

出國報告(出國類別：進修)

美國南加大飛機事故調查班

服務機關：國防部空軍司令部

職稱姓名：少校飛行官林保昇

派赴國家：美國

出國期間：106年09月24日至10月07日止

報告日期：106年10月26日

摘要

「飛機事故調查班 AAI 18-1」(AAI : Aircraft Accident Investigation)屬美國南加州大學 USC(University of Southern California)維特比工程學院(Viterbi School of Engineering)主辦之航空安全系列課程之一，為期 12 天，授課地點位於洛杉磯市 Hermes Aviation LLC 商業大樓。

課程計有事故調查 (Investigation)、工程與技術 (Technology)、航空醫學 (Medical)、安全管理系統 (Aviation Safety Management Systems)、訪談調查 (Interviews)、系統設計 (Systems)、媒體關係 (Media Relations)及案例研析 (Case Study)等 8 項課目；授課講師均為具飛機事故調查經驗豐富之調查專家，主要針對航空器失事調查之整體流程、規劃執行與案例研析，為從事飛航安全工作、事故調查工作或僅具有有限事故調查經驗之人員所設計。

整體課程涵蓋美國國家運輸安全委員會 NTSB(National Transportation Safety Board)和國際民航組織 ICAO(International Civil Aviation Organization)之事故調查程序，運用統合分配資源、證據資料蒐整、殘骸場景重建及造成因素分析等各調查層面，於課程中討論並實際運用於飛機殘骸研究室 (Aircraft Accident Laboratory)分組研究調查，最終以完成失事調查報告撰寫並檢附安全建議為目的。

目次

一、目的.....	4
二、期程概要.....	5
(一)行程.....	5
(二)課程規劃表.....	5
(三)課程成員.....	7
三、課程概要.....	9
(一)事故調查(Investigation).....	9
(二)工程與技術(Technology).....	18
(三)航空醫學(Medical).....	26
(四)安全管理系統(Aviation Safety Management Systems)....	29
(五)訪談調查(Interviews).....	30
(六)系統設計(Systems).....	31
(七)媒體關係(Media Relations).....	34
(八)案例研析(Case Study).....	37
四、學習心得.....	39
五、檢討建議.....	42
六、課程紀實.....	44

本文

一、目的：

國防部空軍司令部督察室藉年度賡續派訓南加大事故調查班，汲取美方針對民用航空器事故調查之學識理論、實務經驗與最新案例，建構國內航空器事故調查能量及資源，期許學員完訓返國後發揚種子力量，培植飛航安全人才與完善組織文化，發揮所長，增進與行政院飛航安全調查委員會 ASC(Aviation Safety Council)及美國國家運輸安全委員會 NTSB(National Transportation Safety Board)實質交流，持續瞭解並更新飛機事故調查程序、軍民用航空器事故調查差異性及飛航安全相關議題。

二、期程概要：

(一)行程：

	飛航班次	出發地點	出發時間	目的地	到達時間
去程	CI006	台北(TPE)	1060924 1710	洛杉磯(LAX)	1060924 1410
返程	CI005	洛杉磯 (LAX)	1061007 1600	台北(TPE)	1061008 2105

(二)課程規劃表：

第一週	週一	週二	週三	週四	週五
時間/日期	9/25	9/26	9/27	9/28	9/29
0800-0850	INV1	INV5	MED4	LAB1	TECH1
0900-0950	INV2	INV6	MED5	LAB1	TECH2
1000-1050	INV3	INV7	MED6	LAB1	TECH3
1100-1150	INV4	INV8	MED7	LAB1	TECH4
1300-1350	SMS1	MED1	INV9	LAB1	INV12
1400-1450	INT1	MED2	INV10	LAB1	INV13
1500-1550	INT2	MED3	INV11	LAB1	INV14
1600-1650		Autopsy			ATC

第二週	週一	週二	週三	週四	週五
時間/日期	10/2	10/3	10/4	10/5	10/6
0800-0850	M-R1	SYS1	LAB2	SYS5	CASE1
0900-0950	M-R2	SYS2	LAB2	SYS6	CASE2
1000-1050	M-R3	SYS3	LAB2	SYS7	CASE3
1100-1150	M-R4	SYS4	LAB2	SYS8	CASE4
1300-1350	M-R5	TECH5	LAB2	TECH8	
1400-1450	M-R6	TECH6	LAB2	TECH9	
1500-1550	M-R7	TECH7	LAB2	TECH10	
1600-1650	M-R8				

附註：INV 事故調查(Investigation)、SMS 安全管理系統(Aviation Safety Management Systems)、INT 訪談調查(Interviews)、MED 航空醫學(Medical)、LAB 殘骸研究室(Laboratory)、TECH 工程與技術(Technology)、ATC 航行管制(Air Traffic Control)、M-R 媒體關係(Media Relations)、SYS 系統設計(Systems)、CASE 案例研析(Case Study)

(三)課程成員：

美國南加州大學(University of Southern California)航空安全管理相關課程為國際航空(含軍方)進修課程，開放國際航空專業報名參加，本次參與飛機失事調查班課程人員計有 5 國 24 員，其中 22 員為各國政府航空主管單位及民間航空業界從業人員，軍方共計 2 員(我國 1 員)，各參與課程國家及人員統計如后：

1、學員：

國別/機構	政府機關	軍方	航空業界	備考
中華民國		1		飛行專長 1 員
美國	6	1	12	飛行專長 11 員
日本	1			
瑞士	1			
納米比亞	2			飛行專長 1 員
合計：5 國 24 員(含軍方 2 員)。				

2、講師：

姓名	學經歷	主課
Mr. Keith McGuire	前美國空軍飛行員，曾於 NTSB 擔任調查員工作 30 年，從事多年航空器調查及事故釐清工作，曾任 NTSB 西北地區總裁，實務經驗豐富。	INV、LAB
Mr. Jack Cress	前美國海軍陸戰隊直升機飛行員，曾於美國海軍的航空安全學校指導直升機空氣動力學以及元素結構失效分析課程，其他教學經驗還包括國際航空安全中心(ICAS)、國際安全教育中心(ICSE)以及美國各軍種飛航安全課程，專責事故調查和事故預防計劃。	TECH、LAB
Mr. Allen Parmet	曾任美國空軍醫學院航空航天醫學教授，於空軍參與事故調查委員會工作 20 餘年，後參與多起民航事故醫學分析及傷亡辨證工作。	MED
Mr. Thomas Anthony	2007 年 1 月起擔任 USC 航空安全課程專案計劃主任，曾擔任美國華盛頓特區 FAA 調查科的經理，負責全國 FAA 調查政策和程序的調查方案指導。	SMS、INT
Mr. Greg Phillips	擁有 30 多年的航空經驗，曾參與設計通用航空和軍用飛機，在 NTSB 針對飛機事故調查及事故預防與國內外政府機構、飛機組件製造商及航空業界的溝通方面擁有 20 年經驗。	SYS、CASE
Ms. Linda Tavlin	資深媒體工作人，從事訪問工作 20 餘年，接觸過數起飛機事故採訪案件，媒體經驗相當豐富，現兼職媒體工作學。	M-R
Ms. Sherry Avery	洛杉磯國際機場飛航管理督導員，擁有 20 餘年航空管制經驗，曾參與及指導多起地面及空中飛安事件記錄與調查。	ATC

三、課程概要：

(一)事故調查(Investigation)：

1、調查前準備(Pre-Investigation Preparation)：

(1)調查小組(The Go Team)：

一個完整的調查小組可能由以下專家組成：飛航管制、飛機製造商、任務調度部門(民航業)、氣象學、材料結構、系統裝備、動力系統、修維護記錄、飛機性能、醫學、座艙對話錄音器及飛行資料記錄器分析等代表，並由 NTSB 特派專員擔任調查小組的主席；另依據所需，可組成額外的團隊訪談調查相關證人，記錄所見事實或其他業務職責，包括現場消防及救援人員、飛航相關組員與目擊者，以協助事故(件)調查工作。

(2)通知及初期應變措施(Notification And Initial Response)：

事件發生時之初期通知與行前提示對應變措施之啟動和組織調查至關重要，故關於事故發生實際情況的初步資料往往是不完整或有可能是錯誤的，因此初期之信息發布必須有相當大的斟酌處置權限，NTSB 區域辦事處負責在其管轄地區執行初步通知程序，一旦收到事故的初步通知，調查團隊必須以調查的範圍和任務規模為依據，考量因素包括地域、傷亡人數、飛機類型、飛機或地面損壞程度、天氣以及公共利益來整合所需成員與資源。

(3)失事調查包(Go Bag)：

A、個人裝備：工作褲、工作靴(舒適、防水且堅固)、連身衣(兔子裝)、防雨配件、厚襪、皮革工作手套、乳膠手套、套面具、護目鏡及醫療箱。寒冷的天氣應另外考量攜帶高領毛衣、毛套衫、夾克、長內衣(襯衫和褲子)、皮褲、雪褲及冬季手套。崎嶇山區地形額外攜帶登山靴、哨子、防水火柴、登山輔助器材、羅盤及信號鏡。

B、協助調查裝備：數位相機(內置閃光燈)、攝影機、數位相機與攝影機之備用電池、GPS 接收器(手持式)、錄音筆(微型)、平板電腦、防水寫字板、捲尺、手電筒(含輕便型)、不掉色標記用筆、照片用標籤貼紙、羅

盤、可配合 GPS 量測範圍之距離測定儀、「不要越過」警語布條、液體採集樣品瓶、拉鍊袋、零件標籤、機種飛機手冊、事件收集表格、手機和衛星電話(如可能)。

2、事故現場調查組織(Investigation Organization at Accident Site):

- (1)於抵達現場事件指揮中心後，協同地方當局/現場指揮官和區域調查員現場了解情況，初步觀察殘骸，並完成確認一般調查範圍及初始現場安全情況等工作，地方當局對小組介紹事故狀況，與地方當局建立事故現場安全通行系統，避免非相關人員破壞現場。
- (2)依照現場破壞程度、天氣影響、其他限制及實際所需額外裝備(挖掘或吊掛等)尋求設立可獲取資源之管道，並指定調查小組中專責協調溝通人員，專案調查小組依專業進行分組，其組織成員概分為主任委員、調查官、飛行調查委員、飛機修維護調查委員、醫務調查委員、行政支援協調委員及其他委員等，分組依案件地域或國家視情況調整。
- (3)飛機失事調查作業區分：飛機失事調查範圍大致區分為航務調查、機務調查及醫務調查等 3 項，航務調查包含蒐整飛行操作、飛機性能、機場設施、天氣環境、航路管制與通話紀錄及目擊者證詞等資料；機務調查主要為飛機各系統修護紀錄及飛行資料紀錄器；醫務調查則為查證人員有無遺傳性/慢性疾病及藥物影響、毒物或酒精反應、人員於任務前之生、心理狀況、精神狀況分析、飛行或工作疲勞及遺體解剖等調查。
- (4)確認各方出席代表並介紹 NTSB 調查員和相關支援工作人員，組織會議，分派小組負責人，並明確指定各項會議時間地點與進度報告，如有需要則舉辦新聞記者會。

