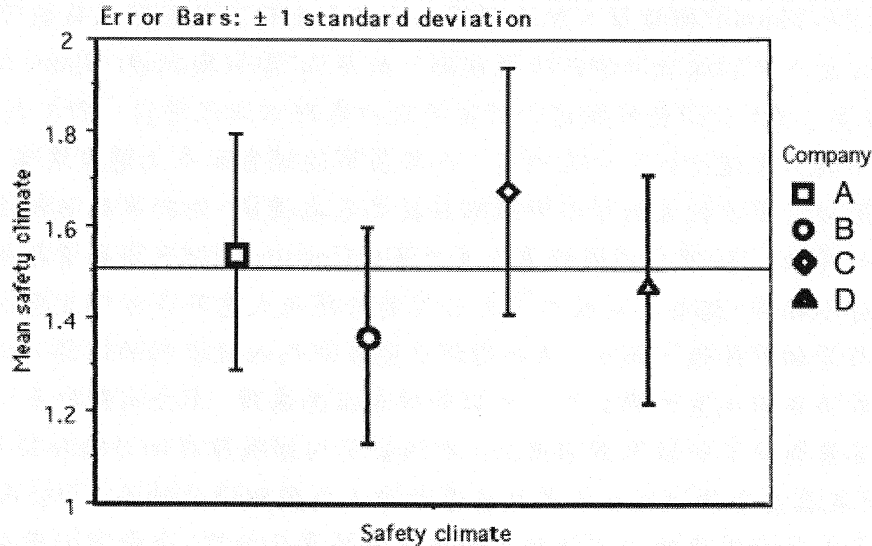


Fig. 2. Mean safety climate score and standard deviations for each organisation.

安全風氣也隨工作職業類別有明顯的變化( $F(7, 612)=7.28, P<0.001$ )，圖3為各類工作的平均安全風氣分數(Mean safety climate scores)與標準差(Standard deviation)之說明圖，而Tukey's post hoc比較法顯示成對比較少數的差異。其中航空器技術人員的安全風氣明顯低於品管/檢查人員、資深工程師/管理階層、規劃人員( $P<0.05$ )。航空器技術人員的樣本數最多( $n=334$ )，而未認證人員的樣本數( $n=29$ )及品管/檢查人員的樣本數( $n=29$ )並不明顯。由於部份樣本數太少，所以無法進行工作職業類別與公司的因素變異數分析(ANOVA)，但個別的單種工作職業類別之單向變異數分析(ANOVA)仍有執行。A公司和C公司的品管人員有很正

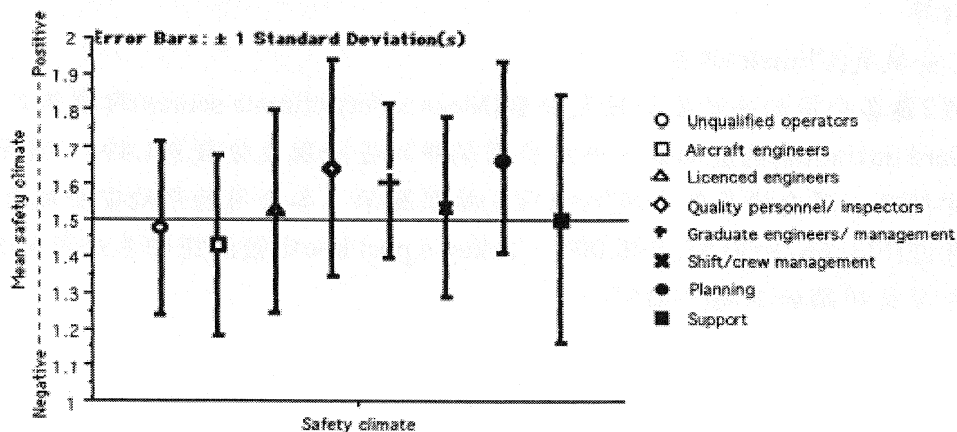


Fig. 3. Mean safety climate scores and standard deviations for each job type.

面的安全風氣(約1.9)，而B公司和D公司的品管人員則有明顯較低的安全風氣(約1.53和1.56)。補給人員(Support personnel)的樣本來自於A公司和D公司，但A公司(1.88)高過於D公司(1.43)。資深工程師/管理階層的安全風氣在C公司較高(1.81)，在A公司屬中等(1.62)，而在D公司較低(1.43)，由於B公司此類樣本數僅有2個，故統計結果不具可信度。

### 3.4 安全態度調查

圖4為各公司的平均安全態度分數(Mean safety attitude scores)與標準差(Standard deviation)的說明圖，所有公司的平均安全態度分數為3.697，尺度的中間點設在3。在各公司之間安全態度型態有明顯的差異( $F(3, 664)=7.38, P<0.001$ )，而Tukey's post hoc比較法顯示其中1家(D公司)明顯與其他3家公司不同：D公司的安全態度較負面( $P<0.05$ )。

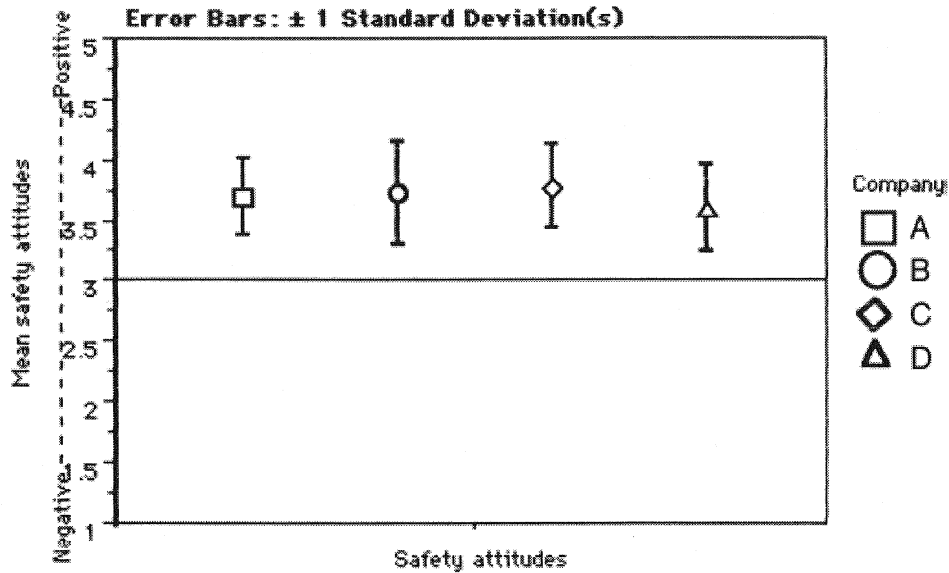


Fig. 4. Mean safety attitude scores and standard deviations for each organisation.

從工作職業類別來看安全態度也有明顯的差異( $F(7, 613)=2.09, P<0.05$ )，Tukey's post hoc比較法顯示品管人員不同於未認證人員而有較正面的安全態度(如圖5)。

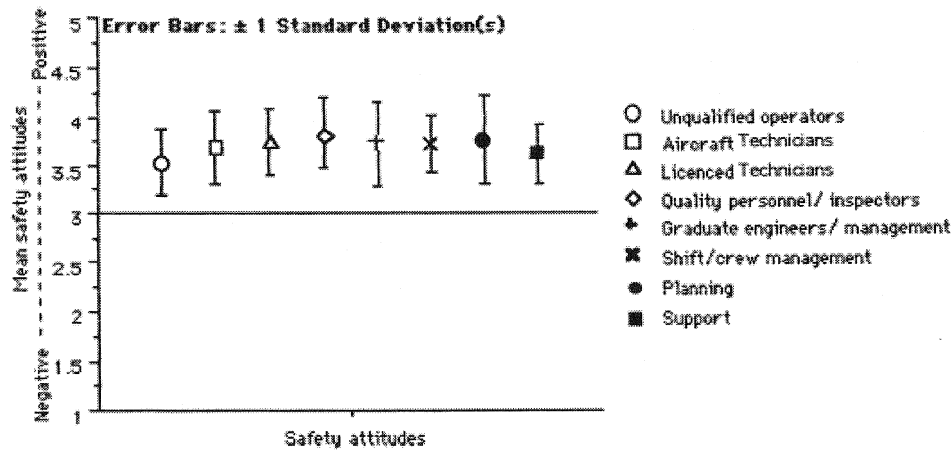


Fig. 5. Mean safety attitudes by job type.

由於部份樣本數太少，所以無法進行工作職業類別與公司的因素變異數分析(ANOVA)，但個別的單種工作職業類別之單向變異數分析(ANOVA)仍有執行，例如在A公司和D公司的航空器技術人員之間( $P<0.05$ )以及在B公司和D公司的航空器技術人員之間( $P<0.001$ )，D公司比A公司和B公司有較低的安全態度。

### 3.5 事件調查

當詢問受試人員若事故情境發生在其所屬公司時，最期待發生什麼事？最平常的反應是：公平的調查找出造成事故的因素(42.7%)，36.6%的人感覺接下來會聽到懲處，35.3%的人希望與事故相關的技術人員共同討論以從錯誤中學習。受試者多認為飛航事故情境的結果會是“吊銷執照(Loss of license)”( $\chi^2=5.112$ ,  $P<0.05$ )，同樣地，若情境造成飛航事故，受試者多認為會看見“中止工作(Suspension of job)”( $\chi^2=9.563$ ,  $P<0.01$ )。

不論情境的結果是否導致飛航事故，各公司之間的結果有明顯的差異(如圖6)，7項中有5項有明顯的差異：事故討論、公平的調查、聽到懲處、執照中止、工作中止。尤其是C公司的“執照中止”與“工作中止”2項明顯低於其他公司。

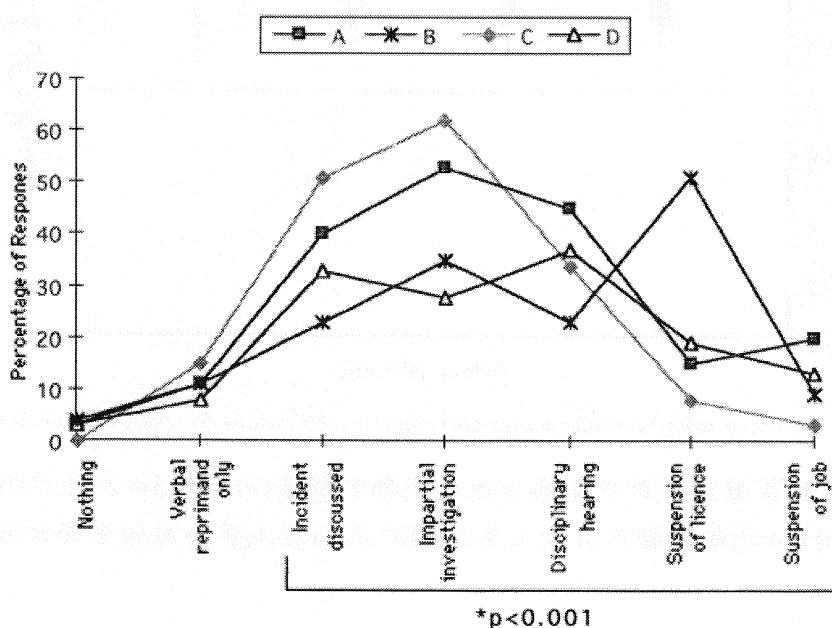


Fig. 6. Consequences of incident scenarios by organisation.

當比較各公司之間選擇的資訊報告來源時，發現有許多的明顯差異，圖7顯示各家公司的受試者選擇資訊報告來源的百分比，在口頭(Word of mouth)的資訊方面：A公司和B公司明顯高於C公司和D公司，而C公司以書面警告(Written alert)方式收到資訊的百分比(72%)明顯高於其他公司(平均46.4%)，A公司和C公司明顯地較可能透過程序改變通知聽到事故。

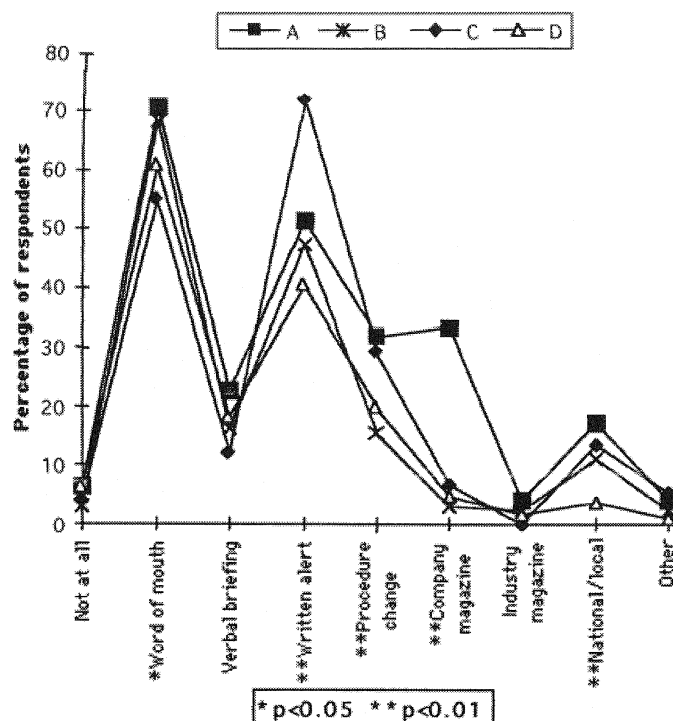


Fig. 7. Percentage of respondents in each organisation who selected each information source.

### 3.6 工作程序調查

由工作程序調查分析顯示：全部的受試者中34%表示未遵循工作正式的(Official)程序，這4家公司之間在結果百分比上有所差異，但統計上並不明顯(如表3)。一般的原因是認為有比正式更容易的方法(45%)，其次是有更快的方法(43%)。未遵循工作正式的(Official)程序可能是因為：1. 工作卡不清楚；2. 完成工作的必要步驟不清楚；3. 採用猜測或試誤法；4. 需要維護的歷史紀錄但卻無法使用。

Table 3

Reported percentage violations of task procedures by organisation

Company	Violations reported (%)
A	30
B	36
C	37
D	47

## 4. 討論

本研究為各個航空器維護組織系統模型中較顯著特徵的定性總觀，將針對下列問題進行探討：

1. 安全管理系統模型如何描述資料，特別是從訪談與事故調查中獲得的資料？模型用何種方式可以將資料做較佳的呈現？
2. 模型如何區分不同維護組織的安全管理系統之相關特徵？
3. 如何區別不同維護組織的正常操作行為？這與其他安全文化的測量有何相



關？

4. 是否可能顯示不同維護組織安全文化的特徵？
5. 安全文化中是否有區分而非整合的層面(Martin, 1992)？

#### 4.1 安全管理系統模型

本模型定義為：對於安全產生衝擊或是遵循安全法規義務的明確組織程序。此模型亦保持概念上簡單以便符合應用在不同的組織。公司文件是建構每個組織的架構與關鍵管理者及其部門的起始點，並經由討論與訪談確認現在的角色與責任以及如何應用基本的組織程序在模型中。當此架構可以適用在所有安全的層面時，將特別著重在人員、社會、組織的安全層面如何管理。經過訪談分析之後，將對模型做些微的修正以強調自我調整安全系統(Self-regulatory safety system)的關鍵部份。有3個重要的因素影響工作的規劃與組織：首先是工作的規劃與組織受限於業界關係系統(Industrial relation system)與界限(Demarcation)的因素；其次是許多公司在其操作程序中進行的系統化重建(Re-engineering)，部份著重在組織部門及其關係的結構重建(Restructuring)的因素，最後是運用資訊科技在規劃程序上的因素，由上述說明顯示工作的規劃與組織以更為系統化呈現的必要性。作者表示在本研究中的訪談議題主要重點在方法、文件及人員，而對零組件及設備的議題較少。本研究發現在將失效的人為層面與缺陷的資訊轉換成實施的改變計畫時產生很大的問題。因此，將模型元素(Elements)修正如下：

1. 安全政策(Safety policy)—將安全以組織的目標及達成安全目標的策略(Strategy)來呈現。
2. 安全標準(Safety standards)—判斷是否達到安全的準則。
3. 工作的規劃與組織—是指為了達到執行組織功能所做的方法/文件、人員、零組件及設備的資源準備之管理。
4. 正常操作—執行組織功能操作或行為。
5. 監控—包含稽核、事故調查、品質報告等監控與操作審查活動。
6. 回饋—將各種監控功能的資訊轉換給系統所有階層的潛在使用者。
7. 改變—特別著重在系統中人員與組織層面未能最佳運作的功能之改變。

此安全管理系統模型之系統呈現如圖8所示，此系統強調政策、標準設定、規劃與執行的連續性，以及整個流程易於檢討(Review)的觀念。由於這些程序牽涉到組織不同部門與角色的協調，因此組織程序的呈現並不期望精準地對照到個別的組織功能與邊界。

#### 4.2 組織安全系統之差異

在各公司之間對於安全為目標的表達方式並不相同—在一方面視安全為公司成功的核心，在另一方面與其他目標背道而馳。僅有1家公司具有安全的整體內部標準之詳細說明，而其他公司則以依循法規為準則。組織在實施政策時，顯現出衝擊規劃的效用性及組織的工作的是：組織的改變、部門之間的協調、科技的角色、業界的關係。其中資訊科技的投資對於促進部門之間的水平整合扮演關鍵性的角色。在稽核部份，運用經過訓練且具備人為因素知識的調查人員以公平

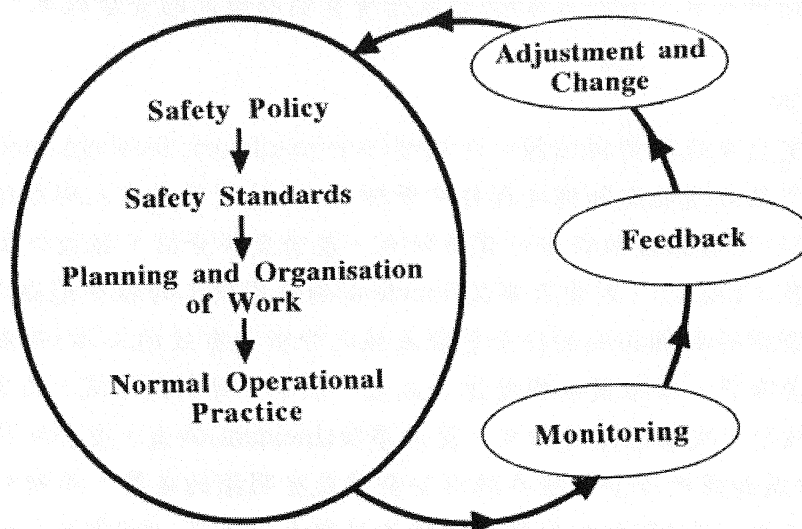


Fig. 8. Revised safety management system model.

的調查以及與事故相關的技術人員共同討論以找出造成事故的因素最受期待，回饋與溝通的政策特別是透過公司的安全資訊溝通在各公司之間有明顯的不同，這些差異反映在組織的事故調查上；對於資訊採取較開放政策的組織對於透過書面警告(Written alert)、程序改變通知或公司文件方式聽到事故有較高的期待。各公司對於事故的懲戒方式亦不相同，A公司具有“不懲罰(No blame)”政策，對於資訊採取開放態度；B公司採較少懲罰，但要求與事故相關人員接受訓練課程的政策；在C公司，其公平的調查最受期待，具有最低的事故懲戒率。

#### 4.3 安全文化與次文化

以工作職業類別來分析，D公司的航空器技術人員和A公司與B公司比較，有明顯的差異。各公司之間的組織安全文化(安全管理系統、安全風氣、對事故反應的期待)有明顯的差異，而其他方面(航空器技術人員的行為與態度)則無明顯的差異。在4家公司的航空器維護技術人員之間具有“專業的次文化(Professional sub-culture)”存在(D公司有些微的差異)，且航空器維護技術人員之間具有“專業的次文化”並無特定組織的差異，由人為因素“瓶頸(Bottlenecks)”調查確認了公司管理階層與技術人員之間對工作認知的明顯差異。維護技術人員認為他們運用知識、技能與專業價值對航空器執行工作並對航空器的安全負責，而管理階層認為技術人員的角色是明確地依循規定的工作與組織程序，但他們承認若每項都嚴格地遵循程序則工作可能會嚴重延誤，這樣認知上的差異意謂技術人員執行工作與公司的期待不同，本研究分析發現：若這種差異變成例行公事且制度化(Institutionalised)，則“官方(Official)”的做法與“實際(Actual)”的做法之間的差異將變得無法改善。

本研究亦發現不同職業類別之間的安全態度與安全風氣之差異：品管人員整體的安全態度明顯地較未認證技術人員為高。安全風氣與工作職業類別及公司有關；航空器技術人員的安全風氣明顯地低於品管/檢查人員、資深工程師/管理階層以及規劃人員，這些差異是發生在特定的公司內。整體來說，在A公司與C公

司的品管與補給人員、資深工程師/管理階層有明顯較高的安全風氣。

## 5. 總結與結論

本研究提出自我調整與回饋式的模型(Self-regulatory, feedback model)，主要用來瞭解航空器維護組織如何在運作中管理安全，特別著重在人與組織方面的研究。針對4家航空器維護組織進行實驗研究，包含文件分析、訪談以及對安全性的態度與風氣(Climate)、對重大事故(Incident)的反應與工作程序遵循之調查，結果證明此模型對於每個組織的安全管理系統之分析是有效的工具，雖然低估規劃與改變的重要角色。修正後的模型包含政策、標準、規劃與組織、正常操作、監控、回饋及改變。從管理階層訪談、重大事故(Incident)調查、安全風氣調查發現4家航空器維護組織的安全管理系統與安全風氣有明顯的差異。而對於工作程序的遵循與安全態度在4家航空器維護組織並沒有太大差異。在4家公司的航空器維護技術人員之間具有同質的專業次文化(Professional sub-culture)存在，而雖然安全風氣與組織的職業類別有關，但在不同的職業類別其安全態度與安全風氣有明顯的差異。未來研究將針對航空器製造廠與民航主管當局之間關係的安全管理系統之多元組織層面進行分析。

## [文獻評析]

本文獻優點：

1. 清楚地確認航空器維護現存的瓶頸(Bottlenecks)，包含：程序遵循的問題、工作認知代溝(Job perception gap)的問題。
2. 研究分析指出：重大事故調查結果懲戒方式的差異影響各家航空器維護組織將重大事故調查與品質報告做為未來改變的可能性；例如 B 公司對於重大意外事故調查與品質報告資訊採取保密做法，在該公司內部很難詳細討論相關事故，因此該公司很難將重大意外事故調查結果做為未來改善的依據。
3. 研究發現：在不同的職業類別其安全態度與安全風氣有明顯的差異，值得國內相關航空器維護組織參考。
4. 本論文針對 4 家航空器維護組織進行文件分析、訪談以及對安全態度與安全風氣(Climate)的分析、對重大事故(Incident)的反應與工作程序遵循之調查，是著重在人與組織方面的安全管理之實證研究，其結果相當值得國內相關航空器維護組織參考。

## [相關文獻]

Brown, R.L., Holmes, H., 1986. The use of factor-analytic procedure for assessing the validity of an employee safety climate model. *Accident Analysis and Prevention* 18 (16), 455-470.

Diaz Cabrera, D. D., Isla, R., 1997. Safety climate and attitude as evaluation measures of organisational safety. *Accident Analysis and Prevention* 29 (5), 643-650.

HSE, 1991. *Successful Health and Safety Management*. Health and Safety Executive, HMSO, London.

Pidgeon, N., O'Leary, M., 1994. Organisational safety culture: implications for aviation practice. In: Johnston, N., Fuller, R., McDonald, N. (Eds.), *Aviation Psychology in Practice*. Avebury Technical, Aldershot, pp. 21-43.



# Posterior Probabilities of Causal Factors Leading to Unairworthy Dispatch after Maintenance

Manoj S. Patankar, James C. Taylor

Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol.9 No.1, 2003

pp.38-47

## [英文摘要]

ASRS maintenance reports from 1996 through 2000 (n=937) were subjected to posterior probability analysis to determine the probability of causal factors leading to a specific maintenance-related event. Unintentional release of an unairworthy aircraft into revenue service was found to be the most frequent maintenance-related event (40 per cent). The top three maintenance errors leading to such an event were improper documentation (33 per cent), improper installation (27 per cent), and sign-off of work not performed (13 per cent). The probabilities of certain causal factors responsible for each of the maintenance errors were as follows: (a) For documentation errors-lack of awareness (22 per cent), poor procedures (15 per cent), and lack of training (4 per cent); (b) For improper installation – complacency (21 per cent), lack of awareness (21 per cent), and poor procedures (15 per cent); and (c) For sign-off of work not performed – maintenance management (27 per cent), complacency (21 per cent), and poor procedures (14 per cent).

## [中文摘要]

本研究運用航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)的自我報告維護錯誤(Self-reported maintenance errors)數據加以歸類分析，這些數據提供瞭解促成維護錯誤的原因和維護錯誤造成的影響。

在簡介的部份，作者說明本研究運用維護錯誤決策分析(MEDA)與Reason的一般失效種類(General failure types)以及加拿大運輸部的dirty dozen所發展出來的一套複合式原因模型(Composite causal matrix)來計算特定維護錯誤的機率。在文獻回顧中，作者解釋貝氏理論(Bayes Theroem)是條件機率的特殊應用，用來決定起因於某原因因素(Causal factors)的特定事件的機率，本研究第一次採用貝氏理論(Bayes Theroem)來量化維護錯誤與其結果之關係。

在研究方法上，以1996年至2000年的ASRS(航空安全報告系統)維護報告樣本數937個加以歸類分析，以發生年份將其分組，列出本研究採用的11種與維護相關之事件或維護錯誤造成的結果。從分析發現共有11種與維護相關事件種類和11種維護錯誤型別以及25種原因因素。再以貝氏理論(Bayes Theroem)分析得到1996年至1997年、1996年至1998年、1996年至1999年、1996年至2000年的事後機率。此外，對於引發前3項維護錯誤的3種原因因素之事前機率與事後機率均加以計算求得。

在結果與討論方面，研究發現應該著重在改善程序的品質及操作狀況的警覺性以降低文件錯誤(Documentation error)，此外，對於未執行工作的簽字(Sign-off of work not performed)的維護錯誤而言，值得注意的是維護管理的問題。

在結論中，作者提到缺乏警覺性(Lack of awareness)同為文件錯誤(Documentation error)(7.3%)與裝置錯誤(Installation error)(5.7%)之原因因素。不良的程序(Poor procedures)亦同為文件錯誤(Documentation error)(5.0%)與裝置錯誤(Installation error)(4.1%)之原因因素。由本研究證實複合式原因模型(Composite causal matrix)與貝氏理論(Bayes Theroem)可應用在特定的維護錯誤的原因因素之傾向性分析。

## 簡介

為了降低失事(Accidents)的發生，航空界努力在飛行操作的人為因素(組員資源管理; Crew resource management-CRM)和維護方面(維護資源管理; Maintenance resource management-MRM)著手改進。在維護資源管理(MRM)方面，著重在維護資源管理(MRM)訓練的成效評估、發展創新的介入改正策略以及在維護操作人為因素之警覺性的提昇。

本研究運用航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)的自我報告維護錯誤(Self-reported maintenance errors)數據加以歸類分析，這些數據提供瞭解促成維護錯誤的原因和維護錯誤造成的影響，並可提供研究人員研究事故(Incidents)與先前事件(Events)之因果關係的機會。本研究著重在自我報告的事故(Incidents)而非致命的失事(Accidents)，目的是若自我報告的事故之根本原因透過適當的介入方法加以改正，則致命的失事(Accidents)可明顯地減少。

波音公司 Rankin 與 Allen(1996)發展的維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)工具，目的是協助錯誤研究人員確認維護錯誤系統化的原因，以便能夠實施長期、廣泛的解決方法。Patankar 和 Taylor(2001)運用 MEDA 與 Reason 的一般失效種類(General failure types)以及加拿大運輸部的 dirty dozen 發展一套複合式原因模型(Composite causal matrix)。本研究運用此複合式原因模型(Composite causal matrix)來計算特定維護錯誤的機率，例如由於某原因因素造成的不適航派遣(Unairworthy dispatch)。不適航派遣(Unairworthy dispatch)被選為本研究的重大事件主要是因為根據美國聯邦法規(CFR Title 14, Part 65.81)規定航空器機械員的主要工作是確保回復使用的航空器是適航(Airworthy)的狀態。

## 文獻回顧

航空器維護管理程序的研究最具傳奇性的是航空公司使用由 Nowlan 和 Heap(1978)發展的可靠性為中心的維護(Reliability-centered Maintenance)以及維護指導小組(Maintenance Steering Group; MSG )1,2,3 著重在零組件的技術熟壽命以及對整架航空器可靠性的影響(Moubray, 1997)。

直到 Aloha 航空意外事故發生之前，一般認為零組件品質和系統化的可靠性足以改進飛航安全。然而 Aloha 航空意外事故的調查發現改善低階維護與檢查程序的重要性(Taylor and Christensen, 1998)。美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration; FAA)將研究著重在組織與個人的因素。儘管如此，對於失事(Accidents)和事故(Incidents)的瞭解仍在初步的階段，舉例來說，目前已有許多錯誤分類及事件分級系統，但對於模型測試的分析卻很有限。本研究第一次採用貝氏理論(Bayes Theroem)來量化維護錯誤與其結果之關係，這種方法在醫學診斷系統是很平常的應用(Durkin, 1994)。

貝氏理論(Bayes Theroem)是條件機率的特殊應用，用來決定起因於某原因因素(Causal factors)的特定事件的機率。由於機率值是由過去數據得來，因此稱為事後機率(Posterior probability)。當額外的數據加入時，由於某原因因素的特定事件的事後機率也可能隨之改變(Resnik, 1997)。理論上，隨著案例的次數的增加，事後機率將趨於穩定。一旦機率值穩定，特定原因因素的傾向可視為真實。

Patankar 和 Taylor(2001)的複合式原因模型(Composite causal matrix)可協助維護錯誤研究人員以原因因素分析諸如航班延誤(Flight delay)、空中回航(Air turnback)、航空器受損(Aircraft damage)、不適航派遣(Unairworthy dispatch)等事件。共有 25 種原因因素會導致 11 種明顯與維護相關的事件之任何其中 1 種。為了得到較理想的事後機率，作者將 ASRS 數據以年份分組。

## 研究方法

### 資料分類：

以 1996 年至 2000 年的 ASRS(航空安全報告系統)維護報告樣本數 937 個加以歸類分析，以發生年份將其分組。表一列出本研究採用的 11 種與維護相關之事件或維護錯誤造成的結果。

表二列出可能造成表一(11 種與維護相關之事件)的 11 種維護錯誤。雖然 1 種維護錯誤可能造成表一所述多項與維護相關之事件，但每 1 項維護事件僅考慮 1 種維護錯誤。對於多重事件以最顯著的事件為主。同樣地，對於多重原因因素以最顯著的原因因素為主。原因因素的顯著程度以與相關維護錯誤的邏輯關聯來決定。



Number	Event	Number	Event
1	Flight delay	6	Diversion
2	Flight cancellation	7	Aircraft damage
3	Gate return	8	Personnel injury
4	Inflight engine shut down	9	Rework
5	Air turnback	10	Unairworthy dispatch
		11	None

**Table I.**  
Maintenance-related events (based on the MEDA form)

	Number	Maintenance error type	Number	Maintenance error type
<b>Table II.</b> Maintenance error types (based on the MEDA form)	1	Improper installation	7	Personal injury
	2	Improper service	8	Sign-off of work not performed
	3	Improper repair	9	Improper documentation
	4	Improper fault isolation/inspection	10	None
	5	Actions causing foreign object damage	11	Other
	6	Actions causing equipment damage		

表三為綜合 Patankar 和 Taylor(2001)、MEDA (Rankin 與 Allen, 1996)以及加拿大運輸部的 dirty dozen 的複合式原因模型(Composite causal matrix)將與維護相關之事件分成主要(Primary)的原因因素與次要(Secondary)的原因因素。

	Number	Causal factor	Number	Causal factor
<b>Table III.</b> Composite causal factors	1	Physical health	15	Maintenance management/leadership/supervision
	2	Fatigue	16	Work processes/procedures/quality of information
	3	Time constraints	17	Error-enforcing conditions/norms/peer pressure
	4	Pressure from management	18	Housekeeping
	5	Complacency	19	Incompatible goals
	6	Body size/strength	20	Communication processes
	7	Personal event/stress	21	Organizational structures/corporate change/union action
	8	Workplace distractions	22	Training/technical knowledge/skills
	9	Lack of awareness	23	Lack/failure of defenses
	10	Lack of knowledge	24	Environmental factors/facilities
	11	Lack of communication skills	25	Lack of teamwork
	12	Lack of assertiveness		
	13	Hardware/equipment/tools/lack of resources/not enough staff		
	14	Aircraft design/system configuration/parts quality		

仔細回顧上述表一至表三，可以發現共有 11 種與維護相關事件種類和 11 種維護錯誤型別以及 25 種原因因素。

資料分析：

ASRS(航空安全報告系統)維護報告案例以發生年份將其分組，便於決定是否有隨時間而數量增加的情形。作者採用 Patankar 和 Taylor(2001)對於與維護相關事件的擴充的定義(例如空中回航(Air turnback)、航班延誤(Flight delay)、發動機空中關車(Inflight engine shut-down)最後結果或影響)，維護錯誤(對於諸如文件錯誤、對於未執行的工作簽字、裝置錯誤等事件的特定最後行動)以及原因因素

(缺乏警覺性、不良程序、維護管理等)。分析 11 種可能維護事件以決定最常發生的與維護相關事件，找出與事件相關的前 3 項維護錯誤以及前 3 項維護錯誤的前 3 種原因因素。本分析目的是決定維護錯誤相關的原因因素之事後機率。理論上，11 種維護錯誤各自引發特定的事件，由於原因因素的傾向性未知，因此假設無傾向性且具有相同的機率 1/11，以 1996 年的數據組計算維護錯誤和原因因素的機率。作者以下列條件機率的公式計算：

$$P(H/E) = \frac{P(H) \times P(E/H)}{P(E)}$$

其中  $P(H)$  是前提( $H$ )為真的機率， $P(E)$  是前提( $E$ )為真的機率， $P(E/H)$  是前提( $H$ )為真時事件( $E$ )的機率， $P(H/E)$  是前提( $E$ )為真時事件( $H$ )的機率。除了  $P(H/E)$  之外，上述所有的機率值是基於特定的數據組所得，而  $P(H/E)$  是由上述貝氏理論(Bayes Theroem)所推導得到。

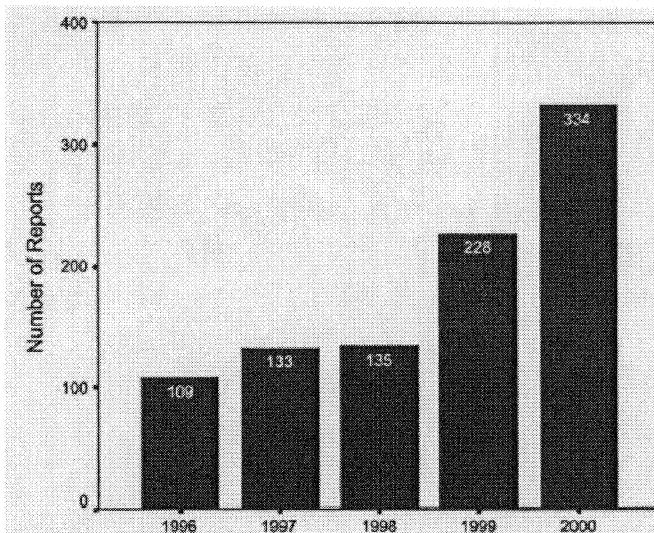
一旦 1996 年的事後機率已知，同樣的程序可得到 1996 年至 1997 年、1996 年至 1998 年、1996 年至 1999 年、1996 年至 2000 年的事後機率。此外，對於引發前 3 項維護錯誤的 3 種原因因素之前機率與事後機率均加以計算求得。

## 結果與討論

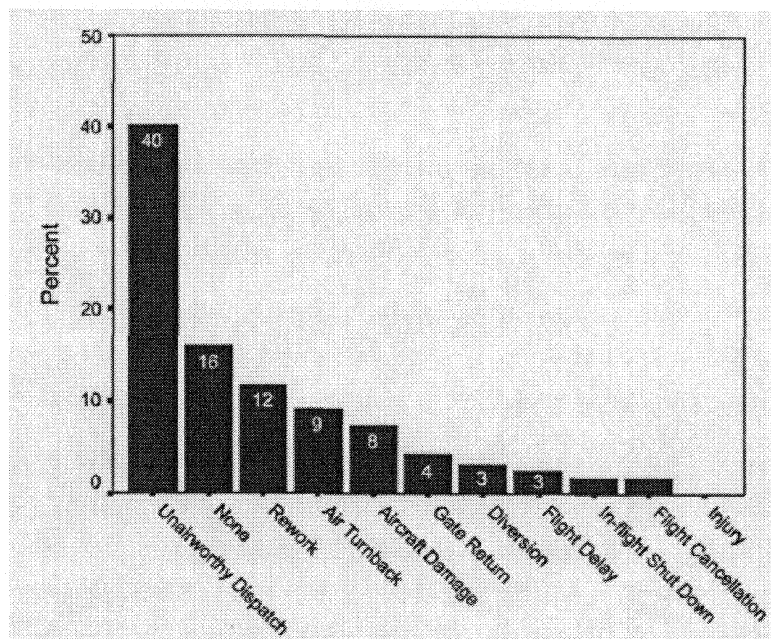
圖一顯示 1996 年至 2000 年每年維護報告案例的數量，可以發現機械員使用 ASRS 維護報告表格的數量逐年增加。

圖二顯示各種維護錯誤相關事件或結果的百分比分佈狀況。1996 年至 2000 年完整的數據組顯示有 40% 的維護錯誤相關事件為航空器回復使用的不適航派遣(Unairworthy dispatch)。此外，有 16% 是維護錯誤的非負面影響(No negative effect)，該項錯誤在隨後的檢查被發現並改正。

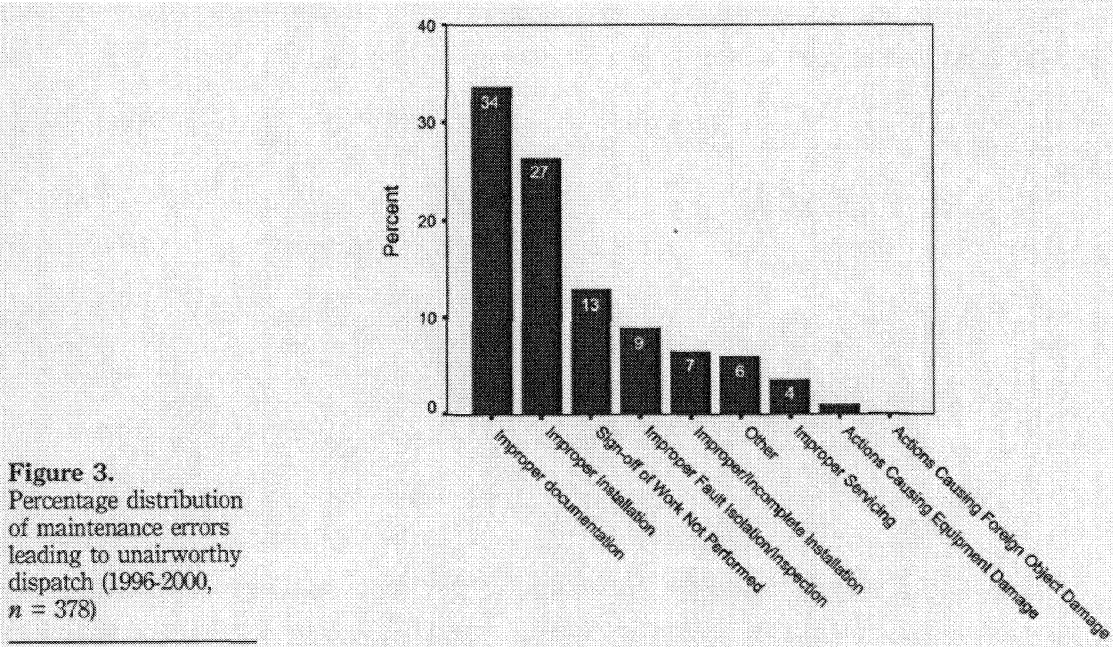
圖三顯示造成不適航派遣(Unairworthy dispatch)的前 3 項維護錯誤分別為不適當的文件(Improper documentation)(34%)，不適當的裝置(Improper installation)(27%)，以及未執行工作的簽字(Sign-off of work not performed)(13%)。



**Figure 1.**  
Number of ASRS  
maintenance reports per  
year



**Figure 2.**  
Percentage distribution  
of maintenance-error  
related events



**Figure 3.**  
Percentage distribution  
of maintenance errors  
leading to unairworthy  
dispatch (1996-2000,  
 $n = 378$ )

表四顯示由於不適當的文件導致不適航派遣(Unairworthy dispatch)的事前機率與事後機率，其中有 11 可能的與維護錯誤相關產生之事件。若所有事件大約相當(Equally likely)則具有相同的機率  $1/11(9\%)$ 。當“不適當的文件(Improper documentation)”為真，將數據加以排序可得 9 種可能的事件。若這 9 種事件大約相當(Equally likely)則具有相同的機率  $1/9(11\%)$ 。當“不適航派遣(Unairworthy dispatch)”為真，將數據加以排序可得 7 種可能的事件。若這 7 種事件大約相當(Equally likely)則具有相同的機率  $1/7(14\%)$ 。所有上述的機率值為事前機率，因為是在分析數據之前計算所得且均視為大約相當(Equally likely)。

	Unbiased prior (%)	Posterior probabilities (%)				
		1996	1996-1997	1996-1998	1996-1999	1996-2000
$P(H)$	9	12.8 ( $n = 109$ )	12.0 ( $n = 241$ )	15.8 ( $n = 374$ )	16.7 ( $n = 600$ )	19.7 ( $n = 934$ )
$P(E)$	9	22.0 ( $n = 109$ )	30.2 ( $n = 242$ )	30.9 ( $n = 376$ )	39.5 ( $n = 603$ )	40.3 ( $n = 937$ )
$P(E/H)$	11	50.0 ( $n = 14$ )	58.6 ( $n = 29$ )	66.1 ( $n = 59$ )	75.0 ( $n = 100$ )	69.0 ( $n = 184$ )
$P(H/E)$	14	29.1	23.3	33.8	31.7	33.7

**Notes:**  $P(H)$  = Probability that the condition “Improper Documentation” is true;  $P(E)$  = Probability that the event “Unairworthy Dispatch” is true;  $P(E/H)$  = Probability that the event  $E$  will occur given that condition  $H$  is true;  $P(H/E)$  = Probability that condition  $H$  is true given that event  $E$  has occurred =  $\frac{P(H) \times P(E/H)}{P(E)}$

**Table IV.**  
Prior and posterior probabilities that an unairworthy dispatch was due to improper documentation

事後機率的計算是基於不適當的文件(Improper documentation) [  $P(H)$  ] 的百分比分佈和不適航派遣(Unairworthy dispatch) [  $P(E)$  ] 以及當不適當的文件(Improper documentation)為真的情況下的不適航派遣(Unairworthy dispatch) [  $P(E/H)$  ] 。而不適航派遣(Unairworthy dispatch) 為真的情況下的不適當的文件(Improper documentation)之事後機率為 [  $P(H/E)$  ]。以前述貝氏理論(Bayes Theroem)的方法計

算 1996 年、1996 年至 1997 年、1996 年至 1998 年、1996 年至 1999 年、1996 年至 2000 年的 5 組數據，結果如表四所示。

Outcome of maintenance error	Maintenance error	Primary causal factor
Unairworthy dispatch	Documentation error (P = 33 percent)	Lack of awareness (P = 22 percent)
		Poor procedures (P = 15 percent)
		Lack of training (P = 4 percent)
	Improper installation (P = 27 percent)	Complacency (P = 21 percent)
		Lack of awareness (P = 21 percent)
	Sign-off of work not performed (P = 13 percent)	Poor procedures (P = 15 percent)
		Maintenance management (P = 27 percent)
		Complacency (P = 21 percent)
		Poor procedures (P = 14 percent)

**Table V.**  
Summary of causal probabilities for unairworthy dispatch

對於不適當的裝置(Improper installation)以及未執行工作的簽字(Sign-off of work not performed)以同樣的方法計算其事前機率與事後機率，同理，對於前 3 項的原因因素之機率亦加以計算。表五所示為原因因素之計算結果，顯示由於文件錯誤(Documentation error)導致不適航派遣(Unairworthy dispatch)的機率為 33%，由於不適當的裝置(Improper installation)導致不適航派遣(Unairworthy dispatch)的機率為 27%，由於未執行工作的簽字(Sign-off of work not performed)導致不適航派遣(Unairworthy dispatch)的機率為 13%。

如表五所示，對於文件錯誤(Documentation error)，有 22%機率是由於缺乏警覺性(Lack of awareness)；15%機率是由於不良的程序(Poor procedures)；4%機率是由於不良的訓練(Poor training)。因此，應該著重在改善程序的品質及操作狀況的警覺性以降低文件錯誤(Documentation error)。

對於未執行工作的簽字(Sign-off of work not performed)的維護錯誤而言，值得注意的是維護管理的問題，因為有 27%的未執行工作的簽字(Sign-off of work not performed)是起因於維護管理的因素。有 ASRS 報告人提到維護管理者自行將未執行工作執行簽字，而且管理者能夠找到願意為未執行工作簽字的機械員。貝氏理論(Bayes Theroem)分析顯示所有不適航派遣(Unairworthy dispatch)的機率 13%中有 27%歸因於對未執行工作簽字是維護管理的因素，因此，僅有 3%的不適航派遣(Unairworthy dispatch)是起因於維護管理的因素造成對於未執行工作簽字(13%中的 27%等於 3%)。

### 結論

貝氏理論(Bayes Theroem)可應用在特定的維護錯誤的原因因素的傾向性分析。當有額外的可用數據，則傾向性的預測將趨於穩定。

缺乏警覺性 (Lack of awareness) 同為文件錯誤 (Documentation error)(33%X22%=7.3%)與裝置錯誤(Installation error)(27%X21%=5.7%)的原因因素。不良的程序 (Poor procedures) 亦同為文件錯誤 (Documentation



error)( $33\% \times 15\% = 5.0\%$ )與裝置錯誤(Installation error)( $27\% \times 15\% = 4.1\%$ )的原因因素。因此，下次由於缺乏個人警覺性造成的不適航派遣(Unairworthy dispatch)機率約有  $13\%$ ( $7.3\% + 5.7\% = 13\%$ )，而由於不良的程序(Poor procedures)造成的不適航派遣(Unairworthy dispatch)機率約有  $9.1\%$ ( $4.1\% + 5.0\% = 9.1\%$ )。

## [文獻評析]

本文獻優點：

1. 運用航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)的自我報告維護錯誤(Self-reported maintenance errors)數據加以歸類分析，由於具備充分的樣本數(937個)，因此這些數據提供瞭解促成維護錯誤的原因和維護錯誤造成的影響有實質的意義。
2. 以圖表方式清楚地呈現相關數據的分佈與關係。
3. 驗證貝氏理論(Bayes Theroem)可應用在特定的維護錯誤的原因因素的傾向性分析。而當有額外的可用數據，則傾向性的預測將趨於穩定。
4. 將航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)的自我報告維護錯誤(Self-reported maintenance errors)數據以貝氏理論(Bayes Theroem)進行實證分析，其研究結果具實務應用價值，值得國內航空界參考。

## [相關文獻]

ASRS (2001), "Maintenance reports", *Aviation Safety Reporting System*, available at <http://asrs.arc.nasa.gov>.

Pantankar, M. and Taylor, J. (2001), "Analysis of organizational and individual factors leading to maintenance errors", *SAE Technical Paper Number 2001-01-3005*.

Rankin, B. and Allen, J. (1996), "Boeing introduces MEDA: Maintenance Error Decision Aid." *Airliner*, April-June, pp. 20-27.

Resnik, M. (1997), *Choices: An Introduction to Decision Theory*, University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.

Durkin, J. (1994), *Expert Systems: Design and Development*, Macmillan, New York, NY.

Nowlan, F. and Heap, H. (1978), *Reliability-centered Maintenance*, National Technical Information Service, US Department of Commerce, Springfield, VA.

Moubray, J. (1997), *Reliability-centered Maintenance*, Industrial Press Inc., New York, NY.

FAA (2001), *Human Factors in Aviation Maintenance and Inspection Research Reports*, available at <http://hfskyway.faa.gov>. Accessed March 24, 2002.

Taylor, J. and Christensen, T. (1998), *Airline Maintenance Resource Management*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.

Wells, A. (1997), *Commercial Aviation Safety*, McGraw-Hill, New York, NY.

# **Development and Evaluation of the Maintenance Error**

## **Decision Aid (MEDA) Process**

William Rankin, Rebecca Hibit, Jerry Allen, Robert Sargent

International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000)

261-276

### **[英文摘要]**

The purpose of this study was to evaluate the development and implementation of an airline industry process for determining the factors that contribute to maintenance errors and making corrective actions to eliminate or reduce the probability of future, similar errors. A process like this is useful because maintenance errors have safety and economic consequences to the airline industry. The Maintenance Error Decision Aid (MEDA) process was developed based on the philosophy that maintenance technicians do not make errors on purpose, that errors result from a series of related contributing factors, and that these factors are largely under management control and, therefore, can be changed. The process was field tested by employees of eight airlines and one repair station. Five surveys, two meetings, and completed MEDA Results Forms were used to evaluate the process. Survey results indicated that: the MEDA process was easy to use, maintenance technicians did not feel intimidated by the process, and management and staff felt MEDA was useful and should be continued after the field test. Feedback from the meetings was that MEDA had been successfully used to correct contributing factors to error, and airline management commitment was the most important factor for successful MEDA implementation. Suggestions for improving the implementation process were also provided. The completed Results Forms were generally correctly filled out and indicated an average of 3.4 contributing factors per investigation. Seven of the nine organizations continued to use an error investigation process after the field test. Since the end of the field test, the authors have provided MEDA implementation consultation to over 60 airplane maintenance organizations around the world. Feedback suggests that approximately two-thirds of the organizations are using MEDA.



## [中文摘要]

本篇論文詳細敘述維護錯誤決策輔助(MEDA)程序的內容、步驟、評估方法並分析調查結果。內文共分成簡介、方法、結果、個案研究、討論以及結論。

在第一章簡介方面，作者提到績效成形因素(Performance shaping factors, PSF)的觀念，並說明維護錯誤決策輔助(MEDA)程序是基於績效成形因素(PSF)的觀念發展用來調查與維護錯誤相關的事件，並提出改正行動以降低航空公司維護組織未來類似錯誤發生的可能性。在第二章方法部份，作者解說 MEDA 結果表格(MEDA Results Form)的內容、使用方法與本研究參與之人員，以及如何進行評估。在第三章結果方面，探討現場測試、工具、主題、航空公司管理階層等調查結果以及現場測試後續調查結果，發現 MEDA 在實施上有許多障礙需要克服，例如：維護技術人員害怕承認錯誤，因為過去處罰常用來對付犯錯的人員，受試者亦感覺過去的懲罰行動不公平且懲罰行動並沒有改善作業績效，亦發現大多數受試者相信 MEDA 結果表格幫助他們進行錯誤調查，且 MEDA 易於使用。但是，對於 MEDA 是否能降低犯錯的懲罰或產生新的改正行動較不確定—因為取決於管理階層。此外，從 74 份完成的結果表格分析發現：事件的發生頻率以航班延誤為最高，且導致事件的錯誤種類以不適當的裝置為最高。現場測試結果發現每個事件平均有 3.4 個造成錯誤的主要促成因素，此結果支持 MEDA 的理念—錯誤源自於一連串的促成因素。在第四章個案研究部份，運用範例解說使 MEDA 實施人員能夠更瞭解如何完成 MEDA 調查工作與相關注意事項。在討論中提到從回饋會議的許多意見得知，實施 MEDA 需要航空公司高層的支持。從回饋會議也發現若航空公司懲罰犯錯的維護技術人員，則比不懲罰犯錯的維護技術人員的航空公司來得不易實施 MEDA。在最後結論部份，作者認為實施 MEDA 除了需要航空公司高層的強力承諾之外，MEDA 程序亦需要按部就班，如此一來，調查與改正行動就相對地容易達成。

### 1. 簡介

由波音公司與美國航空運輸協會(U.S. Air Transport Association)成員合作的研究(1995)發現在 1982 年至 1991 年的 264 件商用噴射機機體全毀之失事事故中維護錯誤是其中的 39 件(15%)的眾多促成因素之一，其中若該失事事故航空器為客機則死亡人數至少為 5 人。這 39 件意外事故中：23%包含零組件不正確的拆裝；28%包含製造廠或供應商(Vendor)的維護/檢查錯誤；49%包含起因於航空公司的維護/檢查策略之錯誤；49%包含不良的設計促成之維護錯誤。

Reason(1990)發現人們將人為錯誤歸咎於人而非環境，他把這種現象稱為“責難循環”(Blame cycle)，他相信必須打破“責難循環”(Blame cycle)並瞭解到錯誤有多重的促成因素(Contributing factor)，且狀況與程序的改變較人的改變容易達成。Woods 等人(1995)提到將意外事故的原因歸咎於人為錯誤，限制了真正的調查是應該找出導致錯誤的人與裝備及其他狀態變數的互動關係。

Swain 和 Guttman(1983)在其人為可靠性分析工具的發展提到上述狀態變數，並稱為績效成形因素(Performance shaping factors, PSF)，他們並分析績效成形因素(PSF)如何影響人為錯誤，其架構的 3 種主要種類的績效成形因素(PSF)敘述如下：

1. 外部績效成形因素(External PSF)：(1)狀態特性—例如：熱、光線、震動、工作時數、輪班(Shift rotation)、組織架構、監督者行為(Supervisor behavior)。(2)工作(Job)與任務(Task)說明—例如：程序、工廠作業與組織策略。(3)任務(Task)與裝備特性—例如：控制/顯示的關係、任務(Task)複雜性、人類/機器介面。
2. 內部績效成形因素(Internal PSF)：例如：先前的訓練/經驗、個性、理解力、動機、態度、性別差異以及人員的身體狀況。
3. 壓力績效成形因素(Stressor PSF)：(1)心理的壓力(Psychological stressors)直接影響精神的壓力(Mental stress) —例如：突然開始(Suddenness of onset)、任務速度、任務負荷、壓力持續時間、高風險、單調以及分心。(2)生理的壓力(Physiological stressors)直接影響身體的壓力(Physical stress) —例如：持續時間、疲勞、痛楚或不適、極端的溫度、輻射線、震動以及生理時鐘的中斷。

Swain(參閱 Lorenzo, 1990)和 Bird 以及 Germain(1996)相信僅有 15 至 20%的工作場所之錯誤可由工作人員個人來控制，其餘 80 至 85%的錯誤是受到管理階層的掌控。績效成形因素(PSF)亦被視為人為錯誤的原因之促成因素，因此，績效成形因素(PSF)的觀念有助於協助打破“責難循環”(Blame cycle)，另一方面，績效成形因素(PSF)亦幫助顯示降低人為錯誤所需進行的改變。

MEDA 基於績效成形因素(PSF)的觀念發展用來調查與維護錯誤相關的事件，並提出改正行動以降低航空公司維護組織未來類似錯誤發生的可能性。

## 2. 方法

### 2.1 維護錯誤調查過程之發展

波音公司與英國航空公司、美國大陸航空公司、聯合航空公司、國際機械師協會、美國聯邦航空總署(FAA)經過 18 個月共同發展出一套維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)程序，用在航空公司的維護錯誤調查，有兩種相關的產品：結果表格(Results Form)和使用指南(User's Guide)。其中主要的調查工具是 MEDA 結果表格(MEDA Results Form)，此表格包含 5 大部份：(1)一般資訊(General information)，(2)事件(Event)，(3)維護錯誤(Maintenance error)，(4)促成因素(Contributing factors)，(5)改正行動(Corrective actions)。

一般資訊欄位包含飛機編號、發動機型號、MEDA 調查者、犯錯日期與調查日期之相關資訊的填寫表格。事件欄位包含潛在事件的列表清單，若屬於維護錯誤所造成，則啟動 MEDA 調查，事件種類包含航班延誤、航班取消、滑回登機門、發動機空中關車(Engine in-flight shutdown)、空中回航、航空器受損、航班轉降、修理、維護人員受傷。

維護錯誤欄位包含可能發生及導致事件的列表清單，主要維護錯誤的種類包

括：不適當的裝置、不適當的保養、不適當/不完整的修理、不適當的故障排除/檢查/測試、導致外物損壞之行動、導致裝備損壞之行動、導致人員受傷之行動。

促成因素欄位包含可能促成維護錯誤的狀態變數，這些促成因素以讓人容易瞭解與使用的方式加以分類，共分成 10 類如下：1.資訊—供維護人員在工作中使用的書面或電腦化的資訊，例如：維護手冊(Maintenance manual)、技術服務通報(Service bulletin)以及維護建議(Maintenance tips)。2.裝備、工具和零組件。3.飛機設計與構形(Configuration)。4.工作(Job)與任務(Task)。5.技術知識與技巧。6.影響個人表現的因素。7.環境與設施。8.組織的環境事項—例如：來自於其他維護組織的支援、公司政策與程序、工作人力穩定性。9.領導與監督—例如：規劃、組織、重要優先順序排序(Prioritizing)以及指派工作。10.溝通—例如：人與人及組織間的書面與口頭溝通。

改正行動欄位包含要求調查者列出維護組織現有但沒有發揮效用的防止錯誤之程序(Procedures)、過程(Processes)及策略(Policies)(詳見 Reason 1990, 錯誤的屏障)。其次寫下技術人員可以做到之潛在的改正行動。第三部份是航空公司內其他維護組織可以做到之潛在的改正行動。

目前飛機維護組織使用典型的錯誤調查過程與 8-步驟的 MEDA 過程如圖一所示。作者發現實際上在使用典型的錯誤調查過程中有 3 種變化情況：(1)部份組織在流程圖第二步驟之後就中止—因為他們為了進行書面記錄之目的，只想知道哪一個組織該為錯誤負責。(2)部份組織對犯錯採取懲處措施，處罰程度可能從丟臉到丟掉工作。(3)部份組織執行更深入的分析，雖然由作者的經驗所瞭解：很少屬於前後一致的或是對促成因素有結構化考量的調查。通常是由技術人員承諾“絕不再犯錯”為結尾。

對於執行 MEDA 調查過程有一些注意事項說明：首先，必須有事件發生以便開始進行 MEDA 調查。其次，雖然決定誰犯錯是必須的，因為 MEDA 調查需與該事件相關人員面談，但是 MEDA 結果表格並不包含維護技術人員姓名的欄位(基於責備過程而非個人的理念)。第三，要求維護技術人員提出潛在改正行動，使維護技術人員成為改善過程的一部份。第四，面談可判斷維護系統中哪些其他人員或單位促成錯誤的發生，因此可能需要後續的面談。在最後步驟提到的回饋(Feedback)必須顯示做到與調查資訊相關的事項，且確認組織內每一個人均從這過程中學習到/有所獲益。

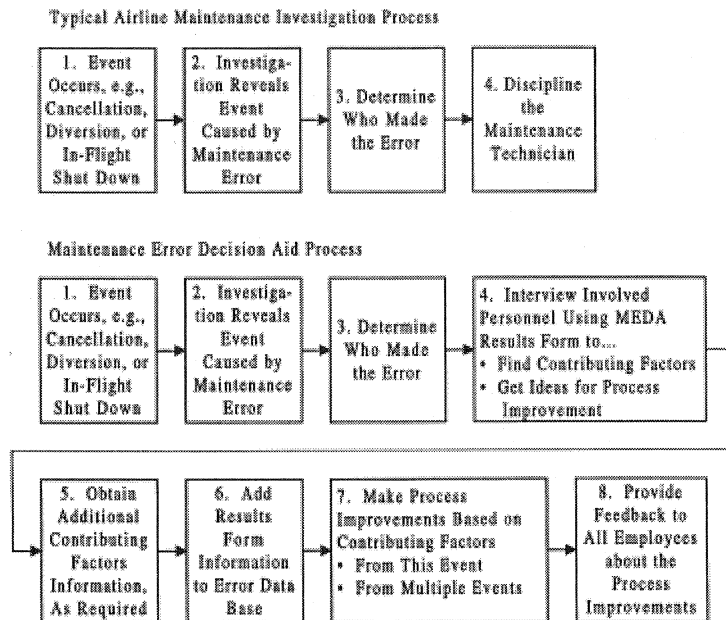


Fig. 1. Maintenance error decision aid process flow.

## 2.2 參與人員

維護錯誤決策輔助 (MEDA) 程序在 8 家航空公司及 1 家維修站進行現場測試，以評估它在調查因維護錯誤引起的事件的可用性，包含：全日空(1994 年 12 月)、美國西方航空公司(1995 年 3 月)、英國航空公司(1995 年 2 月)、美國大陸航空公司(1995 年 2 月)、美國西北航空公司(1995 年 1 月)、Pemco World Air Services(1995 年 3 月)、澳洲 Qantas 航空公司(1995 年 3 月)、沙烏地阿拉伯(1994 年 12 月)、聯合航空公司(1994 年 11 月)。

## 2.3 評估方法

共有 3 種評估方法用來收集 MEDA 程序的評估資料，分述如下：

第 1 種評估方法是以 5 項問卷調查收集意見資料，航空公司員工成為 MEDA 調查人員之前必須填寫第 1 項問卷調查：現場測試調查(Field Test Survey)，以提供關於維護錯誤以及航空公司維護計畫之意見做為基本意見資料。調查人員在執行 MEDA 調查之後必須填寫第 2 項問卷調查：工具調查(Tool Survey)，以收集使用結果表格(Results Form)的意見資料，犯錯的維護技術人員接受面談是 MEDA 程序的一部份，犯錯的維護技術人員必須填寫第 3 項問卷調查：主題調查(Subject Survey)，以收集他們對於 MEDA 程序的意見資料。而維護管理者必須填寫第 4 項問卷調查：管理調查(Management Survey)，以收集他們對於 MEDA 程序接受程度及對於促成因素的重要性之感受程度，最後，調查人員必須填寫第 5 項問卷調查：後續調查(Follow-up Survey)，再次回答關於現場測試調查(Field Test Survey)的問題提供相關之意見。第 2 種評估方法是分析完整的 MEDA 結果表格(MEDA Results Form)，檢查是否填寫適當，此外，由表格提供的資訊—事件、錯誤種類以及促成因素加以綜整。第 3 種評估方法是在現場測試期間及之後開會以便於從 9 個維護組織得到回饋(Feedback)資料。

### 3. 結果

#### 3.1 調查結果(Survey results)

##### 3.1.1 現場測試調查結果(Field Test Survey results)

共有 248 名航空公司員工在參加調查人員講習會之前填寫現場測試調查(Field Test Survey)，受試者被問到一系列關於維護支援環境的問題，如圖二所示。

大多數受試者(77%)認為當需要時書面資料是可取得的，有 48%的受試者同意由於分享從維護錯誤得到的經驗，因此這類維護錯誤較不會再次發生，同意維護技術人員持續被告知可能發生錯誤問題的範圍之受試者有 46%，而同意技術人員不害怕承認錯誤之受試者有 29%；但有 50%的受試者不同意。有 45%的受試者同意處罰常用來對付犯錯的技術人員，只有 22%的受試者同意處罰是公平且公正(但有 43%的受試者不同意)，且只有 9%的受試者同意處罰的結果通常可改善作業績效(但有 63%的受試者不同意)。當問到在他們的工作環境中何者是維護錯誤調查的最大障礙時，有 32%的受試者選擇航空公司管理階層。受試者提到 MEDA 在實施上有許多障礙需要克服，例如：維護技術人員害怕承認錯誤，因為過去處罰常用來對付犯錯的人員，受試者亦感覺過去的懲罰行動不公平且懲罰行動並沒有改善作業績效。

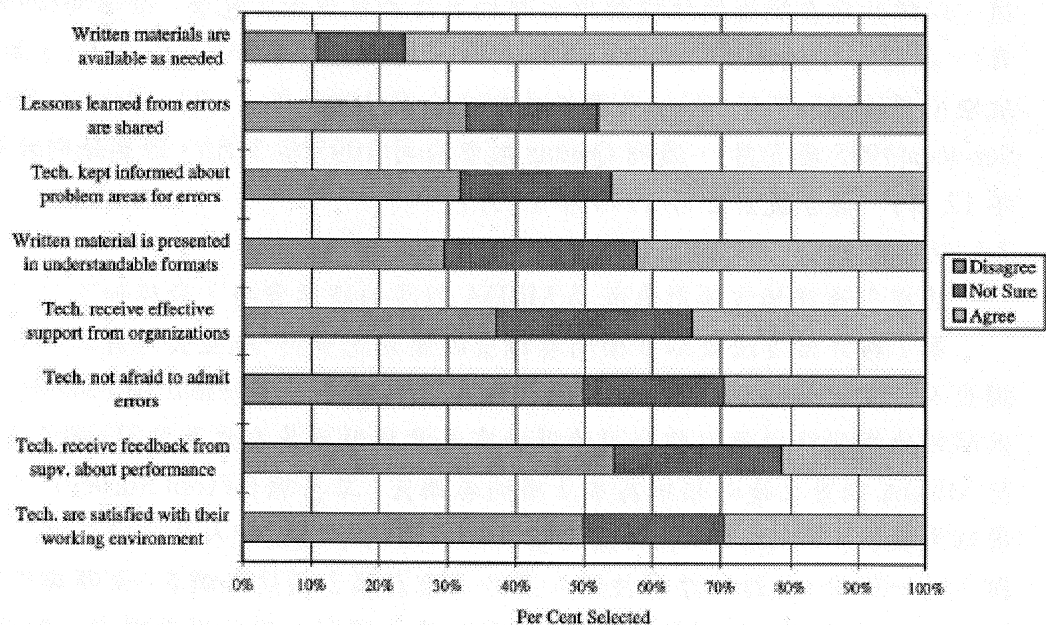


Fig. 2. Field Test Survey,  $N = 248$ . Percentage of MEDA investigators who selected agree, not sure, or disagree to opinion questions about their support environment.

##### 3.1.2 工具調查結果(Tool Survey results)

在參加調查人員講習會之後或完成第一次 MEDA 調查之後，有 237 名填寫工具調查(Tool Survey)，有 6 題關於 MEDA 程序是否易於使用的問題請受試者回答。大多數受試者(85%)同意 MEDA 使用熟悉的字句或項目，83%的受試者同意 MEDA 文件是易懂的，76%的受試者同意 MEDA 文件是完整的，69%的受試者同意 MEDA 提供足夠的資訊來學習如何使用 MEDA 程序，有 67%的受試者同意

在 MEDA 結果表格列出防止錯誤發生但失效的屏障是有用的。共有 8 題關於 MEDA 程序使用於調查上的意見問題請受試者回答，如圖三所示。

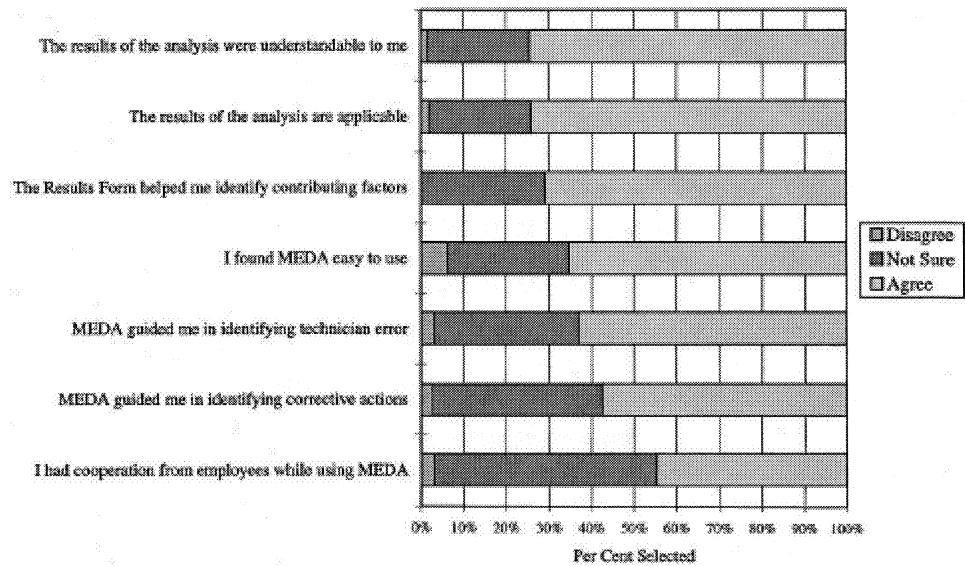


Fig. 3. Tool Survey, N = 237. Percentage of MEDA investigators who selected agree, not sure, and disagree to opinion questions about carrying out a MEDA investigation.

74%的受試者同意 MEDA 分析的結果是易懂的，74%的受試者同意 MEDA 分析的結果是可用的，受試者同意 MEDA 結果表格有助於確認促成因素的有 71%。大體上，有 65%的受試者同意 MEDA 易於使用。

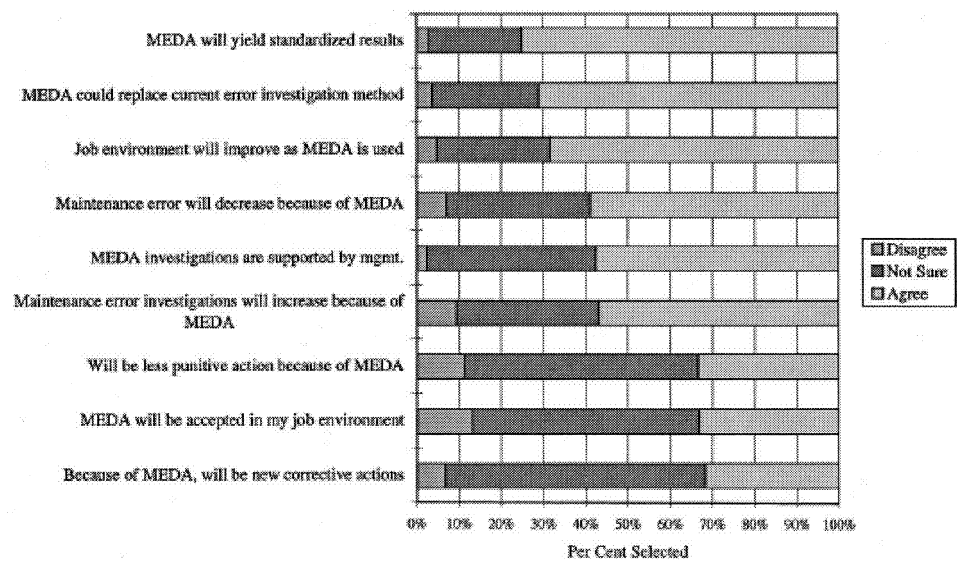


Fig. 4. Tool Survey, N = 237. Percentage of MEDA investigators who selected agree, not sure, or disagree to opinion items regard MEDA acceptance and use.

關於 MEDA 程序接受性與使用性的意見問題共有 9 題，如圖四所示。同意 MEDA 分析產生標準化的結果的受試者有 75%，同意 MEDA 可取代現有的維護錯誤調查方法的受試者有 72%，同意使用 MEDA 將可改善工作環境的受試者有 68%，同意 MEDA 將會降低維護錯誤的受試者有 58%。同意 MEDA 將會獲得管理階層的支持的受試者有 57%。然而，對於 MEDA 是否能降低犯錯的懲罰或產

生新的改正行動較不確定—因為取決於管理階層。

### 3.1.3 主題調查結果(Subject Survey results)

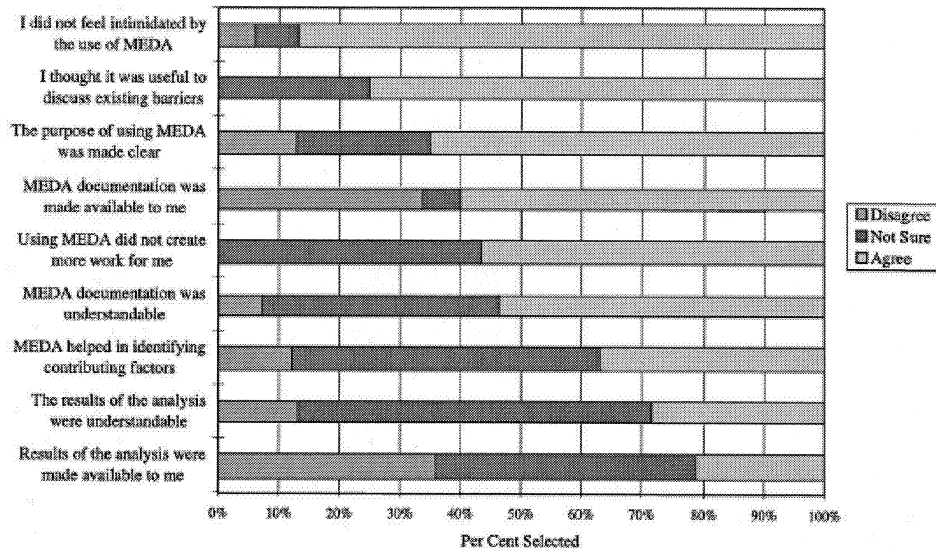


Fig. 5. Subject Survey,  $N = 17$ . Percent of maintenance technicians who selected agree, not sure, or disagree, on opinion items regarding maintenance technician involvement in the MEDA process.

在 MEDA 調查面談之後，接受面談的維護技術人員必須填寫主題調查 (Subject Survey)，共有 17 份回收，其中共有 9 題關於 MEDA 調查維護技術人員參與的意見問題請受試者回答，如圖五所示。大多數的受試者(88%)同意未感覺到受到 MEDA 調查的脅迫，同意討論現有的防止錯誤發生但失效之屏障是有用的受試者有 75%。同意 MEDA 使用目的很清楚的受試者有 65%，同意 MEDA 沒有增加他們的工作之受試者有 57%，同意 MEDA 的文件是易懂的之受試者有 53%。總之，當犯錯的維護技術人員參與 MEDA 的調查，一般有正面的體驗。

### 3.1.4 航空公司管理階層調查結果(Airline Management Survey results)

在現場測試後每一實施現場測試的航空公司之 1 到 2 名管理者填寫管理調查 (Management Survey)，共有 13 份回收，關於 MEDA 程序瞭解程度與接受度的意見問題共有 9 題，如圖六所示。92%的管理者完全同意 MEDA 認為大部份的維護錯誤不是有意的而主要是促成錯誤之因素造成的結果之理念，有 67%的管理者同意他們瞭解 MEDA 調查如何運作。有 50%的管理者同意 MEDA 在現場測試期間在其航空公司實施得很好。大多數的管理者(85%)同意他們的航空公司管理階層對 MEDA 的接受度很高。有 77%的管理者同意強烈支持在他們的航空公司繼續使用 MEDA，有 74%的管理者同意其他的航空公司應該採用 MEDA。



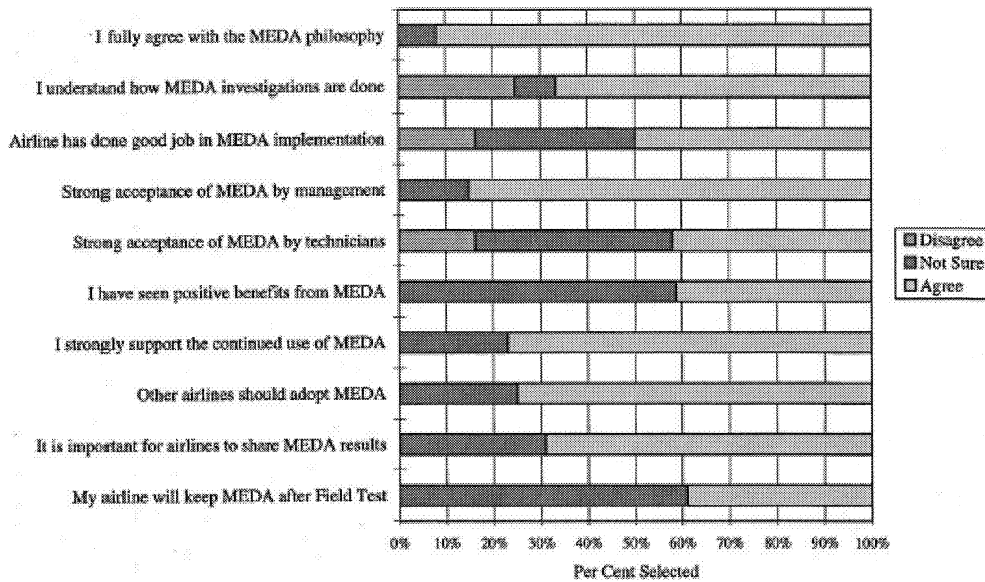


Fig. 6. Airline Management Survey,  $N = 13$ . Percent of airline managers who selected agree, not sure, or disagree to opinion questions about MEDA implementation issues at their airline.

### 3.1.5 現場測試後續調查結果(Field Test Follow-Up Survey results)

49 位 MEDA 調查人員在現場測試最後 1 個月完成現場測試後續調查，該問卷調查包含 7 題和詢問管理階層相同的問題，如圖七所示。

將圖六與圖七相互比較，可以很清楚地發現 MEDA 調查人員不像航空公司管理階層對於 MEDA 的接受度與繼續使用那麼樂觀。只有 18% 受試調查人員同意 MEDA 在其航空公司實施得很好，同意航空公司技術人員對於 MEDA 有很高的接受度之管理者有 43%；但是同意航空公司技術人員對於 MEDA 有很高的接受度之調查人員只有 17%，同意使用 MEDA 對航空公司有正面效益的管理者有 42%；但是同意使用 MEDA 對航空公司有正面效益的調查人員只有 20%。

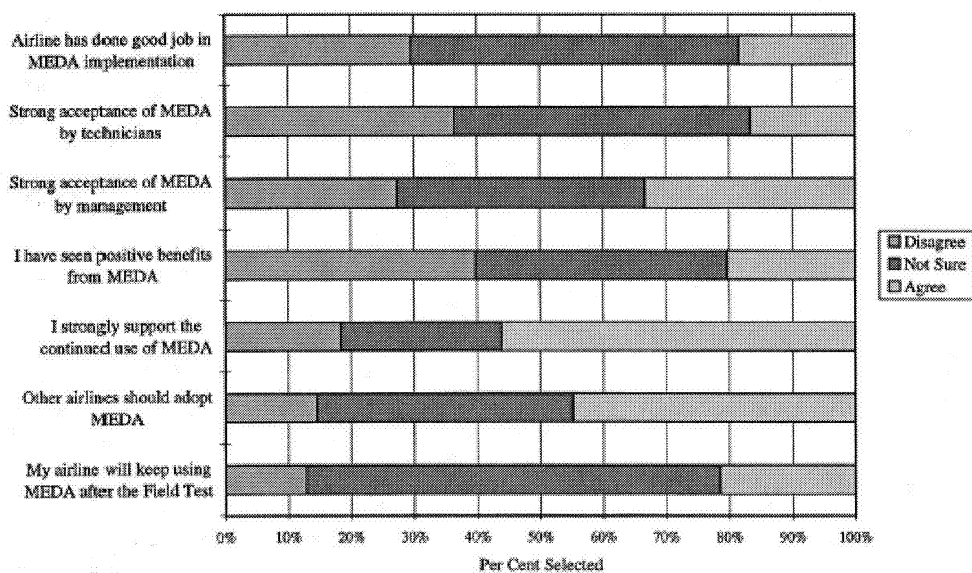


Fig. 7. Field Test Follow-up Survey,  $N = 49$ . Percent of MEDA investigators who selected agree, not sure, or disagree to opinion items also asked to airline maintenance management.



### 3.2 結果表格之結果(Result Form results)

#### 3.2.1 事件(Events)

共有 74 份完成的結果表格回收供分析之用，事件的發生頻率如下：航班延誤(22 件)、航空器受損(17 件)、空中回航(11 件)、航班取消(7 件)、修理(5 件)、發動機空中關車(Engine in-flight shutdown)(4 件)、滑回登機門(3 件)、維護人員受傷(2 件)、其他(11 件)。其他事件包含工場錯誤、供應商問題等。

#### 3.2.2 維護錯誤種類(Maintenance error types)

導致事件的錯誤種類包含：不適當的裝置(26 個錯誤)、不適當的故障排除/檢查/測試(11 個錯誤)、不適當的保養(9 個錯誤)、不適當/不完整的修理(3 個錯誤)、導致外物損壞之行動(2 個錯誤)、導致人員受傷之行動(1 個錯誤)、其他(17 個錯誤)以及無維護錯誤(5 個錯誤)。

#### 3.2.2 促成因素種類(Contributing factors types)

MEDA 的理念是錯誤源自於一連串的促成因素，現場測試結果支持此理論。由 74 份 MEDA 錯誤調查來看，資訊是 37 件事件的促成因素，溝通是 32 件事件的促成因素，工作(Job)與任務(Task)是 31 件事件的促成因素，環境與設施是 28 件事件的促成因素，影響個人表現的因素是 26 件事件的促成因素，技術人員的資格/技巧是 23 件事件的促成因素，飛機設計與構形(Configuration)是 22 件事件的促成因素，裝備、工具和零組件是 20 件事件的促成因素，組織的環境是 19 件事件的促成因素，領導與監督是 12 件事件的促成因素。因此，平均每個事件有 3.4 個造成錯誤的主要促成因素。

### 3.3 現場測試的回饋會議之結果 (Results of the field test feedback meetings)

在現場測試期間及現場測試結束後 1 個月各舉辦 1 場回饋會議，一般反應 MEDA 結果表格在錯誤調查時運作得很好，雖然有一些改善建議，包含重新安排結果表格讓調查人員有更多空間來填寫資料。所有與會代表均同意管理高層能確定 MEDA 計畫實施與繼續是非常重要的。

## 4. 個案研究

### 4.1 介紹

本案例是 Going Boeing 航空公司(GBA)發生維護技術人員在燃油箱滲漏檢查和修理期間遺留雜物(Debris)在燃油箱內的事件，造成轉降(Diversion)及航班延誤(Flight delay)。該事件發生後實施 MEDA 調查工作。本案例被作者廣泛運用在他們的 MEDA 實施訪視中。

### 4.2 個案研究

GBA 公司維護技術人員包含：(1)Scott—21 歲，具維護執照，2 年工作經驗，身高 6 呎 1 吋，體重 190 磅，輪值第 3 班工作；(2)Dennis—32 歲，具維護執照，10 年工作經驗，身高 5 呎 7 吋，體重 140 磅；(3)James—41 歲，具維護執照，維護技術人員主管，18 年工作經驗；(4)Bill—52 歲，具維護執照，目前是維護品質管制檢查人員，30 年工作經驗。

#### 4.2.1 事件簡述

1 架 GBA 公司波音 767 當飛行員發現燃油流量指示系統有問題將飛機轉降到最近的機場。該事件飛機留在原轉降機場執行過夜檢查以及故障排除，包含卸油(Defueling)、排放油氣(Purging)及進入燃油箱檢查，發現在燃油箱內有遺留雜物(Debris)包括膠帶(Tape)、手套(Gloves)及抹布(Rags)，這些雜物(Debris)阻塞了一些燃油管路。而且這些雜物在燃油箱滲漏檢查和修理期間一直遺留在燃油箱內，並沒有在檢查結束前被品管檢查人員發現。

#### 4.2.2 MEDA 調查

MEDA 調查發現以下的資訊：Scott 和 Dennis 是執行燃油箱滲漏檢查和修理的維護技術人員，Scott 在輪值第 3 班工作時開始一連串的燃油箱滲漏檢查和修理工作，他依據航空器維護手冊(Aircraft Manual Maintenance; AMM)進行燃油箱排放油氣(Purging)及進入燃油箱檢查程序，接著他依據 GBA 公司工作卡(Work cards)開始燃油箱一區一區地逐步檢查和修理工作，並參考航空器維護手冊(AMM)的內容。Scott 執行了燃油箱部份區域的次要修理(Minor repair)，在 Scott 輪班時間結束時他並沒有完成燃油箱的工作，由於 Scott 想要儘快離開燃油箱，他將膠帶、手套及抹布留在燃油箱內供下 1 輪工作人員使用。Scott 在工作卡上完成部份簽字，同時也在輪班交接報告上寫下完成的檢查和修理的區域。但是並沒有在輪班交接報告上寫下也未告訴他的主管關於他沒有完成整個燃油箱的工作以及將膠帶、手套及抹布留在燃油箱內的訊息。

James 是下 1 輪工作人員的主管，他閱讀了輪班交接報告，他沒有注意到 Scott 的工作卡上未簽字表示完工，因此認為 Scott 的燃油箱工作完成，而指派其餘燃油箱的滲漏檢查和修理工作給 Dennis。Dennis 在 James 的工作人員中是個子最小的，James 認為 Dennis 在燃油箱工作較容易。Dennis 完成其餘燃油箱的滲漏檢查和修理工作，Dennis 在其餘燃油箱的工作卡上簽字後交給他的主管 James。James 在完成標準 GBA 公司程序後將所有燃油箱工作卡整理在一疊，他在這一疊外面附上檢查簽字單與其他疊的工作卡交給 Bill 供最後檢查之用。Bill 在 MEDA 面談時提到，燃油箱的設計使他無法使用手電筒及鏡子來檢查每一個區域，而且手套、膠帶及抹布的顏色和燃油箱內部幾乎相同，他在整疊工作卡的最上面的檢查單上簽字之後燃油箱蓋板隨後關上。MEDA 調查亦發現，航空器維護手冊(AMM)的燃油箱排放油氣(Purging)及進入燃油箱檢查程序、燃油箱滲漏檢查和修理內容均包含當程序完成時必須確認所有的物品均從燃油箱移除的指示。

#### 4.2.3 完整的 MEDA 結果表格發現

事件：飛機轉降之後航班延誤的事件。

錯誤：主要錯誤是在燃油箱內有遺留雜物，第二個錯誤是這些雜物並沒有在檢查結束前被檢查人員發現。

促成因素：促成這些錯誤的因素如下：1.資訊—工作卡(Work cards)未修訂要求維護人員在進出燃油箱必須清點物品。2.裝備、工具和零組件—膠帶、手套及抹布和燃油箱內部的顏色幾乎相同。3.飛機設計與構形(Configuration) —燃油箱內部

的結構容易讓雜物(Debris)不被檢查人員發現。4.影響個人表現的因素—Scott 個子太高不易在燃油箱內部移動。5.組織的環境事項—例如：公司程序允許將工作卡(Work cards)堆疊，造成沒有人注意到 Scott 未簽字，且公司程序允許非完整的燃油箱檢查。6.領導與監督—將燃油箱檢查指派給 Scott，而 Scott 個子太高不易在燃油箱內部移動。7.溝通—Scott 既未告訴其主管關於他沒有完成整個燃油箱的工作也沒有提到將膠帶、手套及抹布留在燃油箱內，而且他既未在輪班交接報告上寫下沒有完成整個燃油箱的工作也未記錄將膠帶、手套及抹布留在燃油箱內。

改正行動：共有 4 道失效的屏障(Barrier)：(1)最後關閉前檢查(The final closed-up inspection)，(2)維護手冊，(3)工作卡(Work cards)，(4)輪班交接紀錄本。潛在的改正行動可由檢查人員、維護技術人員、維護技術主管以及他們的督導人員來完成：1.指派個子最小的維護人員執行燃油箱的工作。2.需要完整進入燃油箱的檢查。3.鼓勵較佳的口頭溝通與交接紀錄本的書寫方式。由維護與工程其他組織完成的潛在改正行動包含：1.購買顏色鮮明的膠帶、手套及抹布，使其較容易被看見。2.在工作卡上增加“清點進出物品”的步驟。3.勿堆疊工作卡。4.在維護技術人員簽字欄位之後增加主管或檢查人員簽字的欄位，使未簽字工作卡易於被發現。5.設計檢查裝備使檢查人員能夠從燃油箱蓋板看見整個燃油箱內部。

## 討論

MEDA 程序成功地在 9 家現場測試組織中的 7 家實施，參與者相信 MEDA 的訓練適當且 MEDA 結果表格易懂且易於使用。從調查結果及回饋會議的意見得知實施 MEDA 獲得錯誤調查程序的正面效益。從回饋會議的許多意見得知，實施 MEDA 需要航空公司高層的支持。從回饋會議也發現若航空公司懲罰犯錯的維護技術人員，則比不懲罰犯錯的維護技術人員的航空公司來得不易實施 MEDA，因為 MEDA 程序需要犯錯的維護技術人員配合面談討論錯誤，懲罰使他們害怕受處分而將降低犯錯的維護技術人員面談的意願，這將不利於 MEDA 的實施。使用原先設計的 MEDA 程序的維修組織在實施後均獲得正面的效益。其效益範圍從使管理階層對於錯誤原因更為敏銳到降低因機械問題造成的航班延誤約 16%。

## 結論

基於績效成形因素(PSF)(促成因素)觀念的維護錯誤調查程序在商用航空公司是可行的，實施 MEDA 程序需要管理階層強力的承諾。一旦 MEDA 程序按部就班則調查與改正行動就相對地容易達成。

現場測試結果證明 MEDA 的理念是正確的—例如：維護技術人員不會故意犯錯，而錯誤是一連串相關因素所造成，而這些因素大部份是可被管理者控制因此是可以被改變的。

## [文獻評析]

本文獻優點：

1. 詳細敘述維護錯誤決策輔助(MEDA)程序的內容、步驟、評估方法。並指出目前典型的錯誤調查過程的缺點與 8-步驟的 MEDA 過程的長處，並以流程圖相互比對說明。
2. 透過現場測試結果驗證 MEDA 的理念是正確的—維護技術人員不會故意犯錯，而錯誤是一連串相關因素所造成，而這些因素大部份是可被管理者控制，因此是可以被改變的。
3. 充分運用問卷調查與回饋會議收集對 MEDA 實施的意見，並將其量化分析，提供具說服力的解析。
4. 運用個案研究範例使 MEDA 實施人員能夠更瞭解如何完成 MEDA 調查工作與相關注意事項。
5. 本文為 MEDA 理念的實證說明，對於國內航空公司評估是否執行類似 MEDA 的程序具有相當高的實務參考價值。

## [相關文獻]

Rankin, W.L.; Allen, J.P., Jr. (1996)“Boeing introduces MEDA: Maintenance Error Decision Aid.” *Airliner*, April-June, 1996.

Allen, J., Jr., J. A. Rankin, W. L., 1995. A Summary of the Use and Impact of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) on the Commercial Aviation Industry. Proceedings of the Flight Safety Foundation 48<sup>th</sup> Annual International Air Safety Seminar, International Federation of Airworthiness 25<sup>th</sup> International Conference, and the International Air Transport Association ‘Managing Safety’, Nov. 7-9, Seattle, WA, USA.

Rankin, W.L.; Allen, Jr., J.P., 1995, Use of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) to Enhance Safety and Reliability and Reduce Costs in the Commercial Aviation Industry. Proceedings of the International Air Transport Association’s 1995 Aircraft Maintenance Seminar and Exhibition “The Changing Vision” Nov. 14-16, Sydney Convention and Exhibition Centre, Sydney, Australia.

Rankin, W.L., Allen, Jr. J. P., Sargent, R. A., 1997. Maintenance Error Decision Aid: Progress Report. Proceedings of the Federal Aviation Administration’s 11<sup>th</sup> Meeting on Human Factors Issues in Aviation Maintenance and Inspection “Human Error in Aviation Maintenance”, March 12-13, San Diego, CA, USA.



# **User Feedback Regarding the Maintenance Error Decision**

## **Aid (MEDA) Process**

William L. Rankin

54th International Aviation Safety Seminar, 2001

### **[英文摘要]**

The application of human factors (HF) to commercial aviation maintenance began in the late 1980s and has been aimed at improving aviation safety. From 1990 to 1999 maintenance and inspection errors were the primary cause of 5.9 percent of worldwide commercial aircraft accidents and 8.3 percent of the U.S. commercial aircraft accidents. Recent regulatory activity has addressed maintenance error management processes. As one way of addressing maintenance error, Boeing, working with its customers, labors unions, and aviation authorities, developed the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) process. MEDA is a tool that is used to investigate the causes of maintenance errors that lead to events, such as flight interruptions (e.g. cancellations and diversions), equipment damage, and personnel injury. Since 1995, Boeing has offered MEDA implementation support to its airline customers. Over 130 maintenance organizations have received this support, and about 50 of these organizations are now using the MEDA process in their operations. Feedback from these 50 organizations is discussed, including details about how MEDA is used by these organizations and problems and successes they have had in using the process. The paper ends with a discussion on the major reasons that organizations give for not implementing the process, which include issues dealing with management support and punishment for errors.

