

第一章 緒論

1-1 前言

風的形成源於地球自轉，以及區域性太陽輻射熱吸收不均造成的溫度差異而引起的空氣循環流動，小規模者如海陸風、山谷風，大規模者如東北季風。

風力發電機主要是藉由空氣的流動來轉動葉片，把風能轉換成電能，但風力機尚無法轉換全部風能，輸出效率僅介於 20~45% 之間。

過去數年來，風力發電已成為全球成長最快速的再生能源發電。到 2001 年年底，全球已有 46 個國家應用風力發電，總裝置容量已至 25,000 MW，預估年發電量逾 500 億度，而其中以歐洲地區的成長最為迅速。至 2003 年，風力發電前十名國家中，歐洲國家與美國共佔七名，亞洲地區亦有優異的表現，其中印度積極開發風力發電達 2,125 MW，中國大陸亦已擴增達 571 MW，至於日本亦累積至 761MW，排名第八，如表 1-1 所示[1]。德國風力發電領先全世界，是最積極開發風力發電的國家之一，至 2003 年底風力發電裝置總容量為 14,612 MW，至 2004 年底則增加為 16,629 MW，德國風力發電量目前佔其再生能源發電量的 54%，佔全國電力供應量的 4%，佔全世界風力發電量的 1/3，目前德國正加強海上風力發電的開發。日本 1990 年代後半自歐洲引進高效率大型風力發電裝置，2003 年風力發電裝置累積容量為 761MW，2004 年則增加至 874 MW，預訂 2010 年風力發電容量可達 3,000 MW。美國風力發電裝置容量 2004 年增加 389 MW，至 2004 年底美國風力發電總裝置容量為 6,740 MW。[2]台灣方面，至 2005 年底，總裝置容量為 23.9 MW，未來目標增加至 300 MW。

年平均風速達到或超過每秒鐘 4 公尺的地區，即為風力開發的最佳場所。國內主要的風能蘊藏區域包括西部沿海及離島地區。西部沿海從桃園的大園到新屋沿海，新竹的新豐到香山一帶，苗栗的後龍至苑裡沿海一帶，台中沿海大甲、經梧棲、大肚，一直到彰濱與麥寮沿海一帶，嘉南沿海與屏東墾丁等地。離島地區如澎湖、蘭嶼，如圖 1-1 所示[2]。

表 1-1 2003 年風力發電前十名國家

	國家	至2003年累積裝置容量(MW)
1	德國	14,612
2	西班牙	6,420
3	美國	6,361
4	丹麥	3,076
5	印度	2,125
6	荷蘭	938
7	義大利	922
8	日本	761
9	英國	759
10	中國大陸	571

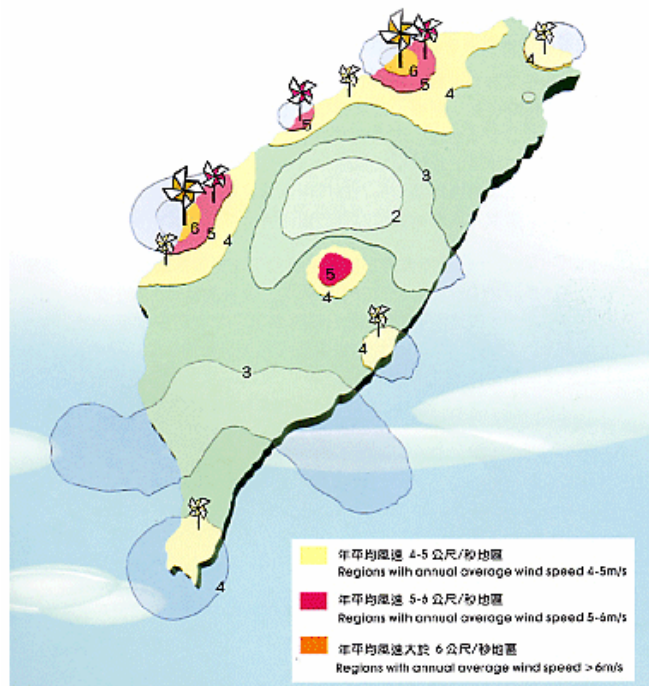


圖 1-1 台灣主要風能蘊藏區域[2]

