

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第二名

081507

小兵立大功—校園與社區區域性風力發電之研究

學校名稱：臺北縣汐止市崇德國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳榆柔	馮正義
小五 涂尉晴	黃怡嘉
小五 簡漢承	
小六 楊旻蓓	
小六 陸湧元	

關鍵詞：法拉第定律 楞次定律 旋轉翼攻角

壹、摘要

根據法拉第電磁感應定律，我們進行了一連串的風力機發電實驗：一、我們使用瓦楞紙、木片做出不同片數、表面積、攻角的旋轉翼，探討這幾個變因對風力發電機輸出電壓的影響。二、我們製作了不同匝數的線圈，使用磁場強度不同的稀土強磁，探討這些變因對風力發電機輸出電壓的影響。三、我們還應用模組化的觀念設計出一個可以改變線圈位置的發電機，探討改變線圈與磁場位置對風力發電機輸出電壓的影響。四、爲了評估我們的校園及附近社區是否有進行風力發電的條件？我們進行了爲期數個月的校園風力評估研究。

貳、研究動機

台灣西部沿海以高大風車進行風力發電，在不靠海的地區是否也有這樣的條件？在製作科展之前我們參加過一個暑期科學研習營，授課的老師教我們製作風車，小小的一個紙風車在輕風吹拂之下轉得好快！我們想如果自己製作風力發電機，利用自然風來進行風力發電可行嗎？經過一番討論後我們決定來進行風力發電的研究。台灣有許多地方有風力發電機，要找到相關的資料應該不成問題，於是我們決定進行這一趟「追風之旅」，想從做中學學習到跟風力發電有關的科學知識。

參、研究目的

- 一、探討片數不同、面積不同的風車旋轉翼轉換風能成動能時的關係。
- 二、探討線圈匝數、磁鐵強弱風車旋轉翼的攻角與發電強弱的關係。
- 三、探討線圈排列位置及線圈距離磁鐵的遠近與發電強弱的關係。
- 四、探討我們的校園與社區附近是否有進行風力發電的條件。

肆、研究設備及器材

1.電烙鐵	2.熱熔膠槍	3.熱熔膠條	4.硬保麗龍	5.打氣筒
6.線鋸	7.30cm 尺	8.美工刀	9.電風扇	10.數位相機
11.計時手錶	12.寶特瓶	13.軟片盒	14.棉線	15.瓦楞紙
16.木條	17.量角器	18.硬吸管	19.小國旗桿	20.鐵製墊片
21.透明塑膠罐	22.風速計	23.PVC 管	24.電線	25.尖嘴鉗
26.麵包板	27.LED	28.砂紙	29.雙面膠	30.刻度條
31.三用電表	32.銲錫	33.油土	34.電容器	35.二極體
36.小收音機	37.合板	38.鱷魚夾	39.漆包線	40.收音機天線
41.L 型鐵片	42.三角板	43.螺絲釘	44.竹籤	45.棉花

伍、研究結果與討論

研究一、探討片數不同、面積不同的風車旋轉翼轉換風能成動能的關係。

實驗一：旋轉翼製作。

（一）風力發電與旋轉翼的關係：

風力發電機的電力輸出與風速非常相關，我們從【[秀朗國小能源教育網](#)】得知旋轉翼能自風獲得之能量與風速的三次方成正比。除了風速外，葉輪直徑決定了可擷取風能的多寡，約與旋轉翼直徑平方成正比，旋轉翼的數量亦影響風力發電機的輸出。一般而言，多葉片的風車效率較低但機械力矩較高，適用於汲水等工作；少葉片型(1~3 葉片)效率較高而力矩較低，其中又以 2 葉及 3 葉效率較高。得知此項有關旋轉翼的資訊後，我們決定選用瓦楞紙製 3 片、4 片、6 片式的旋轉翼比較一下哪一種旋轉翼的效能較佳？

（二）旋轉翼製作過程：



圖 1：裁剪瓦楞紙當作旋轉翼的葉片



圖 2：切割硬保麗龍



圖 3：定出中心點



圖 4：用電烙鐵燒出裝球針的孔



圖 5：用量角器量出裝旋轉翼的角度



圖 6：用燒熱鋸片切出裝旋轉翼的凹槽



圖 7：裝上瓦楞紙旋轉翼葉片



圖 8：用熱熔膠固定瓦楞紙旋轉翼葉片



圖 9：製作完成的瓦楞紙旋轉翼

(三) 為何選擇三片、四片、六片和攻角 40° 這三組的旋轉翼來做實驗？

因為看到圖 10、圖 11、圖 12 的旋轉翼是三片式和四片式的，為何很少看到六片式的旋轉翼呢？所以我們想拿六片式的旋轉翼和三片、四片式的旋轉翼比較一下，看哪一個效能比較佳。我們觀察日常生活中常見的風力發電機與風扇的攻角約為 40° ，我們用 45° 的三角板比對發現微型風力發電機旋轉翼的攻角約為 40° （如圖 11），所以我們先製作攻角 40° 的旋轉翼來做實驗。



圖 10：三片式旋轉翼的風力發電機



圖 11：微型風力發電機是四片式的旋轉翼攻角約為 40°



圖 12：三片式旋轉翼的家用電風扇

(四) 嘗試用瓦楞紙、硬保麗龍板、熱熔膠槍等材料，以 40° 度攻角製作三片、四片、六片三組旋轉翼。如圖 13、圖 14、圖 15：



圖 13：三片式旋轉翼



圖 14：四片式旋轉翼



圖 15：六片式旋轉翼

(五) 製作一個實驗用的旋轉翼機組：

為了作旋轉翼的效能測試，我們將螺絲用熱熔膠黏在塑膠管上，方便實驗時可更換旋轉翼。在塑膠管尾端綁一條棉線垂吊軟片盒，當作是測試時的重物，再將風車底座和寶特瓶組合起來。如圖 16、圖 17、圖 18：



圖 16：氣球打氣筒前的螺絲黏在塑膠管上可以方便更換旋轉翼



圖 17：在塑膠管尾端綁一條棉線垂吊軟片盒，當作是測試時的重物。



圖 18：將旋轉翼底座和寶特瓶組合起來成為風車機組

實驗二：攻角 40°瓦楞紙製三片、四片、六片式旋轉翼效能比較實驗。

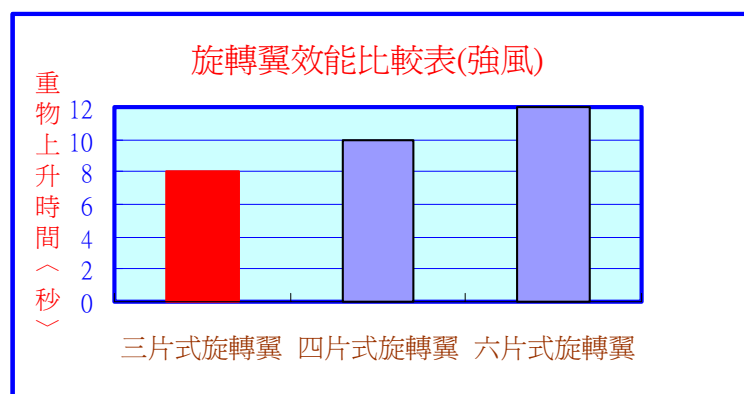
以距離旋轉翼 80 公分、不同風速的電風扇吹瓦楞紙製的三片、四片、六片式旋轉翼，旋轉翼轉動時底片盒能在最短的時間內捲到最上端，即表示此旋轉翼將風能轉換成動能的效能最佳。

（一）實驗過程：

實驗裝置		實驗結果
		 「攻角 40 度三片式的旋轉翼所獲得的效能最佳」 旋轉翼效能測試記錄
懸掛重物	重物捲到最上端	

不同片數的旋轉翼轉換風能成動能的比較表

測試環境	電風扇型式（家用 14 吋落地小型）、電風扇與旋轉翼距離（80 cm）、計時單位：秒、棉線長度 60cm											
	瓦楞紙製（三片式 3cm×10cm）				瓦楞紙製（四片式 3cm×10cm）				瓦楞紙製（六片式 3cm×10cm）			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
強風	8.0	8.2	8	8.1	10	10.2	10.3	10	11.9	12.7	12.3	12
中風	9.8	10.1	10.3	10	13.2	12.9	13.5	13	12.1	10.7	11.6	15
弱風	12.9	13.4	13.0	13	14.7	15.2	14.9	15	15.9	16	16.1	16
效能等第	優				佳				中等			



（二）討論：

旋轉翼旋轉時輸出的動能和電風扇的距離有密切關係，距離太遠輸出的動能不佳，距離太近不方便操作，且電風扇口風速比較不平均，所以我們就將電風扇和旋轉翼的距離定為 80cm。實驗前總是認為六片式旋轉翼的效能會比較好，實驗後結果恰恰相反。三種不同形式的旋轉翼我們都測試三次，發現以攻角 40 度的三片式的旋轉翼轉動時，將底片盒上捲所花費的時間最短，也就是三片式旋轉翼在單位時間內所做的「功」最大，所以後來的實驗就全部採用三片式的旋轉翼。

