

天氣、飛安、戲

劉廣英¹、蒲金標²、李金萬²、蕭玲鳳¹

¹中國文化大學大氣科學系

²民用航空局

摘要

前國際民航飛行員協會 (International Federation of the Airlines Pilots Association, IFALPA) 前會長巴特斯基 (Jan Bartelski) 在其「航空災難」(Disasters in the air) 一書中, 調查分析自 1942 至 1989 年間 12 次影響面巨大的飛機失事事件, 其中一篇為「1968—The Taipei drama」, 分析民國 57 年 2 月 16 日晚, 導致民航空運公司 (CAT) 瓦解, 中華航空公司奠基的波音 727 港台班機失事案例。他認為夜間低層噴流是事故的關鍵。本文除對該段歷史以及類似事件以氣象觀點加以檢視外, 並針對松山機場因氣象關場記錄進行了調查分析。結果顯示午後雷暴 (雨) 影響飛安最大, 霧、豪大雨, 以及低雲幕亦具相當程度的影響。另外, 根據警報階段所做的調查顯示, 颱風對航空業務的防害非常大, 而好的預報則可使財務消耗降至最低。

一、前言

世界飛行員技術之極至, 莫過於大編隊空中特技表演中令人嘆為觀止的表現。那些飛行員都集才分、勤奮、細心、勇敢於一身, 並能熟讀技術手冊, 方能發揮飛機性能於極至。因而他們都是恪遵規定的人。曾為我空軍雷虎小組領隊, 後任民航局長的袁行遠先生就是其中翹楚之一。他曾說過一句讓空軍氣象人員窩心的話:「(飛行員) 只要確遵規定, 天氣就不會把飛機摔下去。」他的解釋是「既然是適航天氣, 就該有安全的飛行。」

確實, 各型飛機與飛行員都有個別的適航標準; 未通過儀器考核的機師, 就該確遵目視標準飛行。然而, 基於天氣變化有其不確定性, 而人與飛機的反應以及操作能力會因環境條件而改變, 所以除直接防害外如果將間接影響亦計入, 則不良天氣對飛安影響不容忽視。尤有進者, 天氣不良是機場關閉主因之一, 而關閉之影響更廣及經濟與使用者的活動面, 致一旦發生就要付出相當程度的社會代價。本文透過個案分析探討天氣與飛安事故間的關係, 並問及其後續影響。

二、回顧與分析

1. 夜間低層噴流與垂直風切

a. 事件過程概述

判斷航空事故之原因是一項專業性高而又極為困難的事。引起國際重視且導致民航空運公司 (Civil Air Transport, CAT) 解體, 中華航空公司誕生的一次飛安事件是一個極佳的實例 (Bartelski, 2001)。事件發生在民國 57 年 2 月 16 日, 當時 CAT 由香港飛台北的波音 727 (當年最佳機型之一) 班機, 原應由派遣機長刁司徒 (Stuart Dew) 負責駕駛, 但臨時為該公司航運處副處長 (亦是 727 合格機師) 海克斯 (Hugh H. Hicks) 所取代。這也就是說, 坐在正駕駛位置上負責飛行的不是機長, 而是他的上司。雖然此舉並未違反 CAT 內規, 但依公而論似欠妥當。由於目的地松山機

場預報天氣為陰有小雨, 該班機飛行計畫為儀器進場落地。海克斯飛行經驗頗老到, 因而該班機不但一路順遂, 於到達松山儀飛範圍內時, 亦順利進入儀降狀態, 但就在飛航指引儀 (flight director) 與外信標台 (outer marker) 藍燈均指示飛機已進入 3 分鐘長的終點進場下滑航道的 1 分鐘後, 飛機先撞倒農舍, 而後斷落至地面, 造成 22 人死亡 (包括海克斯的愛妻), 42 人受傷之慘劇。事發後民航局立即組成失事調查小組, 並於 2 月 21、22、23 日密集開會並認定駕駛員應為失事負責, 而地院監察官亦依過失致人於死分別對海克斯與刁司徒求刑兩年與五年, 並禁止離境。此事引起國際爭議, 終以無罪結案。唯事故究竟因何而生則並未釐清。

身為飛行員且於事故發生時擔任國際民航飛行員協會 (International Federation of the Airlines Pilots Association, IFALPA) 會長的巴特斯基 (Bartelski, 2001) 於退休後仍記得他曾領頭抗議的意外事件, 並重新蒐集各項資料進行失事分析。經他查閱飛安調查報告 (包括 CAT 飛安調查人員給公司的一份) 發現, 由於未考慮到風向量的影響, 報告中所繪的最終進場航路並不正確。他根據俗稱黑盒子的飛行記錄器 (Flight Data Recorder, FDR) 中資料獲知該班機就在脫離巡航高度時曾遇上 166kts (浬/時) 的強西北風, 在後續的下降中, FDR 所示顯示的風場垂直變化大致與民航氣象中心的高空風分析報告 (10000 呎/SW, 15-20kt, 5000 呎以下 E/10-15kt) 相同, 但在飛機降至 5000 呎以下 5 分鐘內, 卻遇上 112°/80kt 的夜間低層噴流 (nocturnal low level jet stream)。巴氏根據上述資料所重繪之航跡分析如圖 1 所示。圖 1-a 中斷線與實線分別為考慮與不考慮風場作用下班機進場中的下滑航線。圖 1-b 則是實際與不考慮風場兩航線的對比, 其中斷線是根據真空速 (True Air Speed, TAS), 實線則是根據空速表的指示空速 (Indicated Air Speed, IAS) 所繪成。由於松山機場跑道為 100°至 280°方向, 因而以 28 號跑道為目標之 727 班機在通過 5000 呎空域強風時, 所遇上的是頂風 (head wind), 導致浮力

