運輸計劃季刊
第四十六卷 第一期
民國一○六年三月
頁85～頁 116

Transportation Planning Journal
Vo1. 46 No. 1
March 2017
PP. 85 ～116

應用 HFACS 探討跑道安全相關事故之人為失誤[1]

APPLICATION OF HFACS TO INVESTIGATE HUMAN ERRORS IN RUNWAY SAFETY RELATED OCCURRENCES

楊慧華 Hui-Hua Yang [2]
劉穎儒 Ying-Ru Liu [3]

(105 年 4 月 20 日收稿，105 年 12 月 13 日第 1 次修改，106 年 1 月 10 日第 2 次修改，106 年 3 月 13 日第 3 次修改，106 年 3 月 26 日定稿)

摘 要

有鑑於跑道安全相關事故持續占所有飛航事故最大的比例，且造成多數乘員的傷亡，因此國際民航組織 (ICAO) 大會 A37-6 決議敦促世界各國加強跑道安全。我國飛航安全調查委員會 (簡稱飛安會) 事故調查資料庫 1998-2015 年共調查 69 件渦輪定翼飛機事故，而跑道安全相關事故就占其中的 35 件，所占比例最大 (50.7%)，飛航事故依發生原因分類 (causes/

1. 本研究承科技部專題計畫 (MOST 104-2410-H-309-014-) 補助，特此致謝。作者亦感謝審查委員提供寶貴的修正意見，使本文更為嚴謹。
2. 長榮大學航運管理學系助理教授 (聯絡地址：71101 臺南市歸仁區長大路 1 號 長榮大學航運管理學系；電話：06-2785123 轉 2254；E-mail：hhyang@mail.cjcu.edu.tw)。
3. 長榮大學航運管理學系碩士。

factors)，歷年來與人相關之事故所占比例亦為最高，因此飛航事故人為失誤之調查更顯重要。

本研究以「人為因素分析與歸類系統 (HFACS)」為理論架構，運用飛安會發展出適合飛航事故調查使用之人為因素調查輔助工具「ASC-HFACS」，分析國內跑道安全 33 件事故，希望能從分析結果發現跑道安全相關事故中的人為因素，並於早期開始預防以增進飛航安全。從內容分析結果發現，引發事故次數最多之 3 項人為失誤子項目為:「技術操作的錯誤」、「決策錯誤」，以及「自然環境與物理條件」；從關聯分析發現自然環境與物理條件、操作者個人狀態、督導能力及組織文化 / 氣候等問題對事故較具關聯影響性；從引發技術操作及決策錯誤之「失誤影響路徑」，改善高層級隱性之人為失誤項目，應能對降低跑道安全相關事故有所助益。

關鍵詞：跑道安全；人為失誤；人為因素分析與歸類系統

ABSTRACT

In view of the fact that runway safety-related accidents constitute to account for the largest portion of all accidents and have resulted in a great number of fatalities, International Civil Aviation Organization (ICAO) Assembly resolution A37-6 urged states to enhance runway safety. According to the statistics of Aviation Safety Council in Taiwan, runway safety-related accidents/serious incidents take the major portion (50.7%) of all types of flight occurrences. They shared 35 out of 69 turbojet and turboprop occurrences during 1998-2015, and most cases were caused by human errors. Therefore, investigations of human errors in runway safety related occurrences will be valuable.

The goal of this research is to analyze human factors resulted in aviation mishaps and developing strategies to prevent accidents. The ASC-HFACS based on HFACS model will be used to analyze human factors to 33 runway safety-related accidents to explore influence routes within flight occurrences from organizational management to individual operation level. The content analysis of the accident reports shows that skill-based errors, decision errors, and physical environment are the most frequently occurring categories influencing flight occurrences. The analysis of associations suggest that physical environment, condition of operators, supervisory competence, and organizational culture/climate issues are deemed the most potent for accident occurrences. To reduce the runway related accidents resulting from skill-base and decision errors in flight operations the "paths to failure" relating to these organizational and human factors issues must be addressed.

Key Words: *Runway safety; Human error; Human factors analysis and classification system (HFACS)*

一、前　言

國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 於 2011 年，在加拿大蒙特婁所舉行的「全球跑道安全研討會 GRSS」 (global runway safety symposium) 表示，過去 5 年期間約有 35%至 40%的失事均與跑道安全有關，特別是跑道入侵及飛機衝/偏出跑道的問題 [1]。依據 ICAO 安全報告資料顯示，在 2006-2011 年期間跑道安全相關失事占所有事故類別近 60%，2012 年、2013 年及 2014 年分別為 43%、62%以及 54%，跑道安全相關失事歷年來在所有事故類別中皆占最高比例 [2-4]。ICAO 指出，由於這一類失事的下降率並不顯著，隨著未來飛航班次的逐漸增加，也意謂著跑道安全失事的次數可能隨之增加，故 ICAO 目前已將跑道安全列為飛安宣導的重點項目，ICAO 之跑道安全計畫 (runway safety programme, RSP) 並推動全球之機場皆應建立跑道安全小組 (runway safety team, RSTs)，以減少跑道相關失事及重大意外事件 [5]。

隨著航太科技演進，飛機結構、系統、裝備、動力、操控以及地面基礎架構的改進，全球商用民航噴射客機失事率顯著降低，穩定持續在每百萬離場 1~2 次的失事率 [6]，但當失事率降低到接近谷底時，卻不再繼續下降，這種無法達成飛航零失事的關鍵，主要在於人為因素的瓶頸一直無法突破 [7]。單純因機械故障而造成重大空難已不多見，大部分的空難都與人為疏失有關，如何減少疏失及避免因此造成致命的事故，是提升飛航安全的核心 [8]。

目前已發展建立並廣為各界所熟知及使用之人為因素理論模式，包括「SHEL 模式」、「Reason 模式」，以及美國「人為因素分析與歸類系統 (human factors analysis and classification system, HFACS)」等。HFACS 為 Shappell 與 Wiegmann [9] 所提出之人為因素調查工具及資料庫分類架構，係根據 Reason [10] 的「顯性與隱性的人為失誤」理論，所發展出架構完整且包含組織管理層級、不安全之督導、不安全操作之前置狀況、到個別操作者的不安全行為與飛安事件之關連，比 SHEL 模式更能深層挖掘人為因素影響飛航安全的路徑。HFACS 理論發展迄今，已證實是飛安事故調查的有效工具，亦是當前研究飛安事件之原因分析與失事預防策略之主流 [11,12]。

飛航事故之發生，是由一連串的失誤串連而成，絕非單一因素所造成，因此須在早期辨識危害風險因素，藉由採取適當措施來預防，打斷失誤串連，從而防止事故的發生 [13]。人為因素已成近年飛安事件調查專家與研究學者關注的焦點，因為從失事調查報告中發現不當的飛行決策、態度、管理方式與組織文化等，常是飛安事件的主因 [14]。

HFACS 最大的優點是能提供事件調查的結果顯示出隱性的失誤條件，透過上一層級對下一層級的失誤檢查，辨識出可能的事故產生因素，不再是單以失事的結果來檢討，讓管理者能以較高層次的思維來設想，對未來的發展方向有更明確清楚的指標 [15]。因此本研究應用飛航安全調查委員會 (Aviation Safety Council, ASC；簡稱飛安會) 發展之 ASC-HFACS 為理論架構，探討我國跑道安全相關事故之人為因素，透過內容分析法，遵循系

統化、標準化作業程序進行人為因素調查與分類，冀望能從分析結果發現跑道失事中的人為風險因素，並於早期開始預防以增進飛航安全。

二、文獻回顧

2.1 跑道安全定義

2011-2013 年 ICAO 失事分類統計如圖 1 所示，統計對象為最大起飛重量 5,700 公斤以上航空器之定期與不定期航班，總計 103 件。由圖中可以發現跑道安全 (runway safety, RS) 相關失事是發生件數最多的類型，因此，ICAO 呼籲各國民航單位須減少與跑道有關的失事和重大意外事件，並和其 RSP 夥伴一直在努力儘量減少和減輕跑道入侵、偏離跑道及其他與跑道安全相關失事的風險；同時，ICAO 整合各國資訊及共享資訊以提供有效的解決方案。

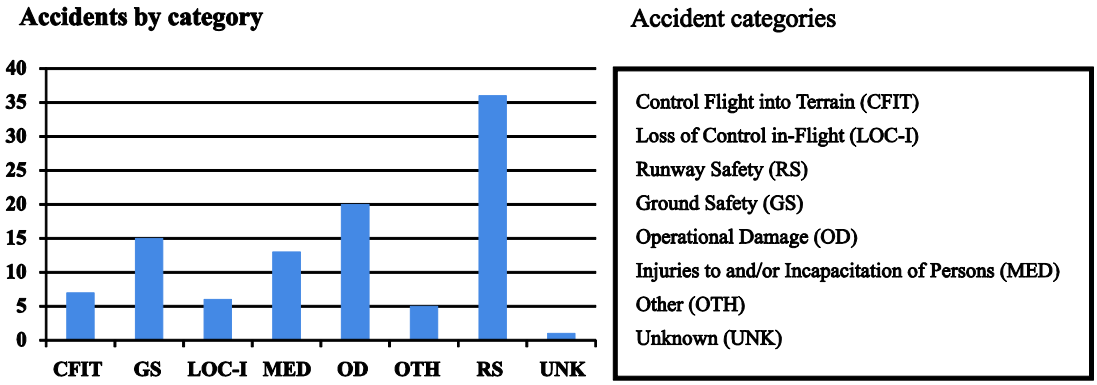


圖 1　2011-2013 年 ICAO 失事分類統計圖 [3]

依 ICAO ADREP 2000 事故資料分類法 (accident incident data reporting)，茲將跑道安全相關事故類別及定義整理如表 1 [2-4,16]：

2.2 人為因素

人為因素係以研究人的能力、限制、行為等活動，將其與週遭的人、事、物等環境有系統的整合，使生活、工作之效率與安全等因素得以提昇，臻完美之境界 [17]。

由美國聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration, FAA) 的報告 (圖 2) 可看出，從 1900 年代開始使用航空器後，飛航失事發生的主因，從以前因機械方面技術不純熟導致了大量的失事，隨著科技的進步，至近年來研究結果發現航空失事僅 20%是因機器故障引起，而其他 80%的失事乃是人為因素所造成，也因此商用航空業意識到，大多數航空失

事皆為人為失誤所產生，因此人為因素的議題越來越受到重視 [18]。

表 1　ICAO 跑道安全相關事故分類及定義

事故類別	定　　義
不正常跑道接觸 Abnormal runway contact (ARC)	任何起飛或降落階段，涉及不正常跑道或不正常降落表面接觸。 Any landing or takeoff involving abnormal runway or landing surface contact.
鳥擊 **Bird strike (BIRD)**	航機吸入鳥類，或與鳥類發生碰撞或接近碰撞。 A collision/near collision with or ingestion of one or several birds.
地面碰撞 **Ground collision (GCOL)**	從使用中的跑道滑行離開或滑行進入時發生碰撞之事件。 Collision while taxiing to or from a runway in use.
地勤作業 **Ground handling (RAMP)**	在地勤作業中發生的事故。 Occurrences during (or as a result of) ground handling operations.
偏離跑道 **Runway excursion (RE)**	起飛或降落時航機偏出或衝出跑道。 A veer off or overrun off the runway surface.
跑道入侵 **Runway incursion (RI)**	當航機處於起飛或降落階段時，機場內不正確航空器、車輛或人員出現在跑道表面之事故。 Any occurrence at an aerodrome involving the incorrect presence of an aircraft, vehicle, or person on the protected area of a surface designated for the landing and take-off of aircraft.
於地面失控 **Loss of control on ground (LOC-G)**	航機在地面時失去控制。 Loss of aircraft control while the aircraft is on the ground.
障礙物碰撞損失 **Collision with obstacle (CTOL)**	起飛或降落時，與障礙物發生碰撞。 Collision with obstacle(s), during take-off or landing whilst airborne.
降落未達跑道 / 衝出跑道 **Undershoot/Overshoot (USOS)**	降落時未與跑道表面接觸或超出跑道。 A touchdown off the runway surface.
機場 **Aerodrome (ADRM)**	明顯的機場設計問題或機場功能或服務問題。 Aerodrome design, service, or functionality issues are evident.

