

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080106

舞風高手—垂直軸風力發電機之研究與應用

學校名稱：嘉義縣朴子市大同國民小學

作者：	指導老師：
小五 余昕儒	邱鈺茜
小五 顏詩樺	邱孟月
小五 蘇紜禾	
小五 朱珮綸	
小五 黃丞瑜	
小五 林致宇	

關鍵詞：垂直軸風力機、風力發電機、綠色能源

摘要

綠色能源種類繁多，風力發電乃其中發展最快速之一，已成為世界各國爭相發展之標的。而各類型風力發電機中，以垂直軸風力發電機最具噪音低、設置地點限制小、可吸收任何風向的能量等優勢，因此本研究針對它的各項變因進行探究，實驗結果證明：在風力機部分，葉片為6片不平均分散、葉長16公分&葉寬6公分的長方形、葉片攻角為75°、材質為珍珠板的組合，發電效果最佳；在發電機部分，則是採用16個強力磁鐵，與16個纏繞500匝的線圈，並搭配「磁鐵同極排列&線圈順時針連接」或「磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接」方式擺置，能獲得最佳發電效能。最後，我們進一步研發「垂直軸風力發電充電器」，供手機和平板電腦進行充電。

壹、研究動機

受到溫室效應影響，全球升溫後引發的極端氣候及伴生的水災與土石流問題日益嚴重。美國哥倫比亞大學積極對全球各國「天然災害」進行調查和風險評估，結論中提及台灣是「地球上自然災害最多最重之處」，有 73%的人口處在三種以上災害的威脅。因此身處台灣的我們應早日正視這項環境議題，並積極開發綠色能源。

正當我們嘗試研究此環保議題時，得知嘉義縣布袋鎮有位知名風車達人-李泳宗先生，於自家的魚塭旁架起風車，利用風力來發電，他工作之餘也積極投身於推展綠色能源教育。於是，我們規劃了「參訪風車達人-李泳宗老師」的行程，如圖一至三所示，李老師不僅親切的為我們解決有關風力發電機的相關疑惑，還親自指導我們製作簡易風車，這趟知性之旅引起我們對「風力發電機」極大的興趣。



圖一 請教風車達人



圖二 製作風車



圖三 與風車達人合照

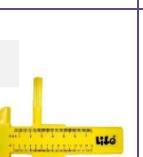
回到學校後，我們學習六上自然與生活科技「電磁作用」單元後，了解電與磁的奇妙關係；也藉由小組討論與查閱資料，明白垂直軸風力發電機有多項優勢，因此我們決定於本研究中針對垂直軸風力發電機進行探究，期望找出風力機與發電機兩部分的最適化條件，並進一步設計「垂直軸風力發電充電器」來提供手機和平板電腦充電，以達到便利生活、節能減碳之目的。

貳、研究目的

- 一、設計一組「簡易整流風洞」與「垂直軸風力發電機模組」。
- 二、探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。
- 三、探討垂直軸風力發電機其「葉片配置」對發電效能的影響。
- 四、探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。
- 五、探討垂直軸風力發電機其「面積相同，長寬比不同的葉片」對發電效能的影響。
- 六、探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。
- 七、探討垂直軸風力發電機其「葉片攻角」對發電效能的影響。
- 八、探討垂直軸風力發電機其「葉片材質」對發電效能的影響。
- 九、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵個數」對發電效能的影響。
- 十、探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。
- 十一、探討垂直軸風力發電機其「線圈纏繞的口徑」對發電效能的影響。
- 十二、探討垂直軸風力發電機其「線圈匝數」對發電效能的影響。
- 十三、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵與線圈的擺置方式」對發電效能的影響。
- 十四、研發一組「垂直軸風力發電充電器」。

參、研究設備及器材

							
工業用電風扇	三用電表	風速計	電腦風扇	漆包線	PV水管	強力磁鐵	鱷魚夾

肆、研究過程或方法

製作簡易整流風洞

製作垂直軸風力發電機模組

探討「風力機」與「發電機」最適化條件

研發一組「垂直軸風力發電機充電器」

一、製作「簡易整流風洞」

在研究過程中，為了使氣流穩定吹到葉片上，以提

高實驗精確度，我們利用簡易的材料製作了整流風洞。

首先以塑膠瓦楞板製成 60 公分*60 公分*120 公分的風洞外殼，再以珍奶大吸管製成蜂巢式的整流段，其整體構造如圖四。



圖四 簡易整流風洞

二、製作「垂直軸風力發電機模組」

經過查閱資料、訪問風車達人後，我們決定親手製作一座「垂直軸風力發電機模組」，以利未來探討風力機與發電機兩部分中多項變因對發電效能的影響。此過程中，從設計基座、風力機，甚至到發電機組等部分，歷經多次的嘗試與修改，最後才完成本研究過程中所使用的垂直軸風力發電機模組。茲將其裝置與結構分述如下：

(一) 第一代垂直軸風力發電機

如圖五，第一代的垂直軸風力發電機中，從轉動軸承、中心立柱、葉片、旋轉盤，甚至整個基座皆採飛機木製成。其中轉動軸承與旋轉盤相連，底部削尖，立於基座上，當葉片轉動時，此軸承會帶動中心立柱與旋轉盤轉動。而旋轉盤底部黏有強力磁鐵，故葉片轉動帶動強力磁鐵旋轉時，使線圈迴路中的磁場發生變化，進而產生感應電流。不過，經過測試，我們發現了其中的缺點，如：由飛機木條調製成的轉動軸承在旋轉時與基座摩擦力過大、旋轉盤不夠穩固等問題，因此我們嘗試再進一步修正缺點，發明第二代「垂直軸風力發電機」模組。



圖五 第一代垂直軸風力發電機

(二) 第二代垂直軸風力發電機

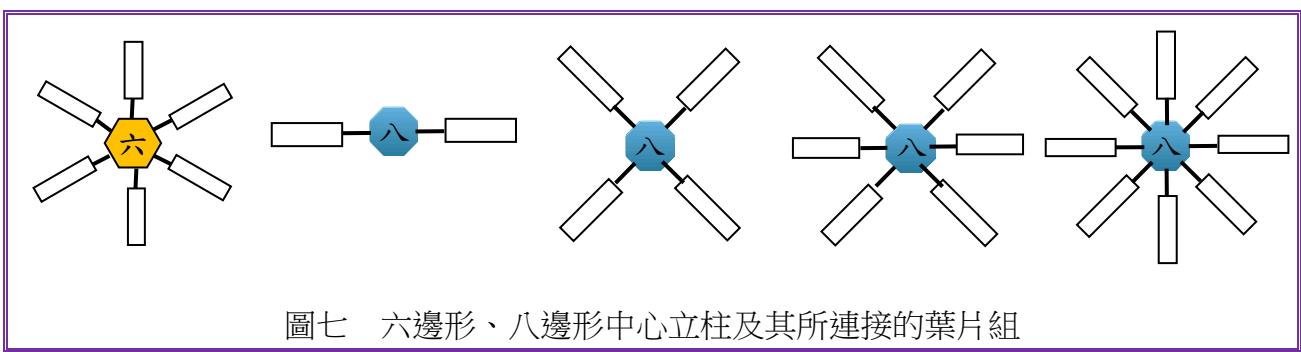
如圖六，第二代的垂直軸風力發電機中，整個基座和支架改用實木製成以提高穩固性；旋轉盤部分則改採質地較輕的鋁製炊盤；而轉動軸承則是改用家中廢棄的小型抽風機軸承，並且置於基座底部，故大幅改善了第一代轉動軸承與基部間摩擦力的狀況。然而，支架的存在限制了葉片的大小，而且抽風機軸承的摩擦力仍是過大，因此決定去除支架，並且繼續找尋更理想的轉動軸承。



圖六 第二代垂直軸風力發電機

(三) 第三代垂直軸風力發電機

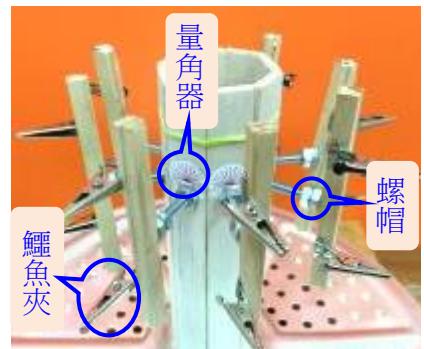
為了順利探討風力機中各種形式的葉片組，我們精心設計六邊形與八邊形中心立柱（如圖七），前者可以連接 6 片平均分散形式的葉片組，而後者則能連接 2 片、4 片、6 片不平均分散與 8 片的葉片組。



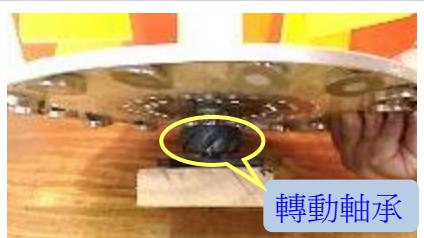
圖七 六邊形、八邊形中心立柱及其所連接的葉片組

如圖八所示，為了調整各葉片的角度，以利探討「迎風面葉片與風向的夾角」該項變因，我們設計了螺帽與量角器，透過旋轉螺帽以調整葉片角度，再藉由黏貼於中心立柱上的量角器來檢視角度；為了在研究過程中能順利置換葉片，我們利用鱷魚夾來連接葉片，因此大幅提高研究過程的效率。

此外，為了改善第二代抽風機軸承的摩擦力仍是過大的問題，我們嘗試取下舊電腦中的散熱風扇，拆除其葉片後，黏貼於木塊上（如圖九），一經測試，發現摩擦力小多了，故採用它作為轉動軸承。最後，在鋁製炊盤下黏貼強力磁鐵，基座上設計擺放線圈的位置，且留下連接三用電表的電線，完成本研究的「垂直軸風力發電機模組」！



