

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080108

化浮咻為神奇，只給我電其餘不要

學校名稱：臺北市大安區龍安國民小學

作者： 小六 陳亭儒 小六 黃 翊 小六 林玟葳	指導老師： 陳宗仁
---	------------------

關鍵詞：磁浮、磁浮軸、風力發電

摘要

日本福島核能電廠的地震災變，再次引起人類重視核電安全，採用再生能源發電或許是減少核電使用及降低溫室效應的可行辦法。老師曾給我們觀看一種旋轉裝置小小的力量讓它一直轉動，這使我們想到這個裝置阻力這麼小，如果用在風力發電機上或許是很棒的點子，在家長及老師的帶領下以科學的研究，探討磁浮軸發電機發電效率與風扇，葉片形狀、扇葉數目等等的相關性。主要發現：磁鐵磁力無法任意控制大小，磁鐵間相對位置稍改變就會引起磁力交互作用跳開平衡狀態，必須堅固基座來穩定磁力交互作用；雙環磁浮軸以磁力取代軸承接觸轉軸，在小風力下也可轉動發電，可以串接多個扇葉磁浮轉軸增加發電的效果。

壹、 研究動機

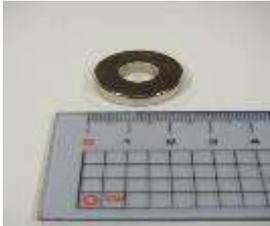
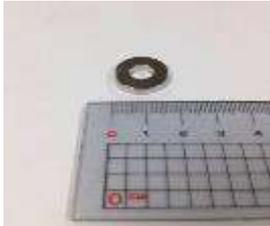
不久前新聞報導的主題是：「核四是否停建」，這是跟我們非常切身的問題，一方面我們生活和社會發展需要用很多電，但是發電效率高的核能發電會產生核廢料，會有潛在核能廢料污染與核爆的危險，例如日本福島的海嘯引發核電廠冷卻系統故障，造成核能發電機核心熔毀，造成環境和生命的威脅。因此我們想探討如何取自大自然中所本有的能源，例如陽光、風力、或海洋潮汐等再生能源，來做為發電的動力來源。六年級自然課程中教我們磁鐵具有同極相斥異極相吸特性，而且磁動可生電的知識，覺得很酷。因此我們決定就以風力為主要再生能源，運用磁鐵的磁力以及磁動可生電的特性，設計摩擦力小的磁浮風力扇葉轉軸，並探討不同葉扇結構、轉軸型態在發電效率上的差異，以找出發電效率最好的葉扇、轉軸和發電盤的型態組合。

貳、 研究目的

- 一、研究垂直型風力葉扇不同結構之發電效率。
- 二、探討風力發電扇葉數目、磁鐵極性排列、線圈匝數，針對各種不同的組合，實驗在固定的電扇風力之下，最好的發電效率組合。
- 三、探討如何利用磁鐵同極相斥的特性，實作穩定的磁浮軸心和軸承，利用葉扇轉軸的無摩擦特性，來提升風力發電的轉換效率。

參、 研究設備及器材

一、 製作風力扇葉

大環型磁鐵	小環型磁鐵	長條環型磁鐵
		
白板筆	塑膠藥瓶製作扇葉	光碟布丁筒與信用卡
		
美工刀	小光碟片	熱溶膠槍
		
三用電表	漆包線	渦流風扇
		
鐵砂	磁波卡	拉力磅秤
		

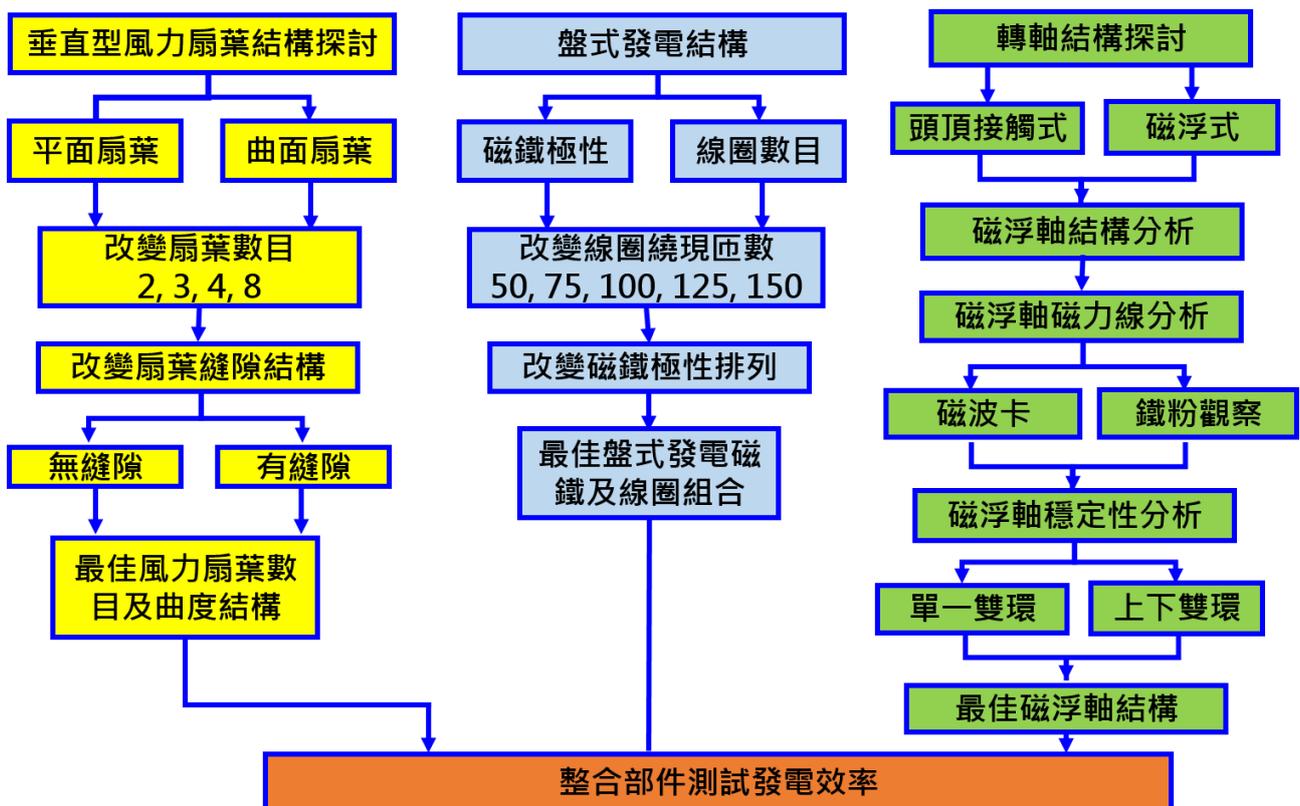
二、製作發電盤: 利用 8cm 光碟片當作發電盤

三、風力來源: 以渦流風扇所吹出的風不會發散作為風力的來源，取代風洞測試。

四、風扇軸心: 以白板筆及實心鋁棒分別作為風力扇葉的軸心。

白板筆	實心鋁棒(0.63cm x 20 cm)
	

