

利用剖風儀及地面觀測資料分析清泉崗機場低能見度個案

葉南慶¹ 吳昱德² 林峻羽³ 莊耀中⁴

¹ 空軍航空技術學院軍事氣象系

² 空軍氣象聯隊氣候科

³ 空軍第六基地天氣中心

⁴ 空軍航空技術學院通訊電子系

摘要

臺中清泉崗機場海拔高度203公尺，地理環境特殊，因為海面上或是機場附近存在低層雲時，藉由風吹移入機場，進而容易造成低雲幕及低能見度的發生，嚴重影響航機起降與戰演訓活動。

本研究分析探討清泉崗機場發生低能見度的好發月份、時段，以及發生低能見度時，清泉崗機場的剖風儀觀測資料、地面測站以及附近中央氣象局地面測站，各種氣象參數與低能見度之間的相關性，另外，利用再分析資料（reanalysis data, ERA-5）來補足剖風儀觀測資料的短缺。

將低能見度個案分三類別，其中預報人員不容易提前準確預報的第一類別，也就是能見度在三小時內由5,000公尺以上驟降至禁航標準（小於1,600公尺）。本研究針對第一類別的低能見度個案進行分析探討，嘗試找出能見度驟降的主要原因，藉以讓預報人員對於低能見度驟降的個案，能有一些參考的依據進行預報，以確保飛行安全。

關鍵詞：低能見度、剖風儀、再分析資料、禁航

1. 前言

能見度指的是大氣的透明程度，也就是物體在多少距離還能夠被清楚的辨識。造成能見度低的原因包含大氣擴散條件不佳，有大量的鹽晶（霾）或是懸浮微粒漂浮在空中；由強風和不穩定的空氣（垂直氣流）將塵土、細沙吹到廣泛的地區或舉升到空中，導致能見度下降，尤其在乾燥地區較容易發生

；強降水、霧以及低雲幕等情況亦容易產生低能見度。

霧為接近地面或海洋表面的大氣中，溫度達到（或接近）露點，空氣中的水氣就會凝結而生成霧，所以霧由小水滴或冰晶組成的水氣凝結物，是一種常見的自然現象。依據上述霧的形成機制，會有 2 種情況容易形成霧，其一為空氣中的水氣增加（即露點上升接近溫度）而形成霧，例如蒸氣霧、鋒面

霧，其二則為大氣溫度下降至接近露點而形成霧，例如平流霧、輻射霧。根據世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）定義，霧存在時，水平能見度會低於 1,000 公尺。在臺灣地區，當海上的能見度低於 500 公尺或是陸地的能見度低於 200 公尺，中央氣象局（Central Weather Bureau, CWB）會發布濃霧警報來提醒民眾注意安全。換句話說，霧會造成低能見度，而低能見度對於陸、海、空交通影響很大。

Cho et al. (2000) 統計在朝鮮半島附近發生海霧時的觀測資料，露點經常是超過 285 K，且溫度露點差超過 2 K，該文章提及與上述容易形成霧的機制之一類似（即露點升高）。Pagowski et al. (2004) 表示霧的變動性（variability）相當高以及在邊界層有複雜的物理過程，因此預報霧是否發生是相當困難的。Gultepe et al. (2007) 指出，霧的產生相當複雜，包含液滴的微物理學、氣溶膠化學、輻射、紊流以及不同尺度的動力學，並且不同地表條件也會影響。因此，霧形成的原理雖然簡單易懂，就是露點上升或是溫度下降，但是其中的物理過程卻是相當複雜，也增加霧的預報難度。Kim 和 Yum (2010) 觀察到，黃海（Yellow Sea）上海霧的形成，與表面上潮濕和溫暖的空氣移動相關。Kim and Yum (2011) 指出表面溫度的降低和邊界層中的水氣飽對於形成霧有所貢獻，因此在霧形成之前經常有湍流（turbulent）冷卻和輻射冷卻。

根據航空氣象觀測實務，「雲幕高」指的是最低雲層或視障現象（obscuring phenomena）之高度，且其所報之雲量為裂雲、密雲（即天空有 5/8 以上雲量覆蓋）。Stoelinga and Warner (1999) 曾藉由水象粒子分類與光消散係數之經驗與理論的相關性，推導出一演算法則。Bankert et al. (2004) 使用資料探勘方式，利用衛星與數值模式的

資料進行雲幕高的診斷分析。Bankert and Hadjimichael (2007) 應用類似遞迴區分（Recursive partitioning）之技術，將模式的量場進行長時間的歸類，用以預報雲幕高。Hansen (2007) 則使用過去以及現在的觀測資料，以模糊邏輯（fuzzy logic）理論為基礎的演算法來預測未來 1-24 小時的雲幕高及能見度。Rudack and Ghirardelli (2010) 利用三種不同的數值模式，包含 RUC20、WRF-NMM，以及 SREF 模式與 LAMP 輸出的雲幕高和能見度來比較。顯見雲幕高對於能見度的影響，進而對飛安造成威脅是非常明顯的。

本研究分析低能見度的方式之一是透過遙測資料（雷射式剖風儀），而最早利用遙測資料來偵測霧區是 1984 年，使用的資料為掛載於衛星上的紅外線頻道，Eyre et al. (1984) 利用 2 個紅外線頻道的亮度溫度的差異來判斷霧區位置。其主要原理為利用 2 個不同的紅外線窗區頻道對於霧有不同的熱發射率（thermal emissivity），進而偵測霧的存在，利用類似方法的後續研究包含 Wetzell et al. (1996)，Lee et al. (1997)，Anthis and Cracknell (1999)，Greenwald and Christopher (2000)，Bendix (2002)。

