

飛行員空中失能

-- 空間迷向的成因與預防

許德英

前言

2014年4月25日，我國陸軍一架AH-64E「阿帕契」攻擊直升機在桃園龍潭基地執行滯空飛行訓練時失事。經調查分析，陸軍司令部於7月15日公佈失事肇因，分別為龍潭接近山區有天候多變的環境因素，以及飛行員「空間迷向」(Spatial Disorientation, SD)而產生錯覺的人為因素等相互影響，從而導致飛機全毀、二位飛行員生還的重大失事。

2014年7月23日，復興航空公司一架ATR-72型客機自高雄機場起飛至馬公機場落地，不幸在進場階段時決定重飛後墜毀，造成48人罹難、10人受傷(飛航組員2人、客艙組員2人、乘客54人)，以及地面居民5人受傷等空難事故。雖然本案仍在調查中，但根據已公布之資料，航機在重飛過程中遭遇能見度降低、偏離航道、低於「最低下降高度」(Minimum Descent Altitude, MDA)等情境，故尚未排除飛行員「空中失能」為可能肇因之一。

根據案例研究，空間迷向係軍、民航飛行員空中失能的要角，本文先從空中失能的角度切入，再由空間迷向的成因與相關案例的可能肇因，進一步探討此項人為因素的預防策略，從而避免類似事故的再度發生。

飛行員空中失能

根據航空生理的研究，飛行員在空中有幾種造成「失能」的誘因，諸如：空間迷向(錯覺)、飛機加減速度、氧氣供應不足、座艙減壓、動暈症、疲勞(含時差)、低血糖、藥物、酒精、毒性物質、疾病、心理等各種人為因素。飛行員失能對飛行操作所造成的影響，常與發生的時機與其延續時間的長短有著密不可分的聯結，甚至是該次事故嚴重程度的關鍵。

飛行員有多種發生失能的情境，首先是天候雲層與能見度的影響，常會誘使飛行員發生空間迷向的錯覺。此時

對飛行姿態的認知就會產生身體感覺與儀表指示相互衝突的現象，若再伴隨著「儀器飛行」的訓練不足，無法克服身體感覺而有信賴儀表的心理障礙，以及沒有良好的組員資源管理等，飛行員在遭遇此種「天人交戰」的情況下，是很難正確有效的操控飛機。

其次是高性能戰機實施戰術課目常有大G力的操控，經由飛機加減速動作而來的G力有正、負之分，當承受正G力時，飛行員的血液向下鬱積，致使心臟無法供應足夠的血量到腦部，此時不僅是造成腦部缺氧，眼睛也會隨著G力的增加而由「灰視」到「黑視」，最後導致「大G昏迷」而完全喪失意識。另一方面，當承受負G力時，飛行員的血液被壓迫至腦部，此時雖不會造成腦部缺氧，但眼睛會因為充血而形成「紅視」，進而導致身體極度的不適及意識模糊的狀況。至於民航機與直升機的飛行員，因為飛機的加減速度與操控性能等限制，發生此種情境的機率較低。

還有其他失能的人為因素，則大多涉及飛機的系統故障，或是飛行員的身心健康等問題，都可經由常態的機務檢查與空勤體檢、任務班表規劃(含時差管理)、酒精與藥物抽測等標準作業程序，杜絕其發生的機率。

空間迷向成因

不管人類研製的軍、民航飛行載具有多麼先進、多麼符合人性，畢竟人類是習慣在二度空間活動的動物，飛行員想要在三度空間的天上靈巧翱翔，多少都會受到空間定向的人類本能限制。

眼睛、內耳前庭與本體感受器，係人類的三大平衡器官；在正常狀態下傳遞訊息給大腦而獲知正確的空間定向，但在三度空間的環境下，卻可能會傳遞出錯誤的訊息。諸如：飛行員目視飛行時，天地線或視野目標是掌握空間定向的主要依據，但若遭遇到視線不良或多雲的惡劣天氣，除了看不到天地線或視野目標，也可能會看到傾斜

雲層而誤判為水平的天地線。

又如：飛行中不斷地改變飛機姿態與加減速度等，迫使內耳前庭無法傳遞正確的空間定向訊息；而本體的皮膚、肌肉、關節等定向感受器，也不能提供足夠的空間定向訊息。此時，飛行員就會自然發生空間迷向而不自覺，其造成的錯覺有四種主要類型：