肆、 研究架構與流程



伍、 研究方法與結果

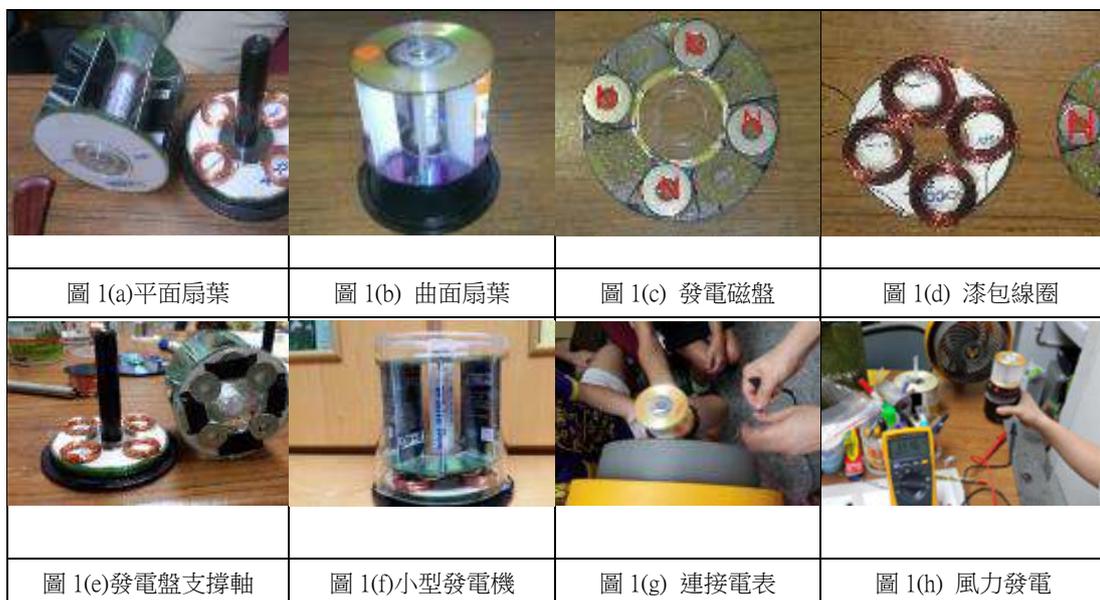
一、 研究探討垂直型風力扇葉最佳結構

(一) 實驗一: 探討垂直型風力扇葉之彎曲度在固定風力下對發電效率之影響。

設計: (1)頭頂式八片弧形扇葉與; (2) 頭頂式八片平面。

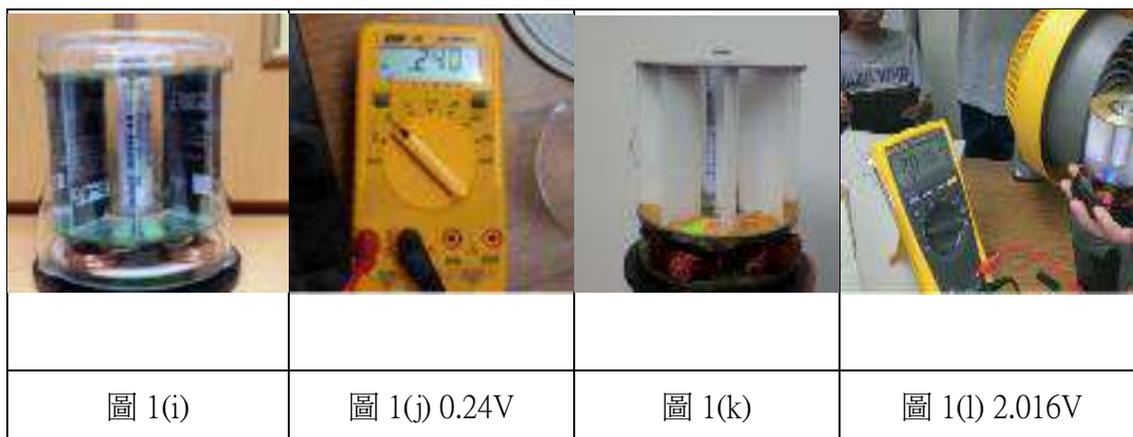
1. 實驗步驟:

- (1) 剪信用卡成八片平面扇葉，用兩片光碟片上下固定。將白板筆剪斷作為中空扇葉轉軸，將中空扇葉放在光碟布丁桶中軸做為支撐。做成垂直型八片式平葉扇如圖 1(a)。
- (2) 將塑膠藥瓶剪成八片曲面扇葉，用兩小光碟片上下固定扇葉。剪斷白板筆作為中空扇葉轉軸，將中空扇葉放在光碟布丁桶中軸做為支撐。做成如圖 1(b)之八片式平葉扇。
- (3) 製作發電磁盤，將磁鐵用強力膠黏貼在 8cm 小光碟上，相同極性面對同一方向。在此我們將 S 極與光碟片相黏，所有 N 極朝外(圖 1(c))。
- (4) 製作發電線圈，將漆包線繞成固定匝數的線圈。並固定在小型光碟片上面 (圖 1(d))。將發電線圈裸露的一方與發電磁盤 N 極相對 (圖 1(e))，加上扇葉套上布丁桶的中軸後之小型發電機(圖 1(f))。
- (5) 將三用電表兩條探針的接頭，接上發電線圈的漆包線兩端，需先用紗紙磨掉漆包線外面包覆。因為是交流電因此接頭不用考慮極性。(圖 1(g))
- (6) 利用渦流電扇的風力對著垂直型葉扇吹，記錄兩種葉扇結構的發電效率。(圖 1(h))



2. 實驗結果(以三用電表量測電壓值)：

- (1) 左八片平面扇葉整體風力發電機，發電磁盤使用四顆磁鐵，發電線圈也使用四圈。圖 1(j)使用三用電表實測之電壓值。因為平面扇葉全面受風時作用在扇葉上的風力會互相抵消，因此轉速小，發電效率不佳，只有 0.240V(圖 1(i), 圖 1(j))。
- (2) 左圖為八片弧形扇葉整體風力發電機，右圖使用三用電表實測之電壓值。弧形扇葉可以全面受風，最高電壓 2.016V(圖 1(k), 圖 1(l))。



3. 討論

- (1) 我們使用循環扇來提供風力，因為循環扇可以讓風扇吹出的風穩定集中且不發散，因此就不須要再以風洞實驗來測發電電壓。
- (2) 在固定風力、發電盤、以及發電線圈以電表量測交流電壓，發現曲面扇葉較能收集風力並轉換為發電的動能。
- (3) 發電機扇葉和電風扇的相對位置，我們發現在中間偏下的地方可以獲得最高的發電電壓。

(二) 實驗二：探討垂直型風力扇葉在固定風力和線圈下不同扇葉數目的發電效率。

實驗一顯示曲面扇葉集風效果比較好，我們以簡單的頭頂式風力扇葉發電模型為主，改變扇葉數目，觀察風力扇葉數目對於發電效率的影響。我們製作二片式、三片式、四片式、六片式有空隙及無空隙支曲型扇葉，發電盤以四個磁鐵 N 極面向四個 100 匝線圈。

