

# 冬季岡山地區目視等級天氣診斷之研究

蔡景昶

空軍第八天氣中心

## 摘要

隨著工業革命開始，伴隨帶來科技發達，各種航空器也因此迅速發展，並提供各種便利性，故無論民用與軍用航空器性能多麼優越，氣象始終是影響飛航安全重要因素之一。在各國的研究當中，航空器的意外事件往往受到氣象因素的顯著影響，可見詳細的天氣講解對飛安扮演相當重要的角色，對於航空器而言，具有危險性的氣象因子包含：亂流、風切、積冰、低雲幕、低能見度等等，因此氣象觀測的正確性及氣象預報的準確性，對於航空器的安全極為重要，故本文藉由目視等級天氣診斷，探討如何強化氣象預測報能量，增加軍事航空器在空時遭遇天氣突變時之預警時間，藉以提升航空氣象用途與作戰價值，有效支援戰(演)訓及維護飛安。

本研究藉由2019至2023年共5年岡山地區之氣象觀測資料，並統計分析冬季目視限制影響飛航之能見度出現時數及頻率，探討伴隨空氣汙染、風、雲幕、降雨及相對濕度等天氣現象，藉由研究分析岡山機場冬季能見度目視等級天氣診斷之研究相關因子，降低氣象對於航空器影響，進而提供更精準之氣象預報服務，使有效支援戰(演)訓及維護飛安。

關鍵字：岡山機場、目視、能見度、冬季、細懸浮微粒

## 1. 前言

岡山機場位於高雄市岡山區內，其地理位置位於臺灣南部，為軍用機場，是臺灣重要的空軍訓練基地，而空軍官校及空軍飛行訓練指揮部也設立在此，主力機種為AT3及T34型機，未來還會有AJT型機換機，主要負責培育空軍初上飛行線之飛行員及支援營區開放之訓練機場，因初學飛行技術尚熟稔中，所以訓練需求量龐大，可見飛行訓練相對繁重，故對於氣象觀測與預報準確度需求較高。因此本研究藉由分析岡山機場民國108年1月至112年12月共5年之統計觀測資料，來了解岡山機場發生目視等級之條件，以提供氣象人員預報目視等級參考運用。

冬季期間，岡山機場常因能見度未達目視等級，影響飛行員訓練，還會提高飛行安全的風險。作為空軍飛行員重要培訓基地，這裡承擔著繁重的飛行訓練任務。由於飛行員承擔繁重訓練任務，因此對能見度較其他機場敏感，且要求度較高。冬季的長時間目視以下，且濃霧天氣機率較高，對於飛行員

造成不少挑戰。

氣象預報人員沿用至今的「濃霧校驗表」來預測低能見度的發生機率，但這種預測僅能預測低能見度，勢必無法滿足飛行員所需，在多數情況下無法預測目視等級至低能見度之間情況，這對於提供上級安排及執行飛行任務帶來困擾。因此提升能見度預測範圍及準確性成為當前亟待解決的重要問題，以確保飛行安全和訓練的順利進行。科技持續進步，隨之帶來空氣汙染情形也日益嚴重，一般大氣懸浮微粒主要來自「境內污染」及「境外污染」，例如：道路揚塵、汽(機)車廢氣及人為燃燒排放物等因素，經過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機率。特別是中國大陸沿海及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，易形成不利空氣污染物消散之環境，導致空氣品質較差，進而危害該地區居民之身體健康。在眾多文獻當中，臺灣在冬季的天氣系統，如東北季風及高壓迴流伴隨流經寬廣洋面的

氣流，氣流遇中央山脈地形阻擋，有機會在臺灣中南部地區背風面形成尾流區（wake zone），甚至是低壓或渦旋等，使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，因此導致擴散條件不好，懸浮微粒與污染物不容易擴散，污染物易於南臺灣及外海堆積。上述不僅嚴重影響空軍各類軍事航空器作戰性能發揮，甚至可能完全喪失作戰能力，故各國空軍均相當重視氣象預測報能力及其對戰(演)訓任務執行之影響，藉由不斷提升航空氣象觀測裝備，收集各種氣象情資，以有效增進氣象預警時間，支援各項戰(演)訓任務並保障飛航安全，促使國家增加飛行人員。

