

出國報告（出國類別：其他）

「飛航事故調查中之人為因素」
視訊課程出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職稱：梁 能 副調查官

派赴國家地區：臺灣，中華民國

出國期間：110 年 11 月 09 日至 13 日

報告日期：111 年 02 月 11 日

目錄

| | |
|-----------------------------------|----|
| 摘要..... | ii |
| 一、目的..... | 1 |
| 二、過程..... | 1 |
| 2.1 授課講座..... | 2 |
| 2.2 課程安排..... | 2 |
| 三、訓練課程重點摘要與心得..... | 5 |
| 3.1 人為因素導論..... | 5 |
| 3.2 錯誤、違規與事故肇因..... | 8 |
| 3.3 人為因素分析／分類系統(HFACS)與案例演練..... | 13 |
| 3.4 航機修護中的人為因素..... | 15 |
| 3.5 HFACS 在修護的延伸應用(HFACS-ME)..... | 18 |
| 3.6 空間迷向與錯覺..... | 19 |
| 3.7 系統設計與自動化..... | 23 |
| 3.8 航空心理學概要..... | 25 |
| 3.9 安全文化..... | 26 |
| 四、建議..... | 27 |

摘要

飛航事故大多數涉及人為錯誤，調查人員必須具備獲取人為因素相關信息、運用分析研究工具和程序的能力，才能發現人為錯誤在所調查事故/事件中所扮演的角色，以及它所可能引發的作用和影響，然後提出改善、緩解或消除的對策方法。

本(2021)年度因應全球新冠肺炎疫情，人為因素訓練採用線上即時視訊互動課程方式進行，並選擇美國南加州安全管理學院(Southern California Safety Institute, SCSI)開設之對應課程 Human Factors in Accident Investigation (HFAI)為訓練標的，課程內容包括：人為因素導論、錯誤／違規與事故肇因、人為因素分析／分類系統(HFACS)與案例演練、航機修護中的人為因素、HFACS 在修護的應用(HFACS-ME)、空間迷向與錯覺、系統設計與自動化、航空心理學概要、安全文化等 9 大項。

一、目的

從各類飛航事故的調查歷程與發現中可知，大多數的事故都涉及人為錯誤。因此，調查人員必須具備獲取人為因素相關信息、運用分析研究工具和程序的能力，才能發現人為錯誤在所調查事故/事件中所扮演的角色，以及它所可能引發的作用和影響，然後提出改善、緩解或消除的對策方法。在飛航事故調查人員的培訓過程中，「飛航事故調查中之人為因素」這項訓練係劃屬基礎訓練項目，是每一位事故調查作業人員都必須具備的訓練之一。

因應全球新冠肺炎疫情，國家運輸安全調查委員會航空調查組 2021 年度之人為因素訓練採用線上即時視訊互動課程方式進行，並選擇美國南加州安全管理學院(Southern California Safety Institute, SCSI)開設之對應課程 Human Factors in Accident Investigation (HFAI)為訓練標的，課程內容包括：人為因素導論、錯誤／違規與事故肇因、人為因素分析／分類系統(HFACS)與案例演練、航機修護中的人為因素、HFACS 在修護的應用(HFACS-ME)、空間迷向與錯覺、系統設計與自動化、航空心理學概要、安全文化等 9 大項。

二、過程

本次 HFAI 訓練課程係按 SCSI 所在地美國加州的作息時間(太平洋標準時間, GMT-8)，於 2021 年 11 月 8 日至 12 日、每日上午 8 時至下午 4 時間進行授課，與我國所在時區(GMT+8)之時差為 16 小時，故對應本地之授課時間則為 11 月 9 日至 13 日之凌晨零時至上午 8 時，參訓期間之作息呈現完全日夜倒置的狀態。SCSI 考量此一狀況，特別提供課程期間的雲端全程錄影回放功能，讓學員在參訓期間可以針對未能即時充分瞭解、掌握的部份可透過影片再次複習熟悉，以確保訓練的成效。此外，授課講師亦運用了大量的實際案例影片輔佐說明，不僅加深學習印象更提昇了學員聽講的專注能力。

以下分別就授課講座及課程安排作一概述：

2.1 授課講座

本次授課之講座為擁有超過 35 年航空相關經歷的資深講師 Richard Reinecke，具備商用旋翼航空器和多引擎固定翼航空器的儀器飛行檢定資格。早期他在美國海軍陸戰隊擔任 CH-46 旋翼機的飛行教官，具有豐富的海上船艦起降經驗，同時也曾擔任海軍陸戰隊的武器／戰術專家、以及複合飛行中隊的指揮官。在歷經 23 年的軍旅生涯後，他卸下軍職轉入商務航空的領域，開始在阿拉斯加州的商務航空公司擔任培訓主管，並在接下來的 10 年當中開發、規劃並執行了眾多與情報蒐集、監視和偵察有關的航空服務項目。此外，他也是美國「國際商務航空營運標準(IS-BAO)」制訂計畫所屬「國際商務航空委員會(IBAC)」的審核委員，協助推動國際間商務航空的標準化，並促進高品質營運模式的導入與實踐。



圖 2.1 2021 HFAI 授課講座 Richard Reinecke

2.2 課程安排

訓練期間之課程配當表詳如表 2.1 所列。

表 2.1 2021 SCSI HFAI 訓練課程配當表

| 日期 / 時間 (太平洋標準時間) | 講題 |
|---|---|
| Day 1 2021/11/08 0800-0900 0900-1000 1000-1100 1100-1200 1300-1400 1400-1500 1500-1600 | 開訓式、講座介紹、課程說明、學員介紹 人為因素導論 錯誤／違規與事故肇因（上） 錯誤／違規與事故肇因（中） 錯誤／違規與事故肇因（下） |
| Day 2 2021/11/09 0800-0900 0900-1000 1000-1100 1100-1200 1300-1400 1400-1500 1500-1600 | 人為因素分析／分類系統 2.0 版 (HFACS 2.0) HFACS 2.0 案例演練：Piper Case Study 分組研討(1) 分組研討(2) 分組研討成果報告 人為因素分析／分類系統 7.0 版 (HFACS 7.0) HFACS 7.0 案例演練：PenAir Case Study |
| Day 3 2021/11/10 0800-0900 0900-1000 1000-1100 | 分組研討(1) 分組研討(2) 分組研討(3) |

| 日期 / 時間 (太平洋標準時間) | 講題 |
|----------------------|---------------------|
| 1100-1200 | 分組研討成果報告(1) |
| 1300-1400 | 分組研討成果報告(2) |
| 1400-1500 | 航機修護中的人為因素(上) |
| 1500-1600 | 航機修護中的人為因素(下) |
| Day 4 2021/11/11 | |
| 0800-0900 | HFACS 在修護的應用 |
| 0900-1000 | HFACS-ME 介紹 |
| 1000-1100 | 案例探討：MD-88 |
| 1100-1200 | 案例探討：Swiss Air 111 |
| 1300-1400 | 空間迷向與錯覺 |
| 1400-1500 | 航空心理學概要 |
| 1500-1600 | |
| Day 5 2021/11/12 | |
| 0800-0900 | 系統設計與自動化 |
| 0900-1000 | 案例探討：Air France 447 |
| 1000-1100 | 案例探討：Asiana 214 |
| 1100-1200 | 安全文化：飛行員的態度 |
| 1200-1230 | 結訓式 |

三、訓練課程重點摘要與心得

本梯次 HFAI 之訓練係採複合式(Hybrid)方式進行，即同時有現場的面對面授課(in-person)、以及網路的視訊連線，透過現場的寬螢幕與即時視訊會議專用設備同步進行，讓現場的講座和學員、與線上的學員間得以透過畫面即時的看到彼此，也能夠隨時提問與回應，提供了良好的遠距教學連線品質。總計有來自 8 個單位的 17 位學員參與本梯次的訓練，其中 4 位在現場課室，其餘 13 位則透過 Zoom 線上視訊會議平台進行即時連線。



圖 3 參訓單位與視訊實況

課程中所使用的各項教學材料，包括講義、投影片、探討案例、影片等等資料，於訓練完成後均存放於 1 只 USB 隨身碟中提供予每位參訓的學員，實為 SCSI 十分貼心的服務。在此謹將訓練過程中各項課程主題之重點內容摘要與心得彙述如下：

3.1 人為因素導論

「人為因素」是什麼？引用澳大利亞運輸安全局 (ATSB)的描述，人為因素一詞起源於航空，它在 1940 年代的文獻和英國皇家空軍事故調查報告中即有非正式使用，直到 1957 年才被正式提出，而探討人為因素的主要目的就是要瞭解人類的行為表現與注

目事件的關連性。在航空領域中，人為因素的相關知識被用於優化人與其工作環境、系統之間的配合程度，以達到提高安全與效能的雙重目標。早期的人為因素較多著墨在人體工學(Ergonomics)或人因工程(Human Engineering)，著重在對人類的行為和狀態的瞭解，以找到產品、設備和系統的最佳設計方法，或者是使用的程序或姿態，期待透過良好的操作、使用環境以實現最佳的安全性、效率和滿意度。例如：符合人體工學的傢俱設計、最佳化的撐竿跳/高爾夫揮竿路徑等等。


Ancient HF

Early Egyptian dynasties made medical instruments, tools, weapons and household equipment that illustrated ergonomic principles.




