

清泉崗機場低能見度事件之探討

葉南慶¹ 魏志憲² 莊耀中¹

摘要

一、前言

清泉崗機場地理環境如圖 1 所示，清泉崗機場位於大肚山上，西邊直線距離不到 20 公里即為臺灣海峽，南北方分別為大肚溪及大甲溪，東邊則為中央山脈，海拔高度約 205 公尺，其地勢開闊，周圍 10 哩內並無任何明顯地形屏障物。然而由於其西側面臨台灣海峽，當海峽上存在低層雲時，藉由風吹動移入機場，易造成低能見度的發生，此一現象好發生於每年秋末與春初之季節。當低雲幕籠罩機場時，能見度驟降，能見度可能在短時間下降至低於起降標準的 1600 公尺，甚至可能低至 200 公尺，嚴重影響航機起降安全。

低能見度與低雲幕皆是嚴重影響飛安的因子，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，依此演算法則所得之雲幕高往往得到的高估的估算值。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) 應用一類似遞迴區分(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 k-nn 演算法 (k-nearest neighbors algorithm) 之統計與類比預報方法，探討雲幕高與能見度之預報。王(2006)探討各氣象因子(包含大氣穩定度、風向、風速、溫度、相對濕度等)以及懸浮微粒 (PM10)、臭氧與能見度的關係。戴與林(2010)利用再分析資料(NCEP Reanalysis)及清泉崗機場之地面氣象觀測資料，針對 2009 年 1 月 28

¹空軍航空技術學院

²中華航空公司 聯合管制處

日清泉崗機場低能見度個案進行研析。

以清泉崗機場而言，最可能因輻射霧及平流霧而造成低能見度，兩者間存在不同的涵蓋範圍及物理機制，說明如下：

輻射霧：每當太陽下山且無晴朗雲時，清泉崗機場的地面經由長波輻射冷卻，造成地面溫度下降，因為較低溫的空氣可容納的水氣量較少，此時空氣中所含水汽達飽和而凝結即形成霧，通常來說，太陽升起地面溫度增加後，空氣回到未飽和的情況，輻射霧就逐漸散去。

平流霧：當暖濕空氣流經較冷的地表面，因為暖濕空氣遇到冷的地表面而凝結成霧。一般來說，只要將暖濕空氣吹向冷地表面的風場持續，平流霧就會一直持續，直到沒有暖濕空氣的供應。在台灣地區，平流霧經常發生於冬末初春，此時期鋒面前的暖空氣，經過相對較冷的台灣海峽，就會形成大範圍的平流霧，甚至造成台灣西部各機場低能見度。

上述 2 類的霧是清泉崗機場較常發生低能見度的原因，此 2 種類的霧的成因並非都是單獨存在，也可能在發生「平流輻射霧」，簡單來說，當暖濕空氣平流到清泉崗機場(即平流效應)，若剛好機場入夜後為晴朗無雲的天氣，地面長波輻射冷卻降溫明顯，進而空氣達到飽和而形成霧(輻射霧成因)，此種霧即具有平流霧及輻射霧的成因。由於低能見度事件成因複雜，不論是發生霧的時間點或是消散時間點，皆不易掌握。

除了上述輻射霧、平流霧，以及輻射平流霧之外，因為清泉崗機場海拔高度超過 200 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，所以不論是台灣海峽沿大甲溪移入的暖濕空氣(平流霧)，或是只是一些低雲移進清泉崗機場時，都會造成機場能見度驟降。低雲的移入所造成的低能見度，相較於輻射霧、平流霧及平流輻射霧，空間尺度小且預警時間短，常常也是讓預報人