3、現場調查程序(On-Scene Investigation Procedures):

- (1)事故現場危害與安全(Accident Site Hazards and Safety):

飛機殘骸遺址可能使調查人員面臨某些風險，包括潛在生物危害、機載裝備危害、不良地形和惡劣的氣候條

件。NTSB 安全官員將與當地的地方指揮官協調當地警察、消防和救援人員，確定事故現場的危險和調查人員可用的安全資源，有關殘骸的回收、檢視、蒐證和記錄的人員可能會受到危險貨物、有毒物質和蒸汽、尖銳或重物、加壓設備和疾病等物質的危險，NTSB 安全主管將負責對事故現場進行風險評估，以識別可能的危險。

(2) 殘骸觀察/掌握(Wreckage Observation/
Familiarization) :

- A、巡查現場，調查成員對失事現場情況建立初步了解，以利採取行動，並盡可能保持各項證據保持原狀，等待進一步之調查，研判第一撞擊點的位置(巡查初始點)，並繪製殘骸分布圖，判斷飛機撞擊姿態、撞擊角度、方向與速度，記錄失事現場相對環境與範圍以及特殊天氣情況。
- B、清點並記錄登載殘骸主體及主要組件損毀情況，有無著火或特殊損毀表徵，歸類發動機或螺旋槳等提供動力之零(組)件，機身、各操縱翼面部份，駕駛艙、座艙、各儀表指示、電門及起落架位置，燃油及油箱分布情形，各電線系路及裝備損毀情況，另應特別注意未發現之殘骸主體或主要組件，大多數情況下飛機殘骸或其分布情況，可能影響調查方向，甚至主導失事主要肇因研判。

(3) 殘骸檢查/紀實與建檔(Wreckage Examination/
Documentation) :

- A、運用高畫素靜態相機和動態攝影機，徹底拍攝場景及相關的殘骸分佈，重點為事故現場鳥瞰圖(視頻)、現場全景、飛行方向地面投影、飛行控制面、對樹木或建築物的傷害、駕駛艙位置、主要殘骸分布(由各幅相照相或攝影)、地面撞擊情況(最初撞擊點至散布最遠的殘骸)、失事機殘骸主要組件及有用之物證、撞擊痕跡與現象(發動機、螺旋槳及螺旋槳撞擊地痕跡、機翼及各操縱翼面、機身及座艙儀表板、機尾及各操縱面、起落架組件、重要機件或零件故障情形、起火情形、燃油流布區域及地面財物損毀情形等)、火/熱損

壞和變色、特殊斷裂面特寫、特別安裝的組件、遺體/傷員及殘骸上的血液/組織塗片。

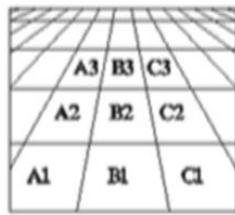


上圖為殘骸檢查並紀實之練習範例(左圖無法判讀完整鎢絲，右圖可清晰判斷鎢絲狀況)

- B、收集易受破壞或易消失(可揮發)及消散中之證據，儘速收集所有易遭破壞之證物，如油料樣品、漏出的液體或散落的文件、地圖、圖表及相關飛行資料等，並給予編號，避免吹散或未經檢查即消失，而無法收集之證據則進行拍照，如事故周遭環境相對狀況、撞擊痕跡等，避免可能因移動而損壞或損傷證物，誤導後續之分析及判斷。
- C、調查人員與清點殘骸時，應隨時繪製相關及相對位置圖表、錄音或錄影記錄相關位置並以筆記說明，以利後續能夠詳盡正確畫出殘骸分布圖。
- D、抵達現場時依飛機完整度，先行研判飛機是否於撞擊前飛機已解體或任何結構失效，如兩翼翼尖均在現場，則可假定飛機撞地時，兩翼仍在機身；如現場尋獲駕駛艙與機身尾段，則可假定飛機撞地時，機身尚屬完整(4-corner：機首、機尾及機翼兩端)；現場所見發動機完整無缺，螺旋槳葉片無短少，表示撞地前發動機未脫離飛機，螺旋槳葉片未於空中飛脫；各操縱翼面、起落架組件、座艙與彈射椅必須尋獲，其與殘骸主體之相關位置皆可能有助於判斷係何種狀態失事，以及所需調查範圍。

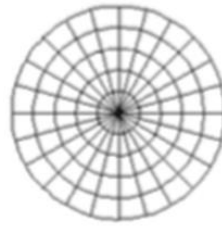
Wreckage Plotting Methods

殘骸定位方式與技巧



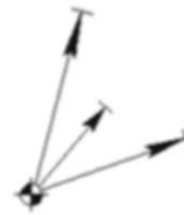
Grid

方格法



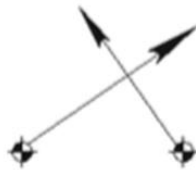
Polar

極線法(蜘蛛圖)



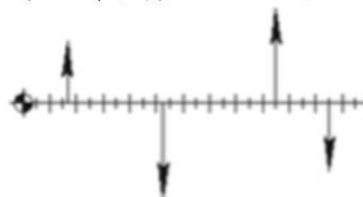
Single - Point

單點法



Two - Point

雙點定位法



Straight - Line

直線法

Items to be included on the diagram in addition to location of significant aircraft parts and surface features and reference marks:	
對特別的飛機殘骸、操縱面及參照標記的位置以外，必須包含圖解裡面的項目	
a. magnetic north 磁北	b. scale 比例尺
c. flight path 飛行路徑	d. initial point of contact 初始撞擊點
e. location of major components 主要元件位置	f. centreline of wreckage flow 殘骸方向中心線
g. location of crew and passengers 組員與乘客位置	h. location of fire pattern 起火位置
i. location of witnesses 目擊證人位置	j. prevailing wind and velocity 風向風速
k. direction of sun and elevation 太陽及高處之方向	l. location of navigational aids or airports 助導航設施或機場位置
m. date/time of accident 事件發生日期與時間	n. point of contact for person making the diagram 製圖者與撞擊點相對位置
o. type and registration of the aircraft 飛機型別及註冊資訊	p. geodesic survey standard (i.e., WGS-84) 座標量測標準(例如: WGS-84系統)

上圖為殘骸定位方式與技巧範例

(4) 飛行資料紀錄器(Flight Data Recorders) :

A、FDR 含有高度敏感的材料，未經授權發布 FDR 資訊將受航空安全委員會處以嚴重之紀律處分，FDR 專家、航空器紀錄器部門主管、研究工程和航空安全局局長為少數能夠主動授權訪問 FDR 資料的人員，分配於事故調查的 FDR 專家通常可以隨時訪問 FDR 和數據並在必要時協助判讀 FDR 各項數據以協助事故調查。

B、FDR 可以記錄至少 25 小時的航班信息(根據不同之航空器而定)，具體來說 FDR 資訊需要事件描述(飛行階段，事件類型)、飛機類型、NTSB 授權號碼、航班編號及行程、事故發生時的當地高度表設置、起飛的位置/使用的跑道、出發時間(UTC)、事故發生時間

(UTC)、可能對 FDR 造成損壞的事故現場條件、各系統故障及其持續時間、每個參數顯示及其意涵、參數的轉換算法、維護/讀出 FDR 設備的機構與聯絡資訊等信息來協助建立整體資料及狀況重建。

(5)座艙錄音機(Cockpit Voice Recorders)：

A、CVR 專家負責處理和保護 CVR 原始紀錄和任何音頻副本，如果錄音機損壞，CVR 專家將使用切割工具或其他特殊設備提取紀錄媒體，並檢查紀錄以確定已記錄可用的音頻信息(即使 CVR 可能故障)。

B、CVR 專家從 CVR 下載原始磁帶或內存，完整複製錄音數字，無需修改或過濾，無論錄音是否包含可使用的音頻，所有非外國 CVR 錄音均經數位存檔，一般情況下，整個錄音在重大調查的情況下被轉錄，並由 NTSB 調查小組依編建時間完成錄音抄件。

(6)水下殘骸尋獲(Underwater Wreckage Recovery)：

如果事故飛機安裝了 CVR 和/或 FDR，確認立即啟動對水下定位信標器的搜索，調查管理部門聯繫國防部/搜救人員主管，以確定其參與搜索和尋獲計畫的層級與範圍(如果殘骸在國際水域，應考慮國外當局的權限)，根據事故情況，獲得證人證詞、天氣數據、雷達航跡數據和軌跡分析，以幫助殘骸尋獲，嘗試尋獲任務之前，確保人員已完全了解建議的區域位置，以安裝電纜、皮帶及掛鉤等輔助打撈裝備，請務必諮詢操作人員或機身/發動機製造商的專家，各部殘骸於打撈後立即用適當的溶劑處理回收，防止殘骸快速侵蝕。

(7)空中碰撞(Midair Collisions)：

A、調查人員需確定涉及碰撞的兩架飛機的真實空速和相對航向，有幾個基本的信息來源：飛行資料紀錄器、數據監視系統(包括雷達數據)、相關物理證據、見證聲明和飛行計劃，其中最準確的信息來源是 FDR，如果從每架飛機上的 FDR 重建良好的數據，確定碰撞角度非常簡單，因為兩架航空器的航向和空速都是已知的，即使只有一架飛機有 FDR，仍然能提供所需信息的一半。

B、物理證據的關鍵之一是刮痕，有效的刮痕將永遠是直線的，理想情況下可以從另一架飛機上進行油漆比對，在水平表面上找到一個刮痕，以確定水平角度和垂直表面上的刮痕以計算垂直碰撞角度。雖然其他表面碰撞可能彎曲表面的刮痕，但最簡單的標記來自平坦的水平或垂直表面，這些標記可以參照在事故現場的縱軸相關的鉚釘線直接測量，甚至可以在拍照後進行測量，當使用照片進行測量時，重要的是照片垂直於拍攝之刮痕表面，以避免在測量中引入視覺誤差或失真而誤導判斷。



上圖為空中碰撞飛機殘骸，以其執行碰撞角度研判範例

4、分析與報告寫作(Analysis and Report Writing)：

(1)報告目的：

飛機事故調查報告最終是執行後續防險作為的準據，這些防險作為是為了防止避免類似事故再次發生所必需執行的，因此「事故調查報告」必須詳細說明發生事件經過與實際情況，最終報告的結果必須依實際主要肇因(亦可能為多重因素)進而產出為了防險的安全建議，以便採

取適當的預防措施，最終報告應提供包括所有相關事實的資料(包括任何相互矛盾的證據)、分析、結論及安全建議等 4 部分。

(2)調查報告報告的格式與內容參考：

A、引言(標題和簡介)，標題應包含：

操作員名稱、飛機製造商、型號、國籍和註冊標誌以及意外的地點和日期等資訊，簡介內容應包括有關國家和外國當局通知事故的簡要資訊、進行調查的事故調查機構、其他國家的認可代表和有關組織調查的簡要信息，另還應提供發布報告的權限以及發布日期。

B、一般資訊：

包含航班訊息、人員傷亡情況、飛機毀損情況、其他損害、人員資訊、飛機型號資訊、氣象資料、航空輔助工具概況、通信、機場資料、FDR/CVR、殘骸和可能影響事件發生之相關資料、醫療和病理資料、測試和研究、組織和管理資料及其他附加資料(照片或示意圖)。

C、分析：

分析的目的是事實資料和結論之間的邏輯聯繫，針對事實資訊部分中提供的證據實施評估，討論合乎邏輯之可能存在的情況和事件，推理必須根據證據進行討論和實際測試評估，矛盾的證據必須公開且有效地處理，分析中的討論應符合事故調查的所有發現，對事實資料部分提出的相關事實和重要性皆應進行討論和分析，以確定哪些事件導致事故發生。

D、一般事實結論：

結論來自於分析，但是在分析中確定的結論中，必須保持相同程度的可靠性，例如如果分析中的討論表明事件或情況之任何可能性，則判斷之結論應包含相同的限定詞“可能(possibility)”。

E、事故原因：

原因的確定應基於對事故中可能影響因素及所有事證的確定性，公正和客觀的分析，事故原因應盡可能的避免歸咎或責任歸屬的論點。

F、飛航安全建議：

事故調查的最終目的就是預防事故再次發生，因此確定適當的安全建議至關重要，安全建議是防止其他類似原因的錯誤再生或減少此類事故後果的行動，為了確保提供適當的作為，每項安全建議應包括具體的被建議單位或機構。

EXAMPLE OF THE WORDING OF A SAFETY RECOMMENDATION

Consider the following safety recommendation:

“ICAO should establish a working group to clarify the international Standards and Recommended Practices in Annex 14 regarding the marking of runway centrelines in relation to co-located threshold markings and turn-around areas.”

