

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

佳作

030820

磁旋追能

學校名稱：高雄市立立德國民中學

|        |       |
|--------|-------|
| 作者：    | 指導老師： |
| 國二 黃齊緯 | 陳宗慶   |
| 國二 林芋恩 | 陳佳琪   |

關鍵詞：磁浮風車、風力發電

# 摘要

為了能夠有效利用到各角度的風，我們自製了一台直立反轉式磁浮風車，本研究一開始探討葉片寬高比對轉速的影響，並進一步了解扇葉方向、受風面及彎曲程度對轉速造成的影響。另外，我們，改良風車扇葉重疊程度，製造不同的風罩形狀，改良在固定風力下的有效轉速。我們最後改變磁鐵磁力，並探討找出轉速最佳的風車並發電，觀察其磁通量的變化，並找出發電效率最佳的風車。

## 壹、研究動機

隨著經濟產業發展，全球能源消耗量不斷增加，但近年來學者陸續警告，作為人類最主要使用能源的石化燃料如石油、天然氣及煤，分別約只可再利用 40、60、200 年；除此之外，伴隨其燃燒所產生的溫室氣體亦為全球氣候變遷的一大主因。至於核能發電，前陣子才剛落幕的全台反核大遊行中，提出興建核電廠所衍生的各項問題，也指出在台灣發展核能產業並非解決能源問題的長久之計。

有鑑於此，我們將目光轉向風力發電，藉由改變風車扇葉扇葉數、寬高比例，或是改變風車形狀，調整氣流流向藉以增加轉速，甚至嘗試加入釹磁鐵，我們希望能克服風力發電的最大問題－發電效率低落，找出發電效率最高的風車。

之所以選擇直立式風車的原因是它能夠接收來自四面八方的風，比起一般水平式風車更適合放在都市中，如此一來就更能貼近我們的需求。

## 貳、研究目的

1. 探討直立式風車「扇葉數量」及「扇葉寬高比」對風車轉動效能的影響。
2. 探討具導流風罩直立式風車，其「葉片重疊程度」對風車轉動效能的影響。
3. 探討反轉式直立磁浮風車「扇葉數量」及「扇葉大小」對風車轉動效能的影響。
4. 探討「風力強弱」對不同種類直立式風車，其轉動效能及發電效能的影響。
5. 探討「不同磁力」、「不同數量」及「排列方式」對反轉式直立磁浮風車轉動效能及發電效能的影響。
6. 探討「不同角度風向」對「不同直徑大小組合」之反轉式直立磁浮風車，其轉動效能及發電效能的影響。

## 參、研究設備、藥品及器材

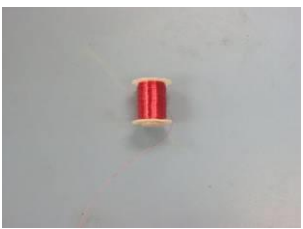
|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |
| 光電計時器                                                                               | 三用電表及鱷魚夾                                                                            | 電風扇                                                                                  | 磁力計                                                                                   |
|    |    |    |    |
| 支架                                                                                  | 紙板                                                                                  | 漆包線                                                                                  | 快乾                                                                                    |
|  |  |  |  |
| 吸管                                                                                  | 塑膠管                                                                                 | 直徑 10mm 厚度 2mm 鈹<br>磁鐵                                                               | 直徑 12mm 厚度 2mm 鈹<br>磁鐵                                                                |
|  |  |  |  |
| 直徑 15mm 厚度 2mm 鈹<br>磁鐵                                                              | 鐵釘                                                                                  | 電子秤                                                                                  | 風速計                                                                                   |

圖 1 研究設備及器材

## 肆、直立式磁浮風車製作及測試儀器架設

一、文獻探討：

(一)風車結構分類：

風力機的種類相當多，依結構式樣可分類為：

1. 按主軸與地面的相對位置，可分為水平軸式與垂直軸式。
2. 按轉子相對於風向的位置，可分為上風式與下風式。
3. 按轉子葉片工作原理可分為升力型與阻力型。
4. 按轉子葉片數量，可分為單葉型，雙葉型，三葉型，荷蘭型，美國農村多葉型。

註：風力機性能較佳者首推二葉式及三葉式，水平軸高轉速外力型風力機。 [文獻 2]

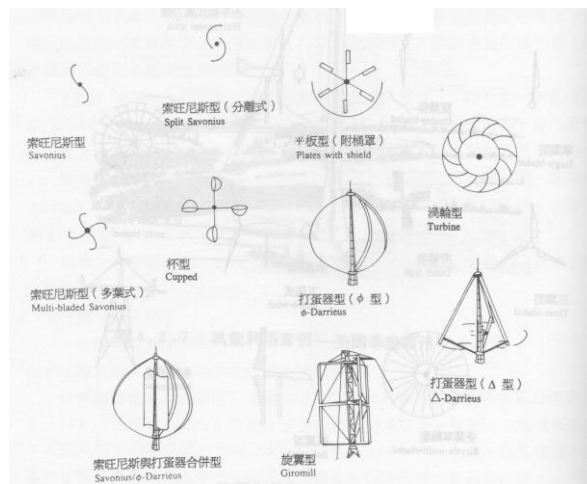


圖 2 垂直軸式

（圖片來源：能源資訊網/節能專家園地）

(二)水平式風車與直立式風車：

運用風能來發電的技術稱為風力發電。風力發電按其設計的方式與結構可分為垂直軸風力發電機 (Vertical Axis Wind Turbine 簡稱 VAWT)及水平軸風力發電機(Horizontal Axis Wind Turbine 簡稱 HAWT)兩種。

水平軸風力發電機之轉動軸與風向平行。若依葉片受力，可區分成升力或阻力型；若依葉片數，則有單葉、雙葉、三葉或多葉型；若依風向，則有逆風和順風型，逆風型轉子即葉片正對著風向。大部分水平軸式風力發電機其葉片會隨風向變化而必須不斷調整位置，因此較易受地形、地物之影響。

垂直軸風力發電機之轉動軸與風向成垂直。此型之優點為設計較簡單，因為不必隨風向改變而調整方向。可分為打蛋器型 (Darrieus1)和索旺尼型 (Savonius2) 等。索旺尼型係採用阻力型 S 型葉片。葉片之旋轉是藉作用於順風和逆風葉片 部分之阻力差異。優點：1. 陀螺式旋轉，不隨風向改變軸心。2. 發電不受地形風影響、噪音小。3. 不論都會區、郊區、沿海區、山區皆可適用。



圖 3 常見的直立式風車

### (三)風罩式直立式風車

本裝置是提供一種改進的風車或是風力渦輪機的設計。結構簡單，成本低，並且能夠在低處和相對高處的風力條件下操作。不同的風條件下，選擇風車或渦輪機的葉片來自動地控制其旋轉速度，可用於不同的風源發電。其結構在渦輪機軸頸上支撐並圍繞基本垂直定位軸和定位繞軸槽狀葉片並縱向延伸。擋風罩安裝在包圍和屏蔽葉片的一部分，其中擋風板定位相對於風，以補償高風速和風力產生的損害支撐。本裝置是根據風作用在風力葉片和螺旋速度控制的擋風罩的位置。其優點有：1. 自製實驗風洞，提供穩定客觀之風力來源。2. 由風洞測試顯示，擴散型風罩增強風力之效果最佳。3. 自製無鐵心之微型發電機，降低啟動風速。4. 本作品可利用較小的風力，有效增加風能密度，大幅提昇發電功率。



圖 4 常見具風罩的直立式風車

### (四)徑流雙輪效應風輪

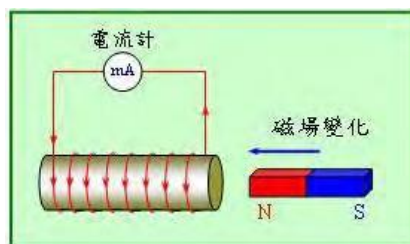
徑流雙輪效應或叫雙輪效應是一種新型風能轉化方式。它屬於一種雙輪結構，相對於水平軸流式風機，它是徑流式的，同直立式風機一樣都是沿長軸布設槳葉，直接利用風的推力旋轉工作，單輪立軸風輪因軸兩側槳葉同時接受風力而扭矩相反，相互抵消，輸出力矩不大。而雙輪緊鄰安裝，並可同步運轉，將原來的立軸力矩輸出對槳葉流體力學形狀進而改變為雙輪間的利用轉動產生渦流力的利用；而對吹向兩輪間的逆向風流可以互相遮擋，進而又依次輪流將其分撥於兩輪的外側，使兩輪外側獲得有疊加的風流，因此使雙輪的外緣線速度可以高於風速，雙輪結構的這種互相助力，主動利用風力的特點產生了“雙輪效應”。較某些單輪結構風機採用外加的遮擋法、活動式變槳矩等被動式減少葉輪回轉複位阻力的設計，體現了積極利用風力的特點。此發明不僅促進風力利用的研究和發展，而具有新的流體力學方面

