

臺灣海峽外島海霧模擬及個案分析

沈正光 廖杞昌 邱振源

國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

海霧能見度不佳對飛航安全及船運交通有重大的影響，有必要加強臺灣地區霧之研究，提高海霧預報的敏銳度，有效掌握海霧特報的發布時機。

本研究資料來源主要以中央氣象局為主，統計近 5 年(2009~2013) 逐月的霧時，使用統計學法、天氣學法及模式模擬來進行研究，藉由統計學法了解臺灣成霧時間的分布，發現最容易發生霧的地區以離島的金門、馬祖為主，另外透過測站的觀測資料統計，估算溫度露點差(T-Td)進行霧時期間的特性統計分析，可發現外島測站可利用溫度露點差為 0-1.5°C 來當作霧時預測的一個參考值。針對 2013 年臺灣容易發生的霧季中的 4 月使用天氣學法分析天氣圖，挑選個案以現有的觀測資料進行分析，再從 WRF 模式以溫度露點差為 0-1.5°C 為條件去模擬霧區，發現效果不佳，因此參考過去國外學者針對海霧模擬的參數設定，採用能見度公式模擬，比對發現模擬出來的霧區較為合理，另外，針對金門及馬祖畫出逐時的溫度，露點溫度、相對濕度、風速及風向圖，可發現能良好的模擬出其變化趨勢。

另使用 WRF 模擬進行 4 月、5 月使用能見度公式進行逐日模擬，來與測站觀測資料進行校驗與統計，測站觀測資料上有的霧日為 30 天，有 29 天模擬出有霧，僅 1 天沒有模擬到，而其它天觀測資料所沒有的，則顯示 9 天模擬到霧，21 天無出現霧；經過統計得知，模擬比對觀測資料的正確性達到 83.6%，具有參考價值。

關鍵字：臺灣海峽、海霧、WRF、能見度公式

一、前言

海霧是海上和沿海地區最重要的災害性天氣之一，霧形成時常伴隨低雲幕與低的能見度，對漁業、航運以及沿岸航空和公路交通等造成極大影響，根據國際海事組織統計，有 70% 的海難交通事故是由於「海霧」所引起的(黃彬, 2011)。每年冬末春初時，為臺灣本島西部沿岸以及外島地區最易生成霧的季節。基於飛航安全考量，機場往往必須停止起降，或延遲起飛降落時間，結果造成了飛機航班大亂，時有所聞返鄉旅客抱怨的情形。近年來低能見度造成嚴重事故發生，如：2014 年 04 月 16 日韓國翻覆沉沒的「歲

月號」渡輪事件，事故當天由於在低能見度的海霧中急轉彎釀大禍，造成許多人傷亡。臺灣在 1998 年 2 月 16 日時也因能見度發生過意外，當時華航 CI-676 班機 A300 型空中巴士自印尼峇里島起飛，於晚間降落桃園中正國際機場，因當時機場被霧籠罩，飛機下降時進場高度過高，飛行員重飛過程中，不幸失速墜毀在機場北跑道外濱海公路上，導致多人罹難。雖說臺灣從氣象局人工觀測站發現，霧出現頻率並無國外頻繁，但是海霧的低能見度還是影響到空中與海上的交通安全，故海霧的預報乃一重要議題，因此希望能藉由此研究提高海霧預報的敏銳度，有效掌握海霧特報的發布時機。

二、研究方法與模式設定

(一)研究方法

本研究資料來源主要以中央氣象局為主，霧時的定義為該測站能見度小於 1 公里或視障為 1 或 3 的一小時區間。統計近 5 年(2009~2013) 逐月的霧時，使用統計學法、天氣學法及模式模擬來進行研究，發現臺灣附近海域以金門、馬祖地區為最容易發生霧的離島，另外透過測站的直接觀測資料，估算溫度露點差(T-Td)進行霧時期間的特性統計分析，發現外島測站可利用溫度露點差來當作霧時預測的參考值，再針對 2013 年臺灣容易發生的霧季的 4 月分析，發現霧生的天氣型態主要為鋒面前緣影響，冷、暖氣團低層交接處水氣凝結所致。於是個案挑選此天氣型態進行分析研究以及探討，再從模式去模擬個案，來進行比對，透過 WRF 數值模式高解析度的輸出，討論是否與觀測資料具有一致性。

