

台灣地區風能密度與適當風力機選擇之先期評估

Preliminary Evaluation on Wind Power Density and Appropriate Wind Turbine Selection in Taiwan

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
助理教授

張倉榮

Tsang-Jung Chang

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士班研究生

謝怡芳

Yi-Fan Hsieh

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
研究助理

許華倚

Hua-Yi Hsu

摘 要

根據 25 個氣象測站長期地紀錄每小時平均風速(1961-1999), 本研究分析台灣地區風能密度與風力發電機特性資料, 評估其風能潛勢。預測風能潛勢可分成兩個必須的階段。首先根據台灣全島的年平均風速分佈與風能密度分佈, 以分析台灣全島風能潛勢的空間分佈資訊。模擬結果發現新竹以南台南以北的西部沿海一帶、澎湖離島地區、蘭嶼離島地區、恆春附近與東北角一帶等, 頗具風能開發的潛力, 年平均風速值均達 3m/s 以上, 其中以澎湖離島的年平均風速最高, 約為 5-7 m/s 左右。進一步再以萊利分佈建立風速及風能的數學模式, 預測 2 種不同風力發電機的風能產生量, 並討論其影響因子包括切入風速、率定風速及切出風速等。本研究選取 5 個位於台灣西部地區風速較大的氣象測站, 將這些測站的每月風速資料與每月風力發電機特性資料作比較, 以求得台灣各地區適當風力機選擇的分析結果。本研究結果可提供做為設置風力電廠的參考, 使乾淨的風能得以發展, 進而減少對環境的污染。

關鍵詞: 再生能源, 風能, 風能密度, 風能潛勢, 萊利風速分佈。

ABSTRACT

Wind energy characteristics and appropriate wind turbine selection in Taiwan have been analyzed based on a long-term measured data source (1961-1999) of hourly mean wind speed at 25 meteorological stations across Taiwan. A two-stage procedure for estimating wind resource potential is proposed. The yearly wind speed distribution and wind power density for the entire Taiwan is firstly evaluated, which indicates that there

exists outstanding wind resource (the yearly mean wind speed is larger than 3 m/s) in the areas along the western coastline between Hsinchu and Tainan, southern peninsula, northeastern corner, and several small surrounding islands, especially the Penhu island having the yearly mean wind speed over 7 m/s. A mathematical formulation using the Rayleigh wind speed distribution is further established to estimate the monthly wind energy generated by a wind turbine operated at linear relation of power between cut-in and rated wind speed and constant power between rated and cut-out wind speed. The monthly wind energy characteristics for five meteorological stations with high winds are investigated. The results show the general availability of wind energy potentials across Taiwan, which can be used to locate the appropriate wind power plants.

Keywords: Renewable energy, Wind energy, Wind power density, Wind potential, Rayleigh wind speed distribution.

一、前言

自從 1970 年代能源危機發生之後，全世界都面臨社會開發與環境保護的衝突，全球各國家已逐漸意識到日漸枯竭的石化燃料須有替代能源方案。再加上近來全球溫室效應的日趨嚴重，使得綠色可再生能源的開發，成了人類永續發展的課題之一，因此尋找乾淨且可再生的能源乃屬勢在必行。在台灣，快速的經濟發展帶動了生活水準的普遍提昇，但同時也造成嚴重的資源短缺與環境污染。台灣地區由於缺乏傳統能源，目前電力的來源大部分仰賴火力(89%)及核能發電(9%)，有 96%的能源供應來自國外進口的石化原料(經濟部能源委員會，2000)，因此石化原料的價格波動對台灣的經濟發展影響甚大。石化原料讓我們方便的取得電力，但隨之而來的空氣污染及地球暖化等副作用，同樣不容忽視。此外，核能發電在新政府政策考量下，已逐漸停止使用，政府能源政策漸趨多元，故台灣再生能源開發的問題越顯重要。

台灣地區雖缺乏石化燃料，但地處東亞季風盛行區域，具有良好的風能，即是一種有待開發的綠色能源，本文從工程面評估台灣風能潛勢，並提出推動建議。除了諸多環保與資源永續使用上的優點之外，分散式的風力發電，可以在偏遠地區製造獨立自主的能源體系，並創造許多就業

機會。目前風力發電的技術已經成熟，成本也接近燃油發電(Ackermann 及 Söder, 2002)，宜儘速透過立法保障風力所發之電的收購價格，補助部份比例的風力發電設備投資費用，並積極接洽各地農會，以及擁有優良風能潛力地區的土地擁有者，傳遞風能發電的各種優點及效益，以期建立台灣能源的永續利用。

