

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 機械科

最佳創意獎

090906

終極風車

學校名稱：臺南市私立慈幼高級工商職業學校

作者： 職二 方晟瑋 職二 張家銘 職二 林泓瑤	指導老師： 蔡正樑 陳穎輝
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：風力發電機(Windmachine)、
水平軸式風車(HorizontalAxisWindTurbine, HAWT)、
垂直軸式風車(VerticalAxisWindTurbine, VAWT)

摘要（300 字以內）：

風力發電的發展是我國即定的能源政策，但目前所建置的百餘座風力發電機，似乎成效不佳，也未達預期目標，最近國內媒體陸續報導風力發電的負面消息，更有專家提出應放慢腳步，適合國內環境使用的風力發電機尚待研究開發。我們研究改良較不受重視，一般認為效率不佳的阻力型垂直軸風車，我們希望倍增它的輸出動力，更重要的是它將更適合台灣的風場條件。

壹、研究動機：

尋求替代性能源，使用不會產生環境污染的再生能源、地球暖化等問題是本世紀最重要的課題，去年日本核災全世界反核人士都大聲疾呼，反對使用核能發電，凸顯替代性能源的重要性，在本學年度的動力機械課程裡，在第四章提到再生能源的使用，而再生能源種類很多，其中比較有成效的是太陽能與風力，這一章使我們對再生能源有一較完整的認識。

今年總統大選各黨都提出了各自的能源政策，使用再生能源是一致的看法，太陽能發電與風力發電是再生能源的兩大主軸，也是發展最快的再生能源，年初馬總統在總統府接見麻省理工學院史隆管理學院教授唐諾·拉薩德（Donald R. Lessard）時說，「台灣 99% 能源需求仰賴進口，需要有一個非常適於國內情況的能源政策」，又說：「在再生能源方面，目前為止較可行的是太陽能與風能，因此政府提出「陽光屋頂百萬座」及「千架海陸風力機」兩項計畫，並訂定「綠能產業旭升方案」，把綠能訂為六大新興產業之一」。

我國的風力發電也跟上歐美的腳步，建置了百餘座的中大型風力發電機，耗資已超過百億，依既定的行程規劃，將再建置更多的風力發電機，但最近國內新聞媒體陸續報導對風力發電負面的消息，其中包括外商因投資報酬率不佳不願繼續投資，風機故障率高，沒有故障的卻很少轉動，在夏季用電尖峰時發電量極少，冬季用電量較小時卻發電量較大，功能僅為景觀及地標使用等等。在歐洲有些國家稱風力的發電量已達全國用電量的 15%，但在台灣本島，據媒體報導百餘隻的風力發電機一年總發電量還不足台灣本島一天使用，未達預期效果，原因何在？我們的風力發電機也是購自歐洲，為何同樣的風力發電機在台灣就成效不佳呢？這是我們要去探討的問題，否則按照即定行程來發展風力發電，結果仍然一樣成效不佳，許多研究單位的研究報告指出，台灣的風場條件佳，



圖 1 測量風速

適合發展風力發電，但我們使用風速計經數十次實際測試卻發現與研究單位的報告有些落差，測試地點在本校的七樓頂（圖 1），測試的結論是在台南地區大部分的時間風速都在每秒 2~4 公尺之間，這個風速的風場條件是大部分風力發電機都不轉動，即使有轉動也不發電，風力最強的 1、2 月份在風速高時可以測到平均每秒 6~8 公尺，瞬間最高曾經測到約每秒 9 公尺，但風速小時仍只有每秒 2~4 公尺之間。學校也購置了兩台風力發電機一為三翼水平軸，額定發電量 300 W（圖 2）、另一為升力型垂直軸，額定發電量 400W（圖 3）。



