

舞風高手—垂直軸風力發電機之研究與應用

摘要

在全球關注溫室效應議題之際，我們得知綠色能源種類繁多，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、葉片與風向呈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」方式擺置，能獲得最佳發電效能。最後，我們據此研發一組「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，得知就在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。

回到學校後，我們透過小組討論與查閱資料，了解垂直軸風力發電機有噪音低、設置地點限制小、可吸收任何風向的能量等優勢，因此我們計畫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佳組合條件，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。



圖一 請教風車達人



圖二 製作風車









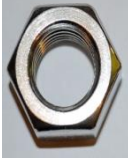



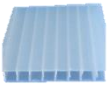












圖三 與風車達人合照

貳、研究目的

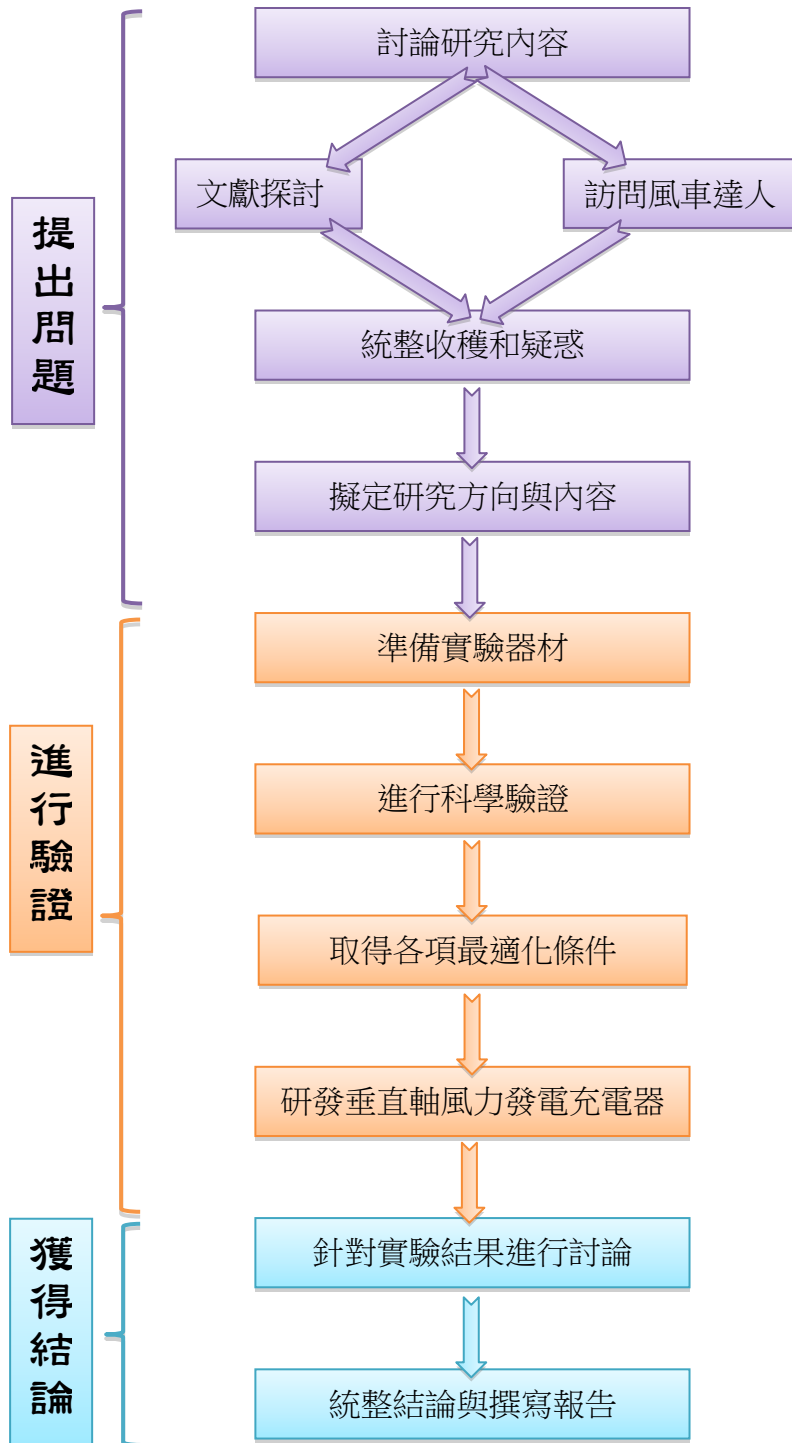
- 一、設計出一組「垂直軸風力發電機」。
- 二、探討垂直軸風力發電機其「葉片數量」對發電效能的影響。
- 三、探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。
- 四、探討垂直軸風力發電機其「面積相同，長寬比不同的葉片」對發電效能的影響。
- 五、探討垂直軸風力發電機其「長度相同，寬度不同的葉片」對發電效能的影響。
- 六、探討垂直軸風力發電機其「迎風面葉片與風向的夾角」對發電效能的影響。
- 七、探討垂直軸風力發電機其「葉片材質」對發電效能的影響。
- 八、探討垂直軸風力發電機其「強力磁鐵個數」對發電效能的影響。
- 九、探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。
- 十、探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。
- 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。
- 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。
- 十三、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
							
儲電裝置	行動電源	皿頭螺絲	螺帽	螺絲墊片	鋁製炊盤	T 型板手	鋸子
							
珍珠板	塑膠瓦楞板	飛機木	厚紙板	砂紙	珍奶吸管	木板	鐵尺
							
美工刀	剪刀	圓規	圓規刀	瞬間膠	泡棉膠帶	雙面膠帶	

肆、研究過程或方法

一、研究流程



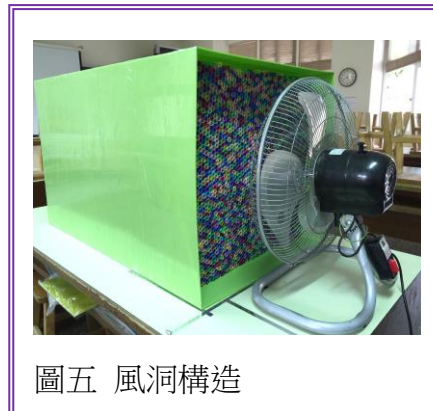
圖四 研究流程圖

二、研究方法與步驟

(一) 設計出一組簡易「垂直軸風力發電機」。

1、製作簡易整流風洞

為了讓研究過程中，氣流能穩定吹到我們設計的葉片上，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，其整體構造如圖五。



2、製作垂直軸風力發電機

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，故此過程中，從設計基座、葉片組，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」。茲將其裝置與結構分述如下：

【第一代垂直軸風力發電機】

如圖六，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；由飛機木製成的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。



【第二代垂直軸風力發電機】

如圖七，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。

原本第一代的飛機木旋轉盤，改用質地較輕的鋁製炊盤；且淘汰了飛機木條製成的轉動軸承，改採家中廢棄的小型抽風機軸承置於基座底部取代之，減少了轉動軸承與基座間的摩擦力。

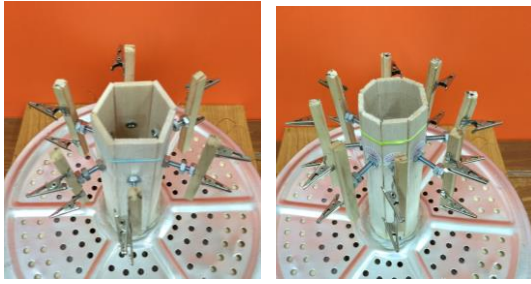
然而，研發過程中，我們發現支架的存在限制了葉片的大小，而且抽風機軸承的摩擦力仍是過大，因此決定去除支架，並且繼續找尋更理想的轉動軸承。



