

中華民國第四十八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

030804

風力發電之葉片設計及其應用

學校名稱：雲林縣立雲林國民中學

<p>作者：</p> <p>國一 郭柏助</p> <p>國二 張毓宗</p> <p>國二 孫佳賢</p> <p>國三 郭庭耀</p>	<p>指導老師：</p> <p>劉佳琪</p>
--	-------------------------

關鍵詞：風力發電、手機充電、充電器

作品名稱：風力發電機之設計及充電應用

摘要

風力發電是將風能轉換為電能的一種發電方式。以風力發電來節能的構想，可能由於能源短缺，環保節能概念的提倡，近年的科展作品很多，市面上也有很多販賣自製的風力發電機的產品，放在家中頂樓的地方來儲存電能，而我們的科展主要是想探討葉片如何設計才能得到最好的發電效果，所以實驗過程主要是在探討葉片的迎風角度、形狀、數目、面積大小對發電效率的影響。藉由轉動的原理，我們估算出葉片的迎風角度在 0 度至 45 度之間會有最佳的轉動效果，經由實驗的測試發現葉片迎風角度在 20 度左右，可以得到最佳的轉動效果；也由轉動的原理，在相同的風力下，轉動慣量(由葉片質量及葉片距轉軸距離所決定)愈小轉動會越快，實驗後也可得知葉片形狀、數目、面積會影響到發電效果，最後找出發電效率最佳的葉片來製作風力發電的手機充電器。

壹、研究動機

能源危機的議題於報章電視上常常可以聽到，最近印象最深刻的應該是石油的價格不斷的飆漲，專家更預期多年後可能沒有石油可以使用，所以替代性能源的開發是非常必要且急迫的。常見的發電方式為風力發電、水力發電、火力發電，及核能發電等，其中風力發電沒有燃料問題，也不會產生輻射或二氧化碳等公害，算的上是很環保的一種發電方法。一次曾在網路上看過國外網站中製作風力發電來充手機，以防在野外露營時，手機無法充電而沒有辦法對外通訊；且曾經在雲林麥寮的風力發電廠觀察風力發電的葉片設計，只有三葉且又細又長，令我們非常好奇，為何葉片的設計方式要如此?是否我們也可以自己設計出發電效率最好的葉片來對手機充電，因此我們對這次科展題目有了不錯的想法，那就是設計風力發電的葉片來對手機充電，達到環保節能的功用。

貳、研究目的

- 一、瞭解發電機、風力發電、鋰電池充電的原理。
- 二、以轉動的原理來探討葉片設計對發電機的影響。
- 三、探討葉片迎風角度、面積大小、形狀、數目對風力發電效率的影響。
- 四、了解手機電池充電的模式。
- 五、製作環保的風力發電手機電池充電器。

參、研究設備及器材



三用電表



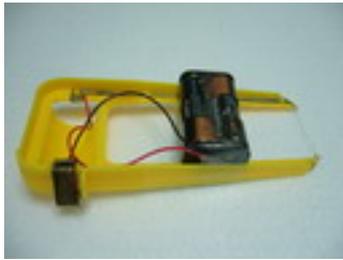
銲槍



熱熔槍



珍珠板及小冰棒棍



珍珠板切割器



馬達



乾電池及電線

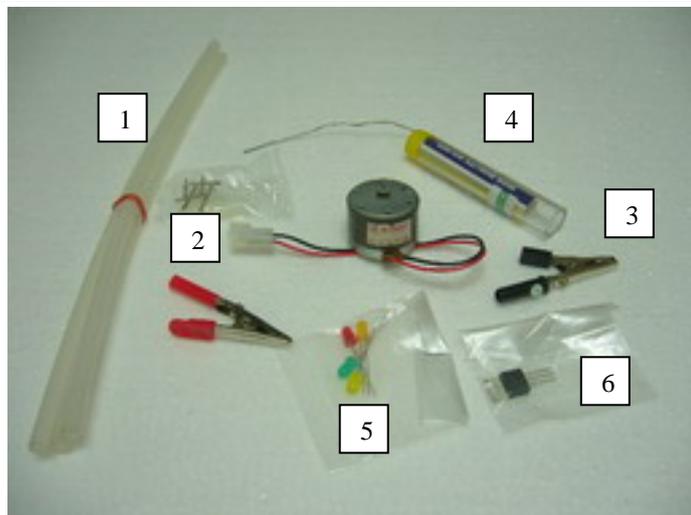


保麗龍及整流二極體

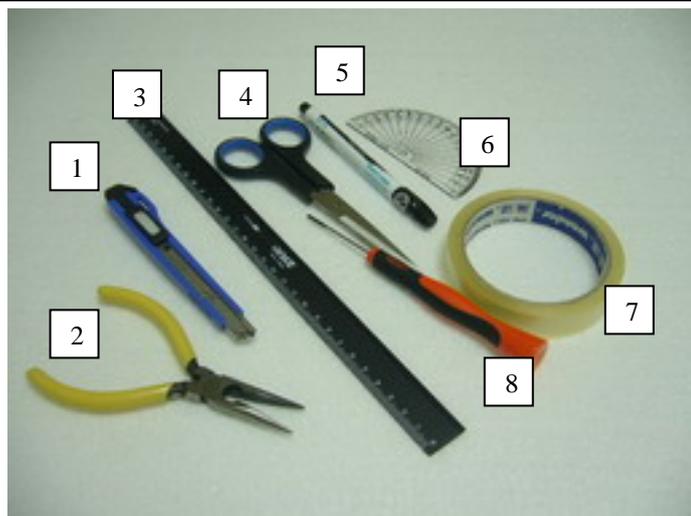


手機

1. 熱熔膠條
2. 可插拔式接頭
3. 鱷魚夾
4. 銲錫
5. LED 燈泡
6. 5V 穩壓 IC



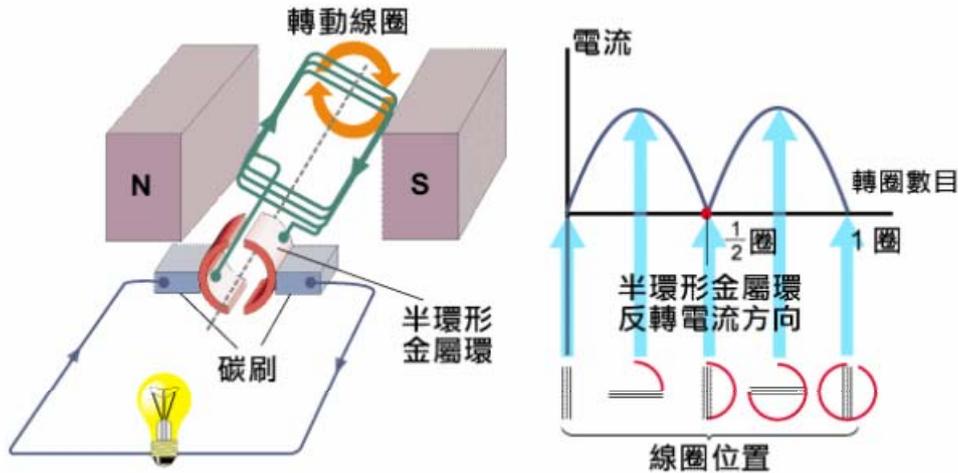
1. 小刀
2. 鉗子
3. 尺
4. 剪刀
5. 油性筆
6. 量角器
7. 膠帶
8. 螺絲起子



