

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

最佳創意獎

080103

「轉出活力與光彩」

—可動式葉片組垂直軸風力發電機之探究與應用

學校名稱：嘉義市西區僑平國民小學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 小六 劉都晉 小六 吳岱穎 小六 劉庭瑋 小六 侯冠廷 小六 李保典 | 指導老師： 陳素卿 梁嘉勝 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：風力發電機、垂直軸風車、再生能源

作品名稱

「轉出活力與光彩」－可動式葉片組垂直軸風力發電機之探究與應用

摘要

曾經在 Discovery 的節目中，看到垂直軸風車的介紹，引起我的興趣。因此團隊決定研究垂直軸風力發電機。在研究一，我們設計了垂直軸風力發電機，並針對可動式葉片形狀、葉片面積大小、相同面積下葉片長寬比以及在葉片上打洞和葉片打洞疏密度進行實驗。在研究三發現：葉片面積相同、形狀不同的葉片，以正方形葉片發電量最穩定也較高。在研究四發現：葉片的面積越大，發電效能越好。在研究五發現：相同面積，不同長寬比的葉片，高瘦型的葉片發電效能比矮寬形葉片高。在研究六發現：在葉片上打直徑 1 公分的洞，發電效能比不打洞的葉片佳。在研究七發現：在葉片上打 4 個洞，可以得到較高的發電量。最後我們還利用風力發電機組，製作了一組「垂直軸風力發電路燈」。

壹、研究動機

去年暑假參加國立台灣師範大學物理系所舉辦的 2011 物理人才計畫，其中有個自選的實驗任務，因此在路上邊走邊想，赫然看見垂直軸風車。心想：何不妨也做個垂直軸風車實驗，所以延伸成科展的後續研究。另外曾經在 Discovery 的節目中，看到介紹如何在家庭屋頂上安裝垂直軸風車，從無到有的設計，令我看得入迷，當時心想：「如果團隊能設計一個垂直軸風車，並發明一個靠垂直軸風力發電的路燈，那該有多棒啊！」我們試著找出最佳的葉片組，並希望做出靠垂直軸風力發電的路燈，在風向不穩定的地方，能靠風力發電減少碳排放，達到節能的目的。

貳、研究目的

- 研究一、設計垂直軸風力發電機。
- 研究二、探究垂直軸風力發電機**可動式、固定式葉片**與發電效能的關係。
- 研究三、探究垂直軸風力發電機在**相同面積下葉片形狀**與發電效能的關係。
- 研究四、探究垂直軸風力發電機葉片**相同形狀下面積大小**與發電效能的關係。
- 研究五、探究垂直軸風力發電機**相同面積下葉片長寬比**與發電效能的關係。
- 研究六、探究垂直軸風力發電機**葉片打洞大小**與發電效能的關係。
- 研究七、探究垂直軸風力發電機**葉片打洞疏密度**與發電效能的關係。
- 研究八、製作一組「**垂直軸風力發電路燈**」。

參、研究設備及器材

- 一、資源回收材料：木棍、木筷、細竹籤。
- 二、蒐集材料：鋁線、吸管、DC 小馬達、LED 燈泡、電線長條盒。
- 三、購買材料：木條、瓦楞板、珍珠板、電線、膠帶、3M 反光膠帶。
- 四、工具：手搖鑽、熱熔槍、工業型風扇、美工刀、鋸子、大剪刀、吹風機、相機。
- 五、測量儀器：三用電錶、測風計、計時器、非接觸式數位轉速計。

肆、研究過程或方法

研究一、設計垂直軸風力發電機。

一、製作簡易整流風洞。

為了讓實驗數據更準確，我們利用身邊的簡易材料，製作一個直徑 60 cm 的風洞，其裝置及結構如下述說明：

1. 基座：以 2 個中空厚紙箱並排作為風洞基座。
2. 風洞：用兩片 60 cm×90 cm 大珍珠板以吹風機加熱彎曲。上、下各一片，圍成中空圓柱，上、下各用三條細木條固定外側，使風洞更堅固。
3. 整流器：利用吸管並排固定，完成直徑 60 cm、縱深 75cm 的圓柱狀，安裝在風洞內。
4. 風力來源：可調風力大小的工業用風扇。(風力可達 7.5 m/s)。



▲圖1：第一代風洞



▲圖2：第二代風洞

二、設計垂直軸風力發電機

為了研究葉片對發電效能的影響，所以我們設計了垂直軸風力發電機組。其裝置及結構如下述說明：

- (一)、轉動支架：
- 1、將三根 20cm 的木條(120 度擺放，呈賓士標誌形狀)以兩片圓形風扣板黏合，固定在一平面上，作兩組，並在下方的木條下貼上 3M 反光膠帶，透過非接觸式數位轉速計測量轉速值。
 - 2、以一根竹籤籤過兩組風扣板圓心，並以熱熔膠固定，連接馬達軸心。
 - 3、在木條上距離圓心 19cm 的木條處固定三根竹籤當作葉片的轉軸。
 - 4、在木條上距離圓心 16cm 的木條處固定三根竹籤擋住葉片。
- (二)、基座(大支架)：將三根 60cm 的木條以風扣板黏合做三角延伸支架，圓心周圍用木條

和風扣板固定與加強支撐，外側以三根高 15 cm的圓木棍當架高支架，底部用瓦楞板當基座。

(三)、葉片製作方式：將珍珠板裁切出所需大小葉片，並以熱熔槍在珍珠板一側，上下各黏上 2~3 cm 吸管一段，作為與風力發電機組裝連接點。其中上面 2 cm 吸管與邊切齊、下面吸管要凸出去 0.5 cm，每組 3 片。

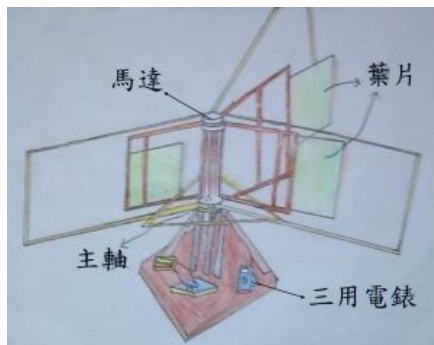


▲圖3：葉片黏貼情形

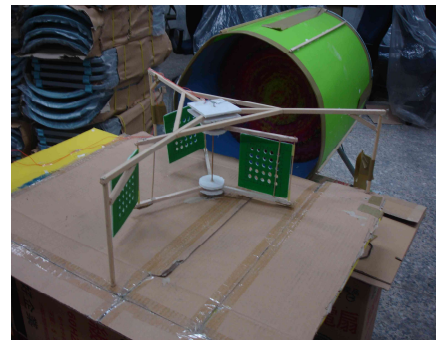


▲圖4：葉片模組

(四)、電力輸出線：為了方便測量電壓，把電線用熱熔膠固定在大支架的木條上，並接上三用電錶。



▲圖5：自製垂直軸風力發電機設計圖



▲圖6：自製垂直軸風力發電機

研究二、探究垂直軸風力發電機可動式、固定式葉片與發電效能的關係。

一、實驗目的：探究在可動式、固定式葉片（與木條所夾角度）與發電效能的關係。

二、操作變因：葉片能不能轉動(分別以可動式、固定式兩種方式作為發電機的葉片)

控制變因：葉片數目、葉片材質、風力大小

三、實驗步驟：

《實驗一》：以 $11 \times 14 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，探究葉片可動式、固定式與發電效能的關係。

(一)、製作可動式 $11 \times 14 \text{ cm}^2$ 、固定式 $11 \times 14 \text{ cm}^2$ (45度)、 $11 \times 14 \text{ cm}^2$ (90度)、 $11 \times 14 \text{ cm}^2$ (135度) 和 $11 \times 14 \text{ cm}^2$ (180度) 長方形葉片，共五組。

(二)、將葉片組裝在自製垂直軸風力發電機模組上，並啟動風扇。

- (三)、每隔10秒紀錄三用電表上的電壓數值，測量轉速值，直到第50秒，共紀錄5次。
- (四)、每組葉片各進行三次風力發電實驗。
- (五)、分析實驗結果並討論。

《實驗二》：以 $13 \times 13 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，探究葉片**可動式**、**固定式**與發電效能的關係。

- (一)、製作**可動式** $13 \times 13 \text{ cm}^2$ 、**固定式** $13 \times 13 \text{ cm}^2$ (45 度)、 $13 \times 13 \text{ cm}^2$ (90 度)、 $13 \times 13 \text{ cm}^2$ (135 度) 和 $13 \times 13 \text{ cm}^2$ (180 度) 長方形葉片，共五組。
- (二)、接下來步驟與《實驗一》步驟(二)~(五)相同。

《實驗三》：以 $16 \times 4 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，探究葉片**可動式**、**固定式**與發電效能的關係。

- (一)、製作**可動式** $16 \times 4 \text{ cm}^2$ 、**固定式** $16 \times 4 \text{ cm}^2$ (45 度)、 $16 \times 4 \text{ cm}^2$ (90 度)、 $16 \times 4 \text{ cm}^2$ (135 度) 和 $16 \times 4 \text{ cm}^2$ (180 度) 長方形葉片，共五組。
- (二)、接下來步驟與《實驗一》步驟(二)~(五)相同。



▲圖7：轉速計測量轉速



▲圖8：研究二實驗相片

研究三、探究垂直軸風力發電機在**相同面積下不同葉片形狀**與發電效能的關係。

- 一、實驗目的：探究在**相同面積下葉片形狀**與發電效能的關係。
- 二、操作變因：葉片形狀(分別以**正方形**、**三角形**、**長方形**三種形狀作為發電機的葉片)
- 控制變因：葉片數目、葉片面積、葉片材質、風力大小

三、實驗步驟：

《實驗四》：葉片面積固定為 64 cm^2 ，比較正方形、三角形、長方形葉片的發電效能。

- (一)、製作 $8 \times 8 \text{ (cm}^2)$ 的正方形、 $16 \times 8 \text{ (cm}^2)$ 的等腰三角形、 $16 \times 4 \text{ (cm}^2)$ 的長方形葉片，共三組。
- (二)、將葉片組裝在自製垂直軸風力發電機模組上，並啟動風扇。

- (三)、每隔10秒紀錄三用電表上的電壓數值，測量轉速值，直到第50秒，共紀錄5次。
- (四)、每組葉片各進行三次風力發電實驗。
- (五)、分析實驗結果並討論。

