

2009年冬季清泉崗機場低能見度個案探討

戴世忠¹

空軍氣象聯隊氣象中心¹

林得恩²

空軍氣象聯隊²

摘 要

本文利用美國國家環境預報中心重分析資料(NCEP Reanalysis 2)及空軍清泉崗機場之逐時地面氣象觀測資料，針對2009年元月28日清泉崗機場低能見度個案進行研析。28日0630時，清泉崗機場地面觀測氣溫逐漸上升，露點溫度隨即出現升高之情況，顯示此時空氣中水氣含量已有增加之趨勢。28日1130時起清泉崗機場北風持續增強，帶來北方較冷空氣，其效應於1300時造成當地氣溫開始顯著下降，至1600時達到飽和，清泉崗機場能見度降至800公尺。因當地低雲雲量偏多，太陽對地面加熱不易，故直至29日0930時天空狀況轉晴後才再度升溫，能見度於當日10時開始回升。

研究結果指出，於28日中緯度系統生成的過程中，其前緣的偏東向風場持續將暖濕空氣傳送至華南及台灣中部以北地區。當日午後，近地面層的淺薄冷空氣自北向南傳送至台灣中北部地區，與原位於該區秉性暖濕之空氣進行混合，同時冷卻並凝結出水氣，進一步產生低雲幕之現象。此外，從斜溫圖之分析中可知，逆溫層的形成為當地低雲幕現象提供了有利的大氣穩定層結條件，將冷暖空氣的混合作用侷限於行星邊界層內。另一方面，此個案期間之垂直運動具有日變化，日間逆溫之維持需高層暖平流的配合；同時，清泉崗的台地地形是使其能見度較北部低的主要原因。

關鍵字：清泉崗、低能見度、低雲幕

一、前言

根據美國聯邦航空局（FAA, Federal Aviation Administration）統計資料顯示：2004年造成國家空管系統（NAS, National Airspace System）延遲的各項因子中，天氣因素佔了76%，為所有肇因之最大宗；進一步分析所有可能影響國家空管系統的天氣要素，除了百分比最高的雷暴事件（佔24%）外，低能見度與低雲幕分別以17%與14%佔據了第二、三順位。由此可見，低能見度與低雲幕實影響飛航安全與管制作業甚鉅，故國內外氣象作業單位及學術界就上述議題亦著墨甚多。

回顧過去與低能見度及低雲幕研究相關之參考文獻：劉（2008）針對2007年4月3日陸軍直昇機失事個案分析中指出，鋒面過境後，東北季風系統影響下之天氣型態往往會伴隨低雲幕及低能見度現象，對航行於低航路之飛行器將造成飛安上的顧慮。楊（2008）探討桃園機場一、二月出現大霧成因一文分析：台灣西部沿海地理分布型態較為空曠，不易出現單純之輻射濃霧，通常造成低於儀器飛行起降標準之濃霧類型屬於平流霧，或平流輻射霧；此外，冬春之際在高壓迴流及鋒面接近影響之

下，暖濕空氣經過相對較冷之下墊面，出現霧的機會特別高。

2009年元月28日，台灣中北部地區陸續於午後短時間內出現能見度大幅下滑情況，並伴隨有雲幕降低之現象，新竹機場最低能見度達3200公尺，並造成清泉崗機場因能見度（最低達800公尺）低於當地主要機種儀器起降標準而被迫關閉機場。俞（1980）就統計觀點分析清泉崗機場發生濃霧之時段指出，清泉崗最容易發生濃霧之月份分布於11月至隔年之4月，且全日均有發生濃霧之機會，但以清晨6時至9時頻率最高，午後時段（12至15時）最少；可見相對而言本個案屬於較為少見之狀況。。

本文將分別針對各項氣象要素及綜觀環境闡述個案發生當時之特徵，並透過熱力、動力分析與地理配置角度探討造成此現象的主要原因。

二、使用資料

本研究所使用之資料為2009年元月28日至29日美國國家環境預報中心之重分析資料(National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy Reanalysis 2 Data, NCEP-DOE R2)，每日計有0000UTC、0600UTC、1200UTC、1800UTC等四筆