肆、研究過程與結果

研究一：資料蒐集—發電機原理、馬達原理、風力發電原理、充電電池原理

(一) 發電機原理



發電機:是將動能轉變為電能的裝置，構造如右圖所示。

A.構造：

- 1.場磁鐵：產生磁場的磁鐵。
- 2.電樞：置於磁鐵中間，能自由轉動的多匝線圈。
- 3.集電環：連接線圈的兩個金屬環。
- 4.電刷：與集電環微微接觸，當感應電流產生，此電流可經電刷導出。

B.原理：以動力使線圈在磁鐵的兩極間快速轉動時，通過線圈的磁場大小就不斷的隨時間改變，此時線圈就有感應電流產生。

理論上感應的線圈數愈多，轉動的速度越快則產生的電能越多。

(二) 馬達原理

電動機俗稱馬達 (MOTOR)，被廣泛運用於各種電器用品間，能將電能轉換為動能。當電刷輸入電流時，其電流流經電樞，由於電流的磁效應，會產生與場磁鐵相斥的磁場而造成轉動，其原理與發電機正好相反。

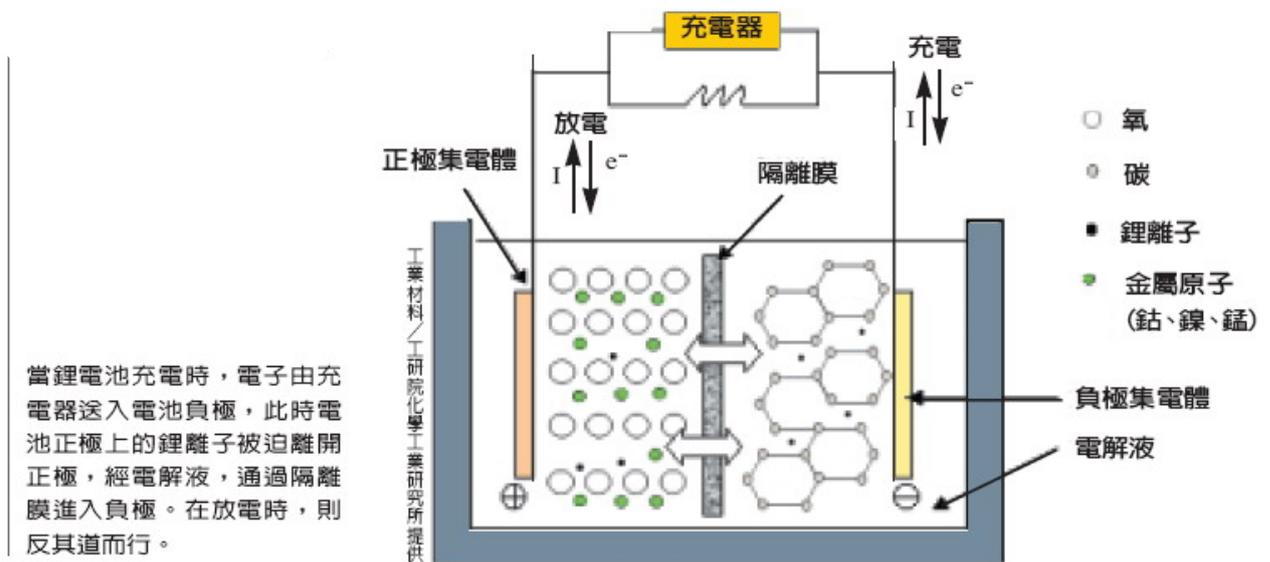
(三) 風力發電原理

大型風力發電機通常採用"水平軸"型式，它由風葉輪、變速箱(加速齒輪箱)、發電機、偏移裝置、控制系統、塔架等部件所組成。風葉輪的作用是將風能轉換為機械能，它是由氣體流動性能良好的葉片裝在輪軸上所組成，低速轉動的風葉輪通過傳動系統 經由加速齒輪箱來增速，將動力傳導給發電機。上述這些組件都安裝在機艙內，整個機艙由高大的塔架支撐，

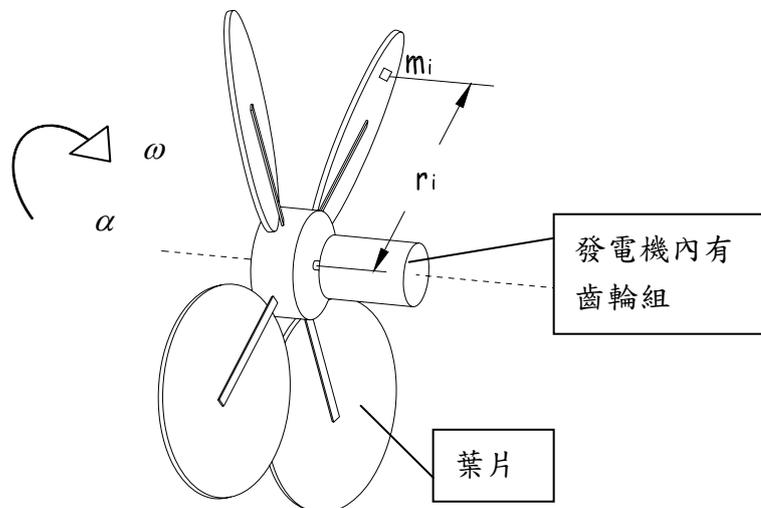
由於風向會經常改變，為了有效地利用風能，必須要有自動迎風的裝置，根據風向感測儀測得的風向信號，再由控制器來控制偏移電機，驅動小齒輪去推動塔架上的大齒輪，使整個機艙藉由此自動控制的系統，能夠保持正確對向迎風面。

(四) 充電電池原理

充電電池一般有一共同的電化學特性，即其化學反應是可逆反應，可以通過外加電源，讓電能轉化為化學能，使放過電的電池恢復到原來的狀態。而鋰二次電池即為充電電池，其為目前最常用的可攜式能源，應用如筆記型電腦、數位相機、行動電話等。下圖為鋰離子電池的構造圖說明。