實驗三：旋轉翼面積大小不同時將風能轉換成動能效能的比較。

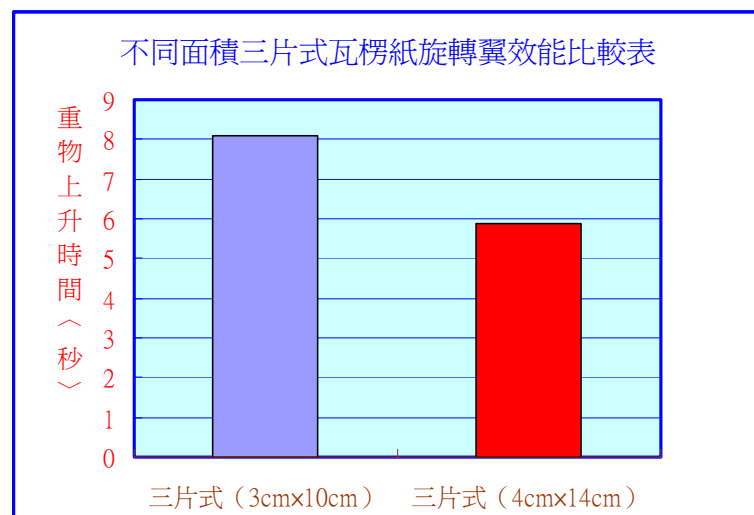
以攻角 40 度三片式瓦楞紙旋轉翼為例，探討旋轉翼葉片面積不同（3cm×10cm 和 4cm×14cm）的瓦楞紙旋轉翼，哪一個旋轉翼將風能轉換成動能的效能最佳？

（一）實驗過程：

實驗裝置		實驗結果
		
瓦楞紙製三片式（3cm×10cm）的旋轉翼的測試	瓦楞紙製三片式（4cm×14cm）的旋轉翼的測試	旋轉翼表面積愈大者得到的動能愈佳
		旋轉翼效能測試記錄

不同面積的瓦楞紙旋轉翼轉換風能成動能效能比較表

測試環境	電風扇型式（家用 14 吋落地小型）、電風扇與旋轉翼距離（80 cm）							
旋轉翼形式	瓦楞紙製（三片式 3cm×10cm）、棉線長度 60cm、計時單位：秒				瓦楞紙製（三片式 4cm×14cm）、棉線長度 60cm、計時單位：秒			
風速	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
強	8.0	8.2	8	8.1	6.18	5.94	5.68	5.9
中	9.8	10.1	10.3	10	6.45	6.32	6.30	6.35
弱	12.9	13.4	13.0	13	7.32	7.55	8.81	7.9
效能等第	中等				優			



（二）討論：

以 40°攻角製作的瓦楞紙製的三片式旋轉翼，實驗其轉換風能成動能的結果得知**旋轉翼表面積愈大者得到的動能愈佳**。所以，我們以後的實驗決定採用三片式的旋轉翼作為帶動發電機的旋轉翼，並將旋轉翼的葉片面積加大為 4cm×18cm。

研究二、探討線圈匝數、磁鐵強弱風車旋轉翼的攻角與發電強弱的關係。

實驗一：發電機的製作。

（一）垂直型感應電流發電機。

1. 製作過程：

我們在科學研習月刊第四十五卷第二期中看到林宣安老師撰寫的垂直型感應電流發電機的文章，看起來容易製作，於是我們決定先試做一個簡易的垂直型感應電流發電機。



在底片盒外繞 300 匝漆包線並焊接一顆 LED



利用厚紙板塞入底片盒使其和稀土強磁密合



只要快速的上下搖動垂直型感應電流發電機就可以發電讓 LED 亮起來

2. 討論：

原來發電機的原理就這麼簡單，只要磁鐵在線圈內部上下快速運動，線圈就會有感應電動勢產生，產生的電壓足以點亮一顆 LED，那我們將來製作發電機就沒有問題了，這還要感謝台中縣自然科輔導團林宣安老師的教學資料。

（二）旋轉型感應電流發電機。

1. 製作過程：

爲了要製作實驗用的發電機，我們找了很多書籍和百科全書，結果找到周鑑恆教授寫的「輕鬆學物理的第一本書 31 個有趣的物理實驗」一書，其中有詳細說明如何製作發電機，我們按照說明研究製作發電機，經過多次的失敗終於完成四個實驗用的發電機。



圖 1：在 PVC 水管繞漆包線圈



圖 2：繞完線圈的 PVC 管



圖 3：將 L 型鐵固定在合板上



圖 4：將線圈和收音機天線用熱熔膠固定



圖 5：將連接旋轉翼頭的螺絲用熱熔膠固定



圖 6：定出旋轉翼接旋轉時的中心點



圖 7：用來黏著稀土強磁的 A、B 膠



圖 8：用 A、B 膠黏住的 2 個稀土強磁

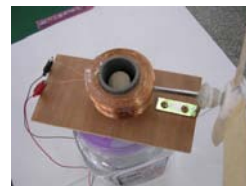


圖 9：直徑 2.4cm 的稀土強磁、線圈 300 匝的 1 號發電機



圖 10：直徑 3cm 的稀土強磁、線圈 300 匝的 2 號發電機



圖 11：直徑 3cm 的稀土強磁、線圈 500 匝的 3 號發電機



圖 12：可以做更換線圈模組、直徑 3cm 稀土強磁的 4 號發電機



圖 13：將打氣筒前的螺絲黏在收音機天線上是爲了實驗時方便更換旋轉翼



圖 14：上圖爲旋轉翼的軸承裝置可以讓旋轉翼旋轉的效能提升



圖 15：將收音機天線裝在線圈和 L 型鐵上是作爲旋轉翼的軸承



圖 16：將球針裝在旋轉翼上是爲了實驗時方便更換旋轉翼



圖 17：用三角板量旋轉翼攻角角度約爲 40 度



圖 18：將發電機裝在保特瓶蓋上是爲了在實驗時可以拆卸方便攜帶



圖 19：實驗時保特瓶內裝水增加重量可穩定機座，用完將水倒掉可減輕重量



圖 20：在戶外做實驗時因取水方便攜帶時可以減輕發電機的重量



圖 21：以上 2 張圖片為可更換線圈模組 4 號發電機的 4 組線圈，雖然繞法不一致，不過它們的重量都很接近，所以線圈的圈數應該也很接近。

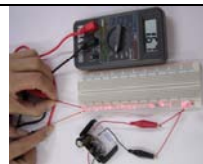
2.討論：

- (1) 以直徑 2.4cm 的稀土強磁、線圈 300 匝的「1 號發電機」與直徑 3cm 的稀土強磁、線圈 300 匝的「2 號發電機」，研究磁鐵磁場強弱對發電機輸出電壓大小的影響。
- (2) 以直徑 3cm 的稀土強磁、線圈 300 匝的「2 號發電機」與直徑 3cm 的稀土強磁、線圈 500 匝的「3 號發電機」，研究線圈匝數的多寡對發電機輸出電壓大小的影響。
- (3) 做出可以更換線圈模組的「4 號發電機」所用的稀土強磁直徑為 3cm，如圖 12 所示。

實驗二：發電機發電實驗：探討磁鐵直徑、線圈匝數與磁鐵強弱對發電機輸出電壓的影響。

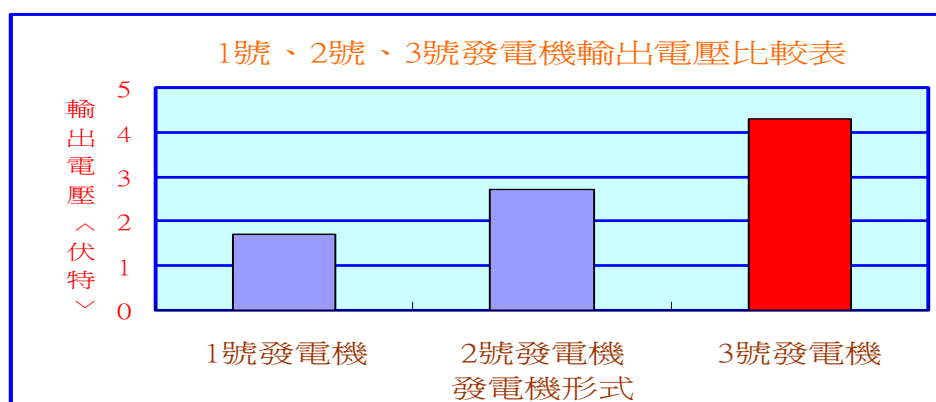
(一) 比較三組發電機在線圈匝數不同與磁場強度不同時對輸出電壓的大小。

1.實驗過程：

實驗裝置			實驗結果
 準備發電測試的「1 號發電機」  「1 號發電機」輸出 1.7 伏特的電壓	 準備發電測試的「2 號發電機」  「2 號發電機」輸出 2.7 伏特的電壓	 準備發電測試的「3 號發電機」  「3 號發電機」輸出 4.3 伏特的電壓	 「3 號發電機」輸出的交流電經整器整流成直流電點亮排的 LED  「3 號發電機」輸出的交流電經整流成直流電後還可以聽收音機喔！ 「3 號發電機」因為磁鐵磁力較強線圈匝數也較多，所以能夠輸出較強的電壓。