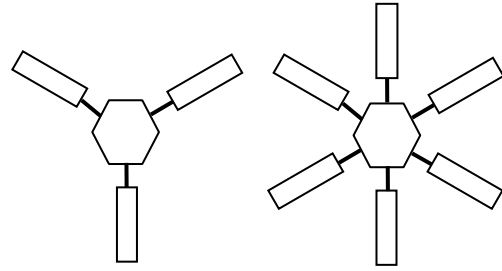
【第三代垂直軸風力發電機】

(1) 風力機部分

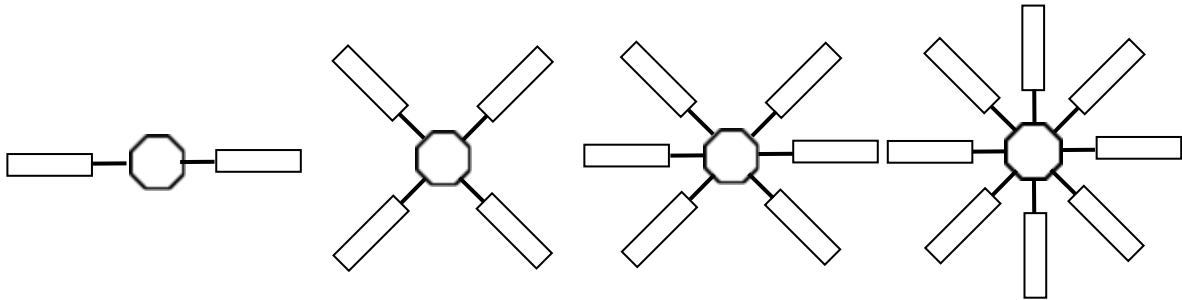
為了順利探討葉片組的各項變因，我們精心設計了六邊形與八邊形中心立柱（如圖八），前者可以連接3片與6片平均分散這兩種形式的葉片組（如圖九），而後者則能連接2片、4片、6片不平均分散與8片的葉片組（如圖十）。另外，圖十一中的螺帽與量角器可以方便調整各葉片的角度；而鱷魚夾則能順利置換葉片，大幅提高研究過程的效率。



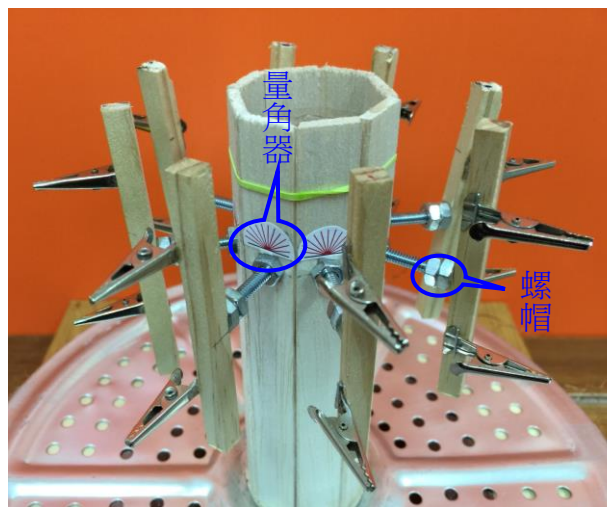
圖八 六邊形與八邊形的中心立柱



圖九 3片和6片平均分散形式葉片組俯視圖



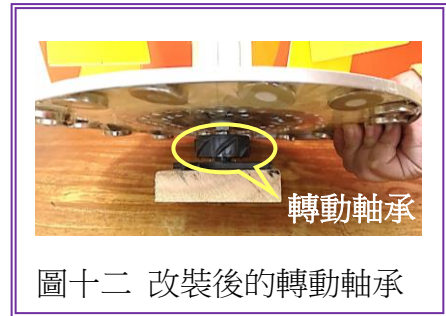
圖十 2片、4片、6片不平均分散與8片形式葉片組俯視圖



圖十一 中心立柱細部構造

(2) 發電機部分

由於第二代抽風機軸承的摩擦力仍是過大，因此我們試著取下舊電腦中的散熱風扇，並拆除其葉片後，黏貼於木塊上（如圖十二），一經測試，發現摩擦力小多了，故採用它作為轉動軸承。此外，歷經多次的嘗試，我們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，最後，終於完成本研究的「垂直軸風力發電機」模組！



圖十二 改裝後的轉動軸承

(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、以珍珠板製作出 16*4 平方公分的長方形葉片。
- 2、將各葉片數量（2 片、3 片、4 片、6 片不平均分數、6 片平均分數、8 片）的葉片組，以 90°夾角固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。其中，將 2 片、4 片、6 片不平均分數與 8 片裝置於八角形的中心立柱上；而 3 片與 6 片平均分數則是裝置於六角形的中心立柱上。
- 3、發電機組乃採用 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區（如圖十三）。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。



圖十三 簡易風洞測量區

(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、以珍珠板分別製作出面積為 64 平方公分的圓形、矩形和正三角形葉片。
- 2、葉片組皆以 90°夾角，及 6 片不平均分數的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組乃採用 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(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、以珍珠板分別製作出 21.3*3、16*4、12.8*5、10.7*6、9.1*7 和 8*8 平方公分（面積皆為 64 平方公分）的長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 90°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組乃採用 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(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、以珍珠板分別製作出 16*3、16*4、16*5、16*6、和 16*7 平方公分的長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 90°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組乃採用 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(六) 探討垂直軸風力發電機其「迎風面葉片與風向的夾角」對發電效能的影響。

- 1、以 16*6 平方公分的珍珠板製成長方形葉片。
- 2、葉片組分別以 15°、30°、45°、60°、75°、90°夾角（如圖十四），及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上。
- 3、發電機組乃採用 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。



- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(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、以 16*6 平方公分的珍珠板、飛機木、塑膠瓦楞板和厚紙板製成長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 75°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組乃採用 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(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、以 16*6 平方公分的珍珠板製成長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 75°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組部分則是分別裝置 4、8、12 和 16 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。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(九) 探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。

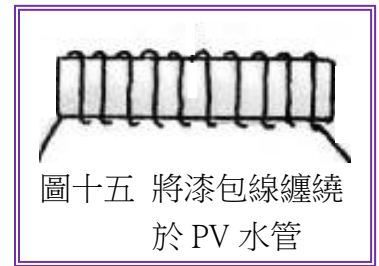
- 1、以 16*6 平方公分的珍珠板製成長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 75°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組部分則是分別裝置 4、8、12 和 16 個纏繞 100 匝（口徑 2.2 公分）的線圈與 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、啟動工業用電風扇最高速檔，並檢查其出風處之風速為 7.5m/s、簡易風洞測量區之風速為

4.2m/s。

- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(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、以 16*6 平方公分的珍珠板製成長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 75°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、纏繞 100 匝的漆包線於口徑為 1.8、2.2、2.6 和 3.4 公分的 PV 水管（如圖十五）。
- 4、發電機組部分則是分別裝置 16 個上述四種不同口徑的線圈與 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。



圖十五 將漆包線纏繞於 PV 水管

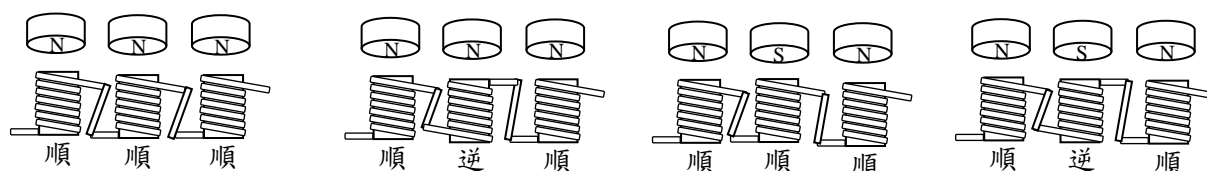
(十一) 探討垂直軸風力發電機其「**線圈匝數**」對發電效能的影響。

- 1、以 16*6 平方公分的珍珠板製成長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 75°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。
- 3、發電機組部分則是分別裝置 16 個纏繞 100、300 和 500 匝（口徑 2.6 公分）的線圈與 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。

(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、以 16*6 平方公分的珍珠板製成長方形葉片。
- 2、葉片組皆以 75°夾角，及 6 片不平均分散的形式裝置在八角形中心立柱上，再固定於第三代垂直軸風力發電機模組上（註：此角度乃指迎風面葉片與風向之夾角）。