資料，各量場水平解析度為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，垂直方向共26層。地面氣象資料則採用桃園機場空軍第五基地天氣中心、新竹機場空軍第二基地天氣中心及清泉崗機場空軍第三基地天氣中心個案期間之逐時地面觀測資料，以作為個案分析及演變進程比對。

三、個案分析與討論

分析清泉崗機場地面氣象觀測之能見度、溫度及露點各項要素之逐時變化特徵發現（如圖1），28日0630時，清泉崗機場地面觀測氣溫逐漸上升，露點溫度隨即出現升高之情況，顯示此時空氣中的水氣含量已有增加之趨勢。配合風向風速一覽圖研析之：28日1130時起，清泉崗機場風向逐漸轉為偏北至西北風，且風速持續增強，於晚間2000時前均維持至少每小時14哩以上之風速，此舉同時帶來北方較冷空氣及低雲幕之現象，並於1300時造成當地氣溫開始顯著下降，能見度亦隨之大幅下滑，至1600時當地空氣達到飽和，清泉崗機場能見度降至800公尺。觀測資料表明當地低雲雲量偏多，故太陽對地面加熱不易，機場直至29日0930時天空狀況轉晴後才再度升溫，在溫度露點差逐漸增大的情況下，能見度於當日10時開始回升。

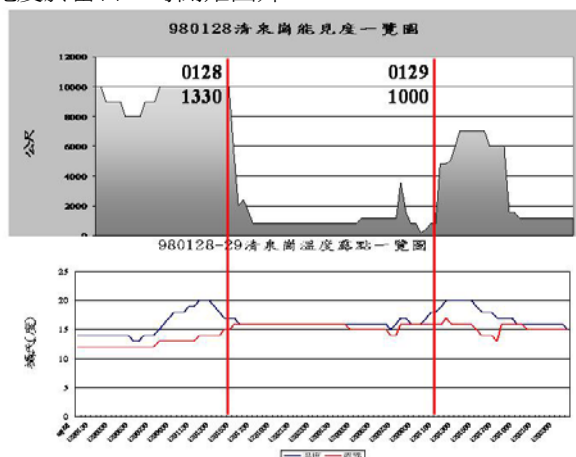


圖1 2009年元月28日至29日清泉崗機場能見度、溫度及露點一覽圖。紅線標示為個案起迄時間。

由地面綜觀天氣圖分析可知（如圖2）：2009年元月28日分裂高壓中心位於日本，其勢力向西南伸展至台灣地區；西北太平洋區域之等壓線分布呈現東西走向，該區之東來氣流為台灣地區帶來秉性暖濕之空氣。觀察逐時紅外線衛星雲圖變化（圖略），顯示前一日（27日）影響台灣之華南雲帶已逐漸朝較高緯度移動；另配合可見光雲圖（圖略）對28日台灣區雲層進行判讀，可清楚觀察到台灣中部以北及海峽上空存在一淺薄之低層雲系。

一覽925 hPa氣流線配置及相對溼度分佈時序變化（如圖3），28日台灣地區位處反氣旋式環流之西

南側，在副熱帶東風氣流影響之下，暖濕空氣持續向西傳送，高相對溼度區涵蓋台灣中北部至大陸東南沿海一帶；29日00 UTC，高緯度冷空氣南下，與勢力東退之副熱帶高壓西側南向氣流間形成風切帶，此帶狀區域起自長江口並延伸至廣東省一線。原分佈於華南及台灣之大範圍高相對溼度區亦轉變為伴隨風切之狹長帶狀分布，南風取代了台灣東方洋面之東風氣流，該區相對溼度此時已降至80%以下；由紅外線衛星雲圖可知，當日中緯度系統正逐漸生成並快速東移。