根據風能公式，風能與風速的三次方成正比，所以風速是風能計算的重要因子。在台灣全島，有 25 個中央氣象局所屬的地面氣象測站(如圖 1 所示)，完整地紀錄每小時平均風速(1961-1999)，因此全島環境風場的風速特性資料可以準確地被分析。根據這些詳盡的風速資料，風能潛勢與風力發電機的特性可以準確地被分析。本研究採用美國風能協會(American Wind Energy Association)建議在評估風能潛勢時，以萊利分佈(Rayleigh distribution)描述風場(Mathew 等，2002)。此外，將風能轉換成電能的風力發電機的選擇，直接影響風能發電的效率。風力發電機的能量轉換，與其切入風速、切出風速、率定風速及設計風速等有關，在不同地區，選擇最適合的風力發電機，能讓風能可以被更有效的利用。在本研究中，選取台灣西部沿海地區 5 個不同的氣象測站，包括淡水、新竹、梧棲、澎湖及台南，計算其平均風速、風速頻率分佈與風能密度，進而分析各地風能潛勢。

二、風能密度理論

(一) 風速機率分佈

為了進行一個地區的風場特性研究及風力發電評估，一般必須配合當地長時間的風速資料，找尋與當地實際測量資料吻合的風速機率函數，也就是機率密度函數(probability density function)，因此選擇一個適用的風速機率函數非常重要。描述風場的機率分佈，一般風工程常使用極端值第 I 型分佈(Type I extreme value distribution)、極端值第 II 型分佈(Type II extreme value distribution)、韋伯分佈(Weibull distribution)及萊利分佈(Rayleigh distribution)等來描述。針對風能進行評估分析時，由於須對平均風速進行統計研究，萊利分佈與韋伯分佈是比較被普遍廣泛採用的機率密度函數(Stevens 及 Smulders, 1979; Jamil 等, 1995; Patel, 1999; Lun 及 Lam, 2000; 莊, 2001; Chang 等, 2002)。美國風能協會(American Wind Energy Association)建議在評估風能潛勢時，以萊利分佈描述風場(Mathew 等, 2002)。莊(2001)以全台灣中央氣象局 25 個氣象測站在 1961 年至 1999 年的風速資料，採 K-S (Kolmogorov-Smirnov) 檢定探討極端值第 I 型分佈、極端值第 II 型分佈、韋伯分佈及萊利分佈等四種機率分佈與實際觀測值之密合程度，以決定台灣地區風能研究之最佳機率函數。研究結果發現韋伯分佈為最適合用於描述台灣地區風能研究之機率分佈(99%以上準確度)，而萊利分佈次之(95%以上準確度)。因此，韋伯及萊利分佈皆可對台灣地區風能研究提供合理的描述。

由於韋伯分佈為二參數機率分佈，雖較萊利分佈為準確，但求解參數過程中需使用動差法(Method of moment)推求平均值與變異數之關係，或以最大概似法(Method of maximum likelihood)進行參數疊代，故較為繁複(Chang 等, 2002)。萊利分佈為韋伯分佈的一個特例，形狀因子(shape factor)等於 2，為單一參數機率分佈，其優勢是可以簡易地從當地風速測站所測得的風速平均值，求出當地風速的機率密度分佈函數與累積機率分佈函數。此外，根據觀察歐、美、

亞洲數個測站完整的紀錄與長期的風場資料，亦證明萊利分佈確實可以對風場提供準確合理的描述(Patel, 1999; 莊, 2001)。因此，在本研究中亦是採用萊利分佈描述風場。

萊利分佈的累積機率分佈函數與機率密度函數如下：

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\left[\frac{\pi}{4}\left(\frac{V}{V_m}\right)^2\right]\right) \dots\dots\dots(1)$$

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \frac{V}{V_m^2} \exp\left(-\left[\frac{\pi}{4}\left(\frac{V}{V_m}\right)^2\right]\right) \dots\dots\dots(2)$$

