

# 岡山地區低能見度探討

李佩蓉 李志航

空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心

## 摘要

岡山機場位於高雄市岡山區，因政治與歷史背景，自日治時期至今均為臺灣重要的機場，國民政府撤退來臺後，空軍官校更設立在此，岡山地區成為空軍飛行文化的搖籃，孕育無數空軍雛鷹健兒，顯見岡山機場之性質多元且身負重責。天氣預報及觀測作業對飛行科目及任務，佔有極其重要之地位，其中能見度對於飛航安全更是有高度的風險因子，且岡山機場為飛行員的第一個學習飛行場地，故能見度禁航標準遠較戰鬥機場高。本研究藉由分析岡山機場近5年(民國104年10月~108年4月)易發生濃霧(能見度小於3,200公尺)月份(10月~4月)之地面氣象觀測資料，並納入細懸浮微粒指數比對能見度變化，來了解岡山地區氣候特性，作為氣象人員預報之參考，進而提供更精準之氣象預報服務，使機場各項訓練任務能順遂執行。

**關鍵字：**岡山機場、能見度、霧季、細懸浮微粒。

## 1. 前言

岡山機場位於高雄市岡山區內，飛行訓練繁重，因此對於氣象觀測與預報需求甚盛。因此本研究藉由統計岡山機場民國104年10月至108年4月共5年之觀測資料，來了解岡山機場發生濃霧特性，以提供氣象人員預報上之參考。

岡山機場冬季常見濃霧造成低能見度，不僅影響戰機訓練成效，更造成飛安風險提升。岡山機場為空軍飛行員培育之重要搖籃，飛行訓練任務較為繁重，且因飛行員尚在培訓，故能見度標準遠高於一般戰機機場(能見度1,600公尺)，而機場冬季常因濃霧天氣影響飛行任務。現行氣象預報人員值班時所用來預測低能見度發生機率之「濃霧校驗表」預報準確率約50%，無法有效掌握低能見度發生機率。

臺灣地區近年因人口都市化及工商業日漸發達，空氣汙染情形也日益嚴重，一般大氣懸浮微粒主要來自道路揚塵、汽機車廢氣、露天燃燒等因素，經人體呼吸系統吸入後，容易引起或增加呼吸道及心血管等疾病發生。特別是臺灣南部地區因工廠產生之廢氣、汽機車廢氣等因素，加上其氣候地理條件，易形成不利空氣汙染物擴散之環境，導致空氣品質較差，進而危害該地區居民之身體健康。

大氣中原本就存在多種懸浮微粒，有的是原生粒子(如地面揚塵)，有的是人為的汙染物，另外高壓迴流伴隨流經寬廣洋面的氣流，還會透過氣泡爆裂(Bubble burst)過程提供大氣海鹽成分，將更增加大氣中的懸浮微粒數量，如果其中雲凝結核(cloud condensation nuclei, 簡稱CCN)

數量足夠，就有機會成為懸浮微粒發揮作用的有利環境，但就算有懸浮微粒或CCN，它們靠什麼機制聚集在臺灣中南部呢？雖然到目前為止，還未見有完整對臺灣在冬季季風影響下的局部環流相關報告，但從眾多文獻中，我們都已熟知氣流遇地形阻擋，有機會在背風面形成尾流區(wake zone)，甚至是低壓或渦旋等。

針對冬季臺灣附近流場與大氣傳送個案所作的數值研究亦指出，在東北風的吹襲下，東北部沿海的污染物，從排放後會順著低層風場沿山脈兩側向南傳送，絕大部份的污染物集中於800hPa以下的低層大氣，且受背風面合流效應及西南部外海的局部低壓作用，污染物易於南臺灣外海堆積。

本文將針對岡山機場之「濃霧校驗表」，驗證各影響能見度之參數，並加入近年空汙指標，望能有效輔助預報人員判斷其濃霧發生之機率，以減少因濃霧停止訓練所肇生相關成本，並維護飛航安全。

## 2. 文獻探討

### 2.1 南部地區低能見度特性

在機場的統計方面：陳(2011)研究高雄國際機場冬季低能見度(視障)天氣成因探究，顯示高雄國際機場因霧發生低能見度的天氣系統只有二種：大陸冷高壓變性迴流型和大陸冷高壓東北季風型。有利高雄國際機場清晨出現輻射霧之大氣條件為：1.當大陸冷高壓出海變性迴流或其冷氣流自北南下西轉經太平洋低緯度暖水面到達臺灣；2.臺灣南部夜間低層盛行5KT以下的微弱偏東風；3.850hPa高空圖上出現鞍型場

或東西向高壓脊，且無明顯的冷暖平流現象，同時12Z探空2,500呎以下臺灣南部地區出現絕對穩定之大氣條件時；4.入夜11時(15Z)後高雄國際機場能見度降至5,000公尺以下，溫度介於20~24°C之間，雲量為疏雲且風速低於6KT以下。臺灣西部及外島地區低能見度環境特徵分析及模擬。廖等人(2017)分別以本島西部地區1~3月及外島2~5月為基礎，統計濃霧發生期間各測站之氣象要素特徵，以了解成霧時的區域特性，進而建立霧時預測參考指標。