### **[中文摘要]**

本論文敘述波音公司與數家航空公司及美國聯邦航空總署(FAA)等共同發展的維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)程序，MEDA 應用人為因素(Human Factors; HF)研究與維護錯誤相關事故之原因，透過錯誤調查程序找出促成事故之原因因素，以改進飛航安全。波音公司經由使用 MEDA 的航空器維護組織之回饋(Feedback)，證實 MEDA 對於降低航空器維護組織犯錯與改善安全以及操作效率有助益，但實施 MEDA 的過程中可能遭遇一些問題，其中

以缺乏管理階層的支持與承諾以及對於犯錯懲罰的歷史對於實施 MEDA 產生最主要的障礙。文中亦討論部份航空器維護組織不採用 MEDA 的主要理由，其中包括管理階層的問題與對犯錯的處分等。

在第一章簡介中，作者介紹維護錯誤決策輔助(MEDA)程序是為了進行錯誤調查而發展，大約有 50 家航空器維修組織仍使用 MEDA。在第二章背景說明，探討飛機意外事件(Incidents)與失事(Accidents)的維護/檢查錯誤之關係以及最近與應用於維護/檢查的人為因素(HF)相關之法規活動，其中包含錯誤調查程序使用的要求。在第三章實施 MEDA 的回饋中，作者說明由實施 MEDA 程序的維護組織得到回饋的資訊，包含成功的經驗、實施 MEDA 程序的改善情形、6 項可能遭遇的問題以及波音公司在推動 MEDA 時不足之處，此外，還包含決定不實施 MEDA 的維護組織的理由。在第四章總結與結論中，作者綜整前述內容並提到航空器維護組織未能實施 MEDA 的主要 2 項重要的關鍵原因是：缺乏管理階層的支持與承諾以及對於犯錯懲罰的歷史。

## I. 簡介

維護錯誤調查對於維持高水準的商用航空器安全而言是重要的工具。為了使維護組織實施錯誤調查程序，瞭解其他維護組織實施調查程序時曾遭遇的議題(Issues)以及結果之成敗，對於欲實施錯誤調查程序的維護組織而言是有助益的。本文獻簡述與商用航空器安全的維護與檢查錯誤之關係的現有資訊。亦探討最近民航主管當局所鼓吹/要求之安全方面的人為因素(Human Factors; HF)，主要著重於機械員(Mechanics)/工程師與維護錯誤調查之人為因素(HF)訓練。維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)程序是為了進行錯誤調查所發展，大約有 50 家航空器維修組織仍使用 MEDA。從這些組織的回饋可以瞭解實施錯誤調查成功與失敗的結果。

## II. 背景說明

本章探討飛機意外事件(Incidents)與失事(Accidents)的維護/檢查錯誤之關係以及最近與應用於維護/檢查的人為因素(HF)相關之法規活動，其中包含錯誤調查程序使用的要求。

### 維護/檢查錯誤與飛機失事(Accidents)

人為因素(HF)在商用飛機維護的應用開始於 1980 年代晚期一架波音 737-200 飛機在夏威夷上半部機身分離的事故，該失事(Accidents)事故肇因於事故發生前的檢查未發現裂痕(Cracks)。美國聯邦航空總署(FAA)的航空醫學辦公室贊助許多在美國的人為因素(HF)研究。早期的研究/發展著重於維護資源管理(Maintenance Resource Management; MRM)的發展——機械員(Mechanics)/工程師版本的組員資源管理(Crew Resource Management; CRM)。其他美國聯邦航空總署(FAA)贊助研究著重在：目視檢查(Visual inspection)，包含工作場所照明、在受

限的工作環境的人為績效(Human performance)、維護工作卡的重新設計與測試、檢查績效(Inspection performance)中速度與精確度的權衡(Trade-offs)；設計用來協助航空公司維護管理階層進行人為因素(HF)稽核之用的人因工程稽核計畫軟體系統(The ergonomics audit program software system)；以及航空維護人為因素(HF)指南(*Human Factors Guide for Aviation Maintenance*)。此外，波音和其客戶、工會以及民航主管當局在 1990 年代早期共同發展維護錯誤決策輔助(Maintenance Error Decision Aid; MEDA)程序來調查維護錯誤的原因。

最近的失事(Accident)統計強化了人為因素(HF)在維護上持續應用的需要。因為維護/檢查錯誤可能造成失事(Accident)或是失事(Accident)的主要原因：

1. 波音/ATA 研究發現從 1982 年至 1993 年全球失事(Accident)事故的 15%中，維護/檢查錯誤是造成失事(Accident)的促成因素或是失事(Accident)的主要原因。在這段時間，與維護/檢查錯誤相關的失事(Accident)是導致機上死亡(On-board fatalities)的第二名。
2. 從 1959 年至 1989 年維護/檢查錯誤是造成全球失事(Accident)事件主要原因的 2.6%，而此數據在 1990 年至 1999 年之間上升為 5.9%。
3. 從 1959 年至 1989 年維護/檢查錯誤是造成美國失事(Accident)事件主要原因的 3.7%，而此數據在 1990 年至 1999 年之間上升為 8.3%。

#### 與維護人為因素相關之法規活動

在 1990 年代維護與檢查錯誤是造成全球飛機失事(Accident)事故主要原因的 6%，而且促成另外約 10%失事(Accident)事故。而民航主管當局對此有何反應？國際民航組織(ICAO)附約 6 第 8 章是有關人為因素(HF)的首項行動。附約 6 第 8 章提到：

1. “由維護組織建立的訓練計畫必須包含與人為績效(Human performance)相關的知識與技巧的訓練，包含與其他維護人員及飛行組員的協調。”
2. “操作者的維護計畫之設計與應用必須遵守人為因素(HF)的原則。”

這些建議需求由全球民航主管當局逐漸地採納。而美國聯邦航空總署(FAA)並沒有任何型式的人為因素(HF)計畫。然而，有一項建議傳閱文件(Advisory circular)草案(Draft)應該會在 2001 年發佈，是關於鼓勵維護組織提出人為因素(HF)訓練，在美國一般稱為維護資源管理(MRM)，針對機械員(Mechanics)而設。美國聯邦航空總署(FAA)也鼓勵使用像維護錯誤決策輔助(MEDA)程序的維護錯誤調查程序。

在歐洲，JAR66 建立對於機械員(Mechanics)/工程師初步人為因素(HF)訓練的要求，而 JAR145 建立對於機械員(Mechanics)/工程師人為因素(HF)年度複訓的要求。此外，在歐洲一項修正提案通知(A notice of proposed amendment):NPA 145-10 正在發展中，其要求在每日的操作中應用人為因素(HF)。人為因素(HF)可以用來處理諸如：建立安全文化、處理易產生錯誤的系統/組件、溝通、疲勞、程序未遵循、工作中斷、輪班與工作交接問題。因



此，維護錯誤研究程序必須能夠符合此提出之法案。

加拿大民航主管當局(Transport Canada)最近已通過或正在通過一項要求人為因素(HF)訓練的法案，其維護安全計畫的發展包含人為錯誤研究以及一位負責執行者(其對於航空公司飛航安全負擔全責)。其中，人為因素(HF)訓練要求：

1. 初步人為因素(HF)訓練適用於所有技術員工，不論類別，包含下列主題：
  - 人為績效(Human performance)。
  - 影響人為錯誤的因素，包含疲勞、溝通及團隊的領域。
  - 錯誤管理，包含錯誤減輕(Error mitigation)和錯誤抑制(Error containment)。
2. 每年進行人為因素(HF)的複訓，訓練需求由維護安全計畫對於所有的意外事故(Incidents)、失事(Accidents)與安全的瑕疵所做的確認來決定其訓練內容。
3. 人為錯誤調查程序。
4. 讓員工回報任何意外事故(Incidents)或不安全狀況的方法，並特別著重在真實或潛在的人為失誤(Potential human failures)(例如員工可能回報導致錯誤的狀況，其潛在錯誤對於飛航安全造成衝擊)。

### III. MEDA 的回饋

波音從 1995 年起提供 MEDA 實施協助給超過 130 家商用航空器維護組織，波音嘗試從這些維護組織得到實施 MEDA 程序的回饋。波音寄出 2 種調查表(Survey)：1 種在 1996 年寄出，另 1 種在 1998 年寄出，調查表詢問維護組織收到 MEDA 實施協助時是否仍使用 MEDA，若答案為“是”，則詢問該維護組織的經驗與成就。最近，波音於 2000 年 9 月在西雅圖舉辦第一次 MEDA 使用者的小組會議，大約有 30 家航空器維護組織、4 個民航主管當局以及研究機構參與此會。本章提及的資訊是以上述收到的回饋以及與個別組織非正式的互動為基礎。

#### 實施的成功

MEDA 的實施是否成功依如何衡量而定，部份航空器維護組織表示未正式實施 MEDA，但已改變他們對維護錯誤的思考方式。即使他們並未實施正式的調查，他們以新的觀點來看維護錯誤的原因，他們摒棄單純責備犯錯的機械員/工程師，而以更開明的方式來面對維護錯誤，而且他們排除當發現犯錯時訴諸於處分的方式。

另一種對成功較嚴格的衡量方式是航空器維護組織是否真的以 MEDA 來實施調查程序。波音鼓勵航空器維護組織修改 MEDA 的程序以符合其本身需求。許多維護組織確實做到如此——通常他們改變程序的名稱且/或 MEDA 結果表格的一部份。波音相信大約有 50 家航空器維護組織現在仍使用 MEDA 或 MEDA 型式的程序。

## MEDA的使用

大部份航空器維護組織以品質稽核(Quality Assurance; QA)單位來擁有與執行錯誤調查程序。由於品質稽核(QA)本身早已從事這方面的工作，所以執行MEDA的調查只是正常品質稽核(QA)責任的擴展。約有5或6家航空器維護組織由飛航安全部門來擁有與管理MEDA的程序。另有1家是由維護控管部門來執掌MEDA的程序。

許多航空器維護組織以兩人一組的方式來進行MEDA的面談。通常組成份子包含一位品質稽核(QA)人員及犯錯的機械員/工程師。有些航空器維護組織具有工會，因此工會代表亦是面談成員之一。一些航空器維護組織在面談中使用一位人員。

MEDA可用來調查導致飛航操作程序中斷的事故——例如航班取消(Flight cancellation)、地面滑回(Gate return)、轉降(Diversion)、空中關車(Engine in-flight shutdown)——裝備損壞(Equipment damage)以及人員受傷(Personal injury)等事故。而大多數的使用者調查導致飛航操作程序中斷(Flight operations process interruption)的事故。高階維護(Heavy maintenance)、停機線維護(Line maintenance)、或發動機/組件修理的機械員/工程師可能犯這些錯誤。大部份的維護組織調查高階維護(Heavy maintenance)導致程序中斷的錯誤。作者亦瞭解許多維護組織調查造成裝備損壞(Equipment damage)的錯誤。此外，有2個航空器維護組織調查造成人員受傷(Personal injury)的錯誤。

在MEDA的使用頻率方面，許多航空器維護組織一年執行5到10件個案，少數航空器維護組織一年執行15到25件個案。極端的案例，例如有2個航空器維護組織5年執行超過1000件個案。

這些航空器維護組織執行MEDA後得到哪些成果呢？作者詢問MEDA使用者之後，有些使用者提供統計數據，典型的回應是提供MEDA調查得到的特定之改善，這些回饋包含：

1. 1個使用者降低18%延遲起飛；
2. 1個使用者降低48%必須呈報民航主管當局的事件數；
3. 2個使用者改進了鼻輪起落架上鎖/解鎖程序(Lock/unlock procedures)；
4. 1個使用者發展了最長輪班長度與最短休息時距的新策略；
5. 1個使用者創造了電子輪班交接系統，此外，
6. 許多使用者運用MEDA調查結果在他們的人為因素警覺性訓練計畫上。

所有的MEDA程序的使用者成功的故事告訴我們，相信他們從使用MEDA程序有所獲益。

## 實施/使用的議題

在實施MEDA的過程中，不論剛開始或繼續實施並非意謂沒有任何問題發生，至少有6項可能遭遇的問題有：

1. 缺乏管理階層的支持；

2. 對犯錯的懲罰之歷史；
3. 不足的促成因素資訊；
4. 管理階層相信犯錯是由於粗心/疏忽；
5. 管理階層處理促成因素的能力；
6. 沒有能力確定管理階層的促成因素之原因。

這6項可能遭遇的問題分別詳述如下：

**1.缺乏管理階層的支持：**波音發現許多未實施MEDA的航空器維護組織是因為管理者未被授權負責實施MEDA或管理者被授權負責實施MEDA但未執行其責任。新的管理者提出承諾不是因為個人相信MEDA程序是有助益的，就是因為特別嚴重的事件起因於維護錯誤，使其改變對於錯誤調查重要性的信仰。作者認為管理階層的支持與承諾是實施MEDA最重要的因素。

因為管理階層的承諾之重要性，MEDA的實施包含兩個與管理者的會議：第一個是2到4天早晨的資深管理階層的總論(Senior management overview)會議，總論之目的是為了說明：

- (1) 基於安全與金錢的考量，維護組織需要調查維護錯誤；
- (2) MEDA錯誤哲學；
- (3) MEDA錯誤調查程序；
- (4) MEDA的使用者基於調查發現與實施MEDA以回應調查的發現之改進所獲致的成功；
- (5) 懲罰犯錯的機械員/工程師的負面結果以及促進MEDA所需的紀律策略；
- (6) 實施MEDA管理階層的責任等。

第二個會議是實施規劃會議(Implementation planning meeting)，是為負責實施MEDA的管理者而設，讓負責實施MEDA的管理者能夠發展一步一步實施MEDA的計畫。

**2.對犯錯的懲罰之歷史：**有對犯錯者懲罰歷史的航空器維護組織通常會造成實施MEDA的延遲情況產生，因為若機械員/工程師相信犯錯會被懲罰則會選擇不參與調查程序或不說實話。因此，在實施MEDA之前必須建立公平的紀律策略。其他維護組織嘗試使用MEDA，發現機械員/工程師因為害怕遭受懲罰而不願說明，導致延誤進一步的MEDA程序，直到新的紀律策略才能正式實施MEDA。而建立與實施新的紀律策略才能正式實施MEDA必須花1個月至2年。通常具有工會的維護組織需要花更長的時間，因為新的策略需要被工會及管理階層認可。

許多事件的調查發現“誠實的錯誤(Honest errors)”和“冒險的行為(Risk-taking behaviors)”(例如：急忙完成一項工作，跳過操作檢查或跳過一項檢查)。業界估計冒險的行為(Risk-taking behaviors)被發現在錯誤導致的事件(Error-caused events)中佔50%至80%。一項良好的紀律策略必須能夠考量所有的因素而且達到公平或公正的紀律決策(Fair or just discipline decision)。

**3.不足的促成因素資訊：**不足的促成因素資訊通常是由於不良的面談技巧或調查者的偏見所致。一些調查者不相信MEDA促成因素哲學，而相信犯錯大部份是由

於粗心或疏忽，因此，需要進行調查發現的品質檢查(Quality check)與額外訓練以降低這類問題。

4.管理階層相信犯錯是由於粗心/疏忽：管理階層通常依照MEDA調查實施的改善情況做決策，若管理階層相信犯錯僅是由於粗心或疏忽而不是促成因素所造成，則他們會著重在相關的懲罰而非改善問題。

5.管理階層處理促成因素的能力：對於管理階層而言，不良的採光、校正工具的不足、不佳的輪班交接程序或不良的書面的工作卡等比與管理不善相關的促成因素容易應付。管理不善相關的促成因素包括：不當的幕僚、不佳的監督規劃、缺乏安全文化以及允許易造成錯誤的規範行為(Error-prone normative behavior)存在等(例如：在維護工作結束時對於跳過操作檢查程序採取寬恕的態度)。一些管理階層無法認知這些與管理階層相關的促成因素和錯誤導致的事故之間的關係，因此，改善這類促成因素並不被考慮。其他有些情況是管理階層即使知道管理階層的促成因素與錯誤導致的事故之間的因果關係，但卻未透過改善行動來解決。

6.沒有能力確定管理階層的促成因素之原因：此議題最近引起我們的注意。

MEDA 程序可以確定，例如：管理階層的決策是錯誤產生的促成因素，但卻不能確定為何管理階層在最初做的決策。

### 實施 MEDA 不足之處

在一方面，大約 50 家航空器維護組織在 1995 年之前未實施錯誤調查程序，而現在正在使用中。在另一方面，大約 80 家航空器維護組織接受 MEDA 實施協助但卻沒有實施此程序。我們從這當中學到了什麼？

首先，管理階層的支持是實施 MEDA 能夠成功的關鍵因素。波音的一些 MEDA 實施協助是以研討會形式(Seminar-type)提供給 4 到 10 家航空公司的員工參與為期 1 天的研討會。大約 20 家航空器維護組織僅接受此類 MEDA 實施的協助，而且當中沒有任何 1 家航空器維護組織成功實施此程序。這是因為沒有管理階層的支持，而且參與者沒有組織的權力，當他們回到工作場所，必須去說服管理階層實施 MEDA，因此不易成功。因此，研討會形式(Seminar-type)的訓練可能對 MEDA 的警覺性有幫助，但卻對於確認 MEDA 的使用而言不是一個好方法。

儘管在 MEDA 實施的協助著重在管理階層的支持，大約 60 家至 110 家航空器維護組織接受完整的 MEDA 實施協助，卻在我們離開之後沒有實施 MEDA。這些組織中大多數決定不實施 MEDA 的航空器維護組織是由於他們不相信實施 MEDA 的效益會高過於支出成本(Costs)。不是他們相信實施 MEDA 的效益相當小，就是人員的成本太高。一些案例是：管理者被授權負責實施 MEDA 但缺乏實施 MEDA 程序的能力，經過幾個星期至幾個月的實施最後放棄。

60 家航空器維護組織中少數決定不實施 MEDA 是因為其他的理由，包含：

- (1) 管理階層(錯誤地)相信使用 MEDA 必須放棄他們處罰執行不安全作為而造成錯誤的機械員(Mechanics)/工程師的能力。
- (2) 若 MEDA 哲學可接受的話，機械員(Mechanics)/工程師可以自在地犯錯。

(3) 管理階層相信犯錯的機械員(Mechanics)/工程師將不會參與 MEDA 調查面談，因為害怕遭受懲罰，因此實施 MEDA 調查將不會有所助益。

上述“懲罰犯錯”的文化是 1 種組織文化。然而，對於犯錯的懲罰或不願意討論錯誤也可能是由於該國文化或該國民航主管當局的緣故，例如對於犯錯的機械員(Mechanics)處以罰款及執照停用或吊銷。在美國，一些航空器維護組織婉拒實施 MEDA 是害怕民航主管當局將實施結果來質問該組織。另外一些美國的航空器維護組織僅使用 MEDA 來調查必須呈報給民航主管當局的事故(例如中止起飛(Rejected takeoffs)或發動機空中關車(In-flight engine shutdowns))。“懲罰犯錯”文化的存在是實施錯誤調查程序的主要障礙。

很明顯地，對於犯錯遭到懲罰的威脅對於實施 MEDA 程序有負面的影響。因此，資深管理階層的總論(Senior management overview)包含例行的懲罰負面的衝擊之深度討論以及鼓勵管理階層實施新的公平紀律策略，並且鼓勵參與錯誤調查。

#### IV. 總結與結論

全世界商用飛機失事(Accident)事故其主要原因是維護錯誤的比例在過去 10 年與之前 30 年相比超過 2 倍。為了回應此一現象，民航主管當局開始要求運用人為因素(HF)，更明確地是在維護操作中使用維護錯誤調查。在 1990 年代中期開始，波音公司協助其航空公司客戶實施 MEDA 程序來調查維護錯誤的原因。波音公司提供全球超過 130 家航空器維護組織 MEDA 實施協助，目前約有 50 家航空器維護組織現在仍使用 MEDA 程序。

典型使用 MEDA 的航空器維護組織：品質稽核(Quality Assurance; QA)單位負責與使用 MEDA 錯誤調查程序；調查面談由團隊來執行；高階維護(Heavy maintenance)導致的錯誤經過調查；一年執行 5 到 10 件調查個案。在實施 MEDA 的過程中，可能遭遇的問題包含：1.缺乏管理階層的支持，2.對犯錯的懲罰之歷史，3.不足的促成因素資訊，4.管理階層相信犯錯是由於粗心/疏忽，5.管理階層處理促成因素的能力，6.沒有能力確定管理階層的促成因素之原因。航空器維護組織未能實施 MEDA 的主要原因是：缺乏管理階層的支持與承諾以及對於犯錯懲罰的歷史。

總之，錯誤調查被證實對於降低航空器維護組織犯錯與改善安全以及操作效率有助益，但對於一些航空器維護組織而言並不容易達成。若航空界能實施公平、公正的紀律策略在錯誤調查上，則錯誤調查程序的實施將較為容易且能夠從錯誤調查中獲益。

#### [本篇評析]

本文獻優點：

1. 經由使用 MEDA 的航空器維護組織之回饋(Feedback)加以分析，證實 MEDA

對於降低航空器維護組織犯錯與改善安全以及操作效率有助益。

2. 詳述實施 MEDA 的過程中可能遭遇的問題，可提供欲實施 MEDA 調查程序的航空器維護組織參考借鏡。
3. 明白指出摒棄單純責備與懲罰犯錯的機械員/工程師，而以更開明的方式來面對維護錯誤，以及管理階層的支持與承諾是實施 MEDA 調查程序成功的重要關鍵。
4. 本研究提到的建立公平、公正的紀律策略在錯誤調查上，而非以懲罰為目的；改善管理階層認知與管理階層相關的人為錯誤促成因素和錯誤導致的事故之間的關係，對於國內相關航空公司或航空器維護組織的錯誤調查管理上具有相當高的參考價值。

## [相關文獻]

Rankin, W.L.; Allen, J.P., Jr. (1996)“Boeing introduces MEDA: Maintenance Error Decision Aid.” *Airliner*, April-June, 1996.

Rankin, W.; Hibit, R.; Allen, J., Jr.; Sargent, R. (2000)“Development and evaluation of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) process.” *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2000, 26, 261-276.

Shepherd William T.; Layton, Charles F.; Gramopadhye, Anand. (1995) “Human Factors in Aviation Maintenance: Current FAA Research.” In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio: Dept. of Aerospace Engineering, Applied Mechanics, and Aviation and the Aviation Psychology Laboratory at the Ohio State University, 1995.

Taylor, J. (1998). “Evaluating the effects of maintenance resource management (MRM) interventions in airline safety (Final report: FAA Grant #96-G-003).” Santa Clara University (available at the web site: [hfskyway.faa.gov](http://hfskyway.faa.gov)).

Drury, Colin G. (1998) “Ergonomics on the Hangar Floor: Structuring the Intervention Process.” In *People & Technology in Harmony: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38<sup>th</sup> Annual Meeting*. Nashville, TN: Human Factors and Ergonomics Society, P.O. Box 1369, Santa Monica, CA 90406-1369, 1994.

U.S. Federal Aviation Administration (1995) *Human Factors Guide for Aviation Maintenance* (available at the web site: [hfskyway.faa.gov](http://hfskyway.faa.gov)).

Boeing/ATA (1995). Industry Maintenance Event Review Team. Available from William L. Rankin, Boeing, P.O. Box 3707, MC 2J-13, Seattle, WA 98124-2207, USA.



# Situation Awareness in Aircraft Maintenance Teams

Mica R. Endsley et al.

International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000)

301-325

## [英文摘要]

Research was conducted at a major airline to investigate factors related to situation awareness in aviation maintenance teams. Situation awareness has been found to be critical to performance and error prevention in many environments. Its role in the maintenance domain for the performance of both individuals and teams is discussed. Situation awareness requirements for aviation maintenance were determined as well as the technologies and personnel resources used to achieve situation awareness. Barriers and problems for situation awareness both across and within teams involved in aviation maintenance were revealed. Based on this analysis, recommendations for the development of a training program to improve situation awareness in aircraft maintenance at the individual and team level are presented.

### *Relevance to industry*

The importance of situation awareness for preventing errors in maintenance is discussed as well as factors that contribute to problems with situation awareness across multiple teams. Specific recommendations for improving situation awareness through organization and system design and through training are made that are applicable to a wide variety of industrial settings.

## [中文摘要]

本研究討論有關1.航機維修團隊間狀況警覺的因素；2.狀況警覺在維修領域中對於個人以及團隊表現之影響；3.航機維修之狀況警覺需求；4.維修團隊本身以及不同團隊之間狀況警覺的問題與障礙；5.根據以上的分析，提出有關狀況警覺訓練計劃發展的相關建議。本文首先介紹維修領域的狀況警覺問題，然後說明研究採用之方法，接著提出研究結果與討論，之後針對狀況警覺訓練提出建議，最後說明狀況警覺訓練課程的評估結果。



## [內容]

### 1. 背景

#### 1.1 狀況警覺 Situation Awareness

根據過去的相關研究可以發現，目前世界上約有12%的航機事故肇因於維修或檢驗問題，而其中1/3的航機故障係由於維修工作的缺陷所引發。在航空器維修領域可能發生的人為錯誤包括：航機返回服務前維修人員未察覺航機或其子系統之修復狀態、重要資訊解讀困難或錯誤、不同人員或團隊處理同一架航機之維修工作可能會加重資訊解讀上的困難，以及不同班別或單位的維修人員可能因為交班時的溝通協調不良問題而導致維修缺陷。而造成上述所有問題的根本在於維修人員多著重維修技術的加強，因此缺乏狀況警覺(SA)的能力與相關訓練。

狀況警覺的定義為在一定的時間與空間內，對於事件的偵測，包括其意義的了解與對於其未來情況的預測。就航空器維護而言，狀況警覺是指維修人員對於正在進行修復的航空器系統或次系統狀態之警覺程度。作者將航空器維護人員狀況警覺(Situation awareness)程度分成三級：Level 1 SA：航空器可被察覺的故障的警覺程度，例如察覺到金屬疲勞(Metal fatigue)、某些組件鬆脫或遺失(Loose or missing items)、滑油或其他流體滲漏(Oil or fluid leaks)、螺牙磨損(Tread wear)或系統功能不正常(Systems not functioning properly)。Level 2 SA：維護人員瞭解航空器系統狀態的警覺程度，亦即對系統狀態重要訊息的瞭解程度，例如對於察覺之問題根本原因之診斷。Level 3 SA：對航空器系統未來狀態的警覺程度，亦即維護人員可預知特定瑕疵(Defect)對航空器性能未來造成的影響程度，是動態系統狀態警覺的最高層級。由於維修人員缺乏SA相關訓練，且多半不清楚其執行之維護工作對於航機後續飛行表現有何影響，因此很難針對發現之航機系統狀態做出正確的預測，要做到Level 3 SA有其困難存在。

#### 1.2 團隊狀況警覺 Team Situation Awareness

航機維修工作，如同其他領域一般，隨著多人組成的團隊以及多個團隊相互合作的實際情況，其對於狀況警覺的需求亦隨之加重。團隊當中的人員有共同的目標，彼此的活動會相互影響，而且透過分工合作的方式來達成其共同之目標，因此不同人員由於工作項目的差異，也有不同的狀況警覺需求；然而基於人員間彼此的工作活動會相互影響的情況，故亦有共同的狀況警覺需求。團隊狀況警覺可以定義為：每一位團隊成員對於其工作所需之狀況警覺的掌握程度。當團隊中的成員無法得知其所需之必要資訊時，則團隊工作即可能出現缺失，因此團隊SA的概念著重於需要團隊中的每一成員擁有其工作所必須之資訊。另一方面，如同先前所提，團隊中人員各司其職，但彼此的活動卻會互相影響，故一好的團隊表現不僅需要其中人員對於本身的工作需求有良好的狀況警覺外，亦得注意與其他人員間共同的狀況警覺需求。

此外，如同其他領域，航空器維修亦經常發生由於人員換班或是不同團隊(維

修單位)間資訊傳遞與溝通的缺漏所造成之錯誤。而過去並沒有以狀況警覺SA的觀點對於上述錯誤進行分析的研究。因此本研究的主要目的在於說明航機維修之狀況警覺困難問題，相關資訊可用來加強團隊的狀況警覺能力。研究中討論航空器維修之狀況察覺問題，確認與分析不同團隊之SA需求，分析目前維修環境中的SA要求如何達成，並且藉由加強訓練的方式來促進維修團隊SA能力之提升。

## 2.研究方法

本研究包含(1)確認維修團隊之狀況警覺需求與資源，以及(2)促進狀況警覺訓練之評估等兩部份。確認SA需求的主要目的在於找出維修環境當中，人員對於本身的工作需要察覺、了解以及預測的部份。而確認這些需求之後，再根據現有的程序進一步評估加強團隊狀況警覺的訓練需要。本研究以美國一主要航空業者的維修程序作為研究對象，並且針對其B-CHECK的工作內容加以分析。B-CHECK內容包括航電系統、航機內部與外部組件、潤滑、發動機檢查、機翼與起落架檢查等。本研究首先確認在B-CHECK的維修運作中之SA需求與資源，根據這些需求與資源來建立團隊SA的訓練概念。研究中運用團隊SA CONTEXT ANALYSIS方法來進行分析，確認SA需求的方法可以分為兩個部份：SA需求分析以及SA資源分析(圖2)。

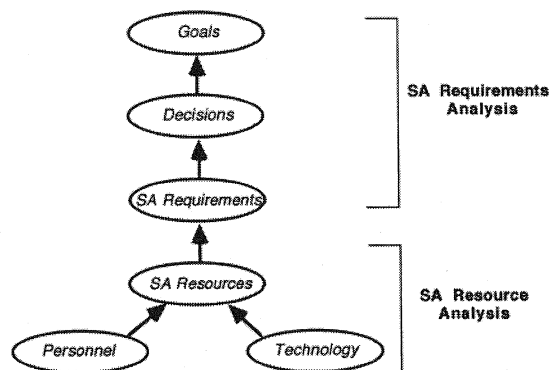


Fig. 2. Team SA context analysis.

### 2.1 SA 需求分析

需求分析的第一步為確定人員在航機維修時的特定SA需求，即透過目標導向型的任務分析來評估：(1)維修人員之目標與子目標；(2)與這些目標有關之決策需求；以及(3)偵測、理解與預測等三等級決策之SA需求。需求分析藉由資深之維修專家知識探究(EXPERT ELICITAION)、維修活動之觀察與維修程序文件回顧等三種方法，來找出維修組員的狀況警覺需求，訪問對象則包括監督者(SUPERVISOR)、四名維修人員領班(LEAD TECHNICIAN)、四名維修人員(AMT)與維修作業管理(MOC)、AIRCRAFT-ON-GROUND(AOG)、規劃與補給部等相關人員。

### 2.2 SA資源分析

此外，SA資源分析的則分為人員資訊以及技術資訊兩部分。運用半結構式

分析方法(CONTEXTUAL INQUIRY ANALYSIS)與需求分析的專家訪談同時進行，了解維修人員以及組織資源在完成特定任務中的功能與角色，同時描繪出團隊人員之間與團隊和團隊之間溝通的模式，並且說明完成任務時可能發生之人與人之間或是團隊與團隊之間的溝通協調障礙及問題。

再者由於現行系統的技術資訊已有明確的文件建檔，因此透過對於現行技術資訊的回顧，配合上述之狀況警覺需求分析，來評估現行系統有效支援團隊SA的程度，並且根據此評估結果提出加強團隊SA訓練的建議。

3.結果

本研究透過訪談方式首先依據不同人員之分類，如：監督人、維修領班及維修人員(AMT)，建立其各自的工作目標與子目標清單，接著再確認出完成各個目標所需之狀況警覺需求，隨後決定完成這些目標所需配合之人員資源與技術資源需求，最後說明完成這些工作目標所會遇到的障礙與問題。由於各類人員的清單項目種類繁多，故本研究以AMT的目標與相關SA需求來做說明。

3.1 目標與功能

B-CHECK的主要工作內容包括：(1)駕駛艙內的航電系統；(2)客艙內部；(3)機體外部；(4)左右發動機與機翼；(5)輔助動力系統(APU)；(6)起落架潤滑；以及(7)延遲改正項目等。

維修人員執行任務主要必須達成航機安全性以及準時交機兩項目標。藉由專家經驗的探究結果，可以歸納出維修團隊完成任務的目標與次目標(表1)。至於其他更高層級人員之工作目標與AMT的目標則是大同小異，不同的是其他人員的子目標為當AMT工作遇到困難時，如何來協助其解決相關問題。在檢視所有航機維修相關單位之任務目標後發現，各單位之間有相當程度的相互影響關係，由此可知，不同單位之間良好的資訊傳遞相當重要。

Table 1  
AMT goals

1.0 Aircraft safety
1.1 Deliver aircraft in airworthy, safe condition
1.1.1 Find potential problems
1.1.2 Solve problems
1.1.3 Make repairs
1.1.3.1 Determine part availability
1.1.3.2 Placard problem
1.1.4 Service aircraft
1.1.5 Provide quality workmanship
1.2 Keep area clean
2.0 Deliver aircraft on time
2.1 Prioritize tasks

3.2 SA 需求

透過訪談與實地觀察結果，配合先前建立之工作目標與子目標，則可以確認完成這些工作之相關SA需求(表2)。研究中進行的分析涵蓋完成工作之三級等級的SA需求(偵測、理解與預測)，根據這些需求清單可以發現下列幾項結果：

- (1) 同一時間內若有兩個以上的工作在進行時，表2之SA需求並未考慮其進行的先後順序。
- (2) 清單所列項目為目標而非任務，且未說明相關資訊如何取得。
- (3) 此分析試圖確認出理想中AMT執行工作時應該要知道的相關資訊，然而根據目前維修環境中的系統，要AMT根據不夠完整的資訊來達成清單中的需求項目實際上有困難存在。
- (4) 此分析著重於不同情況中動態的SA需求，未考慮執行某些工作任務之既定的程序或規定。

任何技術或是協助維修人員工作的改變，皆會直接影響到狀況警覺需求的正確性。

Table 2 (Contd.)

Table 2  
AMT SA requirements

1.0 Aircraft safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>part &amp; tooling availability</li> <li>where</li> <li>when it will be here</li> <li>delivered or pick-up</li> <li>arrival flight number</li> <li>arrival gate number</li> </ul>
1.1 Deliver aircraft in airworthy, safe condition	
1.1.1 Find potential problems	1.1.3.2 Placard problem
<ul style="list-style-type: none"> <li>Item within or beyond serviceable limits?</li> <li>Item near limits needing preventive maintenance?</li> <li>reported problems <ul style="list-style-type: none"> <li>pilot reports</li> <li>placards</li> </ul> </li> <li>new problems <ul style="list-style-type: none"> <li>worn tires/brakes</li> <li>miswiring</li> <li>dents/damage</li> <li>loose items</li> <li>fuel/oil leaks</li> <li>items out of ordinary</li> <li>functioning of convenience items</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can problem be placarded?</li> <li>type of problem</li> <li>Minimum Equipment List (MEL) status</li> <li>Deferred information placard (DIP)</li> <li>Open item list (OIL)</li> <li>redundant systems available</li> <li>control number</li> <li>log page number</li> <li>flight number</li> <li>employee number</li> </ul>
1.1.2 Solve problems	1.1.4 Service aircraft
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fix problem or defer?</li> <li>potential impact of problem on flight safety</li> <li>time required to solve problem <ul style="list-style-type: none"> <li>time required to get part</li> </ul> </li> <li>length of time item can be deferred without repair</li> <li>location(s) aircraft is going to <ul style="list-style-type: none"> <li>facility maintenance capabilities</li> </ul> </li> <li>today's load</li> <li>problem deferability category (placardable, groundable) <ul style="list-style-type: none"> <li>minimum equipment list (MEL) status</li> </ul> </li> <li>How to solve problem? <ul style="list-style-type: none"> <li>impact of potential approaches on time</li> <li>impact of potential approaches on flight safety</li> <li>impact of potential approaches on other tasks/jobs <ul style="list-style-type: none"> <li>possible methods</li> <li>possible sources of problem</li> <li>maintenance/failure history of item</li> <li>part availability (see 1.1.3.1)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>proposed repair authorized <ul style="list-style-type: none"> <li>Engineering Change Request Authorization number</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Service activities needed? <ul style="list-style-type: none"> <li>tasks to be done</li> <li>fuel status</li> <li>lavatory status</li> </ul> </li> <li>Are we meeting schedule? <ul style="list-style-type: none"> <li>time aircraft due at gate</li> <li>delays to aircraft <ul style="list-style-type: none"> <li>estimated time of arrival at gate</li> </ul> </li> <li>aircraft repair status</li> </ul> </li> <li>Where do we need to go? <ul style="list-style-type: none"> <li>gate assignments</li> <li>permission to taxi</li> <li>permission to do high power run-up</li> <li>taxi/runway clearances</li> </ul> </li> <li>Current status of job? <ul style="list-style-type: none"> <li>status of other tasks impacting own task</li> <li>other tasks own task will impact</li> <li>who can help</li> <li>who needs help <ul style="list-style-type: none"> <li>tasks started</li> <li>tasks completed</li> <li>tasks/activities being done next</li> </ul> </li> <li>who is doing each task</li> <li>activity currently being performed by others</li> </ul> </li> <li>major problems encountered</li> </ul>
1.1.3 Make repairs	1.1.5 Provide quality workmanship
1.1.3.1 Determine part availability	<ul style="list-style-type: none"> <li>Activities performed correctly? <ul style="list-style-type: none"> <li>tasks performed correctly <ul style="list-style-type: none"> <li>steps to be done</li> <li>steps completed</li> <li>location of designated components on system</li> <li>system type</li> <li>paperwork completed</li> <li>parts installed correctly</li> <li>inspection approved</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Correct part supplied? <ul style="list-style-type: none"> <li>manufacturer's part number</li> <li>aircraft type, model, tail number</li> <li>maintenance and equipment list number</li> <li>effectivity number</li> </ul> </li> <li>How long to get part here? <ul style="list-style-type: none"> <li>in-stock status <ul style="list-style-type: none"> <li>manufacturer's part number</li> <li>aircraft type, model, tail number</li> <li>maintenance and equipment list number</li> <li>effectivity number</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	

Table 2 (Contd.)

---

1.2	Keep area clean
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Area free of foreign objects?</li> <li>• loose objects (screws, parts, ...), tools, trash</li> </ul>
2.0	Deliver aircraft on time
2.1	Prioritize tasks
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Best order for tasks? <ul style="list-style-type: none"> <li>• task time requirements</li> <li>• interdependence/sequencing requirements of tasks</li> <li>• part availability (see 1.1.3.1)</li> <li>• problem deferability category (placardable, groundable) <ul style="list-style-type: none"> <li>• minimum equipment list (MEL) status</li> </ul> </li> <li>• availability of kits, tools, equipment, vehicles</li> <li>• availability of personnel, skill level</li> </ul> </li> </ul>

---

### 3.3 SA 資源：人員

本研究透過半結構式詢問方法來確認達到表2中SA需求之人員資源與技術資源。在SA人員資源分析的部份，由圖3可以看出完成B-CHECK工作需要不同維修團隊間的相溝通與協調才能達成，其相互依賴性極高，圖3中之聯結直線與弧線顯示不同單位間的溝通模式。以AMT的角度來看，其認為完成工作任務需要與其他包括：維修人員、機場運作(塔台)、公司運作(機坪運作)、維修領班與補給部等不同單位與人員的協調溝通，而與其他維修人員以及維修領班間的溝通次數分居第一與第二頻繁的位置。整體而言，AMT完成某依特定工作需要與3-14個不同單位的溝通與協調，以取得完成工作和狀況警覺之必要資訊。

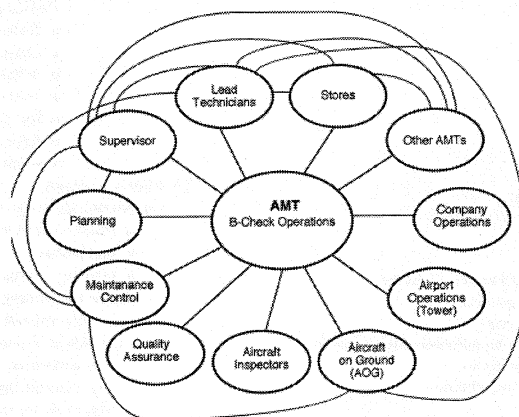


Fig. 3. AMT personnel SA resources.

### 3.4 SA 資源：技術

此外，SA技術資源分析方面，航機維修中主要用於傳遞資訊的工具包括：維修資訊傳遞系統、跨組織的未整合資料庫以及維修相關技術文件與手冊等。

### 3.5 障礙與問題

再者，如同表4所示，透過專家訪談的結果歸納出幾項影響有效溝通與工作表現的問題，並且以其發生頻率加以排列，這些問題為一般維修團隊在執行工作時所必須克服的困難，包括組織面、技術面以及人員面等幾個部份，例如：缺乏完成工作之合適工具；組件存貨與供應時間(TURNAROUND TIME, TAT)難以預測；特定航機之組件追蹤困難；不同電子資料庫之資訊的轉換與使用有困難，以及期望建立整合性資料庫，使航機活動與組件之監控更有效率；管理階層對於人員工作結果優劣的回饋不足等組織問題；維修單位間的溝通與相互了解；團隊中

由於成員間的資訊傳遞不足，導致團隊合作的無效率產生；換班工作與疲勞問題；跨組織之縮減；更新庫存電腦系統；人員需要更多的電腦訓練；工作程序改變但工單未能及時更新；維修工具的保存不良；需要更具前瞻性之程序，讓維修人員有主動參與問題決策的機會，提早解決，而非被動式等到問題爆發再來想辦法；簡化組件取得與使用的程序；人員經驗不足等。

Table 4  
Barriers to performance

Barrier	Frequency
Lack of tooling; out-sourcing of parts	13
Parts availability; determining status of parts	10
No backlog of critical parts	10
Non-integrated databases; redundancy of tasks; hard to find needed information	10
Tracking the parts; getting the parts to the aircraft	8
Computerized database	8
Lack of support and feedback from management	8
Other organizations don't understand what we do, problems we face	8
Lack of teamwork; information being passed among & between team members	7
Personality conflicts	7
Instability of organization	7
Downsizing of organization	6
Shiftwork; fatigue	6
Computer system in stores	5
Workcards; changing of procedures with aircraft	5
Need for better information and communication to solve problems locally	5
Streamline engineering authorizations	4
Poor housekeeping and maintenance of tools	4
Computer system for customer service	3
Need more training on using computer system	3
Need for more proactive procedures	3
Need to develop consistent procedures for obtaining/borrowing parts	3
Need more explicit requirements for contract suppliers	3
Low experience levels of some personnel due to lay-offs and job changes	2

#### 4. 討論

根據本研究之SA需求與資源以及障礙與問題分析可以看出，航空器維護中所遇到的團隊狀況警覺之最大問題在於組織或個人間溝通產生落差(Gaps)，其產生原因則包括目標之差異(mismatched goals)、缺乏組件(Parts)之相關資訊、缺乏其他團隊實際需要資訊之了解或是誤解其他團隊傳遞之資訊等。

##### 目標之差異

維修人員經常需要確定其所收到的組件是否正確？或是他們何時且以何種方式會收到正確之組件。AMT與補給部之間的溝通存在差異(GAP)，因為補給部常會送錯組件或是由於存貨不足而無法提供正確之組件，這樣的情況便可能造成維修的錯誤或是導致維修效率不佳與航機延誤。此外掛籤的處理程序亦為顯著的問題，AMT可能會花很多時間拆卸一個組件，結果發現無法處理該種故障，再將其重新組裝後送往下一維修站，造成維修資源不必要的浪費。現行的維修系統雖無法避免掛籤之產生，然而最好的情況是問題能夠被立即處理解決，但回顧有關維修支援單位如MOC的目標與子目標，可以發現其著重於如何讓現有掛籤於期限前修復更勝於如何避免新的掛籤產生，此類之目標差異可能是造成團隊間誤解

的主因。

缺乏組件之相關資訊

通常AMT皆被要求需要回報領班或上級其工作進度，然而當他們要求獲知工作任務的進度時，卻往往僅獲得有限的資訊。因為如此，AMT沒有辦法對於其他成員工作之缺失進行補強改正也沒有辦法瞭解他人的工作對於本身會有何種影響，反之亦然。故缺乏即時更新之團隊間工作進度資訊，會造成團隊間之SA落差(GAP)。

缺乏其他團隊需要資訊之了解或誤解資訊

維修領班或是監督人於維修工作需要其他單位協助時扮演協調人的角色。因此其必須透過AMT來了解整個維修工作的狀況與相關資訊，而此情況則十分容易造成資訊傳遞的誤差，若協調人本身對於情況的掌握程度不足，則可能造成無法傳遞必要的資訊給其他團隊，甚至沒有辦法傳遞足夠的資訊以供maintenance control等單位做出適當的決策，造成溝通上的問題。此外維修領班或督導亦負責必須將維修決策傳遞給AMT，然而若僅傳遞決策結果而不告知其原因，則AMT有可能無法了解為何做出這種決定，而且會影響AMT提出其適合該決策之相關資訊意願，因此維修領班或是監督人員必須充分了解其他團隊需要知道哪些資訊以及自己本身需要得知哪些訊息。

5. 系統與組織相關建議

表5所列即為本研究提出之系統技術與組織相關改進建議。然而有效提升航空器維修組織之狀況警覺能力，亦必須仰賴人員能夠有效利用這些資訊來建立更高層級的SA評估，如：了解狀況以及預測未來趨勢，因此本研究亦建立加強維修人員SA之訓練計畫。

Table 5  
Technological and organizational interventions

Information system improvements
<ul style="list-style-type: none"><li>● Support for information exchange with out-sourced maintenance organizations and vendors</li><li>● Support to insure proper parts are available and supplied for jobs</li><li>● Support for tracking parts on order</li><li>● Integration of multiple databases used within the maintenance organization</li><li>● Support for tracking MEL items, parts reliability information, and "hot" items</li><li>● Redesign of user interface/usability of computer support system</li></ul>
Organizational and personnel improvements
<ul style="list-style-type: none"><li>● Better feedback and guidance from management</li><li>● Better understanding between maintenance organizations</li><li>● Better teamwork</li><li>● Improved organizational stability</li><li>● Improved use of consistent procedures for engineering authorizations and obtaining parts</li><li>● More training and use of experienced personnel</li><li>● Organizational streamlining</li><li>● Increased involvement by personnel at all levels in problem solving</li></ul>

6. 團隊SA訓練建議

根據本研究所做之分析與討論，在此提出幾項改進維修團隊SA之訓練概念。

### 6.1 Shared Mental Model :

從研究之分析可以發現，不同團隊或組織之間對於其他人知道什麼、不知道什麼或是需要知道什麼，並沒有充分的了解，而要達到團隊之良好狀況警覺則必須仰賴清楚的了解當資訊傳遞到其他人員或團隊時所代表的意義。此外，維修團隊之間的資料傳遞不應該僅是數據上的交換，各團隊中的人員應該要了解其他團隊人員對於該資訊的了解程度以及可能的解讀方法，意即各團隊人員必須彼此了解其工作內容、工作目標、如何完成任務與可能遭遇的相關問題，以便能夠將其他團隊人員真正所需的資訊相互傳遞，不僅能夠加速工作進行的流暢性，同時也能夠了解其他團隊人員的決策過程與考慮因素，提高決策程序的品質。

### 6.2 Verbalization of decisions :

許多資訊或決策的傳遞，僅僅顯示維修決策的結果或狀態，而並未說明其為何做出該決策，因此可能造成團隊間資訊傳遞的誤解，影響維修工作之進行。因此決策傳遞時應該連同其原因與理由一起做說明，以便能夠讓接受訊息的人了解從事此項工作的原因，甚至能夠提出更好的解決辦法。此外，當航機進入下一維修站時，如已經執行過之偵錯診斷程序等更多的資訊也應該一同傳遞，此時便需要兩維修站或不同團隊之間更好的溝通，故研究建議提供針對人員描述決策原因以及偵錯過程的相關訓練，以提升團隊之狀況警覺。

### 6.3 Better shift meetings and team work :

同一團隊間不同班別的簡報能夠幫助人員了解其他成員的工作項目以及各不同工作的相關性，因此能夠對於不同工作間的影響加以預測，加強SA的程度。此外，團隊領班(team leads)應該接受不同班別間資訊傳遞的訓練，了解其對於完成任務的重要性。

### 6.4 Feedback :

目前有關於維修活動之有效性回饋資料不足，因此AMT很難了解其所執行的工作是否有效，因此要增進其偵錯的技術與能力有其困難。目前雖然建議透過電腦系統方面的提升來改進此問題，研究仍然建議包括經理人、領班以及AMTs皆必須主動透過電話或是電腦系統來回報工作執行的有效與否。

### 6.5 SA training :

一般而言，失去狀況警覺的問題多為：1.遺忘資訊或步驟；2.不同班別或是不同團隊間資訊未傳遞；3.由於其他工作關係而錯失重要資訊；4.對於資訊的錯誤解讀。研究建議可以透過不同訓練來避免此類情況的發生並且提升狀況警覺能力。

### 6.6 Team SA training program :

有鑑於上述幾項問題，Endsley and Robertson, 1997建立了一套針對上述五項



SA的相關訓練課程。該課程主要為減少不同團體間溝通不良與誤解所設計，因此其進行方式要求包括AMTs、檢查員、MOC人員等共同進行，總共八小時的課程內容，並且要求所有受訓人參與課程之前須先了解MRM之基本原則，藉由不同單位人員的想法與觀點，促進彼此對於工作任務的了解，以提升狀況警覺能力。

## 7. 團隊SA訓練課程之評估

為評估此訓練課程的有效性，研究亦針對此航空公司進行施行課程之評估。來自9個不同維修單位共72名資深AMTs與領班(Leads)參與本課程，結訓之後即以自願填答方式利用問卷調查分析此課程之有效性與人員訓練前後改變之比較。調查結果發現，多數參與SA訓練的人員認為此課程十分有用(very useful)，並且表示對其日後工作的行為與態度會有所改變，這些改變則包括：讓其他維修人員了解自己目前的工作進度、了解其他人員或不同班別人員之工作內容與進度、以其他部門人員立場與觀點來減少衝突之發生、改善溝通、航機狀態資訊確實傳遞到下一班別或下一維修站(next station)、換班簡報時確實針對有疑問之處加以釐清與說明等。

為進一步對於課程施行之有效性做量化評估，研究亦於課程舉行一個月後，對於參與之人員同樣針對受訓前後改變差異發放問卷進行調查，利用配對比較(paired comparison)並且以wilcoxon檢定後發現，兩份相同問卷沒有顯著差異，意即受訪者工作態度與行為確實有所改變，此次問卷調查採郵寄方式進行，共寄出17分問卷(完訓後上線工作滿一個月的人員)，有效回收樣本為6份，問卷回收率為35%，符合一般郵寄問卷之回收情況。故可看出至少這一小部分的受訓人確實有在實行其受訓所得之知識。

由於此評估分析執行時，完訓後上線工作滿一個月用的人員數量很少，樣本數過小，因此對於人員實際上工作態度的改變情況評估結果可信度有待商榷，故後續研究應針對剩餘的受訓人結果進行評估應可得到更為良好的結果。

## 8. 結論

本研究首先確認維修人員與維修團隊之間不同工作所需之狀況警覺能力與項目，並且說明為使維修人員達到較高層級之狀況警覺能力，單純的資料交換與傳遞並不足夠，同時亦需要充分的溝通技巧與能力，了解那些資訊必須被傳遞或交換才能達到此目的，文中並且討論團隊間溝通上所存在的落差GAP。

除此之外，研究中也討論組織中的系統與技術如何加強航機維修SA的能力，並且提出幾項訓練上的相關概念與建議，這些建議亦被應用於發展SA訓練系統。而此狀況警覺改善訓練計畫課程初步顯示對維護操作相當正面且有用，研究認為這家航空公司應持續執行此課程，並且建議更多航空公司考慮採用此狀況警覺的課程。

## [文獻評析]

本研究利用專家經驗以及訪談方式針對B-Check確認出維修人員與團隊之間完成工作任務所應具備之狀況警覺能力，並且提出訓練上的相關改善建議，著重於溝通方面的問題，以促進飛航安全之提升。透過一套SA訓練計畫來實現這些訓練建議之概念，並且加以評估，然而，由於此類訓練計畫乃初次執行，因此參與的成員人數不多，在一家美國的主要航空公司當中僅佔極少數，且其對於這些受訓人員之後的實際工作表現評估結果，由於回收樣本過少，因此是否能夠代表全部人員的狀況則有待商榷。有意願加強或發展SA訓練計畫的業者或團體，可以參考本文中所確認出之SA項目以及相關訓練建議，配合本身的狀態，發展適合的訓練計畫，此外，訓練成效評估的實際作法則應該考慮更為詳盡的研究，特別是應該取得較多的樣本數量，以確實評估訓練計畫對於人員工作態度改變的影響。

## [相關文獻]

Drury, C., 1993. In: Corporation, G.S. (Ed.), Training for visual inspection of aircraft structures. Human Factors in Aviation Maintenance - Phase Three, Progress Report (DOT/FAA/AM-93/15), Office of Aviation Medicine. Federal Aviation Administration, Washington, DC, pp. 133-154 (Chapter eight).

Endsley, M.R., 1988. Design and evaluation for situation awareness enhancement. In: Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, Santa Monica, CA, pp. 97-101.

Endsley, M.R., 1989. Final report: situation awareness in an advanced strategic mission. NOR DOC 89-32, Northrop Corporation, Hawthorne, CA.

Endsley, M.R., 1993. A survey of situation awareness requirements in air-to-air combat "fighters. International Journal of Aviation Psychology 3 (2), 157-168.

Endsley, M.R., 1994. Situation awareness in FAA Airway Facilities Maintenance Control Centers (MCC). Final Report, Texas Tech University, Lubbock, TX.

Endsley, M.R., 1995a. A taxonomy of situation awareness errors. In: Fuller, R., Johnston, N., McDonald, N. (Eds.), Human Factors in Aviation Operations, Avebury Aviation. Ashgate Publishing Ltd, Aldershot, England, pp. 287-292.

Endsley, M.R., 1995b. Toward a theory of situation awareness. Human Factors 37 (1), 32-64.

Endsley, M.R., Jones, D.G., 1995. Situation awareness requirements analysis for TRACON air traffic control. TTU-IE-95-01, Texas Tech University, Lubbock, TX.

Endsley, M.R., Robertson, M.M., 1997. Team situation awareness training program. In: Human Factors Issues in Aircraft Maintenance and Inspection '97 CD-ROM. Galaxy Scientific Corporation, Atlanta, GA.

Endsley, M.R., Rodgers, M.D., 1994. Situation awareness information requirements for en route air traffic control. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting, Santa Monica, CA, pp. 71}75.

Hartel, C.E., Smith, K., Prince, C., 1991, Defining aircrew coordination: searching mishaps for meaning. Paper presented at the Sixth International Symposium on Aviation Psychology, April.

Helmreich, R.L., Foushee, H.C., Benson, R., Russini, W., 1987. Cockpit management attitudes: exploring the attitude behavior linkage. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 57, 1198-1200.

Klein, G.A., 1989. Recognition-primed decisions. In: Rouse, W.B. (Ed.), *Advances in Man-machine Systems Research*. JAI Press, Inc, Greenwich, CN, pp. 47-92.

Marx, D.A., Graeber, R.C., 1994. Human error in aircraft maintenance. In: Johnston, N., McDonald, N., Fuller, R. (Eds.), *Aviation Psychology in Practice*. Avebury, Aldershot, UK, pp. 87-104.

National Transportation Safety Board, 1984. Aircraft Accidents Report, Eastern Air Lines, Inc., L-1011, Miami, Florida, May 5, 1983, Author, Washington, DC. O'Neill, M.J., Robertson, M.M., 1996. A participatory design process for developing ergonomic once design criteria. In: Brown, O., Hendrick, H.W. (Eds.), *Human Factors in Organizational Design and Management - V*. North-Holland, Amsterdam, pp. 209-215.

Robertson, M.M., Endsley, M.R., 1997. Development of a situation awareness training program for aviation maintenance. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41st Annual Meeting, Santa Monica, CA, pp. 1163-1167.

Robertson, M.M., O'Neill, M.J., 1994. Development of contextual inquiries for examining knowledge workers in technological once environments. Herman Miller, Inc., Zeeland, MI.

Robertson, M.M., Taylor, J.C., Stelly, J.W., Wagner, R., 1995. A systematic training evaluation model applied to measure the effectiveness of an aviation maintenance team trainingprogram. In: Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, OH, pp.631-636.

Runer, J.W., 1990. A survey of human factors methodologies and models for improving the maintainability of emerging army aviation systems. US Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Alexandria, VA.

Salas, E., Dickinson, T.L., Converse, S., Tannenbaum, S.I., 1992. Toward an understanding of team performance and training. In: Swezey, R.W., Salas, E. (Eds.), Teams: their training and performance. Ablex, Norwood, NJ, pp. 3-29.

Taggart, W., 1990. Introducing CRM into maintenance training. In: Proceedings of the Third International Symposium on Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection, Washington, DC, pp. 324 M.R. Endsley, M.M. Robertson / International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000) 301-325

Taylor, J.C., Robertson, M.M., 1995. The effects of crew resource management (CRM) training in airline maintenance: results following three year's experience. NASA Ames Research Center Office of Life and Microgravity Sciences and Applications, Moffett Field, CA.

Taylor, J.C., Robertson, M.M., Peck, R., Stelly, J.W., 1993. Validating the impact of maintenance CRM training. In: Proceedings of the Seventh International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, OH, pp. 538-542.



# **Competency-Based On-The-Job Training for Aviation**

## **Maintenance and Inspection - a Human Factors Approach**

Diane Walter

International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000)

249-259

### **[英文摘要]**

More than 90% of the critical skills that an aviation maintenance technician uses are acquired through on-the-job training (OJT). Yet many aviation maintenance technicians rely on a “degenerating buddy system”, “follow Joe around”, or unstructured approach to OJT. Many aspects of the aviation maintenance environment point to the need for a structured OJT program, but perhaps the most significant is the practice of job bidding which can create rapid turnover of technicians. The task analytic training system (TATS), a model for developing team-driven structured OJT was developed by the author, and first introduced in Boeing Commercial Airplane Group to provide competency-based OJT for aviation maintenance and inspection personnel. The goal of the model was not only to provide a comprehensive, highly structured training system that could be applied to any maintenance and inspection task, but also to improve team coordination, attitude and morale. The first goal was accomplished by following the systems eight-step process, the latter through incorporating human factors principles such as decision making, communication, team building and conflict resolution into the process itself. In general, the process helps to instill mutual respect and trust, enhance goal-directed behavior, strengthen technicians' self-esteem and responsiveness to new ideas and encourage technicians to make worthwhile contributions. The theoretical background of the model is addressed by illustrating how the proven training methodologies of job task analysis and job instruction training are blended with human factors principles resulting in a unique team-driven approach to training. The paper discusses major elements of the model including needs identification, outlining targeted jobs, writing and verifying training procedures, an approval system, sequencing of training, certifying trainers, implementing, employing tracking mechanisms, evaluating, and establishing a maintenance/audit plan.

### *Relevance to industry*

TATS has been successfully installed in several maintenance and inspection areas of The Boeing Company. Four major U.S. airlines- United Airlines, Trans World Airlines, Northwest Airlines, and USAirways have participated in two years of development and field testing in their maintenance operations (assisted by the author and Dr. Barbara Kanki of NASA Ames Research Center).

## **[中文摘要]**

目前超過90%的航空維修人員技術係透過線上工作訓練(on-the-job training, OJT)來培養，航空業界確實需要一具結構化的OJT訓練程序。本文作者發展出的任務分析訓練系統(task analytic training system, TATS)為一以團隊為導向之結構化OJT訓練系統，並且已被波音公司採用於維修以及檢驗人員的OJT訓練。TATS系統主要有兩項目標：1.提供一可適用於所有維修與檢驗工作之全面性與結構化OJT訓練；2.促進團隊間的溝通、態度以及士氣。前者係透過TATS之8步驟程序來達成目標，後者則是藉由整合例如：決策、溝通、團隊建立、與衝突解決等人為因素與TATS結構來完成。本研究討論TATS模式中的主要因素，包括：需求確認、列出目標任務、撰寫與確定訓練程序、認證系統、訓練員認證程序、執行追蹤機制、評估以及建立維修稽核計畫等。本研究首先簡介航空器維修環境，接著詳細說明TATS模式的運作概念以及其實際上的應用與步驟流程，最後綜整TATS系統之執行並且提出結論與未來研究方向。

## **[內容]**

### **1. 背景**

目前有超過90%的航機維修人員的技術係透過實際的線上工作訓練來完成(On the Job Training, OJT)。然而現行之OJT卻無法提供系統化且具完整結構的維修人員訓練，故本研究作者發展出一套結構式OJT系統，稱為工作分析訓練系統(Task Analytic Training System, TATS)，而此系統已被波音公司做為航空器維護與檢查人員的在職訓練之用，並且已實際應用於UA, TWA(merged by AA), 與USAirways的維修工作進行測試與發展。

TATS為一內含8道步驟程序之團隊導向模式，用以建立航空器維修與檢查人員結構化的OJT計畫，其模式主要依據任務工作分析之改良訓練和工作教學訓練，輔以包括團隊建立、溝通、決策與衝突解決等人為因素為基礎進行發展。此模式除了提供一結構化的訓練程序外，亦能夠協助維修人員發現由於組織文化因素而影響維修表現的問題，如：換班間的資訊傳遞、不同維修單位間的協調等。

### **2. 航空器維修環境**

目前航空器維修工作的進行仰賴師徒傳承制(degenerating buddy systems)，人員的訓練工作多半由Lead mechanic(不一定最有經驗，也不一定有意願參與訓練)直接在線上做訓練教學OJT，然而此種訓練並非系統化與結構化的訓練，意即缺乏正式的訓練文件與程序，且亦無客觀之績效表現評估指標，導致不同維修人員的工作品質不一致。再者，過去之相關指出，非結構化的OJT將導致錯誤發生率增加、生產力低落以及訓練效率降低等不良後果(Jacob & Jones 1995)。而全面性結構化之訓練系統的主要優點在於，在影響日常運作最小的情況下快速地讓維修人員獲得新技術之訓練。此外，維護手冊上描述性的說明經常不夠具體，或是手冊未能及時更新，造成線上維修人員實際操作時，往往與維修手冊上的程序或作法有所差異，因此由於TATS的程序主要由維修人員自己參與建立工作的訓練內容(寫教材)，並且要求密切的團隊合作，故可以改善維護程序並且加強溝通能力，正好能夠補足維修手冊與實際操作差異的缺陷。此外參與TATS計畫的人員藉由現場觀察維修人員工作程序與做法，也能夠幫助發現一些潛在的安全問題。

### 3. 特殊的團隊導向方法

由於TATS系統模式係運用團隊導向的方式來建立，故需要不同的人員根據本身的經驗以及想法，藉由討論等方式來達成目標。因此TATS的建立程序提供了人員分享經驗與彼此溝通合作的機會。團隊導向方法係基於對人為因素的幾項假設，接下來並說明這些假設以及其於TATS訓練之間的關係：

- (1) 所有人類的行為皆為目的導向(goal-directed)：唯有團隊中人員的作為對於改善工作任務有所貢獻時，方可使人員認為本身的工作十分重要，因而主動積極參與，提高工作滿意度。
- (2) 人員為具有創造力之決策者：在人員被鼓勵主動參與並且認為可運用本身之創造力使工作環境能有所改變時，才能達到工作滿意度。TATS提供了團隊合作時的問題解決環境，讓所有參與人員能夠根據本身的經驗創造出最有效之完成工作的方法，並且有修改與控制此方法的權利。
- (3) 人類行為發生於與他人互動的情境之下：人不可能獨立完成某項工作，經常必須與他人溝通協調合作以竟全功，而且集思廣益的成果，配合其他人的資源，更能幫助人員解決問題。
- (4) 使用比持有更加重要：人員本身所有的經驗與技術，若無法真正付諸使用，對於解決問題則沒有幫助，為確保TATS的成功，包括參與的維修人員與管理階層，皆須將其本身所學加以應用。
- (5) 人員和組織之整體運作：每一個獨立的人所完成工作之品質與數量一般來說不比與他人合作完成來的有效。同樣的，以整個系統的觀點來設計、分析與訓練團隊中各個人員的工作較為有效。

透過TATS的發展與執行過程，維修人員參與公開的程序討論與課程設計，除了能夠提高維修人員的表現外，亦可以建立高度的團隊向心力以及士氣。



#### 4. TATS模式之說明

TATS系統的主要運作要素包括需求分析、建立目標任務、撰寫與確認訓練模組、認證系統、後續之個人化訓練、執行、除錯、評估以及維修稽核計畫等。此系統於運作時將能夠提供：(1)事先決定之與建立之可觀測及衡量的績效標準；(2)訓練且確認員工確實遵守這些標準；(3)定期衡量績效表現並且提出適當的改進方案；(4)提供系統管理者進行持續性系統維護的計畫；(5)建立團隊、促進溝通以及決策技巧與加強士氣等功能。

TATS系統於建立階段要求所有人員的參與，選出包含設計組(design team)、認證組(approval team)與協調人(team facilitator)等之核心人物(key person)，各組人員挑選基準如下：

- 受同事、長官、與部署信賴的人員；
- 有意願且有能力溝通彼此觀念的人員；
- 特定工作之專業人員；
- 願意在團隊中少數服從多數的人員。

##### 4.1 Design team

設計組的人員至少須包含三位專家，專門從事工作任務分析以及撰寫各任務之訓練模組。設計組中亦常包含受訓者或是較為資淺的維修人員，原因在於較無經驗的人員參與團隊訓練發展工作時，往往能夠以一新進者的立場提供訓練教材設計的方向與重點，對於TATS來說，十分有助益。此外，TATS的訓練模組發展為一持續進行的程序，不斷發現新的訓練需求，並且加入訓練系統當中。

##### 4.2 Approval team

認證組人員包括有經驗之維修人員、核心主管以及技術專家，主要任務在於檢視與認證所建立之訓練模組是否正確、完整並且符合現行之相關程序與法規規定。

##### 4.3 Facilitator

協調人的工作顧名思義及專門負責參與每次的設計會議，一方面確保其工作進行的方向正確，另一方面當出現意見不合或誤解時，協調人的工作即在於解決溝通問題，以確保計畫順利進行。

#### 5. TATS系統應用於航空領域

TATS系統可應用在任何維護和檢查工作的訓練上，除了提供新的程序之訓練外，亦可輕易的整合現有訓練課程，促進人員複訓之進行。TATS係以系統方法為基礎來建立一套結構化的OJT訓練計畫，完成系統的8道步驟程序包括：需求確認(need identification)、工作分析(job task analysis)、規劃計畫(project plan)、撰寫訓練模組(write training modules)、訓練實施計畫(training implementation plan)、測試、評估與修正(tryout, evaluate & modify)、建立維護計畫與稽核(setup maintenance audit program)、開始訓練(start training)。(圖1)

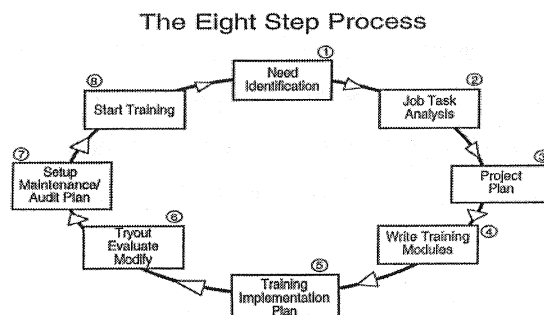


Fig. 1. The eight-step process. The TATS design teams follow the eight steps identified here in developing the structured OJT program.

### (1)需求確認

此起始階段的主要工作重點在於確定訓練的工作任務。由於組織程序或是相關規定的原因導致維修人員無法進行某些特定任務時，不屬於訓練相關問題。而因為維修人員缺乏相關能力、技術或態度而所需進行OJT訓練才為本階段確認問題的重點；同時，亦必須建立訓練系統客觀的衡量標準，這些衡量標準可能包含：整體表現、訓練目標、特殊工作任務所需達成之績效標準等。

### (2)工作分析

結構化OJT的訓練目的不在於訓練維修人員如何進行全部的維修工作(如APU翻修)，而是著重於每個工作下可能包含的許多子工作(任務)之進程序與需要的技術。設計組在此階段執行工作分析，根據下列兩個問題將整個工作分割成數個任務：

- a. 受訓者需要了解哪些或是能夠進行哪些特定的工作？
- b. 這些相關資訊是否能透過半小時內的教學課程來完成？

研究中以圖2來說明工作分析的流程。

### Task Analysis Process

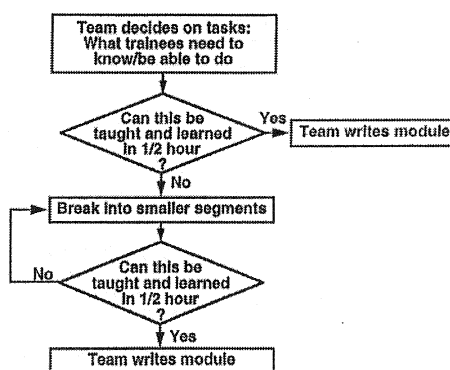


Fig. 2. Task analysis process. The TATS design teams perform task analyses or job task breakdowns until the teams decide that all tasks can be taught and learned in one-half hour. These tasks will later be written as training modules.

此處選擇以半小時為訓練課程單位的原因在於：人無法長時間集中注意力、便於訓練課程時間的安排、彈性配合實際營運狀況、容易針對內容做修改、提供受訓人於完成課程後的成就感、可有立即的訓練成效回饋等。

### (3)提出計畫之規劃

工作分割完成之後，接者便是提出完成任務之計畫時程，各任務並依其頻率、重要程度、困難度、安全相關影響等加以排序。計畫完成之後，尚須獲得監督者的認可，此舉可以加強管理階層的參與程度。此規劃必須簡明且清楚，且必須包括系統化的資料蒐集來追蹤特定的績效表現與訓練目的。

### (4)撰寫訓練模組

接下來的工作即在於訓練模式之撰寫。根據先前完成的子任務分割，每一個任務即為一個訓練模組，撰寫模組時若提供資訊過少，訓練模組無法使用；若提供資訊太過複雜，則未來模組的修改相形困難。此外，團隊中經驗較不足的技師或是受訓人在此階段提供了相當大的貢獻，他們能夠呈現出受訓人可能需要特別指示或是訓練的地方，強化訓練模式的實用性。圖3呈現模組撰寫時所需包含的資訊，圖4則舉例說明訓練模組資訊呈現的樣貌。此兩欄式的任務格式，清楚的說明任務項目(column 1)，以及如何進行(column 2)，不僅容易閱讀與了解，亦可作為維修任務進行時的快速參考。當同樣的任務有不同進行方法時，協調者此時則必須鼓勵團隊以一致同意的方式，而非投票決定，來選出對於新進人員最好的訓練方法。

Training Module No. 24	
Title: How to Perform Developer Concentration Test	
Column 1 What	Column 2 Why, When, Where, How
1. Locate Equipment - cylinder, hydrometer, thermometer, temperature vs specific gravity chart	1. Storage Cabinet No. 2
2. Clean Equipment if Required	2. Water Rinse and Dry
3. Perform Test	3. A. Fill Cylinder With Developer - put on level surface B. Insert Hydrometer - allow it to come to a resting position C. Take Reading of Specific Gravity (See Module 24a.) D. Measure temperature of developer E. Find specific gravity on chart and take reading(See Module 24b.)

Fig. 3. Training module - "How to Perform Developer Concentration Test". Example of a training module in the easy-to-read-and-use two-column format.

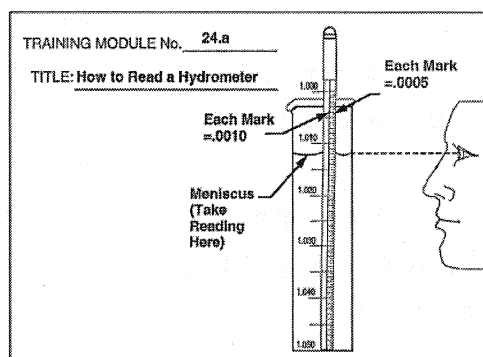


Fig. 4. Training module - "How to Read a Hydrometer". This module is a prerequisite to the module in Fig. 3 and illustrates the level of detail that teams often find necessary.

由維修人員來親自撰寫訓練模式的最大好處在於，透過成員間相互討論的方式，能夠在較不具威脅性的情況下發現自己本身對於某些相關技術或是知識的不足之處，藉以加強本身的能力，同時建立完成任務最好的方法，此外也能夠藉此發現維修運作當中的技術或知識上的缺陷。故此系統不僅產生一個結構式的訓練結果，更在發展的過程當中，讓參與撰寫課程的維修人員發現並改進自己本身的缺失。

此外，公司維修組織的環境中，經常會有隱藏本身維修疏失或是不正確操作的不良文化，而建立結構化的OJT亦能夠藉由團隊彼此討論與經驗分享的方式來改善此一缺點，對於安全的工作環境有很大的幫助。

#### (5) 訓練實施計畫

當模式接近完成撰寫階段時，團隊將會建立先期之執行計畫(preliminary implementation plan)，以決定誰在哪一天需要接受那一個模組的訓練？並且決定由誰來執行訓練？訓練員的選擇最好本身即有使用過TATS系統的經驗，若是能由本身為參與TATS設計的訓練員則更好。同時亦由3位或是更多OJT訓練員成立一TATS Council，透過訓練之間不斷的討論與意見交換，針對整個TATS程序進行持續性的修訂與監控工作，其工作內容包括：評估TATS模式的有效性且指出需要改進的地方、與其他訓練員分享訓練心得與問題、與受訓人、設計組、協調者與主管單位開會並蒐集重要的feedback、設定TATS訓練員認證計畫標準與監控、受訓人績效評估不一致案例分析、紀錄績效評估結果等。

#### (6) 測試、評估與修正

每個訓練模組必須在線上至少確認兩次，一次為訓練員與訓練者，另一次則為至少有一位認證組的成員在場，且須遵照步驟八中的三段式程序進行，亦同時可做為訓練者本身的OJT訓練。此階段除了進行模式的測試與修正以外，同時亦必須確認其評估的績效標準。

#### (7) 建立維護與稽核計畫

Facilitator排定年度稽核計畫來評估TATS的狀態。此稽核計畫為一評估重要程序之檢查清單，相關資訊則主要透過個人或團體的訓練員與受訓者面談、設計組、認證組以及監督人等取得。而在評估的過程中，facilitator尋找不合時宜的部份、確認新的訓練需求、降低成本的機會以及衝擊訓練的組織變化。文中並且提供3家已經應用TATS系統之航空公司所發現的相關評估結果，包括：維修手冊資訊不正確、依照過時的程序建立之訓練模組不適用目前的維修需求、溝通以及工作負荷管理等組織因素對於OJT的績效表現會有影響、需要更多的基本技術訓練模組等。

#### (8) 開始訓練

TATS使用傳統的3步驟訓練：首先，訓練員先作技巧示範；接著學員一邊操作且訓練員在一旁指導；最後則由學員全程自行操作，待訓練結束後再互相就所進行之程序進行討論。訓練完成之後即要求訓練者與受訓人填寫對於此訓練的開放式問卷，以獲取相關的資訊，作為日後改進訓練之用。

實際上此8個步驟程序不一定需要一步步進行，而是可以同時進行，如模式撰寫階段時亦可同時進行規劃計畫、執行計畫、稽核計畫與模式現場確認等工作。整個TATS的發展可以分為模組之建立(步驟2.4.6.8)以及計畫與維修程序(步驟1.3.5.7)兩個部份，圖5為執行流程圖。此外上級管理階層的支持，並且居中做為團隊的協調者，才是此計畫能夠成功的先決條件。

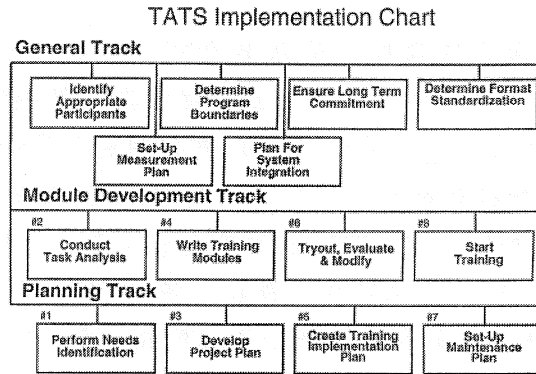


Fig. 5. TATS implementation chart. TATS implementation follows three basic tracks: the general track, the module development track, and the planning track.

## 6. 結論

TATS系統提供了一個高度結構化的OJT訓練計畫，而配合組織目標、操作程序以及考慮人為因素而發展之操作人員知識與技術訓練計畫，能夠有效的降低維修人為錯誤。目前TATS的評估僅針對使用此系統的業者，未來研究期可提出有效資料來支持TATS系統之高生產率、品質以及減少維修錯誤的能力。而則表1提供了TATS團隊中重要人員的相關角色與責任內容。

Table 1  
Key Personnel – Roles and Responsibilities

*Design team:*

- (1) Conduct task analysis
- (2) Create and implement a project plan
- (3) Write training modules (with performance objectives)
- (4) Verify modules on-site
- (5) Conduct workforce overviews
- (6) Obtain input from other workers
- (7) Select approval team
- (8) Schedule periodic progress reviews with supervision

*Approval team:*

- (1) Meet with design team to be briefed on responsibilities
- (2) help design team verify modules on-site
- (3) meet with design team for TATS overviews
- (4) approve modules, suggesting alternatives when appropriate

*Facilitator:*

- (1) perform needs identification and discuss TATS process with workforce
- (2) attend all design team meetings and work to build team cooperation, suggest alternatives, direct discussion, and help resolve conflict
- (3) write on flip chart so that everyone can see
- (4) teach design team how to:
  - write measurable objectives
  - write training modules
  - verify modules on-site
- (5) administer evaluation questionnaires and compile data
- (6) schedule and perform annual maintenance audit

*Administrator:*

- (1) copy modules from flip chart for design team review
- (2) ensure that modules are typed and maintained in an organized manner
- (3) coordinate additions, deletions, and/or corrections
- (4) keep manuals up-to-date and coordinate paperwork

*Trainer:*

- (1) serve on the design team if possible
- (2) assist in module on-site verification
- (3) maintain "hands-on" experience with modules
- (4) help keep modules up-to-date
- (5) conduct evaluation pre-meetings with trainees
- (6) prepare for training sessions and conduct training
- (7) appraise and document performance
- (8) meet with supervision when appropriate
- (9) assist with module modification and monitor trainees' progress

## [文獻評析]

本文說明應用作者建立之結構式 OJT 訓練系統 TATS 的發展步驟與程序，詳細說明由召集發展團隊開始，人員的挑選與分工，模式的建立程序，訓練模組的撰寫以及相關結果的評估，為一具系統化的建立程序，並且配合組織目標、操作程序以及考慮人為因素來發展技術訓練系統，能夠有效的降低維修人為錯誤，提供業界欲建立結構化的 OJT 訓練系統一個參考方針。

## [相關文獻]

Ansbacher, H.L., Ansbacher, R.R. (Eds.), 1956. *The Individual Psychology of Alfred Adler*. Harper and Row, New York.

Boeing, 1996. *Statistical Summary of Commercial Jet Aircraft Accidents - Worldwide Operations, 1954-1995*.

French, W.L., Bell, C.H., Jr, 1984. *Organization Development: Behavioral Science Interventions for Organization Improvement*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.  
Jacobs, R.L., Jones, M.J., 1995. *Structured On-the-Job Training: Unleashing Employee Expertise in the Workplace*. Berrett-Koehler Publishers, San Francisco.

Kello, J.E., 1989. Developing training step-by-step. In: McNerny, D. (Ed.), *The Best of Technical and Skills Training*, ASTD, Alexandria, VA, pp. 27-29.

Senders, J.W., Moray, N.P., 1991. *Human Error: Cause, Prediction, and Reduction*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Walter, D., 1990. An innovative approach to NDT inspector training at Boeing. In: Parker Jr., J.F. (Ed.), *Human Factors Issues in Aircraft maintenance and Inspection*,

*Training Issues*. Federal Aviation Administration, Washington, DC. Walter, D., 1996. A Model for team-driven OJT. *Technical and Skills Training* 23-27, Vol. 7, no. 9.

Walter, D., Kanki, B.G., 1995. A human factors approach to aviation maintenance and inspection training. In: Jensen, R.S. (Ed.), *Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology*, Ohio State University, Columbus, OH.



# **Four Generations of Maintenance Resources Management Programs in The United States: An Analysis of The Past, Present, and Future**

James C.T., Manjo S.P.

Sorenson Best Paper Award Recipient 2001

Journal of Air Transportation World Wide Vol.6, No. 2, 2001

pp.3-32

## **[英文摘要]**

This paper analyzes four generations of Maintenance Resource Management (MRM) programs implemented by aviation maintenance organizations in the United States. Data collected from over ten years of survey research and field observations are used for this analysis; they are presented in a case-study format. The first three generations of MRM programs were periodic efforts to increase safety through teamwork, focus group discussions, and awareness courses, respectively. Now, the fourth generation programs, characterized by a commitment to long-term communication and behavioral changes in maintenance, are set to build a culture of mutual trust between mechanics, their managers, and regulators.

## **[中文摘要]**

本文分析說明自1989年以來，美國維修單位所執行的維修資源管理MRM計畫四個不同時期之演進以及其各自發展的重點與相關案例。研究中蒐集十多年來的調查研究以及實地觀察結果進行分析，並以案例討論方式呈現。前三代的維修資源管理計畫藉由包括團隊合作、焦點團體討論以及狀況警覺課程等不同方式，來達到短期促進飛安的目的。目前的第四代則是專注於維修領域人員的長期溝通與行為上的改變，期望達成維修人員、管理階層以及主管機關間的相互信任。



## [內容]

### 1. 背景介紹

航空維修領域於10多年前開始重視人為因素對於飛航安全的影響，特別是針對人與人之間的溝通協調以及人員的管理進行討論。因此從1989年開始，美國航空業者開始重視透過溝通之改善來促進飛航安全，期間經歷過不同的階段與溝通改善計畫，本研究之主要目的即在於回顧過去到現在執行過的MRM相關計畫，討論其發展趨勢與施行結果。

### 2. MRM定義

MRM一詞首見於1992年(Taylor & Christensen, 1998)，目的在於促進航機維修工作的溝通協調，以減少錯誤之發生，為航空領域中人為因素的重要一環。後來ATA明確定義MRM為：著重於促使維修人員更安全與有效地完成工作之互動程序(ATA, 1999; Chapter 2)。MRM不單純僅重於訓練的部份，其為一提供個人與團體管理錯誤之技能或程序的工具，包括溝通、決策、狀況警覺、工作負荷管理與團隊精神等。訓練僅屬MRM的部份功能，重要的是其對於態度、技術以及知識上的管理與應用。

### 3. MRM評估研究計畫

有鑒於1980年代座艙組員資源管理CRM的成功，首先欲改善維修領域溝通協調的兩家航空公司，以其公司航務部門CRM的相關研究與經驗為基礎，修改評估工具與訓練計畫，應用於維修溝通之改善。隨著MRM的不斷發展，對於MRM相關議題之態度、維修特定部門之運作、施行MRM之經驗、自願報告受訓後之行為改變等評估，亦持續擴充。目前在Santa Clara University已累積超過10000名來自不同航空公司與維修站之維修人員、管理階層、以及其他維修人員的相關資料，可做為分析比較之用途。

### 4. MRM演進之四階段

本研究針對美國維修單位MRM發展四個時期的演進進行討論，每個階段並以至少一個航空公司的實際MRM計畫為例(案例一至八)，分別說明：

- (1) 計畫之主旨與目的。
- (2) 計畫執行後人員回報自願改變的可能性。
- (3) 計畫執行後人員態度與思想上的轉變。
- (4) 計畫企圖造成的特定改變。
- (5) 計畫結果造成之人員行為改變(透過觀察或自願回報所得)。
- (6) 飛安績效的改變。

#### 4.1 Generation 1 (案例一至三)：以CRM訓練為基礎的溝通技巧與狀況警覺

第一代MRM計畫係以過去成功發展的座艙資源管理CRM為基礎，著重於個人間的團隊合作以及協調溝通，但僅限於人員之間溝通態度的改變，未論及組織結構上的變化。

#### 案例一：人員間互動行為之改變與藉由團隊合作之開放式溝通

(1) 計畫目的：

確保團隊間的合作與溝通最佳化，同時也確保維修資源的使用，包括人力、資訊以及設備等達到最好的配置。其訓練主題涵蓋：人與人之間的溝通、主動堅持與衝突、壓力、評斷技巧、簡報的價值、狀況警覺、領導行為以及案例分析等。此計畫僅針對小部分的人員進行數週的訓練，包括維修經理與主管等80多名人員，最後期望公司之750位維修管理人員皆能接受訓練。由於此計劃為首度MRM訓練的嘗試施行，其設定的標準亦高。

(2) 自願改變的可能性：

超過80%參與此訓練計畫的人員回報其工作行為會有中等程度的改變。

#### 案例二：主動式的管理人員溝通技巧與表現

(1) 計畫目的：

使參與訓練之人員具備運用所有資源來促進飛航安全與效率之能力(Taylor & Robertson, 1995)。訓練主題包括：診斷組織常模(norms)及其對於飛安之影響、提倡主動堅持的行為、了解個人領導風格、壓力的了解與管理、加強問題解決邏輯與決策技巧、加強人與人員之間的技巧。此計畫時間持續26個月，為期兩天的訓練時間藉由角色扮演的方式來揣摩管理人員主動式的協調溝通，總共有超過2000名維修管理與專業人員參與此項訓練計畫。

(2) 飛安績效改變：

此計畫開始後的24個月間，lost time injuries與航機地面受損事件明顯減少(Taylor & Robertson, 1995)。該計畫於1993年八月完成後，對於飛安之改善有明顯成果，因此該計畫則延伸到維修人員的範疇。然而由於當時航空公司的政策由著重人員之溝通與飛航安全轉變為維修站的關閉及縮減成本，故導致此後續計畫僅有一小部分的維修人員參與且MRM計畫開始出現逆向效果(Taylor & Christensen, 1998)。

#### 案例三：主動式的航機維修人員AMTs溝通技巧與表現

(1) 計畫目的：

此計畫係以案例二為基礎，訓練對象由管理階層轉為針對第一線維修人員AMTs進行訓練，訓練主題僅修改case study的部份為維修引發之意外或事件，其餘的目的與訓練主題則維持與案例二相同。自1993年9月開

始，共有450為來自28個工作單位的人員參與訓練計畫。

(2) 態度上的改變：

完成訓練後AMTs在態度上轉變成為傾向接受主動下達指令的任務並且更為重視壓力的管理(Taylor, 1995; Taylor & Robertson 1995)。

(3) 飛安績效改變：

由於AMTs為第一線航機維修人員，其工作態度與行為之改變對於飛航安全與人為因素訓練的改善較管理階層來得直接，此計畫為維修人員參與MRM訓練成功的先驅，然而其推行由於該航空公司的政策因素而宣告終止。

#### 4.2 Generation 2(案例四)：直接強調維修誤失的溝通與了解

##### 案例四：採行Focus Groups 來減少航機維修之誤失

此案例為1992-1994年間一家主要航空公司的QA部門與該航空公司工會以及FAA合作執行的MRM計畫。

(1) 計畫目的：

以焦點集團訪談(Focus group Interview)的方式，開啟維修人員(AMTs)、公司、工會以及監理機關的溝通管道，討論維修文件作業錯誤之成因與解決方法。此計畫時間為期兩年，且分為三階段進行。

- 第一階段針對來自該航空公司8個不同線上維修站共150名維修人員AMTs，分為30個小組進行訪談，目的在於瞭解航機維修文件作業誤失的成因以及相關解決方法。

- 第二階段則是根據前階段所歸納出的成因以及解決方式，要求所有單位以及管理人員採取改善行動。在某些情況下，這些改善活動涉及所有公司之線上維修站，而某些情況則是僅採用一個維修站來進行試驗，並且與其他維修站的情況進行比較。

- 第三階段則是在此MRM計畫施行一段時間後(最久達28個月)，衡量維修文件的誤失率，並將結果回饋到各參與單位。

(2) 解決方案：

解決方案大致可分為被動式與主動式兩種類型，其中被動式方法為藉由正式的AMTs紙上作業訓練來減少錯誤的發生，此法的好處為能夠立即見效，但缺點為其維持時間相當短暫(Taylor, 1995; Taylor & Robertson 1995)；另一方面，主動式方法包括主動參與和溝通兩種。其中換班前的團隊會議，讓資訊的傳遞更為清楚公開，此方法首先訓練維修領班有關會議之溝通與領導能力，並且要求其舉行每日的人員會議；另一方面，也讓AMTs人員有機會參與且討論航機記錄本格式設計(logbook)的改進，紀錄簿的改善則是由公司QA部門的經理來主導整個討論議程。兩種主動式的改善方法係以實驗性質的方式來進行，並將結果與其他對照維修站進行比對。

(3) 飛安績效之改變：

該主動式溝通解決方案試行於實驗維修站3個月後，其維修文件錯誤率表現明顯降低，而在9-12個月後，該實驗維修站的文件錯誤率遠低於同樣規模之其他維修站，而之後的時間此情況亦繼續維持(Taylor, 1994; Taylor, 1995)。

(4) 小結：

第二代MRM訓練計畫針對特定的主題，來進行溝通方面的改善，但其仍著重於過去的事件，且當該特定問題改善後，此類計畫即無法繼續進行。

#### 4.3 Generation 3(案例五至六)：針對個人警覺與準備的維修訓練

第三代 MRM計畫重於維修人為因素的警覺(Maintenance Human Factor Awareness)，根據1994年Transport Canada的維修人員績效訓練課程(Human Performance in Maintenance, HPIM)中提出之Dirty Dozen概念加以延伸，著重於討論維修工作時人員可能發生的數種狀況警覺(Situational Awareness, SA)問題以及相關改進方法，以減少錯誤之發生。與前兩代MRM不同之處為其關心的是警覺機制(Awareness Mechanism)，而非如第一代與第二代計畫重視人員技術層面的改進，1994年之HPIM概念著重於Dirty Dozen中的缺乏溝通、壓力與疲勞等三項，其中除了人員溝通方面的問題屬於主動式改善之外，重點亦轉移至壓力與疲勞等個人議題，屬於個人被動式的改善。下列的案例當中雖然內容有所差異，但其共通點為皆著重於個人方面的改善而非主動的溝通能力。

##### 案例五：維修人員警覺促進工作表現

(1) 計畫目的：

此計畫的主要目的在於建立維修人員對於人為表現造成維修失誤與人員安全的警覺性。其訓練的主題包括：維修人員特質與行為對於維修程序之影響、確認12項因素(dirty dozen)及其造成維修失誤過程中扮演的角色、建立可將風險最小化以及表現最佳化的個人技術、彼此分享同事間對於工作安全的意見。該計畫時間為期兩年半，且專門針對超過6000名AMTs進行相關訓練(管理人員或上級主管所佔比例不及1%)。訓練教材即以HPIM概念為基礎，配合公司的標準來執行，運用當地的案例來當作教材，並且除了原先之HPIM提出之溝通、壓力與疲勞外，另外加入了驕傲自滿的項目。訓練人員講師皆以當地維修人員或第一線主管來擔任，主要目的在於透過當地人員的經驗與領導能力，配合當地的案例說明，更能提升其訓練成果。此外，本計劃亦有該公司之教育訓練部門的支持與配合協調工作。

(2) 飛安績效之改善：

由於維修人員 AMTs 對於此訓練計劃抱持正面態度，因此也造成飛安績

效的提升。本計畫的目的在於加強個人之被動的警覺訓練，特別是在壓力管理方面，訓練結果有顯著改善，根據 1995-1997 年的資料趨勢顯示，人員壓力管理的改善對於降低人員受傷以及航機損壞率的降低有明顯的助益。

(3) 訓練之非預期結果：

雖然此MRM訓練計畫的成果顯著，然而維修人員AMTs對於此計畫的態度最後卻由積極轉為負面。主要原因係在於：上級管理階層對於後續推動的支持不足；維修人員對於該MRM訓練計畫所帶來的成效並不清楚；而且維修人員對於其他受訓人員是否也確實運用學得的知識與技能不了解；再加上領班leader並沒有鼓勵人員運用MRM訓練之技能等因素。

案例六：推廣第三代MRM訓練計畫

美國一家主要航空業者根據HPIM的概念，採行了第三代MRM訓練計畫，將兩天的訓練課程分開在數個月的時間內完成，除了可以讓訓練計畫可以根據第一階段結果加以修正第二階段之內容外，亦可以讓AMTs感受到此計畫受到上級的支持與持續推行，避免前例之反效果，雖然該公司訓練概念來自HPIM模式，但其中多數的案例與訓練係依照本身的需求所建立。

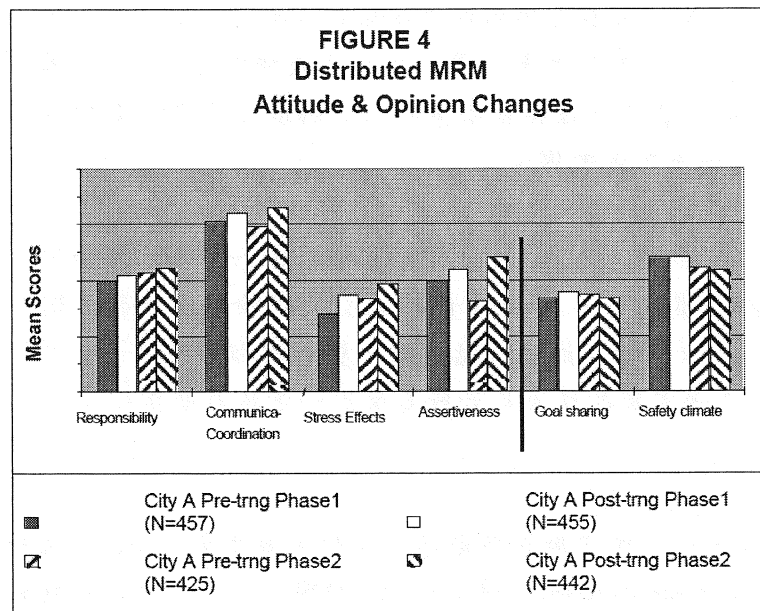
(1) 計畫目的：

提供參與者了解特定的人為因素原則與技術來確保其更為安全地執行工作。此訓練著重於透過所有維修單位人員與FAA間公開與誠實的溝通來避免人為因素失誤以及相關解決方案。第一天的訓練主題包括：確認人為因素要素、了解dirty dozen錯誤之成因、有效的文書溝通、了解公司常模(norms)、建立安全宗旨、確立安全機制等。第二天的訓練主題包括：瞭解失誤的特性及其如何影響受訓人、如何管理失誤(著重於lack of assertiveness 與 lack of awareness)、介紹降低失誤的工具(situation awareness)。透過此兩天MRM訓練計畫的主題來看，皆涵蓋主動溝通技巧以及個人被動警覺機制，如：文書溝通(written communication)以及狀況警覺(situation awareness)等，且概念上的說明重於行為的改變。由此可知此AMTs訓練計畫連結了第三代MRM概念以及過去著重於人與人之間溝通技巧的安全訓練。根據此訓練課程之設計，完成第一階段的訓練課程兩個月後才進入第二階段的訓練。該公司所有的維修人員包括管理階層以及兼職人員都必須參與此訓練，本研究即根據於1999年12月已完成訓練之兩個城市(city A & B)維修人員成果(共1500人)進行說明。

(2) 態度與想法上的改變：

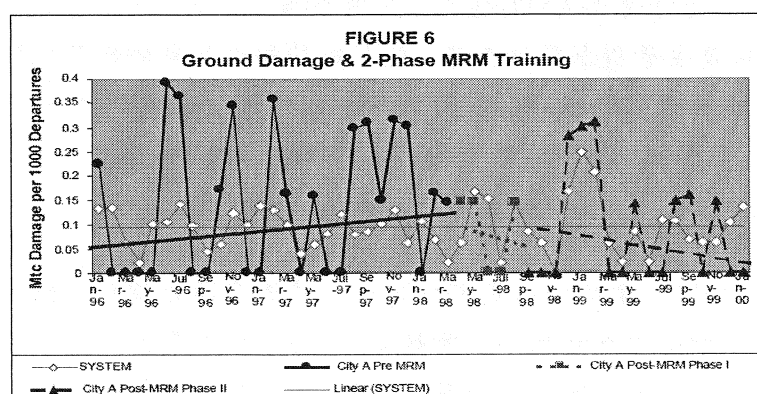
由圖四中可以看出，City A人員在接受過第一或是第二階段的訓練之後，其態度對於溝通、壓力管理以及主動表達皆有明顯的改善，至於責任分享亦有小幅度的改善，但其差異於統計上並不顯著。此外，圖四的右手邊顯示人員對於維修站的目標水準以及安全氣候於兩階段訓練後

的改變情況。其中目標水準訓練前後並無改變，然而在安全氣候的評估上卻呈現衰退的狀況，主要原因可能為維修站中來自上級對於維修安全的支持不足所致。



### (3) 飛安績效的改變：

圖六顯示從1996-1999年間該公司所有維修站的航機損壞資料與City A的比較情況。對於所有維修站(n=45)的整體情況而言，其航機損壞於此四年期間維持穩定，然而City A維修站於人員接受MRM訓練之前與之後，其航機損壞趨勢由上揚轉為下降，顯示此MRM訓練計畫確實有其成效。



### (4) 小結：

此兩階段式的訓練，提供了比一次完成課程多額外的優點：

- 其提供授課人藉由第一階段課程所得之成果，針對第二階段課程進行修改的機會。
- 第二階段訓練的持續進行，表示管理階層的持續推動，可避免案例五中的反效果發生。
- 兩階段訓練課程亦可滿足人員對於複訓的要求。

從第一到第三代的MRM施行計畫來看，其共通的特點也是其缺失在於皆僅針對個人的問題做探討，未有整體組織與系統化的結構來提昇飛航安全，且亦缺乏明確的飛安目標與快速的結果反應。此外，第一到第三代的MRM計畫多利用課堂授課的方式，期望人員受過訓練之後能夠自動地改變其工作態度，進而改善不安全的行為，然而其對於改善人員行為之成效相當有限，且持續時間不長。故目前的MRM相關計畫已不僅再是著重於人員的狀況警覺或是個人的溝通技巧，而是針對組織文化來下手改變。

#### 4.4 Generation 4(案例七至八)：以行為為基礎之整合性MRM訓練計畫

第四代MRM(案例七、八)計畫根據過去的經驗以及創新的概念建立標準化溝通與決策程序。以整體系統的觀點建立一整合技術訓練以及錯誤調查結果導向的MRM計畫，透過直接改變人員的行為來進一步提昇飛航安全。

##### 了解不預期事件中之人為因素：

MEI程序的目的是在於了解不預期事件中的人為因素，且已經成為航空維修領域中的重要課題(Allen & Marx, 1994; FAA, 1999)，人員間的彼此信任不足為自願回報維修錯誤的一大阻礙，然而倘若組織中原先並沒有建立公開且主動的溝通文化，人員由於害怕懲處與個人主義等因素，主動公開且回報錯誤的可能性即相對較低，且對於他人的信任程度亦有所限制。維修組織若欲建立高度的安全文化，首先必須先確認其組織與職業文化，並且考慮兩者間的相互影響以及人員不同國籍文化背景與組織文化目標間的關係(Taylor, 1999; Patankar, 1999)。目前所推行之MRM已不再只是著重於AMTs個人的警覺訓練以及技巧，更應該著重於維修人員、其管理者以及主管機關間的互信，使其能夠藉由目前的錯誤經驗中學習並且加以改善，以提昇未來的維修品質與效率。因此第四代MRM加入了維修錯誤調查(MEI)訓練，試圖讓受訓人了解錯誤調查的目的與程序。

##### 直接的行為改變：

由過去的MRM計畫施行結果可以看出，其多半藉由課堂訓練的方式進行，期望受訓人於完訓後會在態度上有所轉變，然而其對於實際行為上的變化成效有限，而且持續時間不長，因此目前的MRM計畫便直接針對行為改變的前提，在航機運作各相關部門，包括飛航組員、維修人員與管理人員之間建立一簡單且標準化並具一致性的溝通結構與程序，要求上述人員遵照此程序執行，當遇到不同解決方案時，再藉由查閱相關手冊來確認做法，倘若手冊沒有相關說明時，即選擇最為安全保守的程序來執行；如果手冊中有多種程序時，則可由資深管理階層人員介入(第三者)確認其有效性，並且做出最後決策。此計畫並且受到上級的支持與推動，要求員工持續使用此溝通程序，直接藉由行為上的轉變來影響員工態度的修正。

此程序包含溝通結構與程序兩部份，結構方面如：航機到站後要求飛行員與維修代表人員針對遭遇之問題進行討論，或是維修人員工作換班的面對面交接說明等不同單位員工的溝通結構；而此類溝通結構則必須遵照先前既定的程序來討論遭遇的問題；該溝通程序即為Concept Alignment Process, CAP(案例七)。

#### Concept Alignment Process, CAP：

CAP程序其首先要求各方人員對於問題提出解決想法與概念，接著進行概念有效性的確認，若產生不同的解決方法，則必須藉由飛航手冊、維修手冊等查閱，來進行方案的有效性確認，若有多個方案皆為有效時，則由管理人員的介入來選擇確認有效的做法並加以執行。此外，當針對同一問題有不同的解決方案同時產生時(無論有效與否)，皆必須進行原因的調查，其可能由於手冊的標準作業程序SOP不明確等相關因素所造成，必須加以改進。

CAP提出下列有關人為錯誤意外的肇因(Lynch, 1996)：未遵照程序、不正確的決策、疏忽或是自滿、未能挑戰其他成員的錯誤。

CAP提供了一個具體的決策程序，並且能夠有效的減少錯誤決策被執行，僅針對問題解決的概念進行討論，而非個人意見，有效降低人員發生衝突的機會，減少人為錯誤，為一強化組織溝通文化的有效工具。

#### 案例七：以Concept Alignment Process來促進組員間的溝通以及所有合作單位之間一致性的決策結果

此案例為美國一家主要航空公司對於其飛航組員、維修人員以及管理人員所做的訓練。

##### (1) 計畫目的：

CAP係為一溝通與決策的程序，透過及早確認與管理風險的方式來加強系統安全。管理階層希望透過這樣的程序直接改變人員行為，而不是針對人與人之間工作態度上的轉變。此訓練不同於之前的案例，屬於非自願性強制執行的計畫，包括飛航組員以及維修人員皆必須按照其程序進行工作，而且亦有管理階層的推行與支持，透過強制行為上的轉變，進而漸漸改變人員的態度(Patankar & Taylor, 1999)。

##### (2) 行為上的改變：

由於此計畫為強制執行，因此其對於人員行為的改變幾乎是立即見效，無論其同意或不同意此作法，所有人員皆必須運用CAP的程序來進行工作。此外由於管理階層的大力推行，也導致人員對CAP的信任程度提升，而且當飛航組員與維修人員意見相左時，則必須以手冊的程序為依據，若手冊亦無法有明確說明時，資深管理人員可以適時介入以確保程序符合CAP而且產生一致性的決策結果。

##### (3) 飛安績效表現：

施行CAP計畫的結果，包括維修人員、飛航組員、管理人員皆對於要求飛機製造商、供應商、甚至FAA主管機關提供相關問題解決方法更加主



動。再者，維修管理人員也更容易追蹤某些資訊的缺點，找出其根本肇因，並且進行結構或程序上必要的改進以避免同樣的問題再度發生。CAP以一事先建立之標準化程序要求所有牽涉飛機運作的單位人員加以遵守，透過此一致性的程序除了能夠建立各單位間的互信之外，亦能夠提升個人及組織的表現績效，長期而言對於飛安文化的改善有很大的潛力。

#### (4) 組織安全文化與管理階層的支持

Helmreich & Meritt, 1998提及，要成功加強組織安全文化的先決條件為管理階層的支持。由案例七當中的例子也可以清楚看出，CAP主要係由管理階層強制推行，無論人員是否同意此程序的可行性，皆必須加以執行，並且透過人員執行成果的獎懲制度來確保其運作，隨著計劃的推行，無論其評價如何，人員皆會漸漸信賴此一致性的程序並且建立安全觀念。

#### 案例八：MRM結合直接行為改變與警覺方針及失誤調查

此計畫為一航空公司根據業界施行MRM的最佳經驗，配合採用創新的方式將這些實例轉換為適合該公司文化的訓練計畫。

##### (1) 計畫目的：

提供受訓人人為因素原則的警覺，包括技術與技巧的訓練，協助受訓人確認並且改正錯誤、加強監督、改善知識的不足。此MRM計畫的訓練主題為：警覺以及基本安全技術的訓練、事件與錯誤調查、解決知識與資訊的差異以提升決策結果以及建立互信、事件與錯誤調查和安全與團隊合作間的關係。此訓練計畫針對所有維修單位人員包括經理以及員工一天的課程。課程內容涵蓋六個45分鐘的不同主題，其訓練大綱如下：

- a. 介紹人為因素概念
  - 事故的肇因
  - 人機介面
  - 以MRM外加技術與支持的訓練
  - 當地維修案例影片
- b. Dirty Dozen
- c. 維修失誤
  - 犯錯與違反規定：當地案例說明
  - CAP
- d. 減少錯誤的方法
  - 文化的改變
  - 信任
  - 個人行動

- CAP 解決方法：當地案例說明

e. 公司之MRM計畫

- MEI：當案例說明
- 自願回報系統ASRS
- 設立目標與達成

f. 更多的資訊

- FAA網站
- ASRS/NASA
- 公司MRM部門

(2) 維修錯誤調查程序：

執行此計畫的航空公司目前對於維修失誤與事件調查並沒有一個標準化的程序來進行。而此計畫的目的之一即欲提供維修管理階層一標準化的程序來進行失誤調查，同時提供蒐集錯誤成因資料的方法。此標準化程序不但能夠協助管理人員決定MRM計畫如何減少與避免錯誤發生的重心，並且能夠降低那些由於知識不足而會犯錯人員的恐懼。此計畫欲在推行錯誤調查程序之前完成人員的警覺與技術訓練，目前其正在蒐集有關錯誤調查方法的訓練資訊，期望能夠建立適合該公司使用的錯誤調查程序。

(3) 結果：

該公司之MRM計畫將會包含許多過去發展之最佳MRM訓練，並且以系統化、整合化以及資料庫化的概念來發展。其經驗與結果將於後續研究中持續監控與評估。

## 5. 改變之平衡

MRM 訓練由過去發展至今的第四代 MRM 計畫，可以看出理論上要達到有效的長期改進安全文化需要組織與個人間的同時改變。第一代 MRM 訓練以過去成功的 CRM 為基礎，著重於個人間的溝通技巧與態度的轉變，而在組織結構以及程序的變化有限；第二代 MRM 計畫則是運用團體討論的方式來解決特定問題，其結果造成部份組織以及部份個人的轉變，然而一旦此特定問題解決後，該計畫便很難繼續長期執行。第三代 MRM 計畫則是特別著重於個人的警覺問題，其影響結果多數為個人的改變。現在，組織與個人改變的平衡已成為趨勢。組織的改變提供員工應該要執行工作的程序與結構，配合加強員工了解如何運用各種方法來達成這些程序，兩相平衡下，才能保證安全文化態度的提升。

## 6. 結論

如同案例五和案例六中提及的個人警覺計畫，確實達到個人間對於安全態度的改進。而案例二和三著重於公開與獨斷式的溝通訓練，但其影響結果並不明顯。此外案例四和七則是針對促進行為上的改變而非改變安全態度。因此這些行

為改變為基礎的計畫收效明顯且快速。

本研究中舉出 MRM 訓練計畫能夠對於包括人員受傷、航機受損以及減少文件錯誤方面有所助益。也正因為此類計畫確實對於改善上述情況有所幫助，因此也更促進其發展整合型與行為改變基礎的計畫。

案例八之第四代 MRM 計畫能夠真正達到 MRM 互動的精神，可有效提升飛航安全。然而第四代的 MRM 計畫成功與否的重要因素取決於維修人員以及管理階層間的互信程度，若能確保其高度互信，必能真正有效的提升飛航安全。

## [文獻評析]

1. 綜整自 MRM 計畫開始施行以來美國地區的發展趨勢與執行成果。
2. 將 MRM 計畫發展分為四個階段，分別討論其訓練主題與成果之優劣。各階段計畫皆提出至少一個實際案例，回顧過去的文獻內容，以簡單的重點式說明 MRM 訓練計畫之主題、人員態度的改變、行為上的改變以及飛安績效的改進等。
3. 運用過去 MRM 發展之經驗與結果，說明若欲長期改善航空公司為修相關部門之安全文化，不僅人員的行為與態度需要改變，更需要組織結構與程序上的配合，更重要的是上級管理階層的支持才可能達到此一目標。
4. 文中最後提出目前 MRM 發展的趨勢，除了需要組織結構與人員的配合外，更強調管理階層、維修人員以及主關機關間的互信，確實回報可能產生的失誤，並且以改善錯誤而不是懲罰為目的，才能使 MRM 的發展更為成功。
5. 提供欲瞭解 MRM 發展歷程之相關人員一份完整之回顧文獻。

## [相關文獻]

Allen, J. & Marx, D (1994). Maintenance Error Decision Aid Project. In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection*. Federal Aviation Administration, Washington, D.C. pp. 101-115.

ATA (1999). *SPEC 113: Maintenance Human Factors Program Guidelines*. Washington DC: Air Transport Association of America, (Available electronically at <http://www.airlines.org/public/publications/display1.asp?id=42> ).

Helmreich, R.L.; Foushee, H.C.; Benson, R. & Russini, R. (1986). Cockpit management attitudes: exploring the attitude-performance linkage. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 57, 1198-1200.

Helmreich, R.L. & Merritt, A.C. (1998) *Culture at Work in Aviation and Medicine*. Aldershot: Ashgate Publishing.

FAA (1999) *Advisory Circular No. 120-66A, "Aviation Safety Action Programs (ASAP)"* Washington, D.C.

Fotos, C.P. (1991). Continental applies CRM concepts to technical, maintenance corps, and Training stresses teamwork, self- assessment techniques. *Aviation Week & Space Technology*, August 26th, pp. 32-35.

Gregorich, S.E.; Helmreich, R.L. & Wilhelm, J.A., (1990). The structure of cockpit management attitudes. *Journal of Applied Psychology*, 75, 682-690.

Kanki, B.G., Walter, D. & Dulchinos, V. (1997) Operational Interventions to Maintenance Error. In *Proceedings of the Ninth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, The Ohio State University, pp.997-1002.

Lynch, K.P. (1996) Management Systems: A Positive, Practical Method of Cockpit Resource Management. In *Proceedings of the 41st Corporate Aviation Safety Seminar*, Orlando, FL: The Flight Safety Foundation, pp. 244-254.

Marx, D.A. (1998) Learning from our Mistakes: A Review of Maintenance Error Investigation and Analysis Systems (with recommendations to the FAA). Available electronically at <http://hfskyway.faa.gov>, and on the FAA distributed CD-ROM, *Human factors in Aviation Maintenance and Inspection*, 1999.

Patankar, M.S. (1999) *Professional and Organizational Barriers in Implementing MRM Programs: Differences Between Airlines in the U.S. and India*. SAE Technical Paper No. 1999-01-2979. SAE Airframe/Engine Maintenance and Repair Conference, Vancouver, BC.

Patankar, M & Taylor, J.(1999) *Corporate aviation on the leading edge: systemic implementation of macro-human factors in aviation maintenance* SAE Technical Paper No. 1999-01-1596. SAE General, Corporate & Regional Aviation Meeting & Exposition, Wichita, KS.

Patankar, M. & Taylor, J. (2000) Making a Business Case for the Human Factors Programs in Aviation Maintenance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Conference*, San Diego, CA,. pp. 3-767 to 3-770.

