

# 預報系統 (DMOS/CWB/GFS) 風能

本產品分為風速、風能密度、風能發電量。利用本局全球預報系統(CWB/GFS)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。

風能密度：
$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

(C<sub>p</sub>)為風機功率係數，目前極限約為40%，ρ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GFS?

本局從 1983 年起進行數值天氣預報的發展，並且於 1988 年上線第一代的全球數值天氣預報系統(簡稱 CWB/GFS)，數值天氣預報包含資料同化系統與預報模式系統兩部份。現行作業版本為TCo639L72模式：水平解析度提升至約0.14個經緯度(約15公里)，垂直座標更改為S–P hybrid座標，解析度也增加至72層，模式最上層頂為0.1 hPa。

GFS模式的運作，在前置資料處理的資料同化利用GSI (Gridpoint Statistical Interpolation)，並採用三維系集變分混合法(Hybrid 3D-EnVAR)分析。觀測資料同時採用傳統(風場之Vor, Div,及T, Q, Terrain Pressure)及非傳統(輻射等)觀測資料在模式(σ)面上進行分析；預報的動力模組為全球波譜模式(TCo639L72)，其動力核心由Eulerian(T511L60)升級至Semi-Lagrangian(TCo639L72)，高斯網格點分布為2576 x 1280，垂直為S–P混合座標，共72層。預報變數包含渦度、散度、虛位溫、比濕、地表氣壓及雲水含量，時間積分採跳蛙和半隱式計算格式；物理參數化方面，在邊界層上採用Eddy Diffusivity/Mass Flux(EDMF) Monin (Siebesma et al. 2007)，並加入尺度感知、深/淺對流Scale- and Aerosol- aware Simplified Arakawa-Schubert (Han et al. 2017 & Arakawa and Wu 2013)；其它動力核心及參數化法，包含土壤模式、深/淺對流、網格尺度降水、地形/對流重力波拖曳及輻射參數化法則如表1所示。

表 1中央氣象局全球預報模式(TCo639L72)設定

| 變數      | TCo639L72                                                                                     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 資料同化    | Hybrid GSI                                                                                    |
| 水平解析度   | 15 公里                                                                                         |
| 垂直解析度   | S-P Hybrid座標；72層                                                                              |
| 模式層頂    | 0.1 hpa                                                                                       |
| 網格尺度降雨  | Zhao and Carr (1997)                                                                          |
| 動力核心    | Spectral method<br>Semi-Lagrangian ( NDSL ) + Semi-implicit<br>3 time level                   |
| 深/淺對流   | Scale- and Aerosol- aware Simplified Arakawa-Schubert (Han et al. 2017 & Arakawa and Wu 2013) |
| 土壤模式    | Noah Land Surface model                                                                       |
| 輻射      | RRTMG (Mlawar and Clough 1997; Hou 2002)                                                      |
| PBL邊界層  | Eddy Diffusivity/Mass Flux(EDMF) Monin (Han et al. 2016)                                      |
| 地形重力波拖曳 | Palmer et al. (1986)                                                                          |
| 對流重力波拖曳 | stationary convectively forced gravity wave drag (Chun and Baik 1998)                         |

## GFS的作業方式

目前CWB/GFS TCo639L72的模式作業流程為每日00Z、06Z、12Z、18Z產出，一共輸出16天的預報資料(大部分資料10天以內逐6小時、10天以上逐24小時)。於預報系統中僅使用8天內的預報資料，為配合綠能計劃需求，將100米資訊、2米溫度及地表短波輻射量資訊由1天增加輸出至16天逐3小時，並且利用模式輸出之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、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。

## GFS 100M風速的產出

為了提供綠能開發計畫所需之100米高氣象資訊，利用CWB/GFS全球模式產出之 $\sigma$ 層及近地表層之氣象場資料，以靜力方程及線性內插方式，計算離地表100公尺高之氣象場資料，並隨CWB/GFS全球模式每六小時預報一同輸出。

此模組提供離地表100公尺高之溫度、氣壓、風場、比濕以及雲液態水混和比。其中比濕以及雲液態水混和比由CWB/GFS全球模式之 $\sigma$ 層資料內/外插而得、溫度場由 $\sigma$ 層及2公尺高度氣溫內插而得、風場由 $\sigma$ 層及10公尺高度風場內插而得、氣壓場由 $\sigma$ 層及地面氣壓內插而得。

- **Step 1 :**  
利用 **sigma layer** 最底兩層計算近地面平均大氣溫度。
- **Step 2 :**  
以靜力方程及平均溫度計算離地面 **100m** 之氣壓。
- **Step 3 :**  
線性內插找出在此氣壓高度之氣象場(P,T,U,V,q)。
- **Step 4 :**  
輸出 **DMS key**。

Hydrostatic equation

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{zg_0}{R_d \langle T \rangle}\right)$$

H10 M58 M59 M60 <T>

## 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维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， $\beta_i$ 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 $\beta$ 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：

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

### 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 $\alpha$ (即 $\alpha$ )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% ; $\rho$ 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<sup>2</sup>); $V$ 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。

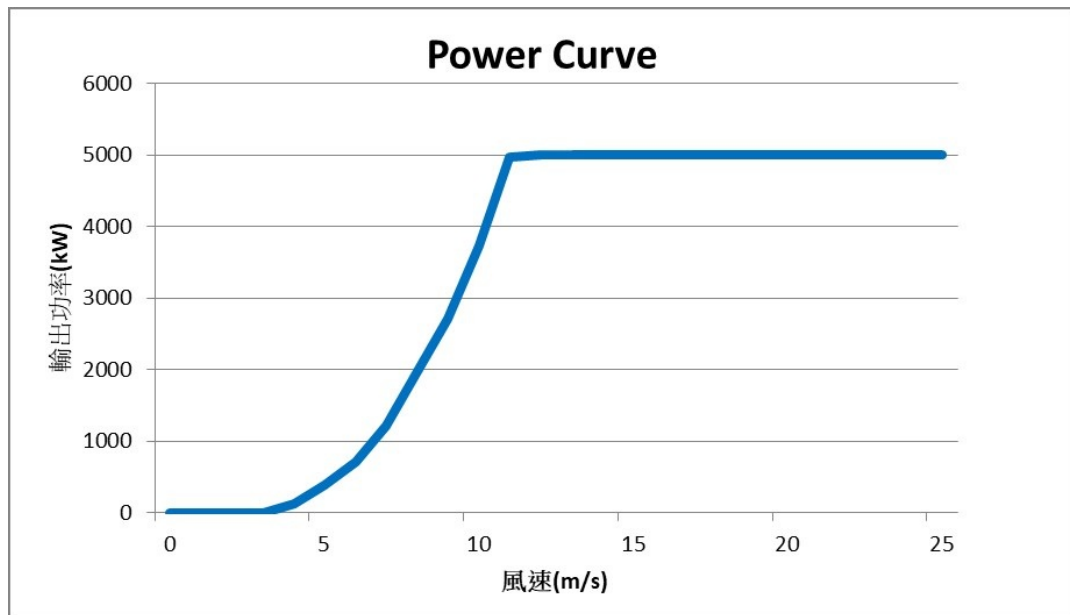


圖1-1 理想功率曲線