研究二：葉片設計的原理探討



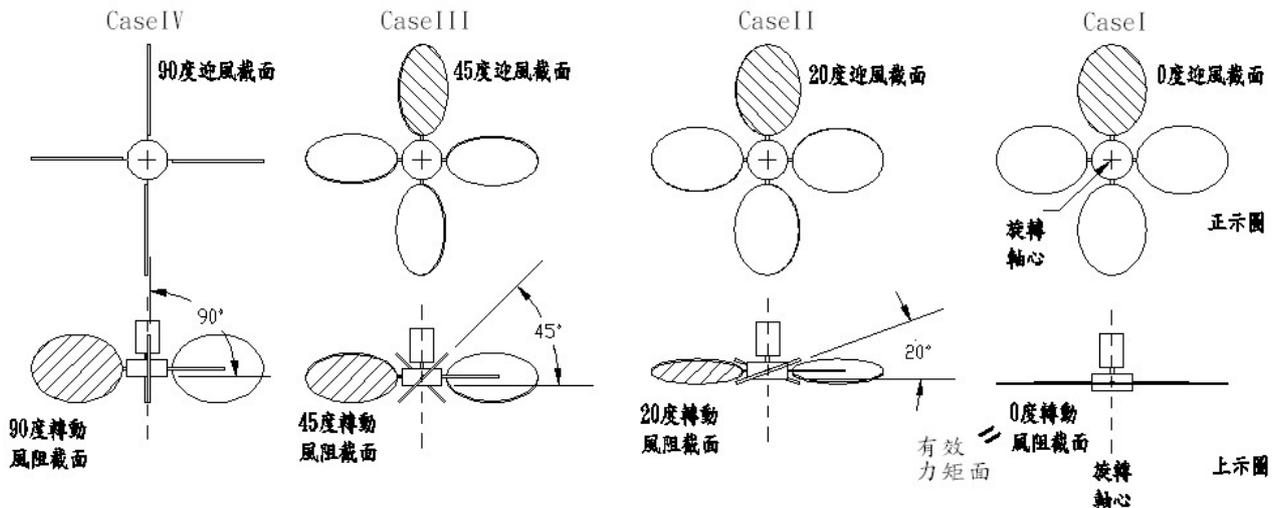
考慮葉片組對一發電機固定軸旋轉，此葉片若受風力作用，得到一力矩(τ)，則葉片會開始轉動，轉動初期會有一角加速度為 α ，當經過一段時間 t 後，系統因為風的阻力及發電機齒輪組的摩擦力而達到平衡，此時葉片組之角動量為 L ，葉片會以一固定的角速度 ω 作旋轉。而整個轉動系統的轉動慣量為 I ，我們可以用以下的公式來描述所有的運動行為：

$$\text{角速度: } \omega = \frac{d\theta}{dt}, \text{ 角加速度: } \alpha = \frac{d\omega}{dt}, \text{ 角動量: } L = I\omega, \text{ 力矩: } \sum \tau = I\alpha, \text{ 轉動慣量: } I = \sum_i m_i r_i^2。$$

a. 當風力越大，產生的力矩 τ 越大，角加速度 α 越大，角速度 ω 越大， ω 越大即齒輪轉動的速度越快，而產生的電壓亦越大。

b. 以角動量公式來看， $L = I\omega$ ，當 L 相同時， I 越小，則 ω 越大。故當葉片越輕(其轉動慣量 I 越小)，表示越容易驅動葉片轉動。但相對的，葉片越輕可能葉片結構強度越弱，可能會經不起強風的吹襲。故飛機引擎葉片使用鈦合金為材質，並採用中空的設計，達到重量輕與結構強壯的雙重目的。

c-1. 在分析葉片旋轉角度對轉動的影響，在此僅以平板型的葉片來分析，且暫時不考慮流體力學的影響，下圖為葉片與迎風面夾角的示意圖，其中轉動的風阻截面即是旋轉軸心的有效力矩面。



Case I: 有效力矩面為 0，故不會轉動。

Case IV: 迎風截面為 0，故不會轉動。

c-2. 將模型簡化如下圖所示，葉片為圓形，直徑為 a ，面積 $A = \pi a^2$ ，質量為 m 。僅計算 1 個葉片，假設葉片承受一均佈風壓 p ，總風力 $F = p \times A$ 。有效正向力 $F_\theta = p \cos \theta \times A = F \cos \theta$ ，

由以此角度旋轉之力矩 $\tau_\theta = \int_A p \cos \theta (y + d) dx dy = p \cos \theta (\pi d a^2 + \frac{3}{4} \pi a^3)$ ，須再轉換為有效力矩

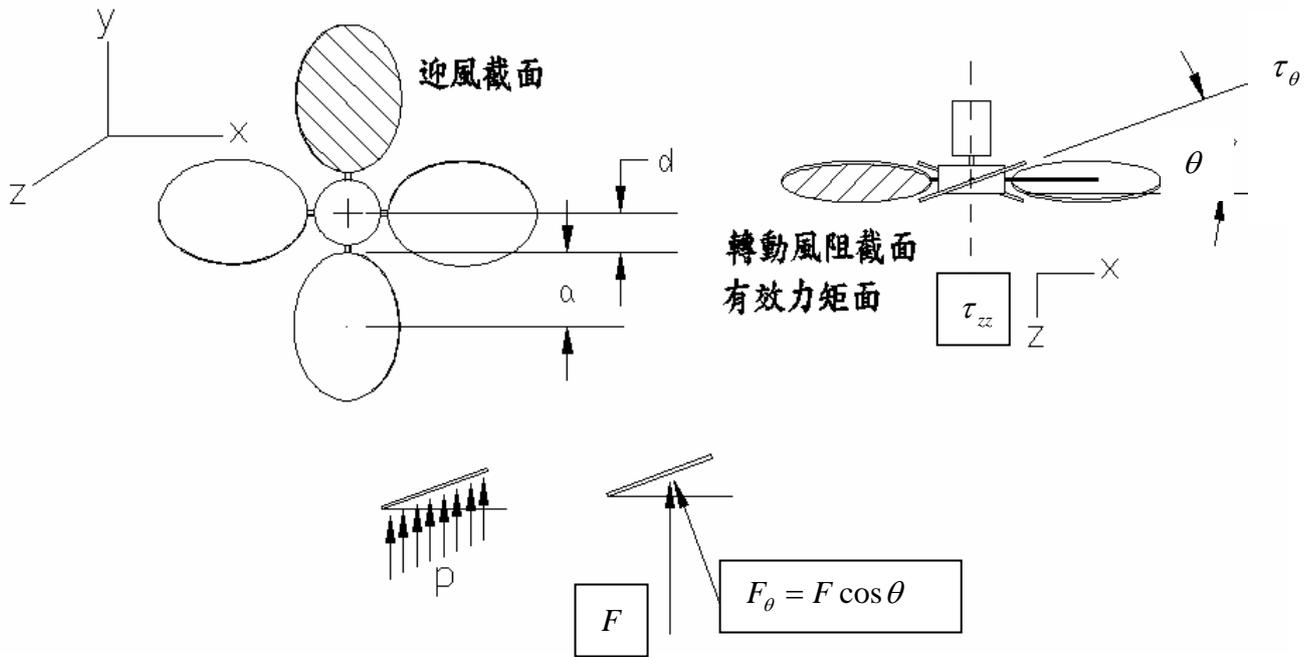
τ_{zz} ， $\tau_{zz} = \tau_\theta \times \sin \theta$ ，故 $\tau_{zz} = p \sin \theta \cos \theta (\pi d a^2 + \frac{3}{4} \pi a^3) = \frac{1}{2} p \sin 2\theta (\pi d a^2 + \frac{3}{4} \pi a^3)$ 。但葉片轉動

時會有風阻，故需要考慮風阻產生之 $\tau' = \kappa \times A \sin \theta$ ， κ 為常數，風阻會減低轉動力矩。故 1

$$\text{個葉片之轉動力矩 } \tau = \tau_{zz} - \tau' = \frac{1}{2} \rho \sin 2\theta (\pi d a^2 + \frac{3}{4} \pi a^3) - \kappa \times A \sin \theta。$$

Case III 而言， τ_{zz} 最大($\theta = 45^\circ$ ， $\sin 2\theta$ 最大)，但相對風阻 τ' 亦變大。

我們經由計算的結果，大概可得知葉片的角度會是在 0 度至 45 度之間，會得的最佳的轉動效果，但實際葉片角度需要多少，需要再將考慮流體力學一並考慮(κ 值)，在此不再探討。所以我們的實驗過程主要會探討風力發電所需的葉片角度由 0 度至 45 度，找到最佳的轉動效果。