## 2. 文獻研析

臺灣南部地區秋、冬季天氣型態，太平洋高壓強度減弱並東退，大陸冷高壓勢力逐漸增強，受東北季風及大陸冷高壓南移影響，日夜溫差將逐漸增大，午後熱對流型態天氣逐漸趨緩，西半部地區降雨顯著減少，岡山機場影響飛行訓練之天氣型態，由海陸風及午後熱對流造成之降水，轉變為晨間能見度變化，後續針對氣候、地理、人為因素，導致南部地區造成能見度之目視天氣進行探討。

### 2.1 臺灣南部能見度探討

由臺灣機場能見度定量預報評估(林宜菽、陳俐如、陳正平、朱韻雅、林裕豐，2020)，探討應用區域氣象模式與空氣品質模式於機場能見度定量預報之可信度，分別利用九個軍用機場數據為基礎，以氣象模式預報雲霧，以空氣品質模式預報霾，完整考慮霧與霾的影響來進行能見度定量預報。此外霧的粒徑較大，對於能見度的影響極為顯著，霧的出現會使能見度急遽下降，往往瞬間能見度能降至 1,600 公尺以下；反觀降至介於 1,600 公尺至 5,000 公尺的能見度，較多比例是受霾影響。此外，透過高雄國際機場冬季低能見度(視障)天氣成因(陳玉芬，2011)，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及大陸

冷高壓東北季風型。另經各氣象要素分析後，得知有利高雄國際機場清晨出現輻射霧之條件為：

- (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風在 5KT 以下的微弱偏東風。
- (3) 於 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 點 (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」(廖杞昌、邱振源、崔怡楓、羅明福，2016)資料顯示，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，以利了解成霧時的區域特性，進而建立霧時預測參考指標。2013 年 2 月濃霧個案預報檢討(閻雅婷，2014)，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%，這檢查表展現出一定的參考意義，能夠更清晰瞭解比對，以利特定相似期況下準確判斷。

### 2.2 霧與霾之差異與分類

#### 2.2.1 霧

主要由水蒸氣凝結成一種能目視之密集小水滴，懸浮在近地面之大氣中，霧呈白色為主，因粒徑較大，易使能見度急遽下降，冬季受東北季風、大陸冷氣團影響時易出現輻射霧，高壓迴流則伴隨平流霧移入岡山機場，造成低能見度；另岡山機場因地理位置及地形因素，冬季易受輻射霧、平流霧或平流輻射霧影響，尤以平流霧來時迅速，短時間易造成低能見度情況。

- (1) 平流霧：當暖濕空氣平流經較冷水面或陸地時，因下部冷卻而形成的霧，持續較長時間，有時甚至可達數百米厚度，平流霧出現時間不定，除非風向轉變或停止，平

流霧才會消散，通常發生於春、冬季夜間。分裂高壓出海及高壓迴流系統，其高壓中心位置位於西太平洋至東海一帶，氣團底層與暖濕洋面接觸而逐漸變性，底層空氣持續向東輸送，東來之暖溼氣流受臺灣地形阻擋，沿著臺灣北部東岸形成繞流，再經臺灣海峽南下，於溫度較低海面凝結成霧，在海峽上方形成狹長型雲帶，且雲高極低，形似霧堤，若岡山機場風場為西北風或風速微弱時，低層雲系易往岡山機場移動形成平流霧，造成能低見度，影響時間隨冷暖平流交匯現象趨緩或風速增強消散。

- (2)輻射霧：地面白晝因受太陽輻射影響，不斷吸收熱力，在日落後地面的熱力通過長波輻射釋出，使近地面空氣的溫度逐步下降，致空氣裡的水氣凝結，形成無數懸浮於空氣裡的小水點，便是輻射霧，輻射霧多出現於晴朗而風力微弱的秋冬晚上或清晨，在日出後不久或風速加快後便會自然消散。在岡山地區輻射霧易發生在風速微弱且無雲情況下，地面輻射冷卻後溫度下降且相對濕度上升，常於近地面層形成淺薄霧層，好發時間以晨間(04-09L)，平均能見度略大於 3,200 公尺，並於氣溫上升後逐漸消散，係天空狀況良好，常以稀、疏雲為主。
- (3)輻射平流霧：平流輻射霧出現機率較輻射霧或平流霧機率低，顧名思義即為同時發生輻射霧及平流霧，對飛行安全較其他單一現象影響為大，因其出現時常伴隨低能見度及低雲幕，且發生時間較難以掌握。

