

## 風力發電概述與風能建築形式初探

A Basic Study of BIWE on Wind Power Generation  
(BIWE--Building Integrated Wind Energy)

葉世宗\*

近一百年來，世界人口總數由 16 億人，增加到約 60 億人。激聚高密度的都市，成為人類文明的表徵，貪婪無止境的擴張與蔓延，破壞了地球既存的生態機制，愈來愈頻繁的極端氣象，諸如：洪水、乾旱、狂雪、暴雨、龍捲風及溫室效應導致的暖化，其實是地球發出嚴重的警訊，告訴人們她生病了！不斷開採的傳統石化能源正面臨枯竭的危機，無論石油、天然氣甚至是煤炭，皆被偵測出使用的年限。

替代能源或再生能源的研發運用，乃現階段各國傾力資助的重點項目，從德國的太陽能、加拿大的水力、巴西的甘蔗田（酒精氣油）、丹麥的風力，到日本的垃圾（甲烷）發電，都是值得期待長遠開發的能源經濟。而國內能源的自給率低於 2%，換言之，有 98% 以上依賴進口能源。這個驚人的數據，洩露出台灣深層的危機，我們應當集思廣益，提出有效的能源方案。大型電廠的設立，固然重要，微型發電的策略思考，亦不容忽視。

### 微型電廠啟動能源革命

中大型的火力發電廠、水力發電廠或核能發電廠，不僅佔地極廣，營建成本更是以數十億至數千億的天文數字作預算。太陽光與氣流無所不在，隨時環繞在我們住居的環境，若能於小環境擷取光電及風電，點滴成河、積少成多，省下蓋電廠的巨額成本，豈不更符合地球環保的理念！從德國及日本成功地發展太陽光電產業，而丹麥的風力發電佔其國家總發電量的 18% 及由各國大量投入綠色能源產業的趨勢來看，新一代的能源革命已然展開！

### 風能的應用與歷史—傳統風機

風力是最早被使用的大自然能源之一。據傳在四千年前，巴比倫和中國就已利用風車產生的動能來抽水和碾磨穀物。約在 12 世紀，風車才被引進歐洲，至 1750 年時，荷蘭共有 8000 部風車，英國則有 10,000 部。至 18 世紀末，瓦特蒸汽機問世以後，風車的使用略有下降，且在 20 世紀初因便宜好用的化石燃料和水力發電機興起，下降趨勢更加明顯。相關的技術發展亦相當緩慢，直到 1973 年出現第一次石油危機，人們才驚覺傳統石