Robertson, M.M.; Taylor, J.C.; Stelly, J.W. & Wagner, R. (1995) "A Systematic Training Evaluation Model Applied to Measure the Effectiveness of an Aviation Maintenance Team Training Program." In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, The Ohio State University, pp. 631-636.

Stelly, J. Jr. & Taylor, J. (1992) "Crew Coordination Concepts for Maintenance Teams." *Proceedings of the Seventh International Symposium on Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection -- "Science Technology and Management: A Program Review."* Federal Aviation Administration, Washington, D.C.

Taggart, W. (1990). Introducing CRM into Maintenance Training. In *Proceedings of the Third International Symposium on Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection*. Federal Aviation Administration, Washington, D.C. pp. 93-110.

Taylor, J.C. (1994) "Using Focus Groups to Reduce Errors in Aviation Maintenance"(Original title: Maintenance Resource Management [MRM] in Commercial Aviation: Reducing Errors in Aircraft Maintenance Documentation, Technical Report -- 10/31/94) Los Angeles: Institute of Safety & Systems Management, University of Southern California. Available electronically at <http://hfskyway.faa.gov>

Taylor, J.C. (1995) Effects of Communication & Participation in Aviation Maintenance. In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, The Ohio State University, pp. 472-477.

Taylor, J.C. (1998a) *Evaluating the effects of Maintenance Resource Management (MRM) interventions in airline safety* (Report of research conducted under FAA Grant #96-G-003). Los Angeles, CA: Institute of Safety and Systems Management, University of Southern California. Available @[www.hfskyway.com](http://www.hfskyway.com), and on the FAA distributed CDROM, *Human factors in Aviation Maintenance and Inspection*, 1999.

Taylor, J.C., (1998b) Evaluating The Effectiveness of Maintenance Resource Management (MRM). In *Proceedings of the 12th International Symposium on Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection*, Gatwick, UK, pp. 85-99.

Taylor, J. C. (1999) *Some effects of national culture in aviation maintenance*. SAE Paper 1999-01-2980. SAE Advances in Aviation Safety Conference, Daytona Beach, FL.

Taylor, J.C., (2000) Reliability And Validity of the 'Maintenance Resources Management, Technical Operations Questionnaire' (MRM/TOQ). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26 (2), pp. 217-230.

Taylor, J.C. & Christensen.T.D. (1998) *Airline Maintenance Resource Management:Improving Communication*, Warrendale,PA: SAE Press. Taylor, J.C. & Patankar, M.S. (1999) Cultural Factors Contributing To The Success Of Macro Human Factors In Aviation Maintenance. In *Proceedings of the Tenth International*

*Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, The Ohio State University.

Taylor, J.C. & M.M. Robertson. (1995) *The Effects of Crew Resource Management (CRM) Training in Airline Maintenance: Results Following Three Years Experience*. Washington, D.C.:National Aeronautics and Space Administration. Available electronically at <http://hfskyway.faa.gov>, and on the FAA distributed CD-ROM, *Human factors in Aviation Maintenance and Inspection*, 1999.

Taylor, J.C.; Robertson, M.M. & Choi, S. (1997) Empirical Results of Maintenance Resource Management Training for Aviation Maintenance Technicians. In *Proceedings of the Ninth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, The Ohio State University, pp.1020-1025.

Taylor, J.C.; Robertson, M.M.; Peck, R. & Stelly, J.W. (1993) Validating the Impact of Maintenance CRM Training. *Proceedings of the Seventh International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio, The Ohio State University. pp. 538-542.

Transport Canada Aviation (1996) *Human Performance In Maintenance Workbook*. Richmond, BC



# **Continuing Analysis and Surveillance System (CASS)**

## **Description and Models**

### **Federal Aviation Administration CASS Final Report**

**National Technical Information Service, FAA, Oct. 2003**

#### **[英文摘要]**

Continuing Analysis and Surveillance System (CASS) is an air carrier quality assurance system and must consist of the following functions: surveillance, control, analysis, corrective action, and follow-up. Together, these functions form a closed-loop system that allows the air carrier to monitor the quality of its maintenance. In a structured and methodical manner, CASS provides air carriers with the necessary information to make decisions and reach their maintenance program objectives. Furthermore, if CASS is used properly, it becomes an inherent part of the air carrier's way of doing business and helps promote a safety culture within the company.

While the regulation governing CASS is short, its sparse language nonetheless requires a complex system. Each CASS must set high goals, and the Federal Aviation Administration (FAA) is empowered by the regulations to require changes to an air carrier's maintenance program if it shows signs of weakness.

To assist industry maintenance personnel and FAA inspectors to understand and comply with CASS requirement, this research proposes three models that illustrate how the structure of CASS can be established based on an air carrier's size and complexity. Each model represents a complete system that should meet, or exceed, the regulatory requirements, and on which new entrant air carriers can base their CASS. Existing air carriers can also use the models as a comparison to their existing CASS and determine its effectiveness.

The results in this report are based on the information gathered through research and on-site interviews with industry, FAA, and trade association representatives. Interviews of eighteen 14 CFR Part 121 air carriers, five 14 CFR Part 135 air carriers, four aviation industry associations, and a representative of the Joint Aviation Authorities of Europe were conducted over a 6-month period. Interviews of personnel at the FAA Flight Standards District Office, Certificate Management Office, and Headquarters were also conducted to gain input from the regulatory perspective.



## **[中文摘要]**

本技術報告敘述持續分析與監督系統(Continuing Analysis and Surveillance System; CASS)是一套品質保證系統(Quality assurance system)，具有監督(Surveillance)、控制(Controls)、分析(Analysis)、改正(Corrective action)以及追蹤(Follow-up)的功能，這些功能形成迴路型系統(Closed-loop system)持續不斷地運作以監督航空公司的維護品質。為了協助維護人員與檢查員(Inspectors)瞭解並遵循分析與監督系統(CASS)的要求，本技術報告提出3種模型(Model)來說明，各航空公司(Air carriers)可依照其公司規模與組織複雜性選擇適用的模型來應用。

第一章介紹持續分析與監督系統(CASS)的基本原理，包含CASS的特性、收集資料的種類與性質、CASS屬於封閉迴路系統、CASS具備的功能等。第二章介紹CASS的功能，包含監督(Surveillance)、控制(Controls)、分析(Analysis)、改正行動(Corrective action)以及追蹤(Follow-up)，第三章說明有效的CASS的特性，包含CASS效用性的量測、稽核範圍、稽核人員資格、外部稽核人員的角色。第四章詳述3種CASS的模型(Model)，並舉例與附圖輔助說明模型(Model)的適用條件、運作方式等。在結論的部份，說明本技術報告可以提供航空器維護相關人員建立正確的持續分析與監督系統(CASS)的觀念，航空公司亦可依據CASS選擇適合的模型來應用，並可與其近似的模型做比較以決定其本身使用的分析與監督系統(CASS)的效用性(Effectiveness)。

## **[內容]**

### **1. 持續分析與監督系統基本原理(Fundamentals of Continuing Analysis and Surveillance System)**

#### **1.1 簡介(Introduction)**

為了回應一連串與維護相關的失事(Accidents)事件，美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration; FAA)與美國國家運輸安全委員會(National Transportation Safety Board; NTSB)共同主導研究，美國聯邦航空總署(FAA)在1964年推出法案規定航空公司(Air carriers)必須建立並運作持續分析與監督系統(Continuing Analysis and Surveillance System; CASS)。持續分析與監督系統(CASS)提供一套結構化程序來監控航空公司的檢查(Inspection)、維護(Maintenance)、預防性維護(Preventive maintenance)以及改裝(Alterations)計畫的績效(Performance)與效用(Effectiveness)。CASS確保改正計畫內的缺陷(Deficiency)之方法，不論計畫是由航空公司本身執行或委由任何其他單位執行。(Title 14 Code of Federal Aviation Regulations (CFR), Part 121.373及135.431.)

#### **1.2 持續分析與監督系統特性 (Continuing Analysis and Surveillance System Characteristics)**

CASS是航空公司的品質保證系統(Quality assurance system)。以結構及方法

而論，CASS提供航空公司做決策以及達成其維護計畫(Maintenance program)目標所需的必要資訊。此外，若CASS運用得當，則將成為航空公司營運方式固有的部份且提昇公司內部的安全文化。

CASS監控許多計畫，主要包含持續適航維護計畫(Continuing Airworthiness Maintenance Program; CAMP)，其中包含檢查的部份。所有的航空公司具備一套持續適航維護計畫(CAMP)以確保其所屬航空器適當地維護。CASS的主要功能是確保每一家航空公司的持續適航維護計畫(CAMP)是有效的。CAMP預防早期的失效(Premature failures)以提昇航空器與零組件的可靠性及整體安全性。理想狀況是航空公司的CAMP能夠確保在定期航空器檢查時程之間沒有意外事件(Events)發生。在現實狀況則是每一套CAMP必須持續地調整以朝理想狀況邁進。有效的CASS必須確認對整體效用性不利的因素在其變成系統問題之前加以改正。

### **1.3 資料收集(Data Collection)**

為了達到上述目標，CASS收集並分析航空公司的持續適航維護計畫(CAMP)的許多元素(Elements)之資料。這些資料依其來源可分類為例行(Routine)、稽核(Audit)或其他資料。

#### **1.3.1 例行資料(Routine Data)**

例行資料(Routine Data)是由航空公司例行性收集的資料，這些資料可能是法規要求必須收集的，但也可能不是法規要求必須收集的，例如：1.航空器檢查(Aircraft inspection) 2.定期維護(Scheduled maintenance) 3.要求檢查項目(Required Inspection Item; RII) 4.航空器、發動機、螺旋槳與裝備翻修 5.重大修理與改裝(Major repair and alteration) 6.可靠性計畫(Reliability program)(若有) 7.結構檢查計畫(Structure inspection program)(若有) 8.機械可靠性報告(若有) 9.特殊聯邦航空法規 36 授權(若有) 10.特殊操作(Special operations)(例如：Category II、Category III、最低導航性能規範(Minimum Navigation Performance Specification)、縮短垂直隔離最小距離(Reduced Vertical Space Minimum)、雙發動機延遠操作(Extended-range Twin-engine OperationS; ETOPS)) 11.老舊航空器議題(Aging aircraft issues)，例如腐蝕防止與控制計畫(Corrosion Prevention and Inspection Programs)、補充結構檢查文件(Supplemental Structural Inspection Documents)、結構檢查文件(Structural Inspection Documents)、結構修理評估(Structural repair assessments) 12.非破壞性測試(Nondestructive testing)。

#### **1.3.2 監督資料(Surveillance Data)**

監督/稽核資料(Surveillance/Audit Data)是在持續分析與監督系統(CASS)時收集，其來源如：1.適航責任(Airworthiness responsibilities) 2.維護手冊(Maintenance manuals) 3.維護組織與幕僚(Maintenance organization and staffing) 4.維護訓練(Maintenance training) 5.適航指令的依循(Airworthiness Directive (AD) compliance) 6. 服務技術通報的依循(Service Bulletin compliance) 7.供應商設備(Vendor facilities)、能力(Capabilities)及績效(Performance)，包含零組件資訊如過度使用(Excessive usage) 8.裝備、設備、測試/量測裝備校正 9.加燃油(Fueling) 10.

重量與平衡 11.行李與貨物(Baggage and cargo) 12.紀錄與報告系統(Records and reporting systems) 13.零組件/材料控制(Parts/material control)，包含存疑的未核准零組件(Suspected Unapproved Parts; SUPs) 14.供應商協調代理商評估(Coordinating Agencies for Supplier's Evaluation; C.A.S.E.) 15.維護人員責任時間。

#### 1.3.3 其他資料(Other Data)

其他資料可經由重大意外事件或失事、特別調查、特別稽核，或拆解分析產生，同時也是航空公司(Air carriers)不正常運作的結果。這些資料之來源來自於：  
1.非定期維護(Unscheduled maintenance)，包含重複非例行性維護(Repetitive nonroutine maintenance) 2.延遲維護(Deferred maintenance)(最低裝備需求表(Minimum Equipment Lists; MELs)、航空器通訊尋址與報告系統(Aircraft Communications Addressing and Reporting Systems; ACARS)及構型差異表(Configuration Deviation List; CDLs)) 3.拆解報告(Teardown reports) 4. 機械中斷總結報告(Mechanical interruption summary reports) 5. 零組件/材料控制(Parts/material control)，包含存疑的未核准零組件(Suspected Unapproved Parts; SUPs)。

#### 1.4 持續分析與監督系統為封閉迴路系統(Continuing Analysis and Surveillance System as a Closed-loop system)

每一套CASS監控關鍵元素的有效性(Effectiveness)與績效(Performance)。這些關鍵元素(稽核、資料收集、分析、報告、改正行動與確認)是航空公司用來達成特殊目標的程序(Processes)或計畫(Programs)。其中一部份關鍵元素是美國聯邦法規第14章(14 CFR)所要求，其他是由業界或與美國聯邦航空總署(FAA)合作加強航空公司操作的效率及/或安全性。

CASS是檢討相互關聯的元素、計畫(Programs)及過程(Processes)的封閉迴路系統，包含人員、程序、裝備、操作規範、設施以及可應用的資訊科技。此系統提供航空公司的自我評估之回饋使CAMP能夠趕上航空公司的變化。有一項很重要的就是，必須注意到：CASS的法規並沒有區分哪些維護功能由航空公司執行，而哪些維護功能則由外包合約商執行，因此，CASS的責任仍屬航空公司本身。

#### 1.5 持續分析與監督系統功能 (Continuing Analysis and Surveillance System Functions)

每一套持續分析與監督系統(CASS)至少應具備下列功能：

##### 1.5.1 監督(Surveillance)

CASS之目的是藉由主動地確認缺點(在還未發生前)並採取改正行動以管理風險。改正行動的評估決定介入(Intervention)的效用性。

系統安全的規範是應用特殊技術的與管理的技巧在系統前瞻性確認，並且透過計畫或活動壽命週期來控制危險(Hazards)，而不是從失事或重大事件回過頭來找出原因，系統安全方法是經由主動確認、分析、評估、排序、將風險文件化，並採取改正行動以主動地降低危險(Hazards)。

##### 1.5.2 控制(Controls)

控制是檢查與限制程序設計以確保所需的結果。控制應該寫入航空公司的維護手冊系統內以確保遵循手冊的程序。控制可以是管理控制的形式，其中加入次要與補充的書面程序以確保遵循更重要的主要程序。在執行風險分析之處應進行控制，其目的是顯示起因於遵循特殊程序失效之危險的高可能性與嚴重性。

### 1.5.3 分析(Analysis)

包含分析所收集的機械性能資料以及監督稽核之結果，這些資料經過評估用來做為量測航空公司維護計畫的效用性與績效的指標。一般而言，航空公司收集與分析下列的操作性能資料：1.機械中斷結案報告(Mechanical Interruption Summaries; MIS)，包含航班延遲與取消航班 2.維護可靠性報告(Maintenance Reliability Reports; MRRs) 3.航空器維護紀錄本的機師手寫記錄(Pilot write-ups in aircraft logbooks) 4.最低裝備需求表項目(Minimum Equipment Lists; MELs) 5.非例行性維護工作(Nonroutine maintenance tasks)，包含航空器剛完成高階維護檢查之工作6.由於維護因素之非定期降落(Unscheduled landings due to maintenance) 7.廠家拆解報告(Vendor teardown reports)。

### 1.5.4 改正行動(Corrective Action)

針對分析結果確認的缺陷(Deficiencies)進行改正行動的發展、執行與監控，此亦包含修理方法的檢討以確保未來相同問題不再發生。

### 1.5.5 追蹤(Follow-Up)

追蹤是為了確保航空公司確實執行改正行動，而改正行動效用性量測可評估CASS的效用性，其結果形成封閉迴路系統，包含監督、調查、資料收集、分析、改正行動、改正行動的監控、再回到監督的持續循環。

### 1.5.6 持續分析與監督系統(CASS)的效益(Benefits of CASS)

包含持續改善、更安全的操作、提昇的維護效率；提昇的航空器派遣率；以及降低維護與操作系統的錯誤。完整功能的CASS使航空公司確保其維護計畫的安全性與穩定性。一套功能運作正常的CASS由於其更嚴格的標準亦可證明適用於特殊計畫，例如雙發動機延遠操作(Extended-range Twin-engine OPERATIONs; ETOPS)、縮短垂直隔離最小距離(Reduced Vertical Space Minimum)、Category II、Category III等。

## 2.持續分析與監督系統的功能領域(Continuing Analysis and Surveillance System Functional Areas)

### 2.1 監督(Surveillance)

CASS的監督功能包含對航空公司內部與外部的稽核以確保其CAMP合適且運作正常。定期的監督是主動且持續監控航空公司的維護過程。不定期的監督則是被動且當重大意外事故或裝備失效時才執行。理想的狀況是 CAMP由主動的改正行動發現潛在的失效問題。

對於關鍵的安全過程，必須有專人負責CASS的監督工作。此專人必須是資深管理者，例如維護副總(Vice President; VP)，在較大型的組織內，資深管理者

會指派例如首席檢查員(Chief Inspector)或品保主任(Director of quality assurance)負責CASS的監督工作。

CASS的監督功能必須有書面程序以確保其標準性與一致性。航空公司的監督人員必須建立監督過程的時程表以確保達到其所需之要求。

2.2 控制(Controls)

CASS本身必須透過外部的方法進行評估，內部評估計畫(Internal Evaluation Program; IEP)並非強制性，但對於確認CASS是否依其目標完成很有效用。為了使此程序有其效用，負責持續分析與監督系統(CASS)的人員必須開放其接受外界的詳細檢視。航空公司也必須從系統安全的觀點確認CASS所收集的資料是有用的。

2.3 分析(Analysis)

CASS的分析功能是透過監督結果以及機械性能資料的分析來監控維護計畫的效用性。資料分析之目的是確認航空公司程序的缺點，且資料的評估協助使用者發展改正行動(Corrective actions)與後續追蹤計畫(Follow-up plans)。

航空公司監督部門產生大量的資料必須經過組織與分析才能真正可用，因此必須有持續追蹤監督活動的機制才能確保及時與適合目標的行動。

2.4 監督資料分析(Surveillance Data Analysis)

一旦發現問題，稽核人員必須透過許多不同種類的分析方法進行評估，包含根本原因分析(Root cause analysis)、風險分析(Risk analysis)以及人為因素調查(Human factors investigations)。

2.4.1 根本原因分析(Root Cause Analysis)

根本原因分析(Root cause analysis)的基本原則是稽核人員必須持續調查直到找到可以降低未來安全問題風險的初始因素。在稽核之後，確認根本原因的發現紀錄必須為行動的依據且在稽核報告中敘述。

根本原因分析(Root cause analysis)必須包含下列的領域(Areas)：

領域(Areas)	功能(Functions)
管理責任	組織或個人決定過程的行動內容，此人擁有該過程且為該過程的品質負責
程序	完成過程的文件或指定的方法
控制	過程中設計的檢查或限制以確保達成所需的結果
過程管理	資訊評估或量測以確認、分析及將過程潛在問題記錄成文件
界面	獨立過程之間的互動

稽核人員執行根本原因分析(Root cause analysis)以找出潛在失效(Latent failures)。在分析中發現的項目必須由稽核人員指出計畫期望的行動、實施日期、相關效用性的量測，若所做的相關改正決策未經實施，則稽核人員必須說明不採

取行動的理由。

#### 2.4.2 風險分析(Risk analysis)

風險分析(Risk analysis)(亦即風險管理(Risk management))包含管理風險目的之影響(Consequence)與可能性等級(Likelihood ratings)。經由重大事件(Incident)歷史檢討、稽核與研究確認危險(Hazards)，以及專家組成的審查小組對於這些危險(Hazards)的腦力激盪(Brainstorm)，可產生潛在危險的清單並將其列入稽核過程中。

經由下列步驟完成風險的評估：1.確認現有的防禦(Defenses) 2.評估現有防禦(Defenses)的效用性 3.描述最壞狀況的情境 4.評估每一種情境的結果：—不明顯；或次要；或中等；或主要；或嚴重的(Catastrophic) 5.評估每一種情境的可能性：—罕見；或不太可能；或可能；或很可能；或幾乎確定 6.根據結果與可能性評估，對於每一種危險(Hazard)指定風險等級(Risk level)。

一旦完成分析，可運用圖一的決策矩陣來處理風險：

		Consequences				
Likelihood		Insignificant	Minor	Moderate	Major	Catastrophic
Almost certain						
Likely						
Possible						
Unlikely						
Rare						

Key			
Color	Risk Level	Evaluation	Response
	Extreme	Intolerable	Urgent action required
	High	Must consider measures to reduce risk	Improvement required in the short term
	Moderate	Must consider measures to reduce risk	Assess and monitor regularly
	Low	Tolerable	Assign a low risk priority

FIGURE 1. RISK RESPONSE MATRIX

經由上述矩陣，航空公司必須決定適當的行動。航空公司對於緊急危險採取改正行動並對長期的風險管理(Risk management)仔細思考擬訂預防行動。最後，負責的管理者應該提出實施時間表與行動並呈報核准。

#### 2.4.3 分析過程(Analysis Process)

航空公司必須追蹤稽核結果並進行分析以找出趨勢(Trends)，特別是負面的狀況，可能需要修改其維護計畫。許多航空公司有稽核人員執行稽核結果的分析工作。通常稽核報告的資訊僅供維護組織內部運用分享，而很少如自願報告計畫(Voluntary Disclosure Reporting Program; VDRP)及航空安全報告系統(Aviation Safety Reporting System; ASRS)與外界交流。而自願報告計畫(VDRP)及航空安全報告系統(ASRS)可提供不同的觀點，因此資訊的交流是成功的CASS必備的要素。一些航空公司設有安全委員會(Safety committees or councils)協調資訊的分享，其成員通常為各單位管理階層，藉由這樣的方式將航空公司維護組織的潛在問題提出以引起管理高層的注意與重視。

航空公司必須分析稽核結果並將其依嚴重性進行排序，找出與適航或未遵循規範相關之關鍵項目並儘速改正。航空公司必須有稽核結果風險分析的書面程

序，而且必須包含分析工具，例如：維護錯誤決策輔助 (Maintenance Error Decision Aid; MEDA)或航空維護人為因素分析與分類系統(Human Factors Analysis Classification System)。

#### 2.4.4 人為因素(Human Factors)

統計顯示80%的失事(Accidents)是由於人為錯誤。美國的統計發現最近有30%的失事(Accidents)與維護人為因素問題有關，人為因素問題可能是潛在的(Latent)而且可以促成航空器失效(Aircraft failures)。人為因素分析著重在找出人為錯誤背後的原因並將其最小化。

#### 2.5 性能資料分析(Performance Data Analysis)

在進行性能資料分析時，必須確認所收集的資料是有意義的，且應重質而不重量。性能資料分析包含將所收集的資料與標準比、確認瑕疵(Deficiencies)並決定趨勢(Trends)與參數的變動，視實際需要修改其維護計畫。性能資料的收集與分析，必須與航空器、發動機、零組件製造原廠保持良好互動以解決可靠度、品質及設計上的問題。航空公司分析人員使用根本原因分析(Root cause analysis)檢視機械失效背後的原因是很重要的，因為單從特定零組件數次失效的分析並非分析問題的良方。

#### 2.6 改正行動(Corrective Action)

航空公司的文件中必須說明負責改正行動的單位與人員，和可以授權變更程序的人員以及改正行動相關的步驟。通常是由與問題相關的單位與人員負責對於稽核結果進行調查與評估並預防再度發生。航空公司若設有品保(Quality Assurance)組織，則由品保人員審視並核准改正行動計畫且確認改正行動計畫正確實施。

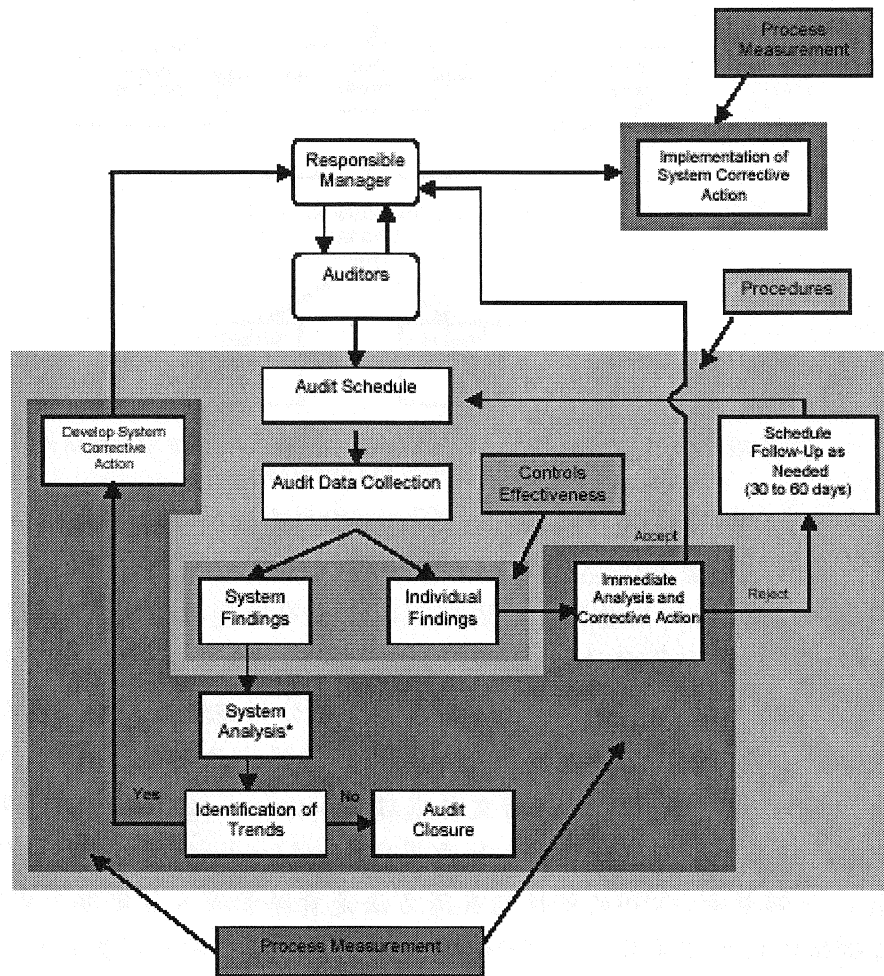
#### 2.7 追蹤(Follow-Up)

航空公司的程序中必須說明改正行動追蹤相關的步驟、實施時間表、遵照提出的時間限制之確認、負責人員的指派以及後續的追蹤。

一般來說，負責確認改正行動的實施情形之人員或組織如下：1. 相關的技術管理者 2.品質稽核主管 3.品保稽核人員 4.由CASS辦公室或行動計畫指派的人員或小組 5.被指派的工程師 6.可靠度控制委員會 7.維護廠廠長(大多數為小型航空公司) 8.負責主管。若在特定時間內無法完成改正行動時，管理階層此時採取必要行動是很重要的。

圖2所顯示的是描繪一般的CASS迴路式系統(Closed-loop system)之流程圖(Flowchart)，此系統可應用在任何型式的航空公司之CASS。如流程圖(Flowchart)所示：航空公司負責的主管(Responsible manager)必須為整個CASS負責。負責的主管(Responsible manager)委派CASS監督程序給稽核人員，而稽核人員擬定時間表並完成所需的監督工作。圖2將程序分成3組，用黃色標示的是與CASS監督資訊相關的流程；用藍色標示的是控制效用性(Controls effectiveness)，主要是確認系統問題相對於個人的發現(Individual findings)；用綠色標示的是程序測量，主要是確認改正行動的效用性。

CASS資料分析程序流程圖(Flowchart)如圖3所示，而圖3是CASS分析功能的放大，亦是圖2整體CASS流程圖的一部份。



\*See figure 3 for a more detailed description of system analysis

FIGURE 2. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM SURVEILLANCE PROCESS FLOWCHART



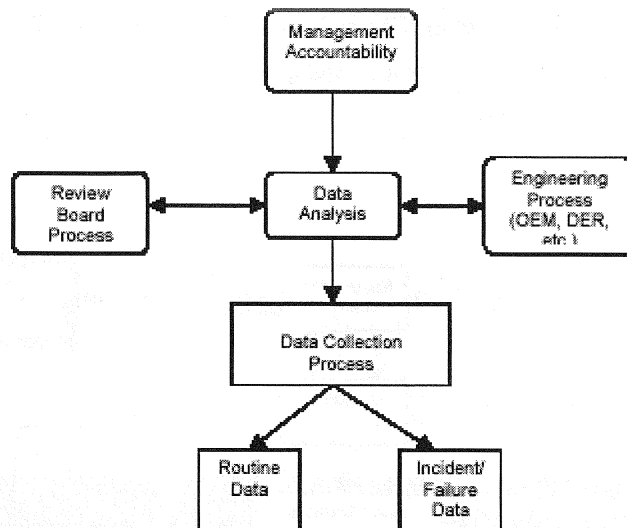


FIGURE 3. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM ANALYSIS PROCESS FLOWCHART

### 3.有效的持續分析與監督系統的特性(Characteristics of an CASS)

#### 3.1 CASS效用性的量測(Measuring CASS Effectiveness)

CASS效用性的間接量測可透過確認航空公司維護計畫所有部份均遵循法規執行來達成，但航空公司的維護計畫沒有發現問題並不表示其CASS是有效的。有效的CASS必須經由持續的監督、收集資訊、分析並驗證航空公司的運作來達到，這當中包含：維護時間限制、維護程序、維護方法、維護技術、維護實作。每一套CASS應該具備程序來執行文件處理(Documenting)、報告、分析：檢查發現、操作功能異常、不正常操作、如重落地(Hard landing)或過重著陸(Overweight landing)。一種量測CASS效用性的有用方法是資深管理人員定期參與可靠度會議、航班延誤與取消會議、CASS會議等，從資深管理階層的觀點檢討操作性能(Operational performance)。

#### 3.2 最少CASS元素(Minimum CASS Elements)

表1所顯示的是一些經由業界與FAA檢查員確認有效的CASS元素：

TABLE 1. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM ELEMENTS

Minimum CASS Elements	Characteristics
People	Regardless of the complexity of organizations, operators should ensure the responsible manager, other management, and technical personnel are competent and with the authority to conduct operations at the highest level of safety.
Procedures	There should be documented procedures covering: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auditing/surveillance analysis</li> <li>• Controls</li> <li>• Corrective action</li> <li>• Follow-up of corrective actions</li> <li>• Process measurements</li> <li>• Interfaces</li> </ul>
Materials	There should be documented procedures to ensure company materials meet CASS requirements; for example: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Surveillance/audit recording materials</li> <li>• Auditor training materials</li> <li>• Analysis training materials</li> </ul>

TABLE 1. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM ELEMENTS  
(Continued)

Minimum CASS Elements	Characteristics
Tools	The air carrier should identify the tools used by CASS personnel to accomplish their tasks, such as: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprehensive audit checklists</li> <li>• Computers</li> <li>• Specialized computer software</li> <li>• C.A.S.E.</li> </ul>
Data and Equipment	These must be adequate and properly maintained to perform the intended tasks.
Facilities	These must be adequate and properly maintained to perform the intended tasks.
Software	Must be adequate and properly maintained to perform their intended functions. There should be a system of security to limit access and the ability to change any computer programs, based on documented procedures that identify those personnel with a need to know. Adequate backup procedures also need to be in place.
CASS Audits	The basic elements of an effective audit are: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planning what needs to be done and when</li> <li>• Implementation</li> <li>• Reporting</li> <li>• Corrective action</li> <li>• Follow-up</li> <li>• Record retention</li> </ul>
Auditing organization	An audit is a formal and systematic evaluation of evidence. As such, the auditing organization must be totally independent from the organizations being audited.

### 3.3 稽核範圍(Scope of Audits)

稽核必須包含觀察與監控航空公司的維護活動及合約維護代理商，重要的是，稽核必須包含高階維護檢查而非每日紀錄的檢討。稽核人員必須小心地檢討非例行性檢查的部份，因為這些檢查項目並不包含在原始計劃檢查內而且可能顯露出持續適航維護計畫(CAMP)中的缺陷。

### 3.4 稽核人員資格(Auditor Qualifications)

雖然沒有特定的法規要求CASS人員的訓練與資格，但是航空公司必須指定其選人、訓練與經驗之要求，而且這個程序必須在航空公司的手冊系統文件上清楚地記載。航空公司對於稽核人員應該確認其合格且勝任該項工作，稽核人員必須具備適當的稽核技巧與知識，且應該不斷地參加複訓以確保熟悉業界最新的技能。

### 3.5 分析人員資格(Analyst Qualifications)

負責CASS相關的分析之人員也應該是合格且勝任該項工作，他們應該受過分析的相關訓練，例如：根本原因分析(Root cause analysis)、風險分析(Risk analysis)、系統分析(System analysis)、人為因素、系統安全觀念(System safety concepts)等。

### 3.6 外部稽核人員的角色(Role of Outside Auditors)

外部稽核人員必須符合航空公司CASS的要求，例如他們應該使用該航空公司的手冊、程序或維護計畫來稽核合約廠家，而不是以與法規一致的業界標準來稽核合約廠家。航空公司應該確認外部稽核人員受過相關的訓練。對於外部稽核人員做出的稽核結果應該與航空公司自己的稽核人員做出的稽核沒有區分，而且同等重要。

#### **4.持續分析與監督系統的模型(Continuing Analysis and Surveillance System Model)**

本章提出的3種模型(Model)是依據航空公司規模與組織複雜性來分類，這裡所說的CASS是指可接受的系統而非理想化的或最佳的系統。航空公司可選擇其中的模型(Model)做為其CASS元素(Elements)的基本架構，或是與其現有的CASS做比較以確認包含所需的與建議的元素。這些模型(Model)之目的是顯現雖然航空公司各有其不同的CASS元素(Elements)，但仍可符合法規要求。必須注意的是：14 CFR Part 119的發佈使大多數Part 135認證的航空公司轉變成Part 121認證的航空公司，例如：部份Part 135航空公司規模比部份Part 121航空公司來得大，因此航空公司所使用的CASS應該是以其規模與組織複雜性來決定而非以所持有的Part 121認證或Part 135認證來決定。

##### **4.1持續分析與監督系統的模型第一型：符合14 CFR Part 121大型航空公司(CASS Model 1: Large 14 CFR Part 121 Air Carrier)**

此型(Model 1)須符合14 CFR Part 121法規且具有超過100架以渦輪為動力之航空器(Turbine-powered aircraft)的國際線航空公司，其具有最複雜的維護計畫及相當的資源。航空公司的維護副總(VP)身負CASS的全責並指派品保(QA)主管執行監督CASS，而品保(QA)主管領導稽核人員與分析人員。

品保(QA)主導航空公司的維護契約商的外部稽核與航空公司的內部稽核。航空公司實施內部評估計畫(IEP)來控制CASS以確認CASS持續符合法規要求的目標。品保(QA)亦主導監督資料的分析並做成報告定期呈報給管理高層，可靠度部門收集並分析機械性能資料直接提報到CASS審查委員會(CASS review board; CRB)。CRB的成員包含品保(QA)主管(主席)、可靠度部門主管、品管(QC)主管及停機線主管。CRB以性能資料分析結果為基礎擁有修改航空公司維護計畫的權力。與問題相關的單位與人員負責對於稽核結果進行調查與評估並採取行動預防再度發生。航空公司若設有品保(QA)組織，則由品保人員審視並核准改正行動計畫且確認改正行動計畫正確實施。航空公司必須運用團隊行動來改正問題，特別是當問題牽涉到許多單位時。航空公司以自動化系統(Automated system)來監控CASS問題的改正行動，並具備詳細的程序說明如何監控改正行動以及如何進行追蹤。

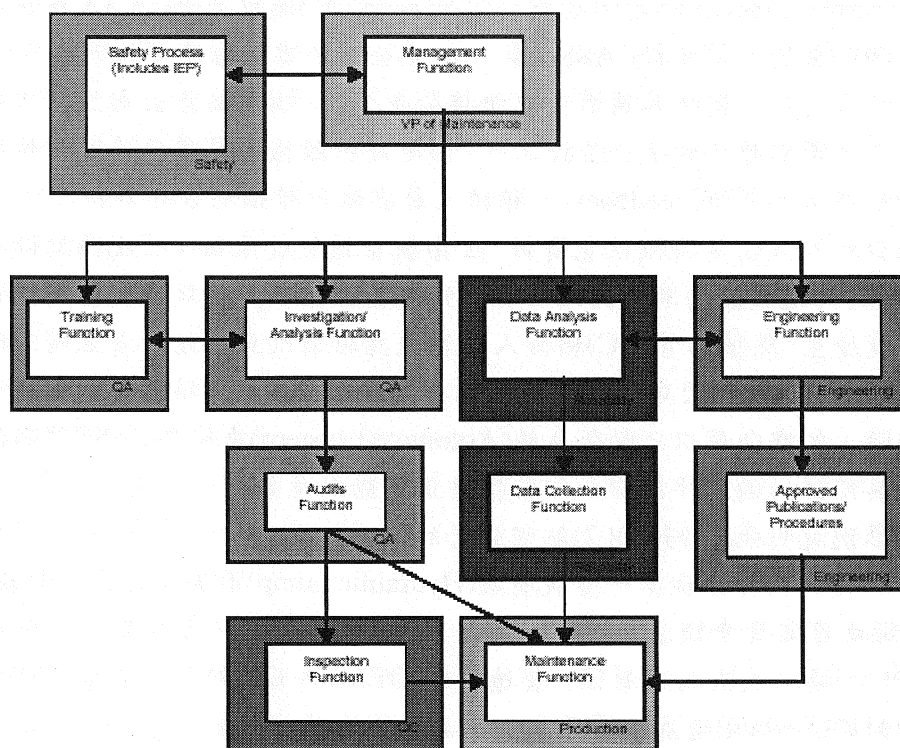


FIGURE 4. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM PROCESS  
FUNCTIONAL DIAGRAM FOR CASS MODEL 1

本文舉例說明此型(Model 1)航空公司的CASS如何運作，簡述如下：某航空公司的可靠度計畫發現某一型液壓泵(Hydraulic pump)滲漏造成多次航班延誤的問題，經由可靠度會議決議由工程部門調查原因，工程部門發現是翻修時發生錯誤造成液壓泵失效(使用錯誤型式的封膠(Sealant))，品保(QA)稽核人員調查發現是某外包修理站的修理程序有誤，進而發現是技術通報(Service bulletin)中筆誤而造成修理人員的誤用錯誤型式的封膠。該外包修理站由合格人員實施品管審查以避免問題再度發生，該航空公司的品保(QA)稽核人員審視並核准改正行動計畫且確認改正行動計畫正確實施。

模型一(Model 1)的航空公司程序功能圖如圖4所示，該圖不應視為組織圖(Organizational chart)；有顏色框內的部份表示個人或單位在不同的航空公司CASS運作時被賦予的責任。

#### 4.2持續分析與監督系統的模型第二型：符合14 CFR Part 121 中型航空公司或符合Part 135大型航空公司(CASS Model 2: Medium 14 CFR Part 121 or Large Part 135 Air Carrier)

此型(Model 2)須符合14 CFR Part121法規的中型(Medium)航空公司或符合Part 135法規的大型(Large)航空公司且具有5至20架渦輪為動力(Turbine-powered)之航空器飛航美國境內區域網路，而此型航空公司可能附屬於主要航空公司(Major air carrier)且擁有適當的資源，但卻不必發展或採用像較大型航空公司的模型一(Model 1)CASS，例如沒有分離的品保(QA)組織，但由品管(QC)完成所有CASS的功能。

此型(Model 2)的CASS是由航空公司的品管(QC)運用品管(QC)人員與從其他單位借調而來的人員執行CASS功能，航空公司的書面程序須註明從其他單位借調而來的人員不可稽核其原單位以維持公正無私。該型航空公司須具有安全部門執行該公司獨立超然的安全監控工作，由委託的稽核人員審查其運作情況並提供管理階層所需的回饋(Feedback)。稽核人員亦執行稽核結果之分析工作，品管(QC)訓練分析人員收集機械性能資料，但由航空器製造原廠(OEM)協助儲存所收集的資料。與問題相關的單位與人員負責對於稽核結果進行調查與評估並採取行動預防再度發生。然後品管(QC)稽核人員審視並核准改正行動計畫且確認改正行動計畫正確實施。航空公司必須運用團隊行動來改正問題，特別是當問題牽涉到許多單位時。航空公司以自動化系統(Automated system)來監控CASS問題的改正行動，並具備詳細的程序說明如何監控改正行動以及如何進行追蹤。

本文舉例說明此型(Model 2)航空公司的CASS如何運作，簡述如下：某航空公司的品管(QC)人員發現某一型液壓泵(Hydraulic pump)滲漏造成多次航班延誤的問題，經由可靠度會議決議應找出原因，品管(QC)分析人員聯繫該型液壓泵製造原廠(OEM)協助找出失效原因。製造原廠(OEM)的工程師發現是翻修時使用錯誤型式的封膠(Sealant)造成液壓泵失效，品管(QC)稽核人員調查發現是某外包修理站的修理程序有誤，進而發現是技術通報(Service bulletin)中筆誤而造成修理人員的誤用錯誤型式的封膠。該外包修理站由合格人員實施品管審查以避免問題再度發生，該航空公司的品管(QC)稽核人員審視並核准改正行動計畫且確認改正行動計畫正確實施。航空公司的品管(QC)稽核人員稽核自己公司的修理工場(Shop)以確認相同錯誤不會再度發生。該航空公司雖有自願報告計畫(VDRP)，但卻沒有涵蓋在CASS之內，例如：該航空公司沒有可靠度計畫、沒有品保(QA)組織、沒有內部評估計畫(IEP)，未來該航空公司應將此類計畫加入CASS中。

模型二(Model 2)的航空公司程序功能圖如圖5所示，該圖不應視為組織圖(Organizational chart)；有顏色框內的部份表示個人或單位在不同的航空公司CASS運作時被賦予的責任。

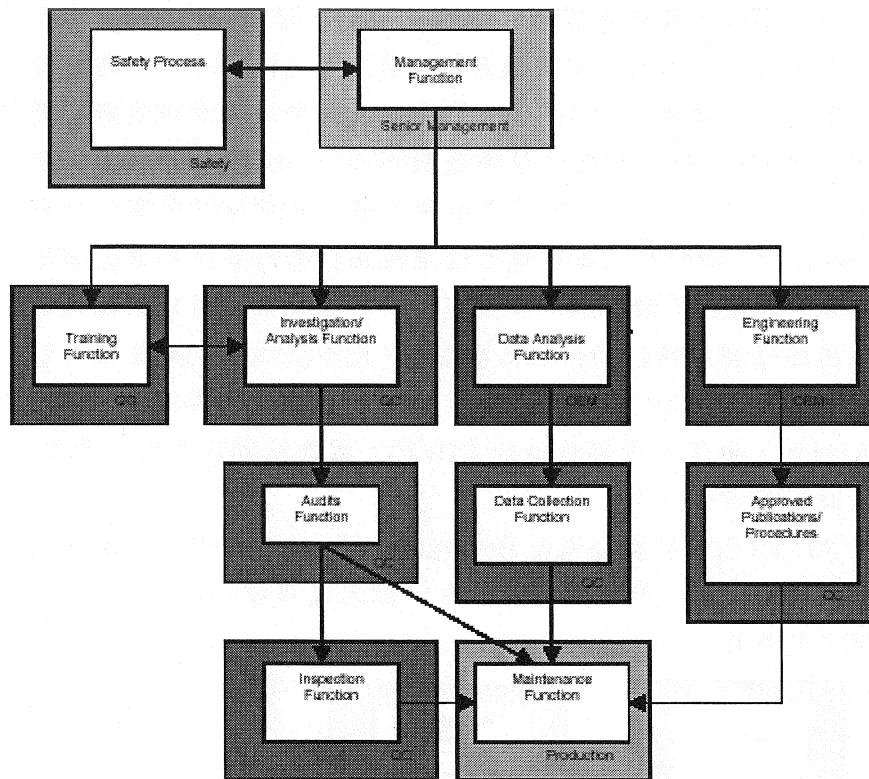


FIGURE 5. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM PROCESS  
FUNCTIONAL DIAGRAM FOR CASS MODEL 2

#### 4.3持續分析與監督系統的模型第三型：符合14 CFR Part 135小型航空公司(CASS Model 3: 14 CFR Part 135 Air Carrier)

此型(Model 3)須符合14 CFR Part135法規且擁有少於5架、具備10個或以上座位之航空器且為視需求飛行的航空公司，而此型航空公司擁有的資源很有限。

此型(Model 3)的CASS是由航空公司的總裁(President)或執行經理(Responsible manager)負責CASS，而CASS的變更則指派由品管(QC)負責。品管(QC)由單獨一人或一個單位組成且負責CASS的每日運作。

此型航空公司可能將航空器維護的工作外包給經認證核准的修理站，並指派人員進行稽核及撰寫報告呈報給總裁(President)或執行經理，航空公司可能將CASS監督工作外包給外部機構來進行稽核及呈報結果之工作。該型航空公司須具有安全官(Safety officer)執行該公司獨立超然的安全監控工作，或由委託的外部稽核人員審查其運作情況並提供總裁(President)所需的回饋(Feedback)。大多數的CASS工作是由維護、操作、管理部門的人員在每週或每月執行分析資料之工作，由獨立的資料收集與分析系統進行收集機械性能資料以監控航空器、發動機及零組件的使用狀況。此型航空公司在處理CASS稽核與分析工作有特定的書面程序，以避免改正行動未達標準時無法追蹤原因。航空公司以自動化系統(Automated system)來追蹤稽核結果之改正行動。執行經理訂定時間表以確保完成稽核結果所需之改正行動。

本文舉例說明此型(Model 3)航空公司的CASS如何運作，簡述如下：某航空公司的首席檢查員(Chief inspector)發現某一型液壓泵(Hydraulic pump)滲漏造成

多次航班延誤的問題，經由會議決議應找出原因，檢查人員(Inspector)聯繫該型液壓泵製造原廠(OEM)協助找出失效原因。製造原廠(OEM)的工程師發現是翻修時使用錯誤型式的封膠(Sealant)造成液壓泵失效，檢查人員調查發現是某外包修理站的修理程序有誤，進而發現是技術通報(Service bulletin)中筆誤而造成修理人員的誤用錯誤型式的封膠。該外包修理站由合格人員實施品管審查以避免問題再度發生，該航空公司的檢查人員審視並核准改正行動計畫且同意將液壓泵送交修理站執行修理。當合約修理站執行改正行動時，檢查人員訂定時間表以監控合約修理站確保由該修理站執行的修理是有效的。此型(Model 3)航空公司沒有將任何自願報告計畫(VDRP)涵蓋在CASS之內，例如：該航空公司沒有可靠度計畫、沒有品保(QA)組織、也沒有內部評估計畫(IEP)，因為此類計畫對於此型(Model 3)航空公司並非一定需要。

模型三(Model 3)的航空公司程序功能圖如圖6所示，該圖不應視為組織圖(Organizational chart)；有顏框內的部份表示個人或單位在不同的航空公司CASS運作時被賦予的責任。

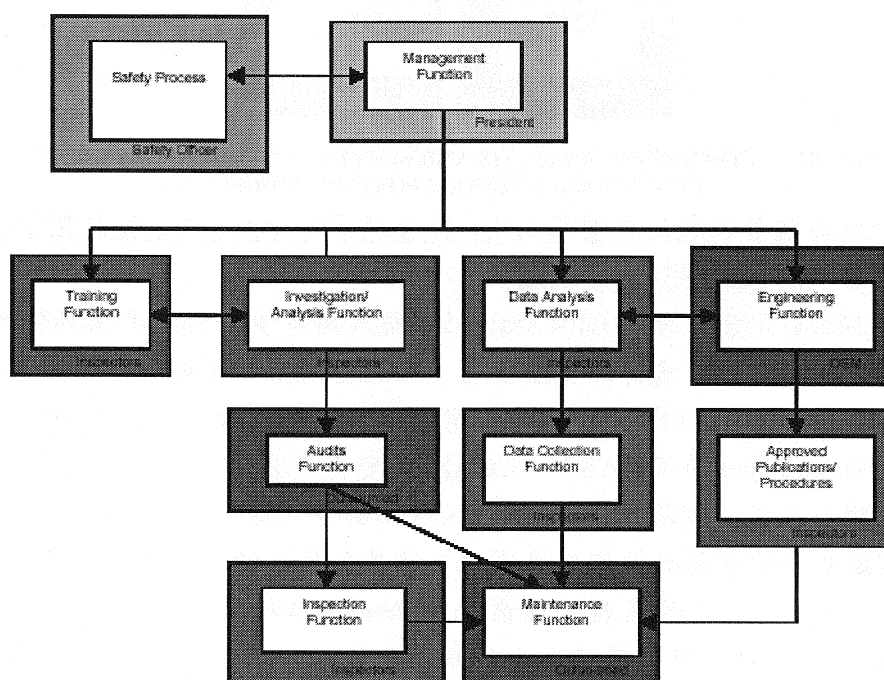


FIGURE 6. CONTINUING ANALYSIS AND SURVEILLANCE SYSTEM PROCESS FUNCTIONAL DIAGRAM FOR CASS MODEL 3

## 結論

持續分析與監督系統(CASS)主要是透過監督持續適航維護計畫(CAMP)以及其他相關計畫的執行與檢查來評估、分析與改正維護與檢查計畫的缺陷。本技術報告可以提供航空器維護相關人員建立正確的持續分析與監督系統(CASS)的觀念，航空公司亦可依據持續分析與監督系統(CASS)選擇適合的模型來應用。本技術報告建議：各航空公司(Air carriers)可依照其公司規模與組織複雜性選擇適用的模型來應用，並可與其近似的模型做比較以決定其本身使用的分析與監督系統(CASS)的效用性(Effectiveness)。

## [文獻評析]

本技術報告優點：

1. 詳細解說持續分析與監督系統(CASS)中監督(Surveillance)、控制(Controls)、分析(Analysis)、改正(Corrective action)以及追蹤(Follow-up)的內容。
2. 以圖解流程圖說明 CASS 的監督程序流程(Surveillance process flowchart)與 CASS 的分析程序流程(Analysis process flowchart)，以及解說 3 種模型(Model)的流程功能圖(Flowchart functional Diagram)，圖解方式使易讀性大幅提昇。
3. 說明執行 CASS 所需的各項法令規範要求與建議，並提供相關之參考文獻資訊。
4. 對於國內相關航空器維護組織(或航空公司)而言，本技術報告可做為改進與評估其持續適航維護計畫(CAMP)之參考指南。

## [相關文獻]

Continuing Analysis and Surveillance System (CASS) Comprehensive Research

Report for the Development of a CASS Model, July 15, 2002, FAA Risk Analysis

Branch, AAR-490, Contract No. DTFA01-98-C00069, Project Code 3011-241.

The Continuing Analysis and Surveillance System, The FAA Inspector's Perspective, May 17, 2002, National Transportation Systems Center, Contract No. DTRS57-99-D-00055, to 19.

Air Carrier Internal Evaluation Model Program Guide, February 1992, U.S. Department of Transportation, Contract No. DTFA01-88-C00064, Work Order No. 8.

National Program Review Summary Report, December 8, 2000, FAA, Flight Standards Service.

Report on Oversight of Aircraft Maintenance, Continuing Analysis and Surveillance Systems, Report No. AV-2002-066, December 12, 2001, U.S. Department of Transportation, Office of the Secretary of Transportation, Office of the Inspector General (OIG).





# 容損設計與非破壞性檢驗

魏楞傑

空軍學術月刊 552 期

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

飛機結構的設計規範在 1970 年代初期改為容許損傷之後，如何以非破壞性檢驗檢出結構上預存的小裂紋，使結構不致在設計壽命期間損壞，就成為保證結構安全的最重要保障，因此如何確定檢驗的可靠度滿足規範的要求，也就成為每一家飛機製造廠商最重要的課題。本文說明容許損傷設計規範的內容、對檢驗的可靠度的要求、在統計的基礎上，如何評估檢驗人員的檢驗可靠度，以及美國空軍所完成的檢驗可靠度評估結果。

## [內容]

### 1. 容損設計

1954 年全世界第一家噴射客機-彗星一號(Comet 1)由於金屬疲勞造成航機結構退化而失事，因此結構設計乃開始採用“安全壽命(Safe life)”概念，以預期之設計負載譜(design load spectrum)，完成零組件疲勞試驗和全尺寸之航機疲勞測試，以確保設計壽命期間飛機主結構不會發生重大結構損傷。然而由於材料、結構、製造品質……等因素影響，加上設計負載譜與飛機真正的負載情況一定無法完全相同，因此飛機還是偶爾會出現未預期的結構疲勞損傷，安全壽命設計無法掌握包括結構施工品質在內的許多不確定性，美國空軍因而在 1974 年頒布飛機結構容許損傷(damage tolerance)設計規範 MIL-A-83444，成為目前之航機結構設計理念。

容損設計的概念認為結構零件上會有因為各種原因而產生小裂紋，結構件承受疲勞負載，小裂紋就會繼續成長，此結構件在裂紋存在的情況下，可以支持一段特定的時間，但當裂紋成長到臨界長度(critical length)時，就會迅速不穩定成長，結構馬上毀壞。因此設計飛機時，必須假設飛機上之結構關鍵件(critical parts)，如：機身上縱樑、機翼蒙皮、……等，在最容易產生裂紋的位置，如：R 角、鉚釘孔、……，會有小裂紋存在，並隨著飛行時間的累積，在疲勞負載的作用下而逐漸成長。飛機製造廠必須以非破壞性檢驗(non-destructive inspection)，確定這些預存裂紋(pre-crack)的尺寸不能超過某一規定值；飛機服役後，地面維

修人員，亦必須透過非破壞性檢驗，在這些裂紋發展到會影響飛航安全之前，發現並修復，因此飛機的安全與否，完全取決於檢查人員能否及時發現裂紋。容損設計的成敗繫於非破壞性檢驗能力的高低。因此，在這種設計觀念下，非破壞性檢驗不但需要有檢出小裂紋的能力，而且對特定檢驗程序下的特定大小裂紋，都要有一定的可靠度。本文內容即在探討透過統計的試驗方法來估計檢驗員之檢驗能力。

## 2. 檢驗可靠度

由於非破壞性檢驗係由合格之專業人員執行，不同的人雖以相同的方法與程序來執行，但卻無法保證其結果完全相同，一定存在某種差異。因此檢驗人員完成非破壞性檢驗後，並不能保證說零件上就沒有任何裂紋存在，只能說此零件在某種機率下，無特定大小的裂紋存在。檢驗員的能力強，成功驗出裂紋的機率就越高。根據美軍規範 MIL-A-83444 容損設計需求的規定，飛機結構的疲勞緊要件在執行非破壞性檢驗時，檢驗人員的檢驗能力必在 95% 的信心水準下，達到 90% 的檢出率。美國民航總署 (FAA) 對民航機設計也有同樣的規定。

## 3. 機率估計

欲評估每一位檢驗員精確的驗出裂紋機率，除非將其一生中所檢驗過的零件之檢驗結果進行計算，否則無從得知。然而此類作法不可行，因此必須透過統計方法來進行估計。根據機率的特性，試驗的次數越多則其估計的結果與實際情況之誤差將會越小，但受限於經費上的限制，檢驗的次數只能夠是有限的足夠多，而不是無限的增加。故以統計方法來評估檢驗者的檢出機率目的在於，期望透過最少次的檢驗嘗試，來估計出最接近該檢驗員實際情況的驗出裂紋機率。檢查員執行檢驗的結果只有成功驗出裂紋與失敗兩種，因此作者以二項式機率分配討論非破壞性檢驗的裂紋驗出率，並且舉例說明在 95% 信心水準下的驗出率以及估計誤差。根據累積二項分配公式可以用來求取某一特定之檢驗次數與信心水準下的成功驗出機率(公式 6)。

$$1-G = \sum_{x=s}^N \binom{N}{x} p_l^x (1-p_l)^{N-x} \quad (6)$$

若 N 是 20，S 是 14，G 是 0.95，則成功驗出率  $p_l$  大約是 0.49。

## 4. 驗證計劃

此部分作者說明如何設計於執行非破壞性檢驗可靠度的驗證計畫。一個小心控制、統計上有意義的非破壞性檢驗驗證計劃(demonstration program)，可以判定檢驗的可靠度。在這個驗證計劃裡，試片分成有瑕疵件及無瑕疵件兩種，全部試片再以和生產檢驗完全相同的程序來檢查。

#### 參與人員：

由於不同的檢驗者的可靠度和信心水準都不一樣，因此，所有執行生產檢驗的人員，都必需參與這個驗證計劃。

#### 檢驗能力：

由於檢驗環境、工作疲勞、...等變數的影響，檢查員的檢驗能力不可能永遠不變，且檢驗能力的估計會受到(1)檢驗的可靠度，以及(2)在此可靠度下的信心水準的不同而有所變化。可靠度和信心水準是會相互影響的兩個參數，在不同的裂紋型態、樣本規模(sample size)下，不同的可靠度和信心水準要求，所需的檢測成功次數也會有差異，要求的信心水準越大，則可靠度會變得越小，因此在執行驗證計劃之前，必須先決定它們的數值。

#### 瑕疵特性：

驗證計劃所選擇的瑕疵型態，通常必須是可量化的指標，如：長度、深度、硬度、強度等，且為檢查零件時最常遇到的損傷型態，不過有時為提供足夠的受檢試片與方便計劃進行，可能會加以修改，甚至加入人工製造的瑕疵，以模擬真實的情況。

#### 樣本規模：

以統計來定義檢驗的品質，是定義出在 G% 的信心水準下，具有  $p_i$  的可靠度，而展示檢驗品質的驗證計劃裡，試片的數量得根據 G 和  $p_i$  來求導。在 90% 的檢出率，95% 的信心水準下，假設 N 是試片的數量，S 是檢測成功的次數，則將公式 (6) 的項次重新安排後，可得 (公式 7)：

$$0.95 = 1 - \sum_{X=S}^N \binom{N}{X} (0.90)^X (0.1)^{N-X} \quad (7)$$

符合此公式的 N 和 S 的第一個組合是 29 和 29，這也是驗證計劃裡最少的試片數；次多的試片數是 N=46，此時檢測必需成功的次數為 S=45。

#### 驗證程序：

驗證計劃執行步驟通常如下：

1. 決定試片的尺寸、形狀、表面處理方式。這些一般都需和實際被檢驗的零件相同。
2. 定義裂紋的型態、位置、方向、以可靠的方式把裂紋植在試片上。
3. 選定要驗證的裂紋特徵，如：長度、深度、面積。
4. 決定裂紋分佈的全距、間距。以統計為基礎決定評估檢驗程序所需的試片數目，以及每個間距內的試片數目。

5. 每個間距內，準備相同數量的含裂紋試片與無裂紋試片，編上對檢驗者無任何意義的流水號。
6. 制定詳細、完整的檢驗程序，以清晰明確的文字說明。
7. 在不影響評估結果的原則下，試片可以重覆使用。
8. 把裂紋尺寸不同的試片，與無裂紋試片隨意混合，依據書面檢驗程序檢查試片，將結果以列表方式說明。
9. 同一位檢驗員可以重新檢驗試片，但不能更改檢驗結果。
10. 完成全部檢驗後，根據試片上裂紋的大小，將試片放在適當的間距組，若有需要，還可將有疑慮的試片執行破壞性檢驗，以確定裂紋型態與原先預期的是否一致。若有某裂紋試片未被檢出，可考慮將此試片破壞檢驗，仔細檢查此試片，觀察是否含有其他型態的裂紋。
11. 檢查所檢出的裂紋數據，若大於某一尺寸的裂紋都被順利檢出，則此檢驗程序已定義了可發現裂紋的尺寸最小值，若不是如此，則得考慮是否繼續進行驗證。
12. 若決定繼續驗證，就得準備更多的含裂紋及無裂紋試片，隨意混合後，再繼續檢查。
13. 若由於經費或試片數量已用盡，無法繼續驗證，則此位檢驗員在此種檢驗程序下的檢查可靠度，不能滿足設計規範的需求。

一旦經過驗證計劃而制定了檢驗程序，以後不論任何原因，都不能再加以改變，因為無論多麼微小的改變，都會改變檢驗的可靠度，而必需要有另一個驗證計劃來確定此修改後的檢驗程序。

## 5. 驗證計畫案例說明

美國和澳大利亞曾針對該國空軍的非破壞性檢驗能力，執行了驗證計劃，其中澳大利亞由於財力、物力有限，僅得到一個可信度存疑的估計值；而美國則由為期四年的驗證計劃裡，發現要達到規範所規定的標準，是一件相當困難的事。

美國空軍後勤司令部(USAF Logistic Command)於 1975 至 1978 年間，針對 21 個空軍基地的非破壞檢驗人員，進行了一項廣泛的評估，內容包括了 6 種結構型態、174 處裂紋、約 300 優秀的檢驗員，總檢驗次數大約 22000 次，評估結果經全面的分析後，結果如下：

- (1)評估的原來目的，是希望能證明基地的檢驗人員，對 0.25 英吋(6.35mm)的裂紋具有規範規定的檢驗能力，但實際的結果確顯示對絕大多數的檢驗人員來說，不論裂紋尺寸為何，都無法達到規範的要求。
- (2)全部檢驗人員中，只有一位在好不容易的情況下，才達到對 0.5 英吋(12.7mm)厘米的裂紋具有 50%檢出率和 95%信心水準；有一位檢驗出全部的裂紋，但其中有 18 件是把無裂紋件錯檢成有裂紋件，在這種情況下，它和一位只

檢出 58% 裂紋，但沒任何錯檢的人員，兩者的信心水準是完全一樣的。

(3)各基地間的檢驗設備差異不大，因此各檢驗人員的檢驗能力高低和裝備無關，完全是看個人的技術能力。

而美國空軍在評估中發現，若要滿足規範的需求，基地檢驗人員的檢驗能力必須要加以改善，或是採多次、多人交互查核的檢驗方式。另外美國空軍由評估結果也認為，若採用更先進、更自動化的檢驗裝備，如：旋轉探針孔洞掃描機 (rotating probe hole scanner)，則對 0.5 英吋大小的裂紋，應該能達到 90% 檢出率，95% 信心水準的規範需求。

## 6. 結語

由於在容損設計觀念下，結構安全性完全依賴非破壞性檢驗，因此檢驗人員的檢驗能力就構成了維護飛行安全的第一道防線。根據文中的驗證案例結果說明可以看出，檢驗員實際上要達到規範中的檢驗能力，實際上有其困難存在，即便是美國或是澳洲等先進國家的檢驗能力，也未能達到規定中的要求，而必需借重先進的檢驗裝備或是多人交叉檢驗的方法來進行改善，反觀我空軍的相關能力，面對此種情況時，短期可透過多人檢驗與相互稽核方式來加強檢驗之可靠度，長期則必須配合先進的裝備來補強，才能使航機結構維護結果更為精確與安全。

## [文獻評析]

1. 本文中提及之美國空軍容損設計規範 MIL-A-83444，目前已經廢除不用，新的相關規定可以參考 MIL-M-9854B。
2. 本研究說明檢驗人員的檢驗能力係決定航機容損設計成敗的關鍵，且提供簡要說明如何應用統計方法來估計檢驗員的檢驗能力，包括試驗樣本的選擇、數量的多寡、進行之程序等。同時亦透過澳洲與美國過去所實際執行之試驗案例說明多數檢驗員之檢驗能力並不合乎規範之要求，必須配合多人交叉檢驗或是透過更為先進的檢驗裝備才能兼顧檢驗結果與飛航安全。
3. 在民用航空運輸業的領域，有關於容損設計的維修評估則必須參考 FAA 之民航通告 AC 120-73, "Damage Tolerance Assessment of Repairs to Pressurized Fuselages." (2000)。其目的為提供大型運輸類航機之 Aging Aircraft 維修與檢驗之指導方針。其他可參考之相關民航通告包括：AC 25.571-1C, "Damage-Tolerance and Fatigue Evaluation of Structure"(1998)；AC 25.1529-1, "Instruction for Continued Airworthiness of Structural Repairs on Transport Airplanes", (1991)。

## [相關文獻]

Air Force Aeronautical Systems Division, "Airplane Damage Tolerance

Requirements," Military Specification MIL-A-83444 (1974)

Air Force Aeronautical Systems Division, "Airplane Structural Integrity Program, Airplane Requirements," Military Standard MIL-STDA-1530A (1975)

"Recommended Practice for a Demonstration of Nondestructive Evaluation Reliability on Aircraft Production Parts," American Society for Nondestructive Testing, 1982

D.E.W. Stone, "The reliability of inspection techniques in relation to damage tolerant design", Aeronautical Journal, January 1988

James W. Provan "Probabilistic Fracture Mechanics and Reliability", Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht 1987

G. Sigurdsson "Probabilistic Methods for Durability and Damage Tolerance Analysis", USAF Structural Integrity Program Conference, 1-3 November 1992

Mark Cassidy, Squadron Leader, RAAF "Analysis of the Reliability of Royal Australian Air Force Non-Destructive Inspection", Department of the Air Forces Air University, September 1987

P. F. Packman, Department of Material Science and Engineering, Vanderbilt University "Status of Non-Destructive Inspection Techniques with Special Reference to Welding Defects"

# **Age-related Maintenance Versus Reliability Centred**

## **Maintenance : A Case Study on Aero-engines**

J. Crocker, U. D. Kumar

Reliability Engineering and System Safety 67 (2000)

pp.113-118

### **[英文摘要]**

Reliability Centred Maintenance (RCM) is a procedure carried out as part of the logistic support analysis (LSA) process and is described in the US Department of Defence Military Standards (Mil Std 2173). RCM allows logisticians the opportunity to determine the best maintenance policy for each component within a system. However, the only data that are available to carryout RCM using Mil Std 2173 are of MTBF. This implies that all the necessary mathematical models need to be based on the exponential distribution. This is a serious drawback to the whole concept of RCM as the exponential distribution cannot be used to model items that fail due to wear, or any other mode that is related to their age. In this paper, a new approach to RCM is proposed using the concepts of soft life and hard life to optimise the total maintenance cost. For simplicity, only one mode of failure is considered for each component. However, the model can be readily applied to multiple failure modes. The proposed model is applied to find the optimal maintenance policies in the case of military aero-engines using Monte Carlo simulation. The case study shows a potential benefit from setting soft lives on relatively cheap components that can cause expensive, unplanned engine rejections.

### **[中文摘要]**

以可靠度為中心RCM之維修概念提供後勤支援分析者決定系統組件最佳維護策略的決策依據。然而目前軍方僅利用MTBF的資料來進行零組件的分析，意指所有的數學計算模式皆必須服從指數分配的假設，此類作法在RCM的概念中便未考慮到零組件由於磨損或是壽命所造成的影響。因此本研究利用soft life與hard life的概念提出一新的維修總成本最佳化模式，採用蒙地卡羅模擬方法，以軍用發動機為基礎，找出其最佳的維修策略。



## [內容]

作者表示以可靠性為中心之維護(RCM)是考慮元件因拆換造成的潛在壽命損失，平衡改正性維護(corrective maintenance)相對於預防性維護(preventive maintenance)較高的成本，使維護成本降至最低的維護方式。為減少零件拆卸翻修(reconditioned)損失的可用壽命成本(replaced prematurely)，RCM的維護概念使用LSAR資料庫(Logistic Support Analysis Records)的MTBF(mean time between failures)數據，來決定系統中組件的拆卸時間與最佳維護策略。但RCM觀念的數據分析係以指數分佈模式(exponential distribution)為基礎進行，其缺點在於指數分配無法反映因磨損或其他因壽命(age)造成的失效，而且僅針對故障系統的單一組件進行分析，未考慮單一組件問題引發之其他組件故障情況。本研究提出一替代RCM的模式應用於發動機維修策略之計算，採用soft life和hard life的觀念加上Monte Carlo模擬運算來建立軍用航空發動機的總維護成本最佳化模式。

本文定義了三個重要名詞：

- Hard life：定義為組件的壽限，累積使用時間屆期就必須被換下，亦即飛安關鍵組件更換的時間，類似 Hard Time, HT 的概念。
- Minimum issue life (MISL)：與 hard life 有關，是指組件到必須被換下之所剩餘時間，即 hard life 減去累積已使用時間。當數個組件組合成整個發動機時，若有一組件的 MISL 很低，而其他很高，就會造成發動機受此一低 MISL 的組件壽限屆期所影響，而必須再拆下發動機。
- Soft life：定義為發動機組件或模組從裝機後到下次被更換的時間，可被應用於任何類型的組件上(不僅只是飛安關鍵件)，且其與 MISL 不同之處在於 soft Life 計算其從新品到現在的使用時間，而 MISL 則是計算到必需更換時所剩下的飛行小時。故若組件使用超過其設定之 soft life 時間，並不需要強制停飛航機以便進行更換。

一般而言，計畫性的組件更換成本比非計畫要來得低。理由有二：(1)計畫性更換可配合運作時程，而將作業被迫中斷的損失減到最低；(2)因被拆下的組件尚未真正故障即已更換，因此無二度損壞的額外成本(例如渦輪盤破裂飛出打穿發動機或機身)。而且根據組件失效的機率計算，應該可以得出其最佳化的更換時間。亦即若組件成本相較於LRI(Line Replaceable Item)的更換成本為低時，此時即為soft life的最佳值。

本研究令：

$C_{u,i}$ 表示由於組件*i*所造成之非計畫性LRI更換成本。

$C_{p,i}$ 表示由於組件*i*所造成之計畫性LRI更換成本。

$C_{s,i}$ 表示在*t*時間更換組件*i*之成本。

$f(t)$  表示組件*i*之故障時間機率密度函數。

$f(t)$  表示組件*i*除外之LRI故障時間機率密度函數。

$T_{s,i}$ 表示組件*i*之Soft Lift。

$T_{h,i}$ 表示組件*i*之Hard Life。

運用簡單機率方法可得由於某特定組件造成之非計畫性發動機更換成本公式如下：

1. 當組件*i*在到達其soft life前就已經故障需更換，即 $0 < t < T_{s,i}$ ，此時要付出非計畫性LRI更換成本 $C_{u,i}$

預期成本=組件*i*的危險機率\*非計畫性LRI更換成本，即

$$E(C_{i,u}) = H(T_{s,i})C_{u,i} \quad \text{for } 0 < t < T_{s,i}$$

其中 $H(t)$ 為累積危險函數：

$$H(t) = \int_0^t h(x) dx = \int_0^t \frac{f(x)}{R(x)} dx = \int_0^t \frac{f(x)}{1 - F(x)} dx.$$

若組件*i*的故障時間呈偉伯分配 $W[\beta_i, \eta_i]$ ：

$$H(t) = \left( \frac{t}{\eta_i} \right)^{\beta_i}$$

考慮累積危險函數 $H(t)$ 的原因是因為組件*i*可以在到達soft life之前故障並修妥多次。

2. 當組件更換時間高於soft life且低於hard life時，即 $T_{s,i} < t < T_{h,i}$ ，此時不只要付出組件*i*之更換成本 $C_{s,i}$ (此時組件*i*尚未故障)，也要付出非計畫性LRI更換成本 $C_{u,i}$ (此時組件*i*已經故障)

預期成本=計畫性LRI更換成本\*(組件*i*除外之LRI故障且組件*i*妥善的機率)+非計畫性LRI更換成本\*(組件*i*除外之LRI妥善且組件*i*故障的機率)，即

$$E(C_{i,s}) = C_{s,i} \int_{T_{s,i}}^{T_{h,i}} f_i(t)(1 - F_i(t)) dt + C_{u,i} \int_{T_{s,i}}^{T_{h,i}} (1 - F_i(t))f_i(t) dt \quad \text{for } T_{s,i} < t < T_{h,i}$$

3. 當計畫性LRI達到hard life而組件*i*尚未故障時，即 $T_{h,i} < t$ ，此時要付出非計畫性LRI更換成本 $C_{p,i}$

預期成本=組件*i*的妥善(可靠性)機率\*計畫性LRI更換成本，即

$$E(C_{i,p}) = R(T_{h,i})C_{p,i} \quad \text{for } t > T_{h,i}, \quad \text{其中 } R(T_{h,i}) \text{ 表示組件 } i \text{ 的可靠度函數。}$$

綜合以上，預期維修總成本如下：

$$E(C_i) = E(C_{i,u}) + E(C_{i,s}) + E(C_{i,p})$$

進一步將此公式做偏微分可得到最低總成本值：

$$\frac{\partial E(C_i)}{\partial T_{s,i}} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial E(C_i)}{\partial T_{h,i}} = 0.$$

要注意的是，此模式僅假設一種故障模式之發生，而且當系統修復之後，其中所有組件的年限不全部為零，因此其最佳化Soft life和Hard Life時間之計算，便應該考慮所有可能造成系統故障組件的相對壽限。

此外，對於飛安關鍵件而言，多以Hard life的概念來制定維護策略，以飛航

安全為重，故較不考慮經濟方面的因素；相對地，不屬於飛安關鍵件的部份，係多以Soft Life的概念來進行，即純粹以經濟因素做為考量依據，因此適用於上述的分析模式。

#### 案例分析：

本研究以MTBF資料針對發動機某一組件(component 1)以蒙地卡羅進行最佳化soft/hard life之模擬，而此模擬不考慮LRI存貨供應的問題，意即一旦發生組件故障，便有備料可以拆換。假定每具發動機的MTBF為1000飛行小時、 $C_{u,i}=100$ 、 $C_{p,i}=50$ 、 $C_{s,i}=10$ ，以蒙地卡羅模擬1000次發動機飛行10000小時，模擬結果如圖1~3。

圖1顯示成本隨hard life與soft life的變化，結果可看出當hard life增加時，所有曲線皆一致往下降，故設定hard life對於成本沒有正面幫助；圖2則顯示在hard life為無限大時修復成本隨著soft life之增加的改變情況，其值於157,000後即呈漸近線走勢；此外考慮模擬時間與效益限制，soft life=4,900~10,000之間的成本並未進行模擬，故呈一直線；圖3說明由於component 1引發之非計畫性發動機更換與soft life間的關係，要注意的是，若發動機並非因component 1而發生故障，則假設component 1未被更換，除非組件已超過soft life。

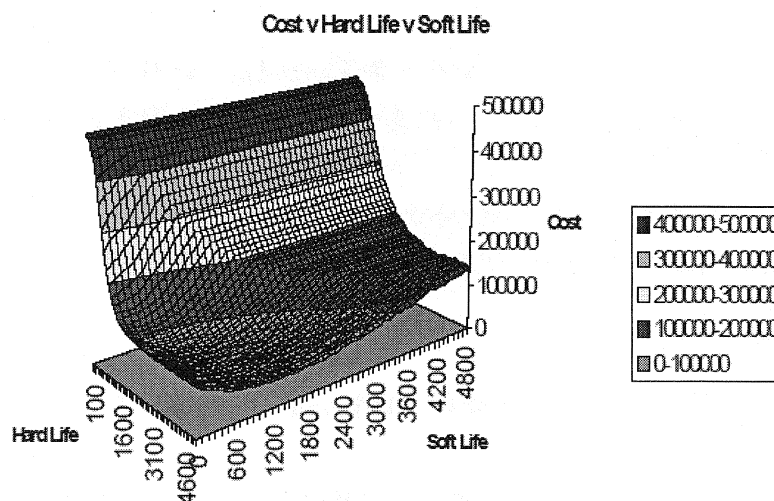


Fig. 1. Cost versus hard life versus soft life.

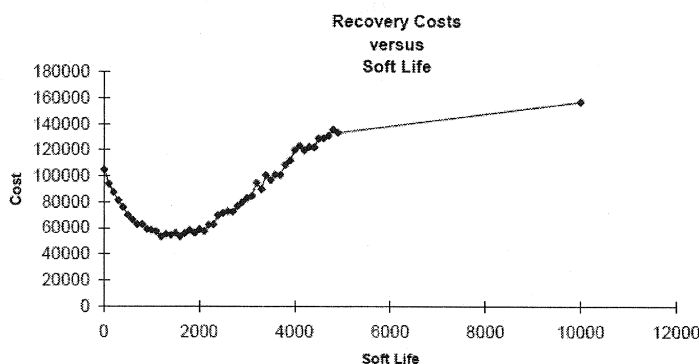


Fig. 2. Recovery cost versus soft life.

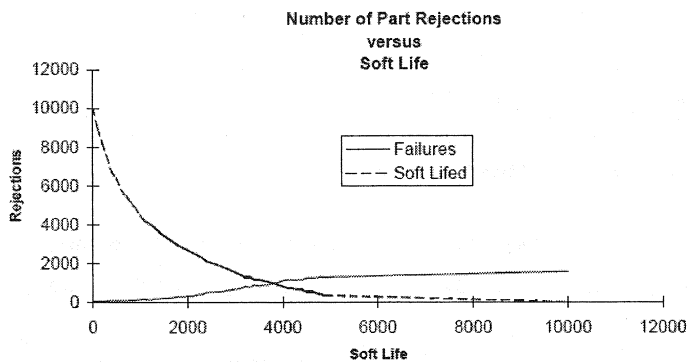


Fig. 3. Number of unplanned engine rejections versus soft life.

分析結果發現，針對較為便宜而卻可能造成昂貴的非計畫性發動機更換的組件設定 soft life 有潛在的效益。不過本模擬實驗並未考慮備用零件存貨以及相關修護程序的影響。

研究結果發現：

本模式的假設前提係基於故障時間(time to failure)參數的資料分配為已知情況，然而實務上這些資料的正確性與否則有待商榷，特別是對於新加入服役之發動機而言，依照不正確的資料所計算之 soft life，其結果將不是最佳化數值。為了達到元件壽命最佳化，需要更複雜的運算模式，可能需利用基因演算法(Genetic Algorithms)或 Tabu Search。且若將 soft life 的觀念應用於價格較低廉但卻會導致高成本、非計劃性的發動機故障之元件，以制定 RCM 維護策略，有潛在的益處。

## [文獻評析]

1. 本研究的優點在於為軍方引進 soft life 的觀念，尤其是有利於我國軍方。因現今我國軍方仍以 hard life 的定期翻修為主，即使民用發動機已逐漸改採 on condition 的方式來維修，但在我國軍方仍不盛行。就算航空公司已採用 soft life，但多偏向以經驗為依據，例如發動機大約每兩年要換一次，設定兩年只是航空公司主觀認定的概略值，並沒有充足的理論基礎和歷史資料來佐證。所以航空公司對 soft life 的觀念雖不陌生，但仍可由本研究得到一些助益。
2. 本研究所建立之模式主要考慮發動機 Soft life 維修政策的制定，重於經濟方面的考量；對於飛安關鍵件運用 HT 概念的相關維修政策著墨較少。
3. 研究模式僅針對某一 soft life 組件進行分析，而未考慮備料的存量；此外研究也僅說明一種故障模式，未考量不同的故障模式，如：不同組件故障所造成之影響。後續研究應可針對此方面進行加強。
4. 若要成功運用此模式或類似之模式來做成本的計算以及維修策略之決定，先決條件在於資料的正確性，因此實務上必須要把資料蒐集之有效與正確性納入考慮，否則所得出的結果將有偏差，甚至造成不良的決策影響。

### [相關文獻]

Knezevic J. System maintainability, Chapman and Hall, 1997.

Moubray J. Reliability centred maintenance, Butterworth, 1991.

Kumar UD, Crocker J, Knezevic J. Evolutionary maintenance for aircraft engines. In: Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1999. p. 62–8.

Kumar UD, Crocker J. Maintenance free operating period—an alternative measure to MTBF and failure rate for specifying reliability? Reliability Engineering and System Safety 1999;64:127–31.

# Delays and Safety in Airline Maintenance

M.Sachon, E. Pate-Cornell

Reliability Engineering and System Safety 67 (2000)

pp.301-309

## [英文摘要]

Airline maintenance operations affect the potential for flight delays and can also affect flight safety if signals of technical problems are missed or misinterpreted. In this paper, we use a probabilistic risk analysis model, represented by an influence diagram, to quantify the effect of an airline's maintenance policy on delays, cancellations and in-flight safety. The model represents the leading edge (LE) sub-system of a commercial passenger jet and consists of three tiers: (1) a set of management decision variables (e.g. the level of qualification of maintenance personnel); (2) a ground model linking policy decisions and flight delays; and (3) an in-flight model, linking policy decisions, maintenance quality and flight safety. To illustrate this model, we use data adapted (for confidentiality reasons) from a study of an existing airline. Clearly, the LE devices of an airplane are not among the most safety-critical and the risk of an accident due to poor maintenance is extremely small, but non-zero. The same model can be used for other, more critical parts of the aircraft to support maintenance policy decisions in which the trade-off between delays and safety may be more pronounced.

## [中文摘要]

航空公司的維修運作中，若機件故障的訊號沒有被發現或是解讀錯誤，即有可能造成潛在航機延誤或飛安事件的產生。本研究運用建立於影響流程圖上之風險機率分析模式，量化航空公司的維修政策對於航機延誤、取消以及飛航中安全的影響。此模式以機翼前緣子系統(Leading edge subsystem)為例，建立一包括：(1)管理決策變數(如維修人員品質等級)；(2)連結政策決定與航班延誤的地面模式；(3)連結政策決定、維修品質與飛航安全的空中飛航模式。本研究採用一航空公司之實際機翼前緣系統維修資料，然而實際上機翼前緣裝置並非屬於航機系統之飛安緊要件，因此由於該系統維修不良導致故障而產生飛安事故的風險相當低，但卻不無可能。此模式在未來可應用於其他的飛安緊要件，來協助管理者衡

量航機延誤與飛航安全的關係，已做出更為完善的維修政策。本研究首先說明研究背景與目的，包括現行維修程序、風險率分析模式、研究範圍與程序等，之後討論該模式的架構、維修與飛航表現和管理決策之關連，並且針對模式結果進行討論，最後做出結論與建議。

## [內容]

### 1. 背景

航機的延誤經常肇因於兩次航班之間航機發現需要修護的問題，輕則不影響飛安，重則需要適當的維修工作，以確保下一航班之飛行安全。這些維修工作的品質經常對於航機的延誤或飛安有所影響，而這也是維修管理人員經常需要面對的決策問題，因此維修、延誤與飛安間權衡(Trade-off)之量化，能夠提供決策時的重要依據。其次，過去數十年來，航空運量與日俱增，旅客亦要求業者提供準時(on-time)而且可負擔(affordable)之航空服務，促使美國航空公司皆致力於以最低的成本提供高品質飛航安全的服務，然而，航機延誤或是取消對於服務品質的影響，不言而喻。

故本研究提供一個用來評估兩次航班間維修影響的模式，針對航機延誤與飛航安全之間的關係加以考慮。為求商業保密原則，本研究中採用 XYZ 航空公司之 IJK 機型的機翼前緣系統(Leading Edge, LE)不定期維修資料進行分析。

#### 1.1 延誤與飛安之限制

由於現代化先進航機設計的複雜性提高，維護人員的維護能力亦隨不同機場與機型而有所差異，而維修人員在航機問題偵測(problem detection)階段發生的認知錯誤(cognitive error)可以分為兩種：

- (1) 分類錯誤(Type I)：即將有問題之組件或系統判為系統正常或是問題等級分類錯誤，此種錯誤可能造成意外事件之發生。
- (2) 系統誤判(Type II)：即將沒有問題之系統判為有問題，此種錯誤會導致維修資源浪費在沒有狀況的系統上面，造成航機延誤。

其他可能發生於維修過程中的錯誤，例如：使用錯誤的零件或是維修過程損壞 LE 系統的其餘組件等維修活動本身造成之航機 LE 損害則不在討論範圍。本研究僅針對已經存在的問題進行研究。

#### 1.2 現行維修標準步驟

現行之維修標準步驟如下：

- (1) 回報問題：

所有駕駛員發現之故障情況須於航機落地前告知目的機場之地面維修人員。

- (2) 問題確認與偵錯(trouble shooting)：

航機落地後維修人員即確認駕駛員報告的狀況是否為確認故障，若的確為確認故障，則進一步將此故障分類為可延遲改正與不可延遲改正兩類。可延遲改正項目多半不為飛安關鍵件，可容許存在一段時間，但其必須在一定的時間內修復，否則 FAA 等主管機關即會停飛該航機，此外航空公司亦會設定不同航機之可改正項目最多容許存在數量，一旦可延遲改正項目修復後(多在夜間進行)，即從該清單上刪除。另一方面，若問題卻認為不可延遲改正項目，即必須在航機下次起飛前將故障問題解決，這些問題包括在問題偵測以及修護階段所發現的其他故障。

### (3) 故障排除。

當所有故障問題解決後，FAA 認證之技即進行檢查以確保其符合相關規定，最後重新放飛航機。

## 1.3 風險率分析(Probabilistic Risk Analysis, PRA)

非計畫性之維修工作主要目的在於確保航機飛航安全並且將延誤保持在可接受的水準，因此評估維修決策對於航機延誤與飛航事件的影響便顯重要。本研究採用風險率(Probabilistic Risk Analysis, PRA)的分析模式以及其包括管理因素之延伸應用來衡量可能導致意外事件的情境。

就航空器而言，由於複雜之工程系統設計，單一故障或是錯誤並不會造成機件失效，而一連串難以察覺之問題才是導致航機故障的主因。一般來說，人為因素與這些故障並沒有直接的關係，但實際上人為因素卻對於故障的發生機率有明顯影響。此外，對航空公司來說，航機意外事件的發生肇因於許多輕微事件的結合，包括技術以及組織方面的問題，如複雜的飛航操作系統、維修程序的錯誤、人為誤判等。因此本研究之 PRA 模式亦呈現維修之人為因素與組織問題影響航機延誤以及機翼前緣系統故障發生機率的關係。同時可以協助決策者衡量其間的關係。

## 1.4 研究範圍與程序

本研究針對美國一航空業者之特定機型的機翼前緣系統(LE)子系統故障資料進行分析，透過 PRA 分析來衡量 LE 系統的維修政策對於航機延誤與取消以及飛航安全間的關係。然而 LE 系統並不屬於飛安關鍵件之一，其由於不當維修而引發的故障造成飛行意外事故的機率極低(但不為零)，因此相關的可靠度資料不多，故運用 PRA 方法可以做更為深入的了解。

首先，本研究將直接影響航機維修工作的管理決策加入 LE 系統的分析模式當中，採用專家經驗以及電腦統計資料，分為口語敘述資料和直接由航機電腦上下載之數據資料，而與本研究相關之機型、機場與航空公司專家經驗的探索(elicit)步驟則包括下列三部份(Morgan & Henrion 1990)：

- (1) 引導專家進行一般經驗探索，並且告知該程序可能造成之認知陷阱(Tversky A, Kahneman D, 1974)。



(2) 初定欲進行評估之變數明確定義。

(3) 再由專家做最後的變數確認。

根據上述的資料，本研究建立三層級(three-tier)的分析模式：第一層級代表管理政策與決策；第二層級表示管理政策對於維修與航機延誤之影響；第三層級代表管理政策與地面維修對飛行中安全的影響。考慮管理政策的條件，三層級模式中的第二層-地面模式針對航機延誤進行機率的計算；第三層-飛行中模式則計算無狀況、嚴重震動以及墜機等三種情況的機率。並且利用此三層級模式評估計算航機延誤以及飛行中意外事件之機率。同時研究中也採用 Latin-Hyper-Cube sampling 來模擬多種不同的情境。

## 2. 模式的結構

本研究不考慮 LE 系統的維修疏失造成之其他航機組件故障，僅考慮其他子系統與 LE 故障同時發生時造成之航機意外事件。地面模式的故障係以 LE 系統的故障報告為準(write-up)；空中飛航模式則有三種可能造成 LE 故障的風險情況：外在環境因素、系統隨機故障與系統維修時誤判或是維護錯誤(Type I)等類型。文中以圖 1 來說明三層級模式間的相互關係。其中，地面模式的結果呈現於航機延誤的分布情況(Delay)，包括延誤時間長度與航機取消的機率；空中飛航模式的飛航結果(Flight Outcome)則以不樂見的結果(unwanted result)機率分布來表示，包括：嚴重震動或墜毀。

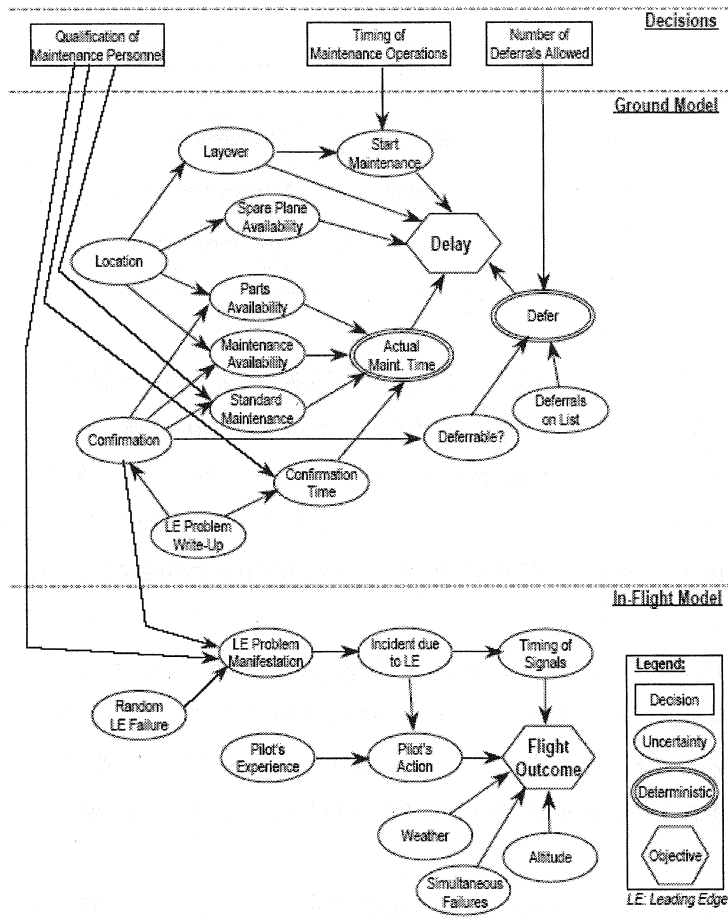


Fig. 1. Overall model.

地面模式(Ground Model)中的投入變數以及相關變項包括：

- (1) LE 問題報告(LE problem Write-up)：此隨機變數表示 LE 系統可能發生的故障種類，包括機件問題、液壓系統問題、電子系統問題等。
- (2)確認問題(Confirmation)：此變數表示確認紀錄上是否為真正故障的程序，以條件機率特性分為沒有問題、機件問題、液壓系統問題、電子系統問題等。此類資訊在各航空公司的維修資料庫中皆可取得。
- (3)問題確認時間(Confirmation Time)：此變數表示偵錯與確認問題所需要的時間，研究假設其呈現 Log 分配，此變數取決於維修人員的品質變數，必須由航空公司專家來估計，其中維修人員品質分為 Increase 和 Standard 兩種，分別表示維修品質增加與維持目前狀況等，同樣地，Increase 所需的問題確認時間將會比 standard 的問題確認時間來得長。
- (4)Standard maintenance：此變數表示完成故障確認與分類到問題解決之間所需的時間，研究假設其為 Log 分配，且同樣取決於維修人員品質變數，必須由航空公司專家來評估。
- (5)位置 Location：此變數表示故障被確認以及修復的機場，根據維修能量以及備料存貨狀況可將機場變數分為三類，如表 A1 所示。航機降落於不同分類機場之機率可由航空公司之班表計算得到。

Table A1 Airport location types		
Airport location type	Parts available	Maintenance skills available
Prime	All parts	All maintenance skills
Dispatch	Selected parts	Most maintenance skills
Limited	Very limited parts	Some maintenance skills

- (6)Layover：此變數表示航機表訂抵達登機門到下次表訂起飛的時間，可由飛航班表取得此資料。(類似航機回轉時間 turnaround time)。
- (7)維修運作時間(Timing of maintenance operations, TMO)：此變數表示航機抵達機場後，多快開始維修工作。研究將此變數分為 strict(立即開始，屬於 gate-in 概念)與 tolerant(表訂起飛時間減去 standard maintenance 時間，屬於 gate-out 概念)。
- (8)開始維修時間(Start maintenance)：此變數為航機與航員報告(pilot's write-up)抵達後到開始維修程序的時間。若採用 strict 概念，則此變數時間衡為 0；若採用 tolerant 概念，則在 0-60 分鐘的地停時間中，此變數為 0，超過 60 分鐘後此變數即隨航機地停時間增加而增加。此變數須由航空公司專家根據實務情況來評估。
- (9)備用航機(Spare plane availability)：此變數隨著 location 的變數而定，分為有和無兩種。
- (10)備用零件(Parts availability)：此變數表示取得零件進行維修所需的時間，取決於 Location 與 Confirmation 兩變數，且假設其為 Log 分配。參數則須由航空公司人員估計。
- (11)維修能量(Maintenance availability)：此變數表示取得有足夠維修能力人員的時間。取決於 Location 與 Confirmation 兩變數，且假設其為 Log 分配。參數需要由航空公司人員估計。
- (12)實際維修時間(Actual maintenance time)：此變數表示完成維修工作所需要花費的時間。實際維修時間=Confirmation time + Standard maintenance + MAX (parts availability, Maintenance availability)
- (13)延遲改正項目清單(deferral on list)：此變數表示航機上已存在之延遲改正項目數量。研究假設其平均值為 2 的卜瓦松分配，意即約有 5%的航機上存在 5 項或是更多的延遲改正項目。此假設與本研究航空公司之實際狀況類似。
- (14)可否延遲改正(deferrable)：此變數根據 FAA 與航空公司相關規定可分為是與否兩種。
- (15)可延遲改正數量(number of deferrals allowed)：研究中假設此變數有 2,3,4,5 等幾種狀況。
- (16)延遲改正(defer)：此變數根據 a.故障可否延遲修復；b.航機延遲改正項目總數

量不超過容許的可延遲改正數量，分為是與否兩種。

(17)延誤(delay)：航機延誤時間取決於實際維修時間減去航機停留時間(time available)，若其值為負，即表示航機沒有延誤；此外若有備用機可調度或是發現之問題可以延遲改正，亦表示航機沒有延誤。

(18)維修人員品質(Qualification of maintenance personnel)：分為 increased 與 standard 兩種，increased 表示達到 no error 完美的維修水準。

空中航行模式(in-flight model)著重於技術、人為因素以及環境影響等造成之不樂見飛航結果發生，同時地面模式所產出的相關 LE 故障與延遲機率資料亦被加入空中飛航模式當中，其投入變數與相關變項包括：

(1)隨機 LE 故障(Random LE failure)：此隨機變數表示非因為維修工作不適當所造成之 LE 系統機件故障，分為是與否兩種。變數資料可由航空公司統計數據取得。

(2)LE 故障的呈現(LE problem manifestation)：此隨機變數分為機械系統問題、液壓系統問題以及電子系統問題等三種。各類故障的發生機率可由航空公司之維修資料庫計算取得，要注意的是，若該公司的維修人員品質設定於 standard，則其資料可能產生 Type I 錯誤。

(3)LE 系統造成之事件(Incident due to LE)：此變數隨上一個變數的狀態而改變，可分為(1)LE slat 無法展開超過 20 度；(2)LE slat 無法收回到小於 20 度；(3)不屬於上述分類問題等三種。

(4)訊號時間(timing of signals)：此變數表示故障燈號亮燈後到飛行員察覺故障的時間，分為(1)0-1 分鐘；(2)1-4 分鐘；(3)超過 4 分鐘。此變數資料可透過駕駛員訪談，或藉由過去的事件分析與模擬機操作等方式取得。

(5)駕駛員經驗(pilot experience)：此變數分為 0-1 年以及超過 1 年兩種分類。航空公司皆有相關資料。

(6)駕駛員反應動作(pilots action)：此變數分為適當與不適當兩個水準值，取決於飛行經驗以及 LE 系統造成之事件。此資料最好透過駕駛員自己進行評估。

(7)天氣(weather)：分為有結冰與沒有結冰兩種。此變數機率可由統計資料算出，本研究為簡化起見並未考慮時間與地點的影響。

(8)高度(altitude)：此變數影響駕駛員對於 LE 系統角度的操作，分為起飛、巡航與落地等三個水準值。

(9)同時發生之失效(simultaneous failure)：此變數表示其他系統是否與 LE 系統同時發生失效，分為是與否兩種水準。

(10)飛行結果(flight outcome)：此變數分為成功、嚴重震動(造成旅客受傷或航機受損但未有人死亡)與意外事件等三種。此變數會受到高度、同時發生之失效、天氣、飛行員動作以及訊號時間的影響。影響此變數的原因須由航空公司專家來決定。

### 3. 管理決策與維修及飛航表現之關連

#### 3.1 管理與維修

管理階層的決策在許多方面直接或是間接影響維修程序，同時亦影響航機延誤與飛行安全，本研究僅將重點放在維修人員的品質、維修工作開始的時間與容許的可延遲改正項目數量(numbers of deferrals allowed)。

##### (1) 維修人員品質：

此變數影響維修品質，若要維修人員非常仔細的執行工作，必須付出維修時間增加的代價；若要縮短維修時間，維修人員則必須以較不精確的方式來進行工作，因此管理人員必須在最短的維修時間以及最大的飛航安全之間做出維修政策的權衡。

##### (2) 維修工作開始時間：

一般而言，維修工作開始的時間取決於航機的地停時間，地停時間越短則維修工作也會越早開始，此外若維修工作開始時間越早，維修人員則有更為充裕的時間進行問題的確證與解決，減少延誤的發生。然而，在航機起降頻繁的大型機場中，最佳之維修工作排程對於管理者是一大考驗，甚至需要增加維修人力。

##### (3) 容許的可延遲改正項目數量：

本研究對於此變數的設定係以機隊之平均值來計算。

一旦維修人員確定問題為不可延遲項目時，各機場不同的備料存貨、人員維修能力、維修時間以及是否有備用航機便成為影響航機延誤的因素。此時所需之航機維修時間取決於：a.解決特定問題所需之 standard maintenance time；b.備料與維修人員之狀況；c.確認時間 confirmation time。而本研究之模式中的實際維修時間計算為 a.確認與分類問題所需的時間；b.該種類型問題所需的標準維修時間；c.等待備料與維修人員的時間之總和。

#### 3.2 管理、維修與飛航表現

LE 系統的故障可能造成航機飛行中意外事件之發生，此模式分析飛行中 LE 系統故障所造成之不預期事件機率與結果。根據影響流程圖，LE 系統故障的成因與影響因素包括：隨機系統故障(與維修無關)、維修工作造成之故障(Type I)以及維修人員品質。研究中假設當維修人員品質設定在 standard 時，Type I 錯誤引發之 LE 系統故障便可能發生；若設定在 increase 時，便不會產生 Type I 錯誤的故障，只可能產生隨機系統故障，但維修耗費的時間則會增長。此外亦假設 Type I 錯誤之故障與隨機故障不會同時發生，但研究中考慮其他系統同時發生故障的機會。

當不預期的 LE 故障發生時，最後決定飛行結果(flight outcome)的變數為航機高度、同時發生之故障系統、駕駛員反應時間、駕駛員採取之行動與氣候等。

### 4. 結果討論

本研究結果包含模式結果以及數據資料計算結果兩部分。研究中假設航機抵達機坪時發生機翼前緣系統故障，因此研究結果為 LE 故障造成之航機延誤與事故之條件機率，而其每一起降(per flight cycle)的發生機率指定為 $10^{-3}$ 。

#### 4.1 資料庫問題

- (1)目前維修部門用來蒐集資料的軟體已開發多年，與現代化的其他軟體經常產不相容的情況，造成資料分析上的困難。
- (2)維修人員對於同一問題之報告沒有標準化的用語，造成資料分析時的混淆。

#### 4.2 模式分析結果

本研究模式的分析結果可以看出：

- (1)對於航機延誤與取消最重要的影響變數在於維修品質；
- (2)提高任何一項決策變數的標準，皆會使延誤次數的分布情況向右移動(圖 2)。
- (3)維修人員的品質對於航機延誤的影響顯著，但對於發生意外事件之影響很小。
- (4)由模式的模擬結果亦可看出延誤時間以及飛航安全間的權衡關係，但其數值並不明顯，主要原因可歸咎於機翼前緣系統並非屬飛安關鍵件，而實際上目前並沒有因為其故障所造成的意外事故發生，故此模式之模擬結果不明顯。

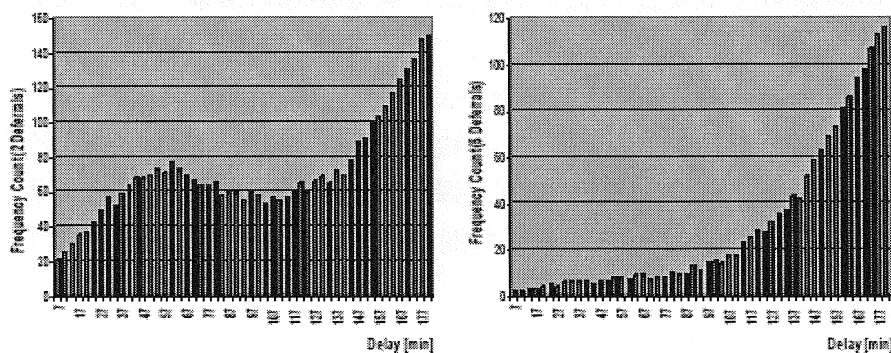


Fig. 2. Distribution of delay times (on-time departures and cancellations not included).