此方法主要是由同步衛星上 3.9 (3.7) μm 搭配 11.2 (11.0) μm 或是 3.5-4 μm 搭配 10.3-11.3 μm 觀測亮度溫度上的差異來偵測霧區。但缺點是此方法僅能於夜間使用，因為上述的短波頻道（3.5-4 μm ）容易受到太陽輻射影響（Bader et al., 1995）。

2. 研究目的

清泉崗機場（Ching Chuan Kang Airport, CCK）海拔高度如圖 1 所示，清泉崗基地位於大肚山上，沿大甲溪至臺灣海峽直線距離約 10 公里，海拔高度 203 公尺，由圖 1 可

看出機場周圍並無任何海拔高度較高之地形屏障物。也因為這樣地理環境，所以當機場周遭存在低雲時，若順著風場移入機場，則使機場出現低雲幕，進而造成能見度驟降。當低雲移入機場時，能見度可能在短時間內從 1,600 公尺以上（符合起降標準）降至禁航標準，進而影響航空器起降任務。

依據過去統計顯示，CCK 機場的低能見度與低層風場（風速微弱）、高空風場（北向風）、地面溫度露點差（空氣飽和）等有關聯。然而，CCK 機場能見度為 9,999 公尺以上時，地面觀測也經常有北向風、風速微弱的情形。因此，若單從地面觀測的風向風速來判斷 CCK 機場是否會有低雲幕造成低能見度容易造成誤判。而應該是在相同的風場條件下，機場周遭是否有低雲存在來決定 CCK 機場是否會有低雲進入形成低雲幕，進而造成能見度驟降的情形。

本研究針對 CCK 機場過去發生低能見度的個案分析探討，藉由 CCK 機場擁有雷射式剖風儀觀測，可觀測高空風場之優勢，以及過去完整的地面觀測資料，配合周遭的 CWB 所屬自動測站以及人工測站之雲量、能見度等觀測資料，嘗試找出 CCK 機場的「高空觀測資料」、「地面觀測資料」以及周遭 CWB 的「地面觀測資料」與 CCK 機場能見度的因果關係，進而使得預報人員可以藉由分析過去個案的經驗，作為未來 CCK 機場低能見度預警的參考依據。

3. 使用資料

本研究所使用的資料為 CCK 機場航空例行天氣報告（Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report, METAR）、雷射式剖風儀資料以及位於 CCK 機場附近的 CWB 人工測站-梧棲測站資料，以及當雷射式剖風儀的資料未能涵蓋研究所需時，再利

用再分析資料 ERA-5 補充不足。各項資料介紹如下：

CCK 機場 METAR 30 分鐘觀測一次，觀測參數包含各種大氣參數（i.e. 溫度、風場等），當天氣狀況突變時，在 METAR 固定觀測時間點之外，會不定時有機場特別天氣報告（SPECI）。雷射式剖風儀為一同調性都卜勒雷達系統，可以反演觀測區域之垂直剖面風場，其原理為利用計算剖風儀發射脈波的相位偏移量，進而反演出觀測路徑上之都卜勒風場（Yeh and Cummins 1964）。CWB 測站區分自動測站及人工測站，每小時一筆可提供各種氣象觀測資料，CCK 機場附近的 CWB 觀測站如圖 2 所示，綠色點為 CCK 機場，藍色點為 CWB 自動測站（大安、大甲、外埔、神岡及水湳站），紅色點為 CWB 人工測站（梧棲測站），但僅有人工測站有能見度觀測值，故本研究使用位於 CCK 西邊約 10 公里的梧棲觀測站。ERA-5 為全球大氣再分析資料，最佳時間解析度為 1 小時，最佳空間解析度為 30 公里。

4. 研究構想

根據過去統計，CCK 機場因能見度因素而達禁航標準，最頻繁時段為清晨 0500-0700 時，臺灣地區最低溫大都發生於此時段，可能原因為大氣環境之溫度降低，使得近地面氣塊容易達到飽和凝結而產生霧。由此推估可能因為水氣飽和凝結而造成輻射霧及平流輻射霧，因此次數最頻繁為空氣最冷的時段。

溫度露點之間的差值可視為空氣中的水氣距離飽和的差距，當溫度露點間的差值愈大，表示大氣愈乾燥，溫度露點差值愈小，大氣愈接近飽和，這亦是低能見度發生的指標之一。除此之外，CCK 機場常常有能見度驟降的情況，這也是預報人員最不易掌握

，所以本研究試圖找出可以在 CCK 機場能見度變化前就已經反映出能見度變化的 CWB 觀測站，即可提供 CCK 機場低能見度預警。

另外，也利用過去 CCK 機場的低能見度個案，區分出 3 種不同低能見度個案，其中，能見度驟降的個案，定義為能見度三小時內，能見度由目視飛行（5,000 公尺以上）降到禁航（小於 1,600 公尺），並利用雷射式剖風儀以及再分析資料，分析這些個案的高空氣象參數特性，並將此特性轉移給 CCK 機場預報人員參考，讓預報人員在對於 CCK 機場的能見度預報上有更多的參考資訊，完整的研究構想流程如圖 3 所示。

5. 結果分析及討論

5.1 統計分析發生之低能見度時段天氣現象及地面觀測資料統計值

圖 4 為 102 年至 108 年各個月份，CCK 機場能見度小於 1,600 公尺統計直方圖，縱坐標為累積次數，橫坐標為月份，藍色直方圖為能見度低於 1,600 公尺的累積次數，咖啡色直方圖則為能見度低於 1,600 公尺並伴隨雲幕小於 300 呎，由不同顏色的直方圖觀察，大部分的發生低能見度的同時，皆伴隨著低雲幕。