### 2.2.2 霾

主要由空氣污染物(如懸浮微粒、氣體)含固體顆粒或化學物質引起，霾呈現灰色為主，對遠地明亮之背景，則呈黃色或橘紅色；如對較陰暗之背景，則顯示淡藍色，另視濃度及內含成分有所不同，導致能見度有所下降，但下降程度大多不如霧，且相對濕度多在 75% 或以下，高於此標準，霾出現之機率不高。

### 2.3 空氣污染物之說明

因工業日漸發達，導致空氣污染物劇增，2005 年依據世界衛生組織(WHO)的建議，各國定訂空氣品質指標(AQI)標準，根據 2015 年行政院環保署統計資料顯示，臺灣地區大氣細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)年平均濃度為 22.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，約為世界衛生組織(World Health Organization, WHO)標準的 2.2 倍(標準值 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。考量秋、冬季期間，臺灣中、南部地區，大氣 PM<sub>2.5</sub> 濃度長期偏高的現象，更突顯空氣中相關污染的現象，不容忽視。國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)已在 2013 年 10 月宣佈(特別是 PM<sub>2.5</sub>)，將懸浮微粒列為人類致癌物質。漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒(Particulate Matter, PM)。懸浮微粒有大小不同的粒子直徑(簡稱粒徑)，而且通常使用微米(1/106 公尺即萬分之一公分，單位： $\mu\text{m}$ )作為粒徑大小單位，其粒徑介於 0.002~100 $\mu\text{m}$ ，一般將粒徑小於 2.5 $\mu\text{m}$ (PM<sub>2.5</sub>)稱之細微粒(Fine particle)、粒徑介於 2.5~10 $\mu\text{m}$ (PM<sub>2.5-10</sub>)稱之粗微粒(Coarse particle)。2021 年 9 月 22 日世界衛生組織(WHO)公布空氣品質指標(AQI)修訂版，主要內容：修正更嚴格的空氣污染物限值，降低健康危害，鼓勵各國制定更有效之政策，促進全球空氣質量改善。行政院環保署修訂空氣品質標準於 1992 年 4 月 10 日發布實施後，至今共計修正 5 次，最新修訂版為 2024 年 9 月 30 日，主要內容：修正空氣污染物標準第三條及第四條，採用更細緻空氣品質分級，強調空氣污染物相關影響，並建議地方政府加強改善，預計 2025 年 1 月 1 日實施，以利提升空氣品質。

### 2.4 空氣污染物之來源

臺灣的空氣污染主要可分為「境內污染」：臺灣本地、「境外污染」：中國大陸及東南亞地區，且細分「自然產生」：裸露地表塵埃、沙塵暴、海洋飛沫、森林大火；「人為排放」人為排放則包括日常發電、燃燒、交通運輸、火力發電廠、焚化爐、冶煉工廠及工廠煙道(如圖 1)，若境外污染物伴隨東北風移入時，則原擴散良好區也可能發生高濃度空氣污染的現象，實際影響臺灣程度則依上游

源區濃度及是否有降雨而定。此外，污染物將隨東北風往南傳輸，濃度較高範圍將明顯地向南移動。當東北風強度較弱或境外污染物濃度較低時，則境外污染影響範圍可能為中部以北，而中南部原本即屬尾流弱風區，擴散條件差，污染仍易累積(如圖 2)。



圖 1 PM2.5 的生成來源

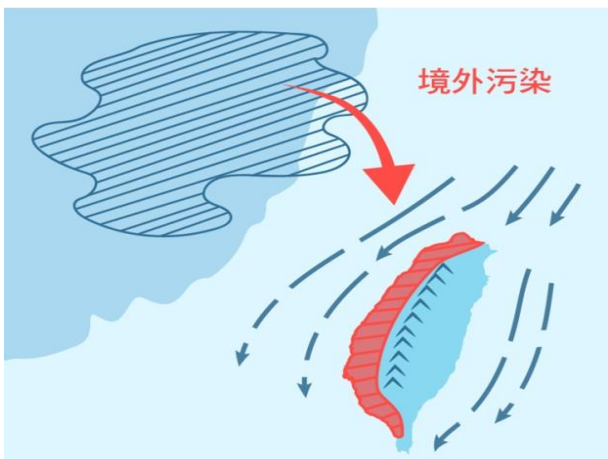


圖 2 境外污染物的路線示意圖

2.5 空氣污染物對人體之影響

眾所周知，空氣污染物的濃度情況對人類戶外活動具有相當之影響性(如表 1)，尤其是 PM2.5 以下的微粒對人體健康的影響最甚，且根據國家衛生研究院最新本土健康研究結果(2024 年 7 月發表於國際學術期刊 Ecotoxicology and Environmental Safety)，故我國行政院環保署依循世界衛生組織(WHO)指引，修正各項空氣污染物標準，且自 2016 年迄今，我國 PM2.5 年平均值以改善三成，臭氧紅害事件也減少七成，空氣品質持續改善中。臺灣地區大氣細懸浮微粒(PM2.5)年平