童(2014)分析霧的預報技巧—霧季檢查表及即時測報，利用霧季檢查表將個人長期對臺灣地區春季大霧的預報經驗嘗試加以量化，主要構想是將有利起霧的因子，藉由定量比對的運算，客觀判斷是否會起霧。2012年12月完成程式撰寫，2013年上線測試效果良好，經部分微調2014年再度作業測試，並於天氣發生後利用此工具檢視未預報及過度預報原因，以進行準確率校驗。閻(2013)將2013年霧季檢查表的預報結果與實際機場天氣做比對，校驗統計結果顯示，1-5月的準確預報比例高達96.64%，未預報到及過度預報的比例分別為0.67%及3.35%，顯示此檢查表具有一定的參考價值。

許與侯(1995)分析海風環流與陸地對流邊界層交互影響之數值研究，海風環流與陸地邊界層之間交互影響顯著，白天陸地邊界層的發展在海岸地區引發了海風環流，海風環流向內陸伸展時又改變了陸地邊界層的結構，同時海風鋒面在遭遇陸地邊界層內的對流胞時，也因為此兩種不同尺度運動交互作用而產生週期性的變化。

區域空氣擴散數值模式之應用研究，模擬結果顯示，在複雜地形流場下，臺北、臺中、高雄三大都會區污染源對其山脈背風區或平地下風區皆有相當大的污染潛勢。柳等人(1997)針對懸浮微粒衰減直達太陽輻射研究：1995年2~3月臺南永康監測分析，探討晴日時，大氣中懸浮微粒之大氣混濁度的方法，同時探究近地面懸浮微粒對衰減直達太陽輻射之重要性。吳與吳(1998)分析大氣邊界層污染物擴散之日夜變化，顯示大氣邊界層具有強烈的日夜變化特性，在大氣邊界層內污染物的擴散，會受到這種大氣熱力結構及動力狀態日夜變化強烈的影響。

因此本研究想藉由統計過去（2015年10月至2019年4月）5年霧季的觀測資料，來針對岡山機場產生濃霧之校驗項目分析，並參考鄰近機場(臺南、屏東機場)濃霧校驗表、論文研究之霧季檢查表項次及懸浮粒子濃度資料，預劃新增項目，以提供機場天氣預報之參考。

## 2.2 大氣懸浮微粒之來源

根據Qu et al.(2006)研究指出，東亞地區沙塵暴，可藉由強風及高壓系統傳遞至鄰近臺灣、日本及韓國等國家，甚至可以穿越太平洋傳播到美國西部，故在臺灣常見的沙塵暴係由大陸高壓系統將沙塵經氣流長程傳送至臺灣。

大氣中懸浮微粒之來源(如圖1)可區分為自然產生及人為排放，自然產生例如：裸露地表揚塵、海洋飛沫、森林大火；人為排放則包括火力發電廠、焚化爐、冶煉工廠、交通運輸及工廠煙道。

雖然大陸地區大氣中之污染物也是臺灣地區懸浮微粒來源之一，但70%污染物來源仍是來自本地的汽、機車及工業工程的排放造成，當冬季來臨時，大陸冷高壓勢力南壓，大量懸浮微粒因受大氣邊界層效應影響，懸浮微粒被侷限在地面的時間增長，加上在不利擴散或傳輸的氣象條件下，使得空氣中懸浮微粒之濃度增加，造成臺灣南部於冬季期間之空氣品質較差也是影響主因。

## 2.3 細懸浮微粒對人體之影響

本大氣細懸浮微粒的濃度情況對人類戶外活動具有相當之影響性，尤其是PM2.5以下的微粒對人體健康的影響最甚，故我國行政院環保署制定細懸浮微粒指標對照表與活動建議表(如表1)。

目前許多心肺功能疾病的調查也是針對懸浮微粒濃度與粒徑大小來做探討，所以懸浮微粒的物化特性、成份及其粒徑分布情況，已成為目前相當重視的研究。大氣懸浮微粒經由人體呼吸系統進入人體而沈澱累積，且不同之粒徑會造成微粒沈澱位置不同，造成傷害性也截然不同。微粒主要是造成肺部發炎反應，影響肺部對外來異物之清除能力，降低肺部換氣功能，造成肺部及呼吸道功能損傷。

專家學者把PM2.5的健康影響分成短期與長期二個部份來探討。短期影響是指在24小時到1週內的健康損害情況，長期影響就是數個月或數年間的時間範圍。世界衛生組織指出，細懸浮微粒的健康影響中，包括人體呼吸道與心血管疾病的發生和死亡情況，例如使得氣喘惡化、肺功能

降低、出現呼吸道疾病症狀、增加生病住院的機會、心肺疾病死亡率提高、肺癌死亡率升高，歐洲的大型研究也證實會造成人類壽命減少和早產。

## 2.4 冬季逆溫層成因

從大氣的運動下可分為三種不同的尺度(如圖2)：(1)主環流(Primary circulation)：主環流係指全球性的風系，環繞地球表面形成大尺度的對流帶。(2)次環流(Secondary circulation)：次環流的規模較主環流小，譬如：季風、鋒面、氣旋和反氣旋等。(3)局部環流(Local circulation)：局部環流係指小區域的氣流運動，譬如海陸風、山谷風及龍捲風等。

另外，在大氣的垂直結構上又可分為(如圖3)：(1)熱氣層(2)中氣層(3)平流層(4)對流層；對流層的厚度會隨緯度和季節而變，主要的天氣變化大多發生在此層。對流層內的溫度會隨高度增加而遞減，對流層頂的氣溫約為 $-55^{\circ}\text{C}$ 。對流層(Troposphere)對流層中最接近地表500公尺~1,000公尺範圍的氣流運動會受到地表的影響，屬於邊界層流(Boundary layer flow)，稱為大氣邊界層(Atmospheric boundary layer, ABL)或星球邊界層(Planetary boundary layer, PBL)，因為人類的活動大多侷限於此範圍之內，故主要以該層做為主要探討，在此範圍內的PM2.5與邊界層在不同天氣形態下的濃度反應。

