



運用人為因素預防矩陣(HFIX) 發展國軍飛安管理策略

空軍上校 丁豐莞 陳正中 空軍備役上校 李文進

提 要

本研究係運用Shappell 及 Wiegmann所提出的人為因素預防矩陣(HFIX)來發展人為錯誤改善策略，並以層級分析法(AHP)設計問卷，及針對空軍各聯隊的飛行單位主官及空／地勤人員工實施問卷調查。研究結果顯示，與「組織／管理」、「任務／使命」等2項預防途徑相關的改善策略能在現有的條件下立即執行，因此在可行性及可接受性等評估指標具有較高的權重(重要性)，而其他「人員／組員」、「技術／工程」、「操作環境」等途徑則因成本效益、效能及可持續性的不同而有所差異。由於空軍各聯隊的戰備任務不同，為了提升飛行安全應考量單位的任務重點及所能運用的人力、物力、財力資源，運用HFIX架構來發展人為錯誤改善策略，並運用層級分析法(AHP)評估改善策略的可行性、可接受性、成本效益、效能及可持續性，以協助決策者選定最適，且能在單位現有條件下落實執行的解決方案，如此才能發揮資源投入的效益。

關鍵詞：人為錯誤、人為因素分析與歸類系統、人為因素預防矩陣、層級分析法

前 言

軍航的飛行安全向來是政府及社會所關注的事項，因為任何的飛安事件都會損耗國家有形及無形的戰力。北約組織(NATO)的荷蘭空軍(HAF)為例，在2000年至2010年期間荷蘭空軍共墜毀60架戰機及犧牲35位飛行員，其影響相當於損失二個飛行中隊的戰力(Panagopoulos, 2011)。而空難發生除了造成空勤人員傷亡、失事飛機的墜毀或損傷外，在事故原因尚未釐清之前其他同型飛機必須停飛接受調查，這些都會直接影響空軍

的作戰能量；此外，飛安事件後受損飛機修復、事故原因調查、相關的人員訓練等及士氣提振都會消耗國防預算(Bolkcom, 2002)。探討影響飛行安全因素的進化可分為三個階段，在1950年到1970年期間著重於「技術因素」，因為早期飛安事故大多肇因於機械故障，但隨科技進步技術因素對飛行安全的影響已有大幅改善，因此在1970年到1990年期間置重點於航空環境中無所不在的「人為因素」。而在1990年之後，發現技術及人為問題的關鍵都在於組織，必須改以整體、系統化的方式管理安全，因此「組織因素」成為

現今飛行安全思維的重心(Stolzer, 2008)。

文獻探討

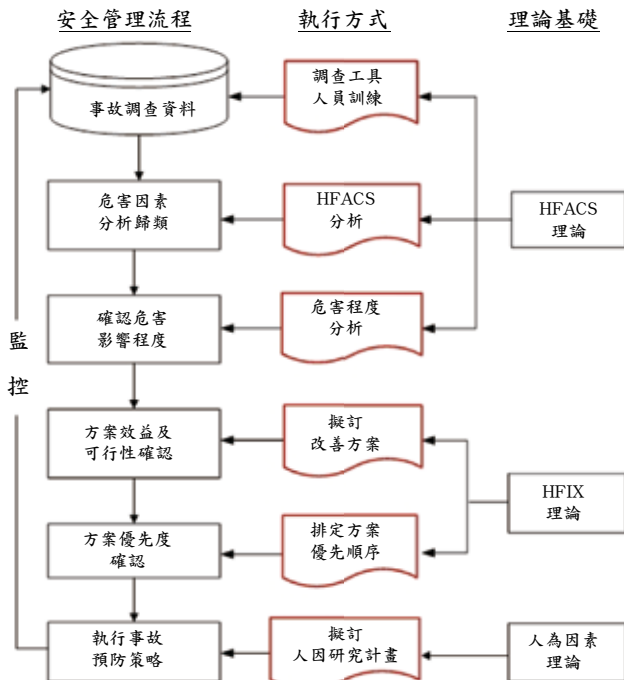
為瞭解人為錯誤及不安全行為對飛行安全的影響，航空心理學家提出多種觀點來解釋飛行員在駕駛艙中的行為(Hollnagel, 1998)，其中認知觀點學者主張以資訊處理系統的概念來描述飛行員的心智活動，一旦人的視覺、聽覺及嗅覺等器官接受到外部環境的訊息時會，會先經過一連串的心智處理再產生回應或動作(Wickens & Flach, 1988)，這一連串的心智活動包括資訊辨識、問題診斷、目標設定及策略選擇等項目(O'Hare et al., 1994)，因此當飛行員的一兩項心智活動無法正確處理資訊時就會產生錯誤(Wiegmann & Shappell, 1997)；人因及系統觀點則將飛行員的績效視為一連串複雜人機系統互動的結果(Edwards, 1988)，尤其在操控高性能飛機時，飛行員須隨時掌握飛行狀態及與駕駛艙儀表之間的互動，以確保在各式氣候條件下安全完成飛航任務；社會心理學觀點則主張，飛航任務為飛行員與其他空勤及地勤支援人員之間互動合作的結果，而團隊成員的個性與態度會影響互動的本質及品質，並進而影響飛行員的績效及飛行安全(Helmreich & Foushee, 1993)，因此社會心理學者認為人為錯誤及意外事故發生係因為個性差異及態度衝突破壞團隊運作與人際間的溝通；組織行為觀點則主張飛行員的行為應以組織脈絡來解釋，因為飛行員的行為會受到組織的制約(Heinrich et al. 1980)，不論是軍航或民航組織，管理部門負責招募合適的人員並給予專