1. 實驗步驟:

- (1) 剪開塑膠藥瓶當作扇葉，並黏貼於布丁桶底座上，製做成不同扇葉數目的垂直型扇葉，分別為二片式、三片式、四片式、六片式，扇葉與軸心之間沒有空隙。
- (2) 另外再做一組二片式、三片式、四片式、六片式扇葉，與軸心之間留有空隙。
- (3) 繞漆包線成為四個 100 匝的線圈，作為底部發電線圈，如圖 2(a)。
- (4) 將四個小圓磁鐵固定黏貼於小光碟片上，作為發電磁盤，如圖 2(b)。
- (5) 將一個布丁桶中軸鋸開，套上塑膠筆桿固定在底座做發電盤之支撐中軸。
- (6) 針對每一個扇葉，分別將發電磁盤以膠帶黏貼固定於扇葉底部。
- (7) 將布丁桶底座中空管套在塑膠筆桿作為轉軸，布丁桶頂部頂在筆桿頭。如圖 2(c)。
- (8) 以砂紙磨擦漆包線兩端，接上電表探針，置於電風扇前以固定風速吹動扇葉，觀察不同扇葉發電效率。



2. 實驗結果

- (1) 以電表量測無空隙風力扇葉在不同扇葉數目下的發電電壓。實驗結果如下圖



			
0.599V	0.685V	0.501V	0.25V

(2) 以三用電表量測有空隙風力扇葉在不同扇葉數目下的發電電壓，實驗結果如下圖：

			
二片式 有縫隙	三片式 有縫隙	四片式 有縫隙	六片式 有縫隙
			
0.67V	0.7V	0.51V	0.708V(吹半面)

3. 討論

- (1) 扇葉葉片數目為二和三時，可以獲致最好的結果。在扇葉受風面積固定下，葉片數目會互相遮蔽及抵消風力。
- (2) 將六片式扇葉的一半受風一半不受風，發現還是可以發電 0.708v，但是只能吹半面才發電在實際的環境中是無法使用的。
- (3) 在垂直式扇葉架構中，三片式扇葉因為比較穩定，且遮蔽效應影響不大，因此獲得最高發電效率。其中有空隙扇葉又比無空隙扇葉稍為好一點，因為縫隙可幫助排除一部分的風阻力。

二、 研究風力發電盤磁鐵數目與磁級和線圈數目與匝數等最佳組合

(一)實驗三、探討使用不同匝數線圈及線圈個數，在固定的磁鐵數目下的發電效率。發電線圈固定四圈，每圈匝數設定為 50，75，以及 100 匝，觀察發電效果。扇葉數目設置為二葉及三葉做測試，並加上底部磁浮的轉軸。

1. 實驗步驟:

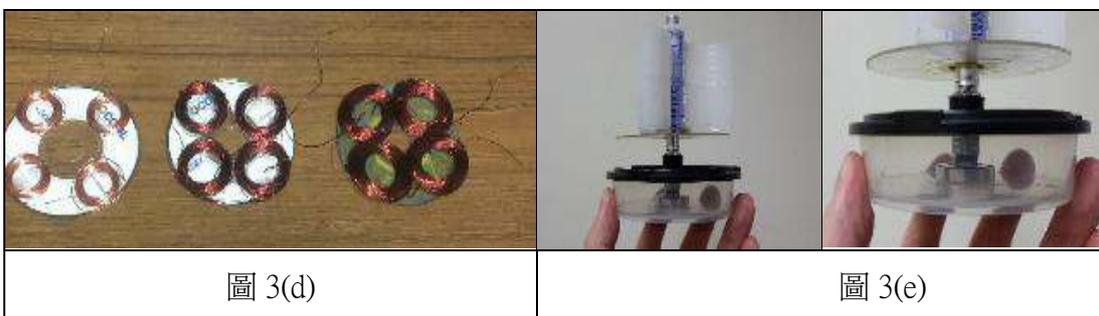
(1) 將塑膠瓶剪成兩片弧形扇葉，用兩片光碟片上下固定。將白板筆剪斷作中空的扇葉轉軸，扇葉底部放一顆磁鐵作為與發電線圈底座的磁鐵的相斥力之用。如圖 3(a)(b)。

(2) 將塑膠藥瓶剪成三片弧形扇葉，同步驟(1)。完成垂直型磁浮扇葉，如圖 3(c)。



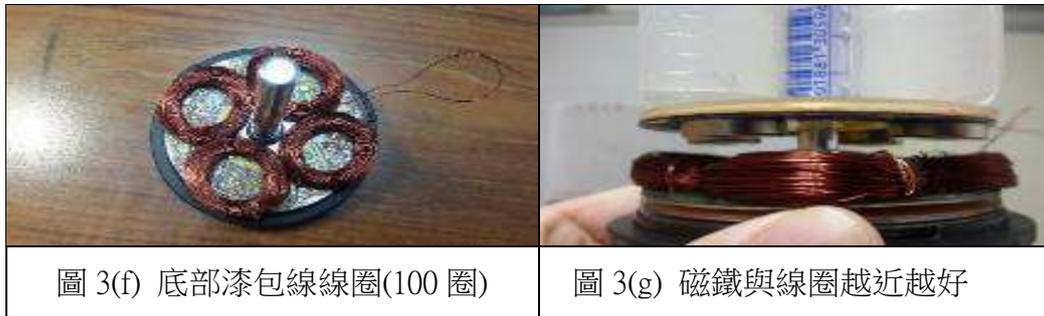
(3) 將漆包線繞線圈，做成發電線圈用，繞線匝數為 50、75、100，線圈個數為四圈。如圖 3(d)所示。由左至右分別為 50 匝、75 匝、及 100 匝線圈。