圖 3 所示為我國近 10 年 (2006-2015) 民用航空運輸業飛航事故發生的原因分類 (causes/factors)，與人相關之飛航事故所占比例最高 56.4% (其中 48.7%與駕駛員有關，7.7%與其他人員如維修及空中管制人員有關)，與航空器相關占 43.6%次之，與環境相關則占 23.1% [19]。

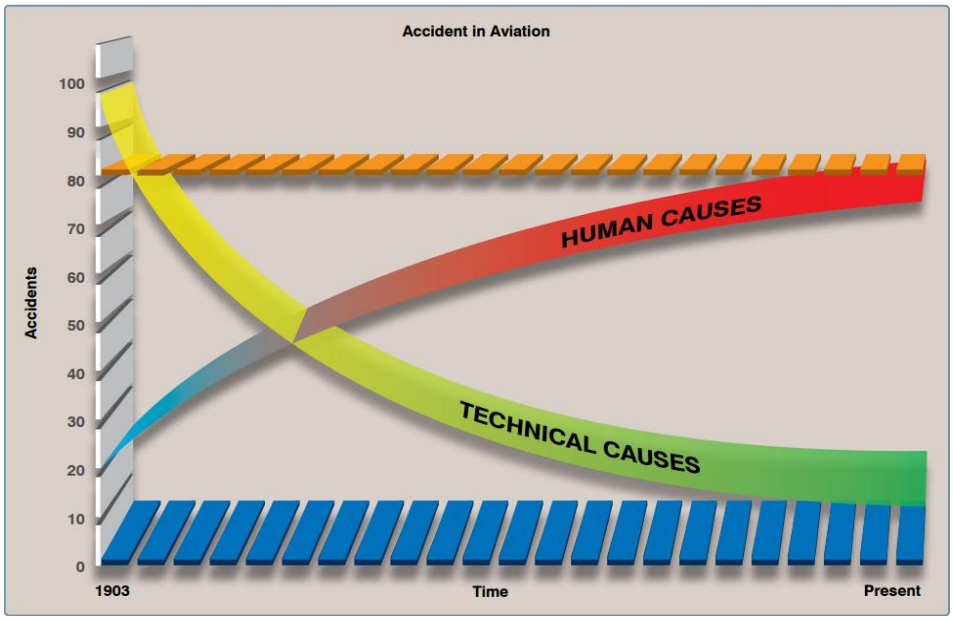


圖 2　航空失事人為因素與技術性因素之關聯性 (FAA 報告)[18]

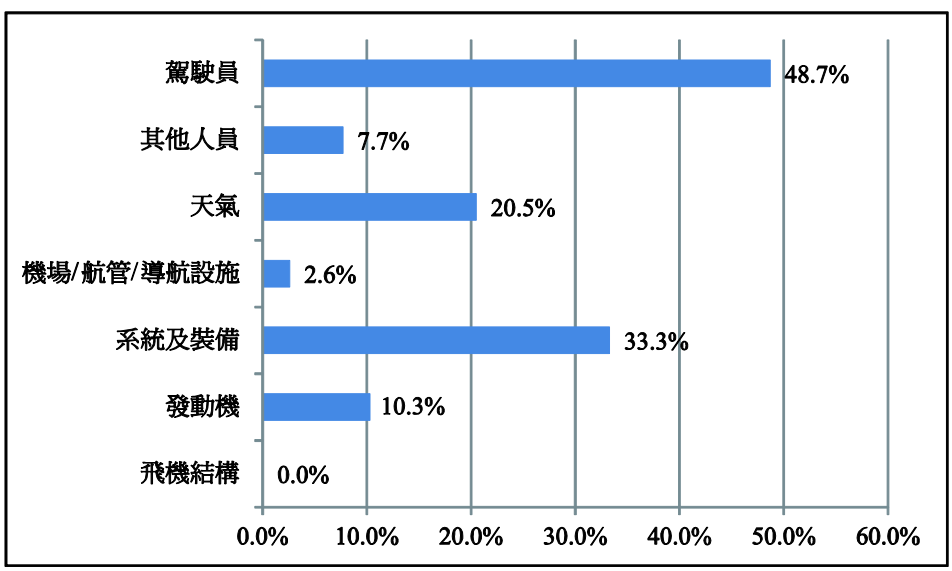


圖 3　2006-2015 年國籍民用航空運輸業飛航事故發生原因分類統計 [19]

2.3 人為因素分析與歸類系統

人為因素分析與歸類系統 (HFACS), 為美國學者 Shappell 與 Wiegmann[9] 所提出之人

為因素調查工具及資料庫分類架構。該模式係以英國學者 Reason [10] 所提出之事故肇因模式「顯性與隱性人為失誤」為理論基礎，結合認知心理、人因工程、行為學、航空生理、社會心理學等模式，以實證研究方式，使用因素分析法分析數百件美國海軍軍用航空器之事故調查報告，共數千筆人為肇因資料所發展出架構完整，且包含組織管理到個別操作層級的飛安事件人為因素分析與歸類工具。

Shappell 與 Wiegmann [9] HFACS 最原始之架構共分 4 個層級 17 個子項目，後來發展成為 4 個層級 19 個子項目 [11]，層級 1『不安全行為 (unsafe acts)』是所謂的「顯性失誤 (active failures)」(圖 4)，可分類成「錯誤 (errors)」和「違反規定 (violations)」兩種類別，「錯誤」包含「技術的錯誤 (skill-based errors)」、「決策的錯誤 (decision errors)」、「知覺的錯誤 (perceptual errors)」3 個子項目；而「違反規定」包含「經常性 (routine)」違規以及偶發的「特殊性 (exceptional)」違規 2 個子項目。

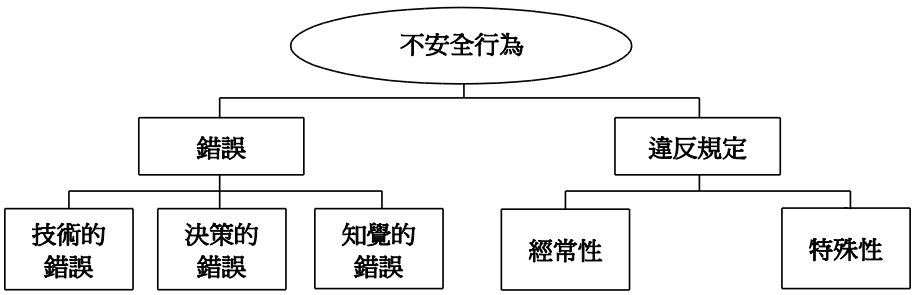


圖 4　HFACS 模型-第 1 層級 [11]

層級 2『不安全行為的前置狀況 (preconditions for unsafe acts)』(圖 5) 指出事故的一連串潛在導因與明顯的錯誤，包含了「顯性失誤 (active failures)」與「隱性失誤 (latent failures)」，同時也詳細說明操作者之不安全行為的背景因素。HFACS 將前置狀況分為 3 個部分：一為環境的因素 (environmental factors)，包含「物理的環境 (physical environment)」、「科技的環境 (technological environment)」2 個子項目；二為個人的因素 (personnel factors)，包含「組員資源管理 (crew resource management)」、「個人的準備狀況 (personal readiness)」2 個子項目；三為操作者的狀態 (condition of operators)，包含「不佳的心智狀態 (adverse mental states)」、「不佳的生理狀態 (adverse physiological states)」、「生理 / 心智的限制 (physical/mental limitations)」3 個子項目。

層級 3『不安全的督導 (unsafe supervision)』(圖 6) 針對導致飛安失事的「隱性失誤 (latent failures) 」追蹤到較高階的督導者，以發掘出「不安全行為的前置狀況」之潛在原因，其中包含「不充分的督導 (inadequate supervision) 」、「計畫不適當的操作 (planned inappropriate operations)」、「未能修正已知問題 (failed to correct problem)」以及「違規的督導 (supervisory violations)」4 個子項目。

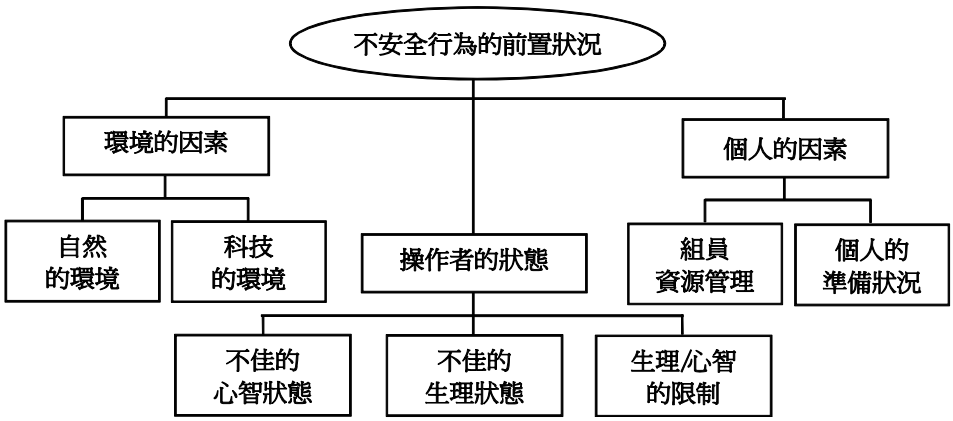


圖 5　HFACS 模型-第 2 層級 [11]

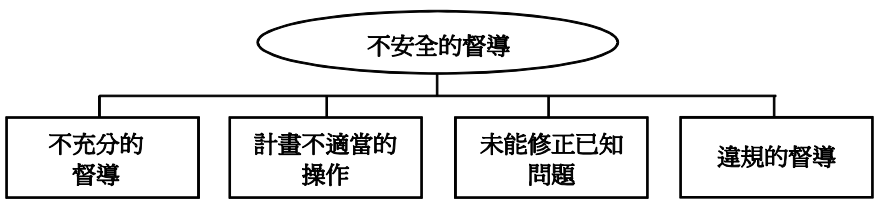


圖 6　HFACS 模型-第 3 層級 [11]

層級 4『組織的影響 (organizational influences)』(圖 7) 檢驗的重點圍繞在最易被忽略的高階組織管理階層，但也是最難發掘出潛在的「隱性失誤 (latent failures)」，因為能直接影響督導與操作者執行狀況的潛在錯誤與決策，幾乎都與組織的管理、人事獎勵制度、人員之考訓與篩選有關，包含「資源管理 (resource management)」、「組織氣候 (organizational climate)」、「組織運作 (organizational process)」等 3 個子項目。

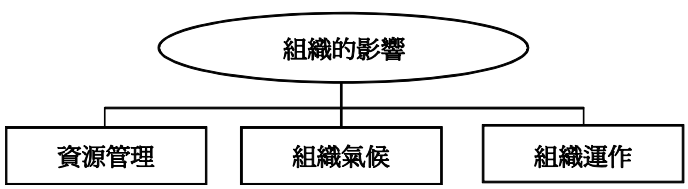


圖 7　HFACS 模型-第 4 層級 [11]

HFACS 發表後，陸續被應用在航空相關研究領域，部分研究使用 HFACS 對現有事故資料庫進行統計分析，以找出某特定類型事故之人為因素特性，例如：Wiegmann 與 Shappell [20-22] 運用美國國家運輸安全委員會 (National Transportation Safety Board, NTSB) 1990-