增大使得班機下降率僅為每秒 0.54kt，較預定值每秒 1.24kt 少 54%，加以風向（110°）與飛機下滑方向（100°）相差 10°，形成些微測風（cross wind）。前者使飛機高度無法達到進場標準，後者則使之略有偏移，致未能完全精準的維持在下滑線上。尤有進者，為了迅速降低高度以符合要求，海克斯曾將節流閥（throttle）至於全關位置。以上操作確使飛機大約有 1 分鐘的時間暫時維持在下滑線上，但下降中的飛機隨即脫離低層噴流，頂風因而銳減，飛機即迅速下降。根據座艙記錄器（Cockpit Voice Recorder, CVR）資料顯示當時刁司徒會提醒駕駛要保持高度，而海克斯的回答是：「我想我們是太低了，對吧？」刁則說：「對。」同時附在高度表上的最低決定高度（minimum decision altitude）警告燈曾亮起，黃姓副駕駛（Co-pilot）亦聲稱曾告知正駕駛。

根據以上資料，由民航局召開，交通部與 CAT 代表均參加的飛安調查會認定失事是海克斯在桃園（GM）到林口（LK）二信標（beacon, BCN）間，因未注意保持應有高度所造成。但巴特斯基卻認為飛機由 1500 呎到 734 呎間所遇到的垂直風切（~40kt/1500-734 呎 \approx 20 公尺/秒（233 公尺） \approx 20 公尺/秒（7.76 \times 30 公尺） \approx 2.58 公尺/秒（30 公尺） \approx 0.086 /秒。依國際民航組織第五次會議所訂標準，此值在強度分類中為中度。），所導致之飛機急速下降（下降率 23.3 呎/秒，最後更高達 38.3 呎/秒）才是事故發生的關鍵。他認為冷鋒上強大的垂直溫度梯度與夜間發生的下坡風（katabatic wind）共同造就了夜間低層噴流，因而發生了強低層風切（Low Level Wind Shear, LLWS）。圖 2 是巴特斯基所繪的低層噴流示意圖。他認為 LLJ 的寬度約 5 哩。

b. 天氣概況

圖 3 取自日本氣象廳印刷版，民國 57 年 2 月 16 日 1200UTC 天氣圖。當時大陸分裂高壓剛出海，中心約在北緯 33 度東經 123 度，亦即黃海海面上（圖 3-a）。中心氣壓近 1025hPa。在此高壓控制下當時台北吹東南風 10kts，氣溫 12°C，密雲有雨，最低雲高 400 呎。此高壓在 850hPa 面上仍存在（圖略），但 700hPa（圖 3-b）面相關空域已為西風所覆蓋，為常見之東北季風型天氣。上述西風向上增強，到 500hPa 已達 74kts。不過，根據空軍氣象聯隊桃園 1200UTC 探空分析可見自地面至 750hPa 風自 09008（kts）逆轉至 24018，亦即近地層確有垂直風切，但並未達黑盒子所記錄到的強度。這也許正是巴特斯基認為該低層噴流是沿山的下坡風，寬度僅約 5 哩的原因。

c. 中央山脈西側之下坡風

根據美國氣象學會編輯之氣象名詞一書可知，下坡風（katabatic wind）的註解有二：（1）弱環境風場下，因冷卻導致山坡上的氣溫較山谷或平地上方同高度的氣溫低，進而形成水平氣壓梯度所引起之沿山坡而下的風。（2）有時亦指冷空氣自高處向低處流動，所形成之冷風（如布拉風，bora）。就台灣東北季風影響下西部平原的下坡風，由於並無可堆積冷空氣的台地，並不符合（2）的條件。另東北季風風場不弱，加以在 550hPa 以下相對濕度均超過 80%，輻射冷卻相

對不大，因而不完全符合（1）。只是中央山脈脊線略呈南北向，致東北季風在其西側會因下沉而形成沿山坡之穩定層確實有利生成下坡風，亦即使得沿山而下的冷風增強。

Defant（1951）首先描述了山谷地形中風場的時空變化。Tyson（1968）在南非 Drakensberg 谷所做的觀測分析指出下坡風入夜後逐漸增強並一直維持到次日天亮，而在風最強時有逆溫層相伴。Thompson A. H.（1967）在美國鹽湖城（Salt Lake City）觀測顯示，下坡風會使一處小山谷出口發生 15°C/h 的溫度驟降。Thompson B. W.（1984）則指出在冷氣團影響下的重力流（gravity flow），會使與盛行風垂直山脊的背風面生成強下坡風。King and Turner（1997）引用 Ball 設計之簡單模式顯示在不計摩擦力下，單位容積近山坡面（見圖 4）空氣所受之下滑力為

$$F_B = \rho g \alpha \Delta\theta / \theta \dots\dots\dots (1)$$

式中 ρ, θ, g, α 分別為空氣密度、位溫、重力加速度，以及山坡與平均海平面之夾角（亦即山坡的斜率）。 $\Delta\theta > 0$ ，為兩大氣層溫差。

