

花蓮縣第 58 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生活與應用科學(二)

組 別：國中組

作品名稱：擴充式多功能發電機之效能最佳化分析

關 鍵 詞：綠色能源、風力發電、水力發電、洋流發電

編 號：

(由教育處統一編列)

名稱：擴充式多功能發電機之效能最佳化分析

摘要

為了防止地球一直暖化下去，必須要即早發明出可用的綠色能源，既然我們知道使用洋流發電機可以製造出這樣的電，如此一來便能減少火力發電所產生出的二氧化碳溫室氣體，降低PM2.5對生態環境所造成的危害，讓地球的壽命延長。所以我們試著尋找文獻並進行測試實驗方法，在過程中，發現到兩層線圈所產生出的電壓，不管是使用哪種連接方式，結果都比只使用一層線圈好，這證明了使用兩層線圈的確是比一層線圈的電壓高，可以產生出很多的電壓，讓環境可以更加的美好。

為了未來可以達到這個目的，我們希望未來能把這種發電方式在台灣普及，能減少環境傷害，不僅可以在緊急時供電，也能讓大眾喜歡，讓大家一起響應綠色能源的環保行動，讓綠色能源逐漸走入大眾的生活當中。而且我們的發電機故障時也並不需要大費周章地把機體拿起，只需要修理人員上去故障的位置，把故障的地方修理好，這樣就不需浪費那麼多的人力與資源修理它了，所以修理一台的費用也不會比國外多，這樣就能減少火力發電和核能發電的使用了。

我們將原本只能產生出較少電的一層線圈的洋流發電機，換成可產生出較多電的兩層線圈的洋流發電機，接下來我們再做儲電效果，由實驗可以得知三個葉片兩層線圈及磁鐵交錯排列的效果是測試當中最快可以充完電瓶，儲電效果最好，我們在風力測試中也發現三個葉片比四個葉片的阻力小，峰對峰值和電壓也比較大。我們的多功能發電機，可不斷擴充，未來也許可以增加三個線圈、四個線圈，甚至更多，可無限擴充，說不定可以把電壓和峰對峰值提升到很高。

壹、研究動機

人類自工業革命起大量使用石化燃料，雖然帶來了許多便利性，但對地球造成全球氣溫升高而地球暖化，破壞了自然生態。近年來，電力供應是全球每一個國家重要的民生議題。許多國家興建了核能發電，可以比火力發電製造的電量更多，也更能預防空氣汙染，但是有核廢料儲存、輻射外洩、廢熱等問題。雖然全人類盡力維護核電安全，但是大自然的力量無法預測，如果我們繼續使用核能，隨時可能會無預警的爆發，所以我們要想出一種可以讓生態環境變得更好的方法。

最近新聞上說火力發電和核能發電會汙染大自然的生態，所以有很多人去抗議不要再繼續使用火力發電，也不要核能發電，因為會造成輻射外洩等汙染環境的副作用，要使用自然的風力發電或水力發電。而且花蓮呈狹長型，靠海部分較多，很適合用來製作洋流發電。而且洋流能產生能源，它是可以 24 小時都能發電的可再生能源。我們心想：「有沒有可能設計出一種，既可適用風力發電、水力發電，甚至洋流發電的發電機」，為綠色能源盡一分心力。

我們要如何利用洋流來發電呢？我們參考了學長姐所研究的通風球發電機，利用電磁感應的原理來讓它發電，改良其受限的發電空間，採用可擴充直立式的發電機構進行測試。

貳、研究目的

- 一、設計多功能發電機之機構。
- 二、風力測試擴充式發電機的最佳效能組合。
- 三、探討磁鐵與線圈數量之儲電效果及其應用。
- 四、測試水力發電機的葉片數量是否會影響轉速。
- 五、模擬洋流發電的最佳效能。