圖 2 三翼水平軸風車



圖 3 升力型垂直軸風車

兩風力發電機發電量都極小，平常即使有轉動也不發電，即使是風力較大的冬季，白天的發電量還不足以使一個 5W 的庭園燈點亮一個晚上，因為所謂額定發電量必須在額定風速之下才會產生，而所謂額定風速指的經常是每秒 11~12 公尺的風速，但要達到這風速的機會真的是微乎其微，台灣國內的風機效率不佳的問題，當然風場條件是重要的原因之一，當風速為 4m/s，與風速為 5m/s，其動能輸出就差了一倍 ($E=1/2 \rho AV^3$)。原因之二，升力型的三翼水平軸風力發電機雖然是全世界普遍使用的機型但仍存在許多不合理的地方，這個問題我們將在後面提出來研究討論，翻閱國內有關風力發電的相關研究與書籍都是以升力型三翼水平軸為主要研究對象，對於阻力型垂直軸風車都以效率不高，較少使用簡單帶過，事實上全世界的中大型風力發電機都是三翼水平軸，最大直徑已超過 100 公尺以上，阻力型垂直軸風車僅見於小型風車少量使用，我們改良阻力型垂直軸風車，希望設計一個適合台灣風場條件，效率更佳的風力發電機是我們的目標。下圖是幾種常見的傳統阻力型風車（圖 4）



圖 4 傳統阻力型風車

貳、研究目的

我們研究改良較不受重視，一般認為效率不佳的阻力型垂直軸風車，希望倍增它的輸出動力，更重要的是它將更適合台灣的風場條件，最近油電又漲價了，漲幅都達 10% 以上，能源的問題再度受到重視，國內的能源政策，發展再生替代性能源一直都是靠政府補貼，包括太陽能發電與風力發電，也就是說這兩大再生能源發電成本仍遠高於傳統的核能發電與火力發電，但傳統能源過去與未來都是漲多跌少，所以又不得不做，希望我們的研究能降低風力發電的發電成本，讓風力發電能更接近實用的階段。

參、研究設備及器材

 A wooden workbench with various acrylic parts. On the left, a pile of white acrylic rods. In the center, a green circular base with six white rods protruding from it. At the bottom, three green circular discs.	 A close-up of a silver aluminum rod with two black bearings mounted on it.
<p>1.切割完成的壓克力零件</p>	<p>2.圓形鋁棒與軸承</p>
 A collection of aluminum cans of various sizes and colors (silver, white, green) on a wooden surface.	 A white acrylic wind deflector with a green top edge, mounted on a wooden surface.
<p>3.以鋁罐加工完成的風車葉片</p>	<p>4.以壓克力製作的導風罩</p>
 A white acrylic fixed pulley seat with a red base, mounted on a wooden surface.	 A large white industrial fan with a metal cage and a black base, standing on a wooden surface.
<p>5.測試用的定滑輪座</p>	<p>6.大型工業用電扇</p>
 A metal spring scale with a hook at one end and a hook at the other, lying on a white surface.	 A black anemometer with a fan and a digital display, lying on a white surface.
<p>7.彈簧秤</p>	<p>8.風速計</p>
 A rectangular piece of silver aluminum sheet, lying on a wooden surface.	 A long, thin, silver aluminum tube, lying on a wooden surface.
<p>9.2mm 厚鋁片</p>	<p>10.空心鋁管</p>







			
11.旗杆座		12.測量用的金屬墊圈	
			
13.車製完成的連接環		14.測量用的圓環	
			
15.壓克力製作的軸承座		16.測試用的葉片	
17.電動起子		18.小型鑽床	
19.切斷砂輪機		20.砂紙機	
21.瞬間膠		22.自攻螺絲	
23.ABS 板		24.碼表	

表 1 設備與材料

肆、研究過程或方法

早期的風車以荷蘭型風車作為代表（圖 5），葉片數較多可吸收低風速動能，轉速低、扭力大，通常為農業使用，1972 年美國率先將飛機的螺旋槳應用在風車上進行發電，發現中高風速時的性能大幅提昇，在那之後風力發電機幾乎都使用螺旋槳型葉片至今（圖 6）。