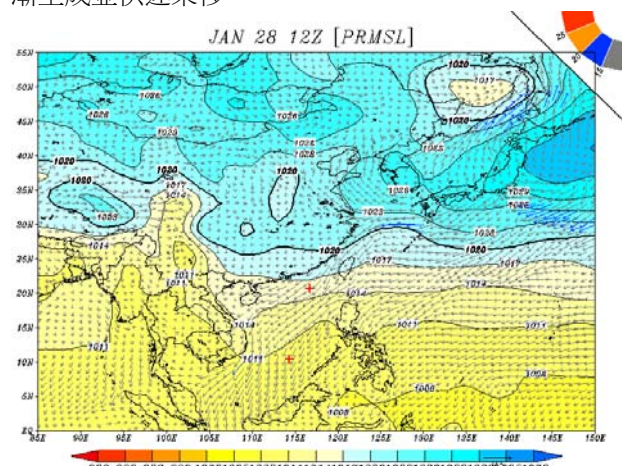
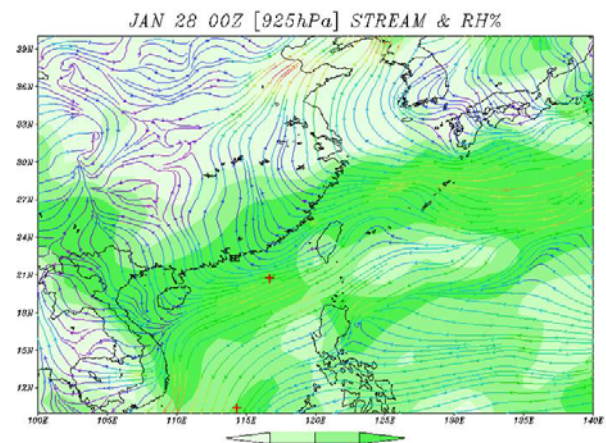
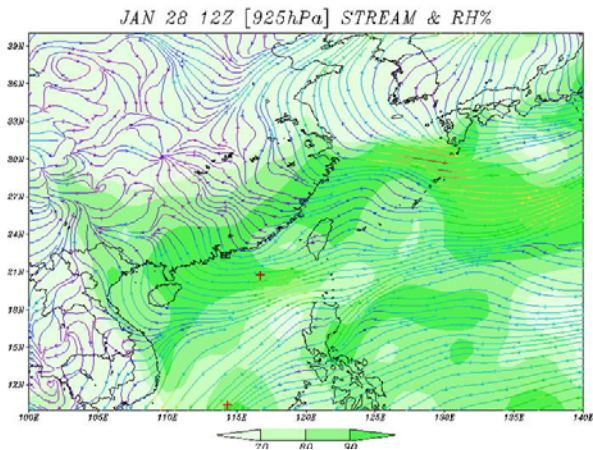


圖2 2009年元月28日12 UTC地面天氣分析圖。圖中實線為等壓線，地面風場亦繪製於圖中。

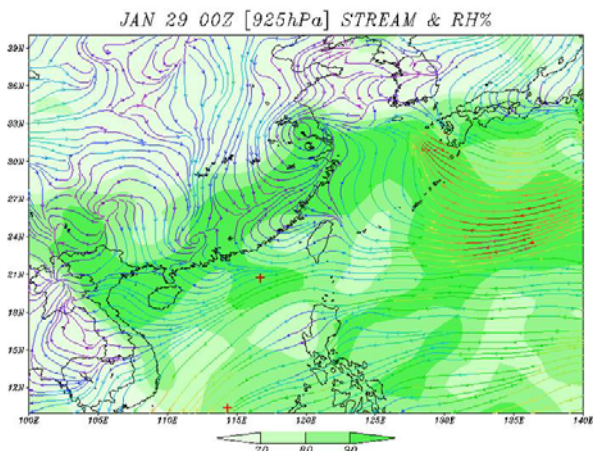
(a)



(b)



(c)



(d)