員難以預測。

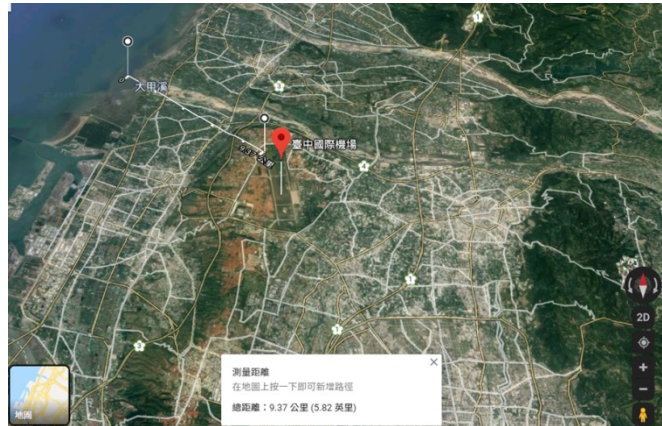


圖 1：台中清泉崗機場地理環境/地勢高度圖（from Google Earth）

二、清泉崗機場低能見個案統計

本研究統計 102 年至 108 年因為低能見度造成清泉崗機場關閉的日期，依歷史資料顯示，冬季及春季為清泉崗機場最容易發生低能見度的月份，冬季主要是因為霧的影響，反觀夏季，則是雷陣雨影響而使能見度低於起降標準。除此之外，低雲幕也是讓清泉崗機場能見度驟降的原因之一，所以在分析低能見度發生而導致禁航的同時，也將低雲幕納入分析的要素之一。

從 5 月份清泉崗機場逐時觀測資料來看，102-105 年 5 月的降雨日數、降雨量明顯大於 106-107 年的 5 月，也就是說，當造成能見度降低的主要因素-「降雨次數」頻率減少以及「降雨強度」降低，低能見度個案當然就隨之減少。表 1 為 102-105 年以及 106-107 年的 5 月份，清泉崗機場因能見度低於起降標準的天數、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。

表 1 清泉崗機場不同年份的低能見度日數、降雨日數、總降雨量比較表

清泉崗機場	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	17.5	10.5
平均總降雨量	396.25	41.95

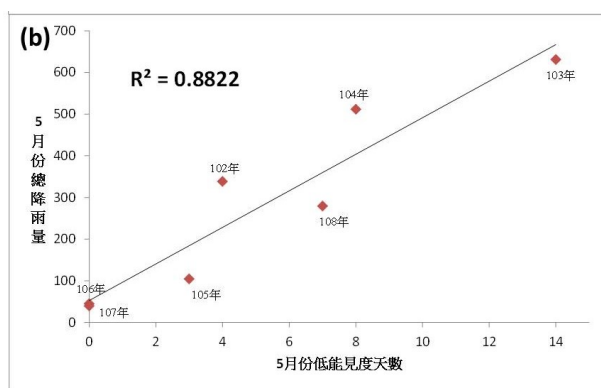


圖 2：過去 7 年的 5 月份因雨造成低能見度天數及總降雨量散佈圖

圖 3 為統計自 102 年至 108 年清泉崗機場出現能見度低於 1600 公尺的日數，縱座標為年份，橫條圖的長度為天數，藍色橫條圖及其百分比表示發生僅低能見度(無低雲幕)的天數及佔全年低能見度的比例，橘色橫條圖及其百分比則表示低能見度伴隨低雲幕的天數以及佔全年低能見度的比例，兩者總和則為每年發生發生低能見度的總天數，於橫條圖的後放以數字表示之。

圖 3 可看出清泉崗機場過去 4 年(102 年至 105 年)發生低能見度天數分別為 86、74、69 及 80 天，平均為 77 天，而近三年(106 年至 108 年) 發生低能見度天數分別為 41、58 及 66 天，平均為 55 天，在清泉崗機場的低能見度近年來平均減少了 22 天。另外，清泉崗機

場出現低能見度時，同時伴隨低雲幕的比例明顯偏高，除了 107 年之外，其他 6 年都超過 70%，也就是說，清泉崗機場的低能見度以及低雲幕幾乎都是同時發生，換句話說，清泉崗機場發生低能見度時，70% 以上都伴隨具飛安威脅的低雲幕，這也是需要預報人員需要特別留意。