業的訓練，以確保飛行員能安全的操控飛機(Shappell & Wiegmann, 2000)，因此與飛行員有關的人為錯誤及意外事故，應歸咎於組織的管理者及監督者未設立有助於促進飛行安全的基本條件(Reason, 1990)。

從過往失事調查報告分析中可發現，第一線操作人員(直接參與飛行任務之空／地勤人員)的錯誤行為通常僅是觸動事故發生的最後一環，除非找到事故發生的根本原因並加以改善，否則僅針對第一線操作人員的改善策略是無法根除飛安事件的發生(Stolzer, 2008)。因此，國際民航組織(ICAO)極力倡導推行「安全管理系統(Safety Management System, SMS)」，以運用結構化的管理系統來確認、描述、溝通、控制、排除並追縱風險，使得組織現有的安全計畫更加周延完備(ICAO, 2009)。為了落實執行SMS之風險管理，Wiegmann & Shappell(2009)提出安全管理系統流程(如圖一)，將「人為因素分析及分類系統(Human Factors Analysis and Classification System, HFACS)」、「人為因素預防矩陣(Human Factors Intervention Matrix, HFIX)」及人因理論等整合為一。其中危安風險因素的調查、分析、歸類及確認以HFACS為理論基礎；而在危安風險因素的控制、改善策略研擬及排定優先度方面則以HFIX為理論基礎；對於事故改善策略實施後，可透過人因理論及相關研究來評估執行成效。

一、人為因素分析歸類系統(HFACS)

人為因素分析歸類系統(HFACS)是1990年代初期，美國航空心理學家Wiegmann 及



圖一 安全管理系統(SMS)流程

資料來源：Wiegmann, D. A. (2009), Exploring the Limits of Human Performance, www.irc.wisc.edu/file.php?id=269

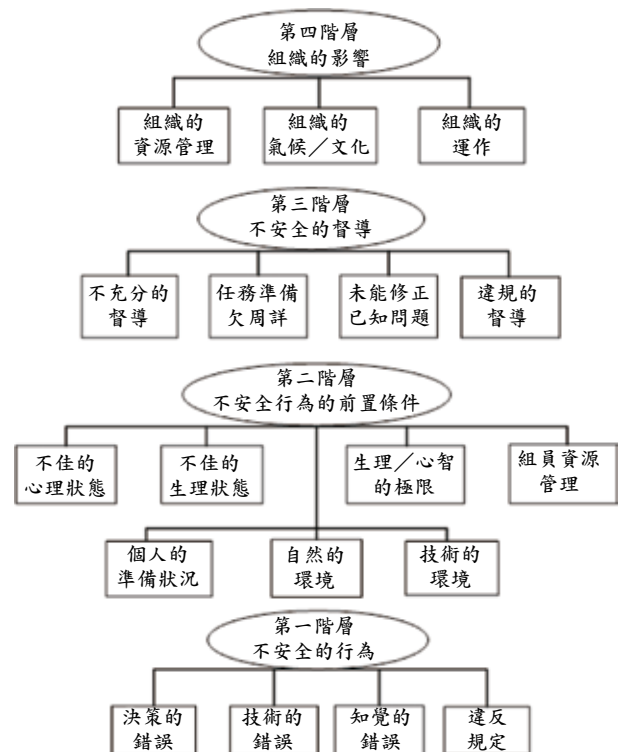
Shappell根據Reason(1990)的「顯性與隱性的人為錯誤」的理論，及針對美國海軍飛安事件失事調查與分析之人因觀點，所發展出架構完整且包含組織管理層級到個別操作者的飛安事件之人為因素歸類系統；Shappell 及 Wiegmann(2001)認為HFACS的理論架構可藉由提供飛安專業分析「人為因素」之工具，來連結純理論與實際執行失事調查者之間的橋梁，因為HFACS包含了「顯性錯誤(active failures)」與「隱性錯誤(latent failure)」。

另外，Wiegmann 與 Shappell 研究(2003)發現，HFACS每一較高層級均會直接影響下一層級的各個子項目。

以「人為因素」分析架構與分析策略

的角度來看，HFACS是目前最為普遍之分析架構，也是當今研究飛安事件之原因分析與失事改善策略的主流。依據Wiegmann 及 Shappell(2003)所闡述的「人為因素分析與歸類系統(HFACS)」，將「人為因素」區分為四個階層總共十八個子項目(如圖二)。

• 層級1—「不安全的操作行為」：為大多數飛安事件的焦點，也就是所謂的「顯性錯誤」，因為飛行員的操作行為與決策直接影響到飛安事件的發生，而此層級包含「錯誤」和「違反規定」二大類，計有「決



圖二 人為因素分析及分類系統(Human Factors Analysis and Classification System, HFACS)

資料來源：Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A.(2003). A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System.

策的錯誤」、「技術(操作)的錯誤」、「知覺(感官)的錯誤」及「違規(例行、特殊)的錯誤」等四個子項目。

- 層級2—「不安全操作的前置狀況」：這個層級指出事故的潛在導因與明顯的錯誤，包含了「顯性錯誤」與「隱性錯誤」，同時也詳細說明了操作者(飛行員)不安全的操作之背景因素，包括「不佳的心智狀態」、「不佳的生理狀態」、「生理／心理的極限」、「組員資源管理」、「個人的準備狀況」、「自然的環境」及「技術的環境」等七個子項目。

- 層級3—「不安全的督導」：這個層級針對導致飛安事件的「隱性錯誤」，主要聚焦在較高階的督導者，以發掘出導致「不安全操作的前置狀況」的潛在原因，計有「不充分的督導」、「未計畫周詳之飛行任務」、「未能修正已知的問題」及「違規的督導」等四個子項目。