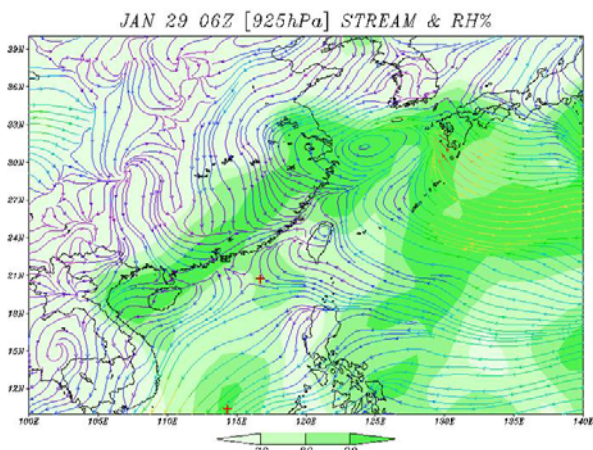


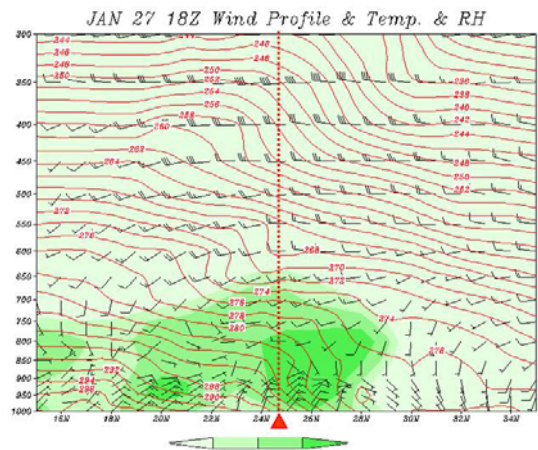
圖3 個案期間925 hPa氣流線及相對溼度場配置圖。
(a) 2009年元月28日00 UTC；(b) 元月28日12 UTC；(c) 元月29日00 UTC；(b) 元月29日06 UTC。

分析個案期間馬公探空測站之斜溫圖顯示（圖略）：27日00 UTC共計有三層逆溫現象分別分佈於925 hPa、750 hPa及550 hPa附近；當日12 UTC，400 hPa附近出現另一逆溫層，其下層逆溫逐漸向地面沉降，且此現象持續至28日00 UTC。進一步觀察對流

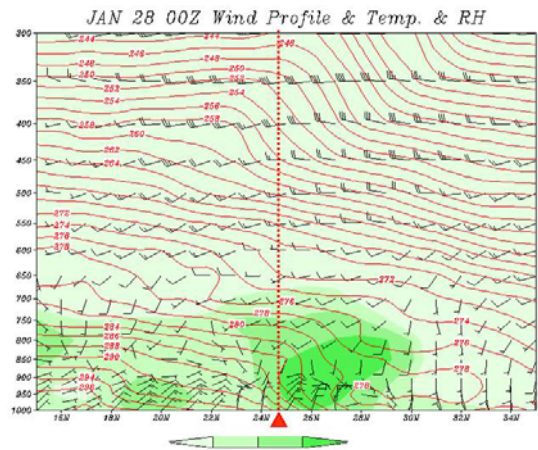
可用位能及各項穩定度指數演變，發現自27日00 UTC至28日00 UTC，大氣層結穩定度呈現逐漸上升之趨勢。從高空風場觀之，個案期間近地面之風場均維持北向風系，中高層則屬於偏西向風，直至29日00 UTC，700 hPa至600 hPa空層出現風場隨高度逆轉之分佈特徵，顯見當時該空層有冷平流存在，且自28日12 UTC起，高空逆溫強度出現逐漸減弱之趨勢。

檢驗位溫、風場及相對溼度垂直剖面時序圖（如圖4），自27日18 UTC起，清泉崗機場北面及其以南於900 hPa空層以下均為北向風場，相對溼度超過90%之高值區分佈於機場北側；另一方面，等位溫線於機場北面亦形成一冷鼻，說明27日18 UTC至28日18 UTC期間，該區熱力垂直結構呈現上熱下冷型態，屬於穩定大氣型態，且高相對溼度區有侷限於逆溫層頂以下之顯著特徵。配合垂直運動垂直剖面分析（如圖5），發現27日日間，下沉運動區位於台灣北部地區，清泉崗機場上空均屬於上升運動分佈；晚間（12 UTC）起，當地900 hPa以上空層逐漸為下沉運動取代，隔日（28日）06 UTC近地面層原位於機場北側下沉運動區亦南移至當地；由此可知，無論由熱力或動力層面來分析本個案環境特性，均可論證當時為高度穩定之大氣層結條件。