(4) 將布丁桶底部黏貼上一顆磁鐵使其 N 極朝上。如圖 3(e)，底座的磁鐵與磁浮扇葉底部磁鐵 N 極相向，產生浮力，可減少扇葉旋轉時的摩擦力。



(5) 將步驟(3)的線圈套上磁浮底座，再將磁浮扇葉套上底座中軸，即完成磁浮風力發電機。

如圖 3(f) 所示：圖作為套上線圈後的底座，圖 3(g)為完成圖。



(6) 將三用電表兩條探針的接頭，接上發電線圈的漆包線兩端，需先用砂紙磨漆包線外面包覆。因為是交流電因此接頭不用考慮極性。

(7) 用電扇風力對著垂直型磁浮扇葉吹，記錄兩片式及三片式葉扇結構的發電效率。

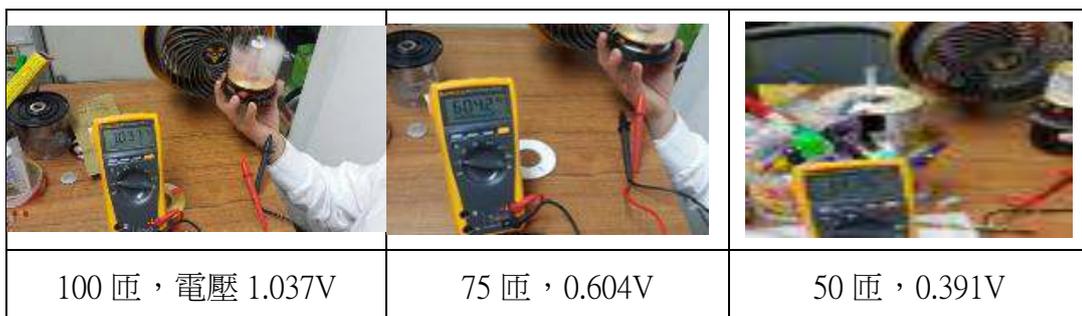
(8) 重複步驟(7)，但發電線圈改為 75 匝及 100 匝。

2. 實驗結果(以三用電表量測電壓值)：

(1) 三片弧形扇葉風力發電機量測，使用四顆磁鐵和四個發電線圈。



(2) 同步驟(1)但使用二片式弧形扇葉風力發電機。



3. 討論

- (1) 底部磁浮軸，將頂部磁浮扇葉的支撐點由下方的同極磁鐵相斥力支撐扇葉轉動。因此風力轉換為電能時摩擦力變小，發電電壓從 0.7V 增加到 1.658V。
- (2) 三片扇葉比二片扇葉發電電壓高，底部磁浮之扇葉雖然沒有頂點摩擦力，但底部懸空會造成轉動不穩定，而三片式扇葉轉動時比二片式穩定，可以克服底部懸空造成不穩定的缺點。

三、研究磁浮轉軸與軸承間磁力線交互作用最穩定結構

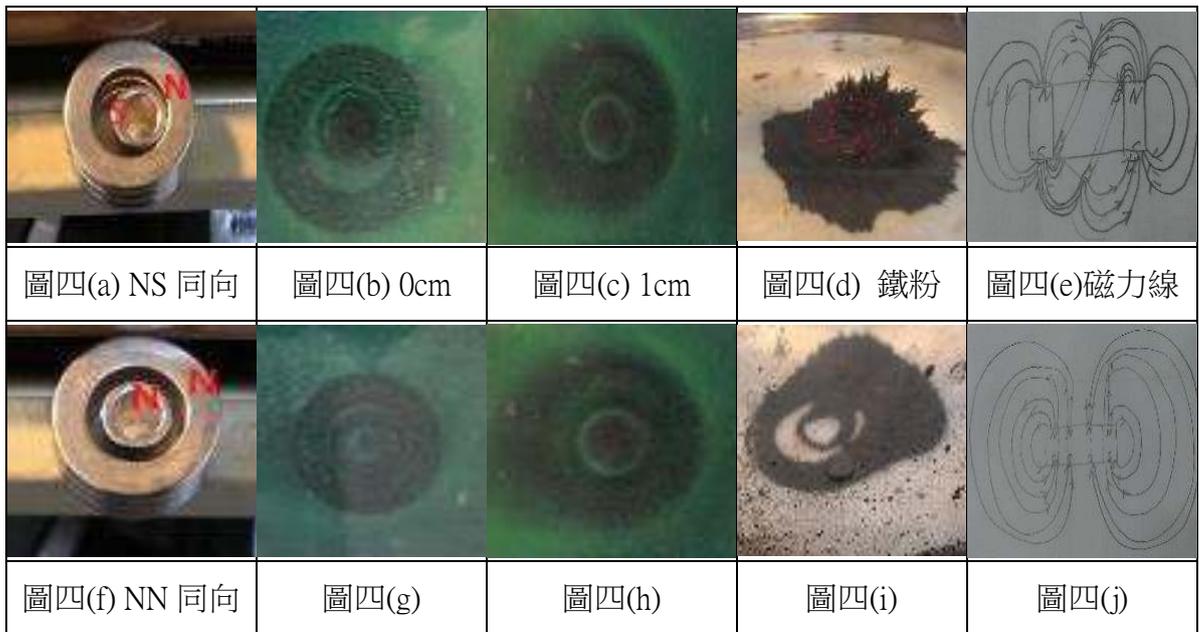
實驗四、探討如何利用大小環磁鐵產生間穩定的磁浮轉軸。實驗三顯示只用單一向上磁浮力，扇葉轉動不夠穩定。本實驗進一步研究讓轉軸穩定的方法。

1. 實驗步驟

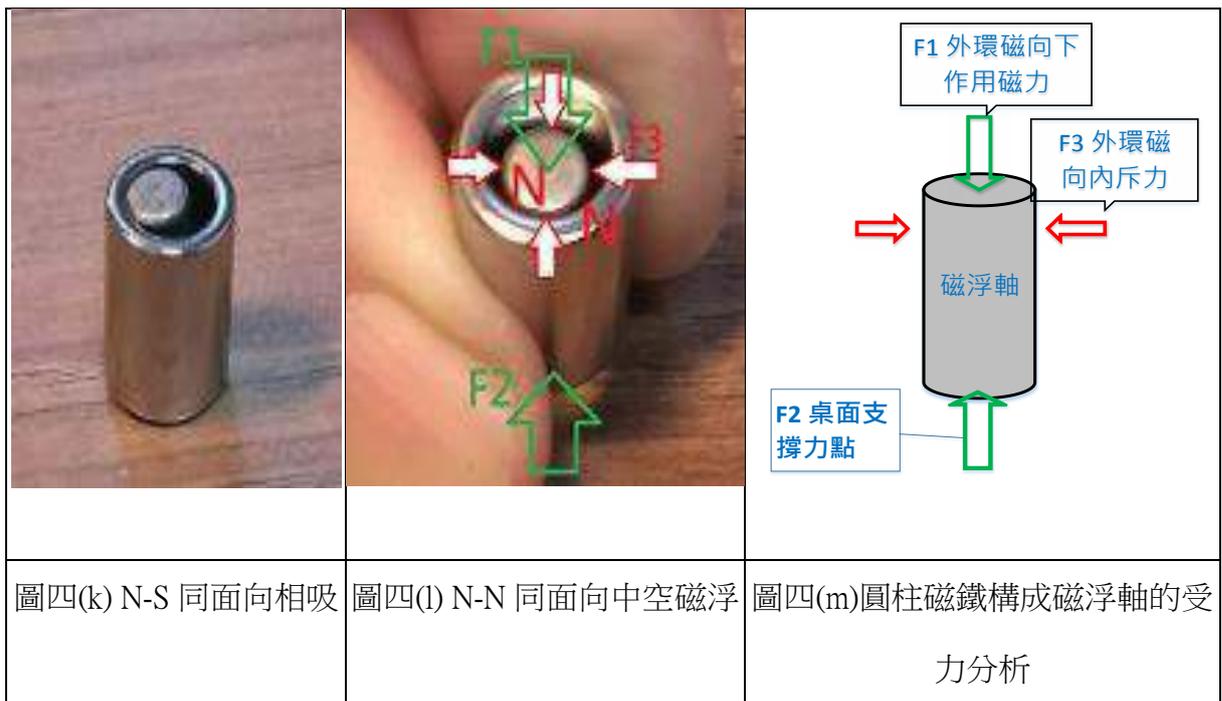
- (1) 將小環型磁鐵放在大環型磁鐵中間，使其同極同面向(N-N, S-S)。用磁波卡及鐵粉罐觀察磁力交互作用並畫出磁力分布圖。
- (2) 同步驟(1)，但大小環磁使其異極同面向(N-S), (S-N)。
- (3) 根據前兩步驟的觀察，將磁力線的交互作用以簡圖表示。