的意義。這種雙輪風機具有的設計簡捷，易於製造加工，轉數較低，重心下降，安全性好，運行成本低，維護容易，無噪音污染等明顯特點，可以廣泛推廣，適應節能減排需求。

#### (五) 基本電學(資料來源：教育部國民中學學習資源網)

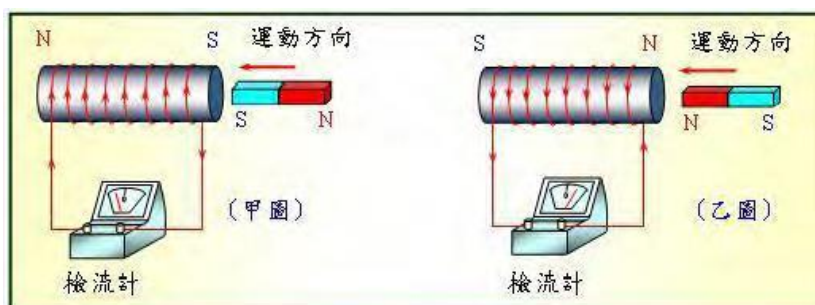
### 1. 電磁感應

- (1) 電磁感應原理：法拉第發現，如果線圈內的磁場發生變化時，原本無電流的線圈會因而產生感應電流，此種因磁場變化而產生電流的現象稱為電磁感應。



#### (2) 法拉第定律

- A. 感應電流的大小與磁場變化的速率成正比(線圈的匝數固定時)。
  - B. 感應電流的大小與線圈匝數成正比(磁場變化的速率固定時)。
  - C. 增加線圈匝數、加快磁場變化的速率皆可增加線圈感應產生電流的大小。
- (3) 楞次定律：當線圈上生成感應電流時會生成新的磁場，此時新的磁場恆與原磁場變化的方向相抗衡。我們可以藉此判斷感應電流的方向。



### 2. 發電機原理

- (1) 根據電磁感應，運用磁場在線圈中快速變化而產生感應電流。產生的感應電流與磁場變化速率成正比(法拉第定律)。感應電流的方向則依據楞次定律判斷。
- (2) 有電流必定能產生磁場，但有磁場時未必會產生電流。(磁場強弱須有變化才能產生感應電流)。
- (3) 線圈與磁鐵
- A. 如果不能重繞，可以將線圈各別剪斷，將線圈分成三組，間隔90度的線圈為同一組，並將其連接起來(三相Y接)
  - B. 線圈固定時方向有可能相反，會造成感應電流互相抵消
  - C. 可以嘗試磁鐵NS極間隔排列
  - D. 可以嘗試增加線圈匝數

## 二、風車主體製作

(一)第一代風罩式磁浮風車發電機製作<sup>[文獻 3]</sup>：

1. 設計概念：

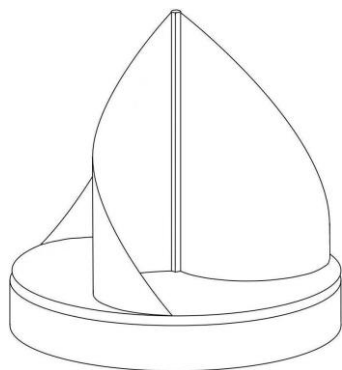


圖 5 原設計磁浮風車示意圖

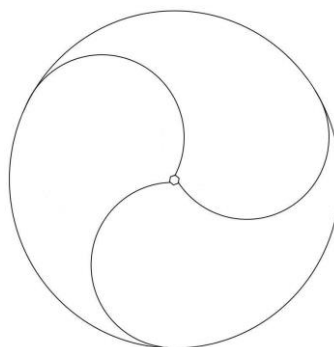


圖 6 原設計的俯視圖

2. 磁浮板正面葉片放置位置：



圖 7 三角狀的葉片

3. 製作磁浮板：磁鐵的磁力極強會因為排斥的力量，而彈離固定的原位，難以一般的膠水固定，所以我們需使用瞬間接著劑。為了好固定，我們於中心部分挖了四個鉸磁鐵可置入的大小的洞，並放入 4 個鉸磁鐵，以磁性相斥方式，將 4 個半徑為 10mm 鉸磁鐵緊鄰圓心，以快乾膠黏貼於風車下方，以製作磁浮風車，如圖 8 所示。磁鐵的排列必須準確精準，葉片轉動時才不會出現劇烈的搖晃。磁浮板大小直徑為 20cm，材料為厚紙板，厚度為數張厚紙板相黏以增加重量。我們磁浮板使用簡單的材料，打造出堅硬的外殼。這個磁浮板可以承受約 900 公克重的重量，非常足夠我們用於風力發電機上，用來支撐葉片的重量。



圖 8 磁浮風車磁浮板示意圖

4. 製作風扇扇葉：利用厚紙版製作寬高比分別為 1:1、1:2、1:3 的直角三角形葉片。如圖所示。

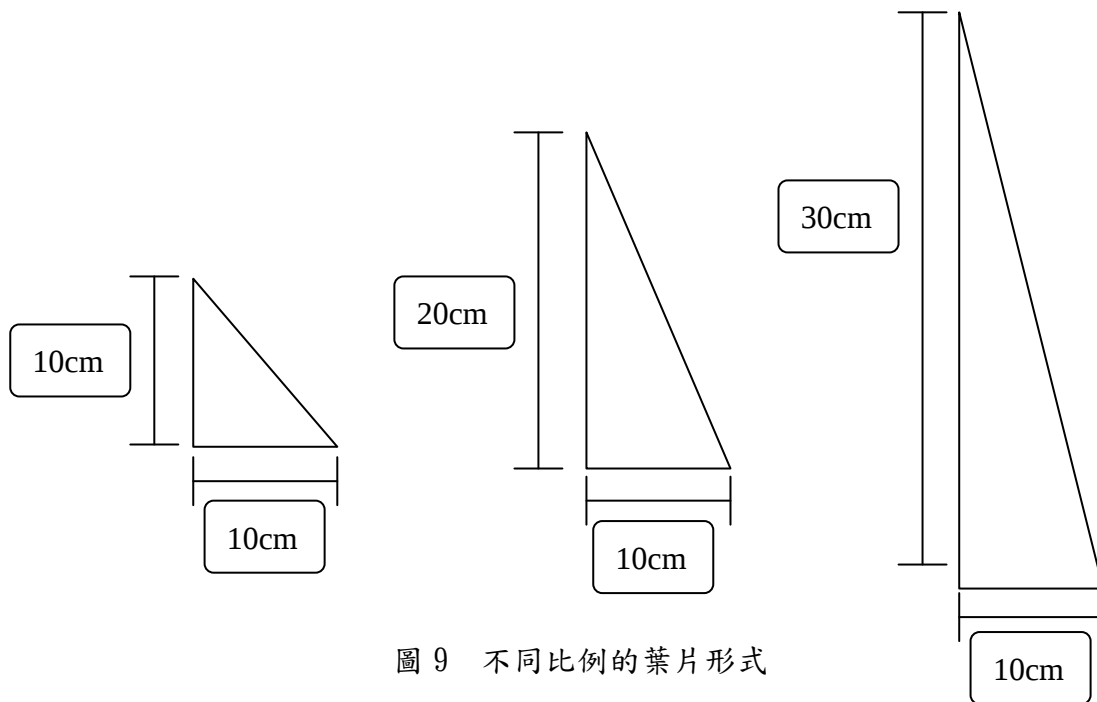


圖 9 不同比例的葉片形式

(二) 葉片製作：

1. 設計不同葉片數量：於磁浮板上另一面做四條彼此夾 90 度及三條彼此夾 120 度的半徑，在每條半徑上距離圓心 5cm 處做垂直半徑的 2.85cm 線段。如圖所示。

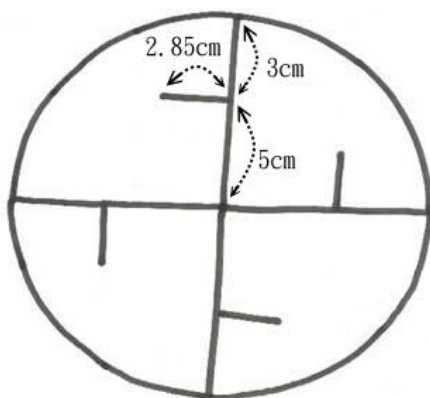


圖 10 四片葉片的模型

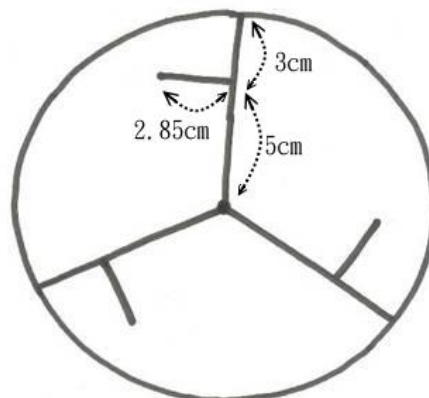


圖 11 三片葉的模型

2. 風罩型風車葉片安裝：彎曲扇葉使其曲率半徑最大的頂點剛好落在 2.85cm 線段頂點，並將扇葉黏貼於磁浮板上。如圖所示。

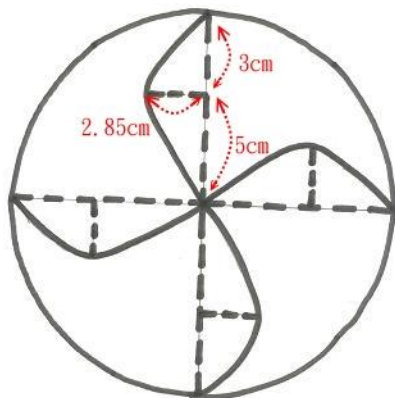


圖 12 四片葉片的模型

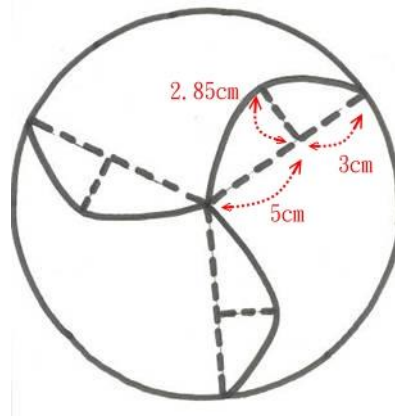


圖 13 三片葉的模型

3. 風車完成後：

我們利用木棒為中心軸(上端尖頭磨成圓狀，旁邊以砂紙磨較光滑)，套入直徑大小相同的塑膠圓狀，上方則套入半圓形金屬套頭，以減少風車轉動時的摩擦力，外面並用亮面膠帶黏好，如下圖所示。