依據卜桑(Poisson)方程式可以定義位溫(Potential temperature)。依據位溫的垂直向梯度 $d\theta/dz$ 可將大氣穩定度(Atmospheric stability)分為以下三種狀態(如圖4)：(一)不

穩定狀態(Unstable condition)：位溫的梯度 $d\theta/dz < 0$ ，在此大氣狀態下，垂向擴散快速。(二)穩定狀態(Stable condition)：當位溫的梯度 $d\theta/dz > 0$ ，在此大氣狀態下，擴散十分緩慢。(三)中性狀態(Neutral condition)：當位溫的梯度 $d\theta/dz = 0$ ，表示空氣密度的垂向分佈十分均勻，空氣的流動和擴散皆不受穩定程度的影響。

由上可得知位溫梯度與擴散效應的速度呈反比曲線，另外再分析逆溫情況下的比較。以季節區分，冬季主要受大陸冷高壓影響，近地面層形成逆溫的機率最大，可說明南部地區在冬季空氣品質較為嚴重之主因；而相對地，夏季型態其發生的機率較低，從此可看出空氣品質(擴散效果)與逆溫效果呈正比關係。

## 3. 岡山地區氣候資料分析

### 3.1 岡山機場地理位置

岡山基地位於北緯22.4度，東經120.1度，其東北方10公里為大崗山，東北東方8公里為小崗山，正東方16至25公里即為中央山脈山區，東面為丘陵地形，南方16公里為高雄壽山，西南方2.4公里有深底山，且其位置距海岸線最近距離約7公里(如圖5)，位海陸交界之處，又因地理環境較為平坦，夜間至清晨輻射冷卻亦為明顯，天氣變化深受地形效應影響。

本研究收集岡山基地測站民國104年10月至108年4年共5年之機場定時天氣報告(METAR)統計資料進行分析，分析資料內含以下之氣象參數：觀測日期、時間、風向、風速、陣風、天空狀況、天氣現象、溫度、露點、QNH高度表撥定值、時雨量...

機場定時天氣報告(METAR)資料中,風場(包含風向與風速)為觀測時間內之十分鐘平均。本研究所使用資料,均以每日正點來加以分析,未濾除半點資訊與特別觀測之風場資料,依照月份累加方式表示,來顯示出機場的氣候特徵。

再將上述所找出之要素,與發生濃霧(能見度小於3,200公尺)之日期時段,比較其當日各要素相符情況,進而取出權重。參考地形因素、區域汙染情況、海陸風效應等,調整比重。

在資料分析方面,分別以校驗表上項目(原項目及新增項目),使用相關觀測資料或地面及高空圖表進行分析。就地面觀測資料的參數而言,藉由相同時間(前一日12Z)之風向風速等的分布頻率,可以了解到,岡山機場於濃霧發生前,風向(速)等參數可參考性。就地面圖、高空圖及斜溫圖而言,將分析(前一日12Z)之校驗表項目,來探討其項目之參考性。而以懸浮微粒進行分析,其濃度影響低能見度發生機率。將各校驗項目以圖表方式表示,其項目符合情形,分析其校驗項目的可用性。

另針對南部地區為歷年細懸浮微粒PM<sub>2.5</sub>濃度分布較高地區,而本文初步先以高雄地區為分析區域,主要原因是因周遭鄰近多處石化業林立,屬高汙染工業區,均容易導致空氣中細懸浮微粒濃度增高之特性。本研究樣本為行政院環保署設立之大氣空氣品質監測站資料,並針對高雄地區鄰近測站選定橋頭、楠梓及鳳山作為資料來源分析,相關地理位置(如圖6)。

### 3.2 統計分析

分析岡山機場近5年1~4月及10~12月共1182日資料中,能見度低於5,000公尺共614日,低於3,200公尺共163日,因岡山機場禁行標準為3,200公尺(不含),故此次研究著重分析能見度低於3,200公尺天數,其直方圖方式表示如圖7,顯示岡山機場霧季發生濃霧次數每月約1次以上,最高達18次。

分析岡山機場近5年1~4月及10~12月能見度低於3,200公尺當日天氣系統,以圓餅圖方式表示如圖8,顯示岡山機場霧季發生濃霧天氣系統大致分別為鋒面接近或華南雲帶(約佔33%)、高壓迴流(約佔21%)、其他(東北季風、大陸冷氣團等約45%)及分裂高壓(約佔1%)。

### 3.3 現行校驗表分析

從岡山機場現行校驗表如表2,僅針對夜間20時之觀測數據,依校驗表內各項次符合情況予以勾選,符合次數越多即越有可能發生能見度低於3,200公尺的情況,並未予以權重或更嚴謹之數據參考標準;另參考鄰近機場(臺南、屏東機場)濃霧校驗表、論文研究之霧季檢查表項次及懸浮粒子濃度資料分析,預劃新增項目如表3。

於此節針對現行校驗表項目,分析近5年霧季資料,低於3,200公尺127日個案中之前一晚20時觀測資料,統計符合項次分布情況,以訂定須修正之項次,進而做權重分配,第1項風向320-040符合情況約佔83%,設立該項次原因為依據氣候統計資料中,低能見度好發時於前一晚20時風向在320-040之符合情況偏高,故研判本項次仍具有參考性,故不予以修正並廢續校驗。

