

美國及香港機場雷雨警報作業現況

黃怡婷¹

一、前言

臺灣地區春末梅雨與夏秋季節 午後經常發生雷雨天氣。雷雨天氣不僅會對飛行安全產生影響，亦會使機場的地面工作人員受到雷擊的威脅。針對雷雨天氣的機場作業，本文分別探討美國及香港機場的作業方式，做為我國機場工作借鑑參考之用。

二、美國現況

美國運輸研究單位所作的機場雷電警報系統應用研究報告(ACPR, 2008)，調查美國 8 個機場及 4 個航空公司(這些被調查的機場與航空公司，以下皆稱為被訪查公司)因應雷雨天氣之閃電偵測設備、天氣資料支援系統、風險分級及通報程序等數個面向之現況。美國機場的雷擊警報系統係由機場管理單位或航空公司所建置，綜整這份調查結果摘要如下：

(一) 閃電偵測設備：機場和航空公司所建置的閃電偵測及告警系統多數由 Vaisala 公司開發，包含 1 至 2 個電場儀 (Electric Field Mill ; EFM) 以及引進美國國家閃電偵測網 (National Lightning Detection Network ; NLDN) 閃電即時資料。

(二) 天氣資料支援系統：

¹ 飛航服務總臺 飛航業務室

除了從 NLDN 獲得即時閃電資料外，各個機場亦可以使用其他來源的氣象資料，來判斷是否停止或重啟機坪作業。所謂「其他來源的氣象資料」，包含了：機場自行建置的氣象雷達、部分機場利用與外部簽約機構(包括航空公司、地勤、倉儲業者等)取得雷雨之天氣測預報資訊、不斷播送的電視新聞與氣象頻道、AM 和 FM 無線電廣播，以及定時的以電話聯繫航空公司的駐地操作人員等。

除此之外，航空公司也可以根據上述資料決定其航班派遣；而機場的運轉中心可以根據對於即將發生的天氣資訊，針對特定航班的飛行調度做調整。

(三) 風險分級原則：

1. 判定雷雨對機場作業威脅和風險的程度，主要參考以下兩個因素：

(1) 典型雷雨動態的方向與持續的時間；

(2) 機坪操作人員所屬的工會，對作業安全認定標準的意見。

2. 重新開始機坪作業的判斷要素：

所有被訪查的機場和航空公司皆是採取「積極地監測雷電發生可能性」的方式，並藉此判斷是否需停止機坪活動或重啟運轉。但要注意的是，威脅和風險的標準是具有變化性的。當 EFMS 達到其警報的門檻時，機場和航空公司界定威脅和風險的標準著重於機場範圍內之雷擊發生的距離和持續時間。

3. 主觀性與差異性：

重啟機坪的作業標準通常包含經過一段時間，在特定距離內沒有閃電情況發生。在受訪查的使用者中，其對於重啟機坪作業的判斷各有不同，此現象也突顯了使用者的主觀性。

附帶一提，常見的「30/30法則」，(即每當過去的30分鐘內、在6英里(mi)內發現雷擊，戶外活動應被限制或縮減)，但此法則在實際的機場作業上並未被採用。

(四) 通報程序：

1. 機場部分：

對於那些遠離航廈設施、在露天場地操作的員工們，(例如維持機場地面工作，或操作沉重且吵雜機械的員工)，機場管理單位主要使用以無線電通信聯繫這些員工。

大部分機場也共享其雷電偵測系統的輸出信息，以提供訊息給有使用機坪作業的航空公司和其他機場承租人，其他機場承租人系指航空公司以外的機坪使用者，如航勤公司的燃料員(fuelers)、機上餐飲準備人員，和飛機清洗機組員等。有些機場使用聲響及視覺(燈光)的警告；另一些機場依靠「全呼叫」(all-call)或直接電話聯繫；亦有一些機場根據與航空公司的租賃協議，在航空公司操作區域，安裝了遠端報警裝置。其中有一個特殊的例外，即歐海爾國際機場(O'Hare International Airport)。該機場基於責任歸屬的考量，不提供雷雨警告給任何航空公司或機場承租人。

2. 航空公司部分：

航空公司接到訊息後，由其員工們發出各種警報。例如在出入口、登機門和工作區域設置的燈標指引；以及在機坪或候機室，以電子訊息、電話、和呼叫器通知。

3. 程序的仿效與其他因素

不同的航空公司在決定停止或重啟機坪作業時，其各自的判斷多少都存在著差異性。所有被訪查的機場，都是把主要航空公司的做法當成典型，讓機場中其他的航空公司仿效其作法，尤其是當該主要航空公司投入資源以幫助其決策時。（例如該機場的雷擊警報系統係由主要航空公司所建置）。

此外，機場航空站區可以包含大面積的土地，而航空公司通常聚集在其中某些區域。這樣的情況也有助於觀察航空公司間營運決策的差異。航空公司的營運模式（即「快速交替」或較傳統的「停等時間（layover times）」）、目視停靠導引系統(Visual Docking Guidance System)對於飛機的實用性、以及工會協議，這些都是影響決定「停止/重啟機坪活動」的其他因素。