參、研究設備及器材

編號	名稱	數量	編號	名稱	數量
1	廢棄吊扇	2	22	萬用鉗	1
2	鐵片	數片	23	麵包板	1
3	十字起子	1	24	3D 印表機	1
4	一字起子	1	25	示波器	1
5	三用電表	3	26	排針	數個
6	束線	數個	27	尖嘴鉗	1
7	鱷魚夾	數個	28	電火布	1
8	軸承（培林）	數個	29	剝線鉗	1
9	相機	2	30	電線	數個
10	碼表	1	31	電鑽	2
11	強力磁鐵	數個	32	單芯線	數個
12	智慧型手機	1	33	電瓶	3
13	LED	數個	34	電烙鐵	2
14	捲尺	1	35	吸錫器	2
15	電腦	1	36	烙鐵架	2
16	直流變壓器	1	37	智高積木	數個
17	助焊劑	2	38	剪刀	1
18	漆包線	2	39	膠帶	1
19	熱熔槍	2	40	電容	3
20	膠條	數個	41	刀片	1
21	廢棄的旗竿底座	1 個	42	PLA 線材	1

肆、 研究過程及方法

一、設計多功能發電機之機構，進行測試實驗。

(一) 目的：使用廢棄的旗竿底座作為機構的底座，模擬發電機構可利用風力與水力發電。

(二) 步驟：

1. 我們先構想出了第一代的設計圖（如圖 1）
2. 利用 123D 繪圖並使用 3D 印表機將成品印出
3. 看完了第一代的成品之後，我們構想出了第二代的設計圖（如圖 2）
4. 我們組員的父親協助用鐵片焊接成了成品
5. 因為要放入水中讓水轉動葉片，所以製作出了第三代的設計圖。（如圖 3）

	設計圖	附註
第一代	<p style="text-align: center;">圖 1</p>	<p>我們一開始的構想高可以是 8 公分，寬是 9.5 公分，裡面放軸承，軸承直徑 3.5 公分，軸承內直徑是 1.6 公分，葉片厚度是 0.5 公分左右。</p>
第二代	<p style="text-align: center;">圖 2</p>	<p>後來我們設想的是整體高度是 95 公分，四個葉片各長 50 公分中間的桿子是 80 公分，放線圈的地方直徑是 20 公分左右，線圈則是使用廢棄吊扇，線圈底座是利用廢棄的旗竿底座。</p>

<p>第三代</p>	<p>圖 3</p>	<p>因為想要轉動得更快，所以從四個葉片換成三個葉片。為了要放入水中讓水轉動葉片，所以把底座切斷了一小截。</p> <p>目前底座的高度為 11 公分，總高度長為 77 公分。</p> <p>**第三代是依據第二代的形式繪出的，預計做出的水阻力會比第二代的少。</p>
------------	------------	--

二、風力測試擴充式發電機的最佳效能組合

- (一) 目的：利用廢棄吊扇和發電機的連結，透過**線圈數量的擴充**和磁鐵的組合使發電機轉動出穩定的感應電壓波型。
- (二) 透過數據測量分析最佳化效能。
- (三) 步驟：
 1. 拆解廢棄吊扇，將線圈組件與多功能發電機的葉片結合，製作直立式發電機，並探討多功能發電機的原理。(如圖 5、6)

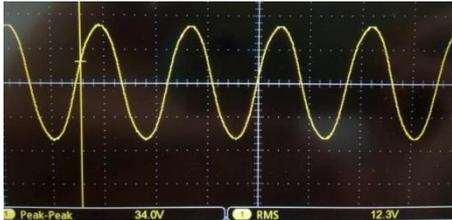
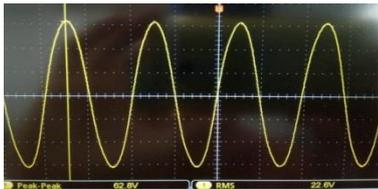
<p>圖片</p>	<p>圖 5</p>	<p>圖 6</p>
<p>說明</p>	<p>線圈組件的轉軸用鐵槌分別敲出取出，將洋流發電機的轉軸裝上線圈和轉盤。</p>	<p>將廢棄吊扇拆開，並把線圈固定在發電機上，在底座用廢棄的旗竿底座，使其組裝完成。</p>

2. 發現線圈組件連結的電線有六條，分別有紫色、粉紅色、灰色、棕色、紅色和黃色（如圖 7），以及電源輸出線為紅色及黃色線，會有最大的輸出電壓。

圖片	說明
 <p data-bbox="480 770 539 801">圖 7</p>	<p data-bbox="804 376 1340 506">線圈組件之電線有六條，分別有紫色、粉紅色、灰色、棕色、紅色和黃色。紅色與黃色為電源輸出。</p> <p data-bbox="804 517 1340 649">經測試後，發現灰色與粉紅色連接會有最大電壓輸出，所以我們將紫色及棕色剪掉。</p>

