

出國報告（出國類別：其他）

# 赴美國安柏瑞德航空大學參加飛航事故生還因素調查及分析訓練課程出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：袁世立調查官／蔡華生副調查官

派赴國家：美國

出國期間：民國 113 年 5 月 11 日至 5 月 19 日

報告日期：民國 113 年 8 月 7 日

公務出國報告提要 系統識別號 C11301304

出國報告名稱：赴美國安柏瑞德航空大學參加飛航事故生還因素調查及分析訓練課程出國報告

頁數：38 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會  
聯絡人：郭芷桢  
電話：(02)7727-6228

出國人員姓名：袁世立、蔡華生  
服務機關：國家運輸安全調查委員會  
單位：運輸安全組  
職稱：調查官、副調查官  
電話：(02)7727-6291

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：民國 113 年 5 月 11 日至 5 月 19 日  
出國地區：美國

報告日期：民國 113 年 8 月 7 日  
分類號/目

關鍵詞：生還因素、適撞性

內容摘要：

為持續提升運輸事故調查專業知識與技能，強化運安會調查人員生還因素調查相關專業知識，運安會派員前往美國亞利桑那州普雷斯科特市參加安柏瑞德航空大學（Embry-Riddle Aeronautical University）舉辦之飛航事故生還因素調查及分析訓練課程（Aircraft Crash Survival Investigation and Analysis）。訓練課程為期 4 日，提

供對飛航事故生還因素相關內容進行詳細分析，探討事故撞擊導致傷亡的因素，並檢視衝撞過程、生存空間與所造成傷害之關聯性，介紹研究防撞和降低傷亡技術和概念，分析並討論事故後火災及其後續可能的影響。

## 目次

壹、目的.....	4
貳、過程.....	5
參、心得.....	8
肆、建議.....	37

## 壹、目的

為持續提升運輸事故調查專業知識與技能，強化運安會調查人員生還因素調查相關專業知識，本會於 113 年 5 月 11 日至 19 日派員前往美國亞利桑那州普雷斯科特市參加安柏瑞德航空大學（Embry-Riddle Aeronautical University）舉辦之飛航事故生還因素調查及分析（Aircraft Crash Survival Investigation and Analysis）。  
訓練課程

本課程對飛航事故生還因素相關內容進行詳細分析，探討導致傷害的因素和相關撞擊力，並檢視撞擊力和生存空間與所造成傷害之關聯性，介紹研究防撞和降低傷亡技術和概念，並關注墜毀過程中保護乘員的最佳方法，以先前已發生之飛航事故實例作為案例研究，並深入探討基本運動學和傷害相關資訊。

本訓練課程重點如下：

1. 簡述生還因素調查發展歷史
2. 對飛航事故中撞擊 G 力進行數學分析並描述力量如何傳遞導致乘員傷害
3. 分析、討論目前採用的各種保護措施；並研議其他較佳之替代方案
4. 如何進行墜毀生還分析
5. 瞭解評估適撞性基本項目
6. 分析並討論事故後火災及其後續可能的影響
7. 瞭解逃生疏散系統和作業程序

## 貳、過程

### 一、出國行程

日期	起訖地	任務
5/11	臺北 - 舊金山	啟程
5/12	舊金山 - 鳳凰城	移動日
	鳳凰城 - 普雷斯科特	
5/13-16	普雷斯科特	訓練課程
5/17	普雷斯科特 - 鳳凰城	移動日
	鳳凰城 - 舊金山	
5/18-19	舊金山 - 臺北	返國

### 二、訓練課程

訓練課程為期 4 日，課程內容與時數安排如下表：

May 13 (Monday)		
Time	Topic	Instructor(s)
0800 - 0900	Overview and Introduction	David Ryan
0900 - 1100	History and Development of Crashworthiness	Bill Waldock
1100 - 1200	On-Scene Logistics and Documentation	Anthony Brickhouse
1200 - 1300	<i>Lunch</i>	
1300 - 1400	Crash Survivability	Anthony Brickhouse
1400 - 1500	Impact and Deceleration	Anthony Brickhouse
1500 - 1600	Anthropometry for Crash Survivability	Bill Waldock
1600 - 1700	Using the Evidence / Case Studies	Bill Waldock

May 14 ( Tuesday )		
Time	Topic	Instructor(s)
0800 - 0900	Seats and Restraint Systems	Anthony Brickhouse
0900 - 1000	Survival Factors Interviews	Anthony Brickhouse
1000 - 1200	Lamia Flight 2933	Anthony Brickhouse
1200 - 1300	<i>Lunch</i>	
1300 – 1400	Anatomy, Physiology and Injury Process and Terminology	Bill Waldock
1400 – 1500	Human Tolerance to Crash Forces	Bill Waldock
1500 – 1600	Crash Lab Exercise	Bill Waldock
1600 - 1700	Crash Lab De-Brief	Bill Waldock

May 15 ( Wednesday )		
Time	Topic	Instructor(s)
0800 - 0900	Crash Lab Tour	Adolfo Ibarra
0900 - 1200	Crash Dynamis and Kinematics	Anthony Brickhouse
1200 - 1300	<i>Lunch</i>	
1300 - 1400	Fatality Management Process – what can we learn	Bill Waldock
1400 – 1500	Pathology and Autopsy Reports	Bill Waldock
1500 – 1600	Crash Lab Exercise – Predictive Injury Checklist & Score	Bill Waldock
1600 - 1700	Crash Lab Exercise	Bill Waldock

May 16 ( Thursday )		
Time	Topic	Instructor(s)
0800 - 0900	Fire Survival Investigation	Bill Waldock
0900 - 1000	Fire Survival Investigation / CRFS	Bill Waldock
1000 - 1200	Fire Case Studies	Bill Waldock
1200 - 1300	<i>Lunch</i>	
1300 – 1400	Post-Crash Survival	Anthony Brickhouse
1400 – 1500	Post-Crash Survival Exercise	Anthony Brickhouse
1500 – 1600	Egress and Evaluation	Anthony Brickhouse
1600 - 1700	Course wrap-up and Graduation	Bill Waldock

訓練課程主辦單位為美國安柏瑞德航空大學（Embry-Riddle Aeronautical University），課程內容包括：生還因素調查背景說明、事故現場調查所需攜帶物件及記錄事項、飛航事故後乘員是否生還之影響因素、撞擊減速度對生理之影響、如何評估座椅及安全帶、如何計算撞擊過程之減速度、生還因素事故訪談應注意事項、事故後發生火災對生還造成的威脅等。

訓練課程的進行方式，係採實體課堂說明與模擬殘骸現場實作方式進行，此次課程共有 7 位學員參訓，除了 2 位為運安會同仁外，另有 2 位波音工程師、2 位來自加拿大運輸部、1 位 Embry-Riddle 教職員；課程進行過程中，講師除了介紹教學內容外，亦配合課程內容參考許多曾發生之空難相關資訊，講師與參訓學員互動非常頻繁。

### 三、講師



**Mr. Bill Waldock**  
Professor / Safety Sciences



**Mr. Anthony Brickhouse**  
Assoc. Professor



## 參、心得

本次訓練課程著重在學習如何評估飛航事故後影響乘員是否生還之各項相關因素、進行飛航事故生還因素調查及相關訪談時應注意事項、事故後發生火災對生還所造成威脅，為期 4 日的訓練課程內容，以課堂講解說明及模擬殘骸現場實作兩種方式交錯進行。

其中課堂課程部分，聚焦於下列主題：適撞性與生存空間關聯性、事故現場調查注意事項、座椅及約束系統、人體耐受性、航空火災事故調查、逃生疏散及事故後影響生還因素，分別簡要說明如下：

1. 適撞性與生存空間關聯性：瞭解有關適撞性研究的歷史與發展，以及人體對事故撞擊各種因素的耐受程度及相關研究技術，包括人體測量、評估撞擊型態、計算撞擊時間與減速度等。
2. 事故現場調查注意事項：瞭解每起事故現場皆不相同，學習至事故現場蒐集資料時，考慮所需攜帶之工具及確實做好文件記錄的重要性，生還因素訪談時應注意事項。
3. 座椅及約束系統：探討座椅及約束系統之設計原則及可承受撞擊力強度，並瞭解不同種類安全帶與受傷情況之關聯性。
4. 人體耐受性：瞭解人體對撞擊力的耐受性、解剖學、生理學及傷害過程。
5. 航空火災事故調查：深入瞭解航空火災事故調查方法、火災對生還因素造成的威脅，以及火災對人體可能造成的傷害及火災情境下生還因素探討與案例討論。
6. 逃生疏散及事故後影響生還因素：瞭解事故後逃生疏散程序，客艙組員緊急應變訓練、乘客安全簡報相關資料。