- 層級4—「組織(管理)的影響」：此層級檢驗的重點圍繞在最易被忽略的高階管理階層，且此層級潛在的「隱性錯誤」亦是最難發掘的；因為能直接影響督導階層與操作者執行任務的潛在因素與決策，幾乎都與組織的管理、人事獎懲制度、人員之考訓與篩選有關，其包括三個子項目：「資源管理」、「組織氣候(文化)」與「組織運作」。

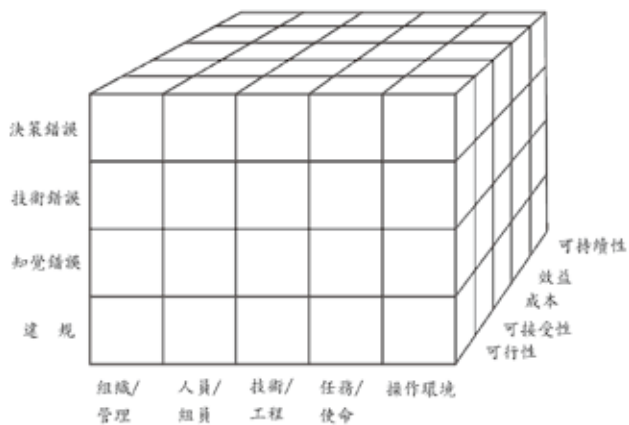
依據Wiegmann & Shappell(2007)運用HFACS分析架構探討美國於1990年至2002年期間所發生的1020件民航機意外事故原因。其中與技術錯誤、決策錯誤、知覺錯誤及違

規等「不安全的操作行為」相關人為錯誤佔56.7%，與「不安全的前置條件」相關者佔38.6%，而與「不安全的監督」及「組織影響」共佔4.7%。另Li、Harris及Yu(2008)以HFACS架構分析我國籍的民航客機於1999年至2006年期間所發生的41起意外事故之調查報告，並經統計分析後發現HFACS之第四階層組織的「組織的運作」所發生的隱性錯誤，會使得第三階層產生「不充分的督導」，並影響第二階層的「組員資源管理」進而造成第一階層的「決策錯誤」及「技術錯誤」現象發生。由於飛行設備等複雜系統是由人類所設計、操作及管理，理所當然意外事故發生或多或少與組織管理階層的決策及作為有關，但若能在事前察覺並改正潛在錯誤就能預防、阻斷事故發生(Reason, 1997)。

二、人為因素預防矩陣(HFIX)理論

為對「人為錯誤」發展有效的改善策略，Shappell 及Wiegmann (2009)年提出「人為因素預防矩陣(Human Factors Intervention Matrix, HFIX)」。HFIX係採用直覺式、三維度的架構(如圖三)，因為導致人為錯誤發生的因素是多重關係而非一對一之關係，HFIX可讓決策者瞭解組織各個不同階層與不同人為因素之間的問題，及提供全面性的改善計畫，並能快速對所研擬的安全計畫之成本、可行性與效能建立整體概念(Shappell及Wiegmann,2009)。

HFIX縱軸所指的不安全的操作行為是事故現場最容易被觀察到的決策錯誤、技術錯誤、知覺錯誤、違規等4項顯性錯誤。



圖三 人為因素預防矩陣(Human Factors Intervention Matrix, HFIX)

資料來源：Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (2009). A methodology for assessing safety programs targeting human error in aviation.

其中，「決策錯誤」是指事故發生原因與不適當的操作、不瞭解程序、對飛機各系統的知識不充分、信心超過能力、對緊急狀況的處置錯誤等因素有關者(Wiegmann & Rantanen, 2003)，從失事調查報告中(DoD, 2005)，常見的決策錯誤行為有：風險評估不當、任務優先順序錯置、因操作過當或不足而引發的緊急狀況、忽略警示訊息及選擇錯誤的因應計畫；與「技術錯誤」相關的事故係肇因於不注意飛控系統、目視不充分、操作技術不成熟、過度依賴自動系統、省略檢查表項目、過度操控飛機及飛行員素養不佳等因素，常見的技術錯誤行為包括，操作不當、使用錯誤的查核表、作業程序錯誤、視覺掃描不充分、緊急應變措施不當；「知覺錯誤」是指事故發生原因與空間迷向、視覺幻象、誤判距離(高度、速度)等因素有關者，而錯覺為導致知覺錯誤的主要因素；「違規」是指事故原因與不充分之飛

行操作、不遵守航管之指示、違反規定與SOP、操作未經授權之課目、操作超過飛機極限之課目、冒不必要的風險、未能預先獲取正確之資料等因素有關者。常見的違規行為包括，經過風險評估而違規、例行性的違規、訓練不足所引起的違規。

HFIX的橫軸為五項預防人為錯誤的途徑，其中「組織／管理」途徑策略著重於組織如何改變其管理及監督機制，來提升飛行安全；「人員／組員」途徑策略著重於如何透過人員的選、訓、用、留制度來提升個人與整個團隊之警覺性及工作滿意度，以促進飛行安全；「技術／工程」途徑策略著重於工具、技能、工作輔助設備之改善，來提升操作人員的績效表現或安全；「任務／使命」途徑策略著重於調整操作人員的任務，以減少人為錯誤發生之頻率及其對安全之衝擊程度；「操作環境」途徑策略著重於改善工作區域周邊自然及人為環境來提升飛行安全。Chen、Chi及Li(2013)以HFIX架構分析民航公司於2009年至2011年間所發生31件與人為錯誤有關之調查報告，其中調查人員所提出的72項建議中，與「組織／管理」途徑有關的建議事項可歸類為：訂定合宜法規與作業標準、運用資訊科技與管理政策建立內部溝通管道、制訂符合組織目標的專案計畫及人力資源管理的政策等4項；屬於「人員／組員」途徑的建議事項包括：人才甄選、教育訓練、工作指派、激勵制度、組員互動等5項類別；屬於「技術／工程」途徑的建議事項包括：裝備的設計採購／故障維修、定期裝備保養／檢查等2類；與「任務／使命」途

