

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030808

風言風語

學校名稱：桃園縣私立六和高級中學(附設國中)

作者： 國二 王志宇 國二 陳凱文 國二 吳育葦	指導老師： 施昆典
---	------------------

關鍵詞：垂直風扇、轉速、電壓

摘要

我們希望找出風力發電機最好的器材，以求未來可以產生發電的效能。而本次實驗目標是先找出轉速最快的垂直軸葉片形式，所以多方嘗試了各種長、寬、高及不同材質的葉片，以求得轉速最快的風力發電機。

壹、研究動機

平時到海邊時常看見一座座的風車轉啊轉的，非常有趣，所以特地去查了一下風車的資料，突然看見一則文章，內容是如此：風力發動機最早由風車發展而來。早在 1300 年前，中國就已經出現了風車，不過這是一種古老的垂直軸風車，它利用風力來提水灌溉，是所有風力機的先驅。但是現在垂直軸的風車卻很少見，反而是水平軸的風車較常見，另外，因為垂直軸風力發電受各方向的風吹時皆能轉動，非常適合使用在都市之中，也因為我們學校的風很大，也非常適合裝置風力發電，因此想在本次實驗中找出各類垂直軸風力發電機的轉速極限，為未來能更有效的發電鋪路。

貳、研究目的

- 一、比較各種不同種類的垂直軸風力發電機的發電量，找出轉速最快的垂直軸風力發電機。
- 二、探討影響活動式風力發電機的發電量的因素有哪些。
- 三、探討影響固定式圓弧葉片風力發電機的發電量的因素有哪些。
- 四、探討影響發電線圈的發電量的因素有哪些。
- 五、尋找發電效率最好，也較容易啟動的垂直軸發電機。

參、研究設備及器材

表 1 本實驗使用的研究設備與器材

設備/器材	規格	數量	備註
塑膠螺絲		32	須與螺帽吻合
塑膠螺帽		32	須與螺絲吻合
包裝用海綿	4 公分厚 50 公分長 50 公分寬	2	重要的用途或注意事項
西卡紙		2	
強力磁鐵		9	
迴紋針		36	
鐵芯	0.8 公分	2	
竹籤		30	
冰棒棍		36	
CD		14	
不鏽鋼棒	半徑 6mm 400mm	2	定期上油
培林	內徑 6mm 外徑 15mm	14	定期上油
漆包線	線圈直徑 0.11mm	2	漆要磨掉露出銅線
剪刀		1	
美工刀		1	
切割墊		1	
電鑽		1	
三用電表		1	
筆記本		2	記錄數據
工業用電扇		1	
轉速計		1	
斜口鉗		1	
螺絲起子		1	
鋼尺	30 公分長	1	
自製保麗龍切割器		1	
熱熔槍、膠		1	
雙面膠		1	
膠帶		1	
銲槍		1	
銲錫		1	
圓規刀		1	
麥克筆		1	
捲尺		1	

肆、研究過程或方法

一、風力發電機轉速計研究及製作

- (一) 取市售裝置在普通腳踏車上的測速器，將測速器的輪周長設定為 278mm。
- (二) 將強力磁鐵黏貼在下方的 CD 下側，而測速發射器裝置固定在下方的轉軸上，轉速發射器盡可能接近強力磁鐵。
- (三) 讓發射器的尖端對準測速器（因腳踏車測速裝置為無線裝置，此處位置才能接收到訊號）。



圖(1)

二、發電線圈及發電用磁鐵的研究及製作

- (一) 將細線圈的兩端分別與兩條銅線焊在一起，在將細線圈以熱熔膠覆蓋以防止斷掉。
- (二) 取另一塊 CD，將 CD 平分成 8 等份，將八顆磁鐵平均黏於距離 CD 圓心半徑為 3.5 公分的位置上，使每顆磁鐵的間距皆約為一顆磁鐵(如圖 2)（使磁鐵掃過線圈時磁力線變化大）。再將兩片小片珍珠板黏貼於 CD 的另一面三處對襯的位置上(如圖 3)，這是為了使發電磁鐵 CD 盤可以水平放置於風扇上。



圖(2)



圖(3)

三、自製保麗龍切割器製作

- (一) 首先，先取一衣架，在下方橫桿鋸下適當長度，並在兩側固定上螺絲，再將保麗龍切割線纏繞於螺絲上。
- (二) 將電話的變壓器剪斷，使其露出電線，將電線固定於兩側螺絲上並以膠帶纏好(如圖 4)。

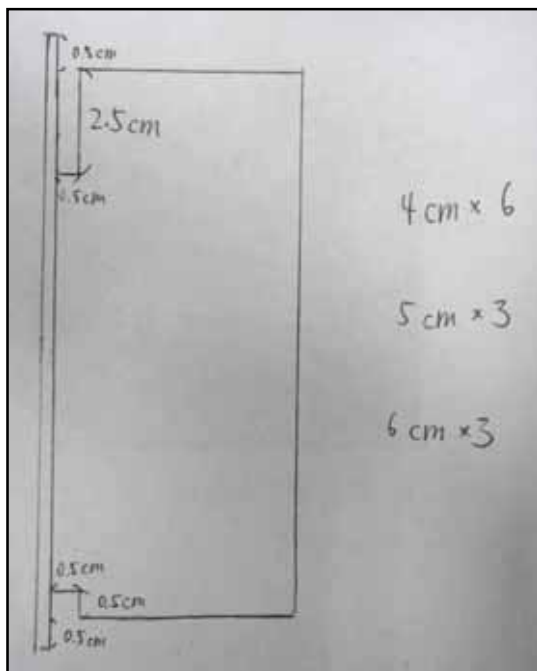


圖(4)

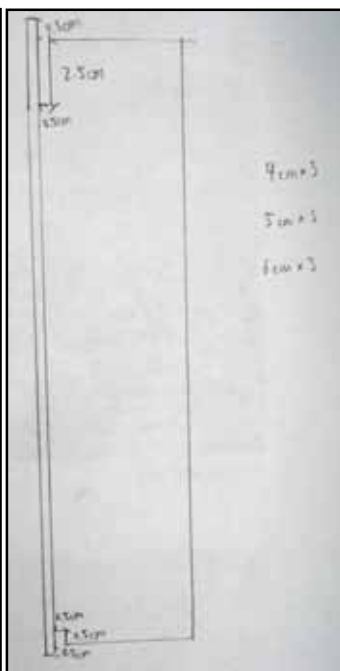
四、三片活動式葉片風力發電機製作

(一) 葉片製作

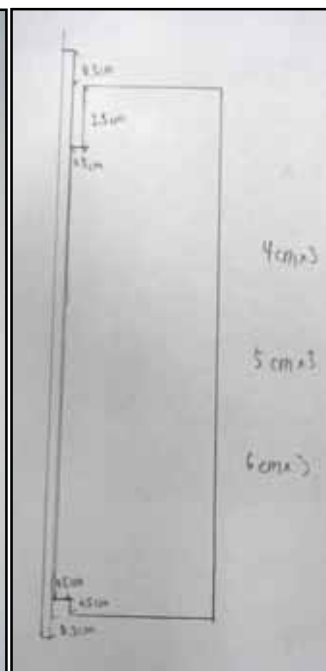
1. 首先，先取 4 公分寬 11、16、21 公分高的珍珠板 3 片，割下後在同側下端切出 0.5 公分寬 0.5 公分高的矩形和在上端切出 2.5 公分高 0.5 公分寬的矩形各一個，並剪一段同高但兩端各多出 0.5 公分的竹籤，並黏貼至裁切矩形那一端，(如圖 5、6、7) 將在其他扇葉都重覆上述步驟。之後再多裁切一組 3 片 4 公分寬 10 公分高的葉片，用以測試 6 片扇葉風扇的轉動效果。



圖(5)



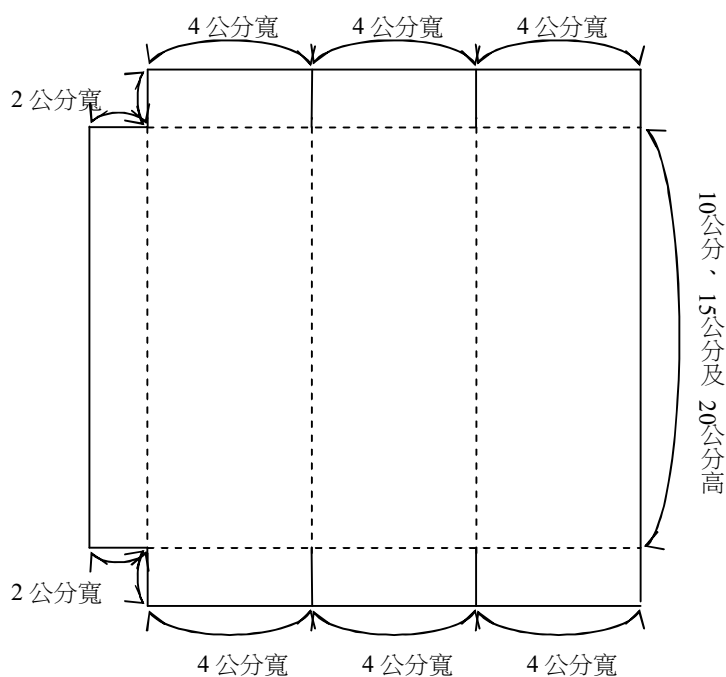
圖(6)



圖(7)

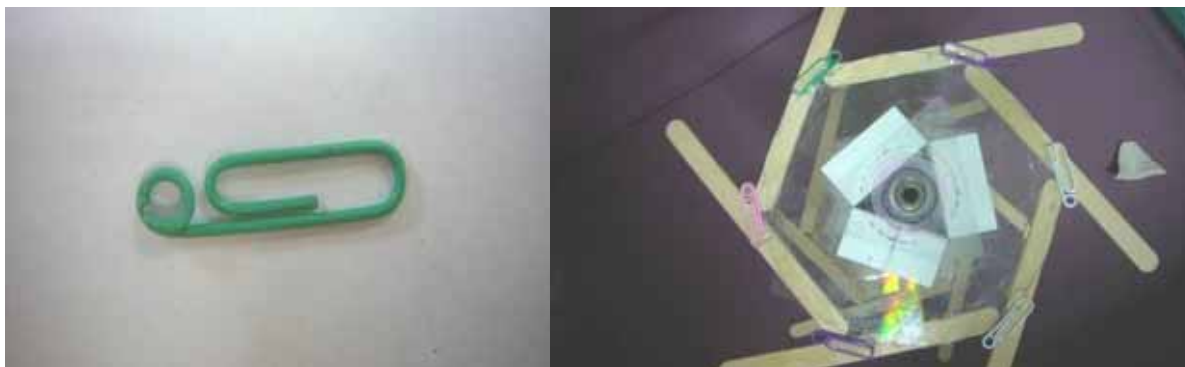
(二) 不同高度的風扇支柱製作 (10、15、20 公分)