《實驗五》：葉片面積固定為 100 cm^2 ，比較正方形、三角形、長方形葉片的發電效能。

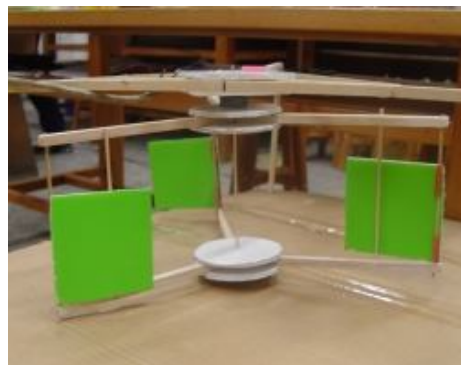
- (一)、製作 $10 \times 10 \text{ (cm}^2\text{)}$ 的正方形、 $20 \times 10 \text{ (cm}^2\text{)}$ 的等腰三角形、 $20 \times 5 \text{ (cm}^2\text{)}$ 的長方形葉片，共三組。
- (二)、接下來步驟與《實驗四》步驟(二)~(五)相同。

《實驗六》：葉片面積固定為 121 cm^2 ，比較正方形、三角形、長方形葉片的發電效能。

- (一)、製作 $11 \times 11 \text{ (cm}^2\text{)}$ 的正方形、 $16.2 \times 15 \text{ (cm}^2\text{)}$ 的等腰三角形、 $12.1 \times 10 \text{ (cm}^2\text{)}$ 及 $20 \times 6.05 \text{ (cm}^2\text{)}$ 的長方形葉片，共四組。
- (二)、接下來步驟與《實驗四》步驟(二)~(五)相同。



▲圖9：不同形狀葉片



▲圖10：研究二實驗相片

研究四、探究垂直軸風力發電機葉片相同形狀下面積大小與發電效能的關係。

從研究二發現：三角形葉片的發電效能最低，而且最不穩定，因此剔除三角形葉片，繼續以正方形和長方形葉片進行《實驗七》、《實驗八》的研究。

- 一、實驗目的：探究垂直軸風力發電機葉片面積大小與發電效能的關係。
- 二、操作變因：葉片面積大小(改變葉片邊長)

控制變因：葉片數目、葉片材質、風力大小、葉片形狀

(分別以正方形、長方形進行兩組實驗)

- 三、實驗步驟：

《實驗七》：將葉片形狀固定為正方形，探討葉片面積大小與發電效能的關係。

(一)、製作 $8 \times 8(\text{cm}^2)$ 、 $9 \times 9(\text{cm}^2)$ 、 $10 \times 10(\text{cm}^2)$ 、 $11 \times 11(\text{cm}^2)$ 、 $12 \times 12(\text{cm}^2)$ 、 $13 \times 13(\text{cm}^2)$ 和 $14 \times 14(\text{cm}^2)$ 的正方形葉片，共7組。

(二)、將葉片組裝在自製垂直軸風力發電機模組上，並啟動風扇。

(三)、每隔10秒紀錄三用電表上的電壓數值，測量轉速值，直到第50秒，共紀錄5次。

(四)、每組葉片各進行三次風力發電實驗。

(五)、分析實驗結果並討論。

《實驗八》：將葉片形狀固定為長方形，探討葉片面積大小與發電效能的關係。

(一)、製作 $14 \times 5(\text{cm}^2)$ 、 $14 \times 8(\text{cm}^2)$ 、 $14 \times 11(\text{cm}^2)$ 、 $14 \times 14(\text{cm}^2)$ 、 $14 \times 17(\text{cm}^2)$ 的長方形葉片，共5組。

(二)、接下來步驟與《實驗四》步驟(二)~(五)相同。



▲圖11：正方形葉片



▲圖12：長方形葉片



▲圖13：研究三實驗相片

研究五、探究垂直軸風力發電機相同面積下葉片長寬比與發電效能的關係。

從研究三發現：葉片的面積越大，發電量效能愈好，但考量到風力發電機模組的高度，因此以長方形葉片總面積為 169 cm^2 ，進行《實驗九》並與 $169 \text{ cm}^2(14 \times 14)$ 的正方形葉片進行分析討論。

一、實驗目的：探究垂直軸風力發電機相同面積下葉片長寬比與發電效能的關係。

二、操作變因：葉片長寬比(在相同面積下，改變葉片邊長)

控制變因：葉片數目、葉片材質、風力大小、葉片面積

三、實驗步驟：

《實驗九》：

(一)、製作 $10 \times 19.6 \text{ cm}^2$ 、 $15 \times 13.1 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，共兩組。

- (二)、將葉片組裝在自製垂直軸風力發電機模組上，並啟動風扇。
- (三)、每隔10秒紀錄三用電表上的電壓數值，測量轉速值，直到第50秒，共紀錄5次。
- (四)、每組葉片各進行三次實驗。
- (五)、將實驗結果和 $14 \times 14 \text{cm}^2$ 的正方形葉片做比較討論。



▲圖14：研究四實驗葉片組

(上： $10 \times 19.6 \text{cm}$
左： $15 \times 13.1 \text{cm}$ 右： $14 \times 14 \text{cm}$)

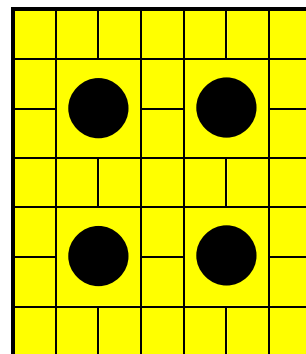
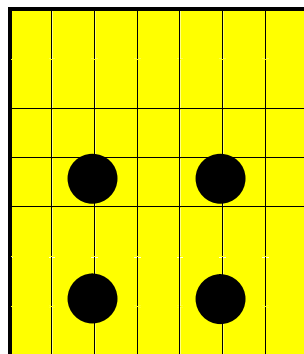
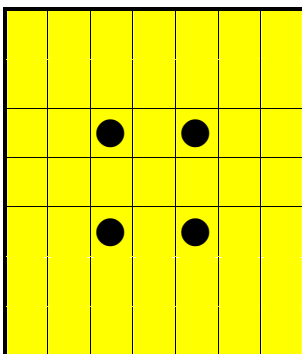
研究六、探究垂直軸風力發電機葉片打洞大小與發電效能的關係。

從研究三得知 $14 \times 14 \text{cm}^2$ 的正方形葉片和 $14 \times 17 \text{cm}^2$ 的長方形葉片發電量效能較佳，而研究四中 $15 \times 13.1 \text{cm}^2$ 的長方形葉片也有不錯的發電效能，因此以這三組葉片規格進行《實驗十》、《實驗十一》、《實驗十二》的研究。

- 一、實驗目的：探究垂直軸風力發電機葉片打洞大小與發電效能的關係。
- 二、操作變因：葉片打洞大小(以焊槍分別熔出直徑1cm、2cm、3cm的洞)
- 控制變因：葉片數目、葉片材質、風力大小、葉片形狀
- 三、實驗步驟：

《實驗十》：以 $14 \times 14 \text{cm}^2$ 的正方形葉片，探究葉片打洞大小與發電效能的關係。

- (一)、製作3組 $14 \times 14 \text{cm}^2$ 的正方形葉片，共9片。
- (二)、葉片每邊內縮2公分，在葉片上畫好打洞位置。



▲圖15：洞與洞間距2.6cm

▲圖16：洞與洞間距2cm

▲圖17：洞與洞間距1.3cm

- (三)、以焊槍鏤空打洞，每個葉片打4個洞，洞口直徑分別為1cm、2cm和3cm。
- (四)、將葉片組裝在自製垂直軸風力發電機模組上，並啟動風扇。

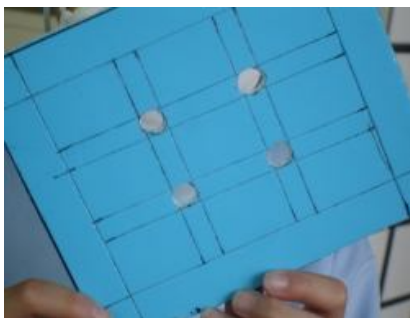
- (五)、每隔10秒紀錄三用電表上的電壓數值，測量轉速值，直到第50秒，共紀錄5次。
- (六)、每組葉片各進行三次風力發電實驗。
- (七)、分析實驗結果並討論。

《實驗十一》：以 $15 \times 13.1 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，探究葉片打洞大小與發電效能的關係。

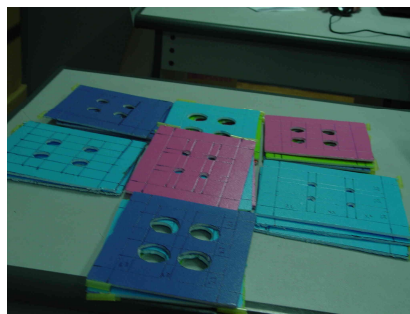
- (一)、製作3組 $15 \times 13.1 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，共9片。
- (二)、接下來步驟與《實驗七》步驟(四)~(七)相同。

《實驗十二》：以 $14 \times 17 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，探究葉片打洞大小與發電效能的關係。

- (一)、製作3組 $14 \times 17 \text{ cm}^2$ 的長方形葉片，共9片。
- (二)、接下來步驟與《實驗七》步驟(四)~(七)相同。



▲圖18：鏤空葉片完成圖



▲圖19：研究五葉片組



▲圖20：研究五實驗相片

研究七、探究垂直軸風力發電機葉片打洞疏密度與發電效能的關係。

從研究五得知打洞 1 cm 的正方形葉片可提高發電效能，因此採用 $14 \times 14 \text{ cm}^2$ 的正方形葉片進行研究六的實驗。

- 一、實驗目的：探究垂直軸風力發電機葉片打洞疏密度與發電效能的關係。
- 二、操作變因：葉片打洞疏密度(增加葉片洞數)

