

預報系統 (DMOS/CWB/WRF 3km) 風能

本產品分為風速、風能密度、風能發電量。利用本局區域預報系統(CWB/WRF)所產製100米高度的氣象預報資料[東西風(m/s)、南北風(m/s)、氣壓(hpa)、溫度(°C)、比溼(kg/kg)]，經由統計分析小組將模式產出的東西風及南北風透過動態模式輸出統計法校正後轉換成風速，再透過簡易運算式將風速轉換成風能密度及風能發電量。

$$\text{風能密度} : \{P = \{C_P\} \times \{p/2\} \times \{A \times V^3\}\}$$

(C_p)為風機功率係數，目前極限約為40%， p 為密度， A 為風機葉片掃掠面積， V 為有效風速，3m/s~25m/s)

什麼是WRF?

WRF是中尺度數值天氣預報系統，本模式同時滿足大氣研究和天氣預報上的需求，並且廣泛應用在跨尺度的天氣現象。WRF模式設計的目標主要是應用在模式水平解析度1~10公里之間的數值模擬，這樣的解析度特別適合模擬地形所引發之局部天氣現象或劇烈中尺度天氣系統，例如山谷風、海陸風、鋒面、對流系統等等，颱風相關研究當然也是主要的應用目標之一。

WRF模式的兩個動力核心是依據不同目地所設計的，分別為ARW (Advanced Research WRF)及NMM (Non-hydrostatic Mesoscale Model)。兩者在WRF架構上是相同的，但所著重的地方不同。ARW是由NCAR的MMM(Mesoscale and Microscale Meteorology Division)所研發，注重在研究，可以調為靜力穩定模式，能夠應用於理想個案模擬、參數化研究、資料同化研究、即時數值天氣預報與分析、颱風模擬、區域氣候研究、偶合模式應用及教學等，WRF-ARW主要之物理過程可分為微物理、積雲參數化、行星邊界層、地表過程與輻射。而NMM則由NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)的NCEP所研發，著重於非靜力穩定與即時預報，可應用於即時數值天氣預報與分析、參數化研究、偶合模式應用及教學等。

WRF的作業方式

CWB/WRF模式每日進行4次預報(00Z、06Z、12Z、18Z)，每次預報時間(τ)達120小時，模式輸出的時間間距為1小時，輸出的資料經內插至等壓面後再轉換網格點資料。為配合綠能計劃需求，利用模式輸出之100米高風場、溫度場、比濕、雲液態水混和比、以及離地表2 m高度之氣溫及地表太陽短波輻射量等氣象參數來做風能及太陽能資訊的監測及預報。

CWB/WRF為二層巢狀網格，解析度分別為15和3公里，積分範圍如圖1所示，垂直分層則為52層，模式頂設為20 hpa。模式網格設定資訊如表一，模式物理參數法組態設計列於表二。WRF模式使用模組設計標準化語言，具有完整的數值計算和資料同化技術、多重移動網格以及物理過程（尤其是對流和中尺度降水過程）。WRF的網格設計在水平面上是採用 Arakawa C 交錯網格方式，此種網格設計將速度場放交錯在質量場/熱力/化學的左右上下二分之一網格處，呈現交錯分佈網格架構，垂直方向 η 座標相當於MM5模式 σ 的追隨地勢坐標，並可採用不一致的網隔間距。