- 3、發電機組部分則是裝置 16 個直徑 2.5 公分的強力磁鐵和 16 個纏繞 500 匝(口徑 2.6 公分)的線圈，並分別以下圖中四種方式連接之(如圖十六)。
 第一種：所有的強力磁鐵都是同極排列 N 極朝下，所有的線圈都是順時針纏繞。
 第二種：所有的強力磁鐵都是同極排列 N 極朝下，線圈則是順時針纏繞連接逆時針纏繞。
 第三種：強力磁鐵異極排列，所有的線圈則是順時針纏繞。
 第四種：強力磁鐵異極排列，線圈則是順時針纏繞連接逆時針纏繞。
- 4、將第三代垂直軸風力發電機置於簡易風洞測量區。
- 5、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。
- 6、以三用電表測量第三代垂直軸風力發電機所發出的電壓，待電壓讀值穩定後，以手機錄下 30 秒內的數值。
- 7、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。



圖十六 四種「強力磁鐵與線圈的擺置方式」

(十三) 研發一組「垂直軸風力發電充電器」。

- 1、本研究計畫探討出風力機與發電機各項最佳化條件後，再將它組合以產生最大的發電效能。
- 2、將上述組合連接於變電與儲電裝置(如圖十七)，即可將風力發電機所產生的電能儲存在充電器中，以提供手機、平板電腦或小電器用電。



圖十七 變電、儲電裝置

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) 設計出一組「垂直軸風力發電機」。

歷經多次的改良，最終完成了第三代垂直軸風力發電機(如圖十八)。在中心立柱與葉片組部分，其精細的結構設計，使後續在探討葉片數量、葉片形狀、葉片長度與寬度、葉片角度、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，其中包括裝置強力磁鐵、纏繞漆包線、連接線圈，以及擺放其相對位置。



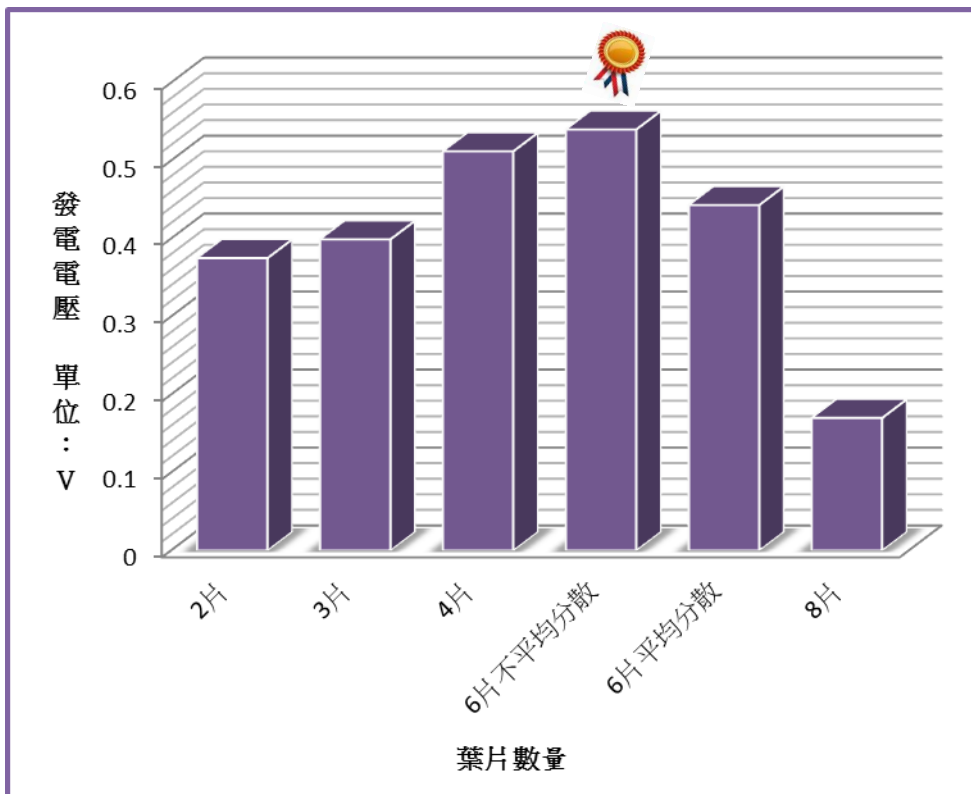
圖十八 第三代垂直軸風力發電

(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	3片	4片	6片不平均分散	6片平均分散	8片
電壓 讀值	第 5 秒	0.380	0.393	0.510	0.548	0.433	0.182
	第 10 秒	0.374	0.405	0.508	0.546	0.445	0.175
	第 15 秒	0.369	0.408	0.512	0.545	0.434	0.167
	第 20 秒	0.370	0.396	0.502	0.546	0.440	0.161
	第 25 秒	0.371	0.393	0.520	0.535	0.450	0.160
	第 30 秒	0.384	0.399	0.520	0.521	0.455	0.176
平均電壓		0.375	0.399	0.512	0.540	0.443	0.170



圖十九 各種葉片數量與發電效能關係圖





2、實驗結果

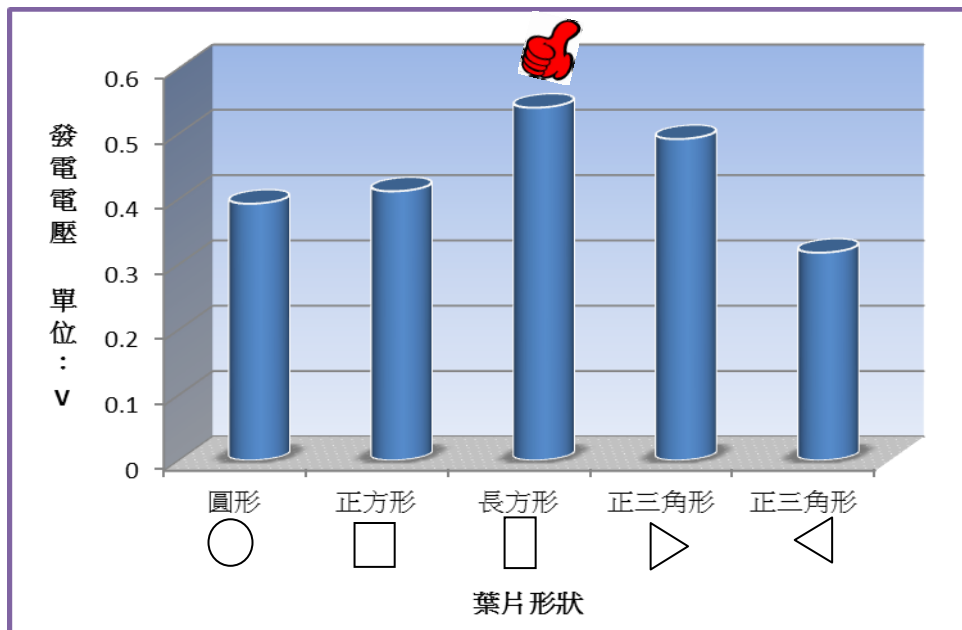
從實驗結果可發現各種葉片數量的發電效能依序為 6 片不平均分散的效能 > 4 片的效能 > 6 片平均分散的效能 > 3 片的效能 > 2 片的效能 > 8 片的效能。

(三) 探討垂直軸風力發電機其「葉片形狀」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表二 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	
			 正方形	 長方形	 頂點朝外	 底邊朝外
電壓讀值	第 5 秒	0.418	0.402	0.548	0.494	0.324
	第 10 秒	0.407	0.410	0.546	0.488	0.313
	第 15 秒	0.404	0.398	0.545	0.486	0.298
	第 20 秒	0.379	0.416	0.546	0.486	0.336
	第 25 秒	0.374	0.426	0.535	0.499	0.317
	第 30 秒	0.376	0.418	0.521	0.499	0.318
平均電壓		0.393	0.412	0.540	0.492	0.318



