

飛航安全風險評估模式之構建¹

RISK ASSESSMENT MODEL ON FLIGHT-SAFETY MANAGEMENT

李文魁 Wen-Kuei Lee²
張有恆 Yu-Hern Chang³

(93 年 5 月 26 日收稿，93 年 8 月 3 日第一次修改，93 年 8 月 30 日
第二次修改，94 年 1 月 12 日定稿)

摘 要

飛安風險評估乃是一種運用有限資源以較小的成本或較有效的方法，來達到減少飛安事故及其損失的過程，包括風險的衡量與分析兩部分。若我們在日
常即能針對各項影響飛安的風險因素嚴加監控，當這些因素呈現故障或缺失狀
態超過設定的門檻時即能發出警訊，告知風險管理者採取適當的處理措施，將
可防範飛安事故於未然。由於傳統 FMECA 的最大缺點即在其 RPN 是由各項
衡量因子的衡量值相乘而得，其易造成衡量值相互抵銷的盲點，故其運用在安
全性訴求極高的航空產業並不適宜。為此，本文乃利用座標組合法和歐基里德
距離原理來發展一套組合衡量值的風險衡量模式，再參考 ALARP 風險概念來
進行風險分析模式之構建。透過此飛安風險評估模式的運作，風險管理單位便
可建立彈性化的即時風險控管系統。首先經由專家問卷調查蒐集各項飛安風險

-
1. 本文獲國科會補助（編號 NSC92-2416-H-006-005）；在審查期間蒙兩位委員詳細審閱，且惠賜寶貴意見，謹此致謝。
 2. 國立成功大學交通管理科學系博士候選人（聯絡地址：701 臺南市大學路 1 號成功大學交通管理科學系；E-mail：r5888106@nckualumni.org.tw）。
 3. 國立成功大學交通管理科學系教授（聯絡地址：701 臺南市大學路 1 號成功大學交通管理科學系；電話：06-2757575 轉 53220；E-mail：yhchang@mail.ncku.edu.tw）。

因素之內生衡量因子(包含因素重要度、故障危害度和故障難檢度等)之衡量值後,接著利用 k -標準差的統計技術來繪製風險分析圖,並針對國內影響飛安中的機械因素進行實證探討。風險管理單位透過本模式的操作可發揮預防診斷的功能,且隨著對風險分析圖中之上下界風險水準門檻(即調整 k 參數)的設定,可達到有效監控各項風險因素之風險水準現況,並及早採取相對應的風險處理措施,儘速發現異常的故障或缺失狀況,以避免後續重大飛安事故的發生。本文以量化分析方式處理飛安風險衡量問題,除有別於採取原則性質化風險分析之研究外,更能讓安檢數據說話,當可提供航空業界相關單位之參考。

關鍵詞：飛安風險評估；FMECA；ALARP； k -標準差；座標組合法

ABSTRACT

An efficient flight-safety risk assessment model using the lowest cost can reduce flight accidents and the loss. The model includes two parts, risk measurement and risk analysis. If the flight-safety risk factors can be strictly monitored and the appropriate measures can be adopted while failure occurred, flight accidents will be greatly decreased. Due to the serious defect of using the RPN, which was calculated from the product of the scores of measurement factors, the traditional FMECA principle is not applicable to the risk analysis of aviation industry requiring much higher safety concern. Thus, we developed a model applying the coordinate combination method and the Euclidean distance formula to combine the scores of measurement factors to measure the risks. Also, we modified the ALARP approach to establish the risk analysis model. Then the operating of the risk analysis diagram (RAD) was interpreted. That is, an elastic monitoring/controlling mechanism would be established to timely monitor the status of each risk factor. Hence, we first obtained the scores of each endogenous measurement factors of each risk factor screened from the expert's questionnaire survey. Next, we employed the statistical k - σ technique to draw the RAD for each risk factor. A practical study for technological risk factors of flight-safety was presented in this paper. By operating this model, the risk manager can appropriately adjust the k parameter to set up the upper-bound threshold of level of risk to efficiently monitor the risk level and adopt the corresponding measures of risk treatment to find out the extraordinary hazards as early as possible. In this study, the quantitative risk analysis method was used to measure and cope with the risks. This is different from the conventional manner of the qualitative risk analysis. So, the contributions of this study may provide help for the related departments in civil aviation to manage the risks of flight-safety.

Key Words: *Flight-safety risk assessment; FMECA; ALARP; k - σ ; Coordinate combination method*

一、緒 論

1.1 前言

安全管理工作向來是各行各業所最關心卻是最感棘手的課題。無論是政府機關、私人企業或個人都多多少少會面臨安全管理的問題，而要如何確保安全管理工作的臻於完善，則有賴管理部門對各項影響安全因素的嚴格監控，以及對該等因素於發生故障或缺失而尚未造成安全事件 (incident) 或事故 (accident) 之前的妥善處理。其中對各項安全因素嚴格監控的主要用意，即在訴求預防機制的建立，換言之，安全管理部門可以利用風險分析的技術來發展一套監控機制，以達防範未然的目的，這就是風險管理的主要精神。至於風險 (risk) 一詞的定義中外學者眾說紛紜^[1]，確實難以給予統一的定義，哈佛大學教授 Bell 和 Schleifer^[2] 曾在其所著 Risk Management (1995) 一書中聲明放棄去定義 risk 這個名詞，主因 risk 本身是一個極具抽象又模糊的概念，要去統一定義它是非常困難的，其必須因事制宜或因案而異，但依據 Webster 新字典的定義：只要符合 (1) 具有傷害、毀損或損失的機率 (2) 具有可能的損失程度這兩項特性者便具備風險的意涵。其次，風險的種類也可從不同的角度去分類^[1,3,4]，總歸起來可分：從風險評估的方式有主觀與客觀風險；從標的物可分人身、財產和責任風險；從危險來源有實體、道德和士氣風險；此外亦有基本和特定風險、財務和非財務風險、動態和靜態風險、純粹與投機風險等之分，這些風險分類的運用端視研究主題和研究目的而定。

目前已發展出來的量化和非量化系統安全風險分析技術不勝枚舉^[5]，舉凡能夠達到預防診斷和防範未然功能者都可歸屬之，例如初步危害分析 (PHA)、故障危害分析 (FHA)、操作危害分析 (OHA)、失誤樹分析 (FTA)、人可靠度分析 (HRA)、故障型式和效應分析 (FMEA) 等，有些方法大同小異，只是其實施的階段或時間點有所差別，或者是其分析的目的不同而已。至於首將系統安全風險分析方法運用在交通運輸安全之上者，可追溯到 1981 年 Hathaway 等人^[6] 對大眾捷運系統車廂火災問題的研究，它是利用 FTA 方法找出車廂失火的原因來設法尋求排除故障之道。其次，根據黃清賢 (民 90 年) 所述，運用在大眾運輸方面的系統安全風險分析方法可歸類為六種：PHA、SSHA (系統與子系統危害分析)、IHA (介面危害分析)、OHA、FTA 和 FHA 等。其中 PHA 和 IHA 適用於系統規劃階段，SSHA、FTA 和 FHA 適用於系統設計階段，IHA 和 OHA 則適用於系統建造階段，而適用於系統操作階段的則有 OHA 和 FTA 二種，不過大部分都是以質性分析為主。

畢竟風險管理概念實際應用在國內民航產業的飛安管理上者可說是近幾年才有之事，但幾乎是處在傳統內部式、非明確式及簡單「安全政策」宣示式的風險管理階段^[7]，故至今國內相關飛安風險管理之研究文獻都著墨於質性資料的分析或事故發生後的肇因探討者較多，如任靜怡、李雲寧等、林恒卉、林長慶、張有恆、林豐福等，仍甚缺乏從風險的角度及運用量化技術來進行風險評估機制之構建和分析者^[8-13]，為此若能發展一套運

用量化技術來進行國內飛安風險衡量之模式構建，並發揮預先診斷機能使飛安事件消弭於安檢工作之中，當有助於相關單位之飛安管理而提升飛安水準，降低飛安事故。但要構建一完善的飛安風險評估機制，首要之事乃在於飛安風險因素的確定，以及如何來衡量和分析風險，方可據以推展出相關的風險處理和風險監控策略，因此，本文目的主要在於建構一可行的量化飛安風險評估模式，並據此來衡量風險和分析風險狀況。本文結構將分四個部分：第一章緒論，除概述風險的定義和簡介風險分析的基本分類外，將回顧航空運輸管理上風險分析的運用概況，並作本文模式概念之介紹；第二章說明本文模式構建之方法與步驟；第三章則進行實際案例操作與說明；最後作一結論與建議。

1.2 文獻回顧

民國 79 年張新立^[14]將風險概念引進國內運輸安全管理領域之後，即陸續有學者投入相關研究，如蕭世欽、劉昌明、張新立等發表相關運輸系統安全風險分析方面的論文^[15-18]。而風險分析技術被運用在國內航空運輸管理之上者，則可追溯到民國 88 年間由交通部民航局將飛安風險管理制度之建立列為施政重點之一肇始^[19]，此亦引起國內各航空公司對風險管理技術的重視。中華航空公司於民國 88 年間即引進一套飛行操作風險評估系統 (FORAS)^[20]，藉由管理者對駕駛員的飛行操作紀錄之追蹤，而了解其設備、系統和人員之間的協調與否，來進行檢討而作出適當的改善措施，以達到降低飛行操作缺失之目的。FORAS 是屬於飛航操作品質保 (FOQA) 計畫的一部分，它是利用事件嚴重度和事件發生的可能性兩個向度所構成的風險矩陣 (risk matrix)，來分類出飛行操作上所發生的飛安事件次數和計算風險指標 (risk index)，再作為分析飛行操作風險的基礎，這是國內航空公司運用量化風險分析於飛安風險管理上的先驅者，該公司已將此系統的演練併入員工教育訓練的重要課程之一。在同一時間的復興航空公司亦引進一套 Airbus 公司所開發之線上操作監控系統 (LOMS)^[21]，藉由蒐集飛行紀錄器 (AFDR) 和航空器狀況監控系統 (ACMS) 的資料，來進行自動化資訊的比對分析，以便檢查出飛行異狀和發覺風險所在，並作進一步改善動作，以提供飛行操作監控經理作為管理上的參考。

國外 Evans 等人^[22]，Ale 和 Piers^[23]分別提出以第三者為保險標的之風險觀念來探討英國機場公共安全區域 (public safety zones, PSZ) 的政策，其以機場為中心方圓四公里之範圍為 PSZ，探討此 PSZ 居民感受威脅程度的風險值，分別建立事故次數、事故區域和事故規模等三個子模式，並根據 Jones-Lee 和 Looms 對居住在英國倫敦 Gatwick 和 Luton 機場 PSZ 內居民所進行的訪問調查，結果顯示 60% 的受訪者認為 10^{-6} 的風險值為飛機於該 PSZ 內發生事故的風險忍受值。接著 Evans^[24]更採用英國 1993 年所公布的道路交通事故之生命價值每人 744,000 英鎊為航空事故生命價值，並經過成本效益分析來擬定 PSZ 內居民的風險評估和決定風險控制策略。林恒卉^[10]亦提出類似的研究，其以國內松山機場跑道為中心，向外延伸為長 4.8 公里、寬 3 公里矩形區域之第三者人身安全風險進行估算，得到 10^{-3} 和 10^{-4} 二個等高線風險值，顯示比國外機場附近之個人風險值來得高，故其建議應採取風險規避策略，如關閉機場或遷移機場、強制遷移該地區內之住戶，或者部分採

行保險、減稅及改善整體飛安等策略。Helmreich 等人^[25]共同發展出一套以線上操作安全稽核 (LOSA) 資料，來分析航空公司之系統操作與安全文化的方法稱為 LOSA methodology，並建立一套疏失管理和處理模式來加強監督航空公司的飛安業務，其飛安資料的來源則包括失事調查報告、一般飛安事件報告、飛行檢查、飛行紀錄器（俗稱黑盒子）監控資料和一般性飛行監控資料等五種來源，其中最後一種即為 LOSA 資料的最主要來源，它類似我國交通部民航局所制定之航空公司飛安自我督察與自願通報系統。