1/13/2022 HFAI 19

圖 3.1-1 早期的人為因素：人體工學



In the early 1900s, the Gilbreths developed **motion study techniques** that are still used today.

- Body motions used in performing tasks
- Simplifying motions
- Establishing most favorable motion sequences



Brick laying: increased performance from 120 bricks/hr to 350

Photographed and filmed motions to study them:

- Cyclographic analysis: put light on workers' finger, and photograph the path.
- Chrono-cyclographic analysis: Put strobe on finger – get dotted lines on photo; spacing indicates speed.

1/13/2022 HFAI 25

圖 3.1-2 早期的人為因素：人因工程

英國皇家航空隊(Royal British Flying Corps)在 19 世紀初，在 100 個航空器事故案例中發現有多達 90 例與個人的缺失有關，是人為因素在航空領域探討與應用的濫觴。然而，對於飛行中人為操作的探討，則是到了 1930 年代、美國陸軍航空隊採用該國飛行員兼工程師 Edwin Link 所發明的“Link Trainer”飛行模擬器進行飛行員訓練才有更深入的探究與應用。當時的模擬器，是一個塗漆的木製機身，下方安裝風管，通過真空泵使模擬器可以有俯仰和側傾的動作。而美國空軍在第二次世界大戰期間的統計資料顯示，在各類型的戰事中總計約有 43,581 架飛機損失，其中可歸屬於戰鬥任務的約有 22,948 架，而非屬戰鬥原因則有 20,633 架，高達 47%的飛機損失竟是由於非戰鬥原因所造成！也因此美國軍方開始推動一系列有關人為因素的研究。時至今日，在眾多的人為因素模型發展歷程中，應用最為廣泛的莫過於英國曼徹斯特大學 James Reason 教授於 1990 年所提出的 Swiss Cheese Model。在後期的研究中，Reason 教授更提出了「安全文化」的概念，說明安全不僅要利用程序，更需要在適當的狀態、環境與觀念下共同型塑才得以不斷的維持。

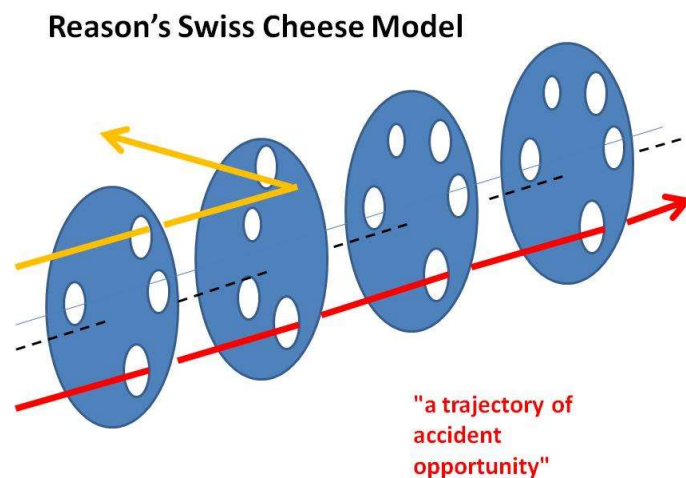


圖 3.1-3 Swiss Cheese Model

航空安全的演進，大致可分為四個階段：技術、人為因素、組織、系統。第一階段的發展，大多著眼在技術能量的提昇、輔助設備的增加、材料性質的強化這幾個方面，如：場站的助導航設施等級、氣候的觀測及預報能力、航空器或發動機的材料等等，都是較為直接、可以立即收到改善成效的項目。當技術的提昇達到一定的水準，但事故率卻未有明顯的降低趨勢時，才迫使大家從不同的角度思索，開始探討「人」在事故當中

所扮演的角色，進入了第二階段、也就是人為因素的時代。最初期的人為因素探討著重在「符合規定」，把人視為整體運作程序中的一個組成分子，並認為只要人能夠遵守規則或程序，就一定會是安全的。透過各式各樣的表單、交互檢查以及監控，期望儘可能的將錯誤的發生可能性降至最低。然而，單單著眼在個人身上時，不同個體的差異仍會帶來不同的運作結果，而且有某些問題即便由不同的人來處理卻仍舊存在！在經歷了1986年美國挑戰者號太空梭事故、以及同年的車諾比核電廠事故之後，讓人們對於安全有更進一步的認知，它不僅僅是技術的研發和人為因素的探討，更需要從組織的層面看待問題，主動的蒐集分析與安全有關的相關數據，儘早發現風險因子並處理，達到整體安全提昇的目的，這就是第三個階段－組織。最後，將上述各個階段的發展有次序的彙整連結起來，並將之層級化、流程化，形成一個架構，可以更全面的看待安全的各個面向、找出問題或風險加以控管，便進化到第四階段，也就是今天我們所看到的安全管理系統(SMS)。

民用航空發展至今，無論是技術層面的研發優化、或是人為因素的探討改進，已經讓飛航安全進入到全新的境界：航空器新穎、作業程序完善，使得事故率保持在相對較低的狀態。然而，只要還有事故發生，就表示我們必須透過調查，更深入的發現問題所在、加以防杜。相較於機械、設備等方面的技術調查，人為因素的調查難度較高。就以「疲勞」這個議題來看，屬於機械問題的螺栓疲勞通常是有形且可定量的，而屬於人為因素問題的飛行員疲勞則是十分難以捉摸又不易定性的。是以，在探討人為因素的過程中通常會藉助一些系統化的方法來進行以確保成效。

3.2 錯誤、違規與事故肇因

1. 事故肇因

傳統上，事故肇因的探討都是為了找出犯錯的行為，透過再教育的方式來避免相同的事件再次發生。而在肇因分析的模型上，較為著名的除了前節提及的Reason's Swiss Cheese Model外，尚有SHELL、5M、Functional Resonance、Heinrich三角形等等。其中，Heinrich三角形為一工業事故預防理論，它顯示出嚴重事故、輕微事故和未遂事故之間的關係，並提出如果能夠減少輕微事故的發生次數，那麼嚴重事故的數量也會隨之降低。此一模型係由Herbert William Heinrich於1931

年首次提出，此後再由其他研究者更新和擴展，並被推崇為 20 世紀工作場所健康和安全管理之基石。在他的理論架構中，傷害是由事故造成；事故則是由人員的不安全行為或工作場所的不安全狀態所引起。其中，人員的錯誤或過失通常與社會環境或文化習慣有關，而不安全的狀態則多是由於人的粗心、設備設計不良或維護不當造成。針對這些不安全的行為或狀態，Heinrich 也提出了改正的措施，3E：工程改正(Engineering)、教育訓練(Education)、落實執行(Enforcement)。