In accordance with the guidance above, the addressee (in this example ICAO) should be given sufficient latitude in determining how to achieve the objective of the recommendation. It should be left to ICAO to determine how the work is to be undertaken, e.g. working group, consultant or panel. A general statement, such as “international requirements” could also be used, thus leaving it to ICAO to determine whether Standards, Recommended Practices and/or guidance material would be appropriate to meet the objective of the recommendation. Based on the foregoing reasoning, the following formulation of the safety recommendation would be preferable:

“The (accident investigation authority) recommends that ICAO re-examine the international requirements in Annex 14 regarding the marking of runway centrelines in relation to co-located threshold markings and turn-around areas.”

安全建議範例

請思考以下安全建議：

“ICAO 應建立一工作團隊以確認於第14號副約中所提及跑道中心線及其相對跑道頭標線與轉彎區域合於國際標準並使其成為慣例”

為與上述引言一致，收件人(以本範例則為ICAO)應被給予足夠的空間以決定如何達成建議的目的，應該留給ICAO決定如何進行此項工作，舉例來說，工作團隊，顧問或專業團隊，一個一般的陳述像是”國際需求”也可能被使用，於是留給ICAO決定是否標準、建議慣例及/或導引元件可以合適的達成建議之目的，基於上述原因，下列安全建議範例將較為合適：

“(事件調查權限)建議ICAO重新檢視於第14號副約中所提及跑道中心線及其相對跑道頭標線與轉彎區域之國際需求”

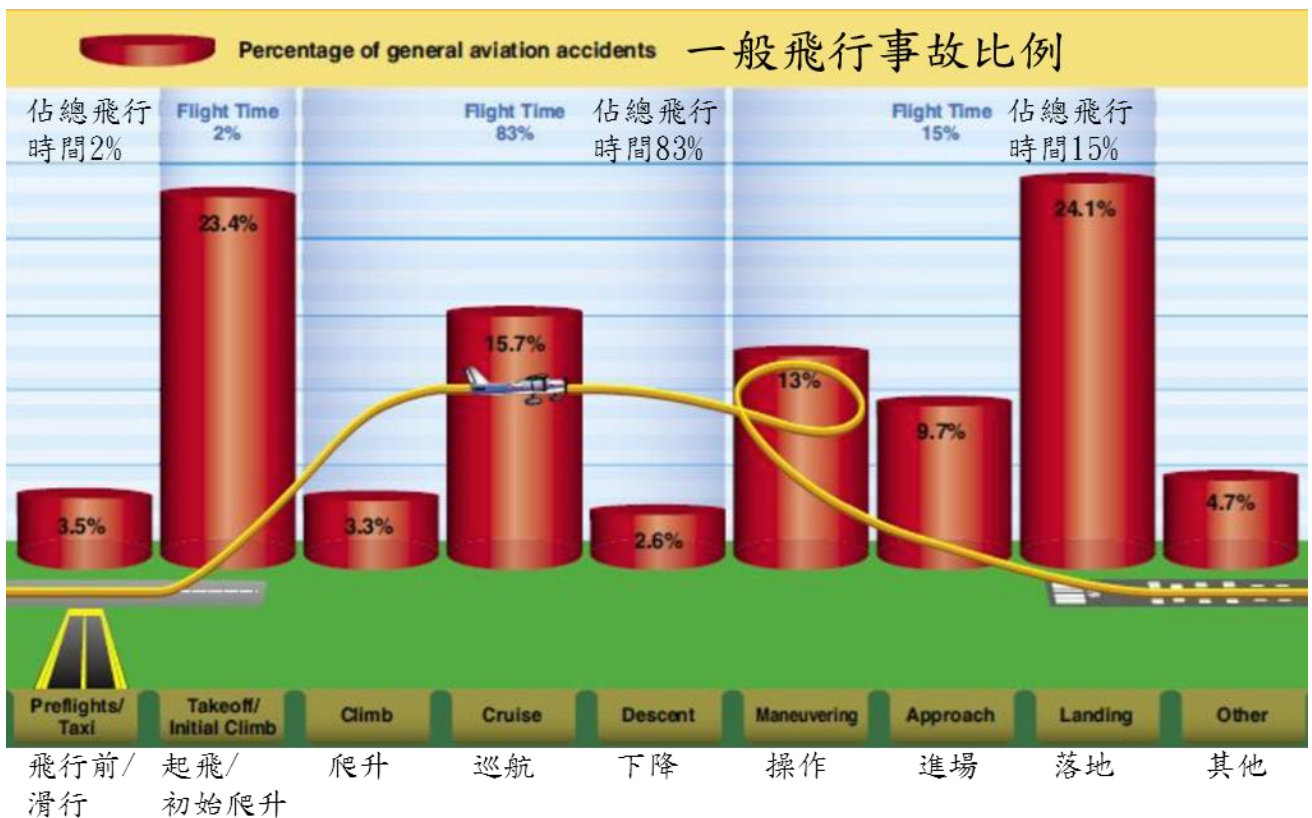
上圖為飛航安全建議之範例

G、附件：

參考資料應包含：通訊記錄(ATC/CVR)、FDR 讀數飛行計劃和載重表、技術調查報告、各項示意圖、相關修維護記錄、失事現場地圖、數據圖表及照片。

- (3)調查報告撰寫其他注意事項：運用簡明、正確、一致性且公正的態度表達，單純化遣詞用字，並避免再度挑起當事人或受難者家屬之傷痛，各階段之訊息公布及最終調查報告內容應合乎法律規定。

(二)工程與技術(Technology)：



上圖為飛航事故發生機率之範例

1、計畫(Plan)：

於展開飛機工程與技術分析調查前，應先期審視事故中工程與技術問題之統計/失效原因，專注於組成件效能和材料影響因素，審查飛機組成材料基礎構成元件，經由實驗與事實蒐證發展出各類斷裂面分析的基礎，包括靜態、過載故障(Overload)或金屬疲勞(Fatigue)失效，依據複合式材料的基礎知識及討論其相關性能參數。

2、金屬和複合材料特性(Identifying metal and composite properties)：

飛機夾層(複合式材料)結構設計的目的是提供具有輕質結構的高彎曲剛度和高彎曲強度，面板通常由碳或玻璃纖維層壓縮板製成，這取決於預期的操作條件，兩個最常見的核心材料是塑料泡沫和蜂巢結構設計而成，夾層結構較單一材料結構能更有效抗衡應力。

(1)脆性材料特性(Brittle characteristics)：

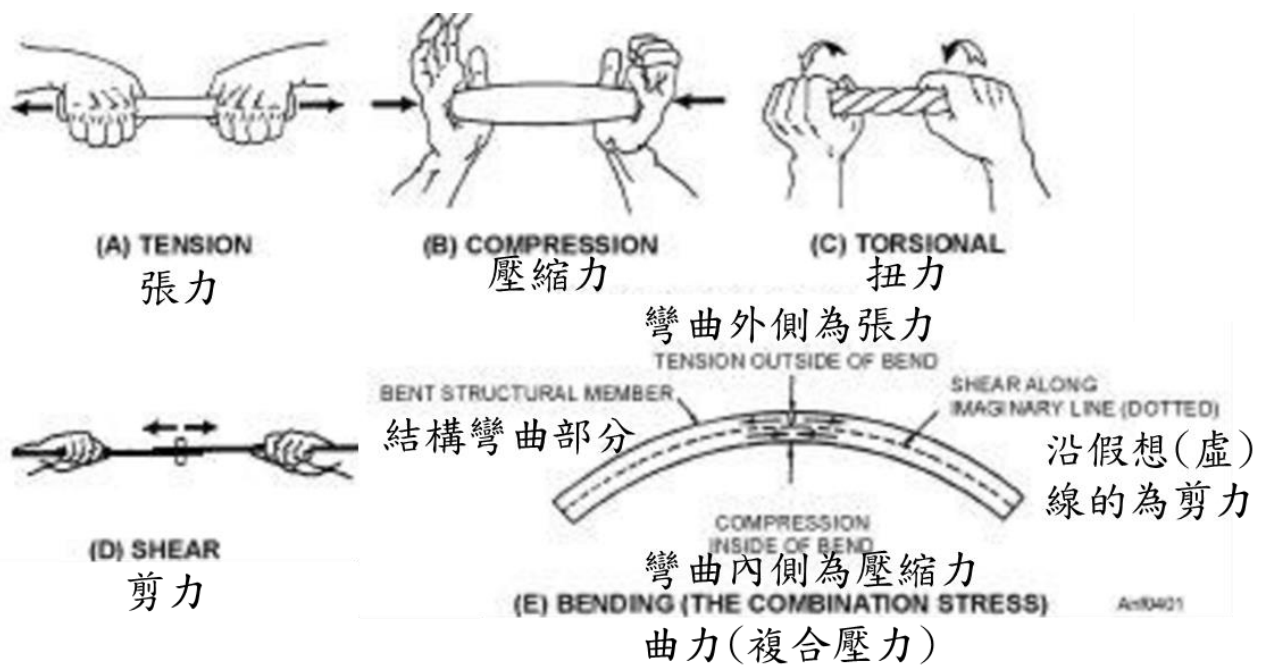
特性為抗壓縮力(Compression)強，能適度抵抗剪力(Shear)，對抗拒張力與拉力(Tension)效能極差，通常在 90° 以下的張力下會導致脆性材料失效。其失效斷裂特徵為變形很小(塑性)，塑性變形是永久變形的且斷裂面通常會很細，且在任何材料上都可能產生這樣的斷裂面，例如圓形的韌性纜繩受到張力斷裂時，有外圍呈現 45° 韌性斷面，而最中間會呈 90° 的脆性斷面。