美國國家太空總署 (NASA) 於 1997 年以第三者中立角色主持自願性航空安全報告系統 (ASRS) 及美國 FAA 也積極推動航空安全行動計畫 (ASAP)，並鼓勵相關人員在有限度的保護下，向民航單位或航空公司自願通報飛安事件，這裡的相關人員包括機場的工作人員、航空公司的內勤職員與機組員、和旅客等。此外，歐洲航空器飛安事件報告系統聯合中心 (ECCAIRS) 亦建立一套必要性自動飛安報告系統，以進行歐洲各聯合國國家之間飛安資料的交換與飛安資訊的共享，其中英國民航局 (CAA) 即因所建立之強制性飛安事件報告系統 (MOR scheme) 而著名於全球。北美大陸航空公司、北美大陸航空飛行員獨立協會和美國 FAA 亦於公元 2000 年 11 月 21 日共同簽署一份稱為北美大陸航空公司飛安行動計畫 (continental airlines ASAP) 來推動北美地區航空安全事件通報系統，作為擬定飛安政策或飛航管制措施的重要依據。有關 ASAP 的進行步驟為：確定風險、風險分析、執行改善行動、有效性之確認與證實、增進與教育員工相關風險事件的體認、衡量整個系統之績效和確定系統應負責任的延續性等七項^[26]。

國內交通部民航局亦於民國 89 年初參考國外做法，積極推動「飛安自我督察」和「飛安自願通報系統 (CARE system)」之建立，透過飛航組員、飛航管制員、維護人員、空服員、地勤人員和旅客等相關人員來自願通報各種飛安事件資訊而建立相關資料庫，只要任何人經由上述之自動通報系統而通報者，交通部民航局或航空公司並不得據以懲處相關通報人員，而且交通部民航局更有責任主動根據這些通報的飛安事件之事實狀況詳加調查與分析，並作出相關解決的辦法和預防的措施^[27]。次年，交通部民航局更著手研擬機場風險管理手冊^[19]，其中所運用的風險衡量方法有風險矩陣 (risk matrix) 法和樹狀圖 (tree diagram) 法。矩陣法乃是針對事故之嚴重程度和所可能發生事故的機率作綜合評估：亦即「飛安風險值＝事故嚴重程度×事故發生機率」，其中事故嚴重程度和事故發生機率都分三級，而形成 3×3 之風險矩陣 (如右表)，並將飛安風險程度分為 A、B、C、D、E 五個等級，其風險評估說明如右：

A 級極重度：需最優先應變處理之少數事件，通常政府會介入調查；B 級重度：需最優先於其他事件之重大關切事件；C 級中度：需由相關單位注意之事件；D 級輕度：正常情況下，不需有進一步行動之事件；E 級極輕度：僅作統計上處理之事件。

		事件發生機率		
事件嚴重程度		High	Medium	Low
	High	A	B	C
	Medium	B	C	D
	Low	C	D	E

第二種樹狀圖法則是針對各項飛安因素賦予適當風險程度且考慮下面四種衡量因子：

1. 飛安事件之後果或最大損傷程度—表示該飛安事件最嚴重下可能對人員或設施所造成之最大損傷程度，可區分為四級，第一級 (S_1)：可被忽略之損傷 (不影響機場運作或無人員傷亡)；第二級 (S_2)：輕微損傷 (影響機場整體運作或造成一人或多人受傷)；第三級 (S_3)：中度損傷 (影響機場整體運作或造成多人重傷或死亡)；第四級 (S_4)：重大損傷 (造成機場關閉或引起重大災禍，造成多人死亡)。
2. 飛安事件發生次數及發生時間長度、或飛安事件嚴重程度、或事件陷於危險狀況之面積—表示該飛安事件發生後，機場將暴露於危險狀況之時間量度或區域範圍大小，可區分為二種量度： A_1 -偶發到經常； A_2 -持續。
3. 避免危害的可能性—表示該飛安事件發生後，是否能夠避免發生進一步的危害，可區分為二種狀況： G_1 -在某些特定情況下可以避免； G_2 -幾乎無法避免。
4. 飛安事件的發生機率—表示在一般情況下，導致該飛安事件發生的機率大小，可區分為三種情況： W_1 -低； W_2 -中； W_3 -高。

將上述四種要素予以樹狀表示，即形成樹狀圖法之飛安風險評估系統，如圖 1 所示，此法又稱飛行操作風險分析系統 (flight operation risk analysis system, FORAS)，這是由航空器座艙管理所發展出來評估機長和組員們於飛行當中，是否遵循既定標準程序來操作航空器的一套飛安查核系統。依據上述飛安風險評估，可將飛安風險程度區分為 A、B、C、D、E 五級，其說明如同風險矩陣法者。雖然 FORAS 分析法當初是針對飛行組員的操作行為進行風險度的衡量，且這兩種圖像式風險估計方法確實較為粗糙^[28]。楊朝均^[29]乃將之修改並運用在機場飛安因素之風險評估上，其結合 FMEA 和可靠度中心維修法 (RCM) 來探討機場空側之風險架構，再利用 TOPSIS 法之排序來改善 RPN 的缺點。

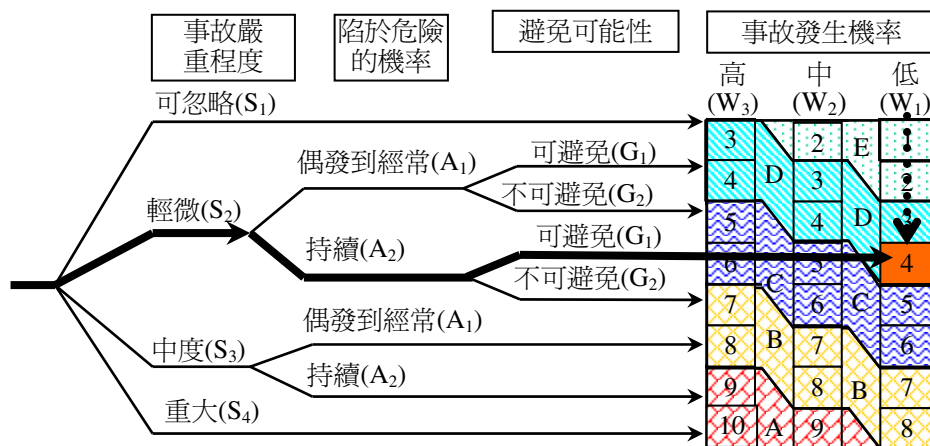


圖 1 樹狀風險評估系統

綜合上述相關飛安風險文獻回顧可知，目前國內航空界用來衡量風險的工具，如 FMEA、FTA、FORAS、樹狀風險圖和風險矩陣圖等，雖然都可發展為量化風險衡量工具，其中 FMEA 是利用 RPN 原理來計算風險值，但它存在相乘效應的問題；而其他則是利用條件機率的概念來求算風險值，但會發生相同風險值卻採取不同風險處理策略的不合理現象；至於風險矩陣圖則無法滿足具有三項衡量因子的風險分析系統。因此，這些工具的量化資訊都不足以或不適合運用在飛安風險評估系統上，也使得風險管理單位無法深入了解每項風險因素的個別風險狀況，如此即無法發揮釜底抽薪的預防功效。蓋所有飛安事故的引發，都是由個別的飛安風險因素所引起，若能隨時掌控這些因素的風險狀況且建立一套防範機制來及時消弭飛安事故，甚至減少飛安事件於日常飛安檢查或查核工作之中，當可達到降低飛安事故的發生率和失事嚴重程度之功效。其實，無論是機場或航空公司對各項設施（包括硬體設備、軟體作業流程等）之安全檢查程序都訂有一套完備的規範與制度，設施安全檢查人員即根據這些規範與制度，以及相關的檢查資料，評斷其安全管理的執行成效，並追蹤相關故障狀況的復原情形。因此，要如何構建量化飛安風險衡量模式，並隨時對各項風險因素加以診斷而發揮其即時監控的功能，俾消弭飛安事件於日常飛安檢查或查核工作之中，乃是一項非常值得探討的課題。

1.3 飛安風險評估模式概念之介紹

國外近幾十年發展的故障型式、效應和嚴重度分析 (FMECA) 技術是由故障型式和效應分析 (FMEA) 所發展而來，雖然 FMEA 方法最早是於 1950 年代應用在航空器主操控系統之故障分析上，到了 1960 年代則加上嚴重度分析 (CA) 而形成 FMECA 方法^[5]，但不管是 FMEA 或 FMECA 大部分都是以產品設計或製程規劃的故障分析為主，到了 1970 年代則廣為汽車產業之零件設計和製程規劃所應用，它主要是藉由確定各項零件的名稱、可能發生故障的型式，以及形成風險值的衡量因子 (measurement factors)，包括故障發生後的嚴重度、故障的發生機率和發生故障後的危害度等，來分析出零件的故障狀態並提出適當的防止或改善措施，以杜絕故障的再度發生而達到零件正常運作的標準，若零件很多就必須依賴風險優先數 (RPN) 來進行故障處理的先後順序，RPN 是由各項衡量因子之衡量值相乘而得。可是再好的產品設計或製程規劃，若沒有良好的維護監控功能加以配合，則在使用階段會因產品、設備或系統的自然損耗、突然故障、受外力衝擊、使用者操作不當或管理疏失等原因，而發生故障或缺失的現象，呈現在飛安上的效應即為各種不同後果程度的飛安事故。

而由於 RPN 的運用主要是決定故障排除的優先順序，其最大缺點即是衡量值之間的相乘作用，這種相乘效應運用在飛安風險衡量上會產生極嚴重的缺失，譬如很高的嚴重度 (0.8) 與很低的發生機率 (0.1) 相乘結果和很低的嚴重度 (0.1) 與很高的發生機率 (0.8) 相乘結果，二者的 RPN 值一樣 (0.08)，即其在風險處理策略上是採取相同的方式。可是在飛安管理上是不允許有這種相乘效應的，因為嚴重度高 (0.8) 的風險因素是應該被列入優先關切和重點管理的一個，豈可與嚴重度很低 (0.1) 的風險因素相提並論呢？為了解決這個問

題，本文提出另一種思維方式來克服傳統使用 RPN 做為風險衡量而會產生相乘效應的缺點。

再者，本文認為構成飛安風險衡量模式的衡量因子，除了故障發生後的嚴重度和故障的發生機率外，尚應包含風險因素本身的重要度、因素發生故障後的危害程度、故障發生的頻率、及因素的故障情形是否會很容易地被檢查出來的故障難檢度等因子。如此才可發揮 FMECA 原理在零件、設備和系統實際使用階段的診斷功能，而有別於產品設計和規劃階段的使用。

最後，風險分析工具之一的 ALARP (as low as reasonably practicable) 風險原理^[30-33]是源自於英國之安全案例概念所發展出來的，應用時需先求得風險水準，再將風險水準依管理上的需要分割成數個區域 (regions)，每個區域都設定其對應的範圍，風險管理者即根據實際的風險水準所落入的區域來決定要採取哪項風險處理策略，如圖 2 所示，以分割成三個區域 (可依不同的需要分成數個) 者為例，自下而上分別為明顯可接受區域 (broadly acceptable region, BA-region)、低至合理行得通區域 (as low as reasonably practicable region, ALARP-region) 和無法容忍區域 (intolerable region, INT-region)，其間的分界線即為下上界風險水準門檻 (threshold)，圖中的風險狀態線 (risk status line, RS-line) 即代表實際的風險水準狀態，而各區域的意義說明如下：