課程進行過程中，適時安排至模擬事故現場之實驗室（Embry-Riddle 校方蒐集實際發生事故之殘骸，並依事故後之樣態重新組合擺設，呈現模擬事故現場的場所），具有臨場感、身臨其境體驗飛航事故現場之情境，亦可學習抵達事故現場後，面對殘骸時應如何蒐集生還因素相關資料，更瞭解如何運用課堂所學習到的相關內容。

綜整此次為期 4 日之飛航事故生還因素調查及分析訓練課程內容，重點摘要說明如下：

### 3.1 航空器適撞性研究

#### 第一起動力飛行器空難事故

1908 年 9 月 17 日 Orville Wright 為美國陸軍示範飛行器載人飛行時，當時由陸軍中尉 Thomas Selfridge 擔任觀察員共同飛行，飛行過程發生意外事故，造成 Selfridge 顱骨骨折，送醫後急救無效身亡，Wright 腿部及肋骨骨折，住院治療 7 週。飛行前拍攝的照片顯示（圖 3-1），Selfridge 頭部沒有戴任何帽子，而 Wright 戴了一頂帽子，墜機事故發生後，人們猜測 Selfridge 如果戴上頭盔或許就能存活，因為這起事故，美國軍方對飛行採取安全措施，要求早期空軍飛行員佩戴頭盔，以降低頭部骨折傷亡風險。

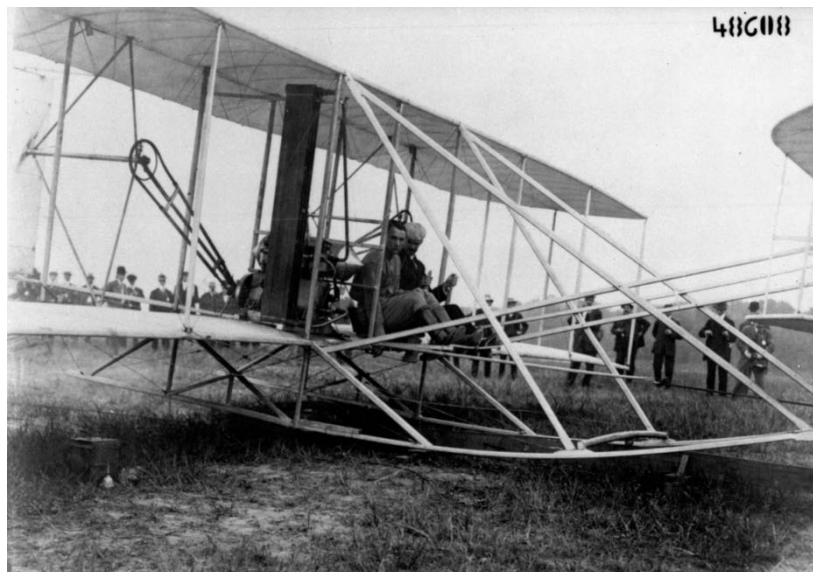


圖3-1 Thomas Selfridge及Orville Wright飛行前機上合影

## 適撞性研究重要人物及其貢獻

### 1. 適撞性研究之父 - Hugh DeHaven (The father of crashworthiness)

Hugh DeHaven (1895-1980) 被譽為「適撞性研究之父」，於適撞性研究領域具體貢獻對於現代航空安全及公路汽車安全具有深遠影響。1917 年在第一次世界大戰期間親身經歷飛行事故倖存後，開始研究如何提高事故生還機率；1942 年康奈爾大學醫學院創立 SIC 實驗室 (Safety and Injury Control Research Laboratory / SIC)，專注於研究如何減少航空、公路事故中的傷亡，並推動了多項安全措施的實施，如安全帶、頭枕等；1950 年代提出適撞性研究重要基礎，分別說明如下：

- (1) 能量管理：運具在結構設計方面，應能滿足漸進失效 (Progressive Fail)，以吸收和分散撞擊能量，減少撞擊力直接對乘員的撞擊。
- (2) 座椅和約束系統：使用夠堅固的座椅和約束系統將乘員固定在座位，防止因撞擊而導致的二次傷害。
- (3) 結構保護：將座椅固定在堅固的框架上，確保座椅在撞擊中不會移動或脫落後使得乘員拋飛，提供穩定保護。
- (4) 防滾架設計：提供全方位保護，確保在翻滾或多方向碰撞中的安全。

### 2. Howard Hasbrook

Howard Hasbrook (1917-2014) 是一位航空工程師，他在提高飛機適撞性能力方面，如：致力改進飛機結構設計、研究開發乘員保護系統、參與制定航空安全標準做出了重大貢獻。

### 3. Harry Robertson

Harry Robertson (1922-2011) 是一位飛行安全專家和發明家，他在 1960 年代發明自封式油箱，這種油箱能夠在飛機遭遇撞擊時自動密封，防止燃油洩漏和火

災，顯著提高了飛行安全性；1971 年創立羅伯遜安全研究所（Robertson Safety Institute），專注於研究和開發提高飛機和其他交通工具安全性的技術；並積極推動相關立法，促使航空業和政府機構採納更高的安全標準，從而提升整個產業的安全水平。

這三位專家在不同領域的貢獻，共同推動了適撞性（Crashworthiness）研究的發展，使得現代交通工具在遭遇撞擊時的安全性得到了顯著提升。

### 3.2 事故現場調查應攜帶物品及文件記錄注意事項

前往飛航事故現場進行事故調查時，首先應瞭解之黃金定律：

1. 每一起飛航事故之現場狀況均不一樣；前往事故現場前之準備，對調查作業成功與否具有關鍵性的影響。
2. 主要需考慮項目：事故種類、地點、天候，往返事故現場之交通工具、時刻表、路程中天氣狀況，事故現場是否需要照明設備。
3. 基本生活需求，如：備妥食物、飲水，依事故現場實際狀況，甚至須考慮換洗衣物、住宿，以及可能遭受野生動物威脅、調查過程中受傷、需要醫療協助等，均需要列入考慮。

課程中提供調查人員前往事故現場需攜帶物品項目，除了事故調查所需相關專業設備、證物保存袋外，也要依事故現場地理特性，注意個人防護裝備、個人防寒衣物、個人藥物等。

抵達事故現場時，應協調事故調查小組其他成員，確認調查作業項目及作業順序，移動任何物品前均須先行拍照攝影，備妥蒐集資料清單以防遺漏任何須蒐集資料；評估血媒性病原、生化危害防護設備的需求，建立潔淨區域及污染區域，穿戴個人防護裝備，若有必要則向當地政府機關要求提供所需設備。

準備進入事故現場前，應先掌握事故現場整體大環境，避免因專注某單一物

件而未能瞭解現場全貌；進行拍照攝影時，宜取不同角度拍攝，並以遠、中、近距離的方式取景，若有需要應配合捲尺、或有參考物體確認尺寸大小比例，以利後續調查作業需要。另外，若能事先取得下列資訊，對於事故現場調查作業將會有所幫助：

- 座艙內部配置圖、技術文件、設計圖、維修紀錄：可瞭解客艙座位、座位上方行李置物櫃及廚房配置、安全帶相關製造資訊、儲物櫃位置、安全設備配置項目、數量及位置、廣播系統、影音播放系統、緊急出口位置等資訊，並初步瞭解是否曾有設施異常及後續維修情形。
- 客艙組員作業手冊：可瞭解客艙組員責任分工區域、廣播及逃生疏散標準作業程序等資訊。
- 初步與事故相關人員訪談紀錄；可初步瞭解事故發生過程、安全設備使用情形、緊急應變及逃生疏散過程。