其次，用 WRF 模擬進行 4 月、5 月逐日模擬，來探討模擬結果及校驗，最後統計其模擬成效。

(二)模式設定

本研究使用 WRF 的 V3.3.1 版，利用美國 NCEP 提供的全球分析場(FNL)，eta 層數為 41 層，底層特別調整較為密集，模擬時間為 42 小時，皆為每 60 秒積分一次，採用雙向回饋，內外層會互相影響；此次模擬選擇了適合海霧過程的參數化方案 (Cheol-Han Bang, Song-You Hong, 2006)，其中積雲對流參數化方案採用具有淺對流並包含水汽、雲和水相態的 Kain-Fritsch 方案；邊界層方案採用了 YSU PBL 方案；微物理過程使用 WSM5 方案；長波輻射和短波輻射方案採用 MMS 中的 RRTM 方案。

(三)資料應用

本文中，統計方面使用了公正預兆得分(ETS)與偏離係數(Bias)進行分析，式子如下：

$$ETS = (H-R)/(F+O-H-R) \quad (2.3.1)$$

F 為預測有霧的天數，O 為觀測起霧的天數，H 代表預報與觀測皆有霧的天數，R = FO/N 為隨機可正確預測起霧的天數，N 為觀測的總天數。值為越接近 1 越好。

$$Bias = F/O \quad (2.3.2)$$

Bias > 1，表示模式高估；Bias < 1，表示模式低估。

而能見度方面，採用兩種不同的公式進行研究，內容如下：

Steolinga and Warner method (SW99)

能見度取決於對目標物的亮度和大氣的物理狀態，亮度定義的關係式為：

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

其中 I0 為目標物的亮度，Ixobs 為目標物到觀察者距離的亮度，而 β 為包含光吸收和散射的消光係數，下面為方程式的解：

$$DI / Dx = -\beta(x) I$$

假設 β 為常數，式子 2.3.1 簡化為

$$VIS = -\ln(0.02) / \beta$$

三、觀測資料統計

根據中央氣象局逐時地面觀測資料分析與統計結果，本研究嘗試以測站資料建立霧時預測參考指標，統計近五年 2-5 月霧發生期間氣象要素特徵，估算比濕(q)、溫度露點差(T-Td)及比濕偏差(q-qavg)，進行霧時預測參考指標的特性分析。

圖 3-1 為金門測站 2009-2013 年霧時的參考指標預測度與 2-5 月預測度，可以看出 T-Td > 2°C 超過 62.8%，但是霧時的 T-Td 主要分布在 0-1.5°C 之間，預測度約 70.7%，針對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 22.6% 的霧時。若以比濕區分，可以看出 2-5 月所有時間 q > 0.01 kg/kg 超過 44.7%，但霧時的 q 主要分布

在 0.01-0.02kg/kg 之間，約佔 85.7%，預測度約 89.1%，針對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 17.4% 的霧時。本文增列比濕偏差量、風速及雨量的閾值，當預測參考指標比濕偏差量 $q - q_{avg} > 0$ 、風速 $Ws \leq 3.0$ m/s 及雨量 $Rain \leq 0.1$ mm 時，預測度約 98.6%，針對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 15.9% 的霧時。綜合上述所有預測參考指標，預測度約 50.4%，對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 43.5% 的霧時。

圖 3-2 為馬祖測站 2009-2013 年霧時的參考指標預測度與 2-5 月預測度，可以看出 T-Td $> 2^{\circ}\text{C}$ 超過 62.9%，但是霧時的 T-Td 主要分布在 0-1.5 $^{\circ}\text{C}$ 之間，預測度約 90.5%，依此預測參考指標針對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 17.5% 的霧時。若以比濕區分，可以看出 2-5 月所有時間 $q > 0.007\text{kg/kg}$ 超過 62.3%，但是霧時的 q 主要分布在 0.008-0.015kg/kg 之間，約佔 57.3%，預測度約 90.5%，依此預測參考指標針對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 9.4% 的霧時。當預測參考指標比濕偏差量 $q - q_{avg} \geq 0$ 、風速 $Ws \leq 5.0$ m/s 及雨量 $Rain \leq 0.1$ mm 時，預測度約 94.3%，依此預測參考指標針對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 9.0% 的霧時。綜合上述所有預測參考指標，預測度約 68.8%，對 2-5 月所有時間進行預測，可以預測出 31.7% 的霧時。