1 號、2 號、3 號發電機輸出電壓比較表

測試環境：電風扇型式（14 吋落地小型）、電風扇與旋轉翼距離（80 cm）、風速：強風			
發電機形式	1 號發電機	2 號發電機	3 號發電機
線圈匝數	300 匝	300 匝	500 匝
磁鐵直徑（cm）	2.4	3	3
輸出電壓	交流 1.7V	交流 2.7V	交流 4.3V
輸出電壓	弱	中	強
效能等第	差	佳	優

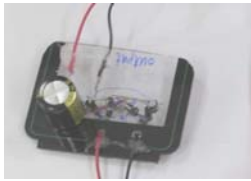


2.討論：

從發電機輸出的電壓看到「1 號發電機」因為稀土強磁磁性比「2 號發電機」小，所以輸出的電壓比「2 號發電機」小，「2 號發電機」線圈匝數比「3 號發電機」線圈匝數少，所以輸出電壓以「3 號發電機」輸出 **4.3 伏特** 為最大。可見發電機的結構中，如果**磁鐵的磁性強線圈匝數多則輸出的電壓就大**。經過發電實驗，我們看到「3 號發電機」因為磁鐵磁力較強線圈匝數也較多，所以能夠輸出較強的電壓。

（二）探討交流電與直流電有什麼不同？什麼是整流器？

1.實驗過程：

實驗裝置	實驗結果
 發電機輸出的交流電令 LED 閃爍不停  參照錄音機的 ADAPTOR 線路自行製作的整流器	我們在實驗時發現發電機的輸出端連接 LED 時 LED 會一閃一閃的，原來發電機輸出的是交流電的緣故。我們再連接一個自製的整流器後 LED 就不會閃爍了，老師說是因為交流電經整流器整流成直流電後，電流的流動方向一直保持同一個方向，所以 LED 不會閃爍，這就是所謂的整流。

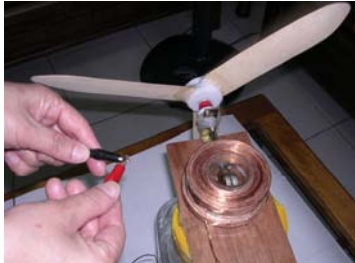
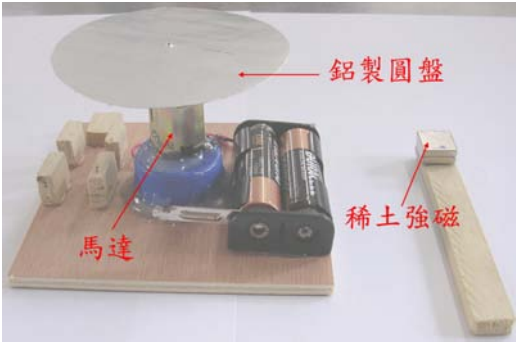
2.討論：

經過整流器將發電機輸出的交流電整流成直流電後點亮 LED，我們觀察到：

- (1) **交流電**--則是電流方向有變化，轉向的頻率如家用的電源約每秒六十次。LED 發亮並不在乎接直流電或是交流電，只要有電流通過就會發亮，當然若用頻率太低的交流電，你的眼睛可能就會感覺出一閃一閃。因為實驗用的發電機旋轉翼轉速不夠快，所以無法輸出轉向的頻率如家用的電源約每秒六十次的交流電。
- (2) **直流電**--直流電（如化學電池、擁有整流器的直流發電機所產生的電）的電流大小、方向是固定的，不會隨著時間而改變，所以 LED 不會閃爍。
- (3) 我們還了解整流器的運作原理--**二極體具有正極和負極兩個端子，電流只能往單一向流動**。也就是說，電流可以從陽極流向陰極，不能從陰極流向陽極。這種作用就被稱之為**整流作用**，其原理就好像是家裡的百葉窗一樣，氣流只能出不能進一樣。

(三) 磁煞車現象：

1.實驗過程：

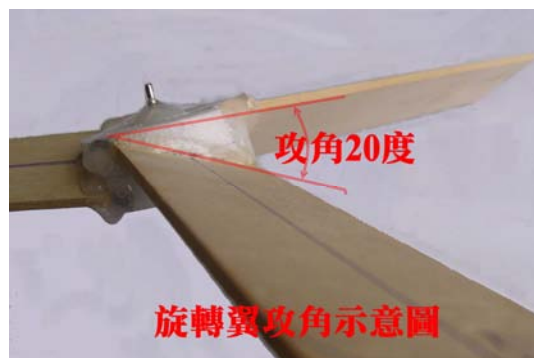
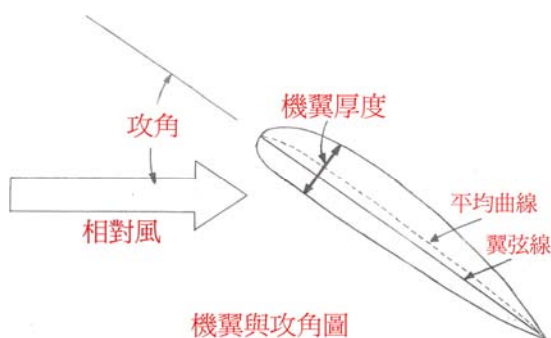
實驗裝置	實驗結果
 發電機輸出端沒有接負載時旋轉翼快速轉動	 發電機輸出端接了負載後旋轉翼就慢下來了即是所謂的磁煞車現象
 觀察磁煞車現象輔助裝置	 通電後圓盤快速轉動  磁鐵靠近圓盤後圓盤轉速慢下來由此現象可以更了解磁煞車原理

2.討論：

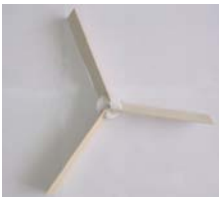
我們在做發電機發電實驗時還發現一個有趣的現象--「磁煞車」。根據「法拉第定律」及「楞次定律」，磁鐵與感應線圈相對運動造成感應線圈的磁通量變化，感應線圈中即會產生感應電動勢，若感應線圈為通路，此「感應電動勢」造成感應電流，則感應電流與磁鐵之作用力將阻撓此二者之相對運動，並在此稱之為「磁阻尼」，磁煞車的現象很有趣，磁煞車在生活上的應用值得我們再做深入的探討與研究。

實驗三：探討攻角不同的木製三片式旋轉翼，對發電機輸出電壓的影響。

在研究一探討片數不同、面積不同與發電電壓關係中，旋轉翼的角度是依據觀察日常常見的攻角角度約為 40 度，從文獻中也發現旋轉翼的形狀是非常流線，其攻角也是大不相同，爲了要證明攻角角度對於旋轉翼旋轉快慢的影響也是重要因素之一，我們採用長形薄木片來研究攻角對於發電電壓的影響。從文獻中得知，旋轉翼攻角大小是影響發電機效能重要的因素，所以我們製作了相同尺寸的旋轉翼葉片（3.7cm×18cm），將攻角 40°三片式瓦楞紙旋轉翼改爲攻角 10°、20°、30°、40°、50°、60°等六組三片式木製的旋轉翼，探討將風能轉換成動能時是哪一個角度的旋轉翼效能最佳？



（一）實驗過程：

實驗裝置			
 攻角 10°的木製三片式旋轉翼	 攻角 20°的木製三片式旋轉翼	 攻角 30°的木製三片式旋轉翼	 攻角 40°的木製三片式旋轉
 攻角 50°的木製三片式旋轉翼	 攻角 60°的木製三片式旋轉	 「3號發電機」	 簡易模擬風洞

實驗結果



3 號發電機在攻角 10°木製三片式旋轉翼帶動發電機輸出 4.5 伏特電壓



3 號發電機在攻角 20°木製三片式旋轉翼帶動發電機輸出 3.9 伏特電壓



3 號發電機在攻角 30°木製三片式旋轉翼帶動發電機輸出 2.6 伏特電壓



3 號發電機在攻角 40°木製三片式旋轉翼帶動發電機輸出 1.4 伏特電壓



3 號發電機在攻角 50°木製三片式旋轉翼帶動發電機輸出 1.0 伏特電壓

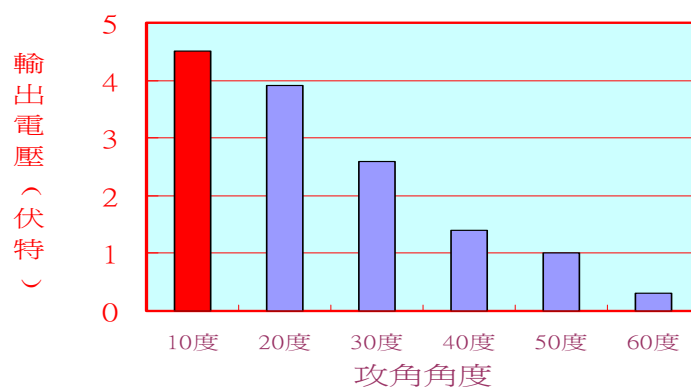


3 號發電機在攻角 60°木製三片式旋轉翼帶動發電機輸出 0.3 伏特電壓

攻角不同的三片式木製旋轉翼輸出電壓比較表

測試項目 旋轉翼材質	攻 角	輸出交流 電壓	效能等第
木製旋轉翼 (3.7cm×16cm)	10 度	4.5V	優
	20 度	3.9V	佳
	30 度	2.6V	佳
	40 度	1.4	中等
	50 度	1.0	差
	60 度	0.3	差

