

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 蘇紘禾	
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 不平均分數、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，於自家的魚塢旁架起風車，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

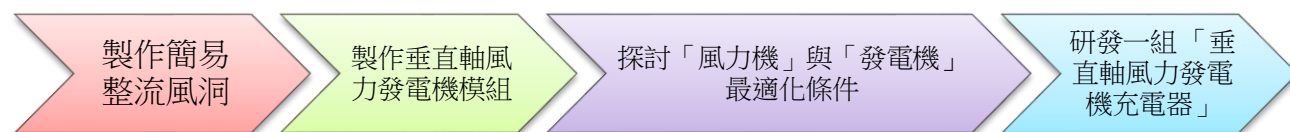
- 一、設計一組「簡易整流風洞」與「垂直軸風力發電機模組」。
- 二、探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。
- 三、探討垂直軸風力發電機其「葉片配置」對發電效能的影響。
- 四、探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。
- 五、探討垂直軸風力發電機其「面積相同，長寬比不同的葉片」對發電效能的影響。
- 六、探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。
- 七、探討垂直軸風力發電機其「葉片攻角」對發電效能的影響。
- 八、探討垂直軸風力發電機其「葉片材質」對發電效能的影響。
- 九、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵個數」對發電效能的影響。
- 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



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

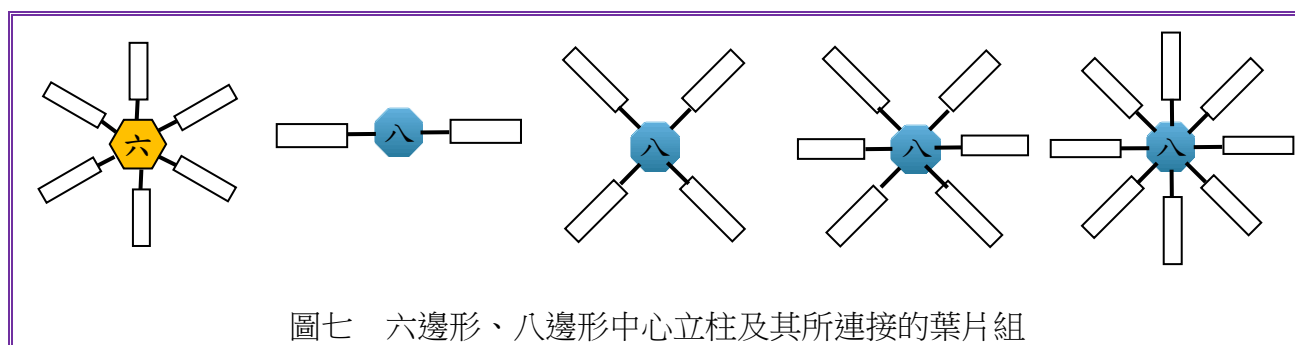
如圖六，第二代的垂直軸風力發電機中，整個基座和支架改用實木製成以提高穩固性；旋轉盤部分則改採質地較輕的鋁製炊盤；而轉動軸承則是改用家中廢棄的小型抽風機軸承，並且置於基座底部，故大幅改善了第一代轉動軸承與基部間摩擦力的狀況。然而，支架的存在限制了葉片的大小，而且抽風機軸承的摩擦力仍是過大，因此決定去除支架，並且繼續找尋更理想的轉動軸承。



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 片平均分數形式的葉片組，而後者則能連接 2 片、4 片、6 片不平均分數與 8 片的葉片組。



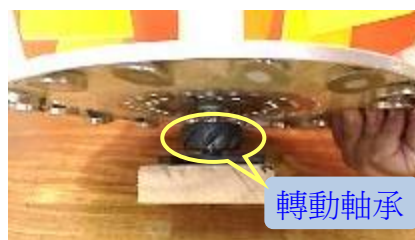
圖七 六邊形、八邊形中心立柱及其所連接的葉片組

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。



圖八 中心立柱細部構造

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

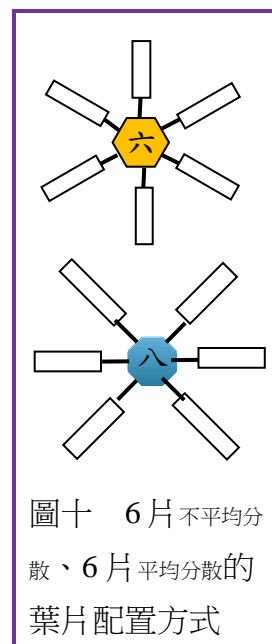
三、探討「風力機」與「發電機」最適化條件

（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。



（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。

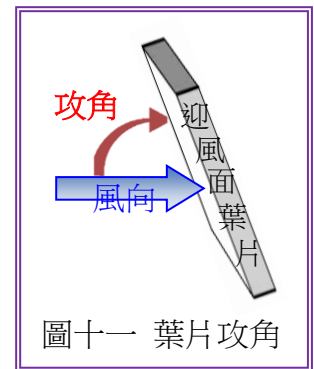
- 1、操縱變因：長寬比不同的葉片（長與寬分別為21.3*3、16*4、12.8*5、10.7*6、9.1*7和8*8平方公分）。
- 2、控制變因：風力機部分採用6片不平均分散、面積為64平方公分的矩形珍珠板葉片、葉片攻角為90°；發電機部分則採用8個直徑2.5公分的強力磁鐵，與8個纏繞100匝（口徑2.2公分）的線圈。
- 3、實驗步驟：與【探討葉片數量對發電效能的影響】該實驗步驟相同。

（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 片不平均分數、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。