本研究統計出自 102 年至 108 年因為低能見度造成 CCK 機場關閉的日期，低能見度的原因大致區分為兩類，其一為梅雨時期因下豪大雨所造成低能見度，其二為冬季的輻射霧、平流霧以及兩者特性並存的平流輻射霧所導致。故本研究分別針對上述兩類進行探討，即梅雨時期的豪大雨及秋冬月份的霧進行統計分析，結果如下：

表 1 為 102-105 年以及 106-107 年的 5 月份，CCK 機場因能見度達到禁航標準的天數、降雨頻率以及總降雨量等參數平均的比

較表。從表 1 可知，102-105 年 5 月份的平均降雨日數為 17.25 天，相較於 106-107 年 5 月份的 10.5 天，多了約 7 天，而平均的總降雨量以 396.25 毫米，較 106-107 年 5 月份的 41.95 毫米，多了約 9.5 倍。所以 5 月份的平均因低能見度而關場的日數也相距甚大的 9 天和 0 天。

為了進一步量化因降雨而造成的低能見度出現天數與總降雨量的關係，圖 5 (a) - (b) 為 102 年至 108 年的 4 月份及 5 月份，CCK 機場因降雨造成低能見度日數（橫坐標）以及總降雨量（縱坐標）的散佈圖。由圖 5 來觀察當月的低能見度的日數與總降雨量呈現線性正比關係，且相關係數可達 0.9 以上，所以 CCK 機場在最頻繁出現低能見度的冬季（1-2 月）過後，到 4-5 月份主要影響 CCK 機場低能見度為降雨事件，而與「降雨次數」以及「降雨強度」息息相關的總降雨量，也就可以作為 4-5 月份低能見度個案的參考依據。

容易發生低能見度的月份（11 月-翌年 4 月），分析能見度佳之地表溫度露點差比例，以大於五度的 45.5 % 為最高，相反的，當能見度低於禁航標準時，有高達 74.7 % 的機率溫度露點差小於一度（如圖 6）。從風向來分析，因低能見度而關場次數前三名風向分別為 010、020 以及 360，故 CCK 機場因低能見度而關場的風向均以北北東風最為頻繁，且風速小於 4 海浬（knots）。

5.2 CCK 機場及 CWB 梧棲測站的能見度相關性

梧棲站位於 CCK 機場西南西方約 10.5 公里處，是 CCK 機場附近唯一的氣象局人工站，若是由臺灣海峽向東移動的平流霧，在經過 CCK 機場之前，應該會先經過梧棲站並造成的該測站的低能見度，才會到達 CCK 機場並造成低能見度。相反的，在因為

平流霧而發生低能見度的當下，能見度回升也可能梧棲站先行回升，CCK 機場隨後能見度回升。

本文舉 2 個個案，第 1 個案為 2019 年 1 月 8 日（圖 7），橫坐標為時間，圖 7 上的縱座標為溫度、露點差異值，單位為攝氏度 C，圖 7 下的縱坐標為能見度，單位為公里。藍色點（線）為梧棲測站，紅色點（線）為 CCK 機場。

分析圖 7 可以歸納出以下 2 點，第一、不論梧棲測站以及 CCK 機場測站，空氣的飽和程度與能見度明顯呈現正比的關係，當空氣愈接近飽和，能見度愈低，當空氣愈乾燥，能見度也就隨之上升。第二，梧棲測站的溫度露點差異值由 0800-0900 時開始變大，CCK 機場的溫度露點差異值則由 1200 時開始變大，兩測站的溫度露點差變化有存在時間上的落差。

雖然梧棲測站的能見度僅有 5 筆觀測資料，可以看出其趨勢，從早上 0800 時開始，能見度開始上升，至下午 1700 時，梧棲測站能見度超過 10 公里，而對照到 CCK 機場測站，約略晚 1-2 小時能見度開始回升，與梧棲測站一樣，CCK 機場自 1500-1700 時能見度也回升至超過 10 公里，其能見度回升的趨勢與梧棲測站一致。若以此個案分析，梧棲測站能見度回升的時間點略早於 CCK 機場。

第二個案則為 2019 年 1 月 20 日（圖 8），座標及顏色說明與圖 7 相同。由溫度露點差異值來看，梧棲測站與 CCK 機場在上午 0700 時之前皆低於 2°C ，隨著太陽日照，兩地的溫度露點差值明顯變大，顯示空氣愈趨不飽和。在下午 1700 時之後，CCK 機場觀測到的溫度露點差異值開始降低，但梧棲測站則持續屬於較不飽和的狀況。

圖 8 能見度趨勢觀察，0200-0900 時 CCK 機場的能見度都在 1 公里左右，屬於禁

航標準，而在 0800-0900 時梧棲測站的能見度有逐漸上升的趨勢，到 1100 時能見度則達到近 9 公里，而到 1400 時，能見度又開始下降，1700 時能見度繼續下降，簡單來說，梧棲觀測站的能見度從上午 0800 時開始至 1100 時，能見度上升趨勢，而下午 1400-1700 時則有能見度下降趨勢。對照 CCK 機場的能見度趨勢，凌晨的能見度為禁航，早上 1000 時能見度開始回升（梧棲測站為 0900 時開始回升），而 CCK 機場觀測的能見度 1200-1600 時都在 6 公里（含）以上，從 1600 時之後開始能見度下降（梧棲測站從 1400 時開始下降）。

由此個案來看，梧棲測站確實在 CCK 機場能見度上升前即有上升的趨勢（上午時段），而也在能見度下降之前就有下降的趨勢（下午時段），也就是說，似乎可以將梧棲測站當作 CCK 機場的前哨站，也就是說藉由梧棲測站的能見度變化趨勢，來預判 CCK 機場未來數小時的能見度變化趨勢。但因為梧棲測站的能見度觀測僅 5 筆資料，觀測的時間解析度不足，故無法準確的知道能見度的變化存在多久的領先時間（leading time）。

