

第二章 文獻回顧

2.1 風速分析及風能預測

在風速分佈的研究中，韋伯機率密度函數(Weibull probability density function)及瑞雷機率密度函數(Rayleigh probability density function)最被廣泛用於風速機率密度函數的模式上[6]。因為瑞雷機率密度函數只是韋伯機率密度函數的特例，本研究只使用韋伯機率密度函數來驗證風速機率密度函數，另外，也使用伽馬機率密度函數(Gamma probability density function)來預測風速機率密度函數。底下分別介紹韋伯機率密度函數及伽馬機率密度函數。

韋伯機率密度函數如式 2-1 所示，累積機率密度函數如式 2-2 所示， c 代表尺度參數(scale parameter)， k 代表形狀參數(shape parameter)， v 代表風速。尺度參數影響機率密度函數圖形之陡峭程度，而形狀參數影響散佈程度。尺度參數及形狀參數可由已知平均數及變異數求得。最可能風速(the most probable wind speed)及攜帶最大能量的風速(the wind speed carrying maximum energy)亦可由已知的尺度參數及形狀參數求得，如式 2-3、2-4 所示。[7]

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} \quad (2-1)$$

$$F(V) = 1 - e^{-(V/c)^k} \quad (2-2)$$

$$V_{MP} = c \left(\frac{k-1}{k}\right)^{1/k} \quad (2-3)$$

$$V_{MaxE} = c \left(\frac{k+2}{k}\right)^{1/k} \quad (2-4)$$

伽馬機率密度函數如式 2-5 所示， α 為尺度參數，影響機率密度函數圖形之陡峭程度， β 為形狀參數，影響機率密度函數圖形之散佈程度。伽馬機率密度函數的平均數和變異數如式 2-6、2-7 所示。[8]

$$f(X) = (\beta^\alpha \Gamma(\alpha))^{-1} X^{\alpha-1} e^{-X/\beta} \quad (2-5)$$

$$E(X) = \alpha \beta \quad (2-6)$$

$$\text{Var}(X) = \alpha \beta^2 \quad (2-7)$$

由多年的研究中指出，韋伯分佈最適合用來代表風速的機率密度函數圖及預測風能密度。Isaac Y. F. Lun[9]研究指出香港從 1968~1997 年每小時平均風速中找出韋伯分佈適合用來代表風速分佈。

Wei Zhou[10]的研究中指出，在珠江三角洲附近四個島的風速分佈，由每小時平均風速的資料分析中指出韋伯分佈適合代表風速分佈，並且利用數學的模式去推估風能密度。

A. Garcia[11]等人在研究中指出，在西班牙的那瓦爾，除了 Estella 及 Illundain 兩處平均風速小於 2m/s，使用對數常態分佈(Lognormal distribution)比韋伯分佈來得好。其餘地區皆適用韋伯分佈來代表當地的風速分佈，而且韋伯分佈在預測潛在風能是非常好的一個分佈。

M. Jamil[12]等人在研究中指出伊朗當地在低平均風速時，韋伯分佈和瑞雷分佈不適合用來代表風速分佈，其餘高平均風速仍是有用的。預測風能密度時韋伯分佈和瑞雷分佈也是適用的。藉由此篇數學模式的推導，Tsang-Jung Chang[7]整理詳細風特徵及風機特徵的表格，如表 2-1 所示。經由此公式分析台灣 1961 年至 1999 年各地的風速資料，找出梧棲、恆春、蘭嶼、東吉島四個較佳設置風機的地點。其中推導實際輸出風能的預測上，選用 Vestas 公司 V47-660kw 型風力發電機之風速和輸出關係式做預測。

Ali Naci Celik[13]的研究則是由使用已知的小型風力機風速和輸出關係曲線和土耳其當地一年每小時平均風速資料來比較以時間序列計算的發電量和以韋伯分佈代表的風速資料計算的發電量兩者間的誤差。這也是本研究預測發電量所使用的方法。

表 2-1 風及風機特徵公式 [7]