(1) 利用轉動葉片測量磁鐵數量感應電流（壓）的相關性，觀察其波形之變化；可以先設定同一個速度，從貼 8 個磁鐵測量起，接著再增加磁鐵的數量到達 16 個；試著用不同的磁鐵數量來測試波型的變化。

(2) 測試不同磁極組合對感應電流（壓）的影響，將 NS 兩種磁極，搭配不同的磁鐵數量及組合，觀察多功能發電機所感應出來的電壓波型。（如圖 8~9）

圖片	說明
 <p data-bbox="432 1563 491 1594">圖 8</p>	<p data-bbox="916 1276 1331 1312">一層線圈；8 顆磁鐵等距排列</p>  <p data-bbox="1043 1588 1200 1624">$V_{P-P}=34.0V$</p>
 <p data-bbox="432 1946 491 1977">圖 9</p>	<p data-bbox="909 1662 1337 1697">一層線圈；16 顆磁鐵等距排列</p>  <p data-bbox="1043 1924 1200 1960">$V_{P-P}=62.8V$</p>

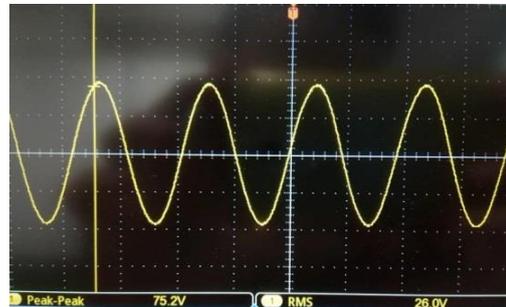
(3) 增加第二層線圈，觀察擴充式發電機所感應出來的電壓波型。(如圖 10~12)



圖 10

兩層線圈；上層：8 顆磁鐵等距排列、

下層：16 顆磁鐵等距排列



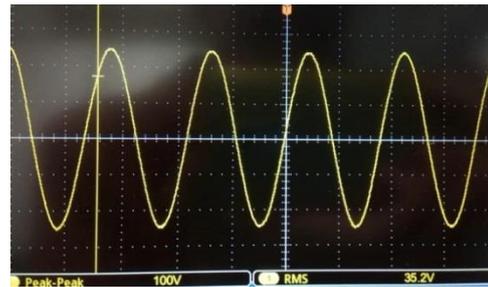
$$V_{P-P}=75.2V$$



圖 11

兩層線圈；上層：16 顆磁鐵等距排列、

下層：16 顆磁鐵等距排列



$$V_{P-P}=100V$$



圖 12

兩層線圈；上層 16 顆磁鐵，與下層交錯排列

下層：16 顆磁鐵等距排列



$$V_{P-P}=115V$$

三、探討磁鐵與線圈數量之儲電效果及其應用

(一) 磁鐵線圈數量

- 1、目的：磁鐵和線圈的多寡，與發電量相關，因此將探討磁鐵與線圈數量以及儲電效果及其實用性。
- 2、步驟：
 1. 我們把先把磁鐵和線圈一起設置在發電機上，依據磁鐵和線圈的不同數量進行測量。(如圖 13)

圖片	說明
 <p data-bbox="435 1272 509 1305">圖 13</p>	<p data-bbox="810 743 1393 853">將最佳轉速效能的線圈及磁鐵放入發電機內，並接上線路。</p>

2. 利用示波器測量最佳效能組。

(二) 測試儲電裝置

- (一) 目的：因為我們的多功能發電機也想應用在洋流發電，加上花蓮鄰近的洋流為黑潮，流速為 1.2 公尺/秒，因此我們想要設計一個洋流發電機，以便獲得最佳的儲電效果。
- (二) 步驟：
 1. 我們使用先利用測量工業風扇的風速來取代洋流的流速。
 2. 將發電機所產生出的電接到電瓶內進行充電，並且使用不同的線圈組合。
 3. 利用示波器測試發電機所產生出的電流電壓值及電量有多少。(如圖 14)