四、個案分析及模擬

4.1 個案分析

由地面天氣圖(圖 3-3)可看出，臺灣位於鋒面前緣，鋒前高壓迴流帶來暖濕空氣有利於霧的生成，偏南風有利於將南方洋面上的水汽輸送到臺灣海峽，為海霧的形成提供水汽條件。

由圖 3-4、圖 3-5 的觀測站資料發現，金門風速約 2-3ms-1 左右，風向為南向風，持續性的南風暖濕空氣有利霧生成，溫度從 17 日 03UTC 開始下降至接近露點溫度，相對溼度

漸漸升高，開始凝結成霧，持續到 18 日 17UTC 後相對溼度下降，風速增強，風向轉為北向風，乾冷空氣使霧消散。

圖 3-6 為 4 月 18 日 00UTC 汕頭測站的探空圖，可看到底層較為潮濕，在 925hpa 的位置有逆溫現象，而風速風向為弱風，由下而上順時針轉為暖平流作用，有利平流霧生成的天氣型態。

4.2 模擬結果

從溫度露點差(圖 3-7)可發現，臺灣海峽相對溼度偏高；18 日當天的 2 公尺高的比濕偏差量可發現(圖 3-8)，臺灣海峽皆為正值。使用前述的能見度公式進行模擬(圖 3-9)，發現臺灣海峽風向為南向風，17 日 06UTC 時金門測站已有觀測到霧，而模擬出來的霧區則是到 18UTC 臺灣海峽才開始出現霧區，18 日 12UTC 之後風向開始轉變，霧區由北而南隨著風向開始消散，從風場推測是因鋒面模擬比觀測移動速度較緩慢所造成。

另外從金門位置附近的逐時變化(圖 3-10、圖 3-11)發現，17 日 15UTC 因為夜晚輻射冷卻效應，溫度下降至接近露點溫度，相對溼度提高而凝結成霧，風速為 5~7.5 ms-1 之間，風向為南向風，18 日 03UTC 時溫度上升，相對溼度下降，霧散去；到了 18UTC 時夜晚溫度下降至接近露點溫度，相對溼度提高又凝結成霧，在霧發生期間，向上的可感熱通量為負的(圖 3-12)，再加上風向為南向風，暖溼氣流與冷下墊面相互作用，有利平流霧形成；22UTC 時風向轉為北向風，相對溼度下降，向上可感熱通量轉為正的，霧散。

4.3 逐日模擬

利用 WRF 模式試模擬 2013 年 4 月及 5 月做逐日模擬，從個案模擬可發現使用能見度公式來模擬比溫度露點差模擬出來的成果更為良好。(表 3-1、表 3-2) 為金門和馬祖地區氣象局人工觀測站所觀測到的霧日和霧時，從這些個案比對模式模擬出來的結果(圖省略)，可

發現模式能成功模擬出海霧，假定霧區在臺灣海峽上即算是此日有模擬成功，經過統計，從(圖 3-13)可發現從測站觀測資料上有的霧日有 30 天，有 29 天模擬出有霧，僅 1 天沒有模擬到，而其它天觀測資料所沒有的，則顯示 9 天模擬到霧，21 天為模擬出霧；經過統計得知，模擬比對觀測資料的正確性達到 83.6%。此外，若分別以馬祖與金門地區來統計，從(圖 3-14)發現馬祖從測站觀測資料上有的霧日有 14 天，有 10 天模擬出有霧，4 天沒有模擬到，而其它天觀測資料所沒有的，則顯示 36 天未模擬到霧，11 天為模擬出霧，模擬比對觀測資料的正確性達到 75.4%；金門從測站觀測資料上霧日有 22 天，18 天模擬出有霧，4 天沒有模擬到，而其它天觀測資料所沒有的，則顯示 29 天未模擬到霧，4 天為模擬出霧，模擬比對觀測資料的正確性達到 77%，具有參考價值。