Wind energy characteristics for Weibull distribution and wind turbine characteristics	
Wind characteristics	
Mean wind speed	$V = c \Gamma\left(\frac{k+1}{k}\right)$
Standard deviation of wind speed	$\sigma = c \sqrt{\left[\Gamma\left(\frac{k+2}{k}\right) - \Gamma^2\left(\frac{k+1}{k}\right)\right]}$
Most probable wind speed	$V_{MP} = c \left(\frac{k-1}{k}\right)^{1/k}$
Wind speed carrying maximum energy	$V_{Max} = c \left(\frac{k+2}{k}\right)^{1/k}$
Mean wind power density	$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right)$
Mean wind energy density	$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) T$
Wind turbine characteristics	
Wind energy generated by an ideal wind turbine	$E_{TW} = \frac{\rho}{2TA} \int_{V_I}^{V_R} V^3 \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV +$ $\frac{\rho}{2TA} V_R^3 \int_{V_R}^{V_Q} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV$
Actual wind energy output from a wind turbine	$E_{TA} = TP_R \int_{V_I}^{V_R} (a_1 V^3 + a_2 V^2 + a_3 V +$ $a_4) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + TP_R \int_{V_R}^{V_Q} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV$
Wind turbine efficiency	$\eta = \frac{E_{TA}}{E_{TW}}$
Rated wind energy	$E_{TR} = TP_R$
Capacity factor	$C_F = \frac{E_{TA}}{E_{TR}} = \int_{V_I}^{V_R} (a_1 V^3 + a_2 V^2 + a_3 V +$ $a_4) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV + \int_{V_R}^{V_Q} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV$
Availability factor	$A_F = P(V_I \leq V < V_Q) = \int_{V_I}^{V_Q} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} dV$

2.2 風機氣動性能之模擬

設計風車時，必須先決定翼剖面，由 Theory of Wing Sections[14]的理論基礎和附錄的資料，可以深入的了解各種翼形不同攻角下升阻力係數及轉矩係數的關係，可做為初步選定葉片的依據。決定翼形後，小型風車設計及製造[15]提供了初步風機設計的概念。

空氣動力學早期由於航空工業的需求而發展，在 1915-1935 年代空氣動力學就已應用於風力機風扇葉片設計上。風扇氣動力學特點在於：(1)風扇直徑達 110m，葉片長度與波音 777 飛機翼展相當，但飛機機翼作用於相較均勻穩定的高空氣流，風扇葉片操作於地面黏性邊界層效應內的非定常風條件。(2)風力機常應用葉片氣動力失速現象的發生，作為風扇運轉極限速度設計的理念。葉片氣動力失速將增加葉片阻力，限制轉軸的扭矩以保護發電機組。因此高失速條件氣動力學分析為風扇設計中重要項目。(3)葉片轉動時，葉端(tip)與葉根(root)部附近氣流運動三維效應強烈，相較原二維翼氣動力特性，三維效應使失速延遲發生且葉片負荷增加。(4)風扇操作環境受到地面切風、紊流效應、葉片震動與拍震(flapping)位移影響、風車塔影響(tower shadow)與轉動機械影響等，因此非定常氣動力學模擬分析為風扇設計的重要項目。(5)一般風扇葉片端的速度均在 0.3 馬赫以下，氣流可壓縮效應不明顯，但非定常氣動力效應增加時，將造成氣流的可壓效應影響。[16]

應用實驗與計算空氣動力學技術於上述風扇空氣動力學研究，開發更準確、更適用的風力機風扇設計與性能分析的實驗設備或計算軟體，提升風扇或風力機總體效率以及開發新的風力機，為目前重要的研發項目[16]。

美國能源署(DOE)再生能源實驗室(NREL)成立計劃進行翼剖面氣動力與噪音特性研究[17]，選用六種用於小型風力發電機的翼剖面進行風洞實驗。文獻[16]參考此實驗值，驗證 Xflow 軟體的適用性，結果顯示最大厚度比較小的翼剖面(E387、SD2030)在未發生分離流條時，計算結果相當準確。厚度比與曲弧度較大

的翼剖面(FX63-137、S809)非線性效應影響顯著，計算誤差較大。由翼剖面氣動力特性驗證結果顯示，數值計算模式必須進一步考量(1)層流與紊流混合模式，(2)轉移區位置與分離流位置準確預估數值模型，以及(3)準確的翼前緣曲率半徑與幾何外形等，均為提升計算準確度的重要關鍵。另外本作者同時也驗證S809翼形的三葉片風車，初步結果在風速4m/s至9m/s線性變化區域與NREL原設計值變化趨勢一致，CFD計算值較原設計值高約30%，大於9m/s條時差異較大。S809風車的葉片設計可參考NREL[18]，實際二片和三片葉片風車風洞的測試結果及CFD模擬的計算可參考NREL[19]。

本研究使用計算流體力學軟體STAR-CD進行風車整體氣動力學性能分析。初步的設計由「Theory of Wing Sections」附錄中選用升阻力係數表現不錯的NACA4412的翼形當作初步的設計，設計過程參照「小型風車設計及製造」概念，詳細的設計請參考4-1節。