均濃度為 22.1µg/m<sup>3</sup>，其約為世界衛生組織(World Health Organization, WHO)標準的 2.2 倍(標準值 10µg/m<sup>3</sup>)。另外臺灣在秋、冬季等特定季節中，臺灣中、南部地區大氣 PM2.5 濃度長期偏高的現象，更突顯相關污染的現象，不容忽視。

表 1 PM2.5 指標等級與活動建議

指標等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	0-11	12-23	24-35	36-41	42-47	48-53	54-59	60-64	65-70	>71
一般民眾活動建議	正常戶外活動。	正常戶外活動。	正常戶外活動。	正常戶外活動。	正常戶外活動。	正常戶外活動。	任何人如果有不適，如頭痛、咳嗽、喉嚨痛等，應考慮減少戶外活動。	任何人如果有不適，如頭痛、咳嗽、喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	任何人如果有不適，如頭痛、咳嗽、喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	任何人如果有不適，如頭痛、咳嗽、喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。
敏感性族群活動建議	正常戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童宜受到限制，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與兒童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。

3. 岡山地區氣象資料分析

岡山(如圖3)位於臺灣南部高雄區域，其東北至東北東方臨大崗山及小崗山，東方臨中央山脈山區(東面為丘陵地形)，南至西南方臨深底山及壽山，且西方臨海岸線，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。

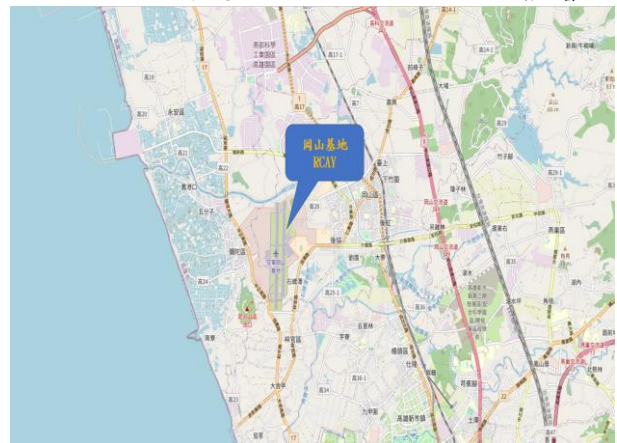


圖 3 岡山機場周遭地形圖

本研究收集岡山基地測站2019至2023年共5年易發生霧霾(能見度小於5,000公尺)月份(10月至4月)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，再將上述所找出之要素，與發生霧霾（能見度小於 5,000 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，在視障雲幕下，因視障現象滿佈於地面至飛機高度之間，飛行員即使穿越了視障雲幕高後，仍然無法清楚的見到跑道及地面狀況(如圖4)。

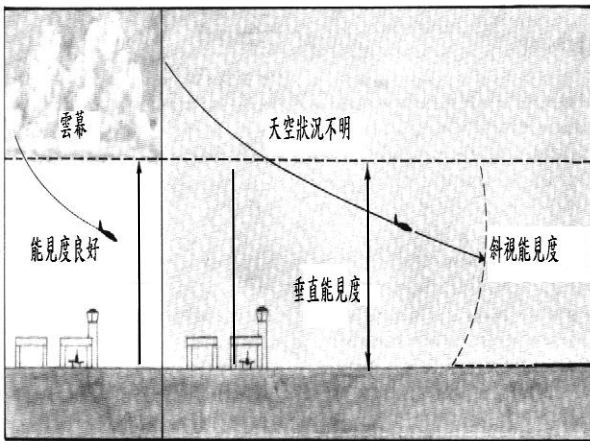


圖4 飛行員目視能見度示意圖

歷年臺灣的空氣汙染主要可分為「境內汙染」：臺灣本地、「境外汙染」：中國大陸及東南亞地區(如圖5)，細懸浮微粒PM2.5濃度主要分為：

中國大陸的工業汙染空氣主要地區：

- (1)華北地區：北京主要由交通、燃煤及工業導致；天津與河北主要由重工業及煤炭開採導致。
- (2)華東地區：上海主要由工業排放及交通；江蘇主要由化學工業。
- (3)華南地區：廣東及深圳主要由工業導致。
- (4)西北地區：陝西及甘肅主要由煤炭和化學工業導致。
- (5)山東省：濟南及青島主要由工業及交通導致。