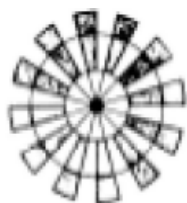


圖 5 荷蘭型風車



圖 6 螺旋槳型葉片

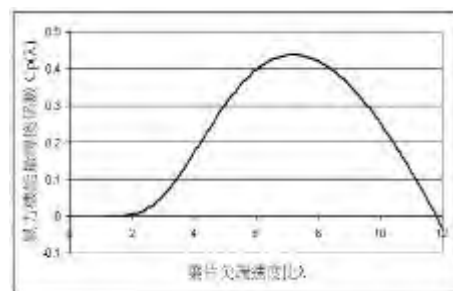


圖 7 葉片尖端速比與 C_p 值的關係

- 三翼水平軸風車存在的幾個問題分述如下，也是我們即將改進的地方：
- 一、為降低中、高速時葉片產生的空氣擾流，提高葉片尖端速比到 7~8 之間以獲得較高的風機能量轉換係數 C_p （圖 7），必須降低風車弦周比（葉片面積/迎風面積）大型的風機甚至不到 10%，這意味著在中低風速時效率差，將有許多風能從葉片間流失。
 - 二、風車葉片並非飛機螺旋槳的逆向思考，相同的風速吹在細長的風車葉片上，若將葉片分為數個自由體，每一段應該有相同的線速度，但事實上外圍直徑大的地方線速度高，內側直徑小處線速度低，顯示每一段都會產生類似機械干涉的現象互相牽制，效率因而降低。
 - 三、葉片為機構學上的懸臂裝置，受力極大，較大型的風機需使用高價的複合材料製作，成本高且容易受強風破壞，為遷就強度設計，末端做成細長，在外圍較大迎風面積處，葉片面積卻較小，這是矛盾的現象。
 - 四、一般三翼水平軸風機皆號稱有 30% 的風能轉換效率，但這是指達額定風速時，且理論的推斷與實際的測試有很大的落差，最常見的是空氣阻力所造成的摩擦損失及風力對葉片造成的軸向推力，造成葉片彎曲的動能損失。經修正後比較可靠的數據是 21%。

但阻力型垂直軸風車效率更低，一般稱其效率約 15% 左右，阻力型風車的葉片雖然是正向迎風，但只用到半邊的風能，另一半的逆向葉片不但沒有貢獻動能，反而造成很大的運轉阻力，這是阻力型風車效率低最主要的原因，以下是我們做的簡單實驗：

為方便測量，我們製作了一個較大的阻力型葉片，以大型工業用風扇，產生每秒 6 公尺的風速來測量葉片正向及逆向所產生的力量（圖 8）

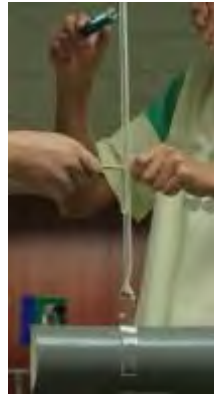


圖 8 測量阻力型葉片正向及逆向受力

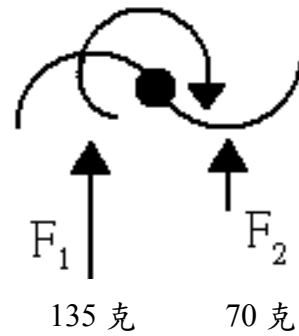


圖 9 葉片受力測量結果

測量結果是正向葉片受力 F_1 測得 135 克，逆向葉片受力 F_2 測得 70 克（圖 9），結論是在靜態時逆向葉片會抵銷掉正向葉片 50% 以上的作用力，但在動態旋轉時更差，正向葉片與風速同方向，相對速度將變小， F_1 變小，逆向葉片與風速反向，相對速度將變大， F_2 變大，意味著整個風車的動能輸出及效率因而變得更小。

但是當我們將作用於逆向葉片的風擋住時，發現整個風車動能有顯著的增加（圖 10），道理很簡單因為逆向葉片的阻力變小了，如果再進一步將逆向葉片的風力導向正向葉片（圖 11）理論上輸出的動能在靜態時將比傳統的阻力型風車增加四倍。