2. 實驗結果

- (1) 當大小環之 N-S 極 或 S-N 極面向同一方，兩個環磁會黏在一起。其磁波卡如圖四(a)所示。根據磁波卡圖可以畫出其磁力線初始狀況，因為永久磁鐵磁力線不穩定，小磁環會被吸引到大磁環內徑上，如圖四(b)(c)。將磁鐵置於鐵粉下方觀察磁力線如圖四(d)，所得磁力線交互作用如圖四(e)，如此磁力相吸兩磁環間無法形成磁浮。
- (2) 使同級(N-N, S-S)同面向，則磁鐵會被彈出。其磁波卡圖如圖四(g)(h)，鐵粉磁力線如圖四(h)所示，磁力線特性其交互作用如圖四(j)所示。而在同極相斥，異極相吸下，就形成圖四(f)的穩定狀態。
- (3) 只有步驟(2)的方式可以產生暫態的磁浮現象。但需要施以外力。如圖四(l)所示。用手指壓按可以讓內環磁與外環磁間產生穩定磁浮力。



- (4) 從實驗可知道，要產生一個穩定磁浮，需要大小環磁同極同面向產生相斥力，並且需要依靠外力以及一個底部支撐點，如圖四(m)所示。



- (5) 延續步驟(4)，將內圓柱磁鐵放在桌上，以手指握住外環磁鐵當作固定支架，並改變外環磁鐵與內圓柱磁鐵的相對位置，找出讓內圓柱磁鐵最穩定的內外磁鐵相對位置。

3. 討論

以圖四(m)來說明，內圓柱磁鐵當做磁浮軸來看，此一磁浮軸要達到穩定有三個條件。①必須將磁鐵同極朝向同一面(N-N/S-S)產生斥力 F_3 ; ②底部必須有支撐力點 F_2 ; ③外環磁鐵 F_3 將同極相斥的力抵銷才能平衡穩定。

- (1) 從步驟(5)的結果發現: ①內磁鐵高於外環磁鐵，則內磁鐵彈出; ②內磁鐵低於外環磁鐵，距離差越多手指需要越大穩住內磁，也可以說 F_1 越大; ③當內外磁鐵的同極在相同高度時，所需的 F_1 力量最少。
- (2) 步驟(5)的實驗結果提供一個設計雙環磁浮非常重要的參數依據。因為雙環磁浮的唯一接觸支撐點在下方，其摩擦力將會隨著這個相對位置的差距大而變大，在內外磁鐵上緣一樣高的情況下，對於整個磁浮軸而言摩擦力最小。

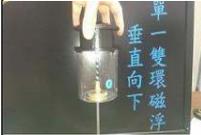
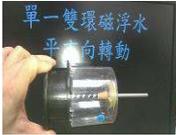
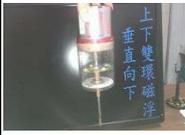
(一) 實驗五: 探討單一和上下雙環磁浮軸的轉動效率。基於實驗四發現之磁浮軸穩定轉動之物理特性，實做單一及上下雙環磁浮軸，探討極尋求最佳轉動效率的組合。

1. 實驗步驟

- (1) 設計單一雙環磁浮軸，探討其轉動效率。
- (2) 設計上下雙環磁浮軸，探討轉動效率。

2. 實驗結果

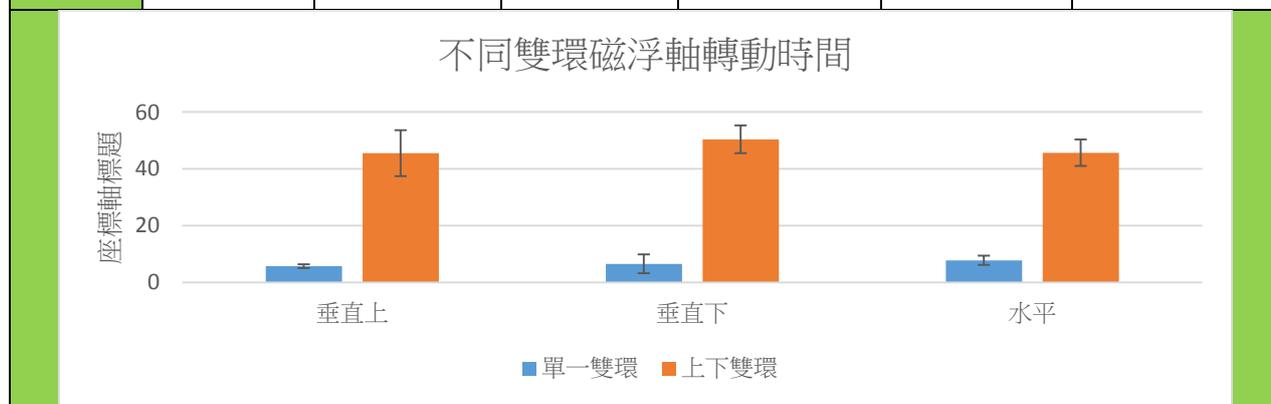
- (1) 依照磁浮軸穩定運轉原則，將實心鋁棒穿過內環磁鐵並用膠帶固定，設計出單一雙環磁浮軸架構如圖五(a)所示。
- (2) 依照磁浮軸穩定運轉原則，利用兩個內環磁鐵套在實心鋁棒，搭配兩個外環磁鐵當作磁浮固定架，整個上下雙環磁浮軸扇葉如圖五(b)所示。
- (3) 將單一及上下雙環磁浮軸分別以垂直向上、垂直向下、水平方向分別實驗