臺灣的工業汙染空氣主要地區：

- (1)臺北：工業排放及交通汙染。
- (2)桃園：電子業及化學工業。
- (3)臺中：火力發電及製造業。
- (4)臺南：電子業及部分化學工業。

(5)高雄：煉油及鋼鐵廠。

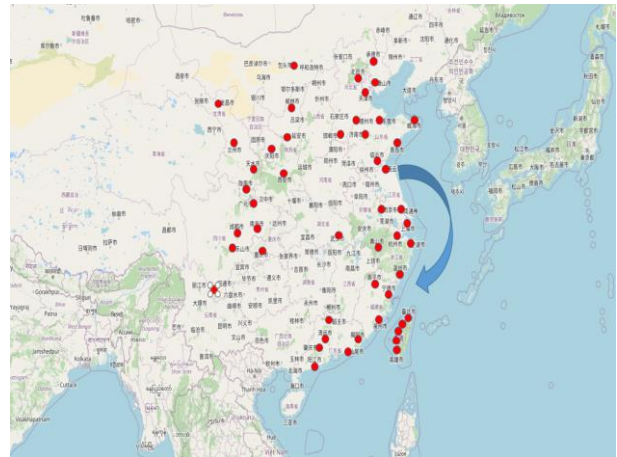


圖5 中國大陸及臺灣工業汙染區域示意圖

針對南部地區，歷年來細懸浮微粒PM2.5的濃度分布顯示高雄地區的汙染較為嚴重。這主要是因為該地區周圍多處石化產業集中，屬於高汙染工業區，因而容易導致空氣中細懸浮微粒濃度的上升。本研究樣本來源於行政院環保署設立之大氣空氣品質監測站資料，選定橋頭、楠梓及鳳山作為高雄地區資料分析來源，相關地理位置(如圖6)。



圖6 高雄地區橋頭、楠梓、鳳山測站與各重工業位置示意圖

海陸風(如圖7)：海面 and 陸上溫度除隨季節變化外，晝夜間亦有類似情形；然其規模很小，影響僅限沿海附近。近沿海區域由於白天時陸地溫度比海洋高，故陸上氣壓比海上低，致使風常從海上吹向陸地，稱為「海風」；此情形入夜後正好相反，於是風自陸地吹向海洋，稱為「陸風」。

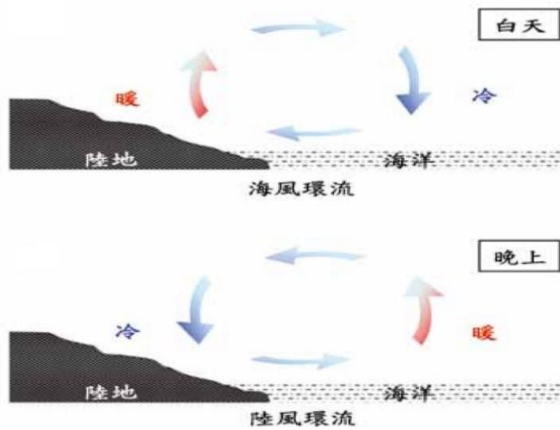


圖7 海風及陸風環流示意圖

### 3.1 機場資料統計分析

分析岡山機場近5年1、2、12月共614日資料中，能見度低於5,000公尺共213日(如圖8)，資料顯示岡山機場冬季發生目視等級以下次數每月約1次以上，最高達26次，此外