### 5. 結論

本研究運用風險率分析模式評估特定的維修管理決策對於航機延誤以及飛航安全之間的影響。此模式可以協助管理人員應用於實際的管理決策影響衡量，包括機場維修備料的存量以及維修人員的能力等。

根據本研究之風險率模式結果可以看出，LE 系統之最小化航機延誤時間以及最大化飛航安全之間的邊際效益(marginal trade-off)，然而由於機翼前緣系統故障引發之意外機率原本就極低，因此其計算所得之飛安邊際效益亦相當有限，故若能將此模式應用於與飛航安全更為相關的系統或組件進行分析，必能對於維修品質對於飛航安全影響之評估得到更顯著的結果。

另一方面，本研究中所建立之模式的限制主要在於變數選擇的完整與正確性，以及資料的估計。根據模式中投入變數的說明，除了航空公司之統計資料外，有許多的變數是必須仰賴航空公司的專家意見來評估，而且有許多變數於不同維

修政策影響下的量化上會有困難，只能根據專家經驗來估計，因此也造成了此模式先天上的限制。

此運用主觀估計的模式優點在於可以考慮不同的影響因素，因此能夠用於評估不同結果的機率。此外本模式亦可作為航空公司管理階層決策支援系統建立的基礎。

## [文獻評析]

1. 本研究建立之三層級模式加入許多影響變數，包括資料庫中的數據資料以及透過專家經驗評估的變數，使模式估計的考慮因素更為廣泛。
2. 透過專家經驗來決定影響變數，以及相關維修政策改變對於航機延誤與安全影響效果的評估可能流於主觀，而且必須考慮這些該航空公司的專家的相關經驗是否可靠，意即必須考慮專家的選擇，若其選擇出不適合的人選，則可能導致模式之決策變數或評估結果出現差異。
3. 研究中的標的-翼端前緣系統 Leading Edge 系統，本身即不屬於飛安關鍵元件，而其故障率以及可能引發之航機意外事件亦在少數，因此造成其維修策略對於航機延誤與飛安的影響分析結果不顯著，故如同研究中所做的建議，未來的相關研究應考慮以飛安關鍵元件的資料進行分析，應可收到較好的分析結果。
4. 研究中對於人員維修品質 increase 的假設為，在此種情況下，Type I 錯誤不可能發生，然而實際的情況中，完美的維修品質幾乎不可能達到，而且此研究之模式僅針對 Type I 錯誤情況進行探討，未能將維修過程中可能發生的錯誤的因素納入研究範圍，建議未來相關研究能將 maintenance-induced 的問題一併考慮。

## [相關文獻]

Boeing, Commercial Airplane Group 1996. Statistical summary of commercial jet airplane accidents, Worldwide Operations, 1959–1996, Seattle, WA.

Sachon M, Shore, J, Torelli, I, Zago, A, Fuhrmann, D, Lamorte, B, Reinertsen, L, Pate'-Cornell, M.E. Risk analysis in airline management, Student project report (IE241, 1997) Department of Industrial Engineering, Stanford University, Stanford, CA.

US Nuclear Regulatory Commission 1975. Reactor safety study: an assessment of accident risks in US commercial nuclear power plants, Report WASH 1400, Washington, DC.

Kaplan S, Garrick BJ. On the quantitative definition of risk. Risk Analysis

1981;1(1):11–27.

Garriek BJ. Recent case studies and advancements in probabilistic risk assessment. *Risk Analysis* 1984;4(4):267–79.

Apostolakis G. The concept of probability in safety assessments of technological systems. *Science* 1990;250:1359–64.

Pate'-Cornell EM, Murphy DM. The SAM framework: modeling the effects of management factors on human behavior in risk analysis. *Risk Analysis* 1996;16(4):501–15.

Pate'-Cornell EM, Fischbeck PS. PRA as a management tool: organizational factors and risk-based priorities for the maintenance of the tiles of the space shuttle orbiter. *Reliability Engineering and System Safety* 1993;40:239–57.

Morgan MG, Henrion M. *Uncertainty*, New York: Cambridge University Press, 1990.

Tversky A, Kahneman D. Judgement under uncertainty: heuristics and biases. *Science* 1974;185:1124–31.

Howard RA, Matheson JE. Influence diagrams. In: Howard RA, Matheson JE, editors. *Readings on the principles and applications of decision analysis*, 2. Menlo Park, CA: Strategic Decisions Group, 1984. p. 721–62.

Shachter R. Evaluating influence diagrams. *Operations Research* 1986;34(6):871–82.

McFadden KL. When it comes to air travel, there's safety in numbers. *OR/MS Today* 1997;August:30–32.





## 飛航操作

### CRM

Craig E. Geis and Michael J. Alvarado **Advanced Applications of CRM**, *Corporate Aviation Safety Seminar* 1997

Paul O'Connor, Hans-Jurgen Hörmann, Rhona Flin, Mike Lodge, Klaus-Martin Goeters, and The JARTEL Group **Developing a Method for Evaluating Crew Resource Management Skills A European Perspective**, *International Journal of Aviation Psychology* Vol.12, 2002 pp.263-285

Pual Miller **Safety: Beginning at the Bottom: A Response-based. Pilot-oriented Safety Program Toward Safer Flight Operations and a Joint IPA-UPS Flight Safety Program**, *International Aviation Safety Seminar* 2000

Rhona Flin & Lynne Martin **Behavioral Markers for Crew Resource Management: A Review of Current Practice**, *International Journal of Aviation Psychology* Vol.11, 2001 pp.95-118

### FOQA

Jacques Verrière **FOQA Contribution to Flight Safety Management**, *European Aviation Safety Seminar* 2000

Mike Holtom **FOQA: Aviation's Most Important Safety Tool**, *International Aviation Safety Seminar* 1999

### LOSA

Robert L. Helmerich **Crew Performance Monitoring Programme Continues to Evolve as Database Grows**, *ICAO Journal*, 2002

Robert L. Helmreich, James R. Klinec & John A. Wilhelm **System Safety and Threat and Error Management: The Line Operational Safety Audit (LOSA)**, *ISAP* 2001

### Training

Capt. David A. Williams **Turbulence Education and Training Aid**, *International Aviation Safety Seminar* 1997

Charles K. Bergman **At the Breaking Point: The Ever-increasing Risk Associated With Runway Incursions in the Rapidly Expanding Global Aviation Environment**, *International Aviation Safety Seminar* 2001

Doug Forsythe, Flight Operations Division Boeing Commercial Airplane Group **The Controlled Flight into Terrain (CFIT) Education and training Aid**, *Corporate Aviation Safety Seminar* 1997

Don Bateman **Approach-and-Landing Accident Reduction Task Force - Operations and Training Working Group Final Report**, *International Aviation Safety Seminar* 1998

Eric N. Wickfield, Executive Jet International **Losing Situational Awareness Indications of That Loss and Avoiding the Controlled Flight-Into-Terrain Accident**, *Corporate Aviation Safety Seminar* 2001

#### **Cabin Safety**

Peter Simpson, Graham Edkins, Christina Owens & Stuart Godley **Development and Evaluation of Cabin Crew Expected Safety Behaviours**, *Cabin Safety Symposium* 2003

#### **Others**

Frank Alexander **The Use of Vertical Navigation for Non-precision Instrument Approaches**, *International Aviation Safety Seminar* 1999

R. Curtis Graeber and Mike M. Moodi **Understanding Flight Crew Adherence to Procedures: The Procedural Event Analysis Tool (PEAT)**, *European Aviation Safety Seminar* 1999

# **Advanced Applications of CRM**

**Craig E. Geis & Michael J. Alvarado**

**Geis - Alvarado & Associates, Inc.**

**Corporate Aviation Safety Seminar, 1997**

## **[英文摘要]**

Crew Resource Management (CRM) has been with us in one form or another since 1980. All of us here today have probably been instrumental in recommending our crews participate in CRM training programs. There is little doubt within the aviation community that CRM skills are important, but how many of us have clear evidence that CRM training has been effective in increasing crew performance and affecting our organizational culture? Probably very few, because to do this, you must have clear standards and a process to evaluate the performance of crews in the use of CRM skills. This has been a very difficult, area to address.

During the 1986 NASA conference on Cockpit Resource Management (CRM) the committee working on Evaluating the Effectiveness of CRM Training recommended, "At this time, a formal evaluation or check of CRM skills is highly undesirable. At a later time when CRM is fully accepted in the training environment and when measurement, techniques are validated, such an evaluation could become possible." Attending the same conference. Dr. H. Clayton Foushee, then of the National Aeronautics and Space Administration Ames Research center, stated that. "Measuring the effectiveness of CRM may be the most difficult question of all, but if we are to be maximally effective, we must ultimately tackle this difficult issue."

To take CRM to an advanced level, where its application can return the greatest value, there must be a means of measuring its effectiveness. For the past three years, there has been a program in place that addresses this very issue. The program. Advanced CRM, which is presented in this paper, can provide flight departments with a training system that has been documented to improve crew performance, change the organizational culture, and increase the margin of safety in a changing environment.

## **[中文摘要]**

組員資源管理(CRM)從 1980 年代開始發展，到目前為止 CRM 在整個航空界

中扮演著重要的地位，但在當時要如何評價 CRM 對於整體的效果卻是有著相當的困難，NASA 在 1986 年所召開的 CRM 會議上就有人提出相關的問題。

到了最近為了把 CRM 帶向另外一個更進步的領域，找回當初設計 CRM 的目標，必須找出一個能明確測定 CRM 效力的方法。Advanced CRM 在這篇文章裡被提出來，能為飛行部門提供已經被用文獻證明改進全體人員性能的一個訓練體制，改變整體機構的文化，並且在改變的過程中能增加安全係數。

## [內容]

研究母體：

如何評價 CRM 的效力在目前是一個重要的課題，為了把 CRM 帶向另外一個更進步的領域，同時找回當初設計 CRM 的目標，必須找出一個能明確測定 CRM 效力的方法，Advanced CRM 就在此時被提出來用以改善傳統的 CRM。

研究方法：

在開始討論 Advanced CRM 之前，我們要先知道 basic CRM 有哪些問題，basic CRM 的問題有下列數項：

1. Basic CRM 是為了滿足 FAA 所提出之 120-51B 適航通報 (Advisory Circular) 對一開始的教育 (indoctrination) / 認知 (awareness) 訓練的要求，他通常對日常的練習和回饋不做處理也不會繼續增強。
2. Basic CRM 是以組員為基礎 (crew based) 的計畫，一般來說並不會和飛航部門 (Flight department) 體系或是文化連結在一起。
3. Basic CRM 並未被進行評價，同時對於組員的表現也很少會提出一些特別的回饋。
4. 飛航部門沒辦法收集到相關的資訊/資料對 basic CRM 進行改進。
5. Basic CRM 只教導會影響個人或是組員表現的人為因素的認知或是理論原則，而不是告訴他們一些具體的技巧。
6. Basic CRM 只有一個概念而沒有訂出標準。

採用 Advanced CRM 最主要的原因是它可以讓一個組織更積極的去面對問題。Advanced CRM 不能算是一個應急的辦法或是實驗，他是為組員的表現提供回饋、為組織增進其訓練效能的一條道路。由於整個大環境已經改變，目前已經到了必須把 CRM 訓練推向一個更高層次的時代，其中的原因包括：

1. Basic CRM 這個概念已經遍及全世界，並且在飛行操作的過程中已經變成一個民航業中的標準 (industry standard)。
2. Advanced CRM 採取的是一種連續的改進方法，他可以把組員以及組織的表現變的更好。
3. Advanced CRM 可以和企業文化進行完美的整合。
4. 管理人者必須在有限的資源下對他們的訓練效果進行測量，因為沒有數據焉談管理 (You cannot manage what you cannot measure)。

Advanced CRM能為飛行部門提供一個新的訓練體制，這個訓練體制已經被文獻證明可以改進全體人員性能，改變整體機構的文化，並且在改變的過程中能增加安全係數。以下則是Advanced CRM計畫採取的方法：

Step 1:訂定 CRM 標準 (Determining the CRM Standards)：

CRM 標準是用來測量組員表現的行為 (behaviors)、規範 (norms) 或準則 (criteria)。性能標準的訂定是進行一次詳細的需求評估 (needs assessment)，這個需求評估由一份對於從 1979 年開始出版的 CRM 文獻進行大規模回顧的報告、近期 CRM 計畫的回顧、FAA、NASA、FSF、ICAO 的建議所組成。

經過 6 個月透徹的回顧後，最後將標準分成 13 個技術領域以及 29 個特點，技術領域對於行為採取巨觀的看法，而特點則是對於導致該行為發生的具體技能提供微觀的看法。以下則是技術和特點的簡短概要：

1. 領導和組員氣候 (Leadership and Crew Climate)：領導風格、專業 (professional respect)、對於不同的觀點能心胸開闊去面對 (openness to alternative viewpoints)、飛航組員態度。
2. 行前及緊急計畫 (Pre-Trip & Contingency Planning)：行前飛行計畫的效能、行前緊急計畫、飛行中的再計畫 (re-planning) 和緊急計畫。
3. 決策技巧 (Decision Techniques)：在高度壓力之下組員能否在短時間做出決定、隨著壓力慢慢上升組員能否立即做出行動及決定。
4. 優先權和工作負荷 (Prioritization and Workload)：對組員的優先權和工作量分配提出方法。
5. 非預期事件管理 (Managing Unexpected Events)：對於非預期事件的發生，組員平時是否有準備並且能否鎮靜的利用資源管理來解決。
6. 情境認知 (Situational Awareness)：維持組員對環境的認知並且消除認知抑制 (eliminating awareness inhibitors)
7. 溝通 (Communications)：全體組員透過適合 (adequacy)、適時 (timeliness)、清楚 (clarity)、確認 (acknowledgment)、決策及行動的交流以及行動的確認和說明來使溝通更有效率。
8. 幫助需要的組員 (Assistance Sought From the Crew)
9. 由組員提供的幫助 (Assistance Offered by the Crew)
10. 飛航組員交互監控 (Crewmember Cross Monitoring)：由組員對其他組員的表現做一個審視 (scanning)。
11. 提議及主張 (Advocacy and Assertion)：組員間互相透過提議及主張來討論不同的觀點、資訊和表面衝突。
12. 在行動回顧後的飛航後 (Post-Flight After Action Review)：以增進組員表現為目的而領導組員進行任務報告及批評 (critique)。
13. 自動化管理 (Automation Management)：透過自動化管理對駕駛艙資源進行管理。

## Step 2:記錄下行為的標準（Writing Behavioral Standards）：

對於每一個技術領域還有特點，清楚的行為標準或是駕駛艙行為被記錄下來，這些標準的最終版本包含在 Crew and Evaluator's Advanced CRM Handbook 中。要使得 CRM 產生效果那一定要有一個清楚的標準當基礎，在 Advanced CRM 中的 Behavioral Marker 將對組員進行紀錄，看飛行組員是超過預期（Exceeds Expectations）、達到預期（Meets Expectations）或是低於預期（Below Expectations）。

1. 超過預期：組員呈現積極狀態，並且總是維持高安全係數，安全絕不會被預料之外（unforeseen）的事件損害。例如：在飛行前的計畫還有簡報過程，組員使用標準語法（phraseology），在飛行過程中沒有任何含糊不清的對話出現。
2. 達到預期：組員可能沒有對預料之外的事情進行計畫，但是當事情發生時卻能迅速的發現問題且採取適合的對策。例如：在飛行前的計畫還有簡報過程沒有使用標準語法，在飛行中有可能出現含糊的對話，但組員們可以立即處理並且改進。
3. 低於預期：組員沒辦法判斷發生的問題會不會影響飛行安全，當預料之外的事件發生時組員沒辦法發現問題或採取適當的措施去應付。例如：在飛行前的計畫還有簡報中完全不使用標準語法，在飛行過程中常有含糊不清的對話出現。當問題發生時，組員慢慢的處理，並且可能導致新的問題產生；組員或許對問題有回應，但是卻沒有採取行動消除問題的意思。

## Step 3:回顧過程（Review Process）：

經過 CRM Corporate Advisory Committee 回顧後，有關 13 個技術領域和 29 個特點的最後標準被認為是實際且可以接受的，這些標準可以提升組織及組員的表現。訓練手冊在這個過程之後出版。

## Step 4:訓練標準化/評價駕駛員（Training Standardization/Evaluation Pilots）：

訓練在一個為期 4 天的互動式研習會裡面被提出來，DuPont 的承諾經由所有採用這種訓練的標準化飛行員、總機師以及管理人員身上得到證明。對於出席這場訓練的人的目標是：

1. 使用 Advanced CRM 在標準化組員表現上面是有幫助的。
2. 瞭解標準化組員表現是如何建立一個有效的習慣型態（habit patterns）。
3. 對於前艙組員的表現可以訂出清楚、可測量的標準。
4. 能夠實現一個比 FAA 適航通報 120-51B 更好的 Advanced CRM。
5. 依靠著清楚、可測量的標準能對組員的具體表現進行評價並且提供組員回饋。
6. 對於每次的飛行都可以完成一份訓練需求評估（Training Needs Assessment）表。

#### Step 5:訓練全體組員（Training Corporate Crew Members）：

全體組員的訓練會議是由一個一天的研習會所組成，這個研習會的目的是使用 CRM 標準來熟悉個體的組員，以及解釋在標準化/評價的過程和回饋會議中有哪些期望。這部分的基礎解釋如下：

1. 來自標準化/評價飛行中 CRM 組員表現的回饋是機密的（confidential），並且只有填寫訓練需求評估表。這個部分也是機密的。
2. 組員只有在 Advanced CRM 標準上進行 de-debriefed。
3. 標準化/評價駕駛員回報其觀察並且幫助進行任務歸詢（debriefing），他/她也能和其他組員進行合作發展一些對策以增進未來的表現。
4. 標準化/評價駕駛員將依據任務歸詢填寫一份正式的訓練需求評估表，這份表格上面只有為了分析所需要用到的數字資料，並沒有任何和組員有關的連結，而表格內的分數完全沒有討論到組員。

#### Step 6:組員評價/回饋開始（Crew Evaluation/Feedback Begins）：

在 DuPont 中 CRM 評價的實施與日常將標準化過程列入計畫一起處理，DuPont 的過程是觀察組員的知識以及使用公司的 SOPs 和 CRM 技能，這個觀察過程從行前的計畫開始直到飛行後的回顧結束。

標準化/評價駕駛員使得任務歸詢的過程（包括飛行中的程序及 CRM 方面）變的容易，同時組員回饋表可以用在任務歸詢上面。這份回饋表看起來雖然很冗長，但主要目的是引導評價者的觀察。標準化/評價駕駛員提供組員在其需要加強的領域上的回饋，這些回饋是基於行為上的觀察以及對行為的標準進行測量。

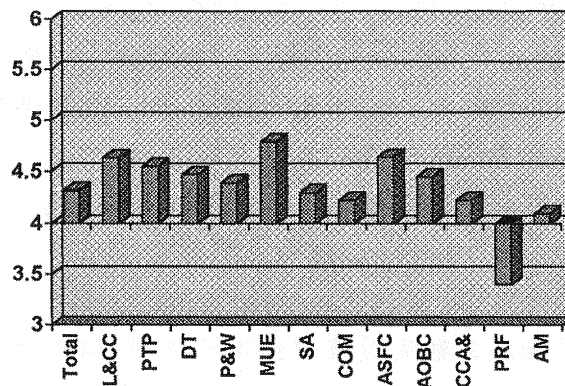
#### Step 7:回顧所收集的資料（Review Collected Data）：

收集完畢訓練評估需求的資料之後，研究人員提出了新的趨勢以及增加訓練重點，評價這些資料的好處有：

1. 提供管理階層作為決定的參考（為了安全、品質及效率問題上可以做到事前預防，事後修正的目標）。
2. 告知管理階層實際或是潛在的威脅。
3. 評鑑（assessing）組員訓練的效果。
4. 在品質問題的管理上面提供一個看的見的管理支援。
5. 對公司的政策和採用的規定確實服從。
6. 找出缺乏及需要改善的行動。
7. 找出改進機會。

David Rada 利用 Microsoft Excel 發展出來一份圖表，它有著容易輸入的好處並且可以進行分析。下圖一是 DuPont 訓練需求評估表的一個例子，這份評估表是由 6 位從這個計畫一開始就參加的標準化/評價駕駛員所完成的，裡面顯示出 13 個技術領域中訓練需求評估的平均分數，其中有個相當低的分數是在 Post-Flight After Action Review，這個領域目前被 DuPont 當作一個要加強改進的目標。





圖一、DuPont Data

Step 8:標準化/評價駕駛員的循環訓練（Standardization/Evaluation Pilot's Recurrency Training）：

標準化/評價駕駛員的循環訓練目前作為每年一次的訓練計畫，這些訓練的設計目的是一連串增強的過程，並確立標準化在評價和回顧問題中的地位。同時這也是回顧標準化/評價駕駛員訓練需求評估等級還有保證評分者（rater）標準的一個機會。

研究結果：

在經過了一年的實驗之後，採用 Advanced CRM 獲得了以下的結果：

1. 在大約六個月後可以發現飛航部門在簡報、任務報告、航機管理系統的管理這幾方面有著顯著的改變。
2. 行為改變導致態度改變也造成公司的文化改變。
3. 組員一開始對其非常擔憂，但在組員看到這個可以迅速的改進他們在駕駛艙中的操作時，組員對其的不確定性迅速消失。
4. 組員因 CRM 有個清楚的標準而感到欣慰。
5. 講述 CRM 標準的書並不是當成組員的一種支撐而是當作一種資源，當問題出現時就去查相關的解決方式。
6. 每個人對於自己的工作的標準要有充足的知識。
7. 在任務報告中可以輕易的負責 2 種或 3 種的技術領域。
8. CRM 的任務報告技能必須是要針對本次飛行中的過程還有操作須要加強的地方進行討論。
9. 標準化/評價駕駛員是一種資源，並且使駕駛員結束之後的任務報告得以簡化。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

雖然有提出 Advanced CRM 該怎麼進行，但並沒有舉出實際例子來說明採用 Advanced CRM 的成效為何，故對 Advanced CRM 之實際效果仍存有疑問。

本文獻的優點：

完整的提出了 Advanced CRM 實行的步驟以及方法，同時也比較了傳統 CRM 和 Advanced CRM 的差異性，本文獻為實行 Advanced CRM 提供個參考。

結論：

CRM 在 1980 年左右開始發展，到目前為止 CRM 在整個航空界中扮演著重要的地位，隨著現實環境的需求，組員資源管理訓練的內容和受訓對象皆不斷更新和增加，新一代的 CRM 相繼被提出，而其也從原來的座艙資源管理（Cockpit Resource Management）擴大成組員資源管理（Crew Resource Management），到了現在 CRM 已經漸漸的結合了其他不同的安全措施（例如：FOQA, LOSA），彼此互相截長補短進而增進飛航安全。

#### [相關文獻]

1. NASA Conference Publication 2455, (1987) Proceedings of the NASA Cockpit Resource Management Training Workshop, NASA CP 2455. p. 231. Moffett Field, CA:NASA Ames Research Center
2. Foushee, H.C.,(1987) Introduction To The Workshop. In Proceedings of the NASA Cockpit Resource Management Training Workshop, NASA CP 2455. p. 2. Moffett. Field, CA: NASA Ames Research Center.
3. Federal Aviation Administration, (1995) Crew Resource Management Training. Advisory Circular 120-51B. p. 2.
4. Ibid., p. 3.
5. DuPont Corporate Aviation, Keith Shelburn, Manager, Flight Training & Standards.
6. Geis. C.E. & Alvarado, M.J., Advanced Crew Resource Management. Training Handbook. Version 1.9 1997, Published by Geia-Alvarado & Associates, Inc., Napa, CA.
7. Federal Aviation Administration, Appendix 1. pp. 1-7.

8.

# **Developing a Method for Evaluating Crew Resource**

## **Management Skills A European Perspective**

Paul O'Connor, Hans-Jurgen Hörmann, Rhona Flin, Mike

Lodge, Klaus-Martin Goeters, & The JARTEL Group

International Journal of Aviation Psychology, 12(3), 2002,

263-285

### **[英文摘要]**

The European Commission in conjunction with the European Joint Aviation Authorities (Human Factors Project Advisory Group) has been sponsoring a series of studies investigating a culturally robust method for the evaluation of pilots' nontechnical skills (NTS) for multicrew operations. This article outlines the development of a European NTS behavioral marker system for crew resource management evaluation called NOTECHS and presents preliminary results from an ongoing test phase of this system (Joint Aviation Requirements Translation and Elaboration of Legislation [JARTEL]). The JARTEL project has involved 105 instructors from 14 European airlines who were given a short training session to use the NOTECHS system. After the training phase, these instructor pilots used the system to evaluate the individual CRM skills of captains and first officers in 8 different video scenarios filmed in a Boeing 757 simulator. Issues relating to rater training, reliability, and accuracy, as well as the instructors' opinions on the acceptability of the method, are discussed.

### **[中文摘要]**

JAA 發起一系列進行多組員行動對於評估駕駛們非技術性技能(NTS)上的研究，這篇文章略述一個對於組員資源管理的歐洲 NTS 行為標記系統，該系統稱為 NOTECHS。並且從這系統(Joint Aviation Requirements Translation and Elaboration of Legislation, JARTEL)正在進行中的測試階段提出初步結果。

在使用 NOTECHS 系統中的 14 家歐洲航空公司中選出 105 位教官接受短時間的 JARTEL 訓練課程，在訓練之後，這些飛行員接受個別 CRM 技術的評價。

在波音 757 的模擬機中放置了 8 個不同的影像感測器，進行受試者對於該訓練的可靠性還有準確性，以及受試者對這種方法的意見。

## [內容]

研究母體：

NOTECHS 系統 (a European NTS behavioral marker system for crew resource management evaluation)

研究內容：

NOTECHS 是由 JAA 人為因素顧問團派給 4 個研究學會(Dutch Aerospace Research Center, German Aerospace Research Centre, Institut de Medecine Aerospatiale du Service de Sante des Armees, and the University of Aberdeen)發展出來一個評估 NTS 架構的系統。

此篇文章提供一些了一些資訊,其中包括了:

1. Behavioral marker system 的存在與背景
2. NOTECHS 的架構
3. 對於 NOTECHS 系統的初步測試與實驗
4. 有關 NOTECHS 的訓練

BEHAVIORAL MARKER SYSTEMS：

由 Helmreich's group 在 NASA 和 FAA 組員管理計畫中提出,在 1980 年發展出一種收集資料的模式,此模式稱為 LLC(Line/LOS Checklist),於 1990 年開始用於組員 CRM 表現資訊的收集。The Behaviors 包含了 LLC 中飛行員在座艙管理的態度和人為因素引起的事件分析。LLC 被基礎的觀察與研究已經多年,最近被併入 LOSA(Line Operations Safety Audit)中,主要注重組員一起的表現而非個人操作能力。

另一個 marker system 是由 Fowlkes, Lane, Salas, Franz, and Oser 於 1994 年發展出來,是一個團隊性能管理方法,稱為 TARGETs(Targeted Acceptable Responses to Generated Events or Tasks),用於美國軍方貨運及直升機團隊,探討 7 個飛行中組員的合作行為: 1. 任務分析 2. 適應性和彈性 3. 領導力 4. 決策能力 5. 自信 6. 情況警覺 7. 溝通力。TARGETs 與 LLC 一樣注重的事組員之間的表現而非個人。

許多大型航空公司也發展出屬於自己的 Behavioral marker 系統,主要用於訓練。而 JAA 也要求要有一套基本且通用的 Behavioral marker 系統給予小型航空公司以及任何國家任何公司使用,以評估飛行員的 NTS。

THE NOTECHS FRAMEWORK：

NOTECHS 計畫評估兩位以上飛行組員的飛行器飛行於歐洲時,進行 events 檢查以及訓練以達到評估飛行員的 NTS。當 NOTECHS 於幾家大型航空公司審視後,得到航空公司所給的一些結論：

1. 沒有一家航空公司採用不健全的 NTS 評估系統,因此有部分航空公司採用

NASA/UT LLC 發展出來的系統。

2. 因為航空公司的等級區別有所不同,以至於不能定義出的 NTS 系統是否適用。
3. NTS 系統中,飛行後簡報以及合適的評估是必須被清楚的定義,尤其是這系統要被各國家不同的航空公司使用。
4. 適當地建立一個飛行員非技術性表現行為評估系統,以致於任何 NTS 訓練與發展系統可適時的改變操作程序並且增加知識。
5. NTS 主要的分類應該以決定能力,環境警覺,領導能力以及團隊工作為主題。  
透過航空公司的意見,此系統設定了幾項原則為 NOTECHS 架構的幾本原則:
1. 每個基本項目規劃必須互相獨立。
2. 此系統必須包含最少的種類與組織顯示最危險的行為。
3. 專業用語必須清楚地顯示每天的言行而不是使用模糊不清的言詞。
4. 行為層次的技術列表中,"普通技術"應該是直接並且易觀察的,而在「認知技術」中要能從溝通鐘推論得知。

NOTECHS 架構分為三個層次 1.Pass/fail 2.Category 3.Element。其中 Categories 有 4 個大項目,每個項目中有許多 Elements,以下介紹 4 個 Category 中有哪些 elements

- 一、合作: 1.團隊建立與維護 2.考慮其他人 3.支持其他人 4.衝突解決
- 二、領導與管理技巧: 1.使用權利 2.維護標準 3.計畫與協調 4.工作負荷管理
- 三、情況警覺: 1.系統警覺 2.環境警覺 3.時間評估
- 四、決策下達: 1.決定方案 2.選擇發生 3.風險評估 4.結果檢討

NOTECHS 架構大致發展以後,評估可靠度與可用性的方法在 JARTEL(Joint Aviation Requirements Translation and Elaboration of Legislation)PROJECT 中被實驗與測試。

JARTEL PROJECT:

主要分為兩個主題:1.實驗 2.操作

1. 使用影片情節對強健以及可用的 NOTECHS 架構進行測試。
2. 教官在真實生活中評估 NTS。

此計劃定義了 NOTECHS 層次,以下介紹 5 個層次

1. very poor: 行為直接影響飛航安全
2. poor: 在其他情況下,行為影響飛航安全
3. acceptable: 行為未影響飛航安全但是必須改進
4. good: 行為加強了飛航安全
5. very good: 行為優秀地加強飛航安全並且可作為其他飛行員的範例

計畫中,很多方式用來建立強健的 NOTECHS 架構:

1. 辨識層級表現出 NOTECHS 在國際上的分類。
2. 參與者辨識那些符合的分類,以達到正確性。這部份注重 CATEGORY 與 PASS/FAIL 的分類。
3. James Demaree and Wolf 發展出一套測定國際認證的索引。(James et al., 1984,

1993)

4. 依據判斷員的問卷調查評估系統的可用性。

#### METHOD:

以下發展了一些方法來協助 NOTECHS 評估以及判定:

1. 攝影監視: 裝置多部攝影於機艙內
2. 參考分類: 由兩個獨立團體建立了參考資訊,他們是老經驗且受過訓練的飛行員(來自英航以及德航)
3. 參與者: 15 實驗包含了 105 位飛行員,14 個歐洲航空公司,這些飛行員平均有 6 年資歷以及平均 10200 飛型時數。
4. 程序: 判定者必須經過一連串的相關訓練並且接受心理醫生複雜的評估。

#### RESULTS:

NOTECHS 評估出來的結論必須擁有可靠性,正確性,可用性,以及國際一致性。

1. 國際一致性: 利用數學統計方法找出 captain 與 F/O 對 category 的評估誤差與一致性的百分比並找出標準差,來確定是否符合國際一致性。
2. 正確性: 利用數學統計方法找出 captain 與 F/O 的判定與參考判定之間的誤差,若與參考判定差距太多則準確性不夠,若與參考判定接進則準確性高
3. 國際評估者同意: 統計這些評估者對每個分類與細節的評估結果是否同意
4. 使用者可用性: 透過這 15 個實驗與 105 位飛行員的參與,NOTECHS 得到很高的滿意度以致於認為 NOTECHS 架構是一個適合評估兩位機組員以上 NTS 行為的系統

#### 結論:

NOTECHS 系統目前只在準備測試與實驗階段,下一個是操作階段,在部分細節還未完成以及評分還未被適應以前,系統將採用以前相同的方法。許多家航空公司已經在他們的訓練部分認可修正 NOTECHS 方法以至於在適當時機時進行評估。而 JARTEL 機構對最後發展出來的 NOTHCHS 方法相當樂觀,這方法也在歐洲獲的相當高的信服力,並且被認為是一個具有提高飛安價值的系統。

#### [文獻評析]

此文提出很多方法與理論去探討 NTS 行為的評估,也真正實驗得到一些數據結果證明 NOTECH 架構的可行性,這的確是一個 NTS 行為被重視的開始,如果繼續發揚研究不只是在歐洲進行測試,那對於評估 NTS 行為的能力將會更精確與可靠,而且對於參考判定的資料庫也可以持續更新,NOTECHS 計畫是相當可行。

#### [參考文獻]

1. Baker, D. P., Mulqueen, C., & Dismukes, K. R. (1999). Training pilot instructors

- to assess CRM: The utility of frame-of-reference (FOR) training. In *Proceedings of the International Aviation Training Symposium* (pp. 291–300). Oklahoma City, OK.
2. Clothier, C. (1991). Behavioral interactions across various aircraft types: Results of systematic observations of line operations and simulators. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the Sixth International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 332–337). Columbus: Ohio State University.
  3. Connelly, P. (1997). A resource package for CRM developers: Behavioral markers of CRM skills from real world case studies and accidents (Tech. Rep. No. 97-3). Austin: University of Texas, Aerospace Research Project.
  4. Flin, R., & Martin, L. (1998). Behavioral markers for crew resource management (Civil Aviation Authority, Paper 98005). London: Civil Aviation Authority.
  5. Flin, R., & Martin, L. (2001). Behavioral markers for crew resource management: A review of current practice. *International Journal of Aviation Psychology*, 11, 95–118.
  6. Fowlkes, J., Lane, N., Salas, E., Franz, T., & Oser, R. (1994). Improving the measurement of team performance: The TARGETs methodology. *Military Psychology*, 6, 47–61.
  7. George Mason University. (1996). Improving crew assessments. Training materials to accompany a FAA sponsored workshop on evaluator calibration. Fairfax, VA: Author.
  8. Hamman, W. R., Beaubien, M. J., & Holt, R.W. (1999). Evaluating instructor/evaluator inter-rater reliability from performance database information. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 1214–1219). Columbus: Ohio State University.
  9. Helmreich, R. (1984). Cockpit management attitudes. *Human Factors*, 26, 583–589.
  10. Helmreich, R. (2000a). The Line Operations Safety Audit (LOSA). (Version 9). Austin: NASA/ University of Texas/Federal Aviation Administration Aerospace Group.
  11. Helmreich, R. (2000b). Managing threat and error: Data from line operations. In B. Hayward (Ed.), *Proceedings of the Fifth Australian Aviation Psychology Symposium*, Sydney, Australia.
  12. Helmreich, R., Butler, R., Taggart, W., & Wilhelm, J. (1995). The NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Line/LOS checklist: A behavioral marker-based checklist for CRM skills assessment. Instructions for using the LLCv4 (Tech. Paper 42-02). Austin: NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Aerospace Group.



13. Helmreich, R., Butler, R., Taggart, W., & Wilhelm, J. (1997). The NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Line/LOS checklist: A behavioral-based checklist for CRM skills assessment (Version 4.4) [computer software]. Austin: NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Aerospace Group.
14. Helmreich, R. L., Kline, J. R., & Wilhelm, J. A. (1999). The line operations safety audit (LOSA) observer's manual, version 7.0 (Tech. Rep. 99-0). Austin: NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Aerospace Group.
15. Helmreich, R., Wilhelm, J., Kello, J., Taggart, E., & Butler, R. (1990). Reinforcing and evaluating crew resource management: Evaluator/LOS instructor manual (Tech. Manual 90-2). Austin: NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Aerospace Group.
16. James, L. R., Demaree, R. G., & Wolf, G. (1984). Estimating within-group interrater reliability with and without response bias. *Journal of Applied Psychology*, 69, 85–98.
17. James, L. R., Demaree, R. G., & Wolf, G. (1993). rwg: An assessment of within-group interrater agreement. *Journal of Applied Psychology*, 78, 306–309.
- Joint Aviation Authorities. (1999). JAA-OPS. 1 Subpart N (NPA-OPS-16) Crew resource managementflight crew. Hoofddorp, The Netherlands: Author.
18. Law, R. J., & Sherman, P. J. (1995). Do raters agree? Assessing inter-rater agreement in the evaluation of air crew resource management skills. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 608–612). Columbus: Ohio State University.
19. Seamster, T., & Edens, E. (1993). Cognitive modelling of CRM assessment expertise: Identification of the primary assessors. In L. Smith (Ed.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting* (pp. 122–126). San Diego, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
20. van Avermaete, J. A. G., & Kruijsen, E. (Eds.). (1998). The evaluation of non-technical skills of multipilot aircrew in relation to the JAR-FCL requirements (Project rep.: CR-98443). Amsterdam, The Netherlands: NLR.
21. Williams, D. M., Holt, R. W., & Boehm-Davis, D. A. (1997). Training for inter-rater reliability: Baselines and benchmarks. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 9th International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 514–519). Columbus: Ohio State University.

**Safety: Beginning at the Bottom: A Response Based  
Pilot-oriented Safety Program Toward Safer Flight  
Operations and a Joint IPA-UPS Flight Safety Program**

Pual Miller

International Aviation Safety Seminar 2000

**[英文摘要]**

The Independent Pilots Association represents the over 2,200 flight crew members that operate United Parcel Service of America aircraft worldwide. They pilot over 290 large transport “express package” aircraft, around the clock and calendar. These pilots carry about two million of the 17 million packages UPS delivers every day and account for about 25 % of the revenue. UPS, Boeing and agencies such as FAA, NTSB and NASA provide excellent operational safety programs and UPS has had an excellent safety record since it started operations in January 1988. The pilots have benefited directly from this.

But there exist from time to time flight safety hazards that come to the attention of the line pilot, and that have not yet been reported or if reported, that have not yet been resolved. As with any flag and domestic airline, IPA pilots maintain a tight schedule in all weather and operating conditions. A hazard observed and reported by one crew today, will be faced by the next crew yet again tomorrow until the hazard is resolved.

To address this flight safety issue, the Independent Pilots Association operates a response based, pilot oriented flight safety program. It is a well organized, yet grass-roots program and so could be called, “Safety: Beginning at the Bottom.” It is intended to bring the accident rate to zero.

This paper addresses examples of this process, successes, failures and works in process. Record keeping is discussed. The paper is told from the pilots’ point of view through the workings of the pilot association safety organization.

**[中文摘要]**

本篇報告主要是在介紹 IPA 旗下 2200 名在 UPS 服務的飛行組員，因為

Boeing、NTSB、FAA、NASA 提供了怎樣的一套飛安策略給他們，以致於 UPS 從 1988 年 1 月開始營運以來保持著良好的飛安記錄。

IPA 和 UPS 每個月舉行飛安會議來交換彼此的意見。IPA-UPS Flight Safety Program 和 FAA 的 Airline Flight Safety Program 不同之處是飛行員團體被飛行員組織取代、飛安問題是以互相協商、互相分享的方式解決。IPA-UPS Flight Safety Program 是一個以回應為主、飛行員導向的 Flight Safety Program，這也是為什麼本篇的標題會說他是一個從底層做起的 program。

## [內容]

研究母體：

針對 IPA (Independent Pilots Association) 旗下 2200 名在 UPS 服務的飛行組員。

研究方法：

為了推行這個安全計畫 IPA 有一個自己的委員會，該委員會所掌管的工作包含以下幾項：

1. 失事調查：如同 NTSB 一樣，IPA 對於失事以及意外所造成的飛機損壞進行調查。
2. 航空醫學：健康、醫學以及證明文件的發佈。
3. 空廚：食品安全以及營養。
4. 重大意外回應計畫 (Critical Incident Response Program, CIRP)：幫助遭受重大失事或是意外之後的人其受傷後壓力的緩解。
5. 通訊 (Communication, On-Line and Newsletter)：保持通訊管道的暢通。
6. 駐地代表 (Domicile Representative)：處理有關駐地的問題。
7. 工程和技術：參加 FAA ARAC 的會議、在購買新飛機以及設備上提供諮詢、技術合作。
8. 和 FAA 的聯絡：維修以及 MMEL、ATC、證明文件的發佈。
9. 設施 (Facilities)
10. 抱怨 (Grievance)：合約的安全 (例如飛航、職責以及休息)
11. Hazmat：危險材料文件 (Hazardous materials documentation)
12. 飯店：組員的運輸、飯店火災以及個人安全
13. 立法事務：安全立法
14. 乘客操作 (Passenger Operations)：有關乘客的安全
15. 專業標準：人與人之間的問題
16. 安全：飛行安全為前提對於危險的解決、組織化的協調
17. 排程 (Scheduling)：晝夜節律、飛行、職責和休息安排
18. 訓練：地面和飛行訓練課程發展、教官訓練課程

IPA 安全計畫的中心目的為回應飛行員對於危險的報告。對於其危險情形的

處理可以分成以下三種：

1. 立即干涉：主要是因應可能會繼續危害到其他人、飛機以及其他財產，IPA 的作法是在機組人員要進行飛行任務前的飛行簡報中提出需要注意的安全事項。
2. 臨時補救：主要是因應有危險的組織化政策，例如機場方面使用信件詢問有關跑道結冰時的除冰政策。
3. 長期解決：主要是因應如果對組織文化有幫助的改變。

而 IPA 對於成員的安全回應則有以下兩種不同的模式：

1. Response to the Membership：透過多重的聯絡方法勸告飛行員不果決的危險性。
2. Response for the Membership：利用各種不同的方法把危險性傳達給相關組織知道。

研究結果：

IPA 和 UPS 每月舉行飛安會議來交換彼此的意見。IPA-UPS Flight Safety Program 是一個以回應為主、飛行員導向的 Flight Safety Program 和 FAA 的 Airline Flight Safety Program 不同之處是飛行員團體被飛行員組織取代、飛安問題是以互相協商、互相分享的方式解決。

## [文獻評析]

對本文獻問題與質疑：

本文主要著重於 IPA 對於旗下飛行員的作法但是並沒有看到飛行員對於 IPA 這些作法有什麼回應或是看法，如果此文獻能在把飛行員的觀點也納入那本文將會是一篇很具有參考性的文獻。

本文獻的優點：

非常詳細的寫出 IPA-UPS Flight Safety Program 的流程，以及該 program 在維護飛安中扮演什麼樣的角色。

結論：

本文獻是一個從底層做起的 program，它是從飛安最基本處——人做起。和一般減少飛安事故的 program 相比，本 program 的目的是要避免意外發生。減少飛安事故可能要花很長的時間去調查、驗證，但是本 program 是提出適當的練習和技巧讓 IPA 的人員去避免事故發生。以致於 UPS 從 1988 年 1 月開始營運以來一直保持著良好的飛安記錄。

## [相關文獻]

1. Letter to The Honorable James E. Hall, NTSB (Independent Pilots Association,

October 8, 1999, Louisville, KY)

2. Letter to The Honorable Jane F. Garvey, FAA (Independent Pilots Association, December 7, 1999, Louisville, KY)
3. Safety Program, various safety reports and safety alerts (Independent Pilots Association, September, 1999, Louisville, KY)
4. IPA-UPS Safety Forum, various notes (Independent Pilots Association, October, 1999, Louisville, KY)

# **Behavioral Markers for Crew Resource Management: A**

## **Review of Current Practice**

Rhona Flin. Lynne Martin

Moffett Field, CA

International Journal of Aviation Psychology Vol.11, 2001

pp.95-118

### **[英文摘要]**

Developments in crew resource management (CRM) have progressed from the introduction of training programs to the evaluation of CRM skills, particularly for multicrew cockpits. European regulators responsible for flight operations and flight crew licensing (Joint Aviation Authorities, 1996, 1997) are introducing requirements for the training and assessment of pilots' nontechnical skills. This article reports a review of the literature and a survey of current practice in the development and use of behavioral marker systems for training and assessing nontechnical CRM skills in international and domestic (UK) airlines. In general, there appears to be a wide range of practice in the design and implementation of behavioral markers systems within CRM programs. Emerging issues relating to content validity of marker systems and rater reliability are likely to become the focus of both researchers' and pilots' interest.

### **[中文摘要]**

CRM 的發展已由訓練課程的介紹到評估 CRM 技能，尤其是以多人為單位的駕駛團隊。此篇報告了在發展過程中，對文獻的回顧和現下的實踐調查以及對非技術性的 CRM 訓練及認證系統。

### **[內容]**

研究母體：

將 CRM 的發展與研究，從訓練的課程到評鑑，有相關的文章加以討論與研究。Behavioral Marker 的研發，使 CRM 的研究能更貼近需求。除了技術性的要

求之外，目前對於駕駛員非技術性技巧的訓練及評定也相當重視。此篇文章為文獻回顧及觀察現在發展中的實行狀況，和將 Behavioral Marker 使用於訓練及評鑑上。

#### 研究方法：

在美國和歐洲，CRM 是由基於駕駛員的意見架構而成的。機師對意外事件的態度想法等，皆有助於改進 CRM 的訓練系統。由於 CRM 訓練正逐漸驅向 Flight Deck，所以現在的評鑑以 CRM 技術何全體人員或者一個駕駛員的 nontechnical skill 為目標。在英國，飛行組員認證需要有人為因素訓練及測驗，而 CRM 訓練從 1995 年 1 月起為基本的要求。航空公司目前尚為自願性的做此項認證。但目前航空意外因 CRM 而降低的證據仍是難以發現的。

1. Marker System：Line / Los Checklist 被廣泛的利用，要注意的是，LLC 是針對全體組員而非單一的機師。LLC 較早期的版本，就發現同一家公司中，機師在不同的機型中執行 CRM，其不同之處相當多。Butler(1991) 利用 LLC 比較了四家美國的航空公司，發現其技術效率和全體人員效益有大範圍的不同。此表示了不同重點的 CRM 系統，不能一起相互比較。
2. CRM 分析與比較：CRM 的行為，可區分為以下兩種：interpersonal elements and mental activities。前者較易從觀察中發現，而後者則必須藉由人與人之間的互動或者技術方面的行為來討論。

Seamster and Edens(1993)分析 CRM 的評鑑結果可分為兩類：

- A. cognitive：problem identification，task prioritization，workload management
- B. interpersonal：teamwork，communication，group climate，leadship-followship

但系統評鑑的結果並非為絕對的正確，仍有一些外在的因素會導致判斷結果錯誤，Hamman and Holt(1997)就提出了以下幾點導致鑑定錯誤的原因：

- I. personal interpretation
- II. memory errors
- III. scale use
- IV. biases due to motivation

所以系統評鑑的資料並非代表絕對的對或錯，仍需參考多方面的資料加以整合才可。Seamster and Edens 則對用以訓練評鑑者的體制提出建議，要精通 CRM 的評估不在某單一部分的專精，而是將整體資料整理成有用且可理解的資訊。

3. 比較 UK 和 International 之間對於以下幾點的看法與做法有何不同：
  - A. Derails of the Behavioral Markers Scale
  - B. Training for Rating CRM Behaviors
  - C. Use of the Behavioral Markers System
  - D. Pilots' view

TABLE 1  
Summary of Key Questions and Responses From Airlines

Key Issues	UK	International
BMS available?	5/12	14/14
BMS used for assessment?	0/5	12/14
Can pilots fail check based on BMS ratings?	Not currently	6/12
Need for BMS training for instructors and examiners?	Yes	Yes
Pilot views on BMS?	Not asked	Generally positive
Will BMS be used in the future?	Yes	Yes

Note. BMS = behavioral marker system.

此圖可看出，UK 與 International 間，在問題的處理上，有各自考慮的重點及作法。

#### 研究結果：

此篇文獻整理了 CRM 的發展與進化過程，並提出許多論文來加以佐證。在 CRM 的分析中，單一駕駛員的技術操作行為已不再是主要的探討重點。團隊的分工合作與非技術的技巧才是目前大家關注的焦點。運用相當廣的記錄系統，其合法性與評估者的可靠性，皆有可能成為研究者與駕駛員們感興趣的焦點。

#### 問題與質疑：

對於 nontechnival skills 的部分沒有加以說明比較，對於應用在 CRM 中也無相關的解釋。

### [文獻評析]

#### 本文獻的優點：

文獻回顧的部分很清楚，且適時的提出與話題相關的論文來佐證，對於此篇的論點能更有說服力。後半部比較了不同國家的 CRM 相異之處，也是做為前半部論點的最大證明。

#### 結論：

CRM 發展至今也相當多年，資料也日驅豐富。不同的國家，甚至是不同的航空公司其系統體制皆可能大不相同，使用者仍需依照自己的需求來加以修正更新。如此一來，CRM 才可發揮最大的功效來降低飛行意外的發生。

### [相關文獻]

1. Aiken, L. (1996). Rating scales and checklists. New York: Wiley.
2. Antersijn, P., & Verhoef, M. (1995). Assessment of non-technical skills: Is it possible? In N. McDonald, N. Johnston, & R. Fuller (Eds.), Applications of psychology to the aviation system (pp. 243–250). Aldershot, England: Averbury.



3. Birnbach, R., & Longridge, T. (1993). The regulatory perspective. In E. Wiener, B. Kanki, & R. Helmreich (Eds.), *Cockpit resource management* (pp. 263–281). San Diego, CA: Academic.
4. Boehm-Davis, D., Holt, R., & Seamster, T. (in press). Airline resource management programs. In E. Salas, C. Bowers, & E. Edens (Eds.), *Improving teamwork in organizations: Applications of resource management training*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
5. Brannick, M., & Prince, C. (1991). Assessment of aircrew rating from within and between scenarios (Tech. Rep. No. DAAL0–3–86–D–001). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.
6. Brannick, M., & Prince, C. (1995). Reliability of measures of aircrew skills across events and scenarios. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 603–606). Columbus: Ohio State University.
7. Brannick, M., Salas, E., & Prince, C. (Eds.). (1997). *Team performance, assessment and measurement*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
8. Butler, R. (1991). Lessons from cross-fleet/cross-airline observations: Evaluating the impact of CRM/LOFT training. In R. Jensen (Eds.), *Proceedings of the 6th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 326–331). Columbus: Ohio State University.
9. Civil Aviation Authority. (1998). Flight crew CRM training standards (Aeronautical Information Circular 114/1998: Pink 178). Gatwick, England: Author.
10. Connelly, P. (1997). A resource package for CRM developers: Behavioural markers of CRM skill from real world case studies and accidents (Tech. Rep. No. 97–3). Austin: University of Texas, Aerospace Research Project.
11. Diehl, A. (1991, November). Does cockpit management training reduce aircrew error? Paper presented at the 22nd International Seminar for Air Safety Investigators, Canberra, Australia.
12. Dismukes, K., Jobe, K., & McDonnell, L. (1997). LOFT debriefings: An analysis of instructor techniques and crew participation (NASA Tech. Mem. 110442). Ames, IA: NASA.
13. Dutra, L., Norman, D., Malone, T., McDougall, W., & Edens, E. (1995). Crew resource management/assessment: Identification of key observable behaviours. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Symposium of Aviation Psychology* (pp. 562–567). Columbus: Ohio State University.
14. Flin, R., Goeters, K.-M., Hormann, J., & Martin, L. (1998, September). A generic structure of non-technical skills. Paper presented at the European Association of Aviation Psychology conference, Vienna.

15. Flin, R., & Martin, L. (1998). Behavioural markers for crew resource management (Civil Aviation Authority Paper 98005). London: Civil Aviation Authority.
16. Fowlkes, J., Lane, N., Salas, E., Franz, T., & Oser, R. (1994). Improving the measurement of team performance: The TARGETs methodology. *Military Psychology*, 6, 47–61.
17. Gaba, D., Howard, S., Flanagan, B., Smith, B., Fish, K., & Botney, R. (1998). Assessment of clinical performance during simulated crises using both technical and behavioural ratings. *Anesthesiology*, 89, 8–18.
18. Goeters, K.-M. (Ed.). (1998). *Aviation psychology: A science and a profession*. Aldershot, England: Ashgate.
19. Gregorich, S., & Wilhelm, J. (1993). Crew resource management training assessment. In E. Wiener, B. Kanki, & R. Helmreich (Eds.), *Cockpit resource management* (pp. 173–198). San Diego, CA: Academic.
20. Hamman, W., & Holt, R. (1997). Line operational evaluation (LOE): Air carrier scenario based evaluation. In D. Smith (Ed.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41st annual meeting* (pp. 907–911). Albuquerque, NM: Human Factors and Ergonomics Society.
21. Helmreich, R. (1996, October). The evolution of crew resource management. Paper presented at the IATA Human Factors Seminar, Warsaw, Poland.
22. Helmreich, R., Butler, R., Taggart, W., & Wilhelm, J. (1997). The NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Line/LOS Checklist: A behavioral-based checklist for CRM skills assessment (Version 4.4) [Computer software]. Austin, TX: NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Aerospace Group.
23. Helmreich, R., Hines, W., & Wilhelm, J. (1996, September). Issues in crew resource management and automation use: Data from line audits. Paper presented at the 6th CRM Industry Workshop, Charlotte, NC.
24. Helmreich, R., Merritt, A., & Wilhelm, J. (1999). The evolution of crew resource management training in commercial aviation. *International Journal of Aviation Psychology*, 9, 19–32.
25. Helmreich, R., Wilhelm, J., Gregorich, S., & Chidester, T. (1990). Preliminary results from the evaluation of cockpit resource management training: Performance ratings of flight crews. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 61, 576–579.
26. Helmreich, R., Wilhelm, J., Kello, J., Taggart, W., & Butler, R. (1990). Reinforcing and evaluating crew resource management: Evaluator/LOS instructor reference manual (Tech. Manual 90–2). Austin: NASA/University of Texas.
27. Holt, R., Boehm-Davis, D., & Beaubien, J. (in press). Evaluating resource

- management training. In E. Salas, C. Bowers, & E. Edens (Eds.), *Improving teamwork in organizations: Applications of resource management training*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
28. Joint Aviation Authorities. (1996). JAR-OPS. Flight operations. Hoofddorp, The Netherlands: Author.
  29. Joint Aviation Authorities. (1997). JAR-FCL: Part 1. (Aeroplane) flight crew licensing requirements. Hoofddorp, The Netherlands: Author.
  30. Lanzano, J., Seamster, T., & Edens, E. (1997). The importance of CRM skills in an AQP. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 9th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 574–579). Columbus: Ohio State University.
  31. Law, J., & Sherman, P. (1995). Do raters agree? Assessing inter-rater agreement in the evaluation of air crew resource management skills. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 608–612). Columbus: Ohio State University.
  32. Law, J., & Wilhelm, J. (1995). Ratings of CRM skill markers in domestic and international operations. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 669–675). Columbus: Ohio State University.
  33. Maschke, P., Goeters, K., Hormann, H., & Schiewe, A. (1995). The development of the DLR/ Lufthansa crew resource management training. In N. Johnston, R. Fuller, & N. McDonald (Eds.), *Aviation psychology: Training and selection* (pp. 23–31). Aldershot, England: Avebury.
  34. McDonnell, L., Jobe, K., & Dismukes, K. (1997). Facilitating LOS debriefings: A training manual (NASA Tech. Memorandum 112192). Ames, IA: NASA.
  35. Naef, W. (1995). Practical application of CRM concepts: Swissair's human aspects development program. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 597–602). Columbus: Ohio State University.
  36. Royal Aeronautical Society. (1998). Guide to performance standards for instructors of crew resource management (CRM) training in commercial aviation. London: Author.
  37. Salas, E., Fowlkes, J., Stout, R., Milanovich, D., & Prince, C. (1999). Does CRM training improve teamwork skills in the cockpit? Two evaluation studies. *Human Factors*, 41, 326–343.
  38. Seamster, T., & Edens, E. (1993). Cognitive modelling of CRM assessment expertise: Identification of the primary assessors. In L. Smith (Ed.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting* (pp. 122–126). San Diego, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
  39. Seamster, T., Edens, E., & Holt, R. (1995). Scenario event sets and the reliability

- of CRM assessment. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 613–618). Columbus: Ohio State University.
40. Seamster, T., Edens, E., McDougall, W., & Hamman, W. (1994). Observable crew behaviors in the development and assessment of line operational evaluations (Rep. No. DTFA01–93–C–00055). Washington, DC: Federal Aviation Administration.
  41. Seamster, T., Hamman, W., & Edens, E. (1995). Specification of observable behaviors within LOE/LOFT event sets. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 663–668X). Columbus: Ohio State University.
  42. Seamster, T., Prentiss, F., & Edens, E. (1997). Methods for the analysis of CRM skills. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 9th Symposium of Aviation Psychology* (pp. 500–504). Columbus: Ohio State University.
  43. Taggart, W. (1991). Advanced CRM training for instructors and evaluators. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 6th Symposium of Aviation Psychology*. Columbus: Ohio State University.
  44. Taggart, W. (1995). The NASA/University of Texas/Federal Aviation Administration Line/LOS Checklist: Assessing system safety and crew performance. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Symposium of Aviation Psychology* (pp. 688–693). Columbus: Ohio State University.
  45. Van Avermaete, J., & Kruijsen, E. (1998). The evaluation of non-technical skills of multi-pilot aircrew in relation to the JAR–FCL requirements (NOTECHS Group Project Rep. No. NLR CR98443). Amsterdam: National Aerospace Laboratory.
  46. Williams, D., Holt, R., & Boehm-Davis, D. (1997). Training for inter-rater reliability: Baselines and benchmarks. In R. Jensen (Ed.), *Proceedings of the 9th Symposium on Aviation Psychology* (pp. 514–519). Columbus: Ohio State University.



# FOQA Contribution to Flight Safety Management

Jacques Verrière

European Aviation Safety Seminar 2000

## [英文摘要]

Systematic flight data analysis, now commonly referred to as FOQA (Flight Operations Quality Assurance), has been implemented at Air France since 1974 as a result of a formal agreement between airline management and cockpit crew organizations.

The main goal of FOQA is safety management. But the use of FOQA for maintenance (engine and aircraft performance monitoring, troubleshooting) and miscellaneous applications (such as checking invoices for ATC enroute fees) results in some financial benefits.

All airplanes in Air France fleet (210 on March 31, 1999) are QAR (or DAR) equipped, and all recorded data is systematically processed. More than 500 tapes or optical disks are processed each week: in 1998, data from 78% of legs flown were recovered (some data were lost due to technical problems and we are working on solutions to improve this rate).

With such a large amount of data — **220,000 legs processed in 1998** — the challenge is to use it in the most efficient way for safety management.

## [中文摘要]

法航 1974 年在航空公司管理部門以及飛行員組織這兩方的正式協議之下開始採用飛航操作品質保證 (Flight Operation Quality Assurance, FOQA) 對飛航資料進行系統化的分析。

FOQA 最主要的目的為安全管理，但 FOQA 也可以應用在維修方面（發動機、飛機性能的監控，以及疑難排解）以及其他五花八門的應用（例如確認給航管航路費用的清單）而這些結果則對公司的財務方面有相當的助益。

法航所有的飛機（在 1999 年 3 月 31 日共有 210 架）都裝上了 QAR（或是 DAR），而上面所紀錄的資料都有系統的進行處理，法航每週平均都要處理 500 片以上的磁帶或是光學碟片。在 1998 年處理的資料大約涵蓋 78% 的航程（某些資料可能因為技術問題導致流失或是無法判讀，而法航正在解決這些問題，期望提升判讀率）。

在 1998 年法航大約記錄了 22 萬筆飛行資料，在這麼多資料當中，法航所要面對的挑戰是該如何用最有效率的方式分析並且應用在安全管理上。

## [內容]

研究母體：

法航採用 FOQA 系統 25 年的經驗談。

研究方法：

法航從 1974 年在航空公司管理部門還有飛行員組織這兩方的正式協議之下開始有系統的對飛行資料進行分析，這就是所謂的飛行操作品質保證（Flight Operations Quality Assurance, FOQA），雙方的協議包含了下面幾個要點：

1. 組員的匿名以及豁免（在某些情況之下）。
2. 管理階層以及飛行員組織每年進行 6 次的 FOQA 安全會議，審查所選出的 FOQA 事件並且提出正確的操作建議。
3. 從座艙組員來的反應（透過寫報告的方式）。
4. 透過 FOQA 報告的公布提出最具有意義的事件以及相關的課題讓人學習。

FOQA 最主要的目的為安全管理，但 FOQA 卻可以應用在維修方面（發動機、飛機性能的監控，以及疑難排解）以及其他五花八門的應用（例如確認給航管航路費用的清單）而這些結果則對公司的財務方面有相當的助益。

法航所有的飛機（在 1999 年 3 月 31 日共有 210 架）都裝上了 QAR（或是 DAR），而上面所紀錄的資料都有系統的進行處理，法航每週平均都要處理 500 片以上的磁帶或是光學碟片。在 1998 年處理的資料大約涵蓋 78% 的航程（某些資料可能因為技術問題導致流失或是無法判讀，而法航正在解決這些問題，以期提升判讀率）。

實施 FOQA 很重要的一個關鍵為訂出不同的 FOQA 事件（events），以下為一部份的 events：

1. 不穩定進場（Nonstabilized approaches）：包含進場速度過快（high approach speed）、進場角度過大（steep approach）、不正確的外型設定（improper slats/flaps setting）、低高度時滾轉角過大（high bank angle at low altitude）、左右定位台及下滑道偏差（localizer/glide slope deviations）
2. GPWS 的警報或警告（GPWS alarms and warnings, low approach）
3. 觸地距離不當（Excessive touchdown distances）
4. 超速（VMO/MMO, VFE, VLO/VLE）、校正空速在低高度時超過 250 節
5. 速度過低、駕駛桿劇烈抖動、高滾轉角、仰角過大（high pitch attitude）
6. 搶桿（Double flight control inputs）（A320/A340）
7. 降落時燃料過低（Low fuel levels at landing）
8. 偏離高度（Altitude excursions）

## 9. TCAS traffic/resolution advisories

研究結果：

以下為法航採用 FOQA 後在近年所改正的一些項目：

### 1. Long Landing：

觸地距離過長在法航的 FOQA 事件中佔有相大的的比例，以致於法航針對這個事件提出新的訓練標準並且在日常訓練中對這個事件提出改進。

### 2. Non stabilized approaches at a particular airport：

法航發現在某些特定的機場會發生比較高的不穩定進場事件，於是針對這些機場提出特定的程序或是進場圖，例如舊金山機場在使用了特定的進場程序之後不穩定進場的比例從原來的 10%降低為 1%。

### 3. Tail strikes：

法航在 B767 上發現在起飛後往往仰角過大，不過在告知組員要留心之後這個事件發生的次數也快速下降。

### 4. Asymmetrical thrust setting at take-off：

法航對於一些在起飛時偏離跑道的意外進行其推力設定的調查，發現有些班機過快設定起飛推力，這種起飛推力的設定不當可能會導致一些潛在性的危險。

### 5. Pilot Induced Oscillation：

在平飄時法航發現 A321 會比 A320 更容易發生由駕駛引起的輕微滾轉，統計之後的結果 A321 大約是 A320 的兩倍，對於這個問題法航目前也找不出其原因為何，所以目前該資料法航用於提醒 A320 的駕駛在進行 A321 的檢查時用。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

FOQA 系統只能忠實的紀錄 event 的發生，但沒辦法知道是什麼原因導致問題的發生，有時某些 event 的發生是由於航空公司政策的問題，同時 FOQA 無法對於跑道入侵做出反應，這兩點可能對於 FOQA 的推行產生不利的影響。

本文獻的優點：

簡單了介紹 FOQA 的作用，明確了說明採用 FOQA 可以對風險進行事先預防，同時也有舉出實例來證明 FOQA 的效果。

結論：

FOQA 是經由大量資料統計分析來找出可能會影響飛航安全的趨勢，必提供改善建議，但是相對要處理資料的份量也相當驚人，法航一年必須處理分析 220000 航班的飛行資料。經過了 25 年，FOQA 在法航飛安事故預防、風險管理體系中



已經成為不可或缺的一環。而 FOQA 在法航中目前則有下面四個目標：

1. 將發生之 event 公開，雖然會有缺點但這會變成一種良好的宣傳。
2. 透過建立資料庫對於意外採取事先預防。
3. 對於不安全的行為進行事先的矯正。
4. 使得飛行組員對 FOQA 產生認同感，進而使得 FOQA 能順利推行。

### **[參考文獻]**

由於原始文獻並未列出參考文獻，故本項空白。

# **FOQA : Aviation's Most Important Safety Tool**

**Capt. Mike Holtom**

**British Airways**

**International Aviation Safety Seminar 1999**

## **[英文摘要]**

British Airways (BA) started using flight data recorders 40 years ago and for the last 30 years all its pilots have taken for granted that their operations have been recorded and analysed by an exceedence program. Operational Flight Data Monitoring, known more recently as Flight Operational Quality Assurance (FOQA), is probably the most important safety tool available to aviation, yet it is fully operational in only a few airlines. Properly managed, the capital investment and running costs are recovered many times over. Pilot associations embrace its benefits, as do maintenance managers, accountants and insurers. Each year the industry identifies world accident causes, many of which would be even more predictable if airlines had the detailed knowledge provided by FOQA of how their aircraft are actually being operated. Data buses in modern aircraft make FOQA data readily accessible for analysis. Without the best information gleaned from that analysis we cannot make the best decisions regarding the performance of flight crew or aircraft systems or aviation's infrastructure.

## **[中文摘要]**

英國航空公司 40 年前就使用飛行數據記錄器，並且往後 30 年有完整的發展。FOQA 是航空公司可得到的最重要的安全工具，然而並非全部的航空公司都有使用，並且正確的應用與管理。QAR 的演進使飛機上的所有數據能快速的紀錄和存取。所以分析系統的開發為當今重要的目標。

## **[內容]**

研究母體：

航空公司如果讓他們的飛機提供許多相關的知識在 FOQA 的操作上，許多問題將可被事先預測得知。現在的飛機上的數據使用 QAR 將數據整理出來，以提

供 FOQA 系統分析利用。

研究方法：

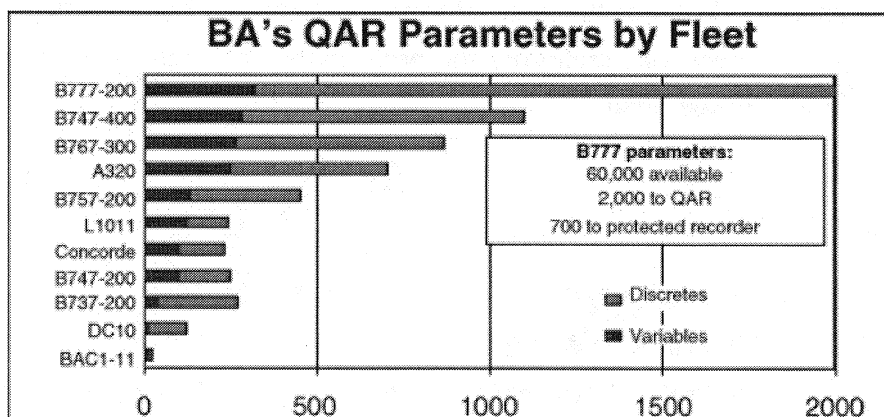
#### 一、FOQA 實施的困難：

FOQA 系統已被使用 10 多年，發展相當完整也被相當多公司使用中，也有許多證據顯示 FOQA 系統的使用在飛行意外的預防有明顯的進展。雖然如此，在推廣上仍有一些困難存在。

1. Motivation：未使用 FOQA 系統者，多半是因為不了解投資後得到的利益遠大於眼前投資的花費。更重要的是，不知道問題在那並不表示問題就不存在。
2. Cost：FOQA 推廣困難最主要是費用的問題，但在這十年來，費用已大幅度的降低了。目前有專門的公司可以提供代為分析的工作，為許多小型航空公司減低了許多開銷。
3. Technical difficulties and standards：許多困難的技術，已在演化的三十年來被克服了。計算能力的演進、軟體的開發和數字化的航空電子設備已經使 FOQA 越來越便宜。但是數據量卻大幅的增加了許多，從多個來源中協調這些數據是非常困難的。數據的好壞判斷，也成為技術上要克服的難題之一。
4. Accessibility and potential for misuse：航空公司有可能會濫用數據，對飛行組員進行不當的操控或懲罰，這都不是 FOQA 所要的目的。

#### 二、BA 的 FOQA 發展過程與好處：

BA 從 1966 年起已超過 500 萬次航機被分析過了，可算是發展相當早的航空公司。BA 全部的飛機都有裝設 QARs，在將來可預計每日接收的數據可增大到 10 千兆位元組。



#### 三、系統的分析，可分為以下兩個大類：

1. Flight operator monitoring：有兩類的數據會在此分析階段挽回。第一，飛行數據較確定參數有異常時，會被一 SESMA 的軟體記錄下來。第二類，最大或最小價值的數據則被存在 MazxVals 裡。
2. Engine Health Monitoring, EHM：EHM 的目標是透過監測系統來確保發動機是在最佳的性能狀態上，並且若有問題能做即時分析處理。

研究結果：

FOQA 系統雖然在執行上有許多的困難，包含花費、人力及成員的信任等，都是需要花心思去克服。目前 FOQA 的成果在許多航空公司上都能看到顯著的表現，發展相當久的 BA 更是明顯，足以知道此系統是值得投資與發展的。在未來 FOQA 還有許多問題有待改善，如人力、數據的分析不管是量或質等，皆有發展的空間。

## [文獻評析]

文獻優點：

明確的指出目前 FOQA 發展所遇到的困難，並提出解決的見解，並且以 BA 做為範例，說明使用 FOQA 的好處及困擾。

結論：

FOQA 的使用已逐漸成為飛行安全上的重要一環，若能在將來成為必要的分析系統，飛行安全必能有所進展。在數據處理的方面，除了要發展更快速且確實的傳送數據之外，數據的整合也是很重要的研究。

## [參考文獻]

1. Peter Hunt, Head of UK CAA Safety Regulation Group - Industry Safety Conference, March 1999
2. Hon Jane F Garvey, FAA Administrator - FOQA Policy Statement (4910-13), December 1998
3. Captain Lowe, President RAeS - The Aerospace Professional, February 1999
4. Editorial, Flight International, December 1998



# Crew Performance Monitoring Programme Continues to Evolve as Database Grows

Robert L. Helmerich

ICAO Journal, May 2002, p6-7

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

本文章主要在介紹 LOSA 研究計畫發展的過程，以及之後研究的方向。由於作者就是 LOSA 的計畫主持人，因此很清楚 LOSA 的來龍去脈，從 LOSA 可以解決 FOQA 哪些盲點，以及推展 LOSA 一開始的主要目的是為了驗證 CRM 是否有效，到未來 LOSA 的發展方向，將這篇文章寫得深入簡出，無論是對於專門從事 LOSA 研究的人，或是飛安從業人員，這篇文章參考價值都相當地高。

## [內容]

研究母體：

CRM(Crew Resource Management)於80年代被引進民航界，大部分早期的CRM都著重在組織管理訓練上，對實際的飛航操作著墨甚少，因此有不少評論家對CRM是否真的能減少飛行員犯錯、提升飛航安全提出質疑。為了驗證CRM有助於提升飛航安全，德州大學人為因素研究小組在90年代早期，訂定了行為基準(behavioral markers)，並讓受過專業訓練的飛航安全人員坐在飛行員後方的觀察席(jump seat)進行行為基準的研究，謂之線上作業安全稽核(Line Operation Safety Audit)，這是第一代LOSA計畫的開始。首先申請進行LOSA研究的是達美航空(Delta Air Lines)，該公司已經發展並執行CRM計畫一段時間，希望能證明CRM真的能有效地增進飛行組員的合作、提升飛航安全，隨後TWA、American Airlines、Continental Airlines、Air New Zealand和US Airways也跟進。

研究方法：

1. 訂定出行為基準，由受過專業訓練的人員坐在觀察席，觀察飛行組員間的互動與操作過程加以評分。

2. 1997年第二代的LOSA更加入了機組人員面對外在條件(如天候環境、飛航管制、任務簽派.....等)和操作失誤的評比。新一代的LOSA以德州大學的威脅和失誤管理模式做為指引，使得LOSA從CRM查核機制轉變變成對抗飛航操作威脅和失誤的CRM對策。

研究結果：

1. 第一代LOSA成功證明飛行組員接受CRM訓練後不論是在平時，或是發生緊急事故時都能對各種問題進行有效率的處理，確實提升了飛航安全。
2. 第二代的LOSA目前尚在進行研究中。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

文獻當中有提及日後LOSA研究發展的方像是朝著建立全球資料庫供參與LOSA計畫的航空公司互相交流，雖然說可辨識航空公司和航班的資料都會抹除，但是各航空公司會不會大方地提供資料仍有待觀察。

本文獻的優點：

由於作者就是LOSA的計畫主持人，因此本文詳細介紹LOSA計畫的始末，這篇文章寫得深入簡出，無論是對於專門從事LOSA研究的人，或是飛安從業人員，甚至是學生，這篇文章參考價值都相當地高。

本文獻的缺點：

因為作者是該計畫的負責人，因此我們聽不到客觀的聲音，不知道他人對LOSA計畫的看法為何，建議佐以其他LOSA相關文獻一同閱讀作為參考，方可知道LOSA計畫的優缺點。

結論：

照LOSA計畫負責人所言，LOSA提升飛航安全計畫的研究發展潛力很大，以上只不過是個開始，若建立全球LOSA資料庫的計畫推展順利，隨著資料庫成長茁壯LOSA飛航安全機制裡扮演的角色將越來越吃重，因此我國應該適時積極投入該計畫的研究工作。

## [相關文獻]

1. LOSA searches for operational weaknesses while highlighting systemic strengths (James Klinect, ICAO Journal, May 2002, p8-p9.)
2. LOSA Now Central Focus of ICAO's Flight Safety and Human Factor Programme

備註：

LOSA 主要是起源於 FOQA 和 CRM 兩套提升飛航安全的系統，用以補足其 FOQA 不齊全的地方、驗證 CRM 是有效提升飛航安全的機制而發展的計畫。

FOQA(Flight Operation Quality Assurance)，飛航操作品質保證系統乃是利用裝設在飛機上面的數位記錄器，記錄下每一航班的飛航操作資料，產生具體量化資訊之品質保證系統。透過分析解讀各航班的飛行操作資料，判斷是否發生異常事件，判定異常事件後，針對異常事件進行調查分析，瞭解事件成因加以改善，並定期統計各類異常事件次數與趨勢，提出整體長期改善建議計畫。在成功地推展了二十幾年後，FOQA 已經被飛行員、航空公司...等視為一套提升飛航安全的機制，並為全球大多數的航空公司採用。然而 FOQA 仍然存在著需要改進的空間，因為它只能提供研究人員該航班發生了什麼存在著有可能發生飛安事故風險的事件，但並沒有辦法讓研究人員知道，為什麼飛行組員在當下要進行那樣的飛航操作；飛安研究人員想要得知為什麼，唯有透過面談才可以，但從記錄器的資料發現可能導致飛安事故的操作，到約談該航班飛行組員，會經過一段不短的時間，以致於飛行組員對當時情境回憶不完整，可能沒辦法提供有效的資訊。

CRM(Crew Resource Management)於 80 年代被引進民航界，大部分早期的 CRM 都著重在組織管理訓練上，對實際的飛航操作著墨甚少，因此有不少評論家對 CRM 是否真的能減少飛行員犯錯、提升飛航安全提出質疑。為了驗證 CRM 有助於提升飛航安全，德州大學人為因素研究小組在 90 年代早期，訂定了行為基準(behavioral markers)，並讓受過專業訓練的飛航安全人員坐在飛行員後方的觀察席(jump seat)進行行為基準的研究，謂之線上作業安全稽核(Line Operation Safety Audit)。首先申請進行 LOSA 研究的是達美航空(Delta Air Lines)，該公司已經發展並執行 CRM 計畫一段時間，希望能證明 CRM 真的能有效地增進飛行組員的合作、提升飛航安全，隨後 TWA、American Airlines、Continental Airlines、Air New Zealand 和 US Airways 也跟進，結果證明 CRM 不論是在平時，或是發生緊急事故時都能有效提升飛航安全。

LOSA 的發展在 1997 年有了重大的變革，和大陸航空(Continental Airlines)的合作計畫中，首度不只是對飛航組員的行為基準評分，還另外加入對飛航組員對外在威脅(如天候環境、飛航管制、任務簽派...等)和操作失誤的評比。新一代的 LOSA 以德州大學的威脅和失誤管理模式做為指引，使得 LOSA 從 CRM 查核機制轉變變成對抗飛航操作威脅和失誤的 CRM 對策。

LOSA 研究成果對新一代針對威脅和失誤管理的 CRM 訓練課程的貢獻我們有目共睹，而未來 LOSA 的研究方向將會著重在資料庫的建立，研究小組會建立了一個全球的資料庫，將參與 LOSA 計畫的航空公司所提供的 LOSA 資料放在上面供各公司比較彼此的發現，互相切磋，希冀進一步提升飛航安全。同時，LOSA 資料也可以讓飛行製造廠家參考，讓他們瞭解飛行員在操作新一代飛機時容易發



生什麼的失誤，作為日後設計新飛機參考用。(當然，這必須徵求參與計畫航空公司的同意，必須抹除資料上任何可供辨識航空公司及航班的資料)

# **System Safety and Threat and Error Management: The Line Operational Safety Audit (LOSA)**

Robert L. Helmreich, James R. Klinect & John A. Wilhelm

International Symposium on Aviation Psychology, 2001

## **[英文摘要]**

The sources of data available to monitor system operations and the safety culture in an airline are described. In particular, the type of information provided by the Line Operations Safety Audit (LOSA) methodology developed by the University of Texas Human Factors Research Project is described. A model of Threat and Error Management derived from LOSA data is reviewed. The historical development of LOSA and its uses are presented along with representative data. The proactive uses of LOSA data for research, organizational safety initiatives, and curriculum development are described.

## **[中文摘要]**

在航空公司中可以用來監控系統運作及安全文化新方法被提出來，其中一種就是由德州大學人因研究專案所發表的「線上作業安全稽核」(Line Operation Safety Audit, LOSA)。從實施 LOSA 所得到的資料中又發展出了一種新的安全模式—威脅與疏失管理 (Threat and Error Management)。本文獻先提到了 LOSA 的發展以及可以使用 LOSA 資料改善哪些事情，並且希望能積極利用 LOSA 的資料來進行研究、發展組織化的安全行為以及相關的訓練課程。

## **[內容]**

研究母體：

在現今民航界中越來越多監控系統操作以及提升安空公司安全文化的方法被提出來，其中由德州大學人因研究專案 (University of Texas Human Factors Research Project) 所提出的線上作業安全稽核 (Line Operation Safety Audit, LOSA) 也成為威脅及誤失管理 (Threat And Error Management) 的濫觴。本文主要著重於 LOSA 的歷史發展，以及我們可以使用 LOSA 資料哪些方面用以提升飛航安全。

研究方法：

要理解飛航安全只能從有效的、從正常的操作來的實驗數據獲得，這些數據有數個來源，每個來源都有自己的優、缺點，這些來源包括：

1. 失事調查 (Accident investigation)：對於事故發生原因的徹底分析是航空安全資訊主要的一個來源，但是失事是一種不常見的事件，同時失事可能是數個稀有事件彼此互相連結而產生 (Swiss cheese model)。因為這個原因，調查可能沒有辦法完全發現標準但不安全的操作過程。
2. 事件報告 (Incident reports)：這個系統提供了一個關於安全以及接近失誤 (near misses) 有關的龐大資料庫，但由於這個系統能否成功的前提完全出於飛行員或是飛航相關人員能否主動提出報告。雖然 FAA 對飛行員以及飛航相關人員一再強調主動的回報是不會用於懲罰上面 (Aviation Safety Action Programs, ASAP: FAA 2000)，卻仍無法獲得完整的報告。不可否認，本系統仍然對航空公司提供相當有幫助的訊息。
3. 航線檢查 (Line checks)：雖然大多數國家的民航管理業者被要求要進行航線檢查，但大多數仍然對此非常的缺乏，而且使用航線檢查也不一定能完整發揮出應有的效果，原因是飛行員可能在進行航線檢查時拿出他們最好的一面，但是在一般日常操作時卻沒有。
4. 飛航資料紀錄監控 (另稱飛行操作品質保證, FOQA)：目前新一代的飛機都幾乎採用了此種方法對其飛航時所記錄的資料進行安全分析，和 ASAP 一樣的是 FOQA 也是採取非懲罰性，但是當 FOQA 分析出來的數據有偏差時，我們只能知道其發生偏差但是卻無法知道其發生的原因。
5. 正常飛行監控 (LOSA)：線上作業安全稽核是由德州大學人因研究專案所發展出來，本來主要是收集全體組員在飛行中的表現以及正常的操作資料。本篇論文主要是討論 LOSA 目前的狀態以及 LOSA 在研究、組織化的安全行動，以及訓練上面的應用。

如同 ASAP 以及 FOQA 一樣，LOSA 也是以非懲罰性為出發點，LOSA 的目的為監控正常的飛航操作找出可能造成危險的原因。未來這個計畫的發展將是把 LOSA 報告以及 FOQA 得到的資料進行結合，進而提升飛航安全。

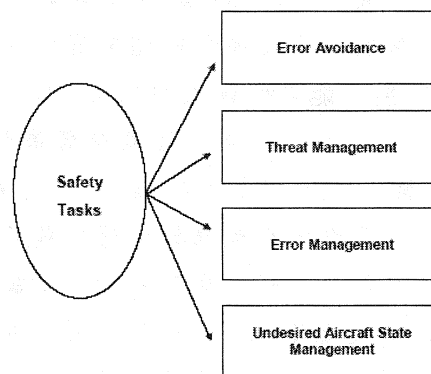
透過 LOSA 發展的複合數據是理解用在航空系統中威脅與疏失管理最好的一種方法，那不僅反應出外部的威脅以及疏失 (例如 ATC 的操作錯誤)，而且可以發現出在組織或是系統中潛在的威脅 (例如組織文化、專業文化、人員排班 (rostering)、設計因素...等)。

對於安全操作來說，除了飛行的技術任務 (technical task) 之外，組員還必須做到下面四項安全任務 (safety tasks)：

1. 使用預先行動 (proactive) 的策略來避免造成錯誤。
2. 管理操作的複雜性，這將轉化成威脅管理：從全部的操作來進行觀察，大約

有 79% 的航機上面記錄到有威脅的發生，這些包含由環境引起的因素（例如地形、天候以及設備故障）還有從駕駛艙以外所產生的錯誤（例如由 ATC 引起的）。

3. 管理組員的錯誤：對於一個人來說發生錯誤是不可能避免的（例如疲勞及其他的生理因素、有限的記憶及處理能力、外來的壓力、貧乏的團體動力（poor group dynamic）以及文化影響）。大約有 64% 的航機中有觀察到這些情況。
4. 管理飛機的偏差：本項在本模型中被定義成在不期待的飛機狀態（undesired aircraft states）下（例如不正確的外型配置、速度以及航向...等）。大約有 32% 的航機中有觀察到此種狀況。



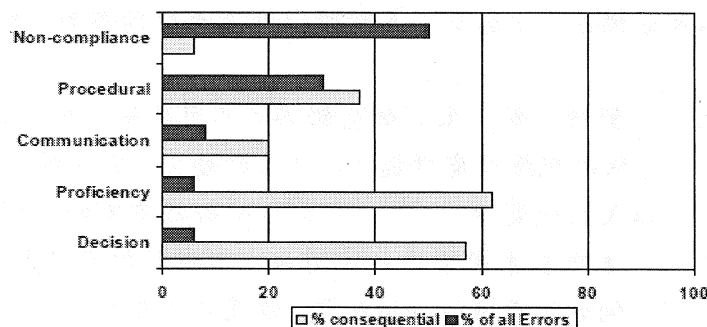
圖一、安全任務

研究結果：

在發展誤失管理模型中可以觀察到錯誤可被分成下列五種不同的類型，這五種分別是：

1. 程序錯誤（Procedural errors）：組員知道要遵守程序但卻沒有正確執行（例如輸入錯誤的訊息進入 FMC）。
2. 溝通錯誤（Communication errors）：訊息沒有適當以及完整的傳達，或是組員和非組員之間的溝通不良導致誤會的產生。
3. 能力錯誤（Proficiency errors）：由於技術或是知識的不足導致任務被錯誤執行。
4. 決策錯誤（Decision errors）：在發生特殊情況時採取不必要而且可能會增加風險的決定。
5. 刻意的不服從（Intentional non-compliance）：組員有意的不遵守公司的政策或是規定。

下圖是 LOSA 在航程中所記錄到的威脅以及錯誤，分成每種類型錯誤的百分比以及間接錯誤發生的百分比，間接錯誤發生在此定義為當飛機處在不期待的飛機狀態下產生的錯誤或是另外的錯誤（additional error）。



圖二、LOSA 錯誤及結果

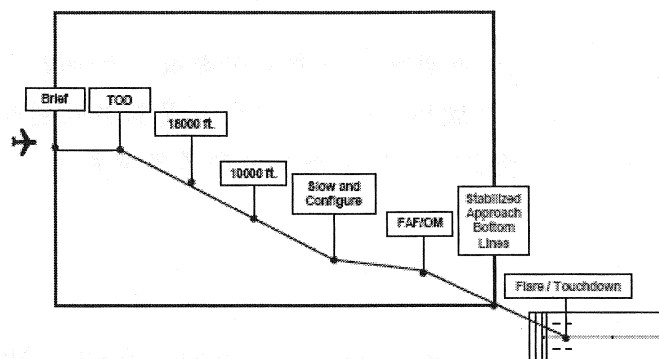
錯誤最高的百分比是刻意的不服從或是破壞有關，但是這些只造成大約 6% 讓飛機陷入不期待的飛機狀態；能力錯誤大約只佔 5%，但卻造成超過 60% 的間接錯誤，決策錯誤和能力錯誤類似，多半會造成相當高的間接錯誤。

上述刻意的不服從在整體看來的確是高的嚇人，但這在超過 20 個國家中所做的調查得到的結果頗一致，美國飛行員最難接受遵守規定的重要性 (Helmreich & Merritt, 1998)。不過，透過另外的分析產生了不同的結論，研究人員把他們的資料庫分成兩部分，一部份是違反規定的另一部份則是沒有，之後對這兩組人員所造成的錯誤以及由不期待的飛機狀態產生錯誤的百分比互相比較，發現不遵守規定的組員造成其他種類的誤失幾乎是另外一半的兩倍。由此可知不遵守規定的人可能將整個組織帶入更高的風險當中，研究人員建議對一個有效的安全文化來說，採取非懲罰性的態度來面對不注意的錯誤時，這種破壞性是不應該被容忍的。

如果在飛行的各階段中對威脅還有誤失進行檢查，可以發現如圖三的情況 (飛行安全基金會, 1998)，不管是威脅還是誤失在下降、進場、降落這段時間發生的次數最高。而一開始最初的 LOSA 分析也都是著重在這邊，研究人員如圖四做出一個「藍色盒子」(The Blue Box)，透過收集一些額外的資料用來瞭解穩定進場的一個底線。

Phase of Flight	Threats	Errors
Pre-Departure / Taxi	30%	25%
Takeoff / Climb	22%	22%
Cruise	10%	10%
Descent / Approach / Land	36%	40%
Taxi / Park	2%	3%

圖三、飛行階段和威脅及誤失的關聯



圖四、藍色盒子

檢查藍色盒子的數據後發現更多的自動化和決策錯誤在這個階段發生，在這段時間中威脅（當然也包括誤失）和 ATC 發生相關的話將會變的非常難管理。在藍色箱子中出現大約 28% 的錯誤是由於不期待的飛機狀態（發生最頻繁的是不正確的外型、垂直高度的偏差以及速度過快），而藍色箱子的數據則成為提供用以管理威脅和誤失的組織行動的一個指導工具。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

由於目前研究 LOSA 的單位或是機構並不多，而且可以說是從近幾年新發起的安全管理模型，使用在西方國家或許十分成功沒錯，但在文化以及民族性和西方完全不同的東方國家是否能順利推行，這點依然有待驗證。

本文獻的優點：

本文的作者就是 LOSA 計畫的負責人，所以對於整體相當瞭解，本文除了把 LOSA 的歷史沿革交代了一遍，同時也詳細的描述了威脅與疏失管理，對於想研究威脅與疏失管理的人來說是一份相當有參考價值的資料。

本文獻的缺點：

由於該文獻的作者就是 LOSA 計畫的負責人，從其參考資料中可以看出有部分是引用其相關著作，比較難看出其他人對於 LOSA 所做出的評價。

結論：

LOSA 主要的應用有三種，分別是研究、安全行動、訓練和課程的開發。LOSA 的數據用在研究方面是無價的，因為其完整、客觀的紀錄駕駛員在前艙的行動以及反應，對於發展新的 CRM 可說是有莫大的幫助。

在安全行動方面 LOSA 數據可以提供具體的操作情形，例如大陸航空使用 LOSA 數據對一些有高威脅性的情形提供人員的指導，而且 LOSA 可以和 FOQA

所得到的數據相互結合，對一些威脅性較高導致操作上容易犯錯的機場進行改善。

LOSA 的數據還可以進行一些特殊訓練課程的發展（例如部分組員在某些事情上被評鑑為較弱）。LOSA 數據的另外一項功能就是對於性能進行評鑑，如果有傑出的行為表現將可以用來當作一種強而有力的學習教材。

## [參考文獻]

1. Federal Aviation Administration. (2000). Aviation Safety Action Programs. Washington, DC. Advisory Circular 120-66A.
2. Federal Aviation Administration. (2000). Flight Operational Quality Assurance (FOQA) Notice of Proposed Rulemaking. Washington, D.C.
3. Flight Safety Foundation: (1998). Killers in Aviation. Flight Safety Digest. Arlington, Va. Author.
4. Gunther, D. (in press). Threat and Error Management Training. In Proceedings of the Eleventh International Symposium on Aviation Psychology, The Ohio State University.
5. Helmreich, R.L., Klinec, J.R., & Wilhelm, J.A. (1999). Models of threat, error, and CRM in flight operations. In Proceedings of the Tenth International Symposium on Aviation Psychology (pp. 677-682). Columbus, OH: The Ohio State University.
6. Helmreich, R.L., & Merritt, A.C. (1998). Culture at work in aviation and medicine: National, organizational, and professional influences. Aldershot, U.K.: Ashgate
7. Helmreich, R.L., Wilhelm, J.A., Klinec, J.R., & Merritt, A.C. (in press). Culture, error and Crew Resource Management. In E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), Applying resource management in organizations: A guide for training professionals. Princeton, NJ: Erlbaum.
8. Hines, W.E. (1998). Teams and Technology: Flight Crew Performance in Standard and Automated Aircraft. Unpublished doctoral dissertation. The University of Texas at Austin.
9. Klinec, J.R., Wilhelm, J.A., & Helmreich, R.L. (1999). Threat and error management: Data from line operations safety audits. In Proceedings of the Tenth International Symposium on Aviation Psychology (pp. 683-688). Columbus, OH: The Ohio State University.
10. Reason, J. (1990). Human error. New York: Cambridge University Press.
11. Sexton, J.B. & Klinec, J.R. (in press). The link between safety attitudes and observed performance in flight operations. In Proceedings of the Eleventh International Symposium on Aviation Psychology, The Ohio State University.

# **Turbulence Education and Training Aid**

David A. Williams

International Aviation Safety Seminar 1997

## **[英文摘要]**

The Turbulence Education and Training Aid was developed by an industry team consisting of participants from airlines, an airplane manufacturer, and the FAA to provide a means for the reduction of injuries and damage caused by turbulence encounters. The training package consists of a manual and an accompanying video.

Technology has not yet provided a suitable on board detection and warning device to alert flight crews of all impending encounters. There are, however, many things that can be done by managers, meteorologists, dispatchers, air traffic controllers and flight crews that can assist in the avoidance of or to reduce the effects of turbulence. All parties should foster an atmosphere of improved cooperation, communications, and sharing of information to achieve a desired increase in the level of safety.

### **Short term Goals**

Implementation of turbulence education and training is a step that can be taken immediately upon receipt of the Aid. The threat of damage and injury due to turbulence should be effectively reduced by this step alone. There are, however, other steps that can be taken in the short run to augment training.

### **Long Term Solutions**

Strategies for the future include the development of new and existing technologies that will increase communication capability between aircraft and ground and provide pilots with continuous and real time weather information.

The development of on board devices that will provide early detection of clear air turbulence and/or mountain wave hazards has proven to be a very difficult task. Without such equipment, however, it may never be possible to consistently avoid the hazards posed by clear air and mountain wave type turbulence.

## **[中文摘要]**

亂流是目前無致命損失空難傷亡的主要元兇，根據資料統計從 1958 年到本文截稿(1997)因為亂流而發生嚴重傷亡的飛安事故共有 170 餘起，為了降低遭遇亂



流時傷亡的數字和遇到亂流的可能性，麥道公司、空運協會 ATA(Air Transportation Association)之會員航空公司和美國航空總署(FAA, Federal Aviation Administration)共同研究發表本篇『亂流教育訓練報告』，主要目的是製作出一套輔助訓練教材來降低亂流所造成的傷亡和損失。由於目前的科技還沒有辦法提供機載裝置來預先偵測並警告組員即將遭遇的亂流，因此在有限的條件之下能採取的策略是管理人、氣象預測員、簽派員、航管人員以及飛行組員必須有一套比現在更好的訓練過程，來培養彼此在一個合作、溝通良好、願意分享資訊的氣氛下工作，以達到減少因亂流發生飛安事故的機會。

## [內容]

### 研究目的：

教育與訓練利用已知的知識訊息以及技巧去避免亂流產生的影響與災害

1. 發展一個教育策略來提高飛行員、機上人員、飛航管理者、飛航調度者、氣象學家以及空中管制員對環境的警覺。
2. 在必要的飛行技巧上發展一個訓練與練習的典範
3. 建立一套訓練項目給操作者進行基礎亂流訓練

### 研究母體和方法：

找了很多過去亂流發生的統計資料和亂流意外事固案例，從中分析找出各環節需要改進加強的地方。

1. 一個整體的管理：預見管理者營運的威脅並且如何加以幫助來提升飛安
2. 重要操作者：教育關鍵操作員(飛行組員、飛航調度員、氣象學家和航管人員)
3. 案例教育訓練
4. 背景資料

### 研究結果：

研究團隊希望透過推廣這個訓練教材達到短期和長期的目標，分別如下：

- A. 短期目標：透過實行本套亂流教育訓練教材，可以有效率地減少亂流對飛航所造成的傷亡和損失，因此我們必須採取的策略是擴大實行本教材。同時要進行的是透過網路搜尋全球更多有關亂流的資料，找出哪邊裡最容易發生亂流以及發生的頻率。並建立遭遇亂流時的標準操作程序(SOP, Standard Operation Procedure)，以增強組員遭遇亂流時所需的知識、信心。最後，利用現有的科技資源，像是航空器通訊定位回報系統(ACARS, Aircraft Communication Addressing and Reporting System)、都卜勒雷達(Doppler radars)、亂流圖(turbulence plotting)及飛行員回報(pilot report)來避開遭遇亂流的機會。
- B. 長期目標：這階段的策略集中在硬體的開發上，包括開發新的通訊產品來增

進地面和飛機之間的溝通，提供飛行員連續又及時的天氣資訊；還有，新的機載晴空亂流(CAT, Clear Air Turbulence)、山區上升氣流偵測裝置，雖然這將是一個艱鉅的工作，但是如果沒有這樣的裝備，我們永遠都沒有方法可以避免晴空亂流和山區上升氣流。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

目前機載裝備能測出有水氣對流的亂流,並不能偵測晴空亂流,而往往造成無預警傷害的就是這些晴空亂流,現階段除了靠全球亂流統計資料以外,沒有辦法預測何時何地會發生晴空亂流,若真正要解決這個問題還必須從硬體著手,而本文的方法也只是治根不治本,最重要的還是發展出一套硬體讓飛機能感測到晴空亂流而加以避開。

本文獻的優點：

利用統計的方式得知哪個區域發生亂流機會較大而能提高警覺,避免無預警的亂流造成傷害。

本文獻的缺點：

統計出來的資訊也只能參考,並不能真正確定何時何地發生亂流現象影響飛行。

## [參考文獻]

1. Runway Incursion Prevention : A Technology Solution, Steven D. Young and Denise R. Jones, U.S NASA, International Aviation Safety Seminar 2001
2. The Consensus for Change- A Model of Aircrew Standard Operational Procedures(SOPs) and Industry " Best Practices" to Reduce the Risk of Runway Incursions, William S. Davis, U.S FAA ; Charles K. Bergman ALPA, International, International Aviation Safety Seminar 2003
3. Flight Test Evaluation of Runway Awareness and Advisory System(RAAS): A Human Factor Assessment of Pilot Acceptability, Ratan Khatwa, Ph.D., Honeywell, Corporate Aviation Safety Seminar 2003



# **At the Breaking Point: The Ever-increasing Risk Associated With Runway Incursions in the Rapidly Expanding Global Aviation Environment**

**Charles K. Bergman**

**International Aviation Safety Seminar 2001**

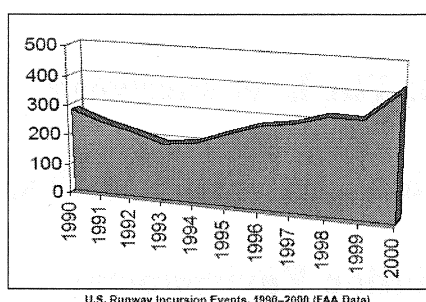
## **[英文摘要]**

The risk of serious aviation accidents and widespread fatalities continues to increase due, in part, to increasing congestion at airports around the world. Airport and airspace congestion is also a growing problem from an international perspective. Despite well-intentioned efforts by government and industry over the past decade, the number and severity of runway incursions has continued to increase. The first step in reducing the risk of runway incursions in the longer term must be an international strategy for airport, runway, and taxiway construction.

The runway incursion JSIT (Joint Safety Implementation Team) has reviewed more than 150 intervention strategies and is in the process of preparing detailed implementation plans for CAST (Commercial Aviation Safety Team) approval. The plans encompass improvements to standard operating procedures, cockpit moving map displays, air traffic control (ATC) training, ATC procedures, visual aids enhancement and automation technology.

