

# 風能應用於台灣港灣之初步研究

邱永芳 交通部運研所港灣技術研究中心主任  
黃茂信 交通部運研所港灣技術研究中心副研究員  
李賢華 國立中山大學海洋環境及工程系教授  
余聿祥 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理  
方鉢淳 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理

## 一、風能的簡介與發展

風能是因空氣流做功產生的一種可利用的能量。空氣流具有的動能即為風能，空氣流速越高則動能越大。人們可以用風車將風的動能轉化為機械能推動發電機，以產生電力，方法為透過傳動軸，將轉子(由空氣動力推動的扇葉組成)的旋轉動力傳送至發電機。到2008年為止，全世界以風力產生的電力約有94.1百萬千瓦，供應的電力已超過全世界用量的1%。風能雖然對大多數國家而言還不是主要的能源，但在1999年到2005年之間已經成長了四倍以上[3]。

風能的應用具有許多的優點，風能的發展起步早，技術於近代已漸趨成熟，使應用成本降低，於現行各種再生能源中是相當具經濟競爭力及發展潛力的一項；風能設備多為立體化設施，風能之空氣汙染及碳排放低，對於環境之衝擊較小，且風力發電可

以為分散式發電，沒有大型發電設施過於集中的風險問題。

唯一缺點是風力供應為間歇性的，因此風力發電會有在某些時段、區域運作效率不高的問題，如台灣於用電量較高的白天及夏季就常面臨風力短缺的問題，另外大型風機的設置也需大量的土地面積，因此近年漸漸發展出適應各種環境條件的小型風力發電機。

## 二、小型風力發電機

風力發電機分為大型風力發電機及小型風力發電機，美國定義，單機容量100kw以下為小型風力發電機，100~600kw則為中型風力發電機；而由於大型風力發電機機組體積十分龐大，再加上必須選擇風能非常良好的空曠地區，大部分設置於沿海、平原及離島地區，在土地面積的條件下有其發展的限制。相較於大型風力發電機，中小型風力機的應用範圍更廣，產生的壓迫感較小，安裝上也較為容

易，因此在近年來漸漸地受到了重視。圖 1 為小型垂直軸式風力發電機與太陽能發電系統並用的情形。



圖 1 小型垂直軸式風力發電機  
(參考資料：新高能源科技股份有限公司)

在此研究中，由於港灣空地位置均有貨物堆置貨運輸交通等用途，必須將風力發電機架設於屋頂或相關之建築，因此規劃使用中小型的風力發電機來輔助發電，所需的空間較小。在國外案例中亦多直接裝設於屋頂上，中小型風力機可滿足偏遠地區、家庭用電、交通號誌、路燈、通訊設備、遊艇等用電需求，可自成獨立供電網路，亦可與市電系統相接。本案中若

進一步以垂直軸的風力發電機，其產生噪音較小，更可解決噪音問題。

圖 2 為一典型之小型風機風速與功率曲線圖，表 1 即表 2 則為小型風力發電機機型及其功率與各項風速資料(由新高能源科技股份有限公司與特力寶科技有限公司所提供兩公司所提供)，而彙整成表 3 則為各型號風機在不同風速所對應之功率。參照以上各表可知小型風機的啟動風速約在 3m/sec，額定風速則為 12m/sec。各型號風機在額定風速所對應之功率則約為各廠商所設定之該型風機發電功率。

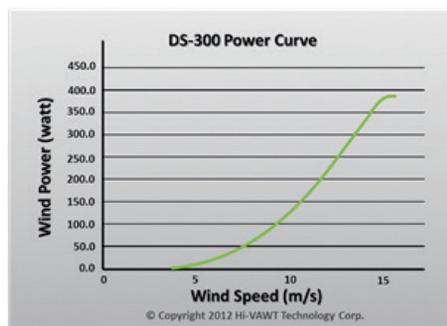


圖 2 DS-300 風速與功率曲線圖  
(資料來源：新高能源科技股份有限公司)

表 1 新高能源科技股份有限公司小型風力發電機

產品編號	DS-300	DS-700	DS-1500	DS-3000
額定功率	300W	700W	1500W	3000W
切入氣流速度	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s
額定氣流速度	13.5 m/s	12 m/s	12 m/s	12 m/s
切離氣流速度	15.5 m/s	15 m/s	15 m/s	15 m/s
可承受極限氣流速度	60 m/s	60 m/s	60 m/s	60 m/s

(資料來源：新高能源科技股份有限公司)