圖二十 各種葉片形狀與發電效能關係圖

2、實驗結果

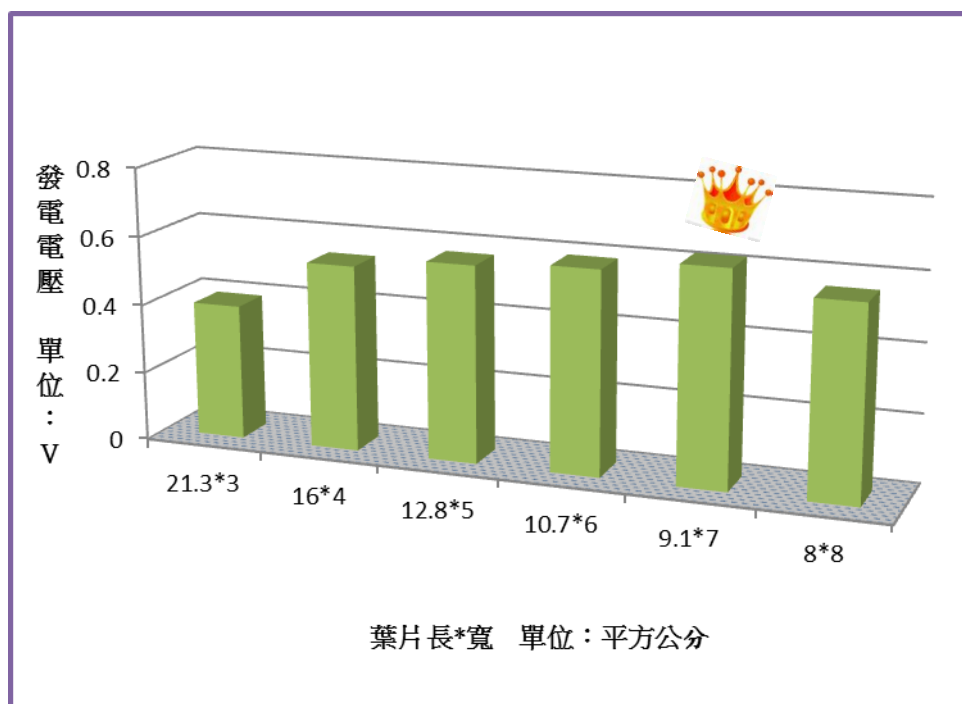
- (1) 從實驗結果可發現葉片面積相同時，各種葉片形狀的發電效能依序為長方形 > 正三角形頂點朝外 > 正方形 > 圓形 > 正三角形底邊朝外。
- (2) 從矩形部分來看，當面積相等時，長方形的發電效能優於正方形。
- (3) 從正三形來看，葉片裝置的方向不同，其發電效能也會有優劣之分。

(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、實驗記錄

表三 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	0.638	0.565
	第 10 秒	0.393	0.546	0.573	0.616	0.627	0.553
	第 15 秒	0.388	0.545	0.565	0.586	0.624	0.541
	第 20 秒	0.394	0.546	0.562	0.592	0.628	0.552
	第 25 秒	0.392	0.535	0.589	0.584	0.613	0.575
	第 30 秒	0.388	0.521	0.580	0.580	0.607	0.578
平均電壓		0.393	0.540	0.572	0.590	0.623	0.561



圖二十一 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

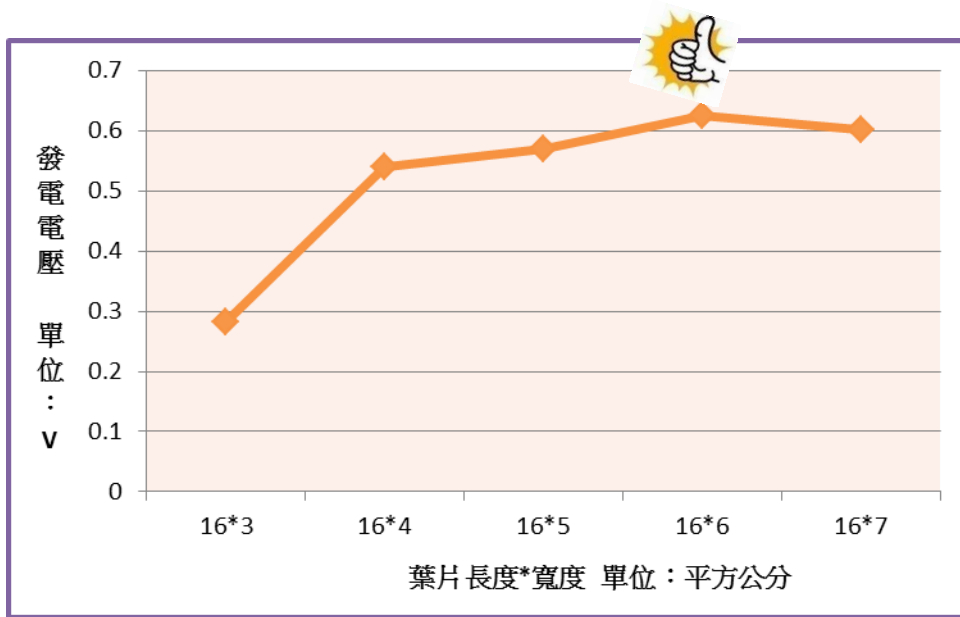
從實驗結果可發現當葉片面積相同時，不同長度*寬度的葉片其發電效能依序為 9.1*7 平方公分的效能 > 10.7*6 平方公分的效能 > 12.8*5 平方公分的效能 > 8*8 平方公分的效能 > 16*4 平方公分的效能 > 21.3*3 平方公分的效能。

(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、實驗記錄

表四 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



圖二十二 長度相同，寬度不同的葉片與發電效能關係圖

2、實驗結果

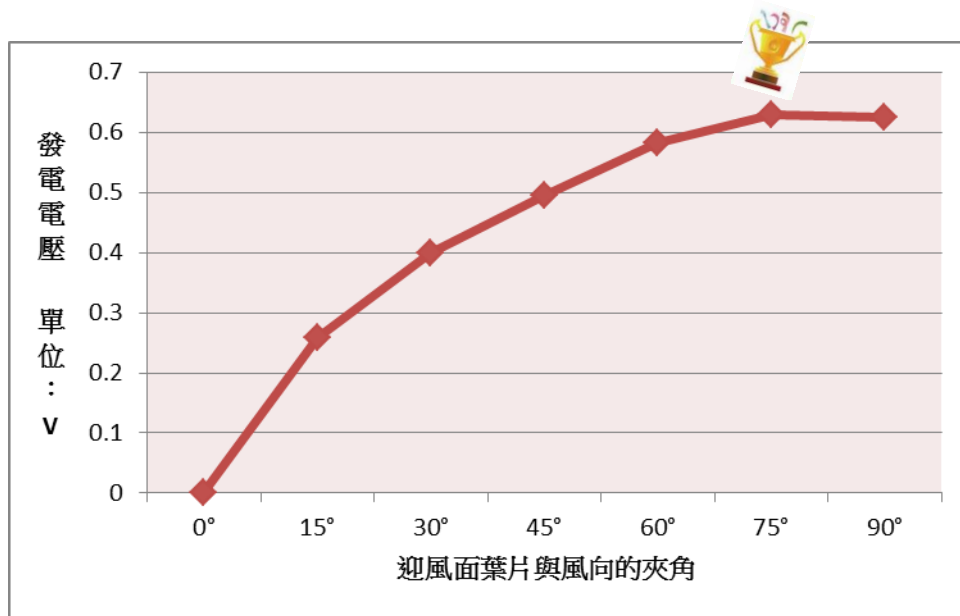
從實驗結果可發現不同「長度*寬度」的葉片，其發電效能依序為 16*6 平方公分的效能 > 16*7 平方公分的效能 > 16*5 平方公分的效能 > 16*4 平方公分的效能 > 16*3 平方公分的效能。

(六) 探討垂直軸風力發電機其「迎風面葉片與風向的夾角」對發電效能的影響。

1、實驗記錄

表五 迎風面葉片與風向夾角對發電效能影響之比較表

發電效能 & 啟動情形		迎風面葉片與風向的夾角						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
電壓 讀值	第 5 秒	0	0.260	0.389	0.492	0.589	0.632	0.617
	第 10 秒	0	0.259	0.406	0.497	0.593	0.630	0.612
	第 15 秒	0	0.257	0.403	0.500	0.571	0.635	0.614
	第 20 秒	0	0.257	0.399	0.485	0.577	0.626	0.616
	第 25 秒	0	0.257	0.392	0.489	0.579	0.623	0.629
	第 30 秒	0	0.261	0.397	0.498	0.587	0.623	0.654
平均電壓		0	0.259	0.398	0.494	0.583	0.628	0.624