不同攻角的三片式木片旋轉翼輸出電壓比較表(強風)





將攻角 10° 的長形薄片旋轉翼做成較為流線型旋轉翼試試看哪一種形式的旋轉翼效能較佳？



長形薄片旋轉翼輸出 4.5 伏特電壓



流線型旋轉翼輸出 6.2 伏特電壓

(二) 討論：

雖然得知旋轉翼攻角愈小發電機效能愈佳，但是在製做轉翼時因為侷限於材料、工具、技術與設備的關係，我們只做出攻角 10° 、 20° 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° 六組的轉翼來探討攻角大小對於發電機輸出電壓的影響。實驗後我們得到結論：**長形薄片旋轉翼的攻角以 10° 的效能最佳，它能夠讓發電機輸出較大的電壓。**看到飛機的機翼是流線形，我們做了一個攻角 10° 度流線型的旋轉翼和攻角 10° 度長形薄片旋轉翼比較，看哪一種形式的旋轉翼效能較佳？實驗後看到長形薄片旋轉翼輸出 4.5 伏特電壓，流線型旋轉翼輸出 6.2 伏特電壓，所以流線型旋轉翼效能較好，而流線型旋轉翼到底攻角以幾度為最佳？必須做更多的翼片來實驗，已超出本研究之範圍，但是以上實驗也證明旋轉翼的形狀會影響發電機效能。

研究三、探討線圈排列位置及線圈距離磁鐵的遠近與發電強弱的關係。 實驗一：探討線圈的排列位置對發電機輸出電壓的影響。

為了方便量測各類型實驗發電電壓，我們特別製作第 4 號發電機，4 號發電機由四組線圈圍繞著一個旋轉的稀土強磁和架在兩個軸承上的旋轉翼組成，可以探討線圈排列位置及線圈距離磁鐵的遠近與發電強弱的關係。

(一) 實驗過程：

實驗裝置



共有四個線圈模組的
4 號發電機



發電機側面的線圈
連接圖



測量線圈與磁場距
離對電壓影響的量尺



用舊馬達的軸承作為
發電機的軸承

實驗結果



連接一個線圈發電
機電壓為 0.5 伏特



二個線圈串聯發電
機電壓為 1.1 伏特



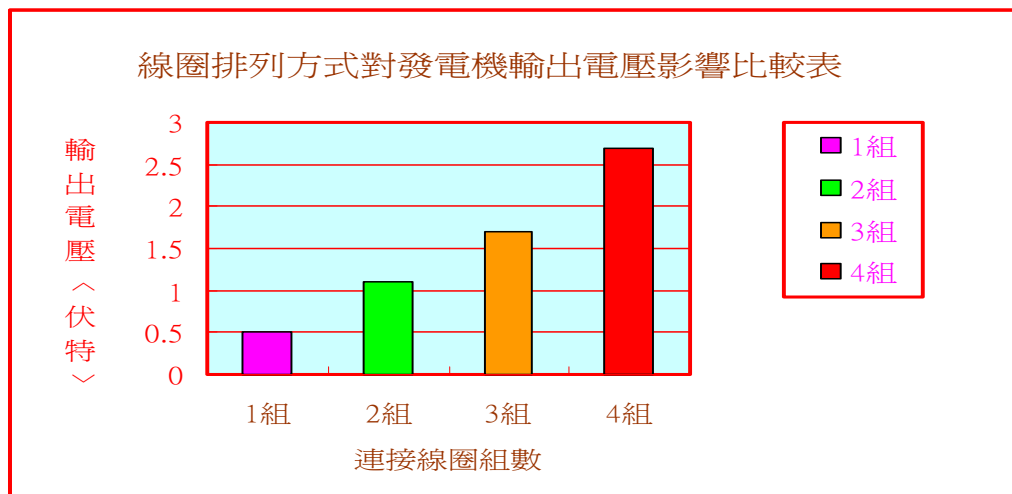
三個線圈串聯發電
機電壓為 1.7 伏特



四個線圈串聯發電
機電壓為 2.7 伏特

線圈的排列位置對發電機輸出電壓的影響

測試環境	電風扇型式（14 吋落地小型）、電風扇與旋轉翼距離（80 cm） 、三片式木製旋轉翼（4cm*18cm）			
發電機形式	4 號發電機			
線圈連接數	1	2	3	4
輸出電壓	交流 0.5V	交流 1.1V	交流 1.7V	交流 2.7V
電壓強弱	弱	中	稍強	強
效能等第	低	低	佳	優



（二）討論：

從以上實驗得到結論，我們發現當線圈將磁鐵包圍的範圍愈大時，發電機輸出的電壓愈大。所以我們得到的結論是：「當線圈排列的位置將磁場包圍得愈緊密時，發電機輸出的電壓愈大」。

實驗二：探討線圈距離磁場遠近對發電機輸出電壓的影響。

（一）實驗過程：

實驗裝置	實驗結果
 上圖為 4 號發電機的構造圖	 實驗結果 1：當可移動的線圈 A 放在刻度 0 上時是最靠近磁場發電機輸出的電壓為 2.8 伏特



實驗結果 2：當可移動的線圈放在刻度 0.5 上時線圈離磁場開一點距離發電機輸出的電壓為 2.5 伏特



實驗結果 3：當可移動的線圈放在刻度 1 上時線圈離磁場又開一點距離發電機發電時輸出的電壓為 2.4 伏特



實驗結果 4：當可移動的線圈放在刻度 1.5 上時線圈離磁場開一點距離發電機發電時輸出的電壓為 2.2 伏特



實驗結果 5：當可移動的線圈放在刻度 2 上時線圈離磁場又開一點距離發電機發電時輸出的電壓為 2.1 伏特



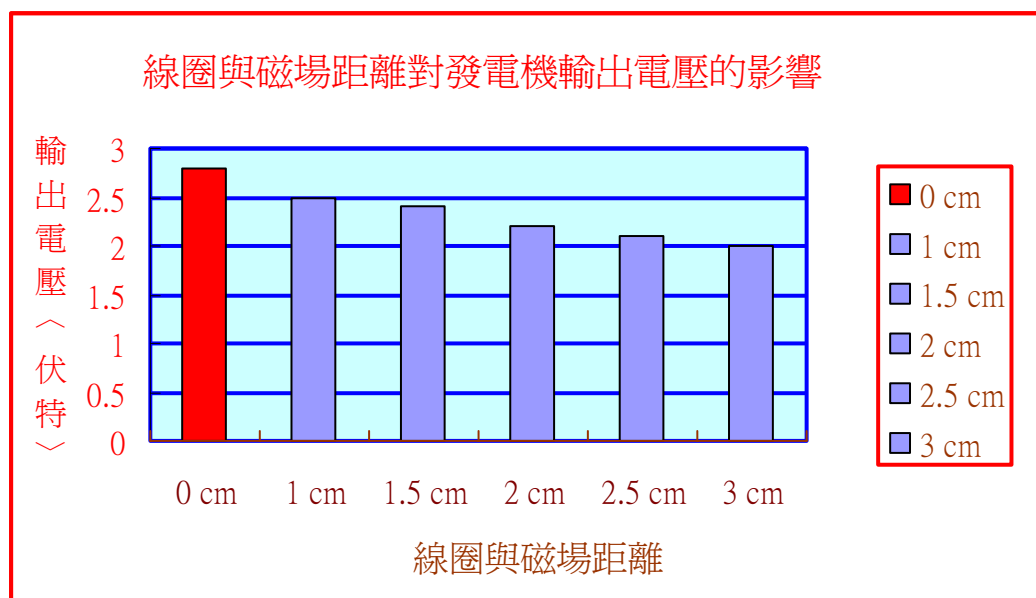
實驗結果 6：當可移動的線圈放在刻度 2.5 上時線圈離磁場開一點距離發電機發電時輸出的電壓為 2.0 伏特



實驗結果 7：當可移動的線圈 A 超出刻度 3 時線圈離磁場更遠了發電機發電時輸出的電壓為 1.9 伏特

線圈距離磁場遠近對發電機輸出電壓的影響

測試環境	電風扇型式（14 吋落地小型）、電風扇與旋轉翼距離（80 cm）、三片式木製旋轉翼（4cm*18cm）、電風扇強弱：強風						
發電機形式	4 號發電機						
線圈在刻度尺位置	0 cm	0.5 cm	1 cm	1.5 cm	2 cm	2.5 cm	3 cm
輸出交流電壓（伏特）	2.8	2.5	2.4	2.2	2.1	2	1.9
電壓強弱	強	←					弱
效能等第	優	←					差



