

出國報告（出國類別：進修_線上訓練課程）

參加美國南加州安全學院
航空事故人為因素調查

「Southern California Safety Institute
Human Factors in Accident Investigation」
線上課程報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：盧樹欣/航空調查組副調查官

派赴國家：台灣，中華民國（線上訓練課程）

課程期間：民國 110 年 11 月 08 日至 11 月 12 日

報告日期：民國 111 年 2 月 7 日

摘要：

在絕大部分的航空事故中都涉及人為失誤，因此事故調查員需要相關的資訊、工具以及調查程序去探究，所調查事故中人為失誤所扮演的角色。本會均會安排新進、尚未接受過人為因素課程訓練的調查人員，至國外相關安全調查機構研習航空事故人為因素之調查與技術。本次航空調查組選派四位調查人員，參加由美國南加州安全學院舉辦，自 11 月 08 日至 11 月 12 日為期 5 日之航空事故人為因素調查訓練課程。課程除了講述人為因素調查之基礎知識，人體生理因子與限制，各種分析事故成因的架構如 SHELL model、Functional Resonance Accident Model、Reason's Swiss Cheese Model 外，亦講解人為因素分析工具 HFACS，包含 2.0 版、7.0 版及 maintenance 版，並搭配相當多的案例實作分析與討論。課程設計盡可能讓學員體驗，人為因素調查是如何在航空事故事實資料的千頭萬緒中，以中立的態度，運用工具抽絲剝繭，勾勒出人為因素在該事件所產生的影響。資訊量極大且緊湊的 5 天課程，確實為參訓的學員描繪出航空事故人為因素調查的輪廓，但後續仍有賴學員對於分析工具使用的持續精進，方能更熟練地掌握人為因素調查的精要。

目次

壹、	目的.....	1
貳、	過程.....	2
	2.1 概述.....	2
	2.2 人為因素之濫觴.....	4
	2.3 事故成因分析理論.....	11
	2.4 Errors & Violations.....	16
	2.5 Dirty dozen.....	20
	2.6 HFACS.....	27
參、	心得.....	33
肆、	建議.....	34

壹、 目的：

人類自萊特兄弟首次動力航空器的持續飛行開始，至今已超過百年。這段時間中，航空的運用不僅日益廣泛，航空器及與飛行相關科技的進步更是日新月異。然而任何活動均可能會衍生事故，航空事故的原因，大部份都與人為因素牽連甚深。因此，在航空事故的調查與分析上，人為因素的部分一直都是重點。時至今日，事故中人為因素的調查，已發展出相當多的工具可供調查人員運用。本會藉由安排調查人員接受國外機構所開辦，關於人為因素調查的訓練，除了精進調查人員在調查工作技術與能力外，也期望藉由課程中與其他來自不同國家及單位學員的交流，增進調查人員國際交流與團隊合作的能力。本次國外訓練為美國南加州安全學院所舉辦，為期五天的「航空事故人為因素調查」。藉由基礎學理的講授，經驗的分享與傳遞，使受訓學員具備解析事故中人為因素所需的觀念與運用的工具，進而精進從事飛安調查的能力。

貳、 過程

2.1 概述

總部設在加州洛杉磯托倫斯(Torrance city)的南加州安全學院(Southern California Safety Institute, 後簡稱 SCSI)成立於 1987 年,是一所專注在包含航空、石油鑽探及醫療行業等產業安全以及訓練的機構,不僅提供產業安全的評估與諮詢外,也提供相關的安全訓練。在航空相關的領域,SCSI 提供了相當多樣的訓練課程,如航空事故調查以及安全管理系統等,課程的講師也都在航空產業從業多年,經歷豐富。本次所參加的航空事故人為因素調查,即為 SCSI 素負名聲的課程,此課程為複合式(Hybrid Course),也就是受訓學員可自行選擇參加提供實體課程,或是同步的線上課程。雖然美國已經開放外國人入境,但綜合考量新冠肺炎疫情依然嚴重,以及若參與實體課程返國後,還需要執行共計三周的防疫旅館隔離及自主健康管理,因此受訓學員與一同參訓的本組同仁均選擇參加線上課程。

本次課程的講師為講師 Richard Reinecke。Richard 曾為軍方飛行員,擁有定翼機及旋翼機操作的執照與經驗。Richard 從擔任部隊主官開始,便開始接觸飛行安全管理,在安全管理這個領域已累積了極為豐富的經驗。退伍之後不僅擔任民航業者的訓練主管,也同時在該公司推動運用安全管理系統做風險管理。他也在國際商用飛行委員會擔任檢查員,同樣也戮力在商務飛行領域推動安全管理系統的運用,以降低產業中人為因素所造成的風險。

課程開始前,先由學員各自簡短的自我介紹拉開序幕。參加本次課程的學員共計 18 人,有四位參加實體課程,其餘則參加線上課程。學員分別來自世界不同角落與多元化的背景。除了本會的四位學員外,還有來自監理機關如加拿大交通部(Transport Canada),製造商或是航機維護公司如空中巴士直升機(Airbus

Helicopter)，普惠加拿大(P&W Canada)，沙烏地航太工程公司(Saudi Aerospace Engineering Industries)，還有來自加拿大軍方，加州高速公路警察，及聯合國駐索馬利亞辦事處等性質各異之機構的學員。雖然背景不同，但相信所有學員都期望能經由此課程，更深入地了解航空業運作中，不管是航務操作、機務維護乃至航機或部件生產過程，由於人為因素所可能導致安全管理上的問題，以及如何運用工具追溯問題成因。

這個課程會以事故調查員的視角，運用 SHEL，Reason's 以及 Helmreich models 為架構，對人為因素在航空事故所扮演的角色做回顧與探討。課程中會對一些重要的觀念，例如不安全行為作嚴謹的定義與討論。接著循序漸進，介紹人為因素在航空事故調查的重要性，接著介紹廣泛運用在人為因素事故調查中的工具—HFACS。除了對不同版本的 HFACS 做整體介紹外，並搭配了案例的實作討論，讓學員在實作運用中，對 HFACS 有較完整的概念。由於講師講授課程的進度，是以較為彈性的方式，所以課程表以日為單位。以下是本次課程共計五天的每日課程表。

表 2.1 SCSI 航空事故人為因素調查課程表

	課程內容
November 08, 21	Welcome
	Intro to Human Factors
	Errors, Violations & Accident Causation
	Case study: L-1011&Yanky 72
	Case study: Piper
November 09, 21	Human Factors Analysis & Classification System (HFACS)
	HFACS 2.0 Case study
	HFACS 7.0
	HFACS 7.0 Case study

November 10, 21	Maintenance Human Factors
	Case study: Pen Air N686PA
	Case study: Crossed Wires
	Case study: The Right Connections
November 11, 21	HFACS- Maintenance(ME)
	Case study: MD-88 HFACS-ME
	Spatial Disorientation and Illusions
	System Design and Operator Error I
November 12, 21	System Design and Operator Error II
	Wrap-up and Presentation of Certificates

以下將就整個航空事故人為因素調查課程的內容擇要說明。

2.2 人為因素之濫觴

根據統計絕大部分的航空事故中都涉及人為失誤。英國空軍在二次世界大戰初期，因為飛行員失誤而造成的航機折損數量，約相當於因為戰鬥折損的數量。美軍在二次世界大戰中航機折損的數字也約莫相同：美軍在二次世界大戰的海外任務中損失了 43,581 架飛機，其中因戰鬥折損的為 22,948 架，非因戰鬥任務損失的航機則為 20,633 架，換言之，美軍在二次大戰損失的航機，有 47%並不是在戰鬥中損失的。所以英國空軍自二次世界大戰，才開始認真研究人為因素在航空業的影響。

Human Factors in Aviation



The study of human factors in aviation began in earnest during World War II. As the war started, the RAF was losing as many aircraft to pilot error as they were to enemy fire.

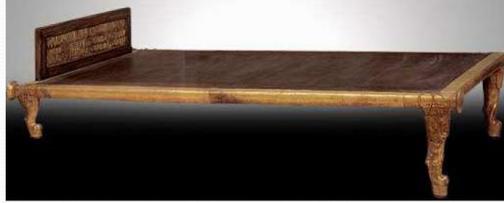
圖 2.2-1 航空產業中人為因素調查的萌芽

因此對於所調查事故中人為失誤所可能扮演的角色，事故調查員需要相關的資訊、工具以及調查程序去探究。這便是這個課程的目的，飛航事故調查員得以在事故調查時運用合適的工具與方法，確立事件中與人為失誤相關的議題，不論是在駕駛艙、航空管制、組織經營抑或是機務的範疇。

課程首先介紹人為因素的歷史。人為因素(Human factor)也稱為人因工程(Ergonomics)，是一門檢視人類行為及能力，藉以找到最好方式設計出，能達到最大安全、效率及滿足人類使用的產品、設備及系統的學科。早在古埃及時代，人為因素的考量，就已經出現在許多器物及用具的設計上。藉由設計符合人體使用需求的器物，達到了提升使用效率的目的。十八世紀的工業革命將人類文明帶入工業時代，除了在硬體上運用人為因素以提升效率外，還開始著重在程序上的改進。