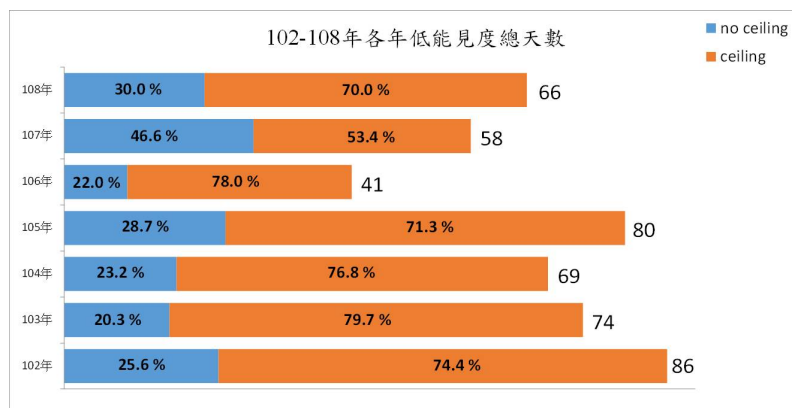


圖 3：過去 7 年清泉崗機場能見度小於 1600 公尺個案統計。

三、個案分析與比較

本研究利用 109 年 1 月份及 2 月份的低能見度個案，闡述不同情況下的低能見度的形成原因。109 年 1 月 6 日以及 2 月 24 日清泉崗機場皆發生因低能見度而機場關閉的事件，雖然皆是低能見度事件，但是形成時段及原因各不相同，可藉由此個案了解清泉崗機場的霧的形成因子，進而造成低能見度的原因。

另外，同時也該機場天氣預報 TAF (Terminal Aerodrome Forecasts)，包含當前的天氣變化趨勢的 BECMG 以及可能短暫性變化的 TEMPO，與實際清泉崗機場例行天氣觀測 METAR (Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report) 繪製出來比較，藉以了解預報人員對於清泉崗機場的各種天氣參數變化趨勢的掌握程度。

圖 4 為清泉崗機場 109 年 1 月 6 日的 METAR 以及 TAF，由上

而下分別為風向、風速、陣風、能見度以及雲幕高，橫坐標則為時間 00-24 UTC，圖中各種氣象參數的 METAR、TAF 及 TAF-tempo 數值的符號以及顏色皆於圖上標示。由圖 4 來看，在風場部分，109 年 1 月 6 日的 24 小時，風向大多為北向風，風速除了 04-09 UTC 約 4-5 kts 外，其餘時間大都為靜風或是低於 4 kts，從 TAF 的預報天氣來看，預報員對於機場未來 24 小時風場的掌握相當好，風向皆是北向風且風速大都低於 5 kts，04-09 UTC 風速略為增強的趨勢於 1 月 6 日 00 UTC 的 TAF 也是掌握得很好。

METAR 顯示 109 年 1 月 6 日能見度的變化，從圖 4 可以看出，能見度從 0900 時開始下降，1000 時能見度尚在符合起降最低標準的 1600 公尺，而 1018 時就下降至 1200 公尺，隨後能見度驟降，至 1041 時僅剩下 100 公尺，低於 200 公尺以下的低能見度直到 1200 前皆是如此，直到 1306 時，能見度才回升至符合最低起降標準的 1600 公尺，共計大約 3 小時的能見度是低於飛航標準，其中大約 2 小時的能見度低於 200 公尺。

對照同時段的雲幕高度，在 1000 時雲幕為 1600 呎的裂雲，1018 時為 1000 呎裂雲，到了 1025 時則變為 400 呎的裂雲，1036 時能見度僅剩 400 公尺時，當時的雲幕則為 200 呎裂雲，持續到 1238 時才轉變為 4000 呎裂雲(同時段的能見度為 1200 公尺)，恢復至達飛航標準為 1306 時的 1600 公尺能見度及 4000 呎裂雲。簡單來說，依圖 4 的黑色虛線顯示，1 月 6 日 1018 時開始低見度下降，伴隨著低雲幕，持續約 3 小時的時間，1230 時之後，能見度逐漸回升，雲幕高度也逐漸上升，雲量也從裂雲轉為疏雲。此為這是 1 月 6 日第一次的低能見度事件。

從圖 4 的 TAF 來看這一次的低能見度事件，可以發現預報員對於此次的低能見度以及低雲幕並沒有掌握到，於黑色虛線這段期間內 TAF 預報為符合起降標準的能見度以及雲幕，但是 METAR 顯示則為低於起降標準的能見度及雲幕高，且 TAF 預報的能見度及雲幕