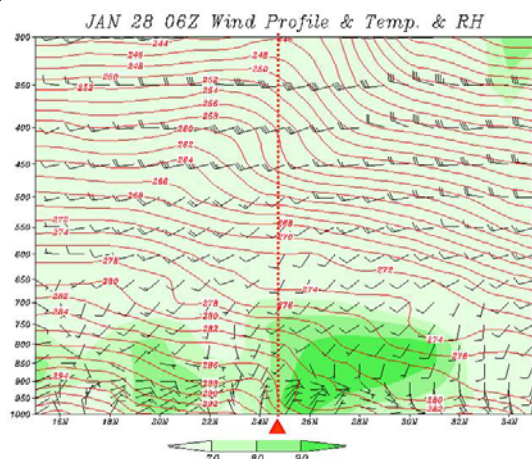
(a)



(b)



(c)



(d)

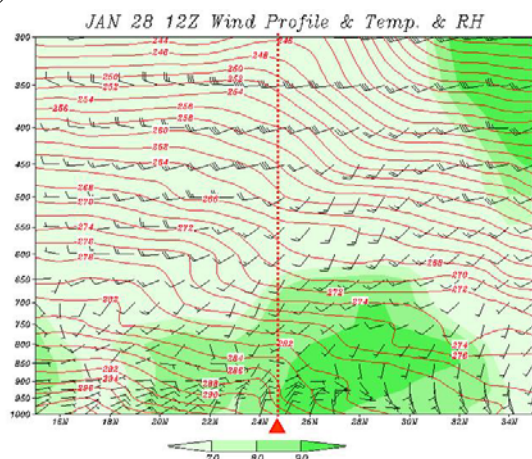


圖4 風場、位溫及相對溼度垂直剖面圖。(a) 2009年元月27日18 UTC；(b) 元月28日00 UTC；(c) 元月28日06 UTC；(d) 元月28日12 UTC。此圖為延東經120.37度延線垂直剖面，紅色三角形為清泉崗機場所在位置。

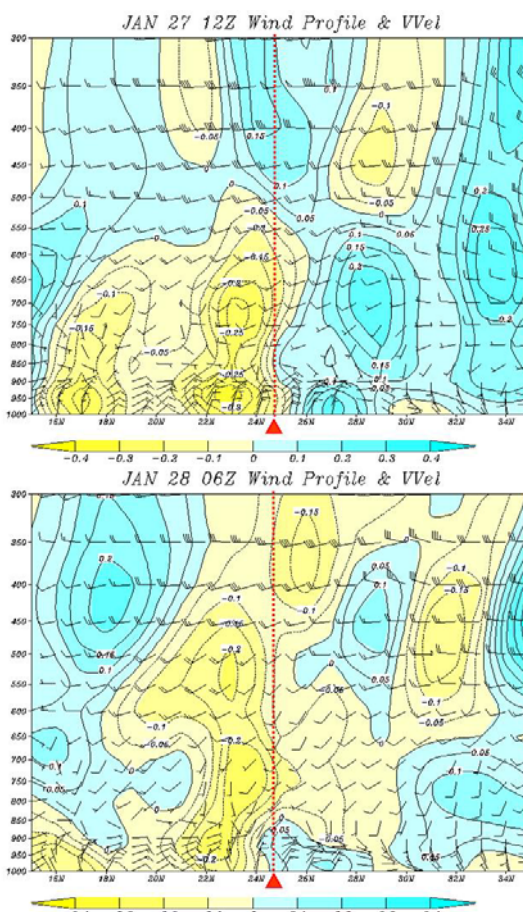
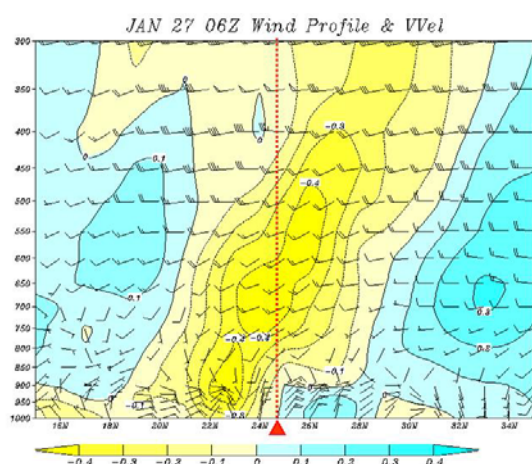