## **[中文摘要]**

由於全球航空運量的快速成長（根據美國航空總署(FAA, Federal Aviation Administration)估計到 2012 年美國國內航空交通會成長 39%，而旅客會成長 63 %達到每年 12 億(1.2 billion)人次），目前現有的空域、機場無法跟上航運量成長的腳步，造成現有機場跑道、滑行道過度擁擠，以致於跑道入侵事件逐漸增加（根據美國航空總署統計從 1999 到 2000 年間，跑道入侵事件增加了 34%），解決這個問題的最好方法當然是擴建機場或是興建更多的機場，但是這並不能及時的解決現在迫切的跑道問題，下圖是從 1990 年到 2000 年美國聯邦飛航總署統計之跑道入侵事件圖。



本文是闡述有鑑於跑道入侵事件日益嚴重，在 1998 年 10 月 40 個國家政府和業界團體組成了商用航空安全團隊(CAST, Commercial Aviation Safety Team)，下設之聯合安全分析團隊(JSATs, Joint Safety Analysis Teams)花了 3 年時間回顧過去跑道 5 件重大跑道入侵意外和 663 件入侵事件報告，進行關於跑道入侵方面的研究，並在 2000 年 8 月發表了『Results and Analysis』一文提出許多改善建議，交由聯合安全執行團隊(JSIT, Joint Safety Implementation Team)歸納出七個重點需要改進的大領域，包括標準作業程序(SOP, Standard Operation Procedure)、駕駛艙移動地圖顯示(cockpit moving map displays)、空中交通管制(ATC, Air Traffic Control)訓練、空中交通管理作業程序、自動化技術與加強目視導航設施、空中交通管制情境察覺能力、駕駛員訓練共 156 項改善策略給 FAA 和 JAA 執行用以提升航機地面安全的一篇文章。

## [內容]

### 研究母體和方法：

由 40 個國家和業界團體組成的商用航空安全團隊(CAST, Commercial Aviation Safety Team)，下設之聯合安全分析團隊(JSATs, Joint Safety Analysis Teams)花了 3 年時間回顧過去跑道 5 件重大跑道入侵意外和 663 件入侵事件報告，進行關於跑道入侵方面的研究，並從中選出 5 件重大跑道入侵意外事故和 123 件入侵事件，作更深入的探討研究。

### 研究結果：

歸納出七個重點需要改進的大領域，共 156 項改善策略，以下為您詳細介紹：

1. 標準作業程序(SOP, Standard Operation Procedure)：許多跑道入侵事件都可以歸罪於飛行組員缺乏標準地面操作程序來確保他們在地面的操作是安全的。雖然目前大部分的航空公司都有詳細的起飛前操作程序，但是只有少數幾家航空公司的操作程序能夠處理日益擁擠的地面環境。本改善計畫主要任務是讓所有符合 FAR Part121 以及 Part 135 規範的公司，研擬出適合未來擁擠地面環境的標準操作程序，必成立一個訓練機制，將會在機場工作的地面車輛一併包含進此訓練機制，減少日後跑道入侵事件發生的可能性。
2. 駕駛艙及地面車輛升級移動地圖顯示(Aircraft and Vehicle Upgrade Cockpit Moving Map)：本項改善計畫的目的是利用移動地圖(moving map)技術來增加

飛行組員和地面車輛駕駛者的情境認知能力，聯合安全分析團隊所提出的 156 改善方案中有 4 項關於移動地圖顯示的改善建議排在前十大建議中；同時，根據美國航空總署的估計，在配備有場站平面圖的駕駛艙移動地圖顯示系統之後，可以有效降低 43% 的跑道入侵事件，以上足證升級移動地圖顯示的卓越功效。本計畫將針對 Part 121 飛行器、地面車輛、非 Part 121 飛行器三個方面作加強，並分成以下四個階段：

(第一階段)開發並安裝有包含場站圖的駕駛艙移動地圖顯示器。

(第二階段)使用 ADS-B 及 TIS-B 建立空中地面交通的資料連結。

(第三階段)增加跑道佔領詢問功能。

(第四階段)增加滑行路線資料連線以及許可限制功能。

3. 空中交通管制訓練(ATC, Air Traffic Control Training)：本項改善計畫是為了確保航管人員擁有必要的能力，因此透過高擬真的塔台模擬器訓練、在職訓練(OJT, on-the-job training)、電腦訓練教育(CBI, computer-based instruction)資源管理技巧來增進航管人員的情境認知能力、資源管理及航管技巧。
4. 空中交通管理作業程序(Air Traffic Control Procedures)：這項改善建議的目標是要建立一個國際的航管程序，執行本程序的塔台人員必須保持很高的情境認知能力。除此之外，為了減少跑道入侵事件的風險，以往的『減少最後進場間隔』、『起飛前等待』或是『進入滑行道前等待』(LAHSO)將被減少。美國航空總署亦將修改 FAR 91.129 法案，明文規定飛行組員必須覆誦進入跑道許可、跑道頭等待許可及滑行許可，以降低發生跑道入侵事件的機會。
5. 加強目視導航設施與自動化技術(Visual Aids Enhancement and Automation Technology)：本改善建議希望建立一套使用目視信號系統，讓飛行組員及地面機具操作者清楚的明白在滑行道、跑道或是機坪有沒有其他可能發生碰撞的目標物。因此，本計畫的目標是要訂定出信號準則(哪種信號適用於哪種情況)、發展出在惡劣天候狀況下可以目視的信號系統，最後在經過利益花費(benefit-cost)評估之後選擇最恰當的設計。
6. 空中交通管制情境察覺能力(Situation Awareness Technology for Air Traffic Control)：本計畫的目標是研發並應用可以提供或是加強空中交通管制情境認知的工具，例如：機場移動區域安全系統(AMASS, Airport Movement Area Safety System)、場站偵測裝備(ASDE-X, Airport Surface Detection Equipment)、自主監測廣播(ADS-B, Automated Dependent Surveillance-Broadcast)、新世代地空通訊系統(NEXCOM, Next Generation Communication System)、地面移動顧問(SMA, Surface Movement Advisor)、機場目標辨識系統(ATIDS, Airport Target Identification System)，而要完成此計畫的策略如下：
  - (1) 聯邦航空總署將會為空中交通管制研發加強監控、資訊、通訊及衝突偵測的工具。
  - (2) 聯邦航空總署及機場操作者會在機場管制塔台提供有衝突警告功能的監

測裝備給場站。

(3) 研發具有數位資料連線能力的系統，以便利地面和飛機之間的空中交通管制訊息及指令傳遞。

(4) 研發情境認知顯示器來輔助上述的策略，並且和業界合作制訂出一套可以加強空中交通管制決策能力的人機介面(computer-human interface)訓練模式。

雖然有那麼多種改善措施，但最基本的改善方法其實是讓飛行員和場站地面人員無私地分享彼此之間的資料，並將這種習慣制式化，同時飛行員必須在完全清楚瞭解場站指令和許可再進行滑行或是其他動作，從最根本提升飛航安全。

7. 飛行組員訓練(Pilot Training)：本改善計畫的目的是訂定一套方針、程序、指南來改變現有的飛行組員訓練機制。重點將放在提升飛行組員的情境認知能力，包括標準操作程序及起飛前地面操作計畫；另一個重點則是駕駛艙資源管理(CRM, Cockpit Resource Management)及領導技巧訓練。最終目標是希望飛行員能利用周遭一切可以使用的資源，增加自己的情境認知能力，達到避免跑道入侵事故發生。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

文章裡面有說到如果要降低跑道入侵事件，多蓋跑道是一勞永逸的方法，但是若是沒有良好的管理系統，蓋再多的跑道事件還是一樣會發生，唯有透過操作程序上的改變才能將此問題根治，這是我們覺得本文作者觀念不正確的一點。

本文獻的優點：

JSAT 和 JSIT 團對都是這領域的菁英，所提供的改善方法包羅萬象，可以說是面面俱到，有關駕駛艙資料鏈(data link)移動地圖顯示裝備不但能有效預防跑道入侵事件的發生，也能防範走錯跑道事故的發生，或是降低與地面工程車發生碰撞的機會，應用範圍相當廣，提升地面安全效果卓越（根據美國航空總署飛航安全 21 部門(Safety Flight 21 Department)估計，駕駛艙移動地圖裝備能夠減少 43 %的跑道入侵事件）！

本文獻的缺點：

文獻當中似乎只有一小部分考慮到現在正在開發中的 CNS/ATM 系統，大部分都只是針對現有 ATC 的問題作解決，雖然說加強情境察覺訓練有助於航管人員避免跑道入侵事件的發生，但是現在航空界所使用之單向收發無線電所隱藏的潛在問題依然沒有獲得解決，若本計畫能加入新一代 CNS/ATM 觀念，加強飛行員和地面場站之間的溝通能力，將會更臻完美！

結論：

地面碰撞事故在歷史上層出不窮，最嚴重的要屬在 1977 年，Canary Island 發生的泛美與荷航 747 相撞事件，造成災難性的傷亡，我國有好多次都差點發生這類的意外事故，如之前台南機場才剛發生工程車入侵跑道事件，顯示出我國的地勤管制、訓練以及飛行員對外在環境的警覺性都有在更上一層樓的空間，建議航空從業人員組織讀書會，應該多多接觸這方面的研究，民航局和航空公司也應該跟隨國際腳步隨時更新飛機軟硬體和機場的場站設施，以有效降低這類事故在我國發生的機率。

### [相關文獻]

1. Runway Incursion Prevention : A Technology Solution Steven D. Young and Denise R. Jones, U.S NASA. International Aviation Safety Seminar 2001
2. The Consensus for Change- A Model of Aircrew Standard Operational Procedures(SOPs) and Industry " Best Practices" to Reduce the Risk of Runway Incursions, William S. Davis, U.S FAA ; Charles K. Bergman ALPA, International. International Aviation Safety Seminar 2003
3. Flight Test Evaluation of Runway Awareness and Advisory System(RAAS): A Human Factor Assessment of Pilot Acceptability Ratan Khatwa, Ph.D., Honeywell. Corporate Aviation Safety Seminar 2003





# **The Controlled Flight into Terrain(CFIT) Education and Training Aid**

Doug Forsythe

Corporate Aviation Safety Seminar, 1997

## **[英文摘要]**

This paper is intended to convince the reader that one of the aviation industry's major safety problems is the flying of perfectly good airplanes in the ground, water or an obstacle. That CFIT has historically been a major contributor to airplane hull losses and fatalities, but that it is preventable. It is preventable by improving operations, education, training and awareness and by solving the systemic problems. That is why we believe this training aid can benefit all operators in reducing and eventually eliminating CFIT accidents.

## **[中文摘要]**

本文提到在班機飛行的途中地面上的障礙物、甚至是水面都是造成機體損失以及乘客生命損失的主要原因，但是這種情況是可以透過改進行動、教育、以及訓練來進行預防。作者們相信透過這些訓練能降低並且希望最終能消除 CFIT 的事故。

## **[內容]**

研究母體：

如何減低可控飛行中撞地(Controlled Flight into Terrain, CFIT)

研究方法：

在本文獻中式採取所謂教育還有訓練輔助以期達成減低 CFIT 發生的可能性，在整個課題中分成書面還有影像兩個部分，書面的話則在分成下面五個不同的部分：

1. 對管理階層的概要(Overview for Management)：管理階層對於減低 CFIT 事件有著直接的影響，對管理階層來說安全是要放在最高水平的地方，而如果管理階層不支持這些 program，那要降低 CFIT 會成為一件困難的事。

2. 對決策者的指引(Decision Makers Guild)：主要是透過相關的 group 訂出要採取哪些行動（例如：使用 checklist、自動駕駛、組員資源管理...等）來避免 CFIT。
3. 對操作者的指引(Operators Guild)：導致 CFIT 的原因可能有很多（例如：高度表設定的因素、ATC 的因素、飛行組員的自滿...等），同時也包含了相關主題(組員習慣,自動駕駛系統,操作者的呼叫,避免 GPW 警告)防止 CEIT 發生的資訊本節是著重於駕駛員該採取什麼行為來避免 CFIT 的發生。
4. CFIT 訓練計畫(CFIT Training Program):提供一個明確的理論還有模擬的訓練計畫，讓飛行組員知道他們有減低 CFIT 的責任和義務。  
透過理論訓練：
  - A. 認識會發生 CFIT 意外的原因
  - B. 知道職責可以確保一個安全的飛行
  - C. 改善環境警覺
  - D. 學習逃離危險的行動與技巧來提升生存可能性透過模擬訓練：
  - A. 體認那些已存在會造成 CFIT 事件的原因
  - B. 山谷中的水平與垂直環境警覺
  - C. 在極限飛行時的座艙溝通與角色
  - D. 認知 CFIT 發生的環境並且採取正確的行動去防止
  - E. 信任 GPWS 的警告
5. CFIT 背景資料(CFIT Background Material)：主要在說明只有透過相當多的知識才能對這些問題有完整的理解，而本節則是透過訓練幫助的文件，還有未來的政策發展、程序以及訓練標準來增進對這些背景的瞭解。

研究結果：

1. 教導操作還有管理這兩部門的成員 CFIT 的危險性。
2. 提供明確的、適當的教育資料。
3. 提出可供單獨的操作者建立基礎的制式化訓練計畫。
4. 提供管理者有效避免 CFIT 的策略，並且採用適當的營運政策、過程及航機設備。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

本文只是提到要採用什麼方法來減低 CFIT 的發生情況，但並沒有引入實際的例子來證明該方法的確有用，讓人不免對其可靠度產生疑問。

本文獻的優點：

很詳細的列出 CFIT 的教育還有訓練計畫，並且 step-by-step 的提出該怎麼做方可降低 CFIT 的事件。

本文獻的缺點：

提出的概念不錯,可惜實質的內容沒有提出,實際上的操作內容與訓練應該加以定義。

結論：

CFIT 從很久以前就一直出現，到了目前還是無法完全消除 CFIT 事件，同時 CFIT 也是引起航機損失、人員傷亡的最大一個原因。而降低 CFIT 不光僅僅是透過飛行組員的教育還有訓練，對於現存的航空系統也需要進行更新。此外，不航空系統的更新，管理階層的支持也是十分重要的，一個航空公司如果沒有良好的安全文化，那對於想降低 CFIT 意外可說是難上加難。

### [相關文獻]

由於原始文獻並未列出參考文獻，故本項空白。



# **Approach-and-Landing Accident Reduction Task Force - Operations and Training Working Group Final Report**

**Don Bateman**

**International Aviation Safety Seminar 1998**

## **[英文摘要]**

Since the early 1990s, Flight Safety Foundation (FSF) has given its highest priority to improving safety in approach-and-landing flight operations. Early on, the Foundation created and led an international task force to reduce controlled flight into terrain (CFIT), which was shown statistically to be the greatest cause of aviation fatalities. In cooperation with the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the International Air Transport Association (IATA), the task force identified specific causes of CFIT, developed solutions to those problems and disseminated safety information to prevent CFIT accidents. As the task force's work on CFIT came to a conclusion, the FSF CFIT Steering Committee began to focus on approach-and-landing accidents (ALAs); virtually all data on aviation accidents and incidents show significantly more risk to safety in these phases of flight than any other. In 1996, the Steering Committee was expanded to include the additional efforts of approach-and-landing accident reduction (ALAR).

## **[中文摘要]**

本篇乃是 FSF(Flight Safety Foundation)之下在 1997 成立，由學校、航空公司、飛機及航電儀器製造商、機場、某些國家民航局和 ICAO 所組成的資料收集分析小組(DAAWG)，DAAWG 的工作內容主要是針對之前 287 在進場降落時發生的致命空難進行分析、並對其中 76 件嚴重的空難進行研究。DAAWG 也對進場降落空難事故對工業界產生的經濟影響作了一些評估。

最後DAAWG在對ALAs發生的空難事故、嚴重空難事故和組員行為上的分界提出他們研討的結論；並分別對各國民航有關當局、飛行組員、事故調查單位、製造廠商、工業界、航空公司經營者、航管單位以及場站方面提出個別的改善建議，這些改善建議經由OTWG(Operations and Training Working Group)去執行。

## **[內容]**

研究母體：

ALAR(Approach-and-Landing Accident Reduction)

內容：

FSF 成立一些專門研究飛安事件工作團隊：他們針對每個事件提出改善建議，其中包含 ATC(Air Traffic Control),機場設置運作,組員操作等等的訓練與改善建議。

假設因果關係的存在建立一個架構,接受事件資料找出原因,越清楚與詳細的資料越能在這個架構下找出確切原因,如此將能提出有效的改善建議提升飛航安全。研究後獲得以下結論：

1. 建立並接堅守標準操作程序(SOPs)與飛行組員決策程序將可改善進場降落飛航安全
2. 進場時失去必要的識別而進行進場是主要發生 ALAs(Approach-and-Landing Accident)的主因
3. 不穩定與匆忙的進場造成 ALAs
4. 改善 ATC 人員與飛航組員在執勤時的溝通與互相了解將可改善進場降落時的飛航安全
5. 在低光線,低能見度,濕滑跑道,受污染跑道或視覺假象與心理障礙下,有較高的風險會發生 ALAs
6. 使用 RA(radio altimeter)為一個有效工具將幫助防止 ALAs 的發生
7. 擷取並分析飛航參數以鑑定飛行過程以及趨勢將有效改善進場降落飛航安全(例如: FOQA[flight operations quality assurance])
8. 分享全球飛航資訊可降低 ALAs 風險

經過團隊的分析與建議,為了讓這些建議能被採用以完成提升飛安的後續工作,團隊努力推動兩項原則給航空界：

1. 團結：透過全部航空部門與每個小部份的參與讓這整個提升飛安過程得以完成。
2. 保證：在這重大計畫中,要確保全球每個參與進場降落操作的人能得到有效的資訊以至於使他們在自己的領域能扮演改善飛安的腳色。

OTWG 成立意義：確認操作以及訓練程度以改善飛機進行目視或儀器進場時(進場,盤旋,降落,或是重新進場)的飛航安全。

OTWG 成立目標：

1. 在五年內經由發佈的改善建議減少 50%的 ALAs。(1996 年開始)
2. 降低區域性 ALA 失事率,使得沒有任何一個地區的 ALA 失事率達到最低地區 ALA 失事率的兩倍。

整個團隊建立了一個處理問題的流程：

1. 定義計畫的目標
2. 訂定以及挑選假設

3. 探討需要的資訊(設定關鍵問題)
4. 擬定工作計畫
5. 收集資料
6. 反覆的分析資料以及篩選假設
7. 獲得結論以及改善建議

經過這個流程可從大部分的 ALAs 中找尋我們想要的原因,並且找出改善方法去改善,避免類似事件再發生。

## **[文獻評析]**

評論：

之前讀EASS的報告有讀過幾乎一模一樣的分析資料,覺得DAAWG是一個很棒的組織,如果日後我國多參加這方面的會議,透過國際上的航空資訊交流,一定會對提升飛航安全水準有正面的助益。而我國ALAs相關資料也讓DAAWG做資料建檔分析,讓我們知道國際上用什麼觀點來分析我國飛安。

## **[參考文獻]**

由於原始文獻並未列出參考文獻，故本項空白。





# **Losing Situational Awareness Indications of That Loss and Avoiding the Controlled-flight-into-terrain Accident**

Eric N. Wickfield

Corporate Aviation Safety Seminar 2001

## **[英文摘要]**

Situational awareness has been making headlines in recent years (actually, it is the lack of situational awareness that tends to produce the headlines!), but the fact that it seems to be a current topic of discussion does not mean it is something new. The problem of losing situational awareness has been with us for as long as airplanes have been flying and will be with us as long as there is a human interface with a flying machine.

The topic of situational awareness is a broad one. This paper, however, will concentrate on the indications of loss of situational awareness and how they apply in avoiding controlled-flight-into-terrain (CFIT) accidents. The indications of loss of situational awareness are events or other manifestations that are symptomatic of a loss of the big picture. In other words, just as pilots are taught to recognize the subtle indications of the onset of hypoxia, are there recognizable indications of a loss of situational awareness?

The paper is divided into four parts. Part one, this introduction; part two, a brief discussion and review of the elements of situational awareness; part three, a review of four CFIT accidents and, the focus of this paper, the clues that flight crews can use to uncover a loss of situational awareness; and part four, a call for action. Except where specifically noted, references to an individual “pilot” and to “flight crews” are used interchangeably.

Several accidents will be discussed in the following pages, either by reference or through the quoting of cockpit voice recorder (CVR) transcripts. There is no intent to imply responsibility, assign blame or criticize the actions of others, only an effort to learn from the accident and therefore enhance future flight safety.

## **[中文摘要]**

最近幾年情境認知(situational awareness)被飛安界廣泛地討論，但諷刺的是它

被討論的原因是『缺乏情境認知造成的空難事件不斷地在製造頭條』。在這篇文章中作者集中焦點在失去情境認知的徵兆，以及如何運用這些徵兆來有效地避免可控飛行觸地(CFIT, Controlled Flight Into Terrain)事件的發生。

## [內容]

研究母體和方法：

作者將本研究分成四個部分，茲將其敘述如下：

第1部份是引言，簡短的介紹失去情境認知和可控飛行觸地之間密不可分的關係。

第2部分簡單地對情境認知的元素進行回顧討論，有以下四點：

- A.經驗(Experience)、訓練(Training)、基本飛行技巧(Basic Flying Skills)。
- B.身心健康狀況(Physical and Emotional Health)
- C.駕駛艙管理技巧(Cockpit Management Skills)
- D.三度空間方向感(3-D Orientation)

第3部分回顧四起過去因為喪失情境認知而發生的可控飛行觸地事故，這個部分是本篇報告的重點。作者在裡面探討飛行組員們應該注意哪一些蛛絲馬跡的線索來察覺自己已經失去情境認知的能力。

第4部分，也就是最後一部分，主要是喚起大家對情境認知的注意，不僅平常飛行的時候要隨時注意自己乃至於整個機組是否失去情境認知能力，還建議必須將情境認知排入飛行員的訓練課程，讓飛行員在受訓練的時候就對失去情境認知會造成的後果有深刻的印象，把這個觀念帶到整個飛行團隊裡，降低喪失情境認知的機會，提升飛航安全。

研究結果：

作者將失去情境認知的徵兆加以歸類，可分為以下三類：

- A.模稜兩可的狀況(Ambiguity)，例如機師和副機師的導航顯示螢幕(ND, Navigation Display)所顯示的資料不一致，或是飛行組員和空中交通管制官雞同鴨講、答非所問。文中所舉模稜兩可的例子是發生在American Airlines從邁阿密(Miami)飛往哥倫比亞卡利(Cali)的B-757，駕駛艙組員和儀器與彼此溝通之間都出現了模稜兩可的現象，但是當他們發現並正視此問題為時已晚，GPWS警告已經響起，飛機也在不久之後撞山。
- B.所有組員專注於特定問題(Fixation on a Task)，在這種狀況之下飛機最危險，畢竟飛機不是車子，不能停在路邊等問題解決好了再開，因此如果發生機械故障或是其他意外事故，一定要將工作分派完整，尤其是分派到控制飛機的人，更是要全神貫注在飛行速度、高度、航向上。文中所舉的例子是1972一架即將降落在邁阿密國際機場的Lockheed L-1011型飛機因為起落架發生故障，所有飛行組員又專注於討論起落架問題上，導致最後飛

機以極淺的角度撞上地面失事，如果當時機長專心駕駛飛機，把問題交由飛航工程師和副駕駛處理，這場悲劇就不會發生。

C. 膽識(Gut Feeling)，在這個科技發達的年代，說膽識或是直覺或許有點怪，但膽識和直覺是經由長年的飛行時數所累積的經驗所產生的，如果發覺這樣飛讓自己覺得不安，一定要再三確認後再行動，相信自己的直覺。文中所舉的例子是一架飛往婆羅洲(Borneo)的灣流二式(Gulf stream II)飛機，在進場時和航管之間溝通有問題，但是仍持續進場，等到最後機長和副機長憑經驗感覺有異拉高為時已晚，飛機最後以撞山收場。

此外，文中還有舉另外一個例子，一架美國空軍運送總統專車的C-130，由懷俄明州(Wyoming)飛往紐約，在起飛後不久失事，調查發現原因不單是失去情境認知，而是機長根本就沒有進入情境認知的狀況，完全在狀況之外。飛行組員中每個人都要對飛行流程相當清楚，千萬不可以有凡事都交給別人處理就OK的想法，讓自己置身狀況之外。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

文中提到關於膽識的部分讓我感到疑惑，作者表示要善用自己寶貴經驗得來的膽識，並將他視為一個警告，但若是自己的感覺和機載儀器發生衝突，該怎麼辦？例如說空間迷向、覺得自己在倒著飛.....等狀況，作者沒有談到這方面的處理方式。

第二點，文中在歸納時有提到一起DC-10的CFIT事件，但是全文中並沒有任何該空難事故的資料及做艙通話抄本，突然加入這一起事故的結果，讓人感到丈二金剛摸不著頭緒。

本文獻的優點：

本文鉅細靡遺的將情境認知的要素加以分類，並提出可以避免情境認知的徵兆和四個實例相互對照，透過駕駛艙通話記錄(CVR, Cockpit Voice Recorder)抄本讓閱讀過程中彷彿身歷其境，真的身處於發生可控飛行觸地的班機駕駛艙內，對喪失情境認知會造成的結果印象深刻，對讀者日後發現情境喪失狀況有很大的幫助。

本文獻的缺點：

就是缺少了膽識和儀器發生衝突的後續處理方式，首先當然是爬升到最小安全高度(Minimum Safety Altitude)，但是若是天氣依然很糟沒辦法目視地標，不知身處何處該怎麼處置並未詳加敘述。

結論：

今日的飛行員訓練都集中在嚴重事故處理，諸如發動機起火或是發動機失效等有立即性危險的科目，處理這類危險事件的訓練固然不可少，但是隨著飛機的進步，這類突發事件發生的比率越來越少；反倒是可控飛行觸地成為飛安事故排行榜第一名，而對於可控飛行觸地的訓練往往只有地面接近警告(GPWS, Ground Proximity Warning System)或是加強地面接近警告(EGPWS, Enhanced Ground Proximity Warning System)，當飛行組員收到這類的警報飛機通常都已經快要觸地了，因此航空公司或是飛行員訓練單位應該將情境認知放入飛行員訓練教材中，從一開始就察覺到問題背後的問題(QBQ, Questions Behind Questions)－喪失情境認知，對症下藥才能提升飛航安全！

### [相關文獻]

1. Situation Awareness & Awareness of Automation Flight Modes (TP Newman, CAA, Gatwick, England, European Aviation Safety Seminar 1997)
2. Mental Modules and Situation Awareness in Air Traffic Control (Richard H. Mogford, International Journal of Aviation Psychology 1997)
3. Flight Test Evaluation of Runway Awareness and Advisory System(RAAS): A Human Factor Assessment of Pilot Acceptability (Ratan Khatwa, Ph.D., Honeywell, Corporate Aviation Safety Seminar 2003)
4. Improving the Vertical Situation Awareness: The Vertical Display (Capt. Jacques Rosay, Airbus Industrie, International Aviation Safety Seminar 2000)

# **Development and Evaluation of Cabin Crew Expected Safety Behaviours**

Peter Simpson, Graham Edkins, Christina Owens & Stuart Godley

Aviation Cabin Safety Symposium 2003

## **[英文摘要]**

Within the airline industry, expected safety behaviours are being increasingly used to assess or observe flight crew non-technical skills (CRM) performance. While safety and human factors programs are well established components of cabin crew training, airlines are yet to identify the non-technical skills required of cabin crew to successfully manage safety critical tasks and situations. In addition, there is a lack of data on how cabin crew deal with threats and avoid, recover and manage error. This paper describes a two-part research project being undertaken within Qantas Airways. Phase 1 involved the application of the Critical Decision Method protocol to identify successful decision making skills amongst experienced cabin crew. From a qualitative analysis of interviews with eighty Customer Service Managers (CSMs), expected safety behaviours were identified, and grouped under the following seven elements: situational awareness, information & resource management, operational understanding, passenger management, crew management, negotiation & influencing skills, and workplace safety. The use of these expected safety behaviours in training and performance planning is discussed. Phase 2 of the project involves the proposed implementation of a LOSA-type program within the Cabin Crew environment, utilising the expected safety behaviours developed in Phase 1. The applicability of LOSA for cabin operations as well as the logistical and practical challenges of planning and implementing normal operations monitoring for cabin crew is discussed. In addition, an outline of the expected benefits of this research to air operators and the wider aviation industry is provided.

## **[中文摘要]**

航空業界已漸漸形成運用預期安全行為(Expected Safety Behaviour)來觀察或是評估飛航組員的非技術性(Non-technical skills)表現(CRM)。目前雖然人為因素與安全的訓練已被廣泛應用於客艙組員的訓練之中，但航空公司尚未能評估客艙組員在危急情況下的非技術性表現，因此本研究的主要目的在於：第一，界定有助於優良

客艙預期安全行為(Expected Safety Behaviour)之特定組員表現；第二，決定日常操作時 ESB 的最佳評估方法。

本研究為澳洲航空(Qantas Airways)實際進行之計畫，第一階段主要藉由與 Qantas Airways 共 80 位資深客艙組員 Customer Service Managers(一般稱為座艙長)進行訪談，並採用核心決策模式(Critical Decision Method)來探知受訪者對於過去異常客艙事件之經驗以及決策過程，最後歸納出預期安全(ESB)行為的 7 大面向，分別包括情境認知(Situation Awareness)、旅客管理(Passenger Management)、工作場所安全(Workplace Safety)、組員管理(Crew Management)、航務認知(Operational Understanding)、協調技巧(Negotiation & Influencing Skills)以及資源管理(Information & Resource Management)。

第二階段則預計運用第一階段所建立之 ESB 的 7 個面向以及各面向之內含項目，進一步討論如何將 LOSA(線上操作安全督察計畫)運用在客艙組員表現之評估，包括可能遭遇之困難以及實際情況下應如何執行客艙組員之線上安全督察。

本研究之第二階段仍在進行當中，目前已完成客艙組員的安全督察查核表的設計，且已在報告中呈現，至於如何實際執行，則仍有許多困難點需要克服。

## [內容]

### 研究母體：

航空業界已漸漸形成運用預期安全行為(Expected Safety Behaviour)來觀察或是評估飛航組員的非技術性(Non-technical skills)表現(CRM)。目前雖然人為因素與安全的訓練已被廣泛應用於客艙組員的訓練之中，但航空公司尚未能評估客艙組員在危急情況下的非技術性表現，因此本研究的主要目的在於：第一，界定有助於優良客艙預期安全行為(Expected Safety Behaviour)之特定組員表現；第二，決定日常操作時ESB的最佳評估方法。

### 研究方法：

本研究為澳洲航空(Qantas Airways)實際進行之計畫，第一階段主要藉由與 Qantas Airways 共 80 位資深客艙組員 Customer Service Managers(一般稱為座艙長)進行訪談。這些座艙長的組成背景是來自在該公司短程(short haul, 約佔 54%)以及長程(long haul, 約佔 46%)航班上所服務的座艙長，他們平均服務年資為 7.5 年(整體範圍為 1-25 年，標準差 6.2 年)，而他們的年紀平均是 42 歲(標準差 7.0 歲)。本研究採用核心決策模式(Critical Decision Method, CDM)來探知受訪者對於過去異常客艙事件之經驗以及決策過程，採用 CDM 的好處是和使用引出知識(knowledge elicitation)法相比，CDM 可以得到更多的相關資訊。使用 CDM 之後 Qantas 歸納出了使用預期安全行為(Expected Safety Behaviour, ESB)所應該包括的三個領域。

這三個領域分別是：

1. 測量典型表現 (Measuring typical performance)：對於評鑑操作者典型安全行為發展出關鍵的要求。
2. 測量熟練性 (Measuring proficiency)：對於評價在檢查和訓練狀態中的熟練性提供基礎。
3. 測量訓練效力 (Measuring training effectiveness)：對於訓練計畫的效力提供指示。

在第一階段中一開始要進行的就是CDM的面談，使用CDM的程序已經在其他的文獻 (Klein et al., 1989; Hoffman et al., 1998) 中獲得相當好的證明，在面談中的基本步驟應有下列幾項：

1. 事件選擇 (Incident selection)：座艙長們對於近期、非慣例的事件提出問題。
2. 採訪者對於該事件獲得一個鬆散的 (unstructured) 回想。
3. 參與者和採訪者決定事件的順序並且建立一個時間軸 (time line)。
4. 鑑定決策點 (Decision point identification)：採訪者對於做出的具體決定進行鑑定。
5. 檢查決策點 (Decision point probing)：使用檢查/詢問技巧對實際上的決定以及因此而產生的行為進行確定 (參見表一)。
6. 假設及如果不是 (Hypotheticals and what ifs?)：訪問者選出數個決策點並且詢問以不同事件為基礎的假設性問題 (例如：如果當時機長沒有好好的考慮你的要求的話，你可以做什麼?)。這些問題可以找出一些潛在的錯誤、可供選擇的決策行為以及專家或是新手的差別。
7. 標準案例研究 (Standard case study)：CSMs 提供一個標準案例進行研究，並且重複上述步驟 3 到 6 (就像是這些 CSMs 親自在該飛機上)。
- 8.

檢查類型 (Probe Type)	檢查內容 (Probe content)
暗示 (Cues)	你看到什麼、聽到什麼或是聞到什麼？
知識 (Knowledge)	在決策過程中你用了哪些訊息？這些訊息是如何來的？
類似情形 (Analogues)	你以前有任何類似的經驗嗎？
標準方案 (Standard scenarios)	這種情況是反映出典型的方案還是訓練後的方案？
目標 (Goals)	在那個時候你具體的目標還有目的是什麼？
選擇 (Options)	在這種情況之下有沒有什麼其他的方法可以考慮或是採用？
心智模式 (Mental models)	你能想像你做了這個決定後可能得到的結果嗎？
經驗 (Experience)	你覺得特殊的訓練、經驗或是知識哪一種是必要的？
決策 (Decision making)	你有感受到任何時間壓力嗎？需要花多少時間做決定呢？
幫助 (Aiding)	你覺得在訓練、知識或是經驗之中哪一個可以幫助你？
錯誤 (Error)	在這的時候哪種錯誤是常見的？新手應該如何處理？

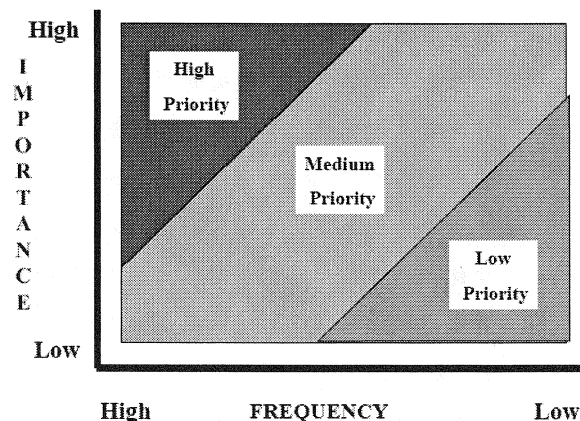


表一、一些 CDM 檢查問題的樣本

參加者在面談時是匿名的，需要被紀錄的是年紀、從事 CSM 的工作時間、根據地（雪梨、墨爾本、布裡斯本、柏斯）、短程或是長程航班上服務，面談在安靜的辦公室中進行，如果許可的話會使用錄音帶紀錄面談的內容。大約要花費 1.5-2 個小時，至少需要花 1 個小時在第一個關鍵事件上，之後的半小時到一小時則進行重複的案例研究。

第一階段的第二步驟則是和面談後的編碼（coding）以及發展 ESBs 有關，發展 ESBs 的程序分成數個階段（其中 1,2,3,4 已經完成，而 5,6,7 則預計在 2003 年完成）。

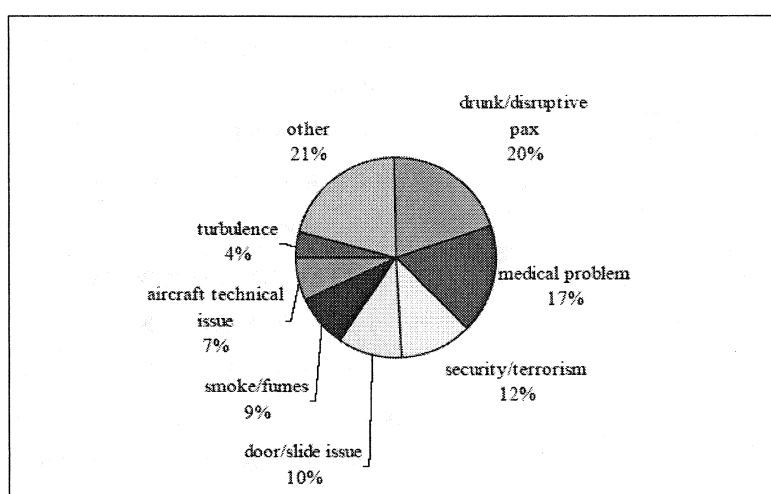
1. 從錄音資料中得到的文字抄件進行初步的編碼，用來發展 behavioural marker。
2. 用客艙組員及專家（有 6 名 CSMs 參與其中）提出的回饋（feedback）來改進編碼架構以及 maker。
3. 進行對由一般的 CSM 所組成之 behavioural marker 的分析，這個包括從全部 CSM 來的回饋，以及從 ESBs 清單中來的回饋。並且隨機抽出 20 位的 CSM 進行大約 20 分鐘的面談，以獲得更詳細的回應（responses）。這兩種方法包括對每個 behavioural marker 的安全重要性進行分等，以及有效率的飛行措施。
4. 建立 ESBs 的主要清單。
5. 測量評分者之間信度（inter-rater reliability）（使用希臘字母 kappa）以及對面談中的旁枝末節（remainder of interviews）進行編碼。
6. 取得在每個事件中 behavioural marker 的要素（elements）/行為（behaviours）的頻率統計（frequency count）。
7. 為了期望一個安全行為的訓練，建立「訓練集中矩陣（training focus matrix）」（ESB 發生頻率對 ESB 重要性，如圖一）。這個矩陣可以客觀的表現出訓練課程的先後順序。



圖一、預期安全行為訓練集中矩陣

研究結果：

使用 CDM 進行 80 次面談之後，扣除掉 6 次無效的資料（原因可能為卡帶損壞或失效），所得到 ESBs 最初的清單。CSMs 所提到的客艙嚴重事件大概有以下幾種：酒醉、飛行途中發生的緊急事件（醫學方面）、安全/恐怖行動威脅（從 911 以後開始大量增加）、機門及滑梯問題、飛機機械問題（如放棄起飛、發動機故障、駕駛艙或座艙設備失效）...等，詳細的百分比可從圖二得知。



圖二、嚴重事件的類型及百分比

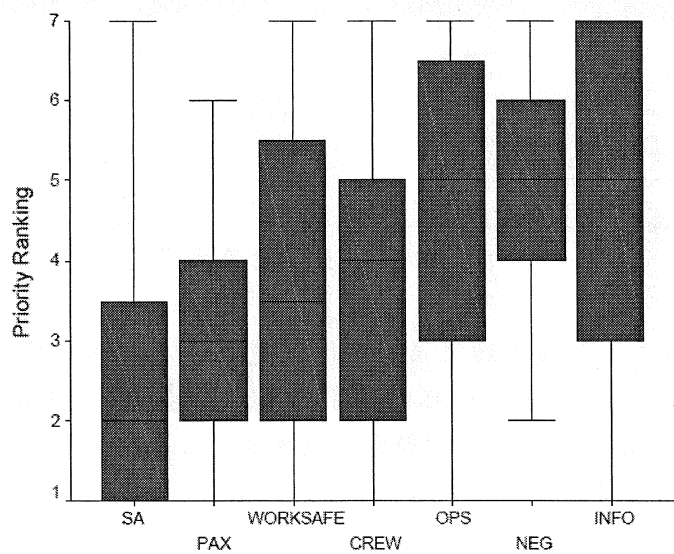
而綜觀 Qantas 從 2001 年 1 月到 2002 年 2 月，一共 13 個月的資料中可以發現，發生這些客艙安全意外的比例和上面所做出來的相去不遠，例如和乘客行為有關的佔 24%、醫學方面佔 16%、機門/滑梯佔 5%、吸煙/冒煙佔 18%、亂流則佔 1%。

根據 CDM 所得到的結果歸納出 ESB 中的七大面向（這七大面向列於表二之中，其中每一個面向中尚包含多種元素）。而根據前面所敘述，由 ESB 建立的訓練集中矩陣則如圖三，這個可以當作實施訓練計畫時優先順序的參考。

預期安全行為之面向	預期安全行為之元素/行為
<p>情境認知</p> <p>(Situation Awareness)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 飛行過程中對周遭環境的認知是否有表現出來</li> <li>2. 考慮政策及文化背景</li> <li>3. 考慮時間的急迫性</li> <li>4. 對更高的安全目標及優先權有所認識 (recognise)</li> <li>5. 對決定後可能發生的結果事先進行預料 (anticipate)</li> <li>6. 發展意外事故後續處理計畫</li> </ol>
<p>乘客管理</p> <p>(Passenger Management)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 評估 (Assess) 乘客 (登機時或飛行中)</li> <li>2. 監視潛在性威脅的乘客行為/狀況</li> <li>3. 對乘客的行為/狀況能用果決的行動去改善</li> <li>4. 考慮乘客的福祉 (well-being)</li> <li>5. 對乘客表現出冷靜、一切都在控制之下的形象</li> <li>6. 在乘客面前不要把自己的不安感散發出去</li> <li>7. 讓客艙的混亂減到最小</li> </ol>
<p>工作場所安全</p> <p>(Workplace Safety)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對 OH&amp;S 的情況採取積極主動的管理</li> <li>2. 對 OH&amp;S 的情況採取反應性 (reactively) 的管理</li> <li>3. 對 OH&amp;S 的情況進行追蹤 (follow-up)</li> <li>4. 傳輸 OH&amp;S 的重要性</li> <li>5. 對 OH&amp;S 的行為展現出一個任務模型 (role model)</li> </ol> <p>注 OH&amp;S : Occupational Health and Safety (職業健康及安全)</p>
<p>組員管理</p> <p>(Crew Management)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 評估組員</li> <li>2. 提供機上 (onboard) 輔導及訓練進行行為的改正</li> <li>3. 考慮組員的福祉</li> <li>4. 考慮組員在面對到非日常事件時的專業性</li> <li>5. 提供組員任務歸詢 (debrief)</li> </ol>
<p>航務認知</p> <p>(Operation Understanding)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 組員基本航空知識 (Basic Aeronautical Knowledge, BAK) 能否展現 (Demonstrates) 出來</li> <li>2. 明白 CSM 的權責</li> <li>3. 明白其他人的權責</li> </ol>
<p>協調技巧</p> <p>(Negotiation &amp; Influencing skills)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 和其他人一起商量並且發展出一種共通的對策</li> <li>2. Manages upwards : 鑑定問題</li> <li>3. Manages upwards : 表示關心</li> <li>4. Manages upwards : 提供選擇</li> <li>5. Manages upwards : 使用緊急語言 (emergency)</li> </ol>

	language)
訊息及資源管理 (Information & Resource Management)	1. 鑑定&使用全部的資源 2. 收集訊息 3. 確定訊息能使大家都瞭解 4. 對於訊息的核心進行分析 5. 對需要知道這些資訊的人提供一個及時的回饋 6. 排列任務的先後順序

表二、預期安全行為及其初步規劃的元素



圖三、ESB 七種不同面向的箱型圖 (Box-plot)

第一階段的未來工作是利用表二進行客艙組員的訓練，以及進行人為因素還有 CRM 技能的評估。此外表二還可以發展出一份實用的工具，圖四是目前 Qantas 在飛行中對 ESB 進行實際觀察其效用的表格。此外之前面談所留下來的文字抄件則在人因及 CRM 的訓練上提供很大的幫助，因為那些事件是實地發生在 Qantas 航班上的問題。

CSM: Cabin Crew		Sector:		Date:		
		Ineffective	Marginal	Effective	Highly effective	COMMENTS
1	Situation awareness					
2	Workplace Safety					
3	Passenger management					
4	Crew management					
5	Operational understanding					
6	Negotiation & influencing skills					
7	Information & resource management					

<b>Ineffective</b> This is a behaviour which: <ul style="list-style-type: none"> <li>May contribute to an uncorrected error</li> <li>Immediate improvement is required in this area</li> </ul>	<b>Marginal</b> This is a behaviour which: <ul style="list-style-type: none"> <li>May impair crew from completing a task, but is unlikely to contribute to uncorrected error</li> <li>Crew members will benefit from further training or self-improvement</li> </ul>	<b>Effective</b> This is a behaviour which: <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilitated the effective completion tasks free of significant error</li> <li>Demonstrates an example of CRM that crew members should achieve in line operations</li> </ul>	<b>Highly Effective</b> This is a behaviour which: <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilitated the completion of tasks with more efficiency than is normally required</li> <li>Demonstrates an example of CRM that all crew members should strive to achieve</li> </ul>
--	--	--	--

圖四、客艙組員 ESB 評估表之原型

第二階段的未來工作則預計運用第一階段所建立之 ESB 的七個面向以及各面向之內含項目，進一步討論如何將 LOSA 運用在客艙組員表現之評估。但在實際的運用方面依然遭遇到一些困難，這些困難有下列幾項：

1. 駕駛艙不包含在客艙環境中
2. 雙層（Double deck）飛機
3. 全部的訊息都要透過（go through）座艙長
4. 在客艙中觀察者會變的相當顯眼（more obtrusive）
5. 在客艙中的錯誤可能傾向於不那麼容易產生
6. 對顧客&服務產生影響（impact）
7. 有許多組員需要觀察
8. 對客艙中的飛行安全來講外在威脅（external threat）減少

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

本文獻是 Qantas 實際做出來的研究，裡面非常詳細的寫出使用 CDM 建立 ESB 的步驟以及最後所獲得的結果，原始的立意非常的不錯。但由於各國國情、文化背景以及旅客習慣的不同，所做出來的 ESB 可能也有非常大的不同，以國籍航空公司來說，各航空公司在航程營運上有著相當的差異性（國際線、國內線；短程、中程、

長程)，故這篇文獻要用的在本國國籍航空上面可能需要進行修改。

結論：

911 過後，客艙安全日漸受到重視，各國民航管理相關單位也對其民航法規中客艙安全之相關規定進行更嚴格的修改。不過在航空保安外，客艙安全還有許多課題有待研究、改進，例如台灣旅客常會出現的「霸機」行為，對航空公司、機場甚至是國人的形象都有相當大的影響。雖然本文獻並沒有提到有關霸機的行為，但在 ESB 發展出的七種面向中有一項就是「乘客管理」，客艙組員透過和乘客的互動對乘客進行評估也對乘客的狀況有所掌握，有任何狀況立刻解決，如此一來對航空公司及旅客來說可謂是一種雙贏的情況。

### [相關文獻]

van Amermaete, J.A.G., & Krujisen, E.A.C. (Eds) (1998). NOTECHS: The evaluation of nontechnical skills of multi-pilot aircrew in relation to JAR-FCL requirements. National Aerospace Laboratory NLR.

Crandall, B., & Getchell-Reiter, K. (1993). CDM: A technique for eliciting concrete assessment indicators from the intuition of NICU nurses. *Advances in Nursing Science*, 16(1), 42-51.

Flanagan, J., (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51(4), 327-358.

Fletcher, G., McGeorge, P., Flin, R., Glavin, R. & Maran, N. (2002). The role of nontechnical skills in anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*, 88, 418-429.

Flin, R. & Martin, L. (2001). Behavioural markers for Crew Resource Management: A survey of current practice. *International Journal of Aviation Psychology*, 11, 95-118.

Helmreich, R.L., Kline, J.R. & Wilhelm, J.A. (in press). System safety and threat and error management: The Line Operations Safety Audit (LOSA). In *Proceedings of the Eleventh International Symposium in Aviation Psychology*. Columbus, OH: The Ohio State University.

Hoffman, R., Crandall, B., & Shadbolt, N. (1998). Use of the CDM to elicit expert knowledge: A case study in the methodology of cognitive task analysis. *Human Factors*, 40(2), 254-276.

Hoffman, R., Shadbolt, N., Burton, A., & Klein, G. (1995). Eliciting knowledge from experts: A methodological analysis. *Organisational Behaviour and Human Decision*

Processes, 62(2), 129-158.

International Civil Aviation Organisation (ICAO) (2002). Draft Human factors digest: Human factors in cabin safety. Montreal, Canada.

Kaempf, G., Wolfe, S., Thordsen, M., & Klein, G. (1992). Decision making in the AEGIS combat information centre. (KATR-9007-92-052). Fairborn, OH: Klein Associates.

Klampfer, B., et al. (2001). Behavioural markers workshop. Swissair Training Centre, Zurich, 5-6 July.

Klein, G., Calderwood, R., & McGregor, D. (1989). Critical decision method for eliciting knowledge. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, 19(3), 462-472

O'Connor, P., Flin, R. & O'Dea, A. (2001). Team skills for nuclear power plant operating staff. Technical Report to Nuclear Industry Management Committee. Industrial Psychology Group, University of Aberdeen.

Qantas (2002). Safety analysis paper: Cabin safety incidents - causal factors (SAP 06/1). Sydney, Australia: Qantas, Corporate Safety Dept.

Taynor, J., Crandall, B., & Wiggins, S. (1987). The reliability of the critical decision method. KA-TR-863(b)-8707F. Yellow Springs, OH: Klein Associates.

Taynor, J., Klein, G., & Thordsen, J. (1987). Distributed decision making in wildland fire fighting (KATR-858(A)-04f). Yellow Springs, OH: Klein Associates.

Thordsen, M., Klein, G., & Wolf, S. (1992). Observing team co-ordination within army rotary wing aircraft crews. (ARI Research Note 92-40). Fort Rucker, AL: US Army Research Inst for Behavioural and Social Sciences

# **The Use of Vertical Navigation for Non-precision Instrument Approaches**

Frank Alexander

International Aviation Safety Seminar 1999

## **[英文摘要]**

It has been clearly established that Controlled Flight Into Terrain is a major cause of aircraft accidents and the greatest number of CFIT accidents occur during the approach and landing phase. Most of these accidents are associated with instrument approaches that do not provide vertical course guidance. This lack of vertical guidance along with a lack of good visual cues makes any non-precision instrument approach procedure one of the most difficult maneuvers for any pilot.

The introduction of aircraft equipped with Flight Management Systems capable of geometric vertical navigation (VNAV) has provided operators with the capability to modify the way non-precision approaches are flown. Using the VNAV capability of the FMS, it is now possible to fly most non-precision approaches using a stabilized vertical flight path to the runway. This vertical path allows the flight crew to establish the appropriate rate of descent from the point of descent to the runway threshold resulting in a final approach segment that is flown at the proper speed and angles and delivers the aircraft to the runway in a stabilized configuration. This process is similar to the way an ILS is flown except that the vertical guidance is not as precise. However the basic safety factors of a stabilized descent and speed remain and thus significantly reduce the risk of a CFIT event during the final approach segment.

This paper will describe the use of approach VNAV, the operational concept and the contributing components such as the capability of the FMS, procedure design and navigation data base. The baseline reference for this paper is the Boeing 757/767 aircraft using the Honeywell 200K flight management system. Other systems will be discussed in lesser detail, but the basic concept is applicable to all flight management systems capable of flying barometric vertical navigation using a computed vertical angle in the navigation database.

Most of the work done on this concept was originated through the efforts of the Air Transportation Association's FMS/RNAV Task Force. It was here that the knowledge of avionics engineers, navigation data specialists, FAA Flight Standards



and air carrier pilots was combined to address the various elements that were needed to implement this program. This coordination was an essential element because of the different components involved and their interaction.

## [中文摘要]

根據多年的飛安統計數據，我們可以確定可控飛行觸地(CFIT, Controlled Flight Into Terrain)是造成空難事故的主要原因之一，而絕大多數的可控飛行觸地事件都是發生在進場(approach)和降落(landing)階段，且其中多是發生在沒有提供垂直方向導引的機場，因此在缺乏良好目視條件情況下進行儀器非精確進場(non-precision instrument approach)操作被飛行員視為畏途。有鑑於此空運協會(Air Transportation Association)和聯邦飛航總署飛航標準組(Federal Aviation Administration Flight Standards)的航電工程師、導航專員以及航空公司飛行員們展開了這項用 FMC 中 VNAV 功能作為非精確進場時垂直方向引導的研究。

## [內容]

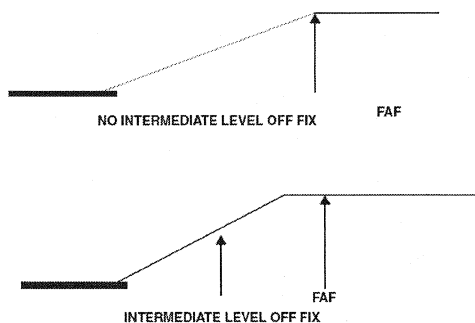
根據多年的飛安統計數據，我們可以確定可控飛行觸地(CFIT, Controlled Flight Into Terrain)是造成空難事故的主要原因之一，而絕大多數的可控飛行觸地事件都是發生在進場(approach)和降落(landing)階段，且其中多是發生在沒有提供垂直方向導引的機場，因此在缺乏良好目視條件情況下進行儀器非精確進場(non-precision instrument approach)操作被飛行員視為畏途。有鑑於此空運協會(Air Transportation Association)和聯邦飛航總署飛航標準組(Federal Aviation Administration Flight Standards)的航電工程師、導航專員以及航空公司飛行員們展開了這項研究。

本篇研究報告主要是在介紹運用機載的飛航管理系統(Flight Management System)中的 VNAV(Vertical Navigation)功能讓飛航組員進行非精確的儀器進場任務，來減少在進場及降落階段可控飛行觸地事件發生的可能性。該方法的簡單概念是利用 VNAV 佐以從下降點到跑道頭配合飛機的空速和下降角度，建立適當的下降率，雖然沒有 ILS 的 glide slope 那樣精確，但足以避免可控飛行觸地事故的發生，並讓飛機平穩的降落在跑道上。本研究使用的 FMS 系統乃是裝設於波音 757/767 上面的 Honeywell 200K，其他機型使用的 FMS 在本文當中著墨甚少，但是基本的原理都是一樣的，因此本篇研究報告的結果可以應用到任何 FMS 系統進行非精確儀器進場，但是仍有某些機型的 FMS 再執行 VNAV 任務時有所限制，如：早期的波音 737 無法使用 VNAV，因為當襟翼放到若干角度時 VNAV 系統會失去作用；空中巴士 A320 系列則是在有 ILS localizer 的跑道無法使用 VNAV 功能。

在本篇研究報告發表之前可能已經有很多飛行組員使用過 VNAV 功能進行非

精確進場，但是進場過程中飛行組員必須在每個檢查點(waypoint)設定不同的高度限制，有些時候組員需要在計算後立即做下降率的變換，造成飛機從下降點到跑道頭並不是保持一個穩定的狀態，也有些時候進場角度並不精確，以致於當飛機到達最低下降高度(MDA, Minimum Descent Altitude)時飛行員還不能目視跑道，不能降落。

本方法和傳統非精確進場最大的不同點在於『在裝設有 ILS、VASI 或 PAPI 的跑道，聯邦航空總署授權以 FMS 執行非精確進場之航機使用決定高度(DAH, decision altitude) (DAH 為航機決定執行重飛(go around)或是繼續降落之決定高度)取代原本的最低下降高度』，而在不影響飛航安全的前提下，每家航空公司可依據公司的政策改變決定高度的數值。VNAV 另外一項主要的功能是從導航資料庫中提供下降角度(跑道頭上方 50ft 到 FAF, final approach fix 的夾角)供飛行員參考，一般來說若是導航沒有發生誤差，下滑道會維持  $3^\circ$ ，若導航發生誤差，以致於下降角度發生偏移，VNAV 提供一個從  $2.75^\circ$  到  $3.77^\circ$  的範圍供飛行員比照 VASI 或 PAPI 修正航機的下降角度，如下圖



適合使用 VNAV 的機場是裝設有 VOR、VOR/DME 或是有 ILS 但 glide slope 發生故障沒辦法提供服務的機場，為了讓航機在攔截到 ILS 訊號時確定 FAF 的高度是在攔截下滑道的高度，本研究建議所有航空公司將導航資料庫中 ARINC 424 ILS 的訊號編碼全都改為使用 localizer 編碼，本報告舉西北航空(Northwest Airlines)的 757 機隊為例，稱該機隊已經全部完成將編碼改為 LOC 的換裝訓練。

在使用 NDB 的機場則是要使用 RNAV 進行非精確進場，本研究發現在使用 RNAV 進場飛機通過 FAF 之後往往會產生非預料性的轉彎，企圖去重新攔截跑道定位訊號，這種情況主要是因為當 757 的 FMS 系統使用導航資料庫中下降角度資料時只能使用『Course-to-a-fix』(CF)模式，它是一個將兩個導航點連成一條線的導航模式，飛機上的導航系統和地面上的發射站台都存在著地磁偏差，所以當飛機使用機載的導航系統到達 FAF 點要接收地面 NDB 訊號時會產生不連續的現象，如下圖：

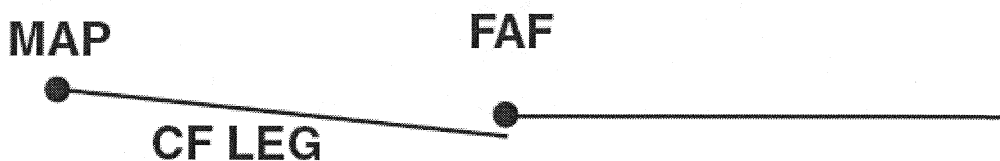
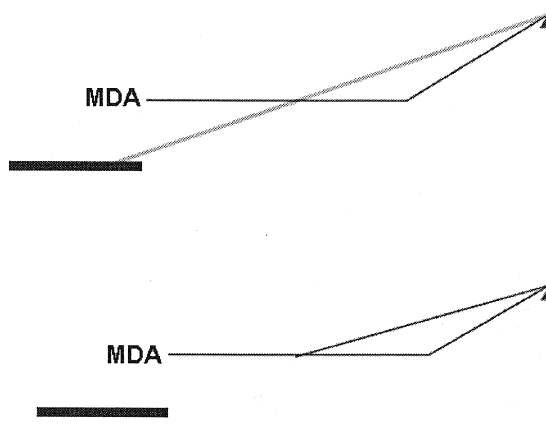


Figure 3

這種現象可以透過調整 RNAV 系統內的地磁偏差與機場 NDB 站台一致加以解決，不過長遠之計是改用『Track-to-a-Fix』(TF)模式。

航空運輸協會(Air Transportation Association)和 Charting & Data Display Committees 與航圖製作公司 Jeppesen 合作改繪現有的非精確進場圖，在有 VASI、PAPI 和 ILS 導航系統的機場下降角度線會穿過 MDA 線直達跑道頭，但是在沒有上述助導航設施的機場，航機在下降到 MDA 之後若仍未目視跑道，必須決定是否以該高度作為 DAH 執行重飛動作，如下圖：



透過 VNAV，飛行組員在最後進場階段，只需要將注意力集中在尋找跑道和燈光信號，航機的速度交給自動節流閥管理系統，高度則交由 VNAV 處理，因此 VNAV 有效地降低了飛行組員在進場過程中的工作負荷，減少錯誤發生的機率，提升飛航安全。

然而，VNAV 也並非可以在所有的場合使用，當海平面的氣溫低於-30o 時 (ISA-45)，VNAV 所提供的 3o 下降角功能會變成 2.5o，若是依照 VNAV 的指示操作航機，最後目視跑道燈號 VASI 或 PAPI 會看到全紅信號燈，代表飛機遠遠偏離正確的下滑道，組員亦無從得知他們處於下滑道什麼位置，文中建議解決方法為以 FAF 高度+250ft 之高度進場，目視跑道的偏差會較小。

研究母體及方法：

本報告主要是在介紹運用機載的飛航管理系統(Flight Management System)中

的 VNAV(Vertical Navigation)功能讓飛航組員進行非精確的儀器進場任務，來減少在進場及降落階段可控飛行觸地事件發生的可能性。該方法的簡單概念是利用 VNAV 佐以從下降點到跑道頭配合飛機的空速和下降角度，建立適當的下降率，雖然沒有 ILS 的 glide slope 那樣精確，但足以避免可控飛行觸地事故的發生，並讓飛機平穩的降落在跑道上。本研究使用的 FMS 系統乃是裝設於波音 757/767 上面的 Honeywell 200K，其他機型使用的 FMS 在本文當中著墨甚少，但是基本的原理都是一樣的，因此本篇研究報告的結果可以應用到任何 FMS 系統進行非精確儀器進場，但是仍有某些機型的 FMS 再執行 VNAV 任務時有所限制，如：早期的波音 737 無法使用 VNAV，因為當襟翼放到若干角度時 VNAV 系統會失去作用；空中巴士 A320 系列則是在有 ILS localizer 的跑道無法使用 VNAV 功能。

研究結果：

研發使用 FMC 進行非精確性進場的方法，並找出哪幾種機型，和裝有哪一種導航設施的機場不適用該垂直導航方法，最後有介紹 RNAV 以及 VNAV 在操作時的環境溫度限制。

## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

本文獻寫得相當粗淺，只是將研究結果大略介紹一下，並沒有提供 757 或是 767 使用 Honeywell 200k FMC 進行非精確進場的標準操作程序(SOP, Standard Operation Procedure)或是儀器設定圖片讓讀者進行參考，只是大略敘述原理、注意事項和操作限制，若要引進本操作方式的技術編寫適合各航空公司使用的 SOP 需要更多的研究資料；此外文中有提及 FAA 有關 MDA 和 DAH 的限制，但並沒有列出相關規定條文。

本文獻的優點：

在本篇研究報告發表之前可能已經有很多飛行組員使用過 VNAV 功能進行非精確進場，但是進場過程中飛行組員必須在每個檢查點(waypoint)設定不同的高度限制，有些時候組員需要在計算後立即做下降率的變換，造成飛機從下降點到跑道頭並不是保持一個穩定的狀態，也有些時候進場角度並不精確，以致於當飛機到達最低下降高度(MDA, Minimum Descent Altitude)(MDA 為航機目視跑道前可以下降的最低高度)時飛行員還不能目視跑道，不能降落；但是若使用本文所敘述的方法，並注意其操作限制，使用 FMC 進行非精確性進場將可有效降低飛行員的工作負荷，讓飛行員能夠將全副精力集中在完成降落檢查程序，及和航管與塔台的通話，使在能見度不佳的情況下落地這項工作變的簡單又安全，不再被飛行組員視為畏途。

本文獻的缺點：

敘述沒深入討論實際應用情形、也沒有 SOP 做為參考、亦沒有操作此系統時 FMS 該如何社訂的參考圖示，不但讓讀者沒辦法得知詳細的操作方式，也無從得知將這項研究應用到日常飛行中之後，是否真的能達到本篇文章作者所宣稱的效果。

結論：

這是一篇有實用價值的研討會論文，我國內線航空公司可藉參考本文原理制訂使用 FMS 進行 VNAV 的 SOP，此舉將對我國航空界有莫大的幫助，因我國並非每座機場都有配置 ILS 進場的功能，有些僅配有 VOR 或是 NDB，不能提供垂直方向的引導，常常造成在天候惡劣的情況下到達 MDA，卻仍然沒辦法目視跑道，必須採取重飛；在一些有附近有地障的機場，更有發生可控飛行觸地事故的可能性。

## **[相關文獻]**

由於原始文獻並未列出參考文獻，故本項空白。

# **Understanding Flight Crew Adherence to Procedures: The Procedural Event Analysis Tool (PEAT)**

**R. Curtis Graeber and Mike M. Moodi**

**European Aviation Safety Seminar 1999**

## **[英文摘要]**

Although the aviation industry's safety record as defined by accident rate is admirable, it is well recognized that this rate could translate into an unacceptable number of accidents as the number of annual departures increases with market growth over the next 15 years. Therefore, it is not surprising that industry interest in accident reduction is particularly high. It is also understood that the vast majority of today's accidents have their roots in human error. Our challenge is to maintain the industry's progress in making technical safety improvements while discovering new strategies for addressing human performance. In trying to develop effective performance strategies we believe that rigorous analysis of accident and incident data is the best way to determine where and how the industry should invest its resources. The Procedural Event Analysis Tool (PEAT) is a human factors tool which has been developed from this perspective.

## **[中文摘要]**

雖然說今日的空難發生比率是一個令滿意的數字，但是隨著航空業的蓬勃發展，美國聯邦航空總署估計到 2012 年，光是美國國內航空營運就會成長 39%，航班的數量將大幅度增加，若飛航安全依舊保持現有比率的水準，到 2012 年可能每隔幾天就會有一起空難事故發生。有鑒於此，波音公司於 1991 年成立空難預防策略部門 (APS, Accident Prevention Strategies)，藉著回顧過去 10 年 (1982-1991) 商用噴射客機空難事件，從中找出能有效防止飛安事故的方法，最後發現大部份的飛安事故肇因都在於——不遵守飛行操作程序。然而，該調查只是著眼於飛安事故，並沒有著眼於飛行違例事件，所以只得到飛行組員沒有遵守操作程序造成的負面結果，並不能提供研究人員因為飛行組員違例飛行反而避免空難事故的資料；同時波音的研究人員發現，從空難事故中找尋所得線索往往存在著前後不一致的問題，加上無法和發生空難事故的飛行組員進行訪談，使得研究人員轉而希望從日常飛行違例案件中找尋提升飛航安全的方法。基於以上的理

由，波音的工程師們研發了本文的主角『程序違例事件分析工具(PEAT, Procedural Event Analysis Tool)』，它是一個結構良好、有深度的分析用軟體，希冀可以透過它來瞭解飛行組員在哪些狀況下會遵守操作程序，在哪些狀況下不會，以作為日後制訂修改操作程序手冊、訓練機制和公司政策的準則。否則就算工程人員閉門造車的程序寫得再好、訓練機制做得再完善，只要飛行組員不遵守，依然沒辦法達到提升飛航安全的效果。

## [內容]

研究母體和方法：

波音公司於 1991 年成立空難預防策略部門(APS, Accident Prevention Strategies)，藉著回顧過去 10 年(1982-1991)商用客機空難事件，找出能有效防止飛安事故的方法，最後發現大部份的飛安事故肇因於沒有遵守飛行操作程序，分析統計結果顯示，若是負責飛行的組員遵守操作程序可避免 50%的空難事故、負責監控沒在飛行的組員(NFP, Non-Flying Pilot，也就是 PM, Pilot Monitor)遵守操作程序可以避免 37%的空難事故 (Boeing Accident Prevention Strategies (1993)、圖一)；聯邦航空總署人因工程團隊(FAA Human Factor team)也在 1996 發現遵守操作程序對飛航安全的重要性，所以公布了 Mgt-4 改善建議。但透過空難事故尋找問題癥結並不是一個好方法，從日常飛行的違例事件中得到的資料才能有效預防事故的發生，為了瞭解飛行組員在平時為什麼沒辦法遵守飛航操作程序，波音工程師們設計了程序違例事件分析工具這套軟體，透過這套軟體來解決此棘手的問題，避免許多空難事故的發生，同時也可以減少航空公司的經濟損失。

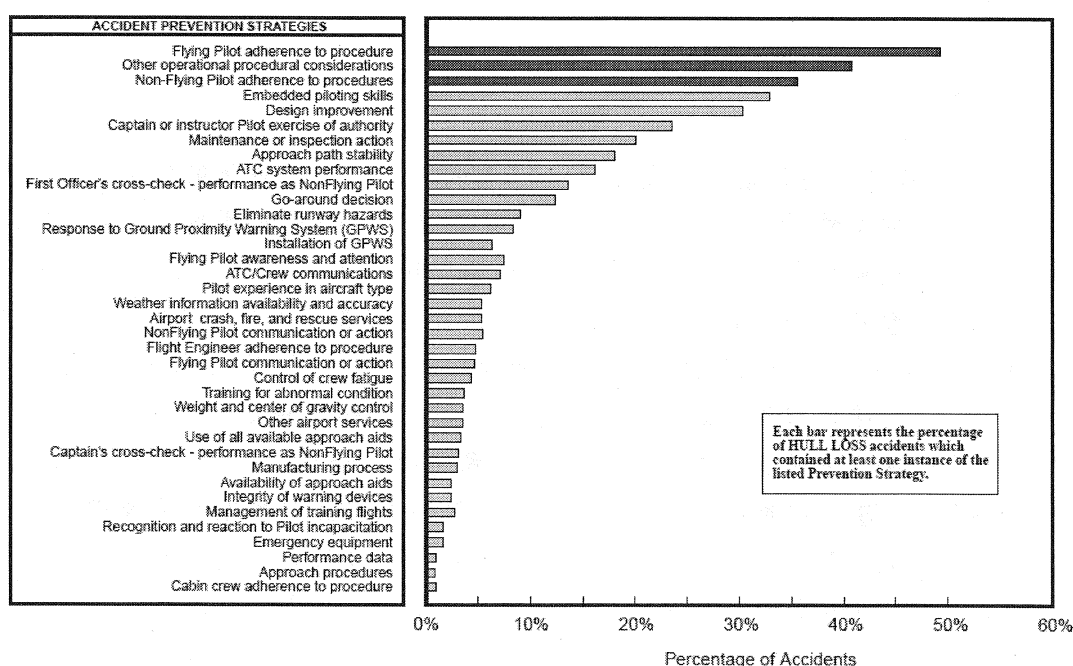


Figure 1. Boeing Accident Prevention Strategies (1993)

研究結果：

在美國航運協會(U.S. Air Transport Association)的人為因素委員會(Human Factor Committee)、來自美歐亞共 8 家航空公司及美國航空公司飛行員協會(U.S. Air Line Pilots Association, ALPA)的努力下，PEAT 完成了初期的開發。參與研究團隊的 8 家航空公司隨即展開了為期 8 個月的試用期，使用紙上版本的 PEAT 調查他們航空公司因為遵守操作程序引起的違例案件，確定 PEAT 可以達到以下方向：

1. 適用於不同參與者和多種程序違例案件
2. 容易瞭解違例案件和它們的肇因
3. 提供應用與結果的一貫性
4. 使改正違例事件的策略研發過程容易化
5. 能夠分析不遵守操作程序但是反而從中得到飛航安全獲益的案例
6. 讓違例事件原因的趨勢明顯
7. 能夠減少此種違例案件發生的頻率及趨勢

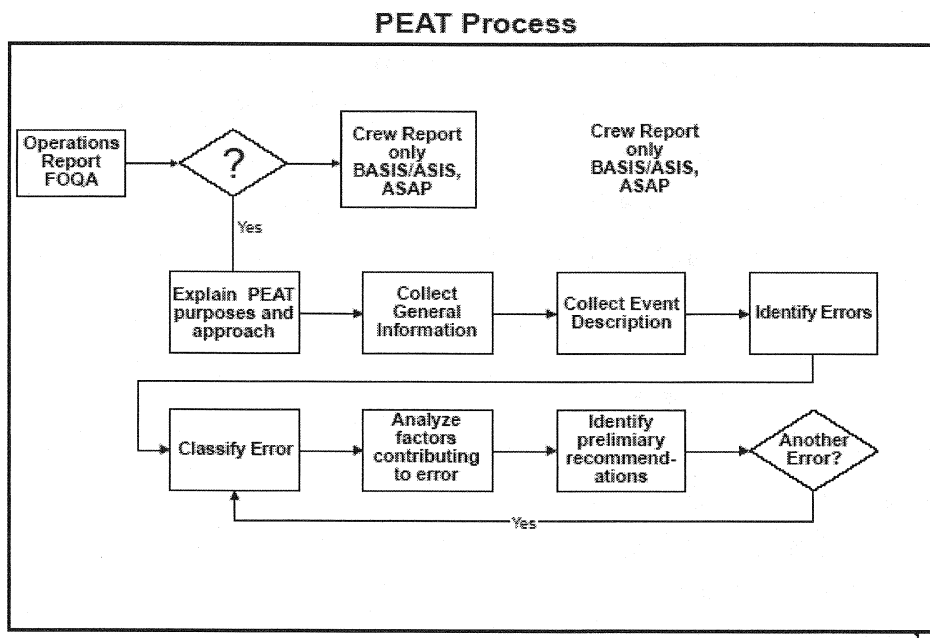
在試用結束後，該團隊認為日後 PEAT 的發展應該建立在軟體分析工具上，可以方便業界使用。

程序違例事件分析工具計劃於 1999 年進行最後一部分的發展工作，預定在 2000 年正式投入航空界服務，每家申請這套計畫的航空公司都會有特派代表負責對未來的分析人員進行有關軟體資料庫和分析能力的訓練，同時航空公司的高階管理人員也會被教授有關程序違例事件分析工具計劃的原則、執行過程、需要組織協助支持的地方。PEAT 可分為三個部分，分別是飛行過程、資料儲存以及分析，在使用這套軟體之前，需要有個觀念有以下兩點：

1. PEAT 的調查理念是『職業飛行員很少會發生不遵守操作程序的情形』，特別是當不照程序操作可能增加風險時，所以飛行員不遵守操作程序一定有其背後的理由，實行 PEAT 計畫的目的就是要找出在什麼外在情況、外在因素的影響之下飛行組員選擇不遵守操作程序。
2. 航空公司必須明確地接受調查中立，不可以處罰飛行組員，除非他們蓄意違反操作程序，或是在接受調查時態度魯莽。

整套 PEAT 系統執行的流程如下圖所示：





## [文獻評析]

對本文獻的問題與質疑：

本篇作者和 The Use of Vertical Navigation for Non-precision Instrument Approaches 的作者 Frank Alexander 同出一轍，並沒有提供軟體操作介面或是其他有關於這套工具的任何資料，只是在敘述這套軟體的開發過程、理念、基本架構、帶來的益處，附錄的 Power point 投影片也沒有關於這方面的資料，感覺上本文推銷、打廣告的成分居多，不過若是本套系統真的像他所說的那樣有效，我國籍航空公司亦可以考慮購買，透過 PEAT 的資料分享功能和全世界航空公司 PEAT 違例事件資料庫進行連線，一同找出問題所在，提升飛航安全。

本文獻的優點：

文中提到程序違例事件分析工具較以往其他計畫所不能提供的益處有：

1. 合法的調查深度
2. 提供依個系統化循序漸進的調查過程
3. 找到之前沒問過或是不常問的問題
4. 詢問之前不敢問的問題
5. 改正之前處罰和訓練(Blame and Train)的調查改正方式
6. 能為各航空公司量身訂作符合需求的 PEAT

本文獻的缺點：

本文是由波音公司工程師所撰寫，因此本文一直再強調該系統的好，加上該文發表之時，此系統尚未投入營運，網路上也查不到有關 PEAT 正式投入營運之後的資料，我們並沒有聽到使用者的心得、旁觀者客觀的聲音，也就無從得知這套系統不好的地方。

結論：

除了本文的主角 PEAT，空中巴士(Airbus)公司也有開發兩套類似的飛航操作品質保證(FOQA, Flight Operation Quality Assurance)軟體，分別是線上操作監控系統(LOMS, Line Operations Monitoring System)以及 AirFASE(Airbus/Teledyne Flight Data Monitoring software package)，同樣地對提升飛安安全成效卓著，值得國內飛航安全從業人員參考。

### [相關文獻]

Accident Prevention Strategies, Commercial Jet Aircraft Accidents, World Wide Operation 1982-1991, 1993

Human Factor Team Report on the Interfaces Between Flight Crews and Modern Flight Deck Systems, Washington, D.C., 1996

Engineering Psychology and Human Performance. Charles E. Merrill Publishing Co., 1984, Columbus, Ohio.



## 風險管理

### 風險管理理念

Baberg, T. and Kemmler, R. **The Impact of Human Factors on the Development and Risk of Safety- Relevant Events**, *13th Annual European Aviation Safety Seminar*, 2001.

Brock J. M. **Injury Prevention: Dependent, Independent and Interdependent Exploring the Third Frontier in Safety Excellence**, *44th Corporate Aviation Safety Seminar*, 1999, pp.43-63.

Heinrich, D. **Aviation Risk Management**, *44th Corporate Aviation Safety Seminar*, 1999, pp.25-37

Matthews, M. **Human Factors in Aviation: People – The Aviation Industry's Greatest Asset, But Also Its Biggest Problem**, *FSCT*, 2003.

McKellar, G. **Detecting and Eliminating the Hazard**, *51st Annual International Air Safety Seminar*, 1998, pp. 543-556.

### 風險管理方法

#### 1 資料分析系統

Helmreich, R. L., Klinec, J. R., and Wilhelm, J. A. **Models of threat, error, and CRM in flight operations**, *10th International Symposium on Aviation Psychology*, 1999, pp. 677-682.

Helmreich, R. L., Wilhelm, J. A., Klinec, J. R., and Merritt, A. C. **Culture, Error and Crew Resource Management**, *Improving Teamwork in Organizations*, E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), Hillsdale, NJ: Erlbaum, 2001, pp. 305-331.

Lee, R., and Lander, J. **The Systemic Incident Analysis Model (SIAM)— A New Approach to Safety Information**, *53rd Annual International Air Safety Seminar*, 2000, pp. 335-348.

McFadden, K. L., and Towell, E. R. **Aviation Human Factors: a Framework for the New Millennium**, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 5, 1999, pp.177-184.

Rantanen, E. M., Talleur, D. A., Taylor, H. L., Bradshaw1, B. L., Emanuel, T. W.,

Lendrum, L., and Hulin, C. L. **Derivation of Pilot Performance Measures from Flight Data Recorder Information**, *11th International Symposium on Aviation Psychology*, 2001, pp. 1-5.

## 2 風險分析模式

### (1) 風險確認

Allen, H. W., and Abate, M. L. **Work Process Analysis: A Necessary Step in the Development of Decision Support Systems- An Aviation Safety Case Study**, *Interacting with Computers*, Vol. 11, 2000, pp. 623-643.

Janic, M. **An Assessment of Risk and Safety in Civil Aviation**, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 6, 2000, pp. 43-50.

Rhoades, D. L., and Waguespack B. **Judging a Book by It's Cover: the Relationship between Service and Safety Quality in US National and Regional Airlines**, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 6, 2000, pp.87-94.

### (2) 風險比較

Chang, Y. H., Yeh, C. H. **A New Airline Safety Index**, *Transportation Research Part B*, Vol. 38, 2004, pp. 369-383.

### (3) 風險分析

Mimpriss, J., Savage, J. **Risk Assessment-Hazard Management Using Dependency Modeling**, *12th Annual European Aviation Safety Seminar*, 2000, pp. 29-46.

# **The Impact of Human Factors on the Development and Risk of Safety- Relevant Events— Methodology and Results of the Lufthansa Cockpit Safety Survey**

Baberg, T. and Kemmler, R.

13<sup>th</sup> Annual European Aviation Safety Seminar, 2001

## **[英文摘要]**

無

## **[中文摘要]**

本文主要強調風險評估與管理的重要性，以及良好風險管理應有的組成要素，進而介紹德航(Lufthansa)的失事預防機制，包含飛航安全評估(Air Safety Assessment, ASA)、飛航運作資料分析(Flight Operation Data Analysis, FODA)、飛行安全資訊系統(Fly Safety Information System, FSIS)、飛航安全委員會(Flight Safety Council, FSC)與機艙安全調查(Cockpit Safety Survey, CSS)等五項系統，並指出唯有五項系統緊密地整合，方可有效預防飛航意外事件。本文為介紹性文章，強調飛安資訊運用、整合與持續分析的重要性，輔以德航的實際案例，值得航空公司作為飛安風險管理與事件預防的參考與借鏡。

## **[內容]**

### **1. 前言**

就系統安全的角度而言，事件肇因於一連串的安全防範疏失。各項高潛在危害因素，如高承載密度、大量易燃物質、高速飛航、極低溫、低氧環境等，若航空公司能具備良好的設計、生產、維護等機制，甄選、教育、訓練、再訓練等人員管理，以及規範、程序、安全文化等組織制度等，將可大幅降低飛航運作時的風險(圖1)。

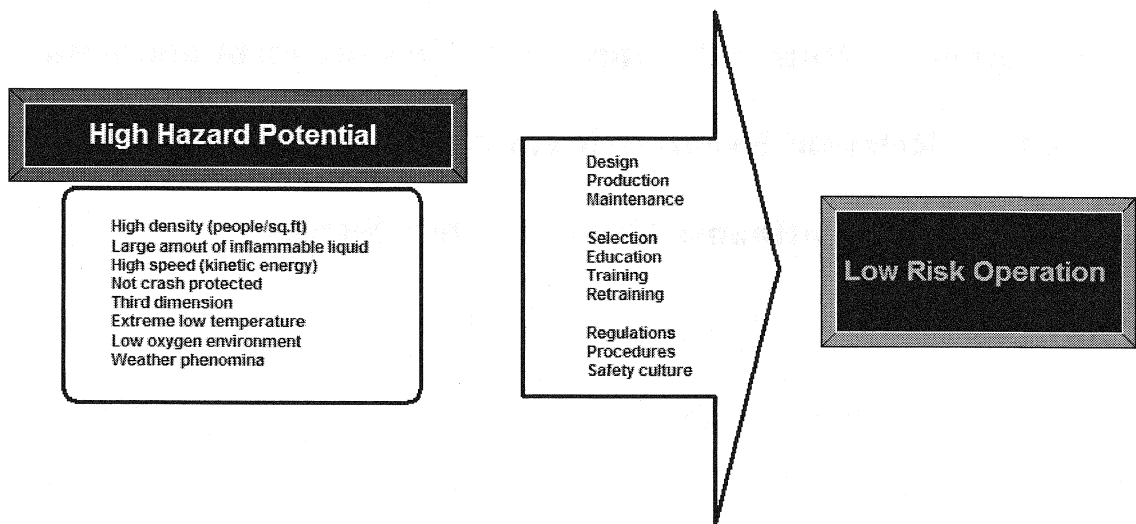


圖1 危害因素與安全機制

失事事件的發生為吾人所不樂見，所以如何有效減少疏失避免相同的事件再次發生，一直為航空界共同努力的目標。雖說，透過失事事件調查能找尋安全防制之道，然而調查往往在事件發生且傷亡造成之後，更引起大眾的關注與恐慌，唯有以更積極的角度去預防，方能消弭事件於未然。

以往飛安管理常存在著以零失事與零錯誤為目標之觀念，然而以科學的角度來看，除非航機停飛或公司歇業，否則只要航機繼續飛行與日常工作繼續執行，就會存有失事與錯誤發生的可能性；此外，就安全而言，Lowrance (1976)認為一件事被稱為安全係指其風險認為可以接受，而ICAO (2000)也定義安全係受害或損失之風險在可接受範圍內之狀態。因此，安全應視為一種感觀的認知，而風險可視為評量安全績效之衡量指標，以及飛安目標達成程度之可行衡量尺度。風險是一種複雜的觀念，其強調未來、可能性及未發生事件之不確定性，較廣為接受之風險定義為「事件發生」與「發生後果」兩基本要素之組合。組織所面臨的風險程度如圖2所示，面臨的危害因素越多或設置的安全防範措施越少則風險越高。

$$\text{Risk} = \frac{\text{Hazard}}{\text{Defense}}$$

圖2 危害因子與防範措施的關係

根據Bird(1969)針對21種產業中297家公司之1753498起失事事件加以分析，其結果指出全毀失事事件(Total loss)、嚴重損傷事件(Severe damage)、輕微損傷事件(Minor damage)與無傷害事件(Event)，四者發生次數之比值約為1:10:30:600(圖3)；其中，全毀事件發生之比率占不到所有事件的千分之二，顯示失事事件具有稀少與偶發之特性，僅能反映所有飛安問題之一角。對於全毀失事、嚴重損傷、輕微損傷等事件，由於事件處理機制的設計，所以相關資訊均應妥善地蒐集與記錄；不過，對於無傷害事件發生的時間、地點、原因等問題，則仍待進一步研究與釐清。

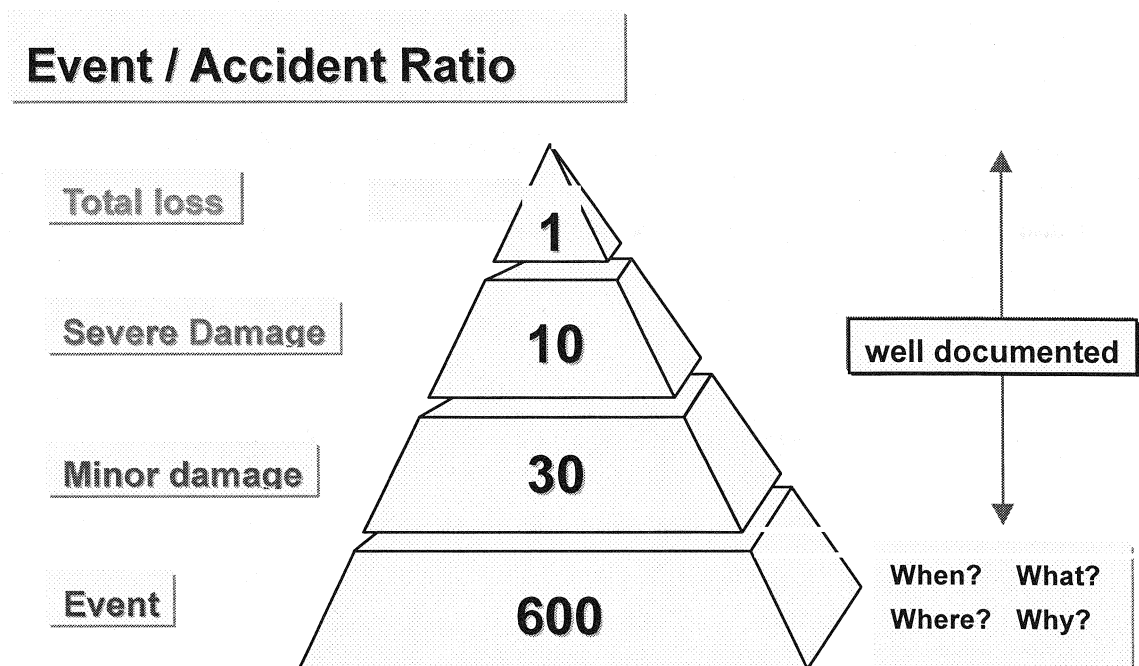


圖3 各類事件發生比率

## 2. 方法

為能提升安全水準，完善的風險管理機制應具備以下要件：

- 1) 由上至下對安全的管理承諾(Top down commitment of management to safety)。
- 2) 能直接向高層管理階層通報的獨立安全部門(Independent Safety Department reporting to highest management level)。



- 3) 能充分交流飛安訊息的非懲罰性環境(Non-punitive environment to allow free flow of safety relevant information)。
- 4) 所有管理階層皆能對人為因素充分認知且負責(Recognition of human factors and responsibility in all levels of management)。
- 5) 中立且獨立的真相聽證委員會(Standing, independent Hearing Commission for fact finding)。
- 6) 充分參與飛安資訊的國際交流(Participation in international exchange of safety information)。
- 7) 完善的失事預防機制(Accident prevention program)。

為能建立完善的失事預防機制，德航(Lufthansa)整合飛航安全評估(Air Safety Assessment, ASA)、飛航運作資料分析(Flight Operation Data Analysis, FODA)、飛行安全資訊系統(Fly Safety Information System, FSIS)、飛航安全委員會(Flight Safety Council, FSC)與機艙安全調查(Cockpit Safety Survey, CSS)等五項系統(圖4)，期能確實防制事件的發生。其中：

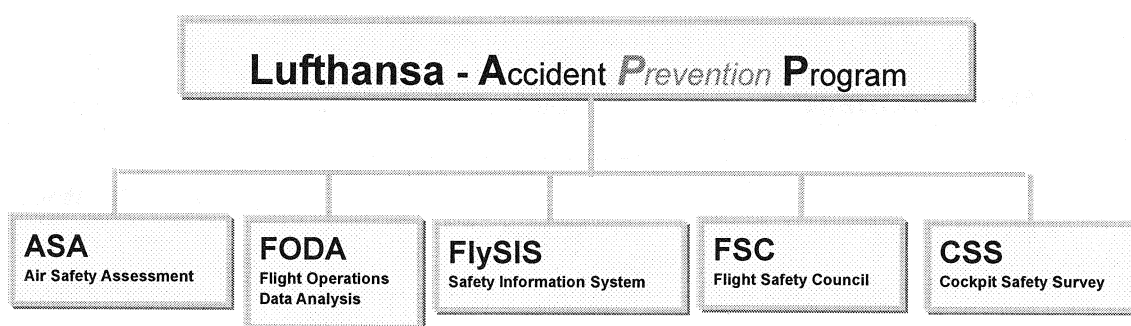


圖4 德航的事件預防機制

- 1) 飛航安全評估：其目的在監督航空公司的日常運作，包括管理、甄選與訓練、設備、程序與安全文化。
- 2) 飛航運作資料分析：針對每一事件個案，透過參數描繪、飛航儀器重新解讀、3D飛航資料模擬、資料歸檔等方式，進而將資訊傳遞予飛行安全資訊系統進行綜整性統計分析。
- 3) 飛行安全資訊系統：整合機長飛航報告、自願性報告、機務報告、航務報告、

FODA等資料，依據事件發生的嚴重度與再發生的可能性予以分等並載入資料庫中，如此不同類型的案例即可被適切分析，進而透過統計方法計算整體安全指標。

- 4) 飛航安全委員會：委員會定期召開，直接向最高管理階層報告安全相關事件，當場討論相關安全事項並立即做出決議。
- 5) 機艙安全調查：此調查包含一般管理者無法取閱的不記名資料，由機艙內相關人員個別調查，相關問項如：最近遭遇的安全相關事件(可能尚未通報)與對該事件的處理方式，以及對公司管理、組織、文化、訓練、值勤時間、班表等相關安全議題的看法。

### 3. 結語

事件之發生率並不是衡量飛安績效的唯一指標，而且僅靠此些具偶發特性的事件資料分析亦難以達到飛安之確保，所以為提升飛安績效，必須更廣泛地針對各個層面加以探討及預防。飛安資料庫的演進，其目的在讓更多導致事件發生的因素得以發掘並探討，達到事故預防與消除的效果；因此，吾人應充分掌握與應用各相關飛安資訊，深入了解飛安系統的內涵與飛安事件的成因，達到預防消弭事件於未然的效果。

### [文獻評析]

1. 充分的資訊為飛安分析與風險管理能否發揮功效的關鍵，德航整合飛航安全評估、飛航運作資料分析、飛行安全資訊系統、飛航安全委員會與機艙安全調查的作法，強調飛安資訊運用、整合與持續分析的重要性，彙整與分析不同管道的質化或量化資料，值得航空公司作為飛安風險管理與事件預防的參考與借鏡。
2. 文中闡釋安全、風險與事件形成的概念，以及風險程度與危害因素及安全防護間的關係，值得作為初涉飛安研究的參考。
3. 風險管理為安全防護與事件分析的核心，本文系統性羅列風險管理的要件，可做為航空公司落實風險管理與建立安全文化之依據。
4. 本文僅提出風險管理與系統整合的概念，不過對於各子系統的具體執掌內涵，以及整體資料彙整與風險評估方式並未深入探討，在實際參考與應用上有所困難。

5. 目前飛安資料庫的研究，其議題主要著重於飛航運作資料的即時性擷取與分析、不同來源與屬性資料的整合，以及與飛安分析系統結合達到主動偵測危險與診斷事件肇因的功能。因此，如何整合性質與格式相異的資料，發掘潛在危險並進而有效管理，值得深入研究。

## [相關文獻]

Abbott, K. H. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999 , pp. 317-322.

CAA (2002), Safety Management Systems for Commercial Air Transport Operations- A Guide to Implementation, UK Civil Aviation Authority.

Heinrich, D. (1999), "Aviation Risk Management." CASS 1999, pp.25-37.

Matthews, S. (2003), "Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem," 12th Annual Taiwan Aviation Safety Conference.

McKellar, G. (1998), "Detecting and Eliminating the Hazard." IASS 1998, pp. 543-556.

Sumwalt, R. L. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999, pp. 343-376.

# **Injury Prevention: Dependent, Independent and Interdependent Exploring the Third Frontier in Safety Excellence**

James M. Brock Jr.

44<sup>th</sup> Corporate Aviation Safety Seminar, 1999, pp.43-63.

## **[英文摘要]**

無

## **[中文摘要]**

本文強調組織領導風格於建立一成功安全文化基礎的重要性，其針對研討會主題－基礎與前緣，探究杜邦開發達成安全卓越的新觀念。作者相信對於持續尋求改善安全績效方法的人們來說，在前面等著且充滿機會稱為「相依」。的新領域「相依」為第三代的概念，可協助公司朝向理想安全文化跨出一大步，並且成為杜邦在預防傷害議題上，朝向新的組織覺醒與作為之推動力。因此，本文以西維吉尼亞州的Belle廠、維吉尼亞州的Waynesboro廠與德州的Beaumont廠的變革為案例，說明依賴、獨立與相依文化的特性與成效，以及如何讓員工「被感覺領導」的方式，成為組織邁向零傷害之動力。

## **[內容]**

### **1. 前言**

像許多公司一樣，杜邦於過去幾世紀中經歷了些重大的商業運作之重組，公司原本作業之組織結構作了相當幅度的改變，監督層級被移除，同時更多的權責移至員工的團隊中，如圖1所示。

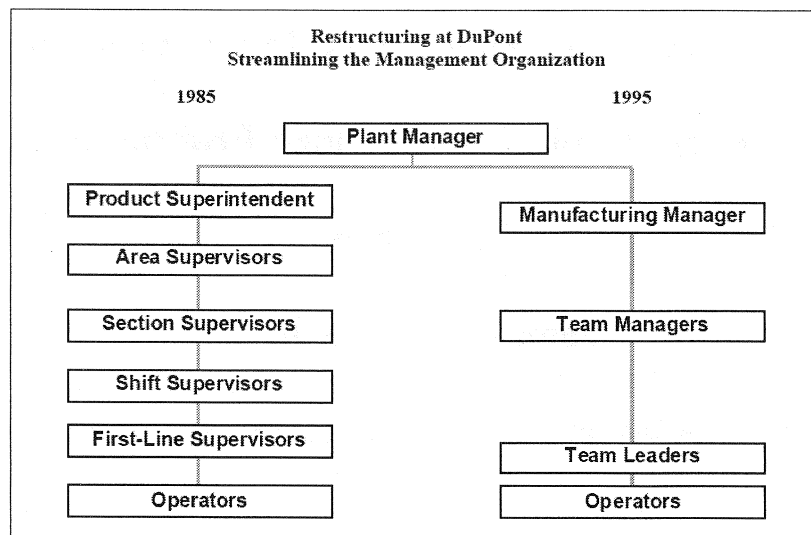


圖1 杜邦結構重整-精簡管理組織

於重組的過程中，杜邦的管理階層相當地擔憂人力的減少以及督導層級的簡化可能帶來安全上的風險，此等結果對杜邦公司而言，是不能接受的，概杜邦總是將員工的安全置於最優先的位置—安全為公司不可妥協的承諾。

數十年來，杜邦投入相當的人力與資源以達成其他任何公司無法追趕的卓越安全水準。當體認到公司重整的必要時，管理者要求對安全的重視絕對不可改變，不可有損於良好的安全紀錄，不可放鬆持續改善績效之動力。從1998年之安全績效顯示該公司成功的達成其他公司望塵莫及的安全績效。

當杜邦開始精簡組織之努力時，大家關心的問題是：以較少之人力較不充足之資源以及更高獲利目標的要求，員工如何能維持不斷改善安全紀錄之傳統？一個重組的組織是否可維持不斷創新紀錄以及邁向零傷害之動力？像許多公司大膽開發新的方法與技術—從提升安全為公司之主要商業策略至改變員工參與安全努力的作法，杜邦也開始探尋新的且更有效的方法，以便在較少的資源下，維持卓越的安全。

## 2. 方法

為了面對重整後之挑戰，杜邦將各階層各單位與安全相關的員工糾集起來，成員包括工頭、督導、工會幹部、經理與高層執行長，組成了一個30個人稱為發現團隊的行動團隊，它代表真正的組織成份，職責為調查各單位並決定有最佳產出的安全計畫與程序，而後將其成功的技術散播至全公司。

雖然安全為公司整體的議題，但散佈全球之各工廠、實驗室以及辦公室之安全策略與作法仍有相當的差異，經過現場詳細查訪以及分析各單位之安全作為，發現團隊發現杜邦內其實只有三種處理安全之基本方法，亦即依賴的安全文化、

獨立的安全文化、與相依的安全文化。

首先必須強調的，在此簡報中並無所謂的魔術子彈存在，沒有革命性的計畫，沒有新的科學方法，可於瞬間產生效果，代表此三種文化的安全系統並無法單獨的運作，每一系統必須調整以符合當地的情形，得到管理階層確切的承諾支持以及組織內每一個人的努力，更重要的是公司全體必須致力於安全績效的持續改善，缺乏這些根本的要件，即使最有建設性的文化也難於成功。

圖2顯示憑著自然的直覺，小心工作雖可避免某些傷害，但上述三種文化則可逐漸使傷害降低，其中相依的文化可使傷害趨近零目標。

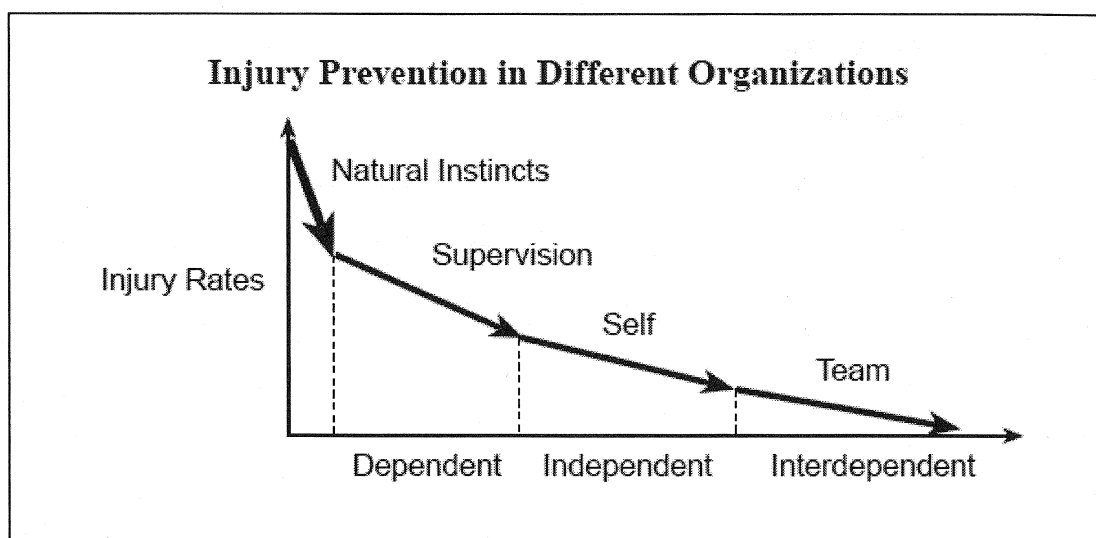


圖2 不同組織的傷害預防

### 個案研究 1—依賴的安全文化(如圖 3)

本案例取自杜邦西維吉尼亞州Belle之化學廠，1987年新廠長受命掌管此一安全績效完全無法被公司接受之工廠，他最優先的工作即是檢視此工廠之安全績效。為了強化工廠安全的作為，新經理開始重建組織的安全文化，他採用的方法即是依賴上層管理者—他自己—的特質與領導風格。廠長個人負責標準的確認與程序的執行。同時，他也要確保他的經理與督導在安全的事務上是服從他的領導，他清楚的說明他的期望以及他之所以被任命為廠長的原因之一即為安全。

### **Characteristics of a Dependent Safety Culture**

- Management commitment
- Safety as a condition of employment
- Use of progressive coaching/development
- Enforcement of rules/procedures
- Supervisory control, emphasis and goals
- Valuing all people
- Training

圖3 依賴安全文化的特質

新廠長讓自己成為廠內高度引人注目的人物，並成為其他人學習的對象，他令自己成為對安全績效有責任感的人，同時也令其他每個人對他們的行為負起責任，他不停的參與現場的安全活動並且經常查核以確保員工遵守安全標準、作為與程序，當面臨安全問題時，他走動教導。

為了支持他的作法，廠長成立了一系列的安全委員會以制訂政策與架構，一旦這些委員會設立了明確的目標，高層管理者即配置必要的資源以供安全訓練，程序也跟著澄清與更新，更積極的查核計畫亦推出以確認標準的被遵循。如此，比以往更多的人均涉入工廠的安全作為，而當新的安全文化擴散開來後績效也就改善了。

如圖4所示，僅僅兩年的時間，安全績效即有相當明顯的改善，員工不再需要被提醒對安全績效的期望，他們已了解標準何在並自動的採用，員工不但接受也了解程序，因為此仍他們所參與的安全委員會的產物，過去相當困難的事，現在已成為日常的習慣，而且大家已覺得對他們自己或工廠均是一件相當美好的事。

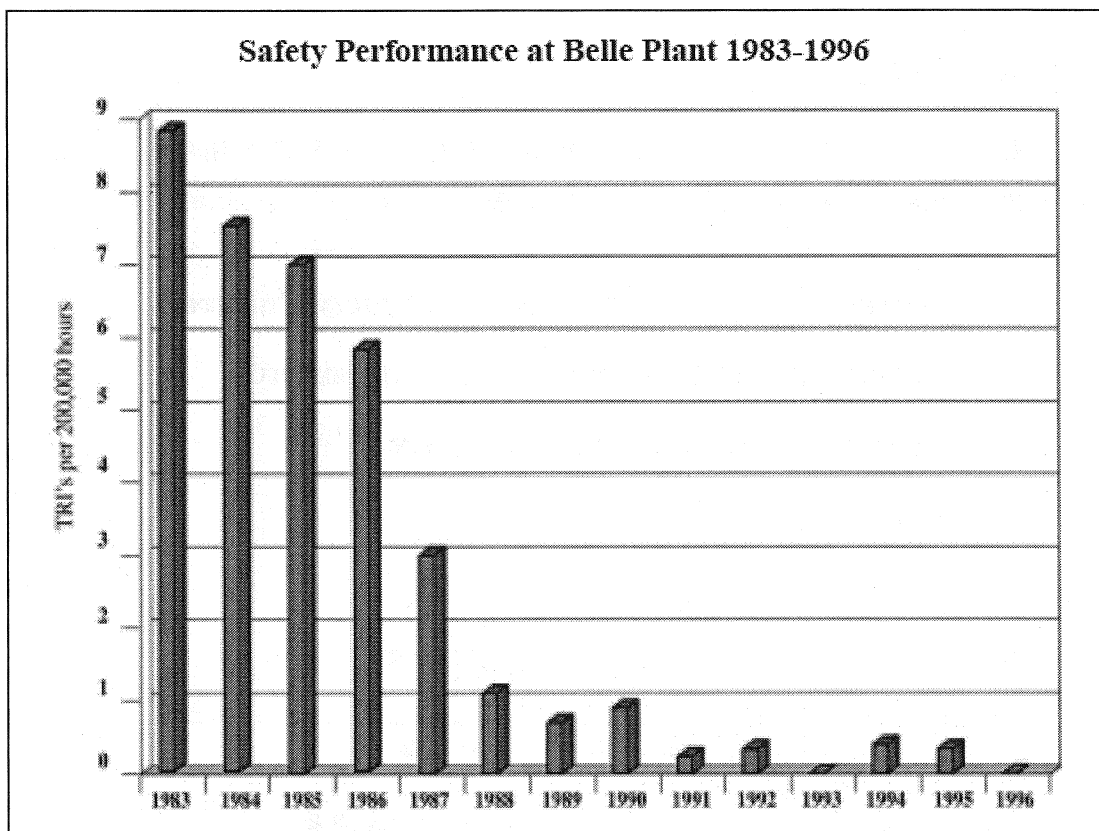


圖4 1983-1996杜邦Belle廠的績效

不足為奇，當工廠的安全態度與文化改善後，收益與生產力也均跟著提升，老實說安全的轉變關鍵在於新廠長的作為，在於他高度的承諾與決心，改變並非



一夕間發生，它需要時間，當績效漸漸改善時，這位廠長慢慢淡出他指導者的角色，開始轉換成推動者的角色，他放掉他上而下安全經理人的權威角色，開始邀請員工承擔更多安全卓越的積極角色。

這個轉變是非常重要的第一步，尤其是在安全績效持續改善的當中，廠長作了此一改變，其認知到由上而下的方式在制度變革中是必要的，但其亦有先天上的限制，因此，一個不一樣的方式以達成更佳的安全績效是有其必要的，而此種方式必須是由全體組織所趨動，而非由單一經理人所趨動。

當員工逐漸涉入更多的安全決策與計畫時，該廠長也開始授予他們更多的責任，而他個人領導的角色並未變得不重要，只不過是改變了特質。他繼續在廠區「遊走談論」並製造安全文化的模範角色。不過，他也發現，當他遊走的時間減少至某一程度，事故即增加，很明顯的，員工仍仰賴他的領導，因此，他決定以另外一種風貌來呈現他的領導風格。

當員工安全委員會變得越來越獨立時，廠長成為想法與行動方案交換的角色，此一安排使得Belle廠的安全文化漸漸的由依賴廠長的安全文化轉換成獨立的文化，員工不但逐漸了解並內化安全的期望與進行自主安全管理。

## 個案研究 2—獨立的安全文化

本案例說明組織領導者如何帶領影響其工作團隊，再影響其團隊內之員工，而後創造出一真正的獨立安全文化的歷程，圖5列示獨立安全文化的特質。

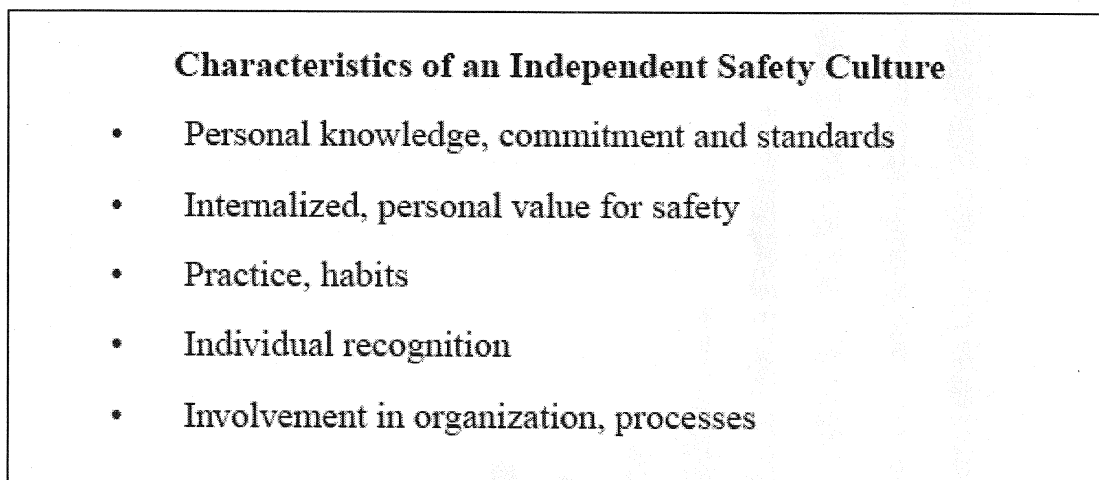


圖5 獨立安全文化的特質

為了擺脫依賴管理階層的安全系統，移至一更開放與獨立的文化，位於維吉尼亞州的Waynesboro廠開創了一稱為「事業發展系統」的程序，鼓勵自我導向的工作團隊以及發展個人的責任，此系統之主要目標為在員工間形塑一共同的想法：相信個人於個人安全的維護是重要的，視個人為一安全的領導者，以及了解

個人在廠區安全上扮有相當重要的角色。

雖然「事業發展系統」在推動之初遇到工會之阻力，但目前已運作良好，每一個人均公開的參與並對工廠的運作有相當的影響，安全績效也獲得相當的提升。

由Waynesboro成功的經驗中也學到以個人為中心的文化終究有其限制，真正可以達成安全需求的文化必須超越以「我」為中心的思維，而必須是一個更全面性合作的組織，亦即不是依賴，也不是獨立，而是相依的互動方式。

### 個案研究 3—相依的安全文化

德州Beaumont廠也曾經由依賴的安全管理演化為獨立的安全管理，但是其安全文化的演化並未停止。逐漸的，一個更具團隊導向的作法開始成形，員工在安全上的作為變得緊密的相依，此一文化的特質如圖6所示。

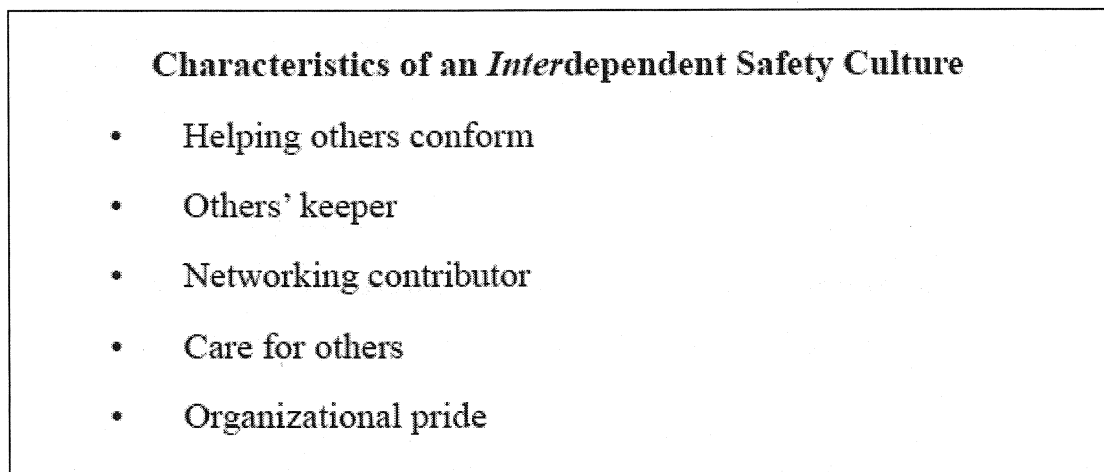


圖6 相依安全文化的特質

Beaumont全廠員工均參加為時4小時的研討會，此一研討會的重點在於認知不同人的不同需求，分享經驗的願望以及接受與給予別人的幫忙。透過此等研討會形塑了如圖7所示的Beaumont安全文化的核心原則。

這些新的原則更強化了Beaumont安全文化的轉變，員工對彼此變得更關心與付出，安全意識與預防作為均有明顯的提升。工廠很迅速的由獨立的文化移至相互依存的安全文化，員工的想法改變成「你的作為將影響到我的安全，所以你的作為將攸關我的權益，同時我的作為將影響你的安全...與你的...與你的安全，所以我了解你在意我的作為」。

為了持續此一安全文化的動能，他們找出能確認潛在問題點之領先指標，以便能事先防範。圖8為Beaumont廠現有最重要的十個領先指標。

### **Beaumont Plant Principles of Interdependence**

- We add value as members of teams.
- It is important to know each other's stories, and not to leave our story at the gate.
- We must trust our feelings and intuition.
- We must perceive and respect individual differences.
- It is dangerous when you cannot say or admit you "don't know."
- Everyone has the ability to stop anything that could cause injury.