圖八 中心立柱細部構造



圖九 改裝後的轉動軸承

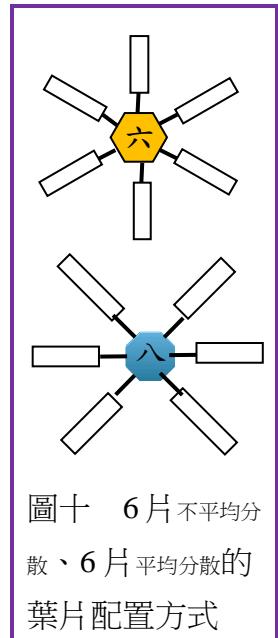
三、探討「風力機」與「發電機」最適化條件

（一）探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。

- 1、操縱變因：葉片數量（分別為 2 片、4 片、6 片、8 片）。
- 2、控制變因：風力機部分是採用 16*4 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 90°、葉片裝置於八邊形的中心立柱上；發電機部份則採用 8 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 8 個纏繞 100 匝（口徑 2.2 公分）的線圈。
- 3、實驗步驟：
 - (1) 將上述垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
 - (2) 啟動工業用電風扇最高速檔，並檢查其出風處之風速為 7.5m/s、簡易風洞測量區之風速為 4.2m/s。
 - (3) 以三用電表測量垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後（等待時間固定為 30 秒），再以手機錄下連續 30 秒的數值。
 - (4) 記錄下第 5、10、15、20、25 和 30 秒的電壓數值，再取其平均數值作為判斷發電效能之依據。

（二）探討垂直軸風力發電機其「葉片配置」對發電效能的影響。

- 1、操縱變因：葉片的配置方式（6片不平均分散與6片平均分散，如圖十）。
- 2、控制變因：風力機部分採用6片 $16*4$ 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 90° ；發電機部分則採用8個直徑2.5公分的強力磁鐵，與8個纏繞100匝（口徑2.2公分）的線圈。
- 3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。



圖十 6片不平均分散、6片平均分散的葉片配置方式

（三）探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。

- 1、操縱變因：葉片形狀（分別為圓形、矩形、三角形）。
- 2、控制變因：風力機部分採用6片不平均分散、面積為64平方公分的珍珠板葉片、葉片攻角為 90° ；發電機部分則採用8個直徑2.5公分的強力磁鐵，與8個纏繞100匝（口徑2.2公分）的線圈。
- 3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（四）探討垂直軸風力發電機其「面積相同，長寬比不同的葉片」對發電效能的影響。

- 1、操縱變因：長寬比不同的葉片（長與寬分別為 $21.3*3$ 、 $16*4$ 、 $12.8*5$ 、 $10.7*6$ 、 $9.1*7$ 和 $8*8$ 平方公分）。
- 2、控制變因：風力機部分採用6片不平均分散、面積為64平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 90° ；發電機部分則採用8個直徑2.5公分的強力磁鐵，與8個纏繞100匝（口徑2.2公分）的線圈。
- 3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

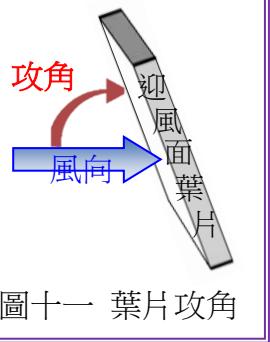
（五）探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。

- 1、操縱變因：寬度不同的葉片（長與寬分別為 $16*3$ 、 $16*4$ 、 $16*5$ 、 $16*6$ 、和 $16*7$ 平方公分）。
- 2、控制變因：風力機部分採用6片不平均分散、長度為16公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 90° ；發電機部分則採用8個直徑2.5公分的強力磁鐵，與8個纏繞100匝（口徑2.2公分）的線圈。
- 3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（六）探討垂直軸風力發電機其「葉片攻角」對發電效能的影響。

1、操縱變因：葉片攻角（ 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° ，如圖十一）。

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 $16*6$ 平方公分的矩形珍珠板葉片；發電機部分則為 8 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 8 個纏繞 100 匝（口徑 2.2 公分）的線圈。



3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（七）探討垂直軸風力發電機其「葉片材質」對發電效能的影響。

1、操縱變因：葉片材質（分別為珍珠板、飛機木、塑膠瓦楞板和厚紙板）。

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 $16*6$ 平方公分的矩形葉片、葉片攻角為 75° ；發電機部分則採用 8 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 8 個纏繞 100 匝（口徑 2.2 公分）的線圈。

3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（八）探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵個數」對發電效能的影響。

1、操縱變因：強力磁鐵個數（分別為 4、8、12、16 個）。

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 $16*6$ 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 75° ；發電機部分則採用直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 8 個纏繞 100 匝（口徑 2.2 公分）的線圈。

3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（九）探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。

1、操縱變因：線圈個數（分別為 4、8、12、16 個）。

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 $16*6$ 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 75° ；發電機部分則採用 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與纏繞 100 匝（口徑 2.2 公分）的線圈。

3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（十）探討垂直軸風力發電機其「線圈纏繞的口徑」對發電效能的影響。

1、操縱變因：線圈纏繞的口徑（分別為 1.8、2.2、2.6、3.4 公分）。

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 16*6 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 75°；發電機部分則採用 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 16 個纏繞 100 匝的線圈。

3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（十一）探討垂直軸風力發電機其「線圈匝數」對發電效能的影響。

1、操縱變因：線圈匝數（分別為 100、300、500 匝）。

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 16*6 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 75°；發電機部分則採用 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 16 個纏繞口徑為 2.6 公分的線圈。

3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（十二）探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵與線圈的擺置方式」對發電效能的影響。

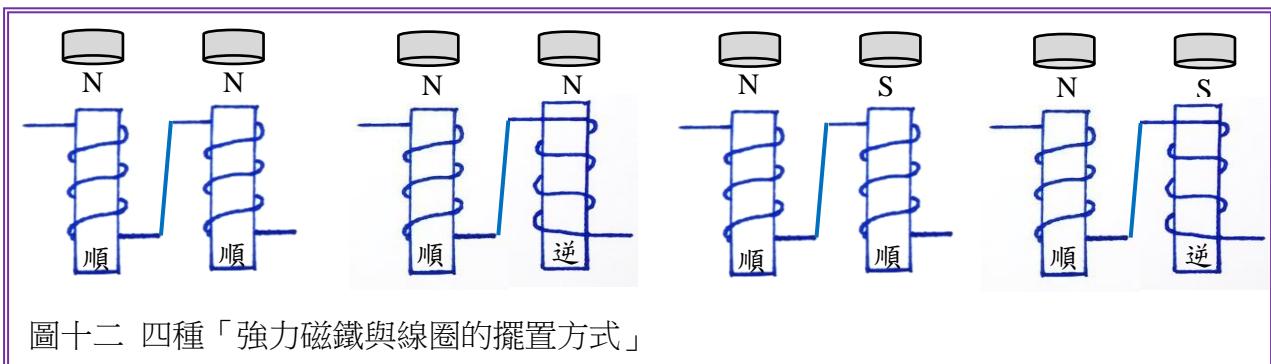
1、操縱變因：強力磁鐵與線圈的擺置方式（共有四種不同方式，如圖十二）。

第一種：強力磁鐵皆為同極排列 N 極朝下，線圈皆是順時針纏繞。

第二種：強力磁鐵皆為同極排列 N 極朝下，線圈則是順時針纏繞連接逆時針纏繞。

第三種：強力磁鐵異極相間排列，線圈皆為順時針纏繞。

第四種：強力磁鐵異極相間排列，線圈則是順時針纏繞連接逆時針纏繞。



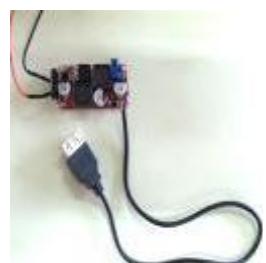
圖十二 四種「強力磁鐵與線圈的擺置方式」

2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分散、尺寸為 16*6 平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為 75°；發電機部分則採用 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵，與 16 個纏繞 500 匝（口徑 2.6 公分）的線圈。

3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

四、研發一組「垂直軸風力發電機充電器」

- (一) 本研究擬結合「風力機」與「發電機」最適化條件後，組裝成一座可獲得最大發電效能之「垂直軸風力發電機」。
- (二) 至電子材料行購買「變電裝置」(如圖十三)，其結構包含整流器、穩壓器、電容器和 USB 接頭四部分。整流器可將垂直軸風力發電機所產生的交流電轉變成直流電；穩壓器則能穩定輸出 5V 的電壓。
- (三) 取行動電源為「儲電裝置」，即可將垂直軸風力發電機所產生的電能儲存在其中。
- (四) 將上述「垂直軸風力發電機」、「變電裝置」與「儲電裝置」連接，即可研發為一組「垂直軸風力發電機充電器」。



圖十三 變電裝置

伍、研究結果

茲將本研究實驗過程中研究結果與數據，繪成圖表以便進行分析與討論。

一、設計一組「簡易整流風洞」與「垂直軸風力發電機」。

本研究所設計之「簡易整流風洞」如圖十四，其結構包括風洞外殼、蜂巢式整流段及待測區。實驗過程中，將垂直軸風力發電機置於待測區，且距離蜂巢式整流段 20 公分處進行測試。此風洞結構不僅讓本研究受氣候影響的程度降到最低，並且能準確控制實驗條件，故研究氣體流動與垂直軸風力發電機之間的作用時，所得到的垂直軸風力發電機最適化條件之可信度更高。