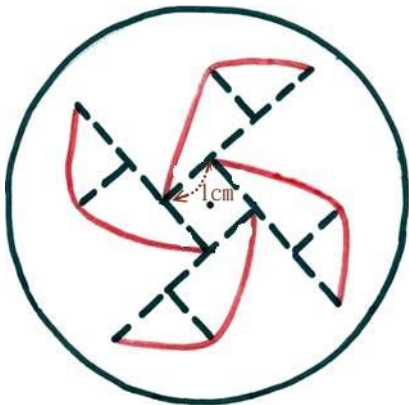
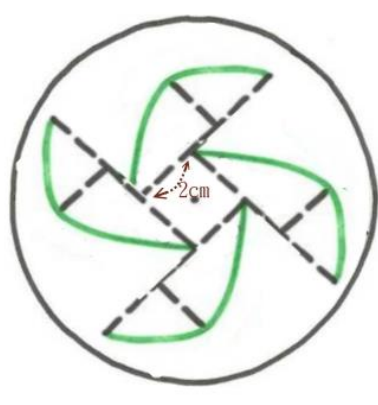
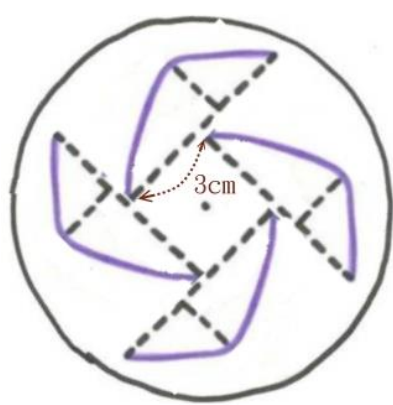
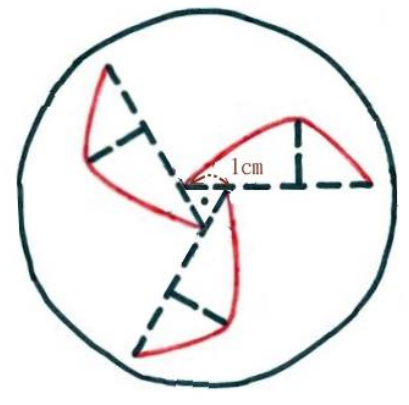
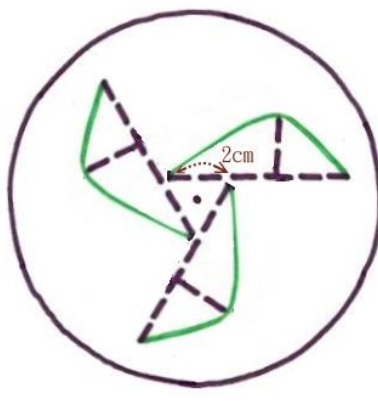
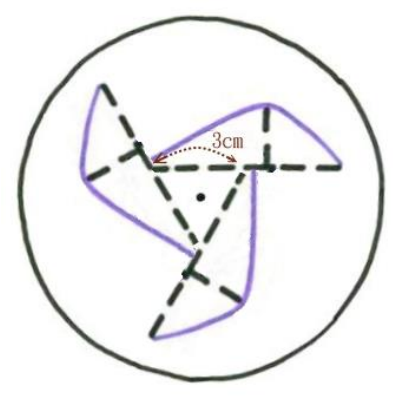


圖 14 模型初步完成圖

(二)第二代導流風罩式磁浮風車發電機製作：

1. 設計概念：

我們將第一代的扇葉，改變其在圓板上的位置，以正中心劃出為1cm、2cm、3cm的正方形或是三角形，並延著正方形及三角形的邊長，加入第一代扇葉，如下圖所示。(扇葉大小、長度及弧度與第一代風車之尺寸相同。)

| 四葉風車                                                                                |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1cm                                                                                 | 2cm                                                                                 | 3cm                                                                                   |
|   |   |   |
| 三葉風車                                                                                |                                                                                     |                                                                                       |
| 1cm                                                                                 | 2cm                                                                                 | 3cm                                                                                   |
|  |  |  |

2. 以三葉模型 1cm 導流風罩裝置圖型為例：

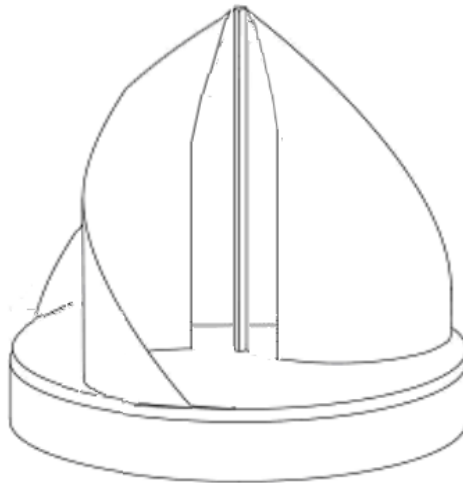


圖 15 第二代導流風罩裝置裝置磁浮風車示意圖

(三) 第三代反轉式磁浮風車製作：

1. 設計概念：

我們利用兩組風車進行發電，並將漆包線組進行串聯，並利用反轉裝置的兩個磁場進行磁場的交差改變。

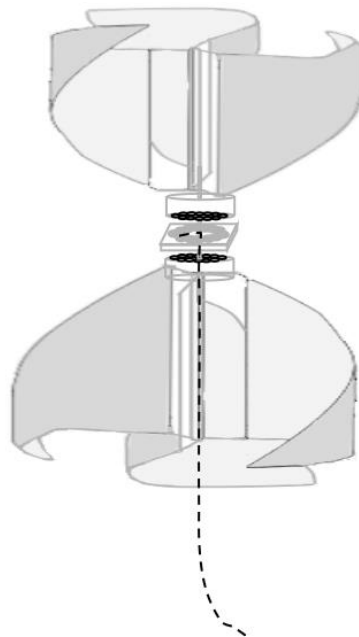


圖 16 反轉式磁浮風車裝置圖

## 2. 磁場與漆包線裝置圖：

我們將上下方的磁鐵磁性反置，讓中心內的線圈兩端受到不同磁性的作用，而產生較大的磁通量，產生較佳的發電效果。

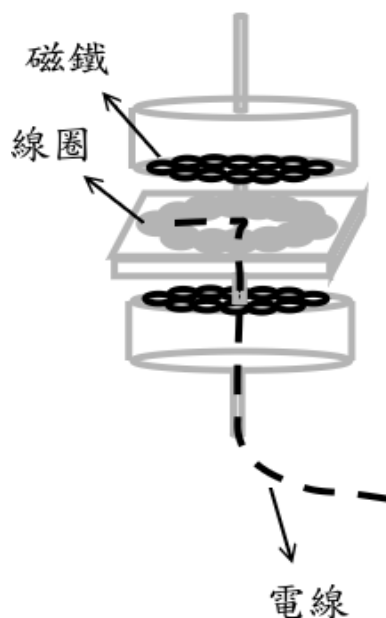


圖 17 磁場與漆包線裝置圖

## 3. 風車完成後：

我們利用木棒為中心軸(上端尖頭磨成圓狀，旁邊以砂紙磨較光滑)，套入直徑大小相同的塑膠圓狀，上方則套入半圓形金屬套頭，以減少風車轉動時的摩擦力。



圖 18 風車完成並測試運轉

### 三、其他實驗及檢測裝置製作

(一)風洞：為避免氣流方向過於分散，利用紙版做成圓柱狀導風罩。如圖所示。



圖 19 自製風洞裝置

(二)角速度測量光電計時器：將光電計時器的光電匣固定於磁浮底座旁，在每個待測風車上黏上寬度均等的紙片作為遮光片；紙片通過光電匣時會遮蔽光電匣的感應光源，計算感應光源被遮蔽的時間間隔，即可算出風車轉動的角速度。如圖所示。