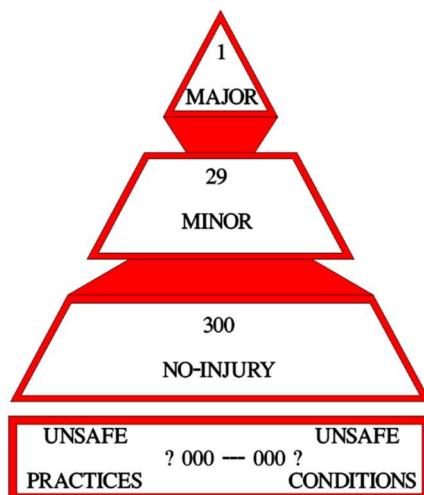


圖 3.2-1 Heinrich 三角形

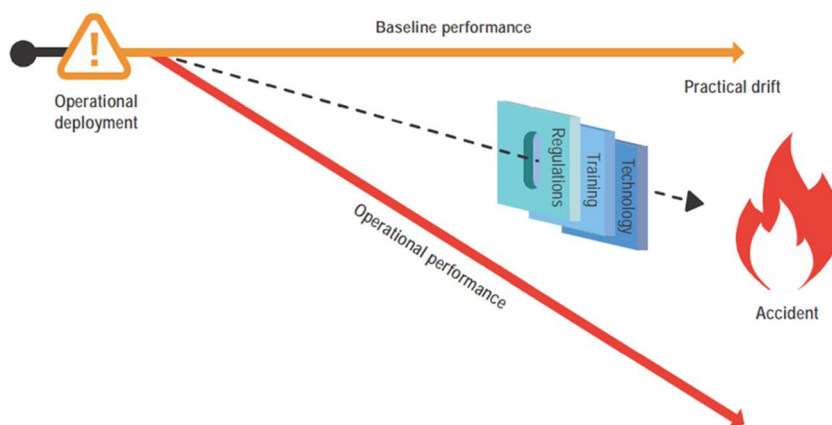


圖 3.2-2 作業預期與實際偏移

2. 錯誤與違規

然而，在我們所處的航空業環境中，預期的成果與實際之間總是存在著一定程度的偏差，即實際偏移，使得失誤、錯誤總是不斷發生。科技的進步雖然使得機械、硬體的失誤大幅降低，但是因著對於操作的精緻度要求愈來愈高，人為的失誤或錯誤反而愈來愈多。錯誤(Errors)，依據 Reason 教授的定義有二，一是未能達到預期結果的行動，二是無意中犯下的潛在不安全行為。這會延伸出二種型態的錯誤：

- 執行失敗：有適切的計畫，但未能確實執行 (slips / lapse)。
 slip 指行動未完全按照計畫執行；lapse 指記憶有誤。
- 計畫失敗：確實按計畫執行，但計畫內容未充足 (mistakes)。這通常是經過有意識的決策之後的結果，顯示計畫本身有缺失。

一個錯誤的發生，可以從執行面和計畫面來進行檢討，找出其中的根本原因來加以改善。由此也可看出，錯誤的本質並非蓄意行為，而是不預期的發生。錯誤不是故意的，無論一個人是否刻意避免，錯誤還是會發生。

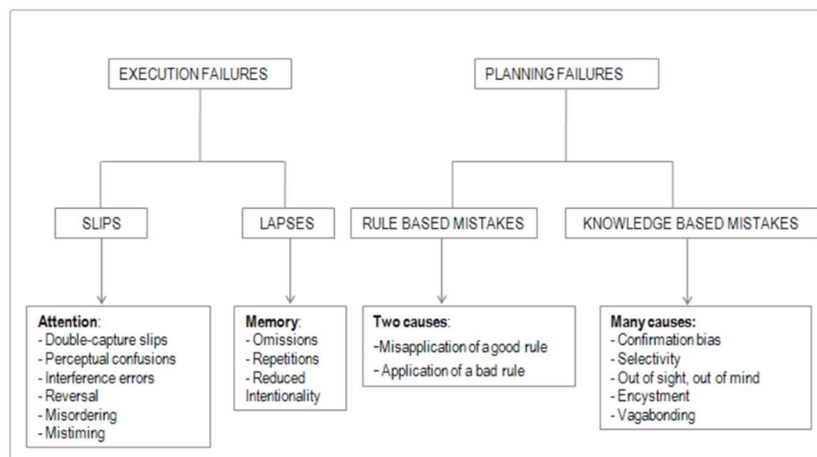


圖 3.2-3 錯誤類型分析

相較於錯誤的不可預期，違規則是蓄意的行為，而且是有意識的決定。違規的人，通常也不會想到違規行為可能帶來的負面後果。違規的行為大致可以歸納成 3 種類別：經常性違規、情境下違規、例外狀況違規。經常性違規通常與技能的熟練程度有關，情境下違規通常會與作業的規則、規定聯結，例外狀況違規則多與專業知識的深度或廣度對應。

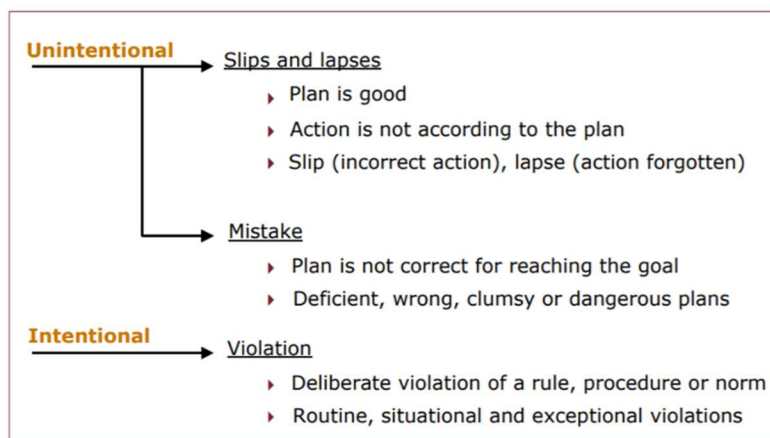


圖 3.2-4 錯誤與違規之分類

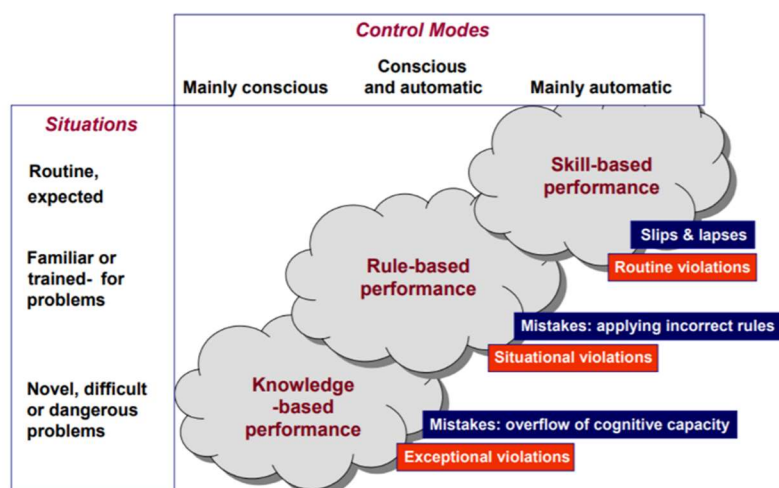


圖 3.2-5 行為準則分級

3. 行為準則

人的行為，大抵可以從三個面向來加以解析：技能、規則、和知識。

- 基於技能的行為：指在一般情況下經由學習而得到的常規技能。
- 基於規則的行為：依照“if-then”規則所的學習到的解決問題方法。
- 基於知識的行為：嚐試找出符合當下問題情境的處理對策。

是以，連結到前面的違規類別，就可以對應看出不同型態的錯誤、與不同類別的違規之間所存在的相互對應關係，如圖 3.2-5 所示，而判別的程序可參考圖 3.2-6 來進行。

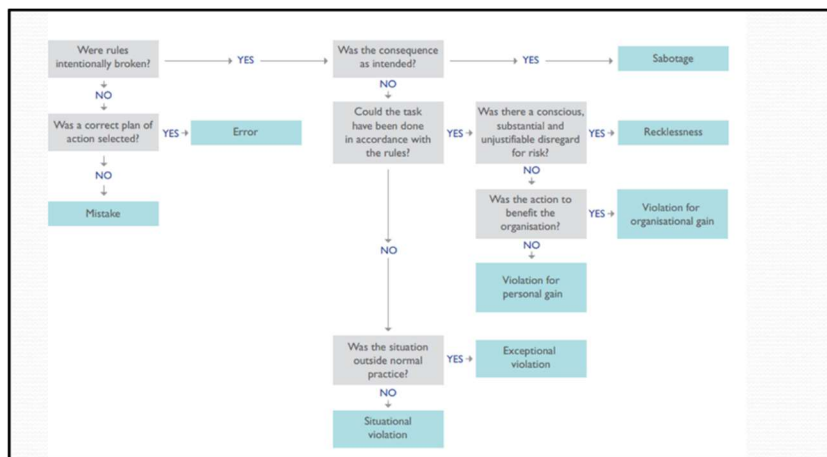


圖 3.2-6 錯誤與違規之判別

4. 錯誤事由解析

一個事件發生的原因可能很多，而這些原因通常可以歸納成 2 類：直觀因素 (active failure) 與潛在因素 (latent failure)。其中，直觀因素係指對事件具有直接影響的錯誤，也就是不安全的行為。這類的原因通常在執行系統檢查時就會發現，可以進行即時的修復或重新起動。潛在因素則是一種長期處於休眠狀態的錯誤，類似“系統中的病原體”，當有其他相關連的錯誤出現時才會被觸發而顯現出來，形成事件的肇因。針對人為錯誤的解析，大致可區分為以下 6 大面向：認知 (cognitive)、人體工學 (ergonomics)、行為 (behavioral)、航空醫療 (aeromedical)、心理 (psychological)、組織 (organizational)。而解析的最終目的，就是要能找出事件發生的根本原因，好提出相應的解決之道、對症下藥，以避免再度發生。