控制變因：葉片打洞大小(直徑1cm)、葉片數目、葉片材質、風力大小、葉片形狀

三、實驗步驟：

《實驗十三》

(一)、製作 6 組 $14 \times 14 \text{cm}^2$ 的正方形葉片，共 18 片。

(二)、葉片每邊內縮 2 公分，在葉片上畫好打洞位置，打洞說明如下(洞口直徑為 1 cm)：

第 1 組：鏤空洞數為 1 個

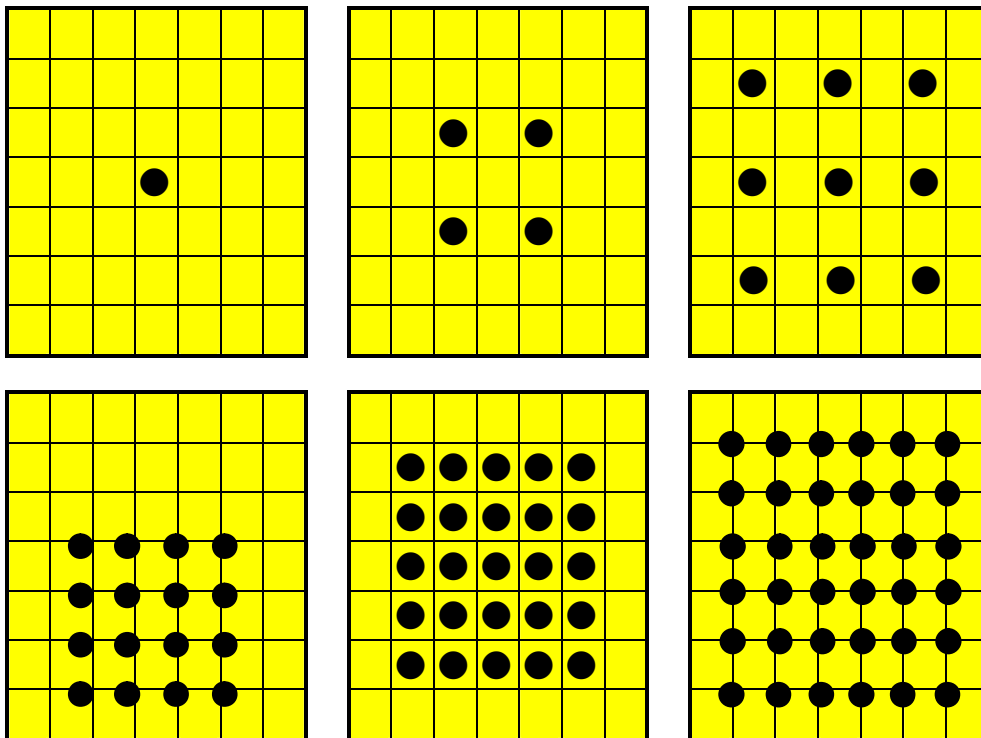
第 2 組：鏤空洞數為 4 個，洞與洞間隔 2.6 cm

第 3 組：鏤空洞數為 9 個，洞與洞間隔 1.75 cm

第 4 組：鏤空洞數為 16 個，洞與洞間隔 1.2 cm

第 5 組：鏤空洞數為 25 個，洞與洞間隔 0.8 cm

第 6 組：鏤空洞數為 36 個，洞與洞間隔 0.57 cm

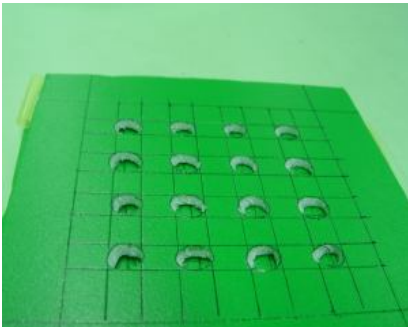


(三)、將葉片組裝在自製垂直軸風力發電機模組上，並啟動風扇。

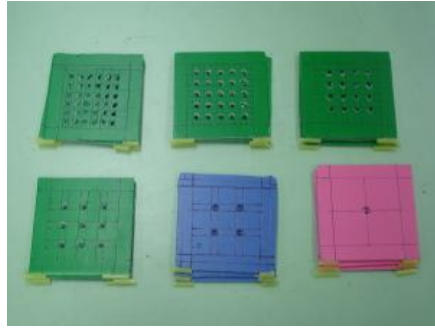
(四)、每隔 10 秒紀錄三用電表上的電壓數值，測量轉速值，直到第 50 秒，共紀錄 5 次。

(五)、每組葉片各進行三次實驗。

(六)、分析實驗結果並討論。



▲圖21：16孔葉片完成圖



▲圖22：研究六葉片組



▲圖23：研究六實驗相片

研究八、製作一組「垂直軸風力發電路燈」。

一、裝置材料如下：

- (一)、發電機體：自製垂直軸風力發電機，搭配研究六發電效能較佳的葉片。
- (二)、底座：50x50cm²、厚 2cm 的木板一片。
- (三)、支架：直徑 2cm 的塑膠水管，裁成 18 公分 1 根、21 公分 3 根。
- (四)、路燈：LED 燈、光敏電阻(感應太陽光，使 LED 燈白天不亮，晚上亮)

二、組裝步驟：

- (一)、在底座木板中間挖出一個直徑 2cm 的洞，將 18cm 的水管塞進木板，將 3 根 21cm 的水管固定在周圍，將發電機組架高。
- (二)、把風力發電機上下顛倒 (馬達在下)，固定在水管上。
- (三)、接上兩組裝有 LED 燈的塑膠瓦楞版和光敏電阻，進行實驗測試，並測量轉速值。

►圖24：實驗測試電壓



▲圖25：研究七實驗相片



▲圖26：發電機組運轉情形

伍、研究結果

研究一、設計垂直軸風力發電機。

風洞的設計改良成符合垂直軸風力發電機的需求，製作一個直徑 60 cm，縱深為 75cm 的風洞，配合高功率瓦數的工業電扇，並將垂直軸風力發電機放置於高 50cm 的位置，以產生最佳的發電效果。

研究二、探究垂直軸風力發電機可動式、固定式葉片與發電效能的關係。

表一：可動式、固定式葉片的相關測量值

| 可動式、固定式葉片 (14x11) | 可動式 | 固定式 (45 度) | 固定式 (90 度) | 固定式 (135 度) | 固定式(180 度) |
|-------------------|--------|------------|------------|-------------|------------|
| 轉速 (rpm) | 105.36 | 0 | 0 | 65.04 | 71.94 |
| 平均電壓 (V) | 0.98 | 0 | 0 | 0.64 | 0.70 |

表二：可動式、固定式葉片的相關測量值

| 可動式、固定式葉片 (13x13) | 可動式 | 固定式 (45 度) | 固定式 (90 度) | 固定式 (135 度) | 固定式(180 度) |
|-------------------|--------|------------|------------|-------------|------------|
| 轉速 (rpm) | 106.34 | 0 | 0 | 76.52 | 81.66 |
| 平均電壓 (V) | 0.97 | 0 | 0 | 0.72 | 0.78 |

表三：可動式、固定式葉片的相關測量值

| 可動式、固定式葉片 (16x4) | 可動式 | 固定式 (45 度) | 固定式 (90 度) | 固定式 (135 度) | 固定式(180 度) |
|------------------|-------|------------|------------|-------------|------------|
| 轉速 (rpm) | 47.68 | 0 | 0 | 35.98 | 45.28 |
| 平均電壓 (V) | 0.41 | 0 | 0 | 0.31 | 0.37 |

研究三、探究垂直軸風力發電機在相同面積下不同葉片形狀與發電效能的關係。

表四：三種不同葉片形狀(64cm²) 的相關測量值

| 葉片形狀 | 正方形 (8x8) | 三角形 (16x8) | 長方形 (16x4) |
|----------|-----------|------------|------------|
| 轉速 (rpm) | 74.54 | 58.6 | 47.68 |
| 平均電壓 (V) | 0.70 | 0.59 | 0.41 |

表五：三種不同葉片形狀(100cm²) 的相關測量值

| 葉片形狀 | 正方形 (10×10) | 三角形 (20×10) | 長方形 (20×5) |
|----------|-------------|-------------|------------|
| 轉速 (rpm) | 87.4 | 66.06 | 72.46 |
| 平均電壓 (V) | 0.78 | 0.62 | 0.65 |

表六：三種不同葉片形狀 121cm²的相關測量值

| 葉片形狀 | 正方形 (11×11) | 三角形 (16.2×15) | 長方形(一)(12.1×10) | 長方形(二)(20×6.05) |
|----------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 轉速 (rpm) | 101.24 | 64 | 97.76 | 47.24 |
| 平均電壓 (V) | 0.87 | 0.55 | 0.84 | 0.42 |

研究四、探討垂直軸風力發電機葉片相同形狀下面積大小與發電效能的關係。

表七-1：正方形不同長度的葉片相關測量值

| 葉片面積 | 正方形 (8×8) | 正方形 (9×9) | 正方形 (10×10) | 正方形 (11×11) |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 轉速 (rpm) | 74.54 | 80.3 | 87.4 | 101.24 |
| 平均電壓 (V) | 0.70 | 0.82 | 0.78 | 0.87 |

表七-2：正方形不同長度的葉片相關測量值

| 葉片面積 | 正方形 (12×12) | 正方形 (13×13) | 正方形 (14×14) |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| 轉速 (rpm) | 104.52 | 106.34 | 113.36 |
| 平均電壓 (V) | 0.86 | 0.97 | 0.98 |

表八：長方形不同長度的葉片相關測量值

| 葉片面積 | 長方形 (14×5) | 長方形 (14×8) | 長方形 (14×11) | 長方形 (14×14) | 長方形 (14×17) |
|----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 轉速 (rpm) | 99.54 | 100.76 | 105.36 | 113.36 | 127.46 |
| 平均電壓 (V) | 0.82 | 0.83 | 0.98 | 0.98 | 1.05 |

研究五、探究垂直軸風力發電機相同面積下葉片長寬比與發電效能的關係。

表九：不同長寬比的葉片相關測量值

| 葉片面積 | 長方形 (10×19.6) | 正方形 (14×14) | 長方形 (15×13.1) |
|----------|---------------|-------------|---------------|
| 轉速 (rpm) | 101.46 | 113.36 | 114.54 |
| 平均電壓 (V) | 0.86 | 0.98 | 0.96 |

研究六、探究垂直軸風力發電機葉片打洞大小與發電效能的關係。

表十：正方形(14x14cm²)不同打洞大小葉片的相關測量值

| 打洞大小 | 正方形(14x14cm ²) 直徑 1 cm 4 個洞 | 正方形(14x14cm ²) 直徑 2 cm 4 個洞 | 正方形(14x14cm ²) 直徑 3 cm 4 個洞 | 正方形(14x14cm ²) 無打洞 |
|----------|--|--|--|-----------------------------------|
| 轉速 (rpm) | 118.28 | 99.96 | 92.64 | 113.36 |
| 平均電壓 (V) | 1.02 | 0.97 | 0.95 | 0.98 |

表十一：長方形(13.1x15 cm²)不同打洞大小葉片的相關測量值

| 打洞大小 | 長方形(13.1x15 cm ²) 直徑 1 cm 4 個洞 | 長方形(13.1x15 cm ²) 直徑 2 cm 4 個洞 | 長方形(13.1x15 cm ²) 直徑 3 cm 4 個洞 | 長方形(13.1x15 cm ²) 無打洞 |
|----------|---|---|---|--------------------------------------|
| 轉速 (rpm) | 105.92 | 100.6 | 94.64 | 114.54 |
| 平均電壓 (V) | 0.93 | 0.86 | 0.86 | 0.96 |

表十二：長方形(14x17cm²)不同打洞大小葉片的相關測量值

| 打洞大小 | 長方形(14x17cm ²) 直徑 1 cm 4 個洞 | 長方形(14x17cm ²) 直徑 2 cm 4 個洞 | 長方形(14x17cm ²) 直徑 3 cm 4 個洞 | 長方形(14x17cm ²) 無打洞 |
|----------|--|--|--|-----------------------------------|
| 轉速 (rpm) | 98.8 | 109.26 | 101.96 | 127.46 |
| 平均電壓 (V) | 0.92 | 0.90 | 0.88 | 1.05 |