圖 20 光電匣



圖 21 光電計時器

(三)磁場測量：將磁力計平放於磁浮板下方，以支架固定其高度，並使磁場感應器頂端距離電感器兩端 2cm 處，利用磁力計可記錄風車轉動時的磁場變化。如圖所示。



圖 22 磁力計與其他裝置圖

(四)感應電流與電壓測量：由於風車轉動時磁浮板底端距離磁浮底座約 2cm，而市售電感器皆逾 2cm，因此取一長度約為 1.2cm 之吸管，在其上均勻並緊密的纏上 1000 匝的漆包線；接著刮除其兩端表面的漆，並將漆包線兩端夾上鱷魚夾以連接三用電表，即可測出電磁感應電流大小及電壓來探討發電效率。如圖所示。

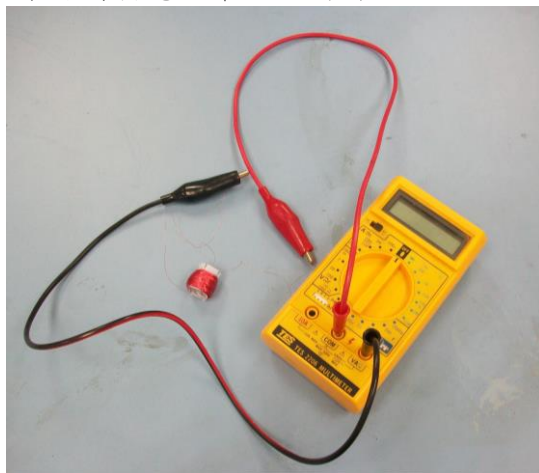


圖 23 三用電表

(五)儀器架設完成圖：

並將上述之一代、二代及三代風車，分別置於此裝置，並進行角速度、磁力變化及產生電壓與電流之測量。



圖 24 進行測試的裝置圖

## 伍、實驗流程及方法

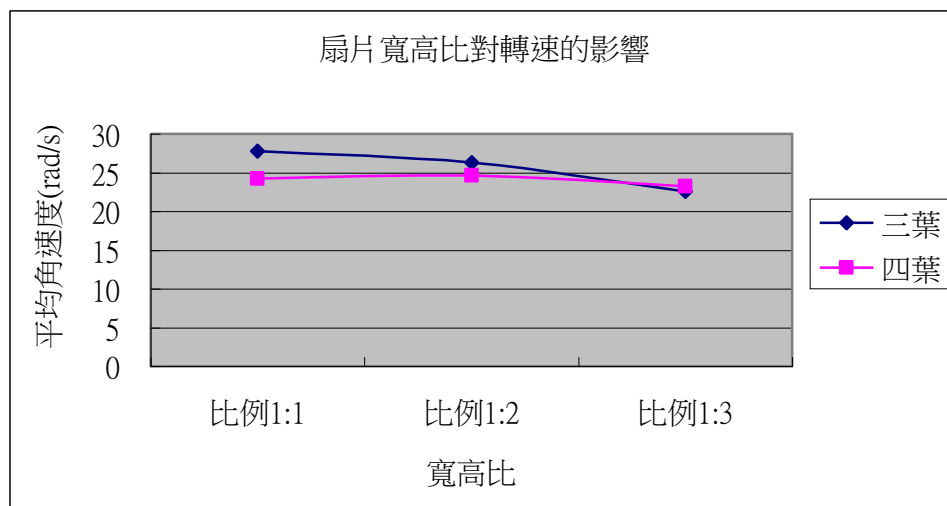
### 實驗一、探討直立式風車扇葉數量及寬高比對風車轉動效能的影響

#### 一、實驗步驟：

1. 自製第一代風罩式磁浮風車發電機：製作扇葉寬高各為 1:1、1:2、1:3 的四葉及三葉風車。
2. 測量轉速：使用光電計時器測風車轉 45 圈及轉 90 圈之所需時間，經過計算得平均角速度。

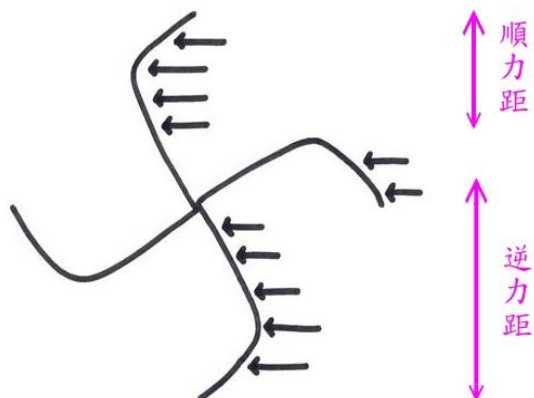
#### 二、實驗數據：

| 風車種類<br>(10mm 磁鐵) | 寬高比    | 轉 45 圈之時間<br>(s) | 轉 90 圈之時間<br>(s) | 平均角速度<br>(rad/s) |
|-------------------|--------|------------------|------------------|------------------|
| 四葉葉片              | 比例 1:1 | 11.67            | 23.31            | 24.25            |
|                   | 比例 1:2 | 11.69            | 22.97            | 24.61            |
|                   | 比例 1:3 | 10.05            | 24.30            | 23.26            |
| 三葉葉片              | 比例 1:1 | 13.13            | 20.37            | 27.75            |
|                   | 比例 1:2 | 10.47            | 21.48            | 26.31            |
|                   | 比例 1:3 | 12.13            | 25.08            | 22.54            |

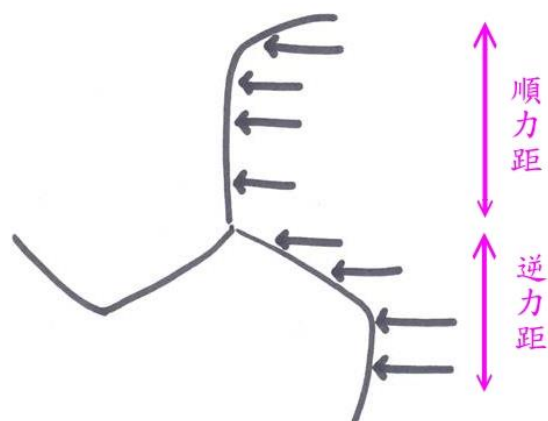


### 三、實驗結果與討論：

1. 因葉片的彎曲點不在葉片中心且形狀為直角三角形，所以葉片的彎曲程度造成葉片面積越大，葉片後端受力面積越小，前端受力面積越大，有較大的轉速。

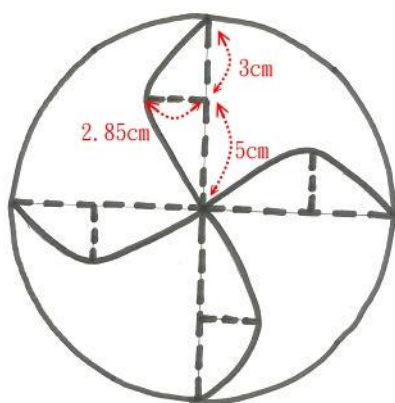


四葉風車

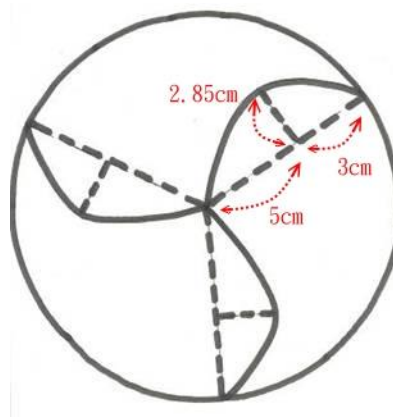


三葉風車

2. 以不論是三葉風車或是四葉風車來說，當葉片從 1:1 改為 1:2 或是 1:3 時，前端逆力矩減少，但後端增加。由此可知，葉片 1:1 恰好使逆力矩前後端達到最佳比例。
3. 由於初始的速度較慢，我們測量以轉速已穩定後，取平均值作為平均角速度。
4. 為了提昇最好的轉速，我們測得的彎曲程度以在離中心 5cm 處作垂上 2.85cm 時有最佳的轉速，如下圖所示。



四片葉片的模型



三片葉的模型

## 實驗二、探討具導流風罩直立式風車其葉片重疊程度對風車其轉動效能的影響

### 一、實驗步驟

1. 自製第二代導流風罩式磁浮發電機，並使中心其葉片重疊為 1cm、2cm、3cm，如下圖所示。
2. 測量自製第二代導流風罩式磁浮發電機在四葉葉片與三葉葉片的寬高比為 1:1 時，使用光電計時器測風車轉 45 圈及轉 90 圈之所需時間，經過計算得其平均角速度。