圖片	說明
 <p data-bbox="435 577 509 611">圖 14</p>	<p data-bbox="927 241 1315 277">這是我們在測試儲電的情形</p>

我們進行發電機充電時，變壓器上的充電燈會閃爍，充電完畢時，充電燈會持續亮著，我們使用的鉛蓄規格為 12V，1.2Ah；實測洋流發電機的儲電效果，大約 **40** 分鐘可以將鉛蓄電池充飽。

四、測試水力發電機的葉片數量是否會影響。

(一) 目的：我們把多功能發電機移到水溝中測試（如圖 15），因為底座太高，所以我們將底座切短。下水測試的峰對峰值最高能達到 **64.0V**，我們認為若使用三個葉片，效果可能會比較好，所以我們從四個葉片換成三個葉片，進行測試。（如圖 16）

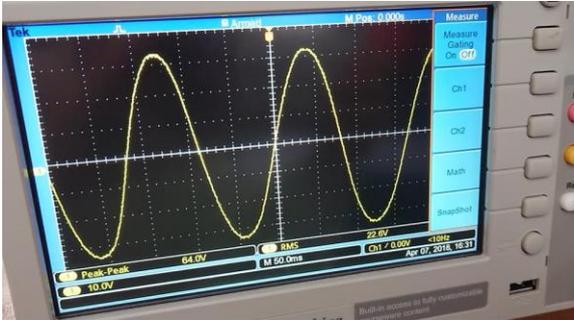
圖片	說明
 <p data-bbox="435 1899 509 1933">圖 15</p>	<p data-bbox="831 1368 1401 1404">四葉片多功能發電機在水圳運作的情形。</p> <p data-bbox="895 1442 1337 1478">但因水位過低，轉速未如預期。</p>  <p data-bbox="927 1850 1315 1886">峰對峰值最高能達到 64.0V</p>



圖 16

改為使用 3 個葉片下水測試，但因水圳暫停供水，水位過低無法測試。

****將在近日內再進行測試*****

五、模擬洋流發電的最佳化分析。

(一) 目的：利用南華水圳模擬在黑潮內的流速，因水圳的流速和黑潮差不多，實測大約是 (1.2 公尺/秒) 左右，所以我們認為只要在水圳內測試成功，相信就可以將我們多功能發電機的構想應用在「洋流發電」上。

(二) 步驟：

1. 將洋流發電機移置於水圳中。(如圖 17)