進行事故調查作業時，針對事故航機各項相關資訊之記錄，可從事故航機機身完整程度開始著手，包含機身是否斷裂？斷成幾節？主要、大部份殘骸分佈情形，是否引起火災等實際狀況；事故現場相關資訊須製作成文件化紀錄，重點摘要如下：座椅狀況（包括：損害情形、座椅配件及滑軌之完整性，並應確認其製造商、製造日期及組件編號、額定負荷限制）；安全帶狀況（包括：是否損壞、脫落、變形、是否有割痕，並應確認其製造商、製造日期、型號、零組件）；座椅上方行李置物櫃及天花板蓋板（包括：任何明顯凹痕或損壞位置、閉鎖機制）；緊急出口（包括：緊急出口數量、位置，開啟或關閉狀態、損壞情形，是否配備逃生滑梯）；逃生滑梯（包括：逃生滑梯使用情形、充氣狀態）；水上迫降設備（包括：救生衣使用情形，成人、小孩救生衣數量，存放位置是否容易取得，救生衣是否遺落在客艙內）；廚房（包括：安全相關設備、斷路器及緊急電源開關之狀態、閉鎖機制）；廁所（包括：煙霧偵測器、垃圾桶內部狀態）；廣播及通訊系統（包括：

確認每位客艙組員休息座位上方燈號、確認功能是否正常)；旅客輔助系統(包括：緊急照明、地板緊急逃生指示燈狀態)。

上述課程內容非常實用且具參考價值，可融合本會實際參與事故調查作業之經驗，作為後續更新本會生還因素調查作業手冊的重要參考資料。

### 3.3 事故生還因素

飛航事故發生後，往往造成人員傷亡，但是為何某些事故機上人員全數罹難，某些事故部分人員卻能生還？課程中分享若事故符合下列條件，人員存活的機率將大大提高：

1. 事故發生後，作用在乘員身上的撞擊力保持在人體可承受的範圍內，且
2. 在撞擊過程中，乘員之生存空間得以維持，且
3. 在撞擊過程中及撞擊後，周遭仍維持可生存之環境。

Hugh DeHaven 針對事故生還因素提出的 4 項原則，為現今運具防撞和飛航事故生還標準奠定基礎，其所提之 4 項原則，在某種程度上都應用在現今評估撞性的現代方法—CREEP，CREEP 係為 Container、Restraint、Energy Absorption、Environment、Post-crash Factor 字首之縮寫，分別簡要說明如下：

**Container**：航機應具備足夠的強度，進而在乘員周圍形成保護作用，以防止其結構或外物在碰撞過程中，侵入乘員生還空間。

**Restraint**：約束裝置是指用來限制乘員在事故撞擊過程中，仍可被限制於生存空間周圍移動的系統，所有約束裝置的強度應足以防止在最嚴重但可存活的碰撞事故中受傷。

**Energy Absorption**：能量吸收系統包括起落架、航機結構和座椅。防撞結構透過受控、可預測和可重複的變形來吸收碰撞中的能量，類似現代

汽車之潰縮區域，透過將碰撞分散到更長的距離和時間來減少飛機乘員所承受的負荷。

**Environment**：環境是指在動態碰撞條件下，身體任何部位可能移動所及的空間，在碰撞過程中，確保乘員座位附近物體的穩固性非常重要；環境亦包含確保飛航事故後的周圍環境，此時周圍環境能夠維持生命也很重要，潔淨的空氣對乘員在飛航事故後是否能生還至關重要。

**Post-crash Factor**：包括事故後發生火災、淹水等影響、是否暴露於航機外部未知風險、急救醫療資源的可用性，及時搜救行動等；影響事故後生還能力最重要的因素之一是事故後火災。

### 3.4 座椅與約束系統

最早期的航空座椅安全帶，目的是防止乘員從飛機上掉下來。Hugh DeHaven自1930年代起研究被動安全，在康乃爾大學進行撞擊傷害研究，對於保護乘員承受撞擊提出4項「包裝原則」(Packaging Principles)：

原則 1：包裝不應打開並撒出其內容物，也不應在預期的外力條件下塌陷，使包裝內的物體受到損壞。

原則 2：保護內容物的包裝結構不可由脆弱或易碎材料製成，它們應彎曲或折斷抵抗外力，並吸收施加在包裝上的能量，進而分散緩衝撞擊力保護內容物。

原則 3：包裝中內容物應透過工程師評估，固定在包裝外部結構。這種固定是整體設計中很重要的一部分，因為它可以防止內容物本身因撞擊而移動造成損壞。

原則 4：用於將物體固定在包裝內的裝置，必須將施加到包裝上的力，傳遞

到內容物最堅固的部分。

飛航事故相較公路事故，其乘員可能遭受更大的傷害，因為撞擊速度更大，速度若加倍受傷嚴重程度會增加 4 倍。並且飛機同時以垂直及水平方向移動，多數狀況下無法透過防撞姿勢限制乘員上半身的運動。無論如何，使用標準安全帶使人員在撞擊後被約束，仍然是避免人員死亡及傷害的主要因素，這在飛機與汽車上一致。美國國家運輸安全委員會（NTSB）過去研究<sup>1</sup>指出，如果所有飛機乘員都使用安全帶，死亡人數預計將減少 20%。在能夠生還的撞擊事故中，88%的重傷者預計會顯著減少危及生命的傷害。若有安裝能量吸收座椅，可望減少 34% 重傷人數。另外在 253 起事故中，只有 40% 乘員曾使用可獲得的安全帶。

1984 年起飛機座椅與約束系統須進行代表實際撞擊的動態測試、增加座椅和約束裝置的韌性、採用能量吸收材質減輕垂直方向負荷，並建立標準與評估撞擊傷害保護的方法。飛機製造商自 2009 年起生產的座椅，從耐受 9 G 力提升到耐受 16 G 力，對座椅的設計要求亦包含地板與滑軌部分。9 G 座椅基於體重 170 磅人員設計，如果由體重 245 磅人員乘坐，保護程度會減低至 6 G ( $9 \times 170 / 245 = 6.2$ )。座椅提升到耐 16 G 後，體重 245 磅人員乘坐保護可達 11 G ( $16 \times 170 / 245 = 11.1$ )。

各種航空用座椅與約束系統型式，依防護表現最佳至最差排序如下：

1. 高椅背座椅與 4 點式安全帶（肩帶及腿帶），乘員面向後方。
2. 前向座椅與 5 點式安全帶（肩帶、腿帶及跨帶）。
3. 前向座椅與 4 點式安全帶（肩帶及腿帶）。
4. 前向座椅與 3 點式安全帶（肩帶及腿帶）。

---

<sup>1</sup> NTSB 研究報告網址：<https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR8502.pdf>



5. 前向座椅與 2 點式安全帶（腿帶）。
6. 側向座椅與 3 點式安全帶（肩帶及腿帶）。
7. 側向座椅與 2 點式安全帶（腿帶）。

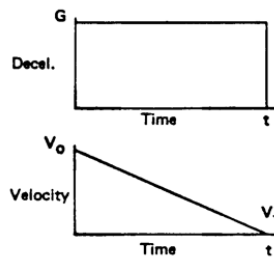
飛航事故中，乘員最初遭受因飛機減速所產生的力，之後乘員與飛機內部結構產生二次撞擊，依時間、距離、力度等因素可能導致乘員身體彎折、手臂和雙腿擺動，甚至低身潛入空隙。最後再造成三次撞擊，使體內器官撞擊身體內壁，例如心臟及腦在體內移動。大多數的頭部撞擊會導致腦部旋轉，其剪力造成腦幹功能障礙，乘員的死亡原因可能是嚴重的頭部傷害。

### 3.5 撞擊及減速

飛航事故影響生還因素之一，在於事故撞擊所產生的撞擊力是否在人體可承受的範圍，而人體結構能承受很短時間、非常大的力量，所以推算、評估事故發生撞擊後是否有生還的可能性，需要瞭解的是撞擊力之減速度峰值（G），與峰值作用的時間長短；基於物理基本原理，加速度可區分為線性加速度（Linear Acceleration）及角旋轉加速度（Rotational Acceleration），考量飛航事故的撞擊作用力以線性加速度為主，所以後續進行物理推導過程，均僅考量線性加速度的影響而忽略角旋轉加速度，若能確認飛航事故之撞擊脈衝模式，即可依撞擊脈衝模式之物理公式進一步計算撞擊力大小（G 值）及撞擊力作用時間（Duration），撞擊脈衝模式可區分下列兩種：

- 矩形脈衝（Rectangular Pulse）：減速度為定值，速度隨時間遞減；依末速大小，可分為下列兩種情境。（減速度-時間、速度-時間及相關推導物理公式，如圖3-2）

