

# 臺灣海峽外島及西部沿岸低能見度預報與分析

廖杞昌 汪建良 梁佳齡<sup>1</sup> 崔怡楓 羅明福<sup>2</sup>  
國防大學理工學院環境資訊及工程學系<sup>1</sup>  
海軍大氣海洋局<sup>2</sup>

## 摘要

霧在低空層造成之低能見度容易危及海空交通。因此，預報霧的生消對臺灣及其週邊區域極為重要，特別於冬末春初之季。本研究分為兩階段：(1)使用中央氣象局觀測資料統計分析2004年至2016年霧時特徵及(2)以SW99、FSL兩種國外能見度換算公式逐時校驗WRF模式之2016年結果。模式敏感度測試則以兩霧日個案進行。首先，本研究中央氣象局觀測資料分析結果為：霧的發生頻率上，離外島以金門和馬祖發生次數為最高，西部地區則以嘉義和臺南次數為最高。霧的發生時間上，霧好發月份在所有測站皆為12月至翌年4月。霧的類型上，離外島多為平流霧，西部地區多為輻射霧。霧的氣象要素為相對濕度超過80%，溫度和露點溫度差小於攝氏6度。其次，本研究2016年逐時模擬驗證兩能見度換算公式對霧的預報準確率，過程中使用Google Map標示測站，標明以測站為中心、半徑50km的9個圓周。結果顯示低能見度預報之平均成功率高於80%。最後，於模式敏感度測試中，「模式初始時間」大幅影響預報霧出現時間，對預報範圍及強度上則僅略有影響。且僅「微物理參數」影響預報能見度強度。

關鍵字：霧、WRF數值模擬、敏感度測試、能見度換算公式

## 一、前言

孫子兵法：「道、天、地、將、法，凡此五者，將莫不聞，知之者勝，不知者不勝。」氣象與軍事向來有密切關係。歷史上，不管是東方亦或是西方，巧妙地運用天氣的戰役，不勝枚舉。正確運用氣象條件於軍事上，歷年來被視為兵家不可或缺的一項指揮藝術。

大霧引發的交通事故，高出其他災害性天氣條件2.5倍，所造成的傷、亡人數分別占事故傷、亡總數的29.5%和16% [1]。近年來因霧而造成交通運輸傷亡遍及陸海空。氣象觀測實務上，世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO) [2, 3]與中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB) [4]定義霧為水平能見度低於1km且相對濕度接近100%的天氣現象，而中央氣象局則針對平原地區發生200m以下的濃霧事件發布濃霧特報。

目前霧之觀測以測量能見度的方式為主，分為人工目測與儀器測量，各有其測量限制。數值模式被廣泛用以從事霧的研究及預報。隨著近幾十年來數值模式改進與氣象觀測的技術與品質提升，可提供數值模式更佳的初始條件，使預報分析結果更為準確。

Mariusz et al. (2004) [5]使用第5代中尺度氣象模式系統(MM5)研究加拿大安大略湖濃霧事件，發現湖中源源不斷的水汽供應加上湖陸風環流是導致車禍的主因，另外指出模式因缺乏植被和微物理氣溶膠之參數，不適用於不同地區所形成之濃霧事件。Gao et al. (2007) [6]使用MM5模擬2005年3月黃海濃霧的範圍及移動情況，證明數值模式提供進一步預測霧的方法，此外敏感度測試顯示，若使用系集預報，預測成效更好。Bang et al. (2008) [7]使用中尺度數值天氣預報系統(Weather Research and Forecasting, WRF)模擬2003年至2006年韓國機場低能見度及霧發生的情況，將其模擬出之值套用4個常見計算能見度公式，利用迴歸方式調整公式值可大幅提升預報情況。龐(2014) [8]利用WRF對2002年1月的上海大霧進行了模擬研究，其準確地模擬出天氣型態及霧的過程，而輸出的液態含水量和觀測的霧區分佈一致。

然而受限於霧的屬性在微物理和中尺度的邊界層中會受天氣系統影響，數值模擬應用於預測霧的發生時機、持續時間及強度上仍顯困難(Croft, Pfost, Medlin, and Johnson, 1997) [9]。綜合上述，霧的觀測及預報分析在實務應用上有其困難與使用限制，直接影響到準確程度。因此本研究期望藉臺灣離外島及西部霧日觀測資料建立參考依據，並透過參數調