圖片

說明

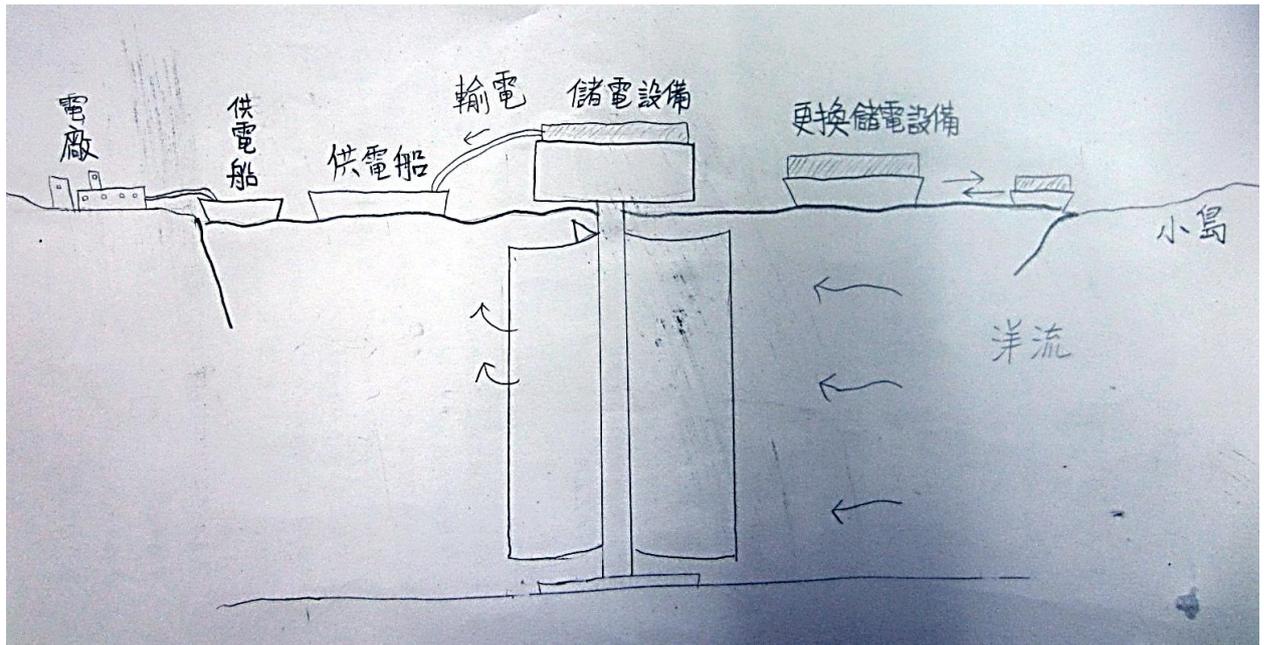


圖 17

這是我們將洋流發電機放入水圳內的情形。

2.洋流發電構想

我們選擇用洋流來發電，主要的構想是因為花蓮外海有黑潮通過，而且面積大，流速快，效能不錯，也不會污染生態環境。目前能做的事情就是努力的去找出洋流發電的最佳發電地點，台灣地區可供開發海流發電應用之海流，以黑潮流經處為佳，黑潮起源於太平洋北赤道流，為太平洋西方邊界強流。在亞洲地區黑潮沿菲律賓東岸向北流，經過呂宋海峽後，繼續沿臺灣東岸北上流往日本。我們洋流發電的構想，如圖 18。



構想說明如下：

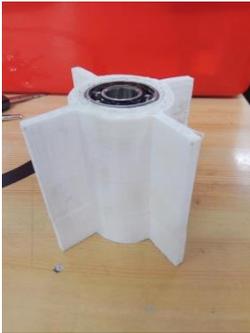
- 一、直立式洋流發電機，整個機構像鑽油平台一樣。主要的線圈發電機組設置在海平面上，可避免磁鐵與線圈鐵盤氧化故障。
- 二、發電機組置於海平面上，方便維修與保養。
- 三、儲電設備可向上發展擴充，可儲存在大電槽中，也可以透過船隻到洋流發電廠進行充電。充飽電的供電船，可到碼頭將電傳輸到陸地的電廠。
- 四、供電船也可以載運儲電設備到任何無電力系統的小島或研究機構。
- 五、如遇颱風或暴雨，發電機組可自動加蓋，或是進行保護措施。

伍、 研究結果

一、設計多功能發電機之機構，進行測試實驗

我們依照我們構想出來的設計圖製作出了下表。(如表 1)

表 1：之前構想出的成品

	成品	附註
第一代		我們利用 123D 繪圖並使用 3D 印表機將成品印出，成品與設計圖的比例相仿。
第二代		製作出實際大小的成品，將鐵片焊接在中間的桿子，並裝載上廢棄的旗竿底座上，即可旋轉。
第三代		以第三代的設計圖做出了三個葉片的多功能發電機，並且把底座截了一小段。方便在水圳測試發電效能。

我們製作出的第三代雖然只有三個葉片，不過效果比第二代的好，因為水的阻力比較小，轉得比較快。

二、風力測試多功能發電機的最佳效能組合

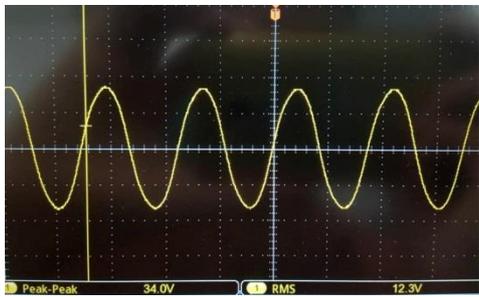
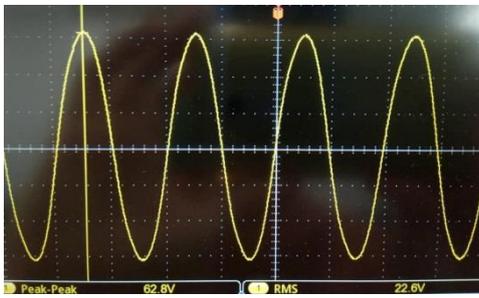
將吊扇的線圈與洋流發電機的葉片結合，形成多功能發電機，根據實驗我們可以得知，磁鐵數量、線圈數量、磁極組合、線圈的串並聯等，都可以影響發電機的發電效能，分析結果如下：