5.3 CCK 機場能見度驟降個案，高空風場特性

2018 年 1 月 20、21 日於 2000 時之後皆發生能見度低於 1,600 公尺的情況，其中 20 日 1700 時能見度為 6,000 公尺，而到 2000 時能見度就已經達到 1,200 公尺（禁航），當晚最低能見度下探至 400 公尺（維持約 1 小時）。21 日 1700 時的能見度一樣為 6,000 公尺，1800 時降至 3,200 公尺，1900 時再降至 1,600 公尺，2010 時就達到禁航標準，當晚最低能見度達 CWB 發布濃霧特報的標準（200 公尺，維持數小時）。

圖 9 (a) - (b) 分別為 2018 年 1 月 20

日及 21 日 1500-2000 時雷射式剖風儀的觀測資料，圖形下方橫坐標為時間，圖形上方橫坐標為能見度，縱座標為觀測高度。由圖分析 1 月 20 日，在能見度開始下降時（約 1800-1900 時），出現剖風儀觀測之垂直風場資料斷續呈現突然減低（又升高）的情況，至 1900 時左右剖風儀可觀測的高度僅維持在 150 公尺高度左右。

對照前述統計資料知能見度低於 1,600 公尺時，溫度露點差值小於 1 的機率高達 74.7 %（如圖 6b 所示）。也就是說，自 1700 時開始，底層水氣不斷增加，因此造成電磁波衰減，進而使雷射式剖風儀的觀測高度減低。圖 9 (b) 分析 1500 至 2000 時，低能見度發生前約 4 小時，垂直風場資料一樣呈現銳減的情況，僅維持在 150 公尺高度以下。由此 2 個案可知，當能見度開始降低時，底層水氣開始增加，致使電磁波衰減，進而影響雷射式剖風儀觀測高度。

低能見度事件的發生原因不同，可預警的時間，也就是預報人員的反應時間也不一樣，以 107 年 1 月份為例，表 2 的藍色圈圈內為 107 年 1 月 3 日，當天的 4 時 45 分 CCK 能見度降至禁航標準（800 公尺），而往前推 3 小時，CCK 機場能見度在凌晨 2 時就已經是 2,400 公尺，凌晨 3 時降至 1,600 公尺，凌晨 4 時也是 1,600 公尺，再過 45 分鐘才降至 800 公尺，而維持到早上 7 時之後，能見度即逐漸回升，到上午 10 時才達 2,800 公尺。另一個個案為同 1 月 31 日，能見度在 1 月 31 日的 17 時 7 分降至 1,200 公尺，但在約 1 個多小時前的 16 時的能見度為 9,999 公尺，也就是說，不到 2 小時的時間，能見度從 9,999 公尺降至 5,000 公尺，很快的又降至 1,200 公尺達到禁航的標準，而在能見度回升部分，從 1,200 公尺回升至 7,000 公尺，也僅是花費約 3 小時的時間。

比較上述兩個個案，1 月 3 日的能見度

在 3 小時下降了 1,600 公尺（2,400 公尺降至 800 公尺），1 月 31 日則是不到 2 小時就降了 8,799 公尺（9,999 公尺降至 1,200 公尺），第一個個案屬於能見度緩降緩升的個案，對於預報者而言，有較長的預警時間，也容易掌握，第二個個案則相反，屬於能見度驟降驟升的個案，對於預報者而言，比較沒有太多的時間反應較不容易掌握其變化。

1 月 31 日屬於 3 小時之內，CCK 機場的能見度由目視飛行（5,000 公尺）降到禁航標準（<1,600 公尺），能見度回升也在 3 小時之內回升到目視飛行（5,000 公尺）以上，屬於能見度驟降驟升個案。接下來嘗試利用雷射式剖風儀資料探討第一類別，也就是能見度驟降的低能見度個案。

圖 10 為 108 年 1 月 19 日 0600-0700 時的雷射式剖風儀觀測資料，該時段 CCK 機場的能見度僅 800 公尺，對應到圖 11 為 108 年 1 月 19 日 0700 時的紅外線雲圖，圖中可看出 CCK 附近為淺白色的雲，即雲頂溫度不低，也就是說有低雲的存在，配合上圖 10，CCK 機場上空 100-125 公尺的風向都逐漸轉向北風。如同當地預報長所述，CCK 機場的海拔高度約 203 公尺，四周地形以 CCK 機場最高，機場的北方若有低雲移入機場，就會造成低雲幕及低能見度。

因此，從圖 10-11 可以合理的推斷，當時的 CCK 機場北方有低雲存在，配合上 CCK 機場上空 100-125 公尺風場為北向風，就把北方低雲吹到 CCK 機場的上空，造成低能見度。

108 年 1 月 20 日 CCK 機場也是因為能見度低的關係而禁航，跟 1 月 19 日狀況類似，紅外線雲圖顯示有低雲，CCK 機場上空 100-150 公尺的風向都是北向風（圖略），也就是將低雲吹進 CCK 機場而造成低能見度。從上述 2 個案可以歸納出當雷射式剖風儀觀測的 100 公尺附近的風場為北向風，配合

上 CCK 機場北方有低雲的情況，很容易將低雲吹進 CCK 機場而造成低能見度。

5.4 利用再分析資料來補足 CCK 機場之雷射式剖風儀觀測資料缺口，並探討 CCK 機場低能見度驟降個案

雷射式剖風儀觀測資料缺口，並探討 CCK 機場低能見度驟降個案

雷射式剖風儀為一個觀測高空風場很好的工具之一，但可能因為天氣因素、儀器損壞、維修、維護、廠商保固等不可避免的因素，導致觀測暫停，造成觀測資料不足的情況。因此，除了現有的觀測資料外，本研究使用再分析資料來補足雷射式剖風儀的觀測資料。使用 ERA-5 進行研究之前，要先確保 ERA-5 的資料正確性，而 ERA-5 屬於三維空間的資料，所以要比對 ERA-5 的準確性，就必須使用探空氣球及雷射式剖風儀的觀測資料。