其中 $F(V)$ 為風速累積分佈函數， $f(V)$ 為風速機率密度函數， V 為風速(m/s)， V_m 為平均風速(m/s)。

(二) 風能密度與可利用風能

當風場氣流流經單位面積，其能量產生與氣流速度的三次方成正比。單位面積可利用之風能如下表示：

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho V^3 \dots\dots\dots(3)$$

其中 ρ 為空氣密度(kg/m³)， V 為風速(m/s)。因此在整個風速頻率分佈中，風能密度(E_I)可表示為

$$E_I = \int_0^{\infty} P(V) f(V) dV \dots\dots\dots(4)$$

結合(2)式、(3)式及(4)式，且令

$$K = \frac{\pi}{4V_m^2} \dots\dots\dots(5)$$

則(4)式之風能密度可簡化成為

$$E_I = K \rho \int_0^{\infty} V^4 \exp(-KV^2) dV \dots\dots\dots(6)$$

(6)式為 Gamma 函數，其解析解可簡化為下式所表示。

$$E_I = \frac{3}{8} \frac{\rho \sqrt{\pi}}{K^{1.5}} \dots\dots\dots(7)$$

在求得(7)式風能密度後，乘上時間則為這段時間內產生的可利用風能(E_s)

$$E_s = TE_I = \frac{3 T \rho \sqrt{\pi}}{8 K^{1.5}} \dots\dots\dots(8)$$

其中 T 為時間(hour)。若計算時間為一個月，則 T=720 小時。

(三) 最大發生頻率風速與最大風能風速

由(2)式與(5)式，機率密度函數可以簡化成如下：

$$f(V) = 2KV \exp(-KV^2) \dots\dots\dots(9)$$

根據(9)式，發生機率最大時的風速，也就是最大發生頻率風速，即為(9)式之極大值解，其解可如下表示。

$$V_{F \max} = \frac{1}{\sqrt{2K}} \dots\dots\dots(10)$$

另外，如(3)式所示，單位面積可利用風能與其風速的三次方成正比。因此，最大發生頻率風速並不一定會是產生最大能量的風速，通常產生最大能量風速比最大發生頻率風速大。風力發電機的設計是希望能夠在某個風速時發揮最大效能，這個風速稱為設計風速(V_D)，如果產生最大能量風速與風能機設計風速越相近則越有利。在風能發電的地區，會先求得當地產生最大能量風速值，再選擇適合的風力發電機，也就是風力發電機設計風速與當地產生最大能量風速相近。由於風能為風速的函數，其關係式可寫為

$$E_V = \int_0^{\infty} P(V)f(V) dV \dots\dots\dots(11)$$

將(2)式、(3)式及(5)式帶入(11)式中，可得

$$E_V = K\rho V^4 \exp(-KV^2) \dots\dots\dots(12)$$

求解(12)式之極大值解，可得到最大風能風速 $V_{E \max}$ 為

$$V_{E \max} = \sqrt{\frac{2}{K}} \dots\dots\dots(13)$$

三、風能發電理論

風力發電機是將風能轉換成電能，一個理想風力發電機可以將風能百分之百轉換成電能。風

力發電機被設計可以在切入風速(cut-in wind speed, V_i)與切出風速(cut-out wind speed, V_o)間正常運轉，產生能量。通常風力發電機會在風速達到切入風速後，才開始產生能量，並會隨著風速增加而增加，直到風速增加到率定風速(rated wind speed, V_R)。當風速介於率定風速與切出風速之間，風力發電機產生的能量維持極大定值 P_R ，這個值與風力發電機的率定風速大小成正比。一旦風速大於切出風速，風力發電機就會停止運轉，以避免過強的風速造成風力發電機的機械損害。

風力發電機的能量產生會隨著發電機的切入風速、率定風速及切出風速的不同而有所不同。因此，風力發電機產生的能量可定義如下：

$$E_T = T \int_{V_i}^{V_R} P(V)f(V)dV + TP_R \int_{V_R}^{V_o} f(V)dV \dots\dots\dots(14)$$

將(2)式、(3)式及(5)式帶入(14)式，可簡化為

$$E_T = TK\rho \int_{V_i}^{V_R} V^4 \exp(-KV^2)dV + TP_R \int_{V_R}^{V_o} f(V)dV \dots\dots\dots(15)$$

因為 $\int f(V)dV = F(V)$ ，如(1)式所示，(15)式可繼續化簡為(Mathew 等，2002)

$$E_T = TK\rho \int_{V_i}^{V_R} V^4 \exp(-KV^2)dV + \frac{1}{2} \rho V_R^3 T [\exp(-KV_R^2) - \exp(-KV_o^2)] \dots\dots\dots(16)$$