（二）討論：

由實驗中可以看出發電機輸出的電壓和線圈與磁場的距離遠近有密切的關係，**線圈離磁場愈近時發電機輸出的電壓愈強，線圈離磁場愈遠時發電機輸出的電壓愈弱**，當線圈離磁場過遠時似乎與磁場輸出電壓就減弱了。

研究四、探討我們的校園與社區附近是否有進行風力發電的條件。

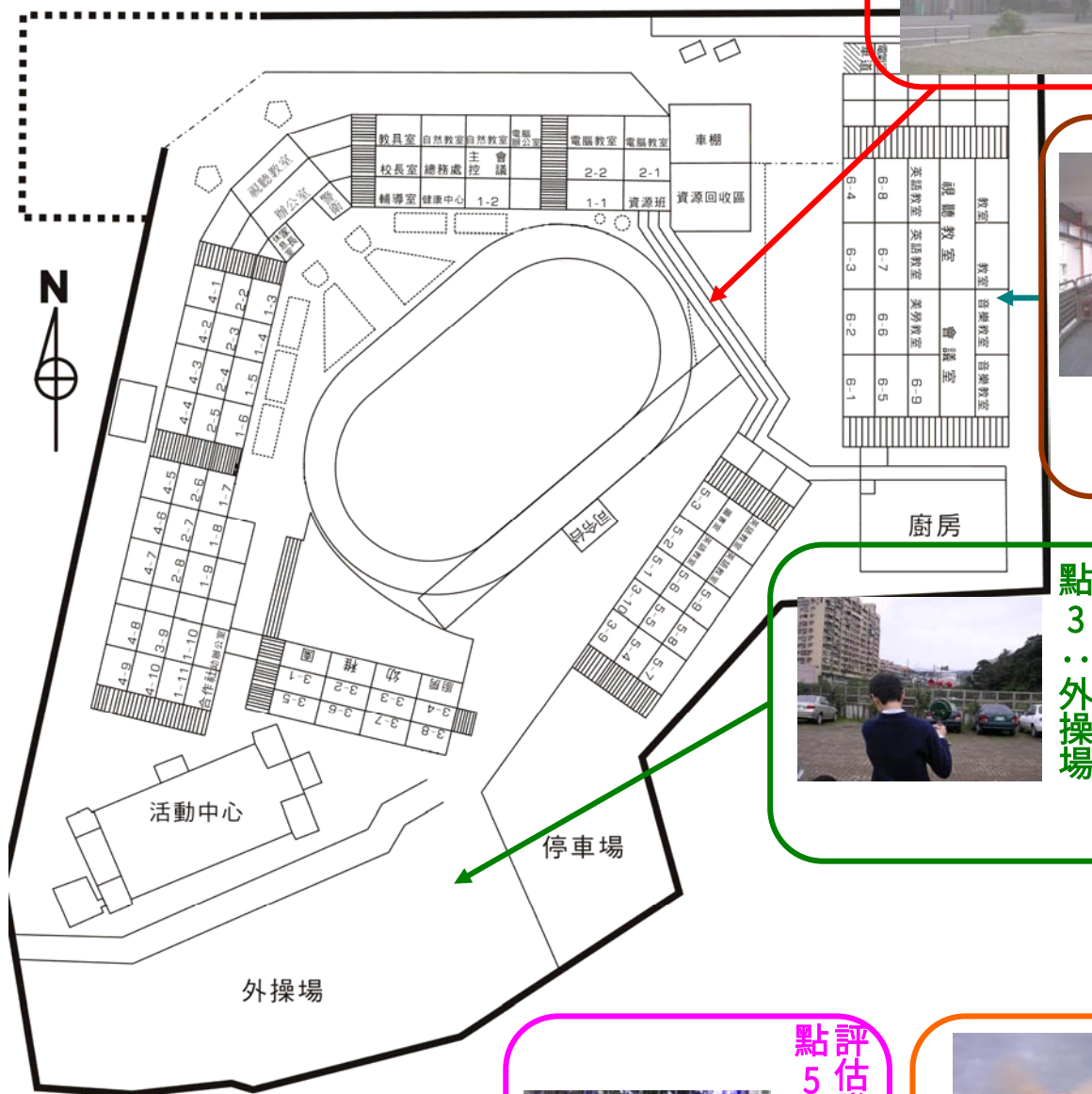
實驗一：評估校園與社區附近是否有條件進行風力發電。

進行此項研究的想法是：我們製作的發電機已經能夠發揮作用了，所以想在校園與我們住的社區附近尋找適合的地點來進行風力發電的實驗，探討校園與我們的社區附近是否有進行風力發電的條件？首先我們要先進行風力發電可行性評估的工作，在學校與社區附近找幾個風力較強的地點，測量有風的日子哪一個地點進行風力的條件最好？

(一) 實驗過程：

1. 評估學校與社區風速較強適合進行風力發電的地點：

校舍平面圖



評估風力機裝置地點
1.. 風雨走廊二樓



評估風力機裝置地點
2.. 五樓走廊窗戶邊



評估發電機裝置地點
點3.. 外操場



評估發電機裝置地點
點5.. 我們的社區



評估發電機裝置地點
點4.. 基隆河邊



2.對校園中有條件進行風力發電的地點作風向與風速分析：



圖 1：學校螢光樓五樓的窗口，因為地形的關係形成一個類似風洞地形是適合裝小型風力發電機的地點。



圖 2：東北季風由東北方經窗口吹進來，向著西南方吹因為對流的關係，風順著狹長的通道吹向走廊的那一邊，所以窗口的風力比其他地方要強。



圖 3：學校風雨走廊的屋頂（圖中標示藍色長方塊附近）是適合架小型風力發電機的地點。



圖 4：從學校後操場往東看可以看出左邊和右邊的小山丘間成一個類似風洞的地形，因為後操場地勢低場地又是屬於開闊的地形，氣流分散掉了，所以無法讓小型的發電機快速運轉發電，除非將發電機高架化旋轉翼大型化。

3. 對社區附近有條件進行風力發電的地點作風向與風速分析：



圖 1：基隆河因為河道有導引東北季風的功效，所以也是適合架風力發電機的地點。



圖 2：我住的社區大門口因為建築物是圓形的拱門成一個類似風洞的地形，也是適合裝風力發電機的地點。

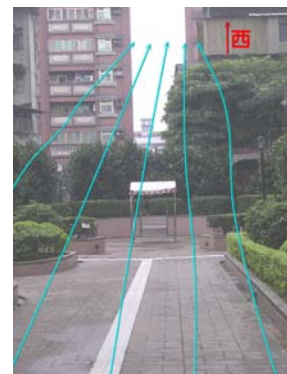


圖 3：社區後門和前門因為東西向前呼後應，成一個導引風行進的通道，使得大門口風速更強勁。

(二) 討論：

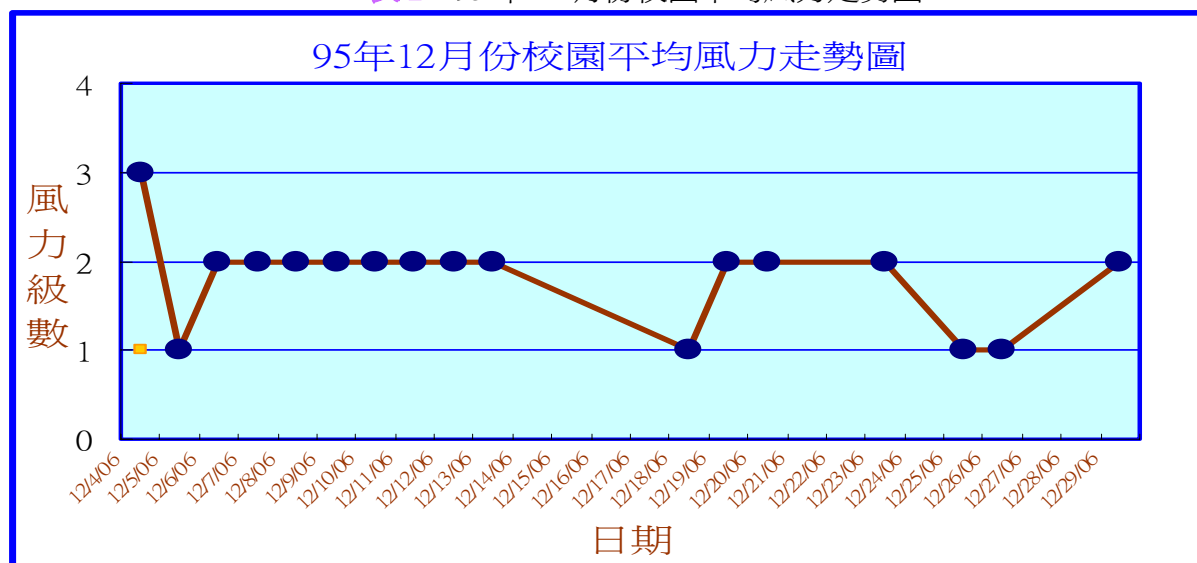
我們製作的發電機無法因為風改變方向而跟著轉向，因此我們只能將發電機固定在一個風比較集中的地方，所以我們在學校和我家社區附近利用風力發電機進行一連串實驗，發現了一個有趣的現象--「風洞」，在像口狀布袋和狹長的地形附近會形成所謂的「風洞」，風會大量的從「風洞」吹進來。所以此處風勢特別強，只要充分利用這個特性，我們可以選有像類似「風洞」的地點和地勢較高處裝設風力發電機，縱使在不靠海的地方也是可以進行風力發電的。