1. 裁切 10、15、20 公分高，寬同為 14 公分的西卡紙，並在左側上下兩端切出 2 公分乘 2 公分的正方形(如圖 8)。



圖(8)

- 2.將以上西卡紙，做成高 10、15、20 公分，三邊為 4 公分寬的正三角柱，而多餘的 2 公分寬當做黏貼處。
- 3.上下兩端多留下的 2 公分向外折後，分別在上下各黏貼上一片 CD，做為風扇支柱。
- 4.在 CD 外圍黏上冰棒棍(如圖 10)
- 5.將迴紋針彎成圖(9)，黏在兩冰棒棍間(如圖 10)
- 6.在二片 CD 的圓孔上以熱熔膠黏上小型的培林做為風扇轉軸。



圖(9)

圖(10)

五、二片圓弧式葉片風力發電機製作

(一) 葉片製作

- 1.將內側半徑 3.3 公分厚 1.5 公分的圓環形塑膠模板平分成二等分，成為二片 180 度的弧形塑膠模板。
- 2.將剪下的弧形模板貼在 20 公分高泡綿上，再以自製保麗龍切割器順著模板裁切成高 20 公分的圓弧葉片共二片。
- 3.在兩片圓弧葉片右側 10 度及 50 度處，兩處位置的上方及下方處，分別以鑽頭鑽四個洞，並以熱熔膠將塑膠螺絲固定在四個洞內。
- 4.再將製作好的弧形塑膠模板貼在 10 公分高、15 公分高泡綿上並重複步驟 1~3

(二) 風力發電機轉軸製作

1. 在 CD 上畫一條水平直徑，自圓心以 4.2 公分為半徑，分別在 10 度角及 50 度角的位置做記號，再以保麗龍切割器往左水平三分公切割出 3 公分長的溝槽，用以固定圓弧葉片，翻轉 180 度並重複上述步驟(如圖 11)。
- 2.在二片 CD 的圓孔上以熱熔膠黏上小型的培林做為風扇轉軸。



圖(11)

六、實驗流程及記錄

(一) 將相機裝在腳架上且置於三用電表及轉速計的正上方(如圖 12)。



圖(12)

(二) 組裝 10、15、20 公分高的三片活動式葉片風力發電機：

1. 組裝測速發射器：

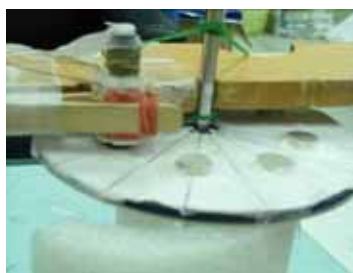
- (1)在風力發電機轉軸下方 CD 的下側以膠帶黏貼好一顆強力磁鐵（測速發射器感應用）。
- (2)固定好下方的測速發射器後，盡可能調整測速發射器使其接近強力磁鐵以取得正確數據。(如圖 13)



圖(13)

2.組裝發電裝置：

- (1)在風力發電機轉軸上方 CD 以膠帶固定好發電磁鐵 CD 盤。
- (2)將線圈以冰棒棍支撐用膠帶固定於架子上並插入鐵芯(如圖 14)
- (3)將三用電錶設定測量交流電電壓(mV)，將兩根探針以粗銅線纏住。
- (4)再將發電線圈固定於架上，兩者間保持大約一片 CD 高的間隙。



圖(14)

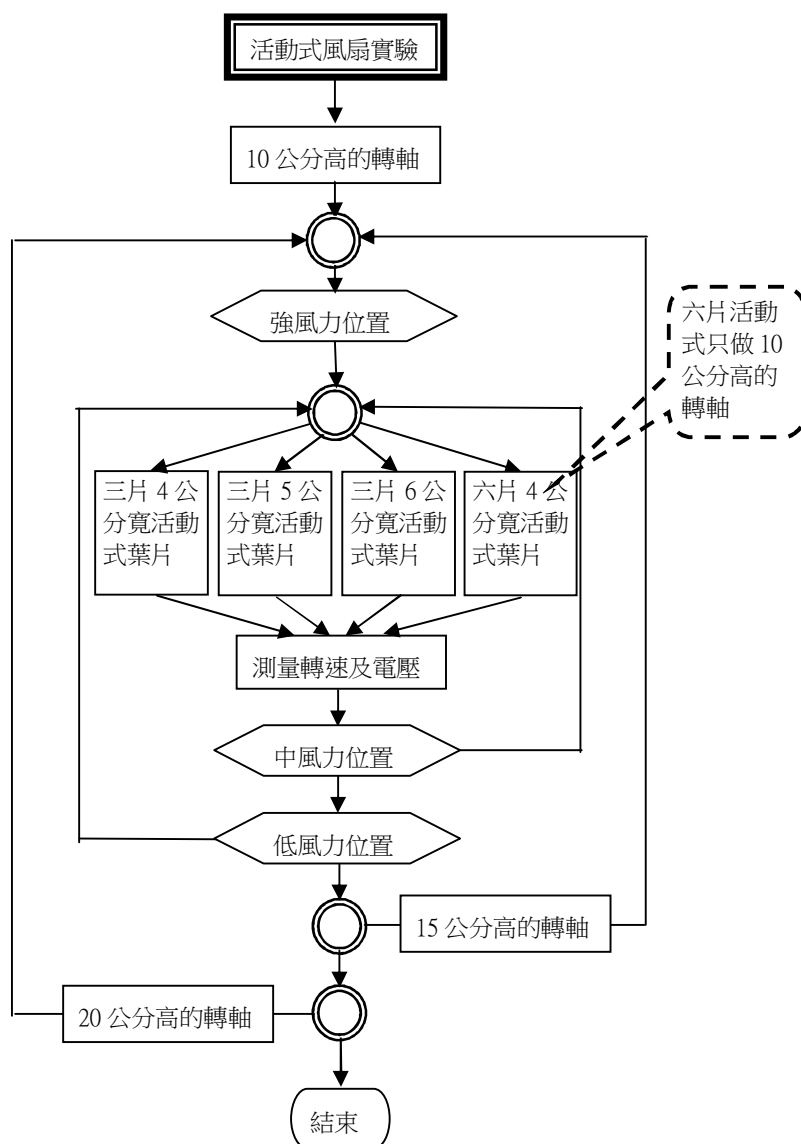
- 3.將三片 10 公分高，4 公分寬的葉片組裝到活動式葉片風力發電機轉軸上。
- 4.將電扇置於距發電風扇 60 公分遠的距離，再將電風扇調到強風力後開始測量。

- 5.以相機錄下當時的轉速及電壓，錄影時間長度為 1 分 15 秒。
- 6.再將電風扇的風力大小調成中風力、弱風力，再測量該風力下的轉速及電壓。
- 7.再換上三片不同高度及寬度的葉片，重複步驟 4~6。如表 2，依照①、②……⑨的順序進行實驗。

(三)將六片 10 公分高，4 公分寬的葉片組裝到活動式葉片風力發電機轉軸上，重複步驟(二)4~7 的步驟。

表 2 三片活動式葉片風力發電機不同扇葉的高度及寬度設計

扇葉寬度 扇葉高度	扇葉 4 公分寬	扇葉 5 公分寬	扇葉 6 公分寬
扇葉 10 公分高	①10 公分高 4 公分寬	②10 公分高 5 公分寬	③10 公分高 6 公分寬
扇葉 15 公分高	④15 公分高 4 公分寬	⑤15 公分高 5 公分寬	⑥15 公分高 6 公分寬
扇葉 20 公分高	⑦20 公分高 4 公分寬	⑧20 公分高 5 公分寬	⑨20 公分高 6 公分寬



(四)組裝 10、15、20 公分高的二片圓弧式葉片風力發電機

1.組裝測速器：

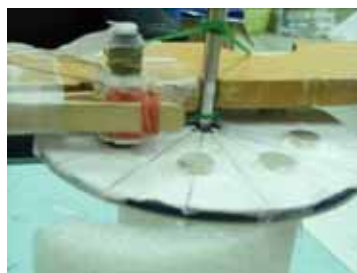
- (1)在圓弧式風力發電機轉軸下方 CD 的下側以膠帶黏貼好一顆強力磁鐵（測速器感應用）。
- (2)固定好下方的測速發射器後，盡可能調整測速發射器使其接近強力磁鐵以取得正確數據。(如圖 15)



圖(15)

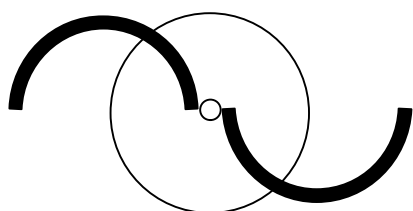
2.組裝發電裝置：

- (1)在風力發電機轉軸上方 CD 以膠帶固定好發電磁鐵 CD 盤。
- (2)將線圈以冰棒棍支撐用膠帶固定於架子上並插入鐵芯(如圖 16)
- (3)將三用電錶設定測量交流電電壓(mV)，將兩根探針以粗銅線纏住。
- (4)再將發電線圈固定於架上，兩者間保持大約一片 CD 高的間隙。



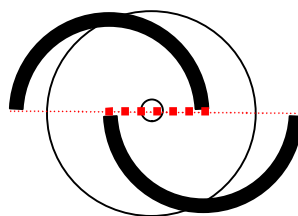
圖(16)

- 3.將兩片扇葉裝在風力發電機上並將扇葉調成無重疊。
- 4.將電扇置於距發電風扇 60 公分遠的距離，再將電風扇調到強風力後開始測量。
- 5.以相機錄下當時的轉速及電壓，錄影時間長度為 1 分 15 秒。
- 6.再將電風扇的風力大小調成中風力、弱風力，再測量該風力下的轉速及電壓。
- 7.重複步驟 3~6，改變兩扇葉的間距。如表 3，依照①、②……⑨的順序進行實驗。



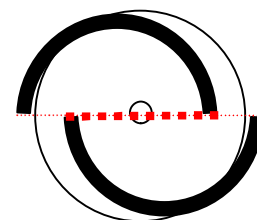
兩圓弧無重疊

圖(17)



兩圓弧重疊二分之一

圖(18)