Ancient HF

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



11/8/2021

HFAI

19

圖 2.2-2 古代人因工程(人為因素)設計範例

眾所周知，人類首次在重於空氣航空器上，進行受控、持續的動力飛行，是由萊特兄弟在 1903 年底完成。而發生在 1908 年 9 月，萊特兄弟所製造飛機的失事，則是航空史上動力飛行的第一起死亡事故。該事故造成了機上同乘陸軍軍官托馬斯中尉身亡。事故的直接原因，飛機製造者萊特兄弟認為是螺旋槳因應力斷裂導致飛行失控，之後並重新設計改善；而在其他部分，美國陸軍認為托馬斯中尉飛行時未戴頭盔--同在機上的奧維爾萊特有戴頭盔，因而導致在事故中頭部受傷致死。故而要求所屬，以後搭機均需要配戴頭盔。由結果來看，當時雖然沒有人為因素這樣的概念，但整個事故的調查處理程序，其實已經隱然呈現現代事故調查程序的雛型—事實調查，分析，並提出改善建議。人為因素這個觀念，真正具體出現在航空產業中，是在 1930 年代末期的英國皇家空軍調查報告中。但是直到 1957 年，人為因素這個詞才被正式使用在事故調查報告。

如前所述，英國空軍在二次世界大戰初期發現，因飛行員失誤而造成的航機折損數量，約相當於因為戰鬥折損的數量，才認真投入研究人為因素對飛行的影響。美國也約略在同時開始投入人為因素相關的研究。如 Alphonse Chapanis，發現有些事故的發生是因為位置相鄰、外型一模一樣操作手柄，導致飛行員的錯誤

操作，因此引入了形狀編碼(shape coding)的概念，也就是不同功能的操作手柄，搭配不同的手柄外型，從而提升飛行員的狀況警覺。

而關於人類決策過程的研究，早在十九世紀中葉已有學者，對人類所做決策與時間進行了相關的研究；到了二十世紀中葉，英國心理學家 William Hick 依據實驗結果提出：決策時間會因為選擇的數量與複雜度增加而增加。事實上 Hick 教授將這個結論寫成了方程式，也就是給定 n 個等概率的選擇，在這些選項中進行選擇所需的平均反應時間 T 大約為：

$$T = b \cdot \log_2 (n+1)$$

簡而言之，當選擇越多時，花在決策的時間會對數成長，這便是後世所稱的 Hick's Law。後來有學者，將 Hick's Law 做了一些延伸：

反應時間(Reaction Time)+移動時間(Movement Time)=回應時間(Response Time)



圖 2.2-3 Hick's Law

同時有相當多的變因會影響這個結果。例如影響反應時間的因素包含了以下幾個變因：

年齡：年紀越大反應時間越長。

性別：女性的反應時間，平均而言會比男性長。

刺激強度：強烈刺激會加長反應的時間。

身高：身高較高的個體，反應時間也較長。

警覺程度：較高的警覺程度，會縮短反應時間。

並且這幾個變因之間的交互作用，也會讓結果的變化更多，例如年紀增長造成反應時間加長的現象，加入性別的話，女性個體因為年紀增長而造成反應時間加長的現象，要比男性小。由此可以理解到，人為因素由於變因繁多，所以是一門相當複雜的學科，而人為因素調查所要面對的正是如此複雜的情況。

另一位人為因素之父是 Paul M. Fitts，他是一位心理學家，在二戰期間服務於美國軍方。他所提出的 Fitts's law--一個人機互動以及人體工程學中人類活動的模型，該模型預測了快速移動到目標區域所需的時間，是目標區域的距離和目標區域的大小的函數。所以小並且/或者遠的目標，需要更長的時間才能得以準確到達，該模型後來成為最成功和研究最充分的人體運動數學模型之一。Fitts 還提出了一個列表，HABA-MABA (humans-are-better-at/machines-are-better-at)，將人類與機械之間的優劣勢做了整理，為人為因素的研究拓展新的視角。

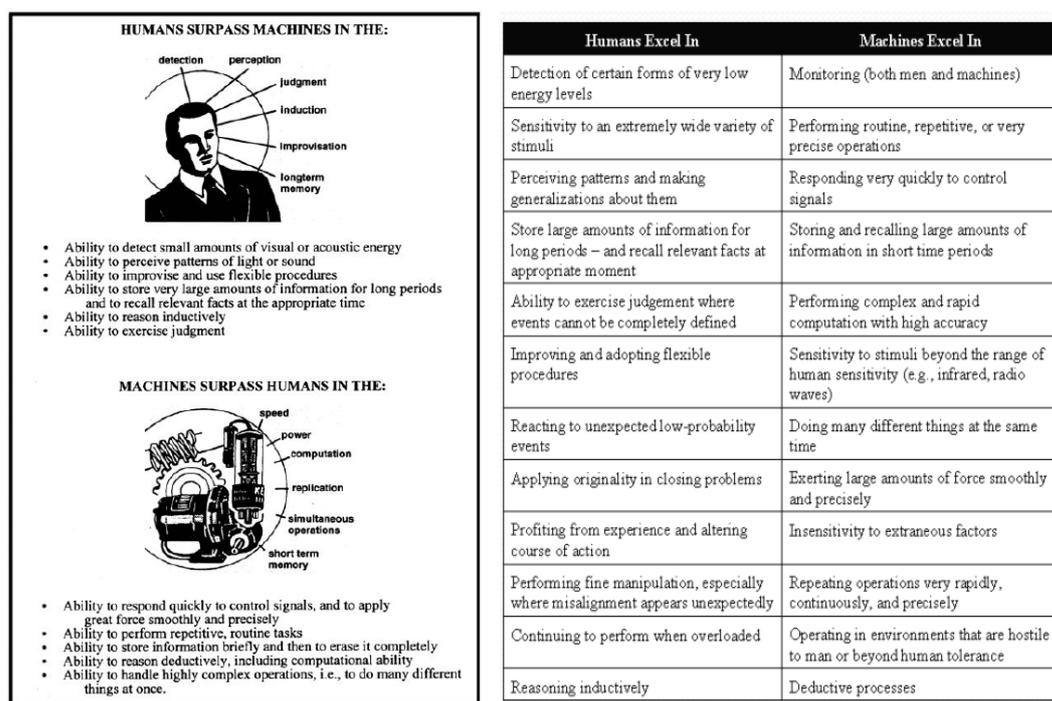


圖 2.2-4 Fitts 博士的 HABA-MABA

到了近代，關於人為因素的研究百家爭鳴，James Reason 與 Robert Helmreich 便是當中的代表性人物。James Reason 是英國曼徹斯特大學心理學教授，他的研究領域是在人為失誤，以及一個複雜且具有良好防衛機制的人與系統例如商用航

空，其機制是如何產生瓦解而導致失效。Reason 博士對於錯誤的種類分類與系統失效的模型，被廣泛運用在各領域。

Reason's Swiss Cheese Model

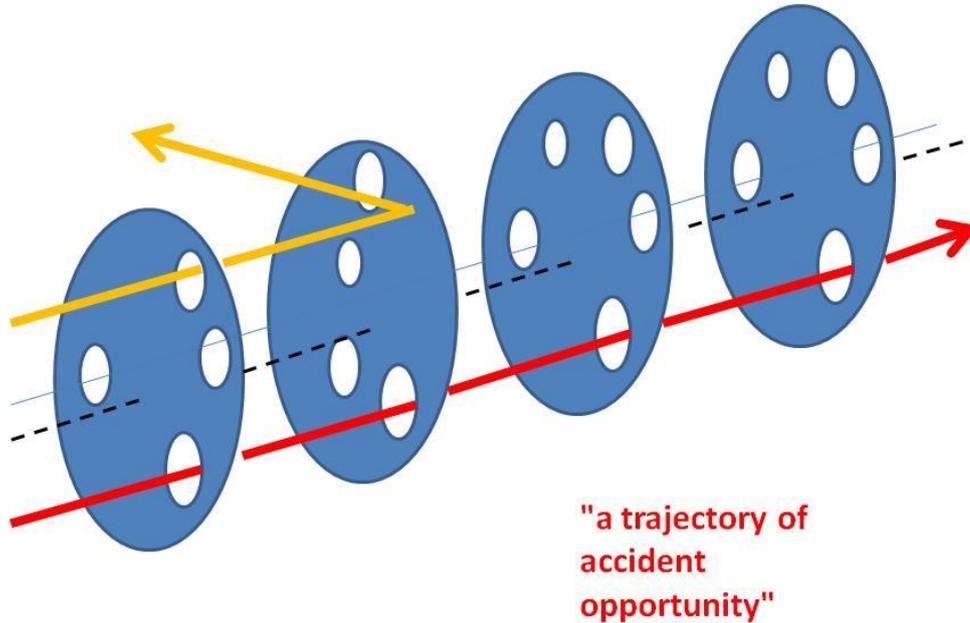


圖 2.2-5 Reason 教授的瑞士起司模型

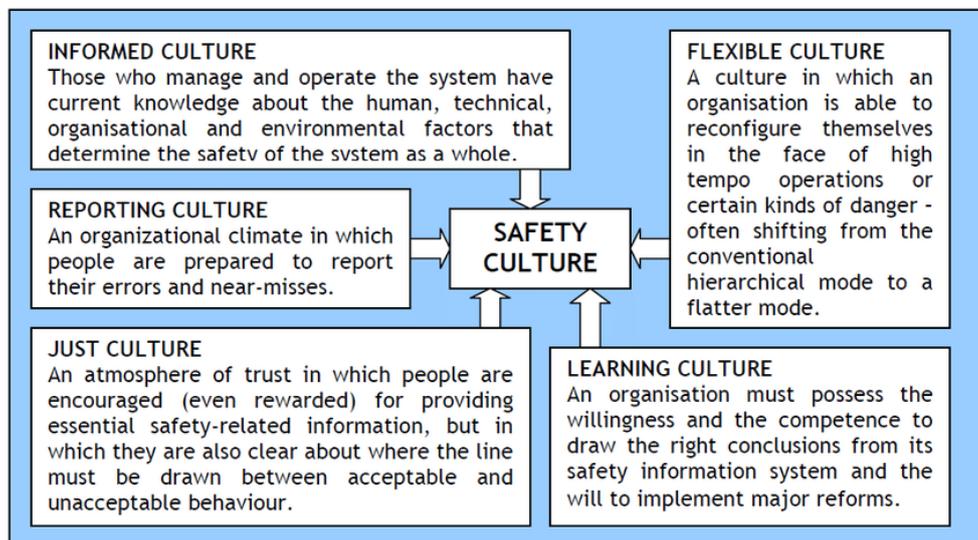


圖 2.2-6 Safety culture

另一位 Robert Helmreich 是德州大學奧斯汀分校的心理學教授，則是組員資源管理(Crew Resource Management, or CRM)的先驅研究者，對於人類表現管理的領域有無數的貢獻，特別是在研究與發展如何增進 CRM 技能的團體訓練。