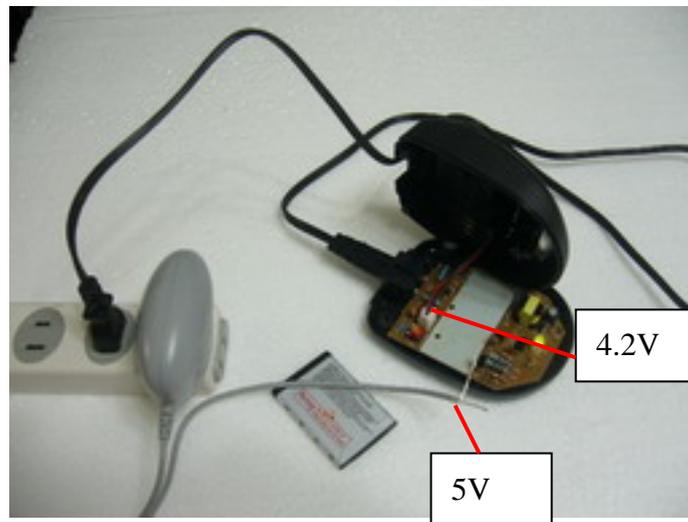
研究三：手機電池充電測試

實驗 1：以乾電池對手機電池充電。

- (1) 以兩個乾電池串聯(以三用電錶測試 3.20 伏特)，對手機電池充電，發現電壓太小無法對手機電池充電。
- (2) 以四個乾電池串聯(以三用電錶測試 5.74 伏特)，可對手機電池充電。



(3) 實際用三用電表量測手機配件"座充"及"旅充"所提供的電壓，發現旅充其主要是利用一變壓器，將家裡的 110V 交流電輸出成為 5V 的直流電。座充也是，但座充只有 4.2V。而該手機電池的工作電壓為 3.7V。

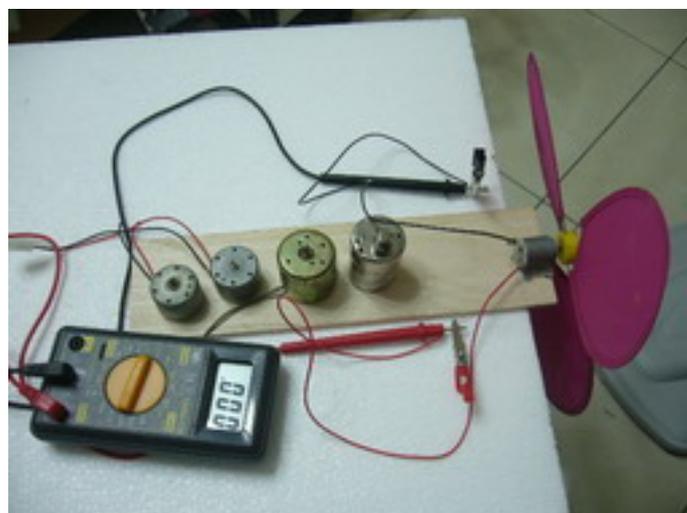


結論: 由於鋰電池工作電壓為 3.7v，若要對其充電電壓需要大於 3.7v。當外加電源大於電池的工作電壓時，則外加電源的電能會轉為化學能，使放過電的鋰電池恢復到原來的狀態，此即手機的充電過程。

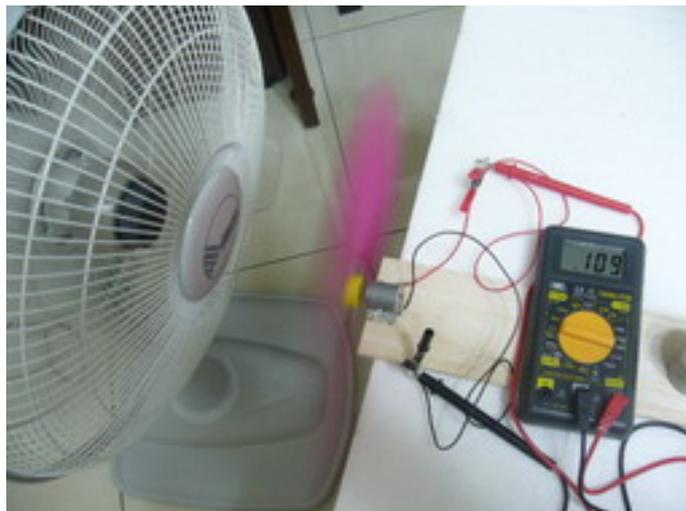
研究四：發電機製作

實驗 1：以不同的馬達來製作直流發電機，並量測其產生的電壓。

將小馬達及葉片以熱熔膠簡易的固定，並以電風扇模擬自然風，將三用電表正負極與馬達的正負極相接，如此當葉片轉動，我們就可以看到發電機所產生的電壓。另外值得一提的是，葉片的旋轉方向若反向，則發電機產生的電壓的正負電極會互換，這是因為直流發電機裡的電樞旋轉反向，造成電磁感應的感應電流反向的緣故。



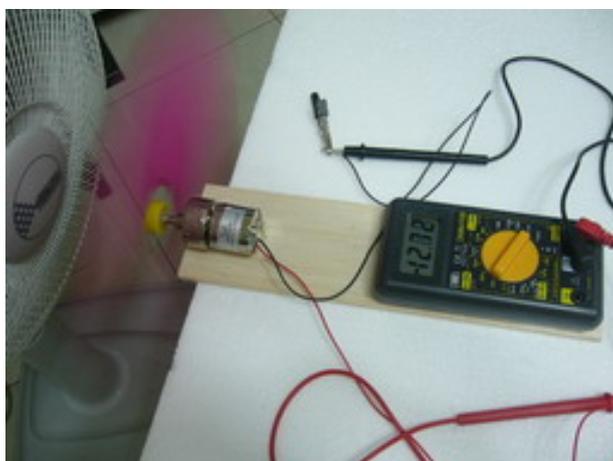
(1)發現以最小的馬達測試，其葉片易轉動，但僅能產生 0.1V 的直流電壓，如下圖所示。



(2)改選用另一顆中轉速馬達作測試，並以電風扇"低、中、高"轉速來調整風量，發現當葉片的轉速越快時，則產生的電壓越大，但 2.4V 的電壓不足以對手機電池充電。



(3)選用另一顆高轉速馬達測試，雖可產生 12V 的電壓，但葉片的不易旋轉，需要將電風扇調至高速，風力夠大才能產生足夠的旋轉力矩，如此才可讓葉片旋轉，如下圖所示。