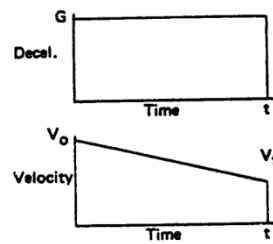
**I. Rectangular Pulse – Constant Deceleration**



$$\therefore \text{Deceleration Force: } G = \frac{V_0^2}{64.4S}$$

$$\text{Pulse Duration: } t = \frac{V_0}{32.2G}$$

**I. Rectangular Pulse – Constant Deceleration**



$$\text{Deceleration Force: } G = \frac{V_0^2 - V_f^2}{64.4S}$$

$$\text{Pulse Duration: } t = \frac{V_0 - V_f}{32.2G}$$

圖3-2：矩形脈衝減速度、速度、時間關係圖

考量計算方便性，上述公式之單位統一轉換如下：

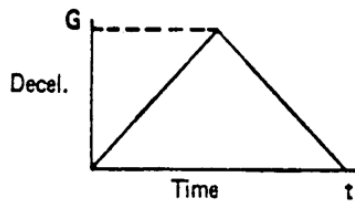
S：位移距離，單位為呎（ft）

$V_0$ ：初速、 $V_f$ ：末速，單位為呎/秒（ft/sec）

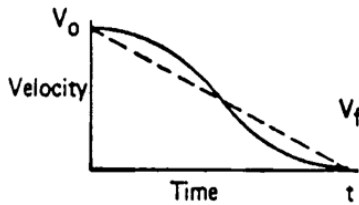
t：時間，單位為秒（sec）

矩形脈衝係指事故撞擊時，減速度（G）為定值，直到航機停止或撞擊力消失時，減速度下降至零；未放起落架撞擊地面時可運用矩形脈衝相關公式計算撞擊時間、撞擊G值及所需停止距離。

- 三角脈衝（Triangular Pulse）：減速度、速度隨時間改變；可區分為下列三種不同情境。（減速度-時間、速度-時間及相關推導物理公式，如圖3-3）

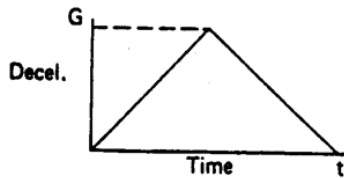


$$\text{Deceleration Force: } G = \frac{V_o^2}{32.2S}$$

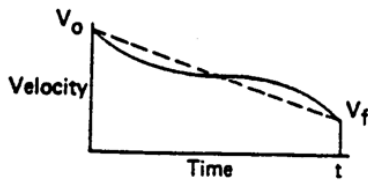


$$\text{Pulse Duration: } t = \frac{2V_o}{32.2G}$$

### Case C – Increasing and Decreasing Deceleration



$$\text{Deceleration Force: } G = \frac{V_o^2 - V_f^2}{32.2S}$$

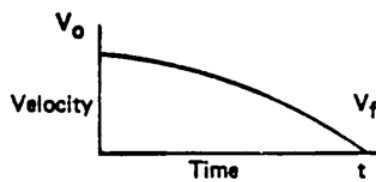


$$\text{Pulse Duration: } t = \frac{2(V_o - V_f)}{32.2G}$$

### Case A – Increasing Deceleration



$$\text{Deceleration Force: } G = \frac{4V_o^2}{96.6S}$$



$$\text{Pulse Duration: } t = \frac{2V_o}{32.2G}$$

圖3-3：三角脈衝減速度、速度、時間關係圖

三角脈衝係指事故撞擊較軟性、泥濘場地，撞擊時減速度從零開始，隨速度遞減，減速度到峰值或回到零。

為了數學計算需要，推算事故撞擊力之減速度峰值（G），與峰值作用的時間長短，需先蒐集下列資料：

1. 確認撞擊前、後之速度
2. 撞擊的角度（計算速度在垂直、水平方向之分量大小使用）
3. 垂直方向的撞擊深度（垂直方向的位移）
4. 撞擊後到停止間的距離（水平方向的位移）

以實務經驗來看，蒐集上述資料有其困難處，需先充分掌握事故時間序、事故航機實際飛行軌跡、事故航機空速表判讀，才能評估、判斷並選擇最適用的物理計算公式。

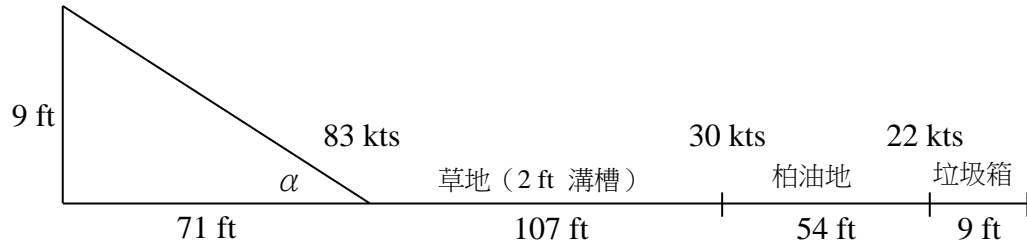
#### 範例實作練習：

在進行類似問題的數學計算時，須注意幾項細節：

- 將已知資訊，以圖示方式呈現，對事故碰撞過程較有一全面性的認知。
- 分析撞擊過程，評估各個撞擊過程適用之物理公式。
- 單位換算，須注意航機速度、垂直速度、高度的數值，單位是否相同？計算前要確認數值間有相同單位。
- 計算結果是否合理。

問題：一架 PA44-180 航機，因撞擊建築物後朝地面墜落，距離建築物 71 呎處撞擊草地，建築物高度估算為 9 呎，之後於草地滑行 107 呎，造成 2 呎深的溝槽並撞倒了 3 棵小樹，然後從草地上滑到柏油路上，航機在柏油路上滑行了 54 呎後撞上垃圾箱，機鼻凹陷 4 呎深，並將垃圾箱撞移 5 呎遠後停止；依據監視器紀錄影像推估航機撞擊地面速度約為 83 節，離開草地時速度約為 30 節，撞到垃圾箱時速度約為 22 節；請計算每個階段撞擊 G 值大小及其作用時間。

解題：依所得資訊，將事故過程以下列圖示表示：



首先，整理已知數據資料，並完成單位轉換：

第一次撞擊：

$$\text{撞擊速度} : 83 \text{ kts} = 83 * 1.69 = 140.27 \text{ ft/s}$$

撞擊後水平方向移動距離：107 ft；垂直方向撞擊深度：2 ft。

第二次撞擊：

$$\text{撞擊速度} : 30 \text{ kts} = 30 * 1.69 = 50.7 \text{ ft/s}$$

撞擊後水平方向移動距離：54 ft。

最後撞擊垃圾箱：

$$\text{撞擊速度} : 22 \text{ kts} = 22 * 1.69 = 37.18 \text{ ft/s}$$

撞擊後水平方向移動距離：9 ft。

第一階段撞擊草地，末速為 30 節，所以第一階段運用三角脈衝第 2 項公式：

$$\text{撞擊角度} (\alpha) = \tan^{-1} (9/71) = 7.22^\circ$$

將撞擊速度區分為垂直方向及水平方向，分別處理：

$$\text{垂直方向速度} = 140.27 * \sin (7.22) = 17.6 \text{ ft/s}$$

$$\text{水平方向速度} = 140.27 * \cos (7.22) = 139.2 \text{ ft/s}$$

$$\begin{aligned} \text{垂直方向 G 值為} : & (17.6-0)^2 / (32.2*2) = 4.81 ; \text{作用時間為} : (2*17.6) / (32.2*4.81) \\ & = 0.227 \text{ 秒。} \end{aligned}$$

水平方向 G 值為： $(139.2^2-50.7^2) / (32.2*107) = 4.88$ ；作用時間為： $2 * (139.2-50.7) / (32.2*4.88) = 1.13$  秒。

第二階段撞擊柏油路面，末速為 22 節，所以第二階段運用矩形脈衝第 2 項公式：

水平方向 G 值為： $(50.7^2-37.18^2) / (64.4*54) = 0.341$ ；作用時間為： $(50.7-37.18) / (32.2*0.341) = 1.23$  秒。

