

臺灣西部及外島地區低能見度環境特徵分析及模擬

邱振源¹ 廖紀昌²

¹空軍氣象聯隊第六基地天氣中心

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘 要

根據國籍民用航空運輸業飛航事故分類統計，1999年至2008年間共發生37件飛航事故，與環境相關佔了41%，其中天氣因素佔38%，而依Aviation Safety Network資料統計出2000年至2014年與天氣相關之致命飛航事故中，因低能見度發生的飛安事故佔了34%，可見低能見度影響飛安甚鉅。

臺灣屬於海島型氣候，水氣充足，且西半部地區多屬平原及臺地地形，更有助於濃霧形成，故有效掌握濃霧形成時機對於西部及外島各機場極為重要。

本研究使用中央氣象局（2009~2014年）及空軍（2011~2013年）的地面氣象觀測資料，以統計法歸納出地區特性及成霧特徵，並建立氣象要素之霧時預測參考指標。統計結果顯示，臺灣西部測站成霧時溫度以14°C~19°C區間次數最多；相對濕度及溫度露點差分別以95%以上及0°C~2°C區間為主；而風速方面，新竹地區成霧時風速微弱，但嘉義及台南測站可達 3ms^{-1} ~ 5ms^{-1} 時成霧。由統計結果發現可預報率嚴重偏低，顯示各指標雖為成霧之充分條件，卻非必要條件，故不適合作為預報依據，僅可藉由預測率了解其環境特徵，供氣象人員參考使用。

為發展屬於臺灣地區之低能見度預報模式，本研究利用高解析度WRF模式，針對臺灣西部地區最容易發生濃霧的冬、春兩季挑選嘉義及台南低能見度個案進行天氣分析及模擬，並參考國外學者成功模擬霧的參數設定及能見度方程式，嘗試模擬低能見度的發生，藉由比對發現模擬區域及成霧時間與實際發生大致相符。

關鍵詞：低能見度、海島型氣候、濃霧、WRF模式

一、研究計畫之背景及目的

臺灣位處於中緯度副熱帶地區，屬於海島型氣候，且西半部地區多屬平原及台地地形，在每年的冬、春季節約（11月至5月）臺灣介於冷、暖平流交會之處，常造成沿海地區發生濃霧現象，尤其臺灣西部及外島地區佈署多個空軍機場，低能見度將導致飛機起降視線不佳，對飛航安全形成重大影響。

霧的種類繁多且形成過程複雜，依其成因大致可分為輻射霧、平流霧、平流輻射霧

、鋒面霧、蒸氣霧及上坡霧等，臺灣西部地區以輻射霧及平流霧或兩者同時存在之平流輻射霧最為常見，且在冬、春發生的機會相對較多，金門、馬祖等外島地區則以平流霧居多。

有關低能見度或濃霧的成因及探究，過去已有諸多專家學者利用氣象要素統計方法及 WRF 數值模擬分析發表許多相關研究。氣象要素統計方面，謝等(2010)[1]藉由1990~2005年間的測站觀測資料進行統計

分析，結果發現臺灣地區之年平均霧日約 57.4 天，其中以馬祖 23.5 天最多，而後依序為金門、嘉義及台南，外島霧好發於 12 月至翌年 6 月，以 4 月最多；本島霧則好發於 11 月至翌年 4 月。其次歸納出臺灣各地區成霧時 850 hPa 的平均氣溫約 12°C，本島地面氣溫約 12°C~19°C，外島則可分為冷季與暖季（3 月中旬至 5 月）成霧，暖季成霧時地面氣溫最高可達 21°C；風速方面，當臺灣海峽平均地面風速超過 15kts 以上時不利於臺灣西部地區成霧，惟嘉義以南因受地形影響，臺灣海峽的風速可達 25kts 仍可成霧。此外更進一步以成霧時的綜觀環境特徵及天氣要素，發現依天氣型態可區分為東北季風、高壓出海、高壓迴流、鋒前、鋒面及呂宋低壓等六類。

WRF 數值模擬方面，林(2010)[2]利用 WRF 數值模式模擬臺灣北部地區位於鋒前暖區時發生的低能見度現象，認為低能見度發展與位於臺灣西北海岸之中尺度低壓環流存在著密切關係，當低壓系統北移後引進之西北風使臺灣西北部外海的高濕度區進入臺北盆地，此外，模式測試提高垂直解析層數將有助於提前掌握高混和比的現象。楊等(2010)[3]利用 WRF 中尺度模式針對一次鋒面霧造成貴州西部的低能見度進行數值模擬，發現在濃霧發生的過程中，地面鋒面正位於貴州中部偏西，且 850 hPa 至 700 hPa 始終受到西南氣流所控制，使貴州西部地區持續維持高相對濕度因而有利濃霧形成。至目前為止，雖然已有許多針對霧的數值模擬研究，但仍有不少學者指出(Ballard et al., 1991; Bergot and Guedalia, 1994) [4] [5]，霧的模擬預報有潛在的困難存在，例如缺乏邊界層精細的初始溫度場及濕度場分布資料，以及不完整的微物理、亂流、大氣輻射參數化等，皆有可能使霧的預報產生極大誤差，所幸在數值模擬快速的發展下，相信將來對於霧的預報可以有更好的表現。

