

識別航空氣象危害因子之技術介紹

鄭文通¹ 羅羽君¹

飛航安全之危害識別中，天氣因素是一個無法避免以及需要重視的因子。對於普通航空(GA)事故而言，美國聯邦航空總署(FAA)曾提「在出現雲霧與能見度(C&V)危害的環境下，如何加強普通航空活動安全？」，這一問題 FAA 提出一個解決方法是開發雲霧與能見度分析(CVA)產品，以協助及改善飛行員、簽派員、簡報員在飛行前與飛行中的情境察覺。出乎意料的是，相較於其他天氣相關因素造成的事故，在 Herzegh et al.(2015)指出，低雲霧與低能見度造成的飛安死亡人數更高，並且在能見度下降至飛行員已無法以肉眼辨識之距離，飛安情況會迅速惡化，特別是只熟悉目視飛航(visual flight)的飛行員會發生這樣的狀況；擁有儀器飛航資格卻因疏於練習或其他因素導致反應能力生疏的飛行員亦是如此。一般情況下，這兩類的飛行員多半均未預想會在低能見度的條件下飛航，大多情況下是在預定飛航路徑上意外碰到這類天氣情境，最佳的解決策略即是避開危害區域與重新評估飛航計畫。

在安全風險控制的概念上，主要有三種基本之安全風險策略為避開(Avoidance)、減低(Reduction)及隔離(Segregation)，Herzegh et al.(2015)研究論文中提到，整體而言，飛行員處理雲霧與能見度(C&V)危害最理想的策略即是「完全避開危害」。飛行員是否能成功避開危害之三大要點包括(1)掌握天氣做好飛航前預劃、(2)執行明確的繼續或終止決策，以及(3)適時更動飛航中路線等。機場例行

¹民航局飛航管制組

天氣報告(METAR)、低空危害天氣(AIRMET)、機場預報(TAF)、區域預報與天氣說明圖(Weather Depiction Chart)等五項為預測當時或未來雲幕與能見度(C&V)情況的資料來源，飛行員通常在制定飛航計畫中透過 FAA 飛航服務站(Flight Service Stations)的簡報或其他來源間接使用到上述資訊。

FAA 為改善普通航空安全而發展出一項 CVA 產品，其具備妥善運用氣象觀測資料以呈現當下天氣情況、及時更新天氣資料，清楚呈現雲幕與能見度危害區域的地理資訊等特色。此外，美國國家大氣研究中心(NACR)也開發出另一套 CVA 產品，在通過一系列表現及風險評分測試後，於 2012 年 7 月開放大眾使用。該 CVA 產品可製作出即時雲幕與能見度情況的圖像，提供實施目視飛航(VFR)或儀器飛航(IFR)條件的準則。

辨識出不同飛航條件對於普通航空的飛行員甚為重要，FAA 規定在 VFR 條件下，飛行員可以在參照地面的目視參考物情況下飛航，以及依據目視可見物閃避障礙與其他航空器。而在 IFR 條件下，飛行員難以依據目視參考飛行，因此必須仰賴儀器飛行。

Herzogh et al. (2015)研究提到，FAA 發展的 CVA 產品源自美國本土(CONUS)、美加及美墨邊界約 1650 處地面觀測站的 METAR。由於直升機緊急醫療服務(HEMS)須在很短的時間下達出勤決策，因此迫切需求各地天氣最新資訊，以便在接收到緊急求救電話時能立刻評估天氣狀況。為了滿足前述時間緊迫性與其他飛航的需求，CVA 的氣象觀測資料每五分鐘更新一次，以確保 CVA 不僅能反映出因顯著之雲幕與能見度變化引起的機場特別天氣(SPECI)報告，以及每小時固定送出之 METAR 報告。每次更新後，使用最鄰近內插法

(nearest-neighbor interpolation)將雲幕高度以及能見度值內插到 5 公里空間解析度的國家數位預報資料庫(5km-NDFD)網格點內。相對於線性、自然鄰近和克里金等數種空間內插法的測試結果，發現以最鄰近內插法的 CVA 分析結果，產生的誤差比其他方法小。