當氣塊受力向下滑時會與環境的梯度力、柯氏力，以及摩擦力達到平衡狀態。由而可建立山坡上近地層平衡狀態下的運動方程。圖 5 即根據上述公式所計算出不同 $\Delta\theta$ 與 α 角之下坡風風速。由而可見，下坡風風速隨 $\Delta\theta$ 與 $\tan\alpha$ 加大而增加（見圖 4）。由分析綜觀尺度對下坡風之影響得到冬季下坡風不但較夏季強，且可一直吹到山腳下遠處。

由以上研究可知，巴特斯基對 1968 年 2 月 16 日 22 時 16 分 CAT 班機在松山機場進場落地中於距跑道頭外 9.1 哩失事墜毀是穿過強頂風軸後突然減小所致的推論應屬合理，只是，此種地形引起之中小尺度現象，非正常觀測可見，致即使桃園執行 1200UTC 探空觀測時間與班機失事時間（1416UTC）很接近，亦未觀測到飛機黑盒子所記錄到的強低層噴流，更遑論氣象人員能分析出該局部地區的小尺度現象了。

2. 海風引起低能見度在二十世紀最大空難中的角色 a. 事件經過概述

自從廣體巨無霸客機縱橫藍天以來，任何一次災難事件均會牽涉到不少人的生命財產，其中 1977 年 3 月 27 日泛美與荷蘭航空（KLM）兩架波音 747 在加那利群島（Canary Islands，北大西洋沿非洲西北近海小島總稱）坦納利夫（Tenerife）機場跑道上相撞，共造成 563 人死亡，72 人重傷的一次最為嚴重。綜合而言，此事件之原因有三，即（1）加那利群島分離人士所安置的炸彈炸毀了不同島上的漢都（El Gando）機場，使得航管人員只得將臨空班機全都轉到了設備與空間均不足的坦納利夫機場。其中荷蘭航空 4805 班機於落地後因無處可停，而被塔台指示直接停在 12 號跑道頭起飛前的試車區（run-up position）。約一小時半後到達的泛美班機亦被指定在同一區停泊。當時天氣為疏雲 1000 呎，能見度 10 公里。機場非常擠，因而天氣條件雖佳，但已形成了潛在的危機（Bartelski, 2001）。（2）泛美班機落地（約在 1515 時）後 1 小時，低雲忽然湧入機場，能見度降至 0.5 至 1 公里間，兩架波音 747 機長因而曾以無線電通話，擔心機場是否

會關閉。另一重不利因子已在無形中疊加在前述危機上。(3) 美國聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration, FAA) 在其航空手冊 (Aeronautical Information Manual, AIM) 中明訂「當氣象條件允許時, 無論使用何種飛行計畫, 是否在航管或雷達掌控之下, 飛行員都有「看清並迴避」(see and avoid) 其他交通工具、地形、或障礙物的責任 (Walters and Sumwalt III, 2000)。由(2)可知在擁擠的跑道頭, 兩機長知道彼此的位置(就跑道起端而言, KLM 在前, 泛美在後), 但在嚴重低能見度中, 先是塔台准許 KLM 於 1658 時起飛, 而泛美班機則於 KLM 約到跑道中間時亦獲准進入起飛位置, 而後塔台與兩架 747 間的對話有些混淆, 加以視線不良, 機員「看清與迴避」能力受到很大影響, 遂發生了嚴重追撞事件。這也就是說, 低能見度或者不能算作此事件的元凶, 但它卻扮演重要角色。

b. 天氣概況

坦納利夫為一東北西南向長形海島, 中央有超過 2000 公尺之高山, 航空規定的安全通過高度為 2600 公尺。正處於兩山脊之間的機場海拔 609.8 公尺, 因而隨著山坡與海面溫差增加(下午 3 時前為疏雲), 海風隨之生成並加強, 機場隨為低雲所覆蓋並有毛雨。當天最低能見度為 500 公尺, 幾近關場邊緣, 而場站天氣預報 (terminal area forecast, TAF) 顯示天氣不穩定。

海陸風環流為弱綜觀系統下海島形局部風場變化的重要原因之一。就地形特徵而言, 坦納利夫與台灣北部頗類似。根據一次利用 MM5 所做的個案分析 (Liu et al., 2001) 可見陽明山地區在海陸風影響下的局部環流有明顯的日變化。自 0600L 起每 4 小時一次的地面風場(圖略), 由而可見陸風在 1000 至 1200L 間轉為海風, 並逐漸增強至 1600L, 而後又逐漸減弱, 於 2000L 時又由陸風所取代。此過程大致與坦納利夫事故發生時天空狀況變化一致, 可見地形所引起之局部環流, 以及因而發生的天氣在上述事件中扮演了一定的角色, 只是當地點固定後, 氣候特徵即可用為天氣變化的重要參考, 是以如有良好的航空氣象勤支援系統, 很多航空悲劇應可避免。