圖7 Beaumont安全文化的核心原則

### **Beaumont Plant Current and Leading Indicators**

- Safety work order and work improvement suggestions
- Safety meeting attendance
- Safety equipment, required training
- Injury potential index
- Injury potential index – 90-day average
- Area safety audit observations
- Safety audit severity
- Safety audits – involvement of employees
- Safety Office observations
- Inspection and testing of process equipment

圖8 Beaumont廠現有最重要的十個領先指標

### 3. 結語

經由檢視Belle, Waynesboro, Beaumont之安全文化，Discovery團隊發現依賴與獨立安全文化的侷限性以及相依文化的潛力，圖9為此三種文化的整理比較。

Discovery團隊另一成果為將公司的注意力集中於「員工參與」的理念上，其相信員工在安全的努力永遠是對安全具最大的貢獻。鼓勵所有員工更進一層，更積極的參與與更正面的貢獻。最終導致如圖10所示員工行為的改變，以達成員工的「被感覺領導(Felt Leadership)」。

圖11中顯示自發性的員工為成功相依安全文化的根本，但是來自高層的承諾與支持仍是安全文化的基礎。總之，打造新的安全前緣的關鍵在於每一個人(everyone)，如何讓每一個人，每一天在每個地方時時刻刻的在安全園地中努力將是一非常困難的挑戰。

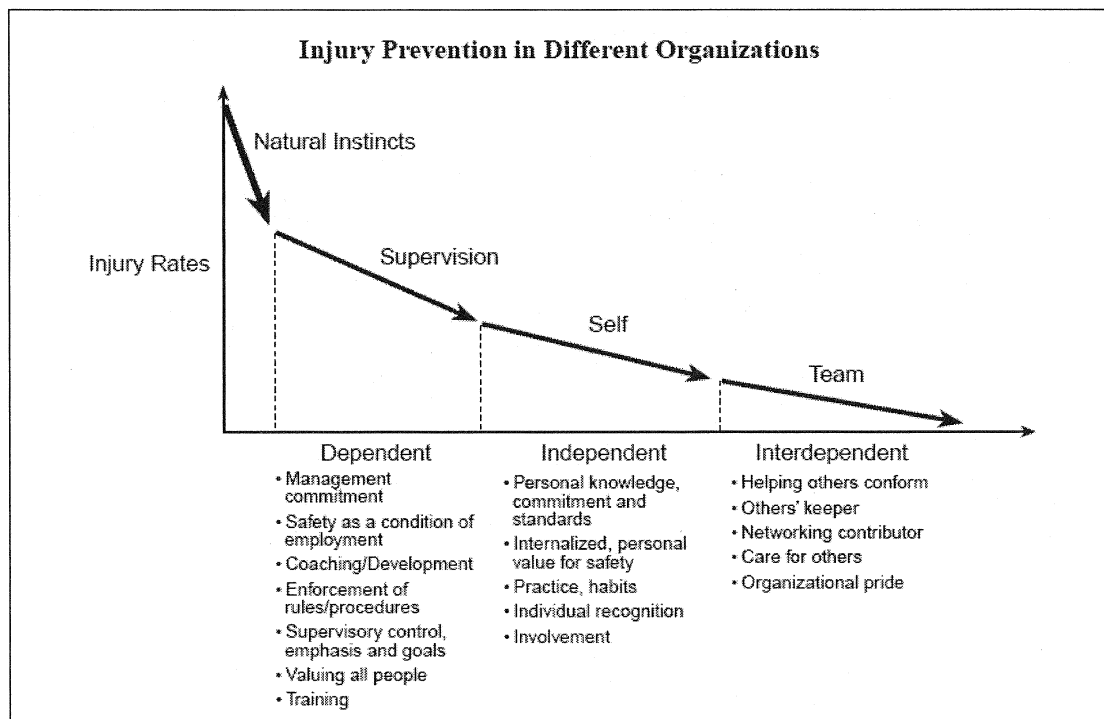


圖9 依賴、獨立與相依文化的整理比較

**“Felt Leadership” by All Employees**  
**Peer-to-peer responsibility, felt by all**

- Responsible for co-workers’ safety
- Coaching peers in safe work practices
- Sharing experience – successes and failures
- Taking action for safety

圖10 「被感覺領導」的特質

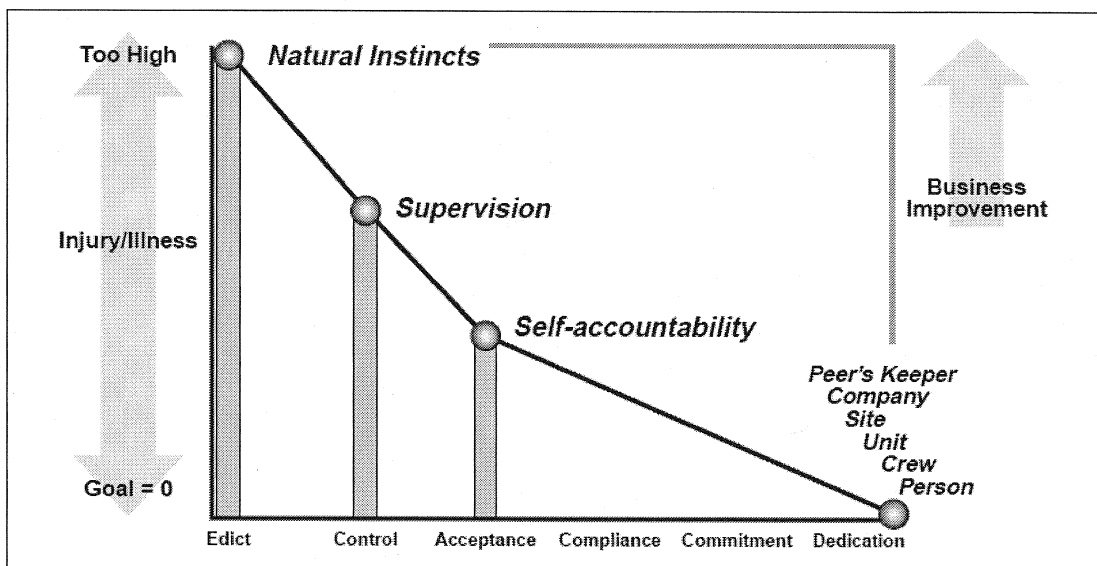


圖11 員工行為轉變與傷害預防的關係

**[文獻評析]**

1. 本文透過杜邦公司 Belle、Waynesboro 與 Beaumont 三廠案例凸顯安全文化的重要性，雖然文化沒辦法對安全績效的提升產生瞬間效果，不過由實際的結果顯示其效果是持久且顯著。
2. 文中介紹依賴、獨立與相依等三種文化的特質及其意涵，並強調各種文化並非獨立，所條列之文化特質可作為航空公司自我檢視飛安文化的工具，或是構建風險評量模式的參考。
3. 安全文化必須配合當地現況作調整，以符合各組織運作的特性；此外，安全

文化需由組織內所有人共同承諾及配合，讓彼此有相互重視、相互依存的感覺，絕非由單一經理人所能驅動，此亦為良好文化能否成形的關鍵。

4. 發掘問題並持續改進是品質管理的核心概念與精髓，亦為組織邁向零傷害與追求卓越之動力；不過，若要達到此一目的，必須仰賴健全的安全分析系統，能於事件發生前發掘問題，作為組織改善的機會。
5. 文中系統性集結自身公司案例，深入分析探討各種改進策略的優劣與成效，其累積的經驗與知識不僅可與全公司分享形成共識，並可作為擬定未來發展方針的考量依據，為學習型組織的典範。
6. 本文僅呈現各種文化的意涵與其成效，至於各種文化適用的情境與實際推動的方式，以及不同文化對員工觀感認知的影響等未有深入著墨；基於國家、組織與專業特性的差異，各界在實際參考與應用前仍須進一步研究。

## [相關文獻]

Helmreich, R. L., Klinec, J. R., and Wilhelm, J. A. (1999), "Models of threat, error, and CRM in flight operations," 10th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 677-682.

Helmreich, R. L., Wilhelm, J. A., Klinec, J. R., and Merritt, A. C. (2001), "Culture, Error and Crew Resource Management," Improving Teamwork in Organizations, E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 305-331.

Klinec, J. (2002), "LOSA Searches for Operational Weaknesses While Highlighting Systemic Strengths," ICAO Journal.

Matthews, S. (2003), "Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem," 12th Annual Taiwan Aviation Safety Conference.

王小娥、陸鵬舉、陳啟昭、潘義鈺 (2003)，機師族群對公司組織氣候和安全氣候與航務滿意度關聯性之研究，民航季刊，第五卷，第一期，頁 1-34。

程千芳 (2003)，「安全文化和失誤管理」，空軍學術月刊 542 期。

傅健康 (2003)，「人為疏失管理與飛航安全」，空軍學術月刊 558 期。



# Aviation Risk Management

Durwood Heinrich

44<sup>th</sup> Corporate Aviation Safety Seminar, 1999, pp.25-37.

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

本文主要探討安全管理系統中「風險與資源管理」議題，由風險的定義與意涵著手，說明不接受任何風險是錯誤的承諾，而是應藉由消除、規避、交換、補償等手段加以管理。文中介紹與歸納A-T-T-I-T-U-D-E八法，即風險分析(Analysis the risks)、風險移除(Take away the risks)、風險訓練(Train for the risks)、風險隔離(Isolate the risks)、風險補償(Truly compensate for risks)、使用現有資源(Use current resources)、研擬可行方案計畫(Devise an alternate plan)、探索外部資源(Explore external resources)，以及積極與被動的12個E法，作為民航業者管理風險，達到安全境界之建議手段。

## [內容]

### 1. 前言

安全是飛航服務中最重要要素，也是乘客最關心的權益與航空公司能否長久經營的關鍵。對於航空公司而言，安全的維護需仰賴眾多要素共同維繫，包括人員的健康、技術、知識與情境認知，組織的總體資源管理(TRM)與風險管理，作業流程的標準化，以及飛航運作的保安工作等；一如圖1所示，各要素相互配合、緊緊相扣如同一道拱門，共同維繫每一趟次飛航任務的安全，只要缺少任何一項則此一拱門將會崩毀。雖然，飛安相關因素眾多，為能深入探討其內在意義，本文主要焦點在於危害確認、評估與控制的核心——「風險與資源管理」議題。

何謂風險？根據韋伯(Webster)辭典的定義，在名詞為損失與傷害的可能性，或是危險的組成或因素，在動詞則為暴露於危險或傷害，或是招受危險或傷害；在民航界的術語中，風險為暴露或增加暴露於危險——包括乘客與組員的可能傷害、航機或設備的可能損害、或是加劇引發失事或意外事件的錯誤鍊(error chain)。不論是失事事件、意外事件或瀕臨發生的事件，均只是整體事件的一角，



真正的危害與風險潛藏於系統之中；因此，唯有運用系統化的風險管理方式，深入系統內部去發掘各個潛在疏失，如此飛安方得以確保。

在民航產業中不接受任何風險是錯誤的承諾，其實伴隨飛航運作所衍生的風險大多可以運用風險補償要素(risk-compensating factors)予以消除，當補償要素無法達成功效時，必須另外找尋能提供可接受安全水準的替代方案。風險管理的相關議題如下：

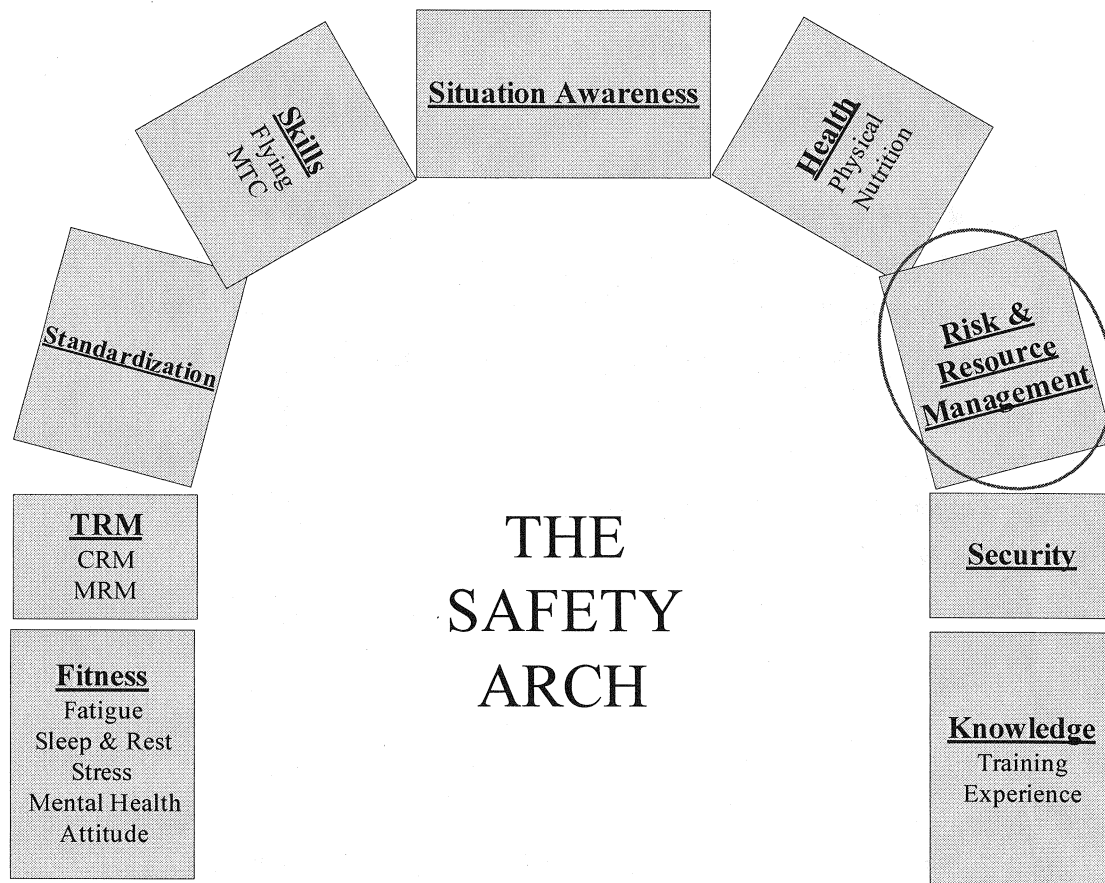


圖1 安全拱門

- 1) 零失事與意外事件是唯一可接受的安全統計數據。
- 2) 所有的失事與意外事件都是可預防的。
- 3) 安全是一種態度。
- 4) 安全可以被管理。
- 5) 安全必須是主動、而非被動。
- 6) 安全態度不能隨意轉換：工作安全與家庭安全是一體的兩面。

## 2.方法

風險是可以管理的，吾人必須轉換思考方式，由接受一群風險集合(band of risk)轉換成筆直且狹窄的(straight and narrow)的路徑，亦即管理者必須運用各種補償因子彌平任何可能的風險。

在日常生活中，我們每天都面臨風險並加以彌平。例如：行走時可能會被絆倒或撞到東西，可以藉由提醒自己小心注意或移除障礙物等方式消除可能的風險；上樓梯時可能失去平衡而跌倒，則可以藉由握緊扶手或加強照明等方式予以消除...。如此種種轉換至飛航運作上，飛行時可能與其他航機碰撞，可以藉由強化訓練、ATC與法規等方式予以消除；飛行多航段或長時間值勤可能面臨龐大壓力或產生疲勞，則可以採取適當的休息、增加額外組員或強化CRM等方式予以消除。

安全是一種態度(A-T-T-I-T-U-D-E)：

- 1) 是否分析所有的危險(*Analysis the risks*)？
- 2) 如何移除或消弭此些風險(*Take away the risks*)？
- 3) 是否可以透過訓練加以對應或加以管理(*Train for the risks*)？
- 4) 如果部分風險仍然存在，如何隔離或規避此些風險(*Isolate the risks*)？
- 5) 如果風險無法避免，如何確實補償每一個風險(*Truly compensate for risks*)？
- 6) 能否充分運用可用的現有資源(*Use current resources*)？
- 7) 如果風險太嚴重或太多，能否另謀替代性計畫(*Devise an alternate plan*)？
- 8) 如果嚴重的風險仍然存在且沒有替代計畫，是否能充分引用外部可用資源協助脫離此一窘境(*Explore external resources*)？

此外，對於風險消除有12項主動或被動的步驟，其應用方式如圖2所示：

- 1) 預期風險的發生(*Expect risks to Occur*)
- 2) 誇大風險的潛能(*Exaggerate potential for risk*)
- 3) 針對風險進行教育與訓練(*Educate & train for risk*)
- 4) 強化/發展優勢(*Enhance (develop an edge)*)

5) 評估發生的風險(*Evaluate* risks as they occur)

5.1) 盡可能消除風險(*Eliminate* risks if possible)

5.2) 規避或孤立風險(*Elude* or isolate risks)

5.3) 交換/提出可行的風險補償措施(*Exchange* (Provide true risk compensation))

5.3.1) 運用現有資源(*Employ* existing resource)

5.3.2) 研擬替代性計畫(*Envision* an alternate plan)

5.3.3) 尋求或徵募所需外部資源(*Explore* or enlist external resource as needed)

6) 執行安全作為(*Execute* safety)

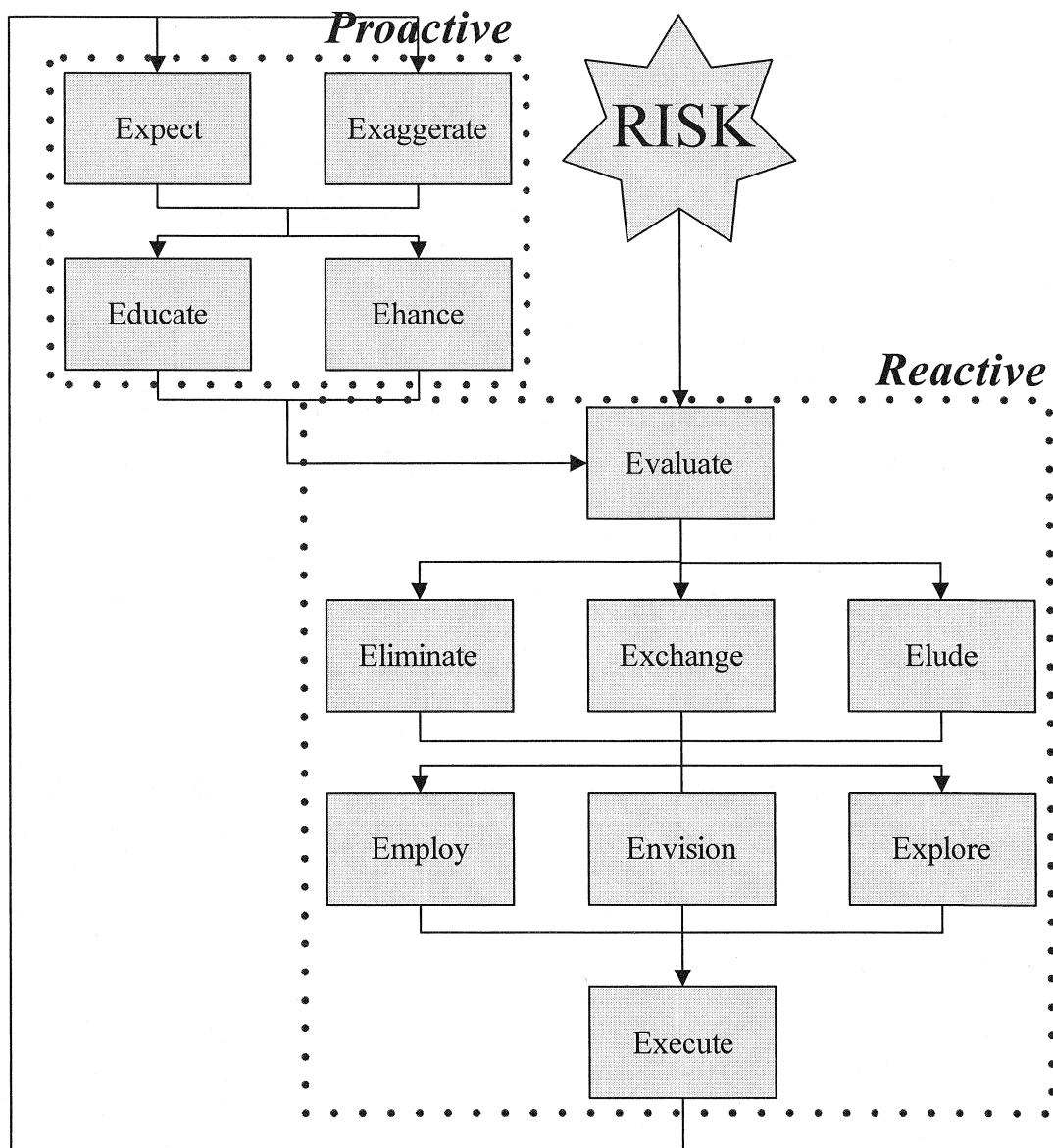


圖 2 風險消除方式與步驟

### 3. 結語

強化優勢是消除風險的主動且積極方式，其具體作法包括：明訂組員值勤規範、駕駛艙小睡制度、維持健康且適宜狀態、為具備先進駕駛艙的航機建立標準程序、確實執行各「關卡」(‘Gates’)要求、採行ALAR(Approach-and Landing Accident Reduction)建議事項與強化對周遭情境的察覺等。

其中，「關卡」(‘Gates’)係指繼續執行任務的必要條件：

- 1) 關卡一——起飛(Takeoff)，其必要條件為1.設定-檢查、2.檢查表-完成、3.天候-可接受、4.起飛與地形-簡報。

- 2) 關卡二——進場(Approach)，其必要條件為1.進場與地形-簡報、2.檢查表-完成、3.天候-可接受、4.航機外型、空速與下降率-正常、5.隔離間距-適當、6.無線電高度計(Radio altimeter, RA)-正常。
- 3) 關卡三——著陸(Landing)，其必要條件為1.檢查表-完成、2.著陸區-淨空、3.設定-檢查、4.跑道-正確且清楚、5.航機外型-正常。

此外，ALAR建議強化事項條列如下：

- 1) 標準作業程序與飛航組員決策步驟(SOP's & flight crew decision-making processes)。
- 2) 誤失進場(Missed approach)。
- 3) 不穩定與倉促進場(Unstabilized and rushed approaches)。
- 4) ATC服務與飛航組員間相互了解(Mutual understanding between ATC services & flight crews)。
- 5) 不足光線或低能見度、濕滑或其他污損跑道、以及出現視覺或生理上的幻覺(Low light and poor visibility, on wet or otherwise contaminated runways, & with presence of optical or physiological illusions)。
- 6) 無線電高度計(Radio altimeter(RA))。
- 7) 運用FOQA、ASAP、GAIN或BASIS等系統蒐集與分析各項飛航運作參數(Collection & analysis of in-flight parameters through programs like FOQA, ASAP, GAIN or BASIS)。
- 8) 民航資訊分享(Sharing of aviation information)。

「想像最壞的情況，然後盡力防止發生」，一如電影鐵達尼號的製作人—James Cameron，在拍攝超過6000個驚險場景僅發生3起受傷事件，寫下電影製作的安全紀錄。風險與資源管理為飛航安全的關鍵議題，在眾人的共同努力下，期許民航界亦能寫下傲人的安全紀錄。

## [文獻評析]

1. 本文強調在民航產業中不接受任何風險是錯誤的承諾，並由實務與理論提出風險的觀念，對於風險管理的精神有清晰且精闢的見解，值得作為風險管理者或研究者之重要參考。
2. 本文所提出的安全態度—A-T-T-I-T-U-D-E及風險消除的12項主動或被動

的步驟，順序性與邏輯性呈現安全思考與風險管理的步驟，可作為航空公司對於風險管理的自我評量工具，亦可作為建立專家決策模式之有利參考。

3. 由本文提出安全思考與風險管理的具體步驟可知，對於風險因子的管理為一連串的決策過程——包括消除、規避、交換、補償等手段；其中，各項手段的評估標準與施行門檻是此風險管理架構能否落實與發揮功效的關鍵，然而在文中並未詳述，值得進一步研究。

### [相關文獻]

Abbott, K. H. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999 , pp. 317-322.

CAA (2002), Safety Management Systems for Commercial Air Transport Operations- A Guide to Implementation, UK Civil Aviation Authority.

Matthews, S. (2003) "Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem," 12th Annual Taiwan Aviation Safety Conference.

McKellar, G. (1998), "Detecting and Eliminating the Hazard." IASS 1998, pp. 543-556.

Sumwalt, R. L. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999, pp. 343-376.



# Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem

Stuart Matthews

12th Annual Taiwan Aviation Safety Conference 2003

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

由系統安全的角度而言，人為疏失不應為肇事的因，而是系統組件發生誤失的果，所以為能有效防範應由管理、法規、規劃、設計、文化等潛在因素著手，如此方能有效抑制人為疏失的發生，落實飛航安全的確保。就安全的概念而言，管理者應對安全負責，由上而下貫徹，由領導者營造公司安全文化，管理階層進而設定安全政策並且負起責任。此外，良好的安全文化應該由上到下全員參與，讓所有人都了解安全是事業經營的關鍵，而且體認每個人對安全都有影響力。雖然，安全不是航空公司的主要業務，然而卻是成功的支柱，以及航空事業經營的核心價值，而消除人為疏失，一向為提升飛安水準最有力且有效的方式；因此，本文條列人為疏失防制方法，以作為飛安管理的參考。

## [內容]

### 1. 前言

自從1903年12月17日人類正式邁入飛航的時代，迄今一百年飛安仍然是最大的挑戰。以往認為事件的發生是一個黑箱，但隨著飛安研究的演進，吾人對飛航系統的了解也愈加清楚，亦體認到事件的發生並非突發，而是當危害發生後系統的各项安全防範措施又無法有效防治，致使事件發生(圖1)；此外，根據1982至1991的十年間國際全毀事件(Hull-loss Accidents)統計資料，平均每起失事事件約包含4.39個可避免的疏失，換言之失事事件並非隨機發生，而是由一連串的系統疏失事件所組成。雖然，全世界飛安失事發生率逐年下降趨於穩定，其安全水準已經相當高，然而隨著全球經濟景氣持續之復甦與成長，這表示如果失事率再不能有效降低的話，則總失事件數將會逐年遽增，15年後將達到現今的兩倍，造成更多人的傷亡(圖2)。因此，



飛安績效之提升與落實，不應僅從片面之疏失著手，需要妥善釐清飛航安全系統之全貌，如此方能有效減少失事事件的發生。

## 2. 議題

根據統計，由飛機航行歷程之裝(卸)載、起飛、初始爬升、爬升、巡航、下降、初始進場、最後進場與降落九個階段來看(圖3)，近五成失事事件集中在最後進場與降落之4%飛行時間裡，而且主要肇事型態為操控航機墜地(CFIT)、進場與著陸(Approach and landing)、操控失效(Loss of control)、人為疏失(Human Error)等，而且85%的意外失事事件皆與人為疏失有關。

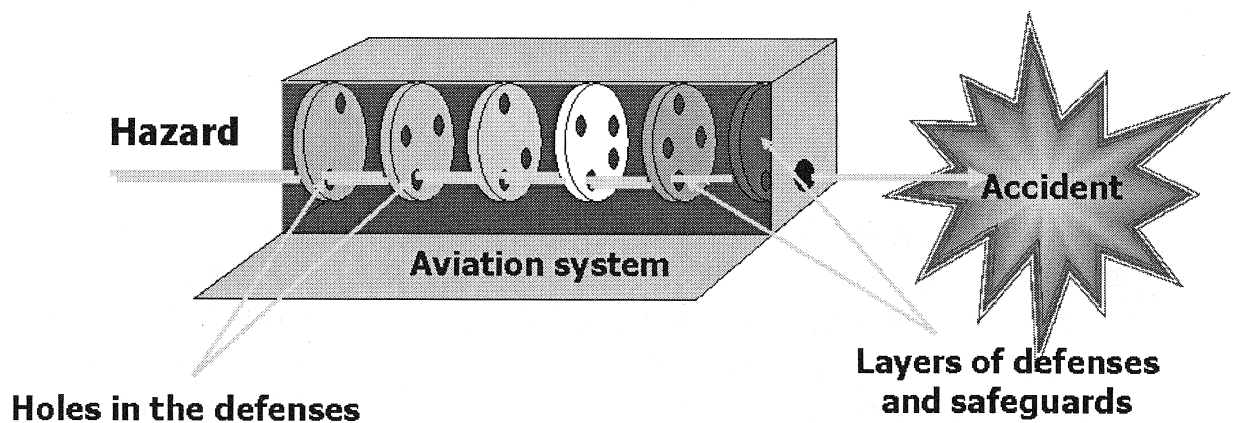


圖1 失事事件的形成

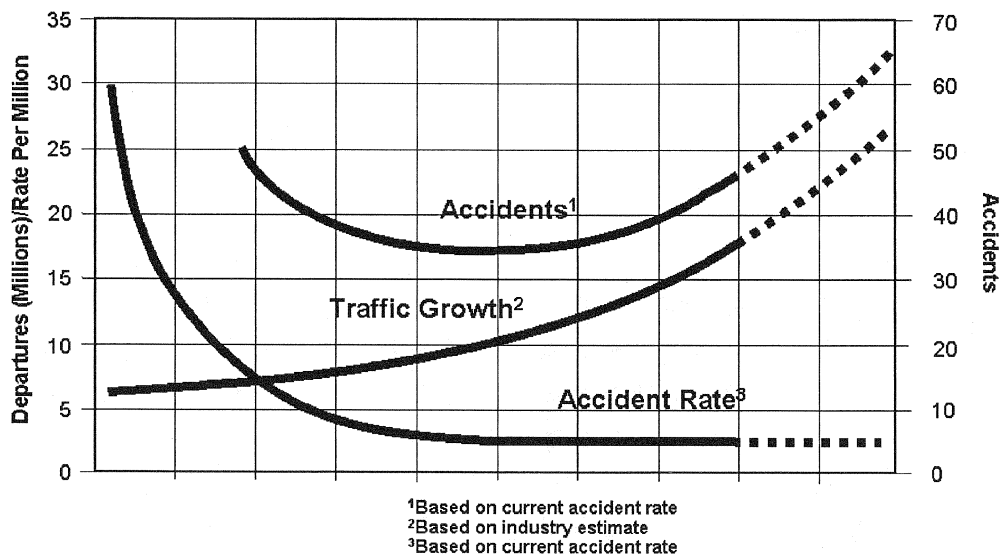


圖2 失事事件趨勢

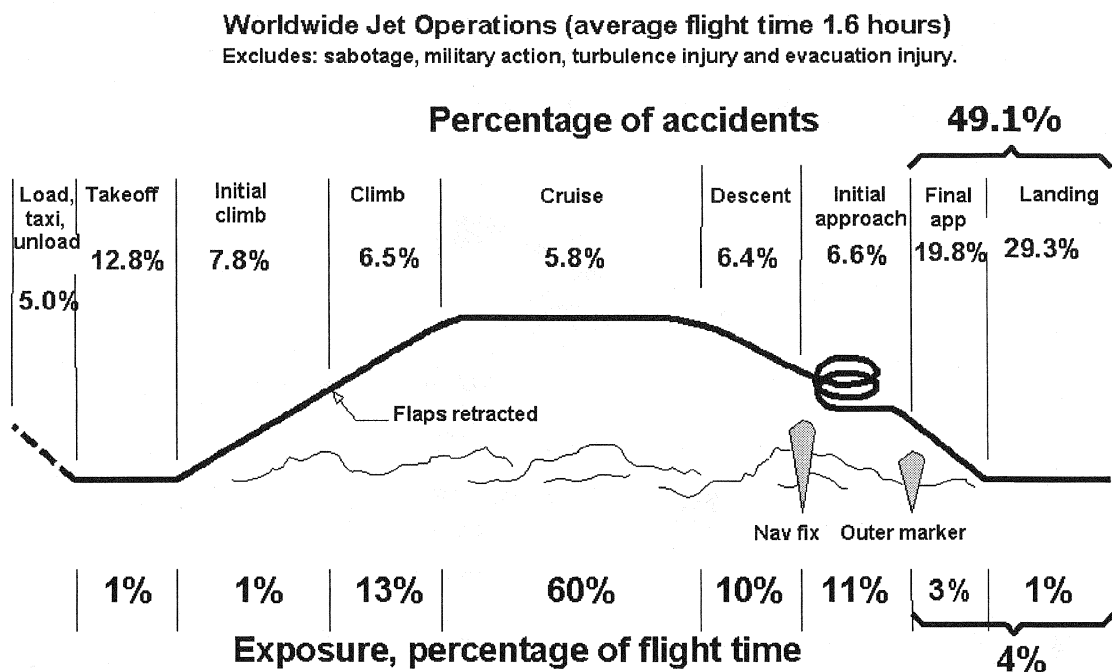


圖3 全毀失事飛行階段之比率

犯錯是人類的天性，常見的型態有三：1. 失誤(Slips)-想要做對的事，但卻採行錯誤的行動或錯估其後果的嚴重性，2. 疏忽(Lapses)-遺漏某些應做的項目，3. 誤解(Mistakes)-對狀況認識不清、誤判或對系統未能全盤瞭解；其他人為疏失尚有：預期的疏失(Error of expectation)、遺漏的疏失(Errors of omission)、違反規定(Violations)等。加拿大運輸部曾條列出12項導致人為疏失發生的原因，包括：自滿(Complacency)、分心(Distracted)、缺乏溝通(Lack of Communication)、疲勞(Fatigue)、壓力(Pressure)、緊張(Stress)、典範(Norms)、缺乏知識(Lack of Knowledge)、缺乏團隊合作(Lack of Teamwork)、缺乏資源(Lack of Resources)、缺乏自信(Lack of Assertiveness)、缺乏警覺 (Lack of Awareness)。

一般而言，失事的發生來自兩類疏失，其一為活動疏失，另一為潛在疏失(圖4)；前者導因於飛行員、維修技師、地勤人員、航管人員等線上工作人員，後者則可能為組織或系統內的其他人員。典型的活動疏失，如飛行員翼襟設定錯誤、進場圖誤解、TCAS警訊反應失當，維修技工O型環裝置錯誤、擋風玻璃螺栓裝置錯誤，地勤人員未確實關閉行李艙門、餐車操作不當撞擊機身等。而常見的潛在疏失，包括不適當的甄選、訓練、設施、設備與資源，或是不良的溝通、規劃、查核、督導與激勵。活動或潛在疏失的肇因，大多來自於個人(Individual)的知識、技術、能力、特質與在職訓練，環境(Environment)的天候、設備、任務、時間壓力、團隊活動、溝通、航機設計、維護手冊、飛航手冊，主管(Supervision)的規劃、組織、授權、指導、回饋、績效管理、團隊建立，組織(Organization)的理念、政策、程序、甄選、訓練、

持續改進，法令要求(Regulatory requirements)的營運與訓練標準等管理與系統性因素。一般而言，潛在疏失往往隱藏多年，直至其他易導致疏失發生的情境出現而觸發，而且系統內潛伏的潛在疏失遠較活動疏失來得多；因此，發掘並改善潛在疏失的效益亦遠較僅著墨於表面活動或線上疏失檢討來得顯著。

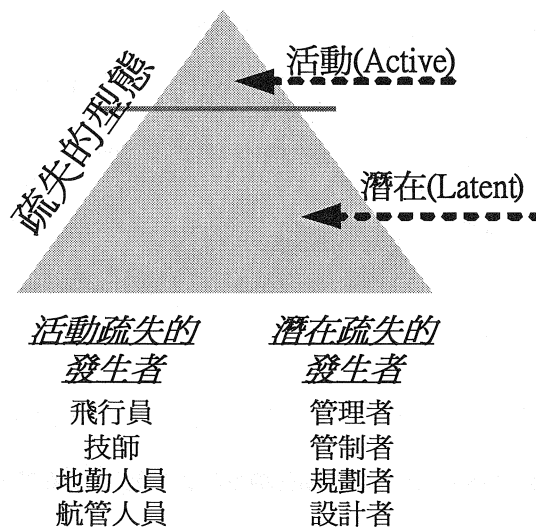


圖4 飛航系統的人為疏失

### 3. 建議

飛安基金會(FSF)提出安全的概念：1.管理者負有安全使命(Management is responsible for safety)、2.安全係發自上層(Safety begins at the top)、3.執行長制訂公司文化(CEO sets company safety culture)、4.管理者制訂安全政策(Management sets safety policy)、管理者應對安全負責(Management is accountable for safety)，上述四點亦為安全文化的基礎。就安全的概念而言，管理者應對安全負責，由上而下貫徹，由領導者營造公司安全文化，管理階層進而設定安全政策並且負起責任。良好的安全文化應該由上到下全員參與，讓所有人都了解安全是事業經營的關鍵，而且體認每個人對安全都有影響力；而良好的安全管理措施，應包含標準的作業程序、保密且免責的事件通報系統、獨立的監督與管理機制、充分的人員訓練與提供充足的飛安資源。如此即能營造良好的飛安環境與氣氛，使得潛在疏失與活動疏失大幅減少。

安全文化難以衡量，不過仍有些公認的正面指標，例如：執行長(CEO)必須有明確的宣示且知道與支持所言，不因時間改變的一致文化，全公司認知一同的文化；各向度有良好的溝通，標準作業程序(SOP)存在且確實施行，飛安主管直接向執行長報告。此外，安全並非航空公司的經營業務，然而若缺乏安全的飛航，則航空公司難以長久持續經營，所以安全是航空公司能否成功經營的支柱，可以節省資源與成本，以及降低事件風險以避免遭受傷害與危害。為能降低風險，航空公司需要營造

具有良好機制的飛安文化，包括適切的飛安品質保證系統(FOQA)、非懲罰性報告系統、標準作業程序、管理與獨立自我督導、全體人員訓練、飛安資源投入等。針對系統內的潛在疏失，有許多措施可以有效防範，綜整如表1所示。

表1 潛在疏失防制方法

項目	要件
環境 (Environment)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 符合工作所需的設備(Proper equipment for the job)</li><li>- 適切的設備維護(Maintain equipment)</li><li>- 控制危害：設計、程序、防護設備(Control hazards: design, procedures, protective equipment)</li><li>- 控制自然環境(Control physical environment)</li></ul>
標準化 (Standardization)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 清楚、明確、不模糊的程序(Clear, precise, unambiguous procedures)</li><li>- 降低法則外事物(Minimize exceptions to the rule)</li><li>- 一體適用(Available to all)</li><li>- 導入並由員工定期檢視(Input to and periodic review by employees)</li><li>- 明確的事件報告政策(Incident reporting policy is clear)</li><li>- 提供督導功能(Provide audit function)</li></ul>
人員甄選與指派 (Personnel Selection and Assignment)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 適宜的篩選(Appropriate screening)</li><li>- 選擇事宜任務的人選：生理、能力(Choose appropriate people for the task: Physical strength, Ability)</li><li>- 符合任務的技能或訓練(Match skills with tasks (or else train))</li><li>- 以具經驗人員替代新手 (Place new people with experienced people)</li></ul>
人員訓練與檢核 (Staff training and checking)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 適宜(Appropriate)</li><li>- 充足(Adequate)</li><li>- 合格(Tested)</li></ul>
充足的資源 (Adequate resources)	<ul style="list-style-type: none"><li>- 人力(Staff)</li><li>- 設施(Facilities)</li><li>- 資金(Funding)</li><li>- 時間(Time)</li></ul>
安全監督機制 (Safety Oversight Programs)	

表 1 潛在疏失防制方法(續)

獨立的飛安部門 (Independent Safety Department)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 失事與事件資料分析 (Accident and incident data analysis)</li> <li>- 保密且非懲罰的報告系統 (Confidential and non punitive reporting systems)</li> </ul>
參與業界安全活動 (Involvement in industry safety activities)	
溝通 (Communications)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 飛航與地面人員的安全刊物 (Safety Publications for flying and ground staff)</li> </ul>
標準作業程序 (Standard operating procedures (SOP))	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 謹慎發展 (Carefully developed)</li> <li>- 清楚陳述且無疑、完整 (Clearly written, unambiguous and complete)</li> <li>- 充分執行 (Fully implemented)</li> <li>- 絕對支持 (Strictly adhered to)</li> </ul>
管理人員 (Supervision)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 訓練充足 (Trained)</li> <li>- 經驗豐富 (Experienced)</li> <li>- 了解政策 (Know policies)</li> <li>- 了解程序 (Know procedures)</li> <li>- 主動督導 (Actively supervise)</li> <li>- 提供指導與協助 (Coach and help)</li> </ul>

#### 4. 結語

由系統安全的角度而言，人為疏失不應為肇事的因，而是系統組件發生誤失的果；飛行員、技師、地勤人員、航管人員之所以犯錯，係肇因於管理者、管制者、規劃者與設計者，所以為能有效防範人為疏失的發生，應由管理、法規、規劃、設計、文化等潛在因素著手，如此方能有效抑制人為疏失的發生，落實飛航安全的確保。換言之，為能有效降低飛安風險，組織各層級人員，不論是資深管理人員、線上管理人員、查核人員與品管人員、作業人員，皆應同心協力、共同戮力。

#### [文獻評析]

1. 本文提供充足且完整的飛安管理概念，深入淺出的介紹與精簡的統計數據，不僅讓初學者能容易掌握系統安全的理念，亦能讓資深人員深思系統的潛在問題所在，提供研究或管理的思考方向。

2. 本文清楚闡釋活動疏失為導致航機失事的主要原因，然而活動疏失僅為航空公司飛安系統的最後產物，真正影響飛安系統良莠的關鍵在於飛安機制、環境與氣氛，亦即對於潛在疏失的消除與控制。因此，積極的飛安管理手段，應從系統內部著手，如此方能發揮顯著的效果。
3. 本文一再重申，雖然安全不是航空公司的主要業務，然而卻是成功的支柱，以及航空事業經營的核心價值。而消除人為疏失，一向為提升飛安水準最有力且有效的方式。本文對於安全重要性的強調與重視，值得學習與持續努力。
4. 本文針對安全文化的特性與良好文化的特質作一綜整性敘述與探討，值得作為航空公司建立良好飛安文化或研究人員評量飛安文化狀況的參考。
5. 本文針對個人、環境、主管、組織與法令要求等層面，廣泛性探討系統內潛在疏失發生的可能原因，並提出相關建議，但是缺乏系統性與層級性整理，而且對於各層面的交互影響關係並無深入說明。
6. 概略性提及飛安文化的特性與良好文化的特質，對於相關績效指標與評量方式並未提及，所以在實際應用上仍待進一步研究。
7. 就系統安全的關點而言，人為疏失為系統的產出或表徵，本文的議題為人為疏失探討，所以對於系統內潛在疏失專注於領導者、管理者與督導者的作為上，至於航空公司飛安系統設計、組織架構、事業經營等實體層面的議題較少提及。

## [相關文獻]

Abbott, K. H. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999 , pp. 317-322.

Baker, R. (2003), "Creating a Positive Safety Culture in Corporate Aviation." CASS 2003, pp. 207-222.

CAA (2002), Safety Management Systems for Commercial Air Transport Operations- A Guide to Implementation, UK Civil Aviation Authority.

CAA (2002), Fundamental Human Factors Concepts, previously ICAO Digest No. 1, UK Civil Aviation Authority.

CAA (2002), Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection, previously ICAO Digest No. 12, UK Civil Aviation Authority.

Heinrich, D. (1999), "Aviation Risk Management." CASS 1999, pp.25-37.

McKellar, G. (1998), "Detecting and Eliminating the Hazard." IASS 1998, pp. 543-556.

Pooley, E. (1998), "Putting Air Safety Management into Practice in a Medium-sized Airline." IASS 1998, pp. 447-459

Sumwalt, R. L. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999, pp. 343-376.

王小娥、陸鵬舉、陳啟昭、潘義鈺 (2003)，機師族群對公司組織氣候和安全氣候與航務滿意度關聯性之研究，民航季刊，第五卷，第一期，頁1-34。

程千芳 (2003)，「安全文化和失誤管理」，空軍學術月刊542期。

傅健康 (2003)，「人為疏失管理與飛航安全」，空軍學術月刊558期。

# Detecting and Eliminating the Hazard

Gavin McKellar

51st Annual International Air Safety Seminar, 1998, pp. 543-556.

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

本文釐清事件調查與事件預防的差異，進而探討各類不同類型的事件與其發生比例，說明失事事件與意外事件僅為眾多事件的冰山一角，應深入系統內部探索並消除各項危險因子，方能確保系統安全。接著，針對缺乏正式的危害偵測系統(No Informal Hazard Detection System in Place)、航機操控墜地(Control Flight into Terrain, CFIT)、非精確進場(Non-Precision Approaches)、不穩定進場(Uustable Approaches)、進場與著陸(Approach and Landing)、貨機與定位飛行(Cargo/Freight/Ferry and Positioning Flights)、飛越非洲大陸(Flying over Africa)、發展中國家(The Developing World)、民航系統(Aviation System)、誤擊事件(Shooting Down of Aircraft)、不法行為干預(Acts of Unlawful Interferences)、組員管理(Crew Management)、組員疲勞(Crew Fatigue)、系統缺陷(Deficiencies in the System)等可能危險因素加以說明並提出相關改善建議，以作為飛安管理者與研究者的參考。

## [內容]

### 1. 前言

在方程式中察覺問題或許是件較容易的事，而設計一套能記錄潛在事件並消弭於未然則是一門精緻的藝術，只要願意試圖使已經相當安全的民航業界再更安全一些，吾人在部分事件預防領域還能做得更多並獲致成效。

### 2. 事件調查與事件預防的差異

大多數的國家皆設有調查失事事件的系統，但為能更主動與積極則應該著重於事件的預防，亦即將焦點置於未來可能發生的危險上。好的事件預防系統能為納稅人在每起事件後省下約 5 百萬美元的調查成本，更可为航空公司省下鉅額的保險費用。航空事件的失事率相當穩定，大約為每百萬起降 1.5 次，然而隨著航班數的增



加，若不能更有效管理與控制飛安事件將造成更多的事件與損失。

由於飛航安全為一複雜的系統且事件的發生往往不單肇因於一項疏失，傳統的統計方法並無法有效探索事件的成因，唯有更深入整體系統內部、釐清其內含的各項繁雜因子，方能獲致實質的成效。因此，決策者必須體認事件預防的重要性及其對航空公司安全的效果，採取更積極的立場且投入各項可用資源。

事件可以在發生前就展開調查，此種錯誤預防機制可以修正具有潛在危險的人為因素、組織管理、甚至整個系統。在事件發生後，各項調查往往得到的是事件預防的經驗而非實質的教訓，所以如何在事件發生前思索改善的方法，遠較於事後探討來得有效。

### 3. 潛在的事件

國際飛行員聯合會(International Federation of Air Line Pilots, IFALPA)使用「近乎失事」(near accident)表示一起失事事件快要發生的狀況，現在則改為採用國際民航組織(International Civil Aviation, ICAO)所稱的「嚴重事件」(serious incident)。Frank Bird 的三角圖形顯示失事事件、意外事件與潛在事件間的關係，傷亡失事事件(Fatal Accident)、失事/意外事件(Accident/ Incident)、財損事件(Property Damage)與危害/ 近乎失事(Hazard/ Near Accident)，四者發生次數之比值約為 1:10:30:300-600(圖例)；其中，傷亡事件發生比率占不到所有事件的千分之二，僅為所有飛安問題之一角。因此，若能深入調查三角形下層的潛在問題並抑制其發生，則失事事件將得以預防。

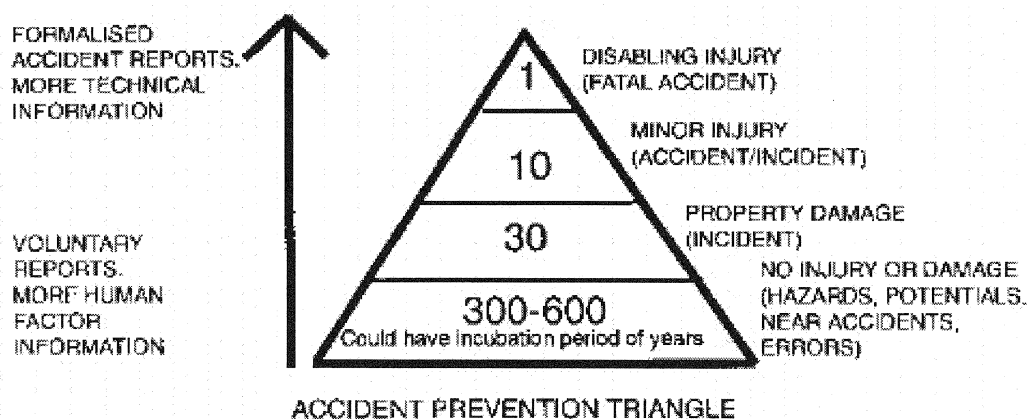


Figure : Frank Bird's Triangle (adapted version)

### 4. 危害的偵測與消除

以下提出綜整事件調查後所得的各種可能危害及其消除方法，提供作為各界之

參考：

#### 1) 缺乏正式的危害偵測系統(No Informal Hazard Detection System in Place)

民航系統中的每一份子，從管理高層到飛航組員與行政人員皆應通報各項觀察或遭遇的危害，若決策者能取得各項立即性的潛在事件通知，將能適時採取各項預防措施並發揮實質效果。

此種危害通報系統是各公司皆應具備且為良好飛安文化的表徵。通報系統必須讓全體人員知悉其運作方式且其所通報的各項資訊為保密、匿名且非懲罰，而且各項資訊的獲得與使用必須具立即的時效性。高比例的事件成因皆為人為因素，而良好的危害通報系統正可以協助管理者發掘各種人為錯誤，進一步管理與降低風險。

若各公司與單位能公開交流與分享各項飛安資訊，而且除飛行員的報告外亦重視其他人員提供的資訊，則整體系統的效益將更充分發揮；此外，管理者應營造良好的事件預防文化，探討事件的成因而非責難肇事者。飛安報告系統應整合各項獲取危害資訊的管道，包括機長飛航報告、檢討會與意見調查等。另一個消除潛在失事的方法為嚴重事件(serious incident)的調查，並且如同 ICAO 13 號附錄 (Annex 13) 所強調的，將嚴重事件視同失事事件般的緊急且重要，如此將能防止失事與慘劇的發生，提升民航系統的安全與效率。

#### 2) 航機操控墜地(Control Flight into Terrain, CFIT)

CFIT 依舊是飛航事件的首位，飛安基金會(FSF)所發展的 CFIT 檢核表可以協助飛行員發掘潛藏在飛航中的危害因素。IFALPA 是第一個察覺 CFIT 嚴重性的單位，並在 ICAO 的支助下已獲致顯著的成果。強化型地面接近警示系統(Enhanced Ground Proximity Warning System, EGPWS)或其他類似的裝備，可以為飛行員爭取多 60 秒的警示時間與 30 秒拉高航機的時間；雖然，飛行員能察覺 CFIT 的嚴重性，但是要能落實其管理則需仰賴公司或政府的決策者。

#### 3) 非精確進場(Non-Precision Approaches)

非精確進場比一般精確進場所面臨的風險約高五倍，自 1988 年 7 月至 1996 年 12 月底共發生 35 起民航機操控墜地的事件，其中僅有 3 起發生在精確進場的狀況，約 75% 的進場與著陸失事事件為未使用或無法使用精確進場模式。運用 CFIT 教育與訓練的輔助系統，可以有效減少此類事件的發生。

#### 4) 不穩定進場(Uustable Approaches)

在 1988 到 1997 年間的 203 起進場、著陸與重飛的事件中，有三分之一為不穩定進場，其原因大多為減速過快(off speed fast)、外型不正確(improper configuration)、下降率過大(high sink rate)與脫離導航信標(off localizer)等。

有許多的方式可以用以消除不穩定進場，包括 CRM、SOP、訓練課程、進場航圖設計等。機上的監視系統，如南非航空的 AIMS 系統，可以顯示與紀錄不穩定進場的時間與原因，並作為檢討與改進的依據。

#### 5) 進場與著陸(Approach and Landing)

根據全球商用客機失事統計資料，44.6%的全毀事件發生於進場與著陸階段，預計到 2010 年，495 起傷亡事件將有 23 起為進場與著陸失事(approach- and-landing accidents, ALA's)。若能適切運用 FSF 的建議報告或使用 ALA 檢核表，則進場與著陸事件將可以大幅減少。

#### 6) 貨運/運渡與定位飛行(Cargo/Freight/Ferry and Positioning Flights)

此類飛行方式的失事率一般為其他飛航的 8 倍，其危害因素的消除可仰賴政府規範的法令，以及適當的程序、設備與訓練。

#### 7) 飛越非洲大陸(Flying over Africa)

根據多年前對 747 事件預防的意見調查中發現，有四分之一的回覆者反應對飛越缺乏管制與溝通不良的非洲大陸感到擔憂，IFALPA 與其他團體——如 IATA，開始以積極的態度因應此一情況並著手加以改善。儘管，當地遭遇的大多數危害與缺失屬技術性問題，不過其根本原因往往屬於非技術性問題，如政治、社會與經濟。

IFALPA 積極的參與並盡可能提供建議與解決方案，而且改善措施仍須仰賴決策者方得以施行，雖然在 ATC 系統已做了相當的改善，不過非洲大多數的地區仍被認為其航管系統相當不充足。

#### 8) 發展中國家(The Developing World)

在 1992 年飛安基金會(FSF)的年會中指出第三世界國家的運量僅全世界總飛航班次的 12%，但其發生的事件數卻高於其他地區的總和，而由 1986-1996 年波音公司(Boeing)的統計資料顯示，全世界的平均失事率為每百萬架次 1.5 次，然而非洲大陸的失事率卻是其 7 倍為每百萬架次 10.7 次，接著是其他發展

中國家—拉丁美洲與哥倫比亞地區為每百萬架次 4.5 次，而中國大陸為每百萬架次 4.2 次。雖然，許多組織已採行各種措施，試著幫發展中國家消除危害與減緩問題，不過此些國家的成員卻不如已發展國家來得關切與投入。

#### 9) 民航系統(Aviation System)

ICAO 已經明訂民用航空必須遵行的標準與建議—SARPS，當 ICAO 強制執行時，各會員國必須遵守各項程序且依時間進度執行，以提升整體民航運輸的安全。各項嚴重事件必須通報與調查，而失事事件更須公布明確的改善建議與施行措施，而為何部分改善建議可能無法執行的原因也應公布。失事調查報告必須在事件發生後一年內公布，否則仍應發佈暫時性報告，告知事件處理進度，以及已經或將要執行的改善建議。調查本身應該與立法及司法分開，除非蓄意的犯罪行為外，這些報告並不是為了起訴飛行員的過失，而是為了預防類似事件的再發生。

#### 10) 誤擊事件(Shooting Down of Aircraft)

在 1988 年共發生三起誤擊事件，共造成 300 人罹難，接下來的九年期間平均為每年 1.77 次與 34 人死亡。ICAO 致力於此項事件的預防，積極增加民航與軍方的合作，在 1997 年並無此類事件發生，更期能從此消弭誤擊民航機的事件。

#### 11) 不法行為干預(Acts of Unlawful Interferences)

在 1988、1989 與 1990 三年間，分別有 303、284 與 241 人在此類意外中喪生，所幸在 ICAO 的努力下，1991-1997 的七年間，此類事件的死亡人數總和降為 200 人。安全的考量依然存在，IFALPA 與其他組織仍將深入探討此一逐漸升高關切的課題，將施行更多防治措施以杜絕不法干預的行為。

#### 12) 組員管理(Crew Management)

機艙組員在二十多年前開始接受 CRM 訓練，組員管理在民航中依然具正面的影響力，但僅為局部而非全面。事件調查報告中的建議事項往往包含 CRM 的議題與強化 CRM 的作法，不過到底有多少建議確實被執行則不禁令人生疑。本人相信 CRM 對安全改善的效益，建議政府與公司應採納各項 CRM 的改善建議，並公布已執行的項目與未執行的原因；此外，許多組員認為 CRM 的原則可以在公司管理上應用，如此將可更提升公司整體飛航安全水準，亦即將組員資源管理的組員(crew)一詞拓展為公司(company)。

### 13) 組員疲勞(Crew Fatigue)

疲勞確實是導致組員犯錯的主要原因，由於疲勞使生理特性難以運用文件化的方式加以規範，特別是在組員逐漸減少的情況下。疲勞的現象通常在飛航最後的進場與著陸階段出現，也是飛航事件發生比率最高的階段，這也是為何倦怠與疲勞是最糟糕的危害因素之一。

疲勞的最佳消除方式為休息，所以飛行與值勤時間必須被嚴格限制。美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)所出版的商用民航值勤與休息排班準則與方針(Principles and Guidelines for Duty and Rest Scheduling in Commercial Aviation)，對於此一議題的處理相當有助益，決策者執行必須體認並確實採行。

### 14) 系統缺陷(Deficiencies in the System)

系統缺陷在事故報告、研討會文章與安全相關刊物中常常出現但鮮少被提及。飛航組員因為位於飛航運作的最前端，能提供最直接且有價值的訊息給予決策者，其觀點可靠且重要，所以應被准許參與事件調查與預防的過程。

對於系統缺失的改進有許多作法，南非航空公司的飛行員協會最近與公司的新任執行長會面，認為公司與飛行員若能密切合作將可為公司帶來可觀的效益。此種作法聽起來簡單，但是常常有部分公司並未確實執行。例如：FAA 的研究報告指出，飛行組員與客艙組員的工作具有相當大差異，在沒有受過訓練前怎能要求他們能適切合作？溝通是最最重要的關鍵，促使彼此交流想法進而消除歧見。此外，組員在動態的環境中進行決策必須依靠最精確的事實，若能由事件報告及他人經驗分享中學習得越多，則越能在面臨突發狀況時採取正確的決斷。

## 5. 結語

有許多不同的方式可以偵測與消除危害因素，尤其是當組織建立正確的事件預防文化後更可發揮其效益，而透過分享的過程可以使所有人皆受惠。業界的決策者必須以飛航安全為目標，也唯有一同合作方能使事件發生率再次降低；以往的經驗也顯示，當民航業界各份子能共同團結合作則任何問題——如航機操控墜地、風切、進場與著陸等議題，都可獲得實質性的解決，使得飛航運作更為安全。

## [文獻評析]

1. 本文提供充足且完整的飛安管理概念，深入淺出的事件調查與事件預防的特點與差異，以及事件發生的本質，不僅讓初學者能容易掌握系統安全的理念，亦能讓資深人員深思系統的潛在問題所在。
2. 作者就個人豐富的調查經驗，提出各種潛在的危害因素及其相關改善措施，以及資訊分享與團結合作對民航產業的實質效益，值得我國產、官、學各界深思與學習。
3. 作者對個人、環境與系統提出諸多危害因素並提出相關建議，但是其問題點仍著眼於事件與疏失本身，對於其潛在肇因並無深入探討，而且缺乏系統性與層級性整理。
4. 概略性提及危害改善的建議，對於具體作法與實際成效並未提及，而且大多的建議事項均為國際民航團體所提出，航空公司的具體作為更是鮮少提及，所以在實際應用上仍有差距。

## [相關文獻]

Abbott, K. H. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999 , pp. 317-322.

CAA (2002), Safety Management Systems for Commercial Air Transport Operations- A Guide to Implementation, UK Civil Aviation Authority.

Heinrich, D. (1999), "Aviation Risk Management." CASS 1999, pp.25-37.

Matthews, S. (2003), "Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem," 12th Annual Taiwan Aviation Safety Conference.

Sumwalt, R. L. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999, pp. 343-376.



# Models of Threat, Error, and CRM in Flight Operations

Helmreich, R. L., Kline, J. R., and Wilhelm, J. A.

10<sup>th</sup> International Symposium on Aviation Psychology, 1999, pp.  
677-682.

## [英文摘要]

Issues in Crew Resource Management (CRM) are discussed, including its definition and primary goals of recognizing and managing threat and error. CRM is a component of an organization's safety efforts and must be driven by valid data on operational issues. Data requirements for a safety culture include proactive information on crew behavior. The use of non-jeopardy, Line Operations Safety Audits (LOSA) to document threat, error, and crew behavior in line operations is discussed. Models of threat and error in the aviation system are presented, based on LOSA data from three airlines.

## [中文摘要]

本文主要探討組員資源管理(CRM)的相關議題，包括其認知與管理威脅及風險的定義與主要目標。組員資源管理為組織安全作為的一環且必須仰賴運作上的可靠資料，而營造安全文化所需的資料要求則包括組員行為的主動資訊，所以使用非責難的線上運作安全督導(LOSA)方式來記載線上運作發生的威脅、錯誤與組員行為，成為值得探討的課題。因此，本文將運用取自三家航空公司的LOSA資料，呈現本研究針對民航系統所構建的威脅與錯誤模式(Models of threat and error)。

## [內容]

### 1. 前言

雖然，組員資源管理計畫的原意是用於減少駕駛疏失所導致的飛航失事，不過多年後其既有的目的已被淡忘。此一原因或許是因為相關訓練議題已超出駕駛艙的範疇，廣泛融入客艙、維修與簽派 (Helmreich & Foushee, 1983; Helmreich,



Merritt, & Wilhelm, 1998; Helmreich, Wilhelm, Klinec, & Merritt, in press)；例如：以往CRM被定義為提升機艙內團隊合作的對策，然而當有效的團隊合作演變為理所當然地需要重視，則此項便不再會成為CRM的主要目標。此外，有效的CRM機制的次要效益是提升道德與強化運作的有效性 (Helmreich & Merritt, 1998)。

對於CRM的評論往往缺乏對其機制演變的認知。部分人謹慎地設計與反省自身組織文化，其餘的僅是順從規範要求去執行，卻忽略了好的計畫應是可衡量組員績效且發揮正面影響效益，進而達到安全的境界。有人主張CRM訓練應該剔除，因為它已經完全融入所有的技術性訓練中；不過，其實CRM計畫已經融入飛安部門、飛航訓練與飛航運作的交互介面中，不斷仰賴運作上資料的回饋而持續發展訓練課程。因此，CRM不應只視為短暫且片面，而是安全文化中關鍵且應持續存在的要素。

CRM技術提供一道對抗飛航系統中威脅安全與人為疏失的主要防線。現今CRM訓練的發展立基於精確的資訊系統反應組織的優勢與劣勢，亦由於對安全議題有著縝密與完整的知識，組織得以採取適合的主動矯正行動。主要的資訊來源有五：1. 正式的績效評估、2. 事件報告、3. 組員意見調查、4. FOQA、5. LOSA，而本文將主要的焦點置於最後一項。

LOSA的特性與價值在於藉由專家的觀察，蒐集組員在一般飛行任務中所表現的行為與所面臨的情境，進而運用Line/LOS檢查表將所觀察的飛航威脅、因應方法、管理方法與駕駛員行為等加以紀錄。LOSA的資料提供系統運作的完整圖像，可以作為安全、運作與訓練等策略擬定的方針；此外，LOSA的資料是主動且可立即使用於事件防治。德州大學的LOSA計畫迄今已有八家公司參予、累計超過3500個飛行航次，本文主要所使用的資料源自最近研究的三家公司——包含國內與國際航線、本國籍與非本國籍航空公司，藉此深入探討威脅認知與錯誤管理等議題。

## 2. 方法

### (1) 威脅與錯誤管理模式(The Model of Threat and Error Management)

資料若能與理論或概念性架構相吻合，則能發揮其價值與效益。因此，研究團隊發展一套民用航空通用的威脅與錯誤模式，如圖1所示。此一模式認為飛行組員執行飛航任務之結果(outcomes)，決定於組員資源管理之行為(CRM Behaviors)，而組員資源管理之行為又受到外在威脅(External Threats)與內在威脅(Internal Threats)等因子之影響。其中外在威脅包括預期的事件/風險(Expected Events/ Risks)、非預期的事件/風險(Unexpected Events/ Risks)與非機艙內之外部錯誤(External Error)等三項，第一項指飛航地形、預估天氣與機場條件等，第二項指ATC指令、飛航系統故障與飛航操作壓力等，第三項指ATC、航機維護與簽

派作業等；而內部威脅則指機艙內飛航組員所犯之錯誤。來自機艙外部或內部的威脅，受到組員資源管理行為(CRM Behaviors)之防衛並持續修正，若成功阻止則達到安全的飛航狀況(A Safe Flight)。

然而，組員可能由於對外部威脅或外部錯誤的認知採取錯誤的反應，陷入錯誤的偵測與反應行為(Error Detection and Management Behaviors)，甚至可能忽略其他突發的外部威脅因子。此時，組員資源管理行為將再次成為最後一道防線，若成功阻止則錯誤獲得適切管理與控制，則可恢復安全的飛航狀況(Recovery to a Safe Flight)；若此一防線被突破，則可能增加額外的錯誤(Additional Error)，或是直接導致意外/失事事件(Incident/Accident)之發生。

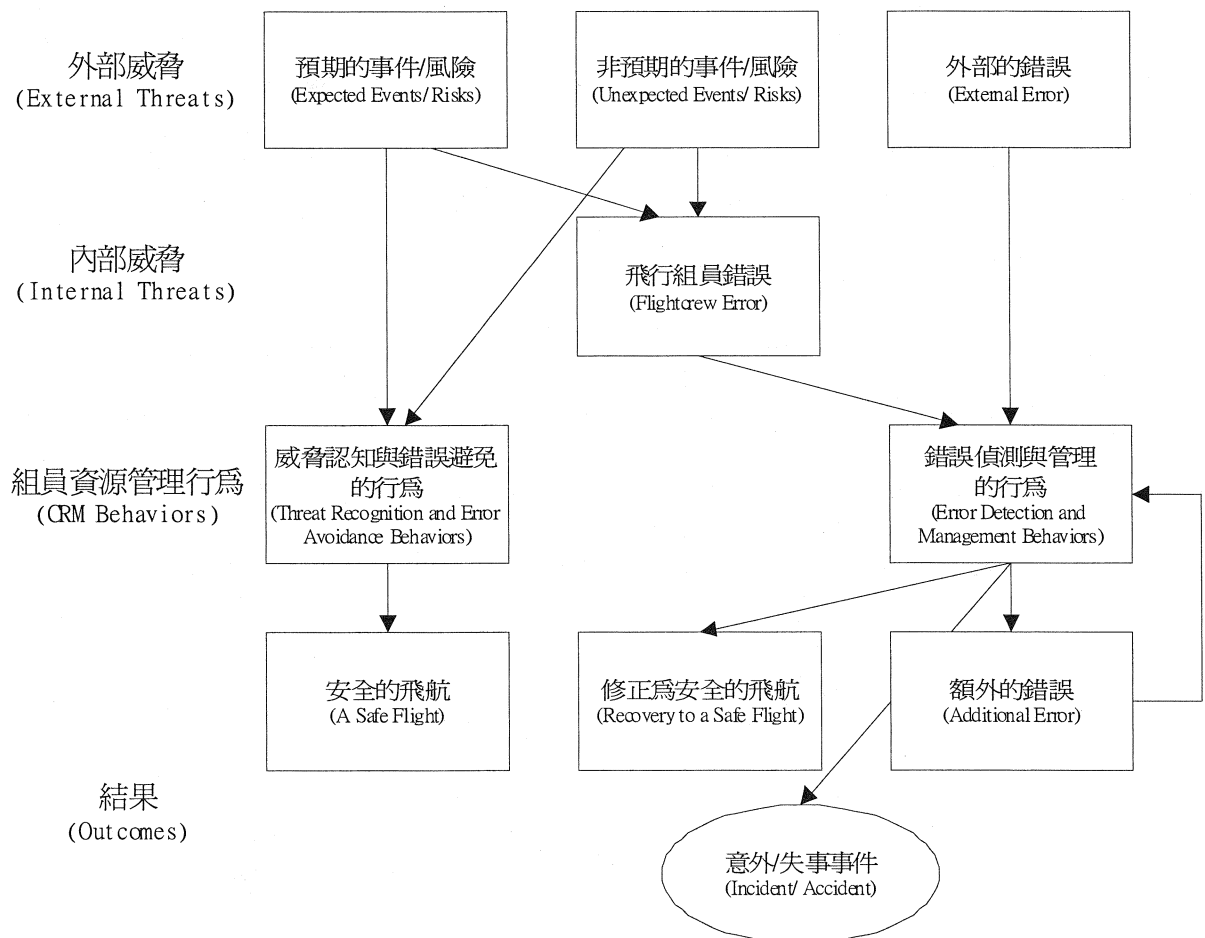


圖1 飛航組員錯誤管理模式

## (2) 飛航組員錯誤管理模式(The Model of Flightcrew Error Management)

三分之二以上的事件被指與飛行員疏失有關，所以機艙內發生的錯誤在失事調查中最被重視(Helmreich & Foushee, 1993)。本研究的分析將航空領域的各種錯誤重新分類與定義，在操作上飛行組員錯誤(Flightcrew Error)被定義為「組員作為(action)或不作為(inaction)而與組員或組織的意圖或期望發生偏差」，並可分為五種不同錯誤型態：

- 1) 蓄意不服從的錯誤(Intentional noncompliance errors)—故意違反標準作業程序或法規。
- 2) 程序錯誤(Procedural errors)—遵行法規或程序所發生的失誤(Slips)、疏忽(Lapses)與誤解(Mistakes)。
- 3) 溝通錯誤(Communication errors)—組員間或組員與外部(如ATC)間所發生不正確的訊息傳遞或解讀。
- 4) 專業錯誤(Proficiency errors)—知識缺乏或技術不純熟。
- 5) 決策錯誤(Operational decision errors)—未遵守法規與程序而任意決斷以致徒增不必要的風險。

對於組員對錯誤的反應及錯誤導致的結果，可分為三種錯誤反應：

- 1) 制止(Trap)—在造成後果之前錯誤被偵測及管理。
- 2) 惡化(Exacerbate)—錯誤被偵測，但組員的作為或不作為導致負面的結果。
- 3) 未有反應(Fail to respond)—由於對於錯誤未能偵測或忽略，使得組員未能針對錯誤有所回應。

以及三種錯誤結果：

- 1) 無後果(Inconsequential)—該錯誤對飛航安全毫無影響，或是被組員成功管理。
- 2) 不想要的狀況(Undesired aircraft state)—該錯誤使得航機處於風險增高的情況。
- 3) 額外的錯誤(Additional error)—該錯誤的反應增加了額外的錯誤，再回到初始的組員反應循環。

其中，不想要的情況又可能被 1)消除(Mitigated)、2)惡化(Exacerbated)、3)未有

反應(Fail to respond), 其結果亦可能為1)復原(Recovery)、2)額外的錯誤(Additional error) 、3)組員導致的意外或失事事件(crew-based Incident/Accident)。

上述模式可以用於分析所有錯誤、反應與結果的型態, 亦可評估防範措施(如CRM行為)成功或失敗的效果, 此種錯誤分類方式不僅能作為組織反應錯誤的方針, 亦可提供作為訓練的各種情境分析。完整的錯誤管理模式如圖2所示。

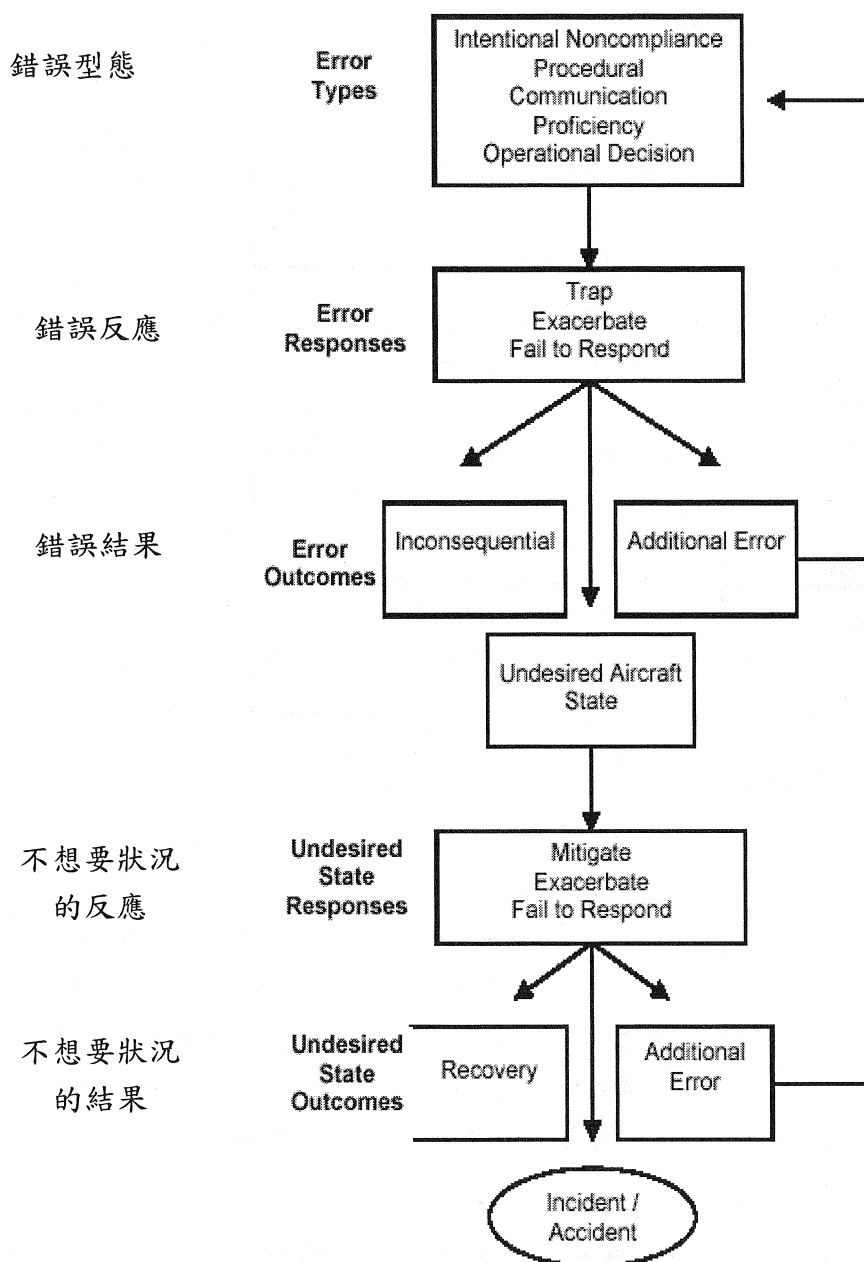


圖2 飛航組員錯誤反應模式

透過三家公司施行LOSA的分析結果發現，圖表3與圖表4的數據顯示不同公司與機隊間有著非常大且顯著的差異。

		Airline A	Airline B	Airline C
每航段威脅數	Threats per segment	3.3	2.5	0.4
每航段錯誤數	Errors per segment	.86	1.9	2.5
錯誤管理 %	Error Management - % consequential	18%	25%	7%

Figure 3. Threats and errors in three airlines.

Aircraft	Intentional noncompliance	Procedural
Advanced Tech. Fleet #1	40%	31%
Advanced Tech. Fleet #2	30%	44%
Conventional Tech. Fleet #1 — 3 person crew	17%	55%
Conventional Tech. Fleet #2 — 2 person crew	53%	20%

Figure 4. Percentages of error types within fleets in one airline.

### 3. 應用

不同於意外與失事事件調查僅提供災害或近於災害的資訊，LOSA資料提供一般飛航運作的清晰圖像，可在不同環境或機隊條件下評量組織內部風險水準，亦可作為組織建立安全文化的可靠依據。上述組織間與機隊間的差異數據提供幾項重要的意涵：首先，公司不能假定其運作與業界的基準資料相當，因為不同的運作環境顯示出相當大的差異，即便同一公司亦由於不同市場所配置的機隊而有所不同。

本文所闡述的兩個模式提供探討風險來源與錯誤管理等相關訓練的有用架構，而模式及其資料亦清楚呈現CRM在避免風險與管理錯誤的成效。此外，相關資料在LOFT訓練應用上，可提升與強化組員在模擬的情境中對威脅的認知與

處理能力。

蓄意不服從的錯誤(Intentional noncompliance errors)必需特別注意，畢竟沒有公司能在法規與程序受到完全漠視的情況下仍能安全運作。此情況常發生在文化上具強力領導風格，亦或是法規與程序在設計上有缺失或不適當；更甚者，可能兩項問題同時存在。程序錯誤(Procedural errors)可能反映的是SOP設計不良，或是基本的CRM行為未充分展現，而許多溝通錯誤(Communication errors)往往發生於未確實施行CRM準則，例如未確認交流的訊息。專業錯誤(Proficiency errors)表示駕駛員在實際執行線上飛航前，應接受更廣泛的訓練，而決策錯誤(Operational decision errors)則顯示駕駛員未有充分交流與評估各自所認知的環境風險，或是缺乏再次的審慎思考。上述錯誤，皆可由完整的LOSA資料中發現，進而以案例做為宣導或訓練的教範。

若組織欲營造安全的文化，就必須適當處理LOSA或其他資料來源所發現的議題，具體作法可能包括重新修正程序、改變技術訓練種類與範疇、改變航機排班與人員排勤、建立或強化飛安部門等等，LOSA資料庫可以作為管理者思索組員面臨的威脅及研擬有效的因應對策，並可作為決定改善策略施行先後之依據。目前LOSA的發展趨勢，為運用LOSA的概念性架構發展新的自願性事件通報表單，後續將延伸整合FOQA、考核與訓練的資料，發揮資料庫整合的效益，達到事件預防的目的。

#### 4. 結語

航空公司應在最佳的可能資料下建立積極性安全文化，其基本措施：

- 1) 建立信任。
- 2) 對於錯誤(不包含蓄意違反的錯誤)採行可靠、不懲罰的政策。
- 3) 採行減低錯誤發生環境作為的承諾宣示。
- 4) 蒐集能呈現錯誤本質與型態的連續性資料。
- 5) 對組員提供威脅及錯誤管理策略的訓練。
- 6) 對教官與考核員提供評估與強化威脅及錯誤管理的訓練。

若能確實執行上述措施且建立對管理者的信任，則正確安全文化得以呈現，而且CRM的貢獻能獲得認同。

## [文獻評析]

1. 本文深入淺出地介紹 LOSA 的核心精神與理論模式，透過各航空公司實際運用的實際成效及建立良好組織文化的具體建議，讓研究者對於 LOSA 方法的發展與應用有深入之了解。
2. LOSA 深入且全面觀察與層次的解析步驟，使其成為現行飛安管理的重要工具之一，除飛行運作外，其觀念與方法亦逐漸拓展至空中交通管制與航機維護等領域，以及結合事件報告、FOQA 與訓練成績等其他資料庫，成為飛航安全管理的主流趨勢，值得深入探討與其他領域借鏡。
3. 層級性與系統性的組員疏失管理模式與組員錯誤反應模式，具體呈現威脅對飛行員的影響，以及飛行員對錯誤或風險的回應方式，並透過實例的印證獲致具體的成果。因此，此模式架構值得作為系統安全模式構建參考，而不同公司間與機隊間的比較數據亦可作為評量航空公司安全績效的省思。
4. 本文主要著墨於 LOSA 核心模式的介紹，未有具體探討威脅與錯誤觀測及風險評量方式，有心研究者建議參考德州大學發展的 Line/LOS 檢查表。
5. 本文透過充足的實例資料，系統性分類與綜整駕駛員錯誤型態，以及對於錯誤的可能回應，不過在我國資料相對較為缺乏的條件下，恐難發揮相同之效益。
6. 雖說資料整合為未來飛安管理系統發展之趨勢，然而如何有效彙整不同類型與層面的資料，以了解系統的清晰圖像並確實發掘問題的本源，仍有待飛安研究者進一步探索。

## [相關文獻]

Helmreich, R. L., Wilhelm, J. A., Klinect, J. R., and Merritt, A. C. (2001), "Culture, Error and Crew Resource Management", *Improving Teamwork in Organizations*, E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 305-331.

Helmreich, R. L. (2002), "Crew Performance Monitoring Programme Continues to Evolve as Database Grows," *ICAO Journal*.

Klinect, J. (2002), "LOSA Searches for Operational Weaknesses While Highlighting Systemic Strengths," *ICAO Journal*.

O'Connor, P., Hörmann, H. J., Flin, R., Lodge, M., Goeters, K. M., and The JARTEL Group (2002), "Developing a Method for Evaluating Crew Resource Management Skills— A European Perspective," *International Journal of Aviation Psychology* Vol.12, pp.263-285.

程千芳 (2003), 「安全文化和失誤管理」, 空軍學術月刊 542 期。

傅健康 (2003), 「人為疏失管理與飛航安全」, 空軍學術月刊 558 期。





## **Culture, Error and Crew Resource Management**

Helmreich, R. L., Wilhelm, J. A., Kline, J. R., & Merritt, A. C.

Improving Teamwork in Organizations, E. Salas, C.A. Bowers,  
& E. Edens (Eds.), 2001, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 305-331.

### **[英文摘要]**

Crew Resource Management (CRM) training is one of the critical elements of an organizational strategy to minimize risk and manage human error. The influences of three cultures that are relevant to the cockpit are described: the professional cultures of the pilots, the cultures of organizations, and the national cultures surrounding individuals and their organizations. A model of threat and error management in aviation is presented with findings from audits of crew performance. Data requirements to maintain a proactive safety culture are discussed. The transfer of training models from aviation to other domains such as medicine and shipping is briefly considered. We close with guidelines for organizations implementing more operationally focused CRM programs.

### **[中文摘要]**

組員資源管理(CRM)訓練是組織用以降低風險與管理人為疏失的重要策略。本文首先闡述與機艙表現相關且環繞於個人與組織週遭的三種影響性文化：飛行員專業文化、組織文化與國家文化；接著，呈現運用於民航界的威脅與錯誤管理模式，以及其運用於組員績效督導的發現，進而探討維持主動安全文化所需的資料，以及簡述移植民航訓練模式於醫療與海運等領域的考量。最後，本文對執行以作業面為主之 CRM 計畫的組織提出操作上的指導方針。

### **[內容]**

#### **1. 前言**

最新的CRM計畫明確地將焦點置於錯誤及其管理上。現今，CRM訓練已成為公司提升安全的最主要對策之一，其透過威脅與錯誤的避免、偵測及管理手段

達到風險與錯誤降低的目的。在提出新一代的CRM計畫前，CRM訓練雖然還未全球普及化，但早已廣泛應用於美國及西方的機艙環境中；鑑於此種機艙內安全機制逐漸擴展至非西方飛行員及非飛行員，如客艙組員、維修人員、簽派人員、甚至核電廠與精煉作業，吾人由兩方面開始探討CRM計畫的潛藏功效：一方面由國家文化與飛航環境及CRM訓練間的關係著手，試圖藉由對國家文化的了解設計更具文化特性的機制，以期對線上飛航發揮更大的效益，也深入了解個人專業文化及公司文化對CRM計畫成敗的影響；另一方面重新檢視CRM的基本概念，期能更加詮釋其目標與目的，試圖找尋符合各國飛行員甚至是其他對象的共同目的。最後，在文化相關的研究與回歸基本面的研究結合下，新一代的CRM計畫—error management CRM因而產生。

為能更進一步闡述CRM技術如何融入飛行員的工作中，吾人著手勾勒更廣的概念性模型(圖1)。飛行員安全地操作航機，其目的為運輸旅客與貨物，所以如何成功地管理風險或威脅則為主要的任務，而飛行員執行飛航任務之結果(outcomes)，決定於組員資源管理之行為(CRM Behaviors)。組員資源管理之行為受到外在威脅(External Threats)與內在威脅(Internal Threats)等因子之影響；其中，外在威脅包括預期的事件/風險(Expected Events/ Risks)、非預期的事件/風險(Unexpected Events/ Risks)與非機艙內之外部錯誤(External Error)等三項，第一項指飛航地形、預估天氣與機場條件等，第二項指ATC指令、飛航系統故障與飛航操作壓力等，第三項指ATC、航機維護與簽派作業等；而內部威脅則指機艙內飛航組員所犯之錯誤。來自機艙外部或內部的威脅，進一步受到組員資源管理行為(CRM Behaviors)之防衛；飛航組員處理過程中，亦可能發生額外的錯誤(Additional Error)並持續修正，若成功則安全地完成飛航任務，反之則意外/失事事件之發生將難以避免。

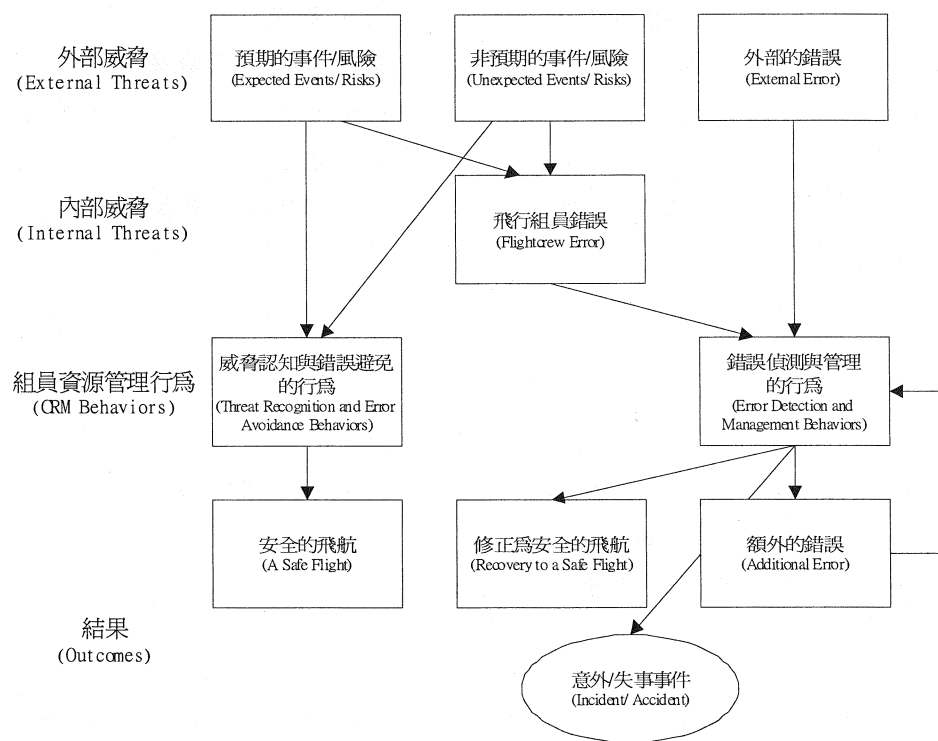


圖1 威脅與飛行組員錯誤管理模式

人為錯誤無法避免，所以當錯誤發生時，組員的目的便是偵測並回應，而最有效的作法為交互檢核與確認動作、評估所做決策品質；當錯誤未能有效偵測或修正，則飛行的風險水準將提升。此一模式並非用以呈現其與1980年代早期稱為駕駛艙資源管理(Cockpit Resource Management)的訓練計畫有顯著差異，而是修正與補強以往的不足，建立新的基本目標，盼能在加入文化意涵考量後發揮CRM的最佳效益。

## 2. 文化與安全

在民航產業中，不論是專業、組織與國家文化對飛航安全都有關鍵的影響，而安全飛行是風險即時認知與錯誤有效管理的正面結果，也是大家所期盼的狀況；因此，組織的責任便是將各類型文化中的負面因素消除。

### 2.1 專業文化

雖然以往從飛行組員行為與態度的調查中，體認飛行員存有特殊專業文化與表現形式，但未有充分了解其對安全的影響力。在早期民航用於戰爭、運送郵件與特技飛行的時期，為能完成艱辛的任務必須具備不怕難、不畏死的精神，所以形成強烈的專業文化。

當吾人開始系統性評量飛行員對自身工作與個人能力的態度時，從二十多個國家超過一萬五千份的問卷中發現飛行員的專業文化相當一致(Helmreich & Merritt, 1998)，亦即飛行員幾乎都熱愛自身工作，以飛航工作為榮並打算永久從事這份工作(圖2)。

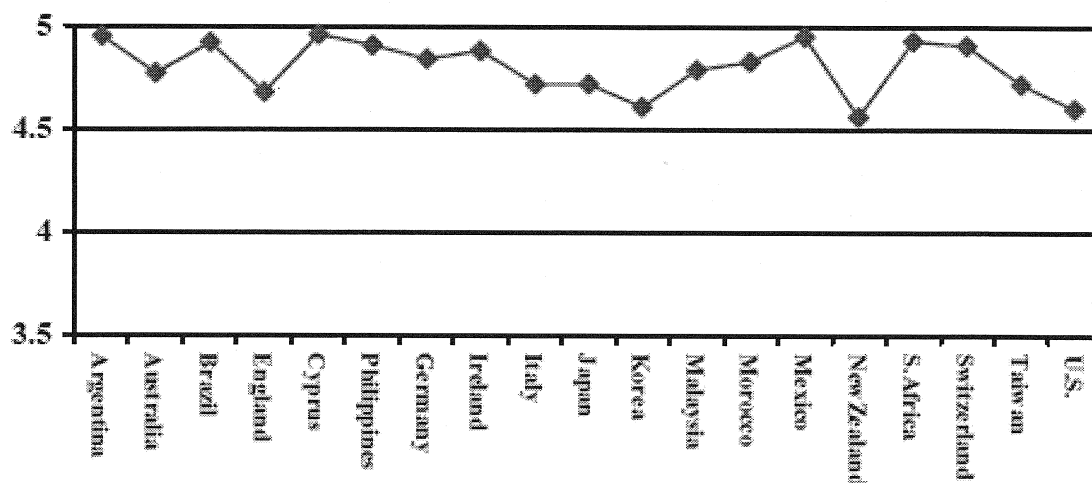


圖2 19個國家的飛行員對「我熱愛自身工作」問項的回應

從負面的角度來看，諸多問項顯示飛行員會有自認不受危害因素影響的不切實際觀感，如自認在疲勞或危急的狀況下仍能做正確的判斷；不幸的是，這些謬誤的觀感也使得飛行員對防治錯誤的機制與其他組員的協助不感需要，而這樣的態度在醫師與船員的相關研究中同樣存在。圖3呈現部份正面或負面影響安全的飛行員專業文化，其中專業文化之優點在於會使飛行員在面臨危險或緊急狀況下，仍能冷靜、從容的態度去面對與解決；相對的其缺點在於會讓飛行員願意去面對更大挑戰、產生負面影響，例如航空駕駛員在疲倦或嚴重頭痛時，會考慮到面子問題仍繼續執行任務，但這會使航空駕駛員在遇到緊急事故時，無法完全發揮其應有的處理能力；再者，由於顧及個人榮譽，可能不願去承認自己的錯誤、不願接納他人的意見或是不願思考其它替代可行的方案(Helmreich & Merritt, 1998)。



圖3 正面或負面影響安全的飛行員專業文化

## 2.2 組織文化

在調查航機墜毀的事故與機件失靈的事件時組織文化逐漸變為關鍵因素。組織安全文化的形成係透過強力的承諾去取得必要資訊且採取積極的風險與錯誤防制作為，也包括對人員的充足訓練與建立開放的溝通管道。在資料調查過程中，本研究詢問管理者對安全承諾的感觀，表1為兩個公司的飛行員對兩個飛航管理態度問項的滿意度。雖然，大多數的飛行員表示他們知道正確的安全溝通管道，不過B公司顯然相對較低；對於自己的安全建議會被採行一項的差異更是明顯，A公司為68%而B公司為19%，然而即便是A公司其對公司的安全承諾仍感到懷疑。

表1 飛行員對公司安全管理態度問項的滿意度

Item	% Agreement Airline A	% Agreement Airline B
I know the correct safety channels to direct queries	85	57
My safety suggestions would be acted on	68	19

個人對能在公司工作的驕傲與認同感，無疑對飛航的安全與規範的遵守有所影響，根據調查，不同公司飛行員對此問項的回應，最高的公司高達97%的滿意度，另一公司則僅有不到20%的滿意度；同樣的差異也出現在對高階管理者信任度的調查，顯示出公司文化對飛行員認知與態度的影響力。

### 2.3 國家文化

文化無國界的觀點已廣為飛航業界所認同，任何國籍的飛行員皆應安全地完成飛航任務；然而，累積的資料卻指出不同國籍的飛行員其執行任務的方式具有實質上的差異。Greert Hofstede (1980, 1991) 所建立的四向度文化模式在國家文化對飛行員行為影響的議題上提供有用的基礎，經由Helmreich 與 Merritt (1998) 修改為民航適用的三向度模式，探討駕駛艙內團隊互動的關係。

權力距離(Power distance)向度反映下屬對不對等權力的接受程度，以及資淺人員是否應對資深人員決策與行動有所質疑，圖4顯示22個國家對權力距離問項的調查結果。分數越高者顯示具較高的權力距離及能接受較專橫的領導作風，如菲律賓、台灣與巴西，而分數較低者包括愛爾蘭、丹麥與挪威等國。

個人主義與集體主義(Individualism-Collectivism)向度反映獨斷決行的個人風格與強調溝通的團隊合作之文化差異，調查結果發現美國與澳洲屬於個人主義文化型態，而拉丁美洲與亞洲的文化則屬於集體主義。

規則與指令(Rules and Order)向度強調對任何狀況應有明確的程序且組織的規範不應被逾越，其分數具有正向與負像的意涵。例如，高分者表示不輕易違背程序與規範，但較缺乏對新情境的應變能力；低分者表示較易有違背程序的傾向，但對程序未涵蓋的狀況較能解決。圖5的調查結果發現，台灣、韓國與菲律賓得分最高，而英國、愛爾蘭與美國得分較低。

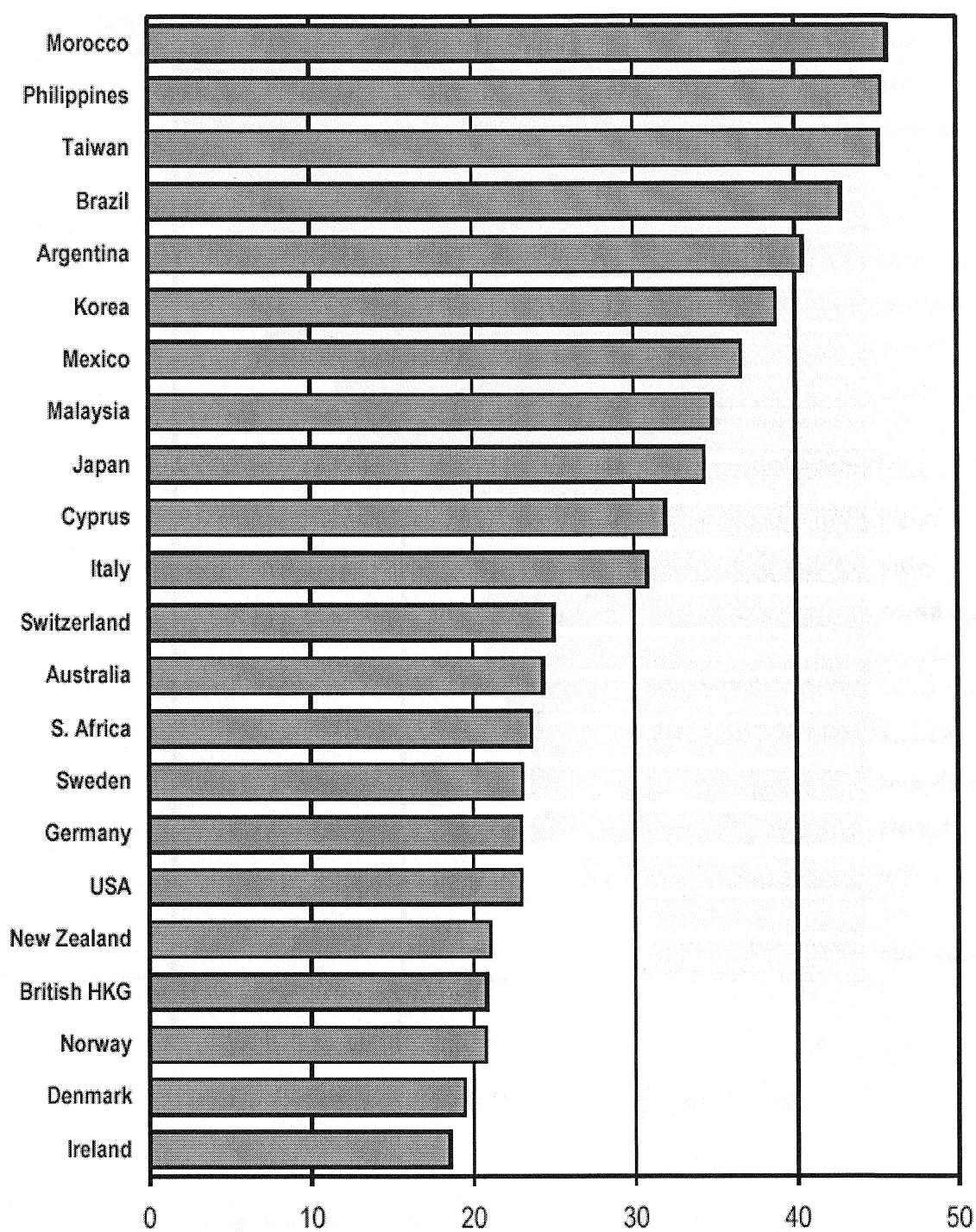


圖4 22個國家的飛行員對權力距離問項的平均分數(尺度範圍0-100分)