至 2005 年底我國已運轉的風力發電機組包括台塑雲林麥寮風力發電廠 4 部 660 KW 機組，台電澎湖中屯風力發電廠一期 4 部 600 KW 機組及二期 4 部 600 KW 機組，核一廠 6 部 660 KW 機組，大潭電廠 3 部 1500 KW，核三廠 3 部 1500 KW 和竹北春風風力發電廠 2 部 1750 KW 機組，總裝置容量為 23.9 MW。目前建造中

的風力發電機組有台電公司桃園大園至觀音 20 部 1500 KW 機組，香山 6 部 2000 KW 機組，台中港區 22 部 2000 KW 機組(44 MW)。德商英華威公司大鵬風力電廠(42 MW)、竹南風力電廠(7.8 MW)及新豐風力電廠(20 MW)。規劃中的有台電公司澎湖湖西 6 部 850 KW 風力發電機，彰濱沿海、雲林麥寮、四湖及大潭海堤區等地共 63 部 2000 KW 的風力發電機。

政府綠色電力政策目標擬求『風力發電十年發展計畫』，積極推動風力發電之應用，預計於未來十年內至少設置 200 台風力電機或總裝置容量 300 MW 以上為目標。因此，風力發電在政府積極營造出有利之推廣環境，民間業者和政府亦努力進行開發下，相信未來大型規模的風力電廠陸續完工商轉後，將有助於能源的多元化，減少對傳統燃料的依賴和抑止二氧化碳的排放。

1-2 風力發電機原理及特性^{[3][4]}

空氣穿越風力機葉片時，空氣流之理想變化情形如圖1-2所示，空氣流在穿越葉片後，會擴增而大於葉片旋轉面積，在此過程中空氣流速度將減慢，也就是說空氣流失去了部份動能，而這些動能則被轉換成葉片之旋轉動能。

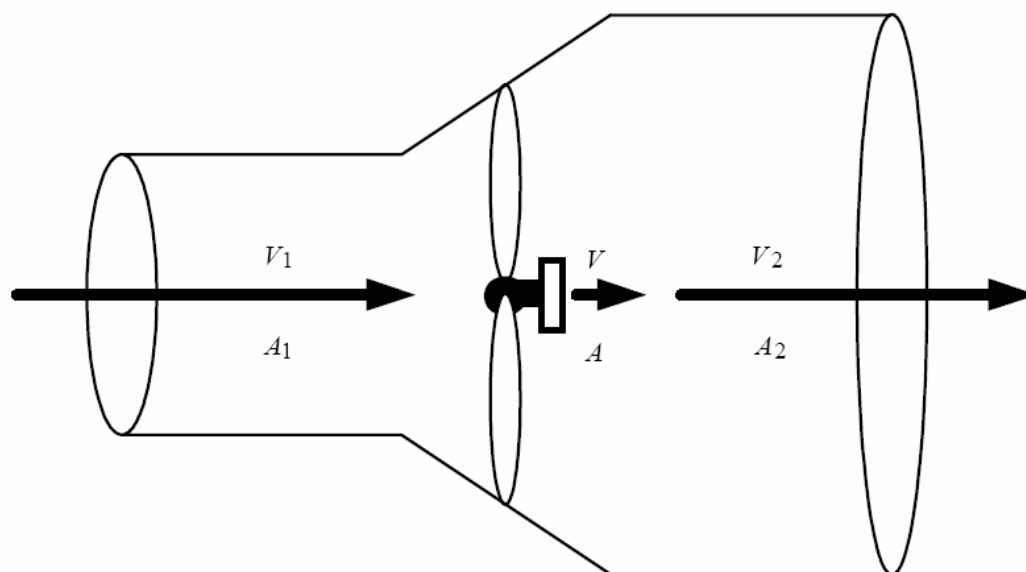


圖 1-2 空氣流穿越葉片之情形

最早提出風能轉換效率的是貝茲先生於西元1927 年所提出的理論。貝茲理論之概述如下[5]：首先於圖1-2 中，假設空氣流為一理想流體且是不可被壓縮的（Incompressible），也就是說在連續流動的情形下，單位時間內流過的空氣質量是相同的：

$$m = \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 = \rho A V \quad (1-1)$$