- (一) 由於我們所製作的是發電機，電風扇線圈組件裡，外圈有 16 組大線圈，內圈有 16 組小線圈；依據發電機的原理就是當發電機的葉片轉動時，會帶動發電機的線圈而固定不動的線圈在磁鐵轉動時，所感應到的磁場就會產生變動。依據冷次定律，磁場會發生改變，線圈就會產生感應電流來抵抗磁場的變化。
- (二) 將組裝好之多功能發電機，利用示波器進行測試（如圖 19），發現發電機所產生的電壓波形非常好。因為發電機的設計精良，葉片轉動的阻力很小，只要微量的水流或風力就能使其轉動，當葉片轉速固定，可以使我們的測試進行的非常的順利。

圖片	說明
 <p data-bbox="576 1512 651 1543">圖 19</p>	<p data-bbox="1023 1064 1445 1240">多功能發電機轉速固定時(一個線圈八個磁鐵)，示波器呈現波形穩定。</p>

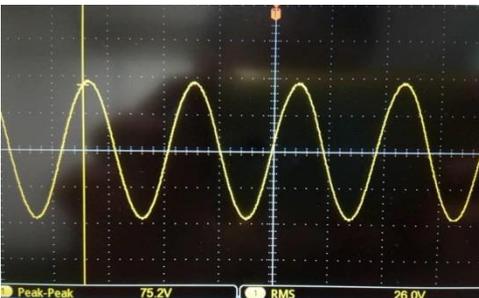
- (三) 設定同樣的速度，選用的磁鐵直徑為 25mm 排列，用 8 個及 16 個磁鐵排列，測試波型變化並進行測量，整理如下表。(如表 2 及表 3)

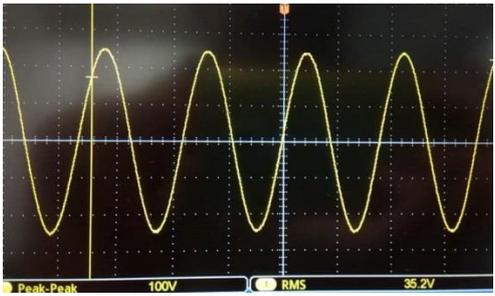
表 2：數個磁鐵相對排列與波行變化之關係。(一個線圈)

磁鐵個數	排列方式	峰對峰值	電壓 (RMS)	排列方式、波行描述
1	8 個 N NNNN、NNNN 等距排列	34.0V	12.3V	 <p>漂亮的波形</p>
2	8 個 N、8 個 S NSNS、NSNS NSNS、NSNS 等距排列	62.8 V	22.6V	 <p>漂亮的波形</p>

由上表我們發現一個線圈用 8 顆和 16 顆的磁鐵所產生的電量，16 顆磁鐵的電量明顯較多。

表 3：數個磁鐵相對排列與波形變化之關係。(二個線圈串聯)

磁鐵個數	排列方式	峰對峰值	電壓 (RMS)	排列方式、波行描述
1	上層 8 個 N NNNN、NNNN 下層 16 個 N NSNS、NSNS NSNS、NSNS 等距排列	75.2V	26.0V	 <p>漂亮的波形</p>

2	32	上層 16 個 NSNS、NSNS NSNS、NSNS 等距排列 下層 16 個 NSNS、NSNS NSNS、NSNS 等距排列	100V	35.2V	 <p data-bbox="1114 504 1278 548">漂亮的波形</p>
3	32	上層 16 個 NSNS、NSNS NSNS、NSNS 與下層交錯排列 下層 16 個 NSNS、NSNS NSNS、NSNS 等距排列	115V	41.2V	 <p data-bbox="1114 1079 1278 1124">漂亮的波形</p>