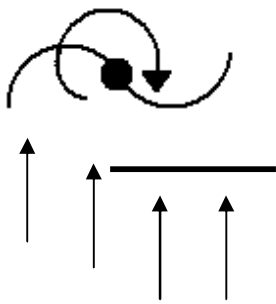


圖 10 擋住逆向葉片受風

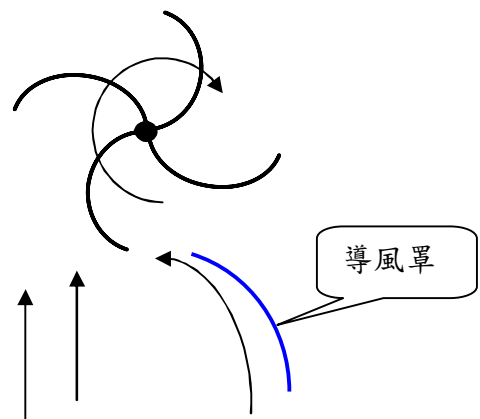


圖 11 引導逆向葉片的風力到正向葉片

我們根據這個原理設計出我們的終極風車（圖 12）

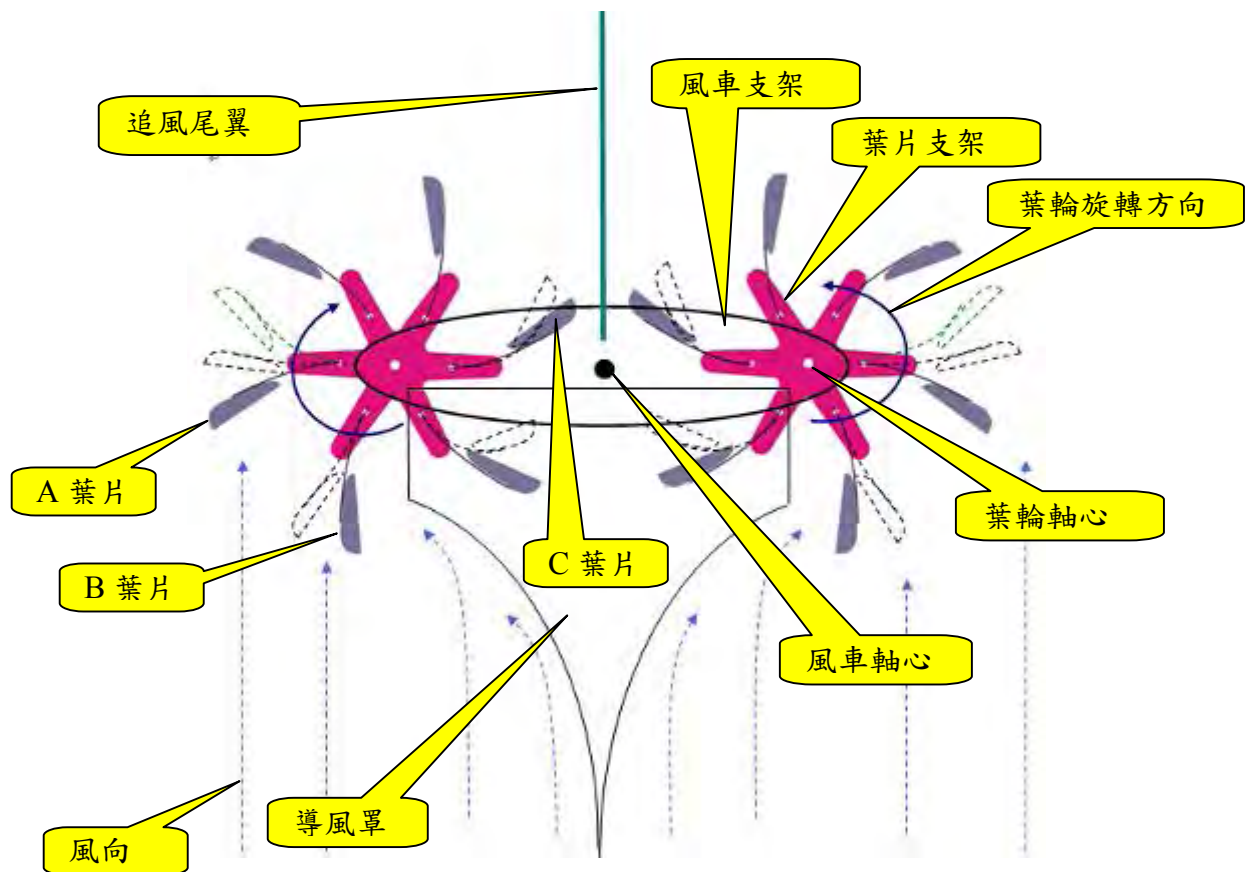


圖 12 終極風車示意圖

接下來說明本風車的作用原理：

- 一、本風車有兩葉輪反方向運轉，中間前方置一導風罩，擋住了將作用於逆向葉輪的風壓，減少了逆向阻力，並將阻力化為助力，引導風向施力於葉片 B，B 葉片的位置在傳統阻力型風車是沒有貢獻太大的動能，但因導風罩的引導，逆向邊的風能將作用於 B 葉片，也就是說整個迎風面的風能都能用上，並減少了運轉阻力，理論上靜態時整個葉輪的動力輸出將增加四倍，就風能的利用來說不僅高於傳統阻力型風車，至少在中低速時將高於水平軸風車。
- 二、葉片與葉片架之間成彈性連接，以正向葉片 A 作解釋：當受風為中低風速時將變形到黑色虛線位置，葉片與風向正接垂直，增加作用力。就逆向葉片 C 而言也將變形到黑色虛線位置，再次的降低了逆向的阻力，當葉片受到具破壞性的強風時，受正向力的 A 葉片將變形到綠色虛線位置，釋放部分風能，防止葉片受破壞，但仍能繼續運轉。

接下來開始製作我們設計出來的風車，我們取鋁罐用的薄鋁片來製作葉片經裁減，彎曲，膠合，噴漆完成了 12 片葉片（圖 13，圖 14）。部分壓克力零件以雷射切割機加工（圖 15）。

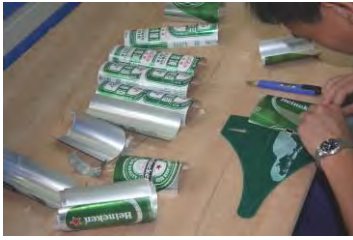


圖 13 製作中的葉片



圖 14 製作完成的葉片

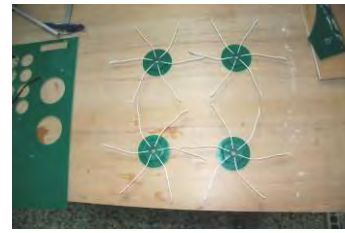


圖 15 葉片支架

葉片與葉片支架間的彈性連接原來以彈簧線來製作後來發現使用 ABS 板切成條狀，彈性更好，且不易變形，接下來是我們開始組裝葉輪的情形（圖 16，圖 17）。



圖 16 組裝中的葉輪



圖 17 組裝完成的葉輪