研究七、探究垂直軸風力發電機葉片打洞疏密度與發電效能的關係。

表十三-1：正方形(14x14cm²)不同疏密度葉片的相關測量值

| 葉片洞數 | 直徑 1 cm 的洞 【1 個】 | 直徑 1 cm 的洞 【4 個】 | 直徑 1 cm 的洞 【9 個】 | 直徑 1 cm 的洞 【16 個】 |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 轉速 (rpm) | 118.16 | 118.28 | 112.78 | 109.96 |
| 平均電壓 (V) | 1.02 | 1.02 | 0.98 | 0.97 |

表十三-2：正方形(14x14cm²)不同疏密度葉片的相關測量值

| 葉片洞數 | 直徑 1 cm 的洞 【25 個】 | 直徑 1 cm 的洞 【36 個】 | 無打洞 |
|----------|----------------------|----------------------|--------|
| 轉速 (rpm) | 100.3 | 104.3 | 113.36 |
| 平均電壓 (V) | 0.88 | 0.92 | 0.98 |

研究八、製作一組「垂直軸風力發電路燈」的可行性

一、在研究六的實驗中，最大發電效益可達 1.04V，但 LED 燈發亮所需最小電壓是 2V，最後決定更換不同馬達進行測試。我們拿吹風機內部的馬達進行風力發電測試，電壓有提高，但仍不足以讓 LED 燈發亮，最後我們找到一顆 12V 直流馬達，進行實驗測試。

二、我們希望設計出智慧型 LED 路燈，所以加裝了光敏電阻，可以感應太陽光線強弱，當天色變暗時才會啟動 LED 照明。

三、以兩組LED燈進行測試時，最後再加裝了光敏電阻，並進行電壓測試，得到以下結果。

表十四：正方形(14×14cm²)葉片的相關測量值

| 葉片洞數 | 正方形(14×14cm ²) 直徑 1 cm的洞【4 個】 |
|-----------|--|
| 轉速 (rpm) | 184.27 |
| 平均電壓 (V) | 3.08 |
| 平均電流 (A) | 0.0000504918 |
| 平均功率值 (W) | 0.000156 |

陸、討論

研究一、設計垂直軸風力發電機。

(一) 考慮原本電扇的風向不夠穩定，所以使用風洞讓風量固定，風向穩定，使得實驗產生的電壓值誤差降低。將風洞上半部用六條細木條在外側固定，可使風洞更堅固，不易變形。

1、基座：用最簡單的中空厚紙箱，排成寬 3 個×長 3 個厚紙箱。後來因要放電風扇而抽掉其中一個紙箱，而基座變 8 個厚紙箱。(9->8->2)

2、葉片：使用珍珠板做為葉片。因為珍珠板輕且不容易折斷，容易取得。

3、轉動支架：在木條上最外側的三根竹籤是葉片的轉軸，靠近內側的三根竹籤是為了擋住葉片，使葉片不會空轉，才能產生發電效益。

4、因第一代風洞直徑太大，風力不集中，且太長，所以風速很低，大約每秒 4.5 公尺的風速，我們後來把風洞長度減半，直徑縮成與電風扇直徑相同，直徑大約 60cm，縱深 75cm，也就是上一片，下一片。(基座、整流器、電風扇相同)

(二) 實驗場地選擇為教室，考慮為無風或無其他干擾情況下進行客觀的實驗。

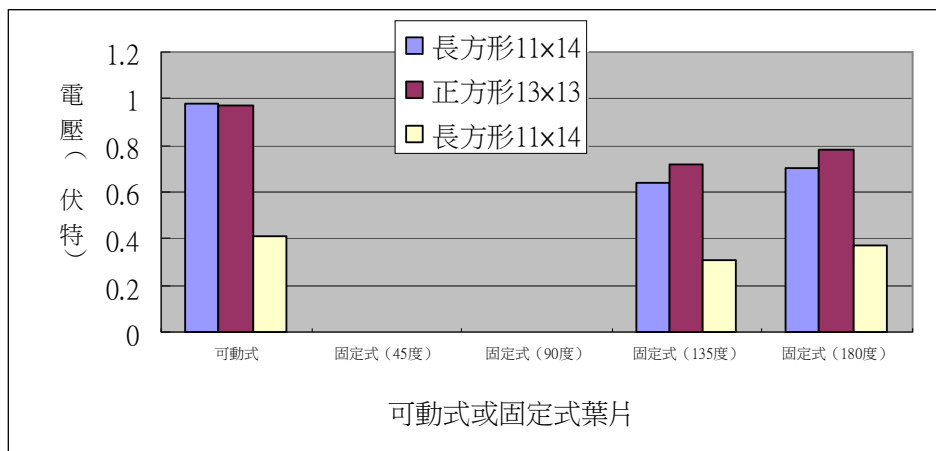
(三) 為了讓實驗數據更為精準，採用電子式的三用電錶作為測量工具，實驗數據採計到小數點後第三位。

(四) 為了瞭解垂直軸風力發電機是否能穩定供電，所以電扇啟動後每隔 10 秒紀錄一次，直到第 50 秒停止，總共進行三次實驗。以總平均發電量和每十秒的發電量做為分析依據。

(四) 將可動式葉片組發電機組轉動情形如下表：(←：表示風力來源)

| | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| | | | |
| <p>B、C 葉片受到風力而轉動，A 葉片與風力平行，未產生阻力。</p> | <p>B 葉片受到風力而轉動，C 葉片準備收合，A 葉片與風力平行，未產生阻力。</p> | <p>A、B 葉片受到風力而轉動，C 葉片收合中，未產生阻力。</p> | <p>B 葉片受到風力而轉動，A 葉片準備打開，C 葉片與風力平行，未產生阻力。</p> |

研究二、探究垂直軸風力發電機可動式、固定式葉片與發電效能的關係。

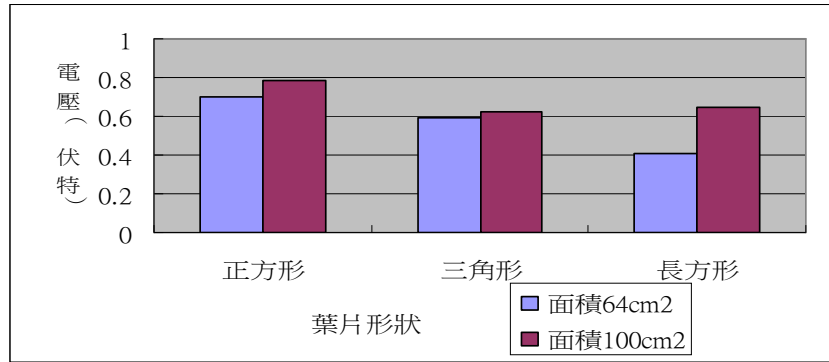


▲圖27：可動式或固定式葉片平均發電量

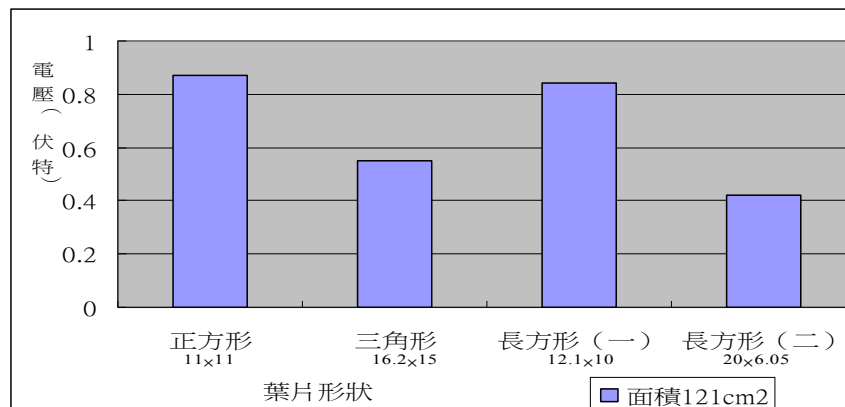
(一) 討論：

1. 從研究二發現三項葉片種類的發電量都以可動式葉片最佳，固定式葉片相對偏低。
2. 以固定式葉片與木條所夾角度來說，135 度與 180 度的葉片有較佳的發電量；45 度與 90 度的葉片因轉動不連續，所以發電量極低，甚至常有零的情況。
3. 由於固定式的葉片發電量不佳，且不夠穩定，因此以可動式葉片進行研究三的實驗。