圖五(a)單一雙環			圖五(b)上下雙環		
垂直向上	垂直向下	水平方向	垂直向上	垂直向下	水平方向
					

(4) 用手轉動磁浮軸，實驗多次，以最大穩定轉動為原則，共取用十次結果，所記錄的平均秒數和標準差如圖五(c)所示。

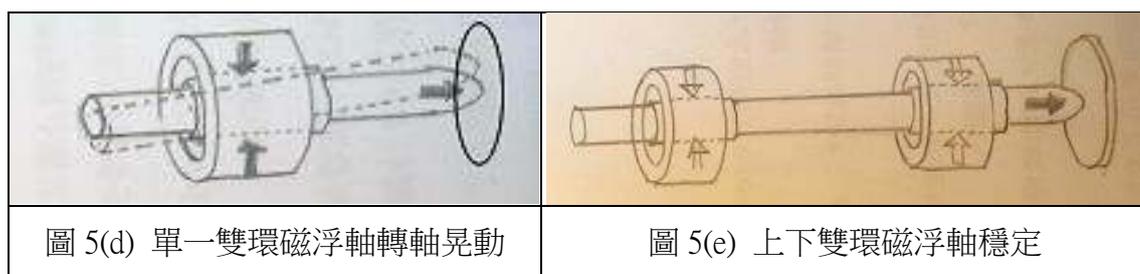
圖五(c) 單一及上下雙環磁浮軸轉動時間比較表

	單一雙環			上下雙環		
	垂直上	垂直下	水平	垂直上	垂直下	水平
1	6.57	3.61	7.43	67.25	51.86	49.39
2	6.3	3.51	8.23	39.12	56.52	48.63
3	5.83	7.92	6.06	46.96	46.32	37.36
4	5.7	4.21	10.31	40.9	50.33	37.62
5	5.97	4.59	6.89	41.76	47.88	45.02
6	5.91	6.85	8.84	46.9	46.04	49.2
7	4.7	6.84	9.97	41.78	41.5	45.8
8	4.56	6.76	5.19	40.78	53.6	48.8
9	6.14	5.77	7.15	44.5	56	49.8
10	4.95	14.86	7.41	45.6	54	45.4
平均	5.66	6.49	7.75	45.56	50.41	45.70
標準差	0.69	3.32	1.62	8.09	4.89	4.67



3. 討論

- (1) 數據顯示上下雙環磁浮軸的架構可以轉動約將近一分鐘，是單一雙環的十倍時間。但是因為整個機體會因為多次轉動而偏離穩定架構，所以誤差以垂直向上的最大約 8 秒，水平軸轉動比較不會引起機體不穩定因此誤差只有 4 秒。垂直向上因為軸心重量抵銷部分摩擦力，所以轉動時間比較長。
- (2) 單一雙環磁浮軸下方的支撐點不穩定，會使磁浮軸偏離穩定狀態而無法穩定的轉動(圖 5(d))。把支撐點設計為有凹槽使其不偏離中心，又造成軸底部頂點的摩擦力增加。
- (3) 上下雙環磁浮軸可以把磁浮軸的頂點固定在底部支撐面一個固定點，這樣就可以在磨擦力最小的情況下受風旋轉(圖 5(e))。



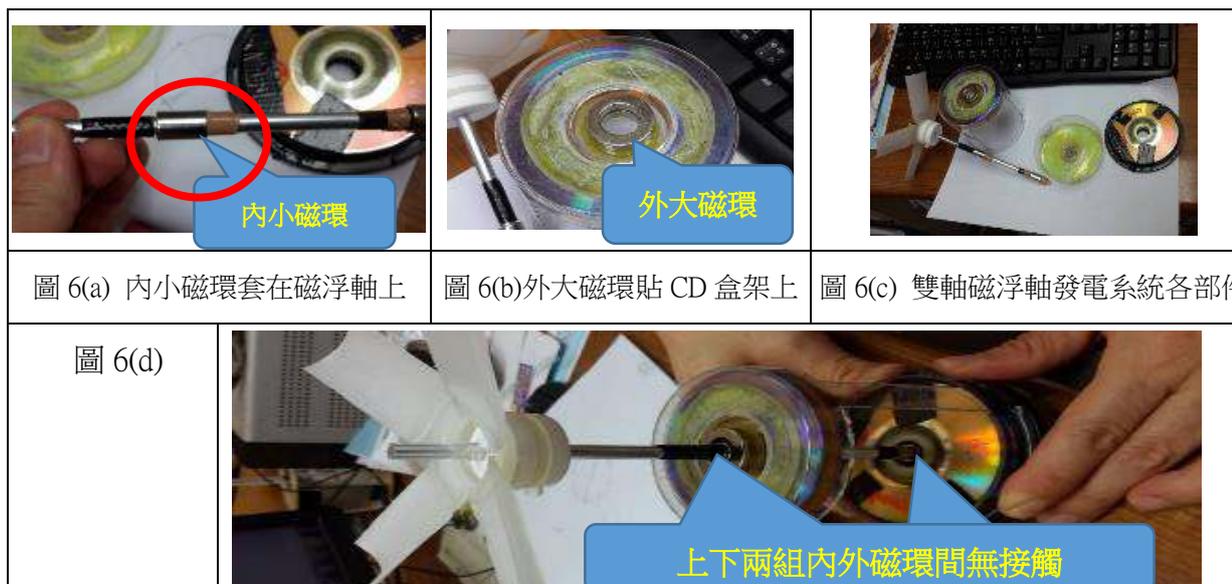
(二) 實驗六、探討上下雙環磁浮之軸承與轉軸所使用磁鐵的相對寬度。實驗五已找出穩定磁浮軸設計，在雙環磁上方，內外環磁的上方對齊，但下方有凸出一部份，要探討此內環磁凸出部分會不會影響結果。我們固定磁浮軸內環磁位置，改變上下外環磁的數目，觀察不同數目外環磁對磁浮軸轉動的影響。

1. 實驗步驟

- (1) 量測單一、二個、三個環形磁鐵串接在一起時磁力距離。將環形磁鐵串接在一起，以尺量測磁力可達幾公分去吸引迴紋針。
- (2) 量測單一、二個、三個環形磁鐵串接在一起時磁力大小。將環形磁鐵串接在一起，置於長尾夾底部並接上彈簧秤量，以量測磁力可幾公斤。
- (3) 上下雙環磁浮軸實作過程如下：