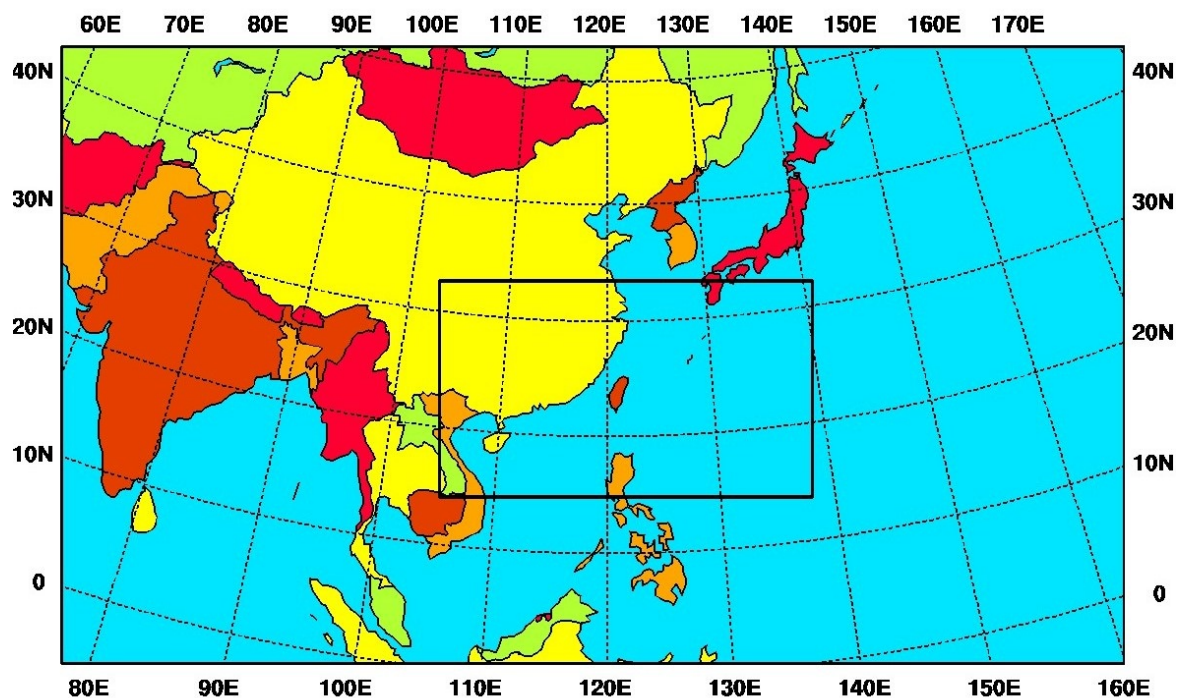


圖1，CWB WRF 積分範圍

	Domain 1	Domain 2
巢狀網格設定		
投影法	Lambert	
網格解析度(km)	15 km	3 km
X方向格點數	662	1161
Y方向格點數	386	676
垂直層數	52層	
參考經度	120°	120°
參考緯度	10°、40°	10°、40°
中心經度	118.59	122.27
中心緯度	27.07	22.87
模式頂高度(Pa)	2000 Pa	
積分時間間隔	60 s	15 s
DMS 輸出X方向格點數	661	1158
DMS 輸出Y方向格點數	385	673
DMS 輸出左下端點座標	-5.693677°N, 78.02554°E	14.02224°N, 105.2500°E
DMS 輸出右上端點座標	43.28705°N, -179.5461°E	32.12021°N, 140.91388°E

表一：模式網格設定資訊

	Domain 1	Domain 2
物理參數化設定		
積雲參數化法(mp_CuP)	Kain-Fritch with new trigger function	None
微物理參數化法(mp_physics)	Goddard 5-class scheme	Goddard 5-class scheme
邊界層參數化法(bl_pbl_physics)	Yonsei University scheme	Yonsei University scheme
長波輻射參數化法(ra_lw_physics)	RRTMG scheme	RRTMG scheme
短波輻射參數化法(ra_sw_physics)	RRTMG scheme	RRTMG scheme
地表參數化法(sf_sfclay_physics)	Monin-Obukhov scheme	Monin-Obukhov scheme
土壤模式(sf_surface_physics)	NOAH	NOAH
土壤層數	4層	
動力參數設定選項		
Dynamical core option(dyn_opt)	Eulerian mass core	
時間積分方式(rk_ord)	Runge-Kutta 3rd order	
(w_damping)	With vertical velocity damping.	
紊流與混合方式(diff_opt)	evaluates 2nd order diffusion term on coordinate surface	
渦流參數方式(km_opt)	horizontal Smagorinsky first order closure	
Upper level damping	without damping	
Basetemp	290	
從模式頂damping深度(zdamp)	5000 (m)	
邊界條件控制選項		
(spec_bdy_width)	5	

表二：CWB WRF 3個系集成員模式組態共同的部分

100M風速的產出

100米高度的資料，是透過模式輸出層場中，最接近100米高度的兩層內插而得。首先判斷100米位於模式資料中的哪兩層，若是低於模式最低層，則由地面場(2米/10米)和模式最低層進行線性內插而得。