研究三、探究垂直軸風力發電機在相同面積下葉片形狀與發電效能的關係。



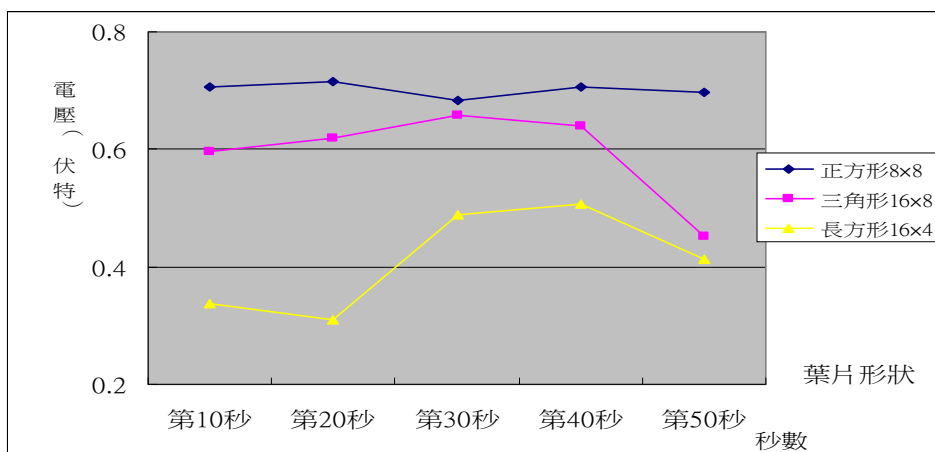
▲圖 28：不同葉片形狀平均發電量



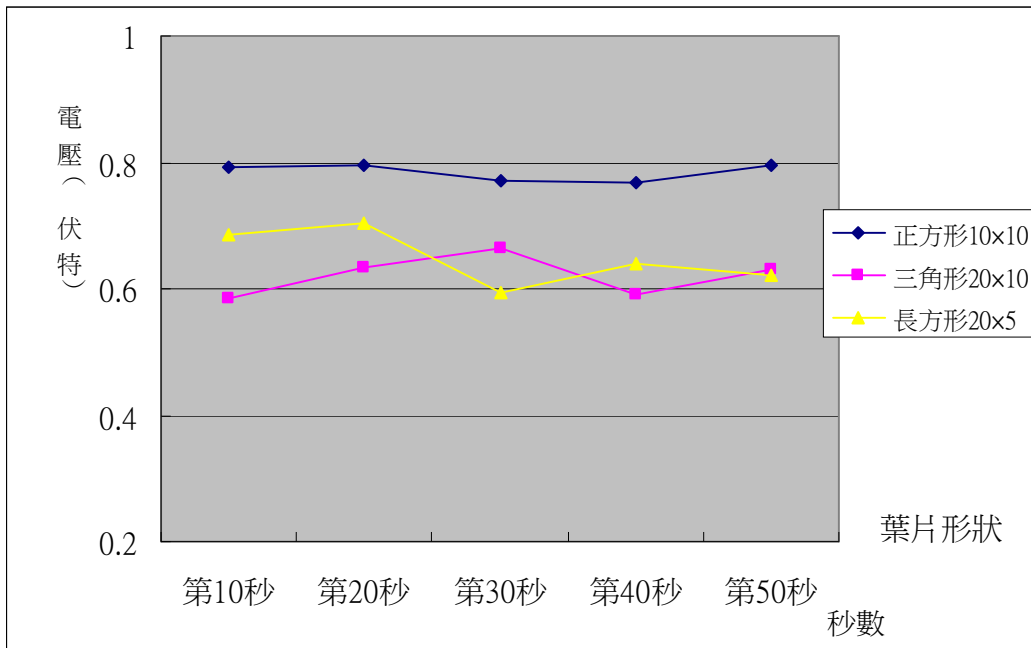
▲圖 29：不同葉片形狀平均發電量

(一) 發現：

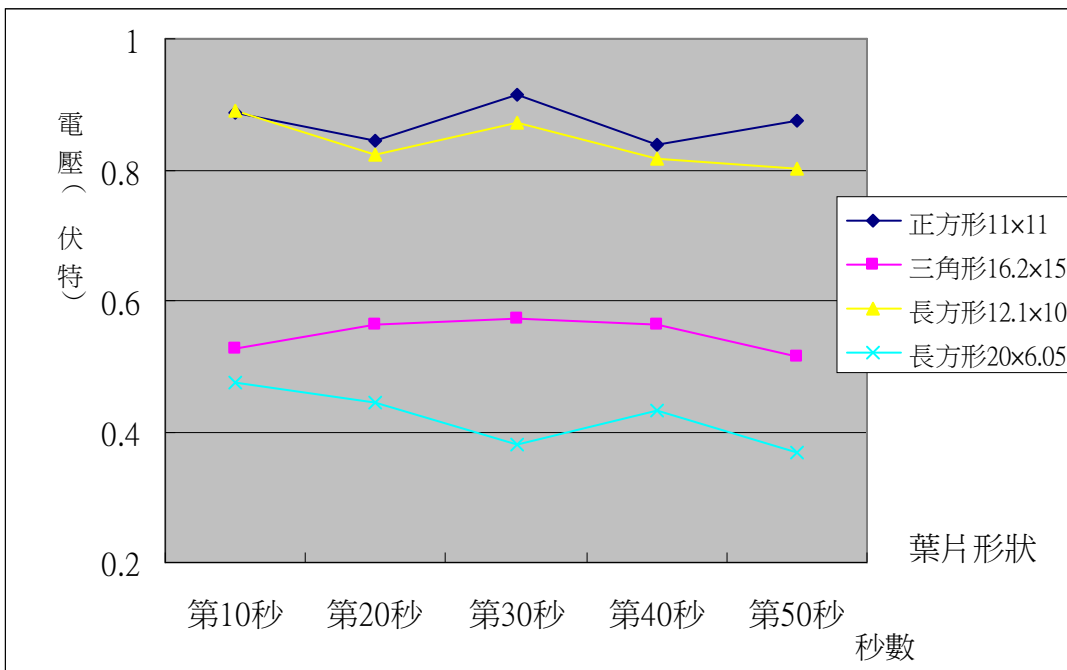
1. 正方形葉片均比三角形和長方形葉片的發電量較佳。
2. 實驗過程中發現一項特別的地方，面積 64 中，三角形 (16x8) 比長方形 (16x4) 葉片的發電量佳；面積 100 中，三角形 (20x10) 比長方形 (20x5) 葉片的發電量差一些。於是我們在面積 121 中，進一步將長方形葉片分成兩種類型，得到上圖。
3. 從上面實驗過程中發現在面積 121 中，長方形葉片分成兩種類型，長方形 (一) 葉片 (12.1x10) 的發電量比三角形佳；但是長方形 (二) 葉片 (20x6.05) 的發電量卻比三角形差。



▲圖 30：面積 64 cm² 不同葉片形狀每十秒測得的平均發電量



▲圖 31：面積 100 cm² 不同葉片形狀每十秒測得的平均發電量



▲圖 32：面積 121 cm² 不同葉片形狀每十秒測得的平均發電量

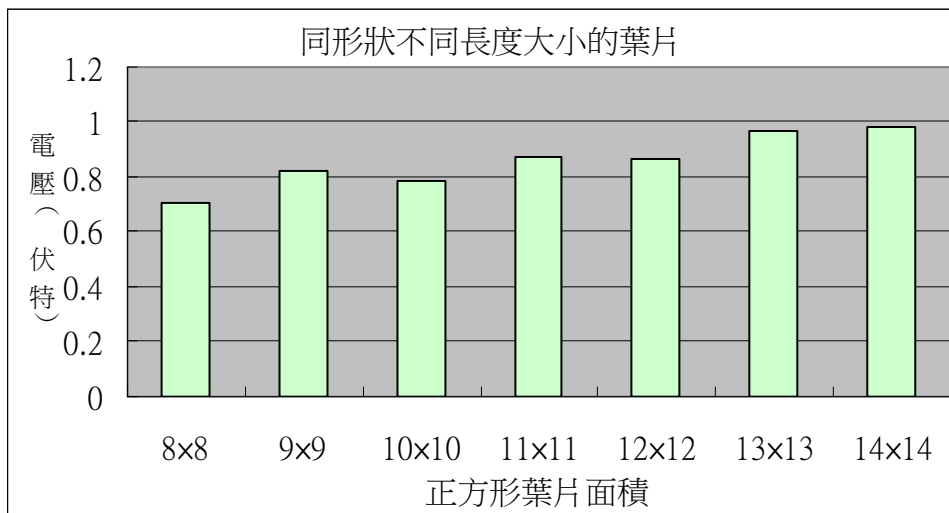
(二) 發現：

- 1.在研究二的實驗中，不論在哪種面積下，正方形葉片的發電量最為穩定；在面積 64 中，三角形和長方形的發電量相對不穩定。
- 2.在面積 100 中，三角形和長方形葉片的發電量互有消長；在面積 121 中，三角形和長寬差異大的長方形葉片的發電量均不及正方形和邊長接近正方形的長方形。

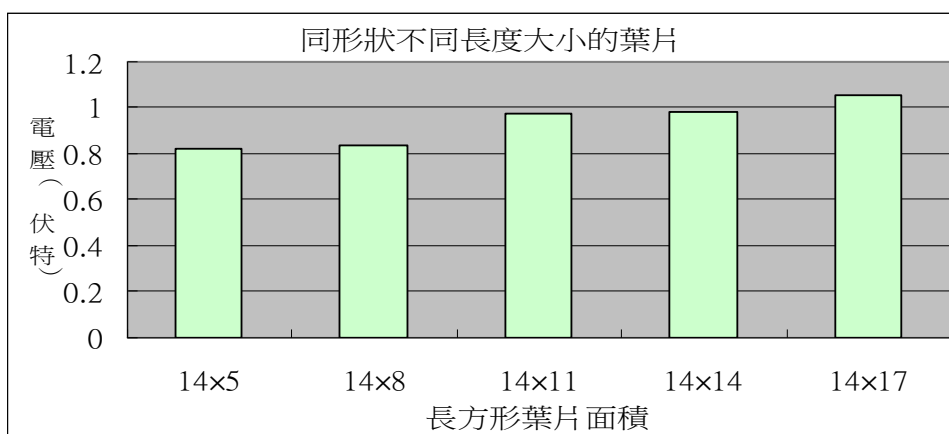
(三) 討論：

- 1.在面積 64 以及 100 中，長方形葉片的發電量有時高於三角形，有時低於三角形，最讓我們感到好奇，於是設計兩組相同面積，不同長寬比的長方形做進一步的實驗。
- 2.從上面長條圖與折線圖可以知道不論面積大小，正方形葉片的發電量最好，其次是葉片邊長差距小接近正方形的長方形，接著是三角形，最後是長寬差異大的長方形。
- 3.正方形葉片在每十秒的平均發電量最為穩定；三角形和長寬差異大的長方形發電量相對不穩定，尤其在第 40 秒~第 50 秒之間有下滑的趨勢。
- 4.由於三角形和長寬差異大的長方形的葉片發電量不佳，且不夠穩定，所以以正方形和葉片邊長差距小接近正方形的長方形進行研究四的實驗。