五、結論與未來展望

本研究首先藉由統計學法了解臺灣成霧時間的分布，發現臺灣附近海域最容易發生霧的地區以離島的金門、馬祖為主，另外透過測站的直接觀測資料，估算溫度露點差(T-Td)進行霧時期間的特性統計分析，發現金門測站(2009~2013)年霧時的參考指標預測度與 2-5 月預測度，近 5 年 2-5 月霧時的 T-Td 主要分布在 0-1.5 $^{\circ}\text{C}$ 之間，約佔 70.7%，而馬祖測站近 5 年 2-5 月則霧時的 T-Td 主要分布在 0-1.5 $^{\circ}\text{C}$ 之間，約佔 90.5%，統計結果顯示，外島測站可利用溫度露點差為 0-1.5 $^{\circ}\text{C}$ 來當作霧時預測的一個參考值。再針對 2013 年臺灣容易發生的霧季中的 4 月分析發現外島測站成霧的天氣型態，主要之一是鋒前高壓迴流帶來暖濕空氣，行經靠近大陸沿岸的冷洋面，造成下墊面凝結成霧。

接著從 2013 年 4 月中挑選外島測站成

霧的個案，採用能見度公式模擬出來的霧區較為合理，另外，針對金門及馬祖畫出逐時的溫度，露點溫度、相對濕度、風速及風向圖，可發現能良好的模擬出其變化趨勢，最後使用 WRF 模擬進行 4 月、5 月逐日模擬，使用能見度公式進行模擬，比對模擬與觀測資料的正確性達到 83.6%，具有參考價值。

由於國內航空站主要集中於臺灣西部地區，且航空器事故往往發生於起降時能見度不佳的情況下，未來可將臺灣西部地區低能見度 4 作為新的研究方向，改善陸霧預報能力，降低飛航事故發生

六、參考文獻

黃彬，“黃海海霧天氣氣候特徵及其成因分析”，熱帶氣象學報，第 920 頁，2011。

WRF 手冊。

Cheol-Han Bang, Song-You Hong, "An evaluation of the visibility and fog forecasts using the WRF," *Proceedings of the Spring Meeting of KMS*, pp.320, 2006.

Schaefer, J. T., "The critical success index as an indicator of warning skill," *Wea. Forecasting*, 5, pp.570-575, 1990.

Anthes, R. A., "Regional models of the atmosphere in middle latitudes," *Mon. Wea. Rev.*, 111, pp. 1306-1330.1983.

Stoelinga, M. T., and T. T. Warner, "Nonhydrostatic, mesobetascale model simulations of cloud ceiling and visibility for an East Coast winter precipitation event," *J. Appl. Meteor.*, 38, pp. 385 - 404, 1999.

七、附圖

T-Td	2-5月	Fog time	參考指標 預測度	2-5月 預測度
0.0-0.5	1295	402	70.7%	22.6%
0.6-1.0	1093	235		
1.1-1.5	1463	234		
1.6-2.0	1505	18		
more	9068	142		
all	14425	1232		
α				
	2-5月	Fog time	參考指標 預測度	2-5月 預測度
0-0.01	8177	133	89.1%	17.4%
0.011-0.015	4833	774		
0.016-0.02	1392	292		
more	73	42		
all	14424	1232		

Other	2-5月	Fog time	參考指標 預測度	2-5月 預測度
$q - q_{sat} > 0$	5982	1128	98.6%	15.9%
$Ws \leq 3.0$	8384	1179		
$Rein \leq 0.1$	12618	1232		
T-Td $\leq 1.5^\circ\text{C}$ $q > 0.01 \text{ kg/kg}$ $q - q_{sat} > 0$ $Ws \leq 3.0 \text{ m/s}$ $Rein \leq 0.1 \text{ mm}$				
			50.4%	43.5%

圖 3-1 金門測站 2009-2013 年霧時的參考指標預測度與 2-5 月預測度。

T-Td	2-5月	Fog time	參考指標 預測度	2-5月 預測度
0.0-0.5	2023	640	90.5%	17.5%
0.6-1.0	1319	114		
1.1-1.5	1503	93		
1.6-2.0	1595	57		
more	7984	32		
all	14424	936		
α				
	2-5月	Fog time	參考指標 預測度	2-5月 預測度
0-0.007	5440	89	90.5%	9.4%
0.008-0.01	4142	385		
0.011-0.015	4127	306		
more	715	156		
all	14424	936		