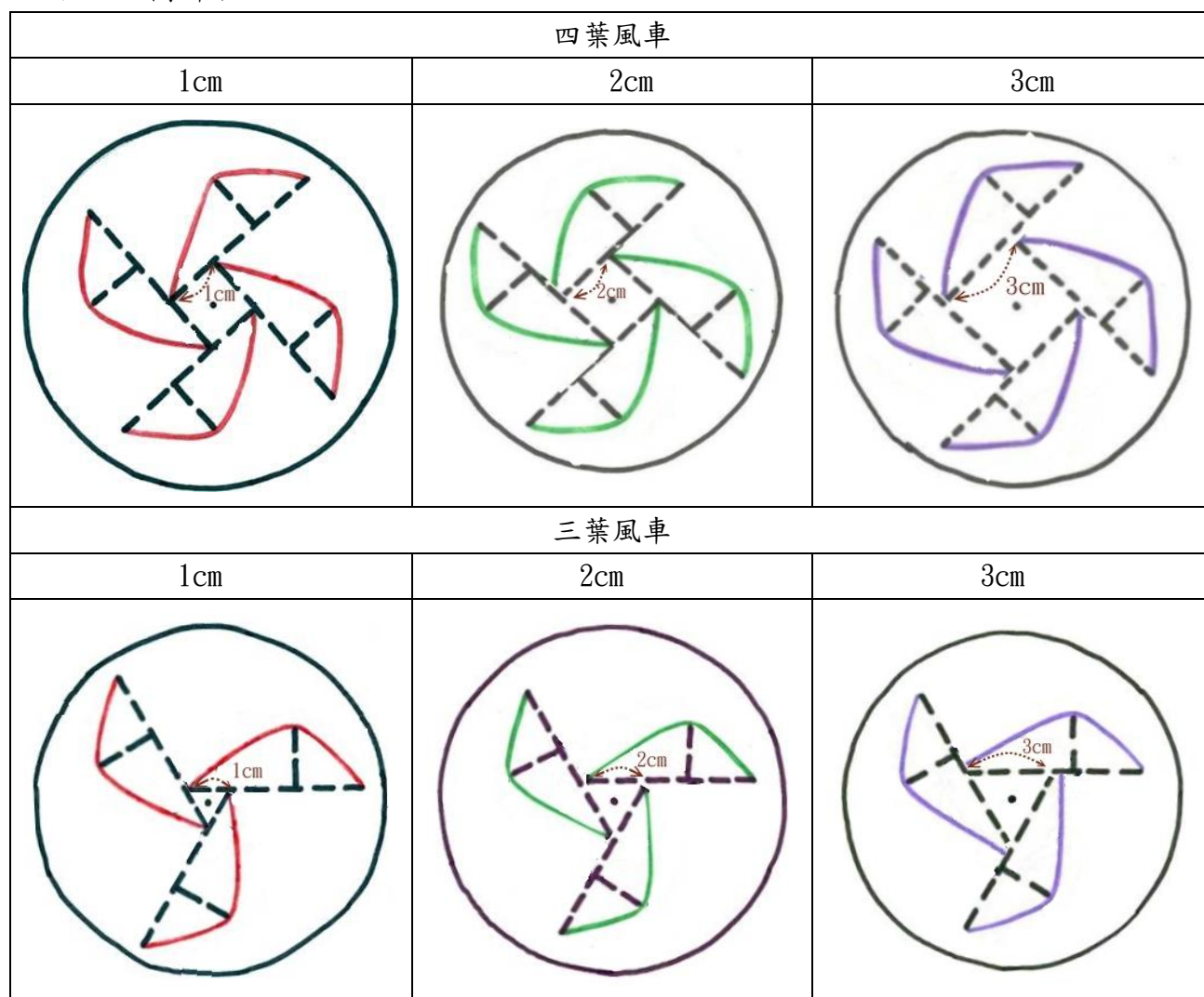
(1) 在半徑 10cm 之磁浮板上算出合適的半徑，並使其在頂點的兩點連線形成邊長為 1cm、2cm、3cm 的正方形及三角形的圓。如圖所示。

| 實驗 A |     |     |
|------|-----|-----|
| 1cm  | 2cm | 3cm |
|      |     |     |
| 實驗 B |     |     |
| 1cm  | 2cm | 3cm |
|      |     |     |

- (2)於其上做四條彼此夾 90 度及三條彼此夾 120 度的半徑。
- (3)連接半徑頂點形成邊長為 1cm、2cm、3cm 的正方形及三角形的圓，再沿正方形的四個邊及三角形的三個邊各延伸 8cm(含邊長)；在每條延長線上距離圓心 5cm 處做垂直該延長線的 2.85cm 線段。如圖所示。

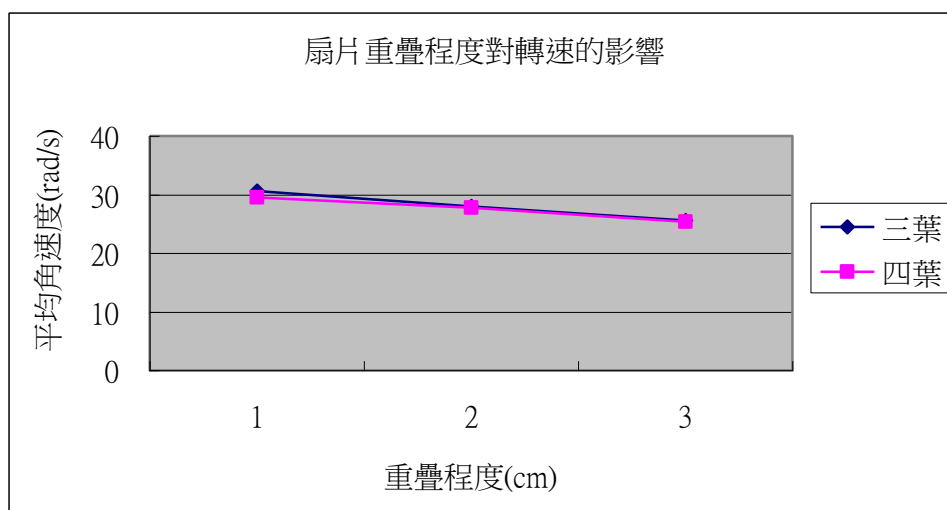
| 實驗 A |     |     |
|------|-----|-----|
| 1cm  | 2cm | 3cm |
|      |     |     |
| 實驗 B |     |     |
| 1cm  | 2cm | 3cm |
|      |     |     |

(4)彎曲扇葉使其曲率半徑最大的頂點剛好落在 2.85cm 線段頂點，並將扇葉黏貼於磁浮板上。如圖所示。



## 二、實驗數據

| 風車種類<br>(10mm 磁鐵) | 重疊程度(cm) | 轉 45 圈之時間(s) | 轉 90 圈之時間(s) | 平均角速度(rad/s) |
|-------------------|----------|--------------|--------------|--------------|
| 四葉葉片              | 1        | 9.60         | 19.12        | 29.56        |
|                   | 2        | 10.11        | 20.38        | 27.73        |
|                   | 3        | 9.20         | 22.30        | 25.35        |
| 三葉葉片              | 1        | 8.76         | 18.46        | 30.62        |
|                   | 2        | 10.29        | 20.19        | 27.99        |
|                   | 3        | 10.88        | 22.14        | 25.53        |



### 三、實驗結果與討論：

1. 四葉與三葉的最佳重疊程度均為 1cm，在加入導流裝置，其轉速比實驗一的轉速快，而 2cm、3cm 的風車，雖然具有導流裝置，但由上面圖形可知，因為其截面圖中的逆力矩比例較大，造成風車順力矩的推力較小，反而造成轉速較慢。
2. 由實驗結果我們推論：氣流在經由扇葉之間的開口吹入風洞內後，會在風洞內形成一漩渦狀的循環。重疊程度除了會影響扇葉之間的開口外，也會影響風洞內循環的風施力於扇葉上，扇葉的受力面積。
3. 氣流在經由扇葉之間的開口吹入風洞內後，洞內的風較不容易從扇葉間散失，可以形成一穩定循環，使氣流能較完整的傳至下一扇葉，因此風洞內的風就能以與扇葉接近垂直的角度吹向扇葉，造成較大的力矩，風罩內循環的風施力於扇葉上，扇葉受力面積增大，轉速也就較快。
4. 實驗結果顯示，實驗二所有有重疊的風車轉速，明顯高於實驗一沒有重疊的風車，故有導流的裝置有助於轉速的增加。

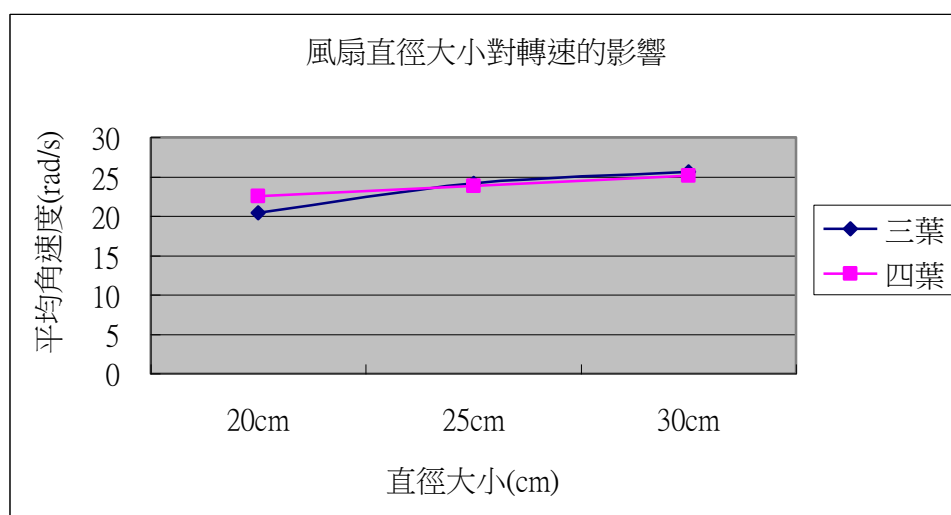
### 實驗三 探討具風罩導流反轉式磁浮風車大小對轉動效能的影響

#### 一、實驗步驟：

1. 自製第三代反轉式磁浮風車，其葉片依重疊程度 1cm 的模型，依比例大小製作為直徑為 20cm、25cm、30cm 的四葉及三葉磁浮風車，其上下風車的半徑大小均為相同的風車。
2. 測量轉速：使用光電計時器測風車轉 45 圈及轉 90 圈之所需時間，並將上下兩個風車所得到的數據平均，經過計算得平均角速度。