1. 明顯可接受區域 (BA-region)：指 RS-line 落入此區域時，風險管理者只要確保該項風險因素的風險水準能維持在此區域內即可，而不需要刻意去採取降低風險的動作。亦即該項風險因素目前的風險狀況是處於不具危險的狀態。
2. 低至合理行得通區域 (ALARP-region)：指 RS-line 落入此區域時，風險管理者應針對此區域之風險因素採取嚴加監控，隨時掌握其風險水準的變化情形，並儘量在符合成本效益評估下，設法降低該實際風險水準之值，使其朝向 BA-region 方向接近。
3. 無法容忍區域 (INT-region)：指 RS-line 落入此區域時，風險管理者必需不計成本代價，馬上採取必要的排除或降低風險的動作，或者斷然採取停飛或停止營運的手段，待修正過的風險水準回到 ALARP-region 或 BA-region 後才允許其恢復營運。

實務上，風險管理單位對於大部分的風險因素處理態度，都是基於飛安第一的理由，幾乎會不計成本地採取必要的防止或降低風險之措施，尤其是當 RS-line 越接近 INT-region 或 ALARP-region 的上半部時，這種做法越強烈。

由於上述 ALARP 風險圖 (又稱倒三角風險圖) 是由英國健康安全部 (HSE) 於 1990 年代所發展出來評估人身安全的風險分析工具，圖中之縱座標即代表風險水準指標，而橫座標並未賦予任何意義，倒三角上方開口之寬度越往上越寬，它只是象徵著風險水準的越高而已。因此，本文提出另一風險分析圖 (讀者可先參閱圖 7)，將分別賦予縱座標為「風險水準指標」和橫座標為「風險梯度指標」之意義，來呈現衡量因子之多樣性及其屬性的不同。亦即本文除參考 FMECA 方法中衡量因子的特性外，並結合 ALARP 風險原理概念，以及配合類似前述之 LOSA 資料，來進行飛安風險衡量模式之構建和風險分析之操作。

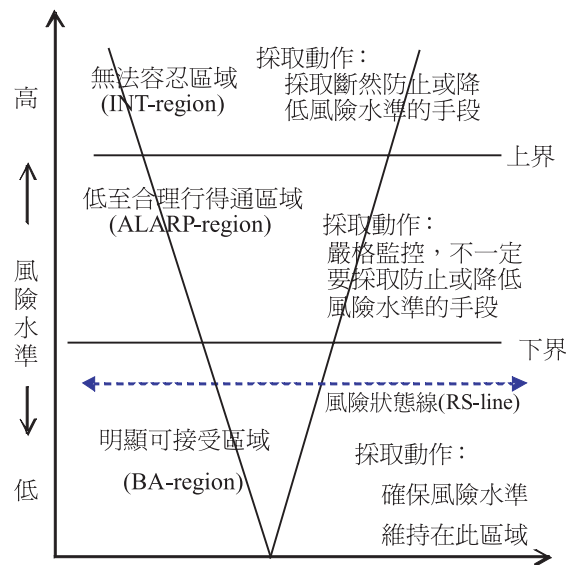


圖 2 ALARP 風險圖 (或稱倒三角風險圖)

二、飛安風險衡量模式之構建

本節首先對飛安風險因素、飛安風險和飛安風險評估等主題作一定義，其次再界定各項風險衡量因子與各項指標的意義，以利後續模式之構建與說明。

2.1 相關名詞之定義和符號說明

1. 飛安風險因素 (flight-safety risk factors, 簡稱風險因素)：是指構成安全管理作業上直接威脅或間接影響的飛安因素之集合，包括顯性因素（如機械設備的故障、儀表操作的失靈等可直接明確地判斷出故障之發生原因者）和隱性因素（如機組員資源訓練成效的好壞、組織文化因素等無法直接判斷其缺失或肇因者），它是包羅萬千從人為、組織、機械、環境，甚至其他無法明顯歸類的因素都屬之，將這些顯性和隱性安全因素當成是防範飛安事件或事故發生的控制因素，且在日常飛安檢查或查核工作上，隨時去診斷它的故障或缺失狀況，並及早防範它造成更嚴重的情勢發生時就稱之為風險因素。因此，本文所提出之飛安風險因素一詞與飛安因素一詞是具有相同涵義的，只是風險一詞的使用在於強調將它們視為預防性質的工作項目來看待。
2. 飛安風險 (flight-safety risks)：由於上述影響飛安作業的各項風險因素，隨時都有可能發生故障或缺失的情況（即機率和故障嚴重度），而這些情況將構成人員傷亡或設備毀損的威脅（即故障後果危害度），此即謂飛安風險。其後果損失程度視各項飛安風險因素的影響而異，且假設這後果是屬可預估性的。

3. 飛安風險評估 (risk assessment)：即利用量化風險分析的方法來推導風險水準指標，並且界定可容忍和不可容忍之界限門檻 (threshold) 作為風險分析之依據的過程謂之。它包括風險衡量 (risk measurement) 和風險分析 (risk analysis) 二個部分，風險衡量是推導風險水準值和決定風險門檻的過程，而風險分析則是說明可容忍與不可容忍風險的處理原則者。
4. 故障或缺失 (failure)：是指飛安風險因素之發生不良反應或缺失的狀況。本文將顯性安全因素的不良反應現象及隱性安全因素的缺失情形均稱之為故障，風險因素的故障狀況可從例行性飛安檢查或查核工作中去發覺，而且可因而了解它的故障嚴重程度。
5. 故障型式 (failure mode)：指能具體地描述出故障或缺失發生的狀態者。如機身結構的裂痕、發動機試車台的操作失靈、起落架的無法正常升降或輪胎的磨損等，這些裂痕、操作失靈、無法正常升降和磨損等狀態，即稱為故障型式。
6. 飛安風險衡量因子 (risk measurement factors, 簡稱衡量因子)：指用來衡量飛安風險的準則因子，它們是構建模式的基礎因子，分兩類：一為內生 (endogenous) 衡量因子，包括因素重要度、故障後果危害度、故障難檢度、飛安事故發生機率等，並假設此類因子的衡量值在某期間內並不會任意變動，例如某項風險因素的重要度一經確定，則其在某期間內維持不變，並不隨風險管理者之意願或系統操作而任意調整（但允許其經過一段期間後進行檢討而調整之）。二為外生 (exogenous) 衡量因子，包括故障嚴重度和故障發生頻率，此類因子的衡量值會隨著該項風險因素被檢查後的結果之不同而隨時在變動，例如某項風險因素之前後兩次檢查結果，其故障嚴重情形可能不一樣，這也就會影響到故障發生頻率的變動。
7. 風險梯度 (risk gradient, RG) 指標：由內生衡量因子之衡量值所組合而成，它是推導風險水準指標的基礎。 RG 指標的高低可用來說明飛安風險因素在風險分析上的關鍵性， RG 越高表示其各項內生衡量因子之衡量值相對地比較高，故該風險因素就比 RG 低者較具有關鍵性。將所有風險因素 RG 指標值的大小依序排列則如同階梯般的高低而取名之。
8. 風險強度 (risk magnitude, RM) 指標：由外生衡量因子之衡量值所組合而成，它也是推導風險水準指標的主要來源。
9. 風險水準 (level of risks, LoR) 指標：是由風險強度指標整合風險梯度指標後所形成，用來描述飛安風險因素之風險狀態者。若 LoR 值越高，則表示該項風險因素越呈現危險狀態；反之，則越呈現安全狀態。
10. 因素重要度 (importance, I_m)：是指飛安風險因素在安全管理作業上所呈現的價值分量比重或所能發揮的貢獻程度，如機身結構因素對飛安管理上的貢獻比重謂之。若其貢獻程度很高，就表示該風險因素的 I_m 很高，其相對的風險處理態度就應較為嚴謹；反之則表示該風險因素的 I_m 較低，其相對之風險處理態度就較為寬鬆。
11. 故障後果危害度 (severity, S_m)：指飛安風險因素於發生故障後，其可能造成後果危害

的威脅程度。 S_m 的大小可大至人員的死亡和重大設備的損失，小至輕微的受傷或財物的毀損等。若某項風險因素於故障發生後造成傷亡或損失的程度很大，則表示該風險因素的 S_m 很高；反之則其 S_m 就很低。對 S_m 較高者，其相對的風險處理態度就較為嚴謹。

12. 故障難檢度 (detection, D_m): 指飛安檢查或查核人員是否能夠很容易地或很困難地去檢查出某項風險因素將發生故障的現象，包括檢查出其發生故障的原因、型式和嚴重度等稱之，亦即風險因素其可被檢驗出故障狀況的難易程度。若某項風險因素很容易地就被檢查出其故障狀況，則稱該項風險因素的 D_m 較低；否則其 D_m 就較高。 D_m 越高表示其潛在危機較大，其風險處理態度就相對地要較為嚴謹些。
13. 飛安事故發生機率 (probability, P): 這是指全球性飛安事故的發生機率，是用來評估某一期間 (如一年) 內全球發生空難事故的或然率。
14. 故障嚴重度 (criticality, C_m): 指在進行飛安檢查或查核工作時，對每項風險因素之故障情況給予不同嚴重程度的區別和記載，俾便於針對不同的嚴重狀態而採取不同的處理措施者謂之。一般可將故障嚴重度分為數個等級 (如五級)，其中最高級即代表 C_m 為最高者；反之，則代表 C_m 為最低者。例如可將輪胎「破裂」情況歸屬於最高級的故障嚴重度，而將輪胎「輕微磨損」情況歸屬於最低級的故障嚴重度。 C_m 越高表示越應該密切監控此項風險因素。
15. 故障發生頻率 (frequency; F_m): 指在每單位度量 (如百萬飛行距離、使用時間、百萬飛行小時或監控期間等) 內某項飛安風險因素發生故障次數的統計資料，它可按照不同的 C_m 予以分別計算之。 F_m 越高表示該項風險因素越需要嚴加監控。

2.2 研究流程、範圍與方法

本文研究流程如圖 3 所示，主要包含三個部分：(1) 首先為飛安風險因素的確定，過去已有不少文獻試圖從諸多飛安失事的案件中，整理出各種影響飛安事故的因素，然各家學者的歸類極為雜亂，至今尚無統一的分類標準，更何況影響飛安的風險因素何其之多，有如牛毛一般。為此本文主要參考國際空運協會 (IATA) 之 HOMEI 分類標準^[12]中的機械類作為實例探討的範圍，並透過兩階段的專家問卷調查，第一階段先篩選出適用的飛安機械風險因素 (本文均以風險因素稱之)。(2) 針對上述所篩選出來的風險因素進行各項內生風險衡量因子 (包括 I_m , S_m 和 D_m) 衡量認知之專家問卷調查，問卷回收整理後再利用統計技術求出各項內生風險衡量因子的平均衡量值 ($\bar{X}$) 和標準差 (S)，且加上事故機率因子 (P) 而進行下上界風險梯度 (RG) 指標門檻的構建。接著利用外生風險衡量因子之衡量值 (包括 C_m 和 F_m) 而計算出風險強度 (RM) 指標。最後將 RM 指標結合 RG 指標而推導出下上界風險水準 (LoR) 指標門檻，即構建出風險衡量模式。(3) 繪製各項風險因素之風險分析圖 (RAD) 以進行風險分析與操作說明，最後作一實例之探討。

2.3 飛安風險衡量模式之構建

本文之飛安風險衡量模式主要是由兩種風險指標所組成：風險梯度 (RG) 指標和風險強度 (RM) 指標。其中 RG 指標乃由內生風險衡量因子的衡量值利用座標組合法所組合而成，而 RM 指標則由外生風險衡量因子的衡量值所組合而成，最後再將 RM 指標和 RG 指標整合起來形成風險水準 (LoR) 指標，其整合概念如圖 4 所示。因此底下先就座標組合法說明之。