(2)韌性材料特性(Ductile characteristics)：

相較於脆性材料，韌性材料實際上抗壓縮力(Compression)較差，但擁有較佳之延展性抗拒張力與拉力(Tension)效能，而抗拒剪力(Shear)之效能最差。延展性失效特徵為斷裂面相較於剪力方向通常定位為 0° 至 45° ，破壞面經常反光平滑，剪力將表面分離時產生的相互摩擦痕跡，將其視為污點(Smearing)，一般飛機上大部分的材料都是鋁合金，均屬於此類材料，如果是因為材料瑕疵則斷面將不會是 45° 。

3、各類結構材料失效(Types of Material Failures)：

結構材料失效必須通過實際殘骸樣本進行研究分析，將材料分類為韌性與脆性，找尋並提供有利證據判斷結構失效成因，以支持調查員確認任何類型的負載導致故障。



上圖為標準應力類型之範例

(1) 靜態斷裂紋識別(Static fracture recognition):

A、張力(Tension):

造成夾層結構中的張力失效通常與複雜彎曲的負載條件有關，如果夾層結構暴露於平面內的張力，兩個面板將處於緊繃狀態，而不是一個處於張力狀態的壓力，進而在壓縮過程中發生彎曲。由於在這些條件下夾層結構的故障，可預期伸展失效的特徵，這些特徵包括通常粗糙的斷面，纖維拔出和纖維橋接。

分析張力所造成之各種失效損壞，必須考慮金屬材料之脆性與韌性，因二者所顯示之失效型態不盡相同，故依此兩種材質為主敘述如後：

- (A) 中度韌性圓形材料受到張力影響而失效時，其斷痕成杯形，及邊緣成 45° 光滑之切面，且有縮小及內傾現象，中心斷痕則成拉伸型態，因材料結構與受力因素影響，斷痕邊緣時呈城垛狀之缺口；
- (B) 高度韌性材料受張力影響而失效損壞時，斷痕可區分為二部分，其一呈粗糙粒狀之拉伸型態區，另一部份呈現 45° 光滑之剪切型態區域。

- (C)脆性之圓形材料受拉伸應力失效時，其斷痕平整，且必然與拉伸應力方向成垂直，甚少有變形與歪斜之斷裂面。
- (D)在飛機結構件中，純粹脆性之金屬可能不多，典型的脆性材料靜態超負荷所造成之張力失效，其斷面四週，常具有及細小之 45° 切面，在顯微鏡下，斷痕出現排列整齊之窩型旋紋。
- (E)金屬板受拉伸應力失效時，受力中點呈 45° 分解應力所造成之剪切型態裂口，板內縐摺與裂口垂直。
- (F)韌性飛機構架金屬材料之典型張力斷裂，其斷面所具之特徵，各點均呈現 45° 之斷痕。
- (G)各類型管狀材料受張力影響而失效時，斷痕未變形無磨損，各斷面均呈 45° 。

B、壓縮(Compression)：

壓縮造成夾層結構失效的特徵包括各個面板的屈曲和球狀的擠壓(視應力方向與受力大小)，面板通常呈現局部彎曲中失效，可能會在面板中呈現出凹陷形式或局部屈曲，失效明顯與否取決於核心中的材料與外界應力的大小。壓縮應力所造成之各種材料損壞，在本質上與結構件之穩定性有關，各種金屬結構件中，其材料所能承受壓縮應力之各種限度，通常很難達到，因此在結構件中焊接及壓縮部分，因壓應力而造成的損壞亦不易顯現，如壓縮應力超過材料負荷限度，各種不同性質材料，將產生不同失效特徵，簡介如後：

- (A)如飛機蒙皮類的捲曲薄板或可延展性管狀材料壓縮失效時，在負荷力之中點，將出現菱形縐痕。
- (B)中空圓柱受壓縮損壞時，受力邊之管身，將以垂直方向向外爆裂。
- (C)韌性短柱受壓縮時會發生損壞變形等情形。
- (D)不穩固角材受壓縮時，將形成不規則之彎曲。
- (E)方形角材受壓縮時，局部受損在負荷力中典型成對等之凸緣。

C、剪力(Shear)：

剪力紋路，看起來似乎是一種局部屈曲的形式，但實際上取決於夾層結構的包覆性質，剪力壓力製造出類似於帶狀扭曲，其由層壓板中的纖維的彎曲形成，在剪力捲曲中，如果中心在剪力作用中失敗，面板或介質通常形成局部彎曲中失效。分析剪力所造成之各種材料損壞，必須了解金屬材料所具有之機械性質及雙向剪力對角線上發生之壓縮應力。當剪力加諸於韌性的金屬而發生損壞時，其斷面光滑，在斷面後有延伸情況。如屬剛脆材料，則斷面後緣將出現 45° 粗糙之拉伸型態裂口，此乃剪力在對角線上發生拉伸應力(張力)的結果。無論韌性或脆性材料受剪力之應力失效時，其受力之前緣均呈現明亮之半月型剪痕，此為典型之剪力失效之特徵。

D、扭力(Torsion)：

通過力量的扭轉，扭轉的一端或部分圍繞縱向軸線，而另一個被保持快速或相反方向轉動，便呈現扭曲力量的狀態，扭力是扭曲時物體受到的壓力，扭轉實際上由兩個其他的壓力組成：張力和壓縮，軸被扭轉時，在軸的對角線處經受張力，並且壓縮作用與張力成 90 度。金屬材料受扭轉應力損壞，亦因材料本身之不同性質而分別呈現不同之斷面特徵，簡述如下：

- (A) 韌性金屬材料受扭轉應力損壞時，斷面光滑平整，具有剪切型態及不甚明顯之同心圓圈，此顯示損壞係由外而內，同時在材料軸心部位，呈現因扭力而造成螺旋型之突出斷痕。
- (B) 脆性金屬材料受扭轉應力損壞時斷面粗糙，具 45° 之張力失效拉伸型態，斷痕有旋轉痕跡。
- (C) 中空圓柱受扭轉應力損害時，與中空圓柱受彎曲應力損壞之特徵十分近似，同樣具有 45° 之張力失效特徵，其不同點為斷面具有旋轉痕跡，但無彎曲變形之現象。

E、曲力(Bending)：

彎曲在一個面板中產生張力並在另一個面板中產生壓縮，最好理解夾層結構中的彎曲失效是觀察面板張力的失效切面，通常曲力的結構失效會產生與複合材料結構張力過載而失效(粗糙斷面，纖維拔出和纖維橋接等)有關的故障特徵。材料彎曲損壞，通常均由張力與壓縮力之合力所造成，在分析一項純粹的彎曲損壞時，應注意金屬裂紋橫切面上所承受的軸應力。如該金屬橫斷面上的材料穩定性夠大，不至於因壓力而發生翹曲變形時，則損壞是由於張力所造成，在這種情況下，如該金屬結構件屬脆性材料，則其斷裂的發生是以拋物線的方式進行，斷面與主要的張力方向垂直，以下是各類形彎曲失效之特徵：

(A)管狀材料彎曲失效之特徵：

- I、韌性管狀材料彎曲時，在負荷力中點將出現 90° 橫斷綳摺。
- II、脆性管狀材料彎曲時，壓縮而成扁平凹陷，拉伸面則呈弧形突起，斷痕邊緣呈 45° 之拉斷特徵。
- III、中空圓柱彎曲折斷時，壓縮而內彎，拉伸面斷痕具有 45° 之拉伸特徵。

(B)角材彎曲失效之特徵：角材彎曲折斷時，邊緣有明顯之彎曲痕跡，斷面呈受張力拉伸失效之相同特徵，底邊有向受力方向彎曲跡象。

(C)T 形角材彎曲失效之特徵：自平面邊向上彎曲時，垂直邊即受壓縮而扭曲。

(D)機翼結構因彎曲折斷：翼樑受力邊呈彎曲跡象，另一邊首先斷裂且成受張力拉伸之特徵，可明顯鑑別折斷時之受力方向。

F、靜態折斷(Static Fracture)：

金屬材料如發生靜態折斷，大多是因為材料過負荷(Overload)所致，此種折斷型態，在失事飛機殘骸中最所常見。當飛機失事墜地撞擊瞬間，所有飛機結構均遭遇超過負荷之外力，使材料本身無法承受而造成解體斷裂。但是凡金屬材料受到超過其材料可承受的

力(Overload)造成斷裂，這是材料的正常現象，如果金屬材料所受的應力及時間均未造成過負荷(Overload)或過應力(Overstress)，但是金屬卻斷裂了即屬不正常。且應注意於尋獲斷裂零件時，千萬不可試圖組合以免破壞證據。金屬疲勞通常係因機件經常長時間承受往復或週期性之負荷力，使其局部受力處產生塑性硬化，首先在金屬切面轉換處產生裂紋（切面轉換處如孔口，螺紋，齒槽，工具刻痕，刮傷點，銹蝕麻點等等均是），此等切面轉換處由於應力集中(Stress Concentration)，故極易產生疲勞裂紋。當機件繼續承受往復負荷力，疲勞裂紋區亦逐漸擴大，相對地機件受力部位逐漸縮減，應力則更為集中。如此因循惡化，常超過其能承受之最大應力時，該機件則瞬間折斷。金屬疲勞之原因，多係機件裝配不適當、錯誤零件之裝置、機件設計不適當、裝配有缺陷之材料，及材料受外力損傷所造成，故在設計機件時，應注意儘量避免應力集中。金屬疲勞形成過程可分為三個時期分述如後：

- (A) 疲勞發展期：此時期常由金屬表面產生應力集中，使受力處硬化，漸漸產生疲勞裂紋，疲勞發展較為緩慢，由金屬表面疲勞起始點漸漸形成一細小裂紋，其方向與材料之表面成 90° 垂直方向，向外輻射而出。當負荷力停止時即停頓於某一部位，即所謂「休止痕跡」(Stop mark)，此種斷面由於長時期差排作用(Dislocation)，呈現平滑之貝殼形或海灘形，稱之為「疲勞區」(Fatigue zone)。
- (B) 疲勞形成期：當金屬疲勞區出現休止痕跡時，每一痕跡均表示機件承受一次負荷力之最大限度，休止痕跡累積愈多，疲勞發展亦愈速。此時斷痕表面漸漸出現粗粒痕跡，造成不平之斷面，此種情形可能在數處同時發生。
- (C) 瞬間折斷期：當疲勞形成期已形成時，任何一次巨大的往復負荷力均可使機件瞬間折斷，蓋機件材料應力已無法承受負荷之故。因此，疲勞形成期與瞬

間折斷期十分接近，惟有經驗之調查人員，仍可在機件斷痕上清晰分辨此二時期之區別。



上圖為金屬疲勞斷面之範例

(2)疲勞斷裂紋識別(Fatigue fracture recognition):