1996 商用航空失事資料分析；Shappell 及 Wiegmann [23] 針對 1990-1998 年美國普通航空業操控下撞擊地障 (controlled flight into terrain, CFIT) 事故分析；Shappell 等人 [24] 對 NTSB 及 FAA 航空安全數據分析中心 (National Aviation Safety Data Analysis Center, NASDAC) 1990-2002 商用航空 Part 121 及 Part 135 失事資料分析；Li 等人 [25] 及李文進等人 [14] 針對我國 1999-2006 年 41 件民航飛航事故飛行決策失誤路徑分析。另一類型為比較不同類型失事之人為因素特性，例如：Shappell 及 Wiegmann [26] 比較北美 1990-1998 商用航空、普通航空及海軍陸戰隊，以及 1991-1997 美國空軍與 1992-1998 美國軍隊等超過 16,000 筆事故之人為因素比較；澳洲運輸安全局 (Australian Transport Safety Bureau, ATSB) [27] 進行澳洲與美國 1993 至 2002 年間之民航失事人為因素分析與比較；Shappell 等人 [24] 比較 1990 至 2002 年間美國商用航空 Part 121 及 Part 135 失事等。

部分研究則是針對 HFACS 模式本身之信度及不同國家文化背景使用者間之使用差異進行實證研究，例如：Li 與 Harris [12] 使用我國空軍之失事資料對 HFACS 進行信度分析；Li 等人 [28] 針對不同國家文化背景之航空事故調查員，使用 HFACS 對同一失事分析之結果進行實證研究。另外 HFACS 亦被使用於實際事故調查，美國國防部將 HFACS 作為事故調查之輔助工具，並發展出符合其任務需求之人為因素調查工具—DoD HFACS [29,30]。

HFACS 除應用在軍用、民用航空器事故調查外，後續亦被廣泛應用於其他安全領域，例如：海上失事 [15,31-35]、鐵路事故與事件調查 [36,37]，以及採礦事故與事件調查 [38,39] 等，並依各安全領域背景需求，延伸不同層級 (4~5 個層級) 及評估子項目 (17~23 個子項目不等)，皆獲致良好的實證成果，證明 HFACS 用於了解意外事故中，「顯性失誤」與「隱性失誤」的關係與特性有相當良好的表現，進而也可使管理者提出有效的預防策略。

2.4 小結

隨著航空科技、技術的不斷進步，以及在航空體系的努力之下，飛機系統的運作已有較高之可靠度；相對而言，人為疏失所造成的影響卻有逐步提升的現象，許多失事或意外事件往往肇因於人為疏失。HFACS 因其分析人為因素條件脈絡清楚與層級分明，從組織管理層級到第一線的飛行員都在分析與歸納之人為因素範圍內，且各層級間具備有相關聯性；另外 HFACS 因具備有制式之檢查程序 (檢查表)，易於調查人員尋跡發掘及研判可能因子，且不會輕易受到調查者的影響，因此調查結果可靠度高。另將檢查表結合不同之人為因素條件 (亦可應用於航管、維修、客艙安全方面之人為因素調查)，延伸檢查表功能與範圍，對調查人為因素案件更顯成效，過去研究顯示國際間不論軍、民航業界與飛安學者，以及其他安全領域專業，都對該系統功能充滿了興趣與肯定。

跑道安全議題近年來在國際間持續被關注，跑道安全相關事故亦占我國事故分類第一位，目前國內在跑道安全事故之研究著墨甚少，從人為因素觀點深入探討跑道安全相關事故潛在肇因之完整研究更是應付厥如，本研究運用 HFACS 藉由飛安會跑道安全事故調查報告，透過專家內容分析與編碼，希望能從分析結果發現跑道安全相關事故中隱性之人為

因素，並於早期開始預防以增進飛航安全。

三、研究方法

3.1 研究樣本

本研究檢索飛安會事故調查資料庫 [40]，飛安會自 1998 年成立以來至 2015 年為止共計調查 103 件飛航事故，已結案 100 件，其中渦輪噴射飛機有 56 件、渦輪螺旋槳飛機 13 件，而與跑道安全相關事故計有 35 件，占 50.7%，分別為 ARC 5 件、RAMP 1 件、GCOL 3 件、RE 23 件以及 RI-VAP 3 件，其中因有 2 件事故飛安會全球資訊網尚無事故調查報告，因此本研究樣本總計 33 件，事故資料及摘要詳見表 2。

表 2　飛安會事故調查資料庫 1998-2015 年跑道安全相關事故

日期	飛航事故	機型	地點
不正常跑道接觸 (ARC)：5 件			
90/01/15	B7695 重落地失事	Dash 8	金門航空站
90/11/20	BR316 降落時重落地	MD11	臺灣桃園國際機場
94/09/02	B7660 落地重飛時左翼尖觸及跑道	MD90	高雄國際航空站
99/03/04	CI5233 起飛階段機腹觸地事故	B747-400	美國安克拉治機場
103/12/21	德安航空 B-55565 訓練中，落地時未伸放起落架	Dornier Do 228	臺東航空站
地面碰撞 (GCOL)：3 件			
90/09/21	AE737 與立榮 B-12272 地面碰撞	MK50/MD90	臺北松山機場
91/07/08	EF184 起飛時左主起落架撞擊跑道端燈	MD83	馬公航空站
94/07/19	GE028 滑行階段撞及停機坪照明燈柱	ATR72	臺北松山機場
地勤作業 (RAMP)：1 件			
97/08/16	BR17 後推階段地面人員受傷*	B777-300	美國舊金山機場
偏離跑道 (RE)：23 件			
88/09/02	DT2 訓練飛行，落地時偏出跑道	B747-SP	臺灣桃園國際機場
89/04/24	EF1201 著陸時偏出跑道	MD82	嘉義航空站
89/08/24	B7815 落地後滑出跑道	MD90	高雄國際航空站
89/10/31	AE838 落地後偏出跑道	B737-800	臺灣桃園國際機場
92/08/21	EF055 偏出跑道	MD82	金門航空站
93/08/24	EF182 落地後偏出跑道	MD82	臺北松山機場

93/10/18	GE536 落地時滑出跑道	A320	臺北松山機場

表 2　飛安會事故調查資料庫 1998-2015 年跑道安全相關事故 (續)

日期	飛航事故	機型	地點
94/12/09	N998AM 落地後偏出滑行道	BD700	高雄國際航空站
95/07/14	EF066 落地時偏出跑道	MD83	臺北松山機場
96/08/22	EF185 跑道外側落地後再偏進跑道	MD82	馬公航空站
97/08/15	CI160 著陸時偏出跑道	A340-300	仁川國際機場
99/09/02	BR701 落地時短暫偏出跑道	B747-400	臺灣桃園國際機場
100/2/26	BR757 落地時短暫偏離跑道	A330-230	臺灣桃園國際機場
100/5/12	BR806 落地時偏離跑道	MD90	臺灣桃園國際機場
101/5/16	FE025 降落時衝出跑道	MD82	馬公航空站
101/6/20	韓國真航 JNA013 飛航事故*	B737-800	臺灣桃園國際機場
101/8/12	CI680 落地時偏出跑道	A330-300	臺灣桃園國際機場
101/8/17	AE369 降落時偏出跑道	ERJ-190	馬公航空站
101/9/13	BR189 落地時偏出跑道	A330-300	臺北松山機場
103/3/31	CI6416 落地時偏出跑道	B747-400F	臺灣桃園國際機場
103/6/16	FE061 落地時偏出跑道	MD82	金門航空站
103/09/20	AE964 落地時偏出跑道	ERJ-190	臺中清泉崗機場
104/02/05	DA7507 落地時偏出跑道	Dornier Do 228	蘭嶼航空站
車輛/航空器或人跑道入侵 (RI-VAP)：3 件			
89/10/30	SQ006 起飛時撞毀在部份關閉跑道上	B747-400	臺灣桃園國際機場
92/03/21	GE543 落地滾行中撞擊施工車輛	A321	臺南航空站
100/6/28	B7642 降落於未經指定之跑道	Bombardier Dash 8	臺南航空站

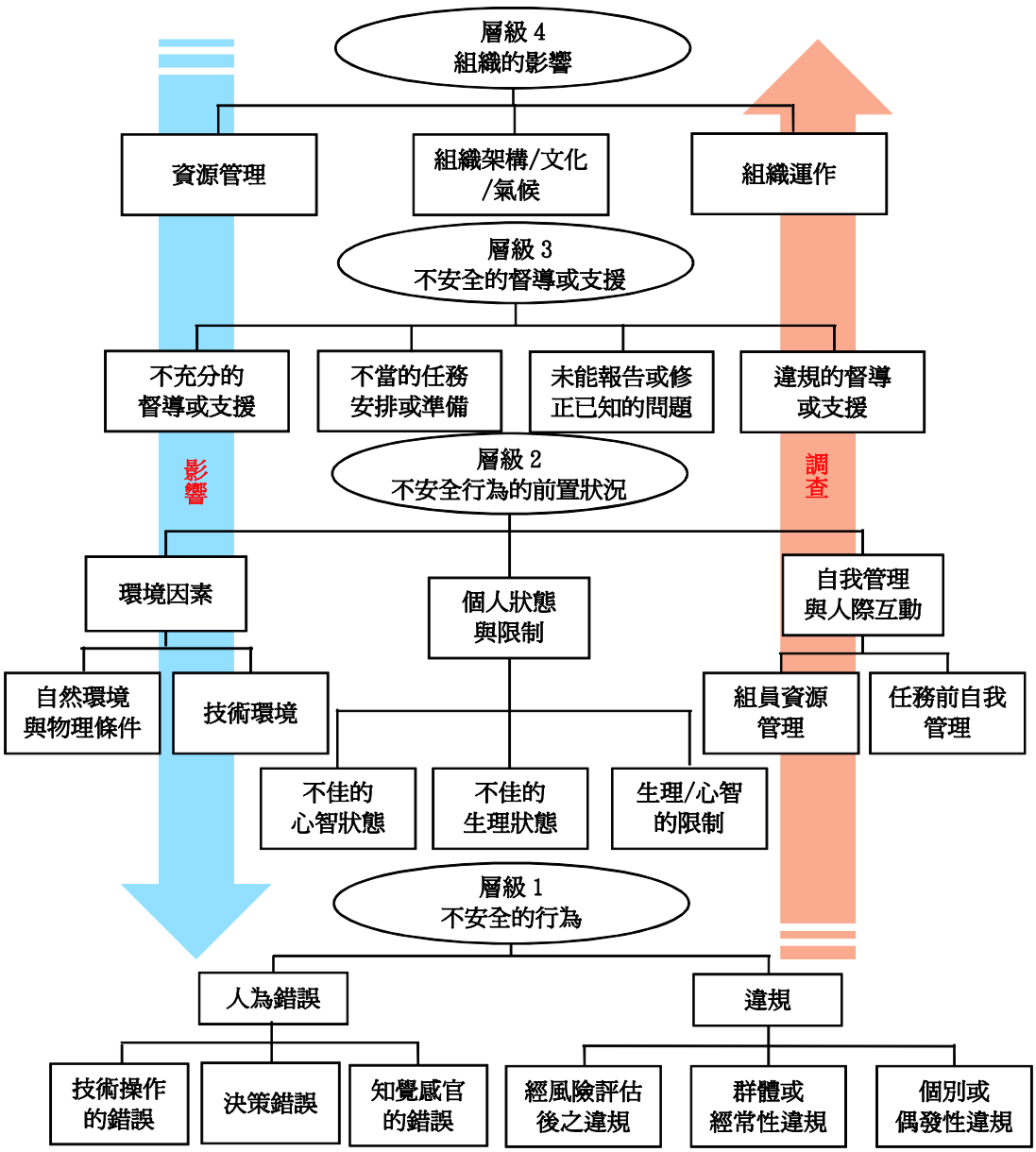
註：*表示飛安會全球資訊網尚無事故調查報告。

資料來源：飛航安全調查委員會 [40] 及本研究整理。

3.2 分類架構

本研究主要探討我國跑道安全相關事故之人為失誤，以 HFACS 理論架構為基礎 (圖 4~7)，運用飛安會發展之 ASC-HFACS 提出本研究基本架構如圖 8 所示，ASC-HFACS 係飛安會於 2008 年 12 月至 2009 年 11 月間，在行政院國家科學委員會 (現改制為中華民國科技部) 經費贊助下，依據 HFACS 檢視 1999 年至 2007 年期間之飛航事故調查報告，發展出適合飛航事故調查使用之人為因素調查輔助工具「ASC-HFACS」，作為人為因素相