第2項地面(SFC)風速 $<10KT$ 符合情況約佔98%，該項設立原因為夜間風速若低，則不利大氣擴散，有利於水氣凝結，故此項不予以刪除，賡續納入校驗。

第3項為 $SFC < 21^{\circ}C$ ，符合該項次數約佔50%，設立該項次主要因為依據氣候統計資料，岡山機場過去霧季平均溫度約為20度，惟未考慮霧季各月平均溫度不一，落差較大，故該項次應依各月統計溫度予以修正，分析及修正情況分12~3月份及4~11月份，其符合次數約70%(12~3月)及62%(4~11月)，建議將此項目修正為 $T \geq 18^{\circ}C$ (12~3月)； $T \geq 23^{\circ}C$ (4~11月)，賡續納入校驗。

第4項為SFC 溫度露點差( $T-TD$ ) $<5$ 度，符合情況約佔81%，設立該項次係因水氣凝結相對濕度須達到75%以上，換算溫度露點差約為5度，故不予以修正並賡續校驗。

第5項為850hPa  $T-TD < 4^{\circ}C$ ，符合情況約佔68%，設立該項次原因為依據過去氣候統計資料中，低能見度好發時於該空層易有溫度露點差小於4度之情況，雖本項次統計情況具有參考性，但假定地面相對濕度達75%，其相對濕度到達850hPa應呈降低趨勢，故將該項次修訂為850hPa  $T-TD < 6^{\circ}C$ ，符合情況約佔77%，建議將此項目修正為850hPa  $T-TD < 6^{\circ}C$ ，並賡續納入校驗。

第6項天空狀況為稀疏雲符合情況約佔44%，該項設定原因為藉由夜間雲量，判斷當晚輻射冷卻效應是否造成隔日晨間低能見度，但因符合情況不理想，主要原因為該項目僅針對冬季屬東北季風系統之預報參考，若屬鋒面或高壓迴流系統時，

無法有效預判夜間輻射冷卻效果，故將163日扣除鋒面或高壓迴流天氣系統案例，加以分析，符合情況僅佔28%，故該項應予以刪除。

分析濃霧前一日天氣系統，現行校驗表第7至9項比例(如表4)，三種天氣系統(包含鋒面過境、鋒前暖區及高壓迴流)總共佔約61%，雖比例不低，但其他天氣系統(如東北季風等)比例佔39%之多，不可忽略，故分析預劃新增項目「地面圖等壓線呈東西走向」(表2第2項)，符合項目約佔46%，因若個案為鋒面天氣系統時，「地面圖等壓線呈東西走向」不具參考價值，故將鋒面天氣系統排除分析，剩餘個案符合次數約佔78%，並建議將現行校驗表第9項「高壓中心位於日本，屬極地大陸氣團變性-熱帶海洋氣團(CPK-MT)之變性高壓迴流」修訂為「地面圖等壓線呈東西走向(非鋒面系統)」，並將第7至9項合併為一大項，即此三大類天氣系統易發生濃霧。

### 3.4 預劃新增校驗表項目分析

於此節針對校驗表預劃新增項目，分析近5年霧季資料，低於3,200公尺163日個案中之前一晚20時觀測資料，統計符合項次分布情況，以訂定須修正之項次，進而做權重分配，第1項為日夜溫差分析，分別設定「 $T(14L)-T(24L) > 6^{\circ}C$ 」及「 $T(14L)-T(24L) > 4^{\circ}C$ 」，其符合情況約佔31%及68%，設立該項次原因為依據氣候統計資料中，低能見度好發時於前一天14時和24時之日夜溫差在大於 $4^{\circ}C$ 符合情況偏高，故研判本項次仍具有參考性，新增「 $T(14L)-T(24L) > 4^{\circ}C$ 」項目並賡續校驗。

第2至3項為地面圖資料分析，分別設定「高壓中心數值 $\leq 1022\text{hPa}$ 」，其符合情況約佔8%；「地面鋒面或風切變線」，其符合情況約佔36%，設立該項次原因為依據氣候統計資料中，低能見度好發時於前一天20時地面圖針對其影響天氣之高壓中心數值及鋒面系統分析符合情況，因符合情況偏低，故研判第2至3項次不具參考性，建議不新增此二項目，後續賡續校驗其參考性。

第4至7項為高空圖資料分析，分別設定「925hPa-是否有噴流」，其符合情況約佔31%；「925hPa-是否有鋒面或風切線」，其符合情況約佔38%；「850hPa-是否有噴流」，其符合情況約佔17%；「850hPa-是否有鋒面或風切線」，其符合情況約佔46%，設立該項次原因為依據氣候統計資料中，低能見度好發時於前一天20時高空圖(925hPa及850hPa)針對其空層噴流及鋒面系統符合情況分析，因符合情況偏低，故研判第4至7項次不具參考性，建議不新增此四項目，後續賡續校驗其參考性。

第8至11項為斜溫圖資料分析，分別設定「斜溫圖5,000呎以下是否南至西南風，風速 $< 10\text{KT}$ 」，其符合情況約佔49%；「斜溫圖8,000呎以下是否西北至西南，風速 $< 20\text{KT}$ 」，其符合情況約佔80%；「由斜溫圖分析-底層(850hPa以下)是否有逆溫層」，其符合情況約佔50%；「由斜溫圖分析-底層(850hPa以下)是否有冷、暖平流」，其符合情況約佔59%，設立該項次原因為依據氣候統計資料中，低能見度好發時於前一天20時屏東探空圖，針對其近底層至高層資料符合情況分析，其符合機