2019至2023年岡山機場未滿目視能見度次數分布圖

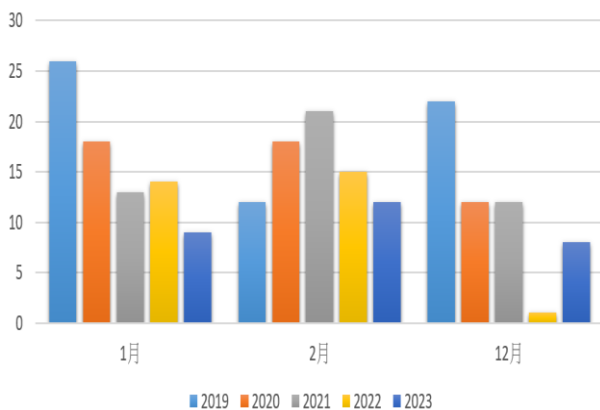


圖8 2019至2023年岡山機場目視等級以下能見度次數分布圖

岡山機場未滿目視天氣系統大致分別為鋒面接近及通過，約佔9%、高壓迴流佔6%、其他則為東北季風、大陸冷氣團等共佔85%(如圖9)。

### 3.2 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5,000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(岡山、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。

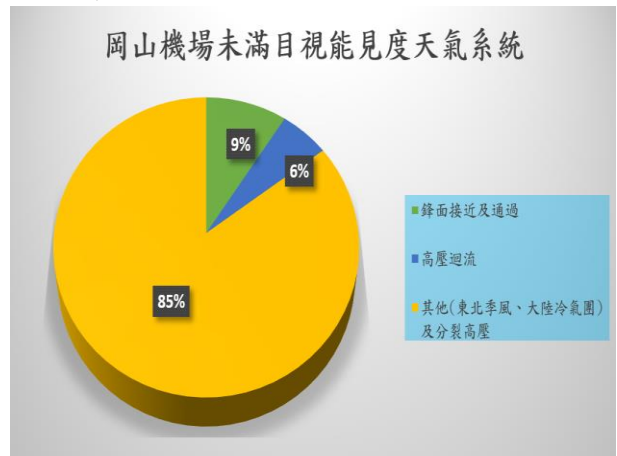


圖9 岡山機場目視等級以下之天氣系統分析

表2 岡山機場現行校驗表

項次	校驗項目
1	320-040
2	SFC風速<5KT
3	SFC <21°C
4	T-TD<5°C
5	鋒面過境，鋒尾位置在臺灣附近或延伸至巴士海峽
	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)>5°C
7	850hPa T-TD<6°C
8	PM2.5>36
9	斜溫圖分析-8000呎以下風向是否為西北至西南，且風速<20KT
10	斜溫圖分析-(850hPa以下)是否有冷、暖平流(順暖逆冷)

於此節針對現行校驗表項目，分析近5年冬季資料，低於5,000公尺213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91.9%，設立該項次原因為依據氣候統計資料中，低於目視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，並賡續校驗。第2項SFC風速 $<10KT$ 符合情況約佔98.5%(如SFC風速 $<5KT$ 符合情況約佔62.3%)，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61.4%，設立該項次主要原因為依據氣候統計資料，岡山機場過去冬季平均溫度約為 $17.7^{\circ}C$ ，故將該項次修訂為SFC $<18^{\circ}C$ ，符合情況約佔100%，賡續納入校驗。第4項為SFC T-TD $<5^{\circ}C$ ，符合情況約佔82.4%，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 $5^{\circ}C$ ，故不予以修正並賡續校驗。分析低於目視等級前一日天氣系統，現行校驗表第5項比例(如表3)，三種天氣系統符合情況總共佔約74%，其他天氣系統比例佔26%之多，不可忽略，故賡續納入校驗。第6項低於目視等級能見度好發時於前一天14時和24時之日夜溫差在大於 $5^{\circ}C$ 符合情況偏高，故研判本項次仍具有參考性，「T(14L)-T(24L) $>5^{\circ}C$ 」項目，賡續納入校驗。第7項地面相對濕度達75%以上，其相對濕度到達850hPa應呈降低趨勢，符合情況約佔73%，將此項目850hPa T-TD $<6^{\circ}C$ ，賡續納入校驗。第8項懸浮微粒資料分析，設定「PM<sub>2.5</sub> $>36\mu g/m^3$ ，隔日有濃霧」，其符合情況約佔58%，分析能見度5,000公尺以下好發時鄰近測站(橋頭站)針對PM<sub>2.5</sub>懸浮微粒濃度，取濃度大於中度 $28\mu g/m^3$ (微克/立方公尺)以上資料，其符合情況約佔81.2%，故此項修正納入校驗。第9及第10項「斜溫圖8,000呎以下是否西北至西南，風速 $<20KT$ 」，其符合情況約佔76%；「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%，故研判第9項和第10項具參考

性，建議此兩項目賡續納入校驗。

表3 現行校驗表第五項符合情況

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	16%
3	非鋒面系統-地面圖等壓線呈東西走向	40%
共計		74%