第三階段撞擊垃圾箱，機鼻凹陷、垃圾箱位移共計 9 呎，末速為 0，第三階段應運用三角脈衝第 3 項公式：

水平方向 G 值為： $4*37.18^2 / (96.6*9) = 6.36$ ；作用時間為： $2*37.18 / (32.2*6.36) = 0.36$  秒。

### 3.6 人體對撞擊之耐受性

人體對撞擊的耐受性通常是指全身耐受性，另有再細分對頭部、臉部、頸部、胸部、腹部、脊椎，以及腿部等部位的撞擊耐受性。人體在三維空間中移動，會受到不同方向的加速度如圖 3-3，作用在人體上的加速力與箭頭方向相同。垂直方向分為向上與向下加速（+Gz/-Gz），橫向移動分為向右與向左加速（+Gy/-Gy），以及向前與向後加速（+Gx/-Gx）。如果人體在移動過程中遭受正面撞擊，向前方減速即受到向後方的加速力（-Gx）。其餘方向的相對關係亦同，+Gz 軸加速度的方向，類似於啟動彈射座椅或直昇機垂直墜毀時所經歷的力。

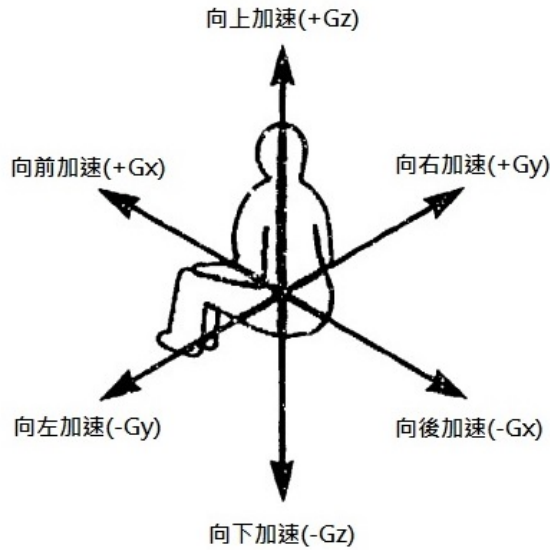


圖3-3 人體受加速力方向圖示

撞擊過程通常以撞擊脈衝 (Crash Pulse) 表示，描述碰撞過程中隨時間推移發生的加速度，或是碰撞的加速與時間歷史紀錄，如圖 3-4。儘管撞擊脈衝的形狀可能高度複雜且每次碰撞時都不同，基於實用目的，大多數飛機或汽車的碰撞脈衝圖形可視為三角形，如此可大幅簡化碰撞相關計算，為事故調查提供乘員承受加速度的合理估計，在三角形撞擊脈衝中，脈衝的平均加速度是峰值加速度的一半。

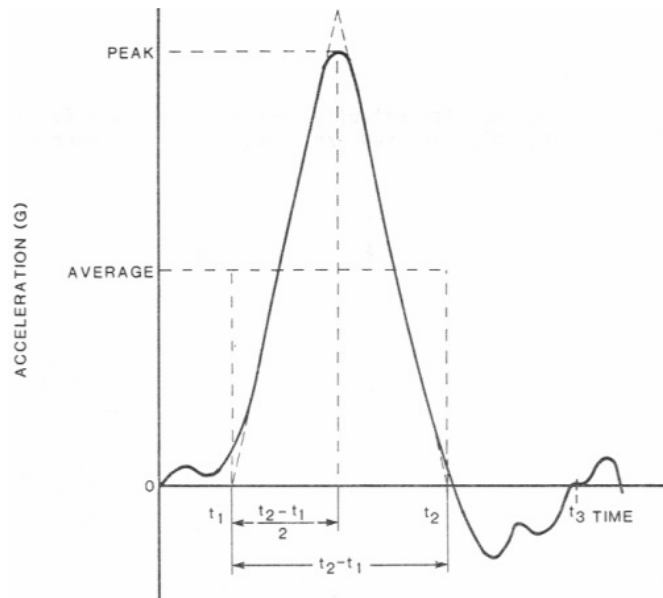


圖3-4 撞擊脈衝

1950 年代 Martin Eiband 在美國航空太空總署 (NASA) 的研究<sup>2</sup>，利用人類志願者及動物數據，制定了最早的人體加速力耐受標準，以及人員無受傷、受中等傷害與受嚴重傷害的界限。假設成年乘員受到適當約束且身體健康、撞擊脈衝為對稱三角形，根據 G 力和時間推導得出對於前後方向的撞擊，人體能夠耐受約 25 G (0.2 秒) 或 45 G (0.04 秒) 的力，如圖 3-5。若超過 45 G 人體可能受到中等傷害或嚴重傷害，可以依照圖表曲線預測傷害的嚴重程度，但無法預測特定的傷害。

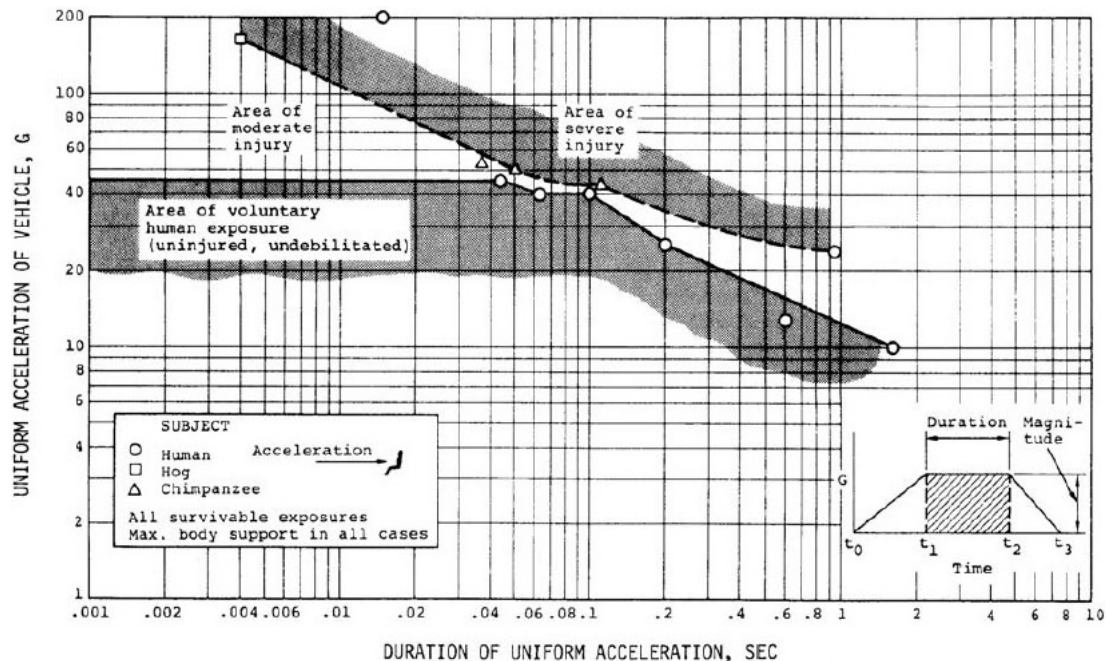


圖3-5 人體對向後加速度的耐受性

依據試驗結果，人體在垂直方向約可耐受至 15 G 或 20-25 G，左右方向約可耐受至 20 G，前後方向約可耐受至 45 G 而不受傷<sup>3</sup>，如表 3-1。當力量施加於人體前後方向時，人體能夠耐受比其他方向遠大得多的力，因為身體的骨骼結構與質量分佈，使前後方向相較於垂直或左右方向，力量分布在較大面積上。另外身體構造在垂直方向，內臟在體內會有更多的位移，從而增加受損傷的可能性。

<sup>2</sup> NASA 研究報告網址：<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19980228043/downloads/19980228043.pdf>  
<sup>3</sup> 相關文獻網址：<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA218435.pdf>



表3-1 人類耐受加速力極限

加速力方向	乘員的慣性反應	耐受程度
向上加速(+Gz)	眼球向下	20-25 G
向下加速(-Gz)	眼球向上	15 G
向右加速(+Gy)	眼球向左	20 G
向左加速(-Gy)	眼球向右	20 G
向前加速(+Gx)	眼球向內	45 G
向後加速(-Gx)	眼球向外	45 G