率較高項目(大於50%)共計兩項，分別為「斜溫圖8,000呎以下是否西北至西南，風速 $< 20\text{KT}$ 」及「由斜溫圖分析-底層(850hPa以下)是否有冷、暖平流」，故研判第9項和第11項具參考性，建議此兩項目並賡續校驗。

第12項為懸浮微粒資料分析，設定「 $\text{PM}_{2.5} > 36\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，隔日有濃霧」，其符合情況約佔69%，設立該項次原因為依據空氣汙染AQI指標中，分析低能見度好發時於前一天20時鄰近測站(橋頭站)針對 $\text{PM}_{2.5}$ 懸浮微粒濃度，取濃度大於中度 $36\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)以上資料，針對其符合情況分析，該項設立原因為夜間若懸浮微粒濃度為中度以上，空氣中的水分子易吸附於粒子上，有利於水氣凝結，故此項建議納入新增，賡續納入校驗。

預劃新增校驗項目綜合上述分析後，其結果綜整如表6，建議第1、10、12、13項予以新增，第2項修訂並納入原校驗表項目第9項。

### 3.5 校驗表項目修訂及權重分配

經第二、三節校驗項目分析後，考量岡山機場霧產生原因以輻射霧、平流霧及平流輻射霧最為常見，並且多發生在冬季和春季。研判產生濃霧的原因以天氣系統、地面相對濕度、風速及空氣汙染程度關聯較大，修定其保留校驗項目之權重比，如表7。

用已修調後之校驗表，反推其有霧天氣，其中163筆內僅12筆分數未高於60分(命中率達92.6%)，31筆未高於70分(命中率達81%)，但仍需持續校驗其成果，

加以驗證。

#### 4. 研究內容推論

根據飛航安全統計顯示，低能見度是威脅飛航安全的重要原因之一；經驗也告訴我們，冬、春兩季每當清晨出現濃霧時，預報員都曾面臨難以下決策的困擾。霧的成因及型態很多，舉例而言，海洋性層積雲會過渡成霧，海水溫差會形成海霧，冷氣團變性更是我們最熟悉的原因，有關於霧的原理、診斷及預報，本軍先進亦著墨不少。然而霧是雲物理與邊界層交互作用的問題，會受綜觀天氣系統、殘留與夜間邊界層的發展、凝結核的分布、低層垂直風切、局部地形、輻射收支、以及土壤過程或下墊面特性等直接影響，所以單靠分析天氣圖是不能完全滿足的。

霧對本軍任務的執行影響極大，其出現時間、地點，以及發展、消散過程的掌握，就成為軍事氣象預報重點所在。本文透過地面觀測資料，結合環保署空氣品質監測資料、以及我們對綜觀天氣、地形作用、局部環流發展與雲物理的知識來進行探討。我們將個案中所經歷到的特徵，從雲物理的角度加以詮釋，企圖歸納出一個未來在作業上可以參考的概念模式，雖然這個主觀的概念還沒有經過量化的驗證，但為合理的推論演繹；我們期待藉此個案的討論，能夠具體化某些濃霧出現的過程，並利用新的濃霧校驗表得到更為數據化及提升預報準確率，降低飛行部隊訓練之環境風險指數。

至於該如何把個案所經驗到的各項特徵，包括大至綜觀天氣、小到局部氣流場

與天氣現象演變、甚至微小到懸浮微粒的分布與濃度等，組織成為完整的概念模式呢？在下列，我們先把「有關霧的成因」的各種成見，像是平流霧、輻射霧等想法暫時保留，單純從細小雲滴的成長過程來討論霧的發生，最後將說明一些尚待評估、或是在現行預報作業流程中，暫時無法解析或收集的資訊，對霧預報成敗所可能造成的影響。

如果我們要探討的低能見度，是指一般狀況下由雲霧所造成的低能見度，那麼我們應該要先了解一下細小雲滴的長大過程，也就是藉由柯勒（Köhler）方程所描述的過程；其實探討細小雲滴的成長，應該要先看純水雲滴與濕空氣間平衡的凱爾文（Kelvin）方程，凱爾文方程指的是「在相同的溫度下，一個球面水面的飽和蒸氣壓，應大於平面水面的飽和蒸氣壓」；先不管雲滴表面是球面或平面的，總是要在環境的蒸氣壓大於水表面蒸氣壓的情形下，細小雲滴才能夠繼續長大，但是我們都知道，即使相對濕度達到100%，也只不過代表環境的蒸氣壓剛好和平面水面的飽和蒸氣壓相等而已，因此對於表面是球面的雲滴而言，100%的相對濕度其實並沒有達到飽和，所以純水雲滴在一般的大氣環境中，應該是要蒸發掉的。

但由於大氣中富含化學物質，這裡的細小雲滴其實並不會是純水雲滴，而是在純水中溶解了溶質的溶液液滴，由於雲滴是溶液，而溶液具有活性，活性會修正凱爾文方程，再加上溶質分子往往會解離成多個離子，所以溶液液滴表面飽和蒸氣壓（如圖9曲線2、3為不同溶液液滴飽和比隨