因金屬疲勞而肇致結構失效是可能的，但與複合材料結構一樣，不像金屬結構那樣普遍，如果發生疲勞損傷，則可能產生許多特徵，這取決於結構的哪個部件疲勞，表面、中心和接合處都可能失效，如果面板疲勞失效，它們將典型地展現在壓縮層板部分，複合材料結構在製造或使用過程中可能會損壞，與金屬結構一樣，可以修復複合材料中各式不同類型的損壞，以恢復結構的完整性，修復完畢後，這些完成修復的部位雖然可以正常運作，但仍可能影響或直接導致其他結構性之故障，在對複合結構事故後殘骸的測量中，事故調查員必須能夠確定存在曾實施修復之事實，並確定先前的修復工作是否在事故中發生作用，金屬疲勞斷面之特徵如後：

- A、由於疲勞破壞為應變硬化而造成，雖材料為韌性材質，但斷裂而所呈現者仍為脆性本質。

- B、由於張力為疲勞破壞之形成及進行之必要條件，故此區域之斷面必與主拉力垂直。
- C、由於疲勞破壞之進行乃漸進發生，且破裂速度及受力之改變而不一致，且快慢不一，故當荷力消失時，疲勞損壞之過程即中止，故有停止符號(Stop mark)之出現，又稱蛤殼記號(Clam shell mark)。
- D、當疲勞破壞同時由多處發生，所處之面高低不同，相遇之處成階梯之滑動面斷裂，稱為海灘符號(Beach mark)，其成因多為材料鍛鑄不均勻，或過應力較大所致。
- E、疲勞損壞多源自於可見應力集中處，稱為疲勞原點(Original point)，成因多為施工不當，材料有工具擦痕，鉚釘孔眼，或其他孔穴，材料出現溝槽，材料發生銹蝕麻點或截面幾何外型有突然改變處。附加疲勞應力屬張力及壓縮應力兩方面者，疲勞斷面外觀與純粹受張力者不同，壓縮應力可使兩面相互磨擦，差排之結果使斷面有磨光趨勢，此時疲勞區多呈光滑，休止符痕跡亦較不明顯，但此事實可幫助了解並鑑定負荷情形。
- F、疲勞裂紋之偵測：經常遭受往復負荷應力之機件，均有遭受疲勞損壞之可能，故對疲勞之檢驗與偵測極為重要。在疲勞形成過程中，早期疲勞損壞發現之檢驗甚為有效，如能在疲勞裂紋產生前偵測出機件已發生疲勞之徵候，便可有效預防疲勞損傷之發生。
- G、迄今為止，尚未有任何方法能預測在使用中之機件是否將發生疲勞損壞，故僅能執行對已形成之疲勞裂紋之偵測，期能在疲勞斷裂發生前予以更換，以預防事故之發生。

(三)航空醫學(Medical)：

1、航空醫學與調查(Aeromedical Role in Investigation)：

航空醫學調查員執行調查工作與其它調查員同樣都是由蒐集資訊開始，初步醫學調查工作由最早抵達事故現場之醫護人員執行，通常是當地醫院或消防單位，但他們的首要

工作是搶救人員生命非失事調查，而且他們的行動可能影響後續調查工作的進行，當事故現場發生在機場或附近時，緊急應變單位及調查計畫可以快速應處，如事故現場為市區或近郊，也可獲得相對快速的處理，但如果發生在偏遠地區，初步醫學分析與迅速調查快速應處的可能性就相對較低，初步醫學調查資訊內容概略涵蓋以下幾點：

- (1)失事殘骸現場(拍照及記錄等)。
- (2)遺體殘骸(確認相關位置將殘骸移至規劃區域進行身分鑑定及分析等)。
- (3)生還者檢驗報告。
- (4)座艙組員家族遺傳病史。
- (5)個人病史、醫療、藥物、酒精及其他毒物等測試紀錄。
- (6)驗屍報告。

2、法醫與醫療檢驗人員：

法醫處理飛機失事罹難者人體殘骸的法定權責應非常明確，無論法醫是否曾經抵達飛機失事現場，法醫必須負責對罹難者出具死亡證明，所以法醫非常清楚自己的權限，他們的專業及經驗可以明確判斷死亡原因，而大多數國家是由法醫視情況決定，可能被認為不需要進行解剖，但因失事現場的環境背景因素或其它證據遺留在罹難者遺體殘骸上，而重大飛機失事可能有非常多罹難者，除了租借拖車式冰櫃保存遺體外，還需要向其它醫療機構請求援助，因為無論是 DNA 檢驗或是進行解剖，都需要大量人力及時間。

3、遺體鑑識：

身分鑑別及認屍工作宜全由法醫負責，法醫分為兩組，一組尋找屍體特徵並記錄，另一組蒐集罹難者的背景資料，兩組資料核對無誤後，才能確認死者身分交由家屬領回，而鑑識工作由失事現場的人體及殘骸位置標示為起點，繪製發現位置之失事現場地圖，並標示說明所見的相關資訊，建立一標示及編號系統配合繪製失事現場地圖，所有的失事調查員都可能參與這項工作。

4、調查員安全防護：

航空醫學調查員及飛安委員會調查官執行飛機失事調查時曝曬在「病(血)媒」環境下，最常見的就是人體免疫缺陷病毒及肝炎病毒，除應知道其病毒特性外，調查員還需要知道其感染途徑及去除污染方法，保護自己並加以防護，避免於執行調查過程中遭受感染，影響自身安全及後續工作，穿著層級防護衣須依不同失事現場而調整，以確保自身安全。

- (1) 一級防護衣物：安全帽、連身工作服層級防護衣、綁腿及工作鞋等，以預防飛機殘骸尖銳金屬碰撞、割傷及穿刺等傷害。
- (2) 二級防護衣物：連身帽式防水工作服、防水鞋、眼罩及口罩等，預防人體殘骸之病(血)媒感染，並在離開現場後立即予以銷毀拋棄，依美方的職業安全與健康標準提供於調查現場之調查員的安全標準，人員須先鑑識現場的危險性及程度，建立進出點以利管制，現場調查員應使用個人保護設備，並且律定進食、飲水及吸煙等規則，離開後防護裝備就予以銷毀或拋棄，所有攜入現場的裝備都應妥善保護(如照相機)，確遵安全考量需求，妥善準備及實施前置訓練。

5、遺體解剖：

飛機失事調查人員可由解剖獲得相當可靠之參考事證，而航空醫學調查員及飛安委員會調查官也需提供相關資訊以協助解剖工作進行，且可能對事故案件調查發揮關鍵性的作用。

6、生還機組員：

調查生還者比調查罹難者簡單，一般重點置於基本身體檢查、酒精、藥物及毒物測試的合法性，除個人病史(例如處方、驗光與隱形眼鏡等)以外、事故前個人 72 小時活動情形、飲食、休息、睡眠、飛行時間及身體狀況等，還須注意其壓力、安定性、反應、家庭狀況及心智狀況等；另針對飛行組員之飛行紀錄調查應包括之前有無意外事件紀錄、同儕評語、能力、職務升遷及人際關係等，均應列入調查範圍。

(四)安全管理系統(Aviation Safety Management Systems)：

- 1、安全管理系統課程主要在介紹管理系統的架構，進行各類數據分析與數據收集，數據分析通常可能會延伸額外的問題，需要進一步的數據收集、模擬和諮詢，數據分析所得很少是具有特定分辨率的獨立原因或結果，需要定期討論所有調查組成員之間的證據收集和處理的資料，安全管理系統強調事故調查時，須注意事件造成的潛在因素及應注意安全管理系統的運作情況等，其目的為辨識並降低風險，避免造成意外事件，事實上與調查的目標相同。所謂「危險(Hazards)」和「風險(Risks)」通常可一起討論，然而在風險指標方面，這兩個面向是非常明確的，「危險」是可能對人類，財產或環境造成傷害或損害的任何因素；「風險」則被定義為暴露於危險將導致負面後果的可能性，或者簡而言之，如果沒有暴露於該危險，則將不會造成風險。
- 2、如果飛行事故不是由業主和營運商直接進行的，那麼一些在委託組織過程中，涉及到選擇和管理某些特定單位即為安全管理系統，這裡應該明白的是，任何對「人」的討論並不限於飛行員或機組人員，它可能適用於修維護人員、任務調度、航行管制、飛機設計人員或任何涉及飛機運行的其他人員，包括監察、督導與管理階層人員。
在這個概念下，團隊組織關於文化、任務派遣、任務準備、日常生活習性，制訂合理政策並落實監督這些工作和紀律程序的遵行，例如機組成員在執行任務之前是否獲得足夠之休息，執行任務是否仍受其他旁騖牽制等問題。管理階層若在組織中無法制訂有效的保護機制，任務組織成員可能就無法妥慎的分配工作，在某一個時刻必定形成團隊或個人的工作疲勞(乏)，組織政策正向與否被認為有助於健全團隊整體安全最大影響。
- 3、大多數潛在的不安全狀況都是從決策階層開始的，即使在最佳運作的組織中也是如此，這些決策者也受到正常的人類思考偏見和侷限，以及對時間、預算、資源及政治等方面的限制，由於決策者必須兼顧安全與訓練(任務)的平衡以及效益與成本的考量，所以不可能完全防止其中一些

不安全的決定，故必須採取措施來檢測並減少不安全決定所造成的不良結果，換句話說我們不能再像老舊陳腐的機構一般，盲目的服從命令或是仍服從管理階層的所有決策，任何攸關組織發展與運作的方針都必須建立明確且可行的規定與法令，使組織每一個部門乃至到個人都能依法行事，有理可期及有法可循，如果管理階層盲目的下達「口頭命令」，不但造成組織執行工作上的矛盾與窘境，在時空背景變遷的情況下，這些前人的「口頭命令」未來將形成單位的毒瘤，並在日常生活中侵蝕團隊績效，直至某個不可抗拒的因素爆發時，才令後人重新檢討。

(五)訪談調查(Interviews)：

1、永遠計劃一個有目的的訪談，訪談開始前計劃與策略最為重要，首先須清楚了解訪談目的，其次為依據所需建立對話分項，有關訪談計畫必須先期收集並閱讀已知的實際資訊，縱使已有完整的報導或媒體資料，仍應懷疑初期的各方報告，隨時對事件或媒體抱持專業的懷疑態度，避免先入為主的成見，掌握與案件有關的所有內容，包括廣告、意外紀錄、報刊、報紙或電視報導，廣泛的收集問題作為您的問答結構，不論結果如何，於離開訪談現場前永遠應完成訪談紀錄，然後審查你有什麼可靠資料，確保完整性的訪談方法為 2-5-W，強調兩次運用何時、何人、何地、為何以及發生何事來確認與證人的問答完整明確，訪談的注意事項為：

- (1)有系統條理，避免衍生不必要的問題。
- (2)按時間順序問答，以利有效且邏輯性地完成證詞紀錄。
- (3)考慮證人的立場和動機，避免強烈批評或質疑，當證人感受到的威脅愈高，提供正確訊息的機率變越低。
- (4)問題清楚、明確且簡單，切勿利用引導式問題提問，良好的訪談來自於良好的傾聽。
- (5)從識別和聯繫信息開始，思考可以直接影響問題的順序和方法。
- (6)如果證人許可的情況下，運用更多的時間讓受訪者真誠地說話。