5. 錯誤緩解對策

為了降低錯誤發生的可能性，以及減輕發生後帶來的衝擊，必須研提緩解的對策，而首要之務是先確認要緩解的錯誤是屬什麼類型：直觀的、潛在的、基於技能的、基於規則的、基於知識的、還是組員資源管理 (Crew Resource Management, CRM)。確認了類型之後，針對與環境、軟硬體設備有關的錯誤，可以透過工程的手法來加以改善。而針對與人有關的錯誤，則需要透過訓練的方式來補強、改正。目前常用的訓練方式為體驗式訓練 (Experiential-based Training)，這是一種植基於實際場景的沉浸式訓練，使受訓者進入錯誤產生的環境條件，在引導中進行危害 (threat) 識別與

錯誤解析，使其對於錯誤肇因、以及所引發的後續事故之間的因果關係有清楚的認知。而對於辨識出的危害或錯誤，則必須建立對策、預防或緩解措施來加以控管，最實際的運用就是安全管理系統(Safety Management System, SMS)。

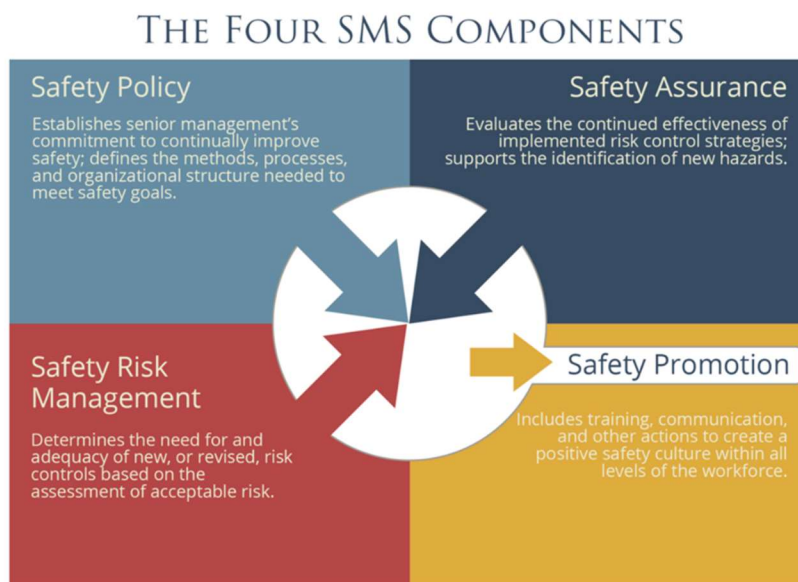


圖 3.2-7 安全管理系統

3.3 人為因素分析／分類系統(HFACS)與案例演練

人為因素分析和分類系統(HFACS)是由美國民航醫學研究所的 Dr. Scott Shappell 和伊利諾大學的 Dr. Doug Wiegmann 兩位學者共同開發的一個層級化分析架構，最初由美國海軍航空隊運用於飛航事故中有關人為因素方面的調查和分析。基本上 HFACS 是根植於 James Reason 的 Swiss Cheese Model，它為事故調查提供了一套工具，協助調查人員能夠有系統地識別最終導致事故的直觀和潛在錯誤，以進一步設定改善的目標以及預防、培訓等等工作。HFACS 的目標不是為了究責與定罪，乃在於瞭解並掌握導致事故的真正原因。此工具有幾個特點：

- 提供人為錯誤的結構化/系統化分析流程
- 關注系統性的問題而不是針對個人
- 假設人們都沒有把事情“搞砸”的意圖
- 不僅僅了解發生了“什麼事”，更知道它“為什麼”發生
- 一種新的、按事實資料推演的方法。

簡而言之，HFACS 就是協助調查者把每一個事故在 Swiss Cheese Model 中的「坑洞」，也就是危害因子，清楚的界定並匡列出來，使得理論模型有了實際的操作方法。

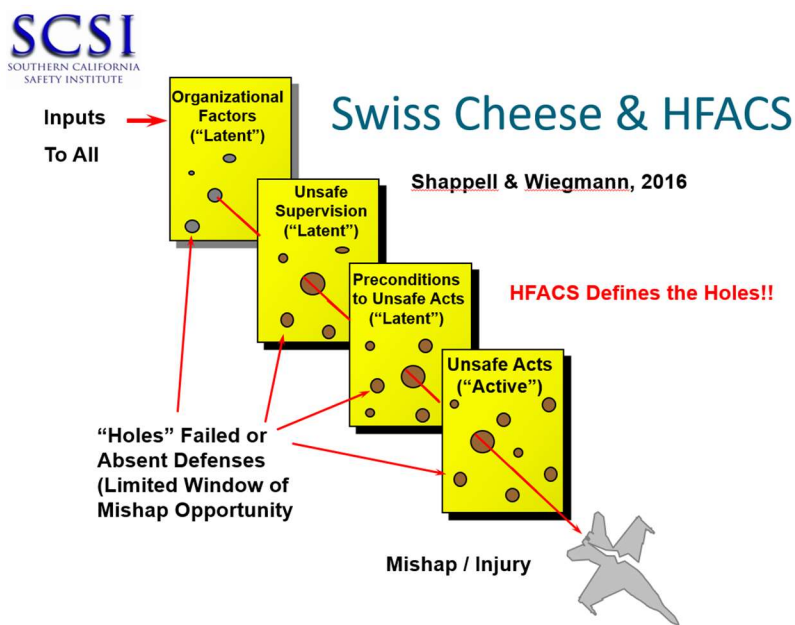


圖 3.3-1 HFACS 與 Swiss Cheese Model

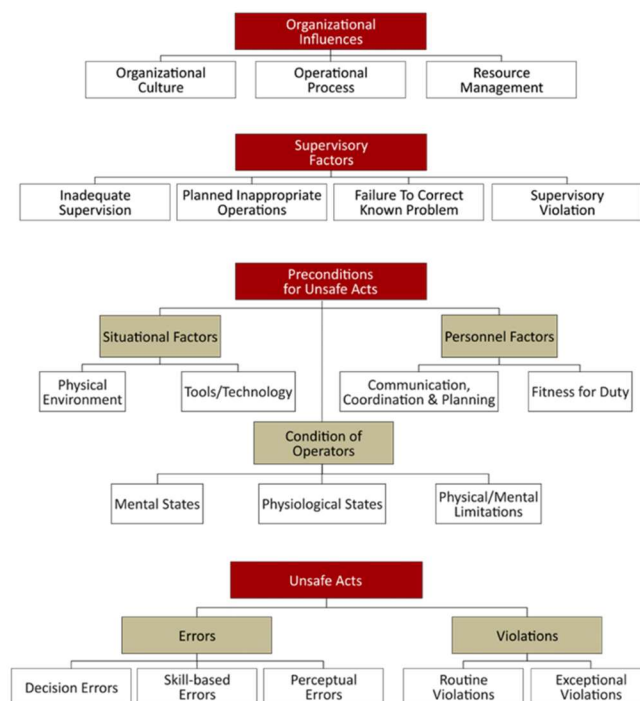


圖 3.3-2 HFACS 2.0 分析層級

最初採用的 HFACS 版本為「HFACS 2.0」，由美國國防部於 2005 年 7 月開始導入，2007 年 7 月起全軍皆使用此工具於事故調查中辦理人為因素的分析。此版本的 HFACS 採用層級化的表單，讓使用者依據所發現的危害，從表單中選取對應的項目，即可分辨該危害所屬的類別，明確定義危害屬性、驅動該危害的前提、以及是否連帶有管理及組織上的問題等。為了讓學員能確實掌握操作的要領，課程中特別安排了事故案例的實際演練，再透過分組討論報告、講座引導解析的方式使每一位參訓者對於 HFACS 這個工具都有實際使用的經驗。由於課程採實體與線上並行，分組時將現場的學員編成 1 組，而線上的學員則儘量將時區相近的編在同一分組中。本單位今年恰有 4 位同仁獲派一同參訓，所以直接編成 1 組進行討論，並推舉 1 人代表作結果的提報。在提報討論的過程中發現，HFACS 2.0 在危害類別的劃歸、以及屬性定義的擇定時，會出現「這個對，那個也可以，另一個也有點像」的模稜兩可、難以選定的狀況。講座此時表示，美國在過往運用的時候也有相同的困擾，所以在 2019 年公布了最新版的「HFACS 7.0」，如圖 3.3-3 所示。在此版本中，每種類別下的屬性狀態都有更明確的定義，並加以編碼，使用的時候可以很清楚的識別。此外，還提供了分析用的情境式問答表單，以及各個危害屬性的對應說明，透過表單的引導、明確的屬性對照，使用者得以清楚的選擇適切類別與屬性，讓 HFACS 成為簡單、易用的人為因素分析工具。