### 3.7 適撞性評估

適撞性可以定義為飛機及其內部系統，在發生撞擊時保護乘員免受傷害的能力。課程中學員利用校內的事務調查模擬場地，依照 Dave Noland 編製的基礎適撞性評估項目，對其中一架 Baron B55 飛機進行適撞性評估，如圖 3-6。評估時各細項內含若干選項，選項依內容具有不同分數。表 3-2 摘錄各評估細項及其占比分數，以及該細項內最高分數所代表最佳適撞性的選項說明。



圖3-6 學員參與飛機適撞性評估情形

表3-2 適撞性評估項目及說明

適撞性評估項目 (分數)	適撞性最佳的選項說明
<b>座椅與約束系統 (40)</b>	
肩部安全帶數量 (8)	配有 2 條肩部安全帶最佳。
安全帶材質與規格 (4)	安全帶 0.09 吋厚、以 Dacron 聚酯纖維製成、2 吋寬含襯墊，可承受 4,000 磅拉力。
安全帶帶扣 (2)	旋轉式或軍用規格最佳。
肩部安全帶從後方拉出角度 (4)	0 度至 25 度最佳。
腿部安全帶與座墊角度 (4)	45 度至 50 度最佳。
腿部安全帶 (2)	安全帶 0.09 吋厚、1.5 吋寬，可承受 2,500 磅拉力。
座椅垂直方向能量吸收程度 (6)	有負載限制，能量吸收至少 3 吋行程的座椅。
座椅固定方式 (6)	可穩固於艙內地板承受 40 G 力不鬆脫。
座椅應力區無金屬鑄件 (2)	避免使用低延展性易折斷金屬鑄件。
地板與機腹間結構深度 (2)	距離 12 吋以上。
<b>機身基本適撞性 (20)</b>	
機鼻與駕駛艙距離 (5)	距離 10 呎以上。
正面撞擊下駕駛艙強度 (4)	可承受 40 G 正向碰撞防滾籠設計。
垂直撞擊下駕駛艙強度 (3)	可承受 20 G 垂直方向碰撞防滾籠設計，且為低翼設計。
側向或翻滾撞擊下駕駛艙強度 (3)	可承受 20 G 側向碰撞防滾籠設計。
無剷翻地面傾向 (2)	含堅固縱樑與蒙皮的平整機腹。
起落架吸收垂直力構造 (2)	漸進潰縮起落架最佳。
機翼的影響 (2)	無侵入座艙。
<b>事故後火災可能性 (20)</b>	
油箱位置 (5)	隔離在駕駛艙後方受到保護位置。
油箱結構 (5)	抗破裂、耐碰撞油箱。
燃油管路 (4)	使用防火軟管、固定位置遠離點火裝置，具有可脫離的裝置座配件及關斷閥門。
燃油與液壓油控制 (2)	耐碰撞油箱遠離點火源。
引擎排氣位置 (2)	排氣遠離燃油。
其他點火源位置	點火源遠離燃油及滑油。
<b>駕駛艙環境 (10)</b>	

儀錶板接近程度 (3)	距離 30 吋以上。
無堅硬尖銳物體 (3)	操作面板及操縱杆無堅硬尖銳突出的旋鈕或開關。
方向舵踏板區域 (2)	踏板相距 8 吋以上或 2 吋以內，避免腳部受困。
艙內設備固定 (2)	氧氣瓶、滅火器等設備可承受 25 G 碰撞不位移。
<b>疏散 (10)</b>	
每個座位出口數 (3)	每個座位都有出口最佳，比值達 0.33 得 1 分，達 0.66 得 2 分。
出口位置 (1)	出口接近每位乘員。
出口方便性與可靠度 (3)	所有艙門都以手把單一動作開啟、非飛行員也能輕鬆操作、內外均可開啟。
門框完整性 (2)	所有門框非常結實，並且被機翼結構保護。
翻覆後可脫離 (1)	翻覆後仍可由出口脫離逃生。

這份評估表之評估項目係針對普通航空器進行設計，故僅適用於普通航空器使用，雖然某些項目為追求準確性需要工程數據，但對於未經訓練的人來說，仍然容易依循表單各項目進行評估。

沒有一種機型可在所有評估項目獲得滿分，因為某些評價較高的設計特徵無法與其他領域併存。例如高翼設計適合保護油箱免受撞擊，但對於保護乘客方面並不理想。理論上依照這些標準，可以設計達到 80 分甚至 90 分的普通航空器，但達到這樣的適撞性需要巧妙的設計，並且會增加重量與成本。例如 Cessna AG Wagon 農用噴藥飛機得分在 60 或 70 左右，證明如果業界願意可以設計出更佳的飛機。農用飛機駕駛因從業務務需要耐摔的飛機，一般普通航空器分數在 30 至 50 之間，例如對 Mooney 201 的評分為 44.5。

在可見的將來不太可能出現全新的安全設計，但是現有飛機之適撞性，可在不完全重新設計的情況下進行提升。如：Cessna 185 和 206 藉由改裝後之座椅支架、5 點式安全帶、有限的防火系統和更堅固的客艙結構，其適撞性評估會比未改裝前高出 30 分，另外換用一條最先進的 5 點式安全帶亦可以增加 20 分。

### 3.8 火災生還調查

因飛機攜帶燃油驅動發動機航行，在飛航事故中很可能發生燃燒起火情形，因此有必要進一步瞭解火災及其對乘員生還的影響。起火是一項放熱氧化反應，在可燃物分解時產生光與火焰。無火焰燃燒包含 3 要素，必須要有充分的可燃物質、氧化劑，以及足夠的熱能。若是有火焰的燃燒，可燃物分子發生熱裂解作用成為更簡單分子，能與其他分子產生連鎖反應。在飛機上可能因有機固體、可燃性液體、電器起火或可燃金屬（如充電電池中的鋰）導致火災。

火災化學術語方面，閃火點（Flashpoint）指揮發性物質釋放出可燃蒸氣，達到燃燒下限與火源接觸下產生閃火（一閃即逝）的最低燃料溫度。著火點（Fire Point）指釋放出足夠蒸氣以維持燃燒的最低燃料溫度，也稱為貧可燃極限（Lean Limit）。富可燃極限（Rich Limit）指在密閉的情況下，燃料蒸氣相對存在的氧氣量占比過多，火會自行熄滅。可燃範圍指燃料與氧氣比，在貧可燃極限及富可燃極限之間的範圍，只要混合物在可燃範圍內，它就會被火源點燃並持續燃燒。火災行為術語方面，緩燃（Deflagration）指次音速火焰穿過未反應的燃料蒸氣，絕大部份火災屬於緩燃，但不一定都有火焰，也可能是悶燒無火焰。爆轟（Detonation）指氣體急劇熱膨脹速度超過音速，引起燃燒並伴隨衝擊波（Shock Wave）的現象。爆炸（Explosion）指密封容器釋放壓力破裂突然產生衝擊波的現象。

飛機上可被作為燃料的有燃油、潤滑油、液壓油，以及塑膠部件。Jet A 燃油閃火點高於 38°C (100°F)，自燃溫度為 210°C (410°F)，0W-50 潤滑油閃火點高於 220°C (428°F)。液壓油耐火，但在高溫條件下仍會燃燒。大多數塑膠部件融化溫度為 180-230°C (350-450°F)，融化後將成為燃料。材料特性方面，大多數鋁合金在 480-680°C (900-1250°F) 下融化。複合材料部分具有耐火性，但接著劑如樹脂、環氧樹脂可以被點燃起火。機身航空塗料與聚碳酸酯窗戶被要求具有一定的阻燃性，但持續高溫下仍會被燒毀。

對於飛機火災的調查，調查員須能夠回答一些問題：火災從哪裡開始？它如何開始？延燒到何處？造成什麼後果？飛機火災對乘員能否生還的威脅包括高熱、煙霧與有毒氣體。人體會受到透過輻射傳遞的輻射熱，或透過傳導和對流傳遞的環境熱量所影響，因暴露的時間與溫度差異，可能造成一到四度皮膚灼傷，或是呼吸系統灼傷。一度灼傷只傷害到表皮層使皮膚紅腫，二度灼傷傷害到部份的真皮層產生水泡。三度灼傷真皮層全被破壞，傷害到達皮下組織層，皮膚呈白色或焦炭狀。四度灼傷最嚴重，被傷害部分達皮下組織層以下的肌肉和骨骼。