圖 12 為 2015 年板橋探空（紅色）與其周遭 ERA-5 資料（藍色）700 hPa 各氣象參數比較圖，由圖 12 可以看出，不論是哪個氣象參數，ERA-5 及探空的表現相當一致，各參數的相關係數都在 0.8 以上。也就是說，ERA-5 的可信度相當高，可用於本研究探討 CCK 機場低能見度使用。

ERA-5 為網格資料，哪個網格點或平均格點適合當作 CCK 機場觀測資料則需要進一步探討。圖 13 中 0300 及 0600 UTC（紅色框框）為 ERA-5 風向，圖 13 (a) 為單點北向風（010-020 度），圖 13 (b) 為平均的東向風-北向風（100-010 度）。對照圖 CCK 機場雷射式剖風儀（圖 14）觀測的底層風場來看（紅色框框），從 100-200 公尺的高度的風向都是北向風，也就是說，單格網格點比平均網格點的再分析資料更貼近實際的情況，本研究即使用最接近 CCK 機場的 ERA-5 網格點來代表 CCK 機場垂直剖面的氣象參數。

CCK 機場的雷射式剖風儀因故於 2018

年 2 月 13 日沒有觀測資料，故該個案就以 ERA-5 資料進行分析探討。圖 15 為該天 CCK 機場能見度隨時間變化，以及低空（1000 hPa）的溫度露點差、相對溼度、風向及風速隨時間的變化。從 CCK 機場的能見度分析，能見度從 1500 UTC 開始下降，至 1700 UTC-2100 UTC 的能見度 1 公里左右，而 2100 的溫度露點差降低，風向也從東南風轉為北風（藍色至紅色框框處），溫度露點差的降低表示 1000 hPa 可能有雲層的存在，而風向轉為北風也就是把雲帶入 CCK 機場，所以能見度更是降到 1 公里以下（禁航）。

利用 ERA-5 分析的結果（圖 15）與利用雷射式剖風儀分析結果（圖 10）類似，當 CCK 機場的周遭有低雲的存在，加上 1000 hPa 或是 100-200 公尺的高空風為北向風，就很容易將低層的雲移入 CCK 機場，因而造成能見度的下降。

6. 結論

本研究針對預報人員最不容易掌握的能見度驟降，即在 3 小時之內，CCK 機場的能見度由可目視飛行的 5,000 公尺以上，驟降到小於 1,600 公尺的禁航個案進行分析探討，藉由 CCK 機場完整的地面觀測資料，且擁有高空風觀測資料，即具雷射式剖風儀之優勢（若資料短缺則由 ERA-5 補足），加上 CWB 所屬梧棲測站觀測資料，找出 CCK 機場的「高空觀測資料」、「地面觀測資料」以及周遭梧棲測站的「地面觀測資料」與機場能見度的因果關係。

結果顯示，平流霧的情況下，梧棲測站可提前預警 CCK 機場的能見度驟降。CCK 機場發生低能見度時的地面風場以北向風為主，且風速小於 5 海浬，溫度露點差異高達 74.7 % 小於 1 度。在高空風場部分，當能見

度驟降之前，會因為底層水氣開始增加，致使電磁波衰減，進而影響雷射式剖風儀觀測高度驟減，且高空的相對濕度也會增加（雲的存在），若配合上高空風場為北向風，即有很大的可能會因為低雲的移入而造成能見度驟降。

將上述分析探討的結論提供給 CCK 機場的預報人員，使得預報人員可以藉由本研究分析過去能見度驟降個案的經驗，作為未來 CCK 機場低能見度預警的參考依據。

7. 參考文獻

- Anthis, A. I. and A. P. Cracknell, 1999 : Use of satellite images for fog detection (AVHRR) and forecast of fog dissipation (METEOSAT) over lowland Thessalia, Hellas. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1107-1124.
- Bader, M. J., G. S. Forbes, J. R. Grant, R. B. E. Lilley and A. J. Waters, 1995 : Images in weather forecasting - A practical guide for interpreting satellite and radar imagery. University of Cambridge press.
- Bankert, R. L., and M. Hadjimichael, 2007 : Data Mining Numerical Model Output for Single-Station Cloud-Ceiling Forecast Algorithms. *Weather and Forecasting*, 22, 1123-1131.
- Bankert, R. L., M. Hadjimichael, A. P. Kuciauskas, W. T. Thompson, and K. Richardson, 2004 : Remote cloud ceiling assessment using data-mining methods. *J. Appl. Meteor.*, 43, 1929-1946.
- Bendix, J., 2002 : A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas. *Atmospheric Research*, 64, 3-18.
- Cho, Y. K., M. O. Kim and B. C. Kim, 2000 : Sea fog around the Korean Peninsula. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 2473-2479.
- Gultepe, I., R. Tardif, S. C. Michaelides, J. Cermak, A. Bott, J. Bendix, M. D. Müller, M. Pagowski, B. Hansen, G. Ellrod, W. Jacobs, G. Toth and S. G. Cober, 2007 : Fog research : A review of past achievements and future perspectives. *Pure and Applied Geophysics*, 164, 1121-1159.
- Greenwald, T. J. and S. A. Christopher, 2000 : The GOES I-M imagers : New tools for studying microphysical properties of boundary layer stratiform clouds. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 2607-2620.
- Hansen, B., 2007 : A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. *Weather and Forecasting*, 22, 1319-1330.
- Kim, C. K. and S. S. Yum, 2010 : Local meteorological and synoptic characteristics of fogs formed over Incheon international airport in the west coast of Korea. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27, 761-776.
- Kim, C. K. and S. S. Yum, 2011 : Marine boundary layer structure for the sea fog formation off the west coast of the Korean Peninsula. *Pure and Applied Geophysics*, 169, 1121-1135.
- Lee, T. F., F. J. Turk and K. Richardson, 1997 : Stratus and fog products using GOES-8-9 3.9 μm data. *Weather and Forecasting*, 12, 664-677.
- Pagowski, M., I. Gultepe and P. King, 2004 : Analysis and modeling of an extremely dense fog event in southern Ontario. *Journal of Applied Meteorology*, 43, 3-16.
- Rudack D. E. and J. E. Ghirardelli, 2010 : A Comparative Verification of Localized Aviation Model Output Statistics Program (LAMP) and Numerical Weather Prediction (NWP) Model Forecasts of Ceiling Height and Visibility. *Weather and Forecasting*, 25, 1161-1178.
- Stoelinga, M. T., and T. T. Warner, 1999 : Nonhydrostatic, mesobetascale model simulations of cloud ceiling and visibility for an East Coast winter precipitation event. *J. Appl. Meteor.*, 38, 385-404.
- Wetzel, M. A., R. D. Borys and L. E. Xu, 1996 : Satellite microphysical retrievals for land-based fog with validation by balloon profiling. *Journal of Applied Meteorology*,