關事實資料蒐集、事故原因分析，以及調查結論決定與撰寫時之輔助工具，將「人為因素」區分為 4 個層級及 20 個子項目進行分析。



資料來源：飛安自願報告系統 [41]。

圖 8　ASC-HFACS 架構圖

3.3 HFACS 各項定義

本研究回顧 HFACS 之國內外相關報告及研究資料，將其層級子項目之定義、人為失誤項目與範例，綜合整理如表 3 所示。

表 3　HFACS-人為失誤項目與範例

	定義	HFACS-人為失誤項目與範例
第一層級、不安全的行為 (Unsafe Acts)		
1-1 人為錯誤 (Errors)		
1-1-1 技術操作的錯誤 (Skill-base Error)	指組員在執行例行或應熟稔的操作動作，例如：查閱手冊、執行檢查、輸入電腦、操作駕駛桿、控制桿或電門等之過程中所犯的錯誤，通常與注意力分配不當、遺忘或記錯、技術不純熟、或習慣不當等有關。	1. 不當的操作技術 / 方式 / 順序 / 設定 2. 程序 / 檢查執行時遺漏步驟 / 項目 3. 忘記去操作開關、按鈕或手柄 4. 未有效執行機內 / 機外目視檢視 5. 未看到 / 未聽到、或錯看 / 錯聽資訊 6. 誤觸飛機裝備或電門 7. 飛行素養 / 技術的不足 8. 過度操作 / 過度依賴自動化 9. 因任務超量造成技術錯誤 10. 視而不見與不當迴避 11. 因分心造成技術錯誤
1-1-2 決策錯誤 (Decision Errors)	指組員依其所受的訓練、學識、及經驗等判斷所面臨的狀況，經邏輯推理，思考與評估解決方案後，決定採取的行動，惟該行動仍不足以解決所面臨的狀況。決策錯誤通常與資訊不充分或知識與經驗不足有關。	1. 狀況研判錯誤 2. 程序執行過程步驟選擇錯誤 3. 可預見狀況之處置方案選擇錯誤 4. 罕見狀況之應變方式錯誤 5. 執行必要作為或操作之時機選擇錯誤 6. 工作安排順序不當 7. 任務相關計畫或風險評估不當
1-1-3 知覺感官的錯誤 (Perceptual Errors)	指組員因感官器官本身的限制或功能受到影響，造成感官器官所接收到的訊息與實際狀況有異或不精確，進而做出錯誤的決策或操作。	1. 因誤判距離 / 高度 / 姿態 / 空速 / 跑道狀況等造成的錯誤 2. 因空間迷向造成的錯誤 3. 視覺感官的錯誤 4. 聽覺感官的錯誤 5. 感覺感官的錯誤
1-2 違規 (Violations)		
1-2-1 經風險評估後之違規 (Based on Risk Assessment)	組員的行為雖違規，然該行為係組員經風險評估後，認為是解決問題之最佳方式者。	–

1-2-2 群體或經常性違規 (Routine/Widespread)	此類違規通常被管理者所包容、默許或鮮少因該類違規而處分組員。	1. 飛行提示不完備 2. 未遵循航管雷達建議 3. 未經授權的進場方式 4. 違反技令 5. 認定目視或儀器天氣標準 6. 未配合部門的手冊 7. 飛行中警告燈亮未檢查飛機

表 3　HFACS-人為失誤項目與範例 (續)

	定義	HFACS-人為失誤項目與範例
1-2-3 個別或偶發性違規 (Lack of Discipline)	此類違規通常被視為不守紀律，不被管理者所接受。	1. 操作未經授權的特技 2. 不當的起飛動作 3. 未取得有效的天氣資料 4. 超過飛機極限的操作 5. 未完成飛行前的性能計算 6. 接受不必要的風險 7. 資格不符的飛行
第二層級、不安全行為的前置狀況 (Precondition for Unsafe Acts)		
2-1 環境因素 (Environmental Factors)		
2-1-1 自然環境與物理條件 (Physical Environment)	作業環境與座艙中的周邊環境。指組員於任務時，受到周遭自然環境與物理條件的干擾，以致影響組員之生 / 心理狀況、工作表現、或產生不安全的情況。	1. 風切、亂流、雷雨、冰雹、火山灰等 2. 外界能見度不佳或驟變、外界燈光 3. 地形或障礙物影響 4. 起降地區或機場場面狀況、配置、設施 5. 陽光或黑夜 6. 駕駛艙過冷 / 過熱、亮度、氣壓高度 7. 有毒物質、噪音干擾、飛機震動
2-1-2 技術環境 (Technological Environment)	指駕駛艙、作業場所、設備、裝備、或工具等，組員工作時所需要的軟 / 硬體，因設計、製作、維護不當、未能取得、未使用、或未更新等因素，致影響組員的工作表現，進而產生人為疏失或不安全的情況。	1. 座椅與安全防護配備 2. 儀表顯示與警告系統 3. 駕駛艙對外可視範圍之限制、雨刷使用 4. 通訊系統、自動化系統 5. 個人裝備 6. 輸入、控制與開關等操作介面 7. 任務所需文件，如手冊、航圖、表單 8. 任務特性或裝備差異
2-2 個人狀態與限制 (Condition of Operators)		
2-2-1 不佳的心智狀態 (Adverse Mental States)	指組員於執行任務時處於或產生對其工作表現有不安全影響的心智狀態，進而增加其犯錯或違規的可能性。 泛指影響飛行績效的心智狀態。	1. 個性或不安全的態度，如過度自信、易緊張 2. 注意力不足、過度專注或分心 3. 渴望完成任務或到達目的地 4. 積極性不足、錯用或過度積極 5. 情緒低落、亢奮或著急 6. 心理疲勞、習慣、壓力 7. 預期心理、肯正偏見

		8. 心理方面的問題或疾病
2-2-2 不佳的生理狀態 (Adverse Physiological States)	指組員於執行任務時處於或產生對其工作表現有不安全影響的生理狀態，進而增加犯錯或違規的可能性。泛指妨礙安全操作的用藥或生理狀態。	1. 任務前既有之疾病或受傷 2. 任務時受傷、不適或中毒 3. 突然的失能或失去意識 4. 藥物影響 5. 身體疲勞 6. 視覺、聽覺或嗅覺的過度刺激 7. 任務時不當飲食之影響，如誤餐、飲酒 8. 過度換氧、缺氧、宿醉、暈機、脫水、低體溫症等徵狀

表 3　HFACS-人為失誤項目與範例 (續)

	定義	HFACS-人為失誤項目與範例
2-2-3 生理 / 心智的限制 (Physical/mental Limitations)	指組員於執行任務時的生理或心智能力，出現不足以處理所面臨狀況之情形。 例如：組員視覺受環境、天氣或黑夜影響，造成無法正確辨識航機離地高度。	1. 感官器官之錯覺或限制 2. 身體能力的限制 3. 反應時間不足 4. 資訊負荷或操作需求過量 5. 經驗、知識或能力不足
2-3 自我管理與人際互動 (Personnel Factors)		
2-3-1 組員資源管理 (Crew Resource Management)	組員如何有效運用所有可用資源，包括人力資源 (如客艙組員、管制員、維修員)、硬體 (如駕駛艙之系統或設備)、軟體 (如操作手冊、檢查表) 等，以提升工作績效並適時地做出正確決策與操作。CRM 不良可能會導致人為疏失或不安全情況。	1. 對可能發生的狀況未適當提示與討論 2. 團隊合作不佳 (未能互相監控、配合、協助或支援) 3. 未善加利用可用資源 4. 溝通不良 (未用標準術語、誤解或錯聽、未適當提醒、提出疑問或回應) 5. 不當的領導 (缺乏決斷力、工作分配或授權不當) 6. 駕駛艙權力梯度過平或過陡
2-3-2 任務前自我管理 (Personal Readiness Prior to the Flight Task)	個人對執行任務時所需的體能或心智準備不足。 指組員於任務前的不適當行為，以致直接或間接影響組員任務時之生 / 心理狀況	1. 任務前有生 / 心理不適之狀況而未報告 2. 未有效利用休息時間充分休息 3. 不當使用藥物 4. 不當飲食或飲酒 5. 運動過度
第三層級、不安全督導或支援 (Unsafe Supervision/Support)		
3-1 不充分的督導或支援 (Inadequate Supervision/ Support)	指督導階層或技術人員於日常工作中，未能有效執行風險管理、提供組員充分的指導、訓練、資源、或督導等，造成組員任務時做出不安全行為或產生不安全的情況。	1. 未能提供適當政策 / 指導 2. 未能提供適當訓練 / 考驗 3. 未能提供適當文件或資料 4. 未能有效執行風險管理 5. 不當授權或工作指派 6. 不當領導風格、上下溝通或關係不良 7. 督導或技術人員工作負荷過量 / 本職學能或經驗不足 / 未經訓練
3-2 不當的任務安排或準備 (Planned	任務分配及人員規劃不當，致產生無法承受的風險、人員休息不足，而影響任務遂行，上述內容隱含任務規劃符合規定，但規劃	1. 無適切的任務提示 / 督導 2. 組員配置不當 3. 任務 / 工作負荷過量 4. 未能提供組員適當的休息時機

Inappropriate Operations)	結果卻隱藏著肇致風險之可能性。	5. 任務前如天氣、載重平衡、航線規劃等之準備不足 6. 未妥當執行任務前風險評估 7. 任務風險過高卻仍派遣該任務 8. 組員經驗 / 能力 / 資格不足以執行該任務
3-3 未能報告或修正已知的問題 (Failure to Report or Correct Known Problem)	指人員發現飛安潛在危害卻未提報。 督導者已知道個人、裝備、訓練或其他與安全有關的缺失，卻仍然允許繼續執行任務。	1. 未報告已知危害 2. 未矯正人員的不當行為 3. 未移除已知危害或採取防禦措施 4. 對不安全的傾向未能提出報告 5. 未能指認危險行為

表 3　HFACS-人為失誤項目與範例 (續)

	定義	HFACS-人為失誤項目與範例
3-4 違規的督導或支援 (Supervisory Violations)	指督導階層或技術人員不重視組織的政策、命令、規定、工作指引、或作業程序等，而做出違規的行為或對第一線人員做出不當的要求，造成組員的不安全行為或產生不安全情況。	1. 允許不必要的冒險 2. 未按規定執行 / 違反程序 3. 允許不合格人員飛行 4. 蓄意忽視規定 5. 文件記錄不適切 / 不確實 6. 督導階層或技術人員本身違規
第四層級、組織的影響 (Organizational Influences)		
4-1 資源管理 (Resource Management)	組織最高層級對組織資產作整體性的分配和維護的決策，包括：人力資源 (人員)、財務 / 資產和設備 / 設施。	1. 在人力資源 (人員) 方面： - 人員選用 / 編配 / 訓練 / 背景查核 2. 在財務 / 資產方面： - 過度削減成本 / 資金缺乏 3. 在設備 / 設施方面： - 不佳的飛機 / 座艙設計 - 採購不合適的設備 - 未改正各項已知的設計缺陷 4. 行政作業或技術支援 5. 後勤支援，如餐飲、運動、休息或醫療等資源的提供
4-2 組織架構 / 文化氣候 (Organizational Structure/Culture/ Climate)	指影響員工工作時的心情、態度、看法、價值觀、習性、行事風格等之組織相關事件、成文的制度與規定、或約定俗成的作法等。	1. 組織架構設計、指揮鏈 2. 溝通管道與機會 3. 人員職責之訂定、分工與授權 4. 人員考核、晉升機會與公平性 5. 薪資與福利 6. 生活管理 7. 對工作相關軟 / 硬體之品質或合用性