每個國家或地區受限於環境的差異及地理位置不同，成霧的特徵亦不盡相同，因此預報成霧的發生仍然有極大的瓶頸。本研究將藉由地面氣象觀測資料進行溫度、濕度、相對濕度、溫度露點差及風場的統計分析，瞭解臺灣地區成霧的區域特徵，並利用 WRF 高解析數值模式進行模擬，期望發展出一套適合臺灣的低能見度預報，使預報員能更有效提前掌握濃霧發生的時機。

二、研究方法與模式設定

(一) 研究方法

本研究使用中央氣象局 2009~2014 年(新竹、嘉義、臺南、金門、馬祖測站)及空軍 2011~2013 年(新竹、嘉義、岡山)地面氣象觀測資料，資料時間間隔皆為每小時一筆資料，其中霧時的定義為測站能見度小於 1km 及視障為 1 或 3 的 1 小時區間(視障 1 為霧，其相對濕度接近 100%，水平能見度不及 1km；視障 3 為低霧，為接近地表面之霧，水平能見度不及 1km，霧之高度較低且厚度不高)。

首先利用統計學法，進行各測站霧時統計，由中央氣象局地面氣象觀測資料統計發現，臺灣西部地區以嘉義、臺南等地區最容易發生濃霧現象，一年當中以 1~3 月成霧的次數最多；外島則以金門、馬祖地區最容易發生濃霧現象，一年當中以 2~5 月成霧次數最多，因此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。

其次利用天氣學法，以謝等(2010)[1]所定義臺灣地區霧日生成的天氣類型，利用地面至 850 hPa 天氣圖、衛星雲圖將 6 年間霧日進行個案分析並歸類(表省略)，發現臺灣西部地區以高壓出海佔總霧日數的 27% 最高，其次為高壓迴流佔了總霧日數的 26%，因此挑選此二類個案進行數值模擬研究，藉

由不同的能見度演算法進一步分析與比對測站資料與模擬結果是否具有一致性，並尋求最佳模擬結果，以建立臺灣西部地區濃霧預報模式。研究中使用三種國際上常用的能見度演算法進行模擬，內容如下：

(一) Steolinga and Warner method (SW99, 1998)[6]

$$I(X_{obs})/I_0 = \exp\left(-\int_0^{X_{obs}} \beta(x) dx\right)$$

(二) Forecast Systems Laboratory (FSL, 2008)[7]

$$I(X_{obs})/I_0 = \exp\left(-\int_0^{X_{obs}} \beta(x) dx\right)$$

(三) Rule-Based Fog Detection Scheme (NCEP, 2010)[8]

模式最底層 $LWC \geq 0.015(g/kg)$

10m 風速 $\leq 1ms^{-1}$ 及 2m 相對濕度 $\geq 95\%$

(二) 模式設定

本篇研究使用 WRF 模式 V3.3.1 版，個案一模擬初始時間從 2012 年 1 月 13 日 20LST 至 2012 年 1 月 14 日 20LST；個案二模擬初始時間從 2011 年 2 月 26 日 20LST 至 2011 年 2 月 27 日 20LST，模擬時間皆 24 小時。模式之初始場及側邊界條件採用美國國家環境預報中心(NCEP)每 6 小時之 Global Final Analysis (簡稱 FNL) 進行模擬，空間解析度為 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 。本模擬採用兩層巢狀網格進行模擬，網格設定以 $120.5^\circ E$ 、 $23.5^\circ N$ 為中心，Domain1 (D1) 範圍包含 $98.6 \sim 141.2^\circ E$ 、 $7.7 \sim 36.1^\circ N$ ，網格解析度為 25km，網格數為 165×135 ；Domain2 (D2) 範圍包含 $115.5 \sim 126.6^\circ E$ 、 $20.4 \sim 28.7^\circ N$ ，網格解析度為 5km，網格數為 211×191 ，地圖投影方式為藍伯特投影，積分步長設定為每 60 秒積分一次。

在過去的研究中指出，模式對於模擬霧的能力與垂直解析度極為敏感(Kong, 2002; Tardif, 2007) [9][10]，因此從地面至 100 hPa 的垂直方向上再加入追隨地勢的 η 座標，共 41 層，並對於成霧影響最明顯的近地面層調整最為密集。