[1] 將 6mm 實心鋁棒套上兩個小型內磁環，做為磁浮軸磁力來源之一，如圖 6(a)所示。

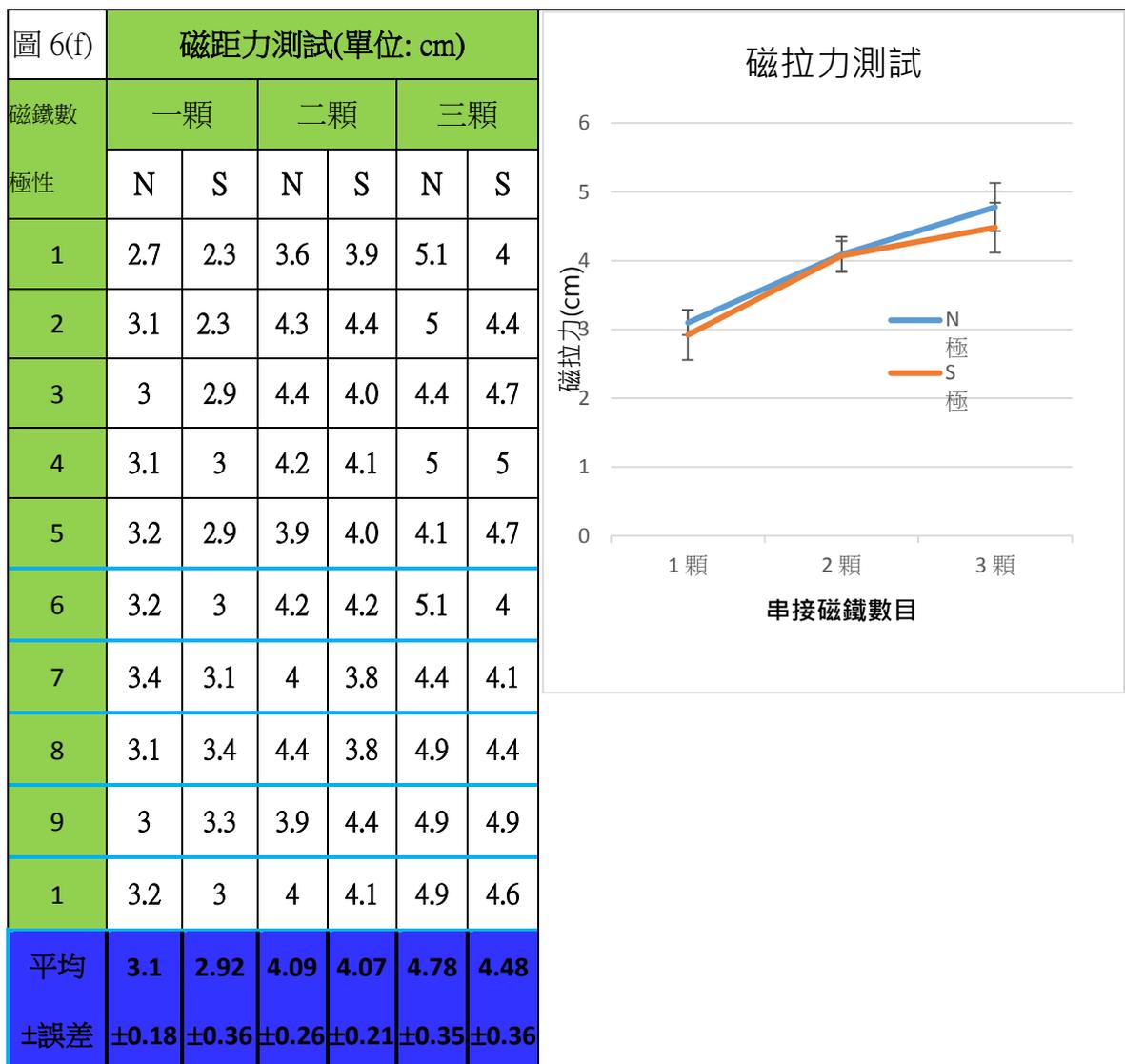
- [2] 用比較大的磁環做為另一磁浮力的來源，如圖 6(b)所示為大磁環，做為包住內鋁棒磁環之用鋁棒上的兩個小磁環，經由膠帶固定位置，如圖 6(c)所示。
- [3] 將各部分組合，可看到鋁棒磁環與外圍磁環間沒有摩擦力，轉動的時候只有鋁棒底部尖頭與鎳合金片有一個點接觸。如圖 7(d)右所示。
- [4] 為減少底部軸心的摩擦力，我們用砂紙將鋁棒頂步磨圓，發電盤底座放置一個鎳合金墊片，作為磁浮軸的頂點轉動平面。



- (4) 改變上下外環磁鐵的數目為 (1)上三下三 (2)上三下二 (3) 上二下三 (4) 上二下二，並維持內外環磁的上緣對齊。
- (5) 針對每一種外環磁數目組合，將鋁棒內環磁轉軸穿過外環磁浮塑膠罐，固定後用手轉動軸心數次，記錄轉動時間。

2. 實驗結果

- (1) 量測磁力距離方法及結果如圖 6(e)所示，串接越多顆磁鐵磁力作用距離越大。多次測量結果如圖 6(f)所示。



(2) 磁力量測結果如圖 6(g)所示，串接越多磁鐵，磁力越強，也可說磁力線密度越高。

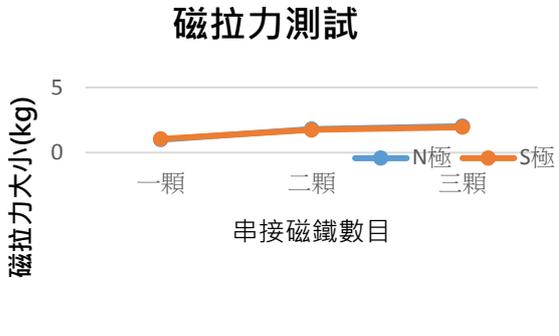
圖 6(h)	磁拉力測試 (單位:Kg)					
	一顆		二顆		三顆	
	N	S	N	S	N	S
1	1.	1.2	1.9	2	2.2	2
2	1.1	1.2	1.6	1.8	1.9	1.9
3	0.9	1.1	1.9	1.9	2.3	1.7
4	1	1	1.8	1.6	2.0	1.9
5	1	1.1	1.8	1.8	2.2	2.2
6	1	1	1.9	1.7	2.0	1.9
7	1	1	1.8	1.6	1.8	1.7
8	1	1	1.7	1.7	1.8	2.1
9	1.1	1	1.8	1.6	2.3	2
10	1	1	1.9	1.8	1.9	2.2
平均±	1.16±	3.3±	1.36±	1.36±	1.94±	1.9±
標準差	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1

圖 6(g)



彈簧秤量磁力大小

磁拉力測試



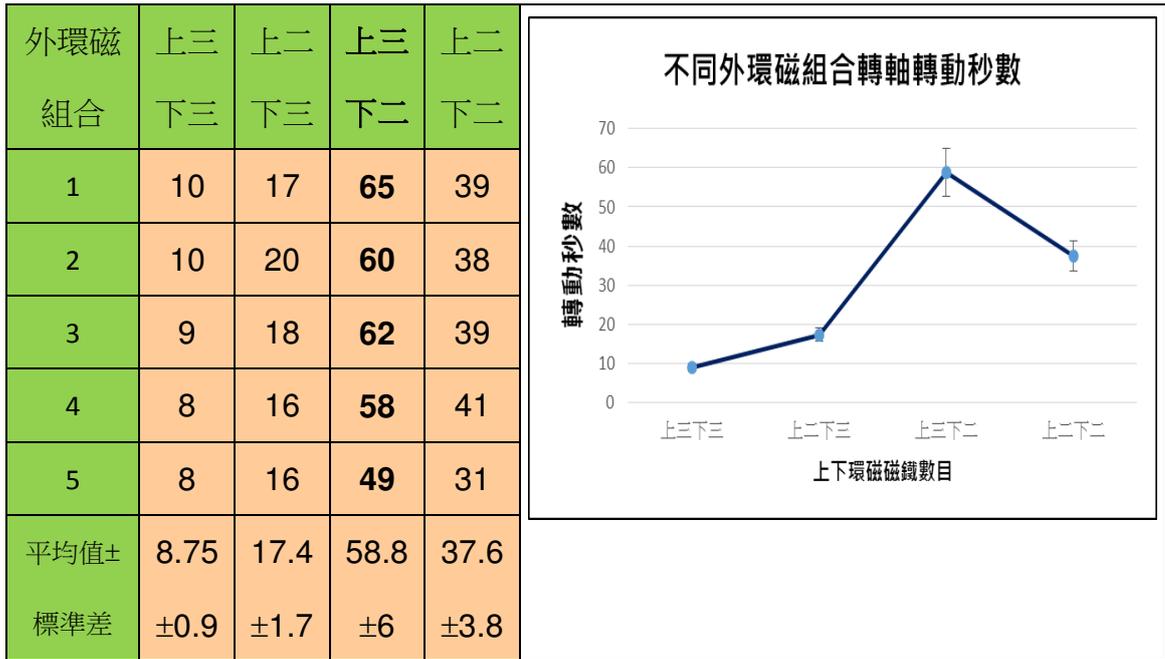
磁拉力大小(kg)