Other	2-5月	Fog time	參考指標 預測度	2-5月 預測度
$q - q_{sat} \geq 0$	8040	879	94.3%	9.0%
$Ws \leq 5.0$	12427	885		
$Rein \leq 0.1$	21021	936		
T-Td $\leq 1.5^\circ\text{C}$ $q > 0.008 \text{ kg/kg}$ $q - q_{sat} \geq 0$ $Ws \leq 5.0 \text{ m/s}$ $Rein \leq 0.1 \text{ mm}$				
			68.8%	31.7%

圖 3-2 馬祖測站 2009 至 2013 年霧時的參考指標預測度與 2-5 月預測

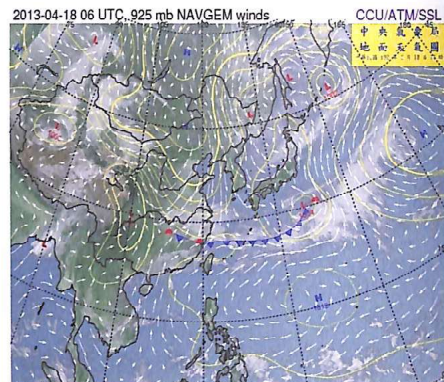


圖 3-3 2013 年 04 月 18 日 06UTC, 925hPa 天氣圖疊加風場(摘自：中央氣象局)