- 2、運用團隊成員，不同的調查訪談人員看同樣的問題常有不同的角度和見解，所以事先準備問題並規劃分配調查員角色和協調討論策略：
- (1)紀錄應採訪表設置，開宗明義表明自己是合作夥伴的角色。
 - (2)指定抄寫(紀錄)員，基本策略為單一提問單一記錄避免重複或干擾。
 - (3)人與人之間的溝通通常非語言的表達佔了 70%，所以觀察受訪著的各種表情、行為舉止、言談速度及是否有特定行為可以決定受訪著之心態。
 - (4)不論地點與訪談空間，訪談的佈局應使證人不會感到不適(馬斯洛理論)，必避免法庭形式的設置訪談會場。
 - (5)於訪談前應隔絕手機和其他通訊器材，當證人在敘述時避免中斷證人思緒。
 - (6)建立良好關係並適時提醒他們貢獻有多重要，但避免急於要證人提供或回顧任何現場所發生之事跡。
- 3、調查組織必須完整的面對案例，並了解單一對象的訪談可能不只一次，案例後續延伸將決定訪談會接受何種的證據，如果大量的文件證據則建立檔案文件，記錄收據、時間、從哪裡、位置、保持原件安全，可能需要隨時從檔案中更改系統編號，準備後續訪談，為後續訪談鋪路，例如：我知道有時當下我們記得事情很混沌，事件發生後的第二天，請打電話給我，所以應留下聯絡資訊或名片並取得通聯許可之協議。

(六)系統設計(Systems)：

- 1、系統調查包括調查飛機系統設計和報告其他不屬於飛機系統但間接影響飛航安全的項目，這些檢視項目中不可避免地有一定程度的重疊或相關聯，例如在液壓操作的飛行控制的情況下，其中制動液壓系統的發電和調節構成系統調查的一部分，而控制連結液壓操作系統亦在結構調查的覆蓋範圍內。
- 2、由於現代機載設備的多樣性和復雜性，飛機系統調查工作日趨困難，由於所有系統及其操作都可與三個基本領域相關聯，因此調查人員必須對液壓，電力/電子和氣動裝備有

良好的本職學識，以充分發展和分析現有事實，調查人員在使用這些系統時應特別謹慎，特別是在事故現場蒐證視察期間，部份液體、氣體或者帶電的元素都可能導致嚴重的人身傷害甚或死亡。

- 3、系統的檢查通常不僅僅涉及組件的檢查，它可以涉及完整的系統功能測試、各個部件的單獨系統測試或重新安裝相同類型的飛機中的設備進行飛行測試，以確定正常飛行中的組件的能力和指定的條件。
- 4、通常，以下系統被認為屬於系統調查的主要項目：液壓、電氣、座艙加壓和空調、防冰(雨)系統、指示儀表、中央數據計算機、飛行監控、失速改正警告、無線電通信和導航系統、自動駕駛系統、火警探測和保護系統、氧氣系統及相關動力系統。

(1)電氣系統(Electric systems)：

外在證明、組員報告、機載紀錄、證人證詞、空中交通管制通信紀錄等通常將為電子系統調查提供初步指導信息，可以參閱飛機修護手冊一起使用，以識別關鍵系統組件及連結端等，電氣系統由電力生產設備或其設備及其控制系統、機械或流體耦合、逆變器或變壓器整流器、應急電力設備、電氣佈線、斷路器或保險絲、連接器和集束線路所組成，這些項目應在調查模擬操作期間獲得優先考慮，以進行詳細評估。

(2)液壓系統(Hydraulic systems)：

現代飛機上的液壓系統對飛航而言至關重要，大多數大型飛機至少有兩個獨立的液壓系統，這些控制系統通常具有單獨的加壓泵和液壓儲存器，提供飛行控制致動器或所謂的雙重致動器，雙致動器可以設計成串聯或併聯作用，並且在液壓方面彼此獨立，在液壓系統故障中，受影響的控制組件具有進入旁路的集成控制閥系統，調查員應盡可能從多方面的來源獲得液壓流體樣品，例如儲存器、過濾器、致動器和被尋獲的管線部分，確保採樣期間沒有發生污染，最好的樣品是被封蓋並送到實驗室的組件中取出的樣品，嘗試運用壓力表分析所得實品，警告面板等來確定衝擊時的系統壓力，記錄所有與

系統操作相關之讀數，例如輔助設備，多種顯示模式，正常操作和備份系統中的系統壓力變化，如果可以確定整體系統正常運行，則調查員可以專注於單個組件而不是整個系統。

(3) 空調與加壓系統(Pressurization and air conditioning systems)：

A、加壓系統的核心是機械電氣控制部件，通常在駕駛艙運用電氣設備以機械控制壓力，調查中應檢查這些閥門的狀態和位置、機械連動的完整性、電氣連接器和壓力感測線路配件、尋找任何有關故障的證據，包括所有流量控制閥，例如艙室混合閥，空氣輸送閥，包裝閥和溫度控制閥。

B、空調系統包括壓縮機、冷凝器、蒸發器、空氣循環機、冷卻渦輪機、渦輪壓縮機、水分離器和熱交換器，所有閥位及其狀況應記錄在案、並與駕駛艙控制電門位置相符，調查員應檢查空氣循環機和渦輪壓縮機的運轉情況確認故障來源的證據，並檢查軸承、渦輪以及這些項目的連接狀況其是否按規定執行潤滑。

(4) 防冰(水)系統(Ice and rain protection systems)：

防冰系統用於發動機、動靜壓探測管路、機翼及尾翼等個操縱面，其位置應記錄在案，並與駕駛艙控制設置相關，尤其是當懷疑有結冰情況(天氣報告、現場觀察或是飛行員報告)應檢查機翼防冰管道是否有故障或接頭鬆動的跡象，這可能導致熱空氣被導向線束，流體管線和其他組成件可能由於過熱導致部件的故障，有些情況下，這種加熱的空氣可能已經燒壞了電氣佈線上的絕緣。

(5) 儀表系統(Instrument systems)：

所有的儀器皆應該被復原並嘗試判讀，將其讀數和狀況記錄在案，並檢查其餘連接儀表板處，壓力儀表軟管是否有滲漏或連接不良的跡象，電氣連接線束應檢查是否鬆動、接觸不良、短路、過熱或裂紋絕緣，依照飛機修維護手冊比對相關儀表之交流電與直流電系路，以研判哪些儀表在撞擊前是否仍通電，讀數是否可靠，有幾種方法可用於確定在發生撞擊或丟失信號時的儀器讀數：

- A、事故現場所呈現讀數。
- B、用顯微鏡檢查於衝擊時錶盤和指針的痕跡。
- C、比對齒輪的內部檢查和撞擊標記或捕獲的證據。
- D、同步電子數位訊號。

在可能和適用的情況下，應採用所有這些方法將結果相關聯，由於儀器非常微妙，因此易受衝擊力和熱量的影響，嚴重事故後(例如空中解體或嚴重火災破壞)的儀表精確度通常不可靠。

(6) 導航系統(Navigation systems)：

在對座艙殘骸建檔時，應對頻率選擇器面板進行檢查所調頻率(尤其是進場階段的事故航機)，這些頻率應與該地區的無線電設施相關，另外檢查選擇器面板和音頻選擇器面板上的音量控制旋鈕位置，以確定設備上設定的音量，用於通信和導航的無線電設備可以通過去除前蓋並在兩個指示器上讀取頻率來目視檢查以確定預先選定的頻率，如果前面板丟失，應檢查晶體管選擇器開關以確定選擇了哪個晶體，然後可以將兩個晶體值提供給裝備製造商，比對事故飛機所選擇的頻率，另一種方法是檢查頻率選擇桿和凸輪位置，同時注意調音段的位置。

(7) 飛行操縱系統(Flight control systems)：

由於各類飛機的飛行控制系統有顯著差異，主要區分為機械飛行控制系統、液壓機械系統和線傳飛控(Fly-by-wire)系統等這三個系統，所有的飛行控制系統控制關於飛機的縱向，橫向和垂直軸線的運動，飛行控制表面可以分為主要和次要(或輔助)控制面兩大部分，主控制飛操面和輔助控制飛操面通過許多部件進行控制和致動，包括制動器、絞鏈、支架、曲拐、推拉管、拉桿、電纜、滑輪、平衡重和錘重。在直升機中，總成和循環控制系統和部件，包括主旋翼和尾旋翼，是飛行控制系統的主要組成部分，盡可能在墜機現場識別並搜尋所有這些組件。

(七) 媒體關係(Media Relations)：

1、溝通原則(Rationale as to who communicates)：

一個組織與群眾溝通的基本原則基於溝通層次之不同與深淺，當事故(件)發生時，組織代表必須與眾多群眾溝通闡明緣由與分享最新資訊，通常最重要的群眾是媒體和家庭，「危機中的溝通」亦指處理傳媒和家庭的問題，許多不同的代表可能在不同的時間，不同的地點必須與各種群眾組織溝通，在大多數情況下，涉及的一方，無論是一線還是二線，都是來自技術部門的專業人員。

Levels of Communication – the Reality

Party	Who is allowed	Who is the expert?
Investigators	Only those technically qualified.	Safety/Quality Ops/TechOps
Regulators	Who will they talk to?	Safety/Quality Ops/TechOps
Lawyers/Ins	Who will be allowed to testify?	Safety/Quality Ops/TechOps
Families/Loved Ones	Why did their loved one die?	Safety/Quality Ops/TechOps
Media	What happened?	SQ/OpsTechOps

溝通層級-實際情況

部門	誰是被認可的	誰是專業
調查員	僅技術合格人員	安全/標準化/技術人員
管理者	他們將對誰談話	安全/標準化/技術人員
律師	誰被允許作證	安全/標準化/技術人員
家人/摯愛	為何他們所愛的人死了	安全/標準化/技術人員
媒體	發生何事	安全/標準化/技術人員

上圖為回答問題相關層級與權責之範例

2、原因(The Causes)：

這些事件有六個主要原因或組合，為了沉穩的回應各方發出之各種問題，應制定的問答之基本策略，組織需要有足夠且可靠的專業人員在這些問題上進行諮詢與交流，這些專業應包含任務成員、修維護人員、專業工程師(含設計方面)、飛航管制組員(可能為多人)、天氣與環境專業、安全部門及反恐怖主義機構，規劃溝通策略時，要注意三個基本原則：

- (1)這是一個事故安全調查。
- (2)備妥實際已知的資訊。
- (3)強調這不僅僅是一個媒體事件。

3、三點式回應方程式(The Three-Point Formula)：

(1)備妥可用訊息(Have a Message)：

組織必須備妥各項與事實有關之可靠資訊，你擁有的許多資訊都來自調查團隊、民航局以及航空公司。

(2)準備與運用可用資訊(Practice Your Message)：

實際練習運用可用資訊至關重要，這個步驟中所犯的錯誤是雖然人們理解溝通的概念和重要性，但卻無法有效的為溝通與表達等挑戰作好準備，要「理解」這個概念是不夠的，如果沒有預先的練習與模擬應對與擬答，則無法有效展現事實。