高度與實際 METAR 有著不小的差異。

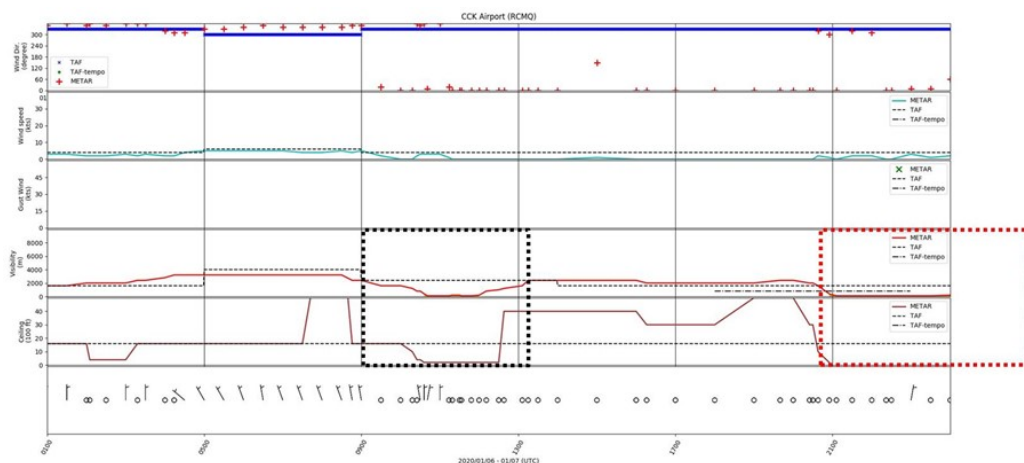


圖 4: 109 年 1 月 6 日清泉崗機場 METAR 及 TAF，由上而下分別為風向、風速、陣風、能見度以及雲幕高，橫坐標則為時間 00-24 UTC。

圖 5 為清泉崗機場 109 年 1 月 6 日 06 UTC 至 1 月 7 日 06 UTC 的 METAR 以及 TAF，由圖 5 來看風場部分，除了 00-02 UTC 的風向轉向之外，其餘時段的北向風以及風速 5 kts 以下，TAF 對於機場未來 24 小時風場預報掌握得宜。

在能見度部分 TAF 預報並沒有掌握到有一段約 6 小時的低於飛航標準的低能見度事件。在 109 年 1 月 6 日 2038 時清泉崗 機場的能見度降至 1600 公尺，雲幕高為 1000 呎的裂雲(尚滿足起降標準)，但僅過了 17 分鐘的 2055 時，能見度驟降為 400 公尺，雲幕高也轉變為 200 呎的裂雲，這樣低於飛航器起降標準的天氣持續至 1 月 7 日的 0315 時，期間能見度及雲幕雖然有短暫的回升至 1600 公尺及 1000 呎裂雲(1 月 7 日 0052 及 0100 時)，但很快的(0130 時)能見度及雲幕又驟降至 400 公尺及 200 呎裂雲。此為 109 年 1 月 6 日的第二次低能見度事件(橫跨至 1 月 7 日)，也就是圖 5 中的紅色虛線所涵蓋的時段。

很顯然的 109 年 1 月 6 日兩段的低能見度伴隨低雲幕的事件，TAF 預報並無法準確的預報此類事件，就連能見度以及雲幕高度在

該時段會降低的趨勢也無法事先掌握，所以這兩段的低能見度以及低雲幕事件就很值得進一步探討，要如何預報未來可能的低能見度及低雲幕對於機場所造成的影響。

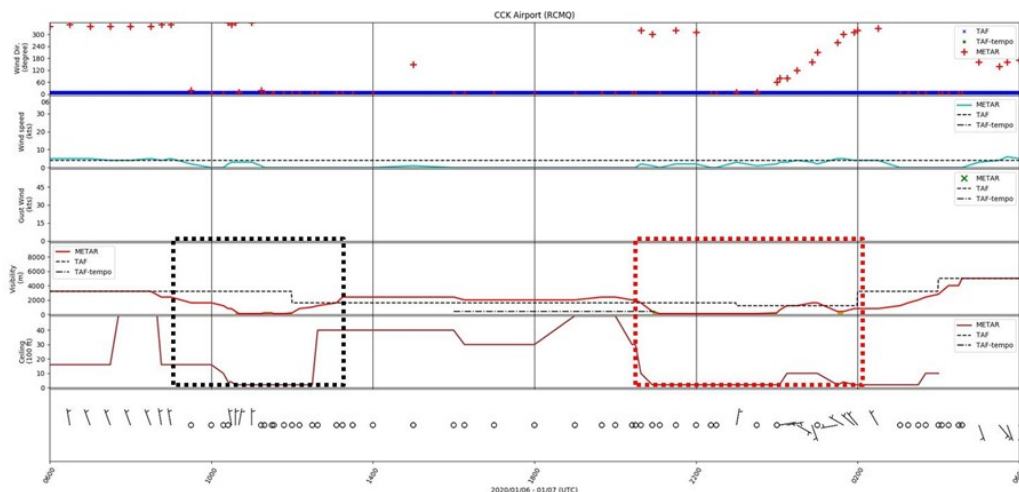


圖 5：清泉崗機場 METAR 及 TAF，由上而下分別為風向、風速、陣風、能見度以及雲幕高，橫坐標則為時間自 109 年 1 月 6 日 06 UTC 至 1 月 7 日 06 UTC。