煙霧組成成分包括碳、未燃燒的燃料顆粒、酸、水蒸氣，以及有機化合物。煙霧對乘員生還因素的影響，不僅在呼吸方面，也會遮擋疏散逃生視線。飛機燃燒可能產生一氧化碳、氰化氫、丙烯醛、氯化氫，以及光氣等有毒氣體。一氧化碳常伴隨火災產生，是含碳物質不完全燃燒的產物。人體唯一的攝取途徑是經由呼吸，它與血紅蛋白的親和力是氧氣的 200-270 倍，若濃度過高將造成一氧化碳中毒。有毒氣體對人體的影響，變數包含氣體濃度、暴露時間、活動程度、個人體型及生理狀況。總而言之，飛機火災可能使乘員皮膚受到不同程度的燒傷、呼吸系統吸入熱氣或火燄造成上呼吸道灼傷，同時煙霧或有毒氣體成份造成支氣管及肺部的損傷，將影響呼吸功能死亡率高。調查員分析飛機火災，須鑑別罹難者是否因火災致死、罹難者還有受到哪些傷害，以及逃生疏散的議題。

### **3.9 影響緊急撤離、逃生疏散的因素**

事故發生後，考量航機內部不確定是否安全，加上航機撞擊後燃油外洩，很有可能會引發火災，基本上飛航事故後，應盡可能離開航機，疏散至安全地點等待救援；影響緊急撤離、逃生疏散的因素整理如下：航機硬體配置因素、作業程序因素、環境因素及個人在壓力情境下之行為反應，分別說明如下：

#### **1. 航機硬體配置（應注意大小尺寸、方向、位置、功能等）**

航機內部座椅配置，包含座椅間距、從座位移動到走道的距離、甚至座椅

扶手及座椅靠背的位置；走道寬度、從座位移動到緊急出口的距離、緊急出口的空間大小、航機緊急出口與地面之距離、逃生滑梯的狀況、安全帶釋放機制的易用性及功能性。

要注意的地方是：任何座位到最近緊急出口的距離不得超過 50 呎，且針對超過 44 個座位的航機，均須進行緊急撤離測試，必須於 90 秒內完成人員撤離始能通過認證。

## 2. 作業程序（組員緊急應變訓練及安全提示、廣播）

### (1) FAR 121.397 - 緊急疏散職責

法規規定了機組人員在緊急情況下和疏散過程中的職責和責任。

### (2) 人員配置要求

每 50 個乘客座位配置 1 名客艙組員：根據規定，飛機上必須至少配置 1 名客艙組員，且每增加 50 個乘客座位須多配置 1 名客艙組員。這是為了確保在緊急情況下有足夠的機組人員協助乘客疏散。

### (3) FAR 121.417 - 組員緊急應變教育訓練

法規要求機組人員接受緊急情況下的專業訓練，包括疏散程序、使用應急設備以及處理各類緊急情況的技能。這確保了機組成員在發生緊急事件時能夠有效地引導和幫助乘客。

### (4) FAR 121.571 - 起飛前對乘客的簡報

起飛前必須提供安全宣導，內容包括安全帶的使用、緊急出口的位置、氧氣面罩的使用方式等。

安全提示卡：乘客座位前應提供安全提示卡，卡片上詳述飛機的安全設備，作為安全宣導的一部分。

### 3. 環境因素

#### (1) 撞擊的影響

- 可容忍的撞擊力：在某些情況下，即使飛機受到撞擊，依然有可能進行疏散，因為這些撞擊力通常是可以承受的。
- 驚嚇反應和震驚：乘客在撞擊發生時可能會出現驚嚇反應和震驚，這些反應可能會影響他們的疏散能力。

#### (2) 結構損壞的影響

- 座椅的失效和移位：飛機結構損壞可能會導致座椅的失效或移位，影響乘客的疏散通道。
- 內部物件損壞：機艙內的其他設備、蓋板，可能因結構損壞而失效或坍塌，進一步阻礙疏散。
- 機身和結構的變形：飛機機身或結構的變形可能會改變機艙內的活動動線、空間，使得疏散變得更加困難。

#### (3) 煙霧和有毒氣體的影響

- 視覺和呼吸障礙：煙霧和有毒氣體可能會對乘客的視力和呼吸造成障礙，這會嚴重影響他們的撤離能力和生存機會。

### 4. 個人在壓力情境下之行為反應

#### (1) 生理議題

- 乘客可能因受傷或使用醫療器具（如拐杖、輪椅）而影響其在緊急情況下的行動能力。

- 乘客因疾病而導致的生理障礙可能影響其在緊急情況下的應變能力；亦可能因飲酒、藥物等原因導致生理上的不適，這也會影響其應對緊急情況的能力。
- 身心障礙乘客於疏散過程中可能需要額外的幫助或特別的安排。
- 乘客的力量、體型大小會影響他們在緊急疏散中的表現。例如，較小或體弱的乘客可能需要更多的幫助。

## (2) 文化議題

- 不同文化背景的乘客對待緊急情況的反應可能不同，有些文化可能較為堅忍，不容易表現出恐慌或情緒波動。
- 文化背景可能影響乘客對緊急情況的期望和反應方式。例如，某些文化可能更注重集體行動或服從指揮。

## (3) 心理議題

- 安全簡報的關注度，在起飛前對安全簡報的注意力和理解程度可能會影響乘客在緊急情況下的反應。
- 緊急反應和準備程度會影響乘客之應對能力和行動。
- 恐懼：在緊急情況下，恐懼會影響乘客的行為決策和反應能力。
- 焦慮：焦慮可能導致乘客無法冷靜地應對緊急情況。
- 迷失方向感：在突發事件中，乘客可能因不熟悉環境或情況而感到迷茫。
- 恐慌：恐慌可能導致乘客無法理性思考，甚至做出不利於自身安全的行為。



- 行為上的不作為：某些乘客可能在危機時刻因恐懼或壓力而無法採取任何行動。
- 群聚效應：乘客可能會尋求與其他人群集結或依附，以尋求安全感和支持。

### 3.10 生還因素訪談

事故發生後調查員須對不同的證人進行訪談，證人是事故目擊者、關係者，或是瞭解背景狀況的人。以飛航事故而言，可能要訪談乘客、空勤組員、消防搜救人員、監理機關人員、機場管理人員、航空公司訓練及維護人員等證人。訪談可能在醫院、機場、旅館、家裡、訓練中心、消防隊等地點進行，視情況也可以採用電話訪談。調查員在訪談中與受訪者的溝通內容，可分為非問題（**Non-Question**）、一般問題、經指導的問題（**Directed Question**）、特定問題及摘要問題等。非問題指的是任何不是疑問句的話語。一般問題指簡單、常見，適用於廣泛主題的問題。經指導的問題是調查員要求受訪者，對先前回答問題時提出的觀點，進行澄清或提供更多資訊。特定問題指特定領域或主題的問題。摘要問題要求受訪者閱讀文件材料然後總結主要想法，這類問題測試受訪者對文件中重要訊息的理解，以及有效傳達的能力。無論如何，調查員應該避免詢問引導性問題（**Leading Question**），引導性問題是指調查員提出特定答案並希望確認資訊的問題，問題內容包含了調查員對事件的看法，如此無法使受訪者充分反映真實狀況。

在醫院進行訪談時，必須獲得醫院管理人員及病患的醫師許可，與護理人員確定合適的時間，也可尋求醫院社工幫助。訪談中注意病患狀況，讓病患決定訪談時間的長度和內容深度，盡可能以最少的人力進行訪談。訪談兒童時必須獲得家長許可，並且家長或監護人在場，也須獲得醫生或諮商師的同意，並避免詢問引導性問題。

訪談技巧方面，在訪談前決定哪些人參與訪談、由誰進行訪談、誰來做筆記、

後續問題的程序，以及確保每個人都了解相關規定。訪談開始時先介紹自己與組織，並解釋訪談目的。訪談過程中調查員只傾聽不分析，事故調查並非司法調查不要盤問審訊。調查員須考慮訪談是否讓受訪者律師、工會代表或家庭成員陪同參與，也要為受訪者可能的憤怒、煩躁、困惑、悲傷、哭泣等不同情緒做好準備。訪談中預期遭遇的問題狀況可能有：受訪者怕被報復有所保留、詢問問題造成尷尬、受訪者對訪談的期望、受訪者感知或記憶的不確定性等。