整提升霧的預報成效，以增進未來天氣預報精準程度。

## 二、研究方法與資料來源

本研究觀測資料整合2004年至2016年共13年發生霧之個案觀測資料，統合時間序列分布，其來源有三：（一）逐時地面測站觀測資料：為大氣水文研究資料庫中央氣象局逐時氣象測站資料。囿於中央氣象局馬祖及金門測站始於2004年1月1日觀測，故本研究僅選取2004年至2016年觀測資料。臺灣西部地區及離外島共9個測站，包括馬祖、金門、澎湖、基隆、新竹、梧棲、嘉義、臺南、高雄。（二）天氣型態：採用空軍氣象聯隊於軍網之每日晨報天氣概述。（三）地面天氣圖、NOGAPS (U.S. Navy's Operational Global Atmospheric Prediction System Model) 925 hPa風場、可見光及紅外線雲圖和斜溫圖：引用自大氣水文研究資料庫及文化大學劉清煌副教授的網頁。

本研究數值模擬所使用的初始資料和邊界條件的資料，來自美國國家環境預報中心全球預報系統之最後分析資料(Final Analyses, Global Forecast System, NCEP)。資料時間每6小時一筆，包含0000 UTC、0600 UTC、1200 UTC及1800 UTC，水平空間解析度為 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ ，垂直空間解析度包含自地表1000 hPa至高空10 hPa共三十二層等壓面，及近乎一百種參數資訊。本研究基於霧的屬性在微物理和中尺度的邊界層中受不同天氣系統而有差異，從中採用微物理參數、積雲參數、長短波輻射參數、行星邊界層參數、地表層參數及土壤參數等進行敏感度測試。

本研究將WRF 模式中2016年逐時天氣數值模擬結果進行能見度換算。目前國際能見度換算公式有5種，包含Steolinga and Warner method (SW99) [10]、Forecast Systems Laboratory method (FSL) [11]、Rapid Update Cycle method (RUC)、A combined visibility method (CVIS)及A revised algorithm (RVIS) [7]。上述前3種公式為國際常用能見度換算之方法，而RUC演算法僅考量相對溼度變化，無法有效反映能見度變化趨勢，故本研究僅採用SW99與FSL能見度換算公式，如下。

(一) SW99

$$x_{vis} = \frac{-\ln(0.02)}{\beta} \quad (式1)$$

(二) FSL

$$x_{vis} = 1.61 \times 6000 \times \frac{T-T_d}{(RH)^{1.75}} \quad (式2)$$

## 三、歷史資料的定性分析及個案選取

在歷史資料的定性分析方面，本研究統計（一）近13年霧時地面測站觀測資料及（二）2016年天氣型態。因能見度觀測數值侷限於資料可及性，為確保資料完整及連續性，本研究定義霧時為視障出現1和3、能見度低於或等於1km及無能見度觀測之資料。

近13年霧時地面測站觀測資料中，以時序分析發現：年統計資料，外島以金門和馬祖次數為最高，西部地區則以嘉義和臺南次數為最高（圖1）；月統計資料，全年各測站除9月份外皆有發生霧，外島發生霧時多在11月至翌年6月，佔全年97.6%；又以2月至5月次數最多，佔81.2%。本島發生霧時多在12月至翌年4月，佔全年87.5%；又以1月至3月次數為最多，佔69.0%（圖2）。時統計部分，不論是本島及外島，7時為霧之巔峰期，分別佔19.0%與7.6%。外島1時至24時皆有發生霧，本島發生霧之時段為1時至10時最為顯著，佔92.0%（圖3）。研判霧的類型，外島以平流霧為主，本島以輻射霧為主。以氣象要素分析發現：各測站發生霧之溫度和露點溫度差值皆位於 $6^{\circ}\text{C}$ 內，相對溼度區間幾乎位於80%至100%間，溫度和露點溫度差及相對溼度呈反方向關係（圖4）。各測站發生霧之風花圖由Matlab繪製，其風速多位於 $4 \text{ m/s}$ 以內，明顯較含括所有天氣現象之風花圖為小（圖5）。發生霧之風花圖大多與含括所有天氣現象之風花圖的風向相同，僅外島測站在發生霧時有南風為例外。本研究將依此觀測資料結果選擇個案。