徑相關的建議事項包括：工作流程改造、標準作業程序的擬定及運用等2類；與「操作環境」途徑相關的建議事項包括：降低自然環境(包括天候、氣象、雲霧或沙塵等環境現象)對作業人員的影響、改善技術環境(包括駕駛艙、控制站、工作區)的設計與自動化程度來避免作業人員相互產生干擾等2類。

就實務而言，任何組織都無法同時提供充分資源來執行所有人為錯誤改善策略，即使有此能力也不是最佳的決策方式，因此在評估策略優先度時必須先針對組織之外部環境、內部條件與組織目標進行分析，以找到最重要且最容易成功的策略(MacMillan, 2000)。在HFIX分析架構中人為錯誤改善策略評估指標為，「可行性(Feasibility)」是評估改善策略能否在組織現有條件下被落實執行(Jeffs, 2008)；「可接受性(Acceptability)」則評估組織內部人員(包括上級主管、同事及部屬等)對於新改善策略之執行結果的期望及反應(Jeffs, 2008)；「成本(Cost)」，是評估執行改善策略所需付出有形及無形的代價，在策略執行時通常需付出財務成本及機會成本，而同時也會產生效益，因此一般使用成本效益法(Cost-Benefit Analysis, CBA)來衡量所付出代價與相對所產生的效益，以協助決策者明確瞭解專案的執行成效(Alberini, 2008)；「效能(Effectiveness)」則強調「做正確的事」及評估改善策略對於組織所設定目標之達成度(Duruk, 2004)；「可持續性(Sustainability)」，是評估改善策略執行結果在經濟、社會及生態等觀點下是否符合組織外部人員(包括民意機構、員工眷屬、社運團

體、媒體等)的期望(Zink, 2005)。

三、層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)

層級分析法(AHP)為一種多目標的決策方法，是在1971年由美國匹茲堡大學教授Thomas L. Saaty所提出，主要應用在不確定(Uncertainty)情況下及具有多數個評估指標(Criteria)的問題決策上。利用建立具有相互影響關係的階層結構(Hierarchical Structure)，使在複雜的問題上或在風險不確定的情況下作出有效的決策，亦或為了在分歧的判斷中尋求一致性。AHP法最常應用於政策規劃、預測、判斷、資源分配以及投資組合等各方面，能夠提供建立系統化結構清晰的層級體系，並賦予相同層級中的不同要素指標相異但具關聯性的權重，以作為決策者選擇與決策判斷的依據，並據以作出較佳的決定。運用AHP的基本步驟(Vaidya and Kumar, 2006)包括：

(一)陳述問題。

(二)分析影響因素：對於問題可能涵蓋的範圍宜儘量擴大，並將解決問題的可行方案、目標及其產出結果都納入考量。

(三)定義評估指標。

(四)建立層級結構：將與問題相關因素依序由最上層級的目標，經過中間層級的評估(可行方案)到最低階層的評估指標，建立層級結構。

(五)進行成偶對比評估：在同一層級的因素以兩兩相比方式評估相對重要性，若同一層級有 n 個因素時需進行 $n(n-1)/2$ 次的成偶對比，比較結果依其相對重要程度給予1(最

不重要)到9(最重要)的評分。

(六)將兩兩相比的結果填入對比矩陣，並利用數值分析方法進行計算，已找出所有可行方案及評估指標的最大特徵值(eigenvalue, λ)、一致性指標(consistence index, CI)、一致性比率(consistency ratio, CR)及權重。

(七)假若所得到的最大特徵值、一致性指標及一致性比率皆能令人滿意時，則依各因素的權重進行決策。反之則重新進行成偶比對的步驟，直到最大特徵值、一致性指標及一致性比率皆能符合期望為止。

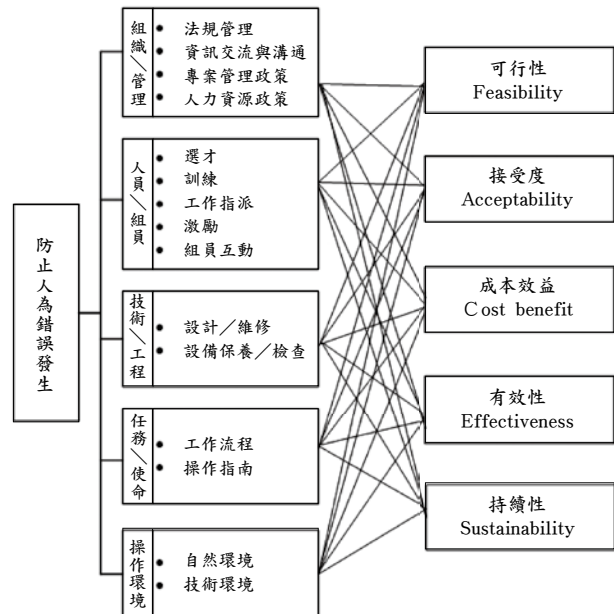
研究方法與研究設計

一、研究架構

本研究依據AHP理論及人為因素預防矩陣(HFIX)之X軸(不安全的操作行為)、Y軸(人為錯誤預防途徑及改善策略)及Z軸(策略評估指標)之內涵，發展人為錯誤改善策略評估架構(如圖四)。