(3)思維模式(Thought Process)：

所有可用訊息為支持問答的最佳元素，表達與溝通是一個邏輯性的思維模式，而不是學理或記憶過程，這意味著如果問題是一回事，答案並不一定如此明顯，答案可能是一些選擇，取決於群眾和媒體溝通的目標。

4、四點式回應方程式(The Four-Point Formula)：

每當有悲劇或不幸的情況發生時(意味著有死亡或傷害的事件)，應該考量使用四點公式準備對群眾與媒體之擬答概要，悲劇可能是一個重大的事件，有許多傷害、死亡或一個人認為他們被冤枉的個人情況，那事件之於個人便是一個悲劇，即便只是食物中毒或個人工作場所受傷的情況，如果涉及訴訟(課程中運用「遭誣陷性騷擾為例」)法律責

任，那就屬於必須調查的案件，此案四點式回應方程式亦適用。

(1) 展現人性與同理心(Humanize)：代表這個組織(團隊)，向那些在這場可怕的悲劇中失去至愛的朋友表示同情與憐憫。

(2) 表達感同身受且使自己成為整個過程的一部份(Make Yourself Part of the Process)：

同項次(1)之 Humanize，並避免引述不當之責任歸屬議題(即使群眾或媒體已有相當可靠程度之訊息)，強調在調查報告完成之前無法歸咎責任及確定根本因素。

(3) 委由專業人員/僅運用淺明簡要之專業理論(Defer to the experts/low level of expertise)：

作為一名調查任務人員，只是 NTSB 或任何調查機構所領導團隊一小部分，所以為了準確的回答問題，您將要與他們或更進一步之專業交談，確遵調查不公開之原則，在初步調查報告完成之前應避免談及任何機敏參數或可能引導誤會之言論。

(4) 誠實的表達已知事實資訊(Give the facts)：

例如在此期間，這是我可以告訴你的：這架飛機是... 它是第一次認證... 它的編號與型號為... 它的最後修維護工作是... 我們已經在... 的業務... 等，並避免延伸除事實以外話題。

(八) 殘骸研究與案例研析(Laboratory and Case Study)：

案例研析主要為訓期第一週及第二週各一天，分組至研究室實際觀察飛機殘骸，新的 USC 飛機事故調查研究室是實踐練習的場所，其以 8 架飛機殘骸構成調查演練之基礎，利用事故殘骸，協同具有廣泛實際調查經驗的調查員進行實體審查和模擬調查，讓學員有機會了解事故調查員所需的現場蒐證處理程序，授課內容除基礎理論外，亦結合各類飛安事件(Incident)及失事案件(Accident)解析、實物殘骸介紹說明及分組討論等方式實施，藉各類案件詳細說明調查情形與實情相互結合，使訓員在面對失事案件之有限資訊(部分殘骸、目擊證人及新聞媒體畫面等)時抽絲剝繭，正確地著手展開調查。

所有參與飛機事故調查的學員都可以與不同專業領域之人員廣泛地進行溝通與相互學習，包括調查人員、監管機構、專業代表、律師和媒體，AAI 課程溝通部分為學員提供了解決這些受不同群體所需的工具，這是僅在飛航事故情況下方可證明非常有價值的專業技能，提供飛航事故調查方法的概念和實踐技巧，培養學員逐步建立邏輯性思維與處理能力。

1、MU-2B-60 殘骸調查：

(1)以每組 6 人一組為研析單位，針對 2010 年 MU-2B-60 在美國俄亥俄州 Lorain County Regional Airport，於 IFR 情況下執行 ILS 進場不幸於最後進場階段失事墜毀，造成機上四人罹難之飛安事故，為主要調查研究與分析討論案例，小組成員模擬成立事故調查小組各委員，並依現有資訊(飛機基本資料、罹難組員基本資料及天氣資料)赴飛機殘骸處展開調查，小組中挑選一員主任調查官並制定各委員分工項目及主導各會議期程，統籌管理調查進度並適時協調派遣分工，主要概分為訪談(含證人、親友及驗屍結果)、殘骸現場勘查(殘骸拍照攝影、建檔分析、撞擊研判及環境評估)及資料收集(修維護機務、飛行軌跡雷達資料)等分工，各分工於定期會議依進度及所見事實報告調查情況。

(2)講師團依據實際 NTSB 事故調查報告，擔任行政後勤支援、證人、飛機製造商、飛航管制及修維護負責人等角色，於學員追查進度及推演時提供實際資訊以利案件調查，並適時誘導學員調查方向，保持客觀且邏輯性的思考模式，避免過度偏重單一項目，於結訓當日案例研析中仿照 NTSB 調查模式，按所見事實與合理之結論運用簡報(含佐證資料)提報調查報告。

2、Piper PA-46-310P Malibu 殘骸調查：1986 年一架 Piper PA-46-310P Malibu 於不良天候飛行中失事墜毀，本階段調查依照所給予之資訊已研判為飛行中解體，調查重點置於如何根據殘骸分佈圖、飛行軌跡及雷達軌跡數據、各部殘骸所呈現之受力變形現象以及分析疲勞或過載失效現象，以研判飛機解體原因與重建初始解體部位。

四、學習心得：

(一)調查組織與程序：

1、調查組織：

美國因體系龐大，故具獨立的調查單位與組織架構，雖我軍方無獨立的調查單位與組織，但由各軍種持續派員赴飛安基金會與飛安中心接受失事調查訓練，完訓後由各基地列管，於發生事故後則擔任失事調查官，採任務編組型態的模式其實差異不大，但是否能多加與其他軍種或是行政院飛航安全委員會實質交流或是協同事務調查以提升經驗，應是後續可考量的面向。

2、調查程序與裝備：

(1)就事故現場調查組織與程序而言，本軍與其落差亦不大，但是就事故現場危害與安全的部分，他們指派安全主管對事故現場進行風險評估與識別風險，並要求人員穿戴防護措施，並且對調查前、中、後(準備、現場、調查分析)階段都有相關的檢查表的務實程度令人印象深刻。

(2)我軍與國外及民航的調查前準備差異不大，但是就調查小組裝備的部分，美方的失事調查包裡面都是高科技化產品且持續更新，令人耳目一新。

3、調查報告：

看了他們調查報告的格式與內容，再參照我國現行飛地安教範規定的做法，雖然格式大致相符，但在結論的寫法上，我方基本上會區分出「主因」及「次因」，他們卻是區分為「與飛機失事可能肇因有關之調查發現」、「與風險有關之調查發現」、「其他調查發現」，並且證據不足的情況下，結論為「原因不明」亦屬可能，這種撰擬方式較為客觀，且因國外調查團隊不隸屬任何單位，調查報告不易受影響，或許是我方可以參考的面向。

4、本次「飛機事故調查 AAI」課程屬南加大航空安全專案(Aviation Safety & Security Program)之一環，整體授課以飛航事故後調查為中心，另外探討安全管理系統與組織文化等相關飛航安全之議題，強調飛航安全調查絕對不可以處分為手段，國際間飛機事故調查報告書開宗明義亦說明：「本調查報告書不可做為人員懲處之依據」，而當飛安事故

(件)發生時，違失人員或相關人員可能擔心處分而拒絕坦然面對事件調查，故調查人員應鼓勵人員誠實面對，提供正確事實及相關所見資料，俾利調查遂行，以釐清真相並查明肇因為目的，不以苛求單一人員或團隊為手段，建立改進措施並杜絕類案再生為最終目標，期能完善組織飛航安全文化，建立良好溝通協調機制，而在此面向上我空軍實質努力已久，且在「空軍飛行與地面安全教範」中第 204037 款已明確律定事件調查報告書及其相關資料「概不作為賠償、法律、懲戒及飛行能力鑑定之依據」，故此面相差異不大，但在鼓勵人員誠實面對的面向，仍應持續努力。

5、課程之初由講師 Mr. Keith McGuire 開宗明義說明本班次之目的為建立學員面對飛航事故調查時邏輯性的思考模式，並講解各類 NTSB 已結案之飛航事故(件)案例以增進學識，彌補不足之實務經驗，並非於本班次結束後即成為合格之調查人員¹，調查工作應秉持客觀的態度，並避免先入為主的觀念 (If you expect to see something, you will see it only)，詳細檢視所獲證據，透過蒐證、觀察、建檔、研判、討論、實驗測試及再查證等階段循環，運用可用資源究其手段追查真相。

(二)工程與技術：

在此部分，國外針對、「金屬和複合材料特性」、「各類結構材料失效」、「靜態斷裂紋識別」、「疲勞斷裂紋識別」等項目，令人感到驚訝與讚嘆，其對專業與重視程度的部分值得我方學習。

(三)航空醫學：

在此課目中，最令人印象深刻的是對調查員安全防護的部分，除了指派安全主管先行實施風險評估外，對調查員的安全防護還有依職業安全與健康標準區分為「一級防護衣物」、「二級防護衣物」令人感到其組織周延與心思縝密。

(四)安全管理系統：

就安全管理系統而言，本次授課及民間使用的是「SMS」，而國軍亦已建置類同功能的「國軍適飛風險評估系統」，此系統相當縝密有條理，本軍督察長室飛安組亦為提升飛行安全，持

¹ NTSB 合格之事故調查員平均年齡 53 歲，擁有至少 2 至 3 件飛安事故(件)之觀察員經驗。

續要求各部隊善用空軍建置的「飛安主動回報系統」，但國軍對「國軍適飛風險評估系統」使用的全面性、落實性與系統實用程度，是我方可再思考、精進以及調整的部分，相信如果能持續落實運用「國軍適飛風險評估系統」及「飛安主動回報系統」，將可有效強化其安全防險功效。

(五)訪談調查：

雖然軍事領域之飛安事故(件)調查與民航組織或機構不盡相同，但根本目標與所追求安全至上的理念一致，應避免動輒處分任務人員(不論飛行人員、技勤支援人員或管理督導階層)，誠如本班次訪談課程講師 Mr. Thomas Anthony 所言：「考量人員的立場和動機，避免強烈批評或質疑，依照人類心理學，當人們感受到的威脅愈高，提供正確(實際)訊息的機率將越低」，所以健全良好溝通協調機制，取消非蓄意之飛航事故(件)之處份罰責為改善組織文化之第一步，當建立起「人人敢說實話，人人都說實話」的文化後，最終必能讓所有實際影響飛安之因素及改進措施傳達到每一團隊之中，杜絕類案再生。

(六)媒體關係：

雖然我國軍也有相對應媒體的體系與單位，但國內媒體對軍方新聞往往採取負面報導，此次攜回之「三點式回應方程式」、「四點式回應方程式」應可提供為本軍參考，相信藉由妥慎、迅速準備與運用可用資訊，固定思維模式，並展現人性與同理心，且委由專業人員運用淺明簡要之專業理論的前提下，只要能誠實的表達已知事實資訊，並加上釋出善意，與媒體相處的情況亦會有正面之回應。