圖十一 葉片攻角

(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 片不平均分數、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 片不平均分數、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 片不平均分數、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 片不平均分數、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 片不平均分數、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。

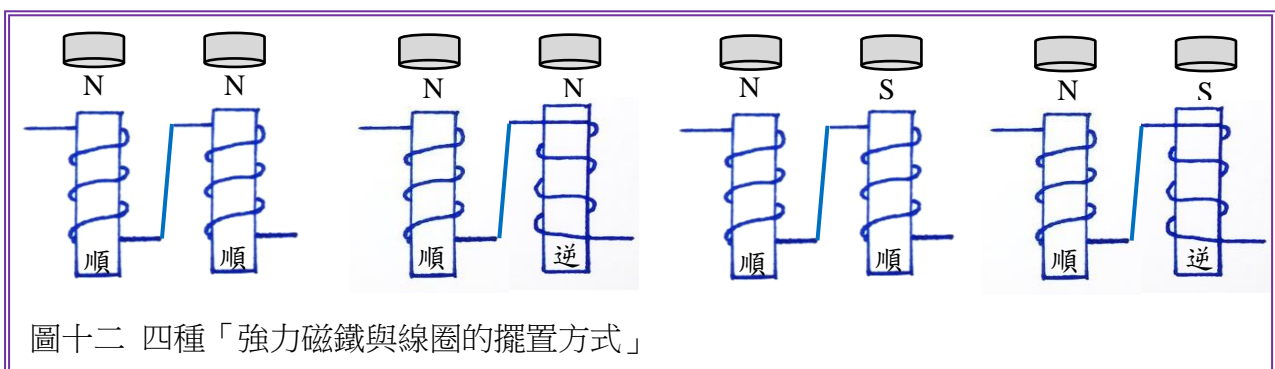
1、操縱變因：強力磁鐵與線圈的擺置方式（共有四種不同方式，如圖十二）。

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。



2、控制變因：風力機部分採用 6 片不平均分數、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。



圖十三 變電裝置

(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」。

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。



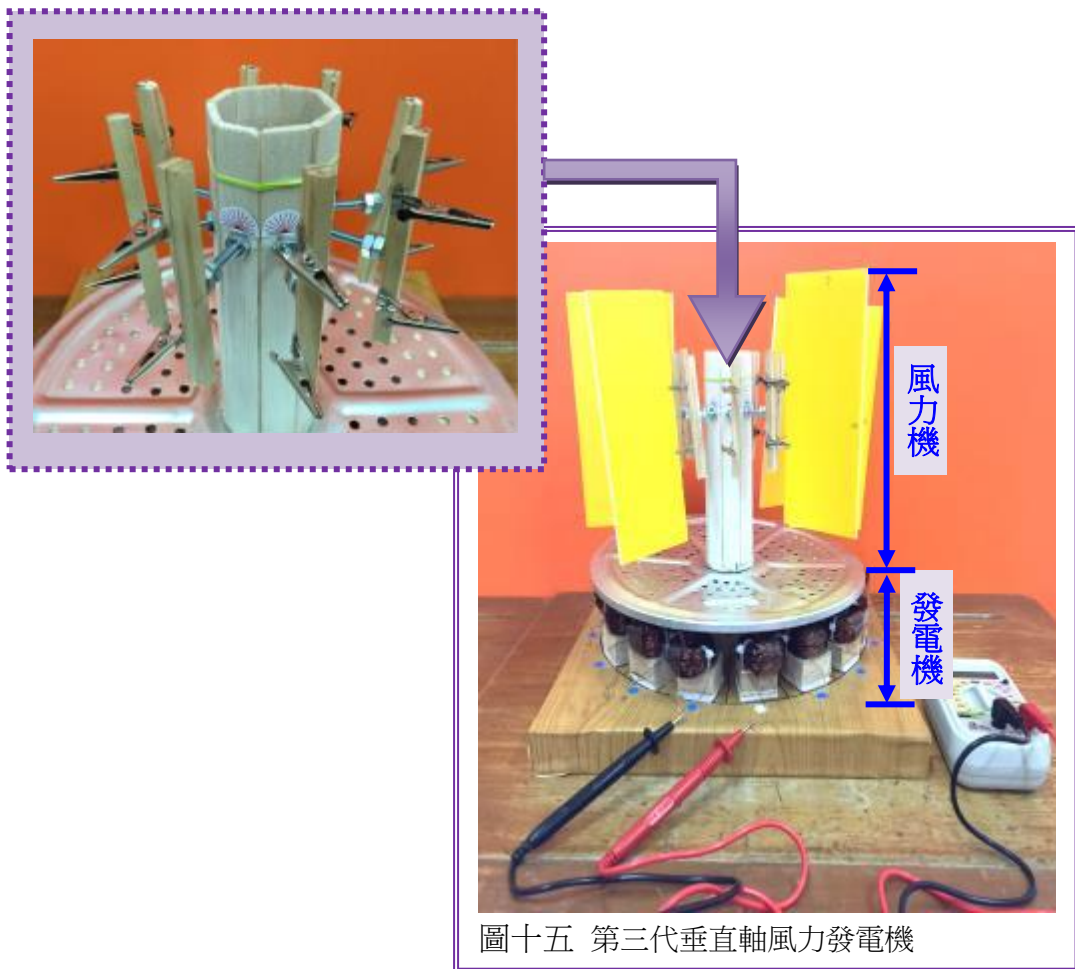
圖十四 簡易整流風洞

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、量角器和鱷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。