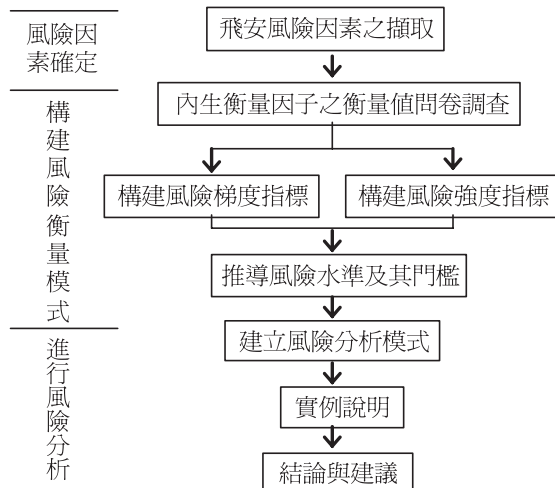


圖 3 本文風險評估流程圖

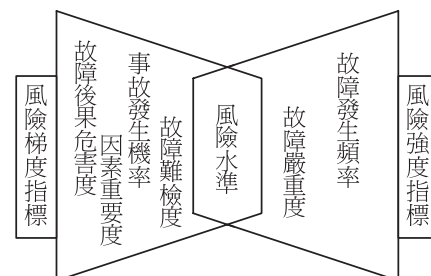


圖 4 風險水準指標組合概念圖

2.3.1 風險梯度 (RG) 指標之構建

座標組合法 (coordinate combination method) 之組合概念如圖 4 所示。其中 RG 指標是由 I_m 、 S_m 、 D_m 和 P 等四項內生風險衡量因子的個別衡量值，先依座標組合方法形成風險梯度空間 (risk gradient space) 圖，如同圖 5 所示 (註：風險梯度空間圖應為四維空間者)，再根據歐基里德距離 (Euclidean distance) 公式而計算出 RG 值。詳細求算過程如下：

首先計算各項內生風險衡量因子之平均衡量值 $\bar{X}_m$ 和標準差 S_m^X ，平均值 $\bar{X}_m$ 代表領域專家們對該項風險衡量因子專業認知的集中趨勢，而標準差 S_m^X 就代表領域專家們對該項風險衡量因子衡量值的離散情形。接著利用式 (1)、式 (2) 求出各項風險因素之每項風險衡量因子之下上界門檻 (X_m^L, X_m^U)，例如若因素重要度的平均衡量值為 $\bar{I}_m$ 和標準差為 S_m^I ，則 $(\bar{I}_m - kS_m^I, \bar{I}_m + kS_m^I)$ 即為第 m 項風險因素重要度之下上界衡量門檻。

$$\text{第 } X \text{ 項風險衡量因子之下界衡量門檻 } X_m^L = (\bar{X}_m - k \times S_m^X) \quad (1)$$

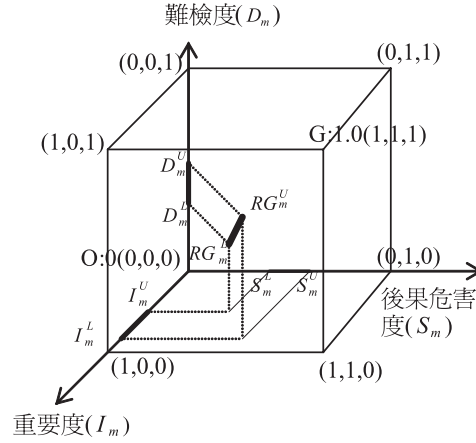


圖 5 三維風險梯度空間示意圖範例

$$\text{第 } X \text{ 項風險衡量因子之上界衡量門檻 } X_m^U = (\bar{X}_m + k \times S_m^X) \quad (2)$$

其中， k 為風險分析之控制幅度參數。 X 代表內生風險衡量因子（ I_m 或 S_m 或 D_m ）之變數； m 為第 m 項風險因素。接著，利用圖 5 之座標組合法將所有內生風險衡量因子的衡量值組合成 n 維風險空間圖（ n = 風險衡量因子個數），圖中的每一點即代表個別風險因素的風險梯度指標值，其距離原點（指風險梯度為 0.0 之點）或最小風險衡量點越遠就表示其風險梯度指標值越大，圖中 G 點（標準化過後）即為風險梯度指標最大的一點，它表示是最具風險狀態的一點，或稱越接近 G 點，其越具關鍵性。所以將所有內生風險衡量因子下界門檻組合（combine）起來，即為該 m 項風險因素之下界風險梯度指標的座標 $RG_m^L(I_m^L, S_m^L, D_m^L, P)$ ；同樣地，將所有上界門檻組合起來，即為上界風險梯度指標的座標 $RG_m^U(I_m^U, S_m^U, D_m^U, P)$ 。最後，再利用歐基里德距離公式如式 (3)、式 (4) 之通式，即可計算出各組合座標（ $[I_m^L, S_m^L, D_m^L, P]$ ， $[I_m^U, S_m^U, D_m^U, P]$ ）與原點座標或最小衡量點座標的風險梯度指標下上界門檻（ RG_m^L, RG_m^U ），二式中分母部分則為標準化式子。

$$RG_m^L = \frac{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_m^L - x_m^{\min})^2 + P^2}}{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_m^{\max} - x_m^{\min})^2 + 1}}, \quad \forall m \quad (3)$$

$$RG_m^U = \frac{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_m^U - x_m^{\min})^2 + P^2}}{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_m^{\max} - x_m^{\min})^2 + 1}}, \quad \forall m \quad (4)$$

其中， x 為內生風險衡量因子（ I_m 、 S_m 、 D_m ）； P 為全球性之飛安事故發生機率，其

值介於 0.0 ~ 1.0 之間； m 為第 m 項風險因素； $x_m^{\max}$ 、 $x_m^{\min}$ 分別為對第 x 項風險衡量因子的最大衡量值和最小衡量值，而最小衡量值座標可為原點或其他組合如 (0.2, 0.1, ...)，它可解釋為對內生風險衡量因子之衡量值設定其最低標準，亦即表示風險衡量因子衡量值在低於 0.2 或 0.1 之情形可視為幾乎不會或不予考慮之範圍，一般都將最小衡量值座標取為原點。而 RG 指標區間越高 (即距離原點越遠)，表示該項風險因素的關鍵性越高，呈現在風險分析與控制上的意義，即表示風險管理者越需要付出更多的關心 (如花費更多的注意力、成本或時間等資源) 於這種具有較高 RG 指標的風險因素之上；反之，則表示該項風險因素的關鍵性較低，即表示風險管理者就相對地較不需要耗費較多的關心於此類風險因素之上了。茲舉一範例說明之：

〔範例一〕 若具有三項內生風險衡量因子 (包括 I_m 、 S_m 和 D_m)，則其風險空間就像圖 5 之三維示意圖的樣子。今假設某 m 項風險因素重要度衡量值的區間為 $(I_m^L, I_m^U) = (0.40, 0.55)$ 、故障後果危害度衡量值的區間為 $(S_m^L, S_m^U) = (0.45, 0.75)$ ，故障難檢度衡量值的區間為 $(D_m^L, D_m^U) = (0.61, 0.78)$ ，且事故發生機率 = 0.06，則其風險梯度指標的座標組合 (應為四度空間) 為 $([I_m^L, S_m^L, D_m^L, P], [I_m^U, S_m^U, D_m^U, P]) = ([0.40, 0.45, 0.61, 0.06], [0.55, 0.75, 0.78, 0.06])$ ，取最小衡量值座標為原點 $([0.0, 0.0, 0.0, 0.0], [0.0, 0.0, 0.0, 0.0])$ ，則該項風險因素的風險梯度指標之下上界門檻為 $(RG_m^L, RG_m^U) = (0.429593, 0.607659)$ 。

2.3.2 風險強度 (RM) 指標之構建

風險強度 (RM) 指標的產生主要是由外生風險衡量因子的衡量值依座標組合法所組合而成。實際上 RM 指標必須經由飛安檢查或查核結果後，經發現其故障的嚴重情形和故障發生頻率來決定。因每次飛安檢查後之故障嚴重度 (C_m) 的衡量結果不一樣，其影響故障發生之頻率也會變動，故 RM 指標的大小是隨時在變動的，我們可以把某一期間內的故障嚴重度衡量值平均起來和相對應的故障發生頻率，當作是風險分析與監控的基準 (basis)，亦即每次的飛安檢查結果都與歷史資料相互比較，若超過某設定的門檻值即採取相對應的風險處理措施，如此作法之用意，一方面讓風險管理者有衡量指標可為遵循，另一方面又可達到及早發覺飛安故障或缺失因素的功能。

至於各項風險因素之故障嚴重度的獲得，本文設計如附表 1「飛安機械風險因素之維護檢查表一範例」，實務作業上可將故障嚴重度分為不同等級 (如五等級)，每個等級可採語意方式由檢查或查核人員衡量其檢查結果：例如故障嚴重度達到「非常嚴重」的情況，則評定其為第五級、達到「很嚴重」的情況則評定為第四級、達到「普通嚴重」的情況則評定為第三級、達到「稍微嚴重」的情況則評定為第二級、達到「毫不嚴重」的情況則評定為第一級等。而在風險分析上可視決策者之需要將此不同的等級分別歸屬於風險分析圖中各個不同的區域，如第五級和第四級歸屬於最上層的 INT-region，第三級和第二級歸屬於中層的 ALARP-region，第一級歸屬於最下層的 BA-region 等。或者也可以採取直接衡量 (即直接評點) 的方式來獲得其檢查結果。上述兩種獲得故障嚴重度的方式均屬可行，但應

該在開始應用之初即敲定且不輕易變動方式即可，接著再將此故障嚴重度之衡量結果（評點）與其對應的故障頻率進行座標的組合。

因此， RM 指標之構建也是將各項外生風險衡量因子的衡量值依座標組合法先行組合後，再利用式 (5) 計算出其與原點座標或最小衡量值座標的歐基里德距離，即為 RM 指標之值，其座標組合之示意圖如圖 6 (標準化後)。

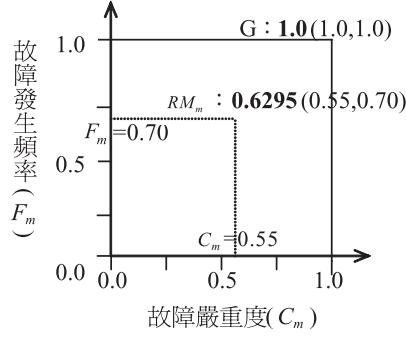


圖 6 二維風險強度空間示意圖

$$RM_m = \frac{\sqrt{\sum_{y=1}^Y (y_m - y_m^{\min})^2}}{\sqrt{\sum_{y=1}^Y (y_m^{\max} - y_m^{\min})^2}}, \quad \forall m \quad (5)$$

式中， y 為外生風險衡量因子（ C_m 或 F_m ）； m 為第 m 項風險因素； $y_m^{\max}$ 、 $y_m^{\min}$ 分別表示第 y 項外生風險衡量因子的最大和最小衡量值，式中分母部分則為標準化式子。再舉一例說明：

〔範例二〕假設故障嚴重度 $C_m = 0.55$ 和故障發生頻率 $F_m = 0.70$ ，則其風險強度組合座標為 $RM_m(0.55, 0.70)$ ，又設其故障嚴重度最大衡量值 $C_m^{\max} = 1.00$ 、故障嚴重度最小衡量值 $C_m^{\min} = 0.00$ 、最大故障發生頻率 $F_m^{\max} = 1.00$ 和最小故障發生頻率 $F_m^{\min} = 0.00$ ，則將上述之值代入式 (5)，可得 $RM_m = 0.6295$ 。

接著為求出下上界風險水準指標門檻及製作風險分析圖，根據上節所求出之下上界 RG 門檻和 RM 指標值分別代入式 (6)、式 (7) 二式（參閱附錄證明）中即可獲得。

$$LoR_m^L = 2 \times \left(\frac{RM_m \times RG_m^L}{RG_m^L + RG_m^U} \right), \quad \forall m \quad (6)$$

$$LoR_m^U = 2 \times \left(\frac{RM_m \times RG_m^U}{RG_m^L + RG_m^U} \right), \quad \forall m \quad (7)$$