		的觀感 8. 組織相關之重大事件、改變或革新 9. 組織或部門之價值觀或文化
4-3 組織的運作(Organizational Process and Management)	指管理高層為維持組織日常運作與任務執行所頒布之營運政策、策略、目標、計畫、規定、程序、以及管控與督導機制等。	1. 營運目標、營運量、績效、與進度要求 2. 任務執行相關之政策、程序、與規定等 3. 人員訓練與考驗之規定 4. 手冊與文件管理 5. 安全相關資訊之取得、管理與供給 6. 安全管理系統之建置與運作 7. 管控與督導機制

資料來源：Shappell 與 Wiegmann [9,23]、U.S. DoD [29]、王明揚 [42]、飛航安全調查委員會 [43] 及本研究整理。

3.4 研究方法

本研究以飛安會事故調查資料庫下載之事故調查報告為分析資料，事故類別為跑道安全相關事故 (RS)，並以 ASC-HFACS 理論架構內涵進行統計驗證，除探討我國跑道安全相關事故人為失誤因素之項目外，並進一步檢驗顯性與隱性失誤之連動，以說明各層級間失誤項目的內在關聯與影響。另為符合科學研究之可證原則，再以信度檢驗方式確定研究之穩定性 (stability) 與一致性 (consistency)。各階段使用方法說明如下：

(一) 跑道安全相關事故 ASC-HFACS 發展與步驟

本研究以 ASC-HFACS 為基礎，參考王明揚 [42] 發展之重大飛安事件人為因素歸類分析表，並依研究目的需要修正增加內容，包含：資料編碼增加航空公司、發生時間、機型；Lelel 1~Level 4 之分類與文字以 ASC-HFACS 為圭臬進行修正，共分為 4 個層級、修正成 20 個子項目，表 4 為本研究發展之跑道安全相關事故人為因素歸類分析表。

步驟 1　填寫飛航事故分析基本資料

為使資料內容分析的過程中，遵循一套標準化作業程序進行人為失誤因素歸類，本研究精選團隊成員並進行分析訓練，訓練重點為 HFACS 檢查表各層級及子項目之定義與認識，飛安會跑道安全相關事故調查報告之閱讀與分類。

步驟 2　分析調查事故報告，萃取人為失誤因素

分析調查事故報告程序如下：

1. 編碼調查報告：事故發生日期、事故機型、航空公司、頁數及行數。
2. 判斷人為失誤因素類型，並歸類於 HFACS 表格欄位中打 V。

   [技巧]：先找出第 1 層級「不安全的行為」之人為錯誤項目，再逐一針對各項目往上思考是否有其他層級之變數，影響該項人為錯誤之發生 [44]。
3. 依據調查報告內容，逐字轉謄填入「具體失誤行為、現象」欄位中。
4. 根據「具體失誤行為、現象」內容及可能的發生脈絡，發掘可能引發的人為失誤因素，

並填註於「可能影響因素」欄位中。

5. 接續分析調查報告內容，並參照此一循環編碼步驟，直至報告分析完畢。

步驟 3 專家訪談與人為因素歸類與分析確認

使用 HFACS 檢查表分析人為因素案件，雖然可協助調查人員詳細快速分類，但也可能因為調查員本身經驗、專業知識及對該系統各變數之定義及運用方式見解不同，產生出不同之分析結果與差異；故在步驟 2 分析調查事件報告完成後，本研究至飛安會進行專家訪談，委請飛安事故調查專家一一檢視，協助確認所有事故之人為因素歸類與分析無誤，完成本研究之跑道安全相關事故人為因素調查分析。

表 4　我國跑道安全相關事故人為因素歸類分析表

我國跑道安全相關事故人為因素歸類分析表 事故發生日期：　　事故機型：　　航空公司：																							
事件 1 資料編碼		人為因素分析與歸類系統 (Human Factor Analysis and Classification System)																			其他	人為因素萃取	
		Level 1 不安全的行為						Level 2 不安全行為的前置狀況						Level 3 不安全督導或支援				Level 4 組織的影響					
頁數	行數	人為錯誤			違規			環境因素		個人狀態與限制			自我管理與人際互動		不充分的督導或支援	不當的任務安排或準備	未能報告或修正已知的問題	違規的督導或支援	資源管理	組織架構 文化 氣候	組織的運作		具體失誤行為、現象	可能影響因素
		技術操作的錯誤	決策錯誤	知覺感官的錯誤	經風險評估後之違規	群體或經常性違規	個別或偶發性違規	自然環境與物理條件	技術環境	不佳的心智狀態	不佳的生理狀態	生理 心智的限制	組員資源管理	任務前自我管理										

(二) 內容分析法、卡方檢定與關聯分析

內容分析法 (content analysis) 是以頻率分配 (frequency distribution) 進行分析的量化研究，所探討的變項為類別變項，由於飛安會事故調查報告為正式文件，並且是以文字的形式呈現，內容深具客觀、公正且完整，因此適合運用內容分析法加以探討。本研究以 ASC-HFACS 理論歸類人為失誤之方式，將 33 件跑道安全相關事故以 20 個分類項目進行分析，事件中有出現該項目者歸類為 1，無出現者則歸類為 0，以統計各項人為失誤變項出現之頻率多寡，為避免專家過度描述單一子項目在每一事故中之比重，HFACS 的每一個子項目在一起事故中最多僅被計算乙次，即每一子項目在每一飛安事件中最多僅出現乙次。

卡方 (x^2) 檢定適用於處理人數、次數等間斷變項 (或稱類別變項，classification variable) 資料，即為名義變項 (nominal variable) 和次序變項 (ordinal variable) 等資料之

變異情況 [45]。本研究運用卡方進行 HFACS 上一層級對下一層級之關聯性檢定，其定義公式如下 [46]：

$$x^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\frac{(o_{ij}-\hat{E}_{ij})^2}{\hat{E}_{ij}} \quad \text{(3.1 式)}$$

其中，r：為列聯表中的橫列的個數；c：為縱行的個數；

o_{ij}：為樣本觀察次數；$\hat{E}_{ij}$：為估計的理論次數。

卡方檢定用來檢定兩個獨立類別變項間的關聯性，但並未對「關聯性的強度」提供一個測量值，故為求檢驗 HFACS 理論中「每一較高層級對下一層級具影響性」，本研究進一步以 Goodman 與 Kruskal $Tau(\tau)$ 係數及勝算比 (odds ratio)，驗證高層級對低層級間影響的解釋力。

$Tau(\tau)$ 係數以削減誤差比 (proportioned reduction in error, PRE) 為基礎，用於非對稱量數之關聯分析，尤其適用於當 X 與 Y 兩變項可以區分何者為自變項、何者為依變項 (非對稱式變項) 時使用。本研究在各層級間的變項並非對稱關係，在分析不對稱關係時，用 $Tau(\tau)$ 係數較能詳實反應變項間的解釋關係，PRE 的數值越大，表示以 X 值預測 Y 值能夠減少錯誤的比例越大，也就是說 X 與 Y 關聯性越強 [47]。

$$PRE = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad \text{(3.2 式)}$$

其中，E_1：為未知 X (自變項) 時預測 Y (依變項) 所產生的誤差；

E_2：為已知 X (自變項) 時預測 Y (依變項) 所產生的誤差。

$$E_1 = \sum_{i=1}^{I}\frac{(N-F_{i*})F_{i*}}{N}, E_2 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\frac{(F_{*j}-f_{ij})f_{ij}}{F_{*j}}, Tau(\tau) = \frac{E_1-E_2}{E_1}$$

如果將 E_1 與 E_2 的公式代入 $Tau(\tau)$ 的公式中，就會得到如下的簡化公式：

$$Tau(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\frac{f_{ij}^2}{F_{*j}} - \frac{\sum_{i=1}^{I}F_{i*}^2}{N}}{N - \frac{\sum_{i=1}^{I}F_{i*}^2}{N}} \quad \text{(3.3 式)}$$

其中，i 為 Y 變項值；j 為 X 變項值；

F_{i*} 為 Y 變項之邊際次數；F_{*j} 為 X 變項之邊際次數；

f_{ij} 為同時屬於 Y 變項值和 X 變項值的個案數目；

I 為 Y 變項值的數目 (即橫行數)；J 為 X 變項值的數目 (即直行數)；

N 為全部個案數目 (亦即總樣本數)。

雖然 $Tau(\tau)$ 係數可達到檢驗關聯性程度的效果，卻無法呈現預測可能性之機率，本研究增加 Mantel-Haenszel 勝算比 (odds ratio, OR) 檢定，以判斷高層級變項 (自變項) 出現導致低層級變項 (依變項) 出現的勝算。

四、研究結果

4.1 信度分析

本研究使用內容分析法，實施編碼分析的專家稱為編碼者，參與內容分析的編碼人數通常很少，一般為 2~6 人，且須經過嚴謹的訓練以避免編碼的謬誤 [48]。信度對於內容分析具有決定性的影響，評分者信度 (interrater reliability) 就是不同觀察者彼此之間判斷的一致性。Kappa 係數最早由 Cohen [49] 提出，被廣泛的使用在量化兩個評分者間類別尺度的評分結果；如果評分者超過兩位，則以肯德爾和諧係數 (Kendall's coefficient of concordance) 檢定 3 組以上配對樣本的等級一致性。然而本研究之樣本資料，專家評分者超過兩位，且為二元類別資料，不適用以上兩種信度分析方法。邱皓政 [50] 提出，若將兩個評分者視為兩個版本的複本，評分者間信度亦是一種內部一致性係數，反應測量分數在同一時間點下分數變化，KR20 內部一致性庫李信度 (Kuder-Richardson reliability) 係適用於二分題目的信度估計方法，因此為了確保專家內容分析之資料具有一致性的結果，故採用「KR-20 庫李信度」作為本研究檢驗 HFACS 分類系統信度之依據。

由於飛航安全為十分專業之領域，具備飛安專長且受過人為因素訓練之專家又更為稀少，本研究專家內容分析問卷共發放 6 份，其中 5 位為平均資歷 10 年以上之飛航安全調查委員會飛安官與調查官，及首位引進 HFACS 至國內從事研究之學術界專家 1 名，有效問卷回收共 4 份，符合內容分析研究對編碼專家人數之要求。一致性檢定結果 KR20 值為 0.891，表示 4 位專家的答案具有高度的一致性，因此適合後續之分析。

4.2 HFACS 子項目發生次數

根據統計資料顯示，在 20 個子項目的發生次數、排序及百分比發現，統計影響人為因素之前三名子項目，分別為第 1 層級「不安全的行為」之「技術操作的錯誤」發生次數最多，共計 23 次，在 33 起跑道安全相關事故中占 69.7%為最高；其次為第 2 層級「不安全的行為」之「決策錯誤」，共計 20 次，與同次數第 2 層級「不安全行為的前置狀況」之「自然環境與物理條件」，各占 60.6%；接下來第 4 層級的「組織的運作」、第 3 層級的「不充分的督導或支援」及第 2 層級之「不佳的心智狀態」發生次數在 15 次 (含) 以下；餘其他各子項目發生次數皆為個位數；各層級下的子項目發生次數請參考表 5。