圖 6 為清泉崗機場 109 年 2 月 24 日的 METAR 以及 TAF，由上而下分別為風向、風速、陣風、能見度以及雲幕高，橫坐標則為時間 00-24 UTC。由圖 6 來看，在風場部分，109 年 1 月 6 日的 24 小時，風向大多為北向風，風速除了 04-09 UTC 約 4-5 kts 外，其餘時間大都為靜風或是低於 4 kts，從 TAF 的預報天氣來看，預報員對於機場未來 24 小時風場的掌握相當好，風向皆是北向風且風速大都低於 5 kts，04-09 UTC 風速略為增強的趨勢於 1 月 6 日 00 UTC 的 TAF 也是掌握得很好。

在能見度和雲幕高部分，當天 1100 時，能見度已經降至符合起降標準的 1600 公尺且無雲幕，經過 15 分鐘後(1115 時)，能見度降至 800 公尺，1125 時降至 600 公尺，1145 時僅剩下 200 公尺的能見度，且 200 公尺的低能見度持續 5 個多小時，時至 1710 時才逐漸回升至 800 公尺，一直到 2110 時，清泉崗機場的能見度才回覆至符合

起降標準的 1600 公尺。能見度低於起降標準的時間總共持續了約 10 個小時，期間並沒有低雲幕的情況，此個案為第三個低能見度事件，此時段如圖 6 中的黑色虛線所標註。

圖 6 也可以看到 2 月 24 日 TAF 預報能見度變化，從 00-09 UTC 能見度較佳，10 UTC 預報出下降趨勢，1200 UTC 預報能見度再次下降，趨勢其實是符合 METAR 實際觀測，惟預報能見度轉好的時段，實際上並沒有如預期那麼好，反觀預報能見度轉差的時段，實際能見度比預報的要差，可見此次 TAF 預報已掌握到能見度轉變的時間點，但預報轉變的程度與實際有些許誤差。但在雲幕高的部分則較有出入，TAF 預報在該時段 24 小時皆有界於 1000-1500 呎的雲幕高，但實際上，在 1200 UTC 之前，雲幕高就高於 2000 呎，甚至無雲幕存在。

總結來說，該天的 TAF 對於風場的預報表現良好，能見度的變化趨勢也如同預報的轉變(好及壞)，只是程度上有些許差異，但在雲幕高的掌握上略顯不足。

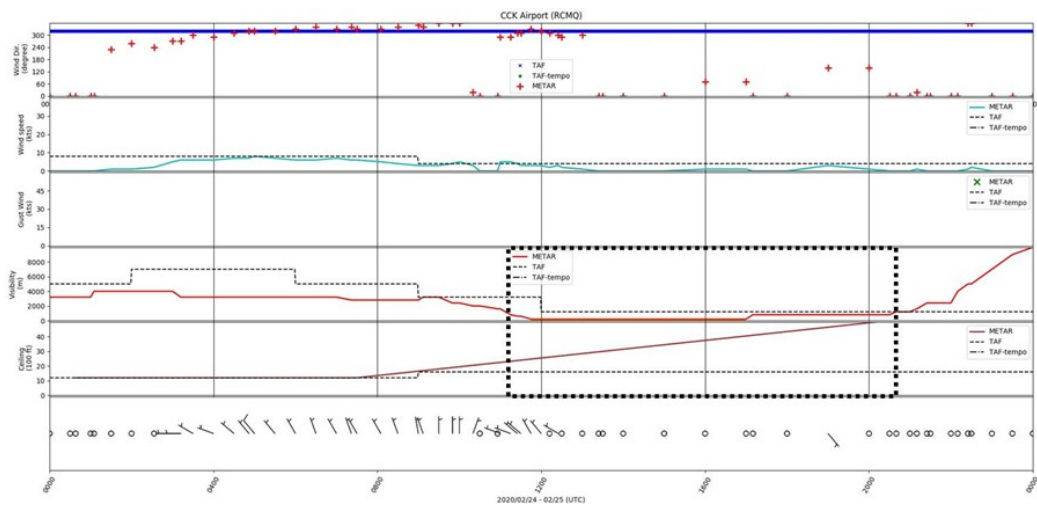


圖 6：109 年 2 月 24 日清泉崗機場 METAR 及 TAF，由上而下分別為風向、風速、陣風、能見度以及雲幕高，橫坐標則為時間 00-24 UTC。

圖 7 為清泉崗機場 109 年 2 月 24 日 06 UTC 至 2 月 25 日 06 UTC 的 METAR 以及 TAF，各個圖說與圖 6 一樣，分別有風場、能見度