二、問卷設計

本研究依Chen、Chi及Li(2013)研究的結果及媒體所報導國軍歷年重大飛安事件為情境，發展「人為因素預防矩陣(HFIX)評量表」。問卷共有15道衡量題項，在「組織／管理」途徑可運用的策略包括：法規管理、資訊交流與溝通、專案管理政策、人力資源政策等；在「人員／組員」途徑可運用的策略包括：選才、訓練、工作指派、激勵、組員互動等；在「技術／工程」途徑可運用的策略包括：設計／維修、裝備保養／檢查；在「任務／使命」途徑可運用的策略包括：



圖四 人為錯誤改善策略評估架構

資料來源：本研究

工作流程、操作指南；在「操作環境」途徑可運用的策略包括：作業環境、技術環境。

三、評估指標

本研究發展「人為因素預防矩陣(HFIX)評量表」之目的在於瞭解不同途徑的改善策略能否在空軍各聯隊落實執行，及改善第一線空勤／地勤人員的不安全的行為，所採用的評估指標包括：

(一)可行性(Feasibility)：是指改善策略能否在聯隊現有條件下被落實執行。衡量可行性的因素包括：

1.後勤支援能力：負責維修、補給、航管…等與飛行安全相關的地勤人員對改善策略之支持程度。

2.資源分配情形：從司令部到聯隊的主官對於執行改善策略所需人力、物力、財力

等資源的支持程度。

3.時機：改善策略推出的時間點是否符合聯隊成員的期望，例如與目前任務重點的相關性、各單位勤務負擔。

(二)可接受性(Acceptability)：聚焦於改善策略執行後，可能產生的結果。衡量可接受性的因素包括：

1.對戰備任務影響：執行改善策略是否影響表訂戰備任務，例如飛行員因行政工作、教育訓練增加而導致飛行時數減少。

2.風險：執行改善策略是否會對聯隊形象、人員自尊產生負面影響，例如退伍人數上升、人員士氣低落。

3.組織文化影響：國軍固有的階級服從、層層節制、軍種本位等組織文化是否會影響改善策略的執行成效。

(三)成本(Cost)：當組織在執行專案計畫時需投入有形及無形的代價，而同時也會有執行效益回饋，因此本研究用成本效益(Cost-benefit)來評估改善策略。考量的因素包括：

1.成本部分：包括有形的財務成本及無形的機會成本。其中財務成本為購買裝備、人員教育訓練等直接成本，及聯參幕僚等因協助執行改善策略而需投入的間接成本。機會成本為執行改善策略而造成的損失，例如空／地勤人員因執行改善方案而無法正常作息或休假、為達到改善方案的目標而造成超時工作現象。

2.效益部分：執行改善策略的效益除了有形的事故、違紀事項發生率下降外，同時改善內部溝通管道、作業環境、裝備妥善率等，也可營造團隊合作氛圍及提升人員向心

力。

(四)效能(Effectiveness)：是指改善策略對於司令部／聯隊所設定目標之達成度。衡量效能的因素包括：

1.達成與飛安直接相關的目標：執行改善策略是否提升第一線空勤及地勤人員之狀況警覺、飛行決策等能力。

2.達成與飛安間接相關的目標：執行改善策略是否提升國軍形象、國防施政滿意度等目標。

(五)可持續性(Sustainability)：是指司令部／聯隊所處環境的利害關係人(上至立法院、監察院，下至單位所屬官兵，及基地周邊居民、社運團體、媒體等)對於改善策略的認同程度。衡量可持續性的因素包括：

1.執行成效：改善方案對於事故的預防效果是否能達到利害關係人的預期目標。

2.社會責任：改善方案內容是否與目前的社會脈動一致，例如保障人權、環境保護、節能減碳等議題。

3.環境變遷：所執行改善策略是否符合當前國防政策及國際趨勢，例如人員精簡、守勢戰略、反恐制變等。

研究結果與討論

本研究之主要研究對象為來自空軍各聯隊的人員代表共計55位。其中，飛行單位主官共12位，另部屬43位分別為空勤人員(飛行員及座艙組員)18位、地勤人員(維修人員及航／戰管人員)25位進行問卷調查。回收後透過層級分析法(AHP)進行一致性檢定分析，檢驗填答內容是否具備一致性，其中一

致性比率(CI)小於0.1 (Saaty,1980)之有效問卷為45份，分別為飛行位主官10位、部屬為35位(空勤人員14位、地勤人員21位)，有效問卷為總發出份數之81.8%。

有關空軍各聯隊之飛行單位主官及部屬對於防止人為錯誤發生之預防途徑與改善策略之權重值及順序綜整如(表一、表二)所示。

由本研究的問卷結果可得知，飛行單位主官對於預防途徑之重要度依序為任務／使命、組織／管理、人員／組員、技術／工程、操作環境；對擔任空／地勤的部屬而言，其順序則為任務／使命、人員／組員、操作環境、組織／管理、技術／工程。

由上述的比較次序中，可發現「組織

／管理」、「任務／使命」等2項途徑在主官與部屬之間皆超過0.16；另外「人員／組員」、「技術／工程」、「操作環境」等3項途徑則有所差異，主官部分低於0.16，而在部屬部分卻超過0.16。

單位主官與部屬皆認為在防止人為錯誤發生之預防途徑中，「組織／管理」、「任務／使命」等2項相當重要。「組織／管理」途徑著重於改變組織的管理及監督機制來改善飛行安全；「任務／使命」途徑則透過調整操作人員的任務(例如任務性質、時機、工作壓力、工作負擔等)，來減少人為錯誤發生之頻率及其對安全之衝擊(Chen、Chi、Li, 2013)。故本研究推論，此2項預防途徑之改善策略在現有的條件下可立即施行，故