表 2 特力寶科技有限公司小型風力發電機

產品編號	1kW VAWT	4KW VAWT
額定功率	1000W	4000W
切入氣流速度	3m/s	3.5m/s
額定氣流速度	12 m/s	12 m/s
切離氣流速度	30m/s	30 m/s
可承受極限氣流速度	55 m/s	55 m/s

(資料來源：特力寶科技股份有限公司)

註：

切入風速：風電機組開始發電時，輪轂高度處的最低風速。

額定風速：風電機組達到額定功率輸出時，輪轂高度處的設計風速。

切離風速：風電機組保持額定功率輸出時，輪轂高度處的最高風速。

表 3 各型號風機在不同風速所對應之功率 (W)

氣流 速度 型號	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	10 m/s	12 m/s	14 m/s	16 m/s	18 m/s	20 m/s	30 m/s
DS-300	-	-	10	25	40	65	130	225	340	-	-	-	-
DS-700	65	100	150	235	325	450	750	845	-	-	-	-	-
DS-1500	0	35	85	165	265	400	800	1520	1540	-	-	-	-
DS-3000	-	110	250	420	700	1000	2000	3055	3110	-	-	-	-
1kW VAWT	-	40	70	130	200	300	600	1000	1000	1000	1000	1000	-
4kW VAWT	75	230	330	530	870	1190	2430	4000	4000	4000	4000	4000	-

### 三、風能發電應用於各港口概略分析

風能發電於港區利用所使用的方式為概略估算，並假設港區內所有建築物均能架設風機系統(實際應用時、建築的實際使用狀況以及與風機結構結合之可行性則需要仔細評估)，這樣

能減少一些建築物的阻隔，風速不受影響較能穩定的發電。若風機系統沿著港邊海岸線架設時，則假設海岸線每 100 公尺範圍內排除相關設施後，至少能架設一座風機。並從港灣技術研究中心的網站上取得台灣四大港口幾年內的風速資料，以港口之歷年各級風速概率搭配各家廠商所提供之功

率風速曲線圖來估計各港口之發電量。

架設在屋頂上的數量亦是由 Google Earth 去估算總面積，再分為兩種算法去計算出架設的風機數量，搭配風速資料以及小型風力發電機之功率風速曲線圖來估算出每台小型風力發電機可產生的電量，又由各港口所裝設的風機數量來估計每年各港口可發電的總量。

風機系統架設於建築物上時之估算方式為：a、將小型風力發電機以每 10 公尺裝設一部的的方式裝設於每一座建築物屋頂四周（以建物周圍邊長為依據）；b、以所有建物總合面積做概略估算，並以每 200 平方公尺為單位架設一部風力發電機於屋頂上（以建物面積為估算依據）。以下分別舉例說明之：

a、以 Google Earth 概估港區內建築物面積，以基隆港為例則為 19 萬平方公尺，而基隆港的屋頂數量為 158 座，則平均每座屋頂所佔面積約為 1202.5 平方公尺，假設每座屋頂皆為邊長 34.7 平方公尺的正方形，將小型風力發電機以每 10 公尺裝設一部的的方式裝設於屋頂四周，則每個屋頂可裝 8 部機組，整個基隆港區則可安裝 1264 部。

b、將屋頂總面積想像為一大屋頂，以每 200 平方公尺為單位架設一部風力發電機，則基隆港區可安裝 950 部發電機組。

另外再將海岸線的部分考慮進去，而沿海岸線地帶的路徑長同樣由 Google Earth 概略估算之，再扣除一些從 Google Earth 上可明顯看出有地形、建築障礙問題的路徑長，即可獲得可裝設風機之海岸線長度，若每 100 公尺裝設一台風力發電機（100 公尺是在考慮到各小型風力發電機之間不會太緊密造成過度裝設，同時也不會太鬆散造成發電量縮小的一個概估值），以基隆港為例，基隆港沿海岸邊之路徑長（扣除建築物及障礙物），概估為 8503 公尺，考量到港邊作業方便，以每 100 公尺裝設一部來估算，則基隆港於海岸線部分可裝設 85 部。

以上述方式估算四大港口可裝設之小型風力發電機數量，數量統計如表 4。其中發現以無論以建築物的周長或面積為估算基準，高雄港及台中港可裝設的機組均為最多，花蓮港則為最少。再根據各港口歷年各級風速概率，由此推算出各級風速每年所佔之時數，表 5 所示則為台灣各港口歷年各級風速概率。各型風機（假設全面安裝同型風機）在各港口每年能發出之電量，依據各及風速發生概率可估算出來，其發電量彙整如表 6，其中計算方式如前所述分成兩種方式。