實驗二：對 2006 年 12 月份校園中風速狀況進行評估。

表 1：95 年 12 月份校園測得風速與氣象局平均風力對照表

日 期	學校測得 風力級數	氣象局預 報風力級數	日 期	學校測得 風力級數	氣象局預 報風力級數
2006/12/4	3	3	2006/12/13	2	4
2006/12/5	1	2	2006/12/18	1	4
2006/12/6	2	2	2006/12/19	2	2
2006/12/7	2	2	2006/12/20	2	3
2006/12/8	2	4	2006/12/23	2	3
2006/12/9	2	3	2006/12/25	1	2
2006/12/10	2	3	2006/12/26	1	1
2006/12/11	2	3	2006/12/29	2	2
2006/12/12	2	3	觀測地點：學校五樓、風雨走廊三樓、外操場		

表 2：95 年 12 月份校園平均風力走勢圖



（二）討論：

由表 1、表 2 中，我們可以看出 96 年 12 月份氣象局發布的風速報告中平均風速約在 2 至 3 級風，我們在校園中有測風速的日子中可以看出校園平均的風速約在 2 級風左右，平均風速達到 2 級風，已經可以讓我們的發電機輸出的電流點亮 LED，所以 12 月份至少有 17 天的日子可以進行風力發電，我們可以將電儲存起來以備日後使用，所以我們認為在校園與社區是有進行風力發電的條件。

實驗三：對 2007 年 1 月份校園中風速狀況進行評估。

（一）實驗過程：



圖 1：96 年 1 月 24 日在地勢較低的外操場測風速時當時只測到約 1 級風

民國 96 年 1 月 24 日 台北市氣象局 觀測資料

觀測時間	測站高度 (m)	溫度 (°C)	相對濕度 (%)	風速 (m/s)	風向 (16 方位)	陣風 (m/s)
01:00	1023.5	15.0	73	0.0	無	0
02:00	1023.5	14.9	73	1.3	北北西	0
03:00	1024	14.9	73	0.0	北北西	0
04:00	1024.1	14.9	74	0.0	東北東	0
05:00	1024.3	14.1	73	2.0	無	0
06:00	1024.5	14.0	73	3.1	東北東	0
07:00	1025.5	13.7	74	1.0	東北東	0
08:00	1026	14	72	2.2	東北	0
09:00	1026.2	14.1	72	0.0	東南東	0
10:00	1026.5	13.9	74	2.1	東北東	0
11:00	1029	14.2	72	2.0	北北東	0
12:00	1028.3	14.1	71	2.0	北北東	0
13:00	1024.5	14.3	73	2.0	東北	0
14:00	1024	14.3	69	1.4	東北	0
15:00	1023.7	14.7	68	2.0	東北	0
16:00	1023.5	14.6	69	3.0	東北東	0
17:00	1023.5	14.5	68	3	東北東	0
18:00	1024.1	14.3	69	4	東北東	0
19:00	1024.4	14.0	68	3.4	東北東	0
20:00	1025	14.0	68	2.7	東南東	0
21:00	1025.1	14.7	64	3.2	東南東	0
22:00	1025	14.6	63	3.0	東南東	0

圖 2：從網站上得知 96 年 1 月 24 日風速平均約 2 級風

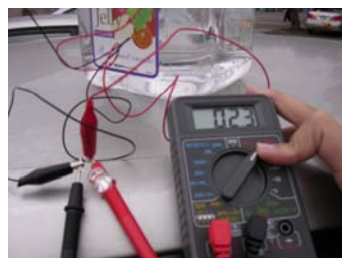
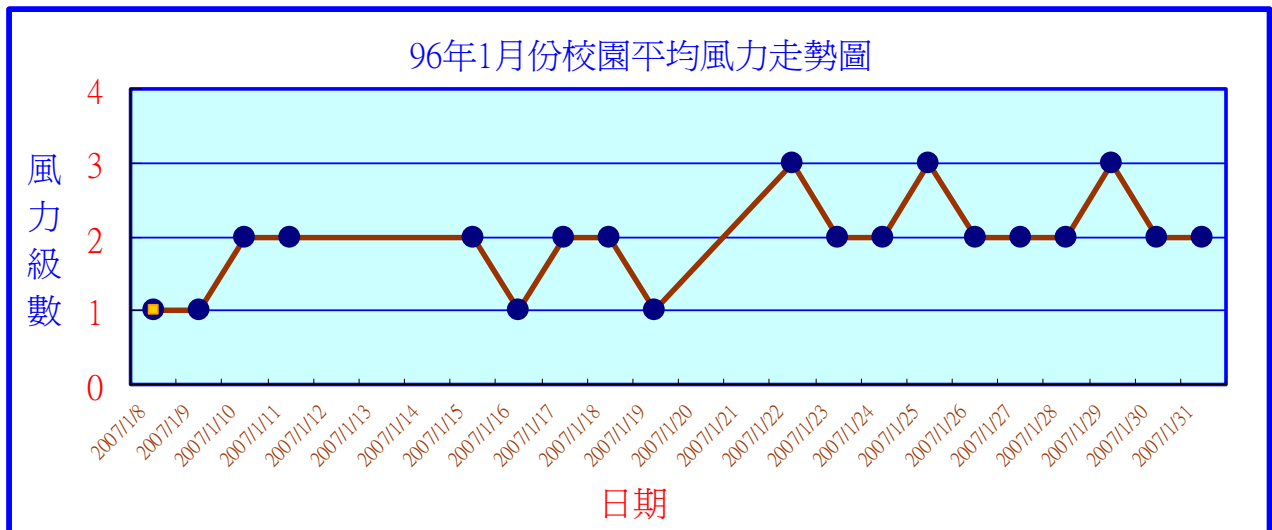


圖 3：風力達到 1 級時旋轉翼快速轉動帶動發電機輸出 2.3 伏特電壓

表 1：96 年 1 月份校園與氣象局平均風力對照表

日 期	學校測得風力級數圖 1	氣象局預報風力級數圖 2	日 期	學校測得風力級數圖 1	氣象局預報風力級數圖 2
2007/1/8	1	2	2007/1/19	1	1
2007/1/9	1	2	2007/1/22	3	3
2007/1/10	2	3	2007/1/23	2	2
2007/1/11	1	3	2007/1/24	1	2
2007/1/15	2	3	2007/1/25	1	3
2007/1/16	1	1	2007/1/26	2	3
2007/1/17	2	2	2007/1/29	3	3
2007/1/18	2	3	2007/1/31	2	3
觀測地點：學校五樓、風雨走廊三樓、外操場					

表 2：96 年 1 月份校園平均風力走勢圖



(二) 討論：

由表 1 和表 2 中我們可以看出 96 年 1 月份氣象局發布的風速報告中平均風速約在 2 至 3 級風，雖然有時候風速很強可以達到每秒 5 尺以上接近 4 級風，有時候風速又很小，幾乎是 0 級風。我們的發電機有風才會運轉，當然無風的情形下就停擺了。由此可以看出我們在校園進行風力發電的條件，肯定要比在靠海邊的地方要差多了，不過我們仍然很樂觀，只要我們能夠改進發電機的結構，例如：利用變速器讓發電機在微風下仍能快速運轉，就可解決風速過小的問題。另外設計更完善的旋轉翼也可以達到目的。另外我們也可以利用「**風力田**」的概念將風力發電機組串聯起來，縱使風速過小時也是可以獲得較大的電源供應。

實驗四：對校園與社區附近有條件進行風力發電地點進行風速比較，判定最適合進行風力發電的地點。

1. 實驗方法：

實驗裝置	實驗裝置使用說明
風速計 將風向儀當做簡易風速計來量測風速	因為我們只有一個風速計，我們經過觀察後發現在學校與社區可能有五個地點適合風力發電，爲了要測試出到底是哪一個地方風力最強，比較適合進行風力發電？我們用簡易風向儀和風速計，在同一時間以五組人同時進行採樣，以測量出哪一個地點最有條件進行風力發電？