表 5　專家內容分析 HFACS 次數分配表

HFACS 層級 / 子項目	次數	排序	百分比
第 1 層級、不安全的行為			
1-1 人為錯誤			
1-1-1 技術操作的錯誤	23	1	69.7%
1-1-2 決策錯誤	20	2	60.6%
1-1-3 知覺感官的錯誤	3	14	9.1%
1-2 違規			
1-2-1 經風險評估後之違規	0	20	0.0%
1-2-2 群體或經常性違規	5	10	15.2%
1-2-3 個別或偶發性違規	8	8	24.2%
第 2 層級、不安全行為的前置狀況			
2-1 環境因素			
2-1-1 自然環境與物理條件	20	2	60.6%
2-1-2 技術環境	4	12	12.1%
2-2 個人狀態與限制			
2-2-1 不佳的心智狀態	13	5	39.4%
2-2-2 不佳的生理狀態	3	14	9.1%
2-2-3 生理 / 心智的限制	3	14	9.1%
2-3 自我管理與人際互動			
2-3-1 組員資源管理	8	8	24.2%
2-3-2 任務前自我管理	1	18	3.0%
第 3 層級、不安全的督導或支援			
3-1 不充分的督導或支援	13	5	39.4%
3-2 不當的任務安排或準備	4	12	12.1%
3-3 未能報告或修正已知問題	2	17	6.1%
3-4 違規的督導或支援	5	10	15.2%
第 4 層級、組織的影響			
4-1 資源管理	9	7	27.3%
4-2 組織架構 / 文化 / 氣候	1	18	3.0%
4-3 組織的運作	15	4	45.5%

4.3 層級間關聯性

HFACS 理論基本定義指出，意外事件多發生於各個層級之漏洞所串連起來的失誤結果，並認為較高階層失誤情況會對較低階層產生影響 [11]，故以 Goodman 與 Kruskal $Tau(\tau)$

係數作方向量數的檢驗。另採 Mantel-Haenszel 勝算比 (odds ratio)，說明高層級變項 (獨變項) 出現導致低層級 (依變項) 變項出現的勝算 (odds)，是高層級變項 (獨變項) 不出現、低層級 (依變項) 變項出現的多少倍數。

為探索跑道安全相關事故顯性與隱性人為失誤之關係，深層挖掘人為因素影響飛航安全的路徑，本研究分析較高層級子項目對第 1 層級顯性失誤發生次數最多子項目 -「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」之預測效果，茲摘要出預測解釋力具顯著 ($p< .05$) 直接效果項目如表 6 所示，較高層級子項目對層級 1「技術操作的錯誤」具顯著直接效果的項目計有 2 項，分別為層級 2 之「不佳的生理狀態」與「生理 / 心智的限制」，其 χ^2值分別為 4.537 與 6.7，τ 值為 0.034 與 0.051 ($p<.05$)，可正確預測比率 (PRE) 達 3.4%及 5.1%；較高層級子項目對層級 1「決策錯誤」具顯著直接效果的項目計有 6 項，分別為層級 3 的「不當的任務安排或準備」與「未能報告或修正已知問題」，以及層級 2 的「自然環境與物理條件」、「技術環境」、「不佳的心智狀態」與「生理 / 心智的限制」，其 χ^2介於 4.086 至 15.928 之間，τ 值介於 0.031 至 0.121 ($p< .05$) 之間，正確預測比率達 3.1%至 12.1%，其預測路徑如圖 9 實線箭頭所示。

表 6　HFACS 高層級對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」之直接預測效果摘要表

HFACS 較高層級對 較低層級之預測效果	χ^2test		τ 係數(PRE)		Odds Ratio
	χ^2值	P 值	τ 值	P 值	
較高層級對層級 1「技術操作的錯誤」顯著預測項目					
2-2-2 不佳的生理狀態 X 1-1-1 技術操作的錯誤	4.537	0.033	0.034	0.034	NC
2-2-3 生理 / 心智的限制 X 1-1-1 技術操作的錯誤	**6.7**	**0.01**	**0.051**	**0.01**	**0.205**
較高層級對層級 1「決策錯誤」顯著預測項目					
3-2 不當的任務安排或準備 X 1-1-2 決策錯誤	4.814	0.028	0.036	0.029	4.851
3-3 未能報告或修正已知問題 X 1-1-2 決策錯誤	4.086	0.043	0.031	0.044	NC
2-1-1 自然環境與物理條件 X 1-1-2 決策錯誤	**15.928**	**0**	**0.121**	**0**	**4.429**
2-1-2 技術環境 X 1-1-2 決策錯誤	5.272	0.022	0.04	0.022	0.28
2-2-1 不佳的心智狀態 X 1-1-2 決策錯誤	**9.568**	**0.002**	**0.072**	**0.002**	**3.333**
2-2-3 生理 / 心智的限制 X 1-1-2 決策錯誤	4.615	0.032	0.035	0.032	7.286

註 1：NC 為交叉列聯表細格中某一細格為 0，無法計算出 odds ratio。

茲將表 6 直接效果中，各階層預測比率較高 (τ 值 ≥ 0.05) 之關聯性分析結果與討論說明如下：

1.「2-1-1 自然環境與物理條件」對「1-1-2 決策錯誤」之影響

「自然環境與物理條件」對「決策錯誤」，其關聯性分析 $\chi^2=15.928$ ($p< .05$)，$\tau=0.121$ ($p < .05$)，可正確預測比率約為 12.1%，對層級 1「決策錯誤」之直接影響關聯性最強，其勝算比為 4.429 倍。

「自然環境與物理條件」係指作業環境與座艙中的周邊環境，組員於任務時，受到周遭自然環境與物理條件的干擾，以致影響組員之生 / 心理狀況、工作表現或產生不安全的情況。以著名的新加坡航空 SQ006 發生在桃園國際機場跑道入侵 (RI) 失事為例，事故當時正值象神颱風來襲，帶來豪雨及強風，05 右跑道於 N4 及 N5 滑行道間，因道面施工部分關閉。SQ006 飛航組員了解 05 右跑道部分關閉，並且 05 右跑道當時僅供滑行之用，但失事當時 SQ006 未完全通過 05 右跑道頭標線區，繼續滑行至按預定起飛之 05 左跑道。航機進入 05 右跑道後，正駕駛員 (CM-1) 即滾行起飛，副駕駛員 (CM-2) 及加強飛航組員 (CM-3) 並未質疑 CM-1 之決定。趕在颱風進襲前起飛之壓力，及強風、低能見度與溼滑跑道等，均潛在影響飛航組員下達決策和維持狀況警覺之能力，是故飛航組員失去狀況警覺而由錯誤跑道起飛。

此案例即為非常典型之「自然環境與物理條件」對「決策錯誤」之直接影響，因此建議航空公司應強化飛航組員在惡劣天氣或低能見度時之空中及地面作業之程序、指示及訓練課程，飛航駕駛員對機場設施有改變情況時，起飛前需詳盡提示該情況；儀器天氣起飛前應確認使用正確跑道；飛航駕駛員需以「組員呼叫」(CALLOUT) 方式相互確認。而民航主管機關應立即改善轄下各機場所有不符 ICAO 之標準及建議措施或相關規定之場站設施，如地面活動導引及管制系統計畫或緊急醫療程序等，建立整體性風險評估與管理計畫，評估並支持適當之技術及方法研發專案，以協助飛航組員在惡劣天氣或大雨情況下，客觀判斷跑道即時狀況。

2.「2-2-1 不佳的心智狀態」對「1-1-2 決策錯誤」之影響

「不佳的心智狀態」對「決策錯誤」，其關聯性分析 $\chi^2=9.568$ ($p< .05$)，$\tau=0.072$ ($p < .05$)，可正確預測比率約為 7.2%，對層級 1「決策錯誤」之直接影響關聯性次之，其勝算比為 3.333 倍。

「不佳的心智狀態」指組員於執行任務時，處於或產生對其工作表現有不安全影響的心智狀態，進而增加其犯錯或違規的可能性，泛指影響飛行績效的心智狀態。以國籍航空一地面碰撞 (GCOL) 重大意外事件為例，當時事故機場之機坪與滑行道正在施工，故跑道前段兩千呎道面暫時關閉。該事件航班因班機誤點造成儘速離場之心理壓力，兩駕駛員皆不記得該機場跑道因施工而縮短，失去跑道長度可能不夠之警覺。塔台管制員於該機起飛後，懷疑該機有擦撞跑道端燈之可能，駕駛員於爬升中發現一號發動機滑油量指示逐漸減少，後來該滑油低壓警告燈亮起，駕駛員執行空中關車，所幸最後於目的地機場降落時，

無人員傷亡。落地後該公司維修人員發現該機左起落架擋泥板、左輪胎有撞擊痕跡及一號發動機整流罩下方及滑油管路等處受損。並發現跑道端燈燈蓋卡在該發動機下整流罩內。

此事件即為「不佳的心智狀態」引發「決策錯誤」，由於兩駕駛員起飛前因時間壓力，準備程序欠完整，未研讀所有執行該任務所需資料，因而無法掌握機場場面狀況，最後依過往經驗做出錯誤決策，在事故機場第二連絡道交叉口起飛，起飛所需跑道長度明顯不足。飛航組員執行任務時保持狀況警覺是維繫飛航安全必要條件之一。要保持狀況警覺需先獲得相關資訊，並了解資訊之涵義，繼而預判狀況之未來發展方向。若飛航組員未能取得所需資訊，或不了解所得資訊涵義，則無法預知狀況未來走向，因而喪失狀況警覺。標準作業程序除提供相關人員工作之依據外，亦可避免相關人員因外在因素影響，或一時疏忽而危害飛航安全，故確實遵守作業程序有其必要。

3.「2-2-3 生理 / 心智的限制」對「1-1-1 技術操作的錯誤」之影響

「生理 / 心智的限制」對「技術操作的錯誤」，其關聯性分析 χ^2=6.7 ($p< .05$)，τ=0.051 ($p< .05$)，可正確預測比率約為 5.1%，對層級 1「技術操作的錯誤」之直接影響關聯性最強，其勝算比為 0.205 倍。

「生理 / 心智的限制」係指組員於執行任務時的生理或心智能力，出現不足以處理所面臨狀況之情形，例如：組員視覺受環境、天氣或黑夜影響，造成無法正確辨識航機離地高度。以國籍航空一偏離跑道 (RE) 事故為例，由於事故當時目的地機場天氣能見度低，風大且下雨。依據座艙語音紀錄器 (cockpit voice recorder, CVR) 資料，飛航組員於進場落地階段，確實遭遇側風及大雨狀況，可能增加操作負荷；與飛航操作相關因素顯示，飛航組員於計算該機之落地性能資料時使用不正確之降落距離 (landing distance available, LDA)，使用錯誤之航機性能表，且於計算實際降落距離 (actual landing distance, ALD) 時加總錯誤。飛航組員因「生理 / 心智的限制」影響其「技術操作的錯誤」，該機於右側風約 21 浬 / 時之狀況下進場落地，航機未以有感落地方式觸地且有延遲著陸之現象；觸地後飛航組員因修正側風及操控航機於跑道中心線上，因而未立即將油門收至慢車；觸地後展開中之擾流板回縮，飛航組員未立即以手動方式重新伸放，且未及時使用最佳反推力及最大煞車減速，影響航機落地後之減速效能，使航機衝出跑道停止線。因此建議航空公司應依相關飛航手冊之規定，加強飛航組員對濕滑跑道落地應有之狀況警覺及相關訓練，並檢討現有飛航操作品保系統之監控功能，強化衝 / 偏出跑道類之監控項目，如：航機落地點、長平飄、擾流板及反推力器之操作等。

依據 HFACS 模式理論，引發個別操作者不安全行為之原因，可能追溯至較高層級潛藏之隱性失誤，本研究茲將表 6 中對「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」具直接預測效果之較高層級項目，再往上追蹤其間接影響效果整理如表 7 所示，表 7 中較高層級子項目對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」均具有間接預測效果，其 χ^2介於 3.918 至 20.398 之間，τ 值介於 0.03 至 0.155 ($p< .05$) 之間，正確預測比率達 3%至 15.5%，其預測路徑如圖 9 虛線箭頭所示。