(16)式中之第一項積分式無法像第二項以解析的方式求解，但可依一般數值積分的方式求解，如辛普森法(Simpson's method)或高斯-雷建德積分法(Gauss-Legendre quadrature)，本研究採用高斯-雷建德六點積分法。

在本研究中，將分別針對兩種風力發電機做風能產生評估。第一種為中大型風力發電機，其切入風速為 5m/s，率定風速為 15m/s，切出風速為 30m/s；第二種為小型之風力發電機，切入風速、率定風速、切出風速則分別為 3m/s、10m/s、15m/s。

表 1 中央氣象局 25 個氣象測站之基本資料

No.	站名	測站資料年度	測站海拔高度	風速計地表高程	經緯度	α	δ
1	彭佳嶼	1961-1999	101.7	12.5	122° 04'E, 25° 37'N	0.110	233
2	鞍部	1961-1999	837.6	7.31	121° 31'E, 25° 11'N	0.110	233
3	竹子湖	1970-1999	607.1	11.03	121° 32'E, 25° 09'N	0.250	400
4	淡水	1961-1999	19.0	12.20	121° 26'E, 25° 09'N	0.150	300
5	基隆	1961-1999	26.7	34.60	121° 43'E, 25° 08'N	0.250	400
6	台北	1961-1999	5.3	34.90	121° 30'E, 25° 02'N	0.250	400
7	新竹	1961-1999	26.9	15.60	120° 58'E, 24° 48'N	0.194	350
8	宜蘭	1961-1999	7.2	26.00	121° 44'E, 24° 45'N	0.150	300
9	台中	1961-1999	84.0	17.20	120° 40'E, 24° 08'N	0.250	400
10	梧棲	1976-1999	7.2	33.20	120° 30'E, 24° 15'N	0.130	267
11	花蓮	1961-1999	16.1	12.00	121° 36'E, 23° 58'N	0.173	321
12	日月潭	1961-1999	1014.8	8.00	120° 53'E, 23° 52'N	0.150	300
13	澎湖	1961-1999	10.7	14.60	119° 33'E, 23° 34'N	0.150	300
14	阿里山	1961-1999	2413.4	15.10	120° 48'E, 23° 30'N	0.110	233
15	嘉義	1969-1999	26.9	14.50	120° 25'E, 23° 29'N	0.167	313
16	玉山	1961-1999	3844.8	9.20	120° 57'E, 23° 29'N	0.150	300
17	東吉島	1970-1999	43.0	9.10	119° 39'E, 23° 15'N	0.125	260
18	成功	1961-1999	33.5	12.80	121° 21'E, 23° 05'N	0.144	245
19	台南	1961-1999	8.1	37.60	120° 11'E, 22° 59'N	0.218	378
20	台東	1961-1999	9.0	11.40	121° 08'E, 22° 45'N	0.150	300
21	高雄	1961-1999	2.3	14.00	120° 18'E, 22° 34'N	0.105	300
22	大武	1961-1999	8.1	12.70	120° 53'E, 22° 21'N	0.244	407
23	蘭嶼	1961-1999	324.0	12.50	121° 33'E, 22° 02'N	0.110	233
24	恆春	1961-1999	21.9	14.30	120° 44'E, 22° 00'N	0.194	350
25	蘇澳	1981-1999	24.9	34.00	121° 51'E, 24° 36'N	0.150	300

四、年平均風速及風能密度分析

根據中央氣象局 1961 年至 1999 年共 39 年間台灣地區 25 個地面氣象測站(圖 1, 基本資料則列於表 1 中), 所記錄的逐時的時平均風速(各小時最後 10 分鐘之平均風速)資料, 可求得全台灣地區的年平均風速分佈及年平均風能密度分佈, 如圖 2 及圖 3 所示。由於各氣象測站風速計並非完全統一設置在相同高度, 我們利用指數風速剖線, 將各氣象測站的風速測值轉換成距地面 10 公尺的風速值, 以增加分析結果的準確度。指數風速剖線如下:

$$\frac{V(z)}{V_\delta} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^\alpha \dots\dots\dots(17)$$