實驗過程



96/5/25 五樓測得棉花球
最高高度 16 公分



96/5/25 三樓測得棉花球
最高高度 15 公分



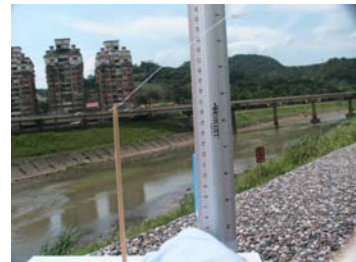
96/5/25 外操場測得棉花球
最高高度 11 公分



96/5/25 社區測得棉花球
最高高度 16 公分



96/5/28 五樓測得棉花球
最高高度 15 公分



96/5/29 基隆河測得棉花球
最高高度 25 公分

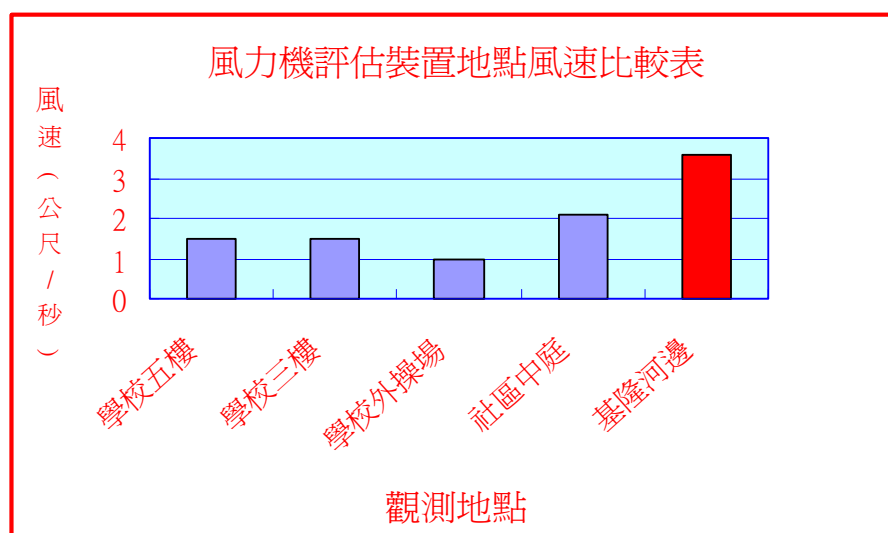
簡易風力計觀測表									
觀測地點：學校五樓									
日期	風力觀測 時間	8:00	9:25	10:15	11:10	13:20	14:10	15:00	平均 風速
96	棉花球高度	13	11	16	0	8	15	15	
05	對應風速 (m/sec)	2.3	1.3	2.7	0	0.8	2.6	2.6	1.8
25	風力級數	2	1	2	0	1	2	2	2
96	棉花球高度 (cm)	0	3	15	11	13	14	16	
05	對應風速 (m/sec)	0	0.6	2.6	1.3	2.3	2.5	2.7	1.7
28	風力級數	0	1	2	1	2	2	2	2
96	棉花球高度	0	8	11	0	11	15	5	
05	對應風速 (m/sec)	0	0.8	1.3	0	1.3	2.6	0.7	1
29	風力級數	0	1	1	0	1	2	1	1
觀 測 結 果		觀測三天風速平均值約 1 級風 (風速 1.5m/sec)							

簡易風力計觀測表										觀測地點：學校風雨走廊三樓
日期	時間 風力觀測	8:00	9:25	10:15	11:10	13:20	14:10	15:00	平均 風速	
96	棉花球高度	1	8	8	15	6	11	10		
05	對應風速(m/sec)	0	0.8	0.8	2.6	0.6	1.3	1.2	1.8	
25	風力級數	0	1	1	2	1	1	1	2	
96	棉花球高度(cm)	0	5	12	10	7	12	10		
05	對應風速(m/sec)	0	0.6	2	1.2	1	2	1.2	1.7	
28	風力級數	0	1	2	1	1	2	2	2	
96	棉花球高度	0	3	15	9	8	14	5		
05	對應風速(m/sec)	0	0.4	2.6	1.3	0.8	2.5	0.6	1.1	
29	風力級數	0	1	2	1	1	2	1	1	
觀 測 結 果		觀測三天風速平均值約 1 級風（風速 1.5m/sec）								

簡易風力計觀測表							觀測地點：外操場			
日期	風力觀測	時間	8:00	9:25	10:15	11:10	13:20	14:10	15:10	平均風速
96	棉花球高度		15	9	11	7	11	6	8	
05	對應風速(m/sec)		2.6	1.3	1.3	0.6	1.3	0.6	0.8	1.9
25	風力級數		0	1	1	2	1	1	1	2
96	棉花球高度(cm)		0	16	10	0	0	大雷 雨	大雷 雨	
05	對應風速(m/sec)		0	2.7	1.2	0	0			0.8
28	風力級數		0	0	2	1	1			2
96	棉花球高度		4	3	0	4	4	0	0	
05	對應風速(m/sec)		0.5	0.4	0	0.5	0.5	0	0	0.3
29	風力級數		0	1	2	1	1	0	0	1
觀 測 結 果			觀測三天風速平均值約 1 級風（風速 1m/sec）							

簡易風力計觀測表						觀測地點：社區中庭				
日期	風力觀測	時間	8:00	9:25	10:15	11:10	13:20	14:10	15:00	平均風速
96 05 25	棉花球高度		15	16	14	16	15	12	15	
	對應風速 (m/sec)		2.6	3.1	2.5	3.1	2.6	2	2.6	2.6
	風力級數		0	1	1	2	1	1	1	2
96 05 28	棉花球高度 (cm)		3	0	18	18	7	16	6	
	對應風速 (m/sec)		0.4	0	4.1	4.1	2.7	3.1	0.6	2.1
	風力級數		0	0	2	1	1	2	2	2
96 05 29	棉花球高度		0	0	4	12	6	10	16	
	對應風速 (m/sec)		0	0	0.5	2.1	0.6	1.9	3.1	1.7
	風力級數		0	1	2	1	1	2	1	1
觀 測 結 果			觀測三天風速平均值約 2 級風 (風速 2.1m/sec)							

簡易風力計觀測表						觀測地點：基隆河邊			
日期	風力觀測 時間	8:00	9:25	10:15	11:10	13:20	14:10	15:00	平均 風速
96	棉花球高度	20	19	17	18	16	21	11	
05	對應風速(m/sec)	4.8	4.5	3.9	4.1	3.6	5	1.3	3.9
25	風力級數	3	3	2	3	3	3	1	3
96	棉花球高度(cm)	0	22	21	17	16	大雷 雨	13	
05	對應風速(m/sec)	0	5.3	5.0	3.9	3.6		2.3	3.2
28	風力級數	0	1	2	1	1		2	2
96	棉花球高度	0	9	16	19	19	23	16	
05	對應風速(m/sec)	0	1.3	3.6	4.5	4.5	5.7	3.6	3.8
29	風力級數	0	1	3	3	3	4	3	3
觀 測 結 果		觀測三天風速平均值約 3 級風 (風速 3.6m/sec)							



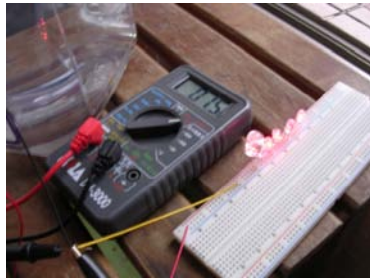
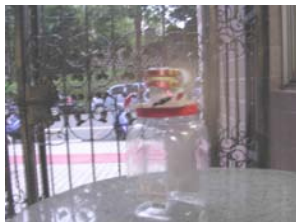
2.討論：

我們將這五個地點所測得風速資料整理後將這五個地點排順位為：①基隆河（風速 3.6m/sec）②社區中庭（風速 2.1m/sec）③學校五樓（風速 1.5m/sec）、學校風雨走廊三樓（風速 1.5m/sec）④外操場（風速 1m/sec），我們發現靠基隆河邊和靠基隆河邊的社區風速最強，應該是最適合做風力發電的地方。我們的學校與社區，在有風吹拂的季節也具有風力發電的條件，但是風力發電除了考慮風力大小外，風量的持續性也要評估，若風量不穩定發電的品質也不穩定無法達到真正實用的目的。從上面五個地點來看，風力的大小取決地形的影響，在基隆河觀測點由於地形較為寬敞，風力較大及風量持續性較佳，所以較其他觀測點為佳，而學校及社區中庭由於建築物四周環繞，阻礙風的流動，故較基隆河觀測點為差，這也是為什麼風力發電廠建於空曠地區的原因。而在社區中庭由於高樓的風洞效應，在建築物較多的地區也是種較佳的選擇。

實驗五：利用自然風進行發電機發電實驗，再進一步評估風力發電可行性。

我們在室內做發電機發電實驗都是用人造風，如果改到戶外用自然風不知道有沒有足夠的風力推動發電機？於是我們就用課餘時間到戶外進行風力發電的實驗。

（一）實驗步驟：

實驗裝置	實驗結果	
 風力發電機組和風速計及三用電錶	 只要 2 級風發電機輸出的電就足以點亮 1 大 4 小共 5 顆的 LED	
實驗過程		
 圖 1：在五樓窗口做測風速和發電機發電實驗	 圖 1-1：發電機輸出電壓經由三用電錶顯示達 3.6V 足以點亮 LED	 圖 2：在我家社區大門口做發電機發電實驗
 圖 2-2：由圖中看到發電機旋轉翼快速運轉輸出電流點亮了 LED	 圖 3：我們到開闊的基隆河邊做發電機發電實驗	 圖 3-1：雖然當天東北季風減弱由圖中看到發電機輸出 2.05 伏特電壓還是足夠點亮 LED