3. 駝峰英雄悲壯留名

a. 事件經過概述

駝峰是喜馬拉雅山眾峰間較凹下去的山脊, 海拔約 4600 公尺。民國 31 年 4 月下旬日本對我國實施大封鎖, 唯一的對外通路就是由印度經駝峰到昆明。當時美國組成一個由 DC-3 (軍用編號 C-46, 俗稱老母雞) 為主的空運聯隊負運補之責。為了完成任務, 美軍特派第十氣象中隊進駐新德里, 惟草創之初能力有限, 且不受陸戰主義者史迪威重視。為此指揮官用「駝峰上沒有天氣」為基地上激勵士氣的標語。惟 4600 公尺 (15000 呎) 接近 C-46 飛行高度上限, 致在民國 32 年 6 月到 33 年 12 月共一年半中有 438 位空勤人員殉職 (平均每 200 架次就有 1 架次失事, 每運送一千噸物資損失 3 人), 此事令西點軍校 1935 年班畢業, 當過陸航 (當年美空軍尚未單獨成軍) 飛行員, 又獲氣象碩士的中隊長艾士瓦 (Ellsworth) 甚為不滿,

遂極力爭取增設觀測站 (該中隊官兵一度增至兩千人), 並以配列該隊之 C-47 每週飛七天以偵測航線天氣 (當時被戲稱為 TWA, Tenth Weather (squadron) Airline), 對保障飛安提供極大貢獻, 因而戰後他被選送至空軍戰爭學院受訓, 後以極優異成績畢業, 並被派擔任戰略空軍司令部 (Strategic Air Command, SAC) B-36 假想敵聯隊聯隊長。當時正當美蘇冷戰緊張期, 美方攜帶核彈的戰略轟炸機自是躍躍欲試, 蘇聯方面亦蠢蠢欲動。因而美方另設防空司令部 (Air Defence Command, ADC) 負責防圍北方領空。赴任後的艾士瓦即為假想敵的指揮官, 如何能率機突破 ADC 防線就成了他的任務。於是他走訪配列戰略空軍司令部之空軍氣象勤務部 (Air Weather Service, AWS), 並獲得長期預報專家杰斯 (Edward O. Jess) 少校的協助, 亦即杰斯會隨時將預報提供給艾士瓦。就在當 (1953) 年 3 月上旬杰斯發現中緯度氣旋將由加拿大哈德遜灣東移至魁北克, 並在紐芬蘭 (Newfoundland) 加深, 所伴冷鋒將經過美國中北部, 正符合艾士瓦利用鋒面雲帶掩護其突襲的構想, 於是他電話向艾士瓦報告, 而一次任務就定下來了, 時間在 3 月 13 日, 星期五。計畫航線是由基地起飛後向東北飛出海到亞速爾群島 (Azores), 中落加油後向西北飛向紐芬蘭外海, 而後下降飛行航線至防空雷達有效偵測高度以下。在上述狀況下, 飛機在雲中即不會被發現, 而順利突破防空網。只可惜天不從人願, 飛機撞上了紐芬蘭東部山頭失事, 加上搜救機於起飛中又失事, 共造成 23 人殉職。

b. 天氣概況

由前述可知, 艾士瓦是想利用伴隨中緯度氣旋與冷鋒之雲系做掩護以低空穿過北美防空網, 達成其突襲目的。對一位擔任過氣象工作的人而言如此做確有獨到之處, 但由於他的工作在戰時, 且在亞洲戰場上, 因而不但對任務的企圖心可能遠大於對安全的顧慮, 而且對紐芬蘭地形亦可能不夠清楚, 尤有進者, 美國東北部沿海強氣旋多以紐芬蘭南方近海洋面為匯 (sink), 其天氣圖 (略) 結構類似阿留申低壓。當氣旋發展到最強時, 中心約在紐芬蘭東面, 高壓中心則在大湖區南側, 相對應之噴流條 (jet streak), 約位於大湖區以東至紐芬蘭以南, 此顯示艾士瓦的飛機由亞速爾飛回紐芬蘭途中, 是飛向低溫低壓空域, 而在高度下降中則為頂風減小並漸漸進入側風。由測高公式 (hyposometric equation)

$$h = \frac{R}{g} \ln(P_1/P_2) \dots \dots \dots (2)$$

知當飛機依據氣壓高度表之指示高度飛行時, 實際上就是在 P_2 等壓面上飛行, 而其高度 h (R, g 均為慣用常數) 隨 P_1 至 P_2 層平均虛溫 \bar{T}^* , 以及 $\ln(P_1/P_2)$ 而變。以艾士瓦的飛機而言是飛向冷而且 P_1 比較低的地方, 是以飛機的真高度 (true altitude) 低於指示高度 (TA < IA), 這應是造成撞山事件的第一個原因。另外, 飛機下降中, 一方面由頂風進入側風, 及頂風減小, 導致飛機升力減小, 另一方面則可能造成航向偏差, 再加上入雲後視線不良等共三項均對飛安不利的因素, 終使英雄壯志未酬, 實在令人歎噓。