其中， RG_m^L 、 RG_m^U 分別為下上界風險梯度門檻； LoR_m^L 、 LoR_m^U 分別為下上界風險水準門檻； RM_m 為某期間內之風險強度大小或每次檢查過後之風險強度大小。

〔範例三〕承前二範例，已知 $RG_m^L = 0.429593$ 、 $RG_m^U = 0.607659$ ，及 $RM_m = 0.6295$ ，則將此三值代入式 (6)、式 (7) 中，即可得下界風險水準門檻 $LoR_m^L = 0.521433$ 及上界風險水準門檻 $LoR_m^U = 0.737567$ 。此外，假設第二次檢查之結果：故障嚴重度經轉換 C_m 值 = 0.75，且故障發生頻率 $F_m = 2$ 次 / 365 天 = 0.0055，則 $RM_m(0.75, 0.0055) = 0.5303$ ，且沿用本例之 RG_m^U 和 RG_m^L 值，故得 $LoR_m^U = 0.621389$ 、 $LoR_m^L = 0.439299$ ，亦即 RS-line = $LoR_m^U = 0.621389$ ，此值未超過上界風險水準門檻 $LoR_m^U = 0.737567$ ，但高於下界風險水準門檻 $LoR_m^L = 0.521433$ ，所以 RS-line 是落入 ALARP-region。

在風險分析圖中，若風險梯度指標的區間 (RG_m^L, RG_m^U) 位置越靠近橫座標軸的右邊 (即越接近 1.0)，則其對應之風險水準指標區間 (LoR_m^L, LoR_m^U) 範圍就會變得越狹窄，亦即上界風險水準指標之門檻 LoR_m^U 會顯得較低，那麼往後的飛安檢查工作就要格外注意此項風險因素的風險監控工作了 (讀者可先行對照圖 7 與圖 8)。

2.3.3 風險分析圖的繪製

將內生與外生風險衡量因子予以區隔，而分別賦予風險分析圖 (risk analysis diagram, RAD) (參閱附錄) 中橫座標為風險梯度 (RG) 指標，以及縱座標為風險水準 (LoR) 指標的意義，因這二個指標是具有密切關係的，而 RAD 圖的繪製有利於風險監控工作的進行。

利用範例三所獲得的下上界風險水準門檻 (LoR_m^L, LoR_m^U) = (0.521433, 0.737567)，以及下上界風險梯度門檻 (RG_m^L, RG_m^U) = (0.429593, 0.607659)，即可繪製出飛安 RAD 圖並藉此來診斷或核對每次飛安檢查衡量的結果，而且 RAD 圖可方便於風險管理者的視覺分析與管理。亦即再次檢查的結果若得其 LoR_m^L 是低於 0.521433 的話，就表示該項風險因素是處在 BA-region 的狀態，風險管理者並不需要採取任何風險處理措施，類似圖 2 中的 RS-line 落入 BA-region。而若其檢查結果之 LoR_m^U 是高於 0.737567 的話，就表示該項風險因素是處在 INT-region 的狀態，此時 RS-line 便落入此區域中，而風險管理者就應該果斷地採取所有可以防止或降低此高風險狀態的任何風險處理措施。但若檢查後之結果是介於此二值之間的話，則表示該項風險因素是處在中間 ALARP-region 的狀態，這時候風險管理者只需嚴格監控此區間的風險狀態 (如增加監控的次數或縮短監控的期間等)，當然不一定要馬上採取任何降低風險的處理措施，可是若其檢查衡量值太接近上界門檻 0.737567 的話，則就越需要採取緊迫釘人的態度，以免其隨時會越過 LoR_m^U 值而增加潛在危機的威脅。茲將上述飛安風險衡量模式之構建與飛安 RAD 圖的繪製方法舉一實例說明之。

三、實例說明

由於飛安作業常受許多人為、天候、組織和機械等自然隨機性因素之影響而產生許多

不確定性，因此飛安管理作業往往因各種不確定性而容易發生異常狀況，但為使異常狀況不致超過設定的安全界限，而利用飛安風險因素發生故障時所能承受的風險水準之概念，來加以診斷該異常狀況之可接受程度，作為飛安風險衡量與分析的依據，為此，飛安風險評估的程序乃依圖 3 之步驟進行。

3.1 飛安風險因素之擷取

由於影響飛安的風險因素非常之多，各文獻的歸類不盡相同，本文乃根據國際空運協會 (IATA) 的 HOMEI (human、organization、machine、environment and insufficiency) 分類中的機械 (machine) 因素，以及參考交通部民航局所制定「機場風險管理參考手冊」之項目、「機場自我督察風險檢查制度」之內容及「適航檢查手冊 V3.0」等^[19,27,34]，初步篩選出影響飛安之機械風險因素，如表 1 之項目欄。第一階段共發出 47 份問卷 (格式如附表 2)，發放對象為國內航空公司飛安主管人員、學術與研究單位、民航局主管和業務人員與飛安委員會人員等，有效回收率為 80.9%，接著將問卷調查結果量化處理：設填選「有影響」者為 3 分，「無意見」者為 2 分，「沒有影響」者為 1 分，經統計分析其平均值、標準差和信賴區間如表 1 所示，本文取影響門檻為大於 2.50 分者 (介於有影響者與無意見者之中間值) 表示該項風險因素具有影響性而保留之，依此原則第 7、9 兩項風險因素的信賴區間下限有包含比 2.50 還小者 (主因其平均值非常接近 2.50 且標準差較大所致)，故予以刪除之。其次，再考量領域專家們的其他建議如需要新增或修改的事項，基本上以作最少變動為原則下，經整理後共篩選出十四項飛安機械風險因素如表 2 中所示。

表 1 確定飛安機械風險因素之調查結果統計表

項 目	平均值	標準差	信賴區間*
1.發動機重大故障，引擎葉片破裂導致失火	2.87	0.47	2.76 ~ 2.98
2.引擎損壞，不能工作，失火警告	2.87	0.47	2.76 ~ 2.98
3.起落架和輪胎問題	2.89	0.39	2.80 ~ 2.98
4.儀航控制問題	2.84	0.49	2.72 ~ 2.96
5.飛機結構問題	2.87	0.41	2.77 ~ 2.97
6.失火，煙霧 (駕駛艙、客艙、貨艙)	2.63	0.59	2.50 ~ 2.77
7.公司維修服務問題 (包括人為錯誤)	2.53	0.76	2.35 ~ 2.71
8.航電問題	2.87	0.41	2.77 ~ 2.97
9.設計製造問題	2.53	0.80	2.34 ~ 2.72
10.系統損壞	2.97	0.16	2.93 ~ 3.00
11.自動飛行問題	2.92	0.27	2.85 ~ 2.99
12.近地警告系統之設置	2.76	0.54	2.63 ~ 2.89
13.進場輔助系統之堪用性	2.76	0.63	2.61 ~ 2.91
14.完備之預警措施	2.66	0.67	2.50 ~ 2.82

*：顯著水準 $\alpha = 0.1$ 。

表 2 飛安機械風險因素各項內生風險衡量因子之衡量值和風險梯度彙整表

飛安機械風險因素 (m)	內 生 風 險 衡 量 因 子							風險梯度(RG_m), $k = 1$		
	因素重要度 (I_m)		故障後果危害度 (S_m)		故障難檢度 (D_m)		事故 機率 (P)	下界 門檻	上界 門檻	區間 大小
	衡量值	標準差	衡量值	標準差	衡量值	標準差				
F ₁ 機身構造	0.80	0.14	0.83	0.12	0.64	0.23	0.0198	0.5282	0.7944	0.2663
F ₂ 發動機	0.81	0.12	0.79	0.14	0.55	0.19	0.0198	0.5075	0.7572	0.2497
F ₃ 起落架和輪胎	0.74	0.15	0.71	0.17	0.47	0.20	0.0198	0.4254	0.7110	0.2857
F ₄ 飛航控制系統	0.81	0.12	0.79	0.14	0.52	0.18	0.0198	0.5021	0.7435	0.2413
F ₅ 導航系統	0.72	0.16	0.69	0.17	0.48	0.19	0.0198	0.4083	0.7017	0.2933
F ₆ 液壓系統	0.72	0.15	0.70	0.16	0.45	0.19	0.0198	0.4122	0.6936	0.2813
F ₇ 燃油系統	0.74	0.17	0.74	0.15	0.46	0.20	0.0198	0.4268	0.7190	0.2922
F ₈ 自動駕駛系統	0.63	0.20	0.62	0.20	0.48	0.19	0.0198	0.3350	0.6744	0.3394
F ₉ 防冰、除冰／雨系統	0.75	0.14	0.78	0.13	0.48	0.15	0.0198	0.4724	0.7111	0.2387
F ₁₀ 失火／煙霧警告系統	0.84	0.10	0.83	0.13	0.49	0.22	0.0198	0.5290	0.7602	0.2312
F ₁₁ 艙壓、潤滑和電氣系統	0.70	0.16	0.71	0.15	0.49	0.16	0.0198	0.4227	0.6871	0.2644
F ₁₂ 近地警告系統	0.74	0.14	0.77	0.15	0.43	0.20	0.0198	0.4474	0.7130	0.2655
F ₁₃ 進場輔助系統	0.70	0.15	0.69	0.17	0.45	0.18	0.0198	0.4004	0.6826	0.2822
F ₁₄ 預警措施(TCAS、ASDE)	0.73	0.14	0.73	0.16	0.44	0.19	0.0198	0.4320	0.6999	0.2680

3.2 內生風險衡量因子衡量值之獲得

由於上述飛安機械風險因素之風險衡量因子衡量值的獲得，不若產品零件的衡量值有制式之明確標準可循，故本文乃透過領域專家的專業共識來獲取各項風險衡量因子的衡量值，亦即進行各項內生風險衡量因子（除飛安事故機率因子外）衡量值的認知問卷調查，以便獲得 I_m 、 S_m 和 D_m 等三項因子之衡量值（問卷調查格式如附表 3）。共發放 55 份問卷，其中航空公司飛安主管人員 19 份、學術與研究單位 12 份、民航局主管和業務人員與飛安委員會人員 24 份，回收 47 份，當中 2 份因填答者遺漏值過多，故有效回收 45 份，有效回收率為 81.8%，其調查結果彙整如表 2 所示（各衡量值範圍化為 0.00 ~ 1.00 之間）。

由表 2（取 $k = 1$ ）可看出 I_m 之衡量值在 0.63 ~ 0.84 之間， S_m 之衡量值在 0.62 ~ 0.83 之間，顯示因素重要度和故障後果危害度都超過 0.5 水準；而 D_m 之衡量值則在 0.43 ~ 0.64 之間，顯示飛安檢查人員要發現這些風險因素的故障狀況，並不是一件很困難的工作，其實各項風險衡量因子衡量值之高低僅是代表各項風險因素之內生風險衡量因子的特性而已。至於飛安事故的發生機率計算方面：Janic^[35]以迴歸分析法蒐集 1965 ~ 1998 年全球航空失事 (air accidents) 的案件數目而推導出相隔兩失事案件之時間間隔 (time intervals)

分配情形，進而推導出以時間（天）為觀察變項的航空事故機率分配模式，如式 (8)，它是全球性事故機率（probability of global air accidents）的概念。

$$P(T \leq t) = 1 - e^{-0.020 \times t}, \quad t \geq 0 \quad (8)$$

其中 t ：時間（以天計）。亦即隔天（ $t = 1$ ）可能發生飛安事故的機率 $P = 0.0198$ ，隔月（ $t = 30$ ）可能發生飛安事故的機率 $P = 0.4512$ ，隔六個月（ $t = 180$ ）可能發生飛安事故的機率 $P = 0.9727$ ，隔年（ $t = 365$ ）可能發生飛安事故的機率 $P = 0.9993$ 。而本文假設國內是每天都實施飛安檢查工作的，故取 $t = 1$ 得 $P = 0.0198$ 。