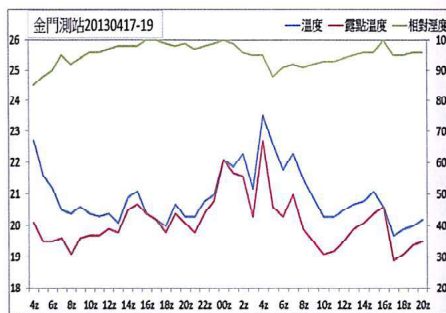


圖 3-4 2013 年 04 月 17-18 日測站逐時資料，藍色線為溫度(°C)，紅色線為露點溫度(°C)，綠色線為相對濕度(%)，黃色底為霧生成時間

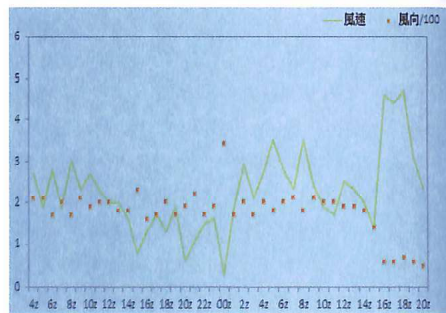


圖 3-5 2013 年 04 月 17 至 18 日測站逐時資料，綠色線為風速(ms-1)，紅色點為風向/100° 的值，黃色底為霧生成時間

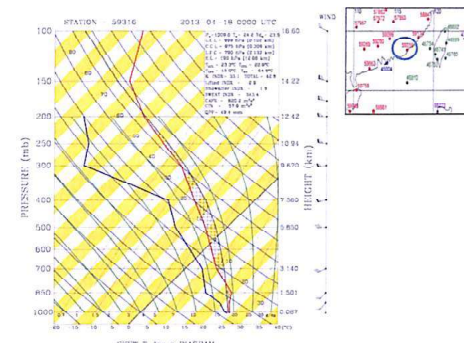


圖 3-6 2013 年 04 月 18 日 00UTC, 汕頭測站探空圖，右上角藍色圈為其位置

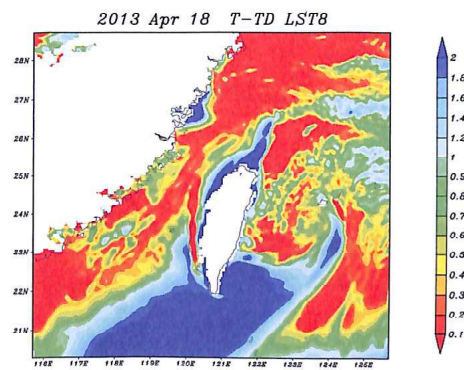


圖 3-7 2013 年 04 月 18 日 00UTC 溫度露點差圖

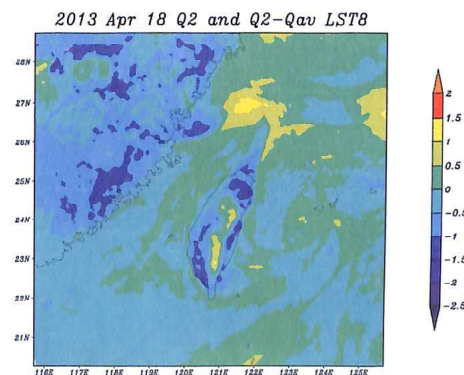


圖 3-8 2013 年 04 月 18 日 00UTC 2 公尺高水氣混合比與平均風圖

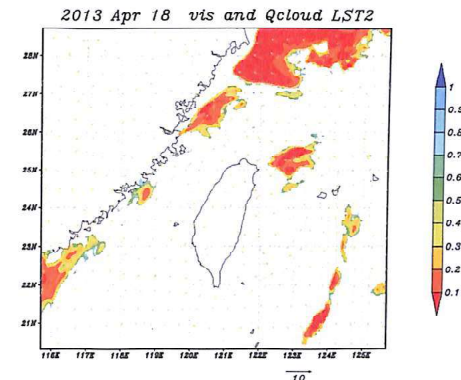


圖 3-9 2013 年 04 月 18 日公式 1 霧區模擬圖，黃色箭頭為 10 公尺高風向

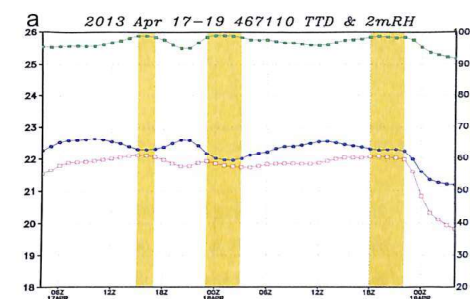


圖 3-10 個案 1 金門位置附近的 2 公尺高的逐時變化，藍色線代表溫度(°C)，紅色線代表露點溫度(°C)，綠色線代表相對濕度(%)，黃色區域為 SW99 所模擬的霧形成時間，(a)為模式模擬，(b)為觀測資料

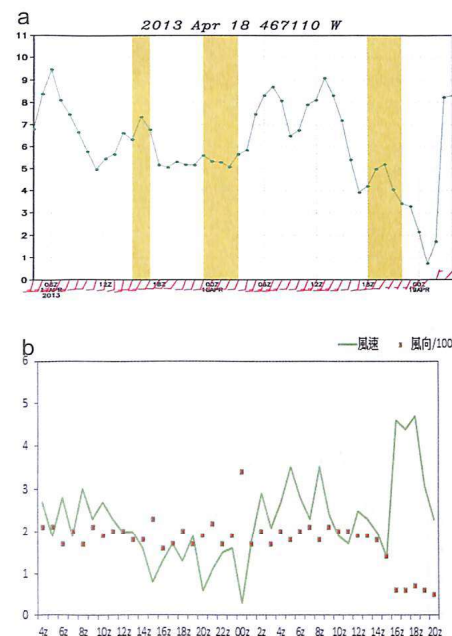


圖 3-11 個案 1 金門位置附近的逐時變化，綠色線為風速(m/s)，紅色點為風向/100° 的值，黃色區域為 SW99 所模擬的霧形成時間，(a)為模式模擬，(b)為觀測資料

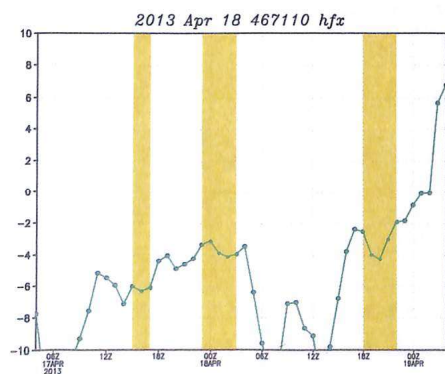


圖 3-12 個案 1 金門位置附近的逐時變化，綠色線代表向上的可感熱通量(W/ m2)，黃色區域為 SW99 所模擬的霧形成時間

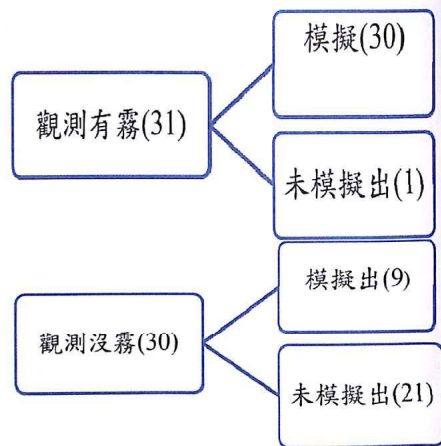


圖 3-13 2013 年 4、5 月模式逐日模擬統計結果(單位：日)