以及雲幕高，橫坐標則改為 06-06 UTC。由圖 7 來看，在風場部分，有幾個時段的風向非北向風與 TAF 預報有些微誤差，但因為當時的風速微弱，故風向些微差異也算合理，顯見 TAF 對於機場未來 24 小時風場預報掌握得宜。

在能見度及雲幕高的部分，除了圖 6 所述的低能見度事件(黑色虛線)在預報能見度和雲幕高有所差異之外，隨後的 9 小時(2 月 24 日 2100 時至 2 月 25 日 0600 時)，TAF 的預報為能見度先降後升，但能見度不超過 4000 公尺，且持續都有 1000 呎的雲幕存在。對照實際的 METAR 觀測，能見度卻是顯著回升(最佳能見度達 9999 公尺)，且整個時段皆沒有任何雲幕。就這個時段來看，不論是能見度或是雲幕高的 TAF 預報並無法反映出實際的天氣變化。

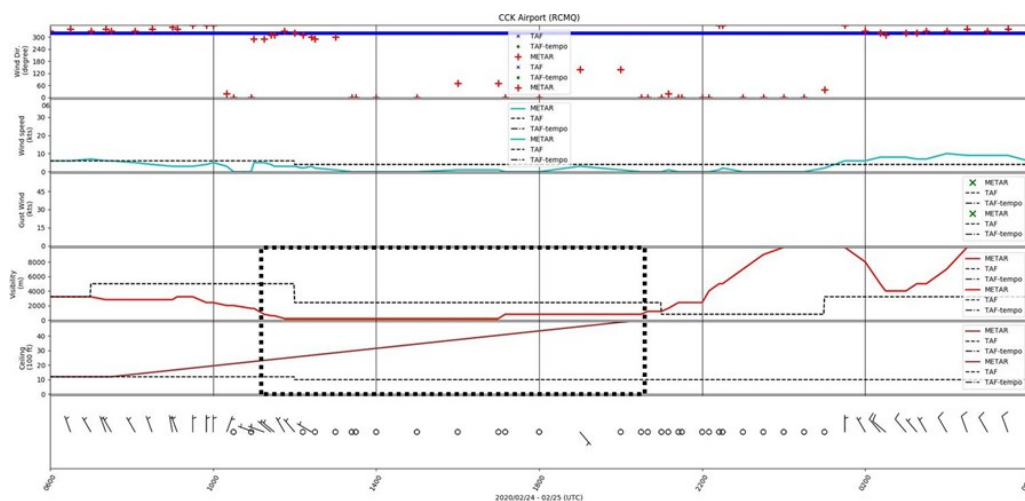


圖 7：清泉崗機場 METAR 及 TAF，由上而下分別為風向、風速、陣風、能見度以及雲幕高，橫坐標則為時間自 109 年 2 月 24 日 06 UTC 至 2 月 25 日 06 UTC。

由上述 109 年 1 月 6 日 2 個低能見度事件以及 109 年 2 月 24 日 1 個低能見度事件，總共 3 個低能見度個案分析探討清泉崗機場低能見度的成因，為了方便分析探討，以下時間轉換至地方時(Local Standard Time, LST)。

109 年 1 月 6 日的第 1 個低能見度個案發生的時間約為 1800-2100 LST，且低能見度期間明顯伴隨存在低雲幕。隔日(109 年 1 月 7 日 LST)第 2 個低能見度個案，時間約為 0500-1100 LST，與個案 1 類似，能見度發生的起始時間明顯伴隨著低雲幕存在，能見度回升時間則是低雲幕不存在的時間。由上述 2 個案來看，發生的時間點並非輻射霧最容易發生的凌晨時段，且能見度驟降以及回升的時間點就是清泉崗機場存在低雲幕以及不存在低雲幕的時間點，由上所述事實可推論此 2 低能見度的個案發生原因為低雲幕的移進清泉崗機場所造成的低能見度，當低雲幕移離清泉崗機場，能見度也就隨之上升。