2016年天氣型態統計中可發現全年霧日共83天，總類達50種。霧日發生之天氣型態以分裂高壓出海居冠佔41%，其次分別為偏南風佔19%、高壓迴流佔12%。

本研究針對佔比最高的受鋒面或滯留鋒面影響個案進行探討。時間則以前述統計中發生霧時佔比最多之12月至4月挑選之。本研究從離外島及本島西部沿岸各挑選適合個案，個案一選定為馬祖測站4月12日2200 UTC到4月13日1000 UTC測得霧，與金門測站4月13日0600 UTC到1000 UTC測得霧；個案二選定為嘉義測站12月21日2100 UTC到2300 UTC測得霧，與臺南測站12月21日1700 UTC到12月22日0000 UTC測得霧。上述個案符合文獻回顧與前述歷史資料定性分析結果，發生於12月至4月區間且為受鋒面或滯留鋒面所影響，外島選定平流霧，本島選定輻射霧，屬好發霧類型，適合深入探討以作為將來之參考。

## 四、數值天氣預報及個案敏感度測試

本研究運用WRF V3.8進行2016年逐時模擬以測試驗證兩公式(式1及式2)對於霧的預報準確率。驗證方法中本研究採用透明投影片繪製與逐時模擬相同的臺灣地圖。其繪製方法為使用Google Map標出9個測站經緯度後,以測站為中心繪製半徑為50km的圓周。本研究定義此圓周內若出現色塊則預報有霧;反之,若無色塊則預報無霧。同時本研究將WRF V3.8結果以兩公式換算能見度並使用Grads輸出圖資,圖資內不同色階即代表能見度的強度,由具有經驗的研究者判斷在測站50km範圍內能見度低於1km之預報成功及失敗率。另外,為進行與研究者判斷準確率之交叉驗證,本研究又將WRF V3.8中關於兩個案結果以Fortran 90得出能見度低於或等於1km之數值,以Excel整合預報成功及失敗率,結果發現研究者判斷與Fortran 90數值成果相符合。

本研究對於霧的預報成功率除4月FSL外均達80%以上,總括全部測站預報成功率FSL較SW99高3%。細分以月份來看,1月至3月及8月至12月FSL優於SW99預報成功率;反之,4月至6月SW99則優於FSL預報成功率;7月則兩公式預報成功率相當。若再以臺灣離外島細分來看,預報成功率SW99較FSL高4%;反之,臺灣西部預報成功率FSL較SW99高5%(表1)。

本研究為了得到較佳敏感度測試結果,調整參數立基於WRF調查其用戶最頻繁使用的物理方案[12]、國內外學者進行霧之數值模擬所使用的物理方案與研究者經驗。且本研究也採用洪景山等人[13]應用WRF模式於東亞地區進行天氣預報時所建議的最佳物理參數組合進行測試,包含微物理參數使用WRF Single-Moment 5-class scheme,積雲參數使用Kain-Fritsch scheme,邊界層參數使用Yonsei University scheme。基於上述與考量霧的特性,故本研究選用六種參數進行敏感度測試,包含時間、微物理參數、積雲參數、長短波輻射、行星邊界層、地表與土壤參數。另外,王佳等人[14]指出採用LWC來描述霧的生消是可行的;一般認為[15]霧中LWC範圍為0.05g/kg至0.5g/kg。故本研究除了分析六種敏感度測試之結果及探討國外能見度換算公式預報之差異,也分析霧中LWC,期望提升WRF對霧的預報能力,以供預報作業參考。

### (一) 敏感度測試—初始時間

個案一初始時間若為霧日當日0000 UTC,則較霧日當日0000 UTC、霧日當日1200 UTC等其他兩初始時間延遲3小時才出現霧;在霧區範圍上,初始時間若愈接近霧日,則模擬結果霧的範圍愈有縮減趨

勢;在能見度強度上,FSL顯示能見度低於0.05km,SW99顯示能見度為0.05km至0.35km。另外在國外能見度換算公式部分,SW99在預報時間及範圍上與FSL大致相同;在能見度強度上,SW99強度與實際觀測值相符,FSL有過度預報之況。