圖二十三 「迎風面葉片與風向之夾角」對發電效能影響圖

2、實驗結果

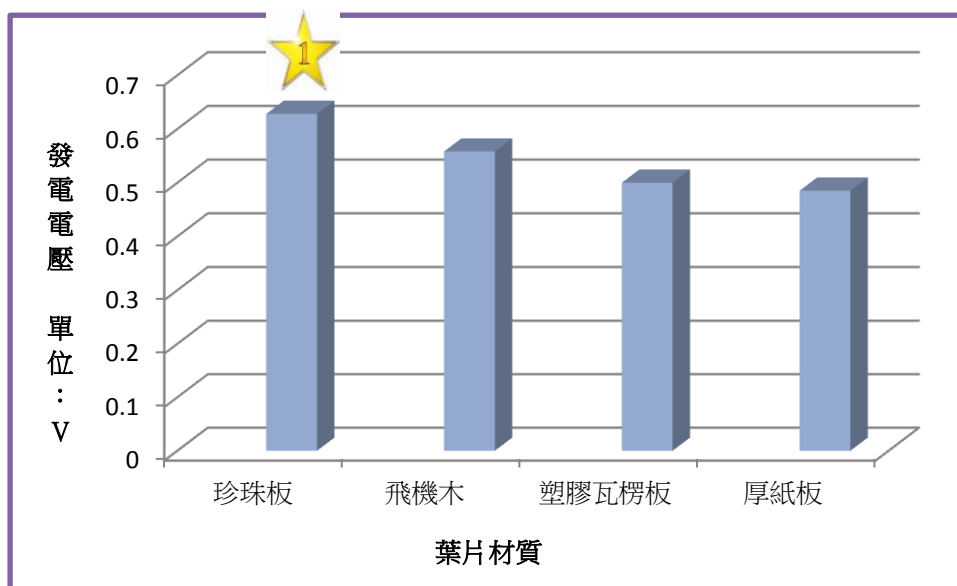
從實驗結果可發現各種「迎風面葉片與風向之夾角」的葉片，其發電效能依序為 75°的效能 > 90°的效能 > 60°的效能 > 45°的效能 > 30°的效能 > 15°的效能 > 0°的效能。

(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、實驗記錄

表六 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	0.632	0.558	0.500	0.470
	第 10 秒	0.630	0.561	0.462	0.478
	第 15 秒	0.635	0.559	0.513	0.488
	第 20 秒	0.626	0.550	0.517	0.493
	第 25 秒	0.623	0.555	0.508	0.491
	第 30 秒	0.623	0.567	0.497	0.491
平均電壓		0.628	0.558	0.500	0.485



圖二十四 葉片材質與發電效能關係圖

2、實驗結果

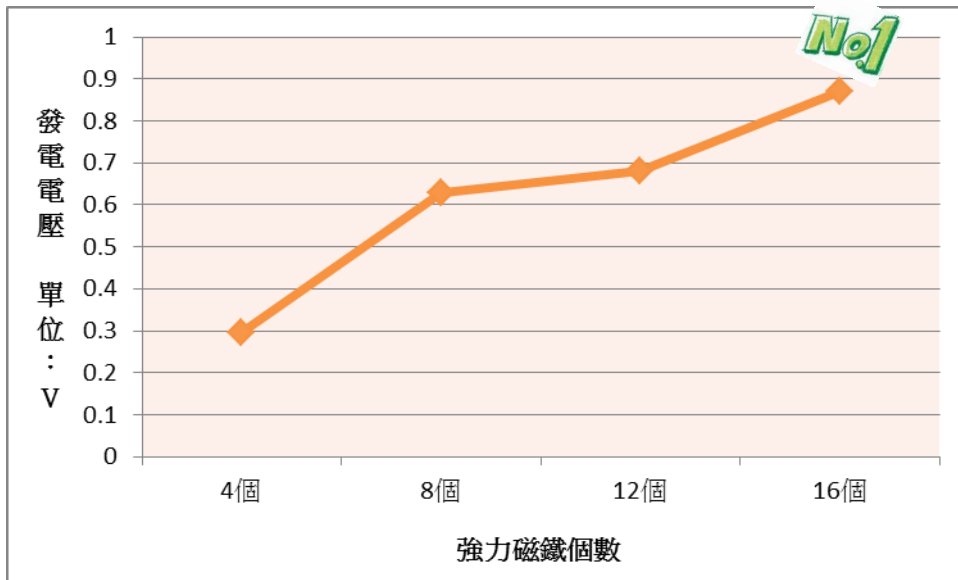
從實驗結果可發現當葉片面積相同時，不同材質的葉片其發電效能依序為珍珠板的效能 > 飛機木的效能 > 塑膠瓦楞板的效能 > 厚紙板的效能。

(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、實驗記錄

表七 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	0.296	0.632	0.683	0.889
	第 10 秒	0.300	0.630	0.691	0.868
	第 15 秒	0.297	0.635	0.689	0.86
	第 20 秒	0.293	0.626	0.679	0.855
	第 25 秒	0.294	0.623	0.677	0.872
	第 30 秒	0.297	0.623	0.666	0.882
平均電壓		0.296	0.628	0.681	0.871



圖二十五 強力磁鐵個數與發電效能關係圖

2、實驗結果

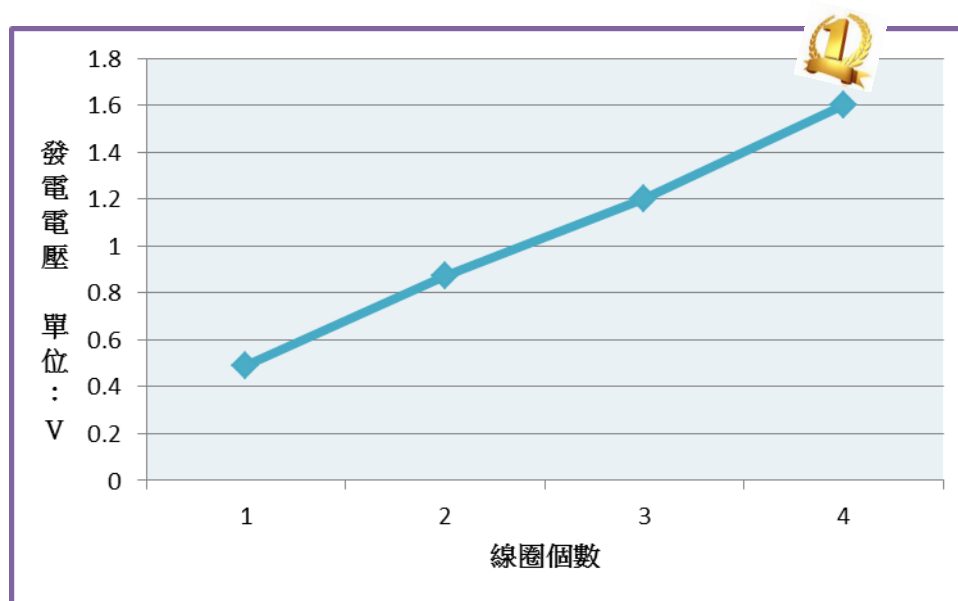
從實驗結果可發現發電機部分裝置不同數量的強力磁鐵，其發電效能依序為 16 個的效能 > 12 個的效能 > 8 個的效能 > 4 個的效能。換言之，強力磁鐵的數量愈多，發電效能就愈高。