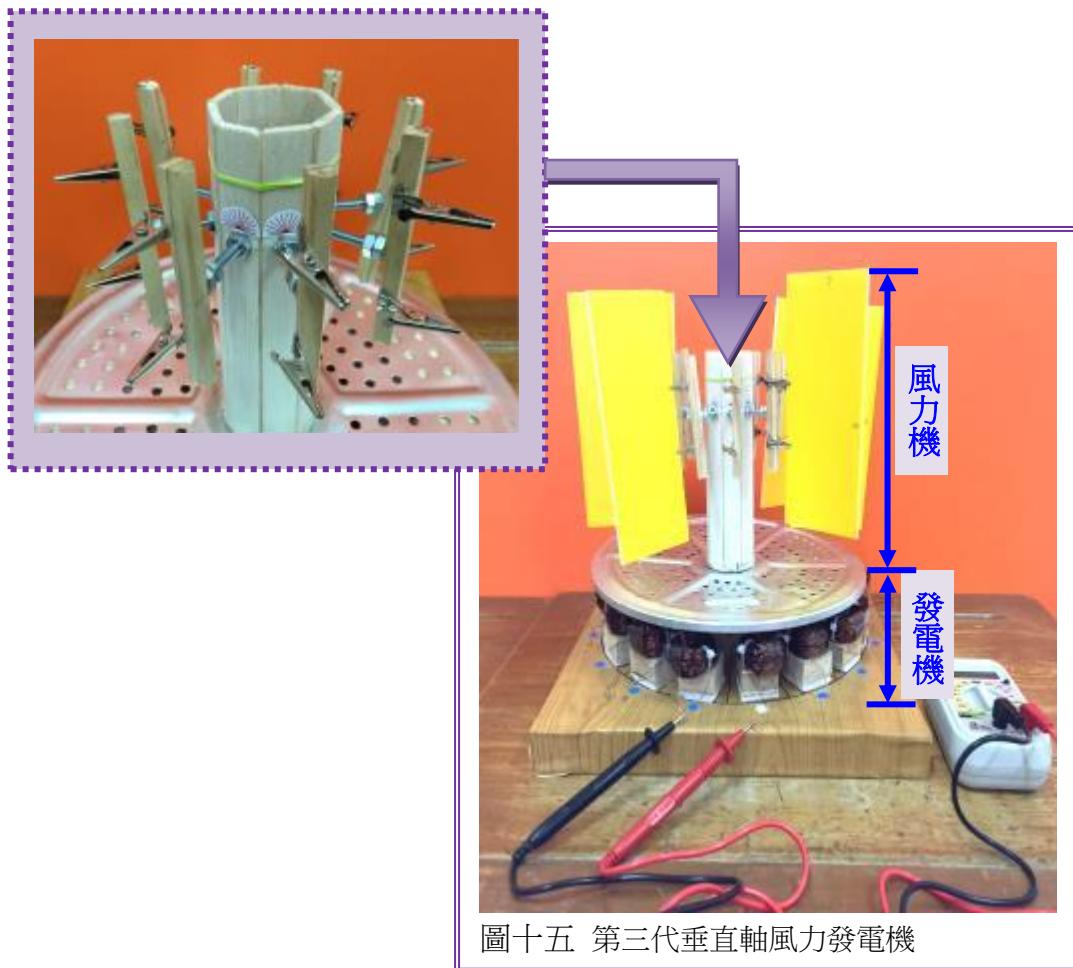
圖十四 簡易整流風洞

歷經多次的改良，最終完成了「第三代垂直軸風力發電機」，其結構大致分成「風力機」與「發電機」兩部分（如圖十五）。在風力機部分，主要有中心立柱與葉片組部分，其中螺帽、量角器和鱸魚夾等設計上的巧思，使後續探討葉片數量、葉片配置、葉片形狀、葉片長度與寬度、葉片攻角與葉片材質等變因時，不論置換葉片，或是調整葉片角度，效率都提升不少，更重要的是可以讓實驗數據更準確。

而發電機部分，每個環節也都是我們親手設計、組裝而成，其結構包括：

- 1、在鋁製炊盤下方黏貼強力磁鐵，當風力機帶動鋁製炊盤旋轉時，強力磁鐵亦隨之旋轉。
- 2、將漆包線纏繞於不同口徑之 PV 水管上。
- 3、將各個線圈按研究目的之擺置方式連接，並固定於垂直軸風力發電機之基座上。
- 4、將三用電表與線圈組相連接，便可測量垂直軸風力機之發電效能。

接著再以組裝而成的「第三代垂直軸風力發電機模組」進行所有研究項目之探究。

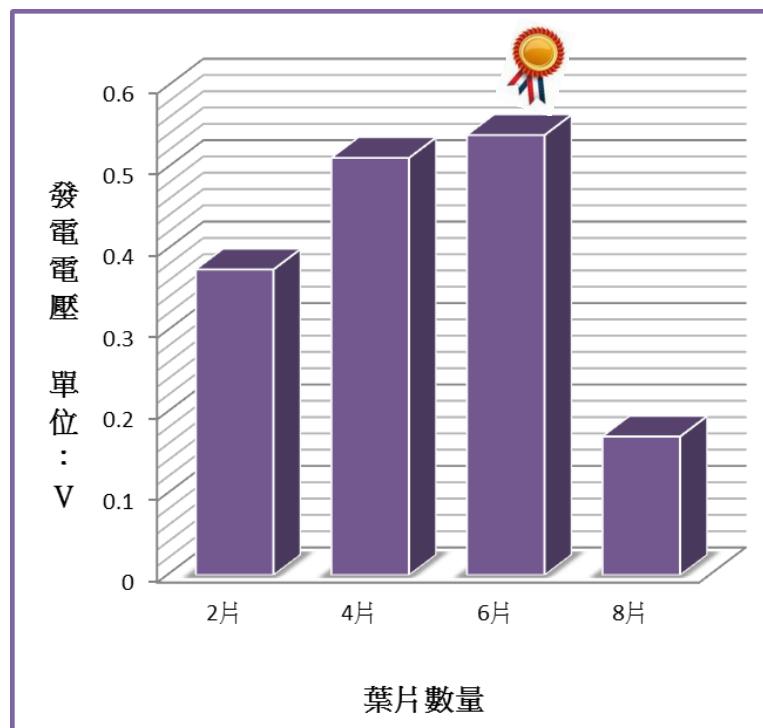


二、探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表一 各種葉片數量其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		葉片數量			
		2片	4片	6片	8片
電壓 讀 值	第 5 秒	0.380	0.510	0.548	0.182
	第 10 秒	0.374	0.508	0.546	0.175
	第 15 秒	0.369	0.512	0.545	0.167
	第 20 秒	0.370	0.502	0.546	0.161
	第 25 秒	0.371	0.520	0.535	0.160
	第 30 秒	0.384	0.520	0.521	0.176
平均電壓		0.375	0.512	0.540	0.170



圖十六 各種葉片數量與發電效能關係圖

2、實驗結果

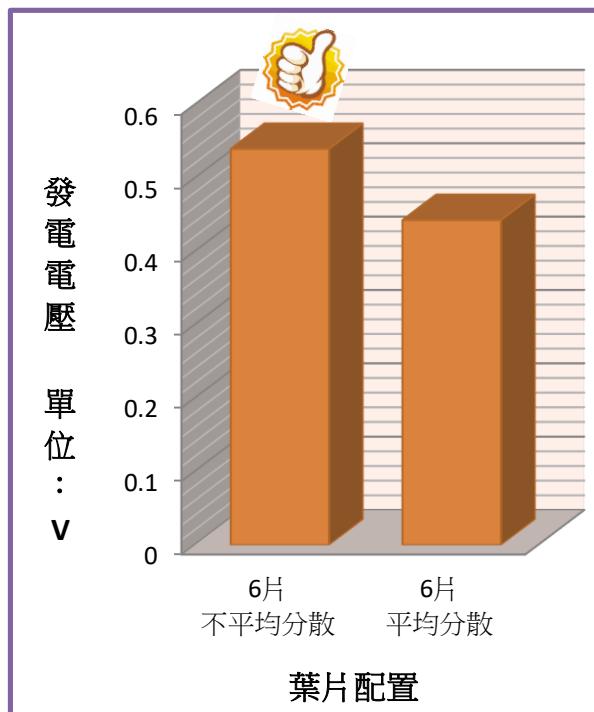
從實驗結果可發現各種葉片數量的發電效能依序為 6 片的效能 > 4 片的效能 > 2 片的效能 > 8 片的效能。

三、探討垂直軸風力發電機其「葉片配置」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表二 各種葉片配置方式其發電效能比較表

電壓 讀 值	發電效能 & 啟動情形	葉片配置	
		6片不平均分散	6片平均分散
電壓 讀 值	第5秒	0.548	0.433
	第10秒	0.546	0.445
	第15秒	0.545	0.434
	第20秒	0.546	0.440
	第25秒	0.535	0.450
	第30秒	0.521	0.455
平均電壓		0.540	0.443



2、實驗結果

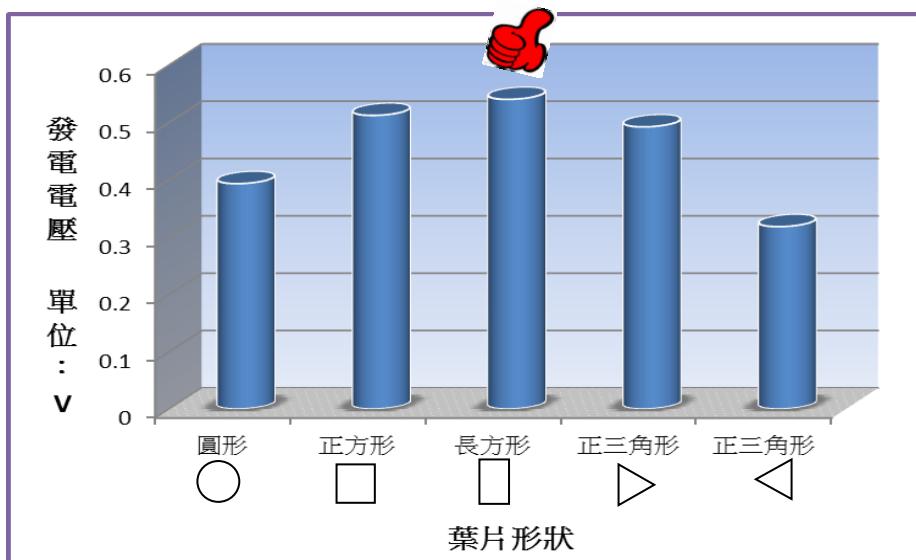
從實驗結果可發現葉片不同配置方式的發電效能依序為 6 片 不平均分散的效能 > 6 片 平均分散的效能。