其中 $V(z)$ 為在距地面 Z 高度之風速, V_δ 為在邊界層高度 δ 之風速, α 是指數風速剖線係數。各測站 α 與 δ 之值亦整理於表 1 中。

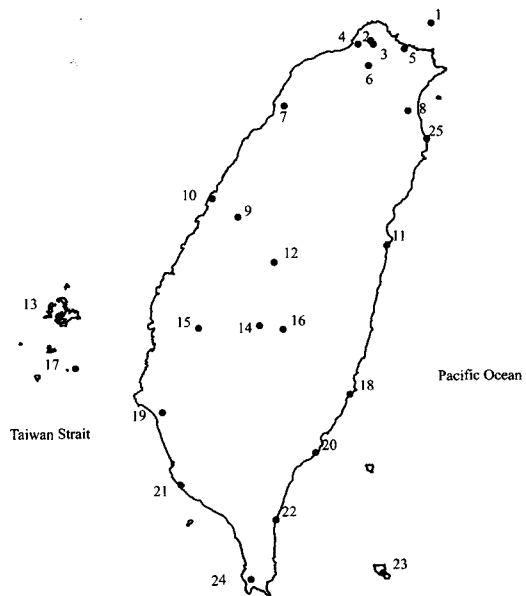


圖 1 中央氣象局全台氣象站分佈圖

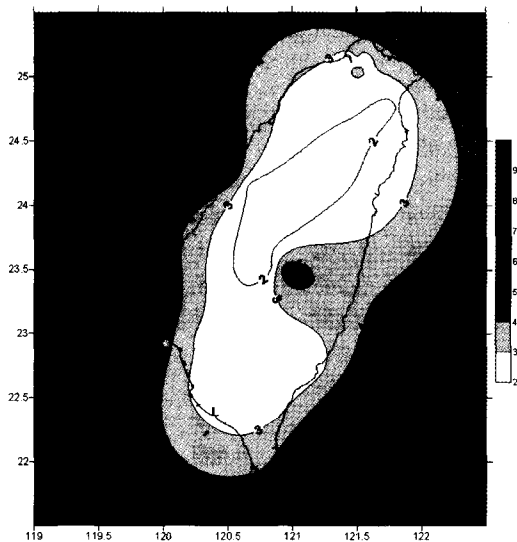


圖 2 台灣地區年平均風速分佈(地面以上 10 公尺高度, m/s)

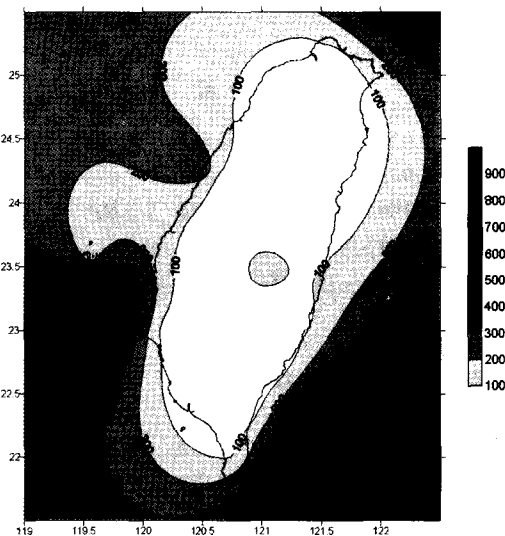


圖 3 台灣地區年平均風能密度分佈(地面以上 10 公尺高度, W/m^2)

一般而言,年平均風速超過 3 m/s 與年平均風能密度超過 $100 W/m^2$ 的地區即具有開發風力發電的潛力。由圖 2 及圖 3 結果可知,新竹以南至台南以北的西部沿海一帶、澎湖離島地區、蘭嶼離島地區、恆春半島附近與東北角一帶等,頗具風能開發的潛力,年平均風速值均達 3 m/s 以上,年平均風能密度亦在 $100 W/m^2$ 以上,其中以澎湖離島地區的年平均風速最高,約為 5-7 m/s 左右,年平均風能密度在 $300-500 W/m^2$ 間。另外,在外海部份,新竹至台中一帶的外海、澎湖離島外海及蘭嶼離島外海為風能潛勢最高的地區,利用離岸式的風力渦輪機進行風力發電,除了可以開發豐富的風能資源,又可解決設置電廠的土地問題,值得參考。

五、月平均風速及風能密度分析

針對圖 2 及圖 3 所示之高風能潛勢區域,本研究繼而選取淡水、新竹、梧棲、澎湖、台南等 5 個氣象測站為研究標的,依月份做分類整理,求得資料期間間月平均風速(V_m)、風能密度(E_f)、可產生風能(E_s)、最大發生頻率風速(V_f)、產生最大風能風速(V_E)及兩種不同風力發電機產生的可利用風能(E_{WP-1} 、 E_{WP-2}),結果分別列於表 2 至