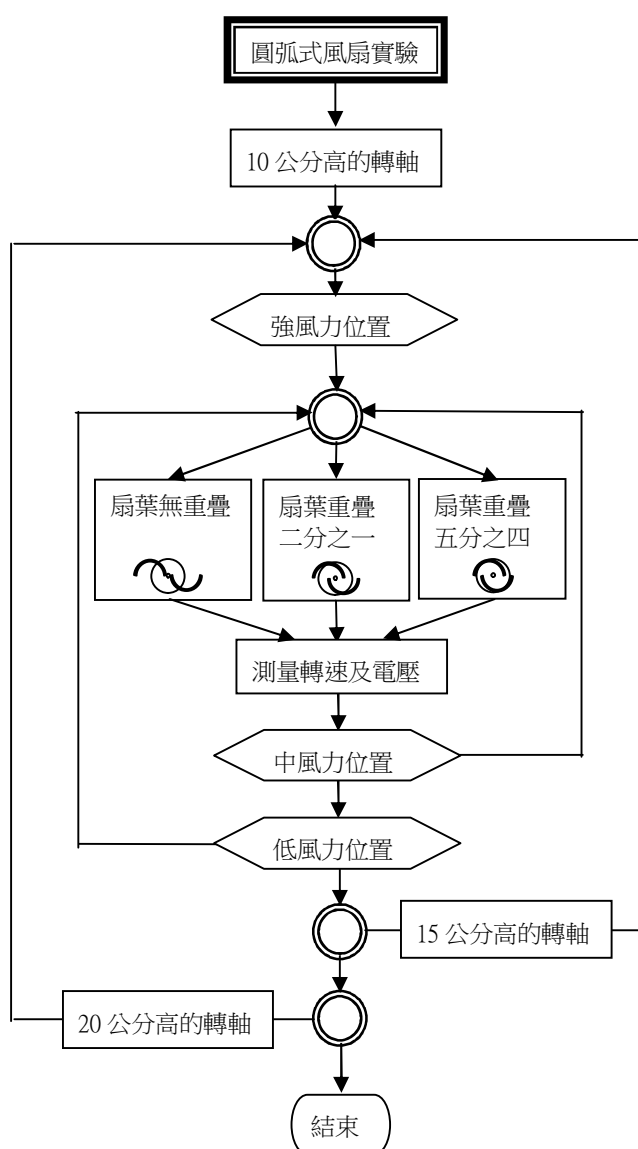


兩圓弧重疊五分之四

圖(19)

表 3 兩片圓弧式葉片風力發電機不同扇葉的高度和扇葉重疊面積設計

扇葉重疊面積 扇葉高度	扇葉無重疊	扇葉重疊二分之一	扇葉重疊五分之四
扇葉 10 公分高	①扇葉 10 公分高無重疊	②扇葉 10 公分高重疊二分之一	③扇葉 10 公分高重疊五分之四
扇葉 15 公分高	④扇葉 15 公分高無重疊	⑤扇葉 15 公分高重疊二分之一	⑥扇葉 15 公分高重疊五分之四
扇葉 20 公分高	⑦扇葉 20 公分高無重疊	⑧扇葉 20 公分高重疊二分之一	⑨扇葉 20 公分高重疊五分之四



(五)測量各組風力發電機的啟動風力

1. 將電風扇開至弱風力並擺置於定點
2. 組裝測速發射器：

(1)在活動式風力發電機轉軸下方 CD 的下側以膠帶黏貼好一顆強力磁鐵（測速器

發射感應用)。

- (2)固定好下方的測速發射器後，盡可能調整測速發射器使其接近強力磁鐵以取得正確數據。
- 3.先組裝活動式 10 公分高 4 公分寬的風力發電機，並將整座裝置放置於可活動的櫃子上，再移動櫃子到適當距離，當轉速為 1 圈/秒時便以捲尺測量其與電風扇的距離(如圖 20)。
- 4.重複步驟 2~3，改變風力發電機的種類(如表 4)依照①、②……⑱的順序進行實驗。



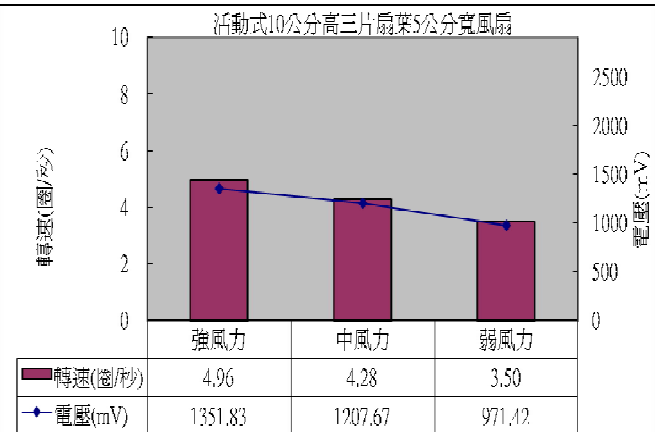
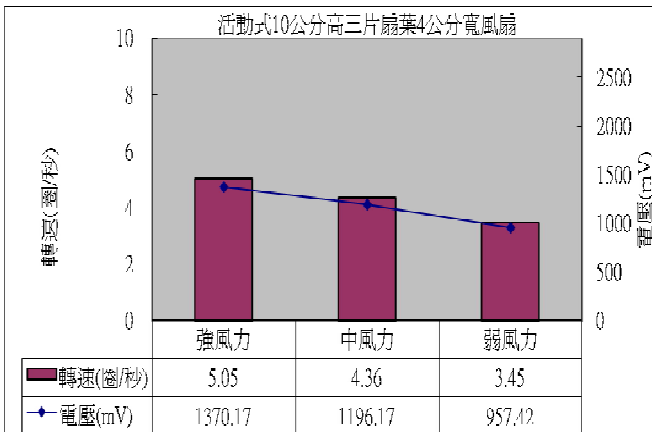
圖(20)

表 4 活動式與圓弧式風力發電機不同扇葉的高度、扇葉的寬度和扇葉重疊面積設計

扇葉寬度 活動式扇葉高度	活動式扇葉 4 公分寬	活動式扇葉 5 公分寬	活動式扇葉 6 公分寬
扇葉 10 公分高	①10 公分高 4 公分寬	②10 公分高 5 公分寬	③10 公分高 6 公分寬
扇葉 10 公分高(六片)	④10 公分高 4 公分寬(六片)		
扇葉 15 公分高	⑤15 公分高 4 公分寬	⑥15 公分高 5 公分寬	⑦15 公分高 6 公分寬
扇葉 20 公分高	⑧20 公分高 4 公分寬	⑨20 公分高 5 公分寬	⑩20 公分高 6 公分寬
重疊面積 圓弧式扇葉高度	圓弧式扇葉無重疊	圓弧式扇葉重疊二分之一	圓弧式扇葉重疊五分之四
扇葉 10 公分高	⑪扇葉 10 公分高無重疊	⑫扇葉 10 公分高重疊二分之一	⑬扇葉 10 公分高重疊五分之四
扇葉 15 公分高	⑭扇葉 15 公分高無重疊	⑮扇葉 15 公分高重疊二分之一	⑯扇葉 15 公分高重疊五分之四
扇葉 20 公分高	⑰扇葉 20 公分高無重疊	⑱扇葉 20 公分高重疊二分之一	⑲扇葉 20 公分高重疊五分之四