個案二因初始時間霧日當日0000 UTC與霧消散時間相同,故在此僅討論霧日當日0000 UTC及1200 UTC。初始時間對模擬結果無明顯影響;在霧區範圍上,除嘉義測站沒有模擬到霧外,臺南測站初始時間愈接近霧日,則模擬結果霧的範圍愈有縮減趨勢;在能見度強度上,FSL顯示能見度介於0.05km至0.45km,SW99顯示能見度介於0.4km至2km。另外在國外能見度換算公式部分,FSL僅在霧日當日0000 UTC有模擬霧出現,SW99則於兩時段皆模擬出現霧;在霧的範圍上,嘉義皆無模擬出霧;在能見度強度上,SW99強度與實際觀測值相符,FSL有過度預報情況。

整體來看,初始時間的差異在預報能力上,對預報霧出現時間影響較大,對預報霧的範圍及強度上僅略有影響。國外能見度換算公式相比較,SW99表現較好。

### (二) 敏感度測試—微物理參數

模式內微物理參數參數調整上,本研究選擇Lin et al. scheme、WRF Single-Moment 5-class scheme、WRF Single-Moment 6-class scheme、New Thompson et al. scheme、Morrison double-moment scheme與Stony Brook University (Y. Lin) scheme 等六項設定。個案一及(圖6)個案二在霧區範圍上,除Stony Brook University (Y. Lin) scheme模擬霧區明顯較小外,其餘五種設定略同;在能見度強度上,各設定無明顯一致性。另外在國外能見度換算公式部分,在範圍上,FSL較SW99模擬霧區較大;在能見度強度上,FSL在WRF Single-Moment 5-class scheme與WRF Single-Moment 6-class scheme低估能見度外,其餘4種設定有過度預報的情況,而SW99則在六項設定結果皆一致且與觀測值相符。

### (三) 敏感度測試—積雲參數

調整模式內的積雲參數上,本研究選擇Kain-Fritsch scheme與Grell-Freitas (GF) scheme 兩種設定。個案一及個案二在霧區範圍上,Grell-Freitas (GF) scheme較Kain-Fritsch scheme範圍略小;在能見度強度上,兩設定無明顯差異。另外在國外能見度換算公式部分,在霧區範圍上,SW99與FSL大致相符;在能見度強度上,FSL有過度預報之況,SW99則與觀測值相符。

#### (四) 敏感度測試—長短波輻射參數

長短波輻射參數調整上，本研究在長波輻射參數選擇RRTM scheme與RRTMG scheme兩種設定，短波輻射參數則選擇Dudhia scheme與RRTMG scheme兩種設定。個案一及個案二在霧區範圍上，無輻射項明顯較有輻射項為小；在能見度強度上，不同輻射參數調整中無明顯差異。另外在國外能見度換算公式部分，在霧區範圍上，FSL與SW99大致相同；在能見度強度上，FSL有過度預報之況，SW99則與實質相符。

#### (五) 敏感度測試—行星邊界層參數

行星邊界層參數調整中，本研究選擇Yonsei University scheme、Shin-Hong scheme、Mellor-Yamada Nakanishi and Niino Level 2.5 PBL與Mellor-Yamada Nakanishi and Niino Level 3 PBL四類設定。個案一及個案二在霧區範圍上，Shin-Hong scheme霧區最小，Mellor-Yamada Nakanishi and Niino Level 2.5 PBL霧區最大；在能見度強度上，四類設定無明顯差異。另外在國外能見度換算公式部分，在霧區範圍上，SW99與FSL大致相同；在能見度強度上，FSL有過度預報之況，SW99則與觀測值相符。

#### (六) 敏感度測試—地表與土壤參數

模式內的地表與土壤參數調整上，本研究地表參數選擇Revised MM5 surface layer scheme，土壤參數則選擇5-layer thermal diffusion與RUC Land Surface Model兩種設定。個案一及個案二在霧區範圍上，5-layer thermal diffusion霧區無明顯差異，RUC Land Surface Model則無明顯一致性；在能見度強度上，各設定無明顯差異。另外在國外能見度換算公式部分，在霧區範圍上，除圖4.14d外，SW99與FSL大致相同；在能見度強度上，FSL有過度預報之況，SW99則與實質相符。