109 年 2 月 24 日的第 3 個個案發生時間為 1900-0500 LST，發生低能見度期間，沒有任何一筆 METAR 觀測資料顯示有任何低雲幕的存在，沒有伴隨低雲幕的低能見度事件，外加時間點為入夜之後能見度開始緩慢下降，太陽升起後快速回升，至 0700 LST 能見度已經迅速回升至 8000 公尺，此類的低能見度事件明顯為輻射霧，沒有太陽光的照射，溫度露點差愈來愈接近而產生霧，持續到太陽升起，溫度露點差變大，霧隨即散去，能見度隨之升高。

若從上述圖 4-圖 7 來看，TAF 預報對於低雲移進清泉崗機場所造成的低能見度並不容易掌握，所以在能見度以及雲幕高的預報與實際皆有滿大的落差。反觀因為輻射霧所造成的低能見度，即使能見度下降回升的程度略有誤差，但是能見度變化的時間點能夠掌握其變化趨勢。簡單來說，TAF 預報對於輻射霧造成的低能見度的掌握程度優於因低雲移進所造成的低能見度。

原因應該是輻射霧發生的季節、天氣系統及時間點較為固定，且能藉由清泉崗機場當地的一些觀測資料(例如：溫度、露點)加以判斷，所以預報人員對於輻射霧的預報能力較佳。但是低雲幕的移進清泉崗機場，在時間點上較不固定，部分的低雲尺度較小，不論是衛星、雷達觀測，或是模式的模擬都較無法精準的掌握，也就造

成預報人員在編報 TAF 預報時的困難。

四、結論

清泉崗機場因為地理位置的特殊性，以致機場常因低能見度而關場，本研究統計發現，清泉崗機場最容易發生低能見度的季節分別為冬季及春季，冬季低能見度的主因為霧，夏季則是雷陣雨的影響，除了霧及雷陣雨之外，低雲幕也是讓清泉崗機場能見度降低的因素之一。夏季時清泉崗機場發生低能見度的天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；在冬季，造成清泉崗機場低能見度的原因為輻射霧及平流霧，但在過去幾年的氣候資料顯示，發生霧的同時超過 70% 同時發生低雲幕。也就是說，清泉崗機場的低能見度及低雲幕幾乎都是同時發生，換言之，清泉崗機場發生低能見度時，大都伴隨具飛安威脅的低雲幕，這也是需要預報人員需要特別留意。

最後，本研究利用機場天氣預報 TAF，來探討及說明 109 年 1 月份及 2 月份的低能見度個案，分別是由低雲幕及輻射霧所造成，雖然造成原因不同，但也機場皆因能見度未達飛機起降標準而關閉。另外，由上述個案推斷，預報人員對於低雲移進清泉崗機場所造成的低能見度較不容易準確預報，可能因為部分低雲的空間尺度小，不容易從氣象模式或衛星雲圖看出，使得預報人員僅能以天氣守視的方式來應對。若是因輻射霧所造成的低能見度，預報人員就較能準確預測，可能原因為輻射霧的季節、天氣系統較固定，且發生時間點也能藉由機場的觀測資料加以判斷，所以預報人員對於輻射霧的預報能力優於低雲幕。

參考文獻

- 王家玲，“台北都會區微氣候變化與區域能見度相關性研究”碩士論文，2006
- 林得恩、戴世忠，“2009年冬季清泉崗基地低能見度個案探討”，2010。
- Bankert, R. L., Hadjimichael, M., Kuciauskas, A. P., Thompson, W. T., and Richardson, K., “Remote cloud ceiling assessment using data-mining methods,” *J. Appl. Meteor.*, Vol. 43, pp. 1929–1946, 2004.
- Bankert, R. L., and Hadjimichael, M., “Data mining numerical model output for single-station cloud-ceiling forecast algorithms,” *Wea. Forecasting*, Vol. 22, pp. 1123–1131, 2007.
- Hansen, B. K., and Riordan, D., “Fuzzy case-based prediction of cloud ceiling and visibility,” Preprints, Third Conf. on Artificial Intelligence Applications to the Environmental Sciences, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 4.4, 2003.
- Stoelinga, M. T., and Warner, T. T., “Nonhydrostatic, mesobetascale model simulations of cloud ceiling and visibility for an East Coast winter precipitation event,” *J. Appl. Meteor.*, Vol. 38, pp. 385–404, 1999.