3.4 航機修護中的人為因素

在飛航安全的維繫中，航空器的維修保養是非常重要的環節，其中有絕大部份的工作都必須仰賴人員的悉心作業，一點點的小失誤都可能造成或衍生難以處理的後果。也因此，人為因素在航機修護領域的探討就更顯重要。隨著時代的進步，在科技發展的輔助下航空器上各類系統的可靠度已有大幅度的提昇，然而關於「人」的部份卻仍然存在許多可能引致錯誤且不易改變的因子，有來自心理層面的、生理層面的、以及工作環境或組織層面的問題，如圖 3.4-1 所示。講座則是將這些因子中最常見的 12 項及其狀態列舉出來，一一加以闡述，包括：「溝通、資源、自信、意識、團隊合作、知識」的不足，以及「外在壓力、疲勞、內在壓力、自滿、潛規則、不專注」的過多等。其中，外在壓力、疲勞、與內在壓力這 3 項常常會伴隨其他因子出現並使情況更為惡化。

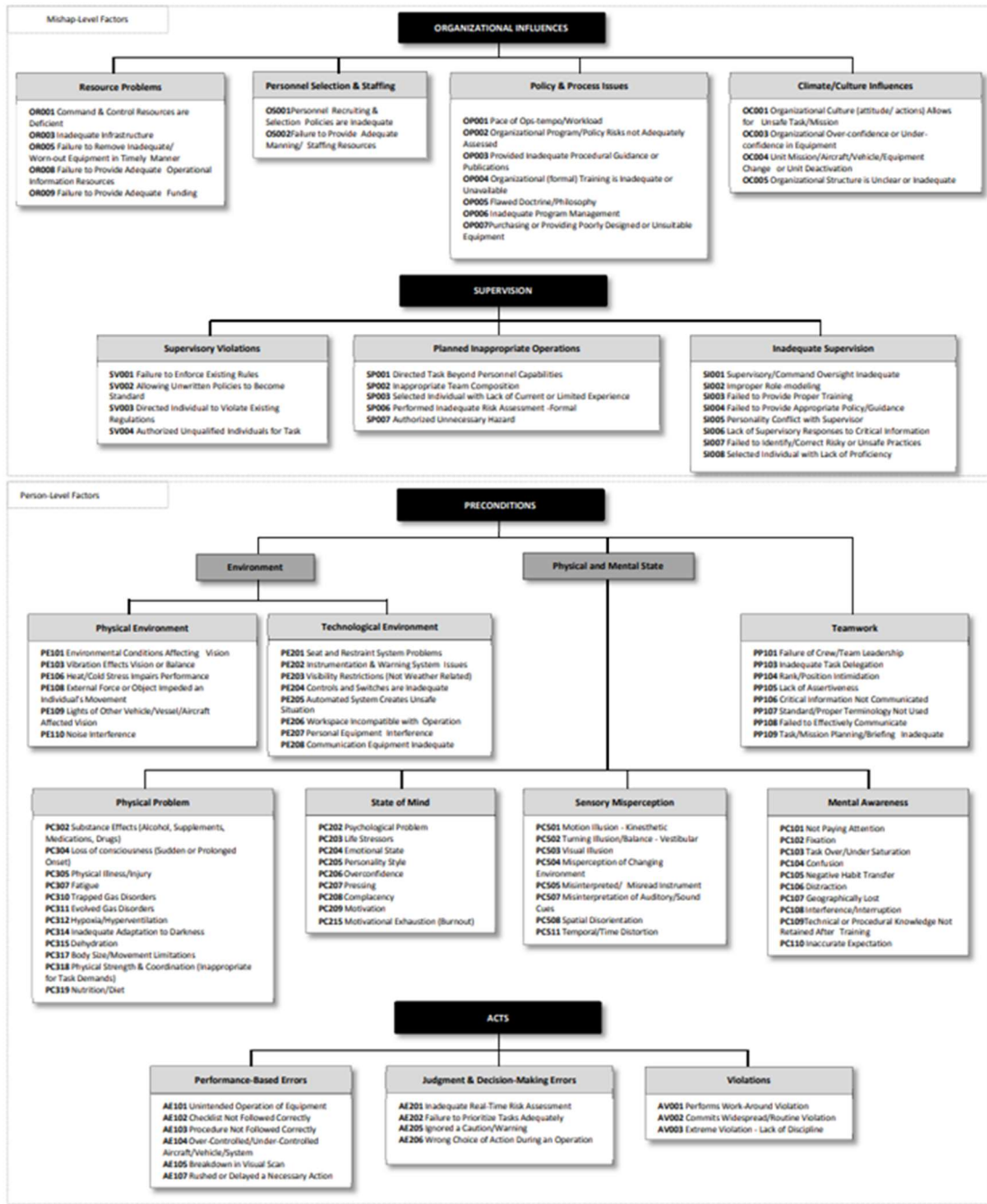


圖 3.3-3 HFACS 7.0 分析層級

由於修護範疇中的人為因素多屬於非間接、甚至是潛在的致災因子，必須藉助適當的方法來加以辨識、歸類並提出對策，也就衍生出了 HFACS 在修護領域的延伸應用：HFACS-ME。