圖5 風場及垂直運動剖面圖，等直線為垂直運動分布（單位：pa/s）。(a) 2009年元月27日06 UTC；(b) 元月27日12 UTC；(c) 元月28日06 UTC。此圖為延東經120.37度延線垂直剖面，紅色三角形為清泉崗機場所在位置。

在前述各項特徵中值得一提的是：清泉崗機場能見度的下降伴隨著風速的增強與雲幕降低的情形，均與輻射霧產生時的特徵背道而馳，故可排除輻射霧的可能性，並可進一步推論平流效應為造成此次個案的主因之一。

24日及25日影響台灣地區之大陸冷高壓東移出海變性後，其南側東風氣流為台灣中北部帶來充沛之水氣；另一方面，28日台灣週邊之地面等壓線由緯向配置逐漸調整為經向配置，西半部之風場因而轉為北向風系，由北方南下之冷空氣與原位於台灣中部的暖濕空氣混合後，勢必加速空氣中水氣凝結的現象，進而產生低雲幕及能見度下降之結果。就綜觀系統角度而言，此個案並非典型冬季鋒面過境後，東北季風所帶來的低能見度與低雲幕，而是屬於高壓迴流系統遠離，鋒面系統生成前暖區與小股冷空氣混合下產生的結果。

此外，從斜溫圖之分析中可知，逆溫層的形成為當地低雲幕提供了有利的大氣穩定層結條件，將冷暖空氣的混合作用侷限於行星邊界層內。經分析，

此個案期間之垂直運動具有日變化，日間地面因加熱增暖，易出現上升運動，故其逆溫之維持需高層暖平流的配合；如前文所述，在29日00 UTC大氣垂直結構中，可研判於700至600 hPa空層中存在冷平流，此條件明顯破壞台灣中部地區之大氣穩定性，亦使低能見度現象無法繼續維持。

根據雲幕及能見度的時序變化分析，顯示在清泉崗機場產生濃霧現象前，桃園及新竹機場地面觀測已陸續出現相同情形，惟未造成能見度低於飛行器起降標準之結果。造成此項差異的主要原因，可歸咎於地理環境之因素。清泉崗機場位於大度台地西北角，海拔高度約500呎，當挾帶充沛水氣之北風遇地形抬昇後，勢必產生降溫效應，而蘊藏於空氣中的水氣亦將進一步凝結。

四、結論

綜合以上所述，造成本次清泉崗機場於午後時段出現能見度低於飛行器儀器起降標準的主要原因可歸納如下：（一）中緯度系統生成的過程中，其前緣的偏東向風場持續由西北太平洋西傳，使華南及台灣中部以北地區大範圍區域充斥暖濕空氣；（二）近地面層等壓線轉為經向配置，導致淺薄冷空氣自北向南傳送，將其上層之暖濕空氣冷卻凝結，產生低雲幕及能見度降低現象；（三）逆溫層的形成為平流霧形成了有利的層結條件，將水氣凝結之過程侷限在有限範圍內；（四）日間之高層暖平流維持了垂直大氣的逆溫結構，使個案發生期間均處於穩定成層條件之下；（五）清泉崗機場位處大度台地地形，使低雲移入後進一步遭抬昇並凝結出更大量之水氣，造成當地能見度明顯低於台灣北部的觀測結果。

參考文獻

- 宋潤田等，2001：“一次平流霧邊界層風場和溫度場特徵及其逆溫控制因子的分析”，熱帶氣象學報，第17卷，第4期，443-451。
- 俞家忠，1980：“臺灣地區濃霧之初步研究”，氣象預報與分析，第82期，1-20。
- 梁愛民等，2008：“北京地區平流霧數值模擬分析”，海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會論文集，57-64。
- 楊志文，2008：“淺談農曆春節（一、二月）桃園機場大霧成因”，飛航天氣，第9期，4-11。
- 劉昭民，2008：“惡劣天氣與直昇機飛行安全—以九十六年四月三日陸軍直升失事事件為例”，第10期，3-7。
- Clarke, D. A., 1995: “Characterizing the causes of low ceiling and visibility at U.S. airports”, Preprints of the 6th