四、探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表三 各種葉片形狀其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		葉片形狀				
		圓形	矩形		正三角形	
						
電壓 讀 值	第 5 秒	0.418	0.502	0.548	0.494	0.324
	第 10 秒	0.407	0.510	0.546	0.488	0.313
	第 15 秒	0.404	0.498	0.545	0.486	0.298
	第 20 秒	0.379	0.516	0.546	0.486	0.336
	第 25 秒	0.374	0.526	0.535	0.499	0.317
	第 30 秒	0.376	0.518	0.521	0.499	0.318
平均電壓		0.393	0.512	0.540	0.492	0.318



圖十八 各種葉片形狀與發電效能關係圖

2、實驗結果

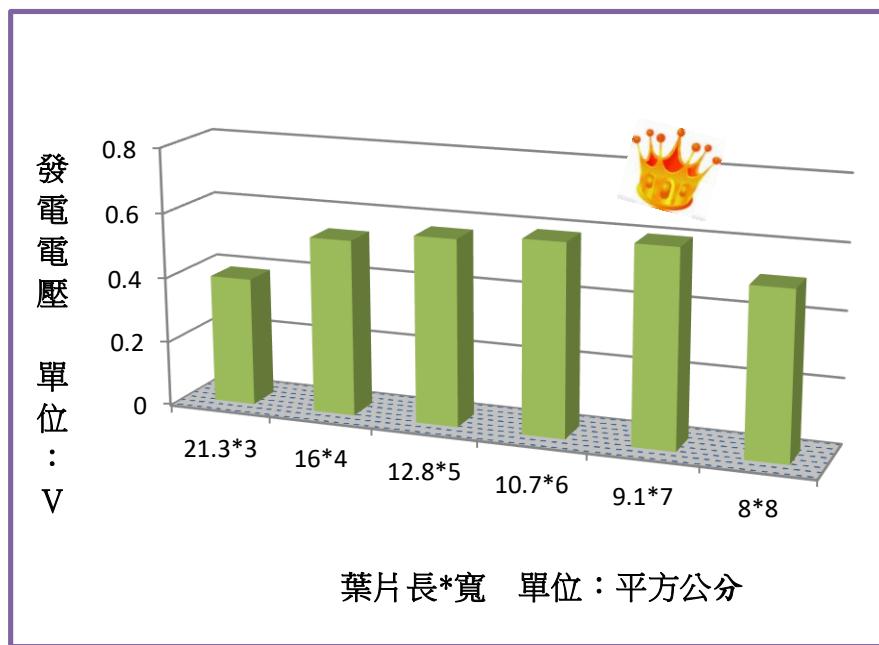
- (1) 從實驗結果可發現葉片面積相同時，各種葉片形狀的發電效能依序為長方形 > 正方形 > 正三角形 (頂點朝外) > 圓形 > 正三角形 (底邊朝外)。
- (2) 從矩形部分來分析，當面積相等時，長方形的發電效能優於正方形。
- (3) 從正三角形部分來分析，葉片裝置的方向不同，其發電效能也會有優劣之分。

五、探討垂直軸風力發電機其「面積相同，長寬比不同的葉片」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表四 各種面積相同，長寬比不同的葉片其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		面積相同，長寬比不同的葉片					
		21.3*3	16*4	12.8*5	10.7*6	9.1*7	8*8
電壓 讀 值	第 5 秒	0.400	0.548	0.565	0.584	0.618	0.502
	第 10 秒	0.393	0.546	0.573	0.616	0.607	0.510
	第 15 秒	0.388	0.545	0.565	0.586	0.604	0.498
	第 20 秒	0.394	0.546	0.562	0.592	0.608	0.516
	第 25 秒	0.392	0.535	0.589	0.584	0.593	0.526
	第 30 秒	0.388	0.521	0.580	0.580	0.587	0.518
平均電壓		0.393	0.540	0.572	0.590	0.603	0.512



圖十九 面積相同，長寬比不同的葉片與發電效能關係圖

2、實驗結果

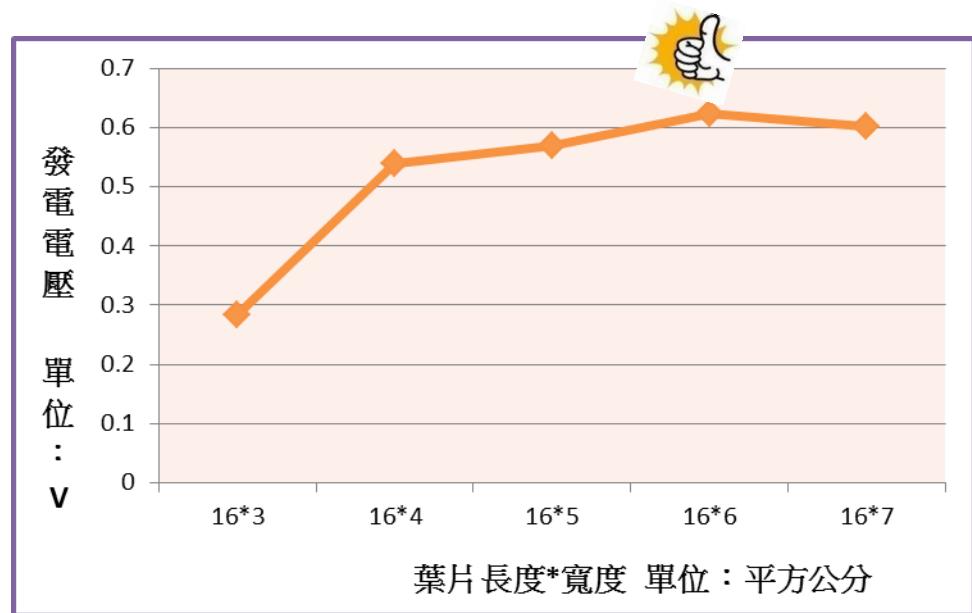
從實驗結果可發現當葉片面積相同時，不同長度*寬度的葉片其發電效能依序為
 9.1*7 平方公分的效能 > 10.7*6 平方公分的效能 > 12.8*5 平方公分的效能 > 16*4 平方公分
 的效能 > 8*8 平方公分的效能 > 21.3*3 平方公分的效能。

六、探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表五 各種長度相同、寬度不同的葉片其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		長度相同，寬度不同的葉片				
		16*3	16*4	16*5	16*6	16*7
電壓 讀 值	第 5 秒	0.277	0.548	0.560	0.617	0.627
	第 10 秒	0.282	0.546	0.568	0.612	0.607
	第 15 秒	0.281	0.545	0.560	0.614	0.565
	第 20 秒	0.282	0.546	0.565	0.616	0.568
	第 25 秒	0.286	0.535	0.576	0.629	0.579
	第 30 秒	0.289	0.521	0.582	0.654	0.659
平均電壓		0.283	0.540	0.569	0.624	0.601



圖二十 長度相同，寬度不同的葉片與發電效能關係圖

2、實驗結果

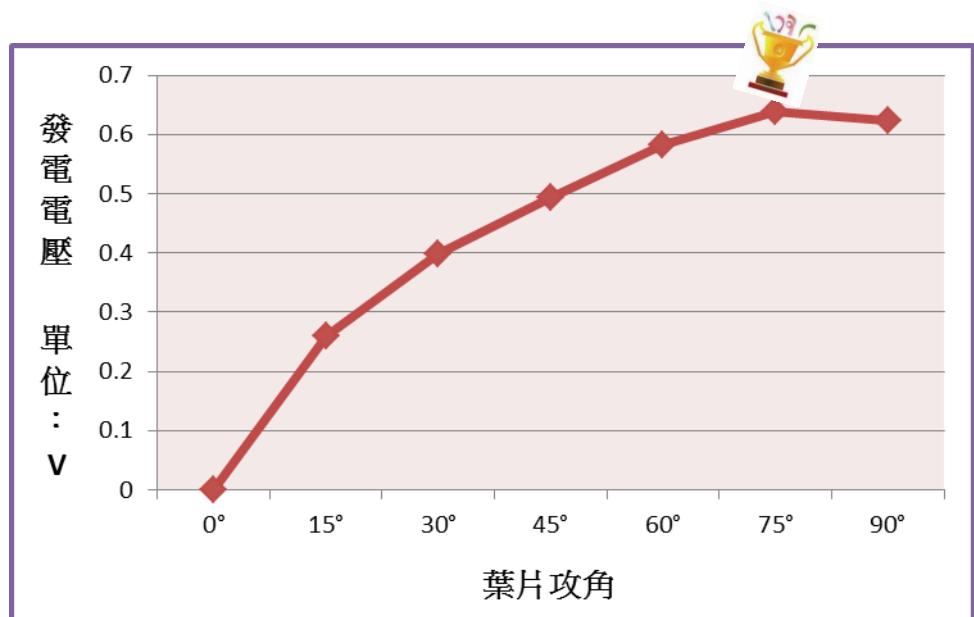
從實驗結果可發現不同「長度*寬度」的葉片，其發電效能依序為 16*6 平方公分的效能 > 16*7 平方公分的效能 > 16*5 平方公分的效能 > 16*4 平方公分的效能 > 16*3 平方公分的效能。

七、探討垂直軸風力發電機其「葉片攻角」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表六 葉片攻角對發電效能影響之比較表