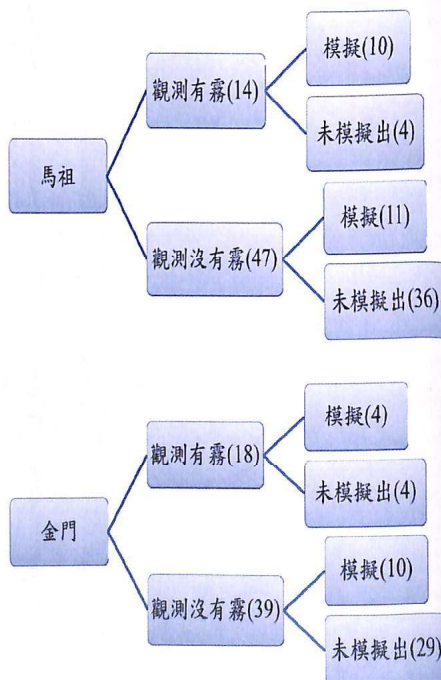


圖 3-14 2013 年 4、5 月馬祖與金門地區模式逐日模擬統計結果(單位：日)

表 3-1 2013 年馬祖及金門 4 月霧日與霧時

2013	馬祖	金門
日期	時間	
4月2日		5~8
4月4日		18
4月5日		1, 4~6, 11, 23, 24
4月6日		1~7
4月9日		7
4月14日		6, 7, 24
4月15日		1
4月16日		24
4月17日		1~7, 14~24
4月18日	13~18	1~24
4月19日		1
4月24日		9~12
4月30日		17~20

表 3-2 2013 年馬祖及金門 5 月霧日與霧時

2013	馬祖	金門
日期	時間	
5月5日	22, 24	
5月6日	16, 19~24	
5月7日	8~10, 13~15, 19	
5月10日	21, 22	
5月14日	5~10, 24	
5月15日	1~6, 15~20	17~24
5月16日	6, 7	
5月17日	6~8	1~7
5月18日		18~24
5月19日	8~10, 14~17	1~4
5月20日	7, 17, 18	
5月22日	17, 20~24	
5月23日	1, 4~8, 10~15, 21~23	
5月28日		20~24
5月29日	6	1~10, 21~24
5月30日	18~20	1~13
5月31日		2~4, 6, 7

Simulation and Case analysis In Outer islands In Taiwan Strait

Chiu Zeng Yuan Liao Chi Chang Shen Cheng Kuang

Chung Cheng Institute of Technology National Defense University

ABSTRACT

Low visibility fog have a significant impact on flight safety and shipping traffic. It is necessary to strengthen research the fog in Taiwan, sea fog forecast increase sensitivity, effectively grasp publish special reports of the timing of sea fog.

In this study, the main source of information is based on CWB. This study selected the hourly ground observation data during the past five years (2009-2013)

the station near Taiwan Strait, characteristics of meteorological when sea fog occurred. Using statistical methods, synoptic method and model simulations to study. According to the statistical methods to understand the main of the distribution on fog time, found the most vulnerable areas of fog is Kinmen and Matsustation where is in the outlying islands. In addition, with statistical observations stations, estimating the difference between temperature and dew point temperature (T-Td) to characterize the statistical analysis of the period when the fog happened. Found the value of T-Td is 0-1.5 C is a good reference value to use in the outer islands station. Analysis of weather charts for the April and May Taiwan prone to fog season in 2013 using synoptic method to analyze and choose two cases. Then use WRF model to simulate fog area with the value of T-Td is 0-1.5°C, found that the effect is not good. So, use visibility equation which the parameter settings is the past scholars simulate sea fog in foreign to simulate. Found that is better than using the value of T-Td is 0-1.5 C.

Use visibility equation to simulate every day in April and May by WRF model to check and statistics station observation data. The fog day stations observed had 30 days and the model simulate was 29 days. Only one day not simulate. The other days of stations not observed, the model simulate was 9 days had fog, else 21 days not. The correctness of simulation to observation reached 83.6%, have high value.

Keywords: Taiwan Strait , sea Fog, WRF, visibility equation