表一 主官及部屬對於防止人為錯誤發生的預防途徑及改善策略之權重值及順序

預防途徑	權重值		順序		改善策略	權重值		順序	
	主官	部屬	主官	部屬		主官	部屬	主官	部屬
組織／管理	0.1666	0.1675	2	4	法規管理	0.1597	0.1678	4	3
					資訊交流與溝通	0.1689	0.1699	2	1
					專案管理政策	0.1708	0.1679	1	2
					人力資源政策	0.1673	0.1646	3	4
人員／組員	0.1599	0.1699	3	2	選才	0.1648	0.1744	2	1
					訓練	0.1714	0.1682	1	4
					工作指派	0.1594	0.1703	4	3
					激勵	0.1409	0.1630	5	5
					組員互動	0.1647	0.1740	3	2
技術／工程	0.1571	0.1655	4	5	設計／維修	0.1589	0.1637	1	2
					裝備保養／檢查	0.1553	0.1674	2	1
任務／使命	0.1668	0.1701	1	1	工作流程	0.1678	0.1713	1	1
					操作指南	0.1659	0.1690	2	2
操作環境	0.1266	0.1684	5	3	自然環境	0.1543	0.1710	1	1
					技術環境	0.1047	0.1658	2	2

資料來源：本研究

在可行性、可接受性等2項指標的權重較高(如表-2所示)。此外，在「任務／使命」途徑中單位主官與部屬皆認為與「工作流程」相關的改善策略較為重要，本研究推論應是執行相關此類策略有助減輕第一線空勤及地勤人員的身心負荷及工作壓力；而在「組織／管理」途徑中雙方皆認為「資訊交流與溝通」、「專案管理政策」的改善策略較為重要。

另一方面，單位主官與部屬在「人員／組員」、「技術／工程」、「操作環境」等3項途徑係為有所差異存在。其中「人員／組員」途徑著重於改善個人與團隊的績效表現來提升人員的狀況警覺與工作滿意度；「技術／工程」途徑著重於透過工具、技能、

工作輔助設備的改善，來提升人員之安全績效；「操作環境」途徑則著重改善作業環境(氣候、高溫、照明、噪音等)及技術環境(工作區配置及設計)來提升飛行安全(Chen、Chi及Li(2013))。本研究推論應是此3項預防途徑之改善策略有助於第一線空勤及地勤人員達成防止人為錯誤發生的目標，但因國軍在人員的選、訓、用、留等方面已有既定政策可循，且針對裝備、環境的改善標的廣泛及成本效益偏低，故在目前國防政策下較不容易獲得司令部及國防部高司單位的支持。

有關本研究對HFIX架構中5種人為錯誤預防途徑及其相關改善策略的探討，說明如后：

表二 改善策略在5項評估指標之權重值及順序

預防途徑	改善策略	可行性	可接受性	成本效益	效能	可持續性
組織／管理	法規管理	0.2506	0.1954	0.1668	0.1319	0.1206
	資訊交流與溝通	0.2573	0.1807	0.1726	0.1375	0.1213
	專案管理政策	0.2654	0.2074	0.1188	0.1430	0.1450
	人力資源政策	0.2234	0.1808	0.1868	0.1430	0.1153
	幾何平均	0.2487	0.1908	0.1590	0.1388	0.1251
	順序	1	2	3	4	5
人員／組員	選才	0.2078	0.2083	0.1668	0.1517	0.1384
	訓練	0.2300	0.2037	0.1236	0.1731	0.1352
	工作指派	0.2226	0.2294	0.1249	0.1542	0.1354
	激勵	0.2016	0.1453	0.2175	0.1292	0.1213
	組員互動	0.2378	0.1956	0.1560	0.1481	0.1396
	幾何平均	0.2195	0.1943	0.1543	0.1506	0.1338
	順序	1	2	3	4	5

技術／工程	設計／維修	0.2287	0.2148	0.0846	0.1755	0.1660
	設備保養／檢查	0.2395	0.2334	0.0604	0.2211	0.1527
	幾何平均	0.2340	0.2239	0.0715	0.1970	0.1592
	順序	1	2	5	3	4
任務／使命	工作流程	0.2428	0.2304	0.0730	0.1928	0.1722
	操作指南	0.2250	0.2250	0.2250	0.2250	0.2250
	幾何平均	0.2337	0.2277	0.1282	0.2083	0.1968
	順序	1	2	5	3	4
操作環境	自然環境	0.2437	0.2219	0.0818	0.1978	0.1508
	技術環境	0.2321	0.2394	0.0717	0.1911	0.1496
	幾何平均	0.2378	0.2305	0.0766	0.1944	0.1502
	順序	1	2	5	3	4

資料來源：本研究

「組織／管理」途徑包含4項改善策略，其具體措施(DoD,2005)「法規管理」策略方面是透過單位主官的參與及監督，來促使與飛行安全相關的航路資料庫、SOP及法規等文件資料之內容更具時效性及避免產生模糊空間；與「資訊交流與溝通」策略相關的措施為，改善單位內部的回報與回饋系統來強化指揮溝通程序、藉由單位主官的參與督促及透過事件案例宣導來改變組織文化及強化部屬之風險管理觀念；與「專案管理政策」相關的措施為，將飛安政策「法制化」，並訂定適切的行動方案及運用專案管理技術來促使目標達成、編列預算來研發／採購適切地裝備，以提升單位主官或監督人員對危安因子的警覺及評估能力；在「人力資源政策」策略則是將提升飛行安全能力作為人員選任、激勵、升遷之基礎，以形塑組織的安全文化。此4項改善策略之重要性依序為「專