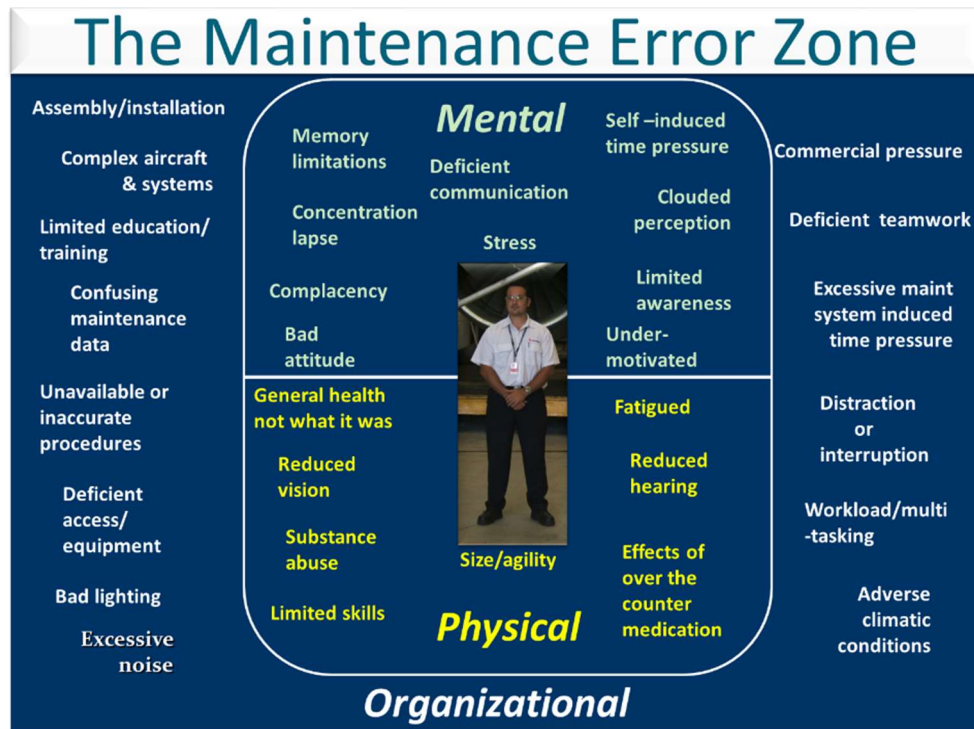


圖 3.4-1 修護錯誤的來源

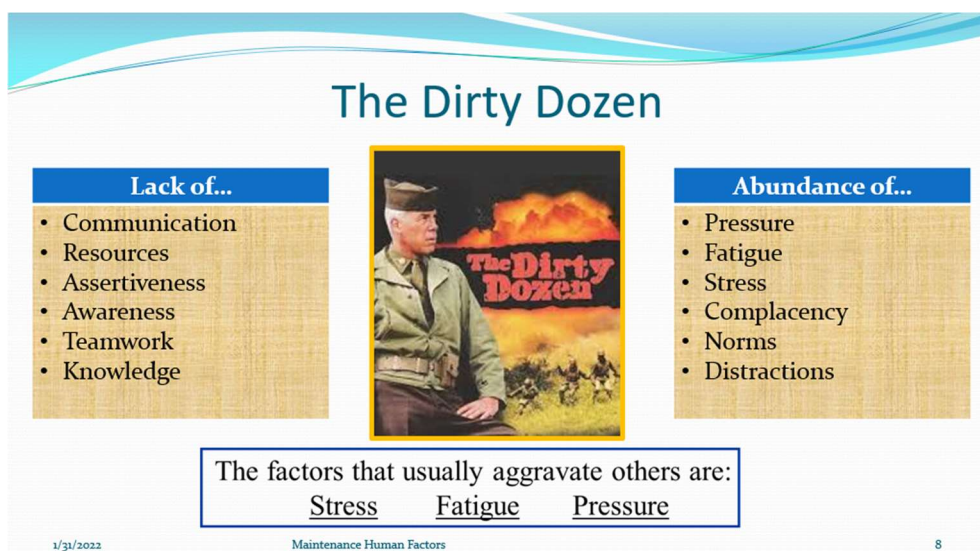


圖 3.4-2 常見的修護錯誤因子

3.5 HFACS 在修護的延伸應用(HFACS-ME)

在 HFACS 在修護的應用模型，如圖 3.5-1 所示。對比 HFACS，HFACS-ME 模型 (Maintenance Extension Model) 是從原本的 Supervision 再延伸出來的一個分支。從圖 3.5-1 可以看出，ME 的最上源是管理的狀態或條件，它不只會直接影響下一層的修護員狀態或其工作環境，也會直接再往下影響修護者的作業行為甚至是修護成果。此外，事故發生的可能因子來源更包括了修護者的行為、修護成果、或是由修護成果引致的飛行員操作，顯示此模型嘗試透過各種不同的角度來解析修護中的人因為素，也凸顯了飛航事故中修護因素的高佔比與關鍵性。

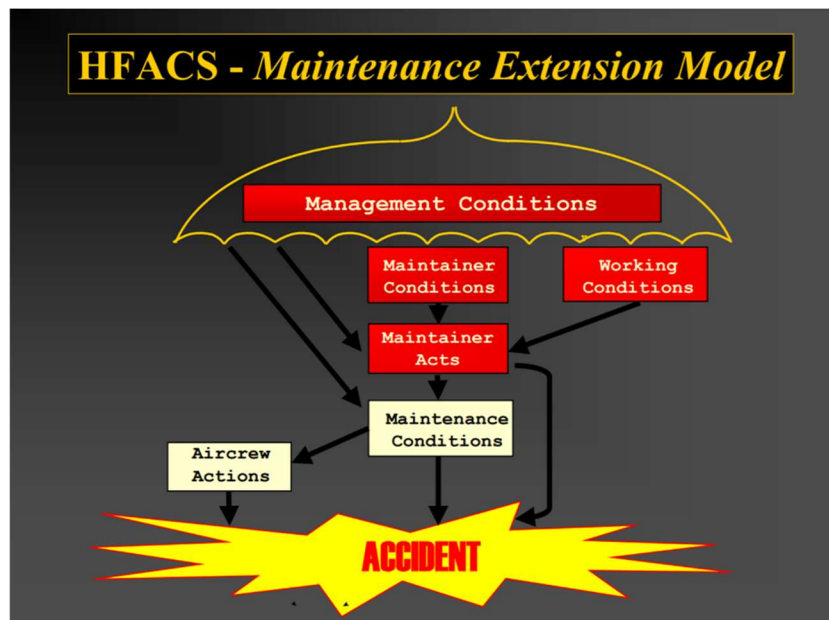


圖 3.5-1 HFACS-ME 分析模型

如同 HFACS，在 HFACS-ME 中同樣採用層級式的架構來解析事故中與修護有關的各項直接或間接影響因子。第一層是 4 個主要的大項目：管理條件、修護者狀態、工作環境條件、修護者作為。第二層則是上述 4 個大項目的向下延伸，管理條件部分包括組織及監督，修護者狀態部份包括人身狀態、成員狀態、工作準備狀態，工作環境條件包括現場作業的環境、設備、空間，修護者作為則是包括錯誤與違規。第三層則是與事件發生的狀態對應連結的因子，讓分析者能夠直觀的將事實資料與因子對比後歸類整理。上述的層級式架構如圖 3.5-2 所示。講座並透過一個 MD-88 發動機風扇輪轂於起飛

時飛脫的實際案例，讓學員瞭解如何將 HFACS-ME 運用在未來可能面的事故調查工作中。是以，HFACS-ME 的功能彙整如下：

- 識別“為什麼”，即事件發生的可能肇因及其來源
- 識別個人以及系統錯誤
- 促進有效預防策略的開發和實施
- 提供對事故、意外事件和危害有用的趨勢分析架構

| HFACS-ME Framework | | |
|--|--------------------------|---|
| Error Categories of HFACS Framework | | |
| First Order | Second Order | Third Order |
| Management Conditions | Organizational | - Inadequate Processes - Inadequate Documentation - Inadequate Design - Inadequate Resources |
| | Supervisory | - Inadequate Supervision - Inappropriate Operations - Uncorrected Problem - Supervisory Misconduct |
| Maintainer Conditions | Medical | - Mental State - Physical State - Limitation |
| | Crew Coordination | - Communication - Assertiveness - Adaptability/Flexibility |
| | Readiness | - Training/Preparation - Certification/Qualification - Infringement |
| Working Conditions | Environment | - Lighting/Light - Weather/Exposure - Environmental Hazards |
| | Equipment | - Damaged/Unserviced - Unavailable/Inappropriate - Dated/Uncertified |
| | Workspace | - Confining - Obstructed - Inaccessible |
| Maintainer Acts | Error | - Attention/Memory - Judgment/Decision-Making - Knowledge/Rule Based - Skill/Technique |
| | Violation | - Routine - Infraction - Exceptional - Flagrant |

圖 3.5-2 HFACS-ME 分析架構

3.6 空間迷向與錯覺

在飛航操作的人為因素中，空間迷向與錯覺常常是導致嚴重事故的主因。在人體內，對於「平衡」有 3 個主要的感知系統：視覺、位於內耳的平衡器官（也稱為前庭系統）、和體感系統。這 3 個系統依靠各種感覺受體收集信息，然後將信息發送到大腦，大腦將傳入的信息整合到唯一的方向識別模型中，在正常情況下可以提供高度準確的判斷結果，用來確定我們在地球表面（作為水平參考）和地球重力（提供垂直參考）所構成的固定

坐標系中的位置。上述系統在提供方向信息方面的重要性不同。到目前為止，視覺系統是 3 個系統中最重要的一個，它提供了大約 80% 的原始方位信息。在視覺提示較差或不存在的情況下，例如在惡劣的天氣或夜間，會造成多達 80% 的正常方向信息喪失。剩下的 20% 在前庭系統和本體感受系統之間平均分配，兩者都容易產生錯覺和誤解。因此，大多數的空間迷向事件都與不良的視覺線索有關，如：儀器天氣狀態、或夜間飛行中。另外，視覺、前庭、體感等三系統之間的差異也可能導致感知方向與實際方向之間的不匹配，再加上飛行員未意識或無法識別不匹配的原因、無法克服自身感覺並單純仰賴從飛機儀表獲得的外部方向訊息時，就會發生空間迷向事件。

是以，空間迷向(Spatial Disorientation, SD)是一種狀態，其特徵是一個人相對於地球表面平面的位置和運動有錯誤的感覺，使得人無法在所處的三維空間中正確感知重力方向，失去對天、地方向的正確判識能力。對飛行員而言，空間迷向是「無法在地球表面和重力所提供的固定坐標系內正確感知飛機或自己的位置、運動或姿態」，造成對飛機控制、性能與飛行參數的大小或方向產生感知。相較於空間迷向，另有一種迷向狀態是「位置迷向」，屬於二維空間的迷失，指人對於地球表面相關位置的意識喪失，以致無法對地面上的特定物體或地點保持其方向。在飛航事故的探討中，多會從三維、也就是空間的角度來進行探討。