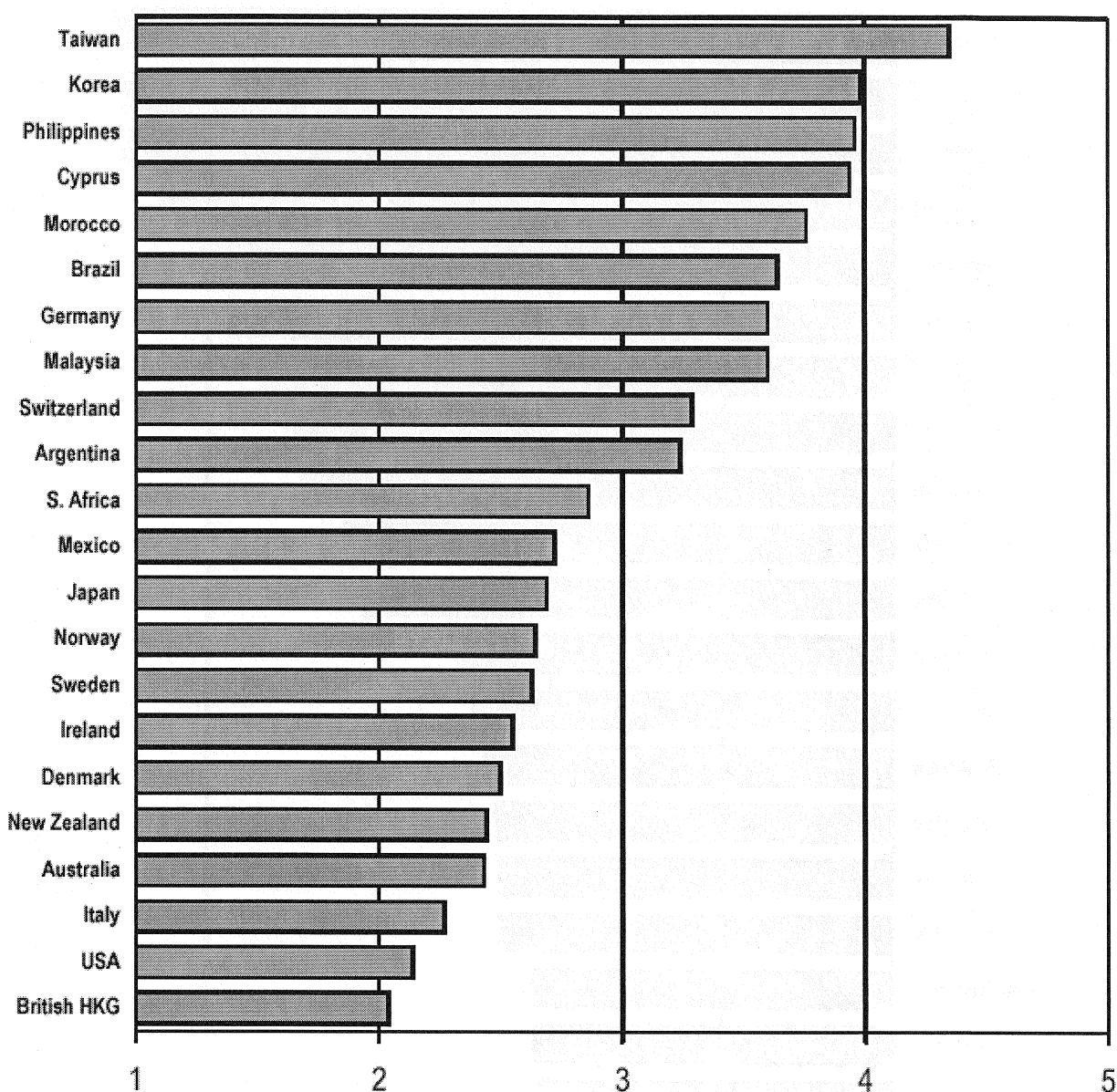


圖5 22個國家的飛行員對規則與指令問項的平均分數

從跨文化的研究中得到一項非預期的發現，具高權力距離文化傾向的飛行員對自動駕駛的接受度較高且願意在任何情況下使用，相關結果如圖6所示。

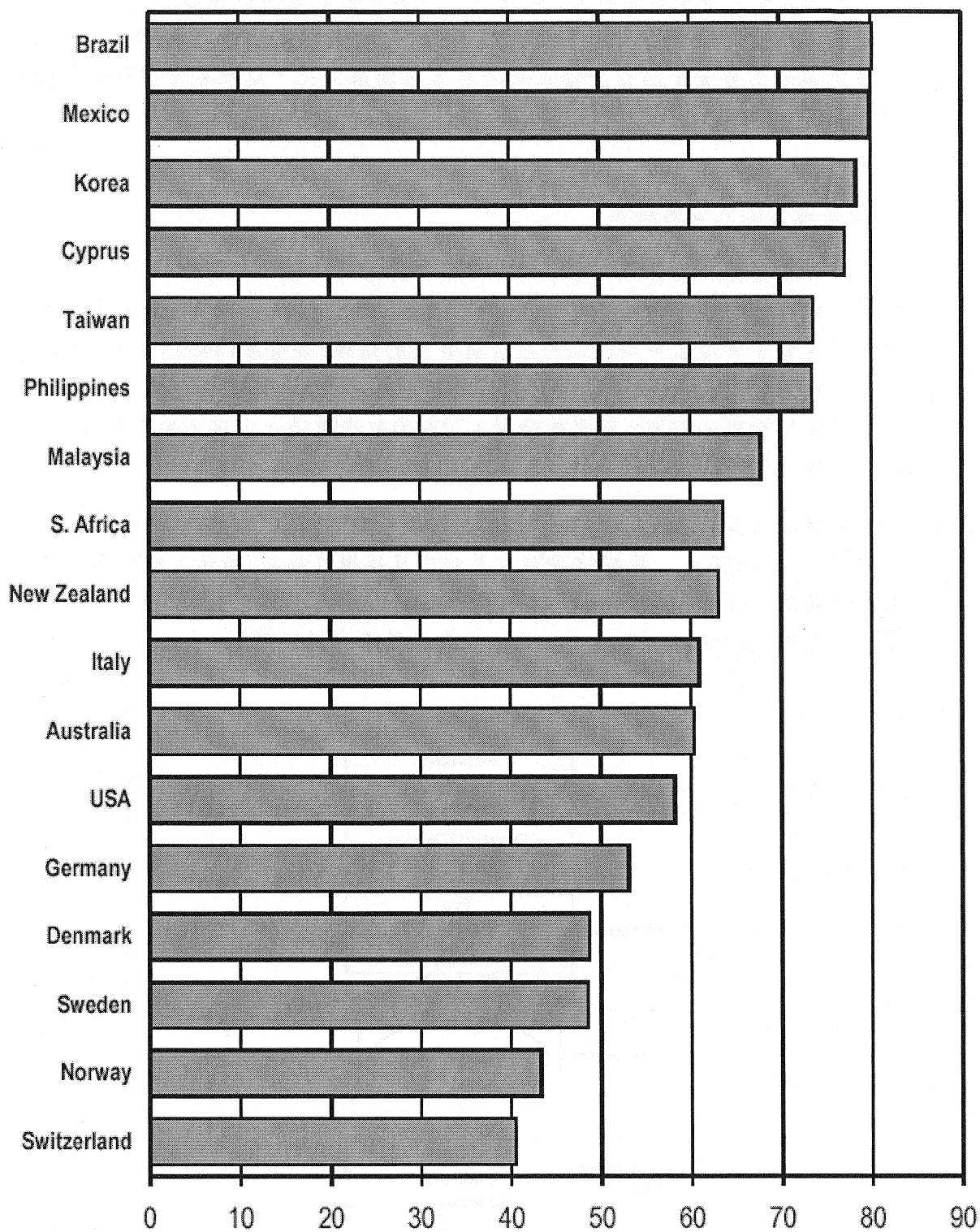


圖6 18個國家的飛行員對FMAQ自動駕駛的偏好與信賴程度(尺度範圍0-100分)

國家文化並無絕對的優劣，其要素皆具有正向與負向影響意涵。不過，組織文化卻有不鼓勵安全投入與消極建立安全文化的病態文化(pathological culture)，此種組織的主要安全防範全賴正向的專業與國家文化，以及勤奮的民航管制機構。

### 3. 飛航運作的威脅與錯誤

若安全措施欲發揮最大效益，對於威脅與錯誤的種類、頻次、管理與解決對策等系統性的實證資料必須充分蒐集。為能補足此一缺陷，研究團隊運用線上督導方式蒐集正常飛航中所面臨的威脅與發生的錯誤，並發展Line/LOS檢查表作為系統性紀錄的工具。在1997年7月至1998年11月間，共針對三家公司進行CRM、威脅與錯誤管理的研究。觀察後發覺，72%的航班遭逢一次以上的外部威脅，如惡劣天候、高地、機械性故障、ATC的語言問題等。

接續探討圖1所示威脅與飛行組員錯誤管理模式中右半部關於組員錯誤與錯誤管理的部分，並構建飛航組員錯誤反應模式如圖7所示。本研究定義飛行組員錯誤(Flightcrew Error)為「組員作為(action)或不作為(inaction)而與組員或組織的意圖或期望發生偏差」，並可分為五種不同錯誤型態：

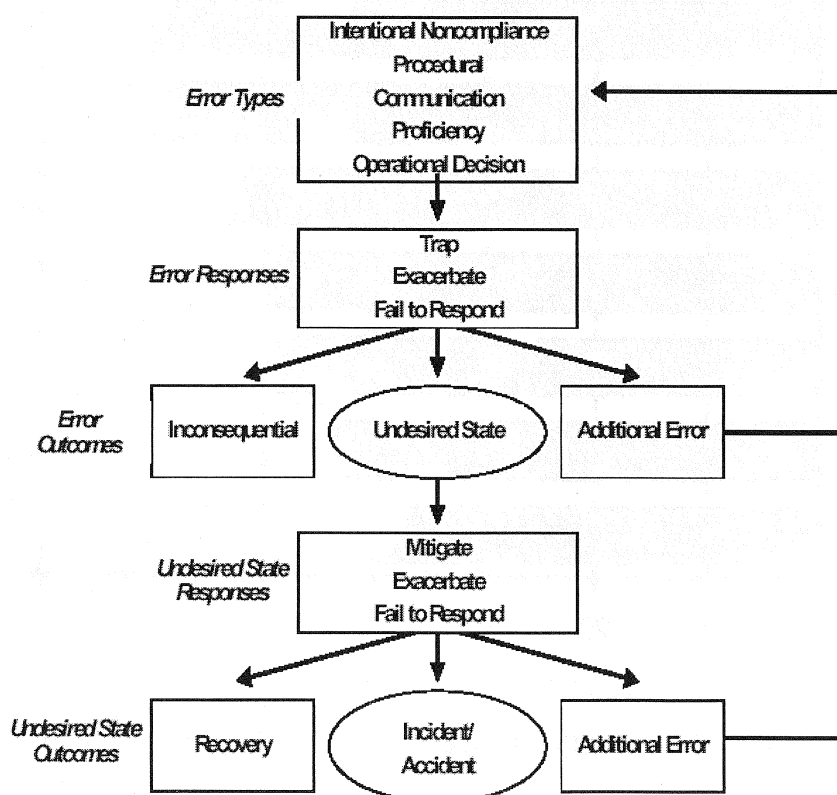


圖7 飛航組員錯誤反應模式

- 1) 蓄意不服從的錯誤(Intentional noncompliance errors)—故意違反標準作業

程序或法規。

- 2) 程序錯誤(Procedural errors)—遵行法規或程序所發生的失誤(Slips)、疏忽(Lapses)與誤解(Mistakes)。
- 3) 溝通錯誤(Communication errors)—組員間或組員與外部(如ATC)間所發生不正確的訊息傳遞或解讀。
- 4) 專業錯誤(Proficiency errors)—知識缺乏或技術不純熟。
- 5) 決策錯誤(Operational decision errors)—未遵守法規與程序而任意決斷以致徒增不必要的風險。

上述五種錯誤型態的發生比率，經實證資料彙整如表2所示。

表2 於線上督導中觀察的各類錯誤發生比率

Type of Error	% of All Errors
Intentional noncompliance	54%
Procedural	29%
Communications	6%
Proficiency	5%
Operational decision making	6%

對於組員對錯誤的反應及錯誤導致的結果，可分為三種錯誤反應：

- 1) 制止(Trap)—在造成後果前錯誤被偵測及管理。
- 2) 惡化(Exacerbate)—錯誤被偵測，但組員的作為或不作為導致負面的結果。
- 3) 未有反應(Fail to respond)—由於對於錯誤未能偵測或忽略，使得組員未能針對錯誤有所回應。

當錯誤發生且組員回應後，其結果可以歸於下列三種類型之一：

- 1) 不想要的情況(Undesired aircraft state)—該錯誤使得航機處於風險增高的情況。
- 2) 無後果(Inconsequential)—該錯誤對飛航安全毫無影響，或是被組員成功管理。

3) 額外的錯誤(Additional error)—該錯誤的反應增加了額外的錯誤，再回到初始的組員反應循環。

其中，不想要的情況又可能被 1)消除(Mitigated)、2)惡化(Exacerbated)、3)未有反應(Fail to respond)，其結果亦可能為1)復原(Recovery)、2)額外的錯誤(Additional error)、3)組員導致的意外或失事事件(crew-based Incident/Accident)。圖8為運用此法進行錯誤分類的案例；其中，蓄意不服從錯誤最常發生(54%)，其次為程序錯誤(29%)、溝通錯誤(6%)、決策錯誤(6%)與專業錯誤(5%)。

<p style="text-align: center;"><b>Trapped Error</b></p> <p><b>Error Type</b> - Procedural Error <i>During pre-departure, FO punched a wrong waypoint into the Flight Management Computer</i></p> <p><b>Error Response</b> - Trap <i>The crew caught the error during the crosscheck</i></p> <p><b>Error Outcome</b> - Inconsequential</p>
<p style="text-align: center;"><b>Ignored error</b></p> <p><b>Error Type</b> - Intentional Noncompliance <i>F/O performs the After Takeoff Checklist from memory</i></p> <p><b>Error Response</b> - Fail to respond (ignored) <i>Captain notices the SOP violation but says nothing</i></p> <p><b>Error Outcome</b> - Additional error <i>F/O failed to retract the landing gear.</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>Exacerbated Error</b></p> <p><b>Error Type</b> - Communication <i>F/O told the Captain to turn down the wrong runway</i></p> <p><b>Error Response</b> - Exacerbate <i>Captain turned down the runway</i></p> <p><b>Error Outcome</b> - Undesired State <i>The aircraft is on the wrong runway</i></p> <p><b>Undesired State Response</b> - Mitigate <b>Undesired State Outcome</b> - Recovery <i>After reviewing the taxi chart, the crew taxied to correct runway</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>Undetected Error</b></p> <p><b>Error Type</b> - Procedural <i>Asked to level off at 22,000 feet, the Captain double clicked the altitude hold button on the mode control panel [engaged it, then disengaged it] and it was never engaged.</i></p> <p><b>Error Response</b> - Fail to respond (undetected) <i>The crew did not notice the error.</i></p> <p><b>Error Outcome</b> - Undesired state <i>Crew flew through the assigned altitude.</i></p> <p><b>Undesired State Response</b> - Mitigate <b>Undesired State Outcome</b> - Recovery <i>The altitude deviation was noticed by the captain, who returned the aircraft to the proper altitude and mode.</i></p>

圖8 錯誤分類的案例

錯誤的分佈狀況與飛行航段數無關，64%的航次至少觀測到一次錯誤，其平均為每航次1.84次，分佈狀況綜整於表3。發生比率最高的階段為進場與降落(39%)，此點與波音公司、英國民航局所統計的趨勢一致。

表3 各飛行階段觀測的組員錯誤分佈

Phase of Flight of Error	% of Errors	Consequential
Pre-flight	23%	
Take off/climb	24%	
Cruise	12%	
Approach and landing	39%	
Taxi/park	2%	

當然，並非所有錯誤都會造成負面的後果—額外的錯誤或不想要的情況。最少造成負面後果的錯誤為蓄意不服從的錯誤，此種錯誤僅2%會形成後果，表示飛行員選擇違反規則的判斷大多正確；不過，高達69%的專業錯誤與43%決策錯誤將造成負面的後果，其次為程序錯誤(23%)與溝通錯誤(13%)。此外，最容易形成負面後果的階段為下降/進場/著陸時所發生的錯誤，其比率高達39%，其次為起飛與巡航階段(12%)、飛行前階段(7%)，而滑行與停靠階段由於資料不足而未有統計。

本研究的主要發現之一，便是運用威脅與錯誤管理量表區別公司間(或機隊間)的差異，如表 4 所示。其結果顯示公司不能假定其運作與業界的基準資料相當，因為不同的運作環境及組織文化/次文化而顯示出相當大的差異。

表 4 三家公司遭受的威脅與錯誤

	Airline A	Airline B	Airline C
Threats per segment	3.3	2.5	0.4
Errors per segment	.86	1.9	2.5
Error Management - % consequential	18%	25%	7%

#### 4. 結語

早期 CRM 認為可以成為解決人為錯誤的萬靈丹，不過並未成功，現今融入更受限但符合實際的模式後，使得 CRM 成為建立安全文化的有用工具。以下綜整與提出具體方針：

- 1) 建立信任(Building Trust)。
- 2) 對於錯誤採行非懲罰之政策(Adopting a non-punitive policy toward error)。

- 3) 對組員提供錯誤的避免、偵測與管理策略之訓練(Providing training in error avoidance, detection, and management strategies for crew)。
- 4) 對教官與考核員提供評估與強化錯誤的避免、偵測與管理之特殊訓練(Providing special training in evaluating and reinforcing error avoidance, detection, and management for instructors and evaluators)。
- 5) 展現減少系統錯誤之意願(Demonstrating a willingness to reduce error in the system)。
- 6) 蒐集能呈現威脅與錯誤的本質及型態之資料(Collecting data that show the nature and types of threat and error)。

#### [文獻評析]

1. 本文由專業、組織與國家等三個層級，探討文化對於飛安的影響，以及不同國籍飛航人員對文化認知的差異；進而透過威脅與疏失管理模式，闡述飛安管理的系統安全理念，以及飛航中可能面臨之內在與外在威脅及可能危險因素；最後，針對組織風險管理與組員資源管理提出方針，值得作為飛安管理者之參考。
2. 本文深入介紹 CRM 與 LOSA 的核心精神與理論模式，以及國家、組織與專業等文化對飛行員的影響，進而透過各航空公司實際運用的具體成效，讓研究者對於飛航威脅與人為錯誤管理方法有深入的了解。
3. 層級性與系統性的組員疏失管理模式與組員錯誤反應模式，具體呈現威脅對飛行員的影響，以及飛行員對錯誤或風險的回應方式，並透過實例具體的呈現。因此，此模式架構值得作為系統安全模式構建者作為參考，而國家文化、組織文化及專業文化所呈現的差異，亦可作為建立良好安全文化的省思。
4. 本文透過實證調查呈現國家、組織與專業文化對組員錯誤的影響，不過對於如何將各項文化因素融入既有之威脅與錯誤模式或線上督導方式則未有作進一步交代，所以在各種文化因素處理的議題上仍待進一步研究。
5. 本文主要著墨於不同文化對安全影響的闡述，以及威脅與錯誤管理模式的介紹，未有具體探討文化影響因素評量、威脅與錯誤觀測及風險評估方式。
6. 本文透過充足的實例資料，系統性分類與綜整駕駛員錯誤型態，以及對於錯誤的可能回應，不過在我國資料相對較為缺乏的條件下，恐難發揮相同

之效益。

## [相關文獻]

Helmreich, R. L., Klinec, J. R., and Wilhelm, J. A. (1999), "Models of threat, error, and CRM in flight operations," 10th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 677-682.

Helmreich, R. L. (2002), "Crew Performance Monitoring Programme Continues to Evolve as Database Grows," ICAO Journal.

Klinec, J. (2002), "LOSA Searches for Operational Weaknesses While Highlighting Systemic Strengths," ICAO Journal.

O'Connor, P., Hörmann, H. J., Flin, R., Lodge, M., Goeters, K. M., and The JARTEL Group (2002), "Developing a Method for Evaluating Crew Resource Management Skills— A European Perspective," International Journal of Aviation Psychology Vol.12, pp.263-285.

程千芳 (2003)，「安全文化和失誤管理」，空軍學術月刊 542 期。

傅健康 (2003)，「人為疏失管理與飛航安全」，空軍學術月刊 558 期。





# **The Systemic Incident Analysis Model (SIAM) — A New Approach to Safety Information**

Lee, R., Lander, J.

53rd Annual International Air Safety Seminar, 2000, pp.

335-348.

## **[英文摘要]**

The Australian Transport Safety Bureau (ATSB) uses the Systemic Incident Analysis Model (SIAM) to record and analyze all aviation safety occurrences. This innovative safety information system is a powerful tool for accident prevention and systems safety enhancement. SIAM provides an indication of where the overall system, in this case the aviation system, is most vulnerable. An informed judgement can then be made as to where and how to best allocate resources to obtain the most effective safety return for the system.

Although all aviation accidents and incidents are entered into SIAM, the model has been designed primarily to capture basic statistical information on systems safety from aviation incidents, in particular from high volume, low detail aviation incidents (referred to by the Bureau as Category 5 incidents). This is the only category of incident in Australia in which there are sufficient numbers to make in-depth statistical analysis both possible and productive. SIAM maximizes the safety value of these incidents by enabling areas of vulnerability in the safety defenses to be identified, reviewed and rectified before they contribute to accidents or serious incidents.

This paper outlines why the Bureau of Air Safety Investigation (BASI) — which has since been incorporated into the ATSB — reviewed its aviation accident and incident database. It describes how BASI then developed and implemented SIAM, a proactive, integrated systems safety approach to enable systemic data analysis to be conducted. The paper also briefly describes the Reason Model, upon which the systems safety philosophy of SIAM is based. The paper presents the basic details of SIAM, and shows how its application adds value to incident reports, and provides a more useful overview of both the negative and positive aspects of the safety health of the system.

## [中文摘要]

澳洲運輸安全局(Australian Transport Safety Bureau, ATSB)使用系統性意外事件分析模式(Systemic Incident Analysis Model, SIAM)記錄並分析所有飛航安全事件，對事件預防與系統安全施行而言是一項有力的輔助工具。SIAM可以解析整體系統，指出系統中最需改善的環節，進而作最有效的資源配置決策並獲得最大的改善。

雖然，所有的飛航失事與意外事件皆輸入SIAM系統中，不過模式主要設計係用來擷取基本的統計資訊，特別是發生頻率高且單純的飛航意外事件，這亦是目前唯一具充分樣本得以進行較深入統計分析的部分。SIAM藉由這些意外事件資訊確認最需改善環節，在形成嚴重意外事件甚至失事事件前加以檢視與改正，將其安全效益發揮到最大。

本文主要在介紹澳洲飛安調查局(Bureau of Air Safety Investigation, BASI)(目前已整合納入ATSB編制內)為何需要檢視其飛安失事事件與意外事件資料庫，以及如何發展與應用SIAM進行系統性地資料分析。本文另簡述SIAM的核心精神—Reason模式，以及其基本功能，展現其提升事件報告價值，以及對系統安全健康提供有用的整體性正反面意見。

## [內容]

### 1. 前言

安全資訊系統乃是安全計畫最主要的組成之一。飛安事故的發生會直接或間接增加經濟、社會、商業以及其他相關成本，為了從日常運作中微小的錯誤去發掘發生事故的可能性，進而預防事故的發生，事件通報系統(incident reporting system)在安全資訊系統中扮演著非常重要的角色。

根據James Reason及其工作伙伴的構想，其認為為了發掘可能導致事故發生的組織潛在狀態，必須在整體社會技術系統(sociotechnical systems)中同時從事故(accidents)、事件(incidents)以及安全缺失(safety deficiencies)等三個向度，蒐集與分析公開及機密的資料，以達到主動(proactive)預防事故的目的。如果此可能導致事故的組織潛在狀態未獲得改善，類似的故事即可能一而再地發生。

個體事故的發生皆有其背後存在的原因，例如不良的訓練、不合適的程序、無效的規範、不良設計的設備、劣等的維修、缺乏溝通等；若僅針對單一事故片面進行改善，可能很難達到長久改善的效果。因此，安全通報系統的設計必須能夠挖掘出隱藏在背後的原因。

從1950年代起，澳洲已建立起非常完整的飛航報告系統；根據法律規定，任何可能會影響飛航安全的事件都必須報告。而從1988年起，除了原始的公開報告系統外，另外再增加了匿名的事件通報系統，以加強報告系統的完整性。因此每年澳洲政府都必須分析數以千計的報告，雖然這些報告都僅能看到某些蛛絲馬跡，但卻能讓澳洲政府發掘可能的缺失，讓澳洲一直保持良好的飛安紀錄。不過，就傳統的系統而言，其並不能達到上述的要求，即不能發現系統性的缺失，僅能針對較為片面的因素進行改善。為了達到上述目的，澳洲政府研發了一個新的系統，即系統性意外事件分析模式，簡稱SIAM。

## 2. 背景：事件分析及安全資訊系統(Occurrence Analysis and Safety Information System, OASIS)的限制

事件分析及安全資訊系統不但被視為儲存與分析資訊的工具，同時也希望達到管理與監督飛安的目的。然而，事件分析及安全資訊系統，顧名思義即在事故發生時才有資料輸入至該系統，此時系統才會啟動分析，因此其設計並不具有系統安全的概念。除此之外，當調查員欲將調查結果輸入至系統時，必須從數千個已標準化的項目去選擇最適合的選項，此種標準化選項的作法並不適合細緻的分析目的。另一方面，根據一篇分析該系統1993至1995資訊使用率的報告指出，在該系統1400多個標準化選項中，平均每年僅有50%被使用過，而其中又有29%完全沒有被使用過；如果將很少被使用的75%的選項移除，僅會影響到0.5%的事故登錄。由於上述的種種缺失，迫使澳洲政府更積極地想要修正其事件分析及安全資訊系統。

## 3. 系統安全的 Reason 模式

澳洲飛安調查局所採用的系統安全概念承自James Reason教授的概念，其詳細內容可參考「朝向飛安新方向」(New Directions in Air Safety, Lee, 1999)一書。該模式已被證實能有效挖掘潛在的組織缺失，例如Monarch航空公司事故(BASI, 1993)、Ansett Australia波音747在雪梨機場的事故(BASI, 1996)等。

## 4. 系統性意外事件分析模式

系統性意外事件分析模式的其中一個目的在設計一個簡潔的資料庫，減少如上述舊有事件分析及安全資訊系統的缺失。

### (1) 以系統安全的方式進行調查

在蒐集資料時，除了過去OASIS蒐集的飛安事件資訊外(例如日期、時間、地點等)，SIAM採用系統安全的概念針對該事件的特性進行額外資料的蒐集。SIAM藉由釐清下列三個問題：1)相關防衛措施失效可能造成的事件；2)系統中

潛在(latent)與主動(active)失誤;以及3)確認防止事件變的更危險的修補措施(或該措施可能讓事件變的更嚴重),將事件按其屬性重新分類成事實(real outcomes)、潛在結果(potential outcomes)與明顯結果(apparent outcomes)三類,提供新的飛安訊息。

## (2) SIAM 的發展

建構在BASI下的SIAM系統由Miles Benson博士主導,其為英國的資深顧問,且與Reason教授及BASI合作多年。Benson博士也曾在Shell、British Rail、英國航空(British Airways)以及新加坡航空(Singapore Airlines)工作。另外,許多在BASI工作的檢查員(investigation personnel)以及資料庫工程師也支援了SIAM的設計與發展。

SIAM 的原型在 1996 年十月在 BASI 正式啟用之前,對相關人員已進行完整的員工訓練,並經過多次的線上測試。SIAM II 在 SIAM 經過十二個月的運作之後在 1998 年提出,其針對 SIAM 的部份缺失與所需新增的功能進行修正。

## (3) 基本概念

SIAM的基本概念承自Reason模式,該模式首先定義危險事件(hazards)以及防衛措施(defenses)。危險事件可能潛藏在人員、設備或設施內,其可能會造成危害事件(harmful events)的發生,或透過一定的控制與管理的方式抵擋危險事件的衝擊進而消弭危險事件的發生。此一控制或管理的方式即所謂的防衛措施,其可能以硬體的方式呈現,例如設置防撞系統;也可以軟體的方式呈現,例如設置標準作業程序(standard operation procedure)。危險事件與防衛措施的關係如圖1與圖2所示,其中圖1顯示防衛措施成功抵擋危險事件,而圖2顯示防衛措施無法有效抵擋危險事件的發生。

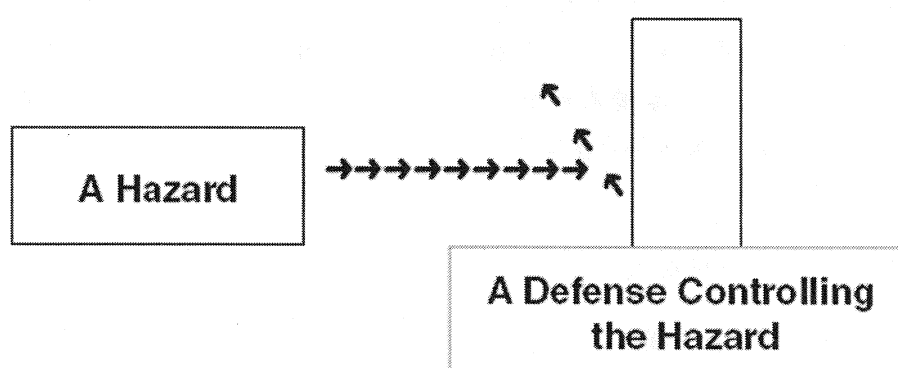


Figure 1. A Defense Controlling a Hazard

圖 1 防衛措施成功控制危險事件

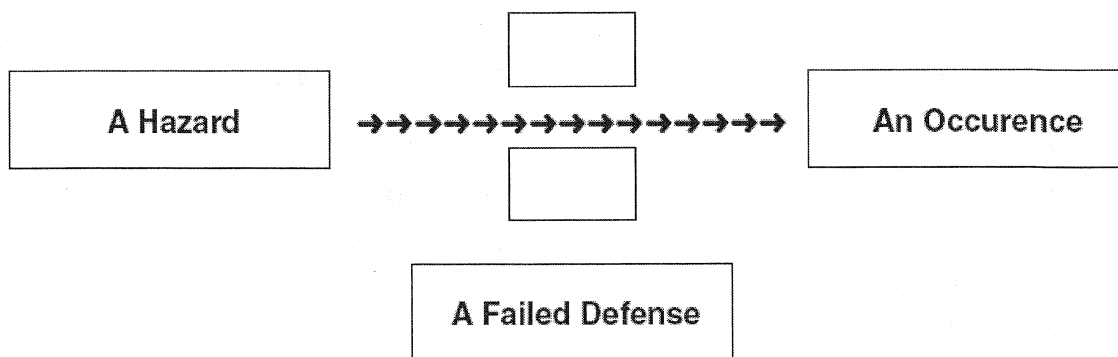


Figure 2. An Occurrence Resulting From a Failed Defense and Therefore, an Uncontrolled Hazard

圖 2 防衛措施無法有效抵擋危險事件的發生

當危險事件發生時，安全資訊系統即應分析發生了何種危險事件(what)、所採用的防衛措施為何，以及為何該防衛措施會失效(why)。由於防衛措施的功效並不一定會百分之百達成，航空公司通常會設計一連串的防衛措施以防止危險事件的發生，唯有所有的防衛措施皆失效時，危險事件才會發生，如圖3所示。

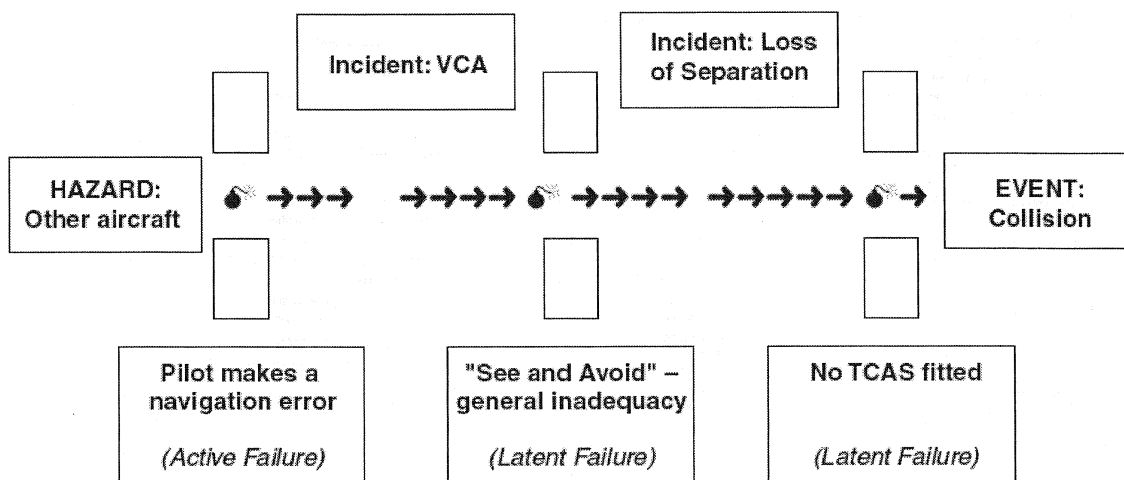


Figure 3. Example of the Progression from Incident to Accident as More Defenses Fail

圖 3 事件致因於多項防衛措施同時失效

由圖3可以發現，在一連串的防衛措施中，每個單項的防衛措施其功能皆不相同；大體上可分作主要防衛措施(primary defenses)以及次要防衛措施(secondary defenses)，其中後者又常被稱作補救措施(recovery measures)，其角色為當主要防衛措施失效時才需挺身而出。

航空系統的危險事件基本上可分作三大種類(請參閱附錄一的第一部份-outcome)。第一種為飛機本身失去控制，第二種為飛機與其他物體相撞，包括其他飛機或地面，第三種為飛機本身在受控制的狀況下但發生危險事件，例如機

艙突然失壓。

在使用SIAM的事故檢核表(附錄一)時，基本上需進行五個步驟：

- 確認事件的主要特徵或結果；
- 確認結果的種類(屬於真實、明顯或潛在三個分類之一)；
- 確認失效的防衛措施為何；
- 確認失效的種類；
- 確認可能的補救措施；

### 附錄一：SIAM 的事故檢核表

#### 1. OUTCOMES

*What was the first event which made this a (real, potentially, or apparently) unsafe occurrence?*

**Loss of Normal Flying Capability/Function** (ultimately — a collision when out of control)

- **Airframe**
  - Internal fixture/fitting problem
  - Landing Gear problem
  - Flight Control/Surface problem
  - Structural problem
  - Door or Window problem
- **Powerplant**
  - Engine malfunction
  - Propeller/Rotor malfunction
  - Engine accessory malfunction
- **Systems**
  - Electrical failure
  - Hydraulic failure
  - Fuel system failure
  - Avionics system failure
    - Navigation system failure
    - Communications system failure
    - Automatic Flight System failure
  - Instruments failure
  - Life Support System failure

- **Crew Injury / Incapacitation**
- **Fire, Explosion or Fumes**
- **Cargo problem**
- **Balance / C of G problem**

#### Collision (Controlled A/C / Vehicle OPS)

- **Objects and Moveable Features**
  - Collision with animal
  - Birdstrike
  - Collision with moveable equipment
  - Collision with person
- **Terrain and Fixed Features**
  - Natural
    - Collision with ground
    - Collision with water
    - Collision with foliage/tree
  - Man-made
    - Collision with building
    - Collision with powerline / wire
    - Collision with misc. man-made feature
- **Other Aircraft**
  - Other aircraft is Airborne
    - Collision with a/c in CTRLD A/Space
    - Collision with a/c OCTA
  - Other aircraft is On the ground
    - Collision with stationary aircraft

- Collision with moving a/c on the ground

#### Injury to Non-OP Person (Controlled Operation)

- **Passengers (inc parachutists)**
- **Bystanders**

#### 2. TYPE OF OUTCOME

- **Apparent**

- **Potential**
- **Real**

#### 3. DEFENSES

*What features of the aviation system failed (including false alarms), resulting in this outcome?*

- **Aircraft Features**
  - Monitoring / Warning Systems
    - Airframe, Inc Gear / Fit Control warnings
    - Transponders
    - Engine and APU
    - Avionics system
    - GPWS
    - Stall warnings
    - ACAS/TCAS
  - Aircraft Lighting
  - Anti / De Icing systems
- **Aerodrome Features**
  - Runway / Taxiway layout / conditions
  - Aerodrome Lighting and Marking
  - Aerodrome Animal and Bird Control
  - Aerodrome Security
- **Maintenance, Repair, Design, and Construction**
- **Navigation**
  - Navigation Equipment

- Charts
- Area Familiarization

- **Flight Management**
  - Fuel management
  - Aircraft Handling
  - Communication
    - Air-Air Comms procedures
    - Air-Ground (not ATS) Comms proced's
  - Flight Rule Related
    - Other IFR Procedures
    - Other VFR Procedures
    - Self Separation Procedures
    - GAAP Procedures
  - Preflight Planning and Preparation
- **ATS Procedures, Facilities and Standards**
  - Coordination ("Ground-Ground")
  - Clearances and Instructions
    - Verbal Clearance/Instruction
    - Datalink Clearance/Instruction
    - SID/STAR
    - Other published instructions
  - Facilities (Hardware & Software)
    - TAAATS
    - TAAATS Alerts
    - TAAATS Hardware/Software
    - Non-TAAATS ATS Facilities

- Procedures and standards inc separation
- Passing / Providing Information
- SARTIME

- **General Procedures & Standards**
  - Dispatch and Loading procedures
  - Acts, Regulations, and Orders
  - Operations Manuals and SOPs
  - Handover/Takeover procedures

- Briefing procedures
- CRM/Teamwork
- Passenger control / management

- **Meteorological Information**

#### 4. TYPES OF FAILURES

- **A false alarm**
- **A generally weak/inadequate Defense**
- **A technical failure/breakdown**
- **A mistake/error/violation (by a person ...)**

*Who made the mistake/error/violation?*

- ADSO
- ATC
- Cabin crew
- Dispatch & Ops.
- FSO
- Maintenance
- Other
- Tech crew

*What is likely to have contributed to the mistake/error/violation?*

- Attitude/motivation
- Distracting events/interruptions
- English language ability
- Environment (e.g. noise, visibility)
- Equipment design/availability

- Fatigue/drowsiness
- High workload/concentration
- Interpersonal problems (at work)
- Knowledge, skills and experience
- Low workload/boredom
- Medical/physiological factors
- Non-work issues/preoccupations

#### 5. RECOVERY MEASURES

*Detection — How was the problem revealed?*

- **Other on-board warning systems**
- **GPWS**
- **ACAS / TCAS**
- **ATS noticed the problem**
- **Aircrew noticed the problem**
- **TAAATS**
- **A third party noticed the problem**

*What, if anything, limited the consequences in this occurrence?*

- **Equipment**
  - Fire Extinguishing Systems
  - Other Emergency Equipment
  - Use of on-board emergency equip't
  - Use of ground-based emerg'y equip't
- **Procedures**
  - Aircraft Diversion / Return
  - ATS Radar / Navigation assistance

- Evasive Maneuver
- Rejected Takeoff
- Go-around / Missed Approach
- Emergency Services / RFFS
- **Unlikely to have escalated anyway**
  - Little or no other traffic
  - Non-critical item
  - Low workload
  - Low speed or ample height/time

#### (4) 結果呈現

相對於OASIS著重於事件本身，SIAM除了著重事件外，另外其加強對過去可能已發生過類似的潛在(latent)事件或明顯(apparent)事件進行分析。SIAM的資訊呈現可以分作三個層次，第一個層次為對該事件的廣泛描述，該描述可指引出此事件屬於真實事件、潛在事件或明顯事件。第二個層次展現該事件的組成，而第三個層次則描述各個組成的細節。

#### (5) 防衛失效

SIAM在分析防衛措施時分作三種，第一種為技術故障(technical breakdown)，即該措施應該產生效果卻無。第二種為潛在失誤，即該措施可能在先前就已顯示出可能的破綻，卻未即時改善造成失誤。第三種為主動失誤，即由程序中的犯錯(mistakes)或違反程序(violation)所造成的失效。雖然，SIAM並未限制登錄防衛措施失效的數目，但是為了避免分析時的不便，通常以登錄一項防衛措施失效為原則。

防衛失效的資訊登錄方式與前述事件的登錄方式雷同，共可分作三個層次：第一個層次為對該失效的廣泛描述，第二個層次展現該失效的組成，而第三個層次則描述各個組成的細節，可參閱附錄一。

#### (6) 補救措施

補救措施與防衛措施的登錄方式雷同。假設有一個可能發生的空中相撞(midair collision)事件，此種事故通常由於導航(navigation)系統的失效，在機組人員無法發現此類狀況時，其補救措施通常包括TCAS(Traffic alert and Collision Avoidance System)以及航管(air traffic control)，SIAM系統可提供何種補救措施在此類狀況下是最可靠的，或最有可能減緩事件的惡化程度。

#### (7) 資訊診斷

相對於舊的系統，SIAM的分層輸入設計，提供了大量資料輸入的可能性，同時可減少不必要細節的輸入。因此，在處理細節部份時需要專業人員的知識、技巧與經驗。SIAM主要的目的並不在解決一個系統的問題，而在引導分析人員找出系統可能潛藏的缺失，進而去改正該缺失。

#### (8) 趨勢監控

藉由SIAM系統的實施，澳洲飛安的趨勢(包括正面及負面)將可持續被監控。



## 5. 總結

SIAM利用新的資訊分類、輸入與分析概念，預期能增進澳洲的飛安績效。至目前為止的分析結果顯示，當該危險事件是歸責於人為因素時，其補救措施通常也以人為主導進行補救；此結果與過去研究對人為績效的負面評價略有不同。須再次強調的是，SIAM主要的目的並不在解決一個系統的問題，而在引導分析人員找出系統可能潛藏的缺失，進而去改正該缺失。

### [本篇評析]

1. 本文澳洲飛安調查局(Bureau of Air Safety Investigation, BASI)(目前已整合納入 ATSB 編制內)為實際案例，說明為何需要檢視其飛安失事事件與意外事件資料庫，以及如何發展與應用 SIAM 進行系統性地資料分析；此外，層級性與系統性的資料庫管理方式，值得作為飛安資料庫構建與改進之參考。
2. 本文深入淺出地介紹 SIAM 的核心精神與理論模式，並以 Reason 模式為核心精神，發展出此一適合分析大量資訊且能找出系統可能缺失的新一代飛安資訊分析系統，展現其提升事件報告價值，以及對系統安全健康提供有用的整體性正反面意見，讓研究者對於 SIAM 的發展與功能有深入之了解，值得作為飛安風險管理研究之參考。
3. 相對於 OASIS 著重於事件本身，SIAM 除了著重事件外，另外其加強對過去可能已發生過類似的潛在(latent)事件或明顯(apparent)事件進行分析；不過，以系統安全的角度而言，事件僅為系統問題之表徵、冰山的一角，唯有結合更深入的飛航運作或查核督導等資訊，方能達到事件預防的目的。
4. 本文主要著墨於 SIAM 核心模式的介紹，並未討論資料庫構建與改進時遇到的困難，亦未詳細介紹實際運作的狀況或實際的案例，所以在實際應用上仍須再深入研究。

### [相關文獻]

Baberg, T. and Kemmler, R.(2001), "The Impact of Human Factors on the Development and Risk of Safety- Relevant Events," 13th Annual European Aviation Safety Seminar.

Edwards, C. J.(1999), "Developing a Hazard Model for an Aviation Safety Case," IASS 1999, pp. 183-208.

Helmreich, R. L., Klinec, J. R., and Wilhelm, J. A. (1999), "Models of threat, error, and CRM in flight operations," 10th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 677-682.

Rantanen, E. M., Talleur, D. A., Taylor, H. L., Bradshaw1, B. L., Emanuel, T. W., Lendrum, L., and Hulin, C. L.(2001), "Derivation of Pilot Performance Measures from Flight Data Recorder Information," 11th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 1-5.

Reason, J. (1990), Human Error, Cambridge University Press, NY.

Reason, J. (1995), "A systems Approach to Organisational errors," Ergonomics, Vol. 38, pp. 1708-1721.

Sarter, N. B., Alexander, H. M. (2000), "Error Types and Related Error Detection Mechanisms in the Aviation Domain - An Analysis of Aviation Safety Reporting System Incident Reports," International Journal of Aviation Psychology, Vol.10, No. 2, pp.189-206.



# Aviation Human Factors: a Framework for the New Millennium

McFadden, K. L., Towell, E. R.

Journal of Air Transport Management Vol. 5, 1999, pp.177-184.

## [英文摘要]

This paper presents a survey of the literature on human factors in airline safety and builds a conceptual framework for designing future safety studies. In our framework, factors are analyzed to determine their association with operational errors rather than accidents. Since operational errors occur with much greater frequency than accidents, our new approach allows for the analysis of the more complex relationships and interactions that occur among various factors. Results generated through the analysis of operational data can enhance the decision-making process and help reduce pilot-error accidents. We also include recommendations for how data should be collected and stored in order for researchers to more effectively analyze flight safety data.

## [中文摘要]

本文回顧了航空安全相關的人為因素並架構一供未來安全研究的概念性架構。在此一架構中，首先分析各因素以決定其與操作錯誤之關聯性，而非與事故之關聯。因為操作錯誤之頻率遠大於事故。此一新的方式可供發生於多因素間之互動與更複雜關係之分析。經由對操作資料分析所得的結果可強化決策的程序並減少駕駛錯誤所引發之事故。本文為了能讓研究者更有效的分析飛航安全的資料，因此也提出資料之收集與儲存的建議。

## [內容]

### 1. 前言

美國總統Clinton曾申明航空安全是他最優先的運輸政策，此乃緣於美國航空運量的持續成長。假使趨勢不變，至2010年之客運量將達10億人次(FAA, 1999)。

假若事故與航班數成正比，可預期的事件數量將增加，在兩件重大墜機事件後 (Valuejet 5/96; TWA 7/96)，Clinton組織了一白宮飛航安全與保安委員會，試圖在接下來的十年減少死傷事件80%。

NTSB與FAA均對事件作調查以查明可能的原因，表1列示美國過去10年內傷亡人數至少達25人以上之主要墜毀事故。雖然維修、設計缺失與非駕駛之操作缺失常被列為典型主要的原因，但所有飛航事故之主因仍是駕駛錯誤，某些研究顯示大約70%事故可歸於機師錯誤(McFadden, 1993; BASE, 1999)，而有些研究則指出所有事故或多或少與人為錯誤有關(Braitwaite *et al.*, 1998)。這樣的說法對機師可能不公，蓋因機師仍處於事故發生鏈最後之一環。但是，當處理緊急狀況時，機師的判斷往往是事件發生與否的最後決定因子。因此，如何能可靠的模化機師錯誤？本文的焦點即在檢視以往如何分析機師錯誤的問題，並將各相關因素間複雜的關係納入考量，以發展一可供未來安全研究的概念架構。

表1 美國主要航空公司1989-1999墜機事件

Table 1 Major US airline crashes: 1989-1999				
Date	Carrier	Location	Fatalities (On Board)	Cause category <sup>a</sup>
07/19/89	United	Sioux City, IA	111 (298)	Maintenance
01/25/90	Avianca	Cove Neck, NY	73 (158)	Pilot-error
02/01/91	Skywest	Los Angeles, CA	12 (12) + 22 <sup>b</sup>	Miscellaneous, other
02/01/91	USAir	Los Angeles, CA	22 (89) + 12 <sup>b</sup>	Miscellaneous, other
03/03/91	United	Colorado Springs, CO	25 (25)	Undetermined
03/22/92	USAir	La Guardia APT, NY	27 (51)	Pilot-error
07/02/94	USAir	Charlotte, NC	37 (57)	Pilot-error
09/08/94	USAir	Aliquippa, PA	132 (132)	Undetermined
10/31/94	American Eagle	Roselawn, IN	68 (68)	Pilot-error
05/11/96	ValueJet	Everglades, FL	110 (110)	Not given
07/17/96	TWA	Long Island, NY	230 (230)	Not given
01/09/97	Comair/Delta Connection	Monroe, MI	29 (29)	Not given

<sup>a</sup> Obtained from FAA accident/incident database.

<sup>b</sup> Ground collision involving two aircrafts.

## 2. 傳統民航機師錯誤研究之方法

於二十世紀時，由事故調查所得之知識提供了民航改善之道。傳統上，研究均集中在透過系統性的事故調查來發現與機師錯誤事故有關之因素，此仍屬非常被動的方法。雖然了解到透過事故調查以確認原因並啟動改正的行動以防止錯誤再發生的重要性，但在邁向21世紀的當下，轉向「主動性安全」的強調是有必要的。

圖1顯示研究機師錯誤的傳統方法，其焦點集中在對事故的分析，其中與機師錯誤有相關之因素傳統上包括環境因素、飛航因素、航空公司因素與機師因素等四類。不過，當從事安全研究時，研究者均傾向僅針對其中之一類分析。

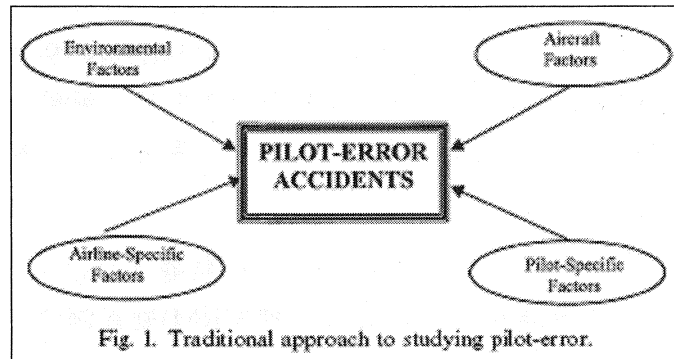


圖 1 研究機師錯誤的傳統方法

## 2.1 環境因素

環境因素包括內部、外部與工作環境。針對內部環境的研究，發現提高駕駛艙內的溫度與噪音對機師績效是有影響的(Pandolf et al., 1995; Wagstaff et al., 1998)。噪音影響飛安的例子在許多因不良通話所引發事故中可獲得證實(Wagstaff et al., 1998)。外部環境則聚焦於事故發生之天候條件、時間與地點等。天候因素所引發之事件數雖只占事件的5%，但其仍被列為許多事件中之重要影響因素。至於工作環境所探討者則包括航管層面以及機師於不同飛行階段之工作負荷。機師最大的工作負荷發生於進場與降落階段，根據波音的報告，超過50%之事故發生於此等階段(BASE, 1997)。

## 2.2 航機因素

影響機師錯誤事故之航機因素包括維修與設計。Abeyratne(1998)提到大約15%之事故起因於維修的錯誤，Cohen(1998)則提出不舒服的座椅對績效會有影響，並可能進一步造成事故。為了防止事故，工程師不斷的尋求最佳的儀錶與控制面板之設計。

近來，駕駛艙自動化與機師錯誤事故間之關聯受到重視，當機師太依賴自動化時，他們會傾向喪失情境察覺(Endsley, 1995; Endsley and Kiris, 1995; Sarter and Woods, 1995)，並可能因而造成航機在控制下撞地(CFIT)。Jentsch et al. (1999)認為執行飛航之機師比非飛行機師更可能因失去情境察覺而犯錯誤，該研究並提供了機型、飛行階段以及天候與情境察覺喪失有關之一些事實。

## 2.3 航空公司因素

航空公司如何經營是航空公司因素所欲探討者。每一家航空公司是為負責安全的決策體，不同的航空公司會有不同的機師徵選與訓練；同時，安全程序、工作規劃與公司安全文化之差別與公司有關因素的不一致引發了不同航空公司之飛安水準是否有別的疑問。Barnett et al.(1979)分析58家世界各國主要航空公司

1957至1976之失事資料，發現美國的航空公司無明顯安全上的差異，但其他國家航空公司間之飛安則有相當明顯的差異。Barnett and Higgins(1989)更認為美國飛安是有進步的，而國際間則否。McFadden(1998b)發表了一風險模式以預測美國的航空公司因機師錯誤所造成之事故率，此等模式乃事先可以依航空公司別進行可靠的機師錯誤預測的模式。

其他研究則採用有些不一樣的方法，主要焦點問題集中在例如訓練、工作規範與公司文化等方面。眾所週知的組員資源管理(CRM)制式訓練計畫被開發來增進組員溝通與團隊合作以減少錯誤。Helmreich(1997)研究CRM訓練對飛安的意義，Salas et al.(1999)則提供了一有效設計與進行CRM訓練的系統性方法。另外，NASA的Ames研究中心則投入非標準化與工作計畫變動如何導致機師疲勞以及睡眠如何影響機師績效與生產力，並提出如何降低疲勞的建議。航空公司的文化是相當重要的，概其可反映出航空公司的飛航管理與訓練部門對飛航作業的指導與督導(Degani and Wiener, 1993)。

## 2.4 機師因素

與機師特定的相關因素如年齡、經驗、性別、人格特質與不當飲酒等均與機師錯誤事故有關，以往的研究顯示事故率隨著年齡與經驗下降，而後趨於水平(Golaszewski, 1983; McFadden, 1993)。至於性別方面，Vail and Eckman(1986)分析普通航空業1972-1981之事故率，發現男性機師有較高之機師錯誤事故，但此一結果頗受爭議。McFadden(1996,1997b)分析1986-1992年機師錯誤之事故，經年齡、經驗、曝光率、以及航空公司別之調整後，則獲致男女機師並無差異之結論。人格特性方面的研究，Novello and Youssef(1974b)提出女性機師擁有與男性機師類似之特質遠多於一般女性的特質。男性機師之特質高於一般男性者包括成就、表現、支配、求變與異性戀。低於一般男性之特質則有服從、結黨、規律、謙卑與耐力。另外，Sanders and Hoffman(1975)嘗試以人格特質為基礎使用逐步判別分析法以區分涉入機師錯誤事故與無機師錯誤事故的群體，結果顯示「群體依賴-自我獨立」、「實際-幻想」、「直率-精明」等三個特質因素可作為區分的依據。不過Sanders et al.(1976)再度以不同的樣本作確認，卻無法得到一致的結果。Levine et al.(1976)類似的採用因素分析法以決定機師的行為態度是否與事故有關，結果顯示只有「冒險」因子與事故有關。

至於機師不當飲酒方面，McFadden(1997a)的分析發現曾經有酒醉駕車犯行記錄者是與機師錯誤事故有關聯，尤其經常酒醉駕車者其事故之可能更大。不過，當事故發生時，這些機師均相當鎮定，為何其比較容易發生機師錯誤之原因則不明。

### 3.未來飛安研究之架構

解除管制後之競爭使得多數人對飛安存有諸多疑慮，但也有研究指出解除管制對飛安並無影響，蓋FAA仍不斷的強化飛安的監理。以往飛安基金會(FSF)對安全的定義為“無事故發生”，因此，傳統上對飛安的研究均集中於事故資料之分析，但是，無事故並不表示安全，Lowrance (1976)即定義安全為“風險接受度的一種判斷”，同樣的，Braithwaite and Caves (1997)即稱，為了達到安全，我們必須量化風險並以適當的安全措施予以對應。

在新的紀元，我們真正需要的是一全新的飛安資料分析方法，一個在旅客傷害發生前即能指出錯誤並採取改正行為的方法。它應該是一個主動式而非回應式的方法，不過直至目前為止，此一方面的進展相當有限。運作錯誤的資料而非事故的資料，必須是安全過程中新的核心焦點。白宮飛安及保安委員會即建議FAA應與航空界合作發展安全資料庫，其將可提供寶貴的資料供分析並可促使新研究架構出現與施行的可能。

圖2提供設計未來飛安研究的架構，在此一架構中，環境、航機、航空公司與機師因素均納入分析，以確認參與操作錯誤而非事故之關聯，由於操作錯誤發生之頻率遠高於事故，因此，可提供更複雜的關係與因素間互動的分析，此一方法的優點是可建立模式以協助機師錯誤可能性的預測，進而提出改正行動以破除事故鏈，避免事故的發生。

傳統上，圖2左側路徑之主要錯誤並未呈報，其安全警覺性即未被關注，許多常發生之操作錯誤並不以事故方式出現，若不被揭露，其他人即無法從錯誤中學習。圖中另一側的路徑—機師錯誤失事，傳統上為稀少事件但受到非常的重視，事故調查所獲得的可能肇因與相對的改正行動為事故預防的重要手段。

理想上，絕大部份的操作錯誤應該經由圖2中間之路徑發現，使用此一路徑將產生高品質的資料以支持分析之工作，其結果將可強化決策程序，最終將導致機師錯誤事故的減少。

#### 3.1 FAA 新督查系統

FAA新的督查系統(ATOS)基本上為一風險管理的計畫，此一新方法意圖遠離責難與懲罰的想法，邁向非懲罰性的錯誤揭露以防止未來錯誤的發生，此新計畫包含三個重點：飛安行動夥伴(Aviation Safety Action Partnership)、飛航品質保證(FOQA)以及進階品質計畫(AQP)。ATOS系統提供研究者可以分析操作錯誤的能力，此等新資料有利於對導致事故之複雜事故鏈的深入了解。

在這樣的計畫下，機師犯錯或遭遇危害安全的情況時，不會遭受到處罰，但必須在24小時內上報，且必須遵守建議的改正作法。最初，此一計畫遭到機師的



質疑與阻力，漸漸的，其已能受到大家的信賴。從啟用到現在，美國航空(AA)每年接到約3000件的報告。如果沒有此一ASAP之計畫，FAA所能知悉之案件將少於呈報量的0.5%，ASAP可謂是一相當有效的計畫，目前，至少有6家航空業者使用ASAP。

3.2 研究架構展示

假設各航空公司均執行ASAP與FOQA計畫，且資料均可獲得，我們就可針對有興趣的情境議題分析預測機師錯誤發生的機率。假設研究的應變數為某一機師是否出現操作錯誤為一二元之變數，可採用Logistic迴歸分析，而相關獨立變數可包括：

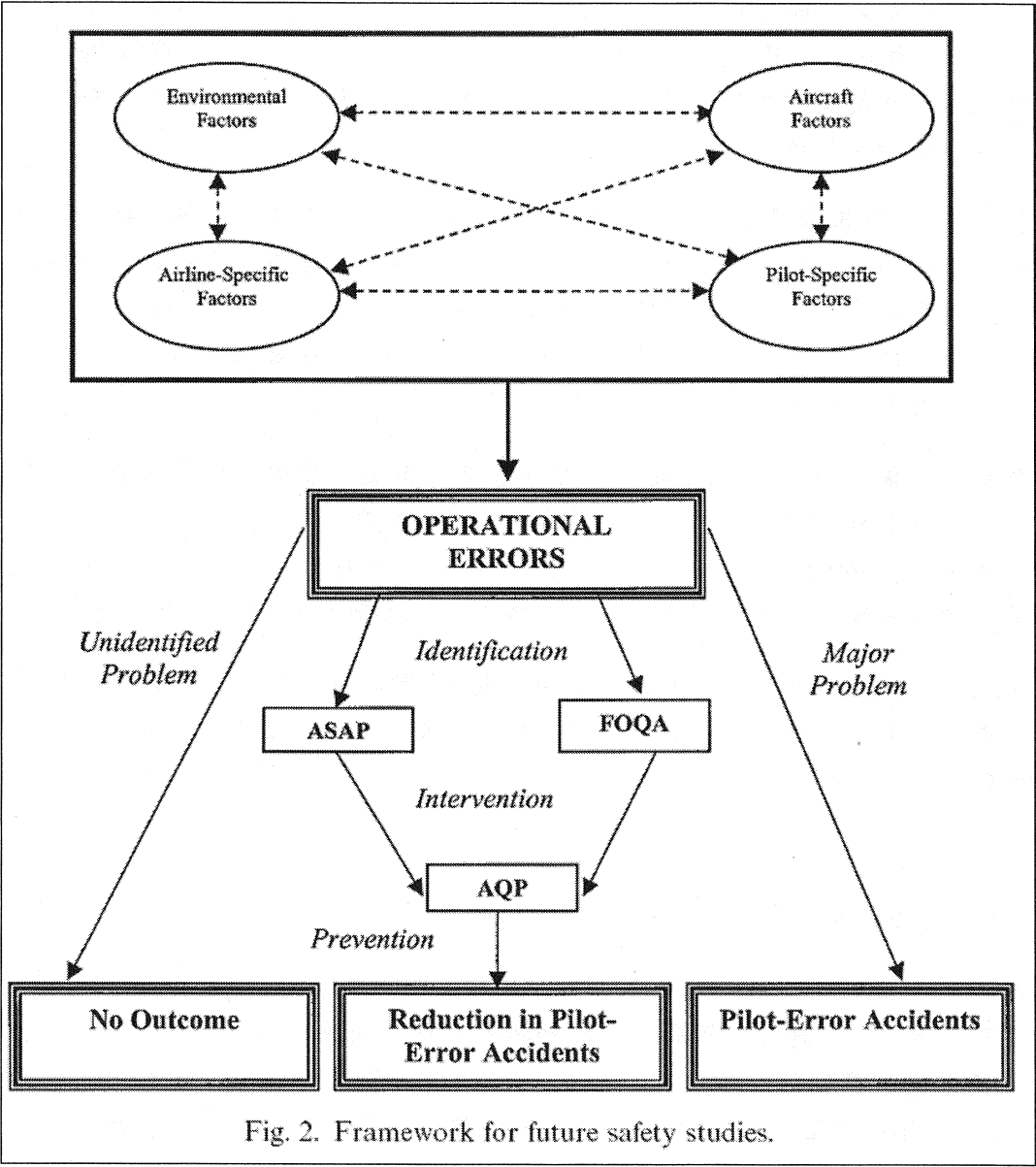


圖2 未來安全研究的架構

X1：飛行階段(環境因素)

X2：雷雨狀況(環境因素)  
 X3：自動駕駛啟動狀況(飛機因素)  
 X4：航空公司類別(航空公司因素)  
 X5：勤務長度(航空公司因素)  
 X6：機師年齡(機師因素)  
 Xjk：因素j與因素k之交互影響

因此，假設問題之模式即可寫成：

$$\text{Log}\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_{12} + \beta_8 X_{13} + \beta_k X_{12356}$$

其中：P為操作錯誤發生的機率

由於過去並無充足的資料，因此無法研究自動駕駛與其他相關因素於事故中之角色與影響，目前藉由ASAP與FOQA資料庫，我們可分析運作錯誤的資料與相關影響因素，隨即可介入破除導致事故的鏈結。

## 4.執行議題

### 4.1 資料的收集與儲存

當許多利益團體欲使用資料時，其中即會存在目標的衝突與資料的敏感性，必要的一致性資料收集與儲存程序即會受到嚴厲的挑戰。另外，資料型式類別諸多，有些是必須當場收集的瞬間資料，其資訊內涵隨時在變，無法儲存，有些資料是靜態的，有些資料則是可推導而得的，如此種種均使得執行上面臨重大的阻力。

### 4.2 FAA 與業界的合作

資料的使用者與擁有者必須深入的參與，為系統發展成功的要件，系統的範圍與功能必須基於使用者之需求原則，為了解決衝突的需求，勢必付出更多的代價。同時，各種資料庫間資料定義與整併之困難需透過充分的溝通，始能提昇資料的正確性與完整性。

### 4.3 納入持續改進的程序

所設計的系統若僅為了滿足現行的需求，是很難修正以適應未來的需求的，因此，此一系統必需為了未來的成長與改變而設計；否則，為了ASAP與FOQA系統的演進，必將付出高昂的時間與金錢的代價。為了能支援各式各樣的統計軟體與分析工具，為了能回答各類特定的問題，以及為了能容易修正現有的資料庫結構，系統的“彈性”是最基本的要素，必須妥為規畫，以便能精確的將資料轉換

成有用的格式，以提供研究者使用。

## 5. 結論

本機師錯誤的研究架構仍著眼於早期偵知安全之疑慮，比傳統方法更為主動，企圖透過對運作資料的分析發現問題。由於運作錯誤比機師錯誤失事發生頻率高出甚多，我們可以從事更複雜關係與各因素間交互作用的研究，經由對那些出現於運作中之致命因素組合的確認，決策者可介入破除之。不過，研究者在早期發展過程中的參與是必要的，以協助決定收集資料的內涵及儲存的方式，否則所收集之資料恐不完整或無法供進一步的分析使用。

人為錯誤並非僅發生於航空業，醫療領域亦有類似之問題，傳統上，醫療業界亦依賴懲處作為解決醫療失誤之方法，不過某些醫院已發展出所謂的風險缺失系統，此一計畫之用意仍在改變與錯誤有關之組織文化，並且發展一確認與預防錯誤之系統方法。此方法同樣包涵了從處罰文化轉移至免於責難之錯誤揭露系統，總而言之，主動方法為21世紀達成安全改善之關鍵。

## [文獻評析]

1. 強調系統分析對分析機師錯誤的重要性，不能僅就環境、飛航、航空公司或機師因等素作單點探討，其為目前飛安思維的主流，亦為飛安風險分析模式構建的核心。
2. 文中概略性介紹環境、飛航、航空公司與機師等影響安全系統之因素，但未有適切區分其層級性與影響範疇，對於各因子間的交互影響關係亦未有深入探討，無法清楚呈現系統全貌，值得深入研究。
3. 資料為風險分析的基礎與問題發掘的依據，建立共享的機制與平台，將可提供寶貴的資料供分析並可促使新研究架構出現與施行的可能，不過如何建立彼此互信的基礎、避免資訊的濫用是其中的關鍵。
4. 文中指出研究者在早期發展過程中的參與是必要的，以協助決定收集資料的內涵及儲存的方式，否則所收集之資料恐不完整或無法供進一步的分析使用。換言之，事前對飛安系統的解構及對各項問題肇因的釐清，是能否掌握所需資料內涵與儲存方式的關鍵課題，值得深入研究。
5. 各種飛安資料除蒐集與儲存之議題外，如何整合多管道來源及其不同屬性的質量化資料，在考量環境、組織與個人等因素及其因果關係下適切反映飛安環節，更是未來需解決的障礙。

6. 本文運用羅吉特模式作為系統模式運作的展示工具，不過此模式雖能詮釋與評量各因子及因子交互間對機師錯誤發生率的影響程度，但卻無法反映整體系統運作架構及因子間的因果關係；換言之，適合作為風險評量的參考工具，但對事件預防難以發揮實際功效。

## [相關文獻]

Abbott, K. H. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999, pp. 317-322.

CAA (2002), Fundamental Human Factors Concepts, previously ICAO Digest No. 1, UK Civil Aviation Authority.

CAA (2002), Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection, previously ICAO Digest No. 12, UK Civil Aviation Authority.

Heinrich, D. (1999), "Aviation Risk Management." CASS 1999, pp.25-37.

Matthews, S. (2003), "Human Factors in Aviation: People - the Aviation Industry's Greatest Asset, but Also Its Biggest Problem," 12th Annual Taiwan Aviation Safety Conference.

McKellar, G. (1998), "Detecting and Eliminating the Hazard." IASS 1998, pp. 543-556.

Sumwalt, R. L. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999, pp. 343-376.

傅健康 (2003), 「人為疏失管理與飛航安全」, 空軍學術月刊558期。



# **Derivation of Pilot Performance Measures from Flight Data**

## **Recorder Information**

Rantanen, E. M., Talleur, D. A., Taylor, H. L., Bradshaw1, B. L.,

Emanuel, T. W., Lendrum, L., and Hulin, C. L.

11th International Symposium on Aviation Psychology

### **[英文摘要]**

Flight Data Recorder (FDR) data has proven invaluable in accident and incident analysis to determine the aircraft states and crew actions in abnormal or emergency situations. With advanced technology the quality and quantity of such data have substantially improved, and these data have also become more accessible than before. Consequently, a number of participating airlines have begun to routinely analyze the flight data from regular flights within Flight Operational Quality Assurance (FOQA) programs to identify patterns of irregularities and potentially hazardous situations (Brandt, 1999). Objective FDR data could also be particularly valuable in training and pilot performance assessment for research purposes, where accurate quantitative data could not be obtained otherwise.

Although the current FDRs provide a wealth of data that can be efficiently handled and stored, information extraction from these data is hampered by the lack of proven performance measures. For example, only when predetermined parameter values are exceeded are they automatically flagged in the FOQA data; but a detailed analysis of these instances must be done manually. Because manual analysis of the FDR data is labor-intensive and time consuming, it may not be carried out in appropriate detail, and much useful information is thus lost.

This paper will describe a number of measures of pilot performance that can be derived from FDR information. Data collected from 200 instrument proficiency check flights in FDR-equipped Beechcraft Sundowner aircraft were analyzed and several pilot performance measures were derived from nine different maneuvers in each flight. These measures will be used to augment subjective scoring by flight instructors and to investigate differences between pilots of different performance at a finer detail than the typically pass/fail evaluation of the check pilots.

## [中文摘要]

飛行記錄器(Flight Data Record, FDR)的資料，在失事與意外事件的飛航狀態與組員不正常反應或是緊急狀況分析上，提供相當有價值的資訊。隨著科技的發展，不論質化或量化資料皆獲得實質性的改進，而且較以往更容易取用，也因此許多航空公司在飛航運作品質確保系統(Flight Operational Quality Assurance, FOQA)下開始例行性分析每一航班，以確認違反規定或潛在危險的情境趨勢。主動的 FDR 資料在研究上對於人員訓練或駕駛員績效評量更顯得特別有價值，尤其是那些無可取代的量化資料。

現行 FDR 所提供的豐富資料雖然能被有效地處理與儲存，不過其相關資訊的萃取仍受限於績效評量方法的不足而無法發揮充分的效能；例如，僅有當預設的參數數據超過設定值方會自動列入 FOQA 資料中，而且對於案例的細部分析仍需仰賴手動操作。此外，以人工方式分析 FDR 資料是一項勞力密集且耗費時間的工作，所以並無法過於深入探討，也因而喪失許多有用的訊息。

本文將提出許多可以由 FDR 資訊中萃取用以評量飛行員績效的指標，其資料來自配有 FDR 設備的 Beechcraft Sundowner 型飛機的 200 筆能力驗證飛航檢測資料，其中幾位機師在單趟飛航過程中會受九種不同情境測試。在較以往考核機師僅評通過與不通過的更細緻分析下，比較研究所提評量指標與檢查機師(check pilot)採用主觀評量的分數，進一步發掘飛行員間飛航表現差異的原因。

## [內容]

### 1. 前言

本研究是伊利諾大學空運研究所大型計畫之一部分，目的在評量航空人員電腦化訓練設備(personal computer aviation training devices, PCATDs)對維持訓練能力的效果(Talleur *et al.*, 2001)。在六個月的期間內，針對 106 位現役飛行員，分為四群受訓組別：飛機上、透過 PCATD、透過 Frasca 訓練設備或非上述三者；結束後，每一位均接受能力檢核(instrument proficiency check, IPC)飛航測驗並由認證的種子教官評量其能力。

直接觀察的結果，經由教官審慎評量後，對於訓練與能力評估的績效評量方式應能符合可信與可靠的要求。不過，上述成果必須基於以下條件：首先，它非常依賴考核員的專業與技能，因為不同飛行員間的表現差異往往相當細微難辨；其次，充分使用經嚴謹定義的標準檢查表(standardized checklist)也是關鍵，該檢查表系基於 FAA 的要求與準則而設計。最後，評估者必須接受充分訓練，符合合理的內部與外部評量可靠性。計畫中的考核員，其訓練與標準均經嚴格要求符合上述條件。

若上述條件滿足，則觀察法可能是目前最好且可行的績效評量技術。經驗豐富的考核員不僅對正確的程序與技術有著深入的知識，對意想不到的問題與一般人易犯的錯誤也有豐富的經驗，所以他們可以隨著受測者的思路去察覺導致誤失發生的極少且細微線索。觀察法也可以掌握整體任務的全貌，包括輔助設施與設備的使用與溝通，以及其他非飛行員職責但影響飛安的次要任務表現。

然而，運用教官評估飛行員績效的方式有些顯著缺失：首先，這項工作需要一對一進行相當的耗費勞力；此外，教官囿於人工觀察能力的限制，可能無法提供研究所需之充分且精確的量化資料。同樣地，檢查機師(check pilot)可能無法時常提供探討多變問題的資料，特別是在觀察同時發生的事件。基於上述原因，發展一套可靠且可信的自動化績效資料蒐集裝置及評估方法，配合檢查機師的觀察評估，對於飛行員績效評估來說是必要的研究。

本文將提出許多可以由 FDR 資訊中萃取用以評量飛行員績效的指標，並藉由機上裝設的 FDR 自動蒐集評量飛行員績效的資料。自動化資料蒐集強化了傳統能力評估的方法，不僅減緩時間限制的壓力與直接觀察資訊的超載，而且量化的績效資料更可以有效地被應用在研究上，透過各種統計分析發掘隱藏於飛行員表現下的特性。

## 2. IPC 資料記錄器

IPC 資料記錄器(FDR)是為了研究飛行員績效所需而建造，其基礎架構為商用單機電腦，尺寸為 22×24×12 英吋、重量為 42 磅，裝設於 Beechcraft BE23 Sundowner 型飛機移除後座的位置上，以每秒一筆的頻率(1 Hz)記錄航機的位置(運用 GPS 與差異校正接收器(Differential Correction receiver))、高度、仰角、旋轉、偏移、航向、垂直速度與飛行空速，也同時記錄特高頻接收與定位器(VHS Omnirange, VOR/LOC)與下降斜率(glideslope, GS)的讀數；另有手持終端機，運許教官隨時啟動或停止資料記錄、標示紀錄、檢視資料記錄器狀況及資料記錄進度(Lendrum *et al.*, 2000)。不過，特別重要且值得注意的是，由於會使得記錄的呈現變得複雜，飛行員對於航機操控的資料並未被記載；換句話說，飛行員的表現必須由系統(如航機)狀態倒推。

## 3. 資料的事先處理與簡化

IPC 飛航包含一系列特定的子題(maneuver)並要求學員在一定準則內完成，各項原始資料以每秒一筆的方式記錄。因為最引人興趣的是學員對上述子題的表現，所以教官必須以手持終端機標示與區分各不同子題的航段。然而，在飛航的過程中不一定能精確完成，因此必須仰賴事後檢視飛航資料與重新標記飛航區段



的工具。

必須先了解分析者的任務才能提供標示航段所需的精確且有效之工具。因為，PIC 飛航是依循預先設定的課程，所以航機與機場及地面導航間的位置是區隔子題航段的最佳指標。因此，可以在地圖上用記號標示航機飛行途徑，用以區別 IPC 關鍵的航段與僅是飛航轉換的部分。然而，分析者必須確認各子題確實在選定的各區段內施行，必須同時參閱其他在特定點記錄的變數，如高度、航向等，所以記錄器的介面必須讓分析者與資料能保有高度互動性並能同時參閱其他變數。因此，為能徹底分析 FDR 所蒐集的資料，必須要求兩個重要步驟：(1)以上述方式載明並區分各航段，(2)仔細分析各項資料。

最後，發展一套電腦程式提供分析者視覺化工具及分析者與原始資料間的互動介面。典型的 IPC 資料檔包含 23 個變數與每小時 3600 筆記錄，主要的視覺化工具是標繪航機水平位置於地圖上，並在圖上標示助導航設施位置與各航段航路(course)；其他選定的變數也依循相似的方式，將數值標繪在 X 軸與變數標繪在 Y 軸上，分析者可以選擇 xy 座標方式或表格方式查看其資訊。程式也允許編輯原始資料檔案，修剪檔案中不重要的起始與結尾資料。

程式提供分析者選擇有興趣的變數及其以標繪或表格呈現的方式、螢幕上顯示變數間的交互參照、選擇單一資料點或特定範圍的資料點、或是圖像放大縮小等功能，分析者也能在檔案中標示所選擇區段的起始位置、或是在每個資料檔中標示數個區段，並且另存為新檔；特定航段中不同飛航參數的準則在上述步驟中也一併加入。

#### 4. 飛行員績效衡量

飛行員績效指數(indices)必須可信且具有尺度。蒐集量化績效資料並不困難，但是必須注意的是評量方法的可信度。每一個記錄的飛航參數的準則必須清楚定義其詳細準則與容忍值；這並不困難，因為相關準則與容忍度大多已由 FAA 定義且成為教官執行評量的依據，自動化資料蒐集只是強化教官觀察的精確度。然而，在結果能被精確解讀前，來自 FDR 中的績效指數，其準則與容忍值必須先行計算。

因此，針對 FDR 中的九項參數：高度、仰角、旋轉、偏移、航向、垂直速度、飛行空速、航路偏差(course deviation)、下降率偏差(GS deviation)，提出五種績效評量指標：

##### (1) 標準差(Standard deviation, SD)

SD 用在敘述資料在指標平均值附近的變異程度，標準差值越小表示績效越好；不過，此指標無法提供與設定準則相關之可能錯誤的訊息。

(2) 根號均方差(Root mean square error, RMSE)

RMSE 是常被用來衡量軌跡績效(tracking performance)的指標(eq., Scallen, Hancock, & Duley, 1995)，將高度或速度等特定參數在整個 IPC 航段的軌跡績效轉為單一數值。RMSE 值是所有數值的誤差平方和，除上變數個數後再開根號；所以，RMSE 是所有誤差的總體概述，通常其數值越低表示績效越好。不過，RMSE 具有幾個缺點，包括它無法反應對於該準則的偏差方向(屬正偏差或負偏差)或偏差頻次。

(3) 超出容許範圍的次數(Number deviations, ND)

ND 是衡量參數超出預先設定容許範圍的次數，它對於評量速率誤差的軌跡特別重要，可以補充 RMSE 僅有偏差程度資訊的不足。ND 數值越低一般表示績效越好，不過亦有可能發生飛行員僅偶爾不小心偏離航道，但卻長時間停滯。因此，ND 數值必須搭配該航段超出容許範圍的總時間數指標(TD)。

(4) 超出容許範圍的時間(Time outside tolerance, TD)

TD 為航機超出容許範圍所花費時間的累計，除 RMSE 與 ND 外提供評量軌跡績效的另一項指標，數值越小表示績效越好。

(5) 超出容許範圍的平均時間(Mean Time to Exceed Tolerance, MTE)

MTE 用來評量連續資料點超出預先設定容許範圍的平均偏差，提供衡量軌跡績效與評判 ND 及 TD 數值的另一指標。若 MTE 值大但 SD 值小則表示好的績效。

上述指標結合機上 GPS 資料的參數則可以偵測大氣中亂流在 IPC 過程中的影響，區別出飛行員引發航機狀態的變化係自主或受迫。例如，高度與垂直速度的變化卻未伴隨應有的仰角變化，則表示受亂流影響而非自身表現不良，但若航機仰角大幅變化則不然。

由於部分指標需要事先訂定標準準則(如 RMSE)或容忍值(如 ND、TD 與 MTD)，所以在進行分析前透過資料篩選程式(data reduction program)將包含準則與容許值資訊的檔案分離。在 IPC 資料裡通常每一航段的準則或容忍值都不同，但一般教官在評判飛行員績效時均以相同容忍值作為評判標準，資料篩選程式可

以允許改變每一航段的準則與容忍值，用以探討此兩項參數對於績效評量的影響及其偵測飛行員重要疏失的敏感度。

## 5. 目前的努力

上述評量指標沒有一項是創新的方法，更確切的說應該僅是廣為用在評量軌跡績效的基礎(c.f. Knoop, 1973, 1978; Knoop & Welde, 1973; Thomas, 1984; Vreuls *et al.*, 1976)；不過，卻符合 PCATD 研究的需求，提供進一步發展飛行員績效評量方法與模式的基礎。

對於上述績效評量指標，有四項分析工作仍在努力中：

- (1) 以檢查機師評估績效的三種層級去檢視指標間的相關性：整體 IPC 飛航測驗通過或不通過、各項測驗子題通過或不通過的分數、測驗子題內各項評量要項通過或不通過的分數。
- (2) 在不同績效水準下比較不同飛行員間的表現，探討評量指標的敏感性，量測指標數值在不同情境、受測對象標準差與實驗情境下的變化百分比。
- (3) 所有指標應用在九項參數上，將產生 45 項 IPC 績效量測數值；為能減少重複或相似的績效評量數值，提高指標的解釋能力，將進一步運用因子分析方法(factor analysis method)精簡評量因子數。此外，加入影響飛行員表現的共變異項，並將其分為四個不同受訓組別：飛機上、透過 PCATD、透過 Frasca 訓練設備或非上述三者；考量的屬性資料包括年齡、總飛時、單引擎與多引擎航機經驗、以及最近 90 天、180 天、360 天內的飛行經驗。
- (4) 將以 FDR 發展的指標去評估上述四個實驗組別飛行員的績效差異，包括在不同區段(子題)或控制型態(如高度、航路軌跡)。試驗結果將可充分提供作為偵測飛行員間績效的細微差異，並可回溯四個組別的訓練設施特性，以及與檢查機師粗糙的通過/不通過評量方式相比較。

## 6. 未來的目標

未來將以 IPC 飛航資料為基礎，針對增加的指標發展演算法，並進一步整合適切的指標構建飛行員績效評量模式。此外，雖然資料蒐集已是自動化且資料篩選程式亦已完成，不過在資料與航段區隔上仍有許多人力工作與專家判斷的部分可再改進；同樣地，自動應用準則與容忍值的演算法也需進一步研究。雖然，由於施行 IPC 飛航與飛行員個別績效差異的多變性，後續的目標呈現出難以克服的挑戰。

飛行資料記錄器不是要用來剝奪教官在飛行員績效評估所扮演的角色，而是期望成為未來研究的有力工具，並且變成有效的訓練儀器。其所提供的量化與客觀資料，透過適宜的圖像表現工具，提供學員與教官間經驗交流與回饋的機會。

## 7. 結論

研究主要目的在 PCATDs 對維持訓練能力效果的計畫中，協助飛行員績效的分析；發展由 FDR 資料中擷取的可靠及可信指標，將能用於飛行員訓練且該研究將於近年內執行。因此，持續改進量化與客觀的飛行員績效評量指標是必要的；此外，發展以 FDR 為基礎的有效指標可以應用在強化品質確保機制如 FOQA，減少勞力密集的分析工作並提升偵測趨勢與型態的能力。

### [文獻評析]

1. 本文運用 FDR 的量化資料與自動化指標計算的方式，補強教官以觀測法評量飛行員績效的客觀性及減少大量資料分析的勞力，其概念值得民航主管機關或航空公司學習與參考。
2. 為客觀評量飛行員績效，本文針對九項飛航記錄參數研擬五項偏異指標，除詳述個指標意涵並提出交互參照的方式；此外，更試圖運用 GPS 資料，偵測大氣亂流所引起的偏差狀況，排除非飛行員自身錯誤，提升績效評量的準確性與可靠性。雖然，相關應用與研究尚未有具體成果，不過其概念卻值得採用與試行。
3. 由於 FDR 所記錄的資料繁雜且未有適切區分不同任務航段，所以作者透過助導航設施位置與飛航高度為依據，並提供互動式的人工修正介面，使得資料大幅簡化且精確度提高。
4. 一般而言，系統容忍度越小則飛行運作越安全、分析越嚴謹，但發生錯誤警訊的機會也越高。因此，本文提出可以藉由敏感性分析方式針對各航段任務的準則與容忍度進行探討，掌握此兩項參數對飛行員表現的影響，進而釐清導致飛行員績效差異的細緻原因。
5. 一如本文所述，透過觀察而得的值化資料若能輔以量化的 FDR 資料，必能提升飛行員績效評估的效度，而且隨著飛安管理理念的發展及資訊技術的進步下，各項日常運作資料廣獲重視而成為飛安分析的主軸。因此，若能結合 FDR 量化資料與 LOSA 質化觀察，則飛安管理與風險預防必能更具體落實；不過，如何妥善整合以反映問題癥結，亟待進一步研究。

6. 本文提出的五種量化指標均有其適用性與限制性，如何擷取各指標的優點並發揮互補的效能，求得單一綜整性評判指標，值得後續研究。

### [相關文獻]

Abbott, K. H. (1999), "Human Error and Aviation Safety Management." IASS 1999 , pp. 317-322.

CAA (2002), Fundamental Human Factors Concepts, previously ICAO Digest No. 1, UK Civil Aviation Authority.

Helmreich, R. L., Klinec, J. R., and Wilhelm, J. A. (1999), "Models of threat, error, and CRM in flight operations," 10th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 677-682.

Klinec, J. R., Wilhelm, J. A., and Helmreich, R. L.(1999), Threat and error management: Data from line operations safety audits, 10th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 683-688.

McFadden, K. L., and Towell, E. R. (1999), "Aviation Human Factors: a Framework for the New Millennium," Journal of Air Transport Management, Vol. 5, pp.177-184.

McFadden, K. L. (2003), "Risk Models for Analyzing Pilot-error at US Airlines: a Comparative Safety Study," Computers & Industrial Engineering, Vol. 44, pp. 581-593.

# **Work Process Analysis: A Necessary Step in the Development of Decision Support Systems- An Aviation Safety Case Study**

Allen, H. W., and Abate, M. L.

Interacting with Computers, Vol. 11, 2000, pp. 623–643.

## **[英文摘要]**

This paper demonstrates the importance of work process modeling and supporting data analysis in system development. To illustrate the process of modeling for system development, we describe how traditional task analysis was used in our effort to understand the work processes associated with the Federal Aviation Administration's (FAA's) airworthiness and operations surveillance inspection activities. Further, the integration of risk assessment techniques resulted in a validated task analysis providing a review of the as-is state of surveillance activities. It is also shown how the as-is surveillance work processes that resulted from these studies were used as the foundation for a reengineered (re-eng) surveillance work process model. We conclude by describing a follow-on activity, the development of a safety critical work process model, which reflects an integration of the as-is and re-engineered work process descriptions, the human factors literature, inspection data analysis, federal aviation regulations and identified areas of safety criticality.

## **[中文摘要]**

本文闡釋工作流程在建立系統時對資料分析構建與輔助的重要性。為清楚闡釋系統發展構建程序，首先本研究說明傳統工作分析法如何被應用在了解FAA適航與航務監理查核活動的工作流程；接著，整合由風險評估技術發展的確證性任務分析法(validated task analysis)檢視監理活動現況，同時展示如何運用本研究所提的如實(as-is)監理工作流程作為重塑(re-eng)督導工作流程模式的基礎。最後，以後續工作作為結論，敘述安全關鍵工作流程模式(safety critical work process model)的發展，該模式為如實與重塑工作流程的性質、人為因素的文獻、查核資料的分析、聯邦飛航的管制與安全關鍵的區域確認等內容之整合。

## [內容]

### 1. 前言

美國聯邦飛航總屬飛航標準服務處(FAA Flight Standards Services)主要負責飛航運作與安全行動的監督，近年來為能提升安全督導效能將焦點著重在結合安全查核資料發展安全管理與控制的方法，持續進行飛航安全風險分析技術支援(aviation safety risk analysis technical support, ASRATS)的研究，其目的在提供方法協助FAA成為一個有效率且具資料分析基礎的組織，而且飛航安全查核員能依據安全的嚴重性依序施行督導作為。

為能達成此一目標，ASRATS的工作將焦點至於了解規劃、執行與紀錄飛安督導活動的步驟。近來FAA將飛安督導活動運用手工的方式紀錄於資料庫中並作為預劃未來活動的參考，甚至FAA的查核員常常取用其他單位的資料庫，包括聯邦機構、國外政府、航空公司與航機製造商，作為規劃督導工作與施行風險分析的依據。因此，為能充分整合各項資料，落實風險分析的功效，發展一套電腦化的決策輔助系統成為一個重要課題。發展此一輔助系統必須考量功能的配置與人機界面的溝通，為此ASRATS近來將研究的焦點集中在確認查核員必須執行的任務，進而整合改進的資料分析系統與資訊展示方法成一套適合查核員使用的決策輔助工具。

本文將展現決策輔助工具設計與發展的關鍵步驟—工作流程分析(Work Process Analysis)，敘述如何運用如實(as-is)的方法具體呈現與了解FAA適航與航務督導查核工作的現況，進而重塑(re-eng)原有的工作任務與流程，提升查核工作的效率與功效。

### 2. 方法

#### 2.1 如實(As-is)

如實(As-is)的意涵即檢視飛安查核活動，不論對錯、合適或不合適，不作任何評判與修改，具體且詳實呈現其實際的現況。工作流程分析過程中參考多項資料，包括適航與航務查核活動、適航查核員手冊、航務查核員手冊、聯邦飛航管制法(Federal Aviation Regulation, FARs)，以及交互參照以往的研究，決定將分析範圍設限於FAR part 121—大型航空公司。

圖1為手冊內描述的30項適航活動，本研究僅分析被定義為適航督導查核項目的活動，並以深色的方形表示；其中，以粗框線凸顯的活動為重塑流程的部分。圖2為16項航務督導活動，所有的活動皆以深色方形表示，代表均為如實分析的

範疇；同樣地，重塑流程的部分以粗框線凸顯。圖1與圖2中的連接線，代表執行飛安督導時可能選擇一項或多項活動同時執行。

在積聚大量資料後，針對各確認的查核活動進行工作流程分析，所有分析結果均以圖形呈現，包括每一項活動的查核要項與該要項與其他活動的交互關係矩陣。當上述工作完成後，接著運用1993-1996歲計年度的績效追蹤與報告系統(performance tracking and reporting system, PTRS)資料，進行模式修正與校估。

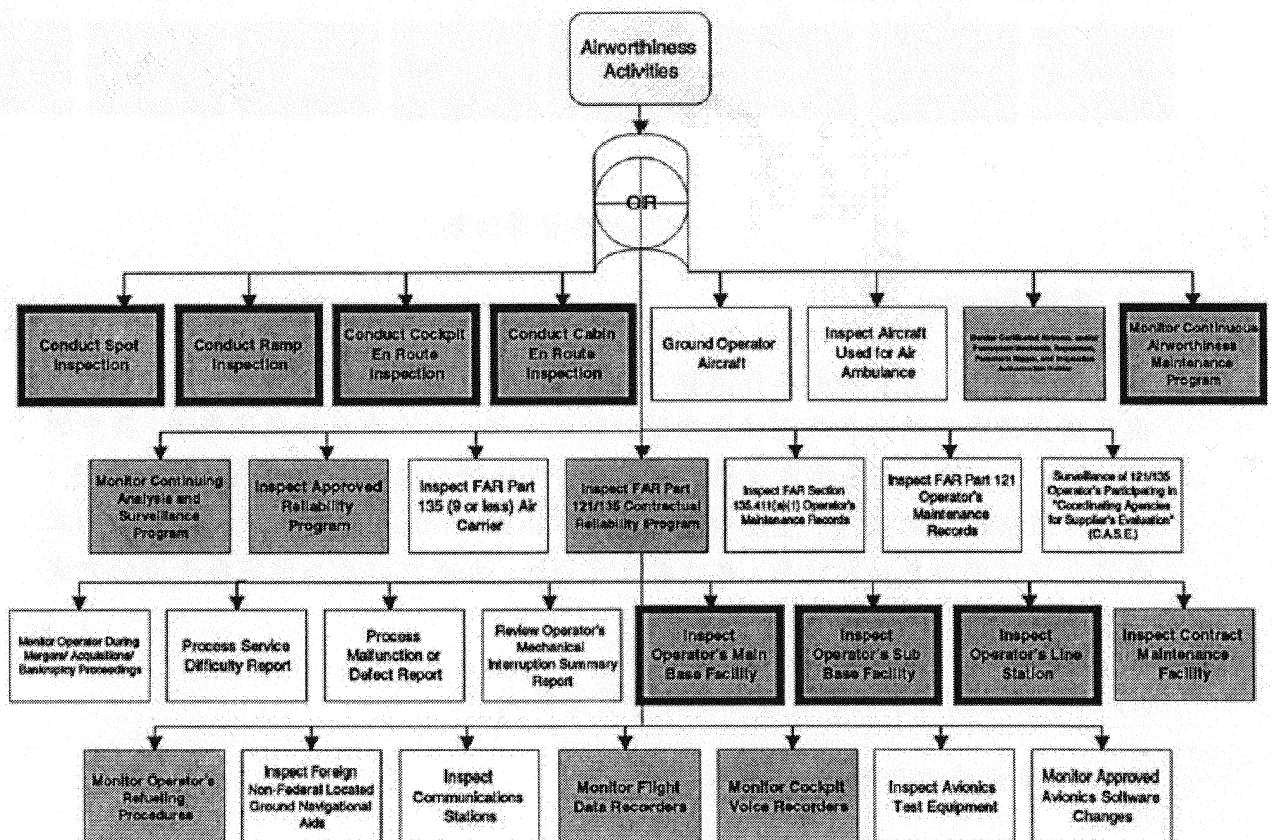


圖1 適航督導活動



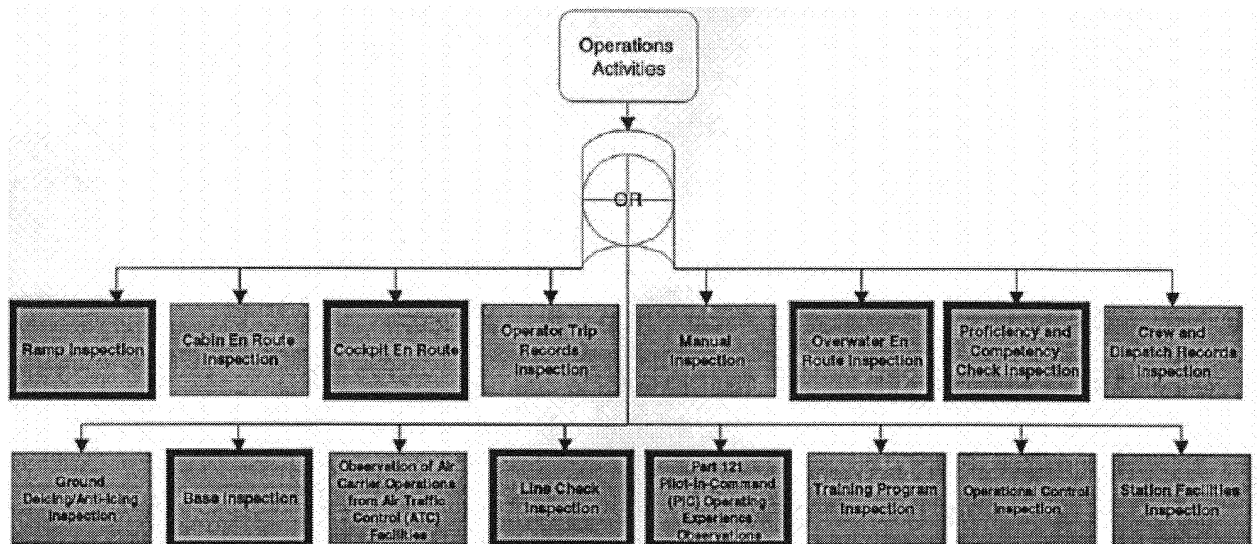


圖2 航務督導活動

## 2.2 重塑(Re-eng)

由如實轉換成重塑的工作流程，需要比較群內與群外的查核活動，透過如實與重塑查核要項的列表及查核要項關鍵詞的分析，去除重複的查核要項；其中的關鍵詞，是查核員為追蹤與分析之目的，用來註釋與紀錄查核結果的專用術語。由工作流程模式的觀點，重塑的結果以稻草人(strawman)圖形顯示哪些已有的工作流程可以變得更加有效果、有效率且可分析。本研究以最小侵害與干擾的方式重塑工作流程，其確保方式如下：

- (1) 所有前述成果中的如實要件維持於重塑模式中。
- (2) 適切地移除重複性要件。
- (3) 各活動不增加任何非原屬要件。
- (4) 在參考手冊、如實法產生的PTRS資料與重塑結果的報告間保存可回溯的保護途徑。

## 3. 結果

### 3.1 工作流程

#### 3.1.1 如實

針對圖1與圖2中深色方形所示的活動施行任務分析(task analysis)，藉由活動

間查核要件的交互矩陣進行比較，以及繪製流程圖。當分析工作的結果與衍生的查核項目矩陣時，以查核要項的形式或要素所屬的活動為原則，合併各活動分群，剩下分群內的活動都將擁有相異的查核項目。圖3與圖4為適航活動的分群與合併結果。

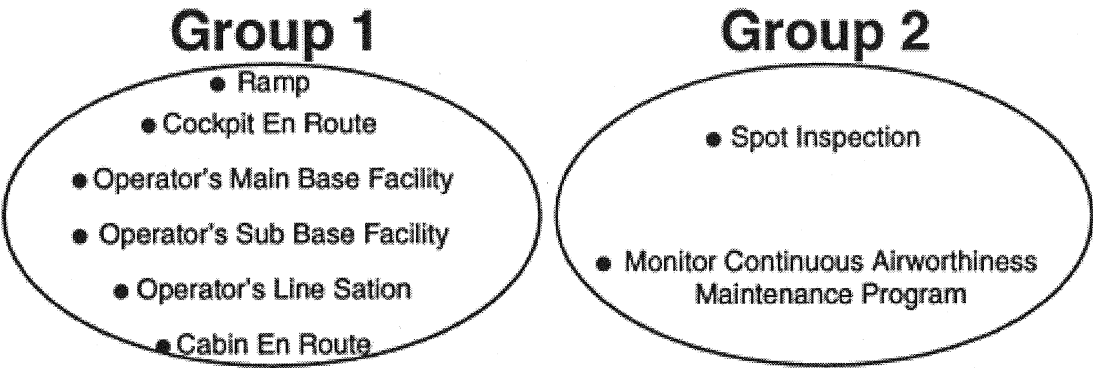


圖3 如實適航查核活動的分群

## Remaining Activities



圖4 剩下的如實適航查核活動

圖5與圖6為適航活動中機坪(ramp)查核與駕駛艙航路(cockpit en route)查核的如實工作流程模式結果，由圖中可以發現彼此間具有許多相同的查核項目；此些圖形再輔以查核要件矩陣，則提供活動間要素比較與對照的簡捷方法，清楚呈現其相似與相異之處。在分析適航機坪查核活動時發現，其內含的165個要項與駕駛艙航路查核有100%相同、與主要基地(main base)、次要基地(sub base)及過境場站(line station)查核有94%相同、與客艙航路(cabin en route)查核有54%相同(圖

7)。

在得到如實的適航與航務工作流程結果後，有幾項重塑工作流程時所考慮的議題：(1)重複的項目顯示可以更有效地構建各項活動，(2)諸多活動所含的龐大訊息遠超過人力所能處理，以及(3)精簡後應可使人員工作效率提升。

### 3.1.2 重塑

在如實轉換成重塑工作流程的過程中，需要比較群內與群間的各查核活動，作為刪除重複查核項目的依據。重塑的結果如圖8與圖9所示，查核要項並沒有減少，而是保留在最適宜的活動中。圖5的如實適航機坪查核包含外部查核要項與內部查核要項，後者的項目均包含於如實客艙航路查核中，所以所有與客艙航路查核相關的項目均維持在客艙查核活動中；當查核要項與貨物相關通常會同時存在於兩者，但顯然地較適合歸於機坪查核活動中。