發電效能 & 啟動情形		葉片攻角						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
電 壓 讀 值	第 5 秒	0	0.260	0.389	0.492	0.589	0.642	0.617
	第 10 秒	0	0.259	0.406	0.497	0.593	0.640	0.612
	第 15 秒	0	0.257	0.403	0.500	0.571	0.645	0.614
	第 20 秒	0	0.257	0.399	0.485	0.577	0.636	0.616
	第 25 秒	0	0.257	0.392	0.489	0.579	0.633	0.629
	第 30 秒	0	0.261	0.397	0.498	0.587	0.633	0.654
平均電壓		0	0.259	0.398	0.494	0.583	0.638	0.624



圖二十一 葉片攻角對發電效能影響圖

2、實驗結果

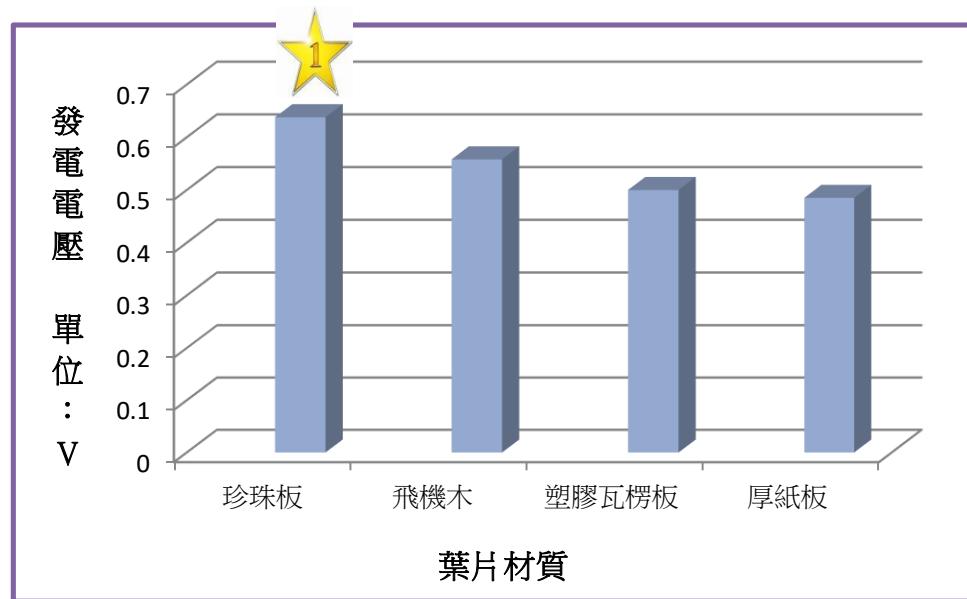
從實驗結果可發現各種「不同攻角」的葉片，其發電效能依序為 75° 的效能 $> 90^\circ$ 的效能 $> 60^\circ$ 的效能 $> 45^\circ$ 的效能 $> 30^\circ$ 的效能 $> 15^\circ$ 的效能 $> 0^\circ$ 的效能。

八、探討垂直軸風力發電機其「葉片材質」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表七 各種葉片材質其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		葉片材質			
		珍珠板 (1.5g)	飛機木 (2.5g)	塑膠瓦楞板 (3.8g)	厚紙板 (11.8g)
電壓 讀 值	第 5 秒	0.642	0.558	0.500	0.470
	第 10 秒	0.640	0.561	0.462	0.478
	第 15 秒	0.645	0.559	0.513	0.488
	第 20 秒	0.636	0.550	0.517	0.493
	第 25 秒	0.633	0.555	0.508	0.491
	第 30 秒	0.633	0.567	0.497	0.491
平均電壓		0.638	0.558	0.500	0.485



圖二十二 葉片材質與發電效能關係圖

2、實驗結果

從實驗結果可發現當葉片面積相同時，不同材質的葉片其發電效能依序為珍珠板的效能 > 飛機木的效能 > 塑膠瓦楞板的效能 > 厚紙板的效能。

九、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵個數」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表八 各種強力磁鐵個數其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		強力磁鐵個數			
		4個	8個	12個	16個
電 壓 讀 值	第5秒	0.396	0.642	0.683	0.889
	第10秒	0.400	0.640	0.691	0.868
	第15秒	0.397	0.645	0.689	0.86
	第20秒	0.393	0.636	0.679	0.855
	第25秒	0.394	0.633	0.677	0.872
	第30秒	0.397	0.633	0.666	0.882
平均電壓		0.396	0.638	0.681	0.871



圖二十三 強力磁鐵個數與發電效能關係圖

2、實驗結果

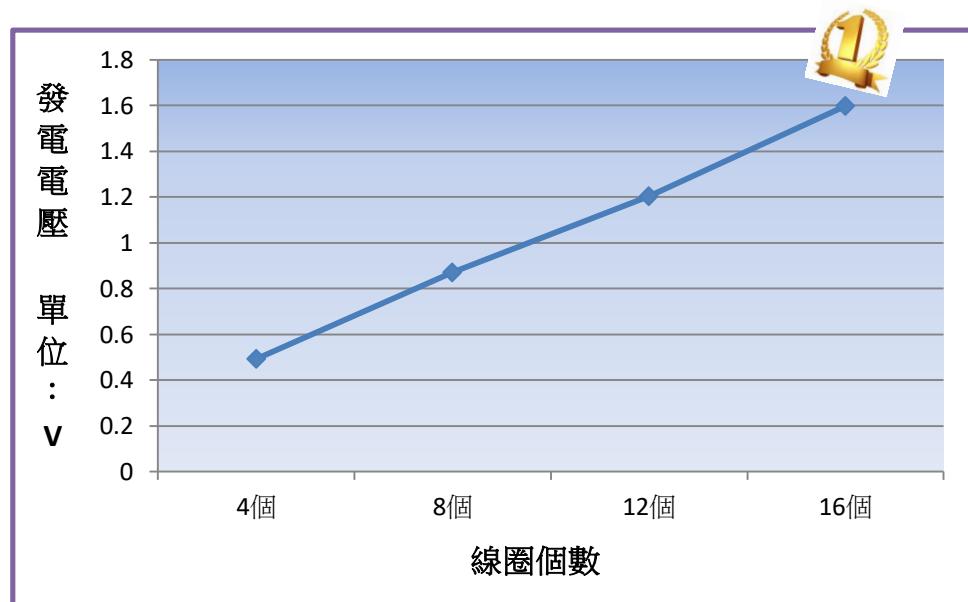
從實驗結果可發現發電機內裝置不同數量的強力磁鐵，其發電效能依序為 16 個的效能 > 12 個的效能 > 8 個的效能 > 4 個的效能。換言之，強力磁鐵的數量愈多，發電效能就愈高。

十、探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表九 各種線圈個數其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		線圈個數			
		4個	8個	12個	16個
電 壓 讀 值	第5秒	0.49	0.889	1.221	1.564
	第10秒	0.493	0.868	1.212	1.571
	第15秒	0.486	0.86	1.211	1.606
	第20秒	0.487	0.855	1.177	1.629
	第25秒	0.495	0.872	1.181	1.617
	第30秒	0.503	0.882	1.214	1.604
平均電壓		0.492	0.871	1.203	1.599



圖二十四 線圈個數與發電效能關係圖

2、實驗結果

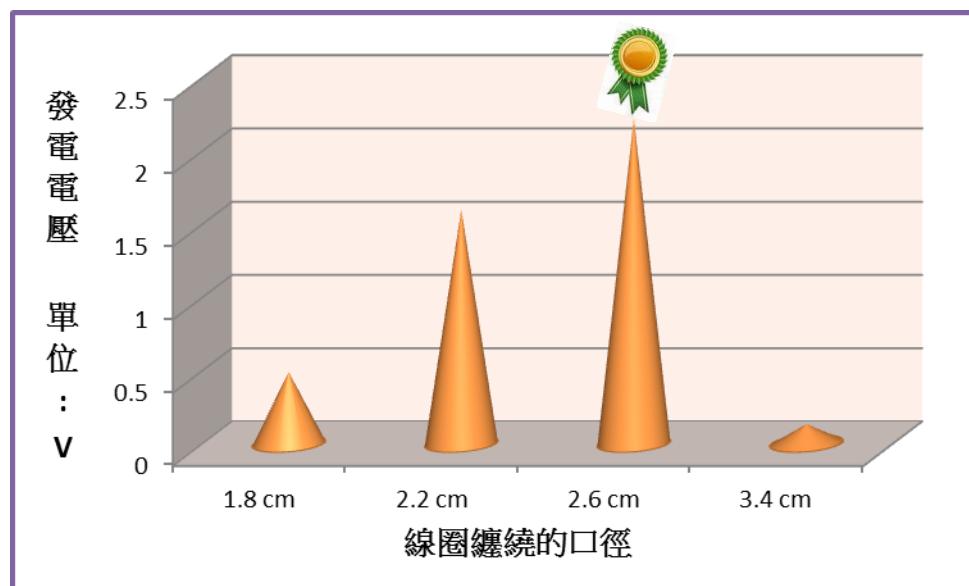
從實驗結果可發現發電機內裝置不同數量的線圈，其發電效能依序為 16 個的效能 > 12 個的效能 > 8 個的效能 > 4 個的效能。換言之，線圈數量愈多，發電效能則愈高。

十一、探討垂直軸風力發電機其「線圈纏繞的口徑」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表十 各種線圈纏繞口徑其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		線圈纏繞的口徑			
		1.8 cm	2.2 cm	2.6 cm	3.4 cm
電 壓 讀 值	第 5 秒	0.502	1.564	2.195	0.134
	第 10 秒	0.503	1.571	2.195	0.132
	第 15 秒	0.487	1.606	2.185	0.133
	第 20 秒	0.456	1.629	2.235	0.136
	第 25 秒	0.484	1.617	2.265	0.134
	第 30 秒	0.507	1.604	2.265	0.132
	平均電壓	0.490	1.599	2.223	0.134