案管理政策」、「資訊交流與溝通」、「法令與規定」、「人力資源政策」。依組織行為觀點學者的主張(Heinrich et al. 1980)，執行飛行任務的第一線空勤及地勤人員會發生人為錯誤甚至造成飛安事故，是肇因於組織的管理者及監督者未設定有助於促進飛行安全的基本條件(Reason, 1990)。因此本研究推論單位主官及部屬認為，上述「組織／管理」的改善策略除了可建立管理制度，並透過組織高階主管參與及激勵制度來形塑組織的安全文化外，同時能在聯隊現有的後勤支援能力、預算資源分配及時機等條件下落實執行，並且對於聯隊的戰演訓任務、人員士氣及組織文化等影響較少。

「人員／組員」途徑的5項預防措施的具體措施(DoD,2005)為：「選才」方面應依照人員之態度、經驗及體能等條件作為進用及晉升的基礎、對於任務所要求的人員資格

應於事前完成確認；「訓練」方面應定期聘請專任講師及舉辦教育訓練，並透過多元化及情境式課程設計來提升空勤及地勤人員的專業知識、技能與應變能力；「工作指派」方面應以人員之生理規律為基礎，尤其在演習期間應透過輪班方式來避免因工作疲勞而影響狀況警覺；「激勵」方面應建立客觀、公正的考核制度，並藉由適切的獎懲來強化員工的安全行為；「組員互動」方面應以經驗、個性、技能或其他關鍵因素能夠相容，作為組員搭檔基礎，並透過訓練來提升組員之間的溝通能力。依照社會心理學者對於減少飛安人為錯誤的主張(Helmreich & Foushee, 1993)，組員搭配要以飛行經驗及技術、人格特質為基礎，並經由教育訓練來促進工作夥伴之間的溝通與互動。因此本研究推論，「人員／組員」途徑的改善策略能在國軍強調階級服從、層層節制及軍種本位的文化下，促進團隊的向心力及建立合作、和諧的工作氣氛，故在可行性、可接受度及成本效益等評估指標上有較高重要性。

「技術／工程」途徑有2項改善策略，其具體措施(DoD, 2005)為：「設計／維修」方面應建立即時預警系統、導入安全防護系統以便在緊急狀況發生時飛機仍可進入「安全降落」模式，並且定期檢討更新技術與工具；在「裝備保養／檢查」方面，對於具有重要功能的裝備應隨時提供備份系統及訂定SOP以防止操作時之干擾或混淆。依照在人因工程及系統觀點(Edwards, 1988)，飛安事件的原因可歸咎為飛行員與飛機之介面設計不當或是運作不良等因素，因為操控現代化

戰機是一項非常複雜及動態的工作，飛行員須隨時與飛機性能及與駕駛艙儀表進行人機系統互動，以確保能安全完成飛航任務。由於「技術／工程」途徑的改善策略著重於改善人機之間的操控介面、飛行姿態顯示及導航裝置等自動化等設計，以降低人為錯誤的發生。因此本研究推論，此途徑的改善策略在評估指標可持續性(0.1592)的重要性高於其他途徑的改善策略，但考量需投入成本高以致其成本效益(0.0715)的重要性最低。

「任務／使命」途徑有2項改善策略，其具體措施(DoD, 2005)為：「工作流程」方面，使用查核表或自動化設備來減少操作者對記憶力依賴、建立組員交互檢查之作業模式以減少任務執行時發生錯誤、發展獎勵系統以強化操作紀律與服從SOP行為；在「操作指南」方面，設計明確及符合人因設計的作業流程及查核系統、刪除作業流程模稜兩可或無法執行的安全標準。依認知觀點學者的主張，飛行員的心智活動猶如一連串的資訊辨識、問題診斷、目標設定及策略選擇等資訊處理系統，當飛行員的部分心智活動無法正確處理資訊時就會產生錯誤現象(Wiegmann & Shappell, 1997)，由於「任務／使命」途徑的改善策略的措施可提升飛行員處理資訊能力，並透過任務重組來減輕飛行員的工作負擔及對記憶力、體力的依賴。因此本研究推論，此途徑的改善策略較符合單位主官及部屬的期望，因此在可持續性(0.0.2337)、可接受性(0.2277)、成本效益(0.0.1282)、效能(0.2083)及可持續性(0.1968)等評估指標均有較高重要性。

「操作環境」途徑有2項改善策略，其具體措施(DoD,2005)為：「自然環境」方面，注意與飛行任務相關工作區(包括機場跑道、滑行道、機堡、儲油槽及起落航線等)周邊有關天候、氣象、雲霧或沙塵等環境現象對飛行安全的影響、發現工作區周邊有自然／人為因素所造成的高／低溫、震動、噪音等干擾時應立即改善排出；「技術環境」方面，降低空勤及地勤人員作業區(例如駕駛艙、維修機棚等)中人員作業動線的相互干擾、確保儀表及感測器的可靠度及警示效果不受作業區的配置及容積影響。「操作環境」途徑之2項改善策略的重要度依序為，「自然環境」及「技術環境」，本研究推論應是單位主官及部屬認為改善「自然環境」對於提升飛行安全的效能較為顯著，但考量本途徑所對應的改善標的廣泛且投入經費較高，因此在國防預算有限情形下，其整體重要性最低。

結 論

根據Wiegmann & Shappell(2009)所提出「安全管理系統」流程，「人為因素分析與歸類系統(HFACS)」是分析飛安事件中人為因素的工具，從組織管理層級、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進行分析，以精確辨認出飛安事件之根源。而「人為因素預防矩陣(HFIX)」是在辨識出人為錯誤的型態之後，據以發展有效之改善策略與評估介入(intervention)策略之方法。目前美軍已針對人為錯誤擬定多項具體改善策略，且經本研究分析後發現，HFIX架構中的組織／