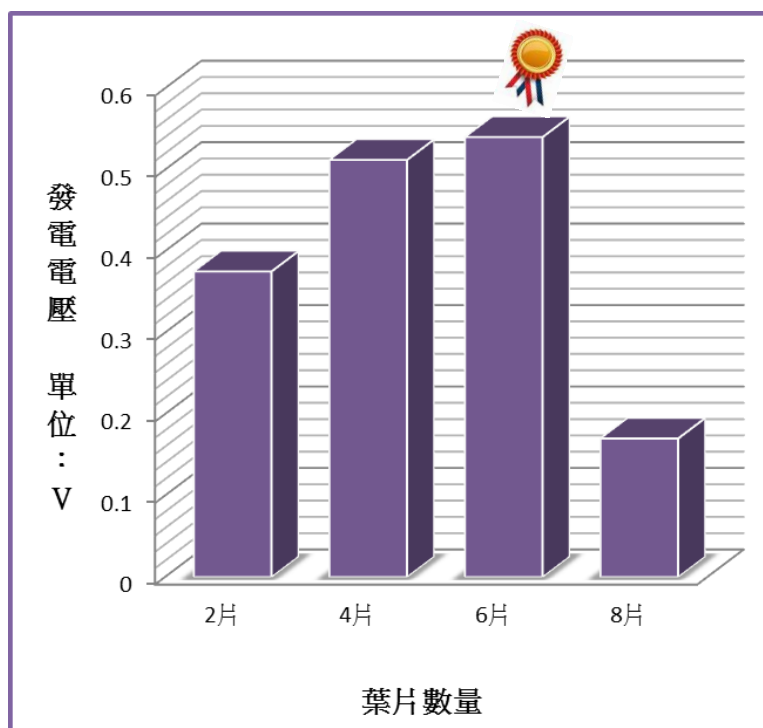


二、探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。

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

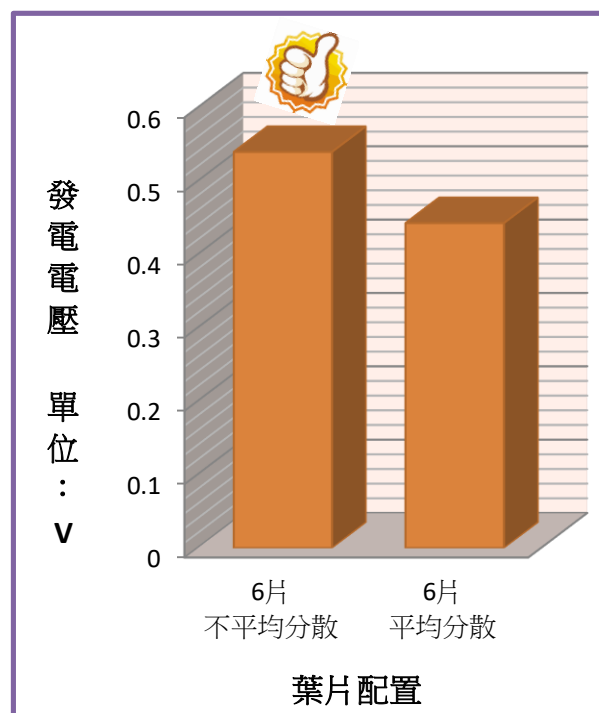
從實驗結果可發現各種葉片數量的發電效能依序為 6 片的效能 > 4 片的效能 > 2 片的效能 > 8 片的效能。

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

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



圖十七 各種葉片配置與發電效能關係圖






2、實驗結果

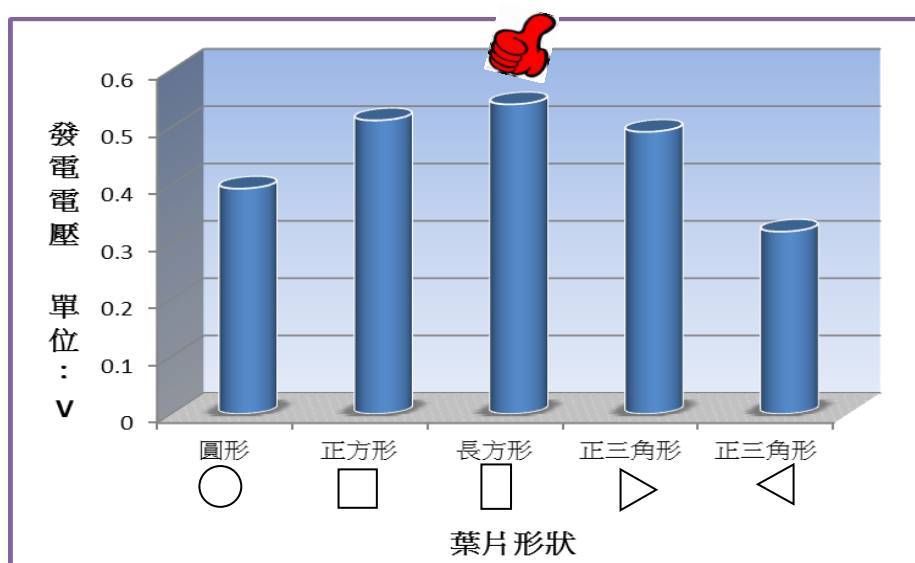
從實驗結果可發現葉片不同配置方式的發電效能依序為 6 片不平均分散的效能 > 6 片平均分散的效能。

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	
		 圓形	 正方形	 長方形	 頂點朝外	 底邊朝外
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