現行校驗表項目綜合上述分析後，其結果綜整(如表4)，建議第1、4、5、6、7、9、10項予以保留，第2、3、8項修訂。

表4 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	320-040	91.9%	保留
2	SFC風速 $<5KT$	62.3%	修正後SFC風速 $<10KT$ 符合機率為98.5%
3	SFC $<21^{\circ}C$	61.4	修正後SFC $<18^{\circ}C$ 符合機率為100%
4	T-TD $<5^{\circ}C$	82.4	保留
5	鋒面過境，鋒尾位置在臺灣附近或延	74%	保留

	伸至巴士海峽		
	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)>5°C	84%	保留
7	850hPa T-TD<6°C	73%	保留
8	PM2.5>36	58%	修正後 PM2.5 >28 符合 機率為 81.2%
9	斜溫圖分析-8,000呎以下風向是否為西北至西南，且風速<20KT	76%	保留
10	斜溫圖分析-(850hPa以下)是否有冷、暖平流(順暖逆冷)	59%	保留

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5)。

表5 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	320-040	5%	%
2	SFC風速<10KT	15%	%
3	SFC<18°C	15%	%
4	T-TD<5°C	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)>5°C	5%	%
7	850hPa T-TD<6°C	10%	%
8	PM2.5>28	10%	%
9	斜溫圖分析-8,000呎以下風向是否為西北至西南，且風速<20KT	5%	%
10	斜溫圖分析-(850hPa以下)是否有冷、暖平流(順暖逆冷)	5%	%
發生機率			%

#### 4.研究內容推論

氣象除了會影響軍事航空器的飛行運作及任務執行外，也是影響飛航安全的重要因素之一。因此氣象觀測的正確性及氣象預報的準確性，對於航空器的安全極為重要，故藉由本研究，增加軍事航空器在空時遭遇天氣突變時之預警時間，藉以提升航空氣象用途與作戰價值，有效支援戰(演)訓及維護飛安。能見度是威脅飛航安全的重要原因之一，從過往經驗顯示，每當冬季清晨出現霾、霧或濃霧現象時，預報員往往都會面臨相當大的決策困擾。這種情況不僅影響能見度，也使氣象預測變得更複雜，因為霧的形成和消散受多種因素影響，包括氣溫、濕度、風速及地形環境等。這些不確定性使得預報人員在提供精準的天氣預報時，常常需要在多種可能性之間做出艱難的取捨，從而增加了工作的壓力與挑戰。因此，進一步研究霧霾成因及其演變，其出現時間、地點，以及發展、消散過程的掌握，對於提升預報準確性不言而喻。本文透過地面觀測資料，結合環保署空氣品質監測資料及對於綜觀天氣、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，尋找並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，能夠具體化某些霾、霧及濃霧導致目視等級以下出現的過程，並利用新的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、輻射霧及輻射平流霧等想法暫時保留，單純從細小的雲滴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。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。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，故想要成功的預報霧的過程又何其容易。對「霧」而言，上升速度的重要性則應由冷卻率所取代。另岡山機場因地理位置及地形因素，冬季易受輻射霧、平流霧或平流輻射霧影響，尤以平流霧來時迅速，短時間易造成低能見度情況。

## 5. 結論

氣象除了會影響軍事航空器的飛行運作及任務執行外，也是影響飛航安全的重要因素之一。因此氣象觀測的正確性及氣象預報的準確性，對於航空器的安全極為重要，故藉由本研究，增加軍事航空器在空時遭遇天氣突變時之預警時間，藉以提升航空氣象用途與作戰價值，有效支援戰(演)訓及維護飛安。在環境、社會和氣候等多個領域中，與「霧」和「霾」相關的問題依然存在許多未發現事物及迷霧，這些問題需要持續努力來