## 五、結論與未來展望

本研究較過去研究僅分析2005年以前逐日觀測資料外，進一步統計分析近13年臺灣離外島及西部由北至南沿岸共9個測站之逐時觀測資料，建立近代具參考價值之結果，可作近年來氣候變遷下霧之發生環境場的參考：

(一) 本研究發現離外島以馬祖及金門、西部以嘉義及臺南發生霧最多，且經時序分析後發現，離外島95%以上霧時出現在11月至翌年6月，其中80%以上霧時出現在2月至5月；西部85%以上霧時出現在12月至翌年4月，其中約70%霧時出現在1月至3月。上述結果與謝等人(2010)指出馬祖、金門、嘉義及臺南為霧日最

多區域，外島霧好發於12月至翌年6月，本島霧好發於11月至翌年4月，大致相同。另外，本研究較過去研究更進一步進行霧日逐時分析，發現離島在1時至24時皆有發生霧，本島1時至10時霧發生最為顯著，佔全時段90%以上。不論是本島及外島，在7時為巔峰，分別佔19.0與7.6%。霧的類型方面，外島以平流霧為主，本島以輻射霧為主。

(二) 本研究以氣象要素分析，結果發現各測站發生霧之溫度與露點溫度差值皆位於6°C內，相對溼度介於80%至100%，溫度露點差及相對溼度呈反方向關係。各測站發生霧之風速值位於4 m/s以內，外島測站發生霧之風向有明顯南風，經查後發現鋒面前緣南方洋面提供水汽，俾力霧發生及維持的有利條件。除此之外，本研究實際統計結果發現相對溼度達80%至100%之天氣要素皆有霧發生之可能，與WMO及CWB對霧之定義為相對溼度需接近100%相近，但本研究對發生霧的相對溼度區間範圍更為詳呈。

綜合上述研究結果，歷史觀測資料所顯示的單一變量，僅能研判是否有形成霧之機會，無法明確提供霧的生消時間，而WRF模式則可良好地用來進行霧的預報。故本研究亦採用WRF模式進行數值模擬。

本研究針對國外能見度換算公式進行逐時校驗與選定個案之敏感度測試之研究。另外，本研究雖與過去研究相同，均使用WRF模擬天氣與採外國外能見度換算公式外，本研究每日逐時天氣及個案選取均取用2016年資料，且使用WRF V3.8進行模擬，為最新之應用。結果如下：

(一) FSL經驗式及SW99雖在能見度換算值與實際觀測值驗證上微有出入，但也提供霧的生消趨勢之參考。各測站1月至3月及8月至12月以FSL模擬效果較優，4月至6月則以SW99模擬效果較優。以離島與臺灣西部地區劃分，離島必須使用SW99，而臺灣西部則必須使用FSL，方能最佳模擬其能見度。

(二) 個案敏感度之實驗範疇顯示，初始時間之差異對預報能力，僅對預報霧出現時間影響較大，範圍及強度上略有影響。物理參數設定：在模擬範圍上，輻射參數對於預報霧的範圍有影響，本研究囿於觀測位置及時間的限制，加上衛星雲圖在霧的判別有一定難度，故無法驗證海上是否有成霧情況；在模擬強度上，除微物理參數，Stony Brook University (Y. Lin) scheme預報霧的範圍較小，而WRF Single-Moment 5-class scheme和WRF Single-Moment 6-class scheme則有低估情況；其餘皆無明顯差異。建議未來研究收集海上船舶觀測或大型研究觀

測資料，用以進行數值模擬結果驗證，增加數值模擬成效完整性。

(三) 個案在國外能見度換算公式校驗部分，兩公式模擬霧區範圍，大致相同；模擬強度SW99則較FSL與實質相符，FSL有過度預報情況，研判其肇因於在換算能見度值時採用溫度、露點溫度、及相對濕度而過於敏感，使過度預報之況容易發生。另外，經測試的結果，本研究發現若將能見度值乘上5倍進行校正，則可推算出最佳之能見度值。此結果不僅對過去研究未進行參數調整之處進行深入探討，更進一步針對FSL潛藏過度預報之況加以提出解決之道，明顯提升對霧的預報能力。