35, 810-829.

Yeh Y, Cummins H. 1964 : Localized fluid flow measurements with He-Ne laser spectrometer, Appl. Phys. Lett., 4 : 176-178.

8. 圖表彙整



圖1 臺中清泉崗機場地理環境/地勢高度圖 (from Google Earth)。

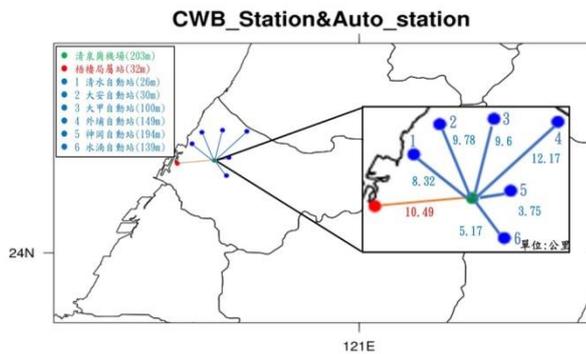


圖2 臺中CCK機場附近中央氣象局測站分布。紅色點為CWB局屬測站，藍色為自動測站。

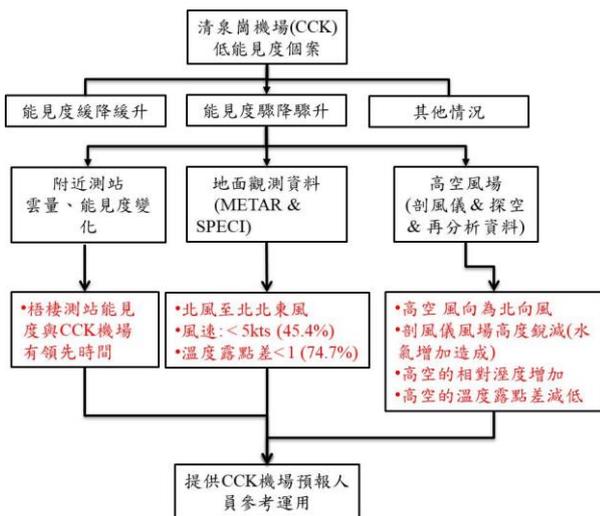


圖3 研究構想示意圖。

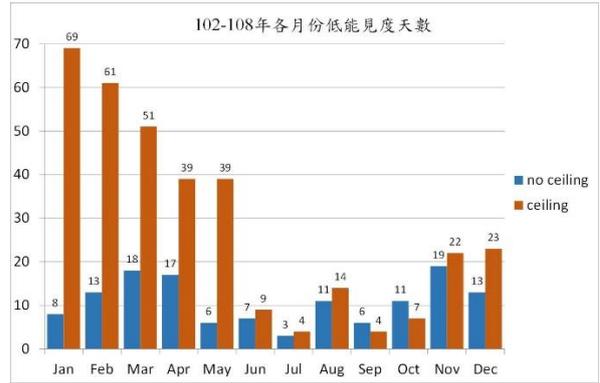


圖4 過去7年各月份CCK機場能見度小於1,600公尺個案統計。

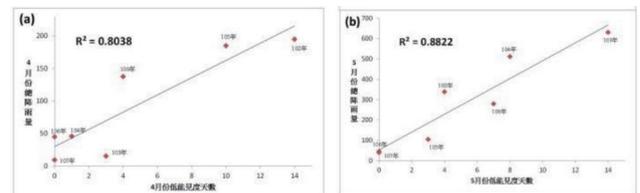


圖5 過去7年的 (a) 4月份, (b) 5月份因雨造成低能見度天數及總降雨量散佈圖。

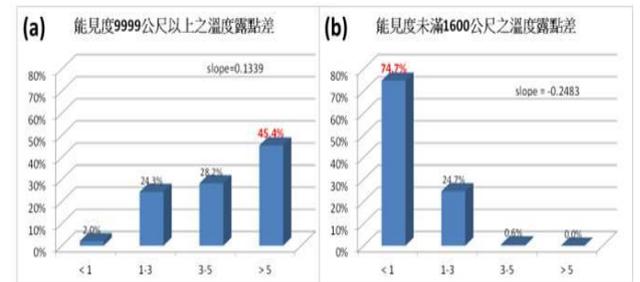


圖6 能見度 (a) 9,999公尺以上, (b) 未達1,600公尺程度溫度露點差值直方圖。

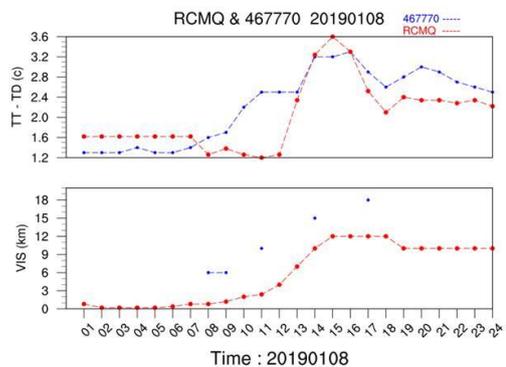


圖7 2019年1月8日梧棲測站及CCK機場的各項氣象參數隨時間的變化。

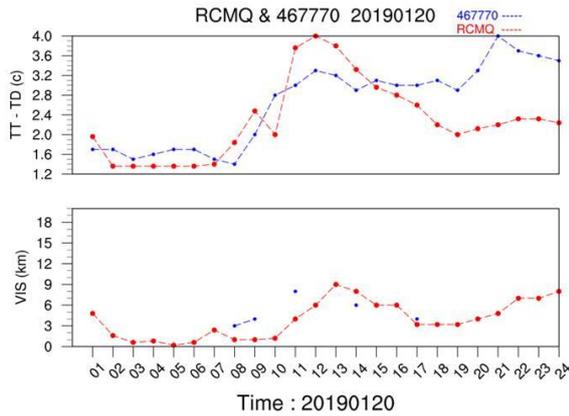


圖8 2019年1月20日梧棲測站及CCK機場的各項氣象參數隨時間的變化。

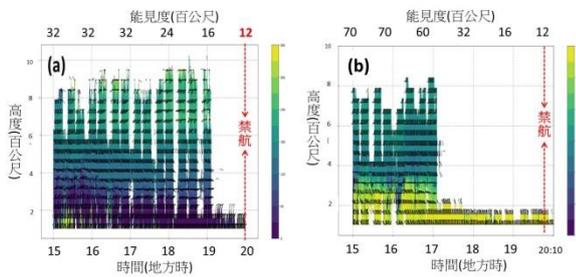


圖9 2018年 (a) 1月20日, (b) 1月21日 1500-2000時雷射式剖風儀的觀測資料。

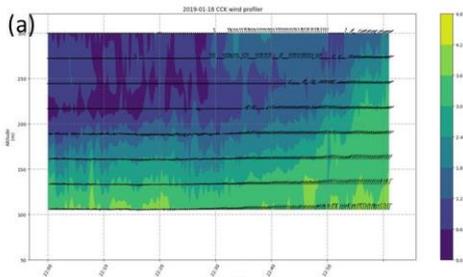


圖10 108年1月19日2200-2300時剖風儀資料。

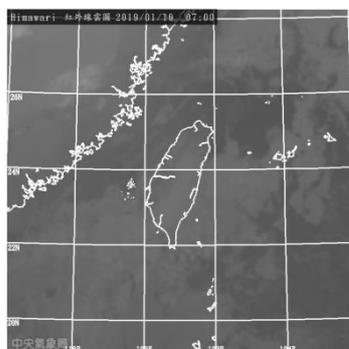


圖11 108年1月19日0700時紅外線雲圖 (來源：中央氣象局)。

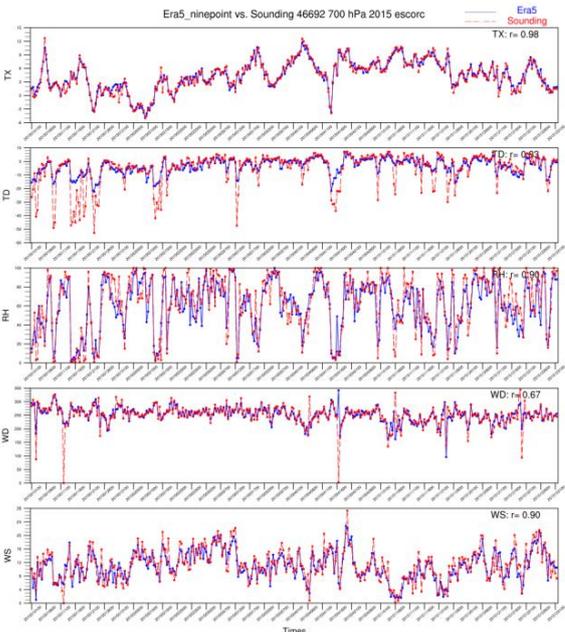


圖12 2015年板橋探空 (紅色) 與其周遭 ERA-5資料 (藍色) 700 hPa各氣象參數比較圖, 由上而下分別為溫度、露點、相對濕度、風向以及風速。

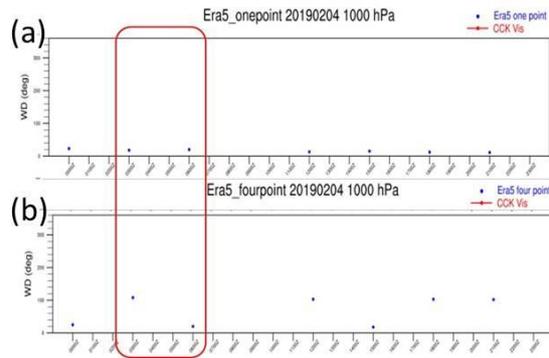


圖13 (a) 單點ERA-5及 (b) 平均ERA-5的風場比較。

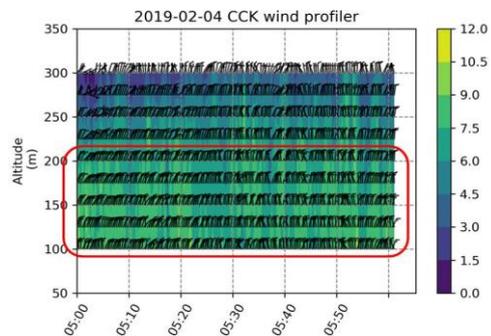


圖14 2019年2月4日0500-0600 UTC CCK機場剖風儀觀測資料。

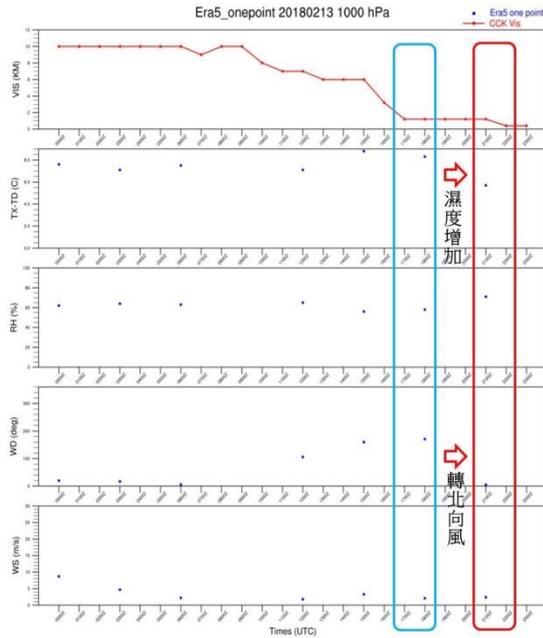


圖15 2018年2月13日機場能見度及ERA-5 1000hPa的氣象參數隨時間變化。

表1 CCK機場不同年份的低能見度日數、降雨日數、總降雨量比較表。

CCK機場	102-105年(5月)	106-107年(5月)
平均低能見度天數	9	0
平均降雨日數	17.25	10.5
平均總降雨量	396.25	41.95