4. 尾渦造成飛機翻覆

a. 事件過程概述

廣體客機問世後多了不少對飛行安全有影響的新課題，其中拉大起降班機間距以避免後機受到前機尾渦影響，就是很重要的一項。然而航空界的努力並未能防範到 1972 年 5 月 30 日兩機相遇其中一架翻覆的命運。當時一架 DC-10 與一架 DC-9 先後由德州達拉斯 (Dallas) 飛到附近機場進行儀器系統 (ILS) 起降訓練。該機場有 13/31 與 17/35 兩條在 13 號跑道頭東南於 800 公尺處交插的跑道。在訓練過程中兩機均在塔台管制之下，亦完全依據極高頻全向導航台 (VHF omni-directional radio range, VOR) 程序進行環場起降。然而就在第二次 ILS 進場中，使用 13 號跑道的 DC-9 機長臨時決定衝場而不著地，並於推油門重飛中要求繞場轉 35 跑道落地，後改請准使用 17 號跑道，最後到仍舊轉回 13 號跑道，以免與另一架使用 13 號跑道的飛機 DC-10 在兩條跑道交會處相撞。上述要求均獲得塔台管制員的允許，而在最後一次對話中，管制員還特別加了一句：「請注意機尾亂流。」然而就在 DC-10 落地後一分多鐘，DC-9 平穩進場到約距地面 50 呎高度時，機翼突然先右後左擺動，並於第二次右擺中翻覆，以機腹向上方式摔落在跑道頭約 380 公尺處，隨即爆炸，造成檢定機長 (check captain)，聯邦航空總署 (FAA) 操控考核官，以及兩名接受檢訓的機師等四人殉職。調查顯示，失事的 DC-9 是因進入 DC-10 尾渦 (Wake vortex) 而失衡，而駕駛員直覺所做的逆向操作使失衡加大，終至於第二次右偏中翻覆。

b. 天氣概況

機後會有尾渦在雙翼機 (biplane) 時代就已發現。當時能否在完成 360 度急轉彎後遇上本機的側滑氣流 (slipstream) 是檢定駕駛員飛行技術的重要依據。

尾渦是有限翼展必然的產物 (Anderson, 2000)。如果要飛機升空，機翼下面的壓力要大於上方的壓力，致機翼兩端產生向外與向上的壓力梯度，隨產生面向飛機去向，向上向內的渦旋 (見圖 5)。根據美空軍飛行人員氣象手冊 (Weather for aircrews) 所示，渦旋之內側相距 $\frac{3}{4}$ 翼展，直徑 25 至 50 呎，在靜風中會以每分鐘 400~500 呎速度下沉 (稱為下洗流，downwash)，並以 5kts 速率向兩邊散開，受到側風時則以風垂直於尾渦之分量向下游擴散。對落地飛機而言，尾渦自著陸區起向後向上擴散。直昇機主旋翼兩側亦會形成尾渦。

為進一步瞭解尾渦造成災害之過程 FAA 曾進行測 20 次餘次飛測 (以兩架大小、重量、外型類似之廣體機，DC-10 與 L1011，加裝側風裝置後，先後低空飛越置有生煙器之鐵架空)，結果發現兩者引起之尾渦很類似，其直徑約 10 呎，平均最大切線速度為每秒 50 公尺 (極端值為每秒 67 公尺)。在靜風下尾渦可維持到飛機飛過後的兩分廿秒。實驗亦顯示，穩定大氣與靜風以及平坦地形均有利於尾渦生成與維持，而其強度則與飛機的重量成正比。

前述 DC-9 於 1972 年 5 月 30 日上午 7 時左右失事時，地勢平坦開闊的德州大西南國際機場 (Greater Southwest International Airport) 為晴天且近似靜風，屬大平原上晨間穩定型天氣，符合生存時間較長的尾

渦在先落地的 DC-10 後方低空中發生，致該 DC-9 雖落後約兩哩，仍難免被吹翻。自該次事件後 FAA 將兩機機型與相對翼展負載 (relative wingspan loadings) 列為規定起降飛機應保持之間距的條件之一，並規定當天氣條件 (穩定晴朗且無風) 有利於發生尾渦時，兩機起降間隔要保持在 3 分鐘以上。

5. 颱風中落地失事

a. 事件經過概況

受地形影響，香港啓德機場是國際上起降難度頗高的機場之一。遷建至赤臘角後情況有所改善，但仍難免發生班機觸地翻覆造成 1 人死亡的空難事件。事情發生於民國 88 年 8 月 22 日傍晚 6 時 45 分，一架總共載著 314 位乘員的 MD-11 型客機在跑道上翻覆失事。根據副駕駛的報告書 (88 年 8 月 23 日中國時報) 指稱，該機下滑至 150 呎高度時，IAS 只有 160kts，偏低，他曾提醒正駕駛，但未獲回應，此時飛機低於地面管制進場 (Ground Controlled Approach, GCA) 高度。隨後飛機偏斜至 15° ，副駕駛呼叫重飛，正駕駛亦未及處理，飛機重落地後翻覆，幸好只造成一人往生。一架巨無霸載著 304 人的飛機竟能翻轉 180° 而且未釀成巨災，都稱得上是航空奇蹟。與本事件相較，在尾渦造成翻覆之 DC-9 機上的 4 位機員實在就太不幸了。