總結而言，本研究可延伸應用在氣象預報作業單位上，使軍事作戰及交通運輸之人力資源運用達到最佳境界，且可做為提升氣象科技領域理論研究與實際應用之利基。本研究建議的預報策略為參考統計上好發的月份時間等歷史定性資料，設計霧時檢查表，將檢查結果進一步定量分析霧所發生之區域、時間與能見度值，協助掌握臺灣及離外島地區霧的型態與特徵。

本研究受限於WRF高解析度的模擬時間耗費較長，故僅採用解析度為25km及5km的地形資料，建議未來研究上可調整WRF地形解析度，以測試模擬結果是否更能反映出不同地區對霧的影響。也建議可針對WRF模式挑選多組天氣個案進行敏感度測試，並迴歸分析各式天氣形態所適用之最佳參數化設定，方能有效提升模式預報能力。另外，在能見度換算公式方面，本研究建議可進行各年度逐時國外能見度校驗，與發展適合臺灣之能見度換算公式，例如進一步探討臺灣環境場FSL經驗式之參係數調整，使其更符合臺灣之預報經驗，以利精準掌握霧的預報。

## 六、參考文獻

[1] <http://big5.zhengjian.org/2007/11/16/49359.%E5%A4%A7%E9%9B%BE%E7%AC%BC%E7%BD%A9%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%A4%A7%E5%9C%B0.html>

[2] <https://public.wmo.int/en>

[3] Quan, J., Zhang, Q., He, H., Liu, J., Huang, M., and Jin, H., "Analysis of the Formation of Fog and Haze in North China Plain (NCP)," *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 11, No. 15, pp. 8205-8214, 2011.

[4] 交通部中央氣象局，地面氣象測報作業規範，交通部中央氣象局，臺北，第3-3頁，2004。

[5] Pagowski, M., Gultepe, I., and King, P., "Analysis and Modeling of an Extremely Dense Fog Event in Southern Ontario," *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 43, No. 1, pp. 3-16, 2004.

[6] Gao, S. H., Lin, H., Shen, B., and Fu, G., "A Heavy Sea Fog Event over the Yellow Sea in March 2005: Analysis and Numerical Modeling," *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 24, No. 1, pp. 65-81, 2007.

[7] Bang, C. H., Lee, J. W., and Hong, S. Y., "Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model," *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 24, No. E2, pp. 92-101, 2008.

[8] 龐成明，「霧過程模擬分析及能見度預報方法研究」，第八屆全國優秀青年氣象科技工作者學術研討會論文集編，北京，第457頁，2014。

[9] Croft, P. J., Pfost, R. L., Medlin, J. M., and Johnson, G. A., "Fog Forecasting for the Southern Region: A Conceptual Model Approach," *Weather and Forecasting*, Vol. 12, No. 3, pp. 545-556, 1997.

[10] Stoelinga, M. T., and Warner, T. T., "Nonhydrostatic, Mesobeta-Scale Model Simulations of Cloud Ceiling and Visibility for an East Coast Winter Precipitation Event," *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 38, No. 4, pp. 385-404, 1999.

[11] Doran, J. A., Roohr, P. J., Beberwyk, D. J., Brooks, G. R., Gayno, G. A., Williams, R. T., Lewis, J. M., and Lefevre, R. J., "The MM5 at the Air Force Weather Agency-New Products to Support Military Operations," *The 8th Conference on Aviation*, Texas, 1999.

[12] [http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrf\\_physics\\_survey.pdf](http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrf_physics_survey.pdf)

[13] 洪景山、林德恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆睿如、陳致穎、雷銘中，「WRF模式之敏感度測試第一部分：探空測站上的校驗」，*大氣科學*，第34期，第3號，第241-259頁，2006。