模式所選用的微物理參數法方案為 WSM5 scheme (Hong et al., 2004) [11]，此參數法包含了水汽、雨、雪、雲冰和雲水等物理過程之描述，適合處理成霧時之水相轉變過程。積雲參數化使用 Kain-Fritsch scheme (Kain et al., 2004) [12]，由於輻射霧在形成與發展過程中，同時伴隨著水汽上升及下沉的淺對流運動，因此需要積雲參數化才能準確模擬霧的生消過程。邊界層參數法採用 YSU PBL scheme (Hong et al., 2006) [13]，長波輻射參數法採用 RRTM schemescheme (Mlawer et al. 1997) [14]，此參數法考慮了水汽及二氧化碳及其他氣體所引起的長波過程。短波輻射參數法採用 Dudhia scheme (Dudhia 1989) [15]，由於霧消時間常常在日出升溫之後，因此參數法中須考慮太陽輻射對於空氣散射、水汽吸收及雲的反射和吸收後之通量。地表層選項採用 Monin-Obukhov scheme (Monin and Obukhov, 1954) [16]。地表土壤過程參數法則採用 5-layer thermal diffusion scheme，其土壤分層厚度分別為 1、2、4、8、16 公分，地表、土壤溫度及土壤剖面濕度等相關資料隨積分時間輸入，並包含輻射、可感熱通量與潛熱通量等能量收支等，與近地表輻射霧形成有極大關連。相關設定如表 1。

表 1. 模式環境相關設定。

	Domain1	Domain2
網格數	165 x 135	211 x 191
資料水平空間解析度	$1^\circ \times 1^\circ$	
垂直層 sigma levels	1.000, 0.999, 0.997, 0.994, 0.990, 0.985, 0.979, 0.972, 0.964, 0.955, 0.945, 0.934, 0.922, 0.909, 0.895, 0.880, 0.864, 0.847, 0.829, 0.810, 0.790, 0.769, 0.747, 0.724, 0.700, 0.675, 0.649, 0.621, 0.591, 0.559, 0.525, 0.489, 0.451, 0.411, 0.367, 0.319,	

	0.267, 0.211, 0.149, 0.081, 0.000	
水平解析度	25km	5km
地形解析度	10m	30s
微物理參數法	WSM5	
積雲參數法	Kain-Fritsch scheme	
長波輻射參數	RRTM	
短波輻射參數	Dudhia scheme	
邊界層參數法	YSU PBL	
地表層參數	Monin-Obukhov scheme	
土壤參數	5-layer thermal diffusion scheme	

(三) 統計分析與預測參考指標

本研究資料統計分為兩部分，第一部分為測站霧時特性統計，結果如下：新竹測站統計顯示(圖1)，溫度平均介於 14°C ~ 19°C 之間，此一區間的溫度成霧次數也最為頻繁，其中1月以 18°C 成霧次數較多，2月為 14°C ~ 18°C ，3月為 15°C 及 19°C ，由此發現各月份成霧次數較多的溫度區間皆位於平均溫度內，非溫度愈低成霧次數就愈多，顯示新竹測站之溫度與成霧的相關性不大；溫度露點差方面，平均介於 2°C ~ 3°C 之間，成霧時介於 0°C ~ 2.5°C 之間，溫度露點差越低，成霧的次數愈多，其中1月以 1°C ~ 1.5°C 出現霧的次數較多，2月及3月以小於 0.5°C 出現霧的次數最多；相對濕度平均介於 85% ~ 90% 之間，其中1月以 95% 成霧次數最多，2月及3月以 100% 成霧次數最多。

嘉義測站統計顯示(圖2)，溫度平均介於 16°C ~ 18°C 之間，其中1月以 13°C ~ 15°C 成霧次數最多，2月為 15°C ~ 17°C ，3月為 16°C ，由此顯示1月及2月成霧時溫度皆低於平均溫度，嘉義測站容易受降溫影響而成霧；溫度露點差方面，平均介於 2°C ~ 3°C 之間，而成霧時各月份分布有所不同，1月以 0.5°C ~ 1°C 成霧次數最多，2月為 0.5°C ~ 2°C ，3

月為 0°C ~ 1°C 之間，同時發現並非溫度露點差愈低成霧次數愈多，甚至高達 3.5°C 仍然有少次的霧形成，顯示嘉義測站特殊的環境條件所造成；各月份相對濕度平均為 85% ~ 90% ，並以 90% 以上成霧次數最多，相對濕度愈高，成霧次數愈多。

臺南測站統計顯示(圖3)，溫度分布隨著月份增加，平均溫度有上升的情況，表示冷空氣南下的情況明顯減弱，平均溫度1月為 16°C ~ 18°C ，2月為 19°C ~ 21°C ，3月為 22°C ~ 24°C ，霧時溫度介於 13°C ~ 24°C 之間，其中成霧次數最多的溫度區間分別為：1月 15°C ~ 18°C 、2月及3月為 16°C ~ 19°C ，顯示霧時溫度低於平均溫度；溫度露點差方面，成霧時以 1.5°C ~ 2°C 次數最多，因臺南測站六年中出現 $<1^{\circ}\text{C}$ 的次數極少，故成霧次數也較少；各月份相對濕度平均介於 80% ~ 85% ，並以 90% ~ 95% 成霧次數最多，霧時溫度達 100% 於六年中僅出現12次。