液滴半徑之變化)不再像純水雲滴那樣大(如圖9曲線1為純水雲滴飽和比隨雲滴半徑之變化),柯勒方程所描述的,正是溶液液滴和濕空氣間的平衡結果。

穩定平衡區內的另一個重要性質,就在於即使飽和比小於1,也就是環境相對溼度降至100%以下時,液滴仍有機會處於平衡狀態,這些溶液液滴只會變小卻不會蒸發消失,同樣的,即使處於偏低相對溼度環境中的極小液滴,也會因相對溼度的提高而成長,這個性質,正是我們要用來說明濃霧之所以發生的重要依據。

文中尚有許多需要進一步說明之處,例如:1.本文引用環保署資料中的懸浮微粒係特指PM10(單位為而非濃度),也就是粒徑在10 $\mu\text{m}$ (微米)以下的粒子,主要來源有地面揚塵、車輛廢氣、露天燃燒、營建施工及農地耕作等,但其中並非全都適合成長為雲滴,較適合的主要成分為PM2.5甚至是PM1。2.本聯隊接收中解析度成像分光輻射計(MODIS)資料,並運用美國太空總署(NASA)所提供之反演式,可概略將氣溶膠(aerosol)成分區分為五大類,亦可估算出光學厚度(optical depth),但距離可用以直接判定粒子的化學成分,以及粒子分布的高度,中間的關聯性還沒有定論,在技術上尚有相當大的發展空間。此外,氣溶膠直接或間接均影響地表短波輻射收支,左右天氣或氣候變化,近來已越來越受到重視,值得注意。3.霧和雲的物理過程其實都一樣,只是降溫的原因及位置不同,從這個角度來看,如果雲的發生與消散是我們所不易掌握的,那麼想要成功的預報霧的過程又何其容易!就「雲」而言,CCN的粒

徑分布及空氣上升速度是主宰雲滴成長的主要機制,對「霧」而言,上升速度的重要性則應由冷卻率所取代。

## 5. 結論

由於懸浮微粒的多變與複雜,目前大氣科學界還無法完整掌握氣膠粒子的時空分布、成分、光學、微物理特性,推估未來氣候時,氣膠與雲之間的交互作用甚至成為一個主要的不確定性來源。無論在環境、社會或氣候領域,都還有許多與「霧」、「霾」相關的陰霾與迷霧,需要共同努力面對與揭露。且霧的演化,決定於可感熱與水氣的分布,與邊界層內穩定度、風切、輻射等息息相關,要掌握這些因素,不但需要龐大的資料庫統計數據、更需要完整的氣候統計資料。在本研究中,我們僅採用過去5年的冬季天氣資料,並未納入更多數據做為探討,更沒有評估對流或穩定邊界層的發展等,這些資訊是想為類似的濃霧個案找出可能原因,也可以說是藉由近年的數據統計,歸納出更為精確的氣象預報方式,惟近年氣候變遷之差異迅速,人口都市化與溫室效應影響也更加劇,因此每年應將濃霧校驗表重新調整,藉以強化預報準確性。

## 6. 參考文獻

- 童茂祥,2014,霧的預報技巧—霧季檢查表及即時測報,飛行安全夏季刊。
- 閻雅婷,2013,濃霧個案預報檢討《閻雅婷,飛航服務總臺臺北航空氣象中心,「2013年2月濃霧個案預報檢討」》。
- 許武榮與侯昭平,1995,海風環流與陸地對流邊界層交互影響之數值研究。

柳中明、沈金清、李崇德、張修武，1997  
懸浮微粒衰減直達太陽輻射研究，  
1995年2~3月台南永康監測分析。

陳玉芬，2011年，高雄國際機場冬季低能  
見度(視障)天氣成因探究，飛航服務  
總台。

吳清吉與吳志宏，1998，大氣邊界層汙染  
物擴散之日夜變化，氣象分析與預報  
，第227期。

廖杞昌、邱振源、崔怡楓、羅明福，2017  
年，臺灣西部及外島地區低能見度環  
境特徵分析及模擬。

Qu, J.J., X.J. Hao, M. Kafatos, and L.L.  
Wang,2006:Asian Dust Storm Monitor  
ing Combining Terra and Aqua MO  
DIS SRB Measurements,” IEEE Geos  
cience and Remote Sensing Letters, 3  
(4), pp, 484-486.

