

台灣北部地區風力電廠(wind farm)場址評選與 風力發電量估算技術研究

江火明 和 曾仁佑
國立中央大學大氣物理研究所

摘要

台灣地區缺乏傳統能源，但風力不弱，尤其是澎湖各島嶼與西部沿海地區的風能資源更是豐富。台灣海峽沿岸堪稱是東亞地區風能蘊藏量最豐富的地區，若能在符合經濟原則下，將此自然且環保的風能加以開發利用，做為替代性能源，對國計民生將甚有助益。

風能與風速的三次方成正比，所以只要有些許的風速估算誤差，就會造成極大的風力發電量的誤差。台朔六輕廠所設的四支風力機組，距離相隔不到一公里，其年發電量相差可超過 15%。至於陸地上，因為地形地物更為複雜，所以其差異就更大，一般可達 10~60%甚至更大的差異。因此，如何正確的評選風力電廠的場址（中尺度分析）及正確的分析風力電廠每座機組附近的地形地貌及其氣象條件（小尺度分析），就成為評估風力電廠之先決必要工作。

本研究團隊曾於 2000~2002 的三年間，接受工研院能資所委託，進行台灣地區風力資料的分析與風力電廠場址之評選之研究。研究結果分為三大部份：(1) 台灣地區 10km 網格基本風場(wind atlas)資料庫之建立，(2) 大尺度適當場址的評選，及(3) 五千分之一航照圖上土地可用面積之分析。並於 2003 年接受台電公司委託進行「風力二期預定廠址風力機組佈置及風能評估」的研究。

本計畫已完成北部地區風力電廠之評選與發電量的估算，主要的工作項目有二：(1)分區建立地形地貌及粗糙度資料庫，做為業界評選風能電廠時應用；及(2)利用 WAsP 逐區評估出適合開發為「風力電廠」的場址與預估發電量。

關鍵詞：風能，風力發電，WAsP 軟體

一、前言

我國原本就嚴重缺乏“自給”能源，超過 96% 的發電燃料（其中燃油 20.6%，燃煤 39.6%，燃氣 4.9%，及核能 30.9%）必須完全仰賴進口。慣常之水力發電只佔 4.0%，已接近開發的極限。雖然，我國極為重視進口能源的分散政策，但對新的（綠色）能源的開發與使用則有待加強。為了因應 1997 年年底，「氣候變化綱要公約締約國大會」所通過「京都議定書」對溫室氣體減量的決議，在目前核廢料處理技術尚未臻完善，核能發電又具有令人憂心的潛在危險，綠色能源的開發與使用就更凸顯其重要性。

全球風力發電容量近年來急遽增加，依德國 BWE New Energy 期刊之最新統計 1997 年底達 7,693 MW，1998 年底達 9,729 MW，1999 年底達 13,506 MW，2001 年底全球已達 25,000 MW 裝置容量，將近十座核四廠的容量。其中以歐洲地區的成長最為明顯。

本研究團隊曾於 2000~2002 的三年間，接受工研院能資所委託，進行台灣地區風力資料的分析與風力電廠場址之評選之研究。研究結果（Tzeng et al., 2000；江與曾, 2000, 2001；江等, 2001；曾等, 2001；林, 2000）分為三大部份：(1) 台灣地區基本風場(wind atlas)資料庫之建立，(2) 大尺度適當場址的評選，及(3) 土地可用面積之分析。

二、研究目的

由於風能與風速的三次方成正比，所以只要有些許的風速估算誤差，就會造成極大的風力發電量的誤差。台朔六輕廠所設的四支風力機組都在海邊，距離相隔不到一公里，但每組風力發電機之發電量都不相同，

相差最大可超過 15%。這個差異的確令人驚訝，特別是當我們在評估電力事業的營收利益時，15%年生產量的差別，可以從盈餘變為虧損。至於陸地上，因為地形地物更為複雜，所以其差異就更大，一般可達 10~60%甚至更大的差異。