金門測站統計顯示(圖4)，溫度方面2~3月受冷空氣南下影響溫度普遍偏低，多介於 14°C ~ 16°C 且不易有霧形成，4月及5月溫度迅速回升，分別介於 18°C ~ 20°C 及 22°C ~ 25°C ，其中各月份成霧次數最多的溫度區間分別為：2月 18°C ~ 19°C 、3月為 18°C ~ 19°C 、4月為 20°C ~ 21°C 、5月為 23°C ~ 24°C ，顯示霧時溫度有高於平均溫度的情況，研判應與暖平流有關，使得金門地區常受平流霧所影響；溫度露點差方面，平均介於 1.5°C ~ 2°C ，成霧時大致介於 0°C ~ 2.5°C 之間形成，其中以 1.5°C ~ 2°C 成霧次數最多；相對濕度分布圖顯示，4~5月相對濕度平均介於 90% ~ 95% 之間，其中以 90% ~ 100% 成霧次數最多。

馬祖測站統計顯示(圖5)，溫度方面2~3月受冷空氣影響溫度明顯偏低，平均溫度介於 9°C ~ 11°C ，4~5月溫度迅速回升，分別介於 15°C ~ 17°C 及 19°C ~ 22°C 之間，其中各月份成霧次數最多的溫度區間為：2~3月 11°C ~ 13°C 、4月為 14°C ~ 19°C 、5月 19°C ~ 23°C ，由此發現各月份成霧次數較多的溫度區

間皆位於平均溫度內，顯示馬祖測站溫度變化與成霧相關性較小；溫度露點差方面，平均介於 $1.5^{\circ}\text{C}\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ ，成霧時則以 1.5°C 以下最多，顯示溫度露點差愈低，成霧次數愈多；相對濕度分布圖顯示，以 $85\%\sim 100\%$ 居多，且相對濕度 100% 成霧次數最多。