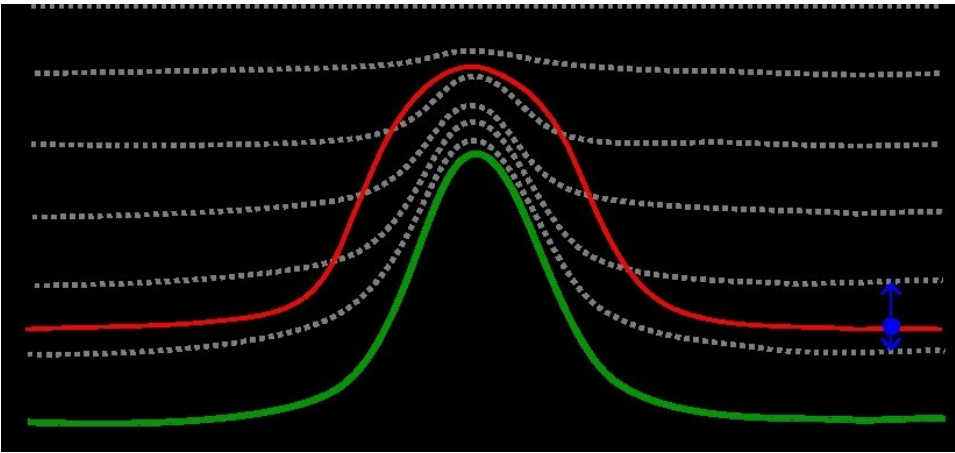


圖2 模式100公尺高度示意圖

灰色虛線為模式層，綠色為地面，紅色為100公尺高度線。

圖中藍點(100公尺高)位在模式第1層和第2層之間，藍點值則由第1層和第2層內差而得。

什麼是DMOS

動態模式輸出統計法(Dynamic Model Output Statistics, DMOS)為進行氣象數值模式統計後處理。利用訓練期的數值模式輸出之三維大氣要素與觀測歷史資料，透過如前進選擇法(forward selection)的篩選程序得到具解釋能力的預報因子並建立複迴歸模型(multivariate regression)，再將數值模式最新模擬輸出的要素代入複迴歸模型得到新的預報值。

由於訓練期資料是動態選用近期N組資料，因此複迴歸模型建模周期與數值模式模擬相同，具有反應模式特性可能隨時間變化而異的潛力，亦大幅減少統計迴歸時的資料處理量，提升實務上的預報度與適用性。

DMOS的作業方式

DMOS分別整合CWB WRF及CWB GFS數值預報模式，利用CWB WRF MDAS模式分析場及預報中心修正後的地面格點輻射分析場，取模擬範圍逐網格點建置東西向百米風(100m U)、南北向百米風(100m V)及地表短波輻射(Radiation)的複線性迴歸模型，於每日產製00Z、06Z、12Z、18Z逐小時預報資料(共120小時)，以00Z為例，每日下午3點前會將DMOS逐小時預報資料上傳至下游端。

1. 作法：

一. 迴歸模型係數估計

令 y 為觀測資料估計值， β_i 為待求係數， N_x 則為 X 變數個數，採用最小估計誤差平方和法推求迴歸方程式係數。

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{N_x} X_{N_x} \quad (1)$$

假設共有 N_{rec} 筆 XY 配對資料($N_{rec} > N_x$)可供迴歸建模，則可利用矩陣表示為：

$$Y = X\beta \quad (2)$$

其中， X 為由 X 資料與常數1組成的矩陣，可表示為：

$$X_{(N_{rec} \times (N_x + 1))} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,N_x} \\ 1 & X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,N_x} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{N_{rec},1} & X_{N_{rec},2} & \dots & X_{N_{rec},N_x} \end{bmatrix}$$

而 β 與 Y 分別為迴歸係數矩陣與 Y 資料矩陣，可表示為：

$$\beta_{(N_x + 1) \times 1}^T = [\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_x}] \quad (3)$$

$$Y_{N_{rec} \times 1}^T = [Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{N_{rec}}] \quad (4)$$

利用最小誤差平方和法即可求得係數矩陣估計值為：

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$

二. 前進選擇法

- 以 F -test檢定所有天氣要素變數(X)是否顯著，即檢定 $(F_1 > F_p(2, n-2))$ ，其中 p 即為 p -value， n 則為樣本數，並去除所有不顯著之 X ，是否顯著以 p -value作為判定參數。並找出具有最大調整判定係數($Adjusted(R^2)$ ，以下簡稱 $(AdjR^2)$)的 X 作為第一個進入模式的變數，假設為 (X_1) 。
- 找出下一個 X (假設為 (X_2))使得 $(X_1 + X_2)$ 有最大的 $(AdjR^2)$ 。接著檢查 $(AdjR^2)$ 是否有增加，若是則繼續下一步，反之則停止建模流程。
- 確認 $(AdjR^2(X_1, X_2) - AdjR^2(X_1)) > 0$ 是否成立，若成立則繼續下一步，反之則建模流程停止。
- 檢查 (X_2) 與 (X_1) 之共線性程度，若 $(R^2(X_1, X_2) > tolerance)$ ($tolerance$ 為設定參數)，則選擇 $(AdjR^2)$ 次大之 X 作為 (X_2) ，直到找到滿足 $(R^2(X_1, X_2) \leq tolerance)$ 條件之 (X_2) 。
- 找到 (X_2) 後，以 F -test檢查下式是否顯著，是否顯著以 α (即 α)作為判定參數。