- 一、傾斜錯覺(Leaning illusion)：當飛機朝某一側緩慢地增加坡度轉彎時，內耳前庭會因為轉彎的角加速度較小，讓飛行員感受不到機翼傾斜的姿態；若飛行員從姿態儀發現機翼朝某一側傾斜，立即將機翼朝另一側改平飛，此時機翼雖然水平，卻容易產生機翼朝另一側傾斜的錯覺。
- 二、俯仰錯覺(Pitching illusion)：當飛機突然加速時，內耳前庭會在加速前進的剎那，讓飛行員產生機頭向上仰的錯覺；當飛機突然減速時，內耳前庭會在減速變慢的剎那，讓飛行員產生機頭向下俯的錯覺。
- 三、滾轉錯覺(Rolling illusion)：當飛機朝某一方向連續滾轉後停止時，內耳前庭會因為半規管的慣性作用，讓飛行員感受到飛機朝反方向滾轉的錯覺；若飛行員未能經由眼睛來參考天地線或姿態儀等目視訊息加以改正，此時飛機雖然停止滾轉，卻容易產生飛機朝反方向滾轉的錯覺，飛行員會下意識朝原方向壓桿以停止其滾轉，造成飛機持續朝原方向滾轉直至墜地的「死亡螺旋」(Graveyard spiral)。
- 四、科氏錯覺(Coriolis illusion)：飛行員在飛行中，低頭檢視或回頭察看等的頭部動作，會很容易發生科氏錯覺。因為內耳前庭有三個互相垂直的半規管，分別傳遞傾斜、俯仰、滾轉等三軸的空間定向訊息；當飛行操控有角加速度的動作時，若飛行員的頭部未能保持固定，半規管所傳遞的訊息會受到頭部移動的干擾，很容易產生三軸的空間迷向。

案例可能肇因

檢視國際間涉及空間迷向的軍、民航失事案例，從其事故調查的可能肇因分析中，顯示飛行員空中失能的發生，都關係到人為因素的管理疏失。軍、民航相關案例簡述如后：

一、軍航失事案例

· 一架雙座教練機執行儀器飛行訓練，學員完成課目後返場，因低空有密雲而改由教官執行精確性儀器進場；當右轉進入五邊時，教官產生錯覺而無法向左壓桿改平飛

機，立即要求學員接手操控，但學員亦無法向左壓桿改平飛機，此時下降率劇增迫使教官下令跳傘，兩位飛行員安全著地，教練機全毀。調查事故可能肇因：情境察覺(SA)不足，未能掌握天氣狀況，教官臨時從目視進入儀器飛行而發生空間迷向；組員資源管理(CRM)不足，教官與學員間未能有效溝通，教官仍緊握駕駛桿沒有鬆手，致使學員無法向左壓桿改平飛機。

· 一位學員完成高級飛行訓練，按計畫進入戰機換裝訓練，放單飛之後執行二機編隊課目；在跑道上教官任長機先起飛，學員任僚機隨後起飛攔截長機，因低空有雲層而未能全程目視長機，又因忽略飛行姿態，造成變動作而墜海失事。調查事故可能肇因：對天氣與能力的訓練管理不當，在低空採大速度、大坡度，以切內圈的航線攔截長機，在未能全程目視長機的情況下，對資淺飛行員有能力與空間迷向的操控風險。

· 一位資深飛行員執行夜間戰術攔截訓練，在最後一次攔截過程中，當攔到目標機而進入攻擊位置時，先是呼叫發生錯覺，隨後變動作墜海失事。調查事故可能肇因：夜間變動作可能來自缺氧失能或空間迷向；檢視該員當日工作情況，從早上7點上場到晚上9點失事，雖符合一天飛行三批次的限制，但其間另擔任一批作戰任務預備機，一次飛行輔導通訊車的觀察員，參加作戰訓練預劃會等多項勤務，其體能與精神狀態也是發生空間迷向的誘因之一。

· 一位資深飛行員擔任地勤高階主管多年，依規定完成空勤高階主官的復飛訓練，在一次接近中午時段的作戰任務中，飛入雲中失去聯絡而墜海失事。調查事故可能肇因：失控墜海可能來自機械故障、缺氧失能或空間迷向；此外，接近中午時段因尚未用餐，也可能因低血糖而造成失能或空間迷向。

二、民航失事案例

· 一架客機在進場時因高度太高、速度太大而決定重飛，航管准許其左轉爬升至2,500英尺後再次加入進場航線。飛機先加速至185浬/時，隨即以機頭5度仰角爬升至1,000英尺，在爬升快到1,000英尺時，飛機突然以機頭15度俯角快速下降；當「近地警告系統」(GPWS)的警告音訊響起，機長決定伸放襟翼並向後帶桿，最後飛機以機頭6.5度俯角、空速280浬/時撞擊海面，機上143員全部罹難。調查事故可能肇因：飛行員失能、空間迷向、組員資源管理不足。