b. 天氣概況

圖 6 是上述事件發生時民航氣象中心所分析之紅外線衛星雲圖。當時區內最重要的天氣系統是輕度颱風山姆 (Sam)，其中心正由九龍東部登陸。該颱風中心最低氣壓 980 百帕，最大風速 55kts，最大陣風則為 70kts，以 6kts 速率向 310 度方向行進。由赤臘角機場氣象報告可見，傍晚當地時間 0600、0630 及 0700 時的風都是 330 度 38kts，陣風 58kts，雲幕高均為 800 呎 (另有 200 呎高的疏雲，內含積雨雲)，有陣雨與雷陣雨。根據飛機由 25 號 (赤臘角機場跑道為 070-250 度走向) 跑道進場，風向為 330 度，可知風與飛機之夾角達 80 度，與正側風僅差 10 度，亦即側風為 $(38 \times 0.985) 37.4\text{kts}$ ，陣風側風 $(58 \times 0.985) 57.1\text{kts}$ ，不但遠大於 MD-11 側風限值 24kts，且與副駕駛在 800 呎高度測得之風向量 300 度 34kts 以及正側風 22.7kts 相差頗大。另外，如果在 800 呎高空中，飛機已對準跑道，則 34kts 之正側風 $(34 \cos 40^\circ)$ 為 26kts，亦已超過 24kts 規定。此顯示，要不是當時機頭尚偏離跑道中線 1.5° ，就是副駕駛計算數據有誤。前面的誤差使得正駕駛必須在下降中做角度修正，因而機身就不會保持左右水平，或許是著陸時歪 15 度的原因，後者則使得原本超過降落標準的側風被誤認為在標準以內，致未適時放棄落地。尤有進者，上述度數的誤差，約使飛機頂風風速減小 1kts (以當時 IAS 計，約減小 1.2% 浮力)，對原本就速度不足之飛機而言，無異更易發生重落地，並在強側風且有垂直風切下，單輪重落地後反彈，翻覆事件就形成了。此事件後，香港民航當局順應民眾意向將不主動關場作法修改為依天氣條件適時關閉機場，實在是對人命保障的一大步。

三、結語

民國 57 年 727 失事曾轟動一時。巴特斯基以 “The Taipei drama” 為題詳加分析評論，結果是 CAT 結束，華航接手。氣象飛行雙棲的艾士瓦以身損國，留下了一座以他為名的機場，而尾渦與颱風造成翻機事件後在航管上拉長了進出場飛機的間距，香港機場亦增列了颱風關場條件。凡此都是悲劇後的作為，但就人的價值觀來說，如何能防範於未然，才是我們必須追到的目標。准此，後續工作中除調查蒐集更多相關個案外，並將透過 MM5 模擬當時的氣象狀況，以期掌握更多資訊，對飛安多更多貢獻。

本文為國科會 NSC90-2625-Z-034-003 計畫成果的一部份。

參考文獻

Anderson, J. D., 2000: Introduction to flight. The McGraw-Hill Companies, 766.
 Bartelski, J., 2001: Disasters in the air. Airline Publishing

Ltd., 295.
 Defant, F., 1951: Local winds in compendium of Meteorology, ed. T. F. Malone, AMS, USA.
 King, J. C., and J. Turner, 1997: Anantarctic Meteorology. Cambridge University Press. UK.
 Liu, K. Y., Z. Wang and L. F. Hsiao, 2002: A Modeling of the Sea Breeze and its Impacts on Ozone Distribution in northern Taiwan. *Environmental Modeling and Software*, 17, 21-27.
 Thompson, A. H., 1967: Surface temperature inversions in a canyon. *J. Appl. Met.*, 6, 287-296.
 Thompson, B. W., 1984: Small-scale katabatic and cold hallows. *Weather*, 41.
 Tyson, P. D., 1968: Nocturnal local winds in a Drakensberg valley. *S. African Geogr. Jl.*, 50, 15-32.
 Walters, J. M. and R. L. Sumwalt, 2000: Aircraft accident analysis. McGraw-Hill, USA.