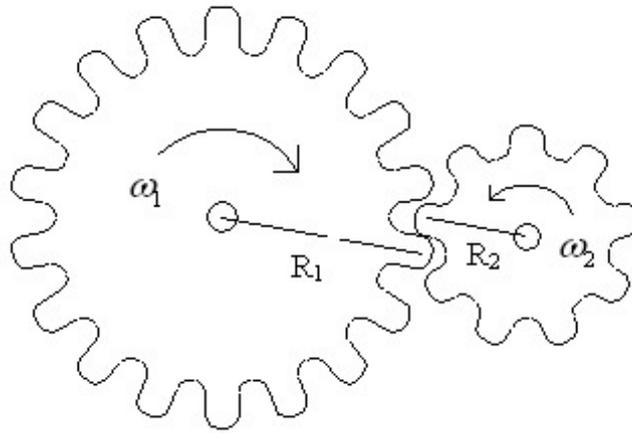


結論：針對本實驗，市面上找不到適合的馬達，在產生電壓與所需風力的考量下，需要自行將馬達齒輪組作改良，再適當的風力下，即可產生足夠的電壓，對手機電池充電。

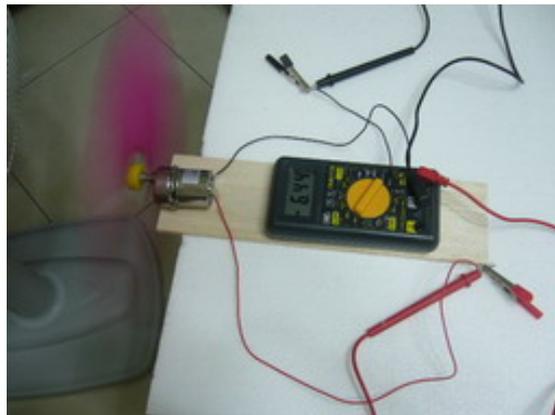
實驗 2. 如何利用加速齒輪組的設計，來產生適合的電壓。

齒輪組原理說明:

根據齒輪轉動原理 $v = R\omega$ ，齒輪與齒輪接觸點速度 v 相同，當 R 越小，則轉速 ω 越大。

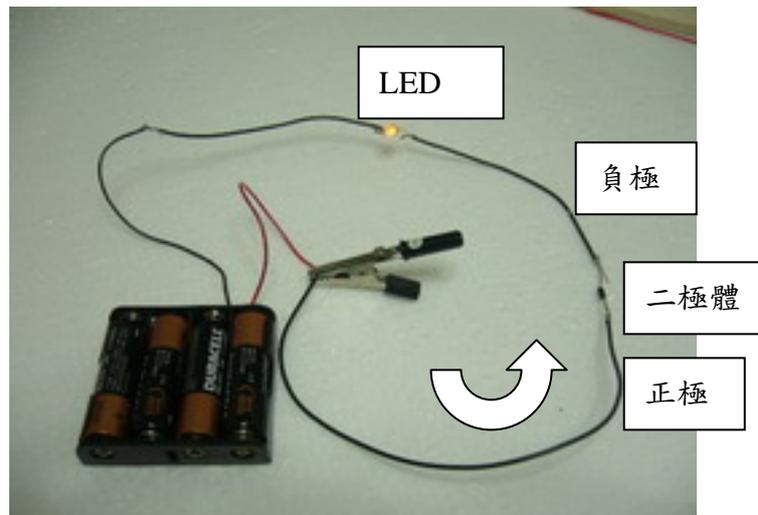


拆開高轉速的馬達，並調整齒輪組，減少齒輪組以減少其旋轉所需的扭矩，將產生的電壓值控制在 5V 以上即可。如下圖所示減少一組齒輪組，則可大幅減少其旋轉所需的扭矩，發現當電風扇以中速旋轉時，發電機約可產生 6~7V 的電壓。

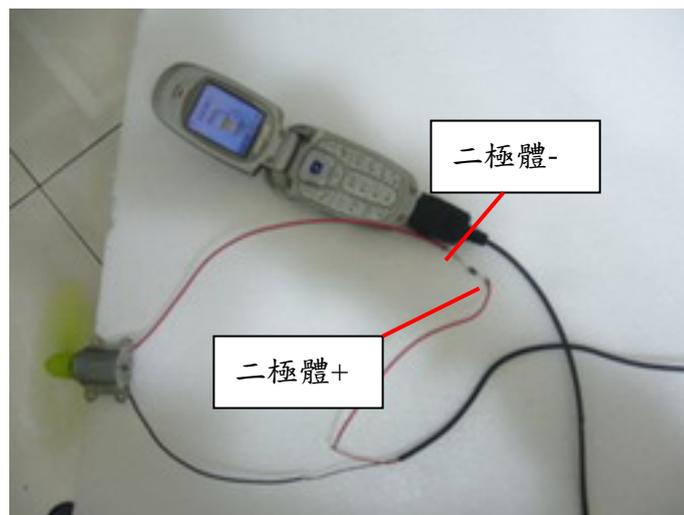


實驗 3：防止電池放電(電流逆流)實驗。

以 LED 燈測試二極體 IN4001(逆向崩潰電壓為五十伏)的功能，發現電流方向下圖箭頭方向為導通(LED 亮)。若將二極體反向安裝，則 LED 燈不亮，此為不導通狀況，因為二極體可以提供一個單向導通的功能，類似電流的單行道。故若於手機電池外加裝一顆二極體，則可以限制電流只能流入手機電池，而手機電池的電流不會流出。



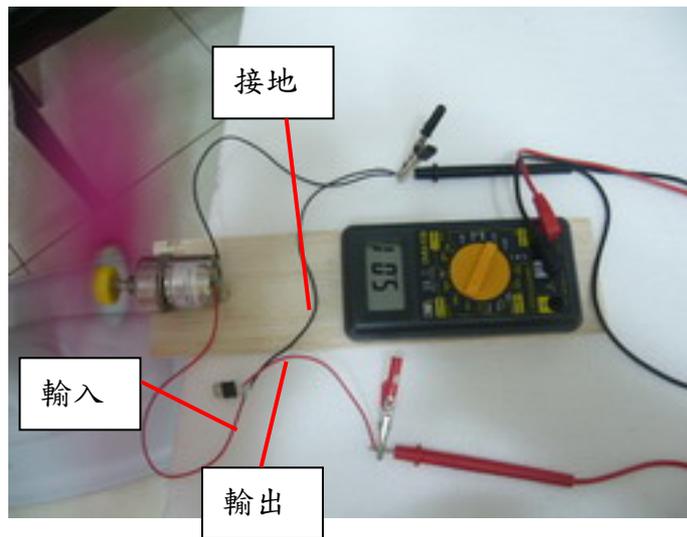
實際以手機測試，發現當手機電池接觸發電機時，手機電池會放電，此時發電機變成馬達之功能，葉片會被帶動旋轉(如下圖所示)。若將二極體反向安裝(正負極相反)，則不會有放電的現象，達到防止手機電池放電的功能。