#### 二、實驗數據：

| 風車種類 | 直徑   | 轉 45 圈之時間<br>(s) | 轉 90 圈之時間<br>(s) | 平均角速度<br>(rad/s) |
|------|------|------------------|------------------|------------------|
| 四葉葉片 | 20cm | 12.3             | 25.1             | 22.52            |
|      | 25cm | 11.5             | 23.7             | 23.85            |
|      | 30cm | 12.5             | 22.5             | 25.12            |
| 三葉葉片 | 20cm | 11.2             | 27.7             | 20.40            |
|      | 25cm | 11.6             | 23.4             | 24.15            |
|      | 30cm | 12.7             | 22.1             | 25.57            |



#### 三、實驗結果與討論：

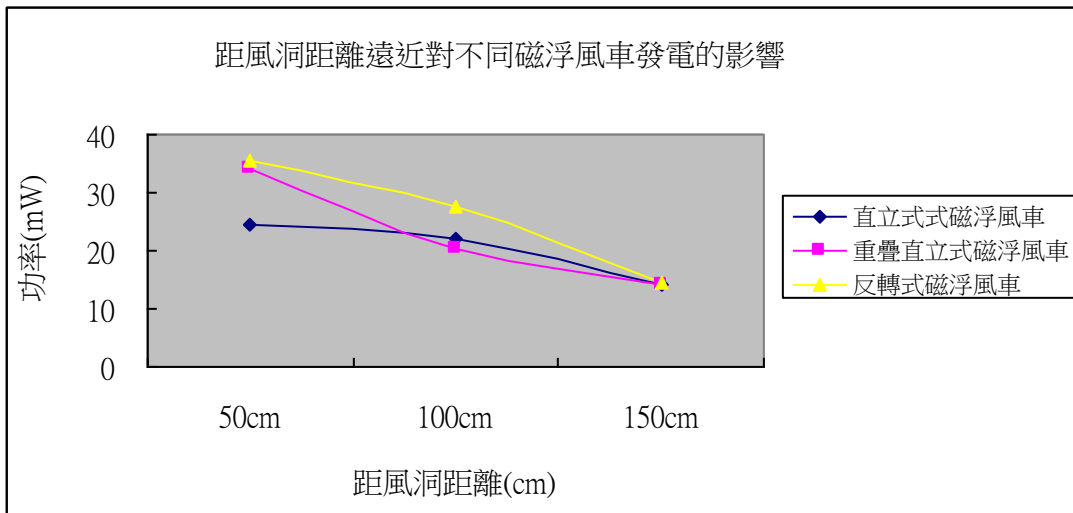
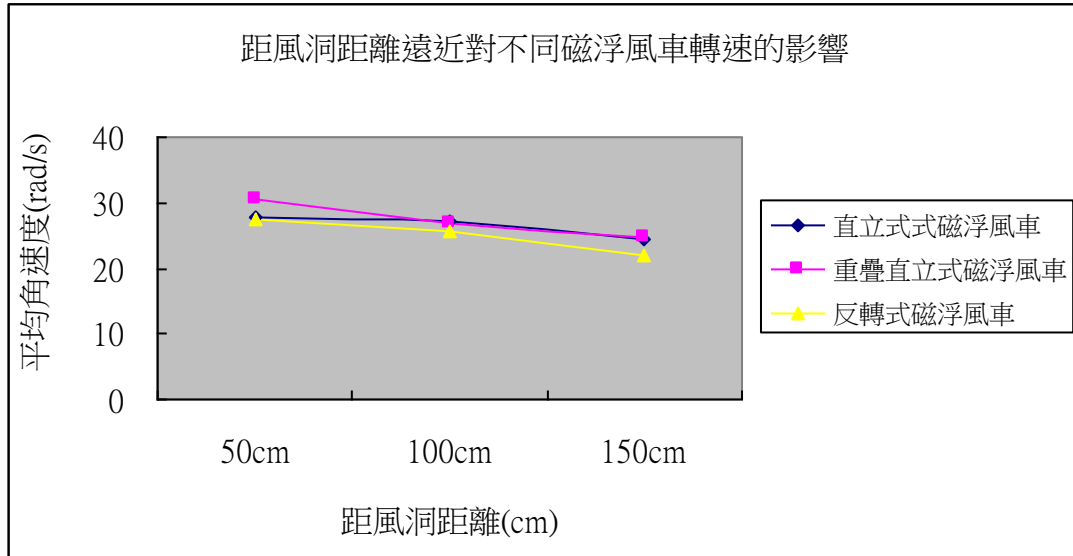
1. 不論是三葉或是四葉風車，較大半徑的風車除一開始的轉速較慢，待平均轉速後，均為最快的，表示受力面積會對轉速造成影響，而三葉與四葉風車的轉速差異不大，相較於半徑較大的風車(25cm 及 30cm)，三葉風車轉速較四葉風車快。
2. 由實驗結果我們推論，為了有效讓反轉式磁浮風車增加有效受風面，我們改變其風罩方式，讓上下均能有效轉動，經實驗結果，與上述兩種風車轉速差異不大，故可以以此模型進行以下實驗。

## 實驗四、探討「風力強弱」對風車轉動效能及發電效能之影響

### 一、實驗步驟

1. 我們將三葉型、重疊程度 1cm，直徑 30cm 的三種直立式磁浮風車置於距離我們風洞口為 50cm、100cm、150cm 處，作為風力大小。
2. 使用光電計時器測風車轉 45 圈及轉 90 圈之所需時間，經過計算得其平均角速度，並比較上述三種直立式風車的差異。
3. 利用鉸磁鐵放置 4 個 100 匝的線圈，並比較上述三種直立式風車的發電效能。

| 風車種類      | 距風洞距離 | 轉 45 圈之時間(s) | 轉 90 圈之時間(s) | 平均角速度(rad/s) | 電流(mA) | 電壓(V) | 功率(mW) |
|-----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------|-------|--------|
| 直立式磁浮風車   | 50cm  | 10.11        | 20.38        | 27.73        | 5      | 4.9   | 24.5   |
|           | 100cm | 10.16        | 20.91        | 27.03        | 4.8    | 4.6   | 22.08  |
|           | 150cm | 11.52        | 23.11        | 24.46        | 3.7    | 3.8   | 14.06  |
| 重疊直立式磁浮風車 | 50cm  | 8.76         | 18.46        | 30.62        | 5.8    | 5.9   | 34.22  |
|           | 100cm | 10.95        | 21.13        | 26.75        | 4.5    | 4.5   | 20.25  |
|           | 150cm | 12.64        | 22.86        | 24.72        | 3.7    | 3.8   | 14.06  |
| 反轉式磁浮風車   | 50cm  | 9.76         | 20.46        | 27.62        | 5.8    | 6.1   | 35.38  |
|           | 100cm | 11.95        | 22.13        | 25.54        | 5.4    | 5.1   | 27.54  |
|           | 150cm | 12.64        | 25.86        | 21.86        | 3.7    | 3.9   | 14.43  |



### 三、實驗結果與討論：

1. 風的強弱可以表示為： $P(\text{風}) = (1/2) \times \rho \times \pi \times R^2 \times V^3 \times C_p$ ，我們利用三種距離作為風的強度關係，發現風速越高轉速及發電功率都有增加的趨勢。  
 $P_w$ ：風之可用功率 (W)     $C_p$ ：葉片 (或轉子) 效率     $\rho$ ：空氣密度  
 $A$ ：轉子盤面積     $V_\infty$ ：風速
2. 在 4 個 15mm 釹磁鐵及 4 個 100 匝的線圈下，並比較上述三種直立式風車的發電效能，我們發現發電效能反轉式磁浮風車均優於其他兩種風車。
3. 一般發電效率牽涉到許多複雜的原因，故本實驗只探討在轉速越快的情況下，有較好的發電效率，且呈正相關，其中在反轉式磁浮風車，在轉速較低的情況下，仍有較高的發電效能。