伍、研究結果

一、活動式三片葉片風力發電機（10公分高）

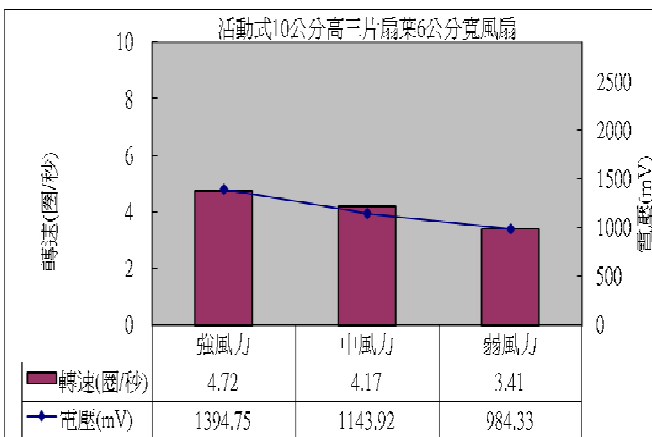


活動 10 高公分 4 公分寬：

各電壓皆偏低，相較於電壓，各風力中的轉速皆偏高。

活動 10 公分高 5 公分寬：

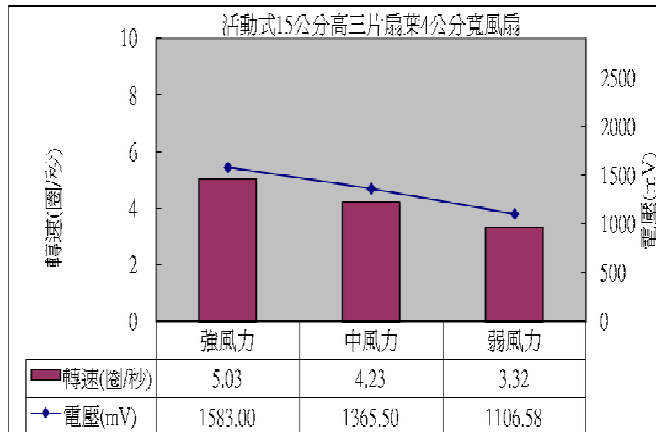
在強風力中電壓偏低較多，中與弱風較為接近預估值。



活動 10 公分高 6 公分寬：

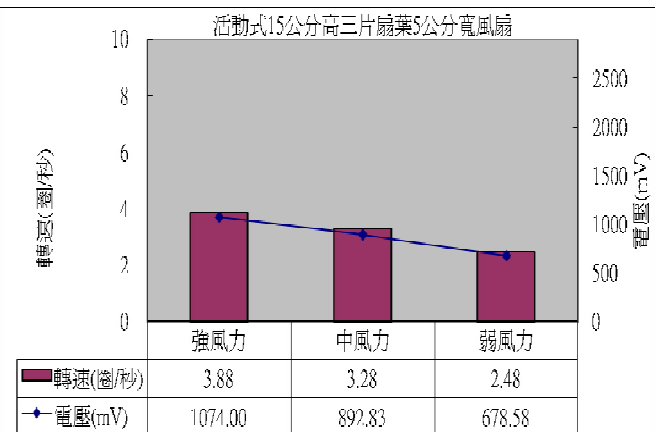
中風力的數據較不同，電壓偏低，而轉速偏高一些。

二、活動式三片葉片風力發電機（15 公分高）



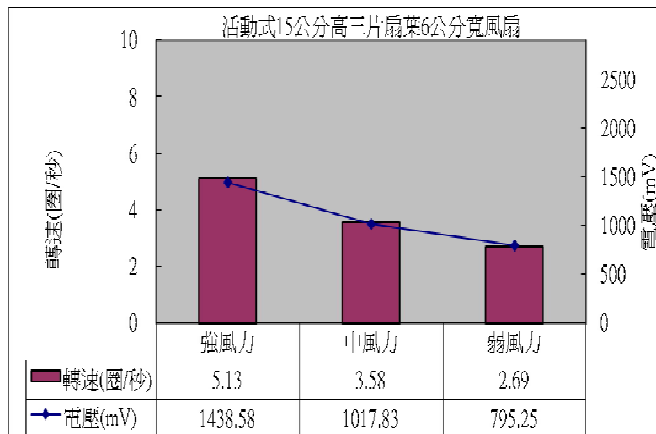
活動 15 公分高 4 公分寬：

各風力中的電壓皆偏高許多，相比下，轉速值則皆偏低。



活動 15 公分高 5 公分寬：

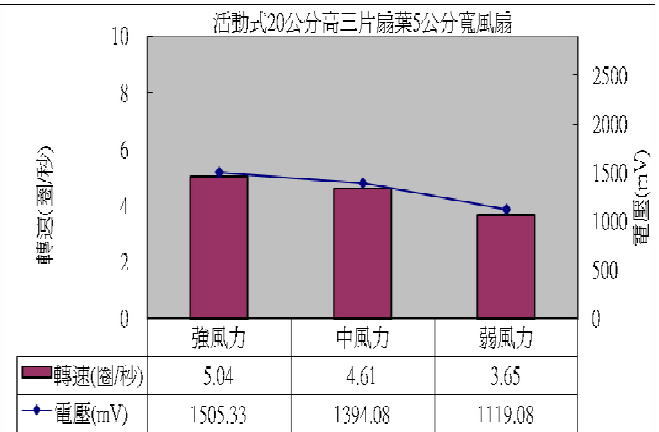
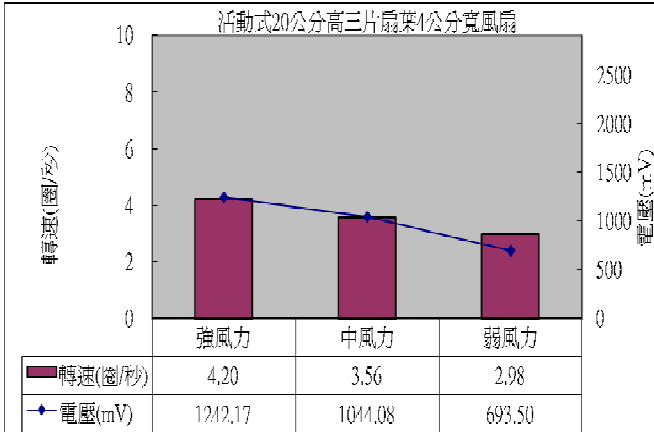
各風力的電壓及轉速成線性比例，近乎一斜直線，並數據無偏高或低。



活動 15 公分高 6 公分寬：

由弱風力至中風力到強風力，二段轉速差距明顯提升許多，電壓也是跟著大幅提升。

三、活動式三片葉片風力發電機（20 公分高）

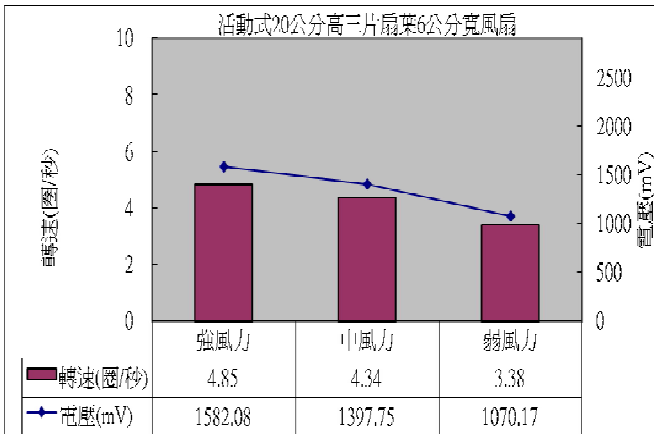


活動 20 公分高 4 公分寬：

強和中風力的轉速及電壓成線性，但弱風力的轉速及電壓落差較大。

活動 20 公分高 5 公分寬：

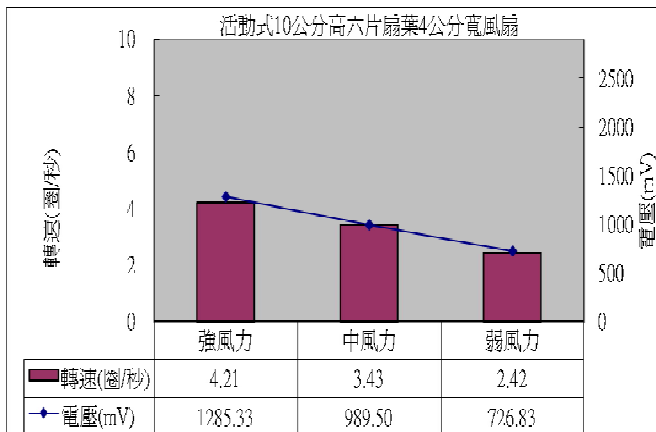
中和弱風力的電壓偏高，轉速偏低。



活動 20 公分高 6 公分寬：

各風力的電壓明顯偏高許多，而轉速則皆偏低。

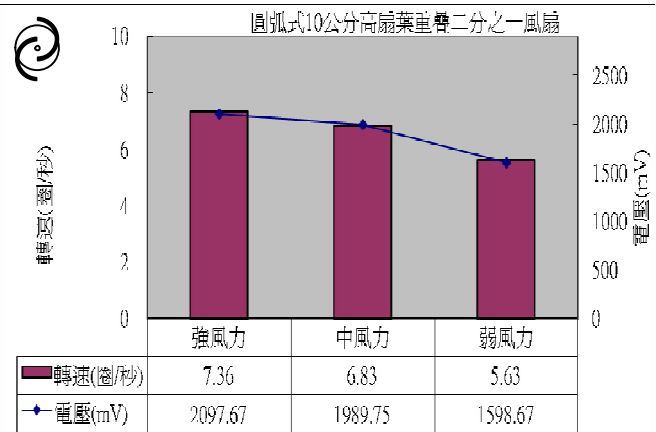
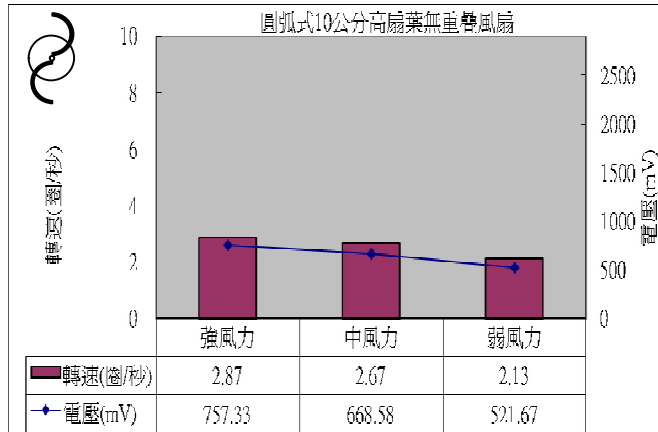
四、活動式六片葉片風力發電機（10 公分高）



活動 10 公分高 4 公分寬(六片)：

三種風力的轉速及電壓呈線性關係，唯強風力的有些微的偏高。

五、圓弧式葉片風力發電機（10公分高）

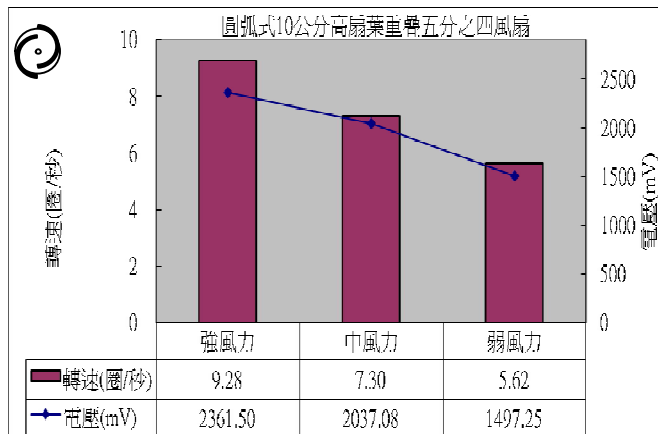


圓弧 10 公分無重疊：

各風力的電壓皆偏低，而且轉速及電壓皆為所有組別中最低的一組。

圓弧 10 公分重疊二分之一：

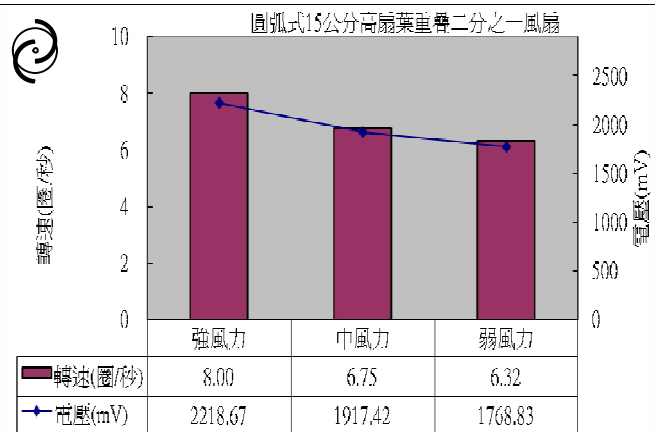
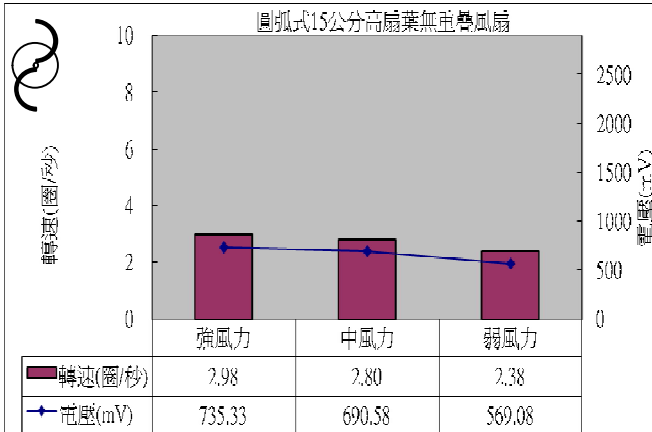
比上一組的數據提升非常多，轉速和電壓都提升了 2~3 倍以上