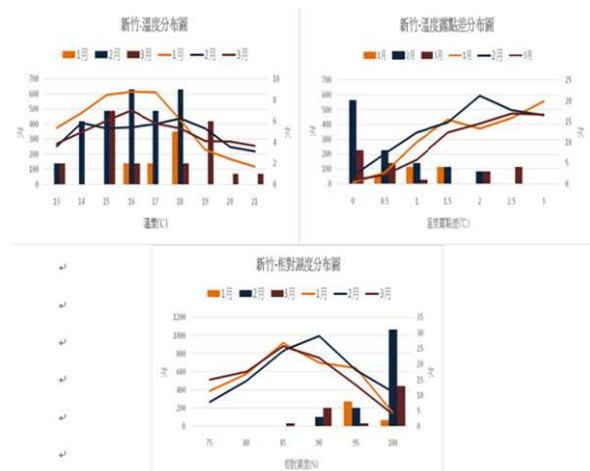


圖1.中央氣象局新竹測站氣象要素統計圖

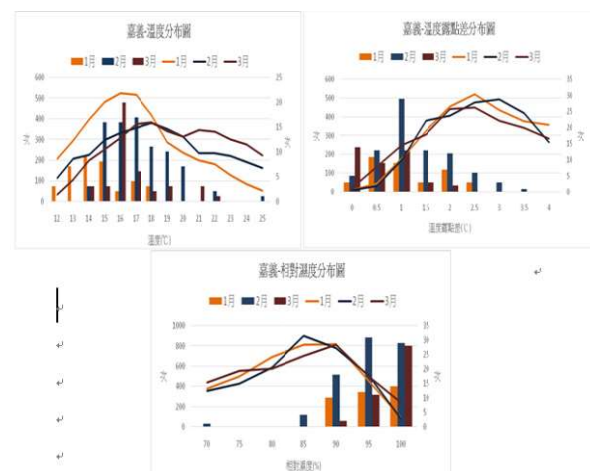


圖2.中央氣象局嘉義測站氣象要素統計圖

第二部分為建立霧時預測參考指標，以量化為百分比的方式，呈現各測站成霧時氣

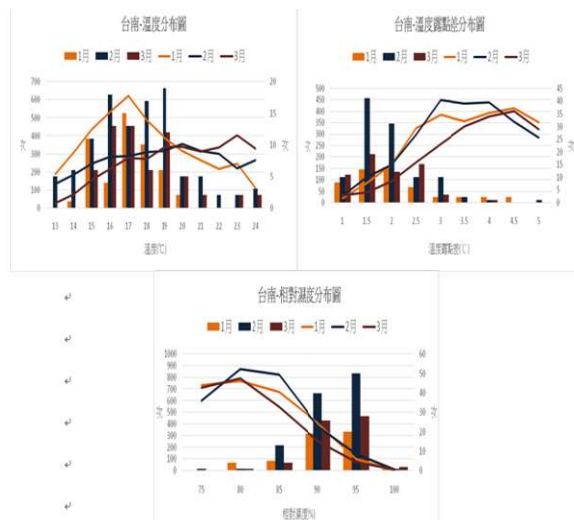


圖3.中央氣象局台南測站氣象要素統計圖

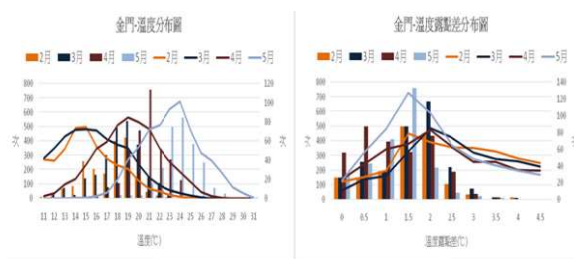


圖4.中央氣象局金門測站氣象要素統計圖

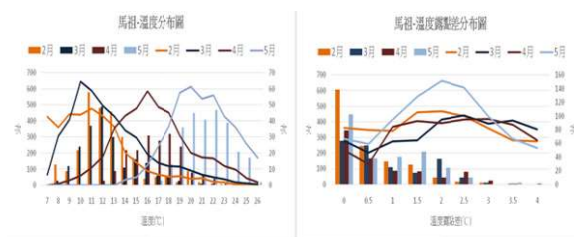


圖5.中央氣象局馬祖測站氣象要素統計圖

象要素之可預報率(表省略)，綜合各項指標最高可預報率結果如表2，統計後發現在未考

慮綜觀環境系統配置下，以溫度、溫度露點差、相對濕度及風速等天氣要素研判成霧的可預報率仍然是不足的，無法直接用以預報天氣，僅能藉由預測值了解各測站成霧時的環境特徵，供氣象人員參考使用之，其次由上述的風速統計資料可發現，嘉義及臺南地區成霧雖以輻射霧為主，但很顯然與許多輻射霧形成條件的研究不相符，並非僅於微弱風速環境下才能形成輻射霧，臺南測站甚至達到 5ms^{-1} 的霧時比小於 2ms^{-1} 還要更多，有鑑於此，運用WRF模擬了解各種成霧時之綜觀環境並配合成霧預測參考指標，將有助於氣象人員掌握成霧時機。

表2. 中央氣象局西部測站-霧時預測參考指標。

測站	新竹	嘉義	台南	金門	馬祖
參考指標					
溫度(°C)	13~19	15~19	14~19	17~26	15~25
溫度露點差(°C)	0	0~1	0~2	0~2	0~0.5
相對濕度(%)	100	100	95~100	90~100	100
風速(ms^{-1})	1~2	1~3	1~5	1~3	1~4

三、模擬結果分析

針對臺灣西部霧的好發季節1~3月進行成霧時環境場分析，發現嘉義、臺南成霧次數大於各縣市，且成霧天氣主要受高壓出海及高壓迴流天氣型態所影響，其中高壓出海的霧日次數約佔了所有霧日的27%，高壓迴流次數佔了26%之多，首先選取嘉義與臺南測站受高壓迴流(2011年2月27日)及高壓出海(2012年1月14日)個案，利用個案發生期間之地面及高空天氣圖、探空圖及可見光衛星雲圖分析其環境場特徵，最後以WRF模式模擬其環境特徵，尋求最佳模擬結果。其次，以最佳模擬結果之能見度方程式，針對2015年11月1日至2016年3月31日各個霧日進行預報實驗，以建立臺灣西部地區濃霧預報模式。

(一) 高壓迴流(2011年2月27日)模擬結果

SW99能見度方程式模擬結果(如圖6)，測站資料顯示實際影響時間為07~08LST，最

低能見度為800m。嘉義測站模擬情形在時間上差異不大，但在強度上有過度預報的現象；臺南測站方面，時間上模擬與實際發生大致相符，但強度仍有些許落差。PPI模式：可以 -10° 至 90° 的固定高度角，於水平方位角執行 0° 至 360° 方向掃描，運轉模式示意如圖7，並藉由儀器求得其徑向風場資訊，產品資料如圖8。

FSL模擬方面(圖7)，模擬結果在時間上與SW99相仿，但能見度幾乎維持100m，相較於SW99於強度方面的過度預報情況更為明顯。NCEP使用的霧檢測方案模擬結果(如圖8)，發現雖然成功模擬了霧區，但受到風速條件影響下時間誤差較大，對於具有海島特性的臺灣來說，風速鮮少低於 1ms^{-1} ，對於沿海地區更是如此。