結論：手機電池若放電，則發電機就會變成馬達，讓葉片旋轉，故若要防止電池放電，可以加一顆二極體，防止電流逆流。

實驗 4：穩壓器的應用。

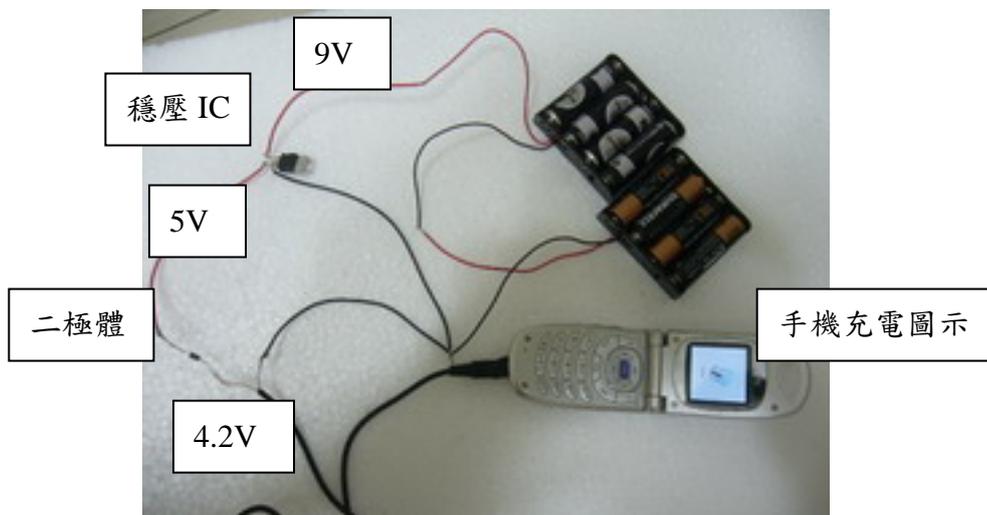
手機充電要有穩定的電壓才不會對手機造成損害，這裡選用 IC7805 來製作穩壓器，7805 的輸入電壓在 DC5~18V，輸出理想值是 5V，實際輸出電壓在 4.8~5.2 之間，此可達到我們手機電池充電電壓的需求。IC7805 有三根金屬腳(Pin)，左側為輸入，中間為接地，右側為輸出，實際測試如下圖所示。當發電機電壓產生的電壓小於 5V，穩壓器無功能，但當發電機電壓產生的電壓大於 5V，則穩壓器可將電壓控制在 5V。



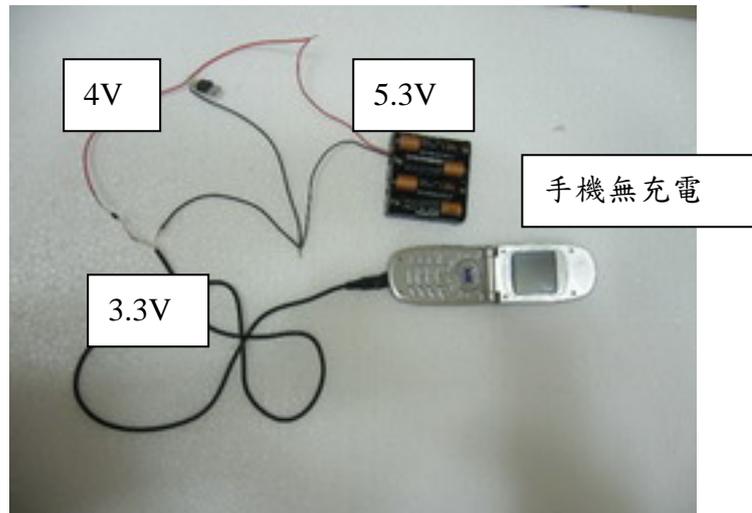
結論：7805IC 可以有效的將發電機產生的電壓控制在 5V。

實驗 5：手機電池充電電路測試。

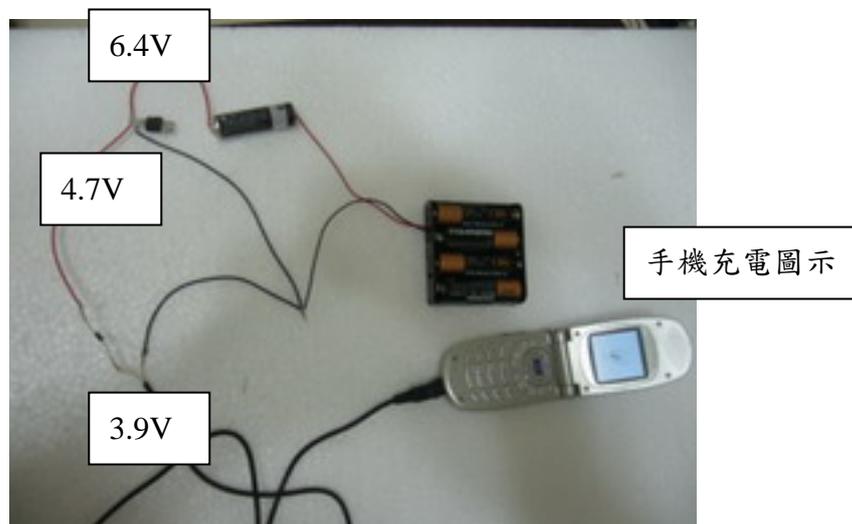
以另一隻手機測試，其電池工作電壓為 3.6V，再以 8 顆乾電池組為電源(9V)，以三用電表量測穩壓器及二極體的兩端的電壓，發現經過穩壓器後電壓降至 5V，但再經過二極體其壓降為 0.8V，此時整個迴路的充電電壓為 4.2V，仍可對手機電池充電。



以 4 顆乾電池組為電源(5.3V)，發現經過穩壓器後電壓降至 4V，但再經過二極體其壓降為 0.7V，此時整個迴路的充電電壓為 3.3V，故無法對手機電池充電。發現若電源只有 5V，經過穩壓器無法維持在 5V，會有壓降的現象。



以 5 顆乾電池組為電源(6.4V)，發現經過穩壓器後電壓降至 4.7V，但再經過二極體其壓降為 0.8V，此時整個迴路的充電電壓為 3.9V，仍可對手機電池充電。故發電機的設計需要發電量在 6.5V 以上，方可在整個電路迴路中(包含穩壓器及二極體)，產生足夠的電壓(大於電池的工作電壓)，對手機電池充電。



結論：使用的穩壓器及二極體本身有電阻效應，故在整個電路中經過該元件會有壓降的現象，故發電機產生的電壓需要至 6.5V 以上才有充電的效果。相較於一般手機的座充或旅充，其內部的電路設計已經將 110V 家用交流電，穩定的輸出成 5V 或 4V 的直流電。

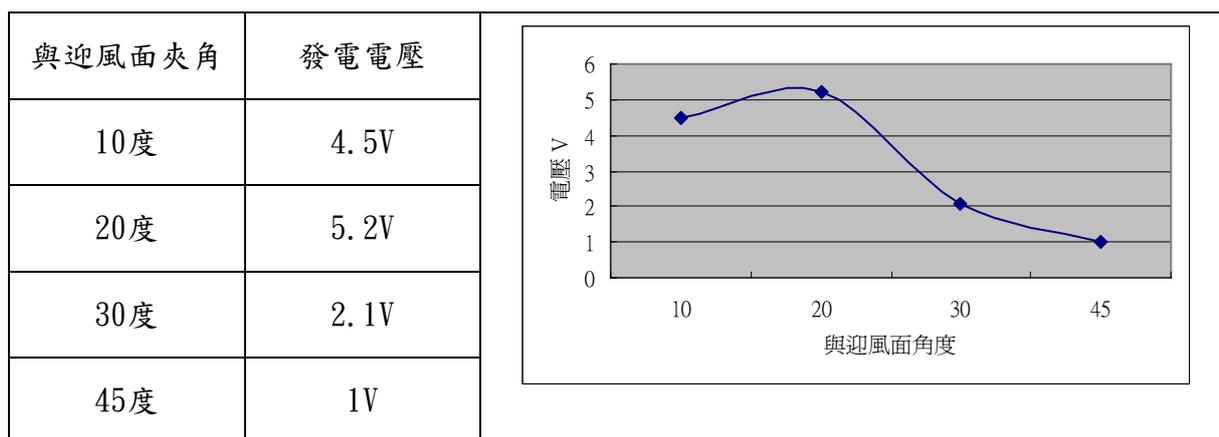
研究五：風車葉片製作

由於流線型(厚薄不同，如家用電風扇的葉片)且有扭轉角度的葉片不易製作，本實驗僅以厚度相同的平板外形來製作葉片，以珍珠板為材質，僅針對葉片的面積、數量、形狀、與迎風面的角度，來探討葉片對發電效率的影響。