表2 107年1月份CCK機場發生低能見度之個案。

JAN	D-3	D-2	D-1	D ↓	D ↑	D+1	D+2	D+3		D ↓ TIME	D ↑ TIME
3	2400	1600	1600	800	1000	3200	1600	2800	霧	2018/1/3 4:45	2018/1/3 7:00
4	2400	2400	2400	1200	1000	1600	2000	2800	霧	2018/1/4 0:09	2018/1/4 7:30
4 1→5	3200	3200	3200	800	1000	3200	1600		霧	2018/1/4 16:46	2018/1/5 4:44
5	200	1600	3200	600	1400	3200	3200	4000	其他	2018/1/5 6:52	2018/1/5 8:30
6	5000	3200	4000	1000	1200	1600	1600	1600	其他	2018/1/6 15:21	2018/1/6 16:30
6 1→7	1600	1600	1600	200	1200	1600	2000	2800	霧	2018/1/6 21:41	2018/1/7 3:00
8	5000	2400	2400	1200	1200	4000	4000	4800	霧	2018/1/8 5:22	2018/1/8 6:00
18	2400	2400	1600	1000	1200	3000	4000	4800	其他	2018/1/18 7:46	2018/1/18 9:00
18 1→19	6000	5000	2400	1200	1000	2400	2400	2800	其他	2018/1/18 20:19	2018/1/19 6:00
20	6000	4800	2000	1200	1200	1600	1600	3200	其他	2018/1/20 0:00	2018/1/20 6:30
20 1→21	3200	3200	2400	1200	1000	3000	3200	6000	其他	2018/1/20 19:05	2018/1/21 7:00
21→22	6000	3200	1600	1200	1200	7000	3200	3600	霧	2018/1/21 20:11	2018/1/22 8:37
28	6000	4800	1600	1200	1400	4000	6000	7000	霧	2018/1/28 0:41	2018/1/28 11:30
30→31	3200	2400	2400	1200	1200	2800	4800	7000	其他	2018/1/30 23:49	2018/1/31 6:30
31	9999	9999	5000	1200	1200	4000	5000	7000	霧	2018/1/31 17:07	2018/1/31 19:00

Analysis of Low Visibility Cases at CCK Airport by Using Wind Profiler and Ground Observation Data

Nan-Ching Yeh¹ Yu-De Wu² Jyun-Yu Lin³ Yao-Chung Chuang⁴

¹Department of Military Meteorology, Air Force Institute of Technology

²Weather Center, Air Force Weather Wing

³The Sixth Weather Center, Air Force Weather Wing

⁴Department of Aviation Communication & Electronics, Air Force Institute of Technology

Abstract

The Ching-Chuan-Kang (CCK) Airport has an altitude of 203 meters, and located at a special geographical environment. There are low-level clouds over the Taiwan Strait or near the airport, and moving into the CCK Airport by the wind will easily cause low ceiling and low visibility.

This research analyzes and explores the months and time periods that low visibility occurs at CCK Airport. And try to find the correlation between low visibility and the observation data of CCK Airport. The observation data includes the wind profiler and METAR at CCK Airport, and surface observation station of Central Weather Bureau (CWB) near CCK Airport, as well as reanalysis data (ERA-5). The purpose of ERA-5 data is to make up for the lack of wind profiler.

This study divides low visibility cases into three categories, and the first category that forecasters are not easy to forecast accurately in advance. That is, the visibility dropped from more than 5000 meters to the banned take-offs and landings (less than 1,600 meters) within three hours. This study analyzes the first category of low visibility cases, and tries to find the main reason for the sudden drop in visibility. In this way, forecasters can have some reference basis for forecasting the cases of low visibility sudden drop.

Keyword : low visibility, wind profiler, reanalysis data, take-offs and landings are banned