（二）討論：

在戶外我們發現大約只要 2 級風就可以讓發電機輸出交流電 4.03 伏特的電壓，只是風雖然並不是很穩定。如果要利用自然風來發電在發電機的結構上要作很大的改良才行，這個問題需要更多的電學知識來克服，對我們來說相當困難，要用一個發電機來做實際用途比較不可行，所以接下來我們要利用風力田的概念繼續做探討！

實驗六：利用「風力田」的概念做風力發電的實驗。

（一）實驗過程：

實驗裝置	實驗結果
 2 號發電機快速運轉  3 號發電機快速運轉  2 號、3 號發電機串聯起來即是所謂的「風力田」	 2 號發電機經整流器整流後輸出 3.9 伏特電壓的直流電  3 號發電機經整流器整流後輸出 5.33 伏特電壓的直流電  2 號、3 號發電機串聯後經整流器整流後輸出 8.44 伏特電壓的直流電

串聯 2 號、3 號發電機模擬風力田輸出電壓一覽表

測試環境：電風扇型式（14 吋落地小型）、電風扇與旋轉翼距離（80 cm）、三片式木製旋轉翼（4cm*18cm）、發電機輸出端接整流器、電風扇風速：強風			
發電機形式	2 號發電機	3 號發電機	2 號、3 號發電機串聯
輸出電壓（伏特）	直流 3.9	直流 5.33	直流 8.44

（二）討論：

由實驗中看出我們可以經由串聯多個發電機讓發電機組輸出較高的電壓，雖然一個發電機輸出電壓不高，不過在多個發電機串聯起來後就可以得到較高的電壓，利用「風力田」的發電概念，就可以充分利用風能。所謂「聚沙成塔、滴水成河」，只要我們將點點滴滴的可用能源聚集起來，就能夠利用風力發電來提供乾淨又免費的能源。在我們實驗用的材料中有一部分是從資源回收室中找出來的，經過一番巧思和手腦並用之下，我們將不起眼的一些小東西變成可以發電的發電機，真是太神奇了！可不要小看平凡的漆包線、磁鐵、瓦楞紙、木片……等不起眼的材料，只要善用我們的智慧，我們可是做到「小兵立大功」喔！

實驗七：研究發電機輸出的電是否能利用充電電池儲存起來。

(一) 實驗過程：

實驗裝置	實驗結果
2 號發電機正進行發電並將交流電經由整流器整流成直流電 3 號發電機正進行發電並將交流電經由整流器整流成直流電	用三用電錶量得電流大小約是 31.7 毫安培 用三用電錶量得電流大小是 53.8 毫安培
2、3 號發電機正進行發電並將交流電經由整流器整流成直流電 量電壓的三用電錶	2、3 號發電機再串聯後用三用電錶量得電流大小是 49.6 毫安培 並聯電路 總電流=各分路電流之和

(二) 討論：

我們用「**風力田**」的觀念來進行風力發電，製作幾個小發電機，再將這幾個小發電機串聯起來，縱使風力小的時候也可以由這幾個小發電機輸出較大的電力，雖然在「研究六之風力田實驗」的研究報告中得知發電機串聯可以得到較高的電壓，可是並不能得到較大的電流，由 2、3 號發電機串聯實驗中看到量得的電流只有 **49.6 毫安培**而已，這樣的電流量並不能將發電機輸出的電儲存到充電電池裡，因為充電電池至少要 **500 毫安培以上**的電流才能充電。我們要如何才能將我們的發電機輸出的電拿來應用在生活上呢？我們可以：

- 1.製作同樣規格的發電機如 3 號發電機至少 10 個，再將這 10 個發電機並聯發電，那可以獲得 500 毫安培以上的電流量了，這樣的電流量才能真正 應用在生活上。(並聯電路之總電流 = 各分路電流之和；將三個電池並聯可以產生較大電，運用這個原理就可以讓並聯的 10 個小發電機輸出 500 毫安培以上的電流)。
- 2.改良發電機結構如：旋轉翼改良、線圈匝數增加、磁場強度增強讓發電機能夠輸出較大的電流量。

陸、結論

- 一、經過實驗後我們得到以攻角 10 度的三片式木製旋轉翼帶動發電機輸出的電壓最大，旋轉翼表面積愈大者輸出的電壓也愈大，旋轉翼的形狀也會影響電壓大小。
- 二、線圈匝數愈多，發電機輸出電壓愈大。
- 三、磁場強度愈強發電機輸出電壓就愈強。
- 四、發電機輸出電壓和線圈與磁鐵的距離遠近有關係，線圈距離磁鐵愈近輸出電壓愈大。
- 五、連接愈多的線圈模組輸出電壓愈大，當線圈緊密的包圍場磁鐵時，發電機效能愈佳。
- 六、我們的學校與社區，在有風吹拂的季節也具有風力發電的條件。風力發電除了考慮風力大小外，風量的持續性也要評估，若風量不穩定發電的品質也不穩定無法達到真正實用的目的。
- 七、利用風力田的概念來進行風力發電是可行的，善用無污染的能源才能解決目前地球所面臨的溫室效應帶來的嚴重問題。
- 八、在實驗過程中製作的發電機讓我們應用它們來解釋電學現象①垂直型感應電流發電機可以清楚解釋法拉第電磁感應定律②經由整流器可以看出交流電與直流電的差異③磁煞車現象可以清楚解釋楞次定律④線圈模組化發電機可以清楚看到發電機內部運作的情形。這次實驗所製作出來的實驗模型，讓我們對電學的了解很有幫助，我們覺得受益良多。

柒、感想

- 一、學完牛頓教科書第三冊第四單元「燈泡亮了」這個單元，讓我們對電學產生濃厚的興趣，我們就一頭栽入電的世界當中，一起和老師共同來研究探討有關電學的知識。我們將漆包線繞成線圈後，再加上磁鐵及旋轉翼就可以發電了，我們從這次的學習當中體會到電的世界真是太神奇了！
- 二、如果我們能夠研究出性能良好的風力發電機，就可以為人類解決一部分的能源危機與地球溫室效應的問題。雖然我們的年紀還小，所學習的知識還很有限，但是只要我們努力學習，長大後就有能力造福人群了。
- 三、我們要感謝幾位熱心人士給予我們的協助，我們才能順利完成這趟的「追風之旅」。
- 四、雖然我們順利完成這次的任務，可是總感到有一點點遺憾，就是發電機目前還無法真正應用在生活上，希望以後能想到更好的方法來改善我們的發電機，讓它們為我們達到開發綠色能源的目標。

捌、參考資料

【書籍】

- 1.周鑑恆。輕鬆學物理的第一本書 31 個有趣的物理實驗。台北市：如何出版社
- 2.牛頓科學研習百科 130 頁至 181 頁 電的世界。台北市：牛頓出版公司
- 3.小牛頓科學館 第 46 冊 風的科學（民 91 年）。台北市：牛頓出版公司
- 4.自然與生活科技第一冊第三單元 探索天氣。台北市：牛頓教科書
- 5.自然與生活科技第三冊第四單元 燈泡亮了。台北市：牛頓教科書
- 6.新編光復科學圖鑑。電氣篇（民 93 年）台北市：光復書局
- 7.江丙森。自然科學實驗室 電氣與磁力之謎（民 80 年）台北市：護幼社

【網路資源】

- 1.風力發電與旋轉翼的關係
取自 秀朗國小能源教育網 <http://www.hles.tpc.edu.tw/energy/>
- 2.風生電起--探討風能的有效應用國中組。物理科。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
取自 <http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316/031611.pdf>
- 3.風力田 永續校園 綠色學校
取自 台北縣中山國中 <http://www.csjh.tpc.edu.tw/green/>
- 4.台北氣象站 觀測資料
取自 <http://dpsvr3.cwb.gov.tw/ftp30day/data/46692020070131.htm>
- 5.電池的並聯
取自 <http://vrschool.ice.cycu.edu.tw/teacher/Elec/p2-2.htm>

【期刊】

- 1.呂威賢。科學發展月刊（民 93 年）383 期 風的故事 從風車到風力機
新竹：工業技術研究院
- 2.林宣安。科學研習（民 93 年）第四十五卷第二期 45 頁 發電高手。台北：科學教育館

小兵立大功—校園與社區區域性風力發電之
【評語】 081507
研究

1. 研究精神佳。
2. 對物理變因的探討完整，唯對發電功率在串聯及並聯上的差異，有嚴重的錯誤觀念，且無實驗驗證。
3. 研究的記錄報告等頗佳。
4. 實驗部分內容可以簡化，使研究的方向更加明確。