美國農莊多葉式提水風機



荷蘭傳統風機



西班牙傳統風機

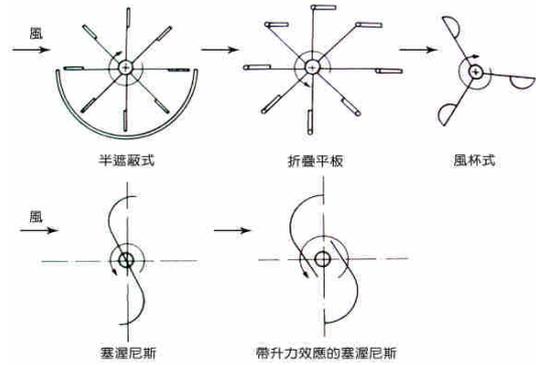
化能源，終有用盡的一天，因此重新開起風能技術的研發與運用。

## 風力發電的原理及種類

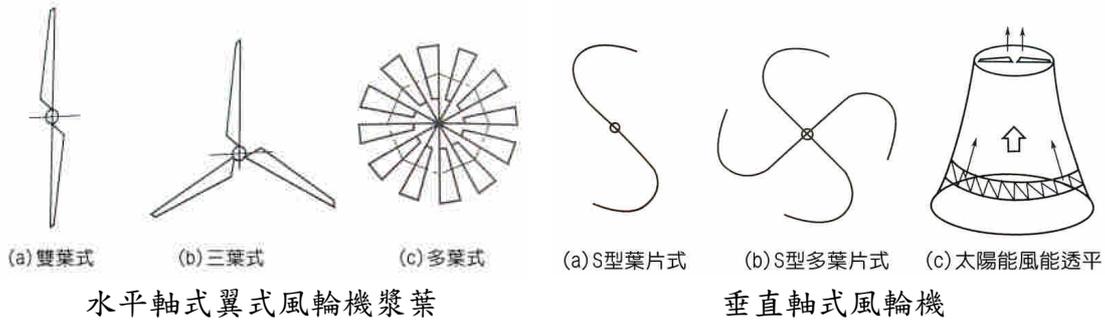
地球表面受到太陽的照射，因各處的地形地貌不同，受熱的程度亦不同，而產生溫度的差異，進而在大氣層中形成高低氣壓，當空氣在高低氣壓或冷熱溫差空氣間進行流動，即產生了所謂的「風」。

風能轉化為電力的基本原理是將風力轉換成機械能量，藉由風力帶動葉片轉動，再經由加速齒輪箱提升旋轉速度，驅動發電機產生電能。其間牽涉的專業包括航空動力學、結構動力學、氣動彈力學、複合材料、控制工程等相關技術領域。

風力機的種類和式樣很多，但依照風輪結構及其空氣流動的位置，大致上可分為水平軸式及垂直軸式兩大類。

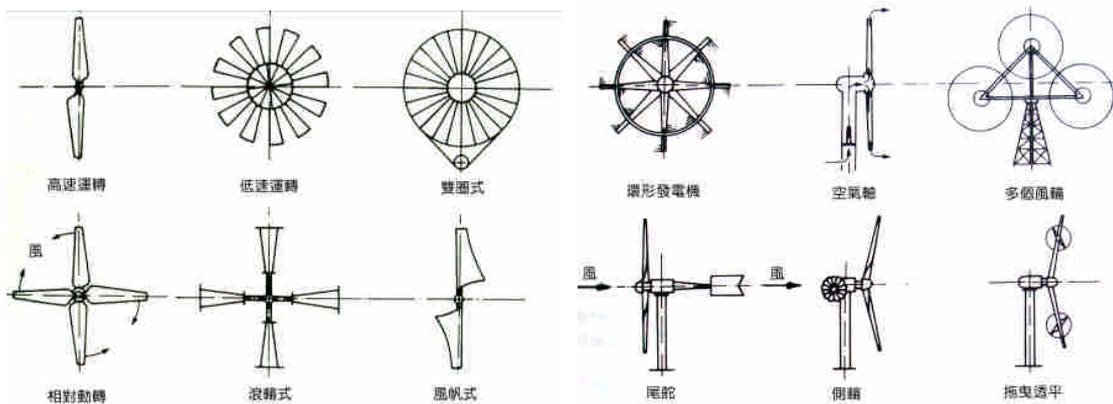


各種型式的風能轉換系統



水平軸式翼式風輪機漿葉

垂直軸式風輪機



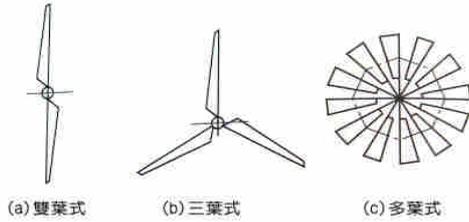
各種型式的風能轉換系統

### (一) 水平軸式風力機

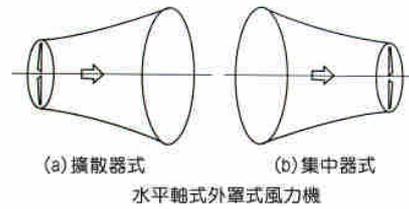
水平軸式指的是葉輪圍繞一根水平軸旋轉，做功時葉輪的旋轉面與風向垂直。其葉片是採徑向安置，垂直於旋轉軸，與葉輪的旋轉面成一角度（安裝角）。葉片數多的風力機常稱為低速風力機，有較高的風能利用係數和較大的扭矩，在低風速的環境下即可啟動。葉片數少的風力機常稱為高速風力機，在高速運行時