若每部小型風力發電機以 40,000 元來計算安裝成本，則各港之發電成本如表 7 所示。可看出在各個型號的

表 4 各港口可裝設之小型風力發電機數量 (部)

	港區面積 (m <sup>2</sup> )	算法 a 可 裝設數量	算法 b 可 裝設數量	海岸線長 (m)	可裝設數 量	總裝設數 量 (a)	總裝設數 量 (b)
基隆港	19 萬	1264	950	8503	85	1349	1035
台中港	76 萬	3600	3800	12945	129	3729	3929
高雄港	96 萬	4040	4800	17798	177	4217	4977
花蓮港	8.1 萬	480	405	5548	55	535	460

表 5 各港口歷年各級風速概率 (%)

風速 (m/s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
基隆港	12.7	22.7	18.5	12.9	9.9	7.9	6.1	4.4	3.5	1.1	0.3	0.1	0	0	0
台中港	3.5	16.4	16.7	13	9.4	7.2	5.5	4.9	9.3	6.9	4.3	1.7	0.8	0.3	0.3
高雄港	23.7	26.8	22.3	14.1	6.9	3	1.5	0.8	0.6	0.2	0.1	0	0	0	0
花蓮港	5.9	19.4	24.6	18.6	11.8	7.1	4.9	3.3	3.3	0.9	0.2	0	0	0	0

(資料來源：港灣技術研究中心)

表 6 各港於不同風機下之發電總量 (百萬度)

	基隆港		台中港		高雄港		花蓮港	
	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b
DS-300	0.10	0.08	1.13	1.19	0.07	0.08	0.03	0.03
DS-700	1.00	0.77	6.12	6.45	1.17	1.38	0.38	0.32
DS-1500	0.72	0.55	7.04	7.41	0.56	0.66	0.24	0.20
DS-3000	1.85	1.42	16.36	17.24	1.48	1.75	0.62	0.53
1kw VAWT	0.56	0.43	5.52	5.82	0.46	0.54	0.19	0.16
4kw VAWT	2.52	1.94	22.91	24.14	2.48	2.93	0.88	0.76

表 7 各港之風力發電成本 (萬元/十萬度)

	基隆港		台中港		高雄港		花蓮港	
	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b
DS-300	5396	5175	1320	1321	24097	24885	7133	6133
DS-700	540	538	244	244	1442	1443	563	575
DS-1500	749	753	212	212	3012	3016	892	920
DS-3000	292	292	91	91	1140	1138	345	347
1kw VAWT	964	963	270	270	3667	3687	1126	1150
4kw VAWT	214	213	65	65	680	679	243	242

表 8 風速 3m/s 以上比例 (%)

基隆港	台中港	高雄港	花蓮港
46.1	63.4	27.2	50.1

發電機組的使用效率上，都以台中港的條件為佳，高雄港之風力發電因其單位發電成本最高，在風力發電應用上則較不合適，其餘兩個案例則須搭配該地區之風速級數來搭配適用之發電機型以達最佳效率。

#### 四、結論

風能發電系統則主要有兩個影響因子：一為各級風速的分布，二為小型風力發電機型的選擇，須參考該地區最多比例之風速級數來選擇風力發電機，以達到最佳效率，尤其注重高於 3m/s 的風速比例 (因小型風力發電機之切入速度約為 3m/s)，在本研究四個案例中以台中港之效率最佳，主因即為其高於 3m/s 的風速比例達 63.4%，明顯高於其他案例 (如表 8)，相對的高雄港則因其風速平均不高的條件下，最不适合發展風力發電系統。

本研究初步探討風能應用於港灣結構上之可行性，由其運行效率及成本考量為出發點，台中港風力資源豐沛，對於風能的發展有其潛力，花蓮港與基隆港之條件雖然相對較不适合發展太陽能及風能，但從過往之文獻資料來看，其蘊含的海洋能極為豐富，

而綠色能源之層面甚廣，尚有波浪能、潮汐能亦或生質能等，在不破壞既有港灣結構的安全性及功能性前提下，選用最適合該地區的綠能設施，除可節省部分的能源開支外，也有助於紓緩日漸嚴重的能源危機。

#### 參考文獻

1. Gorban, Alexander N., Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. *Journal of Energy Resources Technology*. 2001.December, 123: 311-317
2. 英華威風力發電集團 Infravest，台灣風力發電發展現況。
3. 台灣港務股份有限公司 <http://www.twport.com.tw/>。
4. 交通部運研所港灣研究中心，可循環再生能源於綠色港灣之應用 1/4，2013