完成的葉輪作初步的實驗，以紙板擋住逆向半邊的風力，並引導到正向邊，施力於正向邊葉片，確實覺得輸出的動力倍增（圖 18）。

要將兩葉輪組裝在一起還需製作兩片鋁架及固定軸承的軸承座，鋁架經切斷砂輪機切銷加工，鑽孔後完成，壓克力的軸承座還是要依靠雷射切割機來加工，完成後就可以開始組裝整個風車了，接下來是我們開始組裝風車的步驟（圖 19）。



圖 18 葉輪與導風功能的實驗



圖 19 初步組裝完成的風車



風車初步完成，但還缺導風罩與追風尾翼，導風罩的製作與本風車的效率有直

接的關係，我們先用厚紙板來實驗，測試出導風罩最佳的形狀、大小與位置（圖 20），追風尾翼也是先經厚紙板進行實驗（圖 21）實驗完成後就使用壓克力板及 ABS 板來製作。



圖 20 導風罩的實驗



圖 21 追風尾翼的實驗

製作完成的導風罩與追風尾翼（圖 22，圖 23）



圖 22 製作完成的導風罩



圖 23 製作完成的追風尾翼

主要配件都完成後，接下來就可以完成整個風車的製作（圖 24，圖 25）



圖 24 製作完成的風車-俯視圖



圖 25 製作完成的風車-側視圖

動力由兩葉輪產生，要結合兩動力，技術上並不困難，可以透過齒輪來結合，或分別帶動發電機，經發電機的串聯將輸出電流合而為一，因為兩葉輪是逆向轉動，正好可以幫助整個機座的平衡，減少震動。

伍、研究結果

測試風車的輸出功率，一般常用的方法是經由發電機測其電壓、電流計算出電功率，但安裝發電機又是一項挑戰性的工作，為簡化整個測試工作，我們決定使用力學裏面基本的定律 $功率 = 力 \times 位移 / 單位時間$ 我們由風車來拖動負載，在不同的風速之下，通過一固定的距離，計算其通過的時間即可計算出輸出功率，繪出性能曲線圖，我們在相同的風速之下讓風車拖動不同的負載以求出各種風速之下的最佳效率，我們以金屬墊圈充當砝碼，分別測試負重 1、2、3、4 塊墊圈，重量分別是 0.05、0.1、0.15、0.20Kg 之下的輸出功率，因為電風扇產生的風速並非穩流，常忽大忽小，所以每一種狀況都要做很多次，才可產生可靠的數據，整個測試完後把風車導風罩拆下，回復到傳統阻力型風車，再從頭到尾做一次來做比對，下圖是我們測試的情形（圖 26，圖 27）。