研究四、探究垂直軸風力發電機葉片相同形狀下面積大小與發電效能的關係。



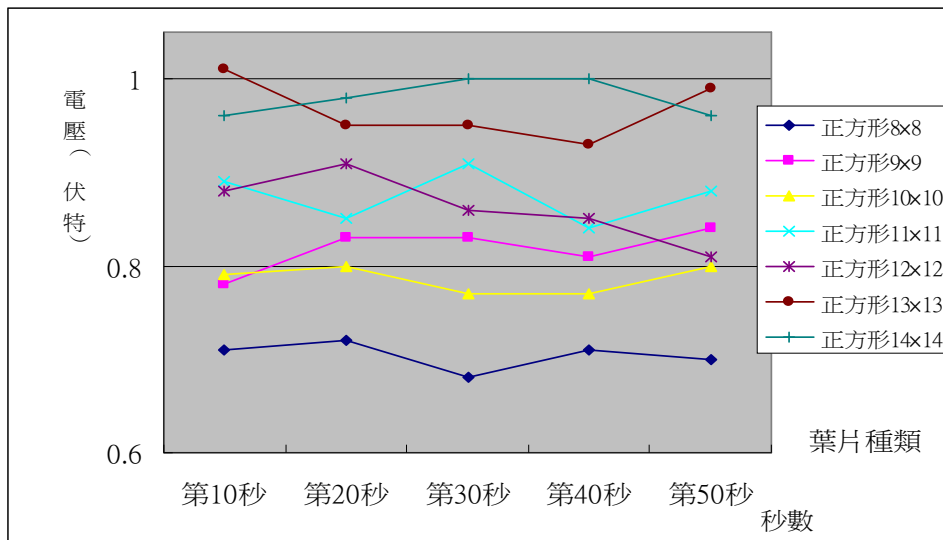
▲圖 33：不同邊長的正方形葉片平均發電量



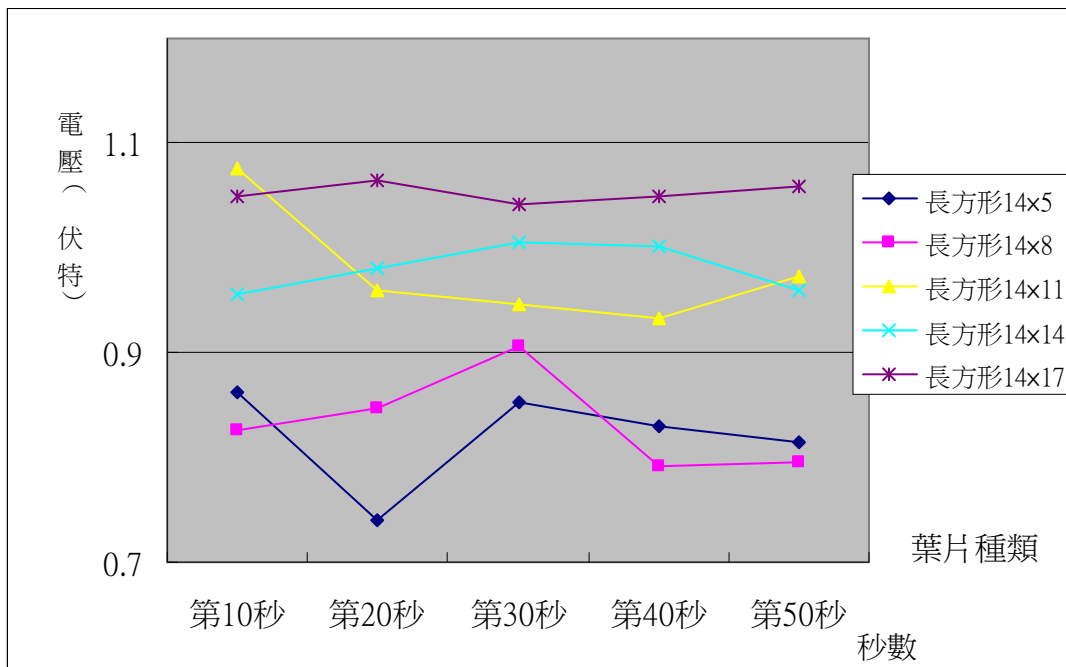
▲圖 34：不同長度的長方形葉片平均發電量

(一) 發現：

- 1.正方形和長方形葉片面積愈大，發電量愈佳，呈現上升的趨勢。
- 2.長方形 14x17 的平均發電量還超過 1 伏特，比正方形 14x14 葉片的發電量佳。
- 3.由實驗發現，正方形葉片以 14x14 達最大發電量，而且最穩定。
- 4.由實驗發現，長方形葉片長度愈大，面積也愈大，發電量也愈大。



▲圖 35：不同邊長的正方形葉片每十秒測得的平均發電量



▲圖 36：不同長度的長方形葉片每十秒測得的平均發電量

(二) 討論：

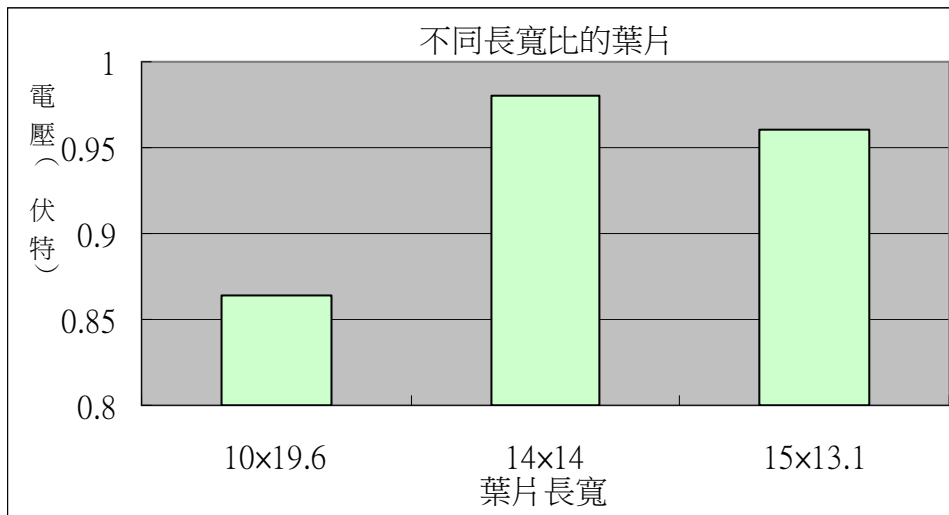
1.不論是正方形或是長方形葉片，長度愈長，發電量愈佳，呈現上升的趨勢。

2.正方形葉片每十秒的平均發電量比長方形較為穩定；電壓值誤差也相對小。

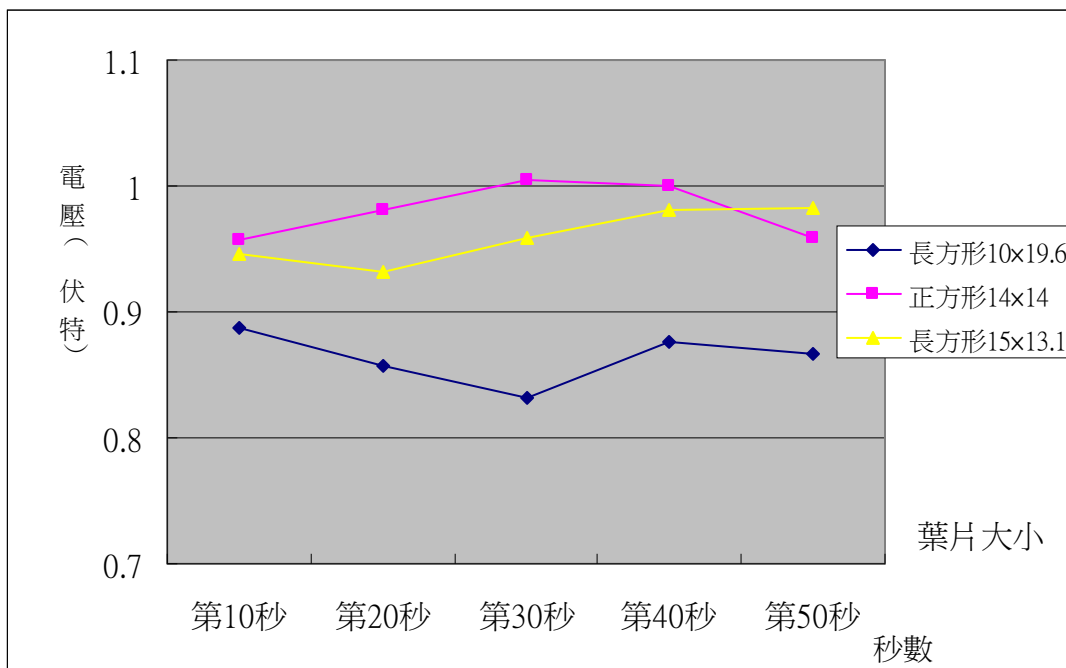
以長方形 14x8 和 14x11 來說，無法回復到最佳的發電量；長方形 14x5 和 14x11 的電壓值誤差相對比較大。

3.根據研究三的實驗結果，發現葉片面積愈大，發電效益愈高，但考量到風力發電機組的大小，所以以正方形 14x14 進行研究五的實驗。

研究五、探究垂直軸風力發電機相同面積下葉片長寬比與發電效能的關係。



▲圖 37：不同長寬比的葉片平均發電量

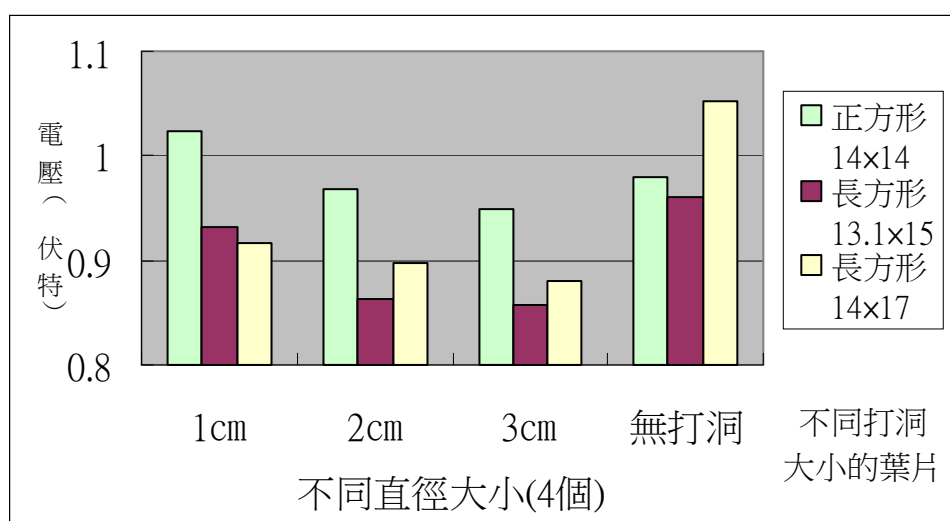


▲圖 38：不同長寬比的葉片每十秒測得的平均發電量

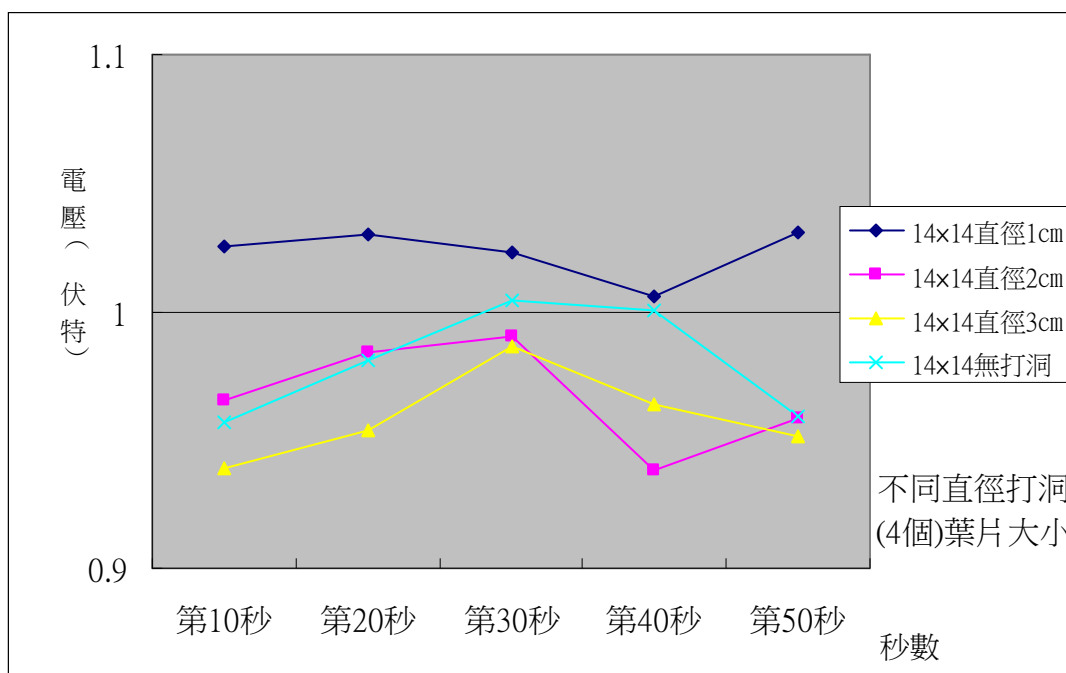
(一) 討論：

- 1.從研究二發現在相同面積下，長方形的長寬比不同會有不同差異的發電量。
- 2.以面積 196 來說，正方形葉片的發電量依舊是最佳的；其次是長寬比 (15×13.1) 愈接近正方形，發電量愈接近正方形。
- 3.最不佳的是長寬比大的長方形 10×19.6。
- 4.穩定性來說，以正方形的發電量最佳，尤其在第 10 秒~第 40 秒之間；長方形 10×19.6 在第 10 秒~第 30 秒之間呈現下滑趨勢。