由上表我們發現，若使用 2 層線圈，貼上各 16 顆磁鐵，且交錯排列的效果明顯比其他的波形更漂亮。

總結這些資料得知，若只用 1 層線圈，貼上 16 顆磁鐵其效果會比 8 顆的好；若用 2 層線圈，將磁鐵交錯排列比等距排列的電壓更強，所以我們就使用交錯排列來做實驗。

三、探討磁鐵與線圈數量之儲電效果及其應用

(一) 利用電風扇吹動發電機轉動，模擬洋流發電，將約為 1.2m/s 的風速吹動發電機，儲電效果如下表所示。(如表 4)

表 4：發電機的儲電效果（一層線圈）

實驗	風速	發電機充電時間（分）	結果分析
1	風速 1.2m/s	40 分鐘	有效值為 22.6V
2	風速 1.5m/s	30 分鐘	有效值為 30.0V
3	風速 1.8m/s	25 分鐘	有效值為 40.2V， 相當於二層線圈串聯效果

（二）利用兩層線圈並聯發電實測數據

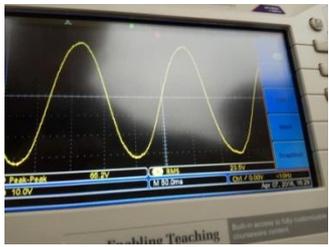
若我們使用二層線圈，效果一定會比一層線圈還好，如果只使用一層線圈，要花上 **40** 分鐘，才能將一個 12V，1.2Ah 的小小電瓶充滿。加了二層線圈之後，約只需花 **25** 分鐘內就可以充電完成。這樣證實了加兩層線圈並聯的確可以比只加一層線圈的效率還高。

未來也許可以增加三個線圈、四個線圈，甚至更多，可無限擴充，說不定可以把電壓和峰對峰值提升到很高，讓綠能發電的效用更加受肯定。

四、測試水力發電機的葉片數量是否會影響轉速。

我們將發電機的葉片從四個換成三個，測試是否會轉的比四個得更快。我們將此實驗列為下表。（如表 7）

表 7：四個葉片及三個葉片的比較

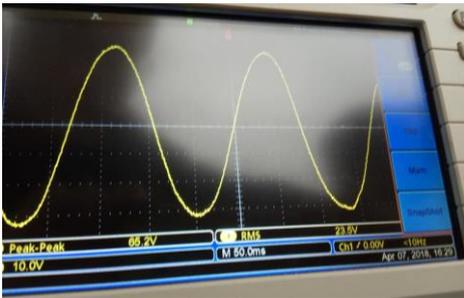
	峰對峰值	電壓（RMS）	圖片
四個葉片	65.2V	23.5V	
三個葉片	改為使用 3 個葉片下水測試，但因水圳供水量少，水位過低無法測試。 **將在近日內再進行測試**		

我們以風力測試 3 個葉片，發現 3 葉片阻力比較小，所以我們認為 3 個葉片來發電所產生的峰對峰值及電壓應該都比 4 個葉片的還高。但因水圳水位過低，目前無法實驗，不過我們會在近日持續實驗測試。

五、模擬洋流發電的最佳效能。

黑潮流經臺灣的周邊，海流速度及流量大。透過研究模擬推估，臺灣黑潮高潛能區位於宜蘭的海脊海域與臺東的綠島海域，最大年平均流速 1.52 公尺/秒出現在宜蘭海脊淺處。在蘇澳外海、花蓮外海、綠島及蘭嶼平均流速在 1.2 公尺/秒以上，我們住在花蓮，剛好有黑潮經過，初步估計大約具有五萬瓦特的容量。

因此，我們利用圳溝模擬在黑潮內的流速，因為水圳的流速和黑潮差不多，所以我們將洋流發電機置入水中模擬，開始準備觀察發電情形。(如圖 8)

圖片	說明
 <p style="text-align: center;">圖 8</p>	<p>(四個葉片) 發電效果：</p> <p>水圳的流速與黑潮差不多，但有時流速較不穩定，且水位不足，還得固定底座，不讓底座被水沖走，所以電壓會和在陸地上模擬的不太相同。</p>
<p>改為使用 3 個葉片下水測試，但因水圳暫停供水，水位過低無法測試。</p> <p style="text-align: center;">**將在近日內再進行測試**</p>	<p>(三個葉片) 發電效果：</p> <p>為了讓水阻力變小，所設計出的三個葉片的發電機，我們預計發電效果會比四個葉片好。</p>