管理、人員／組員、技術／工程、任務／使命、操作環境等五項預防途徑在不同評估指標下，各有不同的特性。本研究發現，空軍各聯隊所擔負的戰備任務性質不同，所能運用地人力、物力、財力資源亦有所差異，因此可運用HFIX架構來發展人為錯誤改善策略，並運用層級分析法(AHP)評估不同改善策略在可行性、可接受性、成本效益、效能及可持續性等評估指標的權重(重要性)，以協助決策者選定最適，但能在聯隊現有條件下落實執行的解決方案，如此才能發揮資源投入的效益。

參考文獻

1. Bolkcom, C.(2002). Military Aviation Safety. The Library of Congress.
2. Panagopoulos, I. , Bond, S.J. (2011). Improving flight safety in combat training: A step forward. Paper presented at the International Conference on Quality and Reliability, 14-09-2011 - 17-09-2011, Bangkok, Thailand.
3. Stolzer, A. J., Halford, C. D., & Goglia, J. J. (2008). Safety Management System in aviation. Burlington, VT: Ashgate.
4. Hollnagel, E. (1998). Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM. Oxford: Elsevier Science.
5. Wicken C., Flach J., (1988). Information process. In: Wiener E, Nagel D (eds.) Human Factors in Aviation. Academic Press, San Diego, CA, pp.1 11-15

6. O'Hare D, Wiggins M, Batt R, Morrison D.,(1994). Cognitive failure analysis for aircraft accident investigation. *Ergonomics* 37:1855-69
7. Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A.,(1997). Human factors analysis of post-accident data: Applying theoretical taxonomies of human error. *The international Journal of Aviation Psychology* 7: 67-81
8. Edwards E. (1988) Introductory overview. In: Wiener E, Nagel D (eds.) *Human Factors in Aviation*. Academic Press, San Diego, CA, pp.3-25
9. Heinrich, H. W., Petersen, D., Roose, N.,(1980). *Industrial Accident Prevention: A Safety Management Approach*, 5th edn. McGraw-Hill, New York
10. 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.
11. International Civil Aviation Organization. (2009). *Safety Management Manual* (Document 9859). Retrieved from http://www.icao.int/anb/safetymanagement/DOC_98-59_FULL_EN.pdf
12. D. Wiegmann (2009), *Exploring the Limits of Human Performance*, www.irc.wisc.edu/file.php?id=269
13. Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (2001). Applying reason: The human factors analysis and classification system (HFACS). *Human Factors and Aerospace Safety*. 1(1), 59-86
14. Reason, J. (1990). *Human Error*. New York: Cambridge University.
15. Wiegmann, D. A. and Shappell, S. A.(2003)., "A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System," Aldershot, England: Ashgate,
16. Shappell, S., Detwiler, C., Holcomb, K., Hackworth, C., Boquet, A., Wiegmann, D. A.(2007). *Human Error and Commercial Aviation Accidents: An Analysis Using the Human Factors Analysis and Classification System*. *Human Factors*, Vol. 49, No. 2, pp. 227–242..
17. Li, W.-C., Harris, D., Yu, C.-S. (2008). 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*, 40, 426–434.
18. Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, England: Ashgate.
19. Shappell, S. and Wiegmann, D.,(2009) *A Methodology for Assessing Safety Programs Targeting Human Error in Aviation*. *The International Journal of Aviation Psychology*,19:3,252- 269
20. Department of Defense Human Factors Analysis and Classification System:

Published by DoD of United States, January 2005

21. Wiegmann, D., & Rantanen, E. (2003). Defining the relationship between human error classes and technology intervention strategies (Final Tech. Rep. AHFD-03-15/ NASA-03-5). Savoy: University of Illinois, Aviation Human Factors Division.
22. Chen, J.C., Chi, C. F., Li, W. C.(2013). The Analysis of Safety Recommendation and Human Error Prevention Strategies in Flight Operations. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Applications and Services. Part II. pp. 75-84.
23. Jeffs, C.(2008). Strategy management. SAGE publications Ltd. UK. pp.111.
24. Alberini,A., Kahn J. (2009). Handbook On Contingent Valuation. Edward Elgar Pub., 2009, pp. 103-04.
25. Duruk
26. Zink, K. (2005). Stakeholder Orientation and Corporate Social Responsibility as a Precondition for Sustainability. Total Quality Management, Vol. 16, No. 8-9, pp. 1041-1052.
27. Vaidya, S., Kumar, S.(2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. European Journal of Operational Research, 169, pp. 1-29.
28. Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

作者簡介

丁豐莞上校，空軍官校80年班，空軍指揮參謀學院93年班，成功大學交通管理系博士候選人；現為國防大學戰爭學院學員。

陳正中先生，中原大學企業管理碩士；曾任裕隆汽車製造股份有限公司工程師、樂文實業股份有限公司技術服務經理、財團法人國防工業發展基金會督導管理；現為台灣科技大學工業管理系博士生。

李文進備役上校，政戰學校心理系75年班，英國克蘭菲爾大學(Cranfield University) 航空心理學博士，獲有英國民航局(CAA)頒發之「個人飛行執照」、歐洲航空心理學會(European Association of Aviation Psychology)「飛行人因工程學專家」(Certificate of Aviation Human Factors Specialist)執照、國際人因工程學會(IEA)科技委員、與英國心理學協會(BPS)頒發之「性向測驗(Level A)與人格測驗 (Intermediate Level B)」使用執照；曾任空軍官校諮商科講師、飛指部副主任、總部心輔官、國防大學政戰學院心理研究所所長；現為英國克蘭菲爾大學航空學系教授。