才有較高的風能利用係數，其要求的啓動風速較高。就不同構造形式，概可歸類下列三種：

### 1. 水平軸式翼式風力機

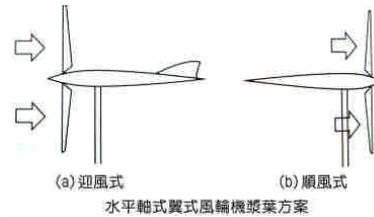


### 2. 水平軸式外罩式風力機



### 3. 迎風型與順風型風力機

迎風型（逆風型）之葉輪在塔架的前方迎風旋轉，須有調向裝置來保持正確的向風位置。順風型葉輪在塔架的下風位置，可自動對準風向，但風先經塔架才吹向葉輪，塔架會干擾氣流，影響效率。

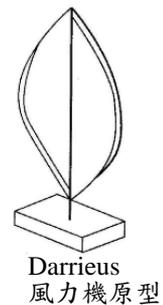


水平軸風力發電機的優點概括下列數點：

- (1) 葉片在整組發電機的一邊，有助於安定性。
- (2) 葉片受風情況改變時，可調整葉片攻角(大型機現多為自動調整)。
- (3) 受暴風雨時可遙控調整葉片角度，使受強風時減少結構損壞。
- (4) 可將葉片設在高處，承受較高風速（在某些強風區，高度每增加 10m，風速可增 20%，輸出功率增加 34%）。
- (5) 高塔設計容許風力發電機安置在不平地型及離岸地區，也可架設在樹林間。
- (6) 絕大多數啟動扭力較足夠，可自動起動，不須助推。
- (7) 可大型化，提高輸出功率。
- (8) 平均單價較低。

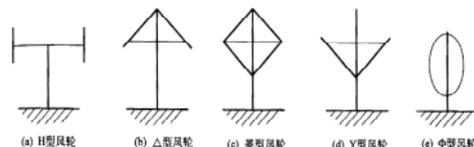
### (二) 垂直軸式風力機

葉輪圍繞一個垂直軸旋轉，最大優點是可接受來自任何方向的風，結構簡單。大致有兩個類別：



1. 阻力型：利用空氣動力的阻力做功，典型的結構是 S 型葉輪，啟動扭矩大，但氣流不對稱有側向力，較難用於大型風力機。
2. 升力型：最典型的為達里厄(Darrieus)型風力機，由法國人 Darrieus 於 1925 年發明(1931 年取得專利)，但直到 1973 年爆發石油危機後才受到重視。

Darrieus 風力機的葉片基本上分直葉與彎葉兩種。H 型結構簡單，但旋轉時的離心力使連接點產生彎曲應力，需用橫桿或拉索支撐，產生阻力，降低效率。O 型使彎曲應用減至最小，葉片輕運轉速度比直葉片



高，同樣發電功率下迎風面較 H 型小。



丹麥 Off-Shore 離島海上風力發電場



印度大型風力發電場

垂直軸風力發電機的優點：

1. 不挑風向，不須另設轉向機構(yaw mechanism)。
2. 各部件離地很近，容易維護。
3. 機構簡單，葉片與轉軸接合方式單純。
4. 葉片安裝角(pitch angle)大，可降低高或低壓時的阻力。
5. 可安裝在台地、山丘頂、山脊等地，該處貼地有較強的風力。
6. 可安裝在建築法規規定限高地區。
7. 較容易運輸與組合。
8. 不須塔架，節省部份經費。
9. 轉速較慢，在強風中較無結構破壞問題。
10. 有較高起動扭力，可做抽水用途。