[14] 王佳、繆啟龍、嚴明良、馬德栗，「滬寧高速公路一次冬季濃霧過程的數值模擬分析」，*熱帶氣象學報*，第27卷，第5期，第723-730頁，2011。

[15] 李江波、沈桐立、侯瑞欽、孔凡超、王山旗，「華北平原一次大霧天氣過程的數值模擬」，*南京氣象學院學報*，第30卷，第6期，第819-827頁，2007。

# 七、圖表彙整

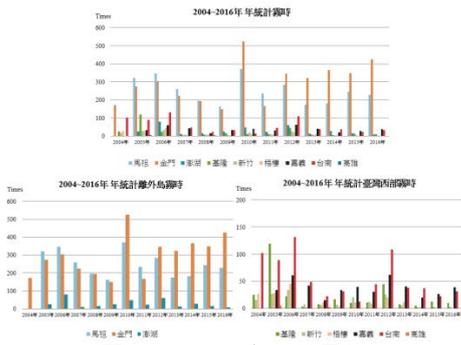


圖1 2004~2016年統計霧時。

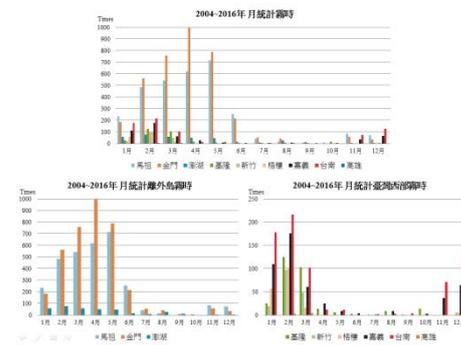


圖2 2004~2016年月份統計霧時。

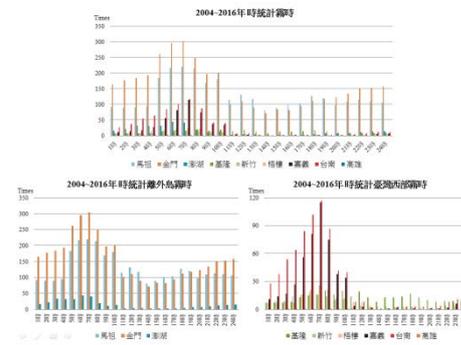


圖3 2004~2016年時統計霧時。

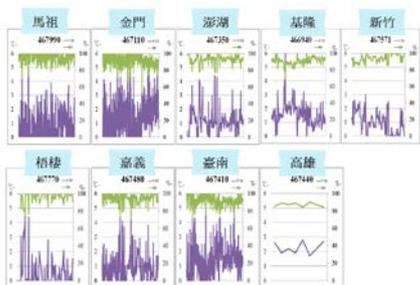


圖4 2004~2016年各測站霧時溫度露點差與相對溼度圖。

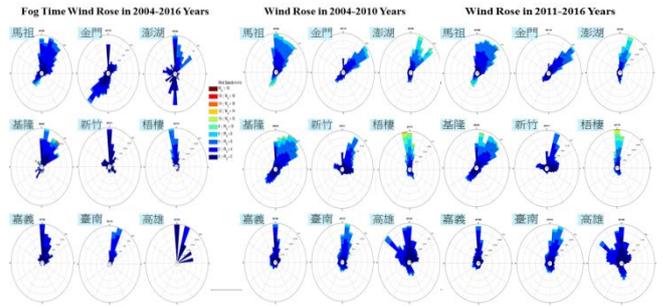


圖5 2004~2016年各測站風花圖。

表1 統計兩公式成功與失敗率表。

FSL	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
成功率	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
失敗率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW99	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
成功率	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
失敗率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

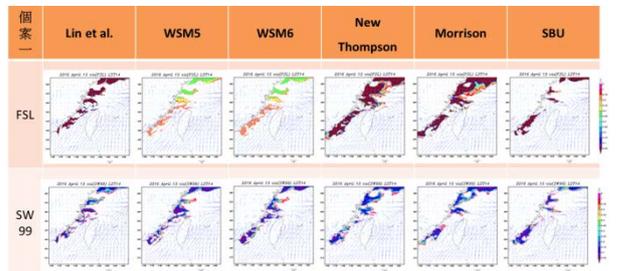


圖6 個案一調整微物理參數模擬圖資。

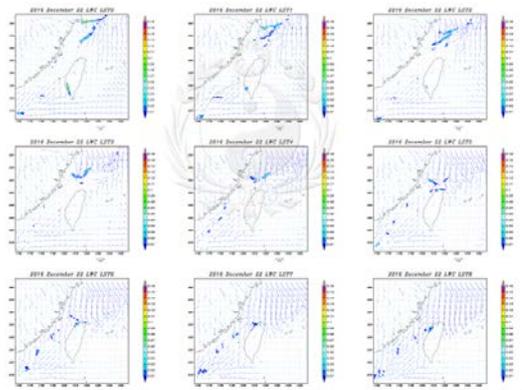


圖7 個案二LWC模擬圖資。