實驗 1. 葉片與迎風面的角度對發電功率的影響

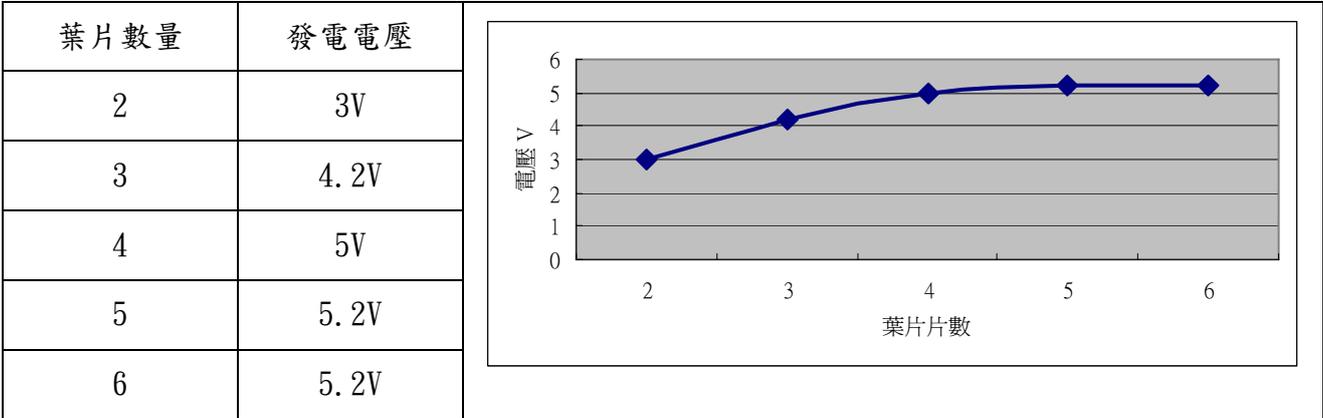
控制變因：電風扇中速，葉片材質(珍珠板)、
以葉片4片進行實驗、橢圓形葉片面積(110平方公分，長寬比20:7)



結論：發現 20 度得到發電的效果較佳。

實驗 2. 葉片總面積對發電功率的影響—以相同的葉片，控制葉片數量來調整總面積。

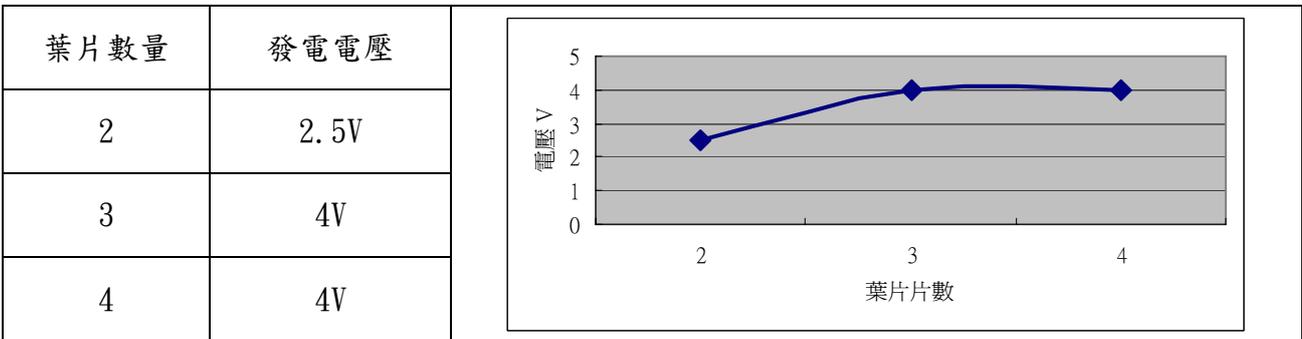
控制變因:電風扇中速，葉片材質(珍珠板)、
葉片旋轉角度20度、橢圓形葉片固定(110平方公分,長寬比20:7)。



結論：基本上葉片面積越大，受風力產生的力矩越大，角速度會增加，但轉動慣量 I 相對亦變大，降低角速度。但以此實驗結果看來，4 片所達到的效果與 6 片差異不大。

實驗 3. 與實驗 1 相同，但將面積加大約 1.5 倍。

控制變因:電風扇中速，葉片材質(珍珠板)、
葉片旋轉角度20度、橢圓形葉片固定(160平方公分,長寬比20:7)。



結論：與實驗 1 比較，發現在相同的風量下，葉片越輕巧(轉動慣量 I 越小)，轉動效果較好。

實驗 4. 葉片形狀對發電的影響—變更橢圓長寬比。

控制變因:電風扇中速, 葉片材質(珍珠板)、 葉片旋轉角度20度、以葉片4片進行實驗、橢圓形葉片面積固定(110平方公分)	
葉片橢圓的長寬比	發電電壓
20:5(236mm×59mm)	3V
20:7(200mm×70mm)	5V
20:9(176mm×79.2mm)	5.5V
20:15(136mm×102mm)	6.8V

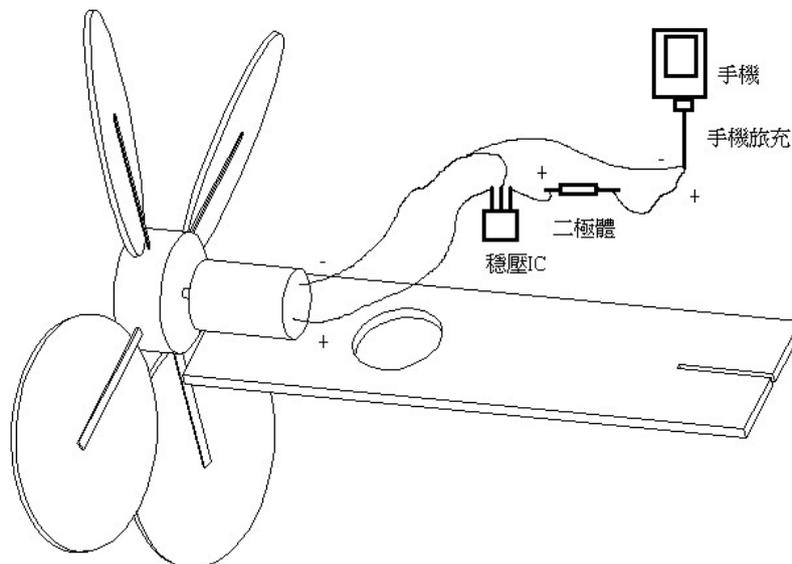
結論:在相同的總面積(110×4=440 平方公分)下,長寬比越小(轉動慣量 I 越小)的葉片其發電效果較好。