經由實驗我們發現四個葉片加 2 個線圈、上下各 16 個線圈等距交錯排列，發現它產生的有效值電壓到了 23.5V，這是我們使用出四個葉片所測試出來最好的數據。而三個葉片的測試將在近日持續進行實驗。

陸、 結論

一、設計多功能發電機之機構，進行測試實驗。

總結上述，我們的擴充式多功能發電機的優點有：

- (一) **可擴充**、好拆解磁鐵或線圈，不需拆開機構。
- (二) **直立多功能發電**，適用於風力、水力及洋流發電。
- (三) **易修理**，能防鏽，因為線圈在水面上，所以可直接拿起修理。
- (四) **輕鬆組裝**，所需的人力及資源低。
- (五) **經濟且環保**，自行拆解吊扇線圈，無需自繞線圈。

二、風力測試擴充式發電機的最佳效能組合

我們的發電機裝置是可擴充線圈，因為線圈是用廢棄吊扇做成的，可擴充增加其發電量。每個線圈組件之電線有六條，分別有紫色、粉紅色、灰色、棕色、紅色和黃色。紅色與黃色為電源輸出。經測試後，發現灰色與粉紅色連接會有最大電壓輸出。底座是用廢棄竿子的底座裝上去的，上面有 3 個葉片，整體長度是 77 公分，適用於風力發電的測試，總重量約 20 公斤，適用於水力發電，這是我們測量出來的最佳效能組合。

三、探討磁鐵與線圈數量之組合儲電效果及其實用性。

我們測量知道，兩個線圈加上 32 顆磁鐵（上下各 16 顆磁鐵）與下層交錯排列（並聯），會比只用一層線圈加 16 顆磁鐵及使用兩層線圈加 32 顆磁鐵等距排列（串聯）所產生的電還要多。我們發現，一層線圈約可增加 60Vp-p，22Vrms 的電壓。因為我們的線圈是廢棄吊扇的回收品，規格都相同，非常容易擴充組裝。

四、測試水力發電機的葉片數量是否會影響轉速。

因為水流不集中，兩邊的力量會相互抵消，在經過風力的測試後，我們**推論** 3 個葉片的轉速會比 4 個葉片來的更快，而且不會有太大的水阻力，所製造出的電會更多。

五、模擬洋流發電的最佳效能。

我們所設計的洋流發電機與國外的洋流發電機不同的地方是它的線圈是位在機體上，如果放入海中，故障時並不需要大費周章地把機體拿起，只需要修理人員上去，把故障的地方修理好，這樣就不需浪費那麼多的資源修理發電機了；加上儲電設備如鑽油平台的概念，結合供電船的輸送電力，相當方便且機動。

花蓮附近正好有黑潮經過，非常適合做洋流發電的研發。我們所製作的洋流發電機它的線圈是使用廢棄的吊扇，底座更是使用廢棄的旗竿底座，所以材料是非常環保的，也達到節能環保的目的，儲電的效果也很不錯，我們模擬出了洋流發電的最佳效能是在 2 個線圈和上下各 16 個磁鐵（串聯）電壓會到 115Vp-p，41.2Vrms，且臺灣四面環海，更加要利用這個優勢來做洋流發電。

我們的多功能發電機，可不斷擴充，未來也許可以增加三個線圈、四個線圈，甚至更多，可無限擴充，可以把電壓和峰對峰值提升到很高，讓洋流發電機的理想得以實現。

柒、 參考文獻

- 1.南一，《自然與生活科技 6》，〈全球變遷〉，台北：南一出版社，2016。
- 2.陳錦松等(2015)，通風球發電機之效能最佳化分析，中華民國第 55 屆中小學科學展覽說明書。
- 3.陳錦松等(2016)，轉動的太陽能板，太陽能發電之效能最佳化分析，花蓮縣第 56 屆中小學科學展覽說明書。
4. 陳錦松等(2017)，通風球與太陽能發電模擬並聯轉之最佳化分析，花蓮縣第 57 屆中小學科學展覽說明書。