(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、實驗記錄

表八 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



圖二十六 線圈個數與發電效能關係圖

2、實驗結果

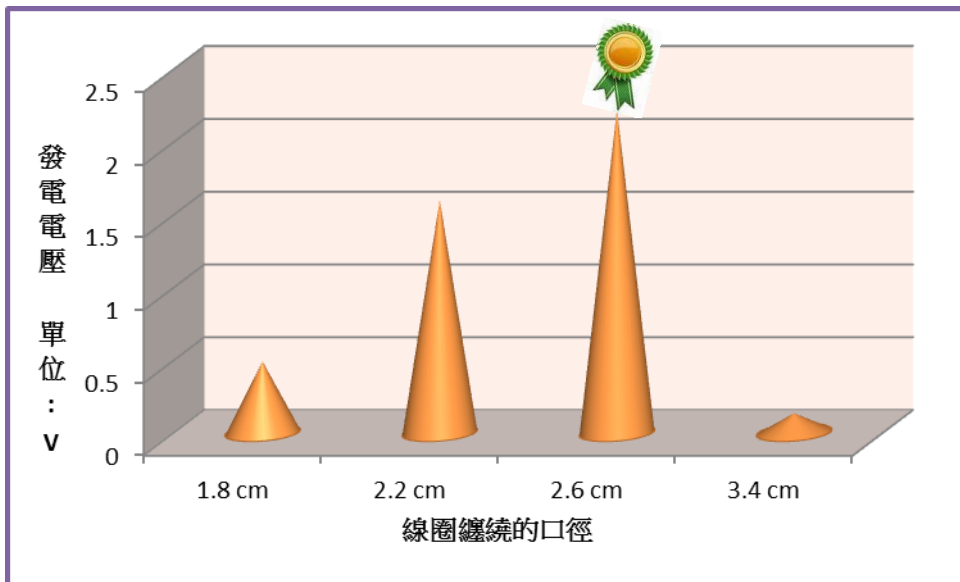
從實驗結果可發現發電機部分裝置不同數量的線圈，其發電效能依序為 16 個的效能 > 12 個的效能 > 8 個的效能 > 4 個的效能。換言之，線圈數量愈多，發電效能則愈高。

(十) 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

表九 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



圖二十七 線圈纏繞的口徑與發電效能關係圖

2、實驗結果

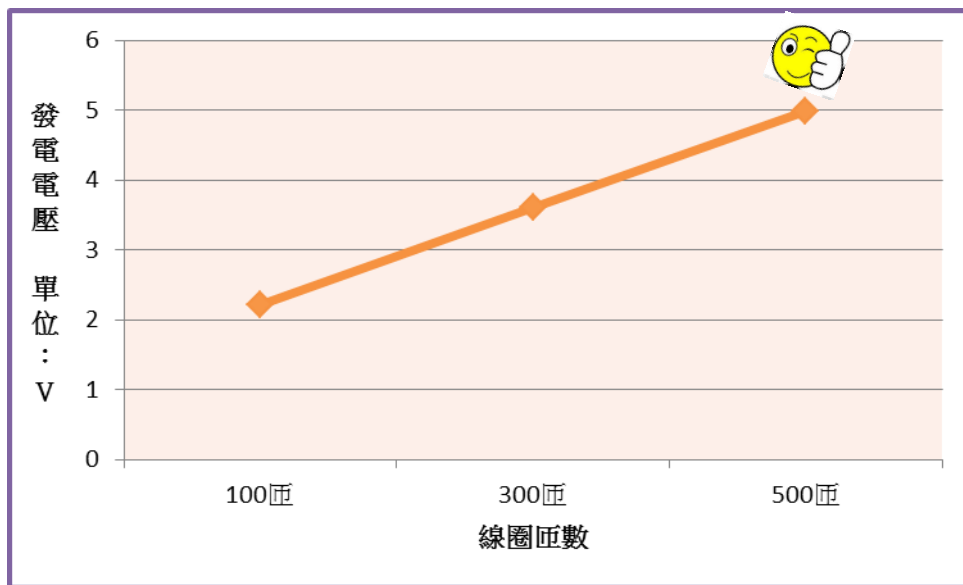
從實驗結果可發現發電機部分中的線圈，若纏繞口徑不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 2.6cm 的效能 > 2.2cm 的效能 > 1.8cm 的效能 > 3.4cm 的效能。

(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、實驗記錄

表十 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	5.00
	第 10 秒	2.195	3.62	4.98
	第 15 秒	2.185	3.60	4.97
	第 20 秒	2.235	3.61	4.98
	第 25 秒	2.265	3.61	4.98
	第 30 秒	2.265	3.60	4.98
平均電壓		2.223	3.61	4.98



圖二十八 線圈匝數與發電效能關係圖

2、實驗結果

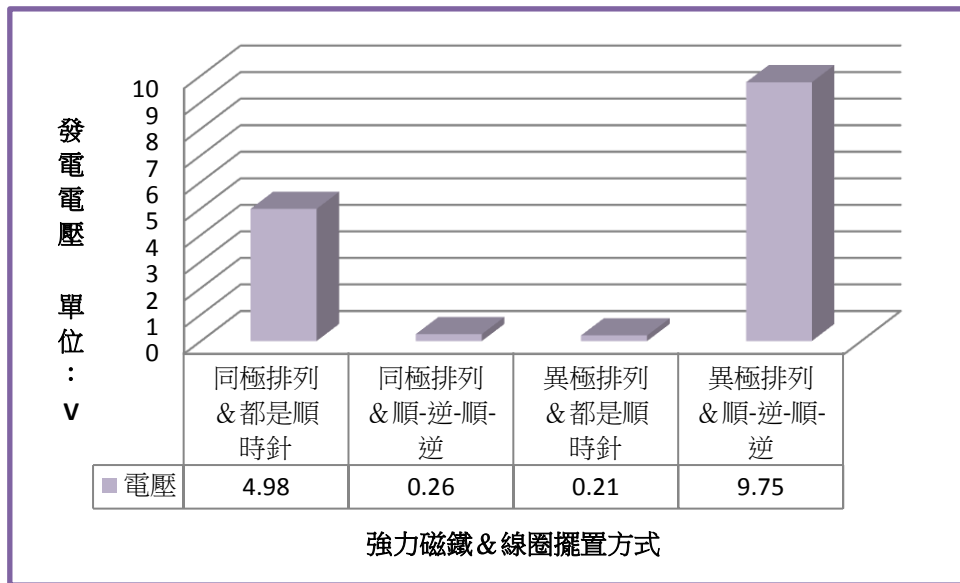
從實驗結果可發現發電機部分中的線圈纏繞匝數不同，發電效能亦不同，其優劣順序為 500 匝的效能 > 300 匝的效能 > 100 匝的效能。

(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、實驗記錄

表十一 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	5.00	0.26	0.20	9.73
	第 10 秒	4.98	0.26	0.21	9.73
	第 15 秒	4.97	0.26	0.21	9.72
	第 20 秒	4.98	0.25	0.21	9.79
	第 25 秒	4.98	0.25	0.22	9.78
	第 30 秒	4.98	0.26	0.22	9.76
平均電壓		4.98	0.26	0.21	9.75
電流		約 20mA 左右	-	-	約 10mA 左右



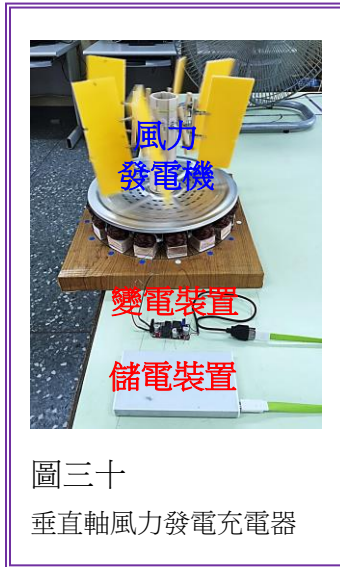
圖二十九 強力磁鐵、線圈擺置方式與發電效能關係圖

2、實驗結果

- (1) 從實驗結果可發現發電機部分中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】。
- (2) 而電流部分則是【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】。

(十三) 研發一組「垂直軸風力發電充電器」。

- 1、本研究所研發的「垂直軸風力發電充電器」包含三個部分（如圖三十）：垂直軸風力發電機、變電裝置和儲電裝置。
- 2、其中，在電子材料行購得的變電裝置（如圖三十一）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。
- 3、而儲電裝置部分則是採用行動電源（如圖三十二），待完成儲電後即可利用它來供手機或平板電腦進行充電。



圖三十
垂直軸風力發電充電器



圖三十一 變電裝置



圖三十二 儲存電源

柒、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、由實驗結果 6 片不平均分散的發電效能 > 4 片的發電效能 > 6 片平均分散的發電效能 > 3 片的發電效能 > 2 片的發電效能 > 8 片的發電效能，大致可發現接觸風的葉片數量多，面積愈大，理論上受力愈大，可得到較大的發電效能；但從「8 片葉片所產生的電壓最小」的結果來看，可推論雖然其葉片數量最多、面積最大，但也因此造成葉片太密集，間隙過於狹小，氣流流經葉片時形成更大的風阻，致使發電效能大打折扣。
- 2、再深究「6 片不平均分散的發電效能 > 6 片平均分散的發電效能」的實驗結果，亦能證明葉片數量皆為 6 片、葉片總面積相同的情況下，前者的裝置方式能讓部分葉片之間間隙變大一些，而有助於氣流流動，因此本研究發現葉片數量以 6 片不平均分散所獲得的發電效能最佳。