而近年來為航空產業所重視的威脅與錯誤管理(Threat and Error Management, TEM)，也是由 Helmreich 教授一手所建立。

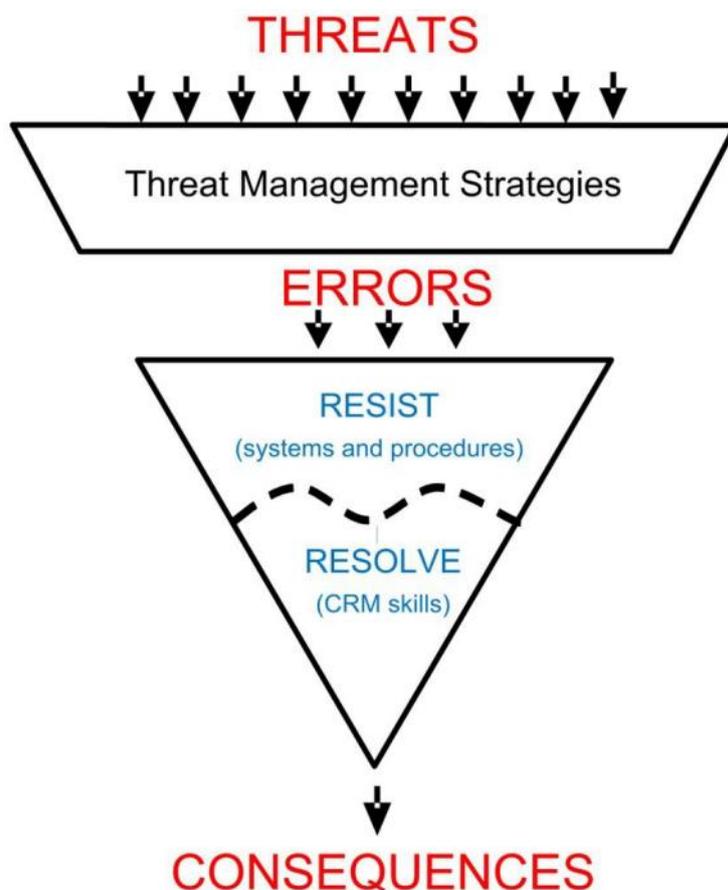


圖 2.2-6 Helmreich 教授的 TEM 模型

另外，在過去實驗倫理概念初步萌芽，尚未被嚴格執行的年代，曾有部分學者進行過一些相當不人道的研究，這些研究雖然具爭議性，但確實也從人性較為灰暗的角度探索了人為因素的領域。社會心理學領域重要的學者，哈佛大學教授 Stanley Milgram 在他耶魯大學任教期間，所進行的米爾格倫實驗(Milgram experiment)便是其中極為著名的例子。這個因為納粹軍官阿道夫·艾希曼遭捕審判而發想的實驗，又稱為權力服從研究 (Obedience to Authority Study)。Milgram 教授因為見到負責二次世界大戰期間，統理納粹對猶太人大屠殺事務的艾希曼遭到戰犯審判，所以問了一個問題--有沒有可能艾希曼只是單純的服從了上級的命令？Milgram 教授從而設計並進行了這個實驗。儘管服從權威這個實驗相當受人爭議，

但仍被認為是本世紀最重要的心理學研究之一，其原因就在於證實了一般人大多數均具備服從權威的現象，其後也啟發了許多學者進行相關領域的研究。

在航空事故中，與人相關的調查，都可以囊括在人為因素調查中。所以人為因素調查，事實上涵蓋的範圍相當廣泛。舉凡生理學、解剖學、心理學乃至航空醫學、工業設計中的人因工程、社會學門中的社會學、人類學等等學科，因此，人為因素的調查，不僅包羅萬象，且會涉及到相當專精的部分。所以人為因素調查，就是在探討事故肇因是否與人的行為有關。除了從與事故直接相關的個體著手外，還會視調查所得的資訊，進一步擴大至團隊、組織、組織文化等因子，目的即是在消彌因人為因素所造成的風險。

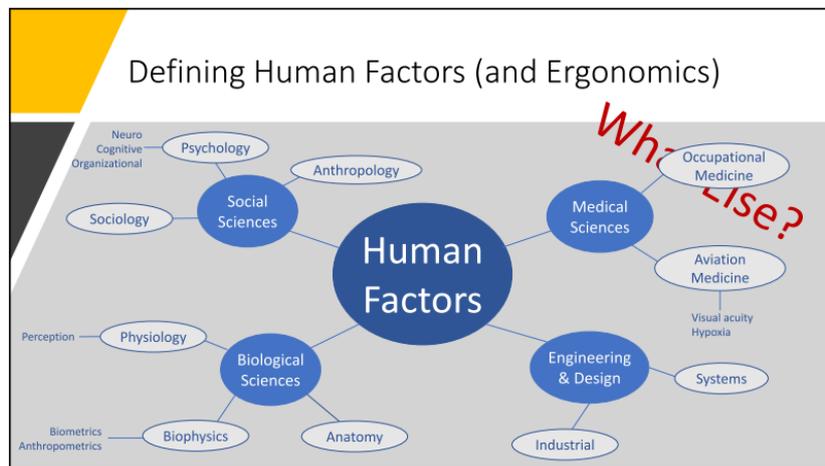


圖 2.2-7 人為因素之相關領域

2.3 事故成因分析理論

由於人為因素調查是一個涵蓋面相當廣泛的調查，因此通常使用一些分析模型，不僅能夠化繁為簡，更能協助調查人員以一套標準檢視所持有的資訊，免除因為調查人員主觀因素影響的偏差。

Root Cause Analysis

Righting the Ship: Building a Process Map for the Costa Concordia Salvage

In January 2012, the cruise ship Costa Concordia ran aground off the coast of Italy. The ship's grounding had immediate, catastrophic impacts, including the death of 32 people and polluting the water with fuel, sewage and other hazardous materials stored aboard the ship. Both CauseMap™ diagrams and process maps can provide valuable information in an incident investigation. A Cause Map diagram shows cause-and-effect relationships. A process map shows steps in the order they are performed. In this example, a complete process, an individual step often consists of more detailed steps. See how the process map can be built to the level of detail needed below.