表 7　HFACS 高層級對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」之間接預測效果摘要表

HFACS 較高層級對 較低層級之預測效果	χ^2test		τ 係數 (PRE)		Odds Ratio
	χ^2值	P 值	τ 值	P 值	
層級 4 對層級 3 顯著預測項目					
4-1 資源管理 X 3-1 不充分的督導或支援	12.884	0	0.098	0	4.138
4-2 組織架構 / 文化 / 氣候 X 3-1 不充分的督導或支援	3.918	0.048	0.03	0.049	7.043
層級 4 對層級 2 顯著預測項目					
4-1 資源管理 X 2-1-1 自然環境與物理條件	7.12	0.008	0.054	0.008	0.352
4-1 資源管理 X 2-2-1 不佳的心智狀態	4.628	0.031	0.035	0.032	2.316
4-1 資源管理 X 2-2-2 不佳的生理狀態	4.214	0.04	0.032	0.041	0
4-1 資源管理 X 2-2-3 生理 / 心智的限制	4.674	0.031	0.035	0.031	0
4-2 組織架構 / 文化 / 氣候 X 2-1-1 自然環境與物理條件	8.254	0.004	0.063	0.004	0
4-2 組織架構 / 文化 / 氣候 X 2-2-2 不佳的生理狀態	**20.398**	**0**	**0.155**	**0**	**25.714**
4-3 組織的運作 X 2-1-1 自然環境與物理條件	6.205	0.013	0.047	0.013	2.5
層級 3 對層級 2 顯著預測項目					
3-1 不充分的督導或支援 X 2-1-2 技術環境	4.333	0.037	0.033	0.038	0.221
3-2 不當的任務安排或準備 X 2-2-1 不佳的心智狀態	5.272	0.022	0.04	0.022	3.571
3-2 不當的任務安排或準備 X 2-2-3 生理 / 心智的限制	**13.846**	**0**	**0.105**	**0**	**9.25**
3-3 未能報告或修正已知問題 X 2-1-1 自然環境與物理條件	3.958	0.047	0.03	0.047	NC
3-3 未能報告或修正已知問題 X 2-2-1 不佳的心智狀態	4.086	0.043	0.031	0.044	0
3-3 未能報告或修正已知問題 X 2-2-2 不佳的生理狀態	**16.157**	**0**	**0.122**	**0**	**17**

註 1：NC 為交叉列聯表細格中某一細格為 0，無法計算出 odds ratio。

由表 7 可以發現，「4-2 組織架構 / 文化 / 氣候」與「3-3 未能報告或修正已知的問題」對「2-2-2 不佳的生理狀態」之影響，及「3-2 不當的任務安排或準備」對「2-2-3 生理 / 心智的限制」之影響，預測比率較高，τ 值皆 ≥ 0.1，這些較高層級之隱性失誤，皆可能直接或間接影響第一層級「技術操作的錯誤」及「決策錯誤」。

1.「4-2 組織架構 / 文化 / 氣候」對「2-2-2 不佳的生理狀態」之影響：

「組織架構 / 文化 / 氣候」對「不佳的生理狀態」，其關聯性分析 χ^2=20.398 ($p< .05$)，τ=0.155 ($p< .05$)，可正確預測比率約為 15.5%，關聯性最高，其勝算比為 25.714 倍。

「組織架構 / 文化 / 氣候」泛指影響員工工作時的心情、態度、看法、價值觀、習性、行事風格等之組織相關事件、成文的制度與規定或約定俗成的作法等。以國籍航空一不正常跑道接觸 (ARC) 事故為例，事故報告提及：「該機駕駛員於起飛後曾討論機尾觸地之可能性，因無具體之機尾觸地資訊，做為風險考量之依據，決策過程中曾擔心若空中放油返降起飛機場，發現飛機並無損傷，恐遭公司質疑或處分，最終該機駕駛員皆同意繼續飛往臺北，並將巡航高度由飛航計畫之飛航空層 360 改為 320，未執行相關之檢查程序，致忽略機艙不可加壓之注意事項。」由此段敘述可發現組織文化間接對飛航組員決策產生壓力，加上「CM-1 與 CM-3 執行本事故飛行任務前約 97.5 小時中，因個人因素累積睡眠時數不足，低於正常所需之睡眠時間，符合疲勞形成條件，可能因疲勞而影響其行為表現。」飛航組員因組織文化產生壓力及不佳的生理狀況而影響最後技術操作及決策的錯誤。航空公司應審慎檢視其組織架構、文化或氣候，如：指揮鏈、人員職責之訂定、分工與授權、人員考核、晉升機會與公平，以及組織或部門之價值觀或文化等，是否會潛在造成飛航組員生理、心理壓力，若能針對「組織架構 / 文化 / 氣候」進行改善，確保駕駛員於決策之際，以飛航安全為優先考量，低層級之人為失誤發生的機率則會大幅地降低。

2.「3-3 未能報告或修正已知的問題」對「2-2-2 不佳的生理狀態」之影響

「未能報告或修正已知的問題」對「不佳的生理狀態」，其關聯性分析 χ^2=16.157 ($p< .05$)，τ=0.122 ($p < .05$)，可正確預測比率約為 12.2%，關聯性次之，其勝算比為 17 倍。

「未能報告或修正已知的問題」係指人員發現飛安潛在危害卻未提報，以及督導階層知道相關人員、設備、訓練或任何影響飛安因子有缺失時，未能予以修正。例如：某航空公司執行由 A 機場飛往 B 機場之定期載客任務，降落於 B 機場時偏出跑道 (RE)，結案報告中結論部分與風險有關之調查結果提到：『航醫中心核發之體檢證顯示，CM-1 及 CM-2 於執行飛航任務時必須配戴矯正視力之眼鏡，但兩位駕駛員於平日值勤時皆不戴眼鏡。本會認為飛航組員之視力問題與本次事故應無關聯，但應接受視力矯正之駕駛員於執勤時未配戴眼鏡，將提高影響飛航安全的潛在危險因子。』探討飛航組員執勤時視力議題之相關醫學研究顯示，視力是駕駛員最重要的飛行工具，飛行中經由眼睛輸入航機外之環境變化及其他航空器動態等資訊，提供大腦做出適當的反應，因此國際民航界對於飛航組員視力之保健與矯正皆給予高度之重視 [51-53]。由於航空公司未能糾正飛航組員不當之行為 (未能報告或修正已知的問題)，要求飛航組員於執行飛航任務時，確實遵守法規規定，適時配

戴矯正視力所需之眼鏡，對組員而言不僅違規，甚而可能產生不佳的生理狀態，致影響飛航安全。事後該公司新頒修訂版航務手冊，針對飛航組員體格檢查及格證上規定須戴校正眼鏡者，要求飛航駕駛員確實遵守民航法規第 158 條規定於飛航中應配帶及使用。航空公司應建立公司內部對於報告已知問題之良好管道，鼓勵員工即早提出問題，督導者對於已知問題應妥善處置勿輕忽，並有實質上的改善成效產生，便有助於飛航安全之提升。

3.「3-2 不當的任務安排或準備」對「2-2-3 生理 / 心智的限制」之影響

「不當的任務安排或準備」對「生理 / 心智的限制」，其關聯性分析為 χ^2=13.846 ($p< .05$) , τ=0.105 ($p < .05$) , 可正確預測比率約為 10.5% , 關聯性排序第 3 , 其勝算比為 9.25 倍。

「不當的任務安排或準備」係指任務內容、人員派遣、任務計畫、裝備整備、航線規劃等任務前準備事項，未能妥適安排或執行，造成組員執行任務時作出不安全行為或產生不安全的情況。以發生於國內機場一地面碰撞 (GCOL) 事故為案例說明，與事故可能肇因有關之調查結果顯示 , 航空公司之移機作業人員派遣不足 , 事故當時 , 無右翼尖瞭望員。拖車以車尾後推方式推機，以致拖車駕駛員必須回頭監看後推路線，不易觀察航機後方障礙。後推時，耳機員坐於拖車後座，視野不佳，復未注意監聽航管員與機務員之通話，及時告知拖車駕駛停止後推，以致未能及早發現停在機坪，正準備滑行的另外一架飛機，而發生碰撞。此即人員未能妥適安排，復因作業現場生理 / 心智之限制，最後導致碰撞失事之發生，因此建議航空公司應確實檢討勤務作業手冊中航機推 / 移機作業人員之責任、職掌、溝通管道及溝通方式之標準作業程序，並督導勤務人員在執行航機推 / 移機作業時，應確實依據勤務作業手冊之標準作業程序執行人員派遣及作業。

本研究綜合彙整表 6 及表 7，將高層級子項目對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」預測呈顯著 ($p< .05$) 之直接效果與間接影響路徑繪製如圖 9 所示，圖中直線代表對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」有直接效果之「顯性失誤」與「隱性失誤」，虛線代表對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」有間接影響力之「隱性失誤」；而 τ 值 ≥ 0.1 代表預測比率較高，以紅色線條表達，其次為藍色 ($0.1 > \tau$ 值 ≥ 0.05) 及綠色 ($0.05 > \tau$ 值 > 0)。

五、結論與建議

5.1 研究結論

飛航安全管理應將有限資源作最有效的分配，跑道安全相關事故是全球飛安宣導的重點項目，亦占我國事故分類第 1 位，本研究以資料導向式之觀點，探索人為因素方面之重點改善項目，使得人為失誤之改善更有效能，以期降低我國跑道安全相關事故之失事率。

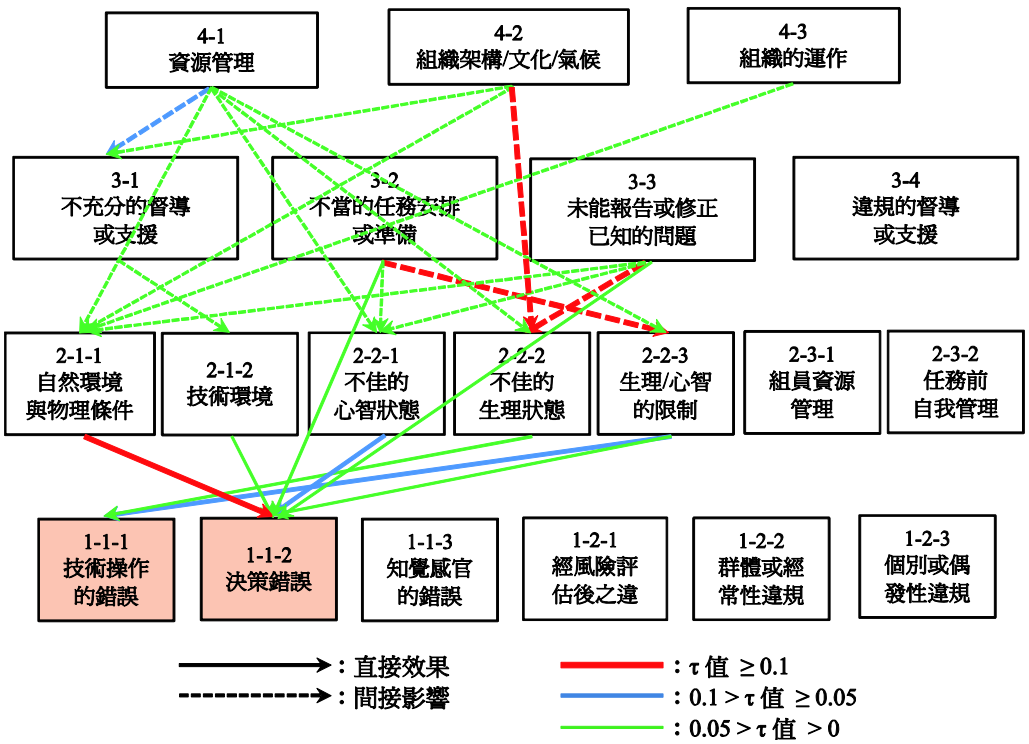


圖 9　HFACS 高層級對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」預測直接效果與間接影響路徑圖