垂直軸風力發電機的缺點：

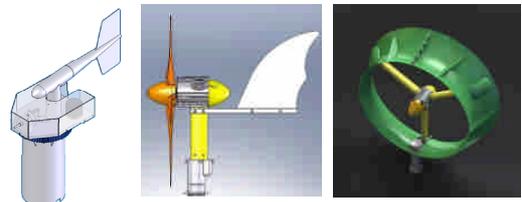
1. 整體氣動效率較低，同樣功率條件下體積較大。
2. 軸心較長，而且是外掛(overhang)，受結構與振動影響較大，體積有上限，功率輸出受限制。
3. 整體重量加在下軸承上，支撐線(guy wires)也加重在下軸承負荷。
4. 葉片一部份向風轉動(產生阻力)，一部份逆風前進(受風推動，但相對速度減少)，整體效率打折扣，能量轉換效率僅約水平軸風力機的 50% 或更低。

## 風力發電機的構成

經由轉子葉片，風機將風能轉化為機械動力，而得以驅動發電機，換言之，藉由風機內在的電磁線圈裝置，將機械能轉為電能。

構成風力發電機的主要部件如下：

1. 轉子葉片 (Rotor Blades) — 轉子葉片的功能在於將風能轉換成機械能，葉片的材質必須具有高度的機械張力，以克服高轉速下的金屬疲勞，及因為不穩定氣流環境導致的嚴重材料變形。
2. 發電機 (Generator) — 透過發電機內建的電磁裝置，轉換自轉子葉片產生的機械力成為電力。
3. 煞車器 (Brake) — 控制轉子的轉速，避免超速帶來的系統破壞，並且維持穩定的充電動力。
4. 轉向裝置 (Yawing) — 轉向裝置的功能在於引導轉子的葉面穩定而垂直地對準風的方向，以使大量的氣體穿流而過。

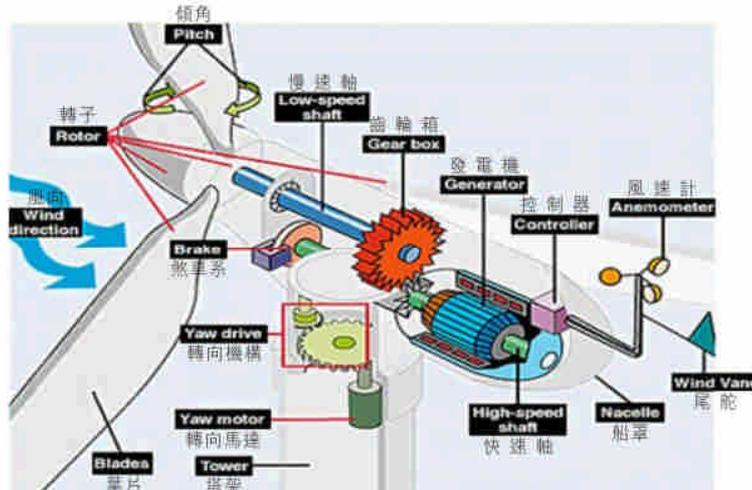


大型風機尚需要加設風向計，正確地導引 CPU 監控系統控制轉向機構。

若是小型風機(<1 kw)，其轉向裝置則可結合尾舵或外罩，一樣具有自動地追風的效果。

5. 塔架 (Towering Support) — 將風力發電機提高到具有穩定氣流的高度，以捕捉最大的風量。

6. 電力控制器 (Power controller) — 電力控制器有三重功能：  
 (1) 偵測超過風速 20m/s 的超額電壓，並開始發出全面煞車的訊號。  
 (2) 將輸入電壓平均到 14.5Vdc，使足以存入蓄電池內。  
 (3) 調整充電電流以保護電池，免於過度放電。