### 7. 圖表彙整



圖1 PM 2.5之來源(資料來源:健康危害與  
防制對策醫護版)。

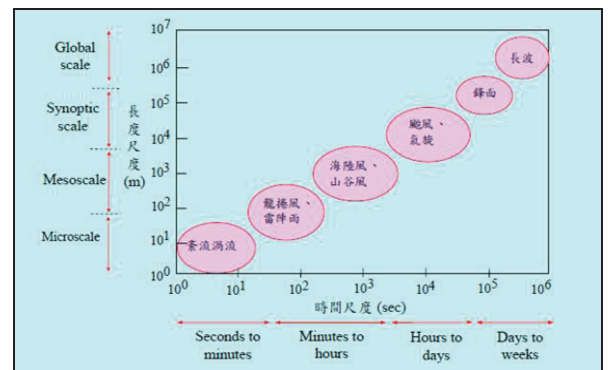


圖2 大氣之空間、時間尺度示意圖。

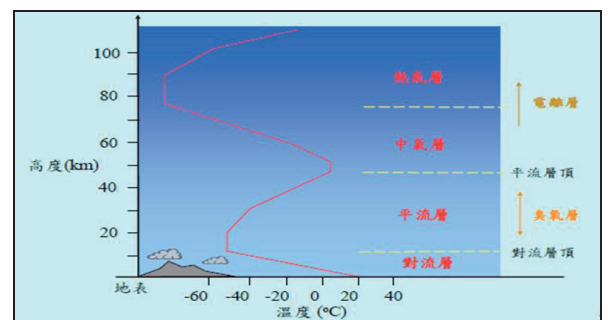


圖3 大氣之垂直結構示意圖。

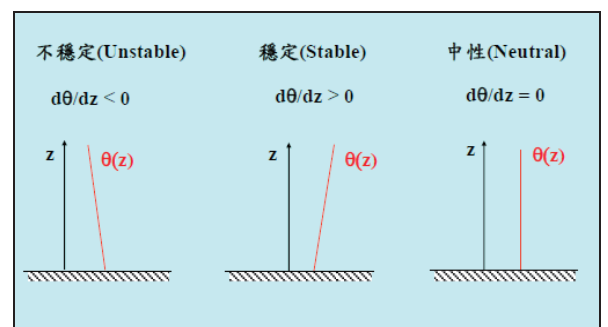


圖4 大氣穩定度示意圖。

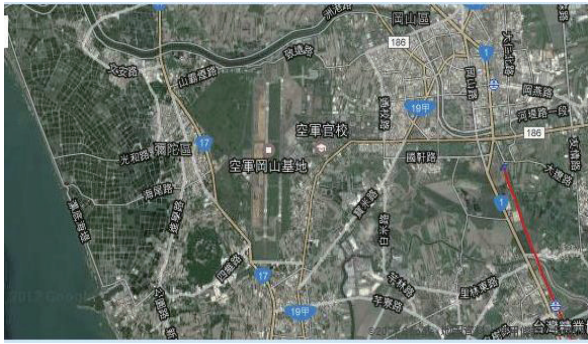


圖5 岡山機場（為RCAY標示之位置）週遭地形圖，摘至Google map網站（<http://maps.google.com.tw/>）。

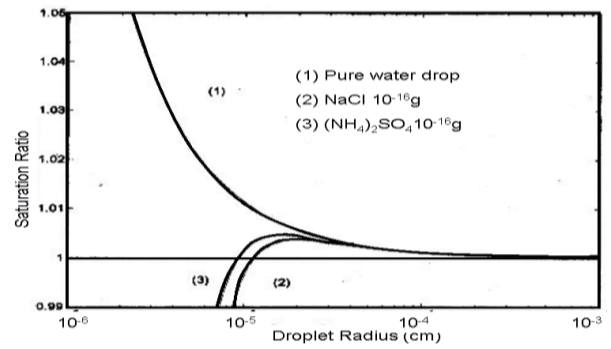


圖9 柯勒方程概述圖。



圖6 高雄地區橋頭、楠梓、鳳山測站與各重工業位置示意圖（資料來源：google map）。

表1 細懸浮微粒(PM2.5)指標對照表與活動建議(資料來源：行政院環保署)。

(a) 低量級

指標等級	1	2	3
分類	低	低	低
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	0-11	12-23	24-35
一般民眾建議	正常戶外活動。		
敏感性族群活動建議	正常戶外活動。		

(b) 中量級

指標等級	3	4	5
分類	中	中	中
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	36-41	42-47	48-53
一般民眾建議	正常戶外活動。		
敏感性族群活動建議	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童受到癥狀時，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。		

(c) 高量級

指標等級	7	8	9	10
分類	高	高	高	非常高
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	54-58	59-64	65-70	≥71
一般民眾建議	如果有不適，如眼痛、咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。			
敏感性族群活動建議	(1) 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。 (2) 老年人應減少體力消耗。 (3) 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。			

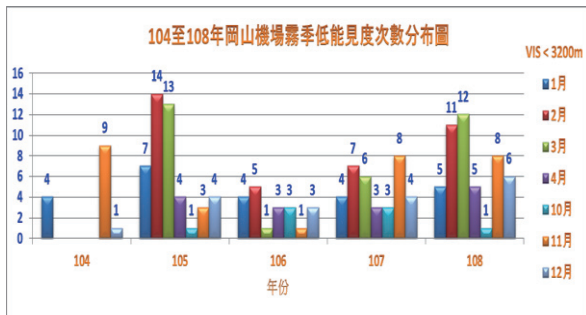


圖7 岡山機場霧季低能見度次數分布圖。

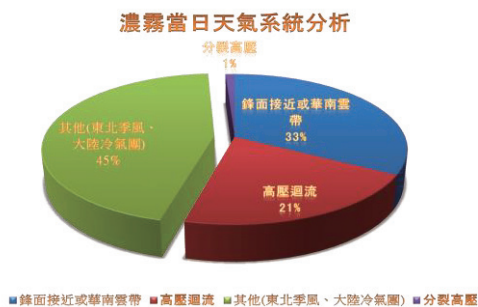


圖8 岡山機場霧季發生濃霧之天氣系統分析。

表2 現行岡山地區濃霧校驗表。

項次	校驗項目
1	風向 320-040
2	SFC 風速 < 10KT
3	SFC < 21°C
4	SFC T-TD < 5°C
5	850 hPa T-TD < 4°C
6	天空狀況為稀疏雲
7	鋒面過境，鋒尾位置在臺灣附近或延伸至巴士海峽
8	鋒面系統在華南一帶，本場屬鋒前暖區
9	高壓中心位於日本，屬 CPK-MT 之變性高壓迴流
綜合研判	實際能見度及符合項目次數