空間迷向依據感知錯誤的嚴重程度可分為三大類型：

- **Type I SD**：為非意識狀態下的空間迷向，此時飛行員不會意識或感知到空間迷向的任何徵兆或表現。此時，飛行員迷失了方向，但不會意識到它可能導致的不正確或不充分決定。無法分辨天然（由環境感知而來）與合成（由儀器判讀而來）方向感知之間的差異，不會對飛行儀表（例如姿態指示器）可能的故障產生懷疑，並且認為飛機對操作輸入的回饋反應良好。
- **Type II SD**：為一種感知衝突狀態的空間迷向。飛行員能有意識地感知到空間迷向的某些表現，可能會在所感受到飛機正在進行的動作或狀態、與飛行儀器所顯示出的動作或狀態之間發現不一致，或者在他們對飛機方向的感知、與由窗外視野所獲知的訊息間有明顯的衝突。一般而言，在此類

型中飛行員的第一反應不是放棄儀表，就是誤解了地平線位置或其他窗外的地形特徵，想要依靠自身的感覺找回方向。

- **Type III SD**：為一種身體上和認知上皆無力處理的空間迷向，在此狀態下飛行員完全意識到有空間迷向的問題，但所引致的生理或情緒反應極度強烈，致使飛行員在認知上無法選擇適當的控制輸入來改正飛機。目前對於此一類型的空間迷向尚不完全清楚，有待進一步的飛行研究。

上述三種類型的空間迷向，其發生原因、彼此關連以及引致事故的流程狀態如圖 3.6-1 所示。

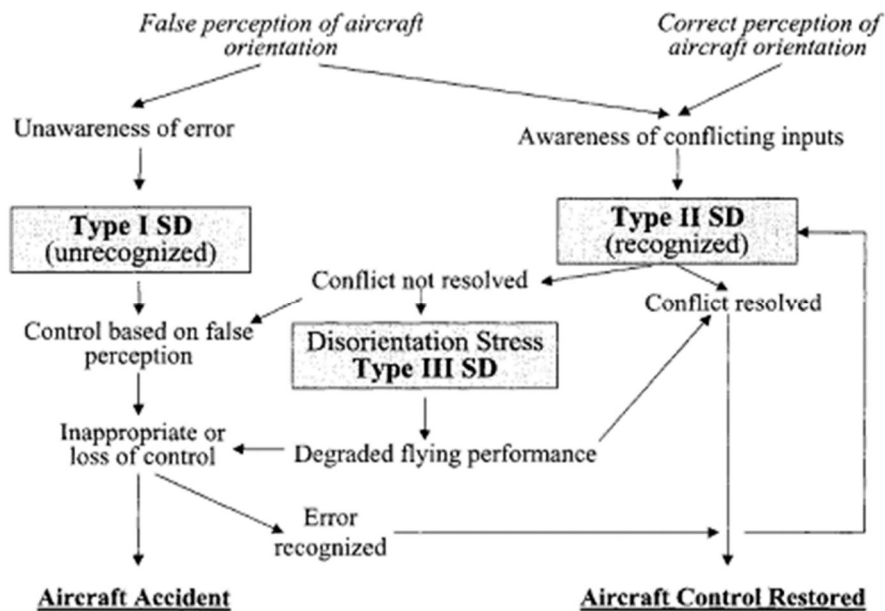


圖 3.6-1 空間迷向之類別關連

錯覺是感知器官所提供與當下環境不一致的訊息，會導致人類對於方向、狀態的認知產生錯誤。錯覺的主要種類包括視錯覺、方向錯覺、前庭錯覺、重力錯覺、體旋錯覺、以及科里奧利(Coriolis)錯覺。在前面的討論中已提及，視覺是最重要的定向感知器官，為人類維持方向能力中最重要感知系統，又稱為視覺優勢，特別是在姿態和高度的確定上至關重要。然而，視覺有一個明顯的弱點，就是對週遭環境參考的依賴。當失去了可供參考、對照比較的基準或物體時，就容易產生視錯覺或方向錯覺，如靜止湖面或晴空海面上的天地方向、全黑環境中物體或光點的所在位置或距離、直昇機的沙盲現象等等。

通常此類錯覺會造成錯誤的地平線辨識。前庭是位在內耳的器官，主司身體的平衡和運動感知，由半規管（感知旋轉動作）、耳石（感知直線加速）兩大部分組成，透過半規管內的耳液以及耳石內的晶體在運動過程中所產生的相對移動來提供感知訊號給大腦作出判斷。因此，當處於一穩定的運動狀態，如等速前進或旋轉時，在沒有其他可參考訊息的狀態下就會出現錯覺。按感知訊息的來源，前庭錯覺又可再細分為重力錯覺與體旋錯覺。

重力錯覺是耳石器官會造成另一種錯覺。在頭部運動時，如向上、向後或向前，耳石器官也會保持向上或向後或向前傾斜。所以，即使閉上眼睛，還是能夠分辨我們是面向前方、向上還是向後。在飛機加、減速過程中，耳石器官受慣性作用被向後或向前拉動，即使頭部沒有移動，也會有朝上或朝下的感覺。因此，人們將這些感覺解釋為好像飛機的機頭在上升或下降，即使它實際上並沒有發生，這些錯覺被稱為重力錯覺。在飛行過程中，飛機突然加速會產生爬升感，在減速過程中會產生機頭向下的感覺，而改正這種誤解的動作通常會迅速導致事故或方向無法維持的問題。

體旋錯覺是由於半規管器官無法準確記錄持續運動的狀態而導致的錯誤自轉感知。在角加速期間（向右側或左側傾斜），半規管的杯狀體由於慣性而偏轉到與旋轉相反的一側，因此來自半規管的訊息會告知大腦旋轉的速度和方向。然而，一旦達到均速，杯狀體就會回到靜止位置，此時大腦就不會接收到關於旋轉的訊息，造成實際上身體持續以恆定速度旋轉、但人們卻覺得他“沒旋轉”的錯覺。到了減速時，由於管內流體的運動，杯狀體將向相反方向偏轉一段時間直到流體運動停止。此時即便身體已停止旋轉，杯狀體卻仍提供大腦關於反向旋轉的訊息。因此，當在滾動或旋轉中處於均速狀態、或是減速期間，都會出現方向迷失的現象。上述錯覺都可能在缺乏地面或地平線的視覺信息的情況下發生。除此之外，人體還會因前庭系統受到刺激發生眼球顫震，造成對視覺極為不利的影響，致陷入難以改正的狀態，如：死亡旋轉／螺旋、反向轉動、翻滾反轉等。

科里奧利(Coriolis)錯覺則是同時刺激一組以上的半規管時會產生的一種異常感覺，會造成大腦對於實際動作狀的誤判。例如，當飛行員在右側滾動中向前移動他的頭，他

會感覺到向左偏航，但實際上他只是在單純的右側滾動中。由於這種感覺，可能會發生事故。

積極避免空間迷向或錯覺產生的對策，可以分為飛行前與飛行中的預防兩大部份來著手。在飛行前的預防部份，首先就是避免在身體和精神上不適合飛行時嘗試飛行。其次，則是避免在有藥物（處方藥、非處方藥或違禁藥物）影響的情況下飛行。第三，不要在有酒精影響或有酒精攝入後遺症（酒精後損傷）的狀況下飛行。第四，確保在飛行前有足夠的休息並且沒有受到疲勞的影響。第五，飛行前應補充適當的水份和飲食。第六，避免在有高度心理壓力和焦慮時飛行。第七，作好飛行計畫，不作超出計畫或不按計畫進行的行動，同時定期辦理儀器飛行、空間迷向的訓練與演示，儘可能的作好準備。

3.7 系統設計與自動化

在事故調查中，掌握系統設計概念的目的，是為了瞭解人類與複雜的系統設備互動時，可能會出現哪些常見的錯誤和問題。當我們將「人」視為設計的背景對象時，通常必須掌握相當多的資訊，包括：生理尺寸、資訊感知與處理能力、運動操控能力、學習能力、生理和心理需求、對物理和社會環境的敏感性、協調性、個體差異等等。而探討人與系統中其他元件之間相互作用關係的學科，就是人因工程學。(Scientific discipline concerned with interactions among humans and other elements of a system, International Ergonomics Society, 2000)以航空器的操作而言，最基本的人機互動介面就是儀表板，是飛行員獲取各項飛行資訊與參數的主要來源。儀表板的設計有 7 大原則：資訊必要性、易讀性、整合/相似兼容性、圖像化展示、主體固定或移動、預測性資訊、區隔化配置。這些設計原則背後的目的，都在於簡單、快速、準確的提供飛行員各項必要的資訊，避免資訊的混淆與操作上的失誤，以確保飛航安全。