圖 26 測風速



圖 27 風車拉動負載計算輸出功率

下面的表格是測試後的紀錄

風速 (m/s)	載重 kg	距離 m	G	時間 sec	輸出功率 W
2	0.05	0.5	9.8	10.5	0.023
	0.1	0.5	9.8	0	#DIV/0!
	0.15	0.5	9.8	0	#DIV/0!
	0.2	0.5	9.8	0	#DIV/0!
3	0.05	0.5	9.8	6.6	0.037
	0.1	0.5	9.8	14.5	0.034
	0.15	0.5	9.8	0	#DIV/0!
	0.2	0.5	9.8	0	#DIV/0!
4	0.05	0.5	9.8	4.1	0.060
	0.1	0.5	9.8	12.5	0.039
	0.15	0.5	9.8	0	#DIV/0!
	0.2	0.5	9.8	0	#DIV/0!
5	0.05	0.5	9.8	3.9	0.063
	0.1	0.5	9.8	5.6	0.088
	0.15	0.5	9.8	12.5	0.059
	0.2	0.5	9.8	0	#DIV/0!

表 2 不使用導風罩的測量記錄

風速 (m/s)	載重 kg	距離 m	G	時間 sec	輸出功率 W
2	0.05	0.5	9.8	7	0.035
	0.1	0.5	9.8	12	0.041
	0.15	0.5	9.8	0	#DIV/0!
	0.2	0.5	9.8	0	#DIV/0!
3	0.05	0.5	9.8	3.4	0.072
	0.1	0.5	9.8	5.4	0.091
	0.15	0.5	9.8	8.2	0.090
	0.2	0.5	9.8	0	#DIV/0!
4	0.05	0.5	9.8	2.5	0.098
	0.1	0.5	9.8	3	0.163
	0.15	0.5	9.8	4.9	0.150
	0.2	0.5	9.8	6.8	0.144
5	0.05	0.5	9.8	2	0.123
	0.1	0.5	9.8	2.3	0.213
	0.15	0.5	9.8	3.2	0.230
	0.2	0.5	9.8	4.3	0.228