揭露與應對。霧是含有一種能目視之密集小水滴，懸浮在近地面之大氣中，霧呈白色，其能見度必須低於 1,000 公尺，霧之相對濕度常達 100%，有濡濕感，溫度露點差超過 2 $^{\circ}\text{C}$  時即少能成霧。其演化過程主要受到感熱與水氣的分布影響，並且與邊界層的穩定性、風切、輻射等因素密切相關，要全面掌握這些影響因素，我們不僅需要建立龐大的資料庫來進行統計分析，還需要完整的氣候統計資料，以便於更精準理解與預測霧霾的形成與發展。這將涉及數千條數據點的收集和分析，對於提高我們對這些現象的認識至關重要。由於懸浮微粒的特性多變且複雜，當前的大氣科學界尚未能夠全面性掌握空氣中污染物的時空分布、成分及其光學和微物理特性。在預測未來氣候變化時，污染物與雲之間的相互作用成為一個主要的不確定性來源，也使我們在理解全球變暖及其影響時面臨困難。因此，深入研究污染物的行為和其在大气中扮演的角色，對於改善我們的氣候預測能力至關重要。本次研究中，我們專注於分析過去近五年的冬季氣象資料，這一時間範圍的選擇是基於希望通過較近期的數據來探討影響能見度的各種因素。由於研究範圍的限制，我們並未納入更廣泛的數據或評估對流和穩定邊界層的發展情況，這些都是未來研究可以深入探討的領域。我們的主要目的是為了找出類似目視能見度等級以下案例的潛在原因，並期望能通過近年的數據統計，歸納出更為精準的氣象預測方法。隨氣候變遷的影響日益明顯，人口遽增及溫室效應所帶來的影響也越加劇烈，我們認識到每年都需要對預報校驗表進行重新調整，以應對不斷變化的環境條件。這樣的調整不僅可以加強預報的準確性，也能提高我們對未來氣候變化趨勢的預測能力，為應對相關挑戰提供更為科學的依據。

## 6. 參考文獻

- 陳玉芬，(2011)：高雄國際機場冬季低能見度(視障)天氣成因探究。
- 林宜菽、陳俐如、陳正平、朱韻雅、林裕豐，(2020)：臺灣機場能見度定量預報評估。

- 廖杞昌、邱振源、崔怡楓、羅明福，(2016)：臺灣西部及外島地區低能見度環境特徵分析及模擬。
- 閻雅婷，(2014)：2013 年 2 月濃霧個案預報檢討。
- 陳泰然、廖珮娟，(2011)：臺灣冬季鋒面系統之天氣特徵研究。
- 蒲金標，(2006)：臺灣南部與北部高空風季節演變之初步分析。
- 環保署 105 年報(2016)：中華民國空氣品質監測報告。
- 葉莉亭，(2013)空軍軍官雙月刊 173 期-影響飛航安全研究。
- 陳又新，(2016)：空氣品質指標(AQI)宣導研習。
- 環保署，(2024)空氣品質監測及污染防制 113 年報。
- 環保署，空氣品質監測網，歷年監測資料。政府資料開放平臺，「園管局各產業園區進駐廠商與產業型態資訊」。
- IQAir，(2023)：世界空氣質量報告。
- IQAir，(2023)：中國大陸的空氣品質。
- IQAir，(2022)：「全球空氣品質報告-台灣篇」。
- IQAir，(2021)：「WHO 空氣品質新指標」。

## Winter Visibility Level Weather Diagnosis Study in Okayama Area

Jing-Chang Cai

Air Force Weather Wing 8<sup>th</sup> Squadron

### Abstract

With the onset of the industrial revolution and the development of science and technology, various aircraft have developed rapidly and provided various conveniences. No matter how superior the performance of civil and military aircraft is, weather has always been one of the important factors affecting flight safety. In studies conducted by various countries, aircraft accidents are often significantly affected by meteorological factors. It can be seen that detailed weather explanations play a very important role in flight safety. For aircraft, dangerous weather factors include : turbulence, wind shear, icing, low cloud curtain, low visibility, etc. Therefore, the accuracy of meteorological observations and weather forecasts are extremely important to the safety of aircraft. Therefore, this article discusses how to strengthen weather forecasts through visual grade weather diagnosis. The alarm energy increase the warning time for military aircraft when encountering sudden changes in weather while in the air, thereby enhancing the use and combat value of aviation meteorology, effectively supporting combat(exercise) training and maintaining flight safety. This study uses meteorological observation data in the Okayama area for a total of five years from 2019 to 2023, and statistically analyzes the occurrence hours and frequency of visibility that are affected by visual restrictions in winter, and explores the factors associated with air pollution, wind, clouds, rainfall and relative Humidity and other weather phenomena, by studying and analyzing factors related to Okayama Airport East Flight Visibility Level Weather Diagnosis, reduce the impact of air on the aircraft, thereby improving a more accurate weather forecast service and effectively supporting combat(exercise) training and maintenance fly safe.

**Keywords:** Okayama Airport, visual, visibility, winter, fine suspended particles