風力發電機構造與部件

## 風力發電系統

風力發電系統不同於太陽光電發電系統。後者電壓穩定，電流則大小不一，目前以採「市電併聯方式」為主流；前者則是電壓不穩定，現階段仍須設置蓄電池，經過直交流轉換器，可直接供給電力負載，或連接到 ATS(自動電源轉換器)，藉由自動切換開關與市電輪流供應電力負載(非併網型)。

### (一)直接供電型



### (二)切換市電供電型



## 風能建築的設計

微型電廠的觀念，開啟了小型風機的研發。限於都市中樓房林立而令風場不佳，影響風電效能的緣故，一般仍以郊外及海上的使用為主。譬如：遊艇上，休旅車車頂或於空曠的停車場。風機構成仍以水平軸及垂直軸為主。



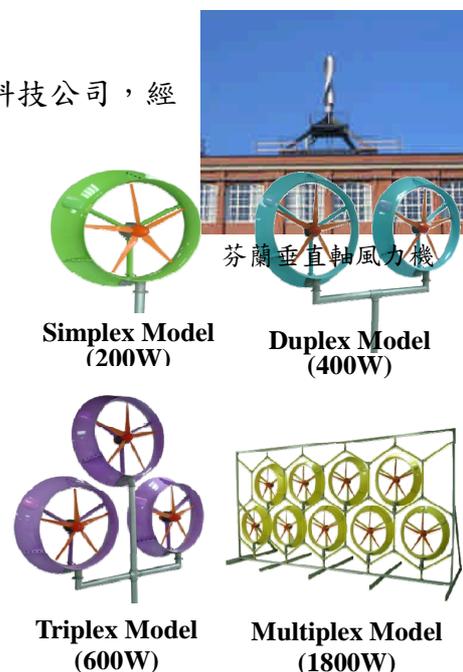
遊艇上安裝小型風力發電機已是一種時尚

小型風機的形式發展，一般均以功能性作唯一考量，也為了達到架高的目的，通常須由一支垂直鋼管塔架撐起。若要論及與建築結合，首先遭遇的即是形式融合的課題，其次為立基於建築物之上，須考慮結構承載的潛力。再者，發電量需求加大時，單支的規模勢必等量擴張，否則就要二支或多支併排，伴隨的形式及結構問題將如惡性循環般反饋回來。這些限制條件，也是長久以來，只有光電建築（BIPV）而風能建築一直缺席的原因。



由成功大學航太所的教授為班底組成的犍豹科技公司，經過四年的研發，終於完成克服傳統小型風機諸多缺點的外罩式渦輪風機。

這一款完全 Made in Taiwan 的小型風機，於今年開始量產，並逐漸在國際上引起高度的關注。其設計構想來自噴射引擎，運用飛機渦輪發動機原理，加上外罩，增加葉片（5~8 片），不僅加強風速，且轉速增快，外罩與外罩之間可連結而並聯發電，風能利用大增，單位迎風而積之



發電效率高。

整套系統具備下列幾項突破性的優勢：

1. 風機採模矩化部件組裝，易拆組，甚至可達到DIY的目標。
2. 模組化的風機提供橫向及縱向並聯的彈性，增大取風面積。
3. 葉片數增多，啟動風速可降至2m/s。(傳統風機為5 m/s)
4. 具有美觀造形的外罩，有效抑制翼尖渦流，效率較高，並因此降低噪音，防制外洩。
5. 由單管支撐具轉動軸的外罩採漏斗狀入口，不僅可大角度取風，且個機單獨轉動對準方向，享有最佳的捕風面積。
6. 結構支柱簡潔且葉片小，製作費用低。
7. 模矩化的組構符合建築構成的基調，形式涵容的可能性較高。

小型風力機的設置容量計算：

以一個家庭(電壓110伏特)的一般用電習慣舉例說明，同一時區使用1台手提電腦、開了3個60瓦燈泡及3個40瓦燈泡的燈、1台收音機、2台電扇及1台冰箱，其總耗電量為8385瓦(如下表)。