由於人的可靠度會受生理、心理、環境等等太多因素的影響而變異，自動化便成為減輕操作負荷與壓力的絕佳方法。所謂自動化，就是利用系統組件消除或取代作業中需要人力操控的程序或設備，其類型包括控制、警告／警報、訊息等三種。自動化的好處，在於能減少人的工作量和疲勞、提供可靠且精確的日常任務處理成果、提高生產效率、以及更經濟的運作程序。然而，自動化也會帶來一些負面的影響，例如：操作複雜度增加、安全餘裕緊縮、飛行員需具備自動裝備故障的處理能力、以及實際演練飛行操作技

能的機會減少等等。所以，如何在自動化與維持人工操作間取得平衡，一直是飛行員訓練與航機自動化設計的課題。而最佳的自動化配置，就是「以人為本的自動化」(Human-Centered Automation, HCA)，其要旨在於「與人為操作協調的情況下達成既定目標」的自動化。因此，在自動化的過程中，操作者必然是設計程序的起點，因為他必須最終對的結果負責。HCA 設計的核心就是：「操作者必須握有主控權」，包括：

- 為了有效地掌控，操作者必須被納入系統中；
- 要納入系統，操作者必須被告知；
- 操作者必須握有監控自動化系統的權限；
- 自動化系統必須是可預測的；
- 自動化系統也必須能夠監看操作者的狀態；
- 系統中的每個元件都必須瞭解其他元件的工作目標

放眼現今的飛航操作環境，自動化的程度已經愈來愈高，然而各種從天候、生物、機械設備等等而來的無法預期的風險依然存在，仍須仰賴飛行員正確、果斷的判斷與合宜、純熟的飛行技術來趨吉避凶，完成任務。因此，持續精進手飛能力，適度善用自動化功能，才是維繫飛航安全的關鍵。



Sheridan & Verplank's 10 Levels of Automation

| Automation Level | Automation Description |
|------------------|--|
| 1 | The computer offers no assistance: human must take all decision and actions. |
| 2 | The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or |
| 3 | narrows the selection down to a few, or |
| 4 | suggests one alternative, and |
| 5 | executes that suggestion if the human approves, or |
| 6 | allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or |
| 7 | executes automatically, then necessarily informs humans, and |
| 8 | informs the human only if asked, or |
| 9 | informs the human only if it, the computer, decides to. |
| 10 | The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human. |

圖 3.7-1 自動化程度分級

3.8 航空心理學概要

在 HFACS 中，前提條件與危安行動這兩個類別中都有與個人性格相關的項目，如圖 3.8-1 所示。本節課程即在簡介性格，讓學員有初步的瞭解以應用在調查工作中。

Dolgin 與 Lambirth 在 2003 提出一個非常具代表性的人格特徵理論—OCEAN，簡述如下：

- 敞開(openness to experience)：願意從錯誤中吸取教訓，富有想像力，腳踏實地……
- 認真(conscientious)：執著、目標導向、有組織、自律、誠實、嚴謹、忠實、踏實、光榮……
- 外向(extroversion)：有趣、喜愛或保留，炫耀，愛現，自信，合群……
- 隨和(agreeableness)：與他人相處融洽、信任、富有同情心、樂於助人、利他…
- 神經質(neuroticism)：擔心，不安全，不安，緊張，焦慮，不穩定，敵對……

透過上述這 5 大項基本特徵不同比例的組合，就會產生各式各樣的人格特徵。航空心理學家歸納出 11 種對飛航安全有害的人格特徵：壓制（最危險）、自滿、錯誤引致的“時差”、過分的順從、無所畏懼、衝動、逃避、反權威、大男人主義、“走著瞧”癥候、“飛行秀”癥候等等。

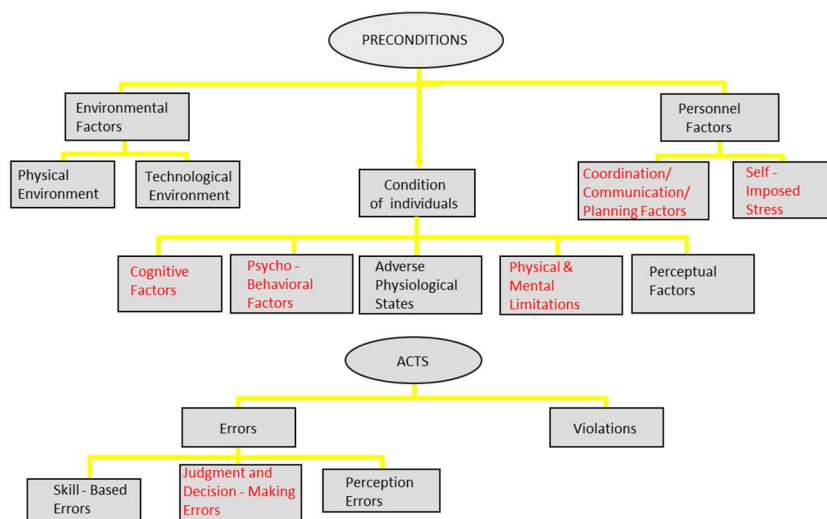


圖 3.8-1 HFACS 中與性格有關的項目

而在飛行員當中，則有 5 類的人是屬於高風險的族群：過度緊張／不緊張、低於平均水準（能力不足）、過度自信（我資深）、“最佳”機長/飛行員（“我是傳奇”）、一貫表現不佳（“吊車尾”），這些都需要特別加以關注

3.9 安全文化

所謂安全文化，簡而言之就是一個組織對於安全是如何的看待、評估和重視，它須要組織的各個層級都真正致力於安全的狀態下才能獲致。這是結合了各種組織與專業文化的綜合成效，它與組織文化緊密的連結在一起，但有時會與組織的主要目標呈現“競爭”的態勢。每個組織都有它特殊的安全文化內涵，而良好的安全文化乃是組織的各個層級的程序有效性、決策下達與問責制度的完整體現。James Reason 將安全文化透過 5 大領域來加以剖析：告知文化、彈性文化、學習文化、公正文化、報告文化。ICAO 則是透過安全管理系統(SMS)的構建，提供一結構化的管理方法來控制航空運輸營運中的安全風險。在此系統架構下，危害能被充分的識別出來，控制措施得以具體的施行，有效性將被確實的監控，為安全文化的具體實踐。SMS 是由 4 個主要的項目組成，包括：安全政策、安全風險管理、安全保證、與安全提昇（詳圖 3.2-7）。安全政策是由管理階層主導，訂定符合安全目標的方法、程序與組織架構；安全風險管理是釐訂需要控管的安全風險因子並採行因應措施；安全保證是持續評估安全策略的有效性，並辨識新的安全風險；安全提昇則是透過訓練、交流在工作場所建立正向的安全風氣。

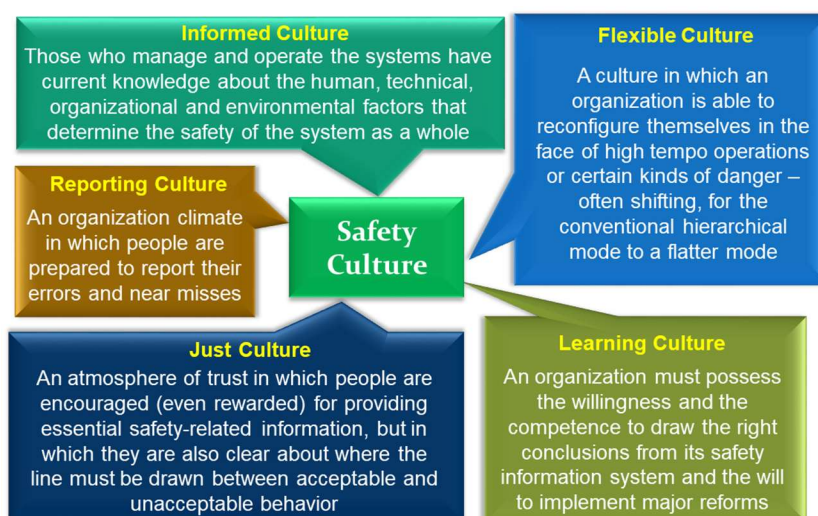


圖 3.9-1 Reason 的安全文化架構

四、建議

1. 派員參與不同國家、地區之調查機關或訓練機構所辦理有關人為因素之研討、訓練或國際交流活動，瞭解世界各國關注之人為因素相關議題、以及有關人為因素調查技術之在實際調查業務中之運作現況，作為我國規畫及調整飛航事故調查相關程序與作業細節之參考，精進調查技術。
2. 持續關注人為因素調查技術、分析方法與工具的變革，瞭解新技術、新方法與新工具對於調查工作成果或效能提昇之助益，透過內部研討與評估，研提適合我國運用之人為因素調查技術、分析方法與工具改進對策，以期精進、提升飛航事故調查技術與能量。