· 一架客機起飛後左轉爬升攔截離場航線，隨後機長向右壓坡度，副駕駛多次提醒機長坡度越來越大。當爬升至5,460英尺時，向右坡度已到達50度；接著在高度3,470

英尺時，向右坡度到達111度、機頭43度俯角。副駕駛呼叫「收小油門」多次，兩個油門雖收至慢車，但速度持續增加而致動超速警告訊息。最後飛機以向右坡度24度、機頭24度俯角、空速416浬/時、3.9 G負荷下撞擊海面，機上148員全部罹難。調查事故可能肇因：飛行員失能、空間迷向、組員資源管理不足。

- 一架客機因目的地機場天氣低於標準而準備返降，隨後又因目的地機場天氣符合標準而繼續前往。當飛機攔截到下滑道準備落地，因雲層下降低於天氣標準而重飛，航管指示向右爬升至2,000英尺；飛機從1,000英尺向右爬升至1,500英尺時，突然同時減速及下降高度，直至飛機撞擊海面，機上113員全部罹難。調查事故可能肇因：飛行員失能、空間迷向、環境因素、組員資源管理不足。

- 一架客機在飛行高度35,000英尺的航線上失去聯絡。調查報告指出，因遭遇130公里/時的強烈側風，改變2次航線；當時「慣性參考系統」(Inertial Reference System, IRS)故障，正、副駕駛專注於系統異常情況的排除，在最後至少13分鐘的飛行中，忽略其他飛行狀態的保持。當飛行員在慣性參考系統中選擇「姿態」而解除自動駕駛飛控模式，飛機向右滾轉坡度超過35度，造成飛機失控墜海，機上102員全部罹難。調查事故可能肇因：飛行員失能、空間迷向、機械因素、環境因素、組員資源管理不足。

- 一架客機起飛後在航線上聯絡正常，直至進入風暴亂流區後失去聯絡，最後一則訊息是來自飛機自動發出的電子系統故障通訊，後來飛機以平飛的姿態撞擊海面，機上228員全部罹難。調查事故可能肇因：飛行員失能、空間迷向、機械因素、環境因素、組員資源管理不足。

- 一架客機在深夜起飛後，飛行姿態緩慢地轉向右側傾斜，當飛行員發現後卻使飛機向右側傾斜的幅度加大，最後導致飛機開始螺旋俯衝，在起飛後不到2分鐘墜毀，機上114員全部罹難。調查事故可能肇因：飛行員失能、空間迷向、組員資源管理不足。

空間迷向預防策略

深入分析空間迷向成因與案例可能肇因，可知眼睛是人類最可靠的空間定向器官，若發生空間迷向的各種錯覺，只要能運用眼睛來參考天地線或視野目標，大都可以立即消除錯覺；至於參考座艙內的姿態儀，雖然也是屬於眼睛的目視訊息，但仍然會有相信身體感覺或信賴儀表的心理障礙，因此健全的模擬機與儀器飛行訓練，就是排除

此種心理障礙的不二法門。

我國航空界面對空間迷向的預防策略，軍方應從國軍高雄岡山醫院的「航空生理訓練中心」開始，運用俯仰(pitch)、滾轉(roll)、偏航(yaw)、上下(heave)、前後(surge)、左右(sway)等六軸動向的「空間迷向機」，讓飛行員親身體驗空間迷向是人類生理的自然現象，並掌握發生錯覺的時機與克服方法，進而在心理上建立信賴飛行儀表的潛意識。至於民間雖有立體動向的模擬機常態訓練，若能再增加「空間迷向機」的體驗課程，必然更能強化信賴飛行儀表的操控認知。此外，軍、民航都應加強模擬機的儀器飛行與「不正常動作改正」，以及組員資源管理等訓練課目，以熟練遭遇到各種飛行狀況與錯覺時，都能相互提醒與支援，更能擁有充分的改正信心與正確的操控技巧。

最後也是最重要的是，提升實際飛行時的儀器訓練課目，諸如：蓋罩模擬、真天氣、不正常動作改正等訓練，以及具體執行「儀器飛行檢定」的年度資格認證等標準作業程序。唯有經由預防策略的完整建立與落實管理，飛行員空中失能的要角 -- 空間迷向，就只能讓飛行員發生錯覺後改正成功，而不會造成操控失誤的不幸空難！

參考文獻

- 一、「飛航安全管理」張有恆著，2005年台北華泰文化公司。
- 二、「航空安全管理概論」花迎春編著，2008年北京兵器工業出版社。
- 三、“Basic Flight Physiology” by Richard O. Reinhart, M.D. McGraw-Hill, Inc. 1996.
- 四、“Aircraft Safety - Accident Investigation, Analyses, & Applications” by Shari Stamford Krause, Ph.D. McGraw-Hill, Inc. 1996.
- 五、“They Called it Pilot Error - True Stories Behind General Aviation Accidents” by Robert L. Cohn. McGraw-Hill, Inc. 1994.
- 六、“Human Factors for Pilots” by Roger G Green. Avebury Aviation Group. 1995.