(二) 高壓出海(2012年1月14日)模擬結果

SW99能見度方程式模擬結果經分析發現(如圖9)，SW99模擬與實際發生在時間上有略微的差異存在，強度模擬方面，嘉義最低能見度低於100m而實際最低能見度則為300m，WRF模式大致上掌握了低能見度的影響時間、位置及範圍。

在FSL模擬方面(如圖10)，影響嘉義及台南地區的時間與區域大致與SW99相同，但整體低能見度的強度幾乎維持低於100m，顯示FSL對於能見度變化較為遲鈍，無法正確反應能見度的強度。

NCEP模擬發現(如圖11)，模擬到低能見度的時間落後實際影響時間4小時以上，且模擬結束時間亦較實際結束時間提前3小時，顯示風速條件對於NCEP霧的檢測方案仍然具有較大影響。

(三) 2015年11月至2016年3月霧季預報實驗

本研究藉由表現較佳的SW99能見度方程式，嘗試針對2015年11月1日至2016年3月31日各個霧日進行預報實驗，挑選中央氣象局

西部地區人工觀測站所觀測到成霧的測站，分別為臺中梧棲、嘉義及臺南等測站，一天執行二次預報實驗，分別以08LST及20LST為初始場，每一次預報時間長度為36小時。表3為測站所觀測到的霧日及霧時，其中霧日數計有13日，從個案模擬結果比對顯示(圖省略)，13個霧日中，有8天成功預報出低能見度區域，其成功率可達61.5%，且成功模擬之個案其影響時間與實際低能見度發生時間大致相符。

此預報結果確切的反應出了低能見度的發生時間、位置及強度，對於過往利用相對濕度及區域性氣候特徵輔以主觀判斷低能見度的發生，呈現了不同的判斷方式，且預報成功率相對於霧時預測參考指標具有大幅的提升。