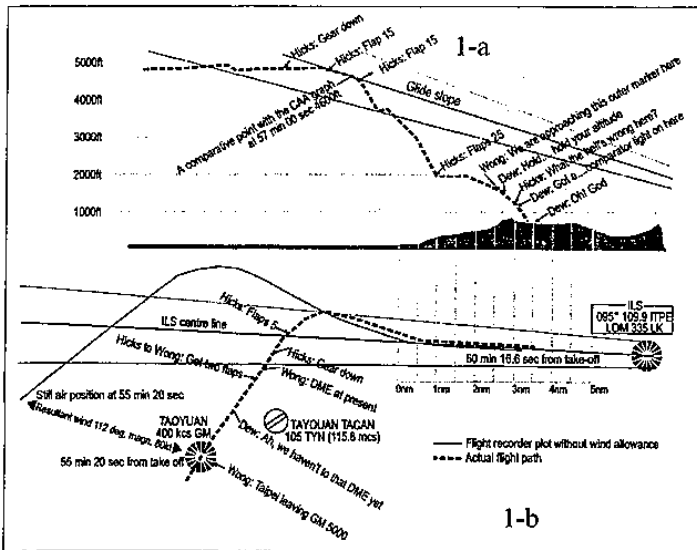


圖 1 計風與不計風向量下的航跡示意圖。

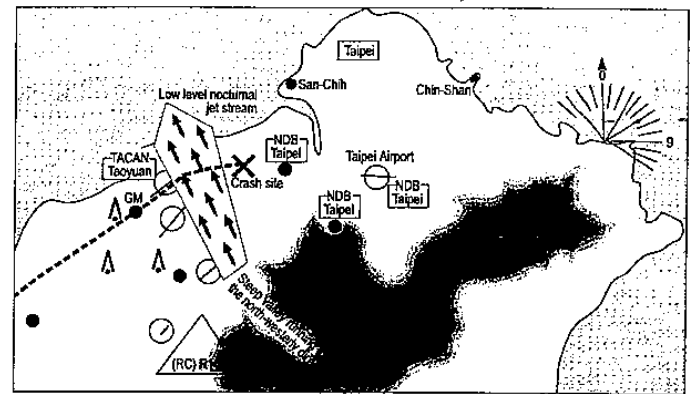
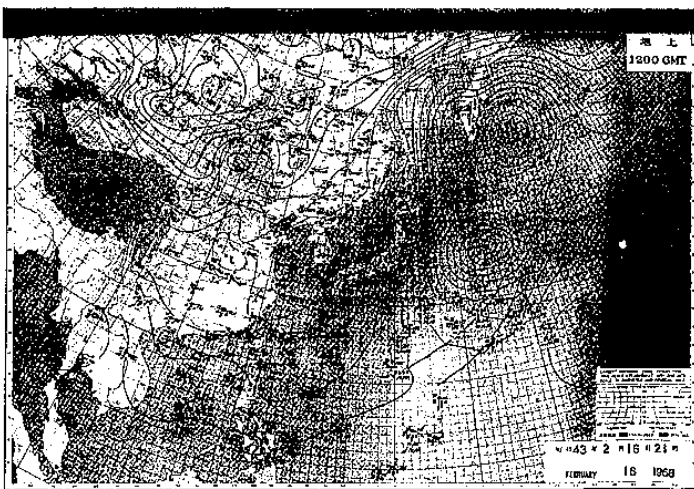
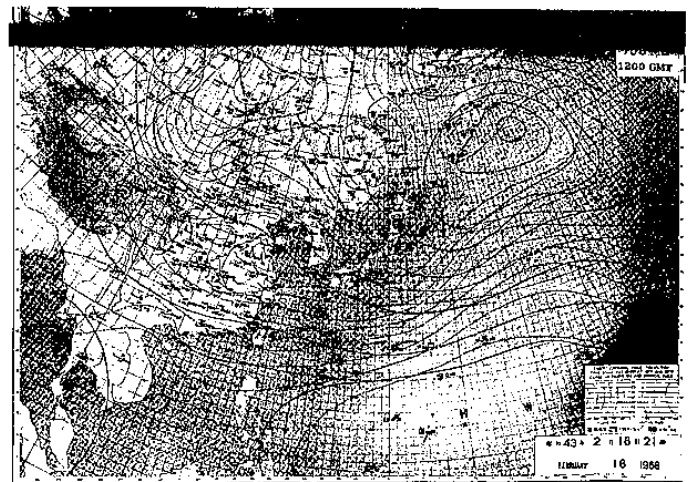


圖 2 台北國際機場附近低層噴流示意圖 (Bartelski, 2001)。



(a)



(b)