因此，如何正確的評選風力電廠的場址（中尺度分析）及正確的分析風力電廠每座機組附近的地形地貌及其氣象條件（小尺度分析），就成為評估風力電廠之先決必要工作。而本研究計畫的最主要目標，就是進行中尺度之風力電廠場址評選，並預估其在未考慮附近建築等障礙物影響下之發電量。

本計畫針對全台各地評選出適當的風力電場場址，主要工作項目如下：
(1) 建立分區地形地貌及粗糙度資料庫，做為業界評選風能電廠時應用；
(2) 利用 WAsP 逐區評估出適合開發為“風力電廠”的場址與預估發電量。

本計畫為多年期研究計畫，本期已完成台灣北部地區（北、桃、竹、苗、宜等縣市）適合風力發電場址之地形地貌，並進行各縣市最佳場址之評選與發電量的估算。下一期（2004年）將針對中部地區，第三期（2005年）將針對南部地區做風力最佳場址評估及風力發電量分析技術研發。

三、研究方法

由過去三年的研究，我們已針對台灣地區風速與風力發電量做了評估，並找了幾個適合做風能開發的地區，進行風力發電量的試算。這樣大規模的試算風力發電量，旨在提供台灣地區大尺度風能發電的總量，做為政府能源開發政策的參考。因為每支風車都會受到其四周每棟建築及每棵樹，甚至鄰近風車的影響，這就是小尺度的風場分析；其目的是要找尋風力電場內，風車陣的最佳排列方式。而本研究計畫要進行的是中尺度的評選與分析，目的是要找尋適當之風力電廠場址。從提供政策參考的大尺度風能發電總量

的研究中，找出較有可能做風能開發的地區，再利用 WAsP 軟體輸入地形與地貌資料，並試排風力機的陣列，做最佳調適以估算每一風力機的發電量。如此，中尺度的風力電場評選將可提供產業界做風能開發規劃的依據。若要做更細微的小尺度分析，在本計畫的基礎上，則須先選定風力電廠場址，再做現場的精密觀測與 WAsP 分析。

以下針對風力與風能資源的計算方法，及 WAsP 軟體的使用及應用分別做說明。

(A) 風力與風能資源的計算

一般在風能計算中更廣泛且有效的方法，是直接利用風速的概率分佈來計算，即求出風速(v)的 Weibull distribution 的兩個參數 c 和 k。所以可由風能密度

$$W = \frac{1}{2} \rho v^3$$
，來求得平均風能密度為：

$$\overline{W} = \frac{1}{2} \rho c^3 \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right]^3$$
，其中 Γ 表示 Γ -function， ρ 為空氣的平均密度。

(B) WAsP 之功能與使用說明

WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) 為一風速與風力潛能之專業分析軟體，WAsP 軟體主要功用包括了風場資料分析和風能應用兩部分。在分析的功能上，WAsP 的 OWC (Observed Wind Climate) Wizard 程式，可以簡易地將測站長期觀測所得的時序風場資料，加以統計、分析以求得該測站之風花圖及 Weibull 分佈曲線圖，並進一步將會影響該測站風力特性的地形及地貌因素(粗糙度及障礙物)移除，得到該區域的基本風場資料 (Wind Atlas data，相當於盛行風或地轉風場)。

風能應用部分可直接由基本風場資料加進附近 (約 10~50km 以內) 任一預報地點的地形、地貌影響，估算出該地點的風力分佈概況 (包括風花圖及 Weibull 分佈曲線圖)。因此，便可以迅速得知配置風力發電機的最佳場址及其發電量。模

式輸入當地之長期風場資料，以評估其風能資源。模式還包含了複雜地形、不同粗糙度分佈、及四周障礙物對風速及發電量影響之效應。

(C) 地形地貌資料庫之建立

地形和地貌(包含地表粗糙度和障礙物)都是影響近地面風場分佈的主要因素。地形的高低起伏會造成風的大小及方向的改變。相同地，在風的流動過程中，通過的地表粗糙度變大，會使得風速減小；反之，經過的地表粗糙度變小，風速則會增加。由此可見，地形及粗糙度資料的正確性，直接代表著評估結果的可信度。所以，該如何正確地建立地形及粗糙度資料，就為風能評估的首要課題。