表 6 各欄位中。從各測站平均風速可發現,台灣在 4 月至 9 月的平均風速較小,10 月至隔年 3 月為東北季風盛行期間,其平均風速明顯較大,可見在 10 月至隔年 3 月利用風能發電有較大的優勢。台灣地區在 4 至 10 月,是雨量豐沛的季節,而 11 月至隔年 3 月則是旱季,因此可以利用風能發電淡化海水或抽取地下水,以解決缺水問題,本文作者將在下一篇文章中探討此問題。

5 個測站中,以淡水平均風速最小,各月平均風速值介於 1.5-2 m/s,新竹以北的沿海地區都有相同之趨勢。另外,由於淡水新市鎮的開發,高樓建築增加,導致淡水平均風速有逐漸遞減的趨勢。有名的風城新竹,其平均風速與風能密度較淡水為高,與台南相近,但也不如預期中的高,屬於中等風能潛勢區,但在 10 月至隔年 2 月間,強勁的東北季風仍造成 3 m/s 以上的月平均風速。台中梧棲的平均風速為 5 個測站中最高的,各月平均風速值均達 3 m/s 以上,最高在 12 月可達 6.9 m/s,顯示其風能潛勢較高。位於外海的澎湖離島地區,其平均風速僅次於梧棲,若能善用其風能發電的優勢,配合發展海水淡化,發展觀光,將有利於澎湖的開發與繁榮。

此外,本研究亦比較兩種不同特性的風力發

表 2 淡水測站之風能潛勢資料

月份	V_m (m/s)	$V_m(10m)$ (m/s)	K	E_I (W/m ²)	E_s (kW-hr/m ²)	$V_{E_{max}}$ (m/s)	$V_{F_{max}}$ (m/s)	E_{WP-1} (kW-hr/m ²)	E_{WP-2} (kW-hr/m ²)
1 月	2.024	1.913	0.215	8.014	5.770	3.053	1.526	0.329	3.288
2 月	1.943	1.836	0.233	7.090	5.105	2.931	1.465	0.204	2.668
3 月	1.786	1.688	0.276	5.506	3.965	2.694	1.347	0.068	1.669
4 月	1.594	1.507	0.346	3.915	2.818	2.404	1.202	0.011	0.803
5 月	1.654	1.563	0.321	4.373	3.149	2.495	1.247	0.021	1.033
6 月	1.548	1.463	0.367	3.585	2.581	2.335	1.167	0.007	0.651
7 月	1.739	1.644	0.291	5.083	3.660	2.623	1.311	0.046	1.422
8 月	1.743	1.647	0.289	5.118	3.685	2.629	1.314	0.048	1.442
9 月	1.680	1.588	0.312	4.583	3.300	2.534	1.267	0.027	1.144
10 月	2.087	1.973	0.202	8.786	6.326	3.148	1.574	0.460	3.820
11 月	2.109	1.993	0.198	9.067	6.528	3.181	1.590	0.514	4.016
12 月	2.123	2.007	0.195	9.248	6.659	3.202	1.601	0.550	4.144

表 3 新竹測站之風能潛勢資料

月份	V_m (m/s)	$V_m(10m)$ (m/s)	K	E_I (W/m ²)	E_s (kW-hr/m ²)	$V_{E_{max}}$ (m/s)	$V_{F_{max}}$ (m/s)	E_{WP-1} (kW-hr/m ²)	E_{WP-2} (kW-hr/m ²)
1 月	3.244	2.871	0.095	27.101	19.513	4.582	2.291	8.701	17.321
2 月	3.124	2.765	0.103	24.203	17.426	4.413	2.206	6.969	15.167
3 月	2.493	2.207	0.161	12.300	8.856	3.521	1.761	1.354	6.337
4 月	2.337	2.069	0.184	10.132	7.295	3.301	1.650	0.746	4.770
5 月	1.898	1.680	0.278	5.428	3.908	2.681	1.340	0.063	1.623
6 月	2.351	2.081	0.181	10.316	7.427	3.321	1.660	0.791	4.901
7 月	2.100	1.859	0.227	7.352	5.293	2.966	1.483	0.236	2.842
8 月	1.930	1.708	0.269	5.707	4.109	2.726	1.363	0.080	1.790
9 月	2.525	2.235	0.157	12.780	9.201	3.566	1.783	1.511	6.688
10 月	3.677	3.255	0.074	39.466	28.415	5.194	2.597	16.847	26.434
11 月	3.785	3.350	0.070	43.046	30.993	5.346	2.673	19.346	29.043
12 月	3.957	3.502	0.064	49.186	35.414	5.589	2.795	23.715	33.474