用電產品 Appliance Name	數量 Q't y	耗電量 Power Consume(W)	使用小時 Hour Usage (h)	瓦數 Wh
手提電腦	1	45	5	225
燈泡(60w)	3	60	4	720
燈泡(40w)	3	40	4	480
收音機	1	130	24	3120
電扇	2	60	6	720
冰箱	1	130	24	3120
合 計				8385

風場狀況	優良	好	尚可
單日風速歷程 Histogram	8小時@10公里/秒風速 8小時@8公里/秒風速 8小時@6公里/秒風速	8小時@9公里/秒風速 8小時@7公里/秒風速 8小時@5公里/秒風速	8小時@8公里/秒風速 8小時@6公里/秒風速 8小時@4公里/秒風速
平均效能系數 Ae	0.33	0.25	0.15

(1)在優良的風場下，一個200W的渦輪風力機(JPS-200)輸出值為：

$$200W * 24h * (Ae=0.33) = 1.58KWh, (8.385/1.58) = 5.306$$

所以我們需要6個JPS-200風力機。

(2)在好的風場下，一個200W的渦輪風力機輸出值為：

$$200W * 24h * (Ae=0.25) = 1.2KWh, (8.385/1.2) = 6.987$$

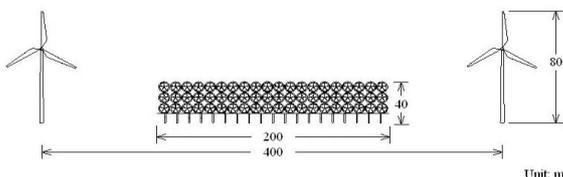
表示我們需要7個JPS-200風力機。

(3)在尚可的風場下，一個200W的渦輪風力機輸出值為：

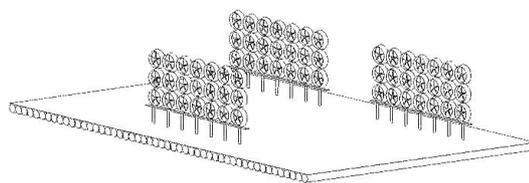
$$200W \times 24h \times (Ae=0.15) = 720w \quad , \quad (8.385/0.72) = 11.645$$

換言之，我們需要最少 12 個 JPS-200 風力機。

外單式渦輪風機的環境應用層面很廣，譬如地景設計、魚場、電信機房、T-Bar 上緣、建築節能、街道複合式照明…等，尤其利用其上下左右可連結成組的特性，得以築成一道風牆，因應基地條件及用電需求，風牆的發電量也可大到數個 MW。



利用二支大型風機之距離架設



設計為風力發電廠



公共藝術



地景設計



魚塢



T-bar



光風共桿

## 光風互補—邁向都市微型電廠

太陽休息時，空氣開始流動，氣流停滯時，通常陽光普照。白天由太陽能板作功，晚上輪班由風機發電，最常見的案例即光風共桿燈具。都市中的建築類型，以加油站及高樓大廈最適合光風互補的設計。前者有大面積的屋頂可以設置光電板，邊緣則可架設風機；後者樓高風大，無所遮擋，立面可設置光電板，屋突則架設整面的風力發電牆。台灣背山面海風力資源不虞匱乏，地處北迴歸線區帶，陽光品質佳及平均日照時數長。假設我們有德國的太陽能光電產業及丹麥的風力發電，相信 98% 的國外能源倚賴度，必可大幅降低，邁向自給自足永續發展的生態寶島。



光風共桿



光風建築(統一龜山加油站 G-Store)  
台灣首座太陽能風電加油站  
(設計：葉世宗)



光風建築(設計:葉世宗)  
—台北寧夏路集合住宅



太陽能風電橋設計(設計:葉世宗)