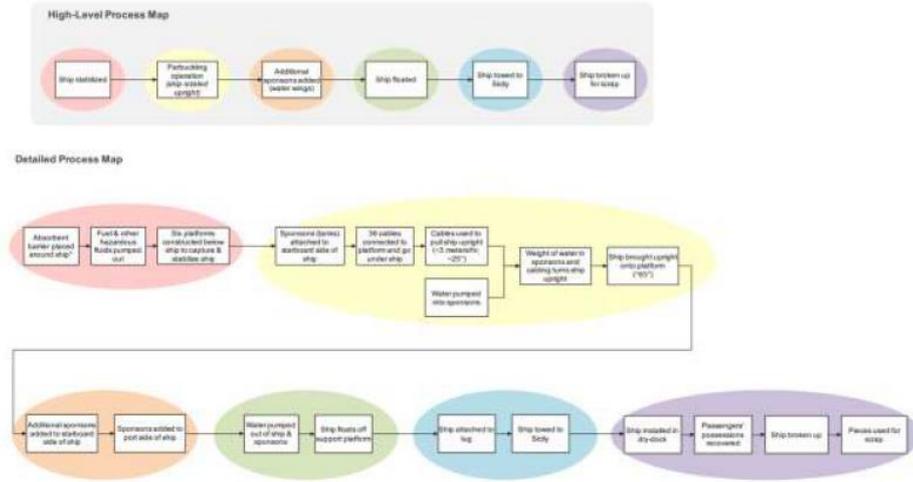


圖 2.3-2 Root cause analysis

Perrow's Normal Accident Theory

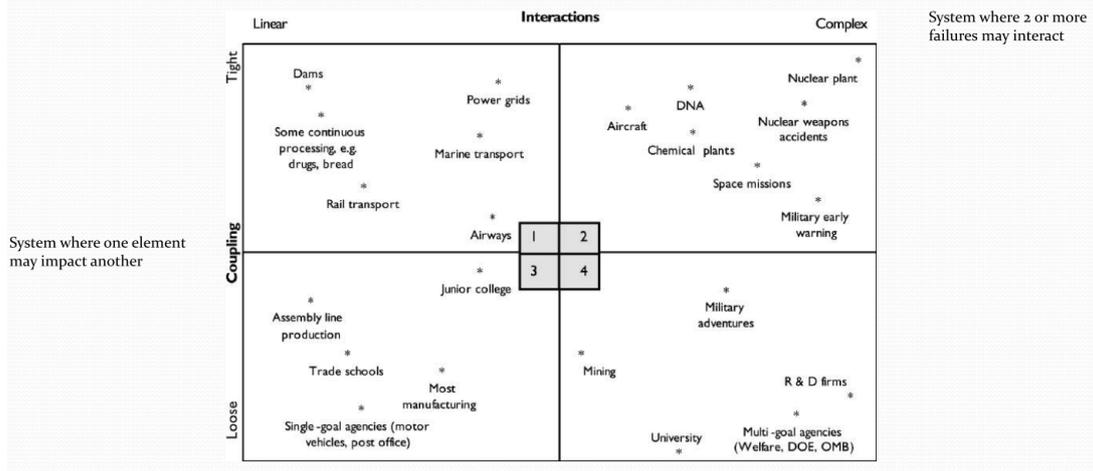


圖 2.3-2 Perrow's normal accident theory

這些分析理論可以分為三大類：

- 線性模型
- 複雜線性模型
- 複雜非線性模型

以下介紹兩個被廣泛使用的分析模型：Reason's model 以及 SHELL model。

2.3.1 Reason's Model

即是著名的「瑞士起司模型」(Swiss Cheese Model)，是由英國的 James Reason 教授於 1990 年所提出，Reason 教授假設導致事故的原因，都可以分為四個層級，分別為：

1. 組織影響
2. 不安全監管
3. 不安全行為的先決條件
4. 不安全的行為本身

這四個層級，如同四片帶有因發酵產生孔洞的瑞士奶酪，彼此並排堆疊，每個層次和類型的防禦雖然各自有缺陷及漏洞，但藉由不同層次和類型的防禦疊加，使得遭遇的威脅由不同分層的防禦予以阻絕。因此理論上，一種防禦的失誤和弱點不會讓風險演變成為事件，因為其他防禦仍然存在。然而，若多片起司的空洞正巧可以連成一線，可讓光線自第一片起司穿透至最後一片，這即表示發生事故。由此探討組織層級或個人職務上所產生的「人為失誤」，致使組織各階層的防衛機制產生連鎖失誤，將可能導致飛航安全失控或飛航事故事件的產生。「瑞士起司理論」，不僅適用於航空界，也可運用在任何與安全相關的領域。

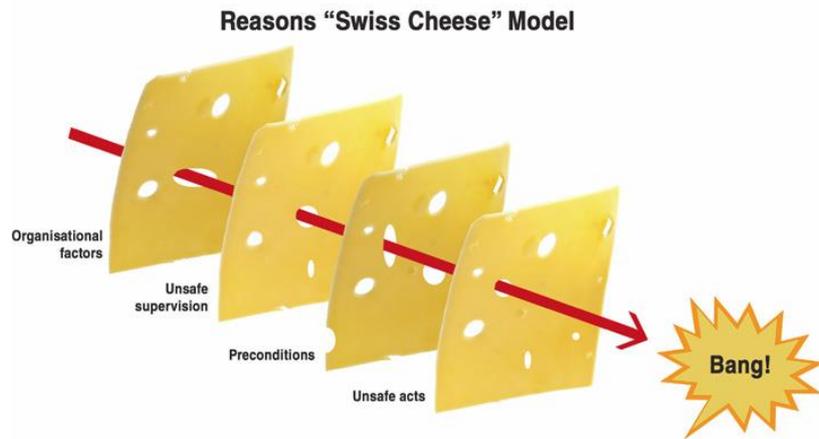


圖 2.3-3 Swiss Cheese Model

2.3.2 SHELL Model

SHELL Model 依 ICAO 9859 號文件《安全管理手冊》所述，是一種用於分析多個組成之間相互作用的概念工具。最早是由 Elwyn Edwards 博士在 1972 所開發，後來 Frank Hawkins 博士將之修改為積木式模組的結構。SHELL Model 是以人（Liveware）為中心，探討人與人（Liveware—Liveware）、人與軟體（Liveware—Software）、人與硬體（Liveware—Hardware）以及人與環境（Liveware—Environment）間的互動關係。SHELL Model 的建立，因為是考慮人為因素為前提，所以並不考慮四個組成部分彼此之間的交互作用，而專注在描述以人為中心，分別與四個組成部分交互運作的各種情形。當人與其他四個組成部分之間的不協調或是無法配合，將可能導致人為錯誤產生問題，即有可能因而發生事故。這裡說的軟體指的是規則、程序、書面文件等，屬於是標準作業程序的一部分。硬體則是航機系統，機場設施、助導航設施等等硬體類的設置與功能。環境指的是人與內部和外部環境之間的相互作用。人則是指所有與航機運作有關的人例如飛行機組員、工程師和維護人員、管理和行政人員。

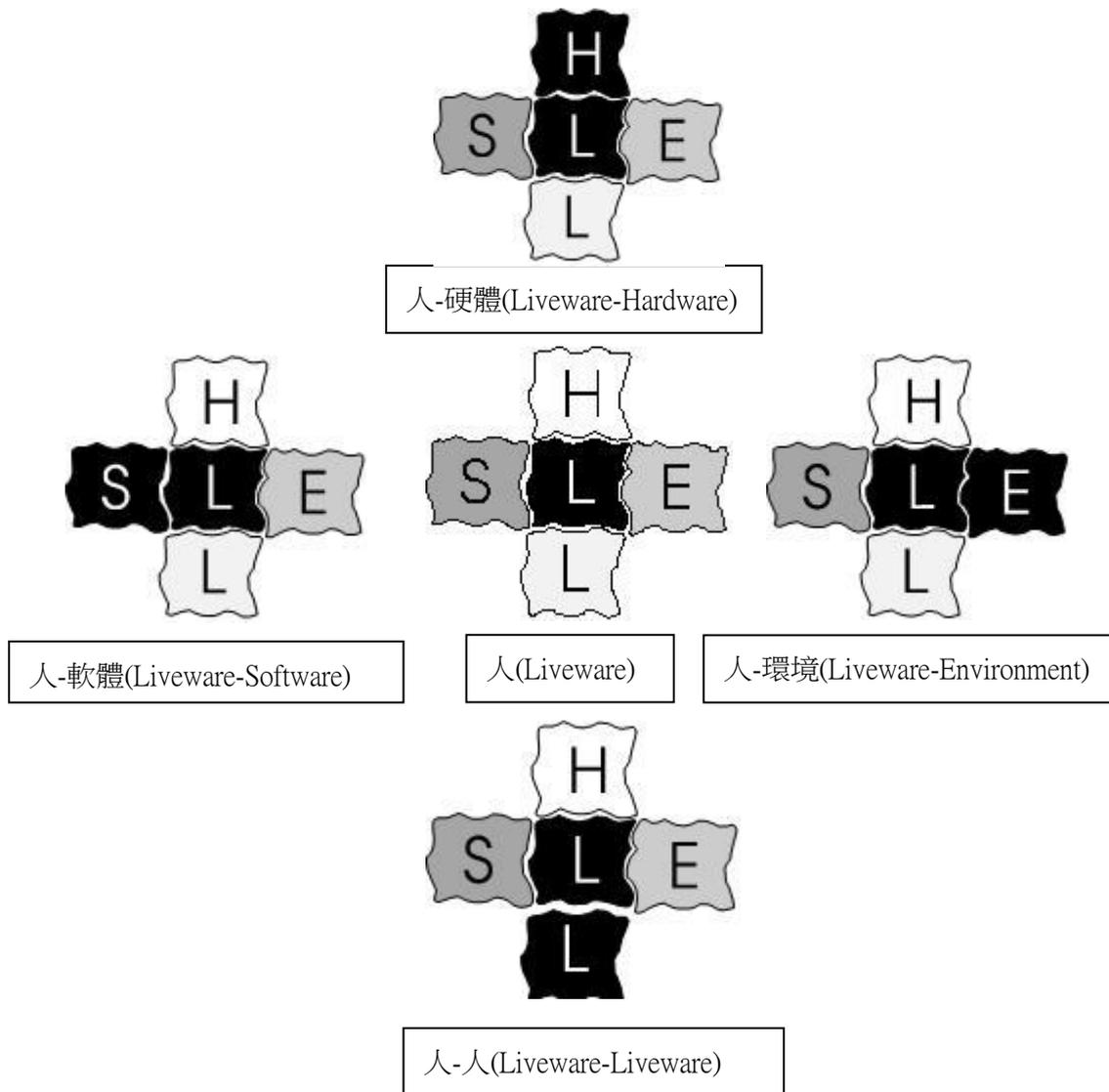


圖 2.3-4 SHELL Model

2.4 Errors & Violations

談到航空事故中人為因素調查，就必須先定義何謂失誤與違規。因為這些失誤或違規，引發了後續一連串的連鎖效應，因而導致了事故的發生，因此，失誤與違規是航空事故人為因素調查的起點。