綜合而言，調查員進行事故訪談工作時有 10 點注意事項：

1. 在受訪者敘述過程中停止說話
2. 讓受訪者放心
3. 向受訪者表示你想要聆聽
4. 消除分散注意的事物
5. 同情受訪者
6. 要有耐心
7. 控制自己的情緒
8. 避免爭論與批評
9. 在受訪者敘述完畢後提出後續問題
10. 不談論無關事項

### 3.11 生還因素調查案例

課程中講師分享其參與分析生還因素的 LAMIA 飛航事故案例<sup>4</sup>，此事故發生

---

<sup>4</sup> 詳見：<https://www.isasi.org/Documents/ForumMagazines/Forum-2019-OctToDecember.pdf>, P23-P27

於 2016 年 11 月 29 日，一架 Avro 146-RJ85 飛機，執行 LMI2933 包機航班載運 77 名乘客，因燃油耗盡墜毀在哥倫比亞 Medellin 機場以南樹木茂密的山坡，最終造成 71 人死亡 6 人生還，調查團隊由來自 5 國的 20 位專家組成。

調查方法是運用「CREEP」模型分析這起可生還的撞擊事故，結合飛行資料、事故現場分析、搜救/醫療/法醫資訊以及人員訪談，並為每名倖存者進行 CREEP 5 個項目描述並加上權重，各項目說明如表 3-3。

表 3-3 CREEP 模型各項目說明

<b>Container</b>	載具空間	事故發生期間與之後，乘員可獲得的生存空間。
<b>Restraint</b>	約束	座椅、安全帶及其他約束系統，保護乘員免受其他結構及自然環境的傷害，並防止他們被投射出生存空間之外。
<b>Energy Absorption</b>	能量吸收	撞擊過程中乘員所經歷的減速力；由於乘員不是機身的固定部分，因此能量可被減弱或放大。
<b>Environment</b>	環境	因撞擊產生所有可能傷害乘員的周圍因素，例如煙霧、極端冷熱、有毒物質，或生存空間內快速移動的物體。
<b>Post-crash factors</b>	撞擊後因素	事故動態部分結束後，可能影響乘員生還的情況與因素。火災及煙霧、從殘骸疏散，以及搜尋與救援是最相關的要素。

事故航機未在撞擊後發生火災或被完全摧毀，儘管存在嚴重機身損壞、惡劣環境條件、緊急應變及醫療受到地理限制，CREEP 的所有項目均不利，但仍有 6 人倖存，生還者座位及傷勢情況如圖 3-7。乘員 1 遭受撕裂傷及挫傷為輕傷，乘員 2、3、4、5、6 遭受多重創傷為重傷。動力學資料包括重量和平衡、速度、距離與加速度，主要來自飛航資料紀錄器（FDR）及相關表單紀錄。依此計算能量結果顯示，垂直方向重力峰值約 70 G，持續 0.6 秒。

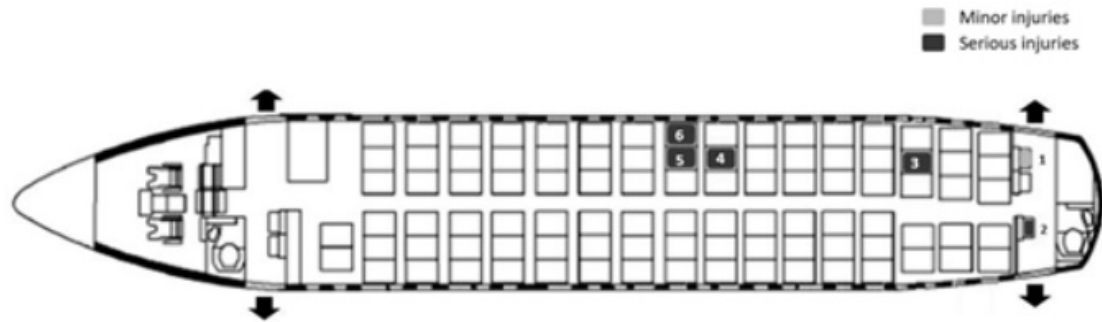


圖 3-7 生還者座位及傷勢情況

在載具空間項目方面，對於乘員 1 和乘員 2，最初的撞擊發生在其位置下方與後方。兩人均位於機尾附近，座椅面向後方並由結構牆支撐，最初受到保護之後可能被彈出機外。乘員 3 在地勢較高的主要殘骸附近被救出。對於乘員 4、5 和 6 來說，載具空間部分很可能是最具保護性的因素，因為最終殘骸的證據顯示，機身上部右翼下方，是唯一撞擊後幾乎完好無損的部分。

在約束方面，乘員 1 與乘員 2 皆繫有 4 點式安全帶，獲得額外的保護。乘員 3 被中間座位上的 2 點式安全帶約束，其左右乘客均身亡。乘員 4、5 和 6 也繫有 2 點式安全帶。整體而言，座椅和約束裝置的性能符合設計，但瞬間重力負荷超出了它們的 16G 設計閾值。大多數死者仍被安全帶約束住，但也有一些死者位在主殘骸外，這些乘員在事故發生時可能沒有繫妥安全帶。

在能量吸收方面，機身被破壞分為 3 部分，建立模型評估能量吸收比較困難。乘員在最初的撞擊過程中可能受到很大的減速力，在垂直方向約達 70G。飛機沿著能量路徑解體破壞，不同乘員因其座位位置而有利或不利於生存。

在環境方面，這項因素對 6 名生還者的影響各不相同，乘員 1 和乘員 2 因為面向飛機後部，加上載具空間與約束因素，以及在最大撞擊前已被拋出機身外，高能量移動的物件對他們未造成傷害風險，乘員 3 也是如此。乘員 4、5 和 6 的位置接近飛機中段，他們的座位在右翼周圍保存完好。大多數死亡乘員受到致命的鈍力傷，乘員 4、5 和 6 受到的傷害由座椅、行李、客艙內部結構，以及其他乘客

身體造成。

在撞擊後因素方面，最初有 8 名乘員在撞擊後仍生還，因傷勢嚴重最終 6 人生還。事故現場地點偏遠，無道路且缺乏空中救援服務，天氣陰雨、海拔高氣溫低使救援時間長。救援隊須徒步 1 公里疏散所有生還者，救援車輛在一條狹窄的道路上等待，再行駛 1 小時到最近的醫療機構。6 名生還乘員救援時間，以乘員 4 耗時 4 小時最長。

事故調查的目標是未來的安全，而生還因素是有重大改進機會的議題。所有事故都須進行綜合的生還因素與適撞性分析，進而改進座椅和約束裝置、飛機設計、緊急應變、乘員保護以及調查技術。這次事故和其他事故曝露出 CREEP 模型的侷限性，本事故中大部分的 CREEP 因素都不利之下仍有 6 人生還，CREEP 模型須重新設計或評估加入其他因素，例如人員差異與個人狀況，包含年齡、健康、身體狀況及性別，以更適當地評估乘員在事故中生還的條件。

## 肆、建議

事故發生後之安全調查有許多面向需要瞭解，其中生還因素調查除了需要具備事故調查之技能，對於航機設計、機組人員作業程序、人體生理、心理之影響、火災及環境的影響等，更需要多方面認知，所以，不論在蒐集資料，或是後續分析、評估生還因素議題及提出改善建議，調查人員均需要持續精進生還因素專業知識，並瞭解如何運用在事故調查工作上。

參加此次訓練課程後，學習到進行生還因素調查基本作業，對於生還因素調查有更深一層之認識；為持續強化本會生還因素調查能量建議本會：

- 一、 應用本次訓練資料，強化本會生還因素相關之檢查表、指引與訓練教材。
- 二、 規劃或參加生還因素調查個別專業領域之訓練課程。

## 參加飛航事故生還因素調查及分析訓練課程報告

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：運輸安全組副調查官

姓 名：蔡華生

出 國 人 職 稱：運輸安全組調查官

姓 名：袁世立

出 國 地 區：美國

出 國 期 間：民國 113 年 5 月 11 日至 5 月 19 日

報 告 日 期：民國 113 年 8 月 7 日

### 建議事項：

	建議項目	處理
1	應用本次訓練資料，強化本會生還因素調查相關之檢查表、指引與訓練教材。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行
2	規劃或參加生還因素調查個別專業領域之訓練課程。	<input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行