(七)案例研析：

此次課程資料加上對照以往返國心得報告，國外對此門課目應該是相當重視，因為他們為了培訓相關專業人員，而且竟然花費重金建置了一規模相當完備的飛機事故調查研究室，不但可充分利用事故殘骸，加上協同具有廣泛實際調查經驗的調查員進行實體審查和模擬調查，讓學員有機會了解調查所需的現場蒐證與處理程序，藉各類案件詳細說明調查情形與實務相互結合，也就是說在理論的基礎後，另必以實作輔助，以加深學員印象，亦為我方可學習面向。

(八)飛安教育與文化：

1、飛安教育：

一規模完備的飛機事故調查研究室，不但可充分利用事故殘骸，輔以具實際調查經驗的調查員進行實體審查和模擬調查，讓學員能更加了解調查所需的現場蒐證與處理程序，藉由案件說明調查情形與實務，令人印象深刻。

2、飛安文化：

本班次學員無論國籍，皆屬政府機關或民航業界航空安全組織相關成員或是即將轉職航空安全部門之相關人員，來受此班次訓練是其在職訓練，他們的在職訓練除了本班次失事調查班 AAI(Aircraft Accident Investigation)以外，更包括了航空安全管理系統班 ASMS(Aviation Safety Management Systems)、事件調查與分析班 IIA(Incident Investigation/Analysis)及人為因素班 HFH(Human Factors in Aviation Safety)等另外三項獨立課程²，他們單位持續派員受訓的目的是希望藉由透過不同主題之專案課目，精進學員飛安本職學識，強化基礎訓練及多方面實際案例檢討與實習，使學員於飛航安全部門透過完整之在職訓練後，能更加有效執行飛安促進工作，飛航安全的促進是一個看不見的成效，亦是偉大的教育事業，所謂十年樹木，百年樹人，唯有不斷透過教育訓練才能有效提升人員危安觀念與整體工作素質，完善飛安工作與組織文化，所以重視在職訓練並持續提升人員能力的精神，值得我們效法。

五、建議事項：

(一)強化飛安教育，提升訓練成效：

國外針對、「金屬和複合材料特性」、「各類結構材料失效」、「靜態斷裂紋識別」、「疲勞斷裂紋識別」等項目相當重視，建議本軍能將此類課目納入相關教育訓練，並將所獲資料納入教材或準則，以利後續失事調查教育訓練及事件運用。

(二)持續教育訓練，精進本職學識：

唯有不斷透過教育訓練才能有效提升人員危安觀念與整體工作素質，完善飛安工作與組織文化，所以重視在職訓練的精神，

²課程內容請參閱南加大維特比工學院網站。<https://aviationsafety.usc.edu/courses/>

相當值得效法，故建議能增加各軍種航空相關人員派訓員額或開設其他參與班次，並管制人員完整完成四項課程，因課程連貫觀念才能更加完整而不失偏頗，並可藉由常態性教育與交流訓練汲取美方航空安全最新資訊，厚植國內飛安觀念與技能，最終發揚飛航安全至上之組織文化。

(三)實務經驗交流，完善飛安文化：

本班次講師 Mr. Keith McGuire 及 Mr. Jack Cress 皆於若干年前因調查工作及學術交流議題曾到訪台灣，並與行政院飛航安全調查委員會 ASC(Aviation Safety Council)進行實質調查協助與擔任觀察員的工作，故建議軍方除持續性派員赴美參與飛航安全教育訓練外，亦可由各軍種飛航安全業管部門主導，協調行政院飛航安全委員會及各軍種，共同建立擔任觀察員制度，期透過實務經驗交流、議題研討及組織差異性比較而教學相長，藉此調整本軍飛安工作觀念與事故(件)調查計畫，促進飛安工作議題之交流，並可完善軍民航之飛安文化發展。

六、課程紀實：

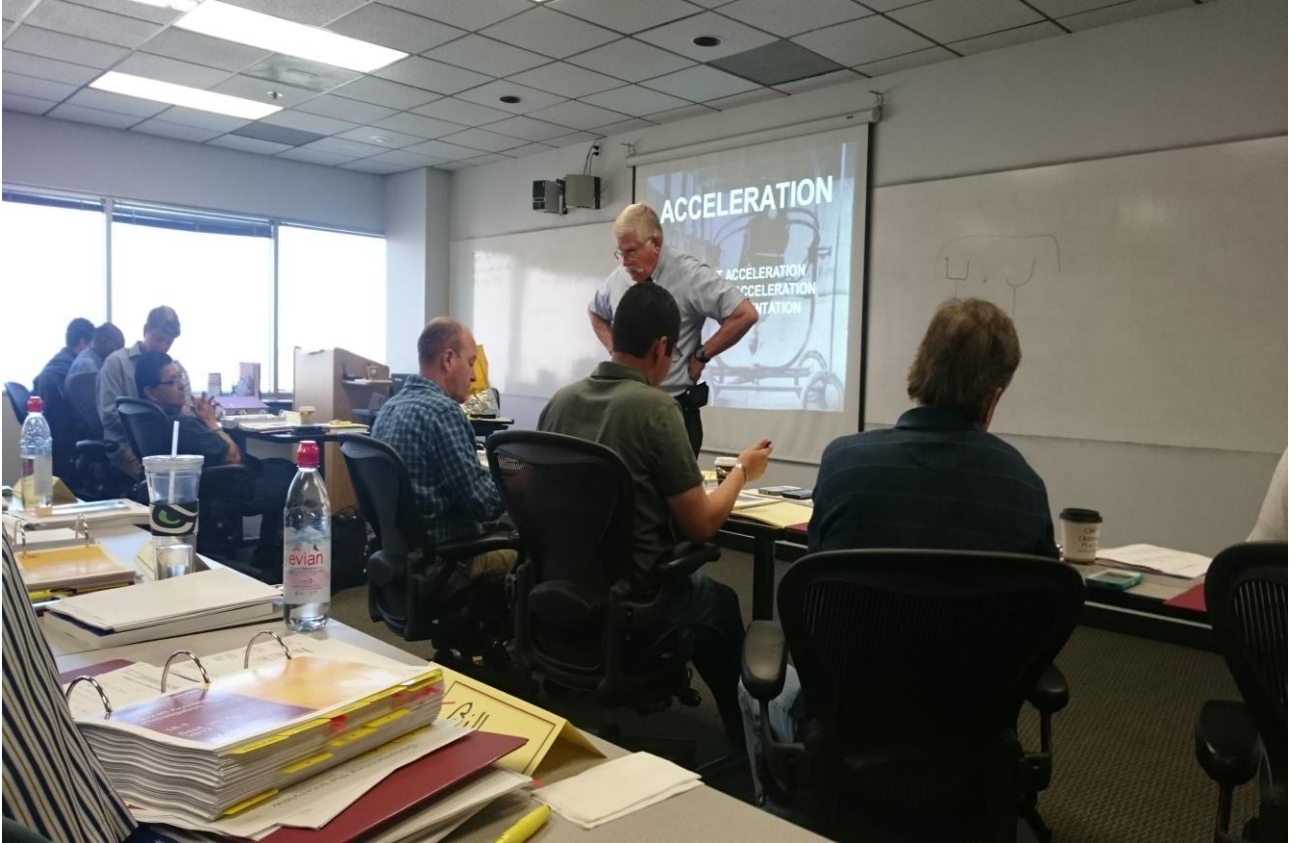
(一) 事故調查(Investigation)：



(二) 工程與技術(Technology)：



(三)航空醫學(Medical)：



(四)安全管理系統(Aviation Safety Management Systems)：



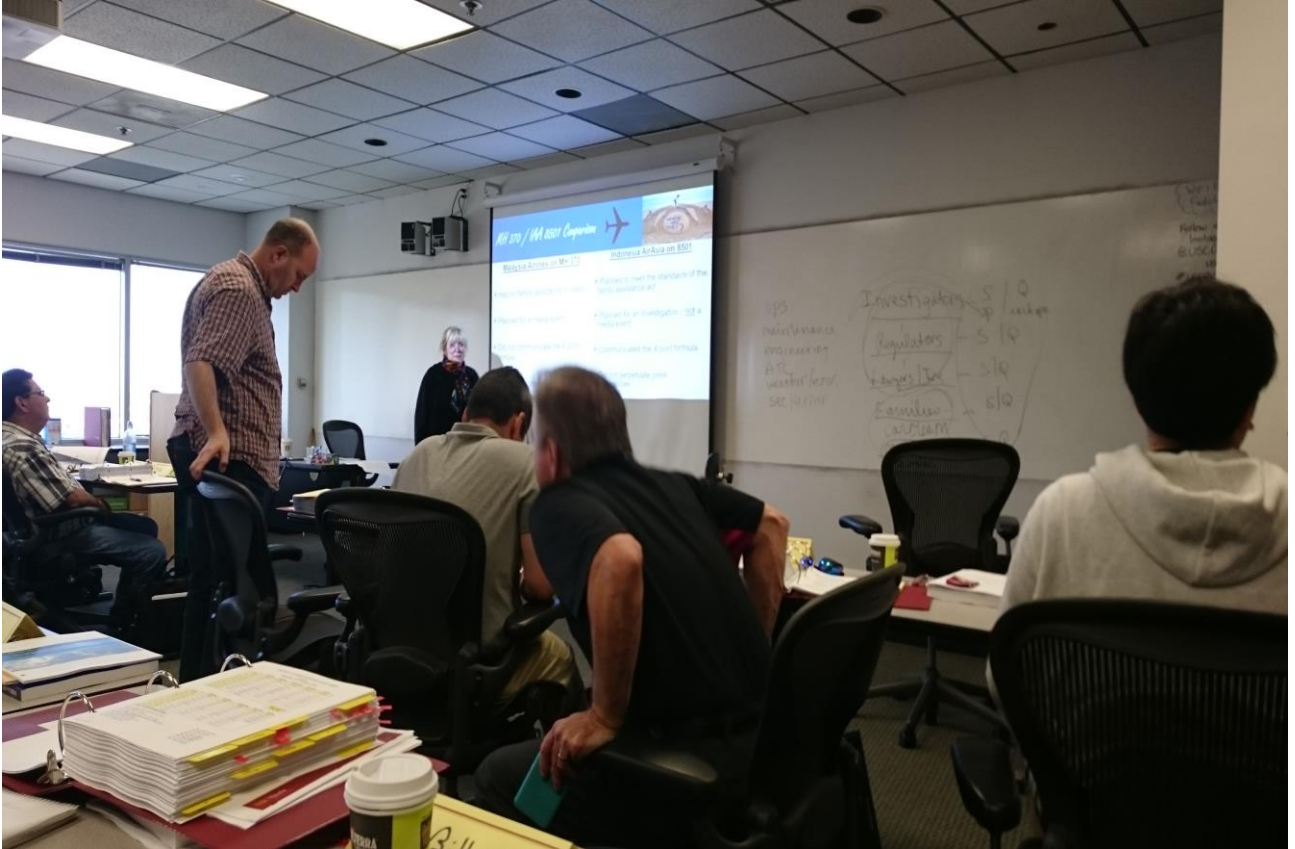
(五)訪談調查(Interviews)：



(六)系統設計(Systems)：



(七)媒體關係(Media Relations):



(八)殘骸研究室(Laboratory):