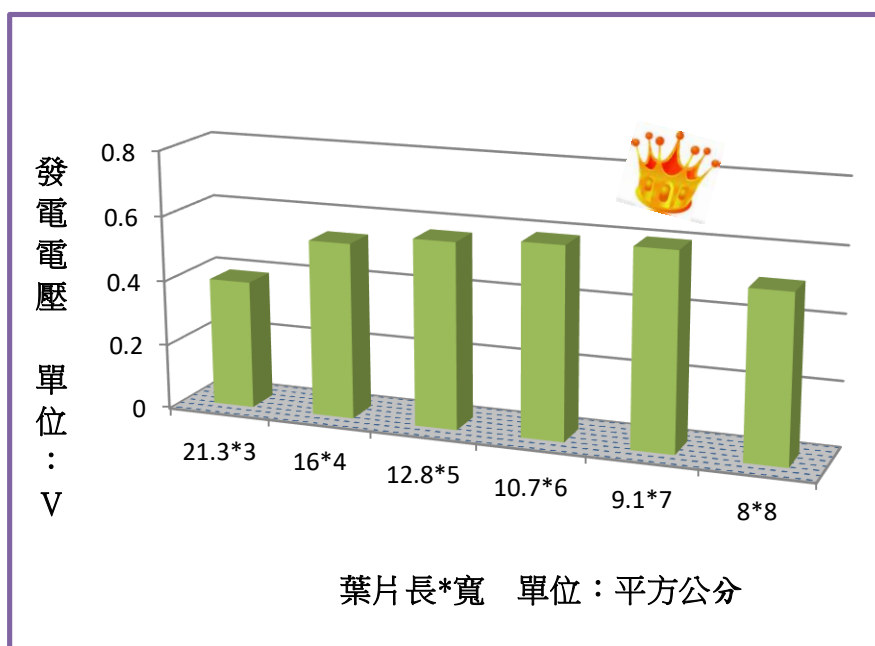
- (1) 從實驗結果可發現葉片面積相同時，各種葉片形狀的發電效能依序為長方形>正方形>正三角形頂點朝外>圓形>正三角形底邊朝外。
- (2) 從矩形部分來分析，當面積相等時，長方形的發電效能優於正方形。
- (3) 從正三角形部分來分析，葉片裝置的方向不同，其發電效能也會有優劣之分。

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

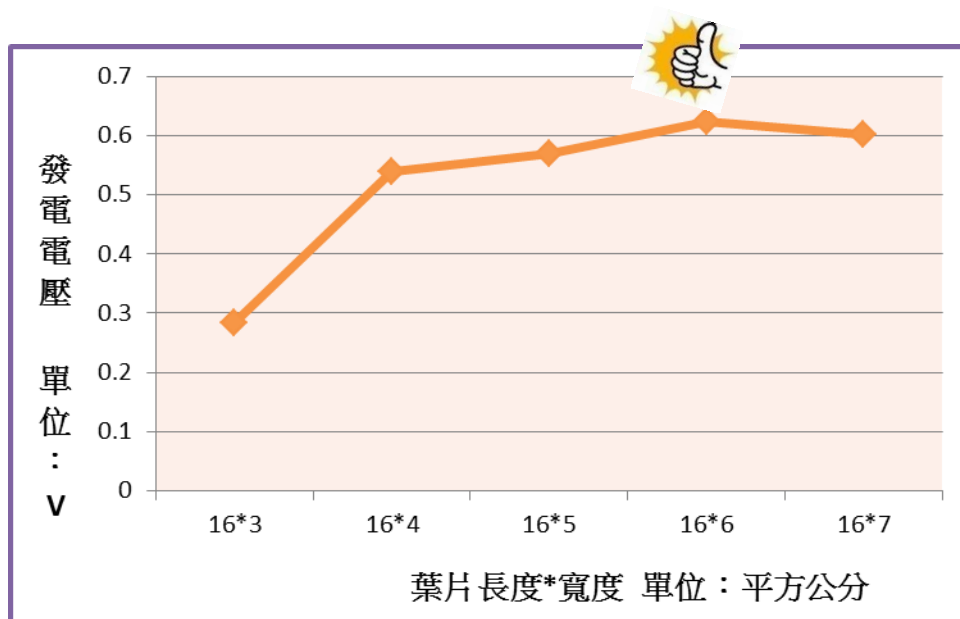
9.1*7 平方公分的效能 > 10.7*6 平方公分的效能 > 12.8*5 平方公分的效能 > 16*4 平方公分的效能 > 8*8 平方公分的效能 > 21.3*3 平方公分的效能。

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

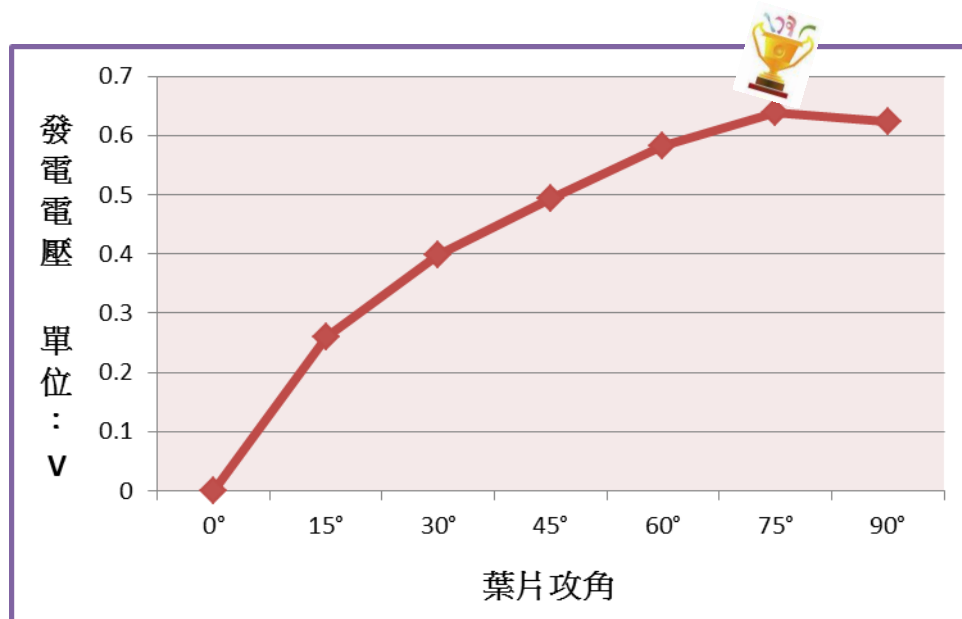
從實驗結果可發現不同「長度*寬度」的葉片，其發電效能依序為 16*6 平方公分的效能 > 16*7 平方公分的效能 > 16*5 平方公分的效能 > 16*4 平方公分的效能 > 16*3 平方公分的效能。