對於雲幕高及能見度的內插計算方法上，Herzogh et al. (2015) 研究提到，由於雲幕高計算是以地平面為基準，其內插計算過程須考量 METAR 測站高度以及各觀測站間的地勢高低變化。假設測得的雲高以海平面上的英尺表示(MSL)，且沒有水平方向上的差異，則最近 METAR 站以外的雲高內插值，即代表雲幕高(MSL)與地勢高的差值。內插後的雲高值為負值時，則一律視為地平面上 0 英尺。與雲幕高相較，能見度的內插較為簡單直觀，METAR 能見度數值即為在最鄰近範圍內的格點數值。若已知 METAR 站無雲幕高與能見度觀測，其對應網格點則會採用次一個最鄰近 METAR 站資料以計算內插。上述的內插計算使有限區域內之 METAR 氣象觀測資料可延伸應用到更廣大的範圍，也顧及了地形對雲密高的影響，這樣的推估亦協助提供 METAR 站以外可能的天氣狀況，然而這些數值的可信度會隨著與 METAR 站距離增加而下降。因此，在與 METAR 站距離增加的情況下，使用者須謹慎判斷 CVA 數值的可信程度。

不論是傳統氣象或是航空氣象而言，氣象觀測本身一個很大的限制均在於測站在空間分布上是有限，對於在海面上或是無測站點上，如何取得氣象觀測資料，一直是氣象觀測的議題。對於雲的偵測技術上，Herzogh et al. (2015)認為美國本土上許多地區並未有代表性的 METAR 氣象觀測數據，因此增強這些區域的觀測成為未來航空氣象的改善目標。CVA 也運用了地球同步環境應用衛星(GOES)雲偵測技術，其先透過 GOES-East 與 GOES-West 雲偵測辨別出多雲

區(雲幕可能出現在 AGL 12,000 呎以下)與無雲區(無雲幕)，再利用無雲幕作為推估 METAR 站間隔區的雲高內插之依據。

CVA 中的 GOES 雲偵測係採用美國航空暨太空總署(NASA)全球水文與氣候中心研發的處理技術，選取 3.9 與 11 微米的 GOES 衛星頻道取得之資料，執行一系列閾值與範圍內像素及像素間每個像素(pixel)的比較測試。為考量自然地表溫度以及地表放射特性的時空變化，測試的比較閾值係參考 20 天之疊合雲圖以自動更新背景數據，再執行每小時、每日及不同像素位置的優化。

GOES 的雲遮(Cloud mask)資料也可協助辨識 METAR 測站範圍外地區的無雲幕狀況，然而即時衛星雲圖產品可能無法偵測低雲、晝夜交替時段之雲，以及夜間的薄雲，因此在利用雲遮資料補足 METAR 資訊前，須先證實該資料是否具代表性。由於雲瞬息萬變，須先比較 GOES 雲遮資料與對應的 METAR 資料，才能證實雲遮資料在該區域內的代表性。

比較測試範圍是以各 METAR 測站半徑 10 公里內，隨著 CVA 每 5 分鐘更新一次，重複進行測試。測試程序是若某 METAR 報告顯示該區有雲幕，測試區對應的每個雲遮網格點也須顯示有雲。若結果符合，METAR 測站最鄰近區域中的雲像素則被指定依地形調整過的雲高數值，無雲像素會被指定為「無限」。若結果未符合，METAR 測站的最鄰近區域不會使用雲遮資料，每個像素則會顯示某雲幕高。以上是檢測 METAR 觀測與雲遮情況相符程度較為嚴謹的測試方式，然而測試失敗意味著可能是衛星雲偵測結果有誤或出現裂雲(Broken Cloud)。由於裂雲也會造成飛航雲幕，即使未滿足比較測試的條件，於最鄰近區域顯示雲幕高也不失為一種好的資訊。

綜合言之，本文回顧 Herzegh et al. (2015) 研究說明，瞭解美國聯邦航空總署在出現雲幕與能見度(C&V)危害的環境下，發展加強普通航空活動安全之作業產品，以提升航空天氣危害識別之技術及飛航安全。下一期刊物將再針對美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)驗證 CVA 效能方式進行介紹，期望透過對於相關產品的瞭解，能強化臺灣地區航空氣象之預報技術。

參考文獻

Data fusion enables better recognition of ceiling and visibility hazards in aviation
Paul Herzegh, Gerry Wiener, Richard Bateman, James Cowie, Jennifer Black
DOI:10.1175/BAMS-D-13-00111.1
©2015 American Meteorological Society