所謂的失誤，Reason 教授將之定義為，無意中實施的不安全行為。也就是指非出於意願的行動或決定，而這個行動或決定具有潛在的風險，或是未能達到所想要的結果。即便是極為有經驗或是訓練極為精良的人，也可能會發生失誤。

失誤可以分為兩個層級：

1. 執行失敗：是執行層面的失敗。這是指計畫是合宜的，但執行表現上卻失敗，亦可稱為技術層面的失誤(**Skill-based error**)。這又可以再細分為誤失(**slip**)跟漏失(**lapse**)。
 - i. 誤失：是指“未能達成計畫想要做的”、是行動執行面的錯誤；例如程序或操作的設計是沒有問題的，但在執行上，例如時間過早或過晚的執行程序，抑或是在操作上，過大或過小的施力，造成了結果並非是程序或操作上所應有的結果，這樣的狀況便是誤失。
 - ii. 漏失：是指“非出於意識的省略或是沒有執行動作”，是因為記憶的錯誤，單純遺忘去執行；例如因為與其他人談話，而忘記去執行正在執行的步驟；或是因為發動機失效執行了轉降，卻在落地時忘記放起落架。這樣的狀況便是漏失。
2. 計畫失敗：是決策層面的失敗。是指執行完全符合計畫，但這有意識下所決定的計畫，卻因為計畫本身的不合宜、不足、笨拙、甚至是危險，而造成的失敗，又稱為錯誤(**Mistake**)。錯誤可以再分為兩類：規則面的錯誤(**Rule-based mistake**)與知識面的錯誤(**Knowledge-based mistake**)。
 - i. 規則面的錯誤：當人所面臨的問題情況並非正常程序，或是不熟悉情況時，人類會轉而嘗試依靠存在在記憶中的一套規則來解決問題。這些在過去曾經是成功運用的規則，卻因為應用在錯誤的狀況下，或是根本應用了錯誤的規則，導致不良結果的發生，這便是規則面的錯誤。
 - ii. 知識面的錯誤：當人認知到所面臨的問題情況或是不熟悉情況時，在記憶中沒有可以符合運用的一套規則可以解決問題時，人類會轉而基於所擁有的知識來解決問題。這些基於知識的行為與計畫，需要全面性的收集所面對情況的資料，分析所獲得的所有資訊，並依

此做出正確的決定。然而，在所得資料有限，又需要在有限的時間資源或是認知資源下作出計畫，因此便可能導致失敗，這便是知識面的錯誤。

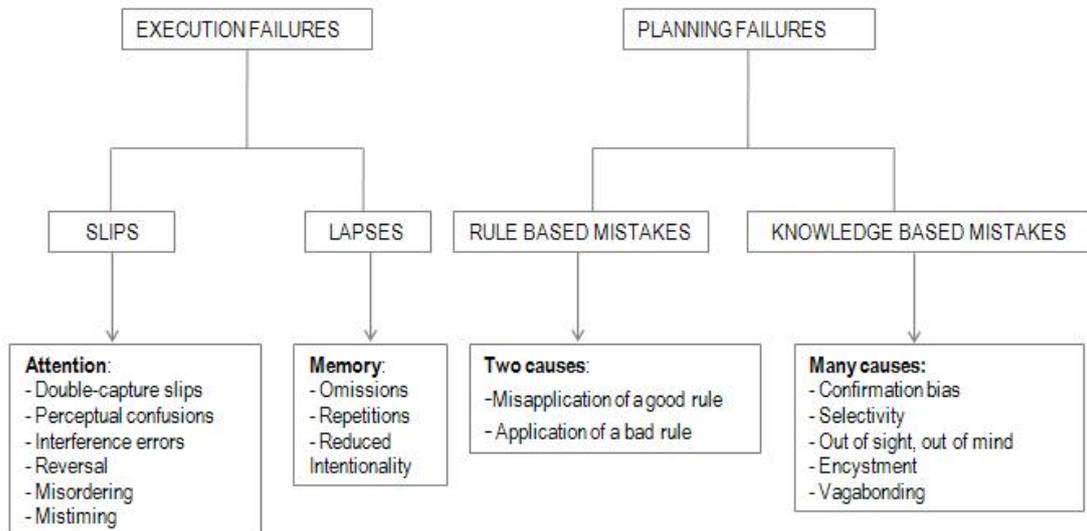


圖 2.4-1 人類錯誤之分類

違規是指不遵守已知規則、政策、程序或可接受之規範的故意行為或是故意的不作為。錯誤和違規之間的根本區別在於，違規是故意的，而錯誤則不是。換句話說，違規是一個有意識的決定，然而對於錯誤，無論一個人是否有避免錯誤的意願，錯誤依然會發生。

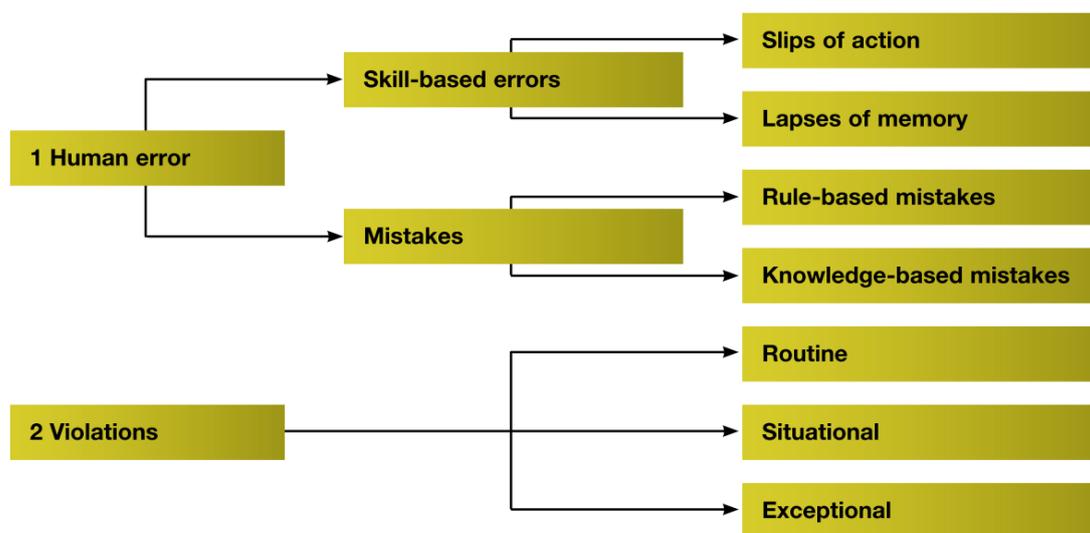


圖 2.4-2 人為錯誤與違規之分類

違規可以分為三類：日常違規、情境違規、及異常違規。

1. 日常違規：當人認為沒有可遵循的規則，同時違反規則變成是一種生活方式時，便會出現此類違規。例如為節省時間、提高生產力、或是有競爭力的形象可能會導致此類違規行為。
2. 情境違規：此類違規行為的發生，是由於個體在工作場所執行作業時面臨瓶頸所致。例如工作場所設計不佳、監管不力、夜間工作、獨自工作、缺少標準設備等都是情境違規的例子。通常這些違規的發生，是由於工作場所規範、標準等方面的限制所致。
3. 異常違規：當出現一些問題，卻又需要盡快完成任務工作，便可能會造成這種違規行為。這意味著解決現存問題的人，常會違反了規範和標準。

依照 Rasmussen 教授的人為表現層級來看，日常違規往往發生在技術層級上—這些程序已成為一個人自發性程序的一部分；情境違規往往發生在規則層級上，人們常會採取自認為必要的行動以完成工作；異常違規則往往發生在知識的層級，因為它們大部分是發生在獨特以及不熟悉的情況下。

Reason 教授認為，錯誤和違規之間的界限並不明確，他將之稱為一個“雙重連結”的系統，也就使得無論操作員的意圖如何，違規都是不可避免。因為不知道程序的人，可能會在不知情的情況下違反程序。換句話說，儘管它是一種違規行為，但卻不是故意的行為。這種情況確實會發生，而造成此種狀況的根本原因，通常是在組織因素而非個人因素中。因為如此不易明確認定的關係，所以在界定行為屬於錯誤或違規時，依循下列的行為分析流程圖(Behavior analysis flow chart)，將能以標準化與程序化的方式，相對客觀地界定錯誤與違規。