## 實驗五、探討不同磁鐵磁力及數量對反轉式磁浮風車轉動效能及發電效能之影響

### 一、實驗步驟

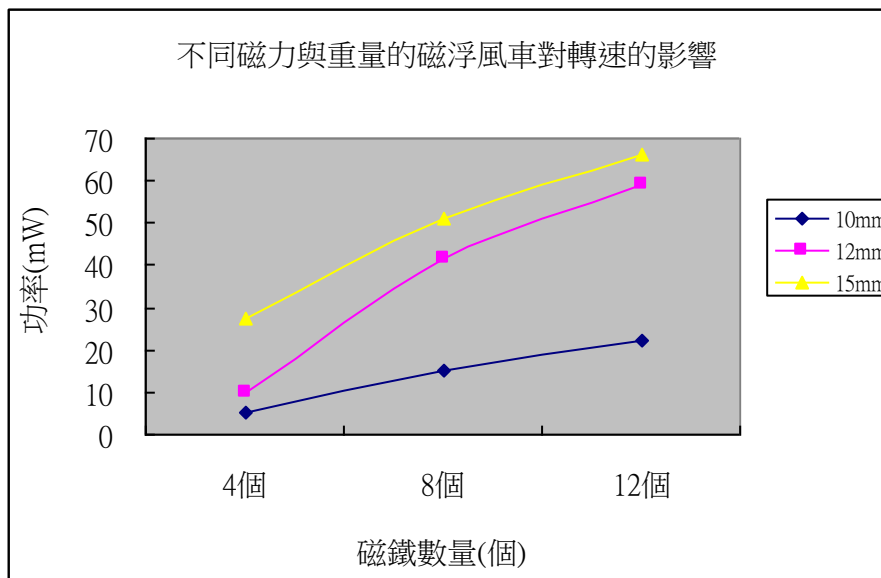
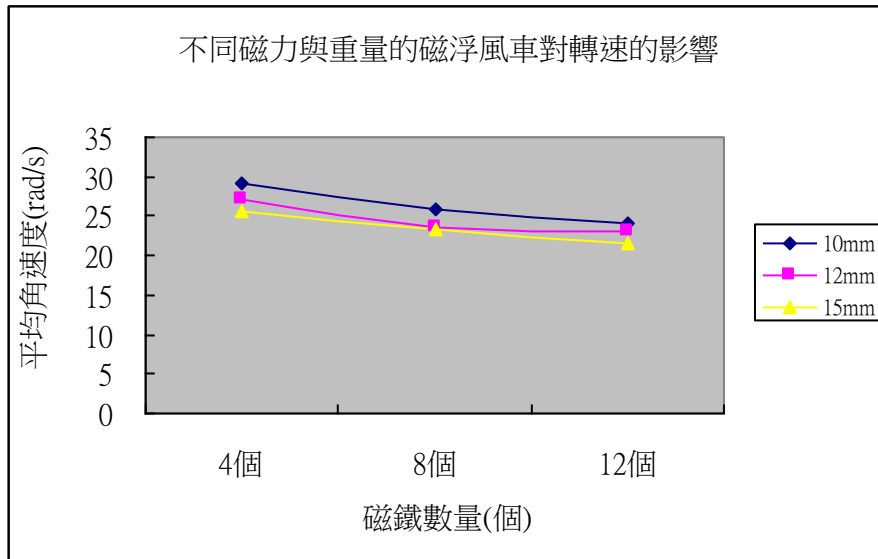
1. 利用直徑 30cm，重疊 1cm 的反轉式直立磁浮風車，並將磁浮板下方放置不同數量的釹磁鐵(使用釹磁鐵 10mm、12mm、15mm)，並距風洞 100cm 處進行偵測轉動圈數及發電效果。
2. 使用磁力計測量釹磁鐵 10mm、12mm、15mm 之磁力。

| 種類           | 10mm        | 12mm        | 15mm        |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 磁力           | 12.24 gauss | 13.99 gauss | 16.61 gauss |
| 磁鐵重量〔g〕〔4 顆〕 | 4.35        | 6.70        | 9.80        |

3. 使用光電計時器測風車轉 45 圈及轉 90 圈之所需時間，經過計算得其平均角速度。
4. 分別利用 4 個、8 個、12 個，不同半徑的釹磁鐵，並放置 4 個 100 匝的線圈，並比較其發電效能。

### 二、實驗數據

| 釹磁鐵半徑(mm) | 釹磁鐵數量 | 轉 45 圈之時間(s) | 轉 90 圈之時間(s) | 平均角速度(rad/s) | 電流(mA) | 電壓(V) | 功率(mW) |
|-----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------|-------|--------|
| 10        | 4 個   | 9.67         | 19.34        | 29.22        | 1.8    | 2.8   | 5.04   |
|           | 8 個   | 11.51        | 21.9         | 25.81        | 3.7    | 4.1   | 15.17  |
|           | 12 個  | 11.56        | 23.37        | 24.18        | 4.6    | 4.8   | 22.08  |
| 12        | 4 個   | 10.16        | 20.84        | 27.12        | 3      | 3.3   | 9.9    |
|           | 8 個   | 11.95        | 23.86        | 23.69        | 6.3    | 6.6   | 41.58  |
|           | 12 個  | 11.84        | 24.36        | 23.20        | 7.3    | 8.1   | 59.13  |
| 15        | 4 個   | 11.95        | 22.13        | 25.54        | 5.4    | 5.1   | 27.54  |
|           | 8 個   | 11.64        | 24.1         | 23.45        | 6.9    | 7.4   | 51.06  |
|           | 12 個  | 12.64        | 26.3         | 21.49        | 8.1    | 8.2   | 66.42  |



### 三、實驗結果與討論：

- 1 據資料提到樞軸以乾磨擦方式承受軸上負載，故軸承摩擦力與風車模型重有關。依其公式  $F = \mu_s N = \mu_s pA$ ，而  $p = N/A$  ( $p$  為單位面積之軸向受力)，故當磁鐵重量越重，轉速也相對會較慢。

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

2. 而依據轉動慣量公式  $I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$ ，當風車轉動時，電風扇給予每一台風車的風力都相同，若視轉軸為參考點，風車所受外力矩約為定值，因此重量較重之磁鐵，其轉動慣量較大，角加速度較小，轉動角速度也就越慢。
3. 發電的效率與單位時間內磁通量變化量約呈正比，隨著磁鐵數量變多，單位時間內磁通量也變多，但風車重量相對也增加，而造成轉速變少。

## 實驗六、探討磁鐵排列方式對反轉式磁浮風車其轉動效能及發電效能之影響

### 一、實驗步驟

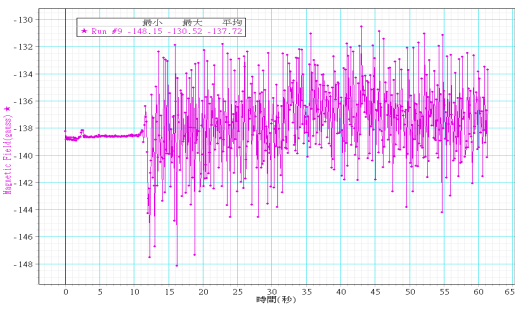
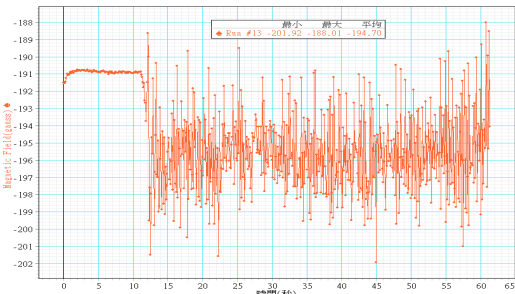
1. 我們將三葉型、重疊程度 1cm，直徑 30cm 的反轉式磁浮風車置於距離我們風洞口 100cm 處，並將鈹磁鐵作不同的方式擺放。
2. 使用光電計時器測風車轉 45 圈及轉 90 圈之所需時間，經過計算得其平均角速度，並放置 4 個 100 匝的線圈，並比較上述的發電效果。
3. 利用磁力計測出其由靜止至轉動的磁場變化。因轉動造成不同時間內的磁場變化強度不同，我們將測得的磁場變化平方後取平均開根號，取方均根值作為其主要磁場變化值。

### 二、實驗數據

(1)

| 風車種類         | 轉 45 圈之時間(s) | 轉 90 圈之時間(s) | 平均角速度(rad/s) | 電流(mA) | 電壓(V) | 功率(mW) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|-------|--------|
| 全部 N 極       | 12.64        | 26.3         | 21.49        | 8.1    | 8.2   | 66.42  |
| N 極與 S 極交互排列 | 12.94        | 27.3         | 20.70        | 9.2    | 10.1  | 92.92  |

(2)磁力變化圖

| 磁鐵排列方式       | 磁力線                                                                                  | 磁場變化方均根值 (gauss) |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 全部 N 極       |  | 4.18             |
| N 極與 S 極交互排列 |  | 7.45             |

### 三、實驗結果與討論：

1. 發電功率與單位時間內磁通量變化量約呈正比，在 N 極與 S 極交互排列中，磁鐵單位時間內磁通量變化量較大，能產生較大的功率。
2. 我們也可以利用轉動過程中的磁通量變化來探討其發電情形。

## 實驗七、探討不同角度風向對不同直徑大小組合的反轉式磁浮風車的轉動效能及發電效能之影響

### 一、實驗步驟

1. 我們將三葉型、重疊程度 1cm，直徑 30cm 的反轉式磁浮風車置於距離我們風洞口 100cm 處，並將 12 顆釹磁鐵作不同的方式擺放，並放置 4 個 100 匝的線圈。
2. 製作不同直徑大小組合的反轉式磁浮風車，並調整風的方向為  $90^\circ$  橫吹及  $45^\circ$  斜吹下，比較上述的發電效果。