電機，分別在上述 5 個測站所產生的電能。第一種為中型的風力發電機，其切入風速、率定風速、切出風速分別為 5 m/s、15 m/s、30 m/s，第二種為小型的風力發電機，切入風速、率定風速、切出風速則分別為 3m/s、10m/s、15m/s。在風能潛勢較大的地區，如梧棲與澎湖，此兩種風力發電機可以產生的電力相差不大。但在風能潛勢屬中等的其他三個測站，其結果卻顯示出使用第二種風力發電機可以發揮更好的效能。這是因為第一種風力發電機的切入風速與率定風速過

高，導致此三個地區在低風速月份因切入風速值門檻過高而無法產生能量，而在高風速月份則因率定風速過高，使得風力發電機無法產出最大的能量。因此，在非高風能潛勢地區，選擇適合的風力發電機是非常重要的。

六、結 論

本研究根據全台 25 個氣象測站的 39 年期間時平均風速資料，採用萊利分佈建構風速及風能數學模式，計算出風能密度、可產生風能、最大

表 4 梧棲測站之風能潛勢資料

月份	V_m (m/s)	$V_m(10m)$ (m/s)	K	E_I (W/m ²)	E_s (kW-hr/m ²)	V_{Emax} (m/s)	V_{Fmax} (m/s)	E_{WP-1} (kW-hr/m ²)	E_{WP-2} (kW-hr/m ²)
1月	6.762	5.008	0.031	143.701	103.465	7.992	3.996	93.541	91.872
2月	6.330	4.688	0.036	117.881	84.875	7.481	3.741	74.535	77.955
3月	5.361	3.971	0.050	71.610	51.559	6.336	3.168	40.170	49.139
4月	4.431	3.282	0.073	40.433	29.112	5.237	2.618	17.536	27.161
5月	3.661	2.711	0.107	22.805	16.420	4.327	2.163	6.178	14.138
6月	3.935	2.914	0.092	28.318	20.389	4.651	2.325	9.467	18.238
7月	3.661	2.711	0.107	22.805	16.420	4.327	2.163	6.178	14.138
8月	3.478	2.576	0.118	19.553	14.078	4.111	2.055	4.432	11.715
9月	4.308	3.191	0.077	37.159	26.754	5.092	2.546	15.278	24.764
10月	6.158	4.561	0.038	108.531	78.142	7.278	3.639	67.606	72.535
11月	6.151	4.556	0.038	108.161	77.876	7.270	3.635	67.331	72.316
12月	6.903	5.113	0.030	152.879	110.073	8.158	4.079	100.241	96.460

表 5 澎湖測站之風能潛勢資料

月份	V_m (m/s)	$V_m(10m)$ (m/s)	K	E_I (W/m ²)	E_s (kW-hr/m ²)	V_{Emax} (m/s)	V_{Fmax} (m/s)	E_{WP-1} (kW-hr/m ²)	E_{WP-2} (kW-hr/m ²)
1月	5.701	5.134	0.030	154.808	111.461	8.193	4.096	101.644	97.400
2月	5.466	4.922	0.032	136.442	98.238	7.855	3.927	88.220	88.112
3月	4.507	4.059	0.048	76.489	55.072	6.477	3.238	43.789	52.409
4月	3.815	3.436	0.067	46.390	33.401	5.482	2.741	21.737	31.485
5月	3.263	2.938	0.091	29.026	20.899	4.689	2.345	9.912	18.763
6月	3.229	2.908	0.093	28.128	20.252	4.640	2.320	9.348	18.097
7月	2.771	2.495	0.126	17.777	12.799	3.982	1.991	3.558	10.392
8月	2.858	2.574	0.119	19.504	14.043	4.107	2.054	4.406	11.679
9月	3.862	3.478	0.065	48.126	34.650	5.550	2.775	22.978	32.736
10月	5.662	5.099	0.030	151.652	109.189	8.137	4.068	99.347	95.857
11月	5.762	5.189	0.029	159.830	115.078	8.280	4.140	105.292	99.814
12月	6.082	5.477	0.026	187.965	135.335	8.740	4.370	125.506	112.385