表 3 使用導風罩的測量記錄

上面兩圖表輸出功率的紅字是各個風速下的最高功率，是我們要用繪製性能曲線的數據，時間 0 的部分是風車無法驅動負載，繪製出來的性能曲線如下：

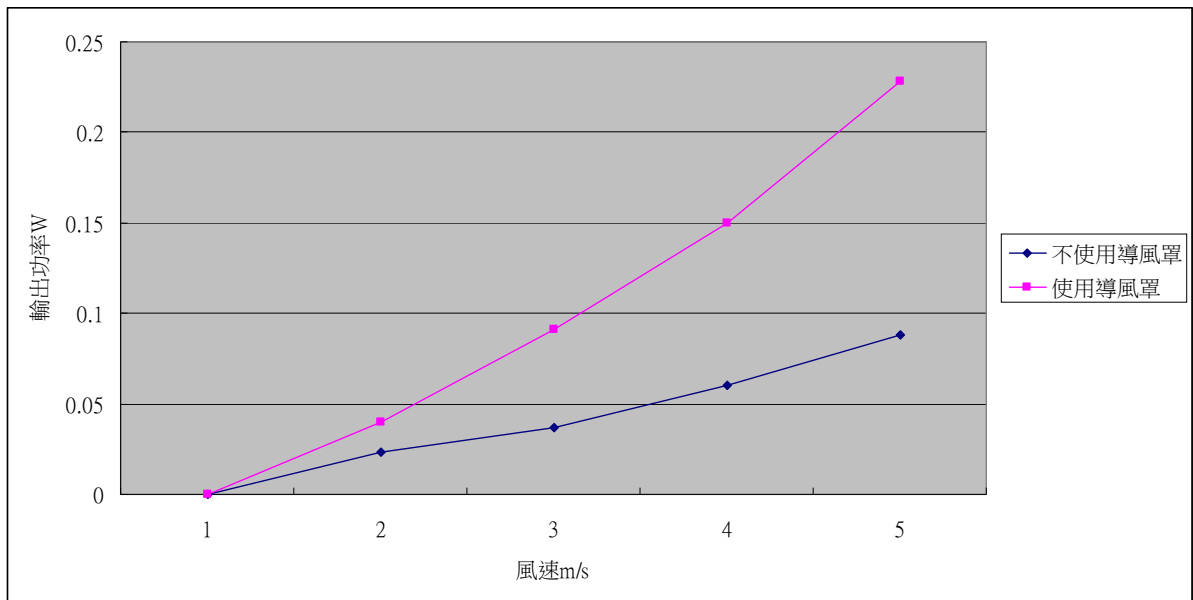


表 4 風車性能曲線比對

陸、討論

由測試紀錄及性能曲線圖可以看得出來，使用導風罩的風車輸出功率為不使用導風罩的 2.5 倍左右，但值得探討的是性能曲線並未如風能公式 ($E=1/2 \rho AV^3$) 呈現，輸出的功率大約與風速的平方成正比，可能是我們製作精確度，風扇產生的風非穩流、測量的準確性等所造成，而且更高的風速的性能我們無法測量，因為沒有產生更高風速的設備，這個問題暫時擱下，因為這不是本作品主要要探討的問題。

本作品效率高於傳統阻力型風車這肯定無庸置疑，但是否高於三翼水平軸風車，這在比對上仍有困難的地方。第一，三翼水平軸風車須在高風速才能顯現它的性能，我們無法產生這樣的風速。第二，廠商公布的性能數據與實際情形有出入，不足採信，在比對上不公平，舉例說明：(圖 28) 是國內升力型垂直軸風力發電機製造商的市售量產商品，本校也購置此型風機 其性能曲線如下 (圖 29)

DS 400 (400 W) 產品規範	
風車規格	
葉片直徑	1.06 公尺
高度 (不含葉片)	約 1.20 公尺
葉片數	3 枚
主軸材質	鋼材 / SS400
起動風速	3 公尺 / 秒以下
額定風速	12.5 公尺 / 秒

圖 28 市售的風力發電機

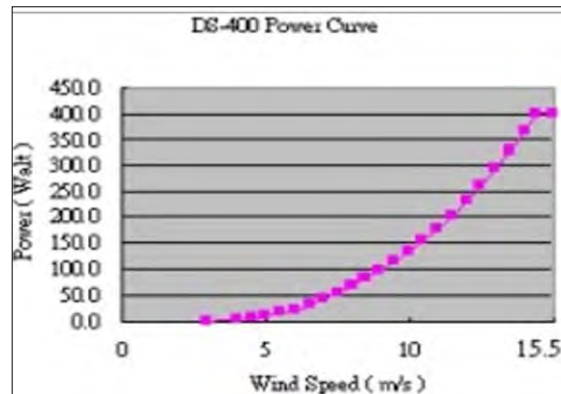


圖 29 400W 風機的性能曲線圖

由圖 29 顯示當風速為 6m/s 時輸出功率約 20W 左右，但事實上在冬季，風速最大的時候 (約平均 6m/s 左右) 它的一天發電量仍不足以使 5W LED 庭園燈點亮三小時，而風速在 3~4m/s 之間風車會轉動但不發電。

另一例由國內的知名電機大廠，在去年宣布開發成功的大型水平軸風力發電機，其機型與國內目前建置的大型風力發電機雷同 (圖 30)，相關數據如圖

31



圖 30 國內廠商研發的大型風機

no	items	TFC2000(IEC Class I)
Main Data		
1	Nominal power	2000KW
2	Cut-in wind speed	3.5m/s
3	Rated wind speed	11.5m/s
4	Cut-out wind speed	25.0m/s
5	Restart wind speed after over wind	Below 25m/s for 5 min.
6	Survival wind speed(3 sec ave., .50 years)	59.5m/s
7	Hub height	70m/80m
8	Rotor axis tilt angle	4.5°
9	Rotor diameter	86m
10	Swept area	5806m ²
11	Direction of rotation(looking downwind)	clockwise
12	Rotor orientation	upwind
13	Rotor speed(at rated power)	16.7rpm