圓弧 10 公分重疊五分之四：

轉速及電壓再度明顯提升，電壓皆明顯較低，尤其是在強風力時，電壓偏低，轉速偏

六、圓弧式葉片風力發電機（15 公分高）

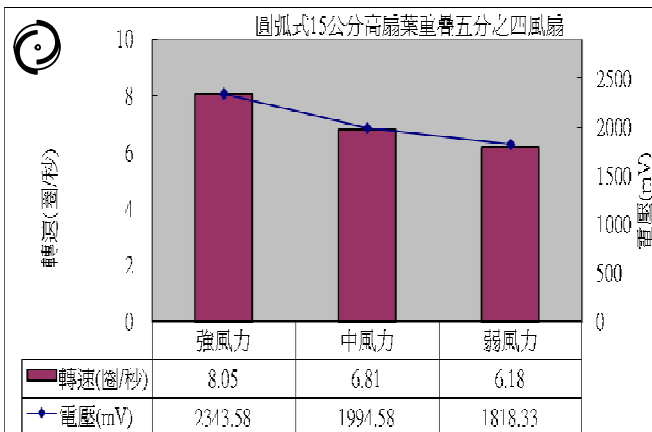


圓弧 15 公分無重疊：

為所有組別中轉速及電壓倒數第二的一組，且電壓明顯偏高一些。

圓弧 15 公分重疊二分之一：

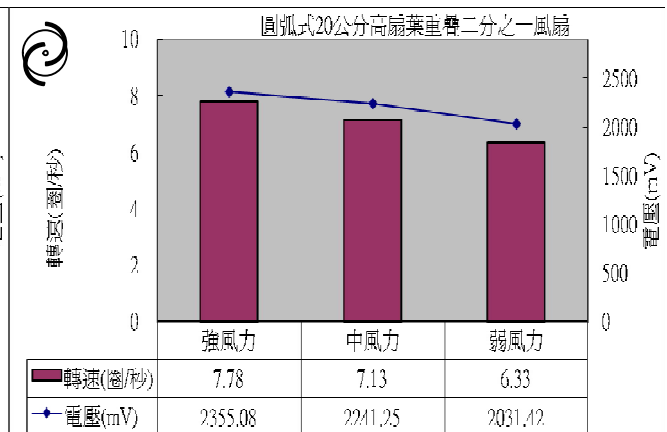
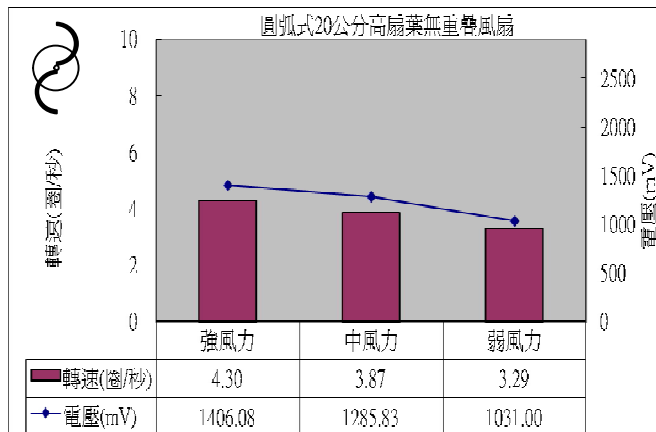
比上一組的數據提升非常多，轉速和電壓都提升 2~3 倍左右。



圓弧 15 公分重疊五分之四：

轉速及電壓並無明顯提升，但從中風力到強風力時，轉速及電壓提升較大。

七、圓弧式葉片風力發電機（20 公分高）

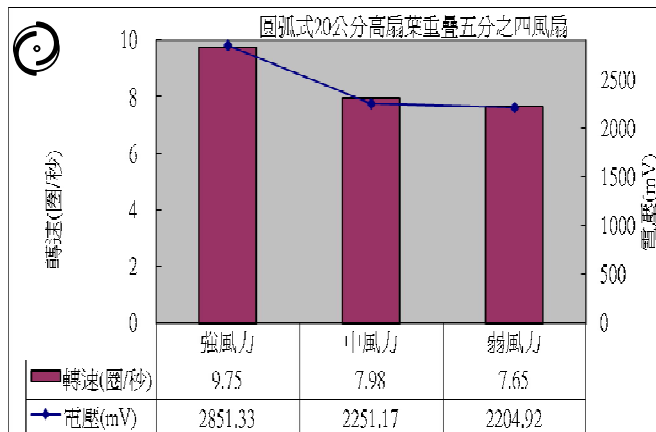


圓弧 20 公分無重疊：

電壓皆偏高，轉速較低，但仍是接近線性成長。

圓弧 20 公分重疊二分之一：

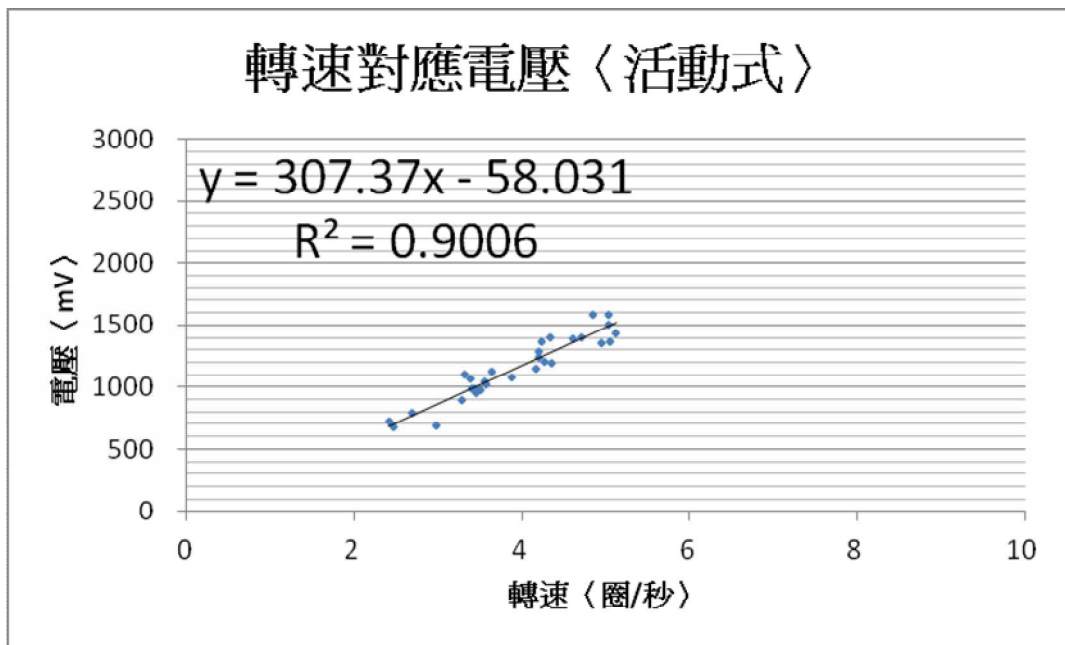
比上一組的轉速和電壓皆提升近 2 倍，但仍是電壓偏高。



圓弧 20 公分重疊五分之四：

中風力和弱風力的轉速及電壓差異不大，但強風力卻是明顯優於前二者。

八、活動式各軸高及扇葉寬的轉速對應電壓圖表



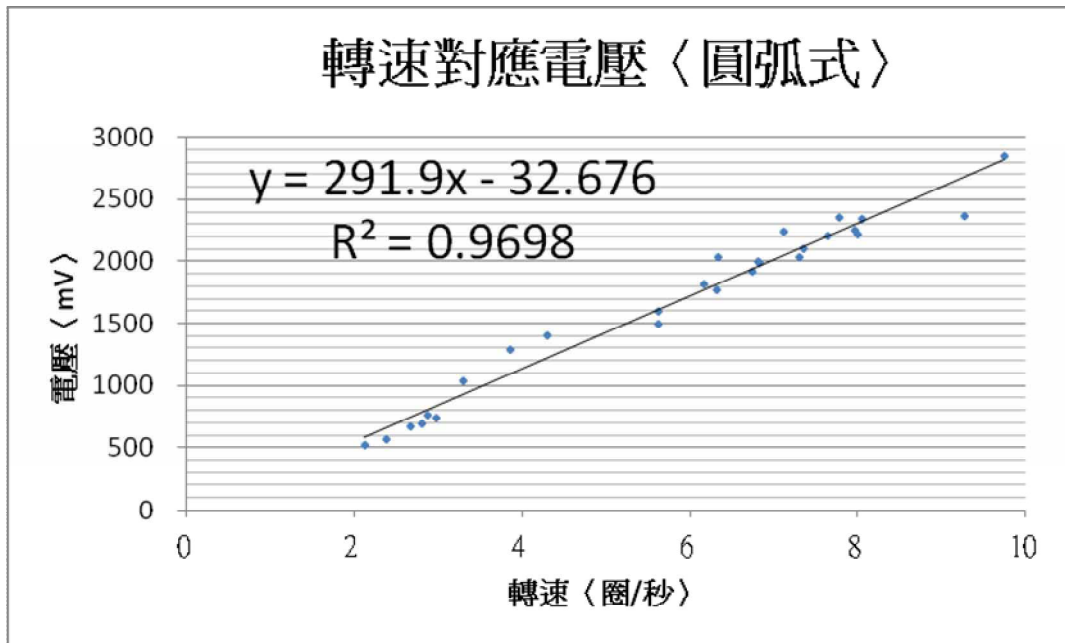
轉速對應電壓 (活動式):

轉速皆分佈在 2 圈/秒~5 圈/秒左右，電壓皆分佈在 600mV~1600mV 之間，數據皆集中在 $y=307.37x+58.031$ 的方程式上下，R 平方值在 0.9006，表示線性程度很高。

表 5 活動式轉速對應電壓 (依照公式 $y = 307.37x - 58.031$ 獲得)

轉速 (圈/秒)	1	2	3	4	5
電壓 (mV)	249.34	556.71	864.08	1171.45	1478.82
轉速 (圈/秒)	6	7	8	9	10
電壓 (mV)	1786.19	2093.56	2400.93	2708.30	3015.67

九、圓弧式各軸高及扇葉重疊面積的轉速對應電壓圖表



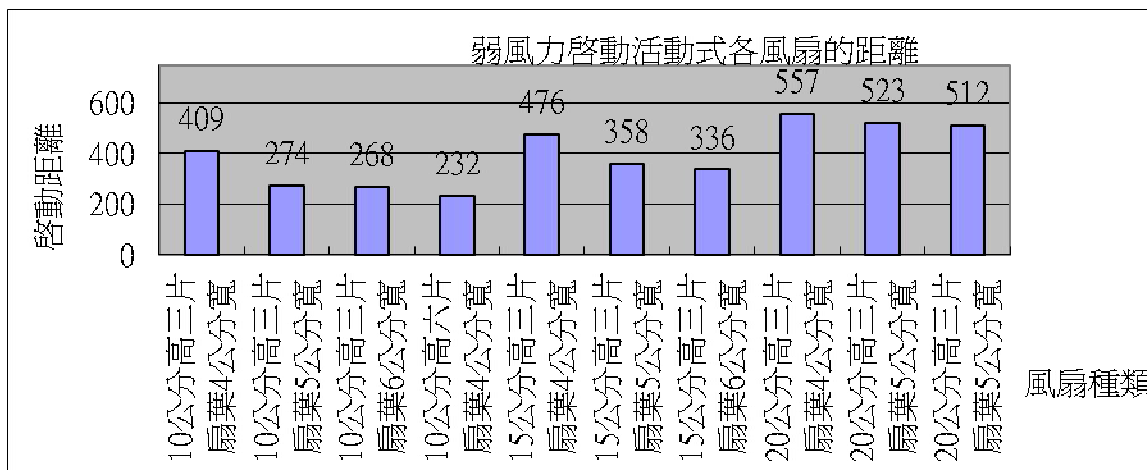
轉速對應電壓 (圓弧式)：
轉速自 2 圈/秒到 10 圈/秒皆有，分佈範圍大，數據大致上可分為左下和右上兩個群體，電壓分佈也很廣，自 500mV 至 2800mV 皆有，數據皆集中在 $y=291.9x-32.676$ 的方程式上下，R 平方值更高在 0.9698，表示線性程度更高。

