

預報系統 (DMOS/CWB/GFS) 太陽能

本產品包含太陽短波輻射量及太陽能發電量密度。太陽短波輻射量是由本局全球預報系統(CWB/GFS)所產製，再經由統計分析小組將模式產出的太陽短波輻射量透過動態模式輸出統計法校正後而得，而太陽能發電量密度則是利用校正後的太陽短波輻射量(W/m2)及模式輸出的2米高溫度(K)，透過簡易運算式所估計出來的。

單位面積(m2)的太陽能發電量密度：
$$P_t = \{SSR \times (1 - ((T - 25^{\circ}C) \times 0.1\%)) \times \eta\}$$

(SSR為太陽短波輻射量，T為2米高氣溫，η為太陽電池的轉換效率。一般常見的矽晶類太陽能模組轉換效率約為14 %~16 %；薄膜類模組效率約為9 %。故在推估太陽能發電量密度計算中太陽電池轉換效率以15% 帶入計算。)

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 Semi-Lagrangian (NDSL) + Semi-implicit 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。

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。

太陽能計算方法

太陽能發電是透過太陽光電板吸收太陽的能量來發電，因此日射量的多寡會直接影響發電量大小，太陽光電板發電量隨著日射量大小隨時在改變，通常不會逐日、逐時計算發電量，通常的做法是觀察一段時間例如一個月或者一年的總值，然後換算相當於ASTM E1036 標準的等效日照小時（Equivalent Sunshine Hours, ESH），以簡化計算。等效日射小時，為評估太陽能發電之重要因子，此數值越大表示當地日射能量越強，發電量可以越多，其定義為將當地之日射量換算為1000 W/(m²)之標準條件下之有效照射時間。

簡易的太陽能計算式可由下式表示:

利用模式輸出的太陽短波輻射量(SSR)與2公尺高氣溫(T)計算單位面積(m²)的太陽能發電量密度： $P_t = \{SSR \times (1 - ((T - 25^{\circ}C) \times 0.1\%)) \times \eta\}$

(SSR為太陽短波輻射量，T為2米高氣溫，η為太陽電池的轉換效率。)

根據登錄在經濟部能源局太陽能高效率模組產品中常見矽晶類太陽能模組轉換效率約14 %~16 %；薄膜類模組效率約9 %。故在推估太陽能發電量密度計算中太陽電池轉換效率以15%帶入計算式中，最後藉由上述方法來建置太陽能發電量密度預報系統。