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

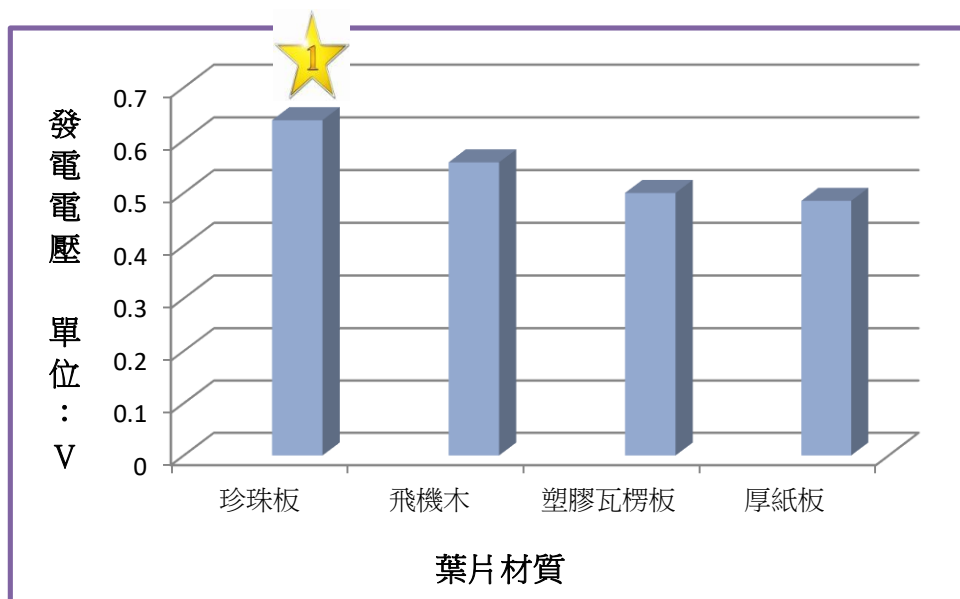
從實驗結果可發現各種「不同攻角」的葉片，其發電效能依序為 75°的效能 > 90°的效能 > 60°的效能 > 45°的效能 > 30°的效能 > 15°的效能 > 0°的效能。

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

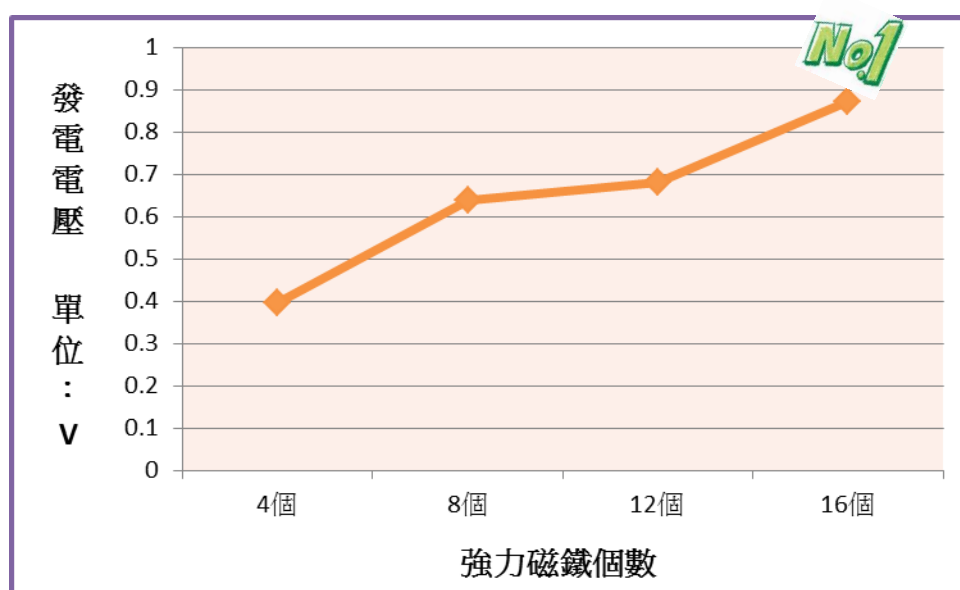
從實驗結果可發現當葉片面積相同時，不同材質的葉片其發電效能依序為珍珠板的效能 > 飛機木的效能 > 塑膠瓦楞板的效能 > 厚紙板的效能。