Behaviours Analysis Flowchart

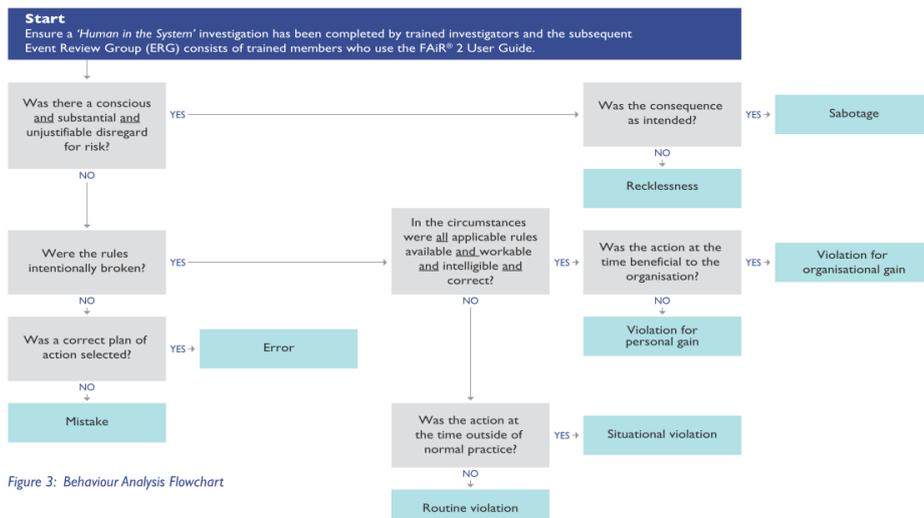


圖 2.4-3 FAIR2 Behaviours analysis flowchart

2.5 Dirty dozen

Dirty Dozen，中文或可稱為十二大禍因，是 1993 年加拿大學者 Gordon Dupont 在加拿大交通部任職期間所提出的概念。它是指十二個最常見，會導致事故或是重大意外的人為錯誤先決條件，或是事件前兆；換句話說就是導致錯誤發生或失誤的 12 個常見因素。Dirty Dozen 並不是一份全面性的清單，ICAO 所提出的人為因素錯誤前兆清單超過三百多項，相較之下可能還更加全面。Dirty Dozen 一開始，是為減少航空維修業人為錯誤的基礎訓練課程而提出；但因為自 1993 年 Dirty Dozen 提出之後，發現不僅僅是對航空維修業，而是對所有航空產業的領域都具有減低人為錯誤，因此成為了航空業人為因素的一塊基石。

這十二項因素分別是：

缺乏溝通 lack of communication	缺乏團隊合作 lack of teamwork	缺乏堅定敢言 lack of assertiveness
自滿 complacency	疲勞 fatigue	內在壓力 stress
缺乏知識 lack of knowledge	缺乏資源 lack of resources	缺乏警覺 lack of awareness
分心 distraction	外在壓力 pressure	慣例 norm

雖然 Dirty Dozen 提升了人們對於人為因素，會如何造成或促成了事故和重大意外事件上的認識。但 Dirty Dozen 提出的目的並不僅止於此，還希望藉由提示如何應對，因而降低人為錯誤導致問題的可能性。

1. 缺乏溝通

溝通不良經常位列在事故報告中肇因和促發因素的首位，因此是最關鍵的人為因素之一。提到溝通，就與發送者，接收者，以及發送的方法相關。被傳輸的指令，可能不清楚或無法理解。因此接收者或許會去假設這些指令的含義，而發送者則可能假設消息已經被接收和理解。一般認知，言語口頭溝通應該是相當有效率的，然而研究結果證明在口頭交流中，通常只有 30% 的訊息被接收和理解。所以團隊在工作或任務執行的前、中、後，尤其是在換班交接時，必須在合作或交接團隊間傳達詳細的資訊。若要以口頭方式傳遞訊息時，所傳遞的訊息應該保持簡短，同時對於關鍵資訊可以在溝通的開始及結尾予以強調。對於訊息的接收者，若對訊息有任何疑問必須要予以澄清，因此訊息傳遞者在口頭溝通時，要保留給接收者提出問題的機會與時間。而當要傳遞複雜訊息的時候，則應該用書面方式，充分運用日誌、工作表和清單等方式。

2. 自滿

自滿是一種自我滿足感，但卻伴隨著喪失對潛在危險的認知。這樣的感覺常會出現在進行慣常的活動，而這活動可能是被個人、有時甚至是整個組織，“認為”為是簡單和安全的日常活動的時候。由於鬆懈，因此會錯過出現的警示和重要信號，而只看到個人所期望看到的東西。自滿也可能發生在高度緊張的活動之後，這是由於一時感到的解脫會導致身體放鬆，造成心理警惕程度和警惕意識的降低。

雖然過多的壓力和需求會降低人的表現，但過少卻也會因而導致壓力不足、無聊、自滿，而同樣降低人的表現。所以需要建立，預期會找到錯誤的觀念；而在進行簡單、常規和習慣性的任務，以及在疲勞時，藉由不同的刺激保持足夠或

最佳的壓力。最重要的，是要避免憑記憶工作，或是未經檢查就假設工作不會有問題。例如對於日常的簡單任務，依然需照說明指示執行，並遵守可提高警覺性的程序，如藉著檢查程序或檢查表，確定工作是否已如指示完成；或是團隊合作及成員間相互的交叉檢查，就是可在疲勞時提供適當刺激的例子。

3. 缺少知識

整個組織應該要全面要求能力培訓和資格監管，且須嚴格執行。缺乏所需的知識和實作經驗，可能會導致工作執行者誤判情況，並做出不安全的決定。飛機系統是一個極度整合且極為複雜的系統，如果沒有足夠的參考文件、大量的技術培訓、及實際處理的相關經驗，是不可能執行如此多樣化的任務。此外，整個系統和作業程序，還可能會因新的設計或理念而有重大變化，工作者原有的知識可能就此落伍。

因此對工作者來說，持續的精進專業，及與同事間經驗與知識的分享極為重要。這個部分的學習過程，應包括有關人為錯誤和系統性能的最新知識。向他人尋求幫助或諮詢問題，絕不是軟弱的表現，相反地這應該得到鼓勵。同時，工作團隊應始終參考，並遵循檢查清單和技術文件，切勿憑著假設或記憶工作。

4. 分心

造成分心的原因，可以是任何使人的注意力，從他們所從事任務上移開的事情。工作場所無可避免地存在著一些干擾，例如大聲喧嘩、其他工作者的尋求協助，以及需要立即解決的日常安全問題。面對干擾帶來的分心，除了有時效性的干擾外，一些其他干擾，例如來自家裡的消息、非關即時工作決定的管理決策（例如輪班模式、休假權利、會議日期、行政任務等）以及社交對話等等，工作者可以主動避免或延後到更合適的時間再行處理。

心理學的分析結果，認為分心是造成遺忘事物的首要原因，因此不只要避免分心，還要避免造成他人的分心。人類傾向於超前思考。因此當分心後再返回一項任務時，常會出現於思維所認知的進度，超前實際所在進度甚多的狀況。

為了減少因分心而導致的錯誤，最好在完成一項任務後，再回應其他人或其他工作。如果任務無法在第一時間完成，可以標定未完成的工作，藉以提醒工作者自身與和其他任何可能接手完成工作的人。在分心後再重回到工作崗位時，最好回溯至少三個步驟，再重新開始，如此便可以在重新開始中斷的工作前，將工作者的思維再次帶入工作程序中。若有需要，請團隊中其他成員使用檢查表，再次核對檢查自己的工作。

管理階層也可以為減少員工分心有所幫助，包括良好的工作空間設計、環境管理，並在從事重要工作的工作者周圍，劃設“安全區”、“安全圈”或“請勿打擾區”等。

5. 缺乏團隊合作

在航空產業，許多任務和操作都是團隊完成，沒有任何一個人或單一團隊能負起所有任務及工作的安全責任。但是，若有人未能為對團隊努力做出貢獻，這便可能導致不良的結果。也就是說，團隊中的成員，除了必須倚賴其他同事和其他外部團對外，也必須不吝支持其他成員或團隊。團隊合作的達成，依靠許多技能，在團隊中的每個成員都需要具備這些能力。重要的團隊合作技能包括了，領導力、跟從執行、有效溝通、建立信任、激勵自己和他人，以及表揚獎勵等。

為了建立一個有效的團隊，所有團隊成員都必須參與討論、澄清、同意和理解以下議題：

- 有明確定義並維護的目標或目標
- 每個團隊成員的角色和職責
- 溝通的方式及訊息模式
- 團隊的極限與界限
- 緊急程序
- 成員個人的期望和擔憂
- 成功結果的定義
- 結束檢討的安排
- 團隊任務結束的安排
- 提問和澄清的機會

團隊的效率也可以藉由選擇團隊成員，使團隊具有多面向的經驗和技能，而這樣的經驗與技能需求，也可以用練習和排練來達成。

6. 疲勞

疲勞是人類對於長期體能上和（/或）精神上壓力的自然生理反應。經過長時間的工作，或是經過一段時間的專心工作，人體會感到疲倦。當疲勞成為一種慢性病時，工作者不應嘗試自我治療，而是需要尋求醫療協助。隨著我們變得更加疲勞，人類注意力集中的能力、記憶力和決定力的能力會降低。因此，會變得更容易分心，而失去情境警覺。疲勞也會影響一個人的情緒，使他們更加孤僻，或是更加不理智與憤怒。

人類傾向於低估我們的疲勞程度，並高估我們應對它的能力。因此，工作者必須對自身和團隊其他成員的疲勞跡象和症狀，有所警覺。疲勞的自我管理牽涉到規律睡眠、健康飲食（包括降低酒精和其他藥物的使用）、以及體能鍛煉等三方面的計劃。對於關鍵或是複雜工作的執行，應避開人類身體晝夜節律的低點（通常是凌晨 03:00 至凌晨 05:00）；而當自身感到疲倦時，務必要讓其他成員對所己身所執行的工作進行再檢核。

7. 缺乏資源

如果因為零部件的問題而無法讓維修完成，那麼維修人員可能會面臨，被迫使用舊零部件，或不合適的零部件來完成維修。而這裡所說的資源，除了零部件外，還包括人員、時間、資料、工具、技能、經驗和知識等。缺乏任何一樣資源都會影響工作者完成任務的能力。同時，這裡所說的缺乏，不僅是沒有，也可能是可用資源品質不佳或數量不足，而無法用以完成任務。