發生頻率風速、產生最大風能風速及兩種不同風力發電機所產生的可利用風能，以提供完整的台灣風能潛勢。此外，針對風力發電機的切入風速、率定風速與切出風速，計算其風能產生量，作為風力發電機選取之參考，以期發揮風力發電機最大效能。本研究的結果期望能夠提供作為設置風力電廠的參考依據。對於本文的研究分析結果，提供數點結論如下：

1. 根據模擬計算的結果，台灣地區較具風能開發潛能的區域有新竹以南台南以北的西

部沿海一帶、澎湖離島地區、蘭嶼離島地區、恆春半島附近與東北角一帶等，其中以澎湖離島地區的風能潛勢最高。宜積極接洽擁有上列優良風能潛力地區的農會，傳遞風能發電的各種優點及效益，以期建立台灣能源的永續利用。

2. 每年 10 月至次年 3 月東北季風盛行期間，是台灣最具風能開發價值的時間，而夏季則在台中沿海一帶有較豐富之風能資源。
3. 在外海部份，新竹至台中一帶的外海、澎

表 6 台南測站之風能潛勢資料

月份	V_m (m/s)	$V_m(10m)$ (m/s)	K	E_l (W/m ²)	E_s (kW-hr/m ²)	V_{Emax} (m/s)	V_{Fmax} (m/s)	E_{WP-1} (kW-hr/m ²)	E_{WP-2} (kW-hr/m ²)
1 月	3.728	2.506	0.125	17.994	12.956	3.998	1.999	3.662	10.554
2 月	3.512	2.360	0.141	15.044	10.832	3.767	1.883	2.355	8.363
3 月	3.311	2.225	0.159	12.606	9.076	3.551	1.776	1.456	6.567
4 月	2.849	1.915	0.214	8.031	5.782	3.056	1.528	0.333	3.303
5 月	2.782	1.870	0.225	7.478	5.384	2.984	1.492	0.253	2.929
6 月	3.156	2.121	0.175	10.917	7.860	3.385	1.692	0.948	5.339
7 月	3.025	2.033	0.190	9.613	6.922	3.244	1.622	0.629	4.406
8 月	3.083	2.072	0.183	10.177	7.328	3.307	1.653	0.759	4.807
9 月	2.875	1.932	0.210	8.253	5.942	3.083	1.542	0.368	3.456
10 月	2.909	1.955	0.205	8.549	6.156	3.120	1.560	0.418	3.660
11 月	2.976	2.000	0.196	9.154	6.591	3.192	1.596	0.532	4.082
12 月	3.293	2.213	0.160	12.402	8.929	3.532	1.766	1.389	6.418

- 湖離島外海及蘭嶼離島外海為風能潛勢最高的地區，建議可利用離岸式的風力渦輪機進行風力發電。
4. 在非高風能潛勢地區，選擇適合的風力發電機是非常重要的，應避免使用高切入風速及率定風速的風力機。

參考文獻

莊月璇，2001，「台灣地區風速機率分佈之研究」，國立中央大學土木工程學研究所碩士論文，桃園中壢。

經濟部能源委員會，2000，「中華民國能源政策白皮書」，台北市。

Ackermann T, Söder L. (2002). An overview of wind energy-status 2002. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 67-128.

Chang TJ, Wu YT, Hsu HY, Chu CR, Liao CM. (2003). Assessment of Wind Characteristics and Wind Turbine Characteristics in Taiwan. *Renewable Energy*, 28(6), 851-871.

Jamil M, Parsa S, Majidi M. (1995). Wind power statistics and an evaluation of wind energy density. *Renewable Energy*, 6(5), 623-628.

Lun IYF, Lam JC. (2000). A study of Weibull parameters using long-term wind observations. *Renewable Energy*, 20, 145-153.

Mathew S, Pandey KP, Kumar A. (2002). Analysis of wind regimes for energy estimation. *Renewable Energy*, 25, 381-399.

Patel MR. (1999). *Wind and solar power systems*. CRC Press, Florida, USA.

Stevens MJM, Smulders, PT. (1979). The estimation of parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes. *Wind Engineering*, 3(2), 132-145.

收稿日期：民國 91 年 10 月 30 日
 修正日期：民國 91 年 11 月 28 日
 接受日期：民國 91 年 12 月 1 日