HFACS 可以有系統的蒐集人為因素相關資料，並有效的予以分析歸類，以期發現不安全行為之潛在致因，其在應用上亦較目前最常用之 SHEL 模式更為理想，應值得於國內推廣與使用。本研究分析了 33 件飛安會與跑道安全相關之已結案事故，依 HFACS 各層級子項目次數分配統計結果發現，發生次數最多為第 1 層級「不安全的行為」之「技術操作錯誤」；其次為第 1 層級「不安全的行為」之「決策錯誤」，與第 2 層級「不安全行為的前置狀況」之「自然環境與物理條件」。以關聯性分析的結果來看，每一高層級子項目，多數可測得較低層級子項目 (τ 值，$p<0.5$) 之預測效果，對層級 1「技術操作的錯誤」與「決策錯誤」具顯著直接效果的項目共計有 8 項，程度介於 3.1%~12.1%之間；具顯著間接效果的項目共計有 15 項，程度介於 3%~15.5%之間。

本研究結果顯示上一層級顯性及隱性之人為失誤引發第 1 層級顯性人為失誤之預測效果，其中「2-1-1 自然環境與物理條件」、「2-2-1 不佳的心智狀態」及「2-2-3 生理 / 心智的限制」直接影響第 1 層級效果最為明顯；而較高層級隱性之人為失誤「4-2 組織架構 / 文化 / 氣候」、「3-3 未能報告或修正已知的問題」及「3-2 不當的任務安排或準備」對第 1 層級的間接效果最為明顯。建議我國民航監理機關及民航業者應可以參考 ICAO 及 FAA 等國際航空組織公告之技術文件，重新檢視有關跑道安全現行之程序及計畫，強化飛航操

作品質保證系統 (flight operations quality assurance, FOQA) 相關監控參數，並加強飛航組員對航機各項性能評估標準操作程序之遵守，及面對各種危害天氣狀況下威脅與疏失的決斷能力，確保駕駛員於決策之際，以飛航安全為優先考量，應能對降低跑道安全相關事故有所助益。

5.2 研究限制與建議

本研究跑道安全相關事故在人為因素分析與歸類時，專家在問卷中提到 - HFACS 原設計對象係針對飛航組員所發生的失誤，進行潛在因素的探討，因此對於飛航組員而言，其第 4 層級之組織係指航空公司，所以在使用 HFACS 分析事故人為因素與歸類時，若因其他單位之第 4 層級引發飛航組員之人為失誤時，應另行討論。以 EF184 為例，調查報告內容提到：『民航局未遵循「民航機場土木設施設計標準規範」或國際標準於馬公機場設置相關目視助航設施。』對於未受過 HFACS 分類訓練者而言，會認為這一段敘述是歸類到民航局或航空站之失誤，屬於第 4 層級「4-1 資源管理」之未修正已知的設計缺陷，但對 HFACS 此系統充份訓練者來說，因 HFACS 是針對飛航組員設計，對飛航組員而言，其第 4 層級係指航空公司之失誤，其他組織之失誤僅能歸類至第 2 層級「2-1-1 自然環境與物理條件」之不足，因此突顯單一 HFACS 無法滿足跨組織歸類之限制。

由於飛安事故的發生，是潛在一連串失誤交互影響的結果，而這些肇因往往分散於不同的組織 (例如：航空公司、機場、飛航管制及民航局等)，建議未來研究方向可探討 HFACS 在跨組織議題的應用，深入探討不同組織之交互影響效果。另外本研究跑道安全相關事故之研究範圍較廣，建議可進一步針對單一事故類別進行分析，如偏離跑道 (RE) 或跑道入侵 (RI)，如此可針對各類別事故發生之原因研擬具體的改善計畫與措施，使我國之航空運輸安全水準與國際同步提昇。

參考文獻

1. ICAO, International Civil Aviation Organization, ICAO Headquarters, Montreal, 24 May, 2011.
2. ICAO, *Safety Report*, 2013 Edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, 2013.
3. ICAO, *Safety Report*, 2014 Edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, 2014.
4. ICAO, *Safety Report*, 2015 Edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, 2015.
5. ICAO, *Runway Safety Team Handbook*, Second Edition (unedited version), International Civil Aviation Organization, Montreal, 2015.

6. Boeing, *Statistical Summary Of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations 1959 – 2014*, Boeing Company, Chicago, 2015.
7. 王穎駿，「航空安全人為因素模式與風險因子評估–以飛航駕駛員及維修人員為例」，國立成功大學交通管理學系博士論文，民國 98 年。
8. 鄭永安，「人為因素與飛航安全」，科學發展，第 495 期，民國 103 年，頁 20-24。
9. Shappell, S. A. and Wiegmann, D. A., "The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS", Report No. DOT/FAA/AM-00/7, Federal Aviation Administration, Washington, DC, 2000.
10. Reason, J., *Human Error*, Cambridge University Press, New York, 1990.
11. Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A., *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System*, Ashgate, Aldershot, UK, 2003.
12. Li, W. C. and Harris, D., "HFACS Analysis of ROC Air Force Aviation Accidents: Reliability Analysis and Cross-Cultural Comparison", *International Journal of Applied Aviation Studies*, Vol. 5, No. 1, 2005, pp. 65-81.
13. 行政院飛航安全委員會，飛安自願報告系統簡訊，第 34 期，民國 104 年，頁 1。
14. 李文進、陳正中、李倫文、游重山，「人為因素分析與歸類系統 (HFACS) 應用於飛行決策失誤之路徑分析」，空軍學術雙月刊，第 620 期，民國 100 年，頁 3-17。
15. 劉耿良，「運用『人為因素分析與歸類系統』辨識海事事件之人為失誤」，國防大學政治作戰學院心理學研究所碩士論文，民國 98 年。
16. ICAO, *ADREP 2000 Taxonomy*, International Civil Aviation Organization, Montreal, 2010.
17. 張有恆，飛航安全管理，華泰文化，臺北，民國 94 年。
18. FAA, *Aviation Maintenance Technician Handbook – General*, Federal Aviation Administration, USA, 2008.
19. 飛航安全調查委員會，臺灣飛安統計 2006-2015 年，民國 105 年。
20. Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A., "A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)", Report No. DOT/FAA/AM-01/3, Federal Aviation Administration, Washington, DC, 2001.
21. Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A., "Applying the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) to the Analysis of Commercial Aviation Accident Data", the 11th International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, the Ohio State University, 2001.
22. Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A., "Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 72, No.11, 2001, pp. 1006-1016.
23. Shappell, S. A. and Wiegmann, D. A., "A Human Error Analysis of GA CFIT Accidents 1990-1998", Report No. DOT/FAA/AM-03/4, Federal Aviation Administration, Washington, DC, 2003.
24. Shappell, S., Detwiler, C., Holcomb, K., Hackworth, C., Boquet, A., and Wiegmann, D. A,

"Human Error and Commercial Aviation Accidents: An Analysis Using the Human Factors Analysis and Classification System", *Human Factors*, Vol. 49, No. 2, 2007, pp. 227-242.

25. Li, W. C., Harris, D., and Yu, C. S., "Routes to Failure: Analysis of 41 Civil Aviation Accidents from the Republic of China Using the Human Factors Analysis and Classification System", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, 2008, pp. 426-434.
26. Shappell, S. A. and Wiegmann, D. A., "HFACS Analysis of Military and Civilian Aviation Accidents: A North American Comparison", Proceedings of the 35th Annual International Seminar, ISASI, Australia, 2004.
27. ATSB, "Human Factors Analysis of Australian Aviation Accidents and Comparison with the United States", ATSB Transport Safety Investigation Report, Report No. B2004/0321. Australia Transport Safety Bureau, Australia, 2007.
28. Li, W. C., Young, H. T., Wang, T. and Harris, D., "International Cooperation and Challenges: Understanding Cross-Cultural Issues in the Processes of Accident Investigation", *ISASI Forum- Air Safety Through Investigation*, Vol. 40, No. 4, 2007, pp. 16-21.
29. U.S. DoD, "DoD HFACS, Department of Defense Human Factors Analysis and Classification System, a Mishap Investigation and Data Analysis Tool", U.S. Department of Defense, 2005.
30. O'Connor, P., "HFACS with an Additional Layer of Granularity: Validity and Utility in Accident Analysis", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 79, No. 6, 2008, pp. 599-606.
31. Akyuz, E. and Celik, M., "Utilisation of Cognitive Map in Modelling Human Error in Marine Accident Analysis and Prevention", *Safety Science*, Vol. 70, 2014, pp. 19-28.
32. Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., and Langard, B., "Human and Organisational Factors in Maritime Accidents: Analysis of Collisions at Sea Using the HFACS", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 59, 2013, pp. 26-37.
33. Chen, S. T., Wall, A., Davies, P., Yang, Z., Wang, J., and Chou, Y. H., "A Human and Organisational Factors (HOFs) Analysis Method for Marine Casualties Using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA)", *Safety Science*, Vol. 60, 2013, pp. 105-114.
34. Celik, M. and Cebi, S., "Analytical HFACS for Investigating Human Errors in Shipping Accidents", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 41, 2009, pp. 66-75.
35. 劉耿良、李倫文，「以『人為失誤分析與歸納模式』探討臺灣海軍海事事件中引發人為失誤之研究」，復興崗學報，第 95 期，民國 98 年，頁 127-150。
36. Baysari, M. T., McIntosh, A. S., and Wilson, J. R., "Understanding the Human Factors Contribution to Railway Accidents and Incidents in Australia", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, 2008, pp. 1750-1757.
37. Reinach, S. and Viale, A., "Application of a Human Error Framework to Conduct Train Accident/Incident Investigations", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, 2006, pp. 396-406.
38. Lenné, M. G., Salmon, P. M., Liu, C. C., and Trotter, M., "A Systems Approach to Accident Causation in Mining: An Application of the HFACS Method", *Accident Analysis and*

Prevention, Vol. 48, 2012, pp. 111-117.

39. Patterson, J. M. and Shappell, S. A., "Operator Error and System Deficiencies: Analysis of 508 Mining Incidents and Accidents from Queensland, Australia Using HFACS", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, No. 4, 2010, pp. 1379-1385.
40. 飛航安全調查委員會，「已結案事故調查報告」，https://www.asc.gov.tw/main_ch/accident_list_end.aspx?uid=221&pid=201，民國 104 年。
41. 行政院飛航安全委員會，飛安自願報告系統簡訊，第 28 期，民國 102 年，頁 2-3。
42. 王明揚，「以深化之人為因素分析與歸類系統發展人為失誤根本原因分析技術」，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告，NSC99-2221-E-007-087-MY3，民國 100 年。
43. 飛航安全調查委員會，HFACS 應用手冊，民國 102 年。
44. 鄭永安,「2004 美國南加州安全學院 (SCSI) 舉辦之『安全管理人為因素』專業訓練」，出國報告，行政院飛航安全委員會，民國 94 年。
45. 林清山，心理與教育統計學，東華書局股份有限公司，臺北，民國 103 年。
46. 林惠玲、陳正倉，應用統計學，雙葉書廊有限公司，臺北，民國 100 年。
47. 邱皓政，量化研究方法 (二)，雙葉書廊有限公司，臺北，民國 99 年。
48. Wimmer, R. D. and Dominick, J. R., *Mass Media Research: An Introduction*, 9th Ed., Wadsworth Publishing, Belmont, CA, 2010.
49. Cohen, J., "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales", *Educational and Psychological Measurement*, Vol. 20, No.1, 1960, pp. 37-46.
50. 邱皓政，量化研究與統計分析，第 2 版，五南圖書出版公司，臺北，民國 91 年。
51. AOPA, "Collision Avoidance: Strategies and Tactics", *Safety Advisor, Operations and Proficiency*, No. 4, Air Safety Foundation, 2001.
52. FAA, "Items 50-54 Ophthalmologic Disorder", *Guide for Aviation Medical Examiners*, 2017, pp. 189-204.
53. Hawkins, F. H., *Human Factors in Flight*, 2nd Ed., Ashgate Publishing Company, Aldershot, UK, 1993.