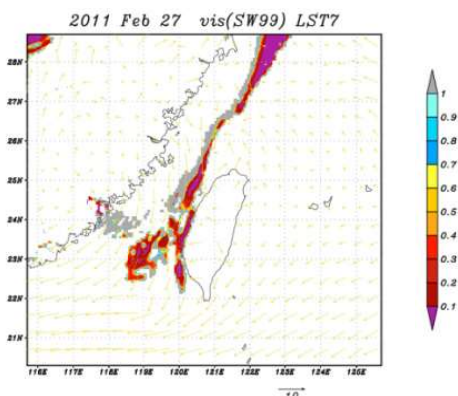


圖6. 2011年2月27日SW99低能見度模擬圖

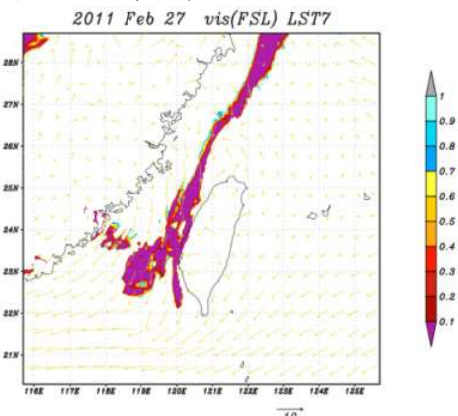


圖7. 2011年2月27日FSL低能見度模擬圖

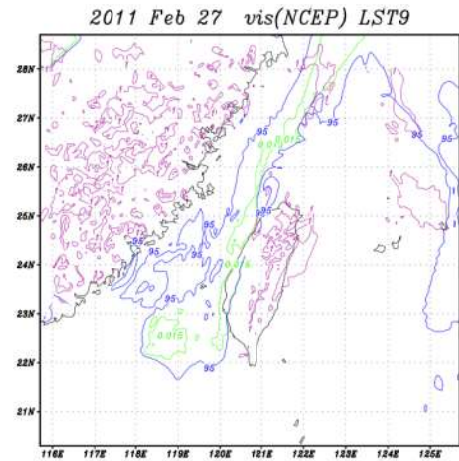


圖8. 2011年2月27日NCEP低能見度模擬圖 (綠色：液態水含量、紫色：10m風速、藍色：2m相對濕度)。

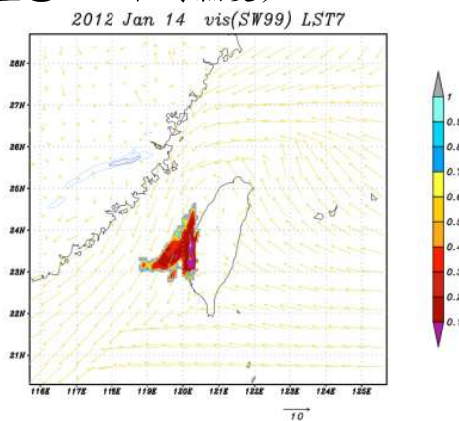


圖9. 2012年1月14日SW99低能見度模擬圖

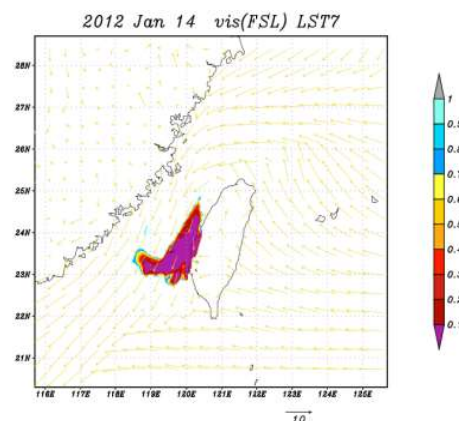


圖10. 2012年1月14日FSL低能見度模擬圖

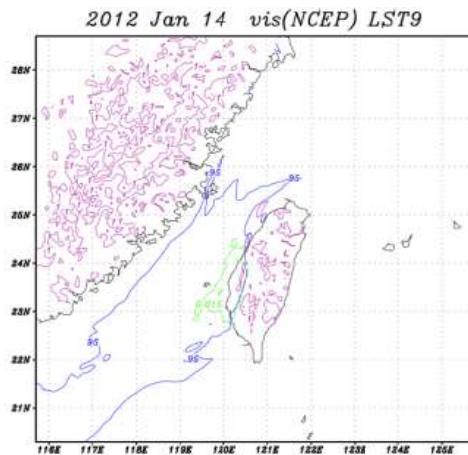


圖 11. 2012 年 1 月 14 日 NCEP 低能見度模擬圖
(綠色：液態水含量、紫色：10m 風速、藍色：2m 相對濕度)。

表 3. 2015 年 11 月至 2016 年 3 月 臺灣西部地區
成霧之測站 (時間：LST)。

日期 ^a	台中梧棲 ^b	嘉義	台南
(a) 2015/11/05		08	
(b) 2015/11/09		05~08	07~08
(c) 2015/11/13		05~06	
(d) 2015/12/13		07~08	
(e) 2015/12/22		08~09	07~08
(f) 2015/12/23			21~02
(g) 2015/12/25			03~06
(h) 2016/01/04			1~11
(i) 2016/01/05	04~11	08~10	
(j) 2016/03/03		02~07	
(k) 2016/03/07		01~07	03~08
(l) 2016/03/17		01~07	
(m) 2016/03/20		01~07	

四、結論與未來展望

在臺灣，濃霧的發生並不頻繁，因此對於低能見度的研究相對較少，但實際上因濃霧所造成的交通危害或飛航事故卻時而有之，在安全上確實有著嚴重的影響，反觀國內對於低能見度的預報作業仍以相對濕度多寡或綜觀尺度系統輔以主觀經驗判斷，對於預

報之成果仍有相當大的改善空間。本研究為提昇低能見度預報能力，進行了二項工作：(一) 以統計學法對較常發生濃霧的新竹、嘉義、臺南、金門、馬祖等地區進行霧時統計分析，以了解成霧時該區域之氣象特徵，並進而建立霧時氣象要素預測參考指標，可供預報人員掌握氣象變化，及時判斷成霧時機。(二) 運用 WRF 模式配合國際上常使用之低能見度預報方程式，進行個案模擬及分析，並尋求最佳模擬結果，期以建立臺灣西部地區低能見度預報模式。

藉由各測站氣象要素統計，可以了解不同的地理位置及環境特徵之差異，將有助於短時間掌握成霧時機。其次由上述統計成果計算霧時預測參考指標，結果顯示各氣象要素之成霧可預報率僅僅只有 1%~18% 不等，顯示在未考量綜觀環境場的條件下，各氣象要素之變化並非成霧必要條件，仍需以高解析度之 WRF 模式模擬，方能提高預報準確度。

個案分析及模擬方面，SW99 與 FSL 演算法在成霧與霧消的時間上與觀測資料大致相符，但在能見度強度上，SW99 較 FSL 的辨別能力更好。而 NCEP 的診斷方式需以地面風速低於 1ms^{-1} 為條件，模擬上成霧與霧消的時間與實際觀測差異較大，原因是臺灣為一海島，地面風速低於 1ms^{-1} 的時間較少，故 NCEP 的診斷方式不適用於臺灣地區。

最後針對 2015 年 11 月 1 日至 2016 年 3 月 31 日之霧日進行預報實驗，預報結果確切的反應出了低能見度的發生時間、位置及強度，其預報成功機率達 61.5%，相較於過往以主觀經驗輔以相對濕度之作業方式有了大幅的成長。