當有適當的資源可用或可掌握時，我們就有更大的機會，更有效、正確和高效地完成任務。因此，具有獲取、存儲和標定資源的前瞻性計劃至關重要。除此之外，還需要妥善維護可用資源，這也包括團隊中的成員。

8. 外在壓力

在變動的環境中工作時，外在壓力是可以預期的。然而，當為趕上最後期限的壓力，干擾了工作者正確地完成任務的能力時，就表示壓力過大了。這是自古以來便已存在，關於數量與品質間的矛盾。在航空產業，我們絕不能有意識地主動降低我們的工作的品質。缺乏資源，尤其是時間不足，會產生壓力；而缺乏資源，當然也包含己身能力無法應對的情況。我們可能會受到來自客戶、組織甚至同事，直接或間接的壓力。然而，最常見的壓力來源之一是我們自己。有時，工作者會藉由承擔超出己身能力的工作，尤其是原屬於別人的問題，經由努力，以挽回面子，或是藉著宣揚己身並不具備的超級能力，來給自己施加壓力。這些糟糕的決策，往往是因著對我們的期望，所做出的假設性結果。

學習堅定敢言的技能，工作者要能夠勇敢說不，並與同事、客戶和組織溝通自身的疑慮。當完成期限至關重要時，額外的資源與協助，方可確保任務以所需的完工品質完成。前述的這些應對外在技能，都是必不可少。

9. 缺乏堅定敢言

當組織令工作者無法表達其擔憂，也不允許表達他們的擔憂時，會造成溝通的無效並破壞團隊合作。不夠堅定的團隊成員，即使他們認為這樣做是錯誤和危險的，但仍可能會被迫做出錯誤的重大決定。

堅定敢言是一種溝通和行為方式，它使我們能夠以積極與富有成效的方式表達感受、意見、擔憂、信念和需求。當我們堅定敢言時，我們也會邀請並允許他人表達自己，而不會感到受到威脅、受到破壞或我們丟臉。堅定敢言地表達自我想法，並不同強勢。這是直接，但誠實且適當的溝通，也就是尊重他人的意見和需求，但並不違背自身的標準。

堅定敢言的技能是可以學習的，這些技能使工作者專注於保持冷靜、保持理性、使用具體的例子而不是一概而論，並期待他人的回應。最重要的是，對事不對人；這可以讓其他人保持他們的尊嚴，並得出極具成效的結論。

10. 內在壓力

內在壓力有很多種，在航空產業中通常有兩種不同的類型—急性和慢性。急性內在壓力，源自於對人類感官、心理狀態和身體能力的即時需求，例如處理緊急情況，或是在時間壓力下、且資源不足的情況中工作。慢性內在壓力，則是由於生活需求，對生理的長期負荷積累而來的，如家庭關係、財務、疾病、喪親、離婚。當我們因這些持續和長期的生活事件而承受壓力時，這可能代表著我們對需求和壓力的反應閾值因而降低。因此，在工作中，我們可能會不適當地反應過度、或是過於頻繁及過於容易產生反應過度。

常見於初期的壓力症候的症狀，包括性格和情緒的變化、判斷錯誤、注意力不集中和記憶力變差。部分患者還可能會有睡眠困難和疲勞增加，或是消化道問題。長期的壓力症候症狀則包括易感染病原、興奮劑使用、和自我藥療情況的增加、缺席、疾病和沮喪。

早期識別壓力症候，並確定屬於是急性抑或是慢性的壓力症是極為重要的。藉著簡單的呼吸與放鬆技巧，便可應對工作中的日常壓力。然而更有效的方法，或許是提供隨時備便，可以討論問題並協助合理化認知的溝通管道，包含一些與同儕社交互動的管道。與應對疲勞一樣，睡眠、飲食和運動，同樣都是幫助減輕壓力，與建立對抗壓力復原力的重要因子。若是慢性壓力症，需要改變生活方式以為應對，而這必須在組織的支持下才能實現。因此，組織應制定包括減壓計劃在內的員工福利政策。

11. 缺乏警覺

隔離環境下的單獨工作，且只需考慮個人責任時，會導致眼界狹隘；也就是一種片面的觀點，同時對於因自身行為，所造成對他人和更廣泛任務而產生的影響，缺乏應有的警覺。這種缺乏警覺，也可能是由於其他人為因素所造成的，例如內在壓力、疲勞、外在壓力和分心。

在職涯中，經驗的積累非常重要，特別是考量一同工作同事的角色和責任，以及我們自己在廣義組織中的角色。發展自我深思熟慮的能力，考量自身行為可

能對他人產生的影響至關重要。這是一種專業態度，包括不斷自問“如果……怎麼辦？”要求他人檢查自身的工作成果，並挑戰我們的決定，將有助於獲得相關經驗並擴張我們的警覺性。機警與狀況警覺密切相關，工作場所的程序，例如環視四周、雙向溝通和檢查表的使用將有助於保持機警。

12. 慣例

工作場所的實務是透過經驗，隨著時間的推移而發展，而且通常會受到特定工作場所文化的影響。這些做法可以是好的也可以是壞的，安全的和不安全的。它們被賦予“我們這裡做事的方式”，並因而成為了慣例。不幸的是，此類遵循不成文規則或行為的做法，有時會偏離了所需遵循的規則、程序和說明。然後，卻藉由同儕壓力和習慣的力量，強制執行這些慣例。大多數的這些慣例，因為並不需要滿足所有情況，所以未曾針對潛在威脅進行充分測試。

規則和程序都是經過設計和測試，因此應該嚴格執行和遵守。如果工人因為依照慣例，而需要偏離程序或跳過程序而感到壓力，應該反應此訊息，以便對慣例程序作必要的審查與修改。培養堅定敢言的能力，能讓工作者即便在同儕壓力下，仍能表達他們對不安全慣例的憂慮。

2.6 HFACS

人類會犯錯誤，這是無可否認與避免的事實，因此在人類社會的各個產業，基於經驗累積，均已建立了各式各樣的制衡機制，以避免微小錯誤的發生卻衍生出災難性後果的情況。然而，是否有其他方式，可以從已發生的事故中，識別事故中的人為因素，並見微知著地看到事故直接成因之後的其他原因及促發因素所造成的可能風險，從而改善提升整個系統的安全。這正是 HFACS 的開發目的。

人為因素分析和分類系統(Human Factors Analysis and Classification System, HFACS)，是由美國 FAA 所屬民航醫學研究所的 Scott Shappell 博士和伊利諾伊大學的 Doug Wiegmann 博士所開發。這套系統初始開發的目的，是要應對根據

調查結果所得的一個趨勢 -- 亦即在美國海軍及海軍陸戰隊的飛航事故，有 80% 的主要肇因是不同層級的人為失誤所造成。HFACS 能夠找出事故的人為肇因，同時它不只能協助調查，也還是一項能訂出如何在訓練或預防等方面努力方向的工具。

說到 HFACS 前，必須再一次提到 Reason 教授的「瑞士起司模型」(Swiss Cheese Model)。Reason 教授認為，事故中的人為錯誤，應被視為團隊組織中更大問題的症狀，而不是單純事故的原因。他假設導致事故的原因，都可以分為四個層級，由上而下分別為：

1. 組織影響
2. 不安全監管
3. 不安全行為的先決條件
4. 不安全的行為本身

如前所述，在各團隊組織內部，多已設置了屏障以防止不良事件發生。大多數組織所建立的屏障，可以分為了四個不同層級，這四個層級的屏障本質上是連續的，也就是說位在上層的層級會影響位於下層的層級。在每個層級內，機制失效都可能導致安全屏障出現漏洞。這些故障可以是主動的(active)，亦即在事故發生前立即發生並直接影響事件的失效；也可以是潛在的(latent)，也就是從事故中或許並不存在且未表現出直接影響，但卻確實存在的失效漏洞。可是安全屏障中的這些漏洞到底是什麼？又該如何系統性地標定出這些漏洞？

針對這些問題，Shappell 博士和 Wiegmann 博士開發了 HFACS，由此探討個人職務上或組織層級所產生的「人為失誤」，致使組織各階層的防衛機制產生連鎖失誤，因而產生的飛航安全失控或飛航事故事件。HFACS 是架構在「瑞士起司模型」之上，將 Reason 教授的想法融入應用環境，在人為因素的四個級別中，分別再定義了其他因果類別，嘗試構築一個全面性的人為錯誤框架。在 HFACS 的每個層級中，都建立了用於識別發生的活動和潛在故障的原因類別。理論上，