研究六、探究垂直軸風力發電機葉片打洞大小與發電效能的關係。



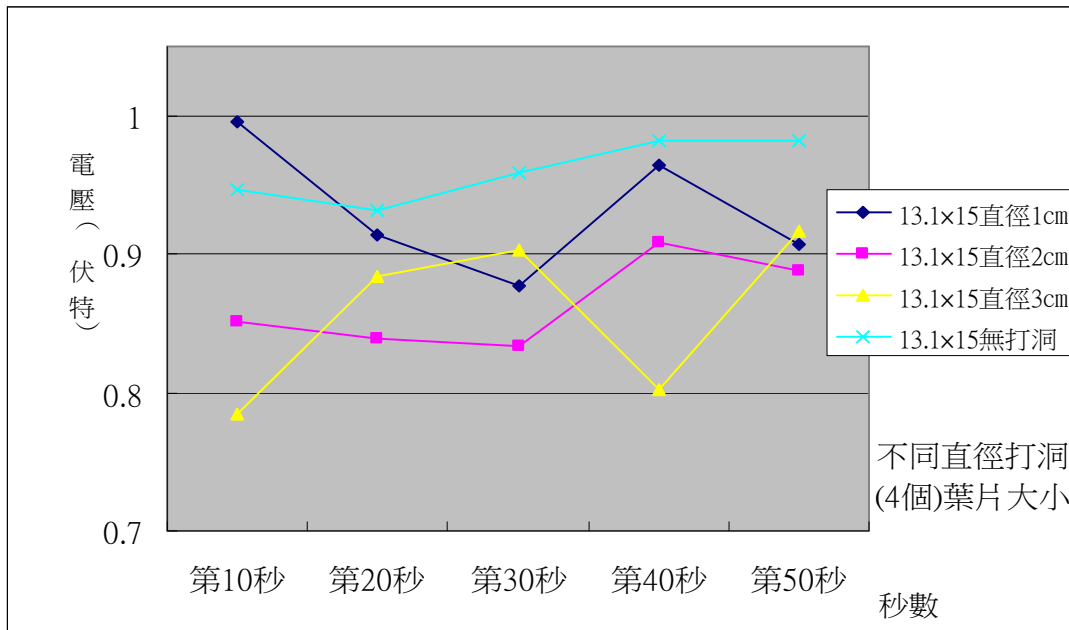
▲圖 39：不同打洞大小的葉片平均發電量



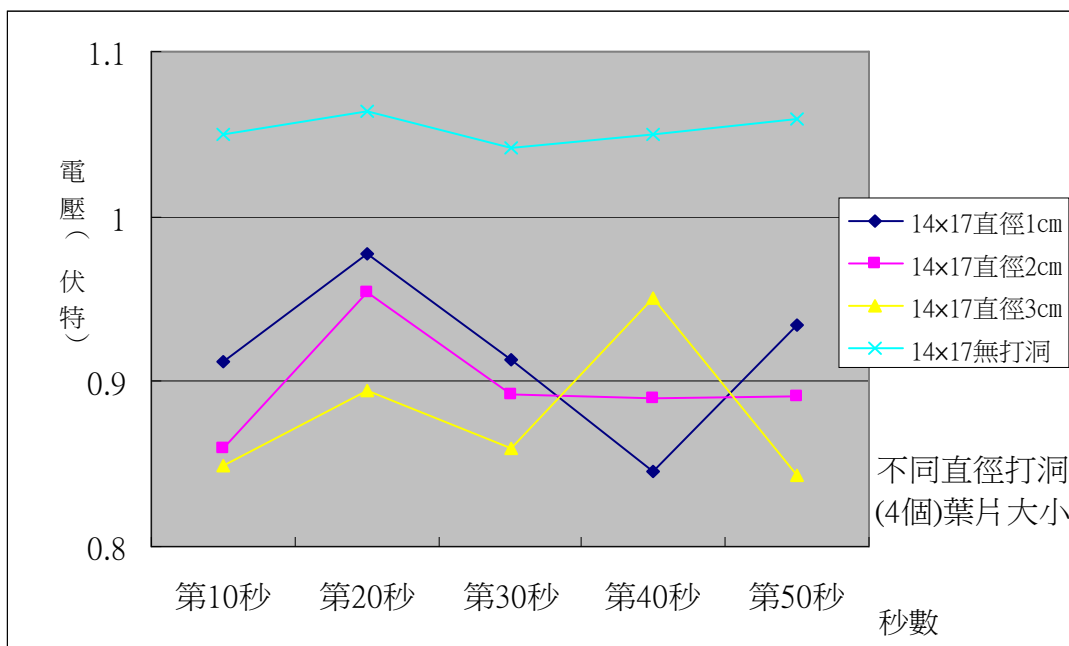
▲圖 40：不同打洞大小的正方形葉片每十秒測得的平均發電量

(一) 發現：

- 1.以有打洞來說，直徑 1 cm 正方形的葉片發電量最佳，電壓超過 1 伏特；直徑 3 cm 的最不佳，長方形也是如此。
- 2.未打洞長方形 14x17 的葉片發電量最佳，打洞之後電壓呈現下降趨勢；打洞直徑 1 cm 正方形發電量次佳，比未打洞的發電量還好。



▲圖 41：不同打洞大小的長方形葉片每十秒測得的平均發電量



▲圖 42：不同打洞大小的長方形葉片每十秒測得的平均發電量

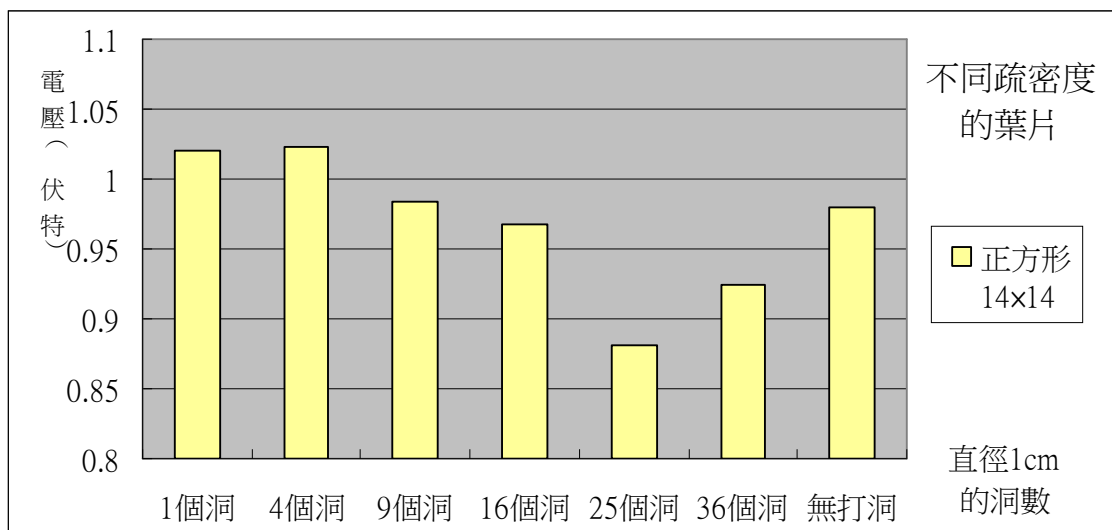
(二) 發現：

- 1.打洞直徑 1 cm 正方形的葉片發電量穩定性最佳，比未打洞的發電量還優。
- 2.打洞直徑 1 cm、2 cm 正方形的葉片發電量在第 30 秒~第 40 秒之間呈現下滑趨勢；打洞直徑 3 cm、無打洞正方形的葉片發電量在第 10 秒~第 30 秒之間呈現上升趨勢，在第 30 秒後呈現下降趨勢。
- 3.打洞直徑 3 cm 長方形葉片比長方形的每十秒的平均發電量較為不穩定；電壓值誤差也相對大。

(三) 討論：

- 1.整體而言，洞愈小愈好，尤其以正方形為最佳，比未打洞的發電量還優。
- 2.個別比較，以長方形洞愈小，發電量最佳，但是未打洞的發電量還是優於打洞。
- 3.從上面歸納的結果，在研究目的七的部份選擇打洞直徑 1 cm 正方形 14x14 做為進一步的實驗。

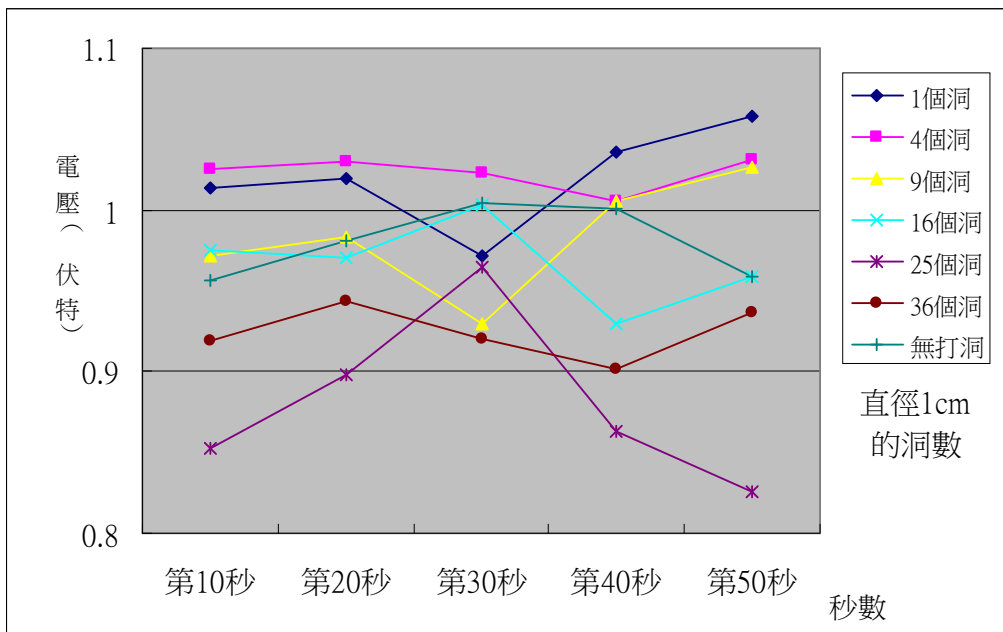
研究七、探究垂直軸風力發電機葉片打洞疏密度與發電效能的關係。



▲圖 43：不同疏密度的正方形葉片平均發電量

(一) 發現：

- 1.從上圖中發現，打洞數 1、4 個的正方形葉片總平均發電量最佳；25 個的最不佳。
- 2.打洞數 1、4 個的正方形葉片電壓超過 1 伏特，比未打洞的發電量還好；打洞數 9、16 個的電壓接近未打洞的正方形葉片；打洞數 25、36 個的電壓低於未打洞的正方形葉片。