(二) 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，各種形狀的發電效能依序為長方形 > 正三角形頂點朝外 > 正方形 > 圓形 > 正三角形底邊朝外，可得知製作風力機時，葉片的形狀需要經過嚴謹的設計，方能獲得最大的發電效能。

- 3、從正三角形頂點朝外的發電效能 > 正三角形底邊朝外的發電效能來看，可發現儘管同形狀的葉片，若裝置方向相反，其發電效能將會有截然不同的效果。
- 4、由矩形葉片部分的實驗結果：長方形的發電效能優於正方形的發電效能來觀察，可分析出相同面積的矩形葉片，會因為長寬比例不同，而導致發電效能不同。

(三) 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。

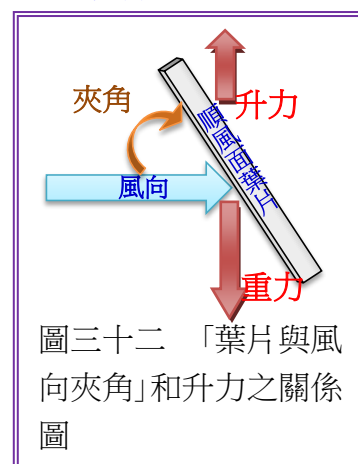
- 1、由上一個研究中得知長方形葉片的發電效能優於正方形葉片，因此我們想接續探討在不同比例的矩形葉片中，何種長寬比例可得到最佳的發電效能。實驗結果：9.1*7 平方公分的效能 > 10.7*6 平方公分的效能 > 12.8*5 平方公分的效能 > 8*8 平方公分的效能 > 16*4 平方公分的效能 > 21.3*3 平方公分的效能，再度證明即使矩形葉片的受風面積都相同，但因長寬比例不同，其發電效能亦不同。
- 2、其中，21.3*3 平方公分和 16*4 平方公分的葉片發電效果最差，我們認為若以本研究中整座風力機的高度為 16 公分來論，這兩種葉片可能因為長度過長，因而造成發電效能不彰。

(四) 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、當葉片的長度固定、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，可大概推論受風葉片面積愈大，能獲得愈大的發電效能，此研究結果亦與「葉片數量實驗」之結論不謀而合。
- 2、但從 16*7 平方公分這組葉片所產生的效能非最理想來看，我們認為隨著葉片變大，葉片組的總重量也隨之增加，風力要帶動風力機旋轉時，所要克服機械部分的摩擦阻力就愈大，因此越不利於旋轉。綜上所述，設計葉片時，應同時考量葉片面積大小及重量兩因素，方能取得最佳化條件。

(五) 探討垂直軸風力發電機其「迎風面葉片與風向的夾角」對發電效能的影響。

- 1、各「迎風面葉片與風向之夾角」的葉片，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。可見迎風面與風向垂直時，葉片發電效能並不占優勢，反倒是迎風面與風向呈 75° 最佳，如圖三十二所示，可發現當葉片與風向的夾角小於 90° 時，對葉片會產生一股升力，其方向與葉片重力方向相反。換言之，可相對減輕葉片的重力，對於葉片旋轉而言，可加快速度，提高發電效能。
- 2、但此夾角若太小，反而使葉片的迎風面積變小，造成葉片受力減小，旋轉速度變慢，產生的電能也隨之降低，因此由本實驗數據可知，當迎風面葉片與風向呈 75° 時發電效能最佳！



(六) 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，重量也有所不同，以珍珠板的材質最輕，飛機木、塑膠瓦楞板次之，厚紙板的重量最重。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發電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，但近來由於材料科技的進步，葉片部分也改用玻璃纖維、碳纖維或複合材料來取代金屬材質，以達高強度、輕量化之目的。

(七) 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。

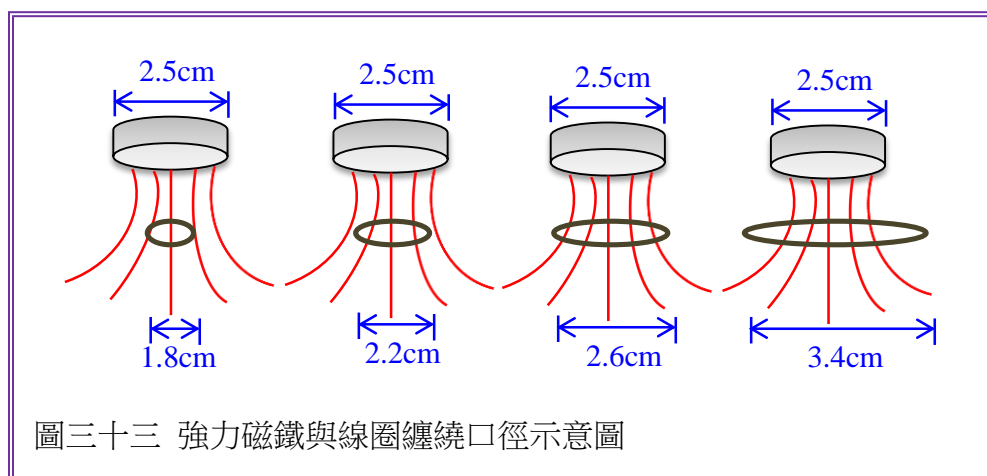
- 1、由實驗結果可發現強力磁鐵的數量愈多，發電效能愈高。換言之，發電機中能提供磁場的磁鐵數目愈多，發電效能便會愈高。
- 2、我們推論當風力機旋轉速度固定的情形下，磁鐵數目愈多，代表每個線圈迴路中發生磁場變化的頻率也會隨之提高，因此可以產生較大的感應電動勢。

(八) 探討垂直軸風力發電機其「線圈個數」對發電效能的影響。

- 1、由實驗結果不僅可發現線圈的數量愈多，發電效能愈高，甚至進一步分析圖二十六可得知，發電機所產生的電壓與線圈個數成正相關。我們認為當磁通量改變時，每一線圈都產生一個相同的感應電動勢，當多個線圈連接時，猶如串聯多個電池，其數值可以相加。換言之，線圈個數愈多，必能獲得愈大的發電效能。
- 2、此外，我們認為當風力機旋轉速度與強力磁鐵數量皆固定的情形下，線圈個數愈多，代表會有愈多個線圈迴路中發生磁場改變，因此可以產生較大的感應電動勢。

(九) 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，由此實驗結果可發現線圈纏繞口徑應與強力磁鐵直徑相當，方能獲得最佳發電效能。
- 5、如圖三十三所示，當強力磁鐵直徑為 2.5cm，線圈纏繞口徑為 2.6cm，磁力線能全部集中且通過線圈，此時線圈能感應最大電能；但是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，因而降低發電效能；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，但卻因為距離線圈較遠，所獲得的發電效能亦非最佳。