每個層級都會發生至少一個故障，從而導致不良事件。如果在導致不良事件的任何時間，修正了其中一個失誤，就得以防止不良事件的發生。

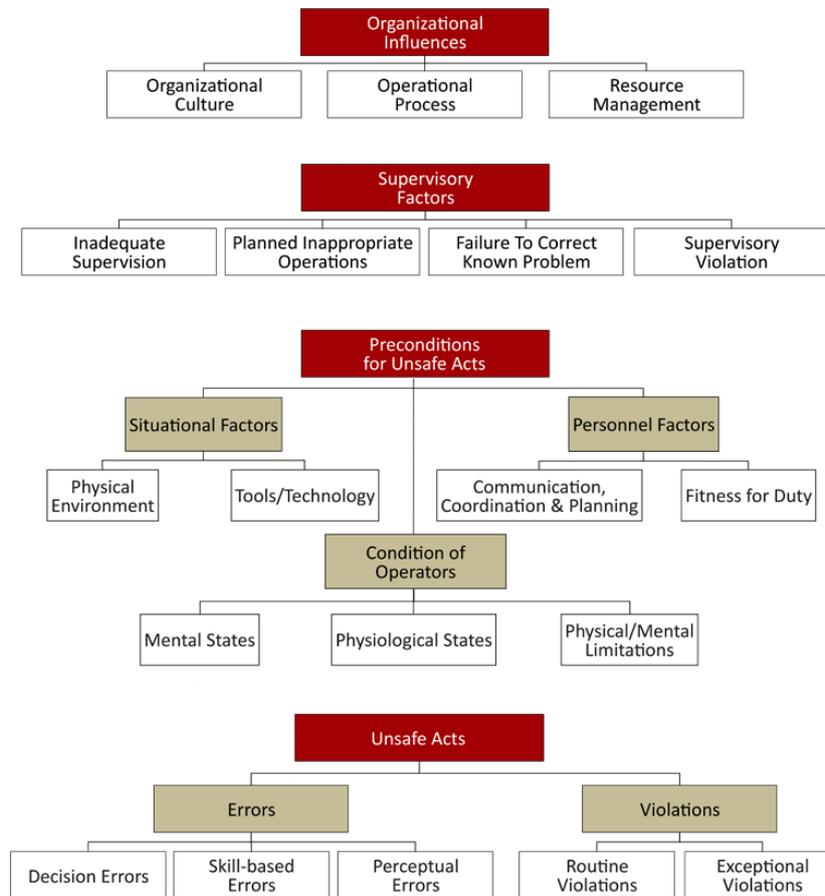


圖 2.6-1 HFACS 框架圖

以下就由下而上，由個體拓展到組織的順序，依序說明：

第 1 級：不安全行為

不安全行為分為兩類 - 錯誤和違規。錯誤是無意的行為，而違規是故意無視規章制度。

1. 錯誤分為三類：

- i. 基於技能的錯誤：操作者在執行例行與極度熟練的程序、訓練等任務時所犯的錯，並導致了不安全的情況；如未能注意優先順序、錯誤執行檢查表、不好的習慣。
- ii. 決策錯誤：操作者的行為或行動皆按預期，但因錯誤擇定計

畫，使得行為或行動不足以達到想要的結果，並因此導致不安全狀態。例如，超出操作者能力、規則面的錯誤、應用了不適當的程序等。

iii. 知覺錯誤：當操作員的感官感受力下降，並據此知覺所接受的錯誤信息做出決定，因而導致的錯誤。

2. 違規行為分為兩類：

i. 日常違規行為：違規行為是操作者的慣常行為，並且管理層可以容忍。

ii. 特殊違規行為：操作者的違規行為並不見容於管理層，此行為既不是個人的典型行為，也不是管理層可容忍的行為。

第 2 級：不安全行為的先決條件

不安全行為的先決條件分為三類：

1. 環境因素

2. 操作者的狀況

3. 個人因素

1. 環境因素：影響操作者實作的物理及技術環境，並因而導致人為失誤或是不安全狀況的因素。可分為兩類：

i. 物理環境：指包括操作情境（例如天氣、海拔、地形）和周圍環境（例如熱、振動、照明、毒物）的因素。

ii. 技術環境：指包括各種人機介面設計和自動化功能議題的因素，例如設備及其控制上的設計、顯示與人機界面特性、檢查表的呈現方式、和自動化等。

2. 操作者的狀況：導致人為失誤或是不安全狀況的操作者身心狀態，包括不良的身心狀態，或是影響操作的個人身心極限。可分為三類：

- i. 不良精神狀態：指包括影響表現的精神狀況（例如，壓力、精神疲勞、動力）的因素。
 - ii. 不良生理狀態：指包括影響表現的那些醫學或生理狀況的因素（例如，醫學疾病、身體疲勞、缺氧）。
 - iii. 生理/精神限制：指操作者缺乏應對情況的身體或精神能力，而影響操作者的表現（例如，視覺限制，反應時間不足）。
3. 個人因素：
- i. 組員資源管理：指包括溝通、協調、計劃和團隊合作問題在內的種種因素。
 - ii. 個人準備：指為了以最佳狀態執行任務，而在之前的非任務時間中所做的活動，例如遵守休息要求、飲酒限制和其他非任務時段的要求。

第 3 級：不安全監管

不安全監督級別分為四類：

1. 監督不足：任何主管，其角色都是為部屬提供成功的機會，他們必須提供指導、培訓、領導、監督或激勵，以確保安全有效地執行任務。若未能達成即是監督不足。
2. 計劃不當操作：指的是在緊急情況下或可以接受及與正常程序不同的操作，但在正常期間是不可接受的操作，這些操作可能是風險管理、機組配對、運作節奏等。
3. 未能糾正已知問題：指主管明知問題所在，但仍繼續允許問題持續存在，有增無減的情況（例如，未能報告不安全的趨勢、未能啟動糾正措施、未能糾正安全隱患）。
4. 主管違規：指主管者故意無視現有規章制度的情況（例如，規章

制度的執行、授權不必要的危險、紀錄不合宜)。

第 4 級：組織影響

組織影響級別分為三類：

1. 資源管理：指關於組織資產（例如，人力資源、經費/預算資源、設備/設施資源）分配和維護的組織級決策。
2. 組織氛圍：指組織內的工作氛圍（例如，結構、政策、文化）。
3. 運營流程：指管理組織內日常活動的組織決策和規則（例如，運營、程序、監督）。

藉由使用 HFACS 框架進行事故調查，組織能夠識別整個系統中導致事故發生的問題。HFACS 也能透過分析歷史事件，主動地去找出現在人類表現和系統缺陷上的再發生趨勢。這兩種方法都將可以讓組織辨識出系統在安全上的薄弱環節，之後組織便可以依此數據為本，對薄弱環節實施改善措施，最終將可降低事故和傷害率。以美國海軍為例，藉著使用 HFACS 框架，美國海軍能夠確定近三分之一的事務與例行違規有關。因此，針對這個問題，美國海軍施行了應對措施，減少了與違規相關的事務百分比。同時能隨著時間的推移下，依然保持這種減少。

HFACS 框架發源於美國海軍，目前已經到了 7.0 版本。目前 HFACS 的應用，已擴展到性質相當多樣化的不同行業和組織（例如採礦、建築、鐵路和醫療保健），同時因應行業組織特性不同，而有不同的調整版本。本次課程即有針對美軍的 2.0 版本及 7.0 版本，以及航空產業中航機修護領域的版本，分別說明及應用案例實際操作練習。如同對於事故調查的宗旨，HFACS 的目的不是歸咎責任，而是要了解導致事故的潛在原因。HFACS 結構化框架的運用，能夠比較不同的的事件，也能後分析歷史事件與組織中的安全數據，將事件分解為潛在的因果因素，便可以確定組織的共同趨勢，對組織中不同層級的風險因子予以修正，達到促進安全的目的。

參、心得：

在參加本次美國南加州安全學院舉辦之航空事故人為因素調查訓練課程前，報告人曾參加 NTSB 訓練中心所開設之航空事故調查課程。在該課程中，雖已初次接觸了人為因素調查的領域，然而僅止於初步的概括性認識。而參加此次南加州安全學院所舉辦的航空事故人為因素調查訓練課程後，對於航空事故調查中的人為因素，除有更深一層的了解外，最大的收穫應該是，藉由人為因素調查工具 HFACS 的學習，不僅對於航空事故調查中人為因素範疇的探索方式有更清晰的理解，還連帶架構起對整個事故調查方向與解析問題所需之思維邏輯。

眾所周知，航空事故中之肇因，有七成以上是人為疏失。對於事故調查中人為因素的調查訓練課程，乃是訓練調查員如何抽絲剝繭，處理可能為航空事故主要之肇因，也就是人為因素。人為因素牽涉範圍極廣，也因為需探討人類行為與心理等範疇，故而所獲得的資料及訊息型態相當繁雜與多樣，需要借助不同的工具與模型方能由千頭萬緒的資訊中，梳理出事故的輪廓。報告人本身經歷偏重於航務操作，在航空事故調查中航務分組與人為因素的關係更是千絲萬縷，因此運用如 HFACS 等人為因素分析工具，實乃航務分組調查員在精進調查能力上，必不可少的能力。同時，使用人為因素分析工具所能帶來的，不只是梳理事件輪廓，更重要的，是能夠藉著調查程序的標準化，對所有的航空事故一視同仁，才能在不起眼的跡證中追根究柢。而對於飛航事故調查員，更期望能夠藉每一次的運用，將人為因素分析工具與事故分析及預防的模組，逐漸內化為飛航事故調查員在調查事故時的邏輯思維，才能在每一次的事故調查中，準確掌握跡證脈絡，探究事故背後的真相。也唯有如此，才能真正做到避免事故的再發生。

ICAO Annex13 與運輸事故調查法中皆開宗明義地提到，事故調查不單是找出事故的直接原因，更要避免類似事故的再發生。因此，飛航事故調查員若能持續接受航空事故人為因素調查的訓練課程，精熟人為因素調查的本質學能，最

大化團隊的調查能力。由此觀之，此項課程對於一位飛安調查人員訓練上，確實不可或缺。

肆、 建議：

建議持續執行調查人員出國接受航空事故人為因素調查訓練課程，相信必能為本會調查人員調查能量的提升，有所助益。