表 6 圓弧式轉速對應電壓 (依照公式 $y = 291.9x - 32.67$ 獲得)

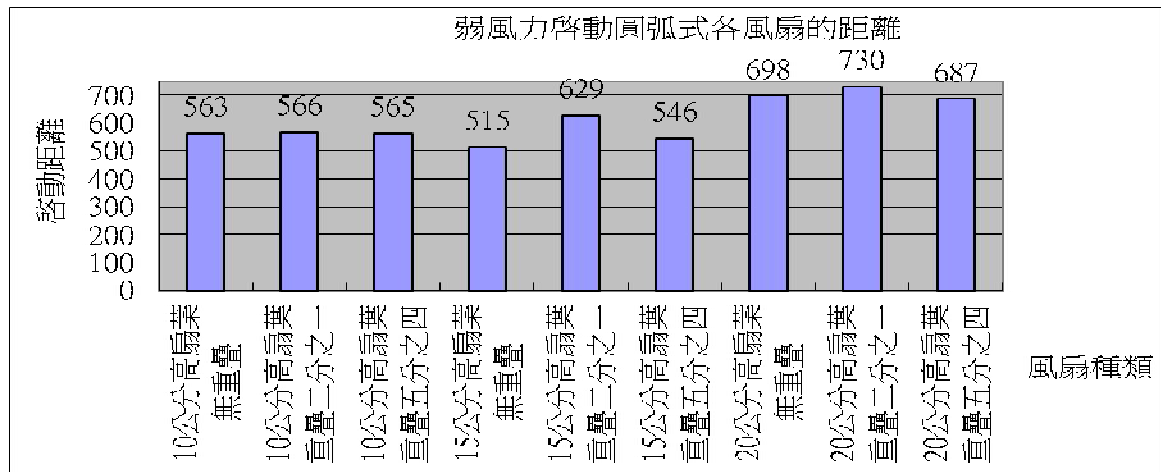
轉速 (圈/秒)	1	2	3	4	5
電壓 (mV)	259.22	551.12	843.02	1134.92	1426.82
轉速 (圈/秒)	6	7	8	9	10
電壓 (mV)	1718.72	2010.62	2302.52	2594.42	2886.32

R^2 是用來反應兩個資料組之間線性的程度

十九、活動式風力發電機啟動風力



二十、圓弧式風力發電機啟動風力



陸、討論

一、垂直軸或水平軸風力發電機的選擇

(一) 水平軸風力發電機

旋轉的軸線為水平方向，大多數我們在海邊所看到的風力發電機或電風力發電機都是屬於水平軸，而就我們所查到的資料中提到，水平軸的優點為轉速快，但噪音較大，而且要迎向風面才能旋轉發電。

(二) 垂直軸風力發電機

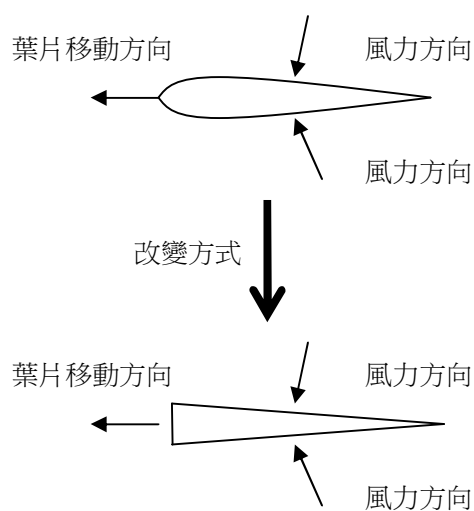
旋轉的軸線為垂直方向，此類風力發電機平常較少見，也是我們本次實驗的目標，垂直軸的優點是適合在都市裡使用，因在都市中周圍大樓林立，所以都市中的風向不定，而垂直軸的特性則是各風向的風皆能使其旋轉，而我們本次實驗的主角是垂直軸風力發電機，所以如何加快垂直軸的轉速便是我們這次實驗主要的課題。

(三) 垂直軸或水平軸風力發電機？

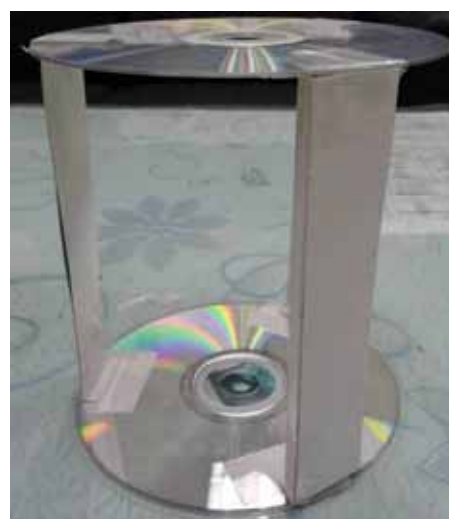
我們決定研究垂直軸，因為我們所處的環境大多是在都市之內，所處環境的風向較不穩定，所以不用顧慮風向的垂直軸是最佳選擇。

二、第一種：固定式葉片

(一) 第一種嘗試的垂直軸風力發電機是以截面為水滴狀的葉片的垂直軸固定式葉片，不論是來自葉片前方或後方的風皆能使水滴狀葉片向著水滴鈍端前進（如圖 21 上），但因圓弧的製作較困難，所以改採細長的銳角三角形（如圖 21 下），分別依安置在 CD 的三等分角落處。



圖(21)

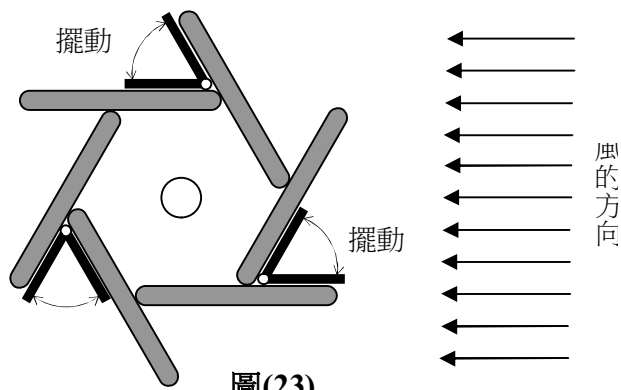


圖(22)

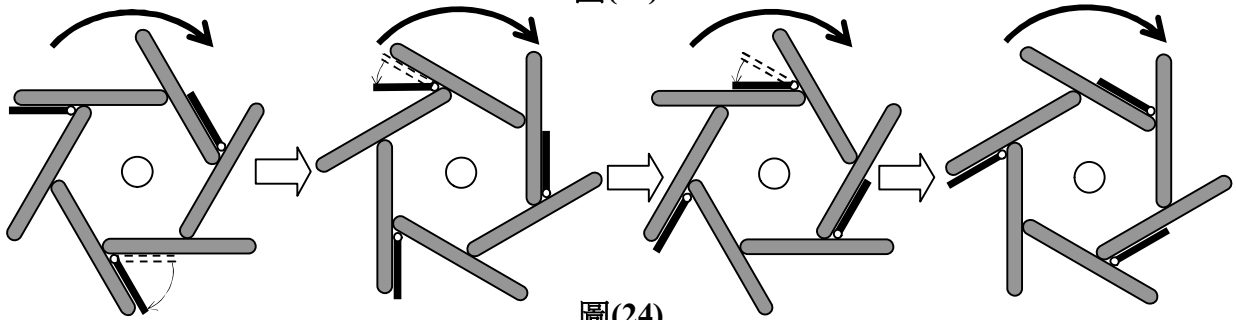
(二) 結果：試作中發現，有時雖風力較大，但是風力發電機會原地來回的晃動，似乎有點轉不太過去，似乎是雖有二片葉片受風將順時針旋轉時，但是第三片葉片受力旋轉方向卻是逆時針方向但是轉速不佳，啟動風力也較高，所以淘汰。

三、第二種：活動式葉片

(一) 在試做第一種固定式葉片時發現第三葉片會受風而轉反方向，因而不易啟動，轉動時也因相同原因而轉速無法提升，所以加以改良成第二種活動式葉片，當其中二葉片受力時，第三葉片則和風向平行以減低風阻（如圖 23）。

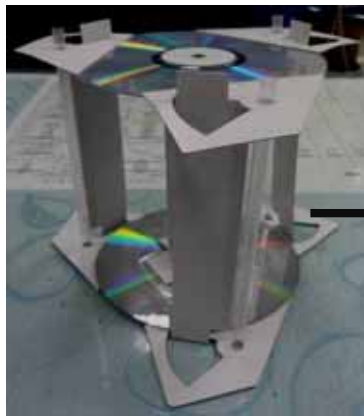


圖(23)

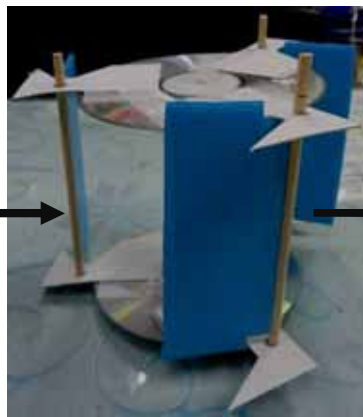


圖(24)

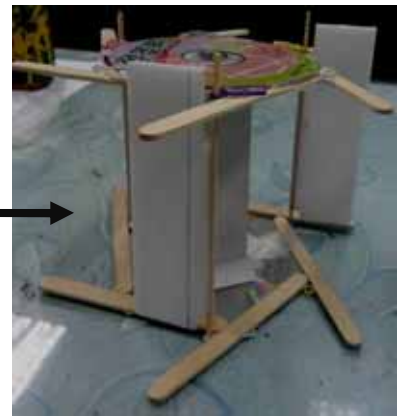
(二) 演進：我們嘗試了各種的材質和作法，分別是以厚紙板、PP 瓦楞板和珍珠板當葉片，最後我們決定以珍珠板做為我們的葉片材料，因為其質輕且易於切割。而擋板的部分，一開始以厚紙板切割，但易損壞，所以改以冰棒棍排列成正六邊形形狀，也因此想到六片活動式風扇的可行性，所以我們取活動式中轉速最快的 10 公分高轉軸，改裝成六片葉片，並將其試做數據列入實驗之中，做為參考。



圖(25)



圖(26)

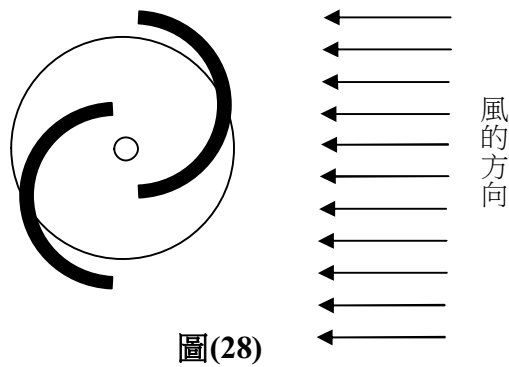


圖(27)