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

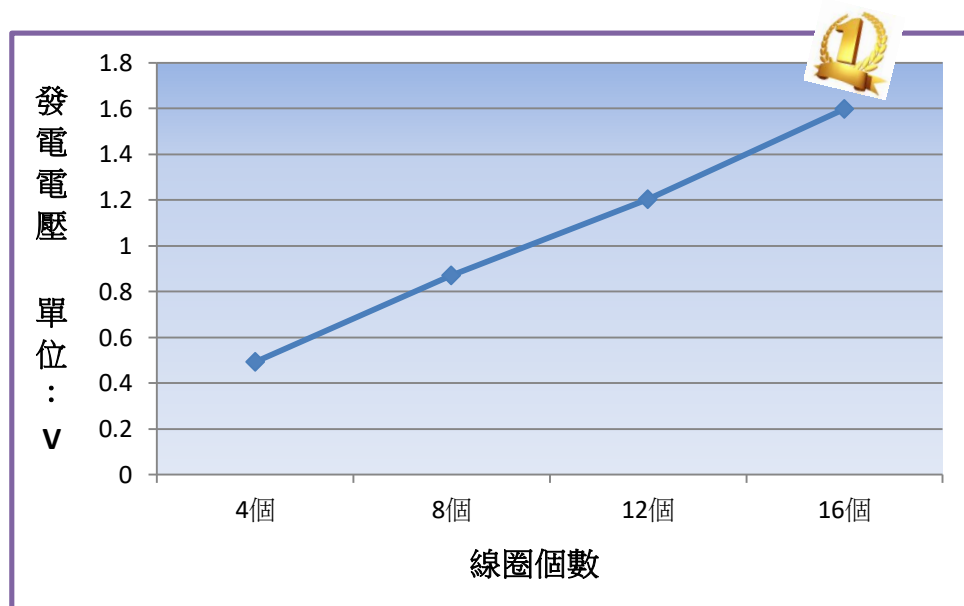
從實驗結果可發現發電機內裝置不同數量的強力磁鐵，其發電效能依序為 16 個的效能 > 12 個的效能 > 8 個的效能 > 4 個的效能。換言之，強力磁鐵的數量愈多，發電效能就愈高。

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

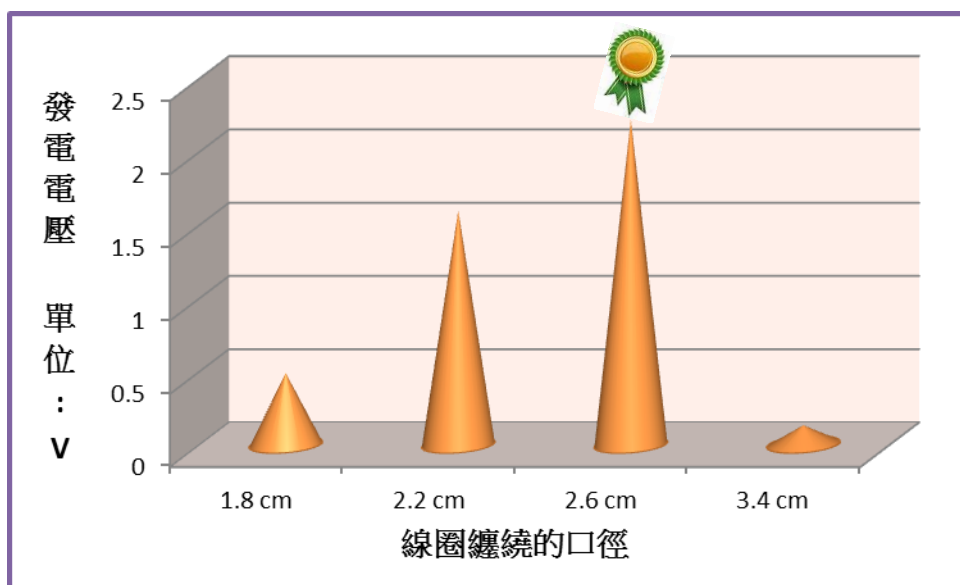
從實驗結果可發現發電機內裝置不同數量的線圈，其發電效能依序為 16 個的效能 > 12 個的效能 > 8 個的效能 > 4 個的效能。換言之，線圈數量愈多，發電效能則愈高。

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

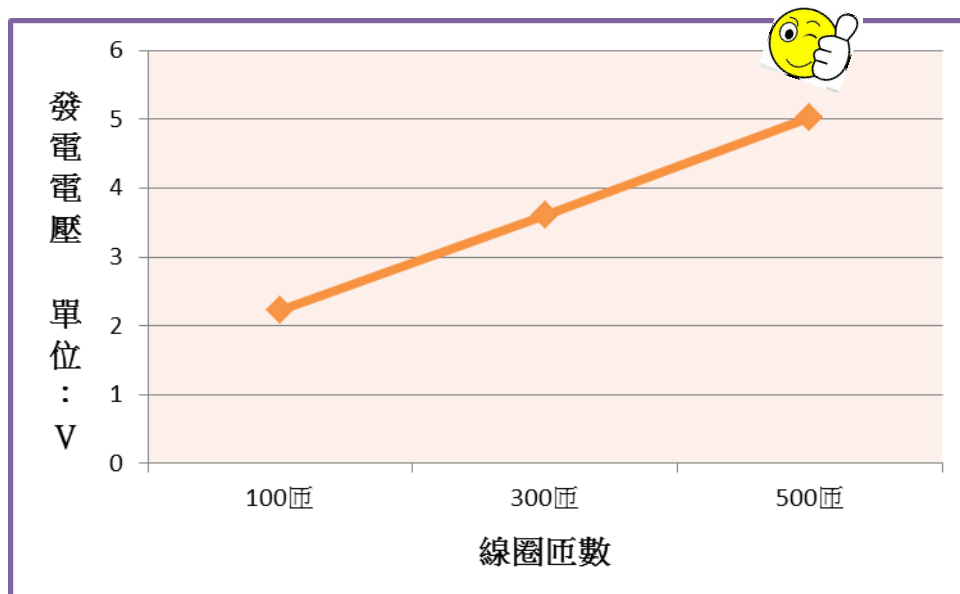
從實驗結果可發現發電機內的線圈纏繞口徑不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 2.6cm 的效能 > 2.2cm 的效能 > 1.8cm 的效能 > 3.4cm 的效能。