圖二十五 線圈纏繞的口徑與發電效能關係圖

2、實驗結果

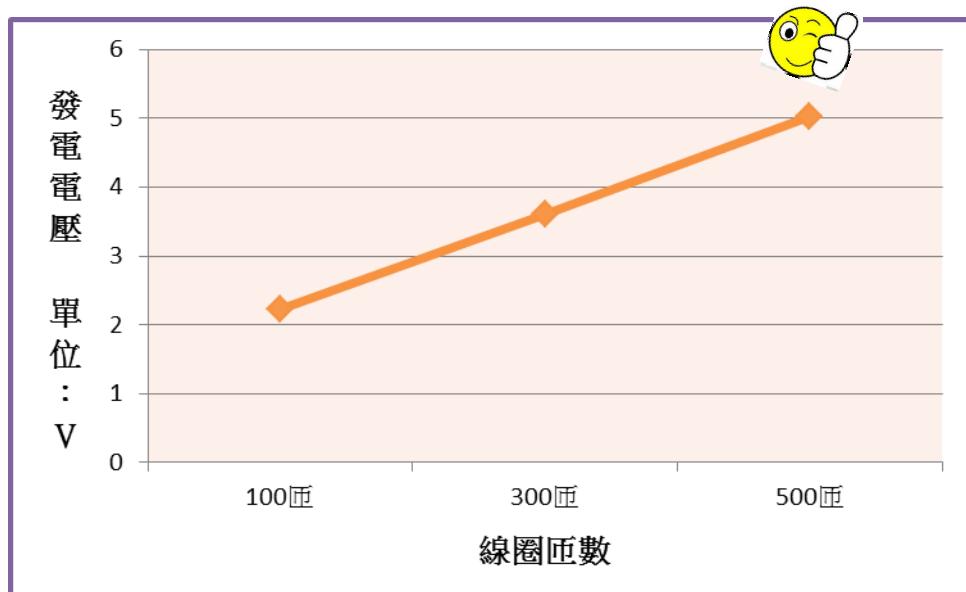
從實驗結果可發現發電機內的線圈纏繞口徑不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 2.6cm 的效能 > 2.2cm 的效能 > 1.8cm 的效能 > 3.4cm 的效能。

十二、探討垂直軸風力發電機其「線圈匝數」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表十一 各種線圈匝數其發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		線圈匝數		
		100 匝	300 匝	500 匝
電 壓 讀 值	第 5 秒	2.195	3.62	5.04
	第 10 秒	2.195	3.62	5.02
	第 15 秒	2.185	3.60	5.01
	第 20 秒	2.235	3.61	5.02
	第 25 秒	2.265	3.61	5.02
	第 30 秒	2.265	3.60	5.02
平均電壓		2.223	3.61	5.02



圖二十六 線圈匝數與發電效能關係圖

2、實驗結果

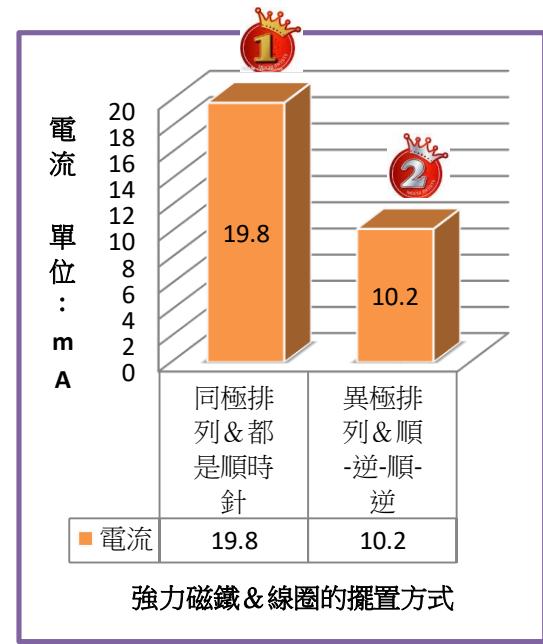
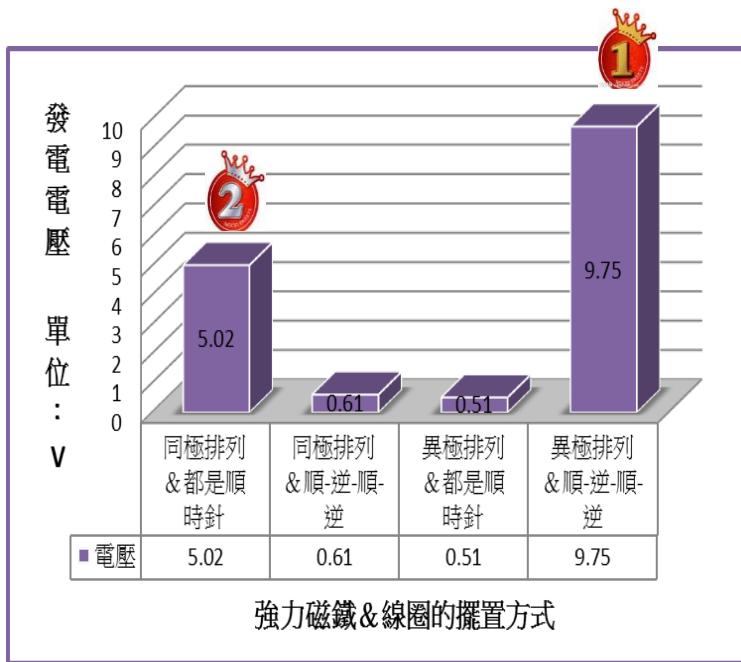
從實驗結果可發現發電機內的線圈纏繞匝數不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 500 匝的效能 > 300 匝的效能 > 100 匝的效能。

十三、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵與線圈的擺置方式」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表十二 各種強力磁鐵與線圈連接方式之發電效能比較表

發電效能 & 啟動情形		強力磁鐵與線圈的連接擺置方式			
		同極排列 & 都是順時針	同極排列 & 順-逆-順-逆	異極排列 & 都是順時針	異極排列 & 順-逆-順-逆
電壓 讀 值	第 5 秒	5.04	0.26	0.20	9.73
	第 10 秒	5.02	0.26	0.21	9.73
	第 15 秒	5.01	0.26	0.21	9.72
	第 20 秒	5.02	0.25	0.21	9.79
	第 25 秒	5.02	0.25	0.22	9.78
	第 30 秒	5.02	0.26	0.22	9.76
平均電壓		5.02	0.26	0.21	9.75
電流		19.8mA	-	-	10.2mA



圖二十七 強力磁鐵 & 線圈擺置方式與發電效能關係圖

圖二十八 強力磁鐵 & 線圈擺置方式與電流關係圖

2、實驗結果

(1) 從實驗結果可發現發電機內的強力磁鐵與線圈的擺置方式不同，產生的電壓亦不同，

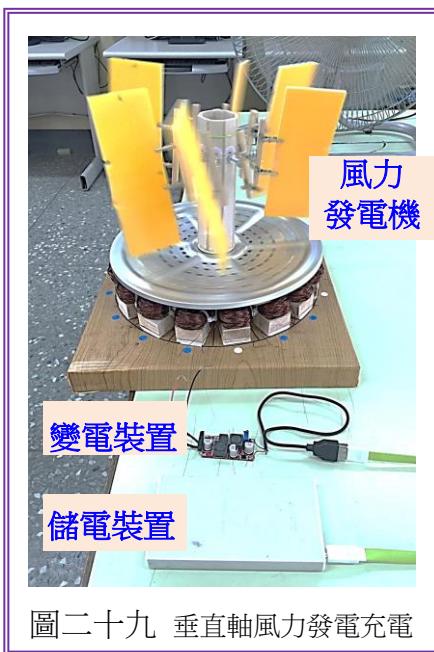
其優劣順序為【磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】>【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】>【磁鐵同極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】>【磁鐵異極排列&線圈都是順時針連接】，而且前兩者所產生的電壓遠大於後兩者。

(2) 為了使後續所研發的「垂直軸風力發電充電器」擁有最佳的充電效率，故此研究特別針對【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】和【磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】兩者進行電流測試，其結果為【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】>【磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】。

十四、研發一組「垂直軸風力發電充電器」。

(一) 我們將「風力機」與「發電機」兩部分最適化條件：葉片為 6 片不平均分散、葉長 16 公分&葉寬 6 公分的長方形、葉片攻角為 75° 、材質為珍珠板的組合，搭配 16 個強力磁鐵，與 16 個纏繞 500 匝的線圈，並以「磁鐵同極排列&線圈順時針連接」方式擺置，組裝成「垂直軸風力發電機」，再與「變電裝置」與「儲電裝置」連接，即完成「垂直軸風力發電充電器」(如圖二十九)。

(二) 當風力機轉動時，儲電裝置上的電源亮了黃燈，證明我們所研發的「垂直軸風力發電充電器」能有效的進行發電與儲電(如圖三十)！



圖二十九 垂直軸風力發電充電



圖三十 成功儲存電源

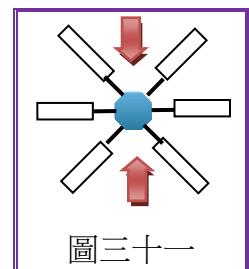
陸、討論

一、探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。

- 1、由「葉片數量」實驗結果：6片的發電效能>4片的發電效能>2片的發電效能>8片的發電效能，可發現當擷取風能的葉片由2片逐漸增加至6片，其所獲得的推力會隨之增加，故可使風力機轉動速度變快，而獲得更大的發電效能。
- 2、但從「8片葉片所產生的電壓最小」的結果來分析，可推論當葉片數量太多，不僅增加重量，且造成葉片太密集，使氣流流經葉片時形成更大的風阻，導致發電效能大打折扣。