WAsP 有一數位地圖編輯器，可以建立地形及粗糙度資料，並可與市面上常用之 GIS 製圖軟體相容(如 MapInfo、AutoCad、Surfer...等套裝軟體之輸出/輸入格式)。

(D) WAsP 的風場分析功能

有了地形與粗糙度資料後，再加上氣象測站四周之建築物與障礙物之方位、距離、大小、高低、透風度等特性資訊(必須至現場度量)，就可以進行風場分析。在 WAsP 的風場分析功能裡，它提供了一個 OWC(Observed Wind Climate) Wizard 工具程式，能簡易地將時序的觀測資料匯入，同時把觀測風力資料有問題的值移除，轉換原來觀測值單位成 WAsP 使用的 SI(公制)單位，進而統計出該測站高度的風花圖及趨近的 Weibull 分佈曲線圖。

(E) 風力電場之評選與發電量之估算

有了基本風場資料後，配合地形與地貌資料，就可用來預報測站附近 20~50km 範圍內，任意地點的風能大小或全區之風能分佈情況。其預報的輸出形式共有三種，分別為 Resource grid、Wind turbine 及 Wind farm 形式。

要預報每個格點位置上風力發電機的年發電量(Resource grid)，則必須先確定風力發電機的規格，每種風力發電機規

格的 Power Curve 都不相同，它會直接影響到風力發電機的發電量多寡。使用 Resource grid 的輸出，我們可以找到在這個區域內，最佳與最差的發電機設置位置。

所謂 Wind turbine 的輸出，是先確定風力發電機的位置，即可預報出該發電機之年發電量。Wind farm 的輸出，就是在選定的區域內試排風車陣，就可評估整個風力電場之總發電量，及每支風力機互相干擾之程度，亦可透過微調找出最佳風車陣的排列方式。本研究即利用這項功能來評選最佳之風力電場場址及規劃風車陣排列。

四、研究成果與討論

本年度研究計畫將台灣北部沿海地區分為十個分區(22 km X 25 km)，它們是羅東蘇澳、宜蘭礁溪、澳底大里、基隆市、三芝富貴角、淡水林、大園觀音、湖口新竹市、竹南苗栗以及白沙屯苑裡等，其地理分布如圖 1 所示。

本年度已完成每個分區的地形地貌分析，並以 100 台 Vestas V80 (2000kW)之風力機為例，針對每分區評選風力電場及其年發電量之估算，其結果如表一所示。表中第一欄為 100 支風車的總年平均發電量，第二、三欄分別為單支風車最低與最高年平均發電量(單位為 GWh)。台北、基隆及宜蘭沿海地區(第 1~6 區)，除蘭陽平原之外，風能蘊藏量豐富的地方都在開發困難的山區。北桃竹苗沿海地區風能蘊藏量亦極豐富，因為多為平坦之地形，較適合現階段進行開發。目前已有部份廠商及台電公司進行規畫設立風能電廠。

地形地貌分析及風力電廠之分佈，因限於篇幅僅以羅東蘇澳及白沙屯苑裡兩個地區為例，圖中風力電廠之位置，主要依年平均風速的分佈來評選。

圖 2 是羅東蘇澳地區之地形地貌分析與風力電廠之分佈，圖中等值線為地形地貌，風車符號表風力電廠之分佈，選擇在年平均風速較大的山區。表二為羅東蘇澳地區之風力電廠發電量統計表。若不考慮風車陣間彼此之間尾流造成的風能損失，

稱為毛發電量，每支風車平均毛年發電量為 8.145GWh，100 支風力電場中單支風車最少發電量為 6.346 GWh，單支風車最多發電量為 9.533 GWh，由於風車分散在廣大的地區，彼此相距較遠，尾流造成的風能損失率不大，只有 1.51%，全區的年淨發電量可達 802.222 GWh。只是很可惜在廣大的平原地區風能蘊藏量並不大。