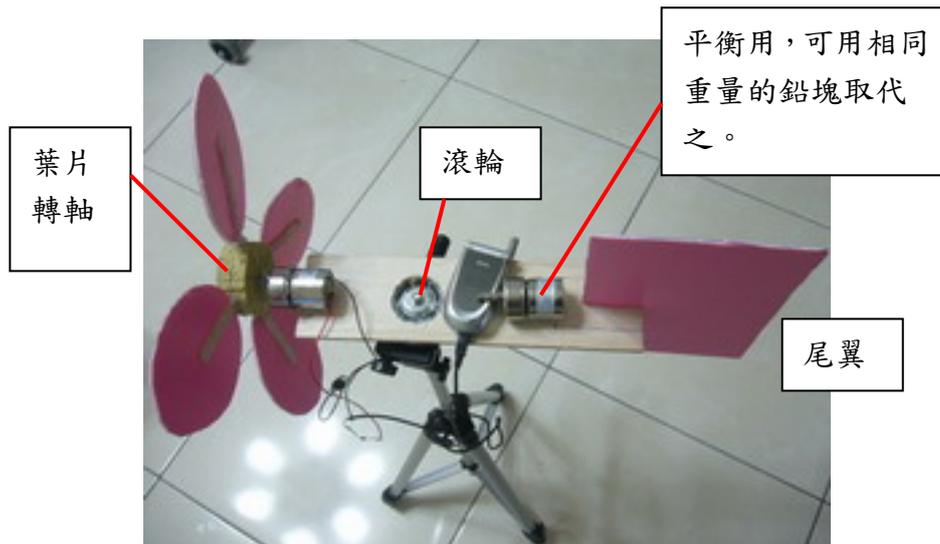
研究五：風力發電手機電池充電器製作

成品製作:

由實驗結果,我們採用 136mm×102mm 之橢圓造型葉片,其於家用電風扇中速可產生 6.8V 的電壓,符合我們手機電池充電之要需求,且葉片與迎風面夾角為 20 度。

為了有效地利用風能,必須要有自動迎風的裝置,我們以相機角架為支撐架,並以台車的滾輪當轉軸,以熱熔膠作的固定,並於風扇後側加裝尾翼。當風由側面吹來時,利用尾翼受力面積較葉片大,可以將風扇葉片轉正,達到自動迎風之效果。





經實際測試，並將葉片轉軸改良，減少轉動力矩 I (體積縮小並變薄)，可增加轉速，將電壓由 6.8V 提升至 7.8V。且迎風系統以不同角度測試，可順利運作自動轉至正面，而手機電池亦可順利充電。



伍、討論

1. 風速對發電機有很大的影響，若風力發電充電器要於各處皆可使用，則需要將風力發電機結構設計成只要微風，就能產生我們需要的電壓，本實驗之發電機尚無法達到此效果，尚有許多需要改良的地方。
2. 由於轉動慣量越小，葉片的旋轉速度會越大。故可針對整個系統影響到轉動慣量的部分作改良，如發電機系統在其結構強度允許的狀況下，將葉片重量做到越輕，葉片轉軸越輕越小，齒輪組越輕越小，轉動效果會越好。
3. 加速齒輪組越多，雖可產生較大的齒輪轉速，達到我們所需要的電壓，但相對所需的轉動

扭矩越大(即所需的風力越大)。故齒輪組的設計需要很精密，如適當的轉速比可提供適當電壓值，齒輪組摩擦力的減少與質心的對稱，及齒輪組的重量，皆可減少轉動所需的旋轉力矩。

4. 亂流在風力發電中，會造成氣流不穩，風阻變大，減少旋轉力矩。實際例子如飛機碰到亂流可能無法提供升力而失速墜毀。風經過流線型設計葉片，可以減少亂流的產生，減少風阻，增加葉片旋轉效果，故葉片外形設計可改良為流線型。

5. 由於發電機若加裝穩壓器與二極體，電壓經過它們時會有壓降之現象，故可以選用穩壓器與二極體壓降較小的元件，減少發電機於電路迴路中的電壓壓降值。

6. 適當的葉片設計(葉片的流線型厚度設計、葉片的扭轉設計、重量、大小、數量、葉片組中心的旋轉機構與迎風角度)可有效的將風能轉為動能，但葉片之重量、數量與大小必須要搭配風的能量，且也要考量可以支撐此葉片之齒輪組所能承載之大小。

7. 本實驗雖是對手機電池充電，但亦可應用於其他小型家電產品之充電使用。如 Mp3 隨身聽、數位相機、PDA 等。

8. 雖然風力發電機有其發電電壓之極限，但可利用一變壓器，將低電壓轉會成為高電壓，再對其他需要高電壓的電器用品充電，此即為另一個應用。

陸、結論

透過此次科展的研究，讓大家對風力發電有了更深一層的認識。

1. 本實驗無自行製作發電機，因為發電機與馬達的構造相同，一為動能轉為電能，另一個為電能轉為動能，故僅選用市面上的幾組馬達，來當作直流發電機使用。
2. 充電電池一般有一共同的電化學特性，即其化學反應是可逆反應，可以通過外加電源，讓電能轉化為化學能，使放過電的電池恢復到原來的狀態。
3. 風力發電機於當風力越大時，產生的力矩(τ)越大，其葉片角加速度(α)越大，相對的葉片角速度(ω)越大，葉片角速度(ω)越大，即齒輪轉動的速度越快，故產生的電壓亦越大。
4. 由於鋰電池工作電壓為 3.7 v，若要對其充電電壓需要大於 3.7v。當外加電源大於電池的工作電壓時，則外加電源的電能會轉為化學能，使放過電的鋰電池恢復到原來的狀態，此即手機的充電過程。
5. 本實驗有測試市面上幾組不同的馬達(低速、中速、高速)，發現低速馬達雖然容易轉動，但產生之電壓不足，而高速馬達產生之電壓充足，但卻不易轉動。在產生電壓與所需風力的考量下，拆開高轉速的馬達，並調整齒輪組，減少齒輪組以減少其旋轉所需的扭矩，將產生的電壓值控制在 5V 以上即可。

6. 手機電池若放電，則發電機就會變成馬達，讓葉片旋轉，故若要防止電池放電，可以加一顆二極體，防止電流逆流。
7. 手機充電要有穩定的電壓才不會對手機造成損害，故於發電機的電路迴路中可加裝一個穩壓 IC，來產生穩定的電壓對手機充電。
8. 藉由轉動的原理，我們估算出葉片的迎風角度在 0 度至 45 度之間會有最佳的轉動效果，經由實驗的測試發現葉片迎風角度在 20 度左右，可以得到最佳的轉動效果。
9. 葉片面積越大，受風力產生的力矩越大，角速度會增加，但轉動慣量 I 相對亦變大，降低角速度，在一消一長的狀況下，發現 4 片與 6 片葉片的旋轉速的差異不大。另一個實驗發現，在相同的風量下，葉片面積越小，但長寬比越大，其葉片之轉動慣量(I)越小，則轉動效果越好。
10. 為了有效地利用風能，必須要有自動迎風的裝置，才能讓風扇葉片夠自動保持正確迎風方向。

柒、參考資料

1. 中華民國第四十六屆中小學科學展覽會—環保可攜式風力發電機的製作與研究。
2. 台北縣第四十七屆中小學科學展覽會—風吹草動。
3. 科學發展 2003 年 2 月 362 期— <http://nr.stpi.org.tw/ejournal/NSCM/9202/9202-06.pdf>
4. 發電原理— <http://vm.nthu.edu.tw/science/shows/nuclear/nue/various.html>
5. 發電機原理—南一國中課本第六冊第一章。
6. 風力發電— <http://www.solar-i.com/wi.htm>
7. 高中物理南一第九章—轉動。

【評語】 030804

研究方向有考慮到最新的科學需求，非常不錯。惟資料收集不夠完整，以致研究主題與內容有點陳舊。