（五）缺點和效用

有一些被訪查的機場和航空公司，為了充分利用新技術，已經升級其所使用的系統；同時他們也修改風險分級原則(threat and risk levels)，以檢討過去長時間以來所發生的雷暴事件。這樣的行為有助於他們在新的雷暴事件中，做出更合適的判斷。

在雷暴事件的持續期間，機場或航空公司所使用的技術，必須在

機坪工作上能滿足保護生命財產的需要。無論是機場或航空公司（或兩者皆是），其在雷電偵測和警報設備上的投資，通常一貫地實用於機坪管理活動。雖然，在機場的機坪所收集到因雷擊而受傷的資料，並未真正的應用在實際工作上，但那些被訪查的機場和航空公司，已注意到新技術和風險分級原則的修改使機坪的傷害事件減少。

（六）標準化

關於將雷電偵測警報系統的技術和執行標準化的重要性，對於此問題意見紛紜。

大多數被訪查的機場和航空公司表示，由單一系統提供服務給所有的使用者的方式應為可行的，並且此方法可經由租賃協議獲得所需費用。然而，被訪查者也提到：停止/重啟機坪行動的決定並不能一體適用於所有單位。此外，勞工安全的責任問題將很可能影響產業標準化的任何決定。

世界上沒有兩個完全相同的機場，因此每一個機場在地理環境、天氣現象、機場設施的安排設計、航空公司的營運模式和操作程序、勞動工會的協議、法律責任問題、以及成本分配額的過程等情況都各不相同，所以無法用一個「一體適用」於所有機場的模式。這也是機場無法標準化的主要原因之一。

（七）美國達拉斯機場案例：

美國達拉斯機場管理單位並未建置閃電相關系統，美國航空公司（American Airlines；AA）自行建置含有 2 個 EFM 及引進 NLDN 即時

閃電資料的 Vaisala 公司 TWX300 系統，除利用前述系統告警資訊外，並參考其總部的氣象部門所提供的天氣資料。

在風險分級原則方面，由於機場管理單位未對雷雨狀態分級，當閃電在機場 8 公里(5 哩)內，美國航空公司停止機坪上之耳機使用，改用手勢作業；當閃電在 5 公里(3 哩)內，停止所有機坪作業；若機場 5 公里內範圍連續 10 分鐘無閃電發生，則恢復機坪正常作業。

(八) 美國待改進的現況

根據 Lightning-Warning Systems for Use by Airports 的調查顯示，不論是職業安全健康局 (OHSA)、美國勞動統計局的勞工部門、美國國家氣象局 (NWS)、美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA)、美國國家運輸安全委員會 (NTSB)、以及美國聯邦航空總署 (FAA) 等單位，皆未建立一個通用資料庫以紀錄與雷擊相關的機坪事件或意外。

而個別的業界成員，可能會記錄雷電事件和損失，包括停工時間等等，但僅止是各自紀錄；目前是無法將全業界的資料通用於標準化或其他用途，此即是待改進的現況。

三、香港現況

(一) 機場雷暴和閃電預警系統

香港天文台於 2008 年在香港機場業務運行「機場雷暴和閃電預警系統」(Airport Thunderstorm and Lightning Alerting System, ATLAS; 李與趙, 2007; Li and Lau, 2008)，當該系統偵測或預測有雲

地閃電 (cloud-to-ground lightning ; CG) 在機場範圍內發生時，將會自動發出紅色或黃色閃電預警。

1. ATLAS 系統簡介

ATLAS 是世界上第一批同時具備閃電監測和閃電預報能力的機場自動閃電預警系統。

該系統的運作原理為，由 ATLAS 收集雷達和閃電資料，並利用雷達回波來追蹤雷暴的移動路徑，而後透過外推法計算閃電的未來位置以預測閃電會否出現在機場範圍內。如果探測到或預測機場及附近有閃電活動，天文台會發送預警訊號通知香港機場管理局；再由機場管理局透過各種方式向機場營運機構發出警告。

2. ATLAS 系統及其限制

ATLAS 由「探測模組」和「預測模組」兩部分組成，茲說明如下

(1) 探測模組：從香港天文台的「閃電定位信息系統」(Lightning Location Information System ; LLIS) 中提取閃電數據，包含每次閃電的經緯度及分類 (雲地或雲間)，當雷達探測到機場 15 公里範圍內有強的雷達回波 (33dBZ)，同時 LLIS 檢測到機場島 1 公里或機場 5 公里範圍內有 CG，ATLAS 便會自動發出紅色或黃色預警(如圖 1)。

(2) 預測模組：對機場 15 公里範圍內最近 5 分鐘出現的所有 CG 做出叢集分析，然後將個別叢集以不同橢圓形代表。另一方面利用香港天文台的「小渦旋」(SWIRLS) 臨近預報系統中的回波追蹤技術，從雷達回