圖 3 民國 57 年 2 月 16 日 1200UTC 之地面(a)與 700hPa(b)之天氣圖 (日本氣象廳)。

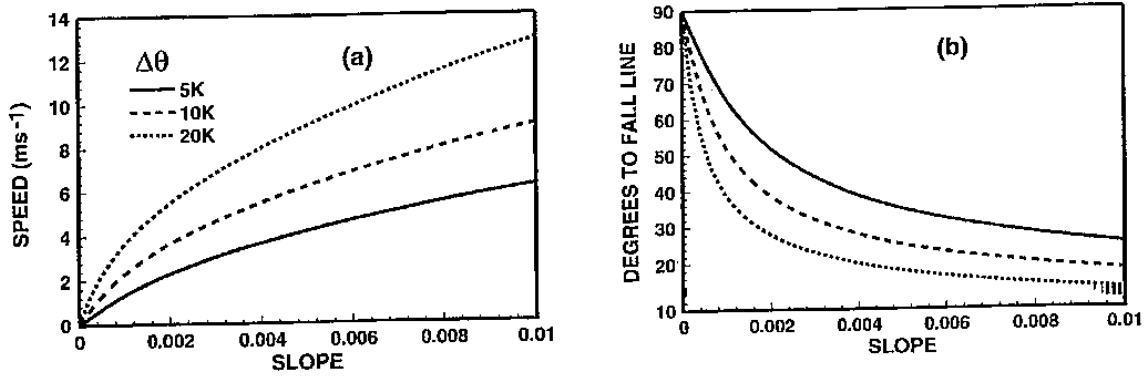


圖 4 Ball 兩層模式所計算 (由(1)式) (a)風速與坡度和(b)下滑偏角與斜度關係圖。下圖為兩層下滑風模式的示意圖。

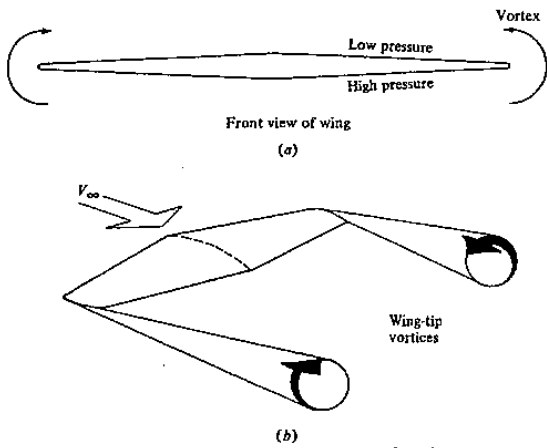


圖 5 機翼與尾渦間之示意圖。
(Anderson, 2000)

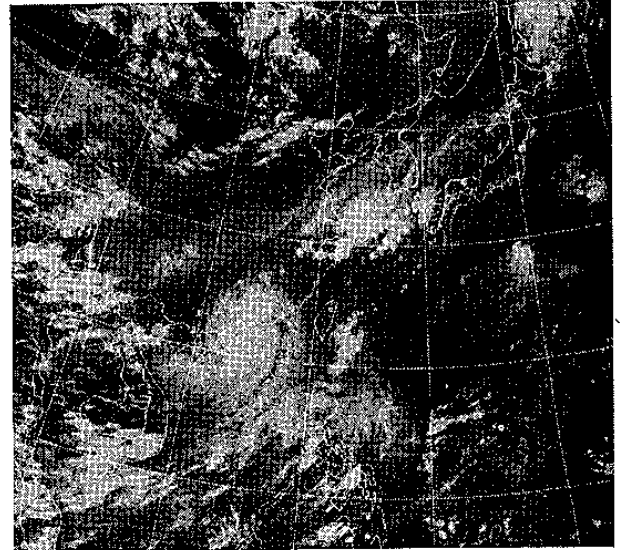


圖 6 民國 88 年 8 月 22 日 17 時紅外線衛星雲圖。

作者索引

作者	頁碼	作者	頁碼	作者	頁碼
Chang, Wei-Yu	158	林立人	181	陳孟詩	130
Chien, Fang-Ching	47	林沛練	37, 53	陳昭銘	101
Chou, Kun-Hsuan	169	林孟喬	181	陳泰然	25
Chung, Kao-Shen	158	林欣弘	37	陳舒雅	153
Hong, Jing-Shan	47	林美聆	1	陳雲蘭	103
Huang, Treng-Shi	169	林鼎翔	181	陳嘉榮	31
Jou, Ben Jong-Dao	47, 91	林慧娟	53	麥如俊	137
Lai, Xiao-Wei	91	林鴻州	1	曾仁佑	69
Lin, Hui-Chuan	47	金傳春	181	游文輝	1
Lin, Pay-Liam	47	柯文雄	142	童裕翔	69
Sui, Chung-Hsiung	42	柳再明	67	隋中興	42
Teng, Jen-Hsin	47	洪景山	53	黃成甲	7
Wang Chen, Tai-Chi	158	胡志文	59	黃清勇	153
Wang, Shih-Chieh	47	徐月娟	19	楊明仁	47, 53, 161
Wu, Chun-Chieh	169	高全良	181	葉天降	88
Yang, Ming-Jen	47	喬文義	142	葉姍霏	19
于宜強	142	張忍成	125	葉斯元	1
王重傑	25	張秀敏	181	賈新興	63
王煥文	125	張淑美	181	廖美英	181
王慧婷	181	張靜貞	13	蒲金標	187
丘台光	31	張龍耀	147	趙黛瑜	181
田秋香	181	莊士賢	19	劉清煌	77
申 雍	175	莊漢明	119	劉廣英	187
任俊儒	59	許武榮	142	鄧仁星	53, 82
江家慧	161	許晃雄	142	鄧慰先	7
吳民惠	181	許銘熙	7	盧孟明	130, 137, 181
吳石吉	88	連日清	181	盧孟明	103
吳明進	113	連宛渝	7	蕭志惠	119
吳俊傑	169	郭家菱	181	蕭育琪	53
呂國臣	95	陳仁曾	101	蕭長庚	181
李天浩	161	陳天健	1	蕭玲鳳	187
李正利	1	陳台琦	158	謝信良	88
李汴軍	19	陳永興	181	謝麗貞	181
李金萬	187	陳圭宏	109	簡芳菁	53
李清勝	147	陳沛宏	19	魏水木	1
周仲島	53, 91	陳來發	95	羅國誠	77