其中

$$\left\{ \begin{array}{l} m : \text{質量流速} \\ A_1 : \text{通過葉片前空氣流之截面積} \\ A_2 : \text{通過葉片後空氣流之截面積} \\ A : \text{葉片旋轉面積} \\ V_1 : \text{通過葉片前之風速} \\ V_2 : \text{通過葉片後之風速} \\ V : \text{實際葉片上之風速} \\ \rho : \text{空氣密度} \end{array} \right.$$

根據白努利（Bernoulli）方程式，可推導得葉片正反面的壓力差為 ΔP 為：

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) \quad (1-2)$$

則轉子受風的推力為

$$F = \Delta P \times A \quad (1-3)$$

風在通過風力機葉片後，所減少的動能為轉換至風力機葉片上的旋轉動能，因此可推得風力機葉片所吸收的功率為

$$P_m = FV = \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_2^2) \quad (1-4)$$

將 (1-1) 式及 (1-2) 式代入 (1-4) 式，可得

$$V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) \quad (1-5)$$

由 (1-5) 式中可發現實際葉片上的風速，為通過前與通過後之風速之平均值。依此關係可令：

$$V = (1-a)V_1 \quad (1-6)$$

其中 a ：軸干擾因數 (Axial Interference Factor)

由 (1-5) 與 (1-6) 可知

$$V_2 = (1-2a)V_1 \quad (1-7)$$

若將風力機自風中擷取之功率除以風所具有的功率，則可得到風力機的功率係數 C_p (Power Coefficient)，而其物理意義在表示風力機轉換風能的效率。由 (1-3) 式、(1-6) 式及 (1-7) 式可得：

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_1^3 \quad (1-8)$$

$$C_p = \frac{P_m}{P_{wind}} = 4a(1-a)^2 \quad (1-9)$$

其中 R ：葉片半徑

由 (1-9) 式可知功率係數 C_p 為軸干擾因數 a 的函數，欲獲得最大的功率係數，可將 C_p 對 a 微分，並令之等於零

$$\frac{dC_p}{da} = 1 - 4a + 3a^2 = 0 \quad (1-10)$$

由上式可發現 $a=1/3$ 當時， C_p 會有最大值約 0.593，因此由貝茲理論中可知，在最理想的情況下，風力機最大也只能獲得約 59.3% 的風能。又風力機所獲得之功率可寫成

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 V_{wind}^3 \quad (1-11)$$

由 (1-11) 式可發現，風力機所能擷取的風能與風速 V_{wind} 呈三次方正比，且與葉片半徑 R 平方成正比，並與當時環境之空氣密度 ρ 皆有關係。

然而風力機在實際運轉時，葉片後方的空氣流並非如圖 1-2 所示如此理想，會具有滑流 (Slip Stream) 及渦流 (Vortex Stream) 之成份，而滑流與渦流所具有之動能也是來自於空氣流動能之減少，這說明了真正的風力機是無法達到貝茲理論中最大功率係數。在實際風力機性能中，功率係數是會隨風力機葉片轉速而改變的，所以一般在說明風力機特性時，會將功率係數表示為尖端速度比 (Tip Speed Ratio) 的函數。而尖端速度比的定義為

$$\lambda = \frac{\omega_m R}{V_{wind}} \quad (1-12)$$

其中

$$\left\{ \begin{array}{ll} \lambda & : \text{尖端速度比} \\ \omega_m & : \text{風力機葉片轉速} \\ R & : \text{風力機葉片半徑} \\ V_{wind} & : \text{風速} \end{array} \right.$$