二、探討垂直軸風力發電機其「葉片配置」對發電效能的影響。

在我們查閱的文獻參考資料4中指出風力機旋轉時會產生翼尖渦流，此渦流會對下個葉片產生阻力。換言之，雖然6片不平均分散與6片平均分散兩者擷取風能的面積相同，且葉片密集區所產生的翼尖渦流皆對葉片轉動造成負面影響，但前者裝置方式可使其中兩處葉片間隙變大（圖三十一中箭頭處），減少渦流對葉片造成的阻力，故發電效能優於後者。



圖三十一

三、探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。

- 1、當葉片面積相等時，各種形狀的葉片之發電效能依序為長方形>正方形>正三角形頂點朝外>圓形>正三角形底邊朝外，可知製作葉片時以矩形最具優勢，能獲得最大的發電效能。
- 2、由矩形葉片中「長方形的發電效能優於正方形的發電效能」之實驗結果來觀察，可得知相同面積的矩形葉片，會因為長寬比例不同，而有不同的發電效能。
- 3、由三角形葉片中「正三角形頂點朝外的發電效能優於正三角形底邊朝外的發電效能」之實驗結果來觀察，可推論這是因為正三角形底邊朝外最遠離軸心處的葉片範圍大，所產生的翼尖渦流亦大，在葉片轉動時造成較大的阻力，故發電效能不如正三角形頂點朝外。

四、探討垂直軸風力發電機其「面積相同，長寬比不同的葉片」對發電效能的影響。

- 1、我們繼續在此實驗中深究各種長寬比例葉片之發電效能，其實驗結果為9.1*7平方公分的效能>10.7*6平方公分的效能>12.8*5平方公分的效能>16*4平方公分的效能>8*8平方公分的效能>21.3*3平方公分的效能，再度證明即使矩形葉片的受風面積皆相同，但具有適中長寬比例者，才能產生最佳發電效能。

2、在文獻參考資料⁵中提及葉片弦長太短，會造成力矩太小而不利於風力機轉動；但弦長若超過某個程度，將使流入葉片的相對風速降低，產生阻塞效應，而降低風力機效能。故 $8*8$ 平方公分和 $21.3*3$ 平方公分的葉片發電效果較差，可推論前者因葉片寬度太大，因此降低了發電效能；後者則因葉片寬度太小，造成力矩不足，導致發電效能不彰。

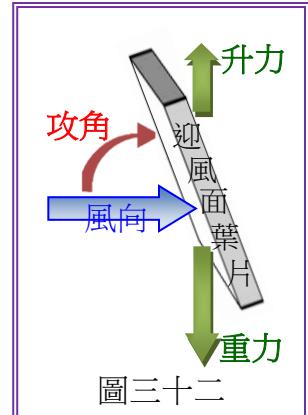
五、探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。

1、當葉片長度固定，而寬度不同時，其發電效能依序為 $16*6$ 平方公分的效能 $> 16*7$ 平方公分的效能 $> 16*5$ 平方公分的效能 $> 16*4$ 平方公分的效能 $> 16*3$ 平方公分的效能。整體上可發現擷取風能的葉片面積愈大，所獲得的發電效能也愈大，此外，當葉寬適度變大，其力矩亦隨之增加，將有效增益發電效能。

2、但 $16*7$ 平方公分的葉片之發電效能非獨占鰲頭，我們認為其原因如文獻參考資料⁵中所述，當葉片弦長太長，產生的氣流阻塞效應會減緩風力機的轉速，因而降低發電效能。

六、探討垂直軸風力發電機其「葉片攻角」對發電效能的影響。

1、各種不同攻角的葉片其發電效能依序為 75° 的效能 $> 90^\circ$ 的效能 $> 60^\circ$ 的效能 $> 45^\circ$ 的效能 $> 30^\circ$ 的效能 $> 15^\circ$ 的效能 $> 0^\circ$ 的效能。可見葉片與風向垂直時所產生的發電效能並不占優勢，反倒是葉片攻角呈 75° 時最佳。如圖三十二所示，當葉片攻角小於 90° 時，風力會對葉片產生一股升力，其方向與葉片重力相反，可相對減輕葉片的重力，提高葉片旋轉速度，進而產生較大的發電效能。



圖三十二

2、當攻角小於 75° 時，反而使葉片的受風範圍變小，推動葉片的力量減弱，風力機旋轉速度變慢，產生的電能因而隨之降低；甚至攻角為 0° 時，葉片完全不具有擷取風的能力，故無法獲得有效推力，因此完全沒有發電效果。

七、探討垂直軸風力發電機其「葉片材質」對發電效能的影響。

1、不同材質的葉片其發電效能依序為珍珠板的效能 $>$ 飛機木的效能 $>$ 塑膠瓦楞板的效能 $>$ 厚紙板的效能。我們發現其主因在於不同材質的葉片，重量亦不同，以珍珠板最輕，飛機木、塑膠瓦楞板次之，厚紙板最重。而重量輕者旋轉速度快，發電效能大；反之，重量重者旋轉速度慢，發電效能則小。

2、此實驗結果也能於今昔風力機葉片材質上再度得到驗證，過去常以鋁鈦合金來製造葉片，

但近來隨著材料科技的進步，葉片則改用玻璃纖維、碳纖維或複合材料來取代金屬材質，使其輕量化，以達提高發電效能之目的。

八、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵個數」對發電效能的影響。

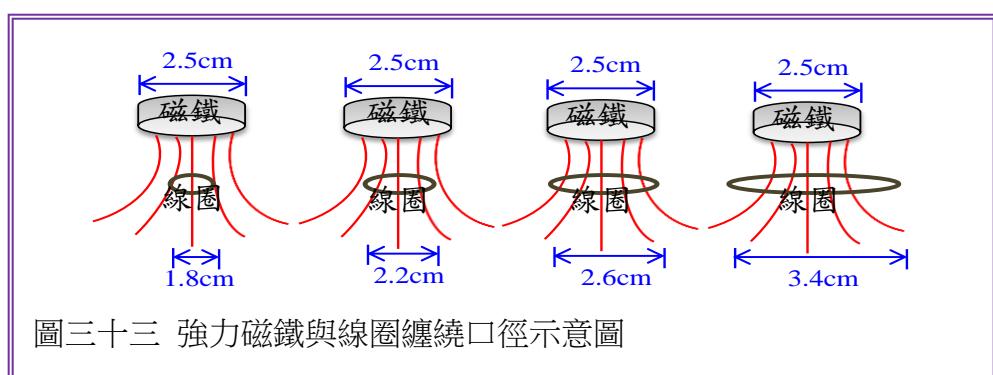
- 1、由實驗結果可發現強力磁鐵數量愈多，發電效能就愈高，兩者成正相關。換言之，當發電機內部空間大小許可下，可盡量使磁鐵數目增多，便可提高發電效能。
- 2、我們推論當風力機旋轉速度固定的情形下，當磁鐵數目愈多，每個線圈迴路中發生磁場變化的頻率就愈高，因此能產生較大的感應電動勢，進而獲得較佳的發電效能。

九、探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。

- 1、由實驗結果可發現線圈數量愈多，發電效能就愈高，兩者成正相關。換言之，當發電機內部空間大小許可下，可盡量使線圈個數增多，便可提高發電效能。
- 2、我們認為當風力機旋轉時，促使線圈迴路中磁場發生改變，進而產生感應電動勢。此時，連接愈多個線圈，猶如串聯愈多個電池，所獲得的電壓就愈高。換言之，線圈個數愈多，其發電效能就愈大。

十、探討垂直軸風力發電機其「線圈纏繞的口徑」對發電效能的影響。

- 1、當強力磁鐵直徑固定為 2.5cm 時，線圈纏繞的口徑不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 2.6cm 的效能 > 2.2cm 的效能 > 1.8cm 的效能 > 3.4cm 的效能。可發現線圈纏繞口徑若與強力磁鐵直徑相當，即可獲得最佳發電效能。
- 2、如圖三十三所示，當強力磁鐵直徑為 2.5cm，而線圈纏繞口徑小於強力磁鐵直徑時，通過線圈的磁力線數目較少，其發電效能並不佳；當線圈纏繞口徑為 2.6cm 時，磁力線能全部集中通過線圈，使線圈感應最大電能；但是當線圈纏繞口徑大於強力磁鐵直徑時，磁力線雖全部通過線圈，卻因距離線圈較遠，所獲得的發電效能反而降低。



十一、探討垂直軸風力發電機其「線圈匝數」對發電效能的影響。

由實驗結果可發現線圈匝數愈多，發電效能就愈高，兩者成正相關。這是因為增加線圈匝數即增加磁通量，而磁通量變化愈大，發電機所產生的電動勢也愈大，故發電機內部空間大小許可的情況下，盡量增加線圈匝數，便可提高發電效能。

十二、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵與線圈的擺置方式」對發電效能的影響。

1、由實驗結果可發現強力磁鐵與線圈的擺置方式不同，產生的電壓會就不同，其優劣順序為【磁鐵異極排列& 線圈順-逆-順-逆時針連接】>【磁鐵同極排列& 線圈都是順時針連接】>【磁鐵同極排列& 線圈順-逆-順-逆時針連接】>【磁鐵異極排列& 線圈都是順時針連接】。這是因為磁鐵排列方式決定了感應磁場方向，而線圈纏繞方式則決定感應電流的方向，兩者交互作用後，影響發電效能之優劣。