波中得出對流系統的移動向量，ATLAS 視該向量場為閃電叢集的移動方向和速度，把代表閃電叢集的橢圓組合外推 12 分鐘，如果任一橢圓的外推路徑會在下一分鐘進入機場島 1 公里或機場 5 公里範圍，ATLAS 便會自動發出紅色或黃色預警。

(3) 系統限制：

A. 依 ATLAS 的設計原理，該系統僅能針對在雷達觀測範圍內且已發生的雷擊進行預測，無法對機場上空發展或落雷於雷達探測以外的雷雨系統發出閃電預警訊息。

B. ATLAS 是以 CG 數據做為預報基礎，然而，LLIS 還有大量雲間閃電（cloud-to-cloud lightning；CC）未經處理，CC 與 CG 的比例隨著雷暴發展的不同階段而有所變化，這一比例變化可反映強對流天氣的發展過程，若能在 ATLAS 預測模組內適當將 CC 與 CG 組合，可能有機會提升 ATLAS 預報閃電的能力。

(二) 機場警報 發布流程及警報等級範圍

1. 警報發布流程：探測或預測機場及附近有閃電活動，ATLAS 自動發送預警訊號並啟動香港機場管理局之雷擊警報系統，透過自動話音信息、多線傳真、響燈及燈號向機場營運機構發出警告。

2. 警報等級及範圍：

(1) 黃色警報：機場中心半徑五公里範圍內，觀測或預測有雷電發生，機場停機坪上所有非必要的活動將會暫停。

(2) 紅色警報：機場島向外延伸一公里範圍內，觀測或預測有雷電發生，機場停機坪上所有工作人員必須立即採取防護措施，而乘客也要留在安全的區域內。

(三) 2013 年新措施

2013 年雨季開始，ATLAS 提供更精細化的分區預警(李等，2013)。在原有的機場島一公里範圍(Zone-B，圖 1 紅邊線)之內，還加入包括客運大樓和空運中心兩個機場重要區域一公里範圍(Zone-A，圖 2 藍邊線)的預警。Zone-A 與 Zone-B 黃色閃電預警的發出條件相同。而紅色預警方面，如果 ATLAS 只在 Zone-B 範圍檢測到 CG，同時預測 CG 並不會在 Zone-A 範圍內出現，則 Zone-B 會發出紅色閃電預警，而 Zone-A 只會發出黃色閃電預警。如果 Zone-A 也會受到 CG 影響，則 Zone-A 及 Zone-B 會同時發出紅色閃電預警。這些警報範圍設計不但保障了機場工作人員安全，亦可進一步減少惡劣天氣對機場主要區域運作的干擾。

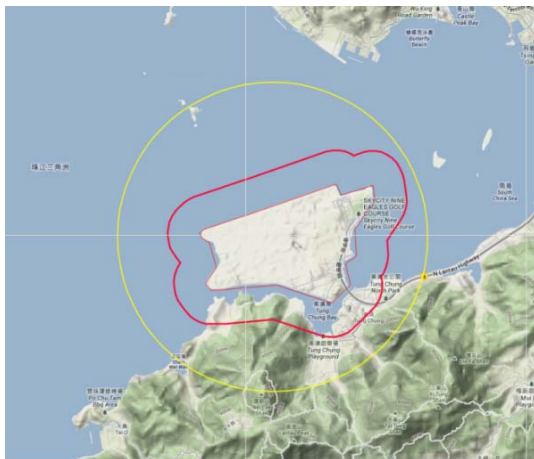


圖 1：紅線為 Zone-B 範圍



圖 2：藍線為 Zone-A 範圍

四、結語

雷雨天氣不但會影響飛航安全，亦會對機場地面工作人員帶來雷擊的威脅。以現今的科技水準，並無法同時兼顧「機坪人員安全」與「機場運作效率」，故只能在兩者間謀求較佳的平衡。目前我國航空氣象作業目的為維護飛航安全，有關機場機坪安全與勞工安全的部分，則是本文探討的重點。不論是美國或香港的機場或航空公司，都針對雷雨天氣造成機坪作業人員安全的威脅，建置雷電偵測預警系統，以提高人員安全的保障，我國亦可從中學習並提升機坪作業人員之安全。

五、參考資料

- (一) 李炳華、趙孔儒，2007：香港國際機場閃電鄰近預報系統的發展，第二十一屆粵港澳氣象科技研討會，中國，香港，2007年1月24-26日
- (二) Li, P.W. and D.S. Lau, 2008：Development of a Lightning Nowcasting System for Hong Kong International Airport. 13th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, New Orleans, Louisiana, USA, 20-24 January, 2008.
- (三) 李炳華、張冰、謝淑媚及周志堅，2013：香港國際機場應對強對流天氣影響空域及機場運作的最新發展，第二十一屆民航氣象技術交流會，中國，成都，2013年10月22-25日
- (四) Airport Cooperative Research Program (ACPR), 2008, Lightning-Warning Systems for Use by Airports, ACRP Report 8, Transportation Research Board, National Academies, 81 pp.