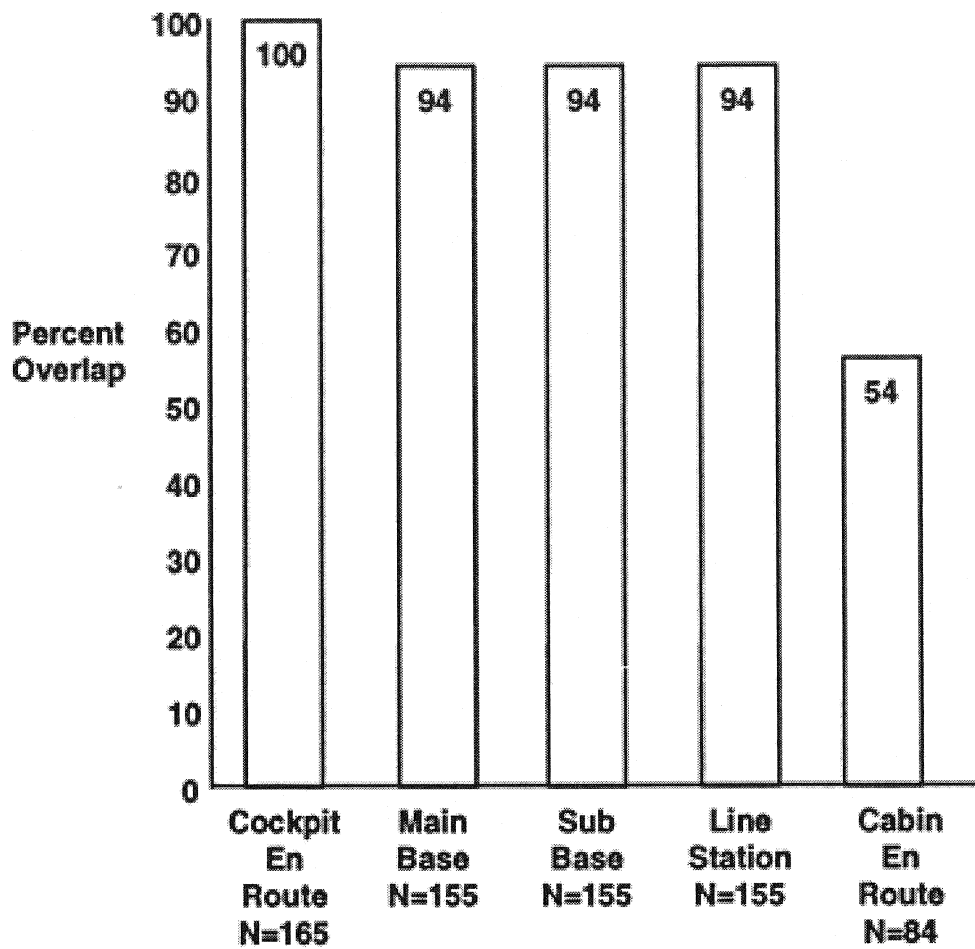


圖7 如實之適航機坪查核要項的分析

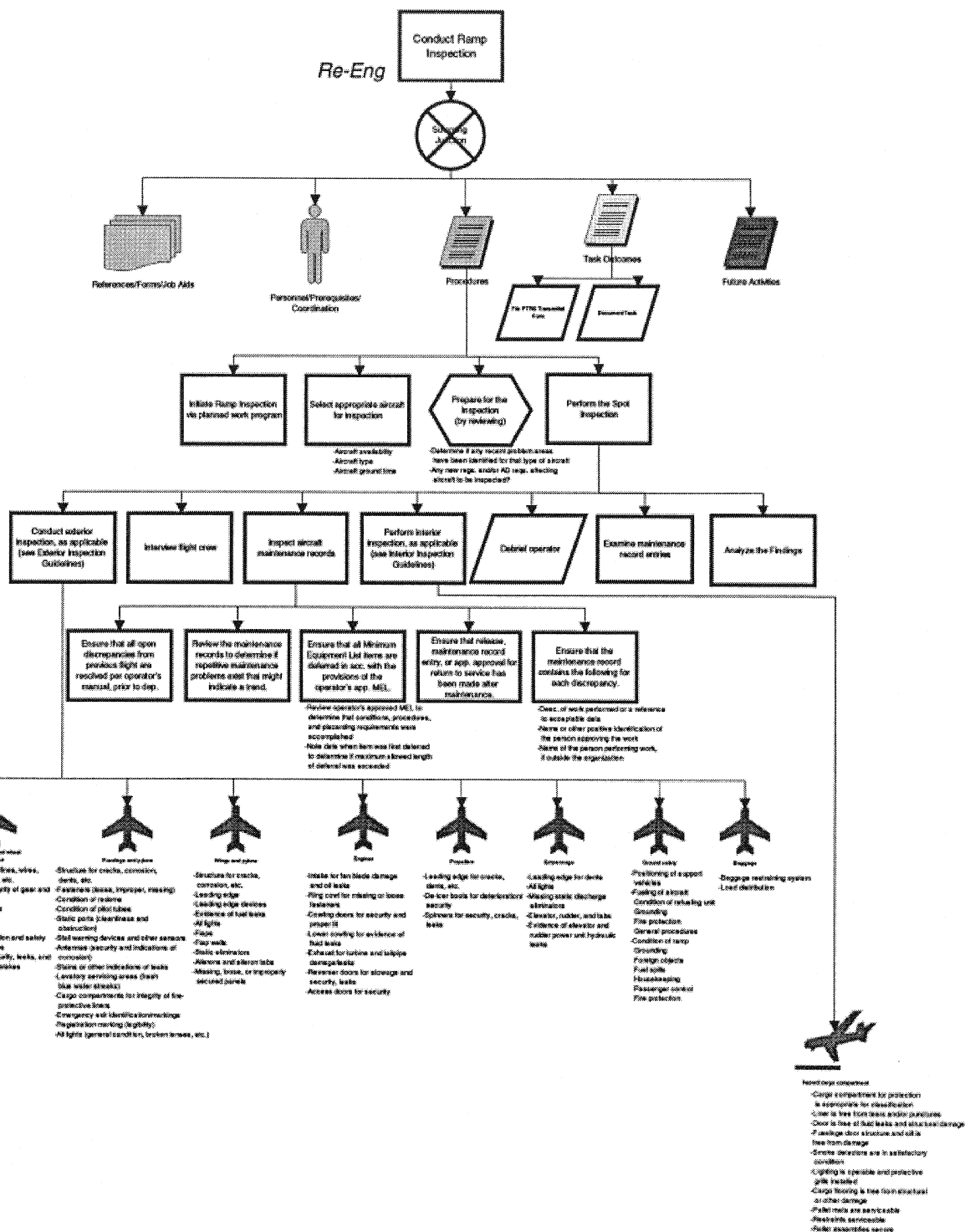


圖8 重塑的適航機坪查核

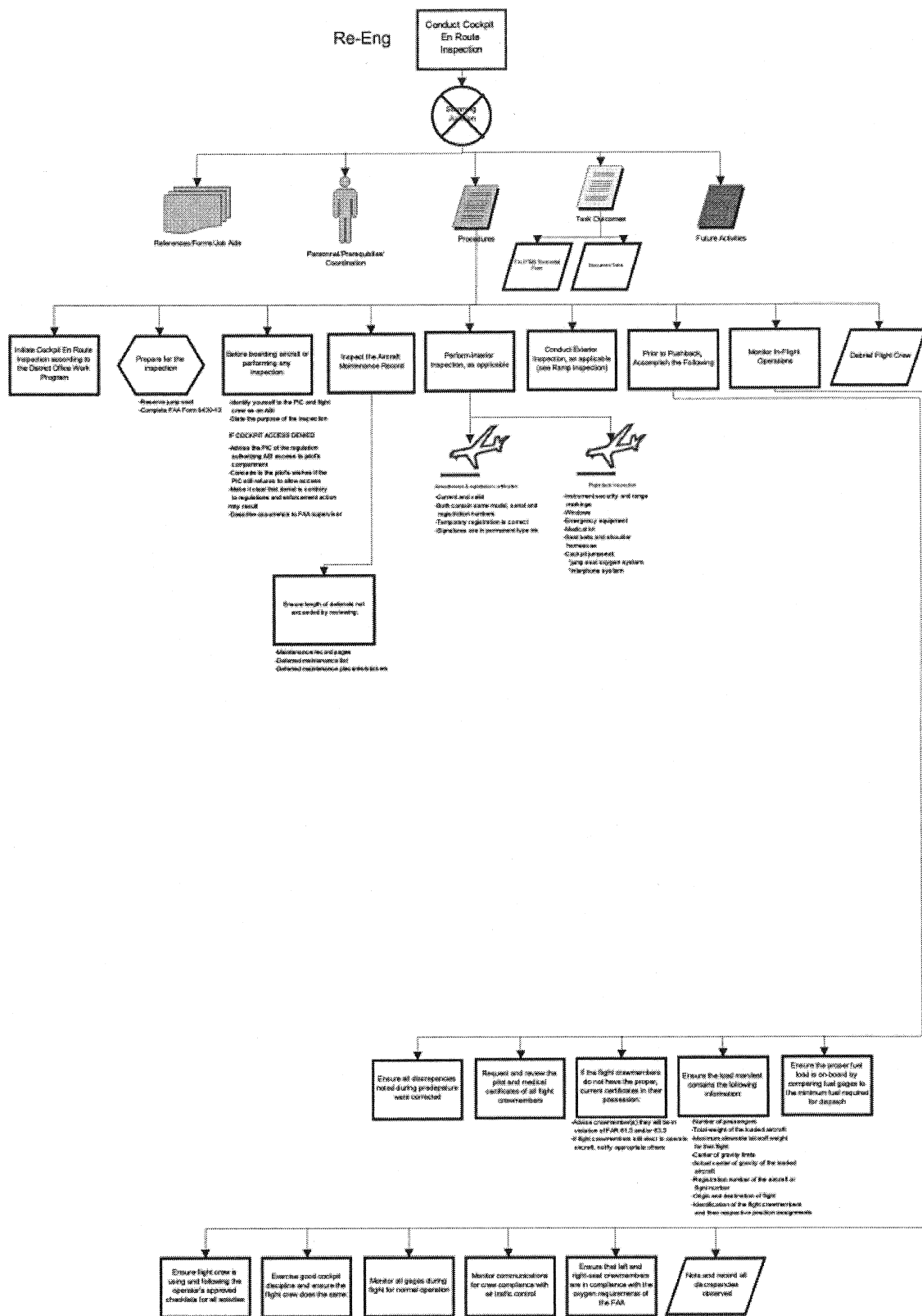


圖9 重塑的適航駕駛艙航路檢查

跨活動來看，重塑的適航與航務督導活動工作流程分析結果之原先的查核要項數(As-is)、重塑的查核項目數(Re-eng)、總項目減少數與比率，如表1所示。在



適航活動中，原有1696個查核要項，重塑後為829項，共減少867項(51%)；同樣的，在航務活動中，原有1363個要項，重塑後為782項，共減少581項(43%)。重塑的過程使得查核活動的屬性得以區分，各活動的查核要項更容易控管，當然整體查核工作的值勤時間大為減少，查核分析更具效率與效果。

表1 整體查核項目結果

	Airworthiness	Operations
As-is	1696	1363
Re-eng	829	782
Element reduction	867	581
Percent reduction	51%	43%

### 3.2 資料分析

#### 3.2.1 工作流程確認的發現

為能確認活動間所觀察的重複要項，本研究採用1993-1996歲計年度PTRS所記載的安全督導資料，進行模式修正與校估；其中，工作流程分析法得出的重複項目，在紀錄資料的關鍵詞編碼中也出現同樣的狀況。

值得一提的是，在第一適航活動群集中，關鍵詞：手冊時效性(manuals currency)、程序/方法/系統(procedures/methods/system)、計畫(programs)、零件/原料(parts/materials)、設備/工具(equipment/tools)與設備/裝備(equipment/furnishings)等最常被記錄，各活動的關鍵詞重複性如圖10所示。圖中不同的色塊表示不同的關鍵詞，而不同活動間的色塊組成若相似，表示資料被重複記載。同樣地，關鍵詞—程序/方法/系統與查核系統(inspection systems)在第二適航活動群集中最常被記錄；在最後剩下的適航督導活動群集中，各活動間的查核要項相異，而且關鍵詞的編碼也不重複。如同適航督導活動，在航務督導活動中，各活動群集也出現相似的重複性結果。

#### 3.2.2 資料蒐集與記錄

公認的安全科學方法主張「評量方法的目的是藉由彼此相關的特徵呈現觀察對象的屬性」；此點隱含查核要項與任務的執行為督導工作流程的一環，所以應能以相似的架構的評量方法呈現所有查核任務的績效與結果，亦即在查核任務執行與其資料記載間應該存有明確的相似之處。因此，本研究進而評估PTRS系統的資料記錄與查核要項與任務的執行是否一致。

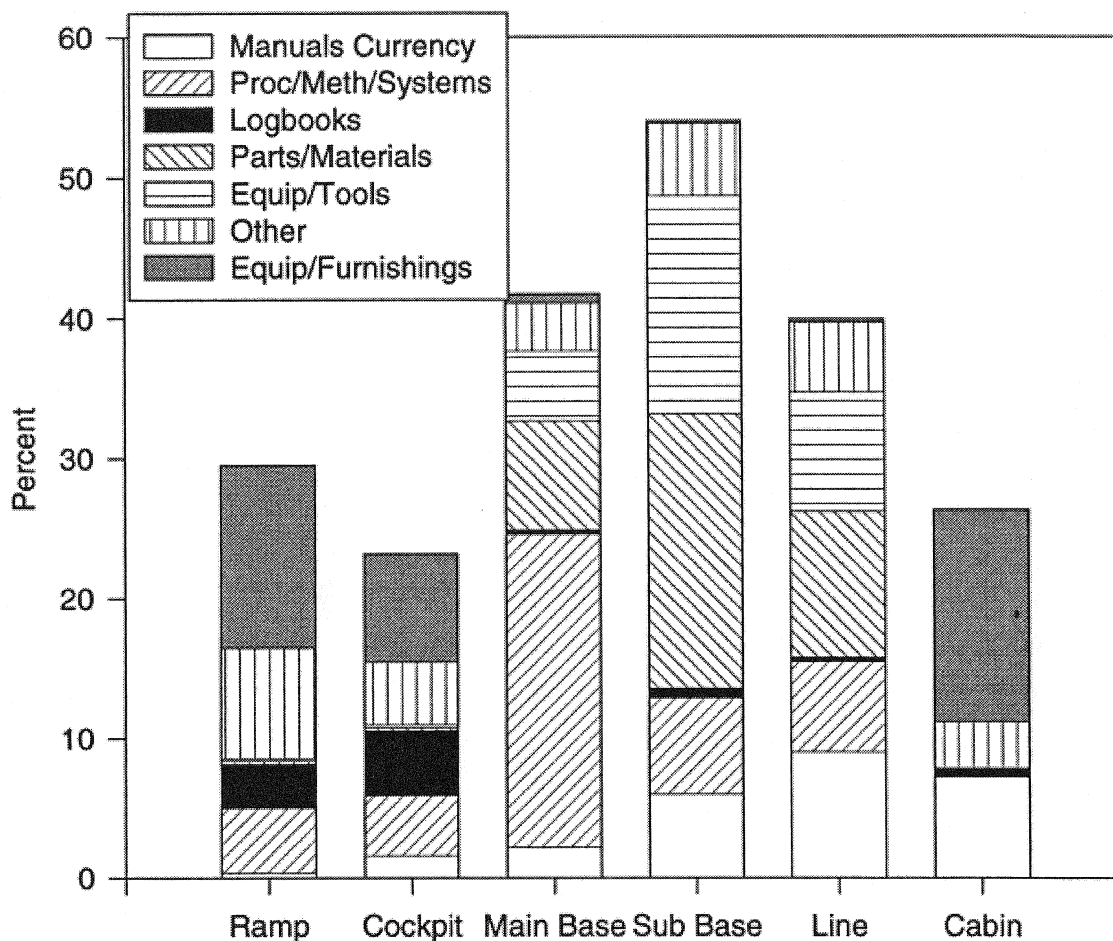


圖10 群組1中適航活動間關鍵詞的重複性

通常活動任務與要項執行後會使用適切的關鍵詞記錄觀察所得資料，所以在記錄相同任務的結果，即便是不同的查核員，也應會使用相同的關鍵詞記錄相似的情況。為了評估架構是否合理，本研究以手冊中敘述要項與任務的字或片語，在相對的PTRS中搜尋關鍵詞，探討查核要項與關鍵詞間的關係是否一致。

查看手冊中的工作流程，大多數採特定的層級性方法(hierarchical manner)，由一般性任務著手，最後觀察特定查核要項。為能盡可能仔細建立工作執行與關鍵詞間的連結關係，在最細微或最具體的工作流程層級中選擇一關鍵詞；例如，航務機坪查核一項是觀察組員在飛行前攜帶的行李(crewmember – preflight – carry – on – baggage)，則與此任務連結的關鍵詞是攜帶的行李(carry – on – baggage)，而不是飛行前(preflight)；上述案例試行的結果顯示僅有14%的適航活動要項與13%航務活動要項能與關鍵詞連結，那因為要項中的字句往往不包含任何已有的關鍵詞，所以不可能將所有的要項與關鍵字加以連結。最後，在所有可能連結完成後，只有37%的關鍵詞與適航活動要項相連結，與航務活動要項相連結的關鍵字也僅有52%。

在那些與要項相連結的關鍵詞中，相同的關鍵詞往往與許多跨活動的不同要項相連，所以前述工作流程分析法中發現不同的活動常常含有相同或相似的任務也不令人意外。結論就是關鍵詞本身與查核員執行工作間並無明確的相關，所以預期不同查核員使用一致的資料記錄方式並不合理；不過，由於重複的項目在工作流程重塑後會被消除，所以重塑的效果應該能提升要項與關鍵詞的關連性。

選擇用來檢測重塑改善效果的指標是連結的減少數，亦即一個關鍵詞在如實及重塑模式中與不同活動的連結數差異比率。例如，組員知識(crewmember knowledge)一詞，在如實模式中與八個航務活動相關，但在重塑模式中，僅與三項活動相連；所以，連結減少數的指標為  $(8-3) / 8 \times 100 \% = 63 \%$ ，其他與人員相關的關鍵詞，其連結減少數如圖11所示。由於重塑消除了重複的要項，航務活動的關鍵詞連結減少比率平均是40%，而適航活動為27%，所以重塑模式確實使PTRS記錄資料與查核執行工作間的關連性提高。一如先前討論的，釐清關鍵詞與查核事項間的關係，確實有助於改善最基礎工作流程層級的資料品質，使得資料記錄的一致性提升且改善績效評量工具的能力。總而言之，就工作流程法對資料蒐集與記錄的重要性而論，若缺乏流程重塑的考量則無法給予分析系統輸入可靠的資料。

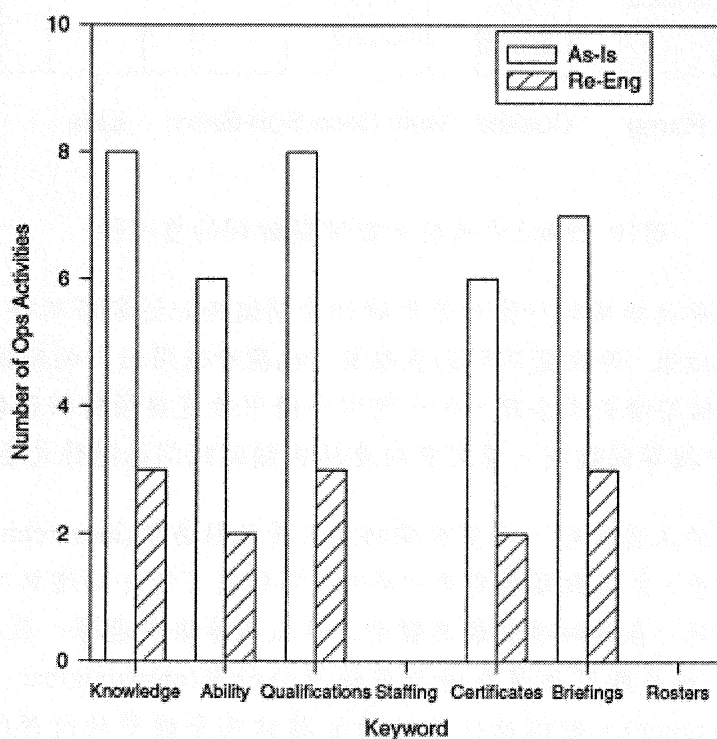


圖11 航務活動與人員關鍵詞間連結的減少

3.2.3 績效衡量

為能評量航空公司的安全績效必須建立績效衡量指標，而PTRS是FAA主要記錄督導對象特性的機制，所以大多數的衡量指標皆使用PTRS的資料。然而，在現今如實模式下，大量的重複要項隱含必須整合許多不同活動的資料，所以可能增加計算上的複雜性，而且在整合不同來源資料的過程中很有可能發生納入無關資料或遺失相關資料。

假設各要項與任務的實行依循重塑的流程，則會幾類的績效衡量指標因納入之前遺漏資料而獲得更多的計算資料；因為，重塑的模式下，各活動的要項更集中、所有資料的來源更清楚，進而降低了遺漏資料的可能性。在一些情況下，通常資料的增加會使得績效衡量的可靠度與價值一同提升。

分析結果顯示，一些績效衡量指標，除了因資料增加外，也可能因無關資料的消除而使得效度增加。在如實的模式下，績效指標可能因各關連活動中包含部分無關的任務或要項，所以增加無關的資料；經重塑後，績效衡量指標將更能衡量所欲衡量的項目，因而增加其效度。

以下藉由圖12為範例，說明重塑法如何提高績效指標的可靠度與效度。假設某人想要建立一個整合客艙資訊的平台(metric)，在如實模式下必須蒐集機坪、駕駛艙、主要基地、次要基地、過進場站與客艙等包含客艙相關資料的檢查工作；因為資料來源繁多，所以可能會遺漏相關資料或納入無關資料。然而，在重塑後，所有要項與任務接適切地歸類於客艙檢查中，只有客艙航路檢查除外；因此，在活動屬性更為集中下，客艙資訊的僅為單一來源，使得資料遺漏或多餘的可能性降低，增加資料彙整的可靠性與效度。

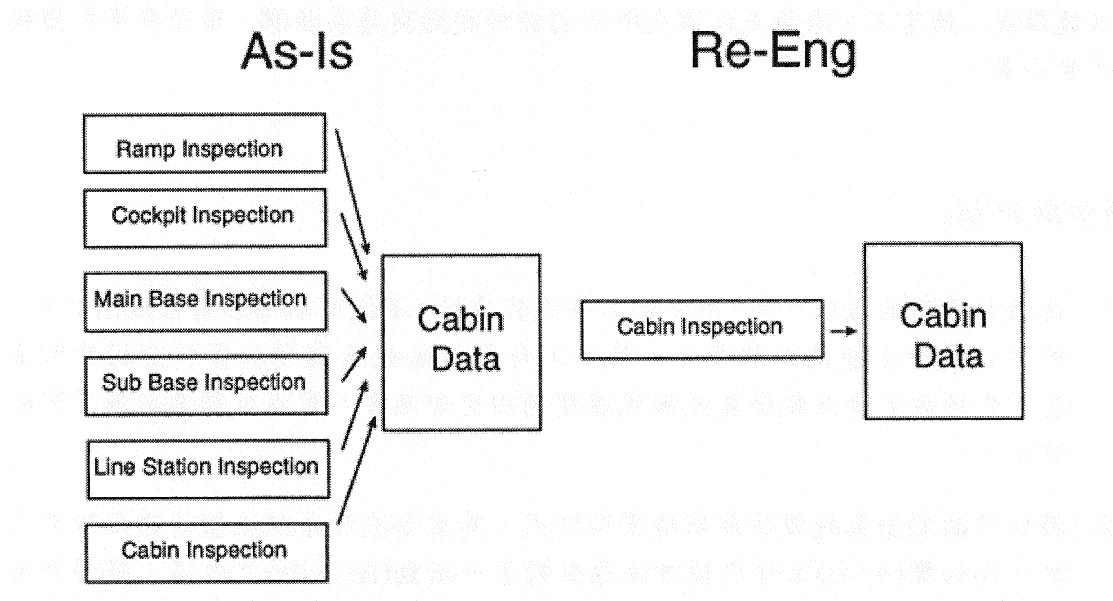


圖12 運用如實與重塑模型評量客艙績效

#### 4. 結論

整體而言，藉由重塑的流程而減少活動間重複的要項，使得適航查核活動的要項由1696項降為829項，共減少867項(51%)，若僅考量以粗框標示的被重塑活動，則為1324項降為457項，同樣減少867項，減少率達到65%；同樣地，航務查核活動的要項由1363項降為782項，共減少581項(43%)，若僅考量被重塑的活動，則為987項降為406項，同樣減少581項，減少率達到59%。

假設查核要項與任務皆依重塑後的流程執行，透過案例探討後可知其遺漏相關資料與納入無關資料的可能信會降低，績效衡量的可靠度與效度因而會提升。同樣地，對於PTRS資料記錄的能力，在減少活動間重複要項後，在航務活動間平均降低40%的關鍵詞連結比率，而在適航活動間則為27%。此外，由於重塑後移除了重複的要項，使得適航或航務查核員能更專注於所需負責的活動上且更有效管理各查核要項，所以對督導查核任務的執行效益是顯著的。

對於後續發展而言，上述成果提供下一代(next-gen)安全關鍵流程模式發展的基礎，確保查核活動任務能與各關鍵環節直接相關，能依檢查疏失的關鍵性排定查核任務的優先性，並減少人為錯誤發生的可能性。

重塑模式的成果對於設計決策支援系統的建議：首先，決策支援模式應設計符合查核員執行的任務，而工作流程模式應該是擬定系統運作條件的關鍵。其次，對於支援系統的介面設計，應能反映工作流程模式的觀念架構，讓使用者看了就能體會其意涵，並且反映執行的工作。最後，工作流程對資料蒐集、記錄、與分析的能力影響甚巨，若資料的品質不好，則安全相關決策將不可靠且系統的效能降低。換言之，決策支援模式所有的設計觀點與發展步驟，皆應參考重塑模式的成果。

#### [文獻評析]

1. 由流程重塑的成果可知，妥善的工作流程分析，不僅可以增加對系統的認知，亦可以減少重複的工作項目，提升工作執行的效能與增加資料分析的可靠度，對於致力於系統發展或模式構建的研究者而言，實為值得參考與學習的方法。
2. 探討飛航安全系統或發展風險管理模式，其首要在於系統之釐清與風險之掌握，而如實(As-is)工作流程方法係針對單一活動(Activity)之內涵，解構該活動所需要的人員、文件、設備或程序等，並以枝狀圖展現出來，適合作為檢視各類飛安系統現況，以作為系統改善之依據。
3. 我國飛安督導制度係效法美國 FAA 所發展，所以兩者的查核活動相似，同樣

的重複項目也雷同；因此，民航局可參考本文的研究成果與研究步驟，檢視與修正的查核要項與任務。

4. 由於飛安系統龐大且查核工作相當繁複，流程重塑的工作相當耗費時間與人力，尤其是在找尋相關要項與連結資料庫關鍵詞；為能推廣工作流程分析方法，發展邏輯化與智慧化的搜尋引擎系統是一關鍵課題，值得深入研究。
5. 本文對於重複查核要項的消除，僅以要項關鍵字作為搜尋與比較的依據，對於刪減或合併之評判依據並未多作說明，忽略了相同項目在不同活動所觀察的角度及扮演的角色並不一定相同的考量，也未顧及查核任務執行的順暢性與工作量的分配。
6. 本文分別針對航務與適航活動進行流程重塑，未考量兩者的關連性。就查核任務名稱而言，兩者皆包含主要/次要基地、駕駛艙/客艙航路、機坪等任務，雖然航務與適航的特性相異，其要項可能相關或重複。若能擴大流程重塑範圍，並考慮任務特性的整合，可使飛安督導查核系統更為可靠，分析結果更具效力。

## [相關文獻]

Bentley, R., Hughes, J. A., Randall, D., and Zhapiro, D. Z., Technological Support for Decision Making in a Safety Critical Environment, *Safety Science*, Vol. 19, 1995, pp. 149-156.

FAA (1993), *Airworthiness Inspector's Handbook*, Order 8300.10, Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington, DC 20591.

FAA (1994), *Air Transportation Operations Inspector's Handbook*, Order 8400.10, Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Washington, DC 20591.

FAA (1995), *Program Tracking and Reporting Subsystem (PTRS) Procedures Manual (PPM)*, Draft Copy, US Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, Washington, DC 20591.

Helmreich, R. L., Kline, J. R., and Wilhelm, J. A. , Models of threat, error, and CRM in flight operations, 10th International Symposium on Aviation Psychology, 1999, pp. 677-682.

Juran, J.M. and Gyrna, F.M. (1998), *Juran's Quality Control Handbook*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1988.

McCarthy, J., Osborne, D., and Hadjimichael, M., Modeling Risk with the Flight Operations Risk Assessment System (FORAS), IASS 1999, pp.25-34.

McFadden, K. L., and Towell, E. R., Aviation Human Factors: a Framework for the New Millennium, Journal of Air Transport Management, Vol. 5, 1999, pp.177-184.

Mimpriss, J., Savage, J., Risk Assessment-Hazard Management Using Dependency Modeling, EASS 2000, pp. 29-46.

Wilson, P. F., Dell L. D., and Anderson, G.F. (1993), Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management, ASQC Quality Press, Wisconsin.

交通部民用航空局 (民 91)，航務檢查員手冊，V 4.0。

交通部民用航空局 (民 91)，適航檢查員手冊，V 4.0。

交通部民用航空局 (民 92)，客艙安全檢查員手冊，V 1.0。

汪進財、葉文健，航空公司飛安管理系統之解構，運輸學刊，第十五卷，第三期，2003，pp. 309-328.

# **An Assessment of Risk and Safety in Civil Aviation**

Milan Janic

Journal of Air Transport Management Vol. 6, 2000, pp.43-50.

## **[英文摘要]**

Risk and safety have always been important considerations in civil aviation. This is particularly so under current conditions of continuous growth in air transport demand, frequent scarcity of airport and infrastructure capacity, and thus permanent and increased pressure on the system components. There is also the growing public and operators' awareness of these and other system externalities such as air pollution, noise, land use, water/soil pollution and waste management, and congestion. This paper offers an assessment of risk and safety in civil aviation. It deals with general concept of risk and safety, describes the main causes of aircraft accidents and proposes a methodology for quantifying risk and safety.

## **[中文摘要]**

風險與安全是民用航空中重要的考慮因素，特別是在航空運輸需求不斷成長、機場與設施容量缺乏與系統組成負荷增加的情況下，再加上民眾與業者對系統的外部性，如空氣污染、噪音污染、土地使用限制、水與土壤的污染及其廢棄管理、以及交通壅塞等等愈加注意。因此，本研究運用一般的風險與安全概念，闡釋航機失事的主要肇因，接著運用線性迴歸分別探討每延人公里死傷人數與各機種死傷人數的因果關係，以及運用卜瓦松方法(Poisson Process)估算死傷事件發生的機率，進而提出一套量化評量民用航空風險與安全的方法。

## **[內容]**

### **1. 前言**

如何有效管理現代科技是目前社會所需面臨的重要挑戰之一，其包括了如何有效且安全的使用並管理現存科技，以及促進新科技的使用。我們通常預期引進新的科技會帶來十分正面的效果，然而除了考慮新科技的正面效益外，其對其他



層面如周遭環境所可能帶來的負面效果也應同時納入評估。因此，一個完整的最佳化評估應同時考慮新科技所產生的各種風險並建立相關評估標準，以最大化社會效益。

風險的定義有很多種。第一，它可被定義成一段時間內一件危險事件(hazard event)發生的機率；第二，它可被定義一個特定的團體或個人，因為某個事件的發生所受到的損害；第三，在統計上，風險可被定義成期望的損失。在本研究中，風險包含了衡量各種不同種類風險的負面衝擊(adverse impacts)所造成不同嚴重程度發生的機率。

風險可區分成主動式風險(voluntary risk)以及非主動式風險(involuntary risk)。所謂的主動式風險即個體主動選擇暴露在可能發生危險的環境下，例如選擇搭乘飛機旅遊的旅客，其選擇搭飛機的同時即選擇了暴露在可能發生飛安事故的風險。相對地，非主動式風險並非出自個體的選擇，個體可能知道或不知道自身暴露在風險中，例如住家附近的電廠可能發生災害。

另外，社會風險(societal risk)可區分為四類(Sage and White, 1980)：真實的風險、統計上的風險、預測的風險以及感知的風險。民用航空所產生的風險也可用此四類風險去區分，例如保險公司常利用過去歷史紀錄估計航空公司風險值，計算統計上的風險。

飛機事故與其他運具事故的特徵為：飛機通常需航行一大段距離且需要一定長度的時間，飛機事故可能發生在航線中的任一地點或任一時間；除了飛機上的組員以及乘客暴露在飛機事故的風險外，航線所經過的城市也暴露在風險之下。

至於衡量飛航風險，通常包括幾個步驟：

- 風險判定：包括辨識有哪些風險的存在以及可能發生的後果；
- 風險評估：包括接受風險或拒絕風險；
- 風險衡量：例如平均飛航距離下的事故發生的次數。

## 2. 嚴重飛航事故的影響因素

- (1) 人為因素：其可能發生在製造、維修以及營運的程序中，而發生的地點可能在飛機、機場或航管設施中。
- (2) 航管錯誤：大部分的空中飛機相撞乃由航管錯誤造成。
- (3) 機師錯誤：大部分的飛機與地面相撞乃由機師錯誤造成。
- (4) 飛航組員缺乏經驗：例如沒有警覺到要使用除冰設備。

- (5) 機械故障：包括維修過程不當造成的機械故障。
- (6) 不良的氣候：例如晴空亂流或突如其來的側風。
- (7) 恐怖份子的攻擊。
- (8) 軍事演習造成飛航事故：例如飛彈誤射民航機。

### 3. 評量風險與安全的方法

評量飛航風險與安全的方法有兩種：因果模式以及機率模式。因果模式即視一段期間內事故發生的次數或事故造成的死亡人數為應變數，在此段期間內各相關變數即為解釋變數。機率模式通常利用卜瓦松過程 (Poisson process)來校估，其特徵包括：

- 一個事件可以隨機發生在任何時間、任何地點；
- 任何兩個沒有重疊的時間或空間區隔裡，其發生事故的機率是獨立的；
- 發生事故的機率與切割時間的長短有關，時間間隔切割的愈細，發生飛安事故的機率愈低，本研究假設平均發生事故的機率為發生間隔時間的倒數。

由於卜瓦松過程為指數分佈，其未來發生事故的機率並不會受到之前發生事故機率的影響；亦即，

$$P(T > t) \simeq P(X_t = 0) = e^{-\lambda t}$$

其中 $\lambda$ 為平均事故發生的機率，而 $T$ 為時間變數、 $t$ 為某個特定的時間點或區間。 $T$ 與 $t$ 的關係如圖1所示。

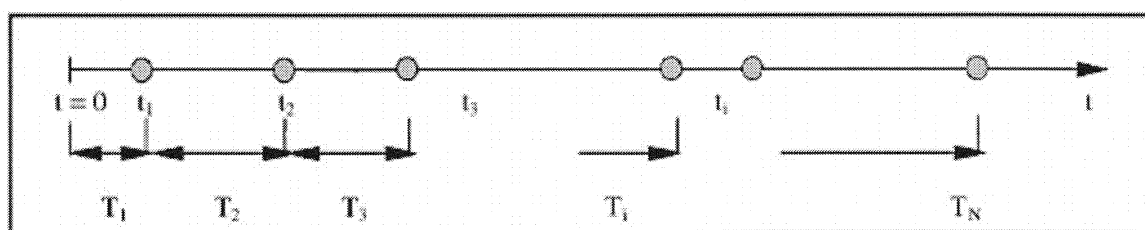


Fig. 1. Scheme of a Poisson-type events (process).

圖1 卜瓦松過程示意圖

### 4. 方法的應用

#### (1) 因果模式

本研究利用因果模式的概念分別就全球飛安風險、航空公司飛安風險以及機

型飛安風險進行模式校估。首先針對全球的每旅客公里死亡人數( $GF_R$ )當作被解釋變數，而每飛航事故的重傷與死亡人數( $N_D$ )以及每飛航事故的年延客公里量( $PKM_A$ )為解釋變數進行模式校估；其校估結果如下：

$$\begin{aligned}
 GF_R = & 3.801 \times 10^{-10} + 4.196 \times 10^{-11} N_D \\
 & (2.983) \quad (10.674) \\
 & - 2.095 \times 10^{-16} PKM_A \\
 & (3.446) \\
 R_{adj}^2 = & 0.901; F = 69.296; DW = 1.617; N = 16. \quad (3)
 \end{aligned}$$

模式校估結果發現，此迴歸模式的係數皆顯著不為零(1%)，且每延客公里死亡人數隨著旅客公里量增加而下降。

航空公司飛安風險的衡量以每百萬架次所產生的事故數為被解釋變數( $A_R$ )，以該航空公司所產出的架次為解釋變數。由散佈圖觀察出被解釋與解釋變數間的關係為非線性，模式校估的結果如圖2所示。結果顯示當航空公司所產生的架次愈多，其每百萬架次發生事故的數目呈現顯著降低，其中又以美國與歐洲的航空公司，其平均每架次的事故率較其他航空公司低。

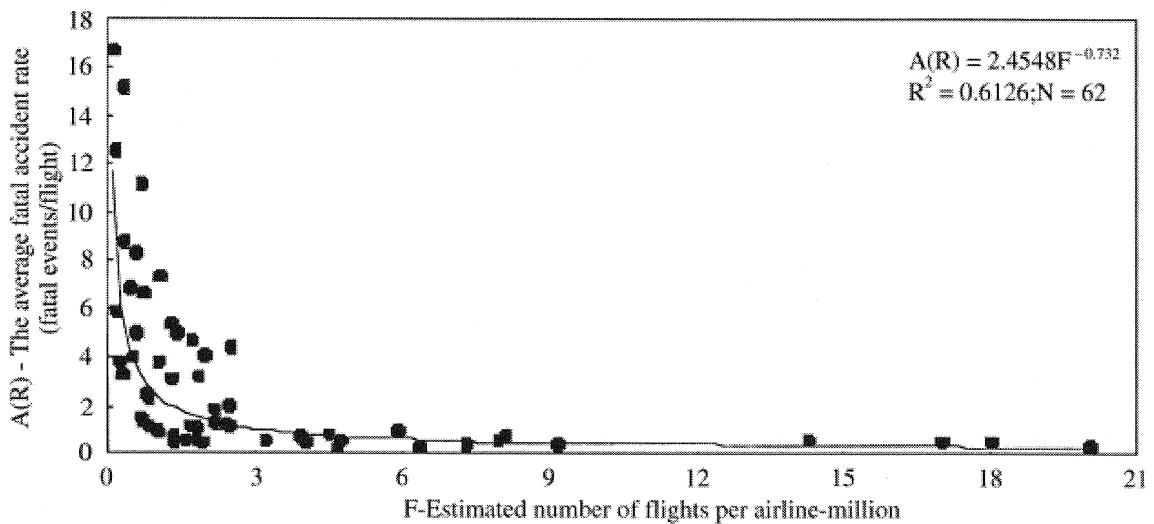


Fig. 2. Dependence of the average fatal accident rate on the number of airline flights (1970–1997).  
Source of data: Internet (1998).

圖2 事故與飛航架次的相關性

第三個因果模式以每機型(aircraft type)所產生的事故數為被解釋變數( $AR_A$ )，每機型飛行的架次( $F_A$ )以及平均每機型的機齡( $E_A$ )為解釋變數，所納入的機型包括Fokker F28, F70/F100, Airbus A300, A310, A320, Lockheed L1011, British Aerospace BAe146, Boeing B727, B737-1/200, B737-3/4/500, B747, B757, B767, McDonnell Douglas DC9, MD80共十六種機型(Internet, 1998; Walder, 1991)。校估結果如下：

$$AR_A = 1.206 + 1.743F_A + 0.900E_A$$

$$(0.692) \quad (6.355) \quad (3.887),$$

$$R^2 = 0.929; F = 84.640; DW = 1.823; N = 16. \quad (4)$$

所校估出之參數在1%的顯著水準下，皆顯著不為零。由校估出的兩個正係數顯示，當飛行架次愈多或機齡愈老時，所產生的事故數愈多。

## (2) 機率模式

機率模式採用1965至1998共259件事故，其事件發生時間間隔與發生件數的散佈圖如圖3所示。其平均發生間隔為50.233天，因此，卜瓦松過程的平均事故發生率( $\lambda$ )為其倒數，即為平均每年7.818次或等同於平均每天0.020次。根據 $\chi^2$ 檢定，其觀察值之分佈型態與卜瓦松過程校估出之分佈型態並無顯著不同。此模式即表達發生一次事故後一段時間，發生下一次事故的可能機率；在接下來一天為0.02、相隔一個月為0.45、相隔一年為0.999(如圖4所示)。

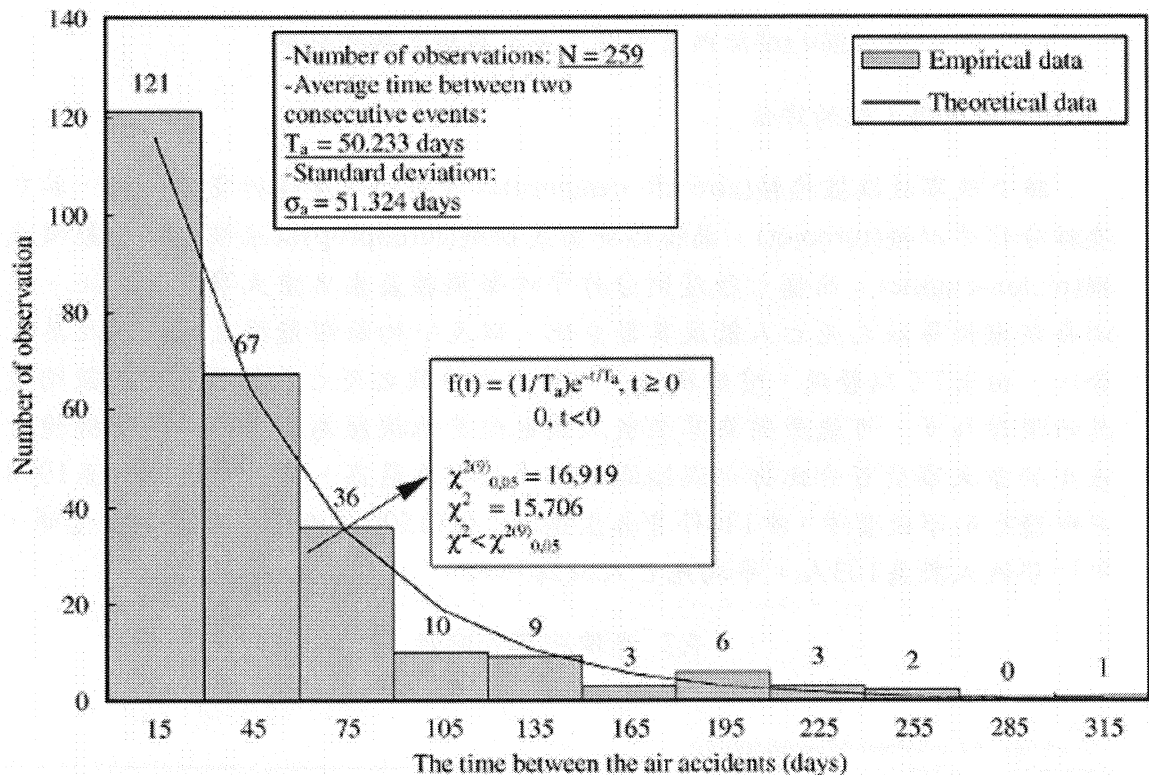


Fig. 3. Distribution of time intervals between consecutive air accidents (1965–1998).  
Source of data: Internet (1998).

圖3 事故發生間隔之分佈

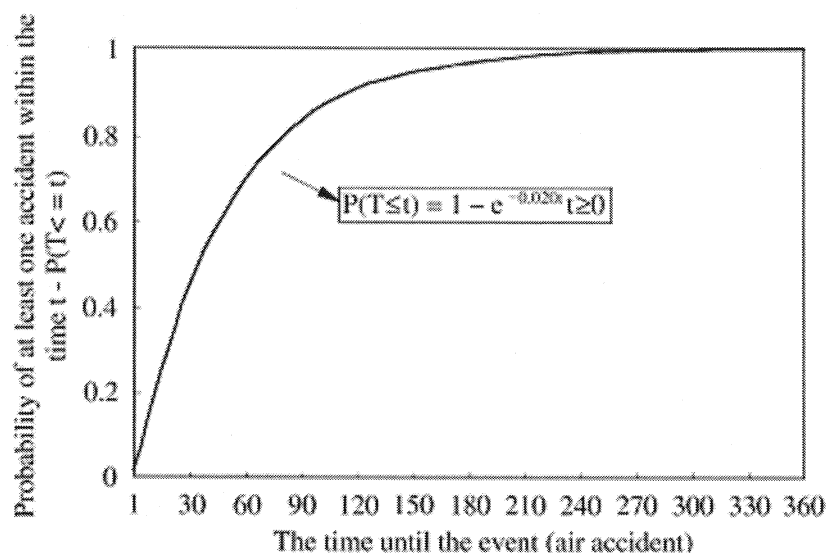


Fig. 4. Dependence of the probability of the occurrence of at least one air accident within time period  $t$  (according to the distribution shown in Fig. 3).

圖4  $t$ 時間內至少發生一次事故之機率分佈

### (3) 死亡與受傷人數的評估

將全球事故根據機種(aircraft category)以及傷亡程度進行交叉分析，其中機種分作噴射機(turbojet)、渦輪螺旋槳式飛機(turboprop)以及往復式發動機飛機(piston-engine)，而傷亡程度則分作平均每機種產生之重大事故百分比、平均每架飛機導致之死亡人數及其百分比，以及平均每架飛機生還人數及其百分比。由表2可以發現，噴射機種平均每架次導致之死亡人數及生還人數均較其他機種為多，可能原因為其乘載人數也較其他機種為多，但平均每機種所產生的重大事故百分比卻以渦輪螺旋槳式飛機為最高。另外，在1965至1998年所發生的事故當中，有130件皆無生還者，約佔50%；而當一件事故發生時，平均登機人數為103人，平均死亡人數為76人。

表2 機種別事故特性

Table 2  
Characteristics of fatal accidents by aircraft category<sup>a</sup>

Aircraft category	Fatal accidents per type of aircraft (%)	Killed people per aircraft (%)	Survived people per aircraft (%)	Number of people died per aircraft	Number of survived people per aircraft
Turbojet	34.2	69.6	86.5	56	41
Turbo-prop	48.5	28.1	11.4	16	4
Piston-engine	17.3	3.3	2.1	5	2

<sup>a</sup>Source: International Civil Aviation Organization (1992); Internet (1998).

## 5. 結論

本篇研究提供了一種衡量民用航空飛航風險與安全的方法。研究結果指出，隨著飛航運作增加，每百萬架次事故與重大傷亡的發生率有下跌的狀況；另外，較常使用且機齡較大的飛機，其事故發生率較高，此結果顯示有必要針對較常使用且機齡較大的飛機持續監督及保持良好維修。

由於目前飛安風險已下降至一定程度，若欲大幅降低目前飛安風險必須投入龐大的資金與成本；然而，每發生一件飛安事故皆會引起一般大眾甚至國際社會的注意。如何有效分配資源在飛安改善與社會其他議題(如車禍、健康)的改善，為決策者所需面對的重要課題。

### [文獻評析]

1. 本文廣泛回顧風險的定義、種類以及可能影響飛安的因子，並由風險分析與量化分析的角度，推估事件發生的可能性與後果，可提供研究者對飛安風險有初步認知。
2. 本文所使用的兩個模式簡單易懂，而且分析之結果大致與先驗知識相符，可提供研究者目前全球飛安風險、航空公司及機型等飛安風險的初步認識。
3. 本研究同時也點出民用航空為目前最安全的運具之一，決策者若有效改善飛安風險可能面臨社會資源分配的問題。
4. 此模式係針對整體空運市場做考量，僅考慮已發生的事件、飛航里程、機型，對於其他如環境、組織與個人等影響飛安的因素未有充分考慮，所以無法評斷事件發生的肇因，對於飛安危害因子的消除與肇事事件的預防難以發揮實質的助益。
5. 卜瓦松分配為一連續性遞減函數，無法反應較巨幅的變動，尤其是本文研究期間由1965-1998年橫跨33個年度，其中歷經許多重大政策改變(解除管制)、科技改進(CRM、GPWS)，模式對事件發生率的詮釋與預測能力值得商榷。此外，模式中每年平均事故發生率( $\lambda$ )應為7.266，而非7.818。

### [相關文獻]

Cole, J. (1997), "Overview of aviation safety issues," Paper presented at The Seventh Annual Aviation Forecast Conference. NATCA-National Air Traffic Controllers Association, Washington.

Corrie, S.J. (1994), "Potential growth in air travel demands renewed effort to improve safety record," International Civil Aviation Organisation, Montreal, Canada, ICAO Journal 7-9.

Evans, A.W. (1996), "Risk assessment by transport organizations," Transport Reviews 17, 145-163.

Hale, D. (2002), "Risk Contours and Risk Management Criteria for Safety at Major Airports, with Particular Reference to the Case of Schiphol," Safety Science, Vol. 40, pp.299-323.

Janic, M. (1999), "Aviation and externalities: the accomplishments and problems," Transportation Research D 4, 159-180.

McFadden, K. L., and Towell, E. R. (1999), "Aviation Human Factors: a Framework for the New Millennium," Journal of Air Transport Management, Vol. 5, pp.177-184.

McFadden, K. L. (2003), "Risk Models for Analyzing Pilot-error at US Airlines: a Comparative Safety Study," Computers & Industrial Engineering, Vol. 44, pp. 581-593.

Mimpriss, J., Savage, J. (2000), "Risk Assessment-Hazard Management Using Dependency Modeling," EASS 2000, pp. 29-46.

Walder, R. (1991), Ageing aircraft programme entails major effort and expense. ICAO Journal 6-8.

# **Judging a Book by it's Cover: the Relationship Between Service and Safety Quality in US National and Regional Airlines**

Dawna L. Rhoades, Blaise Waguespack Jr

Journal of Air Transport Management, Vol. 6, 2000, pp.87-94.

## **[英文摘要]**

The general public perception is that service quality among US airlines has declined significantly since deregulation, however, there is continuing debate among experts on the effect of deregulation on safety quality. Unlike safety quality, service quality is more visible to the traveling public. It is not clear, however, whether service quality is a good indicator of safety quality. We addressed this issue by examining the service and safety quality of 20 US regional carriers for 1991-1997. Service and safety rates were calculated for each carrier. Then carriers were ranked on service and safety quality. Spearman's rho correlations were calculated on these lists. The results indicate that for four of these seven years the Spearman's rho was significant indicating that service quality is an excellent indicator of overall safety quality among US national and regional carriers.

## **[中文摘要]**

一般民眾對於美國航空公司自從解除管制以後之服務品質感受到明顯的下降，然而，解除管制對於安全品質的影響則在專家中仍不斷的爭議中。不像安全品質，服務品質是較易被旅客所查覺的，可是服務品質是否可作為安全品質的指標則並不清楚。因此，本文以美國 20 家區域業者 1991-1999 年安全與服務品質來檢視此一議題。首先計算出各航空公司之服務與安全品質，然後將其排序，最後以排序值計算出 Spearman's 之 rho 相關值。結果顯示 7 年中有 4 年之相關值相當顯著，亦即就美國國內航空公司而言，服務品質可提供整體安全品質一相當良好之指標。



## [內容]

### 1. 前言

美國 FAA 於其 1996 年的策計畫中，宣稱 ValuJet 為新進航空公司的典範，解除管制的政策可証實是成功可行的(Schiavo, 1997)。在 ValuJet 592 航班的墜毀以及事後的停止營運前，FAA 一直堅稱所有美國航空業者均同樣的安全。然而，FAA 航機認證主任 Thomas McSweeny 卻指出 FAA 僅負責對航空公司作基本的評估，而執行、評估、報告與改善均是航空公司本身需負責的工作。FAA 因僅負責設定最低安全標準並評量航空業者之遵守，一貫地拒絕對航空公司的評等，因此遭致批評者指控 FAA 將其使命優先置於航空公司的推展，而非建立一促進飛安的管制環境。不過 FAA 委託的研究報告指出，公開像是查核與維修等的安全資訊，到底會提升或降低民眾對飛安的信心，則仍是個疑問。

根據督察總署(GAO)之報告，影響航空公司安全運作的因素有四：(1) 財務穩定性；(2) 維修品質；(3) 管理態度；(4) 機師能力(GAO, 1988, 1996)。不幸的，此等資訊對公眾而言均非可及的，民眾倒是對於其所搭乘航空公司之服務品質可以有較佳的判斷，此一事實不免令人引發服務品質與飛安間是否有所關聯的問題。不像飛安，聯邦政府對服務品質並無設定最低的標準，市場應是業者提供服務水準的唯一決定因素，業者可能提供高的飛安品質但不提供類似水準的服務品質；另一方面，我們或許會期望管理者將對於飛安品質的態度反應於服務品質上，而且業者財務狀況將同時影響到飛安與服務。

因此，本文之目的即在探討服務與安全品質之關聯，試圖回答下述三個問題：(1) 美國國內業者之服務水準與飛安品質為何？(2) 這些業者之服務與飛安品質之關聯為何？(3) 服務品質是否可作為衡量國內業者安全品質的替代指標？

### 2. 背景

根據可競爭市場理論，美國於 1978 年解除了航空管制，因應此一局面，美國航空業者有了結構性的改變。1980 年代的財務危機，造成了航空業界的整併以及輻軸路網的產生；1990 年代整個產業界的巨大損失，令航空業界透過策略聯盟方式發展出複雜的持股結構，擴展至非航空領域的服務以及競爭開創無縫之全球服務網等。

經過一陣混亂局面後，有些結果已漸明朗，總體而言，除了某些低薪資的亞洲業者外，美國主要的業者較其他業者是更具成本競爭力的(Oum and Yu,

1998)。同時，美國地區性/通勤航空業者亦不斷的擴充其服務的市場。雖然如此，自從解除管制後已超過 200 家新進業者因破產或併構退出市場(Rosen, 1995; Shifrin, 1998)。不過此一結果仍無法對解除管制後之服務或安全品質之改變有所說明。

## 2.1 服務品質

由過去的事實可發現，整體而言美國航空業的服務品質自解除管制後有明顯的下降，不過並沒有真正的研究檢視解除管制前後之服務品質。有關航空公司品質議題的討論主要均係對常客的調查而得，例如「常客雜誌」對美國主要航空公司之品質調查，其內容包括整體性的排名以及個別項目最佳之航空公司，此種斷面調查結果難以重置或比較。

Wichita 州立大學民航學院於 1991 年發表了一套航空公司品質評比系統(AQR)，不像其他品質評比採調查資料，AQR 使用公開出版的資料，以多因子加權平均的方式建構美國主要航空公司之服務品質，大部份的資料來自美國運輸部出版之航空消費者報告。AQR 提供了縱斷面一致性的航空公司品質的衡量，不過其也遭致諸多的批評。大體上 AQR 提供的為基本服務的訊息，如準點率、飛行問題、拒絕登機、退款以及票款抱怨等，而非旅客舒適便利方面之品質。因為如此，AQR 很難與調查所得之資料作比較，也不能準確的反應旅客重視的因子。另外，有別於一般服務品質調查，AQR 亦包含了部份與飛安有關的量度，如平均機齡、事故次數、機師違規等。

無論是航空公司品質調查或 AQR 均未對區域性航空公司之品質或飛安有所探究，其中資料問題是主要原因。直至最近，始有兩篇研究應用航空消費者報告中之抱怨資料比較各航空公司間服務品質之差異，結果顯示主要航空公司與區域型航空公司間之服務品質有明顯差異；同時，區域型航空公司之服務品質亦呈現相當大的差異(Rhoades and Waguespack, 2000a)。

## 2.2 飛安品質

雖然，解除管制對服務品質影響的爭論不多，但對安全影響的爭端則頗激烈。針對解除管制前後事故率研究的兩篇報告均指出整體事故率下降的結論(Barnett and Higgins, 1989; Rose, 1989, 1990)，然而事故率下降的可能原因為何則並不清楚，例如設備失效的減低是因為設備的設計與可靠度改善或維修品質提昇，或兩者都有。Kennet(1993)發現解除管制後雖然引擎維修間隔增長，但並未對引擎失效有不良影響，其意謂著以設備失效引發之意外減少而言，設備設計的改進應是主因。此一論點同時也引發了機齡老化的疑慮，尤

其區域型業者機隊之機齡有傾向更老化之現象。諸多研究報導近來事故率的增加，其可能反應的是事故率的正常變異，也可能是減少維修之延遲效果或其他因素(Rose, 1990, 1992)，值得商榷。

### 2.2.1 財務穩定性

許多研究者認為安全支出是一種投資，可透過長期回收，獲利不良或不健全的航空公司將會減少安全與維修的投入水準，航空公司投資飛安之方式包括：(1) 規劃更頻繁的維修；(2) 使用新設備；(3) 依賴更有經驗的人力；(4) 執行更密集的訓練；(5) 採購新技術之航機。總之，飛安為投入全額的直接函數。

Rose(1990, 1992)曾提及低營運利潤與高事故以及來年的事件發生率有關，其關聯性在區域型航空公司更明顯，可能的說法為：(1) 區域型航空公司規模小，傾向將維修工作委外；(2) 機齡會較老；(3) 機組人員經驗與薪資較低；(4) 大部份公司存在年期尚難以建立一制度化之安全作業。不過，並非所有研究者均認同此等論點，Kanafani and Keeler(1989)即認為新進業者之安全水準並無異於其他業者，同時其也投入更多資源在維修上，但是否是因為機齡的關係則並未討論。

### 2.2.2 維修品質

維修支出水準為量測維修品質最常被使用的方式，維修支出增加之影響因素有機齡，機型，機種數量，以及委外維修之水準(GAO 1988; O'Toole, 1992)，GAO 的報告指出 1955 至 1983 間維修支出越多之業者，事故反更高，其可能原因之一為機齡高之航機維修成本較高，出事的可能亦較大。

### 2.2.3 機師能力

FAA 指出 60%-80%之失事由人為錯誤所造成，而機師的能力為訓練、經驗、能力與態度的函數，雖然訓練確需經 FAA 核准，但各業者間之訓練方法別有相當之差異(GAO, 1988)，與主要航空公司相較，區域型航空公司之經驗少得多，雖然如此，飛航經驗及機師能力與事故率間之關聯性仍難以連接。

### 2.2.4 管理階層之態度

許多研究均提到，當評估航空公司整體安全時，管理階層對安全的態度

為一重要的因素(Banfe, 1992; GAO, 1988; Lee, 1996)。因此，就一家不安全的公司而言，改善如溝通、人員徵選等之組織因子以及工作現場之安全知覺將是提升運作安全最省錢的方式，Banfe(1992)發現組織結構以及其管理者之智慧為公司成功之關鍵因素，可惜，管理階層的態度因為是種主觀的判定，相當的不易量化。

## 2.3 服務與安全品質之聯結

或許量化管理階層態度的困難提供了服務品質與安全品質間的聯結，全面品質管理之研究以及 ISO9000 品質計畫一貫的提及品質文化與高階層的支緣為任何品質計畫成功之關鍵(Deming, 1982; Koo et al., 1998; Mallak et al., 1997)。這些態度也被發現為會滲透到組織並影響公司的各種作為。因此，我們的疑問是：組織能否創造一種品質文化只及於某些方面的運作，而不及於其他方面？一家航空公司是否可能有高安全品質評價，而無好的服務品質？

## 3. 方法

本研究涵蓋 20 家於 1991 至 1997 年營運中之美國區域型航空業者之資料，資料來自三個源頭：運輸部之航空消費者報告為消費者抱怨資料的來源，其項目包括訂票、退票、票價、廣告、顧客服務與紅利積點等；FAA 線上安全資料則為失事、事件與空中接近之來源；至於機師違規資料則收集自 FAA 系統安全辦公室，而每年起飛架次則收集自運輸統計局。

之後，即可計算各航空公司整體及各年之服務與安全比率，其中服務品質比率乃以總抱怨數除以總架次數而得，表示每架次服務品質有問題之數量；而安全品質比率則以事故、事件、違規之總數除以總架次數而得。各航空公司各年服務與安全比率平均值之相關即可求得，同時也可進行成對 t 檢定，最後，將各航空公司每年以及平均的服務品質與安全品質排序，並以 Spearman 之 rho 相關進行分析比較。假使安全排序與服務排序相同，則 rho 值為 1，服務品質即可完美的充當為安全品質的指標；反之，rho 值愈低，則愈不具代表性。

## 4. 結果

表 1 與表 2 分別來計算所得之服務品質與安全品質比率，其顯示研究期間之安全比率均低於服務比率，但將此等安全比率與主要航空公司比較，區

域型航空公司之表現則不如主要航空公司。整體而言，區域型航空公司美 10000 離場架次 2 個安全問題，而主要航空公司則為每 10000 架次僅有 0.8 個安全問題。表 3 呈現相關與成對 t 檢定的結果；研究期間，除了某三年外，平均服務品質比率與安全品質比率是有顯著的相關，且服務品質與安全品質平均值間僅有一年具顯著差異。但總體而言，服務品質與安全品質間之差異是顯著的。

表 4 為每年至少 3 筆以上報告資料之業者的相關分析與 t 檢定結果，其中 4 家業者皆顯現服務品質與安全呈現負相關，5 家業者之 t 值顯示服務品質與安全品質具顯著差異性。表 5 陳述 Spearman rho 檢定之結果，其顯示美國區域型航空業者之服務品質的排序與安全品質的排序具顯著的統計相關性。

## 5. 討論

本研究以提出美國空運旅客是否可以其對區域型航空公司服務品質之印象來判斷業者的安全品質為開端，答案是可以的。就所搜集的資料，服務與安全品質的排序具顯著相關性，雖然結果並不完美，但 Spearman rho 值均大於 0.54 且最高達 0.87。本案例映證了品質是一種態度，其可滲透至組織內並影響各方面的運作。

表 1 區域航空公司的服務品質比率

Airline	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Avg. TC
Air South					0.001013	0.003916	0.012777	0.005902
AirTrans				0.002972	0.000585	0.001493		0.004054
Alaska	0.000143	0.000162	0.000116	0.000254	0.000263	0.000304	0.000377	0.000231
Atlantic SE				0.000039	0.000058	0.000223	0.000184	0.000126
Business Express		0.000046	0.000046	0.000170	0.000026	0.000567		0.000214
Carnival	0.003181	0.001596	0.002222	0.002440	0.002485	0.010379		0.006238
Comair		0.000095	0.000087	0.000060	0.000067	0.000076	0.000100	0.000081
Eastwind							0.002860	0.002860
Frontier						0.000717	0.000657	0.000687
Hawaiian	0.000785	0.000816	0.000601	0.000430	0.000401	0.000505	0.000662	0.000600
Horizon						0.000043	0.000100	0.000072
Kiwi				0.000601	0.000738	0.005185	0.010875	0.004350
Markair			0.001335	0.001012	0.018110	0.010665		0.009929
Mesa						0.000112		0.000112
Midway				0.001350	0.000494	0.001898	0.000740	0.001121
Midwest								
Reno				0.000210	0.000367	0.000408	0.000690	0.000419
Tower	0.005930	0.006793	0.009434	0.019899	0.008720	0.013593	0.024466	0.012691
Valujet				0.000545	0.001014	0.003029		0.002568
Vanguard						0.002485	0.003938	0.003212
Western Pacific						0.000991		0.000991
Industry Avg	0.002510	0.001585	0.001977	0.002316	0.002453	0.003158	0.004494	0.002823

表 2 區域航空公司的安全品質比率

Table 2 Safety quality rate for regional airlines								
Airline	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Avg. TC
Air South					0.000145	0.000385	0.000211	0.000247
AirTrans				0.005944	0.000146	0.000299		0.002130
Alaska	0.000125	0.000119	0.000045	0.000082	0.000090	0.000045	0.000063	0.000081
Atlantic SE			0.000049	0.000024	0.000009	0.000021	0.000032	0.000025
Business Express	0.000183	0.000108	0.000075	0.000089	0.000026	0.000378		0.000143
Carnival	0.000245	0.000199	0.000089	0.000193	0.000166	0.000256		0.000191
Comair		0.000088	0.000080	0.000048	0.000061	0.000036	0.000049	0.000060
Eastwind							0.000000	0.000000
Frontier						0.000055	0.000141	0.000098
Hawaiian	0.000080	0.000102	0.000109	0.000036		0.000067	0.000060	0.000076
Horizon						0.000052	0.000043	0.000048
Kiwi				0.000300	0.000046	0.000232	0.000253	0.000208
Markair			0.000072	0.000112	0.000150			0.000111
Mesa						0.000035	0.000086	0.000061
Midway						0.000035	0.000082	0.000059
Midwest	0.000088	0.000045	0.000039	0.000067	0.000089	0.000140	0.000130	0.000085
Reno			0.000038	0.000139	0.000061	0.000049	0.000077	0.000073
Tower	0.000423	0.000358	0.001347	0.000195	0.000748	0.000197	0.000239	0.000501
Valujet				0.000204	0.000206	0.000125		0.000178
Vanguard					0.000085	0.000121	0.000114	0.000107
Western Pacific						0.000045		0.000045
Industry Avg	0.000191	0.000146	0.000194	0.000572	0.000144	0.000135	0.000079	0.000226

表 3 各年度相關性與成對 t 檢定的結果

表 4 各公司相關性與成對 t 檢定的

結果

Table 3 Correlations and results of paired <i>t</i> -test by year				Table 4 Correlations and paired <i>t</i> -test by airline			
Year	<i>N</i>	<i>r</i>	Paired <i>t</i> -test	Airline	<i>N</i>	<i>r</i>	Paired <i>t</i> -test
1991	4	0.97 <sup>b</sup>	1.849	Air South	3	− 0.02	1.597
1992	6	0.97 <sup>c</sup>	1.383	Alaska	7	− 0.39	3.552 <sup>b</sup>
1993	7	0.97 <sup>c</sup>	1.557	Atlantic SE	4	0.46	2.395
1994	12	0.05	1.065	Business Express	5	0.97 <sup>b</sup>	0.795
1995	12	0.43	1.716	Carnival	6	0.57	2.642 <sup>a</sup>
1996	18	0.43	2.760 <sup>a</sup>	Comair	6	0.42	2.538 <sup>a</sup>
1997	12	0.86 <sup>c</sup>	2.069	Hawaiian	6	0.63	9.985 <sup>c</sup>
Overall	19	0.27	3.187 <sup>b</sup>	Kiwi	4	0.34	1.724
<sup>a</sup> <i>p</i> < 0.05.				Reno Air	4	− 0.49	3.033
<sup>b</sup> <i>p</i> < 0.01.				Tower	6	− 0.45	4.450 <sup>b</sup>
<sup>c</sup> <i>p</i> < 0.00.				<sup>a</sup> <i>p</i> < 0.05.			
				<sup>b</sup> <i>p</i> < 0.01.			
				<sup>c</sup> <i>p</i> < 0.00.			

表 5 順序性檢定結果的 Spearman rho 值

Table 5 Spearman's rho of ranked results by year <sup>a</sup>		
Year	<i>N</i>	Spearman's rho
1991	4	0.800
1992	6	0.714
1993	7	0.536
1994	13	0.748 <sup>b</sup>
1995	14	0.848 <sup>b</sup>
1996	19	0.650 <sup>b</sup>
1997	12	0.872 <sup>b</sup>
Overall	19	0.742 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> <i>p</i> < 0.05.		
<sup>b</sup> <i>p</i> < 0.01.		
<i>p</i> < 0.00.		

不過，此等結果與 Rhoades and Waguespack (2000b)之研究正好相反，其發現美國 9 家主要的航空公司之服務與安全排序並不具關聯性，諸多因訴可能造成此等結果的差異：(1) 相較於區域型航空公司，主要航空公司在服務與安全品質方面較具均一性；(2) 主要航空公司之平均營運期遠高於區域型航空公司，導致其較有足夠時間建立安全服務作業制度；(3) 區域型航空公司間較無直接正面的競爭，因此，往往缺乏比較的對象；(4) 新進業者較可能優先重視有最低要求之安全品質，並企圖以低票價低服務品質來吸引客戶。

本研究並非沒有其應用上的限制，由航空消費者報告所搜集之資料主要均為基本服務的問題，並未對其他類別的抱怨如餐飲、座位的舒適性、機上娛樂等作探討。不過，區域型航空公司本就強調基本的服務，其經常以低票價來換取舒適與方便性，許多業者均採不提供機上餐飲之單一艙等服務。

另外，安全比率的計算亦是可爭議之處。本研究將失事、事件與違規等均視同一安全事件，很明顯的，從旅客的觀點而言，顯然有所不同。然而，失事本身是否真的是一個比較好的指標，不無疑問，失事的造成仍由諸多因素所引起，在缺乏足夠的證據下，我們選擇相等權重的處理方式。

由本研究中可獲得一些實際的意涵，服務品質不單純的僅是賣票，而是一種有可能影響各層面運作的態度。要提供基本、及時、一致性的服務需要對維修與飛航運作付出同樣的關注。品質是攸關程序的發展、訓練、執行、追蹤以及不斷地改善，假使航空公司能夠建立一安全運作的品質程序，則只要管理階層的承諾，其即有一套工具與技術可供服務面運作使用。

## [文獻評析]

1. 作者認為飛安品質為服務品質之一環，重視服務之公司必然重視安全，所以藉由較顯見的服務品質來推測航空公司的安全績效，此種運用可觀測指標推估不可觀測績效的方式值得學習。
2. 關於服務水準與飛安品質的衡量，文中服務品質比率乃以總抱怨數除以總架次數而得，而安全品質比率則以事故、事件、違規之總數除以總架次數而得。然而：
  - (1) 服務品質與旅客期望有關，抱怨的發生係由於旅客感受的品質低於其期望，甚至旅客對同樣的品質會隨時間而習慣使得感受下降，所以以抱怨事件作為航空公司品質績效衡量依據，其合理性值得商榷。
  - (2) 以系統安全理論的角度來看，意外事件是航空公司外部表徵，具有稀少與隨機的特性，而且事件不僅可能導因於公司自身，也可能受到外在環境的影響，所以以飛航事件作為航空公司飛安績效衡量依據，其合理性同樣值得深思。
3. 關於服務水準與飛安品質的關係，作者認為服務品質與飛航安全皆取決於公司文化與態度，所以重視安全水準的公司同樣地也應該會重視服務水準，其關聯性仍有待驗證；況且，由研究結果顯示，七年中僅四年關係較顯著，另外三年並不顯著，以此作為兩者間具關聯性的依據也尚嫌薄弱。
4. 關於以服務品質作為衡量飛航安全的替代指標，除了其精確性與合理性尚待討論外，此法僅可以總體的角度粗略地評估航空公司間安全水準的高



低，對於如何改善飛安改善與預防事件則無法提供實質功效。此外，若以此指標作為建議民眾選擇航空公司的依據，那麼可能會造成僅專注於提升旅客較亦感知的服務項目，反而輕忽了需長時間經營與投入的飛安作為，形成本末倒置的現象。

## [相關文獻]

Borenstein, S. and Zimmerman, M.B. (1988), "Market Incentive for Safe Commercial Airline Operation," *The American Economic Review*, Vol.78, No.5.

Dionne, G., Gagne, R., Gagnon, F. and Vanasse, C. (1997), "Debt, Moral Hazard and Airline Safety-An Empirical Evidence," *Journal of Econometrics*, Vol.79, No.2, pp.379-402.

Golbe, D.L. (1986), "Safety and Profits in the Airline Industry," *The Journal of Industrial Economics*, Vol.34, No.3.

Headley, D. E. and Choi, B.(1992), "Achieving Service Quality," *Journal of Services Marketing*, Vol.6, No.1, pp.5-10.

Rose, N.L.(1990), "Profitability and Product Quality : Economic Determinants of Airline Safety Performance," *Journal of Political Economy*, Vol.98 No.5 pp.944-964.

汪進財、葉文健、鍾易詩，財務績效對飛航安全影響關聯架構之建立，*運輸學刊*，第十三卷，第四期，2001，頁 87-110。

程建榮(民 85)，天空開放後航空業管理結構、營運績效及飛航安全之研究，國立成功大學交通管理研究所碩士論文。

## A New Airline Safety Index

Chang, Y. H., Yeh, C. H.

Transportation Research Part B, Vol. 38, 2004, pp. 369–383.

### [英文摘要]

This paper develops a new quantitative airline safety index based on comparative safety performance and efforts of airlines. The index essentially indicates an airline's overall safety level, relative to other airlines in the context of safety competitiveness and risk. An empirical study of four major airlines in Taiwan is conducted to illustrate how the index is obtained. To facilitate the use of the index as a safety benchmarking and management tool, four safety dimensions corresponding to safety-related organizational divisions of airlines and their associated safety measures are identified. With the use of linguistic terms, subjective assessments of qualitative safety measures via surveys are represented with fuzzy numbers. The relative weights of safety attributes are assessed via surveys using a pairwise comparison process. Based on the concept of optimality, a fuzzy multiattribute decision making approach is developed to obtain a safety index for each airline. The airline safety index helps airlines understand their relative safety strengths and weaknesses in terms of manageable safety attributes, and identify functional areas for safety improvement.

### [中文摘要]

本文主要係基於比較航空公司間飛安績效與投入所發展之一套量化性航空公司安全指標，此指標依據其他航空公司相對的安全競爭力與風險判斷出航空公司整體安全水準。為能具體呈現此指標之應用，本文以台灣四家主要航空公司為實例，以此指標作為安全評量基點與管理工具，並針對四個飛安主要部門訂定其安全評量指標。由於語意用詞的關係，調查中相關主觀性質化評量屬性以模糊數(fuzzy number)呈現，各項安全屬性之相關權重則以成對比較的調查方式予以獲得；此外，基於最佳化的概念，發展模糊多屬性決策方法以獲得各家航空公司之整合性安全指標。此項安全指標可以幫助航空公司了解自身在飛安上各項可管理安全屬性的相對優勢與劣勢，以及確認能夠發揮改善功效的安全環節。

## [內容]

### 1. 前言

安全一直是航空公司能否成功經營的關鍵，雖然空運與其他運具相比其失事事件相當稀少，不過隨著民航飛航班次的增加將使得損失大幅提高(Gellman Research Associates, 1997)。在台灣，自從開放天空後，空運成為主要的運輸工具之一，平均每年以20%的增加量成長。在管理者重視利潤高於安全的情況下，台灣航空公司的飛安績效無法跟隨運量的成長而提升；1988-1997年間，平均每百萬飛航架次就發生3.7起事件，主要原因在於缺乏正面的飛安文化與有效的安全管理系統(Chang, 1999)。為能因應此一景況，民航主管當局將安全訂為第一目標，特別重視航空公司運作安全；在1997年，為能符合ICAO的評估，民航局施行完善的飛安督導評估機制，其架構係運用法令規範與自我督導來控管航空公司的飛航運作活動，不過對於航空公司的管理成效並未如預期的理想。

為能比較航空公司間安全管理與改善的水準，發展一套能適切評估航空公司飛安績效的工具是必要的。因此，本文提出飛安評估的方法，透過反映航空公司安全績效的指標，協助民航局標準組找出各家航空公司的缺點，作為航空公司飛安改進的參考。

### 2. 航空公司安全評量

失事事件與意外事件的發生率是最常用來評量與比較航空公司安全績效及其變化的指標；然而，安全事件的發生係屬稀少與隨機，所以各種分析往往不具統計顯著性，而且事件發生率的變動相當不穩定。此外，諸多研究指出飛安事件往往僅具新聞價值，對於事件的預防並無實質幫助(Rose, 1992; Gellman Research Associates, 1997)。因此，部分研究建議，對於航空公司安全分析應採取積極的方式監控人為相關安全因子(Braithwait *et al.*, 1998; Edkins, 1998; Maurino, 1999)。

航空公司安全指標的發展立基於比較性評估方法，用以檢視航空公司間的積極飛安作為，本文主要參考Buckley等人(1988)所研擬的三個評量向度：a.代表安全作為表現的績效、b.改善績效的能力與c.反映管理者達成績效的能力；此一評量架構包含航空公司的最終表現-事件發生率，以及航空公司對於安全的努力。

本文首先綜合具風險基礎的安全指標或參數獲得航空公司安全指數，這些參數彼此間為獨立或互補的關係，而且部分為質化性數值必須透過專業的主觀評估；因此，接著藉由多屬性決策方法(Multiattribute Decision Making, MADM)與模糊集合理論(Fuzzy Set Theory)發展一套模糊多屬性決策模式(Fuzzy MADM Model)。最後，藉由實例研究比較台灣四家航空公司的整體安全水準。

### 3. 安全構面與指標

在民航界沒有一致且認同的安全指標，亦即安全指標為能反映運作環境的特性，往往隨被評量的系統不同而改變。以安全管理與提升為目的，針對台灣航空公司提出四個安全指標評估構面，包含：a. 管理(Management)、b. 航務(Flight Operation)、c. 機務(Engineering and Maintenance)與d. 機隊規劃(Fleet Planning)，進而參考航空公司、民航局與研究機構的意見，以風險評量的觀點針對各構面研擬相對應的安全指標，如表1所示。其中：

表1 航空公司安全評量構面與指標

Dimensions and measures used for evaluating safety levels of Taiwan's major airlines	
Dimension	Safety measure
C <sub>1</sub> Management	C <sub>11</sub> Safety policy and strategy (fuzzy assessment via surveys)
	C <sub>12</sub> Management attitude/commitment (fuzzy assessment via surveys)
	C <sub>13</sub> Employee attitude/commitment (fuzzy assessment via surveys)
	C <sub>14</sub> Safety personnel rate (total number of flights/total number of safety personnel)
C <sub>2</sub> Operations	C <sub>21</sub> Competence status of flight crew (fuzzy assessment via surveys)
	C <sub>22</sub> Compliance with aviation task procedures (fuzzy assessment via surveys)
	C <sub>23</sub> Training status of pilots (average training activities per pilot)
	C <sub>24</sub> Incident and accident rate (number of accidents per 100,000 departures)
C <sub>3</sub> Maintenance	C <sub>31</sub> Compliance with maintenance task procedures (fuzzy assessment via surveys)
	C <sub>32</sub> Training status of personnel (average training activities per worker)
	C <sub>33</sub> Crew competence rate (total number of certificated technicians/total number of maintenance crew)
C <sub>4</sub> Planning	C <sub>41</sub> Average age of fleet (years)
	C <sub>42</sub> Aircraft types (number)

#### (1) 管理構面

此安全構面主要探討安全政策與策略的規劃、執行與控制等作為，其指標包括反應安全管理系統執行的成效(C<sub>11</sub>)、管理者與員工承諾及態度的安全文化(C<sub>12</sub> & C<sub>13</sub>)、以及飛安資源投入的安全人力配置(C<sub>14</sub>)。

#### (2) 航務構面

此構面主要探討航機飛航的安全，其指標包括反應專業表現的組員經驗、態度與生理狀況(C<sub>21</sub>)、確實遵守消除人為錯誤與飛安事件的工作程序(C<sub>22</sub>)、飛行員接受的訓練量(C<sub>23</sub>)、以及每十萬起降架次發生失事與意外事件的比率(C<sub>24</sub>)。

#### (3) 機務構面

此構面主要探討確保航機處於適航條件的機制，其指標包括反應標準作業程序的執行狀況(C<sub>31</sub>)、維修人員接受的訓練量(C<sub>32</sub>)、以及取得專業認證執照的技術人員比率(C<sub>33</sub>)。

#### (4) 機隊規劃構面

此構面主要探討航機飛航的條件，其指標包括機隊平均機齡( $C_{41}$ )、以及機隊組成與混合的比率( $C_{42}$ )。

#### 4. 模糊多屬性決策方法

由於本研究所擬的航空公司安全評量指標包含量化與質化性資料，以及兩個階層層級，所以運用模糊多屬性決策方法作為航空公司安全指數計算的工具。通常模糊多屬性決策問題採兩階段方式(two-phase)求解，首先為透過模糊評估方式整合各構面所有的指標成為單一數值，其次為透過模糊數(fuzzy number)排序各構面整合數值的高低；不過，模糊數的比較結果有時並不直捷與可靠，所以以最佳化的觀點發展一套較為精確的演算法。依MADA的觀點，最佳的方案應是最接近正面理想解(positive ideal solution)且最遠離負面理想解(negative ideal solution)，而此一觀點也廣為各項決策研究所採行。

在MADA模式中，各指標的權重是構面整合的要件，其演算方式如下：

Step 1：正規化模糊決策矩陣(Normalize the fuzzy decision matrix)

Step 2：獲得各公司相對比率(Obtain the relative rating of airline  $A_i$ )

Step 3：測定正面理想解( $A^+$ )與負面理想解( $A^-$ )(Determine the positive ideal solution ( $A^+$ ) and negative ideal solution ( $A^-$ ))

Step 4：分別計算距離正向與負向理想解的加權歐幾里德距離(Calculate the weighted Euclidean distance, between  $A_i$  and  $A^+$ , and between  $A_i$  and  $A^-$  respectively)

#### 5. 實例研究

針對台灣民航界的19位安全專家，共17份有效問卷，其中11位服務於航空公司，3位為政府官員、3位為學者；透過結構性問卷取得(1)安全構面與安全指標的權重與(2)根據量化指標(表1)評估航空公司的績效評等。接著，透過兩兩比較的方式(Saaty, 1980)，評估各指標與構面間的相對重要性，其結果如表2所示。其中，失事與意外事件比率指標( $C_{24}$ )在航務構面中的權重最低，反映出失事紀錄不是良好飛安評量指標的觀點；其次，學界的專家一致地對人為因素相關指標給予較高的權重，表示對於人為因素在飛航安全中的議題相當關切。

表2 安全構面與安全指標的加權向量

Weighting vector	Weights
$W$	(0.380, 0.286, 0.191, 0.143)
$W_1$	(0.267, 0.318, 0.209, 0.206)
$W_2$	(0.197, 0.232, 0.448, 0.123)
$W_3$	(0.391, 0.386, 0.223)
$W_4$	(0.583, 0.417)

此外，各專家透過七尺度的方式評量表1中的六項質化指標，並轉為0-100的模糊三角函數，表3為三位專家模糊評估的語意數值範圍。表4為四家公司，以1999年為基期，整合其他量化指標的模糊評估結果。

表3 模糊評估的語意數值範圍

Expert	Very Low	Low	Medium	High	Very High
1	(0, 0, 20)	(20, 30, 40)	(40, 50, 60)	(60, 70, 80)	(80, 100, 100)
2	(0, 0, 30)	(30, 43, 55)	(55, 60, 65)	(65, 72, 80)	(80, 100, 100)
3	(0, 0, 40)	(40, 45, 50)	(50, 60, 70)	(70, 78, 85)	(85, 100, 100)

表4 四家公司的績效評點

Safety measure	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
<i>Management (C<sub>1</sub>)</i>				
$C_{11}$	(63, 72, 78)	(79, 93, 95)	(78, 92, 94)	(68, 79, 83)
$C_{12}$	(74, 85, 89)	(82, 97, 98)	(84, 99, 99)	(77, 90, 93)
$C_{13}$	(64, 74, 80)	(77, 90, 93)	(78, 91, 93)	(70, 80, 84)
$C_{14}$	2.78	2.50	1.76	4.75
<i>Operations (C<sub>2</sub>)</i>				
$C_{21}$	(65, 76, 83)	(80, 94, 95)	(79, 92, 94)	(67, 78, 84)
$C_{22}$	(58, 68, 76)	(84, 100, 100)	(76, 88, 91)	(67, 75, 81)
$C_{23}$	4.82	4.78	4.00	2.42
$C_{24}$	118.90	70.00	41.60	66.70
<i>Maintenance (C<sub>3</sub>)</i>				
$C_{31}$	(77, 90, 93)	(80, 93, 95)	(80, 92, 94)	(62, 72, 79)
$C_{32}$	4.80	3.24	4.03	2.29
$C_{33}$	0.49	0.10	0.21	0.05
<i>Planning (C<sub>4</sub>)</i>				
$C_{41}$	6.70	5.49	5.20	2.50
$C_{42}$	5	3	3	2

根據表4的數值，透過MADA法的演算，各家公司的安全指數計算如表5所示。其資訊可做為民航局督導航空公司的主要依據，例如：A<sub>1</sub>公司的航務運作與A<sub>4</sub>公司的機務運作即需特別關注。此外，對於航空公司而言，有助於了解其自身劣勢與可效法的對象；例如：雖然A<sub>2</sub>公司在總體安全指數排名占第一高位，不過在航務與機隊規劃方面相較A<sub>2</sub>與A<sub>4</sub>公司仍有改善空間。

表5 四家航空公司的安全指數與排名順序

Safety dimension	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
<i>Management (C<sub>1</sub>)</i>				
Index	0.598	0.712	0.685	0.511
Ranking	3	1	2	4
<i>Operations (C<sub>2</sub>)</i>				
Index	0.529	0.686	0.692	0.541
Ranking	4	2	1	3
<i>Maintenance (C<sub>3</sub>)</i>				
Index	0.736	0.755	0.629	0.531
Ranking	2	1	3	4
<i>Planning (C<sub>4</sub>)</i>				
Index	0.430	0.557	0.510	0.706
Ranking	4	2	3	1
<i>Overall</i>				
Index	0.485	0.693	0.688	0.566
Ranking	4	1	2	3

## 6. 結論

本文主要由安全表現與安全投入兩方面評量航空公司整體安全績效。為能適切評量台灣四家主要航空公司，本研究首先訂定四個與公司部門相關的安全構面與其相應的評量指標；接著，為能適切處理相異的量化與質化參數，運用模糊多屬性決策方法作為構面與指標計算與整合的工具。最後計算而得的飛安指數，可以做為民航主管機關監理航空公司較為不足之處的依據，以及航空公司自我評量與改善的參考。此外，透過實例的探討，顯示本研究提出的演算方式，適用於模糊評估的多屬性決策問題。

## [文獻評析]

1. 本文主要係基於航空公司間比較性飛安績效與投入，分別由管理(Management)、航務(Operation)、機務(Maintenance)與規劃(Planning)擬定十三項準則，發展一套量化性航空公司安全指標。此指標能依據其他航空公司的安全競爭力與風險判斷出航空公司整體安全水準，幫助航空公司了解自身在飛安上各項可管理安全屬性的相對優勢與劣勢，值得民航主管機關與航空公司參考及試行。
2. 由於語意用詞的關係，調查中相關主觀性質化評量屬性以模糊數(fuzzy number)呈現，各項安全屬性之相關權重則以成對比較的調查方式予以獲得；此外，基於最佳化的概念運用模糊多屬性決策方法，由正向理想解與負向理想解的角度評判指數的優劣，得出各家航空公司整合性安全指標。由於此法能適切處理與整合各項質化與量化的指標數值，並客觀性評估各航空公司與評量構面的相對績效，值得作為風險評估工具發展之參考。
3. 本研究以四大構面、十三項準則作為評量之基礎，不過其內涵較多著墨於線上活動部分，如航務與航務的部分，對於管理與規劃略有涉及，但就航空公司的整體運作活動及組織文化因素的探討略嫌不足，對於事業經營與飛航環境等因素更是未有提及，所以值得後續研究補充與改進。
4. 研究中採用兩兩比較的方式獲取各構面間與各指標間的相對權重，隱含各構面間或指標間的關係為獨立、不相影響，此點並不符合飛安系統各因素間環環相扣的特性。
5. 本文提出的安全績效評量量表，對於各質化指標的評判標準並未詳細說明，而且整體量表缺乏信度與效度的檢驗，所以在實際應用上仍需斟酌與深慮。

## [相關文獻]

Heinrich, D. (1999), "Aviation Risk Management," Corporate Aviation Safety Seminar, pp.25-37

Helmreich, R. L., Wilhelm, J. A., Klinec, J. R., and Merritt, A. C. (2001), "Culture, Error and Crew Resource Management", Improving Teamwork in Organizations, E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 305-331.

Janic, M. (2000), "An Assessment of Risk and Safety in Civil Aviation," Journal of Air Transport Management, Vol. 6, pp. 43-50.



Kuchar, J. K., Walton, D. S., and Matsumoto, D. M. (2002), "Integrating Objective and Subjective Hazard Risk in Decision-aiding System Design," Reliability Engineering and System Safety Vol.75, pp.207-214.

Matthews, M. (2003), "Human Factors in Aviation: People – The Aviation Industry's Greatest Asset, But Also Its Biggest Problem," FSCT.

McFadden, K. L. (2003), "Risk Models for Analyzing Pilot-error at US Airlines: a Comparative Safety Study" Computers & Industrial Engineering, Vol. 44, pp. 581–593.

Mimpriss, J., Savage, J. (2000), "Risk Assessment-Hazard Management Using Dependency Modeling," EASS 2000, pp. 29-46.

張有恆、李昭蒂(2004)，航空公司飛航安全績效評估之研究，民航季刊，第六卷，第一期，pp.15-36

張有恆、李文魁(2002)，航空公司飛安風險評估模式之探討，中華民國運輸學會第17屆論文研討會論文集，pp. 749-759.

# Risk Assessment-Hazard Management Using Dependency Modeling

Mimpriss, J. and Savage, J.

EASS 2000, pp. 29-46.

## [英文摘要]

無

## [中文摘要]

為能朝向零失事的目標邁進，發展一套飛安風險評量模式，有效預先瞭解可能的飛航作業風險，為飛安管理重要的課題。因此，作者介紹英航(British Airways)以失誤樹分析方法(FTA)為理論基礎，所研發的風險分析工具(Risk Analysis Tool)，透過起落架運作案例倒推確保事件不發生之程序，接著依照BASIS資料庫推算各基本事件發生之機率，計算發生起落架未放下而降落之機率，以及運用敏感度分析法尋找關鍵風險因子而加以改善整體系統之安全績效。本文具體呈現英航風險分析工具的運作方法，以及在風險評量上之應用，清楚的模式架構與簡易的操作方式，值得作為飛安風險管理之參考。

## [內容]

### 1. 前言

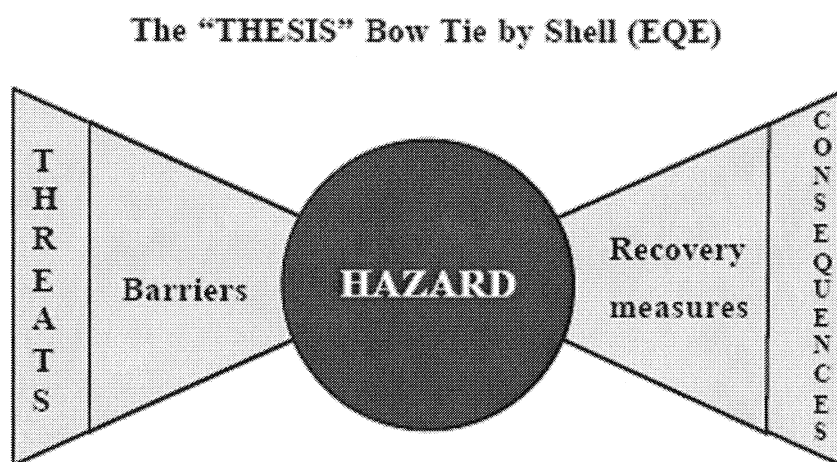
每引進一項新的措施，無疑將可提供更佳的飛航服務或減少飛航組員的負擔，不過同時也為飛航安全埋下潛在的危險；為能朝向零失事的目標邁進，發展一套飛安風險評量模式，有效預先瞭解可能的飛航作業風險便為飛安管理重要的課題。

以往業界所使用的方法，不外乎運用各種方法確認系統內的危害因子，透過嚴重程度與發生頻次兩個向度估算各項危害的風險，進而運用風險評量矩陣加以評量，針對危害性較高的因子進行控制，達到管理與降低風險的目的。

本研究根據英航在飛安管理上的需要，發展一套適切的風險評量工具(Risk Assessment Tool)。第一個計畫案是協助飛航運作管理部門決定在何種情況下，必須限制機長將起飛與降落的工作交付副機師操作，而主要的研究方法係源自英國健康與安全局(UK Health and Safety Executive)。由於Entebbe機場鳥擊事件頻繁，平均每四次起降便發生一次，所以在公司的要求下，第二個研究案是評估該機場是否適合以B-777取代DC-10。在研究過程中發覺，傳統的分析方法並不適用於此等課題，而且需仰賴精確的數學計算方式去考量區域內鳥類飛行數量、引

引擎承受鳥擊的程度或多引擎同時失效的機率。

基於上述原因，英航經過研議後改採Shell公司發展應用於石油業的方法—THESIS(圖1)，其理論係立基於威脅與後果的確認與分類，以及阻止危害發生的措施。然而，此法相當的耗費勞力，而且容易受限於以往的經驗與思考模式，雖然其結構性架構能夠有效運用書面化或電腦化方式處理資料。



## 2. 方法

在不斷嚐試與比較後，體認傳統模式的基本要求，乃在於所有危害因素皆為已知且資料可適切蒐集的嚴苛條件，還不如將焦點置於達成目標的必須要求上，所以英航決定採用系統性相依模式(Dependency Model)，此點尤其在小範疇逐步推演上更具實際效果。以圖2為例，在探討「不在起落架收起時降落」的問題時，須考慮的必要動作為「起落架選擇放下」且「起落架系統運作正常」；探討「起落架選擇放下」的問題時，其下層需考慮的相依動作為「駕駛員記得選擇放下」或「駕駛員被告知選擇放下」；探討「駕駛員被告知選擇放下」的問題時，其下層需考慮的動作則為「翼襟/油門緊訊」或「GPWS著路模組」正常運作；依循上述步驟一一探討各分枝的狀況，即可充分解構系統與釐清問題。由上述案例探討可知，此法的特性在於若其中任何一項上層事件發生時，則僅需對其所在分枝加以探討，即可快速與有效地研判可能問題層面或事件，較有利於研究者探討潛在疏失的存在，進而制訂管理機制與設定控制措施。

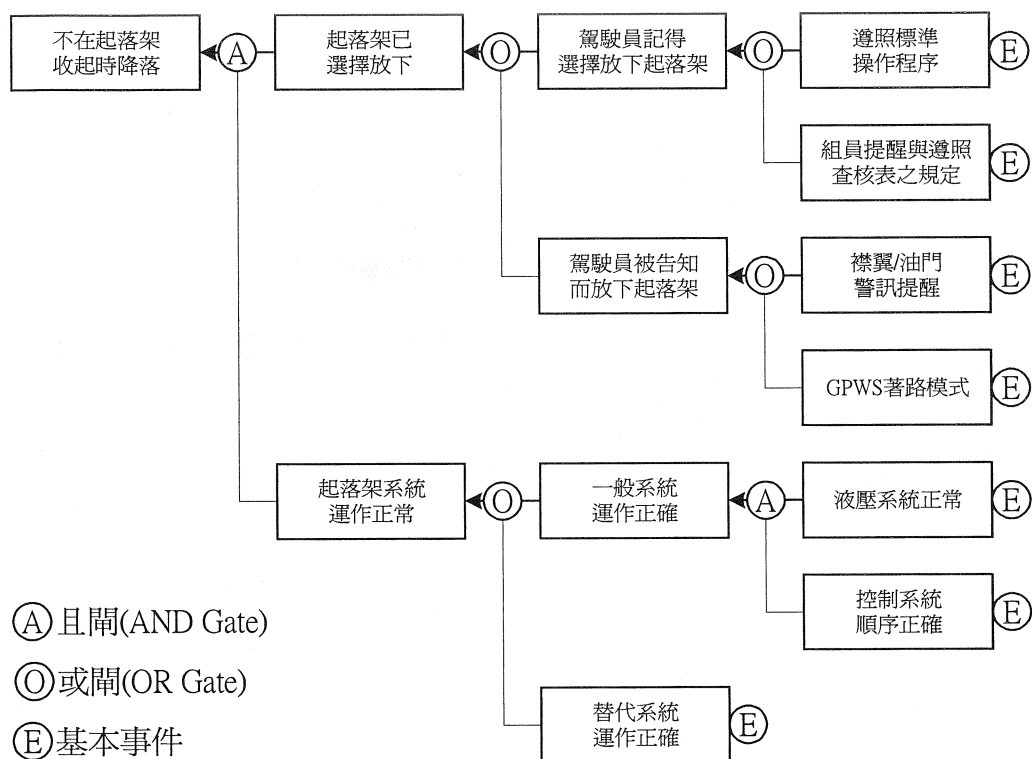


圖2 RAT之起落架運作分析模式

接下來，接著依照BASIS資料庫推算圖2中右側各基本事件(basic event/fortune)發生之機率(圖3)，即可進行系統性量化評估。透過布林代數計算，系統中各環節的風險程度與脆弱的鏈結點即可評判(圖4)，以及評估多項環節同時發生狀況的可能影響(圖5)。層級架構中運用兩種符號串連不同層級間的事件：「A」代表「交集」，而「O」代表「聯集」。

PARAGON	TYPE	PROBABILITY
Aircraft does not land gear up	Dependent: And	
Gear is selected down	Dependent: Or	
Gear system operates successfully	Dependent: Or	
Hydraulic pressure is available	Fortune	1/250000
Control system sequences correctly	Fortune	1/250000
Normal System works correctly	Dependent: And	
Alternate system works correctly	Fortune	1/1000
Pilot remembers to select the gear down	Dependent: Or	
Pilot is prompted to select the gear down	Dependent: Or	
Crew monitoring and checklist discipline	Fortune	1/2250
Horn prompt tied to flap/throttle	Fortune	1/250000
Procedural selection as part of SOP's	Fortune	1/2250
GPWS gear mode	Fortune	1/250000

圖3 基礎事件的發生機率

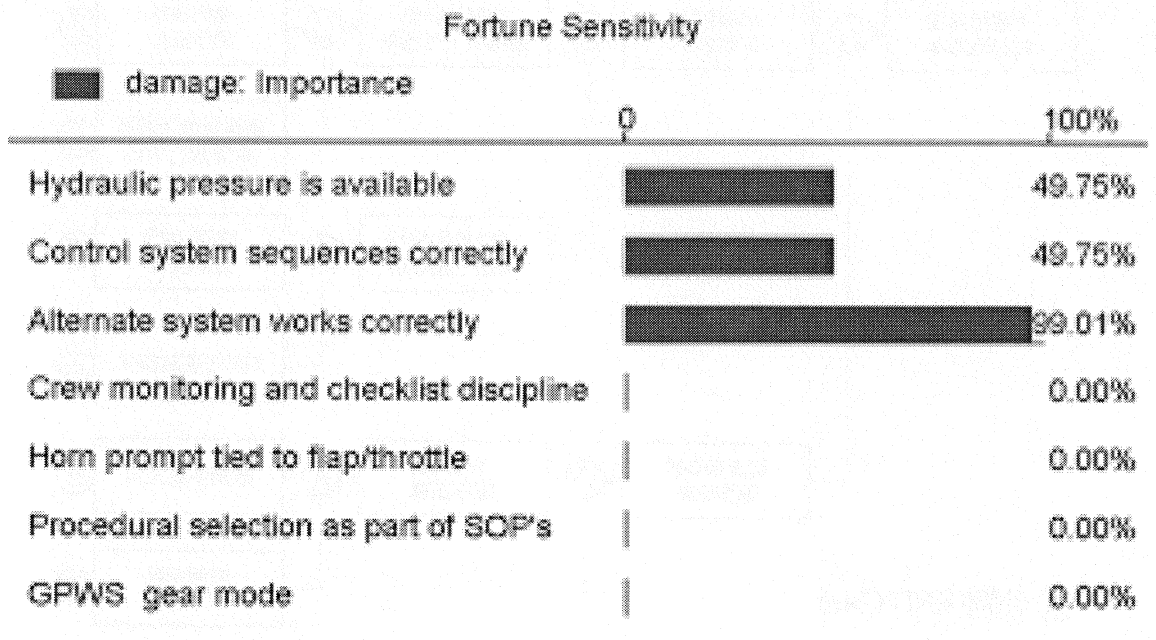


圖4 基礎事件變動的敏感度

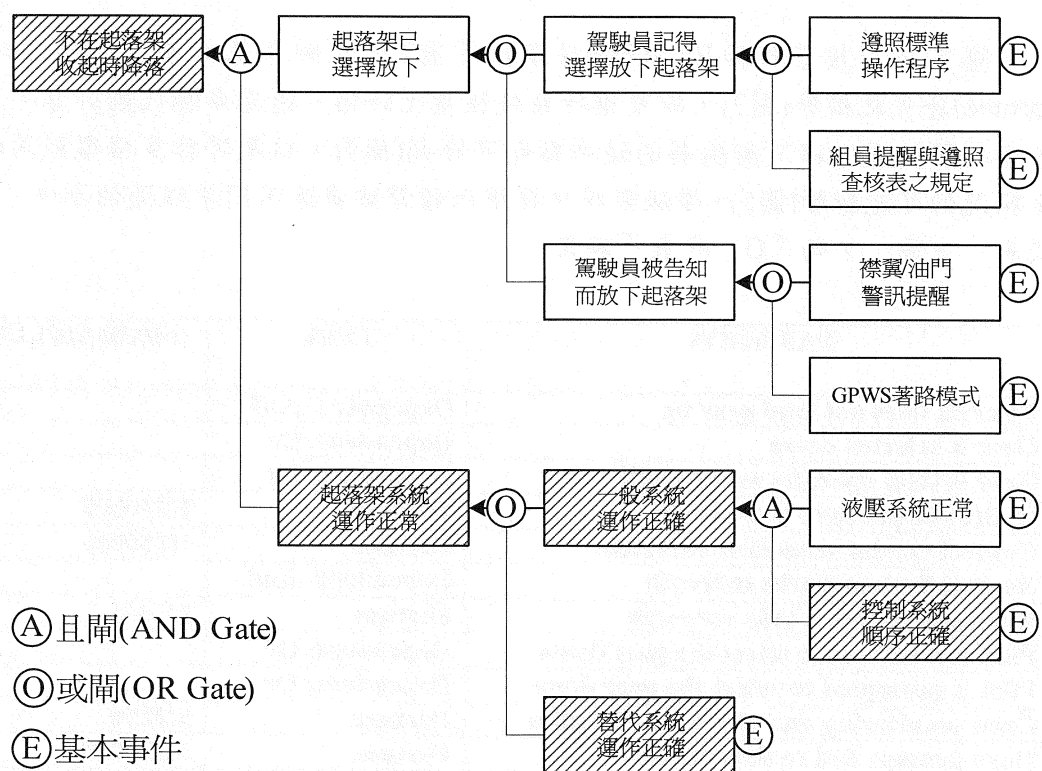


圖5 兩項事件同時失效的影響

### 3. 結語

此種相依性模式在使用上相當便捷，而且在一連串測試後符合公司的需求。此法不僅能迅速解構複雜的問題，亦可透過清楚的層級性結構圖形表達、討論與

評估各項議題。後續更將納入情境認知(Situation Awareness)的考量，研擬檢查表單以確認各項環節確實執行，並運用其資訊與人員訓練、在職教育與標準作業程序修正等作為相結合。

由於英航對於此系統模式愈加信任，所以將初期的風險分析工具-RAT (Risk Analysis Tool)名稱改為RATBAG (Risk Analysis Tool British Airways Group)。RATBAG能夠整合各項議題並運用結構性圖像加以凸顯，使得各項問題得以有效解決，所以近一步拓展至協和號客機(Concorde)運作問題的探討，以及協助應行評估LAHSO(Land and Hold Short Operation)的影響。

### [文獻評析]

1. 本文具體呈現英航風險分析工具的運作方法，以及在風險評量上之應用，清楚的模式架構與簡易的操作方式，值得作為飛安風險管理之使用。
2. 此法符合安全系統研究之需求，而且對於大型系統的分解與問題的處理具有簡易的特性，不僅可提供清晰的圖像呈現系統內部運作機制，尚有嚴謹的機率推論基礎進行系統外部風險評量，所以值得各領域之安全研究者採用。
3. 文中對於「航機不會在起落架收起時降落」問題所構建的模式符合實際飛航運作狀況，可用於探討與比較國內航空公司在此範疇的飛安水準。
4. 此種樹狀模式具有三項主要缺點：
  - (1) 模式假設所有基本事件間的關係為獨立，而此項條件並不符合現實系統之狀況，尤其是當基本事件間有備用複聯(Standby Redundancy)的機制、先後邏輯性(Sequential Logic)的關係、或共同因子(Common Cause)的存在。
  - (2) 本法適用於分析硬體方面系統的可靠性，在整體飛安管理思考趨勢轉化至系統安全時，對於航空領域中最重要的軟體-人為因素，似乎未能妥善考量與處理，難以符合飛安系統的實際狀況。
  - (3) 利用結構化之方塊圖與邏輯符號追溯導致事件發生之原因，利於分析者與管理者深入了解系統整體架構與發掘潛在危險因子，然而在飛安管理龐大與繁雜的系統環境之下，其樹狀分析架構之構建卻是相當花費成本與時間，更容易發生疏失與遺漏，而且攸關系統可靠度推算與危險確認之脆弱環節，更由於事件節點與結構層級的增加，呈現指數倍數之成長而難以一一找出。
5. 分析模式的重點是了解系統運作機制(Functions)，而不是數字的產生器

(Generators) (Bahr, 1997)，所以邏輯樹狀架構是否為真，為飛安管理的重要關鍵。因此，一般在進行模式構建時均採行模式驗證步驟，藉由研究模式與實際系統的一致性比較，減少推論的不確定性與誤判的可能性，以及證明模式的效度(Validity)或正確性(Accuracy)，而本文並未提及。

### [相關文獻]

Allen, H. W., and Abate, M. L., "Work Process Analysis: A Necessary Step in the Development of Decision Support Systems- An Aviation Safety Case Study." *Interacting with Computers*, Vol. 11, 2000, pp. 623–643.

Chang, Y. H., Yeh, C. H., "A New Airline Safety Index." *Transportation Research Part B*, Vol. 38, 2004, pp. 369–383.

Hale, D., "Risk Contours and Risk Management Criteria for Safety at Major Airports, with Particular Reference to the Case of Schiphol." *Safety Science*, Vol. 40, 2002, pp.299–323.

McFadden, K. L., Risk Models for Analyzing Pilot-error at US Airlines: a Comparative Safety Study, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 44, 2003, pp. 581–593.

McCarthy, J., Osborne, D., and Hadjimichael, M., Modeling Risk with the Flight Operations Risk Assessment System (FORAS), *IASS 1999*, pp.25-34.

汪進財、葉文健、鍾易詩，財務績效對飛航安全影響關聯架構之建立，*運輸學刊*，第十三卷，第四期，2001，頁87-110。