圖三十三 強力磁鐵與線圈纏繞口徑示意圖

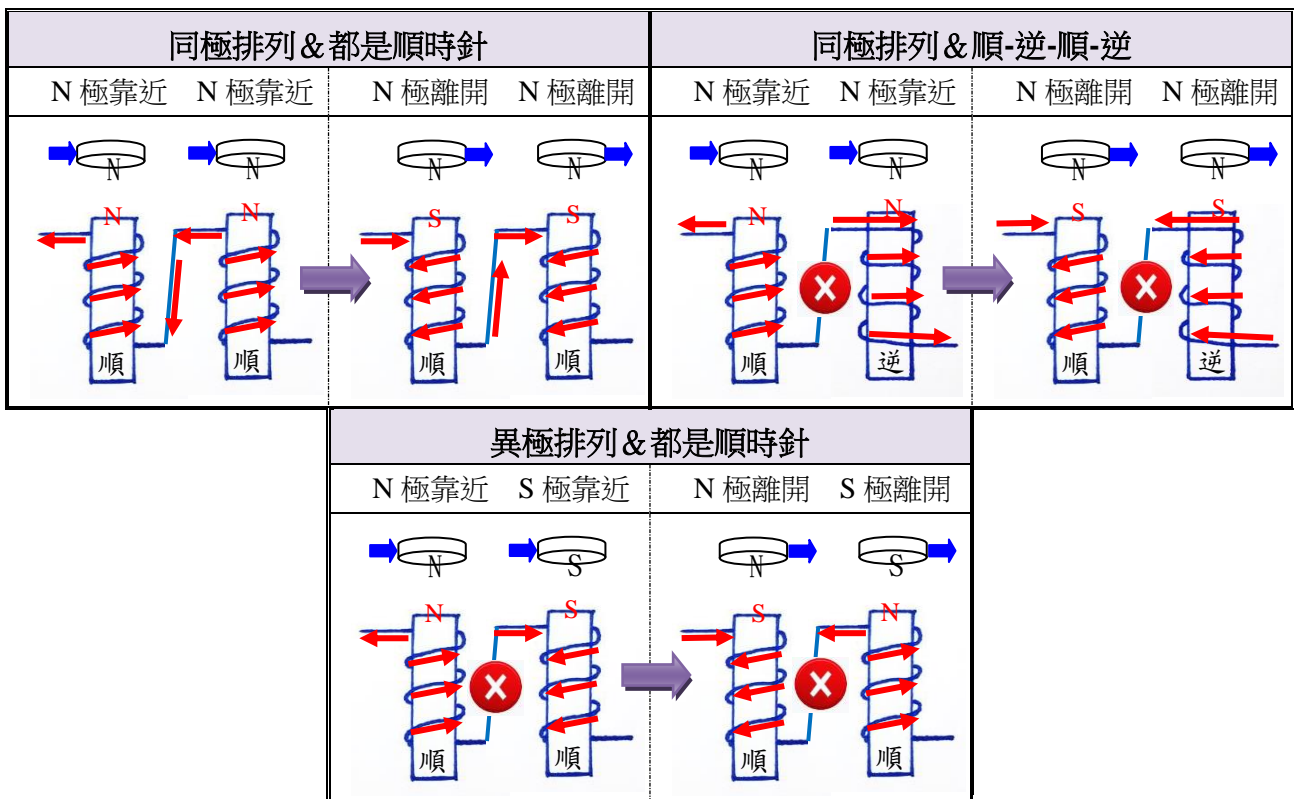
(十) 探討垂直軸風力發電機其「線圈匝數」對發電效能的影響。

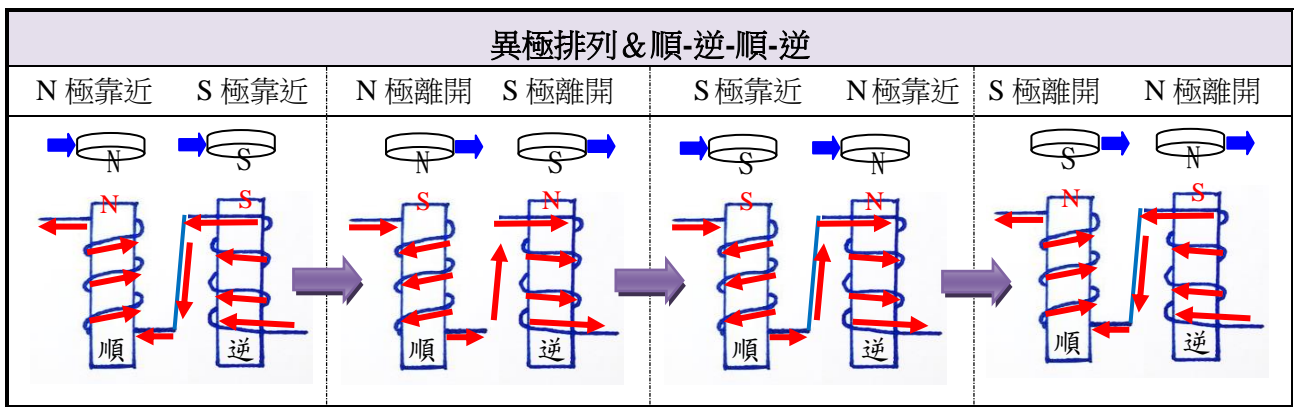
- 1、由實驗結果不僅可發現線圈匝數愈多，發電效能愈高，甚至進一步分析圖二十八可得知，發電機所產生的電壓與線圈匝數成正相關。換言之，線圈纏繞得愈多匝，感應電壓就愈高。

2、雖然本研究發現線圈匝數愈多，發電效能就愈高，但就實際狀況而言，發電機可容納線圈的空間會有其限制，因此設計線圈匝數時非無限的增加，而是針對可容納的空間盡量提高線圈匝數。

(十一) 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、由實驗結果可發現在發電機部分，強力磁鐵與線圈的擺置方式不同，產生的電壓會有不同，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】。
- 2、繼續利用圖三十四來分析本研所得到的結果，【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。
- 3、而【磁鐵同極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】，好比將電池的正極接正極、負極接負極，其所產生的電壓就會相當弱，甚至接近無。
- 4、而【磁鐵異極排列&線圈都是順時針連接】的情況和【磁鐵同極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】很雷同，故產生的電壓也非常弱，甚至接近無。
- 5、當【磁鐵異極排列&線圈順-逆-順-逆時針連接】，由下圖可發現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。
- 6、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 $4.98\text{ V} \times 20\text{ mA} = 99.6\text{ mW}$ ，而後者 $9.78\text{ V} \times 10\text{ mA} = 97.8\text{ mW}$ ，可視兩者幾乎相同。換言之，本研究中的發電機，在風速與風力機條件皆固定的情形下，最大功率約為 100 mW ，當電壓多了一倍，電流自然就剩一半。





圖三十四「強力磁鐵與線圈的擺置方式」與發電情形分析圖

(十二) 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，我們考量到後者裝置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，故發電機部分決定採用【磁鐵同極排列&線圈都是順時針連接】裝置。
- 2、本研究的儲電裝置選擇行動電源，當它完成儲電即可為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」將可更廣泛的使用在小型電器用品上，家家戶戶落實節能減碳將不再是口號而已！

捌、結論

- 1、受風的葉片數量愈多，面積愈大，理論上可得到愈大的發電效能；但當葉片數量過多，導致排列太密集，氣流流經葉片時容易亂竄，導致發電效能大打折扣。本實驗中以 6 片不平均分散的裝置方式，兼具受風面積大與部分葉片間隙增大之特性，能有助於氣流流動，成為整組實驗中的最佳裝置。
- 2、當葉片面積相等時，形狀為長方形的葉片其發電效能優於正三角形、正方形和圓形。若使相同受風面積的正三角形葉片裝置方向相反，其發電效能亦會得到截然不同的效果。
- 3、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。其中以葉片長度比例偏長的風力機發電效能最差；而長寬比例適中者（9.1*7 平方公分），可得到最佳發電效能。
- 4、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，因葉片組的總重量隨之增加，反而降低了發電效能。故設計葉片時，應同時考量葉片面積大小及重量兩因素，方能取得最佳化條件。
- 5、當葉片迎風面與風向垂直時，其發電效能並不占優勢；當迎風面與風向夾角偏小時，迎風面積也隨之變小，亦不利於發電；而當迎風面與風向夾角呈 75° 時，既不使迎風面積減少太多，又可產生一股升力，故獲得的發電效能最佳！
- 6、不同材質的葉片其發電效能也不同，以珍珠板為佳，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。

- 7、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，因此能產生愈大的感應電動勢。
- 8、發電機中的線圈數量與產生的電壓成正相關，此乃因為磁通量改變時，每一線圈會產生一個相同的感應電動勢，當愈多個線圈連接時，猶如愈多個電池串聯，故能獲得愈大的發電效能。
- 9、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，但卻因為距離線圈較遠，所獲得的發電效能亦不理想；而當線圈纏繞口徑與強力磁鐵直徑相當時，即可獲得最佳發電效能。
- 10、線圈纏繞愈多匝，產生的電壓就愈高，且兩者成正相關。
- 11、【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，而兩者的差異在於前者電壓小、電流大；後者電壓大、電流小。
- 12、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。

玖、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、台電企劃處圖書室（民104）。**台電月刊**，627。
- 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、風能教育知識網，取自：<http://windenergy.cycu.edu.tw/>
- 5、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