由 (1-11) 及 (1-12) 式可得在各風速下轉子轉速與轉換功率間的關係圖，如圖 1-3 所示。由圖中可觀察得在不同風速下，都會有一個相對的最佳轉速使其能夠由風中得到最大的能量，即最大功率點。若將圖中各風速下的最大功率點連接，則會形成圖 1-4 所示，而其函數關係可由 (1-11) 式推得

$$P_{\max} = \frac{\pi R^2 \rho}{2} V_{wind}^3 \times C_{p \max} \quad (1-13)$$

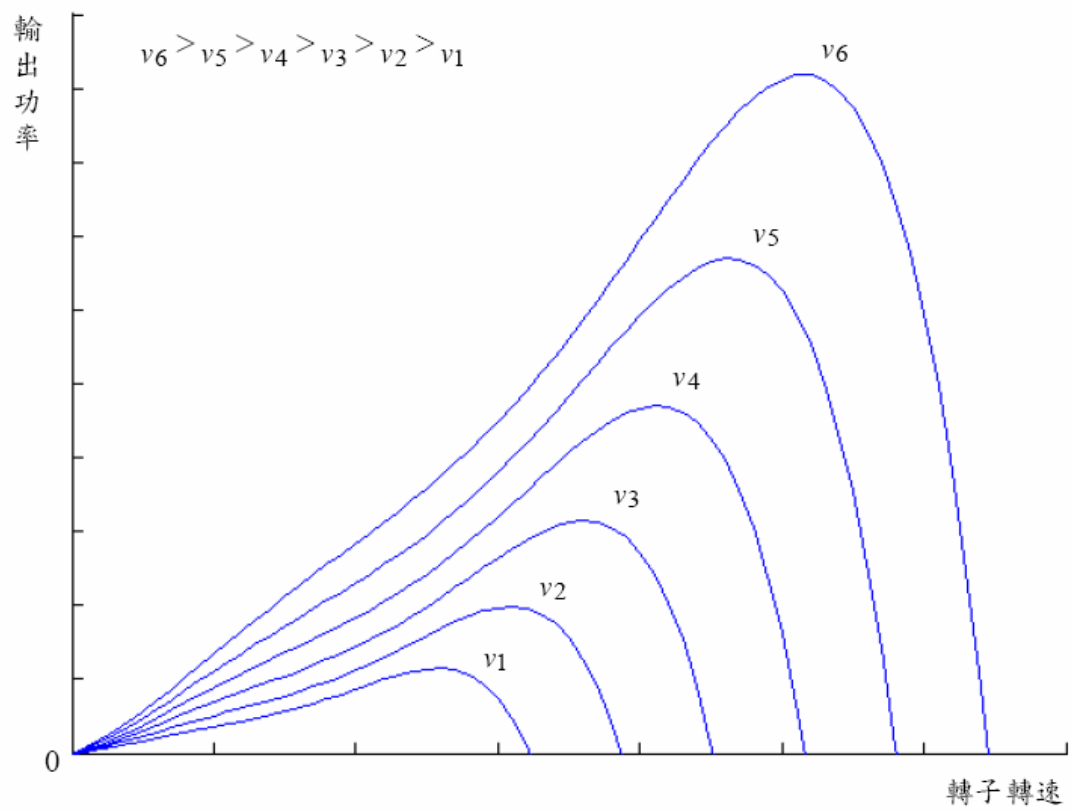


圖1-3 風力機轉子轉速與輸出功率曲線圖 [3]