▲圖 44：不同疏密度的正方形葉片每十秒測得的平均發電量

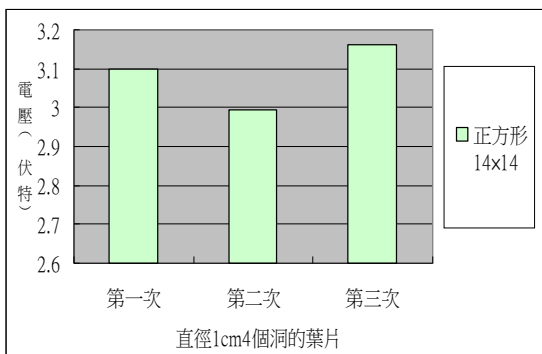
(二) 發現：

- 1.從上圖中發現，打洞數 4 個的正方形葉片發電量最為穩定，電壓值均在 1 伏特之上。
- 2.打洞數 1 的正方形葉片電壓在第 30 秒後呈現上升現象，比未打洞、打洞數 4 個的正方形葉片發電量還好。
- 3.實驗過程中發現一項特別的地方，打洞數 1、9 個的電壓折線圖接近；打洞數 4、36 個的電壓折線圖接近；打洞數 16、25 個的電壓折線圖接近。
- 4.從上面實驗的結果，在研究七的部份選擇打洞直徑 1 cm，打洞數 1、4 個正方形葉片組(14×14)進行路燈的實驗。

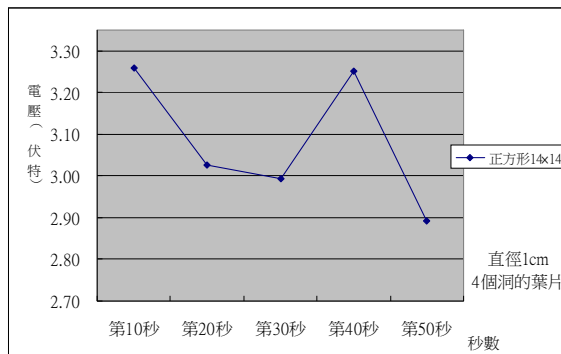
(三) 討論：

- 1.打洞數 1、4 個的正方形葉片電壓發電量最佳，而且打洞數 4 個的正方形葉片每十秒的平均發電量最為穩定，而且都在 1 伏特之上。
- 2.打洞數 25 個的正方形葉片電壓發電量最不佳，而且每十秒的平均發電量最不穩定，在第 30 秒之後呈現下滑的趨勢。
- 3.在研究四我們發現，葉片面積愈大發電效益愈好，將葉片鏤空後，葉片受風面積變小，但發電效益卻更好，我們推論原因是葉片鏤空後，葉片迴轉的時間也縮短，使得發電量佳，也較為穩定。

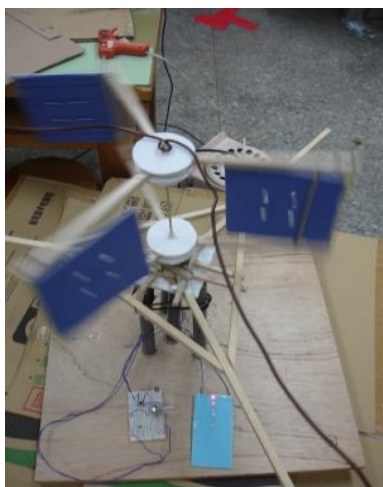
研究八、製作一組「垂直軸風力發電路燈」的可行性。



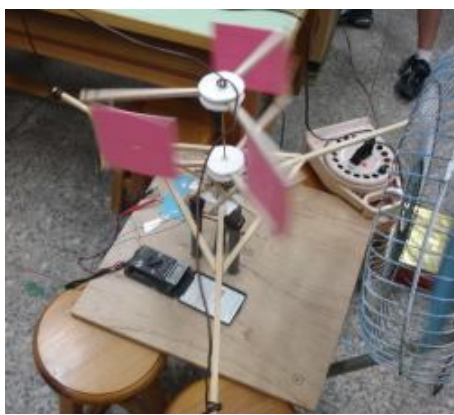
▲圖45：正方形葉片平均發電量



▲圖46：正方形葉片每十秒測得的平均發電量



▲圖47：發電機運轉



▲圖48：發電機運轉 (二)

▼圖49：LED燈亮情形



▲圖50：LED燈亮情形 (二)

(一) 討論：

1. 由實際測試結果中，我們發現運用本研究最佳發電效能之葉片組（打洞1cm，打1、4個洞、14×14cm²的正方形葉片）進行垂直軸風力發電路燈實驗。
2. 設計了兩組LED 燈泡組，上面有超亮紅、超亮粉紅、超亮白和超亮綠，因為不同顏色LED燈所需電壓不同，藉由LED燈泡發出不同的亮度，了解發電量的多寡。
3. 以4個洞的葉片組均可讓LED 燈泡發光，尤其是超亮紅LED、超亮粉紅燈持續發光，其中以4個洞的電壓量穩定性比1個洞的好。
4. 當電壓量越高，LED 燈泡發出的光線越強。但由於電壓有時低於3伏特，導致超亮白LED燈會有忽明忽滅的情況發生，超亮綠LED燈因電壓不夠大，則沒有發光。
5. 4個洞的正方形葉片可縮短葉片迴轉時間，使得穩定性較高，因此LED燈閃爍的次數較少。
6. 葉片組所產生的總平均電壓值為 3.08 伏特，足以提供 LED 燈發亮使用，為了節

能加裝了光敏電阻並將此裝置連接於垂直軸風力發電路燈上，可以感應太陽光線強弱，當天色變暗時才會啟動 LED 照明。

柒、結論

- 一、由研究二得知，可動式比固定式葉片的發電效果佳，固定式葉片所夾角度也會影響發電量及轉速。在 45 度和 90 度的葉片中，因風量產生的推力與其中葉片的阻力相抗衡，所以常有停止的情況；而在 135 度和 180 度的葉片中，因風量產生的推力大於其中葉片的阻力，所以能使葉片持續轉動。
- 二、根據研究三的垂直軸風力發電機實驗結果，我們得知以葉片形狀所產生的發電量來說，正方形 > 長寬比小的長方形 > 三角形 > 長寬比大的長方形，如果葉片形狀為長方形，長寬比愈接近正方形，所產生的發電量愈高。
- 三、由研究三、四、五得知，葉片的長度愈長，產生的發電量愈高；不論是正方形或是長方形，葉片面積愈大，發電量就愈高。也就是說，高瘦型（直立式）的葉片發電效能最好，矮寬型的不好，因矮寬型（橫向式）葉片轉出回復的時間要比較久，影響發電效能。所以在相同面積下的長方形葉片，直立式的葉片發電效能比橫向式葉片好。
定義:矮寬型就是葉片長七公分以下，中等型就是葉片長七公分以上，十二公分以下，高瘦型就是葉片長十二公分以上。
- 四、由研究六得知，葉片有打洞所產生的發電量來說，直徑 1cm > 2 cm > 3 cm。如果和無打洞一起比較，正方形葉片產生的發電量為直徑 1cm > 無打洞 > 2 cm > 3 cm；長方形葉片產生的發電量為無打洞 > 直徑 1cm > 2 cm > 3 cm。所以，在葉片上打洞的確可以提高發電量，但打大於 1 cm 的洞反而使發電量降低。葉片鏤空面積過大導致受風力面積較小，葉片迴轉的時間也相對增加，使發電量因此降低。
- 五、由研究七得知：
 - （一）同樣在葉片上打直徑 1 cm 的洞，打洞的疏密度也會影響發電效益。打 1 個洞和 4 個洞的總平均發電量最佳，而且高於不打洞的葉片；其中又以 4 個洞的發電量最為穩定，1 個洞的次高。但是打太多洞反而會使發電量降低。
 - （二）雖然因葉片鏤空數較少導致受風力面積較小，但因此葉片迴轉的時間也相對縮短（風阻小），使電壓量更加穩定；但鏤空數過多，反而葉片迴轉的時間也相對增加（風阻

大)，導致電壓量下降且發電不穩。

六、根據研究三~七的實驗結果發現，以每十秒的平均發電量來說，葉片形狀為正方形時，電壓的穩定性最佳，其中又以 14x14 直徑 1 cm的電壓量最佳，相對穩定。

七、根據研究一~七的實驗結果，以發電效能最佳的葉片組運用到「自製垂直軸風力發電路燈」上，可讓LED燈泡發光，由於葉片迴轉的因素導致不同發電量產生不同強弱的光線。由於4個洞的電壓量穩定性比1個洞的好，所以LED燈比較不會閃爍。此外利用光敏電阻的功能，做到啟動LED照明和節能的效果，未來可加入儲電裝置達到發電效能的穩定性。

八、在研究八實驗中，超亮紅LED燈可持續發亮，其他的LED燈則不穩定。這是因為自製的風力發電機葉片有迴轉的現象，當葉片受風力而產生電壓時，因葉片迴轉的緣故，使得電壓微幅下降，如果迴轉時間較少，可使得電壓穩定性較高，則可減少LED燈閃爍的次數。

捌、參考資料

一、康軒版自然與生活科技五上第四單元 力與運動。

二、關 和 市、牛 山 泉（2011）。**垂直軸風車**。臺北市：臺大。

三、陳建豪等三人（2010）。轉葉型垂直軸風車原型機之研究。中華民國第48屆中小學科學展覽會，高職組，機械科。

【評語】 080103

1. 各式葉片形狀等設計頗佳。
2. 各項變因皆有探究，但能展現實物說明會更好。
3. 傳達的精神可以再加強些。
4. 降低風阻可動式風車的設計，值得肯定。