(三) 結果：轉動效果不錯，比第一類的轉速高，所以採用進本次實驗中。因為我們想知道何種葉片高度和寬度才是活動式的黃金比例，所以分別試做了 10 公分、15 公分及 20 公分高的風扇轉軸，再配合 4 公分、5 公分及 6 公分寬的葉片。

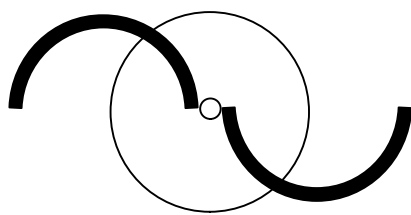
四、第三種：圓弧式葉片

(一) 因活動式葉片轉動時，三片葉片皆會活動，而有規律的的噪音產生，所以又再試作第三種，第三種則是固定式圓弧葉片，葉片以二片圓弧狀弦線相對，再水平錯開，因為無活動結構，所以轉動時噪音較小，製作時也使受風面大小一樣以利比較實驗數據。



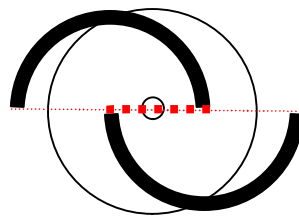
圖(28)

(二) 結果：轉動效果也不錯，比第一類轉速高，而且轉速似乎高於第二類，所以也採用進本次實驗中。圓弧式為兩兩相對的兩個半圓弧，但是兩圓弧相對的位置到底怎麼樣轉速才會最高呢？這是我們很想知道的，所以我們各做了，兩圓弧無重疊、重疊二分之一及重疊五分之四的風扇來測試。



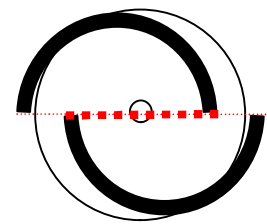
兩圓弧無重疊

圖(29)



兩圓弧重疊二分之一

圖(30)



兩圓弧重疊五分之四

圖(31)

五、活動式風扇擋板角度

因考量到轉動時葉片要隨風擺動，在迎風時盡可能去抓住風力來轉動，轉動到阻風時，要順著風的方向盡可能的減少風阻，所以我們做了擺動角度 60 度的擋板，該裝置抓住風力的能力最好。

六、培林

原本我們旋轉軸的設計是以古錢幣式的磁鐵，以同名極相斥的原理讓整座風扇懸浮起來，以使旋轉時的摩擦力可以減到最小，但是長期下來，我們發現兩極相斥會使磁鐵消磁，而且如果太重的話，可能會懸浮不起來，所以我們將兩種垂直軸皆改為使用培林來旋轉，相較於磁鐵互斥，摩擦力雖較大一些，但無消磁的問題，使用期限也較長。



圖(32)

七、轉速測量

(一) 我們想利用手上現有的材料去測量風力發電機每秒旋轉的圈數，曾想過在風力發電機纏上繩子並計時，再以繩子纏繞長度測量旋轉圈數，以計算每秒旋轉圈數；或是在風力發電機上黏貼一面小鏡子，再以雷射筆照射鏡子反射至牆面上，再計時及計圈數，但是效果並不佳，而不易測量，計時的誤差值也較大。最後想到利用市面上的裝置在腳踏車上的測速器，剛好符合我們的需求，但是因螢幕上顯示的為車速，所以我們經過計算後，將輪周長設定為 278mm 時，此時數字顯示剛好是每秒鐘旋轉的圈數。



圖(33)

(二) 結果：我們要試著將腳踏車用測速器裝置於我們自製風力發電機下方固定，並將最扁平的強力磁鐵黏貼在下方的 CD 下側，二者距離盡可能靠近但又不可接觸，測得數據的效果良好且穩定。

八、發電線圈

(一) 由電磁感應來說，當線圈內的磁通量產生變化時，線圈上相對應會產生感應電動勢，此電動勢會驅使電子流動，產生感應電流。所以，理論上只要有纏繞線圈之後，再以強力磁鐵掃過線圈面，線圈上就會產生電流及電壓，但是要使用多粗的漆包線呢？繞轉圈數要多少呢？線圈要纏繞多高呢？而怎麼樣的效果最好呢？我們嘗試多種纏繞法的線圈，例如較粗的漆包線圈，雖圈線較少但總電阻低，或是較細的漆包線圈，可纏繞圈數多，但總電阻高，哪一種會是較好的選擇，這是我們要嘗試的。

(二) 結果：

1. 我們先嘗試了選用較粗的漆包線自行纏繞（如圖 34），但是因為太粗，過程中並不好纏繞，而纏繞後所產生的電壓並不符合我們的期待。
2. 我們直接使用整卷粗的漆包線（如圖 35），不再自行纏繞，但是線圈的截面積比前一項大一些，不過我們試用後發現效果比上一項佳，但發出的電壓仍不如我們所希望。
3. 我們再改用整卷但是較細的漆包線（如圖 36），但是該卷的細漆包線的截面積仍是太大，仍是不符合期待。
4. 最後，我們將一根鐵芯放入線圈中（如圖 38）



圖(34)

圖(35)

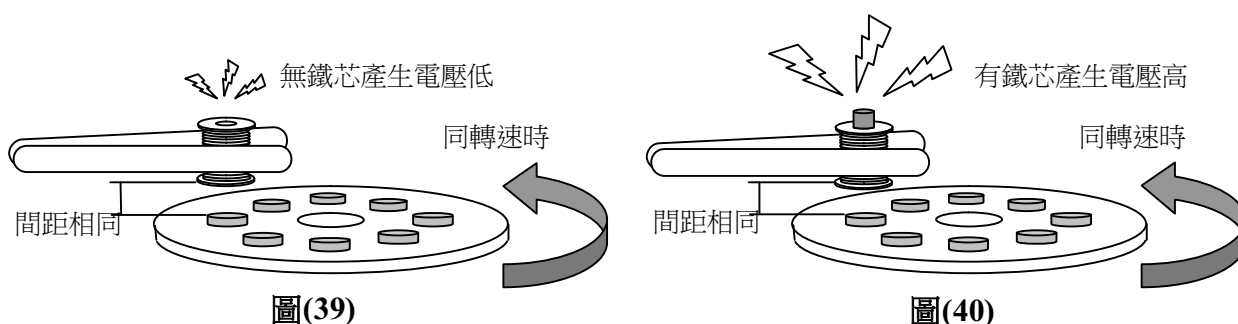
圖(36)

圖(37)

圖(38)

九、鐵芯

原本我們是單只以磁鐵掃過線圈，但是發出的電量並不高，最高大約在 700mV 上下，後來我們想到在線圈中加入鐵芯，當磁鐵經過時，鐵芯被磁化，此時的磁通量應該會大增，發電效果應該會強上數倍，而實驗也證明電壓至少可以增加 3~4 倍。但同時，我們也發現，加上鐵芯後的電壓的上下跳動幅度也更大。



圖(39)

圖(40)

十、發電用磁鐵

- (一) 發電用的磁鐵排列，按法拉第定律來說，磁通量的變化越快，產生的感應電動勢越高，所以如果以同樣一圈來說，每一圈上排列的強力磁鐵越多的話，線圈的磁通量亦會變化越快，所以我們以一圈多個強力磁鐵的方式排列。
- (二) 結果：我們有使用過四顆、六顆，也使用過八顆排列，也試過更強力的磁鐵，但是太厚又太重，且成本也提高，所以最後決定以 8 顆扁平形的小顆磁鐵排列在內圈，並在另一面墊上珍珠板(如圖 41)以利於水平放置於風扇上側，測試結果發電效果不錯，有得到較高的數據。



圖(41)



圖(42)

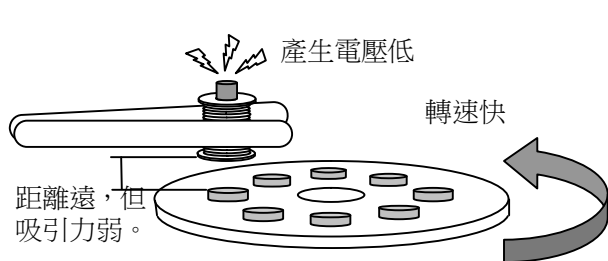
十一、轉速和電壓的記錄

以相機拍攝轉速與電壓，拍攝時間長為一分十五秒，每 5 秒讀取當時的轉速及電壓，共取 14 組數據，為避免暴增或暴減的數據影響實驗結果，我們將最高及最低的數據去除後，剩餘的 12 組數據取平均。

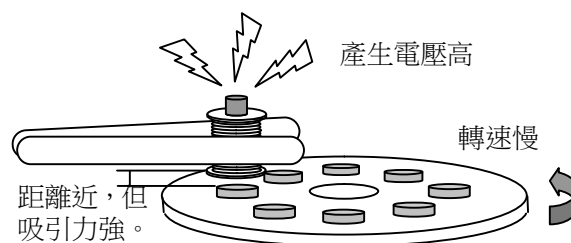
十二、轉速和電壓的對應

理論上轉速越快，則發電量應該越高，而在實驗中大多數數據也證明此點。而且為了提高更高的電壓，我們也盡可能的將磁鐵靠近線圈，但在實驗中也發現了，當磁鐵更靠近線圈中的鐵芯時，電壓雖然提升了，但太近時，磁鐵會吸住鐵芯，造成轉動和啟動的不易。

提昇電壓的兩個變因，提高轉速及磁鐵更靠近線圈，這兩個變因似乎不易魚與熊掌兼得。也因此我們的數據中會發現，有些風扇轉速並沒有很高，但電壓卻較高就是這個原因，所以我們主要以比較各組轉速為主，而電壓大小則做為參考。



圖(43)



圖(44)

十三、圓弧式風力發電機風扇間距的影響

經由實驗後我們發現圓弧式的電壓會隨著受風面積而有所增減。雖然受風面積大但因為另一面所產生的阻力也大所以轉數低，相反的，雖然受風面積小但因為另一面所產生的阻力小所以轉速高。

十四、迴歸線的方程式及 R 平方

當我們將所有數據整理成 excel 檔案之後，我們發現所有的數據近似一條直線，而且差距並不大，所以我們做了迴歸線方程式及 R 平方值。

迴歸線的方程式讓我們可以轉速大小去預測出對應的電壓大小。R 平方值的大小在 0~1 之間，數字越接近 1 的話，表示數據呈現出來的線性高，而我們兩組的 R 平方值皆在 0.9 以上，表示其線性程度非常的高，而以迴歸方程式來預測電壓的可靠程度更高了。

十五、同高度，但不同寬度葉片的比較（活動式風力發電機）

- (一) 同為高 10 公分，4 公分寬的葉片轉速最快。
- (二) 同為高 15 公分，4 公分寬的葉片轉速最快。
- (三) 同為高 20 公分，5 公分寬的葉片轉速最快。