接著計算各項風險因素之下上界風險梯度（ RG_m ）門檻，將此 14 項風險因素之上界風險梯度門檻由高而低排序為： $F_1 \succ F_{10} \succ F_2 \succ F_4 \succ F_7 \succ F_{12} \succ F_9 \succ F_3 \succ F_5 \succ F_{14} \succ F_6 \succ F_{11} \succ F_{13} \succ F_8$ ，顯示「 F_1 機身構造」風險因素的 RG_m^U 是最高者，此表示該項風險因素可被視為最具關鍵性者，即風險管理者勢必要對其投入較多的關心才行，因其因素重要度、故障後果危害度和故障難檢度都相對地比其他風險因素來得高；但「 F_8 自動駕駛系統」風險因素卻可被視為最不具關鍵性者，此代表風險管理者對其投入的關心可為少許些，究其原因，推斷當自動駕駛系統發生故障時，有手動系統可資代替之故。但這並不是必然的區分關鍵性的方法。其次，由區間大小可知，「 F_{10} 失火／煙霧警告系統」風險因素之區間大小為最小者，此意謂著該項風險因素於未來之檢查結果要落入 ALARP-region 的機會相較其他風險因素來得低，亦即其落入 INT-region 或 BA-region 的機會就相對地比較高些，它提醒著風險管理者要多加注意此類風險因素之檢查結果極易落入 INT-region 的狀況。

3.3 外生風險衡量因子衡量值之獲得

除了推導出風險梯度（ RG_m ）指標外，必須配合風險強度（ RM_m ）指標的診斷，才能達到風險分析與監控的目標。但因各國航空公司和民航主管機關對於飛安檢查或查核的資料均視為機密文件，且處理日常飛安工作的紀錄，大部分都採取傳統文字式、非衡量評點式的記載和管制做法，故尚未有採取量化衡量方式來記錄檢查和查核結果資料庫者，為此適合本文架構之飛安工作查核資料之故障嚴重度和故障發生頻率資料並無從蒐集，是故本文乃以假設資料予以說明。

首先我們假設各項風險因素之故障嚴重度（ C_m ）之平均衡量值為 0.50（實際上故障嚴重度衡量值的平均值是需要經過一段期間的實施後方可統計出來），而在故障發生頻率因子衡量值擷取方面，因假設每天安檢一次而發現一件故障或缺失，故取 $F_m = 1$ 次／365 天 = 0.00274。接著仍先進行座標組合後，依式 (5) 可得各項風險因素之 $RM_m = 0.353559$ ，再代入式 (6)、式 (7) 即可得下上界風險水準指標，如表 3。

由表中可知，雖然各項風險因素故障嚴重度均假設為 0.50，但所得到之下上界風險水準門檻和區間大小卻有所差異，這就是結合風險梯度指標後所呈現出來的效果，而這種效果正可反應：在不同大小程度之風險梯度下，雖然其風險強度相同，但其風險水準卻可能

不一樣，如此對不同風險因素之風險分析與監控的意義才能呈現出來。由表 3 之上界風險水準門檻可看出，其高低順序為： $F_8 > F_5 > F_{13} > F_7 > F_6 > F_3 > F_{11} > F_{14} > F_{12} > F_9 > F_1 > F_2 > F_4 > F_{10}$ ，這種順位排序會因實際故障嚴重度和故障頻率之不同而變動，但這就是用來進行風險分析與監控的最後工具，例如上界風險水準門檻越低（如 F_{10} ），表示此類風險因素越需要相對地更加注意其風險水準變化的情況，這種結果也可由區間大小之值來得到驗證，如 F_{10} 之風險水準區間大小（0.126805）為最小，故其上界風險水準門檻也就呈現最低者。

表 3 飛安機械風險因素外生風險衡量因子之衡量值、風險強度與風險水準指標

飛安機械風險因素(m)	外生風險衡量因子		風險強度(RM)	風險水準 (LoR), $k = 1$		
	故障嚴重度(C_m) 衡量值*	故障發生頻率(F_m)		下界門檻	上界門檻	區間大小
F_1	0.50	0.00274	0.353559	0.282375	0.424742	0.142367
F_2	0.50	0.00274	0.353559	0.283752	0.423366	0.139614
F_3	0.50	0.00274	0.353559	0.264678	0.442439	0.177761
F_4	0.50	0.00274	0.353559	0.285056	0.422061	0.137005
F_5	0.50	0.00274	0.353559	0.260129	0.446988	0.186860
F_6	0.50	0.00274	0.353559	0.263603	0.443514	0.179912
F_7	0.50	0.00274	0.353559	0.263408	0.443709	0.180301
F_8	0.50	0.00274	0.353559	0.234660	0.472457	0.237797
F_9	0.50	0.00274	0.353559	0.282246	0.424872	0.142626
F_{10}	0.50	0.00274	0.353559	0.290156	0.416961	0.126805
F_{11}	0.50	0.00274	0.353559	0.269320	0.437798	0.168478
F_{12}	0.50	0.00274	0.353559	0.272658	0.434460	0.161802
F_{13}	0.50	0.00274	0.353559	0.261431	0.445686	0.184255
F_{14}	0.50	0.00274	0.353559	0.269860	0.437257	0.167397

*：故障嚴重度 (C_m) 之衡量值為假設值。

3.4 風險分析圖 (RAD) 之繪製與風險分析

對於各項飛安風險因素的風險分析與監控活動主要是確保它們的風險狀態能維持在設定的標準之下，當某一項風險因素於發生故障且其風險水準衡量值超過設定門檻時，即應隨時作出反應與處置的措施。本文乃參酌 ALARP 概念而利用風險梯度 (RG) 和風險水準 (LoR) 兩項指標來繪製出 RAD 圖，並藉此圖來進行風險的分析和監控之途，例如圖 7、圖 8 所示，其中橫座標代表風險梯度 (RG_m) 指標，愈往右邊表示 RG 指標值越高，在風險處理策略上是代表「越具關鍵性」者，亦即它是屬於較需要加強處理或監控的風險因素；

反之，越往左邊則其風險處理的優先順序就會顯得較慢。而 RAD 圖可被下上界風險水準門檻分成三個區域，自上而下分別為 INT-region、ALARP-region 和 BA-region，而每次之故障檢查狀態的現況即以 RS-line 表之，若 RS-line 落入不同的區域，其所代表的意義和所應採取的風險處理策略都不盡相同，但是否需要進行故障效應的成本效益評估，則端視該 RS-line 是落入哪個區域和哪個位置而論。一般而言，當 RS-line 落入 RAD 圖之上半段區域的話，則越需要進行成本效益的評估；反之則愈不需要。

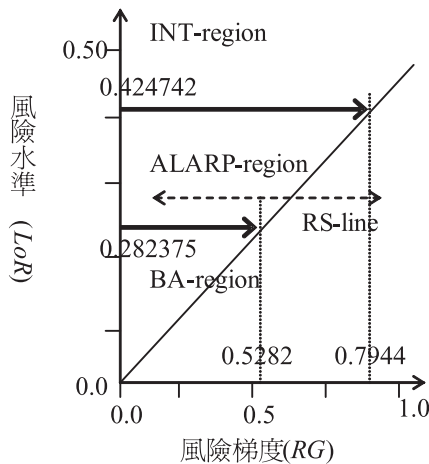


圖 7 「F₁ 機身構造」因素風險分析圖

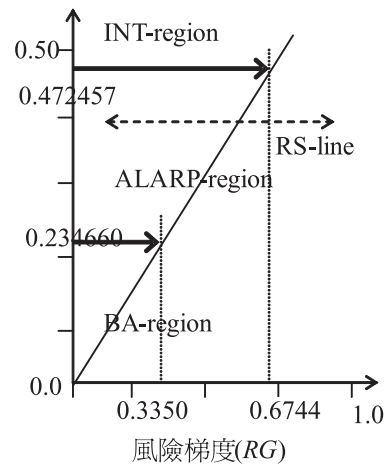


圖 8 「F₈ 自動駕駛系統」因素風險分析圖

至於 RAD 中三個區域的意義，茲以圖 7 之「F₁ 機身構造」風險因素為例說明之，實際監控作業時可以風險水準指標的衡量值大小來判斷其到底是落入哪個區域：

1. 無法容忍區域 (INT-region)：指 RS-line 高於 0.424724 者。若「F₁ 機身構造」風險因素的 RS-line 落入此區域內時，則風險管理者基於飛安上的考量應不計成本代價，馬上採取必要的規避或降低風險的動作，嚴重者甚至應斷然採取停止使用該項設施的手段。譬如停止該架飛機的飛行勤務並送進維修場檢修，待其故障之處經檢修通過後，其 RS-line 再回到 ALARP-region 或 BA-region 時才允許其恢復正常的營運。
2. 低至合理行得通區域 (ALARP-region)：指 RS-line 介於 0.282375 至 0.424724 之間者。若「F₁ 機身構造」風險因素之 RS-line 落入此區域內時，則風險管理者對此種情形之風險處理策略原則，是採取嚴加監控的措施，且隨時掌握其故障的變化情形，若 RS-line 太靠近 INT-region，則應儘量配合修正措施，來降低該項風險因素的風險水準值，使其朝向 BA-region 接近。
3. 明顯可接受區域 (BA-region)：指 RS-line 低於 0.282375 者。若飛安檢查或查核人員再次檢查「F₁ 機身構造」風險因素，而發現其 RS-line 落入此區域內時，風險管理者只要採取確保該項風險因素能維持在此區域內的風險處理策略即可，而不需要刻意去採取降

低風險或規避風險的動作，亦即該項風險因素目前的風險情況是處於不具危險的狀態。

同理，其他飛安風險因素的風險分析與監控之操作圖示和說明，與上例者同。圖 7 是所有飛安機械風險因素中具有最高的 RG 者之圖示；而圖 8 則是具有最低 RG 者之圖示；其餘飛安機械風險因素之圖示其橫軸 RG 指標範圍都會在此二圖之間變化。由此二圖亦可看出風險因素的 RG 區間位置若越靠右邊（接近 1.0 處），如圖 7 之 (0.5282, 0.7944)，則其對應的風險水準區間大小也就較為狹窄（如 $0.424742 - 0.282375 = 0.142367$ ）；反之，若 RG 區間位置越靠近左邊，如圖 8 之 (0.3350, 0.6744)，則其對應的風險水準區間大小也就越寬闊（如 $0.472457 - 0.234660 = 0.237797$ ）。這種推演結果與飛安管理上對於「較具關鍵性」的飛安風險因素，必須投入「較謹慎之關心態度」的道理是相符的。

另外，由此二圖亦可看出：在相同的風險強度 ($RM_m = 0.353559$) 之下，較具關鍵性的風險因素其上界風險水準門檻要比較不具關鍵性者之上界門檻來得低（如 0.424742 小於 0.472457）；換句話說，對於較具關鍵性的風險因素，其執行飛安檢查資料所獲得的風險水準值，會以較低的門檻就進入 INT-region，這種現象是完全吻合飛安風險管理的理論。例如「F₁ 機身構造」風險因素為較具關鍵性者，其上界 RG 值為 0.7944，比「F₈ 自動駕駛系統」風險因素為較不具關鍵性者，其上界 RG 值為 0.6744 來得高，但「F₁ 機身構造」風險因素之上界風險水準門檻為 0.424742，要比「F₈ 自動駕駛系統」風險因素之上界風險水準門檻 0.472457 來得低，這表示對於「F₁ 機身構造」風險因素的飛安檢查風險水準值只要達 0.424742 時，即必須列入 INT-region 的風險處理策略了，而對於「F₈ 自動駕駛系統」風險因素卻需要達到 0.472457 的程度，才需要採取 INT-region 的風險處理措施。