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

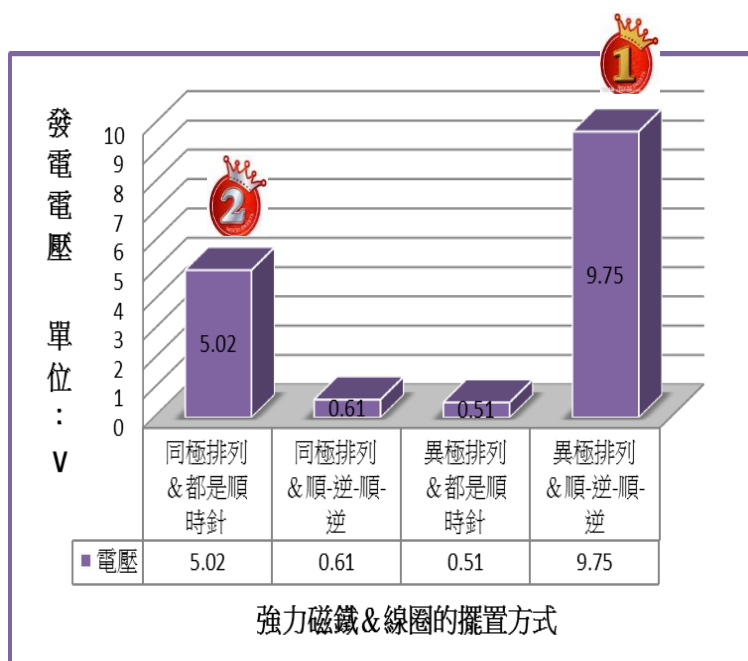
從實驗結果可發現發電機內的線圈纏繞匝數不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 500 匝的效能 > 300 匝的效能 > 100 匝的效能。

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。

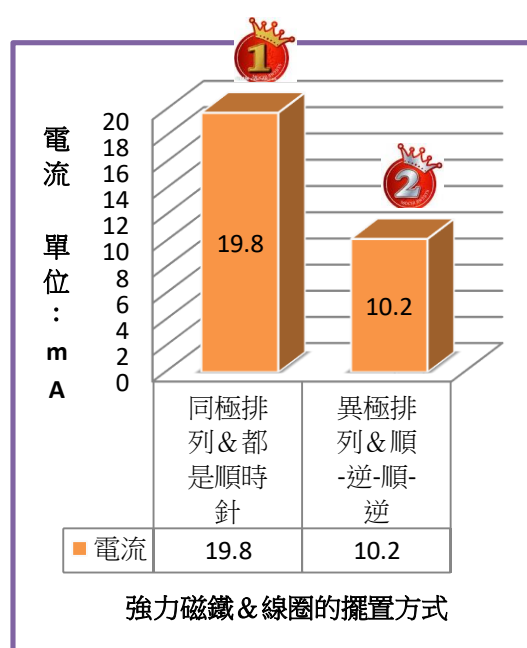
1、實驗記錄

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

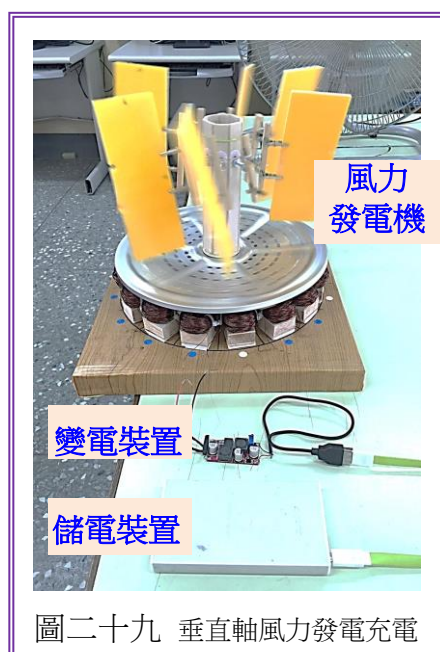
(1) 從實驗結果可發現發電機內的強力磁鐵與線圈的擺置方式不同，產生的電壓亦不同，

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)！



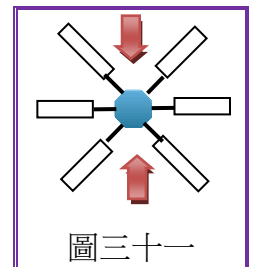
陸、討論

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。



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。

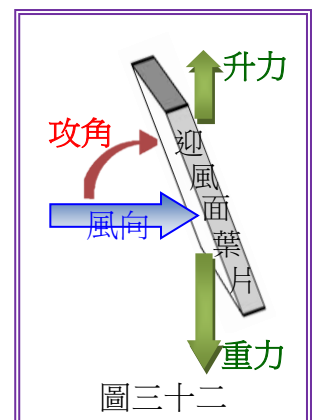
五、探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。

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 $> 16 \times 7$ 平方公分的效能 $> 16 \times 5$ 平方公分的效能 $> 16 \times 4$ 平方公分的效能 $> 16 \times 3$ 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。