Power Curve		
Standard air density(1.225kg/m ³)		
(1) T86-2000 (IEC Class IIA)		
wind speed [m/s]	el. Power [kW]	cp [-]
3.5	34.7687	0.462781
4	73.7802	0.483116
5	180.81	0.490239
6	339.104	0.49024
7	563.635	0.490225
8	863.221	0.490258
9	1248.49	0.490229
10	1710.35	0.485313
11	2004.78	0.403062
12	2004.78	0.328355
13	2004.78	0.25818
14	2004.78	0.206726

圖 31 2000KW 風機的相關數據

根據數據所顯示在風速 3.5m/s 開始轉動，而風速在 3.5~10 之間都顯示 Cp

值（能量轉換系數）達 49%左右！這已接近理論最大值，廠商所公布的性能數據值得懷疑，因為還要減去機械效率及發電機效率的損失，如果拿來比對有失公平，且本作品並非量產的商品，在製作的精確度有待加強，各零件也都有再改良的空間，在此僅陳述我們的理論，希望提供另一研究的方向，為台灣的風場條件量身打造更合適，更有效率的風車，讓風力發電真正能取代傳統能源，減少核能發電，火力發電所帶來的負面影響。

柒、結論

看到作品能順利運轉當然很高興，但卻礙於時間緊迫無法再對部分零件做改良，否則我們認為應該還會有更佳的表现，我們翻閱相關書籍，與網路資料都沒有看過類似的構造，我們確信這個構想是可行的，而且是效率最高的，至少在中低風速時是這樣，但美中不足的是我們的作品必須要追風，增加了機構的複雜性，這本來應屬垂直軸風車的優點。

世界各國都在尋求替代性能源的可行性，為的不只是傳統能源短缺的問題，更重要的是它所產生的環境汙染，溫室氣體排放，全球暖化，海平面上升，等問題，全球風力發電機的裝置也在快速成長，但我們認為不同的風場條件之下，應該有不同的風力發電機機型，才能發揮最大效益，希望我們這個作品能對台灣的風力發電有一點小小的貢獻，當然目前的這個作品僅能算是初步的雛形，我們還會繼續研究改進。

捌、參考資料及其他

能源研究發展。中華民國能源簡介（檢索日期2012/01/12）。

取自 <http://www.npf.org.tw/PUBLICATION/SD/092/SD-R-092-009.htm>

科技圖書股份有限公司。潘家寅(民68)。能源（由風車至核子動力）。B

http://www.moeaboe.gov.tw/10/02/energy%20situation_93/htm/chinese/c13.htm

國家政策研究基金會永續發展組高級助理研究員 郭博堯我國天然環境限制風力發電發展 中華民國九十二年六月六日

風力發電。(檢索日期2011.10.2)

http://content.edu.tw/senior/life_tech/tc_t2/enerage/wind.htm。

台灣風力發電設備產業聯誼會。(檢索日期2011.10.2)。

http://www.twtia.org.tw/Industry_List_m.aspx?id=1045&t=1

經濟部能源委員會風力示範推廣計劃網站，(檢索日期 2011.12.02)

<http://wind.erl.itri.org.tw/wind.html>，

黃旺根（2010） 動力機械概論 II 台北市全華圖書股份有限公司

【評語】 090906

本作品以導流板的方式讓阻力型的風力機避開氣流對產生阻礙的風杯而提升風機的效率。作者們的創意構想值得鼓勵，不過科學性與實用性均須加強考慮。首先，作品的比較對象選擇水平軸式升力型風機是不正確的，兩者的原理不一樣，運作範圍不一樣，不容易公平的比較。在進步性的比較上，作者挑選對照組為未加裝導流板的阻力型風機，這並非公平的比較，導流板可提高效率是習知之知識。另外，作者並未搜尋已經存在的相關構想以避開抄襲或重複的疑慮，亦未真正量測出或計算出最重要的比較標準：效率，以顯示作品的價值。在實用性方面，作者並未考慮加上導流板所可能增加的成本以及如果將所示範的機具放大到具實用性的尺寸所必須思考的問題。此外，作品未能真正連結發電機亦為缺憾之一（不完整的作品）。總之，本作品的構想值得肯定，但其實用性有待商榷。