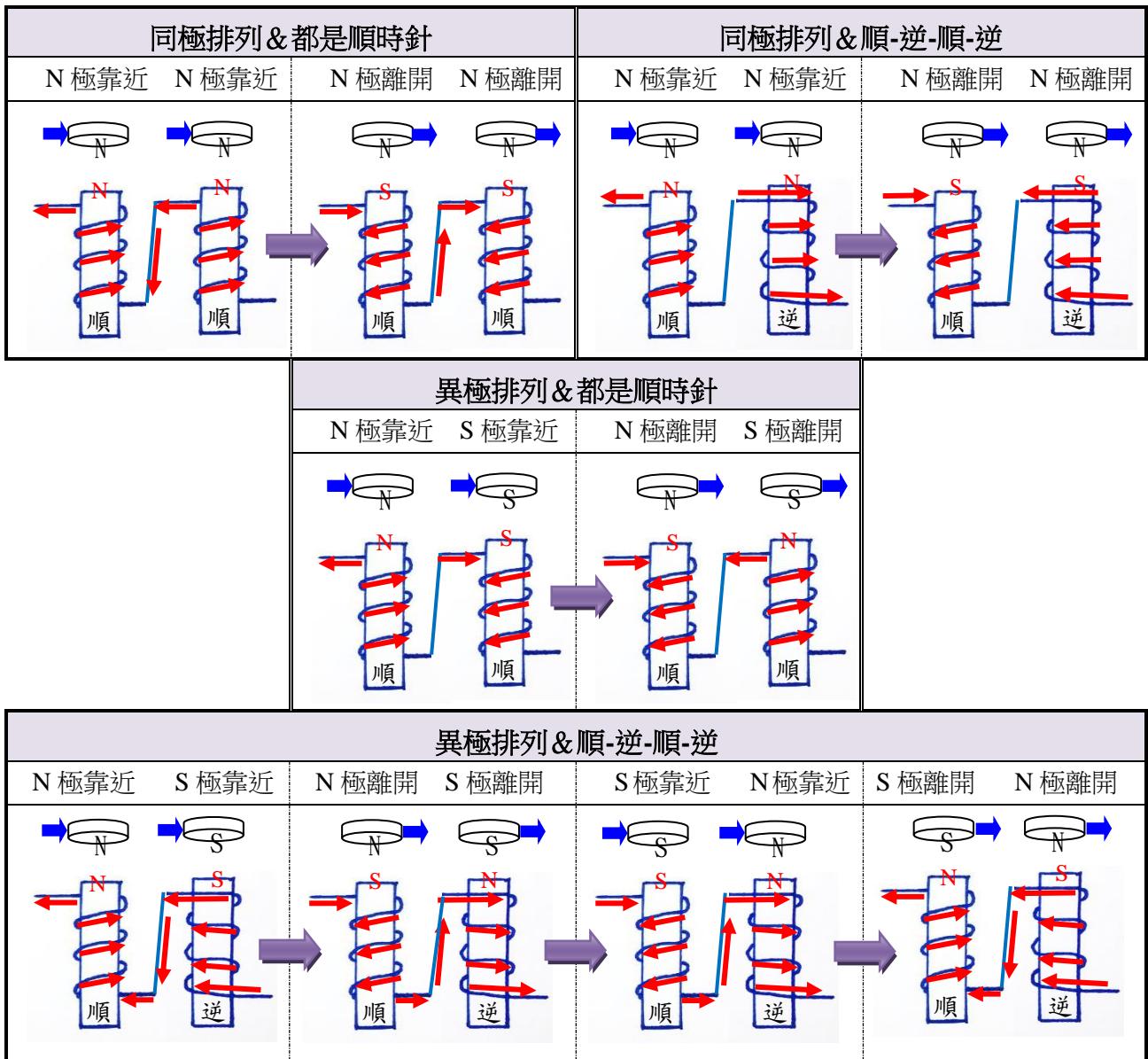
2、茲藉由圖三十四來圖解、分析本研究之結果：

(1)【磁鐵同極排列& 線圈都是順時針連接】可視為同極排列的磁鐵會使每個線圈感應磁場的方向一樣，而線圈都是順時針連接，猶如電池串聯般，正極接負極……，所感應的電壓相當於每個線圈感應電壓的總和。

(2)【磁鐵同極排列& 線圈順-逆-順-逆時針連接】和【磁鐵異極排列& 線圈都是順時針連接】的情況很雷同，兩者的擺置方式猶如將電池的正極接正極、負極接負極，所產生的電壓就會相當弱，甚至接近於零。

(3)【磁鐵異極排列& 線圈順-逆-順-逆時針連接】，其電動勢的改變強度比【磁鐵同極排列& 線圈都是順時針連接】多了一倍，所以電壓自然就多了近一倍。

3、深究【磁鐵同極排列& 線圈都是順時針連接】和【磁鐵異極排列& 線圈順-逆-順-逆時針連接】這兩組的電壓與電流關係，會發現前者 $5.02\text{V} \times 19.8\text{mA} = 99.4\text{ mW}$ ，而後者 $9.75\text{V} \times 10.2\text{mA} = 99.5\text{ mW}$ ，可視兩者的電功率幾乎相同。換言之，【磁鐵同極排列& 線圈都是順時針連接】和【磁鐵異極排列& 線圈順-逆-順-逆時針連接】兩者所獲得的電功率幾乎相同，所以當後者的電壓多了近一倍，其電流自然就只剩一半。



圖三十四「強力磁鐵與線圈的擺置方式」與發電情形分析圖

十三、研發一組「垂直軸風力發電充電器」。

1、在「強力磁鐵與線圈的擺置方式對發電效能的影響」之實驗中，證明【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】與【磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】兩種裝置方式有較佳的發電效能。為了繼續研發一組垂直軸風力發電充電器，我們考量了後者雖可產生較大的電壓，但其電流卻較小，充電時間也會因此拉長，故決定採用【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】裝置。

2、本研究選擇行動電源作為儲電裝置，當它完成儲電後即可供手機或平板電腦充電。若儲電裝置改用 3 號充電電池，我們所設計的「垂直軸風力發電充電器」將可更廣泛提供小型電器用電，家家戶戶落實節能減碳將不再是口號而已！

柒、結論

- 1、擷取風能的葉片由 2 片逐漸增加至 6 片，其獲得的推力會隨之增加，可使風力機轉動速度變快，而獲得更大的發電效能；但當葉片多達八片，不僅增加負重，且造成空間太密集，使氣流流經葉片時形成更大的風阻，導致發電效能大打折扣。
- 2、6 片不平均分散與 6 片平均分散的葉片裝置方式，其擷取風能的面積雖完全相等，惟前者裝置方式使兩處葉片間隙變大，可削弱渦流對葉片造成的阻力，故發電效能優於後者。
- 3、當葉片面積相等時，長方形葉片發電效能優於正方形、正三角形和圓形葉片。若使相同受風面積的正三角形葉片裝置方向相反，會因產生的渦流狀況不同，其發電效能亦有截然不同的效果。
- 4、受風面積相同的矩形葉片中，會因長寬比例不同，使發電效能有優劣之分，其中以葉片寬度過短或過長的風力機發電效能最差；而葉片長度和寬度適中者 ($9.1*7$ 平方公分)，可得到最佳發電效能。
- 5、當葉片的長度固定、寬度不同時，可發現隨著葉片寬度增加，其發電效能也會增加；但當寬度過長時，反而會產生氣流阻塞效應，減緩風力機的轉速，因而削弱了發電效能。
- 6、當葉片攻角為 90° 時，其發電效能並不占優勢；而葉片攻角過小時，會使葉片的受風範圍變小，推動葉片的力量減弱，風力機旋轉速度變慢，產生的電能因而隨之降低；而當攻角呈 75° 時，既不使受風面積減少太多，又可對葉片產生一股升力，故獲得的發電效能最佳！
- 7、不同材質的葉片其發電效能也不同，以珍珠板最佳，飛機木、塑膠瓦楞板次之，而厚紙板最差。此乃因為葉片材質不同，重量也有所差異，重量輕者旋轉速度快，發電效能大；重量重者旋轉速度慢，發電效能小。
- 8、發電機中的強力磁鐵數量愈多，每個線圈迴路中發生磁場變化的頻率就愈高，因此能產生較大的感應電動勢，進而獲得較佳的發電效能。
- 9、風力機旋轉時，促使線圈迴路中磁場發生改變，進而產生感應電動勢。此時，連接愈多個線圈，猶如串聯愈多個電池，所獲得的電壓就愈高，意即線圈個數愈多，發電效能就愈高。
- 10、當線圈纏繞口徑小於強力磁鐵直徑時，穿過線圈的磁力線數目較少，發電效能較差；當纏繞口徑大於強力磁鐵直徑時，磁力線雖全部通過線圈，卻因距離線圈較遠，所獲得的

發電效能亦不理想；唯有線圈纏繞口徑與強力磁鐵直徑相當時，方可獲得最佳發電效能。

11、增加線圈匝數即增加磁通量，而磁通量變化愈大，發電機所產生的電動勢也愈大。換言之，線圈纏繞愈多匝，發電效能就愈高。

12、【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】與【磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】兩種裝置可獲得較佳的功率，惟兩者的差異在於前者電壓小、電流大；後者電壓大、電流小。

13、將垂直軸風力發電機連接變電裝置與儲電裝置，即可完成「垂直軸風力發電充電器」，能廣泛提供手機、平板電腦或小型電器用品進行充電。

捌、參考資料及其他

1、牛山泉、關和市（民100）。**垂直軸風車**。台北市：台大出版中心。

2、風能教育知識網，取自：<http://windenergy.cycu.edu.tw/>

3、康軒文教事業股份有限公司（民104）。自然與生活科技課本六上第七冊，**電磁作用**（68-83頁）。台北市：康軒出版社。

4、張智堯（民100）。**螺旋式垂直軸風力機的氣動力模擬**。國立中央大學機械工程研究所碩士論文，桃園市。

5、張潔齡（民104）。**垂直軸升阻力混合型風車流場之數值模擬**。淡江大學航空太空工程學系研究所碩士論文，新北市。

6、關於小型垂直軸風力發電機，取自：http://www.hi-vawt.com.tw/tw/tw_about_vaswt.html

【評語】 080106

研究方法具科學性，數據仔細表達清楚。對風扇設計的討論很有趣，若能更量化的討論輸出功率更佳。