五、參考文獻

謝明昌，鄭師中，黃椿喜，謝旻耕，(2010)：

- 台灣地區成霧預報指引之建立，臺灣警察專科學校警專學報，4 卷，8 期，143-162。
- 林雍嵐，(2010)：臺灣北部低能見度天氣個案模擬分析，第五屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會論文集。
- 楊 靜，汪 超，(2010)：貴州山區一次鋒面霧的數值模擬及形成條件診斷分析，貴州氣象，34 卷，2 期，3-9 頁。
- Ballard S. P., Golding B. W. and Smith R. N. B., (1991): Mesoscale Model Experimental Forecasts of the Haar of Northeast Scotland, *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2107-2123.
- Bergot T. and Guedalia D., (1994): Numerical Forecasting of Radiation Fog. Part I: Numerical Model and Sensitivity Tests, *Mon. Wea. Rev.*, 1218-1230.
- Stoelinga, M. T. and Warner T. T. (1998), Nonhydrostatic, Mesobeta-Scale Model Simulations of Cloud Ceiling and Visibility for an East Coast Winter Precipitation Event, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 38, pp. 385-404.
- Bang C. H., Lee J. W., and Hong S. Y. (2008), Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model, *J. KOSAE*, Vol. 24, pp. 92-101.
- Zhou B. and Du J. (2010), Fog Prediction from a Multimodel Mesoscale Ensemble Prediction System, *Wea. and Forecasting*, Vol. 25, pp. 303-322.
- Kong F. (2002), An Experimental Simulation of a Coastal Fog-Stratus Case using COAMPS(tm) Model, *Atmos. Res.*, Vol. 23, pp. 205-215.
- Tardif R. (2007), The Impact of Vertical Resolution in the Explicit Numerical Forecasting of Radiation Fog: A Case Study, *Pure and Appl. Geophys.*, Vol. 164, pp. 1221-1240.
- Hong S. Y., Dudhia J., and Chen S. H. (2004), A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 132, pp. 103-120.
- Kain J. S. (2004), The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 43, pp. 170-181.
- Hong S. Y., Noh Y. and Dudhia J. (2006), A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes, *Mon. Weather Rev.*, Vol. 134, pp. 2318-2341.
- Mlawer E. J., Taubman S. J., Brown P. D., Iacono M. J., and Clough S. A. (1997), Radiative Transfer for Inhomogeneous Atmospheres: RRTM, a Validated Correlated-k Model for the Longwave, *J. Geophys. Res.*, Vol. 102, pp. 4353-4356.
- Dudhia J. (1989), Numerical Study of Convection Observed During the Winter Monsoon Experiment using a Mesoscale Two-Dimensional Model, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 46, pp. 3077-3107.
- Monin, A. S. and Obukhov A. M. (1954), Basic Laws of Turbulent Mixing in the Surface Layer of the Atmosphere, *Tr. Akad. Nauk. SSSR Geophys. Inst.*, Vol. 24, pp. 163-187.

Analysis and Modeling of Low Visibility Environment Characterization in Western Taiwan and Off-Shore Islands

Chen- Yuan Chiu¹ Chi-Chang Liao²

The 6rd Weather Center, Weather Wing, C.A.F., R.O.C¹.

Chung Cheng Institute of Technology National Defense University²

ABSTRACT

According to civil air transport flight accidents disaggregated statistics, in 1999-2008 there were 37 flight accidents and 41% were related to the environment factors. Meanwhile, weather factors accounted for 38%.

Based on the Aviation Safety Network statistics showing 2000-2014 of the fatal flight accidents and weather-related, in which the flight safety accident occurred due to low visibility accounted for 34%, Evident low visibility hugely affect flight safety.

Taiwan belongs island climate with abundant moisture and the western region are mostly plain, terraced terrain, wherefore more conducive to the formation of dense fog. This resulted the effective control dense fog forming timing is extremely important for the west and the outer islands airports.

In this study, surface meteorological observations data of the Central Weather Bureau (2009-2014) and Air Force (2009-2013) were used. Besides that, used statistics method summed up the regional, fogging characteristics and establishes the fogging of meteorological elements reference indicators. Statistics showed that station in western Taiwan fogging temperature range between 14°C-19°C. In addition, the relative humidity and the difference of the temperature and dew point respectively 95% above and 0-2.5°C. In terms of wind speed, Hsinchu region Winds weak during fogging but Chiayi and Tainan station up to 3ms-1-5ms-1 still have the chance of fogging. Statistics showed that Forecast rate is seriously low, represent each indicator is fogging sufficient conditions, but not necessary condition, therefore not suitable as a basis for forecasting. However, it still manages to understand the environmental characteristics by predicted value and provide forecasters reference.

In order to develop low visibility forecast models for Taiwan, in this study, the most prone to dense fog in winter and spring, selection of Chiayi and Tainan low visibility cases were analyzed using high-resolution numerical WRF model. Reference from foreign scholars successfully simulated fog parameter and visibility equation were acted as a platform to simulate low visibility occurrence with the discovery of more than simulate regional as well as fogging occurs broadly in line with the actual time.