圖 3 是白沙屯苑裡之地形地貌分析與風力電廠之分佈，表三是白沙屯苑裡地區之風力電廠發電量統計表。我們選定風速較大且較平坦的沿海地區做為風力電廠的場址，每支風車平均毛年發電量為 9.820GWh，100 支風力電場中單支風車最少發電量可高達 9.168GWh，單支風車最多發電量可達 10.587GWh，尾流造成的風能損失率只有 4.92%，全區的年淨發電量可達 933.622GWh，風能蘊藏量非常可觀。

本研究主要進行中尺度的風力電場評選，其成果可提供產業界做風能開發規劃的依據。若要進行實際設廠之規畫，則須做更細微的小尺度分析；在本計畫的基礎上，可先預選風力電廠場址，並到現場做精密的地形地貌、四周障礙物、及氣象測站之測量，再由 WASP 軟體進行最佳化之分析。

參考文獻

- 江火明、曾仁佑，2000：“桃竹苗地區風能資料分析及風力電廠場址評選規畫研究”，工研院能資所委託計畫期末報告，89 年 12 月。
- 江火明、曾仁佑，2001：“中台灣地區風力資料分析及風力電廠場址評選規畫研究”，工研院能資所委託計畫期末報告，90 年 12 月。
- 江火明、曾仁佑、方金惠和曾牧傑，2001：台灣風能分佈的初步分析。2001 年風能應用研討會。90 年 8 月 30~31 日。能源會/中央大學大氣科學系/工研院能資所。中壢市國立中央大學。
- 江火明、曾仁佑、林和毅和方金惠，2001：用 MM5 重建台灣地區近地面風場氣

候以評估風能蘊藏量。第七屆全國大氣科學研討會。90 年 9 月 25~27 日。台灣大學大氣科學系/國科會。台北國際會議中心。315-320。

林和毅，2000：“利用 MM5 模式評估台灣地區風能蘊藏量之研究”，中央大學碩士論文，89 年 6 月。

曾仁佑、江火明、方金惠、林和毅和鄭銘華，2001：北台灣風場特性及風力電廠場址評選。2001 年風能應用研討會。90 年 8 月 30~31 日。能源會/中央大學大氣科學系/工研院能資所。中壢市國立中央大學。

Tzeng R.-Y., H.-M. Jiang, H.-Y. Lin, J.-H. Fang, and M.-H. Cheng, “Using mesoscale meteorological model to construct the surface wind climatology for the assessment of wind power plant locations in Taiwan.” ASAAQ, Taipei, Taiwan, 2000/10.

圖表

表一台灣北部沿海地區十個分區 (22 km X 25 km) 各區裝設 100 台 Vestas V80 (2000kW) 風力機之預測總年平均發電量及單台最低/最高年平均發電量 (單位: GWh)

地區	總年發電量	單台最低年發電量	單台最高年發電量
1. 羅東 蘇澳	802.222	6.329	9.376
2. 宜蘭 礁溪	874.810	8.221	10.084
3. 澳底 大里	645.177	4.956	9.057
4. 基隆市	543.775	4.153	9.994
5. 三芝 富貴角	747.708	5.303	10.519
6. 淡水 林口	556.111	4.443	9.122
7. 大園 觀音	639.848	5.026	6.909
8. 湖口 新竹市	614.426	5.595	6.847
9. 竹南 苗栗	768.922	6.828	9.672
10. 白沙屯 苑裡	793.578	7.213	9.693

表二 羅東蘇澳地區風力電廠發電量統計表

項目	風力電廠總量	每支風車平均發電量	單支風車最少發電量	單支風車最多發電量
毛年發電量 [GWh]	814.520	8.145	6.346	9.533
年發電量 [GWh]	802.222	8.022	6.329	9.376
尾流損失百分率 [%]	1.51	-	-	-