總之，飛安風險管理者可利用上述之風險衡量模式來進行各項風險因素之風險狀態分析，並判斷到底應該採取怎樣的風險處理策略，亦即飛安風險處理策略之應用是針對各項風險因素之飛安檢查衡量結果是落入哪個區域而定，而且即使是落入同一區域內，但因位置的高低不同也可能有不一樣的處理方式。譬如「F₁ 機身構造」風險因素，雖然其 RS-line 是落入 INT-region，仍需視其故障嚴重的程度而採取不同的修補策略或更換新品策略。再者，對於不同的風險因素因其屬性的不同，其風險處理策略也不盡相同，風險管理者可根據風險梯度的大小，來區分哪些風險因素是屬於較具關鍵性者，哪些是屬於較不具關鍵性者，而分別投入不同的關切態度，譬如「F₁ 機身結構」風險因素的關鍵性比「F₈ 自動駕駛系統」者來得高，雖然 RS-line 同樣都落入 ALARP-region，但從風險梯度 (RG) 指標的高低可知，在付出關切的程度上，前者可能就要比後者要來得多，或許是要花費更多的時間在前者的監控上、或者對其監控的次數增加等；但對後者的監控方式可能就相對地顯得減少許多，亦即其在時間或成本的耗費上會有不同程度的差異。

畢竟飛安風險處理策略本是一項極為專業的課題，其要考量的條件或風險處理程度上的區別等也都包羅萬象，必須作更深入的了解，而本文並未涉及較詳細之風險處理策略的探討，但基本上風險管理者可根據本文所建構的風險評估模式，隨時檢視各項風險因素的飛安檢查或查核結果，並進行隨時的比對，以掌控各項風險因素的風險現況。至於不同的飛安風險處理策略尚包括風險自承、風險規避、風險轉移和風險分散等消弭或降低風險的

方法，或者是否需要進行成本與效益的評估，亦有待進一步的探討。

3.5 風險控制策略之敏感度分析

本文所提出之飛安風險衡量模式主要是以 k -標準差的原理來構建，風險管理者可加以調整 k 參數來達到風險分析的目的。表 4 即顯示在不同 k 參數下，其對各項風險因素之下上界風險水準指標的影響變動情形，當 k 參數變小 ($1.0 \rightarrow 0.5$) 時，則其上界風險水準門檻就變低，如「F₁ 機身構造」風險因素的上界風險水準門檻由 0.424742 變為 0.389377，此表示 F₁ 風險因素的風險控制門檻會變得更低，故原先檢查衡量結果達 0.424742 以上才需採取 INT-region 風險處理策略者，變成只要達到 0.389377 時就必須更嚴謹地採取斷然防止故障發生的措施了。反之，當 k 參數變大 ($1.0 \rightarrow 1.5$) 時，則表示可以採取較寬鬆的風險控制策略之意，如「F₁ 機身構造」風險因素的上界風險水準門檻由 0.424742 變為 0.459124，此表示 F₁ 風險因素的風險控制門檻變得較高些，故原先檢查衡量結果達 0.424742 以上時即需採取 INT-region 的風險處理策略者，變成允許達 0.459124 以上才需要採取斷然防止故障發生的措施了。

至於 k 參數的變動對下上界風險水準門檻之區間大小變動（或稱之為風險控制幅度）的影響也會產生不同程度的變化。當 k 參數變小 ($1.0 \rightarrow 0.5$) 時，如「F₁ 機身構造」風險因素的風險控制幅度由 0.142367 變為 0.071636，其風險控制幅度約縮小 $(0.142367 - 0.071636) \div 0.142367 = 49.68\%$ ，此意味著落入 ALARP-region 的機會就變小 0.4968 倍，顯示 F₁ 風險因素的風險控制幅度就變窄了，這是屬於較嚴謹的風險控制策略。反之，當 k 參數變大 ($1.0 \rightarrow 1.5$)，則表示風險控制幅度加大，這是屬於較寬鬆的風險控制策略。

在統計經驗法則上： k 參數越小時，表示 k -標準差內所包含的樣本數就較少，應用在飛安風險分析的意義上，它表示有比較少的領域專家們對內生風險衡量因子衡量值的認知比率，而吾人針對此等的風險因素就必須抱持較嚴謹的風險處理態度，這是非常合理的解釋。反之， k 參數越大時，就相對地可以抱持較寬鬆的風險處理態度了。是故， k 參數越小時，則其風險控制幅度就越狹窄，RS-line 就越容易進入 INT-region，配合著要採取較嚴謹的風險處理策略，以及對該風險因素的監控態度就必須趨於嚴謹；反之， k 參數越大時，則表示風險管理者的做法就越趨於寬鬆。但 k 參數雖作同比率的調整，其控制幅度調降（或調升）比率卻會因不同的風險因素而呈現不同的變化，這種現象可提供風險管理者在調整 k 參數值時的參考，亦即對於不同的風險因素之風險態度與做法，到底是要採取較嚴謹的風險監控方式或為較寬鬆者，風險管理單位應建立統一的原則性規範以為遵循。一般而言，針對具有較高 RG 的風險因素，因其控制幅度調整比率較小，故吾人應採取較嚴謹的風險控制策略才是適宜，如對機身構造、失火／煙霧警告系統等風險因素。 k 參數變動之影響彙整如表 5 所示。

表 4 k 參數變動對各項飛安機械風險因素之風險水準指標影響變動情形

飛安機械 風險因素 (m)	$k = 0.5$				$k = 1.5$			
	下界 LoR	上界 LoR	控制幅度	控制幅度 調降 %	下界 LoR	上界 LoR	控制幅度	控制幅度 調升 %
F_1	0.317741	0.389377	0.071636	49.68	0.247993	0.459124	0.211131	48.30
F_2	0.318509	0.388608	0.070099	49.79	0.249631	0.457486	0.207854	48.88
F_3	0.308897	0.398220	0.089323	49.75	0.221487	0.485630	0.264143	48.59
F_4	0.319160	0.387957	0.068798	49.78	0.251593	0.455524	0.203931	48.85
F_5	0.306679	0.400438	0.093759	49.82	0.214361	0.492756	0.278395	48.99
F_6	0.308354	0.398763	0.090410	49.75	0.219910	0.487207	0.267297	48.57
F_7	0.308241	0.398876	0.090635	49.73	0.219704	0.487414	0.267710	48.48
F_8	0.294059	0.413059	0.119000	49.96	0.175541	0.531577	0.356036	49.72
F_9	0.317827	0.389290	0.071463	49.89	0.246995	0.460123	0.213128	49.43
F_{10}	0.321560	0.385558	0.063998	49.53	0.260005	0.447112	0.187107	47.55
F_{11}	0.311359	0.395758	0.084399	49.91	0.227651	0.479467	0.251816	49.47
F_{12}	0.312837	0.394281	0.081444	49.66	0.233638	0.473480	0.239842	48.23
F_{13}	0.307309	0.399809	0.092500	49.80	0.216367	0.490751	0.274384	48.92
F_{14}	0.311451	0.395667	0.084216	49.69	0.229383	0.477735	0.248352	48.36

表 5 k 參數變動對風險控制策略影響彙整表

影響項目	k 參數變動方向	
	變 小 $\leftrightarrow$ 變 大	
風險控制幅度	變窄	變寬
進入 INT-region 門檻	變低	變高
風險處理策略	較嚴謹	較寬鬆
對風險因素監控態度	趨於嚴謹	趨於寬鬆

以上實例對於各項風險因素之風險強度 RM_m 都是取 0.353559 來計算，但實際上它們都是不一樣的，當飛安檢查工作執行一段期間後就可統計出各項風險因素的 RM_m 結果，再運用本模式之推導便可得到各項飛安風險因素的實際風險水準區間，以及各種變化情形，甚至針對不同的風險因素亦可採取不同的 k 參數，作為風險分析的基準和採取風險控制策略的依據，當更能符合實際飛安檢查或查核資料的特性。

四、結論與建議

飛安風險評估作業乃是一種以最小的成本或較有效的方法來達到減少飛安事件，甚至降低飛安事故損失的過程。假使我們在日常即能針對各項影響飛航安全的設施（包括設備與制度等），制定出一套嚴加控管的機制，當這些飛安風險因素呈現故障狀態超過設定的門檻時即能發出警訊，告知風險管理者或其他相關人員採取進一步的風險處理措施，將可防範飛安事故於未然。本文根據 k -標準差、座標組合法和歐基里德距離等方法，並參考 ALARP 風險概念而闡釋飛安風險評估模式之構建與操作程序，除突破傳統風險優先數 (RPN) 的迷思外，將來更可建立彈性化即時風險控管資訊系統，當可提供航空業界等相關單位之參考。本文所得初步結論如下：

1. 本文從飛航設施維護的角度，探討如何運用風險分析原理來構建飛安風險衡量模式，模式中將各項風險分析的準則因子分成內生和外生二類，內生風險衡量因子包含因素重要度 (I)、故障後果危害度 (S)、故障難檢度 (D) 和事故發生機率 (P) 四者，前三者之衡量值是由領域專家們的專業共識所凝聚而來，它們是設定風險梯度 (RG) 的基礎，且不需隨時去調整變動；其次，外生風險衡量因子包含故障嚴重度 (C) 和故障發生頻率 (F) 二者，其衡量值則是從日常飛安檢查和查核紀錄中獲得，它們是風險強度 (RM) 的計算基礎，且會隨著設施使用狀況而不斷地改變，故本文將其取名為 RG/RM 模式 (risk gradient and risk magnitude model)。其次，經由 k -標準差的設計可解決傳統 ALARP 風險圖中三個不同分區之界限門檻如何決定的問題，而根據本文實例的探討，若能妥善結合飛安檢查或查核資料，期盼可展現該模式的預防診斷機能，俾便提供相關風險管理者及早察覺發生故障的風險因素，並提出其對應的預防措施，以減少或避免後續慘重飛安事故的發生。
2. 由於傳統 FMECA 方法的應用大部分都集中在產品設計和製程規劃的階段，而應用在日常設施維護檢查或查核的階段則較為少見，尤其運用在航空設施安全維護的領域更是闕如，究其主因為航空設施安全的維護檢查作業，是一項比檢驗產品品質或製程規劃還要複雜許多的工作，且更夾雜人為因素於其中。因此，本文利用座標組合法和歐基里德距離的概念推導出各項風險衡量因子的風險梯度 (RG) 指標和風險強度 (RM) 指標，一方面可以避免因傳統 FMECA 於求算 RPN 時必須將各項風險衡量因子之衡量值相乘，而會產生效果互相抵銷的嚴重缺點；另一方面又可同時考量各項風險衡量因子角色扮演的問題，而呈現出重視各項風險衡量因子比重的量化風險分析做法，可謂是本文一項創新。
3. 在實例說明中可知：較具關鍵性的風險因素其風險梯度亦較高，而於相同的風險強度指標值之情況下，所推導出來的上界風險水準門檻就比較不具關鍵性者之上界門檻來得較低，如「F₁ 機身結構」風險因素要比「F₈ 自動駕駛系統」風險因素來得低。此意味著，對於較具關鍵性的風險因素，要以較低的門檻標準來處理飛安檢查資料，亦即「F₁ 機身結構」風險因素的 RS-line 會以較低的門檻就進入 INT-region，這種現象是完全吻合飛

安風險管理的理論：對較具關鍵性的風險因素應以較嚴謹的態度來看待。換句話說，本文所構建的飛安風險評估模式是合理適用的。

4. 本文利用 k -標準差的統計方法來作為飛安風險分析的架構，風險管理者可透過適度調整 k 參數，而對風險梯度和風險水準區間作彈性的變動，以因應對具關鍵性程度不同之風險因素達到嚴格監控的要求，而發揮風險監控的目的。例如， k 參數變小，使得風險控制幅度變窄和進入 INT-region 之門檻變低，則風險控制策略或監控態度就需採取更嚴謹的方式；反之， k 參數變大，會使得風險控制幅度變寬和進入 INT-region 之門檻變高，則風險控制策略或監控態度就相對地較寬鬆了。

總之，飛航設施安全的良好維護 (maintenance) 要求，是確保飛安正常營運的重要項目之一，根據日常檢查和查核資料建立一套可行的飛安風險評估模式，是延續產品使用和制度執行的有效預防飛安事故發生的方法之一，尤其目前國內航空事業尚欠缺一套客觀且合理的飛安量化風險評估模式可資參考，期盼本文之構思理念能有拋磚引玉之效。而對本文往後的研究仍有幾點建議 (包括後續研究方向)：