$$F_{1,2} > F_{\alpha}(2, n-3) \text{ where } F_{1,2} = \{SSR(X_1, X_2) / 2\} / \{SSE(X_1, X_2) / (n-3)\} \quad (1)$$

若成立，則繼續下一步，反之則建模流程停止。此處的 F -test檢查顯著性，是對全部已選入的變數(此時為 $X_1 + X_2$)的模式進行檢定，而非像一般前進選擇法檢定「 X_1 在模式中的條件下 X_2 的顯著性」作為檢定標準。

檢查選入變數個數是否達到設定個數(參數 N_x)，若達到設定個數則建模流程停止，反之則重複步驟2至6。

風能計算方法

風能即為空氣流動所產生的動能，當空氣流動越快，其蘊含的動能越高。風力發電機的原理是利用風的動能轉動發電機來產生電力，而在目前發電機的有效利用風速範圍大約是3~25 m/s，因此在本計劃的風能計算方法，亦加入有效風速的限制條件，來計算有效風能密度。而根據貝茲極限理論，在物理上風力發電機是無法百分之百擷取風能，因此從風中取出的能量有一個極限值大約59%。

簡易的風能計算可由下式表示:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

(C_p)為風機功率係數;本計劃目前設定為40% ; ρ 為空氣密度; A 為風機葉片掃掠面積，本計劃目前設定為1 m^2 ; V 為有效風速，3m/s~25m/s)

藉由上述方法取得風能密度，而風能發電量則從風力發電機的啟動風速至切出風速之功率曲線(圖1-1)去做計算。

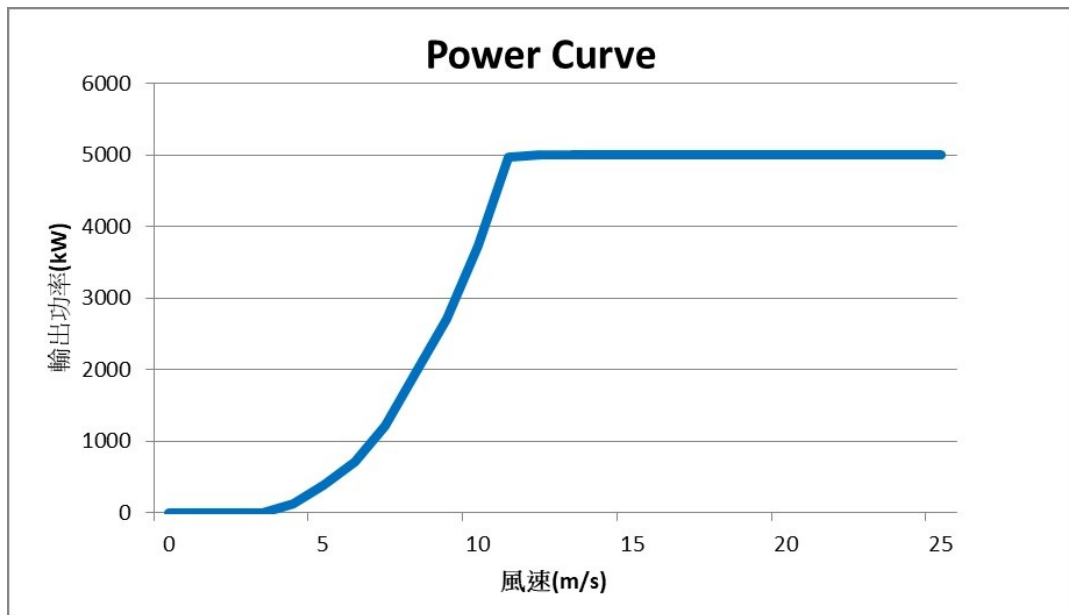


圖1-1 理想功率曲線