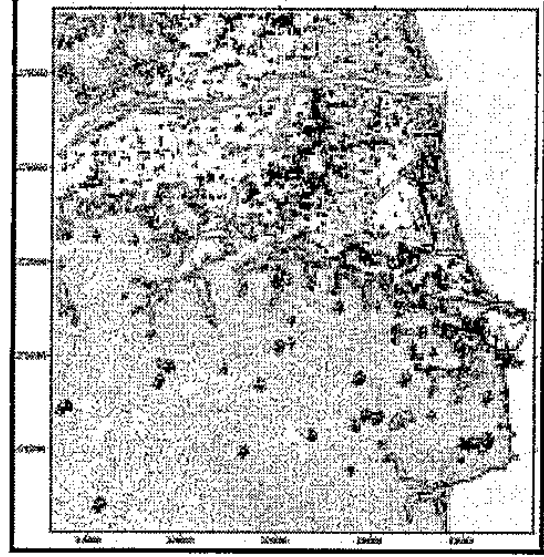


圖 2 羅東蘇澳地區之地形地貌分析與風力電廠分佈圖。風車圖案（總共 100 台）表示風力機及風力電廠位置。

表三 白沙屯苑裡地區風力電廠發電量統計表

項目	風力電廠總量	每支風車平均發電量	單支風車最少發電量	單支風車最多發電量
毛年發電量 [GWh]	981.964	9.820	9.168	10.587
年發電量 [GWh]	933.622	9.336	8.956	10.226
尾流損失百分率 [%]	4.92	-	-	-

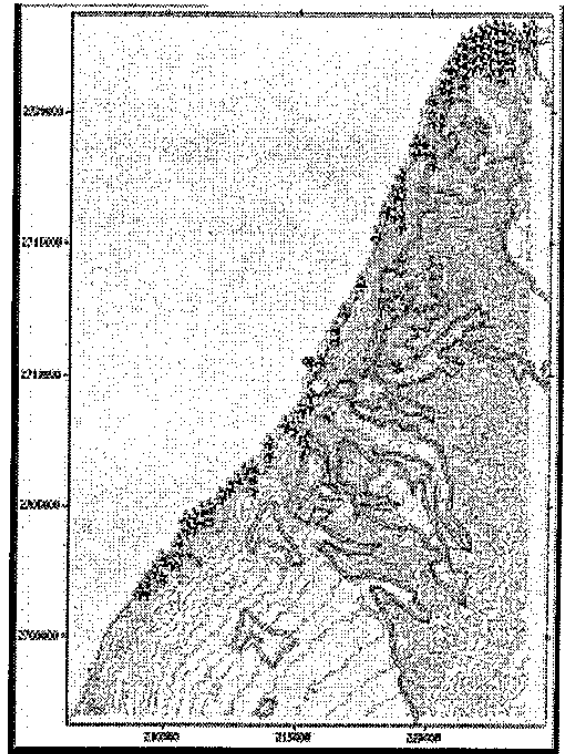


圖 3 白沙屯苑裡地區地形地貌分析及風力電廠之分佈，風車圖案（總共 100 台）表示風力機及風力電廠位置。

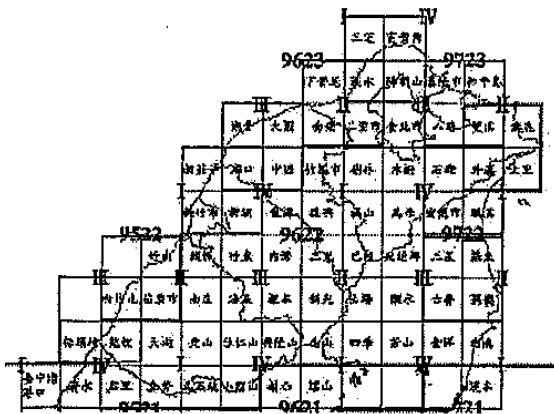


圖 1 台灣北部沿海地區之十個分區 (22 km X 25 km) 分佈圖