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。

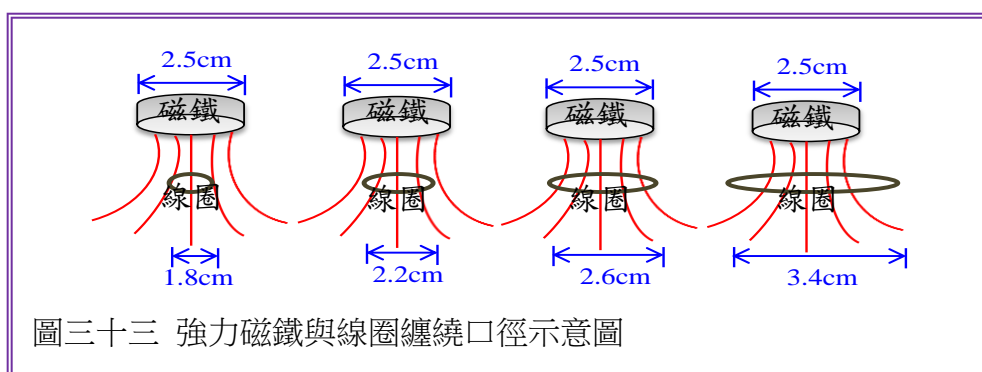
- 1、由實驗結果可發現強力磁鐵數量愈多，發電效能就愈高，兩者成正相關。換言之，當發電機內部空間大小許可下，可盡量使磁鐵數目增多，便可提高發電效能。
- 2、我們推論當風力機旋轉速度固定的情形下，當磁鐵數目愈多，每個線圈迴路中發生磁場變化的頻率就愈高，因此能產生較大的感應電動勢，進而獲得較佳的發電效能。

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。

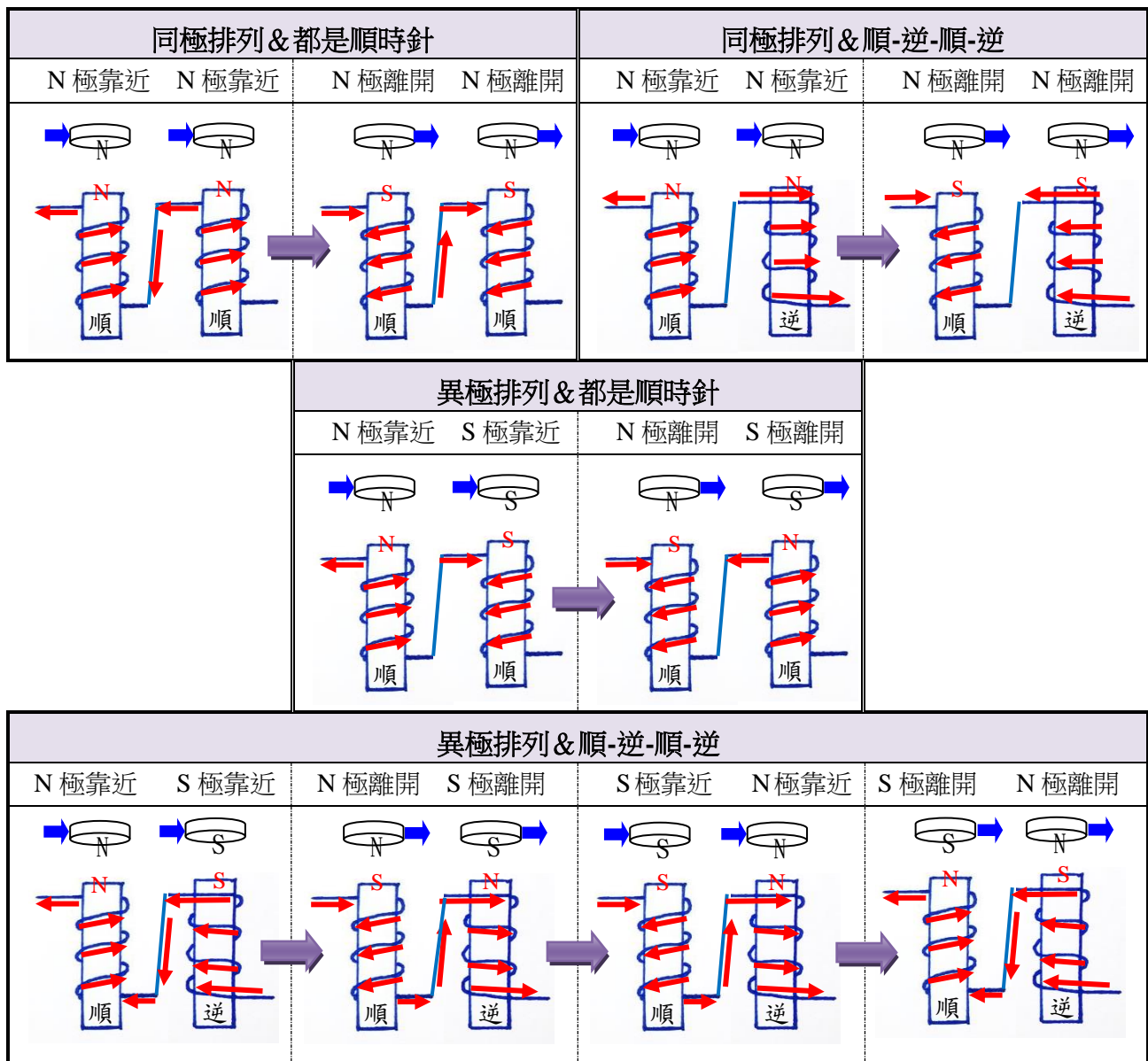
2、茲藉由圖三十四來圖解、分析本研究之結果：

(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 不均匀分散 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。