十六、同寬度，但不同高度葉片的比較（活動式風力發電機）

- (一) 同為寬 4 公分，10 公分高的發電機轉速最快。
- (二) 同為寬 5 公分，20 公分高的發電機轉速最快。
- (三) 同為寬 6 公分，20 公分高的發電機轉速最快。

十七、活動式風力發電機高度與寬度總結

經由實驗，我們從各種的扇葉組合中發現，並不是最窄、最寬、最高獲最低的扇葉最快，而是在任何高度的活動式風力發電機中，發電機的高度與扇葉寬度比越接近四比一 (4:1)，則它的轉速越快(例如:發電機高 20 公分扇葉寬 5 公分(4:1)，發電機 15 公分扇葉寬 4 公分(15:4 裡面最近似於 4:1)，發電機高 10 公分扇葉寬 4 公分(5:2 裡面最近似於 4:1)。

十八、同高度，但不同扇葉重疊面積的比較（圓弧式風力發電機）

- (一) 同為高 10 公分，重疊五分之四的發電機轉速最快。
- (二) 同為高 15 公分，重疊五分之四的發電機轉速最快。
- (三) 同為高 20 公分，重疊五分之四的發電機轉速最快。
- (四) 總結：經由實驗，我們從各種扇葉的重疊距離中發現，圓弧式風力發電機扇葉重疊五分之四的轉速最快 (在不同高度的圓弧式風力發電機皆是扇葉重疊五分之四的轉速最快)，因此我們推測阻力越小轉速越高。

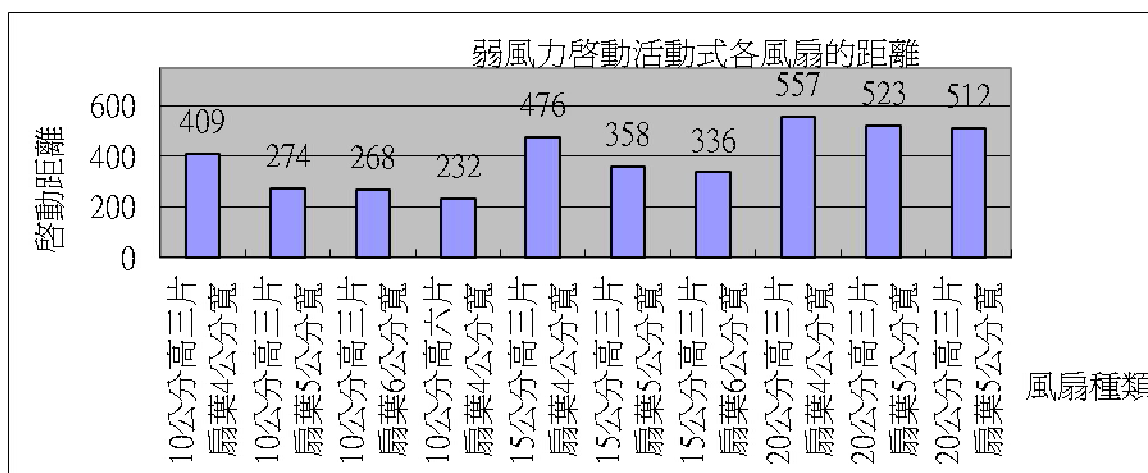
十九、同扇葉重疊面積，但不同高度葉片的比較（圓弧式風力發電機）

- (一) 同為扇葉無重疊，20 公分高的發電機轉速最快。
- (二) 同為扇葉重疊二分之一，20 公分高的發電機轉速最快。
- (三) 同為扇葉重疊五分之四，20 公分高的發電機轉速最快。
- (四) 總結：圓弧式風力發電機扇葉重疊面積固定則發電機高度愈高、轉速愈快。

二十、活動式風力發電機啟動風力

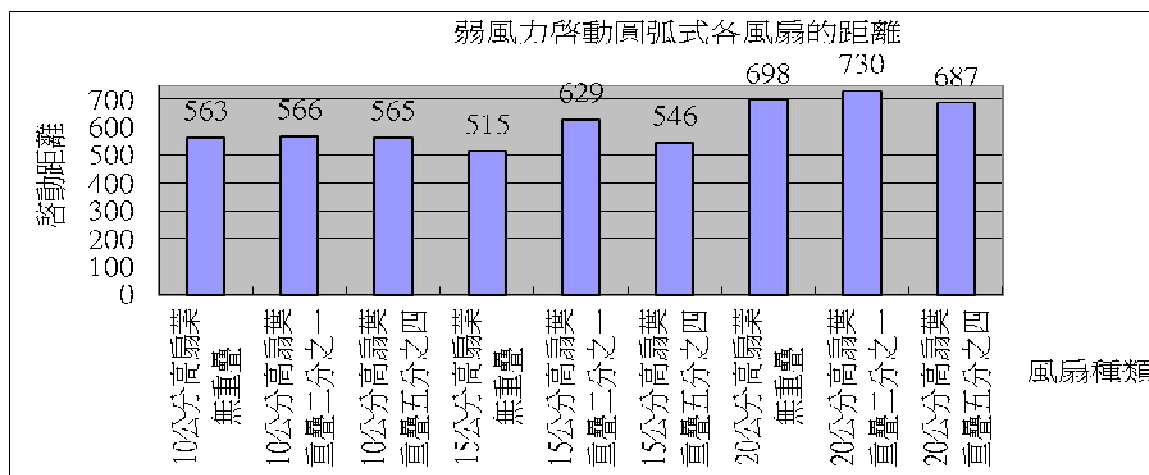
- (一) 10 公分高 4 公分寬的因轉速本來就比較高，阻力也較小，所以較易啟動。
- (二) 15 公分高 4 公分寬的因轉速本來就比較高，阻力也較小，所以較易啟動。
- (三) 20 公分高 4 公分寬的因轉速本來就比較高，阻力也較小，所以較易啟動，而且受風面積也較大，所以最易啟動。

(四) 總結：20 公分 4 公分寬啟動風速較小，而且受風面積也較大，所以較易啟動。



二十一、圓弧式風力發電機啟動風力

- (一) 10 公分高風力發電機中扇葉重疊二分之一的啟動風力較小，故較易啟動。
- (二) 15 公分高風力發電機中扇葉重疊二分之一的啟動風力較小，故較易啟動。
- (三) 20 公分高風力發電機中扇葉重疊二分之一的啟動風力較小，故較易啟動。
- (四) 總結: 10 公分高、15 公分高、20 公分高的風力發電機扇皆為扇葉重疊二分之一的啟動風力較小也較易啟動，我們推測是因為風力發電機扇葉重疊二分之一的介於受風面最大(阻風面也最大)與受風面最小(阻風面也最小)之間，故啟動風力較小也較易啟動。



柒、結論

- 一、活動式風力發電機高度與寬度比越靠近四比一(4:1)的話，會比同高、不同寬扇葉的還要快。
- 二、在活動式風力發電機的實驗中，高風力時，扇葉的寬度對轉速的影響較大，高度影響較小；低風力時，活動式風力發電機的扇葉的高度對轉速的影響較大，寬度影響較小。
- 三、10 公分高的風力發電機配合 4 公分寬的葉片是活動式中最快的。
- 四、在圓弧式風力發電機的實驗中，高風力時，扇葉重疊面積大小對轉速的影響較大，高度影響較小；低風力時，圓弧式風力發電機的扇葉的高度對轉速的影響越大，重疊面積大小的影響較小。而圓弧式扇葉高度越高時，轉速越快。
- 五、不論哪個高度，圓弧式風力發電機扇葉重疊五分之四的皆有較佳的轉速及發電量。
- 六、20 公分高 180 度的葉片的圓弧式風力發電機扇葉重疊五分之四是圓弧式中最快的。
- 七、不論哪種風力發電機的轉速越高，產生的電壓越高。
- 八、只要發電線圈數和發電的磁鐵越多，發的電量也較多。
- 九、加鐵芯雖然會使轉速變得比較慢，但是卻會使電壓明顯的提高三到四倍。
- 十、圓弧形的會比活動式的葉片更加適合使用在都市中。
 - (一) 構造更簡單更堅固，較不易毀損。
 - (二) 轉速也更快，發電量也更多。
 - (三) 圓弧形轉動聲響也較小，因為設置在都市中的關係，所以噪音也是一個考慮條件。
- 十一、活動式的葉片根據我們觀察，是較容易啟動，易於更換及折換零件。
- 十二、風扇啟動的距離不論活動式或圓弧式皆是 20 公分高的最好，而活動式中以 4 公分寬的葉片，圓弧式為重疊二分之一的風扇所需的啟動風力最小。
- 十三、未來展望：
 - (一) 未來我們想將轉速最高的風力發電機等比例放大，並將增加每個線圈圈數、線圈個數、更強力的磁鐵及強力磁鐵個數，改良這些部分以增強電力，而最終極的目標是將其製成蓄電式的，使其在有風時可蓄電，而無風時還能有電力輸出。
 - (二) 希望測試風力發電機的發電功率到底有多少，以利我們再作改良。
 - (三) 改良活動式風扇，使其聲音減小，以更利於在都市使用。
 - (四) 製成一小座能獨立發電的室外風力發電燈座，可接上 LED 燈後，放置於室外有風處，當有風時可做為照明及裝飾用。
 - (五) 希望可將風力發電機製成攜帶型的，以便於在郊外露營時也能 3C 產品進行充電。
 - (六) 改良風力發電機的材質，目標為防日曬、防水及防腐蝕，使其更堅固耐用，更加適合室外的環境。
 - (七) 未來我們還想研究其他類型的垂直軸風力發電機，找尋是否有更有效率的扇葉形狀。

捌、參考資料及其他

- 一、風車生物學 http://wuller1966.blogspot.com/2008_01_01_archive.html
- 二、發電機研習 <http://www.kutai.com.tw/~wsf/gen.html>
- 三、新高能源科技-小型垂直軸風力發電機的運用
http://www.hi-vawt.com.tw/tw/tw_vaswt_applications.html
- 四、水準軸與垂直軸風力發電的不同-技術論壇 Energyrend
<http://www.energytrend.com.tw/bbs/thread-477-1-1.html>
- 五、垂直軸風力發電機，與水準軸的有什麼優勢-54yzszflfd 的個人空間
<http://gate.sinovision.net:82/gate/big5/blog.sinovision.net/home.php?mod=space&uid=127550&do=blog&id=136441>
- 六、風力發動機-維基百科
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A3%8E%E5%8A%9B%E5%8F%91%E7%94%B5%E6%9C%BA>

【評語】 030808

1. 研究主題是有關於綠色能源的探討，特別針對風力發電機實驗哪種類型的活動式葉片最為適合，值得肯定。
2. 已有許多研究探討風力發電機葉片的設計，包括商品化的發電機，此研究較特別的是活動式葉片其適合不定風向的環境，但是葉片的探討仍有許多可以再深入的地方。