1. 本文所構建的飛安風險評估模式首要在於風險因素的確定工作，誠如文獻回顧中所述及，航空學者專家們對風險因素之篩選與分類認知可能不盡一致，建議民航主管單位應儘早完成飛安因素的確認和名稱的統一，便於日後類似相關研究的引用。而本文所建立的飛安風險評估模式架構，並不會受因素名稱不一致的影響，只要適度調整其所認同的風險因素，再套入本模式的建構與操作過程即可進行風險診斷和監控之能事。
2. 本文於構建飛安風險評估模式時，對各項內生風險衡量因子的問卷調查是採用直接評點衡量的方式來獲得資訊，這種方式在衡量值的取得和構建上比較僵硬，譬如，要讓領域專家評定某項風險因素的重要度是一個明確值 75 點，似乎較缺乏彈性。建議後續研究可採用模糊語意變數和模糊理論的方法來蒐集這方面的資訊，將能改善評點衡量數據的僵硬性問題。
3. 因飛安設施維護檢查表是用來診斷和監控各項風險因素的依據，故對於各項風險因素的故障型式、故障原因和改善措施等之分析應更加詳盡，如此才不會掛萬漏一。亦可結合失誤樹分析 (FTA) 或魚骨圖分析，更確實地執行飛安檢查作業和詳細記錄檢查結果，以發揮整合質化分析和量化分析的功效。
4. 建議可對各項飛安風險因素進行航務類、機務類和場站類等加以分類，以便於未來對各項飛安風險因素的分類管理與分析。雖然本文是利用 k -標準差的方式來構建上下界風險水準門檻，但上下界控制幅度是否應相同，仍有待進一步探討。
5. 對於所推展出之風險分析圖中的三個不同分區所應採取的風險處理策略應該有更明確的制定，並且應該針對各種不同的飛安風險因素制定其不同區域內之妥適的風險處理策略，這部分有待後續研究努力。
6. 飛安風險評估系統貴在訴求快速反應風險現況的處理能力，而要達到此目的就必須仰賴風險評估資訊系統的開發，方可畢其功。更何況飛安風險因素除機械方面的因素外，若

加上其他分類如人為、組織、環境等，勢必形成一非常龐大的資料庫，唯有靠資訊科技和電腦科技的輔助才可發揮最大的風險診斷與監控功效，這部分也是有待後續研究努力的。

參考文獻

1. 鄧家駒，**風險管理**，初版，華泰文化事業公司，民國八十七年四月。
2. Bell, D.E. and Schleifer, A. Jr., *Risk Management*, Course Technology Inc., 1995.
3. 凌氤寶、陳森松，**人身風險管理**，初版，華泰書局，民國八十五年十一月。
4. 宋明哲，**現代風險管理**，五版，五南圖書出版股份有限公司，民國九十一年十月。
5. 黃清賢，**危害分析與風險評估**，二版，三民書局，民國九十年二月。
6. Hathaway, W. T., *et al.*, "Fire Safety in Transit Systems Fault Tree Analysis", *UM147-PM-81-51*, US DOT, 1981.
7. 張有恆著，**航空業經營與管理**，初版，華泰文化事業公司，民國九十二年二月。
8. 任靜怡，「航空公司飛安管理之研究」，**民航季刊**，第一卷，第一期，民國八十八年三月，頁 73-92。
9. 李雲寧、王穎駿，「高科技環境下風險管理－人為失誤與飛航安全文化」，**民航季刊**，第一卷，第一期，民國八十八年三月，頁 25-46。
10. 林恒卉，「機場鄰近地區風險量測及因應策略之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十九年六月。
11. 林長慶，「風險管理－中正國際航空站」，交通部民用航空局擴大航務主管座談會簡報資料，民國九十年四月。
12. 張有恆主編，**航空安全－人為因素探討及案例分析**，交通部民用航空局，民國九十年七月。
13. 林豐福等，**應用風險管理於航空安全之研究**，交通部運輸研究所，民國九十一年二月。
14. 張新立，「臺灣地區危險物品道路運輸路線風險評估模式之研究」，**運輸計劃季刊**，第十九卷，第四期，民國七十九年十二月，頁 389-408。
15. 蕭世欽，「公路槽車運輸風險分析技術（上）」，**工業安全科技**，第十八期，民國八十四年十二月，頁 45-49。
16. 蕭世欽，「公路槽車運輸風險分析技術（下）」，**工業安全科技**，第十九期，民國八十五年三月，頁 38-41。
17. 劉昌明，「捷運系統安全考量之研究」，國立臺灣科技大學營建工程學系碩士論文，民國八十八年六月。
18. 張新立，「由組織觀點探討陸路商用運輸業安全風險管理之研究」，國立交通大學運輸工程與管理系，民國九十年七月。

19. 交通部民用航空局，**機場風險管理參考手冊**，民國九十年。
20. 中華航空公司，**員工教育訓練教材**，民國九十一年。
21. Airbus, *Line Operations Monitoring System, User Guide*, Version 2.6, Airbus, 2002.
22. Evans, A. W., Foot, P. B., and Mason, S. M., "Third Party Risk Near Airport and Public Safety Zone Policy", *R&DD Report*, 9636, National Air Traffic Services Ltd., London, 1996.
23. Ale, B. J. M. and Piers, M., "The Assessment and Management of Third Party Risk around a Major Airport", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 71, No. 1-3, 2000, pp. 1-16.
24. Evans, A. W., "Risk Assessment by Transport Organizations", *Transport Reviews*, Vol. 17, No. 2, 1996, pp. 145-163.
25. Helmreich, R. L., Klinec, J. R., and Wilhelm, J. A., "System Safety and Treat and Error Management: The Line Operational Safety Audit (LOSA)", in Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, OH, The Ohio State University, March 2001.
26. 陳苑蕙，「民航局飛安報告系統改善之研究」，**民航季刊**，第一卷，第一期，民國八十八年三月，頁 47-72。
27. 交通部民用航空局，**機場自我督察風險檢查制度**，民國九十年。
28. Goossens, L. H. J. and Cooke, R. M., "Applications of Some Risk Assessment Techniques—Formal Expert Judgement and Accident Sequence Precursors", *Safety Science*, Vol. 26, No. 1-2, 1997, pp. 35-47.
29. 楊朝均，「構建航空站空側風險架構之研究—FMEA 之應用」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國九十二年七月。
30. Schofield, S., "Offshore QRA and the ALARP Principle", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 61, No. 1-2, 1998, pp. 31-37.
31. Knight, K. W.、胡靖榮整理，"The Risk Management Process"，**風險管理季刊**，第 4 期，民國八十九年，頁 102-115。
32. 蔡明志，「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展應用」，**運輸計劃季刊**，第二十九卷，第一期，民國八十九年三月，頁 181-212。
33. Melchers, R. E., "On the ALARP Approach to Risk Management", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 71, No. 2, 2001, pp. 201-208.
34. 交通部民用航空局，**適航檢查手冊 V 3.0**，民國八十九年。
35. Janic, M., "An Assessment of Risk and Safety in Civil Aviation", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 6, No. 1, 2000, pp. 43-50.

附表 1 飛安機械風險因素之維護檢查表－範例

飛安機械 風險因素	故障 型式	故障 原因	故障 效應	因素 重要 度	故障 後果 危害 度	故障 難檢 度	故障 嚴重 度	故障 發生 頻率	負責部 門與完 成日期	列入 改善	現行 改善 措施	建議 改善 措施
F ₁ . 機身構造	金屬疲乏 有裂縫有 刮痕等											
F ₂ . 發動機	無法啟動											
F ₃ . 起落架和輪胎	胎壓不足											
F ₄ . 飛航控制系統	儀表失靈											
：	：											
：	：											

註：上述各項飛安機械風險因素之故障型式僅是列舉可能的情況之一而已，實際操作時應作更詳盡的分析。

附表 2 第一階段確定飛安機械風險因素之問卷調查內容－因素對飛安管理之影響性

項 目	有影響	無意見	沒有影響
1. 發動機重大故障，引擎葉片破裂導致失火	☐	☐	☐
2. 引擎損壞，不能工作，失火警告	☐	☐	☐
3. 起落架和輪胎問題	☐	☐	☐
4. 儀航控制問題	☐	☐	☐
5. 飛機結構問題	☐	☐	☐
6. 失火，煙霧（駕駛艙、客艙、貨艙）	☐	☐	☐
7. 公司維修服務問題（包括人為錯誤）	☐	☐	☐
8. 航電問題	☐	☐	☐
9. 設計製造問題	☐	☐	☐
10. 系統損壞	☐	☐	☐
11. 自動飛行問題	☐	☐	☐
12. 近地警告系統之設置	☐	☐	☐
13. 進場輔助系統之堪用性	☐	☐	☐
14. 完備之預警措施	☐	☐	☐
15. 其他您認為可以增加或修改的因素有哪些（請略加說明）？			

附表 3 第二階段飛安機械風險因素各項內生風險衡量因子衡量值認知之問卷調查內容

1. 評點衡量範圍：非常低 (VL, 1-20)、很低 (L, 21-40)、普通 (G, 41-60)、很高 (H, 61-80)、非常高 (VH, 81-100)。
2. 採直接評點方式填答，若以打✓方式填答，將視同以“中間值”填答。如非常低為 10 點、很低為 30 點等，依此類推。

飛安機械風險因素	因素重要度					故障後果危害度					故障難檢度				
	VL	L	G	H	VH	VL	L	G	H	VH	VL	L	G	H	VH
F ₁ 機身構造	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₂ 發動機	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₃ 起落架和輪胎	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₄ 飛航控制系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₅ 導航系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₆ 液壓系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₇ 燃油系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₈ 自動駕駛系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₉ 防冰、除冰／雨系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₁₀ 失火／煙霧警告系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₁₁ 艙壓、潤滑和電氣系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₁₂ 近地警告系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₁₃ 進場輔助系統	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F ₁₄ 預警措施 (TCAS、ASDE)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

如下圖，已知：

$RG_m^U = \overline{AD}$: 為上界風險梯度； $RG_m^L = \overline{AB}$: 為下界風險梯度；C 點為 $\overline{BD}$ 之中點；

$RM_m = \overline{CK}$: 為風險強度衡量值；

$LoR_m^U = \overline{DL}$: 為上界風險水準； $LoR_m^L = \overline{BJ}$: 為下界風險水準

在 $\triangle ACK$ 中， $\because \overrightarrow{CK} \parallel \overrightarrow{BJ} \quad \therefore \triangle ABJ$ 與 $\triangle ACK$ 為相似三角形。 $\therefore \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{BJ}}{\overline{CK}}$ ，

因此，

$$\overline{BJ} = \frac{\overline{AB} \times \overline{CK}}{\overline{AC}} \quad (a)$$

$$\textcircled{2} \quad \overline{CK} = RM_m \quad (\text{b})$$

$$\text{及 } \overline{AC} = \frac{\overline{AD} - \overline{AB}}{2} + \overline{AB} = \frac{\overline{AD} + \overline{AB}}{2}$$

$$\therefore \overline{AC} = \frac{RG_m^U + RG_m^L}{2} \quad (c)$$

故，將式 (b) 和式 (c) 代入式 (a) 中，得

$$\overline{BJ} = \frac{RG_m^L \times RM_m}{(RG_m^U + RG_m^L)/2} = 2 \times \frac{RM_m \times RG_m^L}{RG_m^U + RG_m^L}, \text{ 即 } LoR_m^L = \overline{BJ} = 2 \times \frac{RM_m \times RG_m^L}{RG_m^U + RG_m^L} \text{ 得證。}$$

同理， $LoR_m^U = \overline{DL} = 2 \times \frac{RM_m \times RG_m^U}{RG_m^U + RG_m^L}$ 得證。