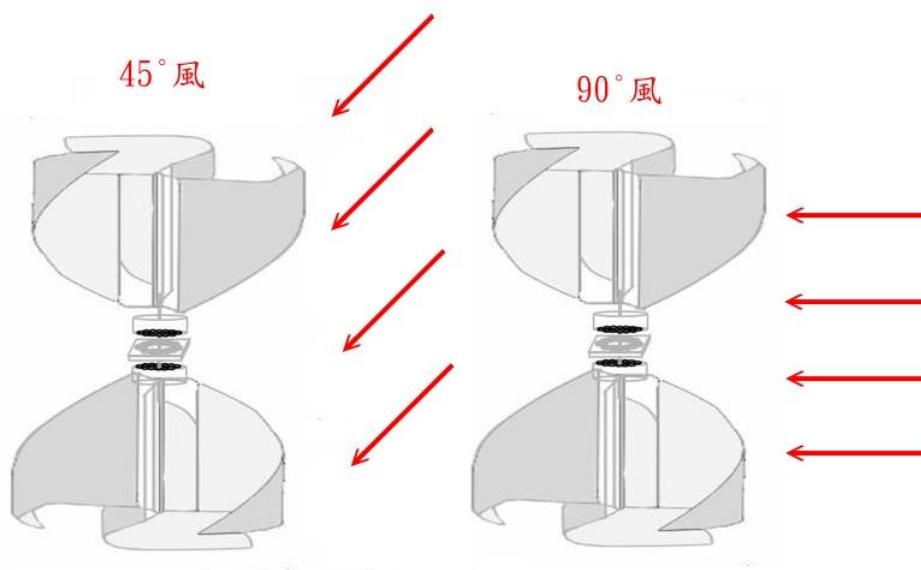


圖 25 風的方向示意圖

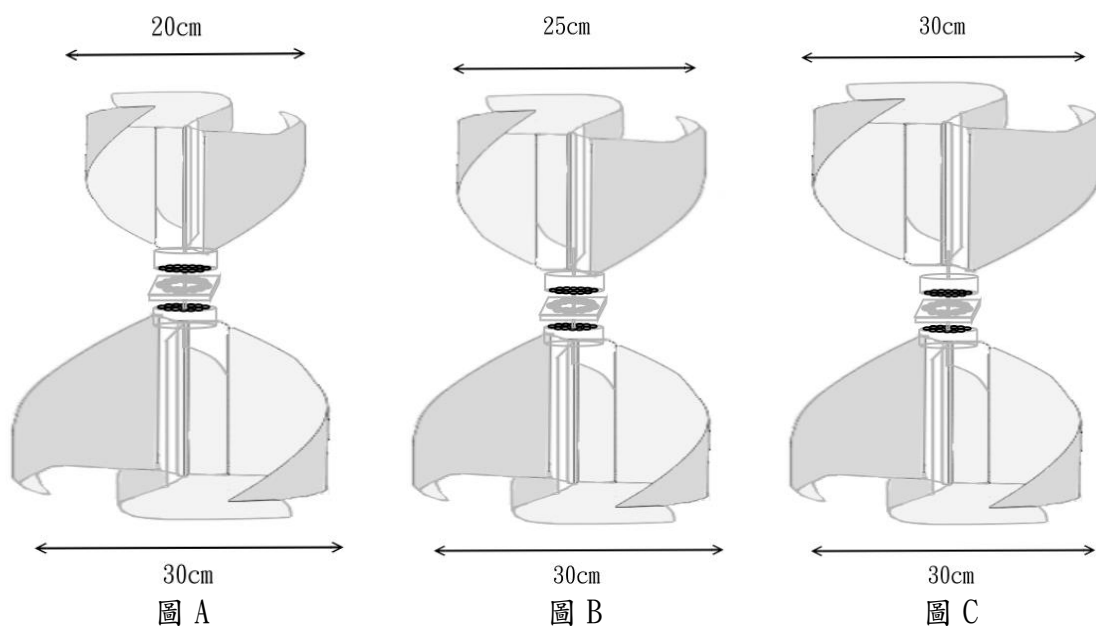
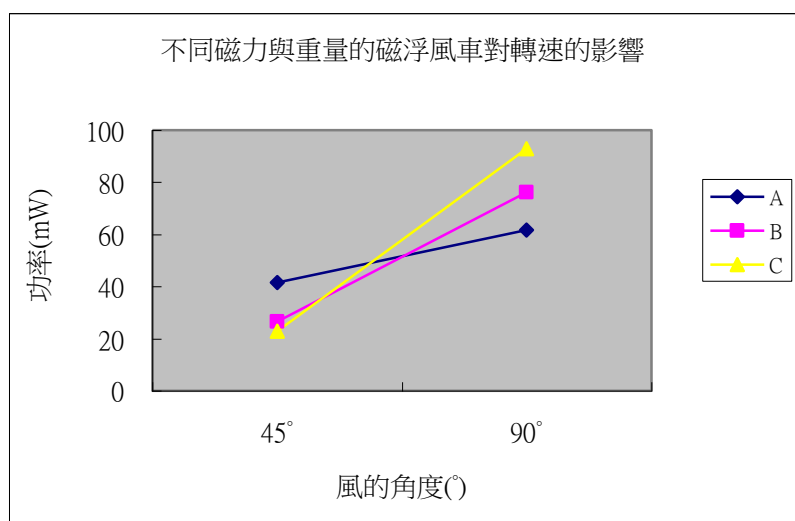


圖 26 風車半徑大小示意圖

## 二、實驗數據

| 種類 | 風車種類<br>(直徑大小) | 風向角度<br>(與垂直線角度) | 電流<br>(mA) | 電壓<br>(V) | 功率<br>(mW) |
|----|----------------|------------------|------------|-----------|------------|
| A  | 上面 20cm        | 45°              | 6.2        | 6.7       | 41.54      |
|    | 下面 30cm        | 90°              | 7.6        | 8.1       | 61.56      |
| B  | 上面 25cm        | 45°              | 5.1        | 5.2       | 26.52      |
|    | 下面 30cm        | 90°              | 8.2        | 9.3       | 76.26      |
| C  | 上面 30cm        | 45°              | 4.5        | 5.1       | 22.95      |
|    | 下面 30cm        | 90°              | 9.2        | 10.1      | 92.92      |



## 三、實驗結果與討論：

1. 在側向風(90°)方面，我們發現到反轉式風車上下組合以直徑越大，其能夠發電功率的部分越佳。
2. 在斜向風(45°)方面，由於兩個逆轉式風車的大小相同時，容易造成後方的風力不足的現象，而當前小後大時，逆轉式風車有較佳的發電功率的部分，這表示後方的風車也能夠有效受到風所給予的風力。

## 陸、結論

1. 依據感應電動勢與單位時間內磁通量變化有關，其公式  $\varepsilon = n \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(B \times A)}{\Delta t}$  ( $\varepsilon$  為感應電動勢， $n$  為線圈匝數， $\phi$  為磁通量)，當  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  越大時，可產生的感應電動勢理論上就越大。
2. 由實驗一可發現，在風車半徑的寬高比方向，以 1:1 為最佳的轉動模式，三葉風車優於四葉風車。
3. 由實驗二可發現，利用葉片重疊程度，形成具有導流模式，其中在重疊程度為 1cm 時，導流效果較好，能產生較佳的轉速。
4. 由實驗三及實驗四可發現，反轉式風車磁浮風車均優於其他兩種風車，雖然反轉式磁浮風車，在轉速較低，但一般發電效能牽涉到許多複雜的原因，推測由於反轉式風車磁浮風車能產生較大的磁通量，產生較高的發電效能，且葉片越大其，效果越好。
5. 由實驗四可發現，風車的轉速與風速大小有直接關係。
6. 由實驗五可發現，當釹磁鐵半徑越大， $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  也越大，與感應電動勢呈正相關關係，但其質量較重，會導致轉速變慢，故不合適加太重的釹磁鐵。
7. 由實驗六可發現，利用不同的磁極排列，能產生較大的磁通量。因此，反轉式風車的磁鐵裝置能有效增加磁通量，產生較大發電的功率。
8. 由實驗七可發現，為了有效利用各方向的風力，反轉式風車可採用半徑上小下大型，比上下相等型有著較佳的發電功率。

## 柒、參考文獻

1. 國中理化課本。三下電與磁。南一書局。
2. 黃榮章。風力發電。能源資訊網/節能專家園地。
3. 劉亞樵等(2012)。高雄市第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書。能源追追追-當磁浮遇上風。
4. 方晟瑋、張家銘、林泓瑀(2012)。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書。終極風車。
5. 林柏漢(2010)。中華民國 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。風馳電赴-突發奇想。

## 【評語】 030820

1. 研究風力發電扇葉形狀大小尺寸、結構對轉速的影響。
2. 研究磁浮風車發電之各種參數與功率影響。
3. 能克服不同角度之風向，研究思考周全實驗數據完整。