表3 預劃新增校驗項目。

項次	校驗項目
1	日夜溫差 T(14L)-T(24L)>4
2	地面圖等壓線呈東西走向
3	高壓中心數值 ≤ 1022hPa
4	地面鋒面或風切變線
5	925hPa-是否有噴流
6	925hPa-是否有鋒面或風切線
7	850hPa-是否有噴流
8	850hPa-是否有鋒面或風切線
9	斜溫圖 5000 呎以下是否南至西南風，風速 < 10KT
10	斜溫圖 8000 呎以下是否西北至西南，風速 < 20KT
11	由斜溫圖分析-底層(850hPa 以下)是否有逆溫層
12	由斜溫圖分析-底層(850hPa 以下)是否有冷、暖平流
13	懸浮微粒濃度

表4 現行校驗表第七至九項符合情況。

項次	校驗項目	百分比
1	鋒面過境，鋒尾位置在臺灣附近或延伸至巴士海峽	18%
2	鋒面系統在華南一帶，本場屬鋒前暖區	19%
3	高壓中心位於日本，屬 CPK-MT 之變性高壓迴流	24%
	總共	61%

表5 現行校驗表符合情況及建議。

項次	校驗項目	符合比率	建議保留或修訂
1	風向 320-040	83%	予以保留
2	SFC 風速 < 10KT	98%	予以保留
3	SFC < 21°C	50%	修正為「T ≥ 18°C(12-3月); T ≥ 23°C(4-11月)」後符合機率為 70%及 62%
4	SFC T-TD < 5°C	70%	予以保留
5	850 hPa T-TD < 4°C	61%	修正為「850hPa T-TD < 6°C」後符合機率為 72%
6	天空狀況為稀疏雲	36%	予以保留
7	鋒面過境，鋒尾位置在臺灣附近或延伸至巴士海峽	共計 61%，但其他系統 39%，無法忽略不予以分析。	予以保留
	鋒面系統在華南一帶，本場屬鋒前暖區		
	高壓中心位於日本，屬 CPK-MT 之變性高壓迴流		
			修正為「地面圖等壓線呈東西走向(非鋒面系統)」後符合機率為 78%

表6 預劃新增校驗項目符合情況及建議。

項次	校驗項目	符合比率	建議新增或修訂
1	日夜溫差 T(14L)-T(24L)>4	68%	予以新增
2	地面圖等壓線呈東西走向	36%	修正為「地面圖等壓線呈東西走向(非鋒面系統)」後符合機率為 78%，已納入校驗表第 7 項
3	高壓中心數值 ≤ 1022hPa	8%	不予以新增
4	地面鋒面或風切變線	31%	不予以新增
5	925hPa-是否有噴流	38%	不予以新增
6	925hPa-是否有鋒面或風切線	38%	不予以新增
7	850hPa-是否有噴流	17%	不予以新增
8	850hPa-是否有鋒面或風切線	46%	不予以新增
9	斜溫圖 5000 呎以下是否南至西南風，風速 < 10KT	49%	不予以新增
10	斜溫圖 8000 呎以下是否西北至西南，風速 < 20KT	80%	予以新增
11	由斜溫圖分析-底層(850hPa 以下)是否有逆溫層	50%	不予以新增
12	由斜溫圖分析-底層(850hPa 以下)是否有冷、暖平流	59%	予以新增
13	懸浮微粒濃度	76%	予以新增

表7 校驗表項目修訂及權重分配結果。

項次	校驗項目	權重	百分比
1	風向 320-040	5%	%
2	風速 < 10KT	15%	%
3	T-TD < 5°C	15%	%
4	T > 18°C(12-3月); T > 23°C(4-11月)	5%	%
5	鋒面過境，鋒尾位置在臺灣附近或延伸至巴士海峽	25%	%
	鋒面系統在華南一帶，本場屬鋒前暖區		
	非鋒面系統-地面圖等壓線呈東西走向		
6	日夜溫差 T(14L)-T(24L)>4	5%	%
7	850 hPa T-TD < 6°C	10%	%
8	PM2.5 > 36µg/m³	10%	%
9	斜溫圖分析-8000呎以下是否西北至西南，風速 < 20KT	5%	%
10	斜溫圖分析-(850hPa以下)是否有冷、暖平流	5%	%
	發生機率		%

# The analysis of Low Visibility in Gangshan Area

Pei-Rong Li Zhi-Hang Li

The 11th Weather Center Weather Wing R.O.C. Air Force

## Abstract

Gangshan Airport is located in the Gangshan District of Kaohsiung City. Due to its political and historical background, it has been an important airport in Taiwan since the Japanese Occupation. After the National Government retreated to Taiwan, the Air Force Academy was set up here, and the Gangshan area became the cradle of the Air Force flight culture has nurtured countless Its flying missions is diverse and they bear heavy responsibilities. Weather forecasting and observation operations occupies an extremely important position for flight subjects and tasks. Among them, visibility is a high risk factor for flight safety.; Gangshan Airport is the first flight site for pilots to learn to fly, so the visibility standard is far higher than the combat airport. This study analyzes the ground meteorological observation data of Gangshan Airport in the past 5 years (October 2015 to April 2019 of the Republic of China) prone to dense fog (visibility less than 3,200 meters) (October to April), and includes fine suspension the particle index compares the visibility changes to understand the climate characteristics of the Gangshan area and serves as a reference for meteorologists to forecast, and then provides more accurate weather forecast services to enable the smooth execution of various training tasks at the airport.

**Keywords: Gangshan Airport, visibility, foggy season, PM10, PM2.5**