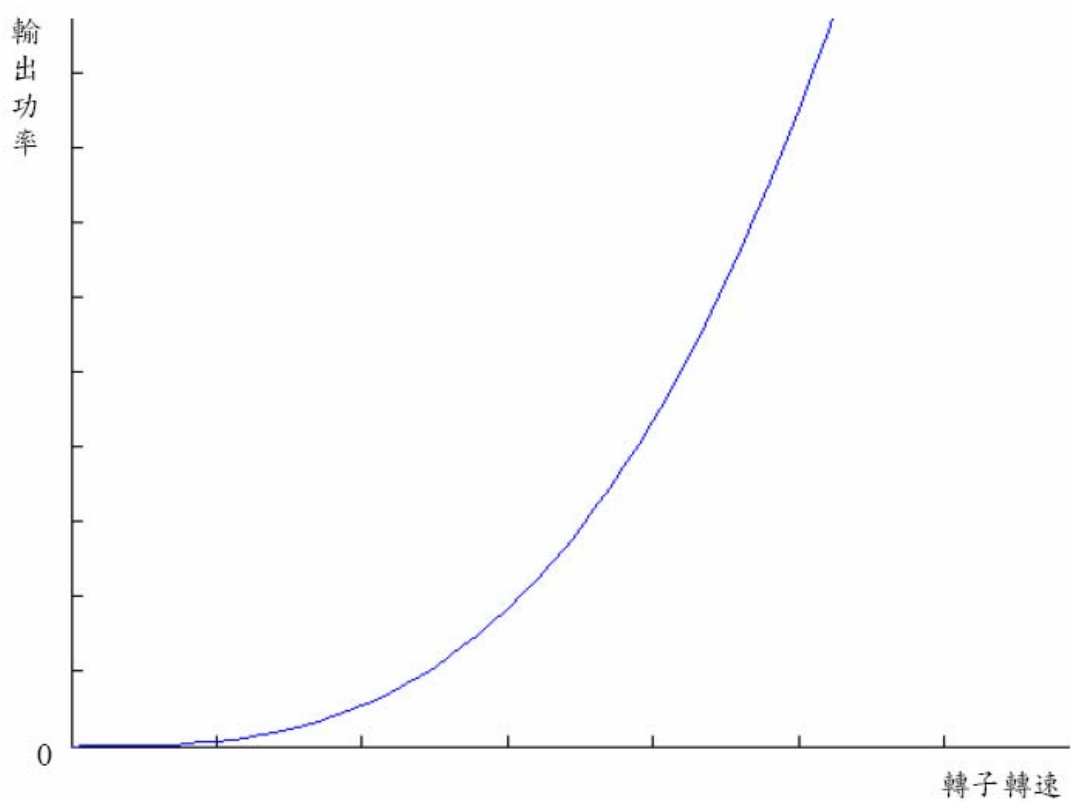


圖1-4 風力機轉子轉速與輸出最大功率曲線圖 [3]

1-3 澎湖中屯風力發電機台簡介

澎湖中屯發電廠分為一、二期共建置八台機組，第一期於民國 90 年 9 月 13 日開始商轉，第二期於民國 93 年 12 月竣工，也加入運轉的行列。由於澎湖離島是風力發電最佳的場所，未來幾年仍會有其它風力機組的設立。

大型風力發電機通常採用水平軸型式，由風輪、變速箱(加速齒輪箱)、發電機、偏移裝置、控制系統、塔架等部件所組成。風輪的作用是將風能轉換為機械能，它由氣體流動性能良好的葉片裝在輪軸上所組成，低速轉動的風輪通過傳動系統由加速齒輪箱增速，將動力傳導給發電機。上述這些組件都安裝在機艙內，整個機艙由高大的塔架支撐，由於風向會經常改變，為了有效地利用風能，必須要有自動迎風的裝置，它根據風向感測儀測得的風向信號，由控制器控制偏移電機，驅動小齒輪再推動塔架上的大齒輪，使整個機艙藉由此自動控制的系統，能夠一直對向迎風面。

澎湖中屯風力發電一期使用 ENERCON E-40/600 KW 的機型，共設置四台機組，相對的位置如圖 1-5 所示。機台為自動旋角控制，上風型可變速風力機組，額定輸出功率為 600 KW，三葉片式設計，轉子直徑 43.7 m，塔架高度 46m，起動風速(Start-up Wind Speed)為 2 m/s；停機風速(shut-off wind speed)為 25 m/s。



圖 1-5 澎湖風力機組相對位置圖(照片來源：中興電工網頁)

1-4 研究目的與動機

本研究的重點分成兩部分：(1) 2003~2005 年澎湖中屯風力發電機運轉資料分析，(2) 利用 CFD 軟體來模擬風力發電機的性能。

第一部份風機運轉資料的分析上，經由文獻上的結論，認為韋伯分佈 (Weibull distribution) 最適合用來代表整年度風的機率密度函數圖 (PDF)，並且利用韋伯分佈來預測整年度的發量電是非常合適的。所以本研究拿台電澎湖中屯風力發電機 2003~2005 年所記錄的風速資料來驗證此說法，並且找出風速、轉速、輸出三者之間的關係式。

第二部份利用 CFD 軟體來模擬方面，經由美國國家再生能源實驗室 (NREL) 實際風洞實驗的結果 [18][19] 來驗證模擬的正確性，並透過模擬來觀察細部風場狀況及風機的性能。