串接磁鐵數目

一顆 二顆 三顆

● N極 ● S極

(3) 量測不同上下環磁數目組合之下，磁浮軸的轉動時間長短。



3. 討論

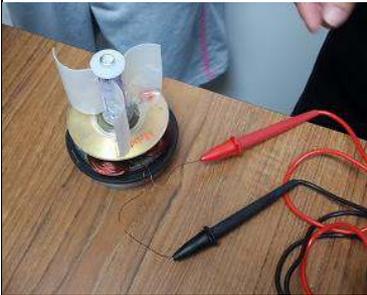
- (1) 串接越多磁鐵，磁距力和磁拉力也越大，作用在磁浮軸的向下推力也越大。因此外環磁鐵的數目多就會對內環磁鐵及磁浮軸施以更大向下力道，造成軸下方頂點摩擦力越大。
- (2) N 極與 S 極的磁距力和磁拉力幾乎一樣，因為磁力線由 N 極到 S 極形成封閉迴圈，在 N 或 S 極其磁力線總數是一樣的。
- (3) 上三下三因為環磁對內轉軸施力大，軸下方摩擦力也大，只轉動約 9 秒。因為磁浮軸要加上風力扇葉轉動，上雙環磁對於磁浮軸轉動穩定性有穩固的作用，上二下二與上三下二相比，雖然少一顆環磁對轉軸施力減少頂點摩擦力，但是因為上三下二對於軸轉動可以獲得比較穩定的控制，因此可以轉動最久。
- (4) 上二下三的組合，剛好把上三下三與上二下二的施力過大以及穩定性欠佳的特性組合在一起，因此也轉動不久。
- (5) 轉動秒數少的因為摩擦力大很快停止，誤差值不大，如上三下三誤差不超過 1 秒，因為太快就停止。上三下二可以轉動的秒數比較長，相對誤差也會比較大約 6 秒。

(三) 實驗七、比較使用不同扇葉軸心對發電效率的影響。

1. 實驗步驟:

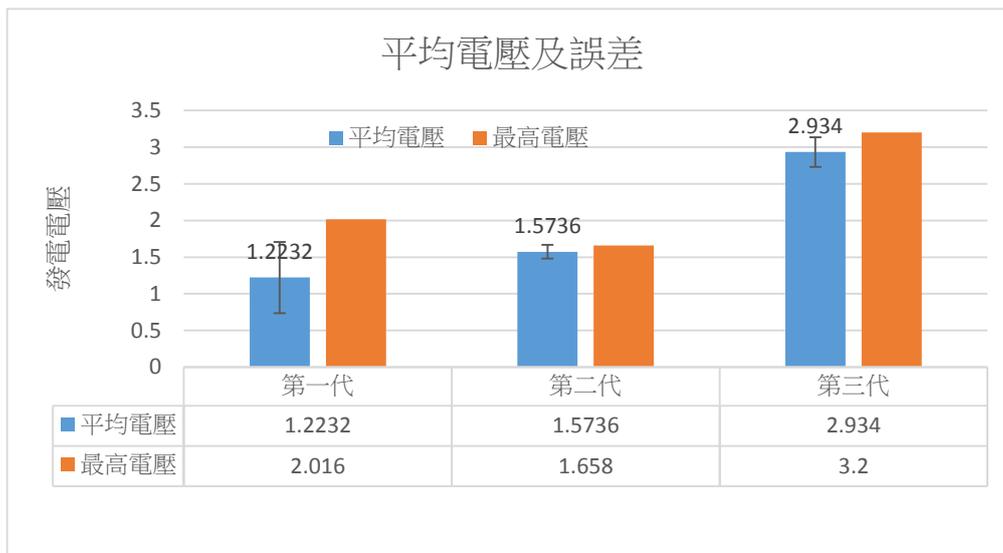
- (1) 將實驗一的頭頂八片弧形扇葉發電機作為第一代的發電機模型。
- (2) 將實驗二的底部磁浮三片弧形扇葉作為第二代的發電機模型。
- (3) 將實驗六所探討最好的上下雙環磁浮軸加上三片式弧形扇葉作為第三代發電機模型。

2. 實驗結果（以三用電表量測發電電壓值）

		
第一代發電機 圖八(a)	第二代底部磁浮發電機 圖八(b)	第三代上下雙環磁浮發電機 圖八(c)

- (1) 雙環磁浮軸之發電效率，因為整根鋁棒只有底部頂點與鎳金屬墊片接觸，其餘皆無接觸摩擦力。因此在我們所設計的發電機中，發電效率最好。如圖 7(e)-7(h)所示：
- (2) 將前面兩種不同發電機軸心的發電效率與最後雙環磁浮軸發電機來比較，很明顯雙環磁浮軸因為扇葉的摩擦力有效去除或降低，因此發電效率最好。

電壓	第一代	第二代	第三代
1	0.79	1.61	2.78
2	1.12	1.658	2.69
3	2.016	1.5	2.99
4	1.3	1.45	3.2
5	0.89	1.65	3.01
平均	1.22 ± 0.49	1.57 ± 0.09	2.93 ± 0.20



3. 討論

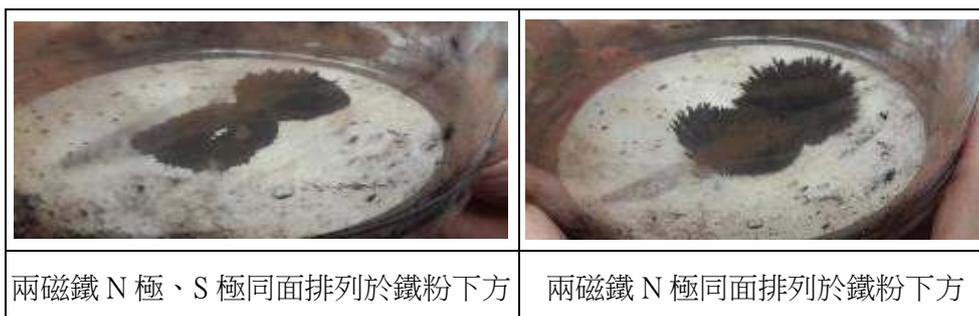
- (1) 本實驗整合前面的各實驗結果，做一個總結驗證，實驗數據顯示第三代發電機因為大大降低轉軸摩擦力，因此一般獲得比較高的電壓。
- (2) 雖然把扇葉放在風力最強的地方，發電電壓還是會有很大變動。所量到的電壓都有誤差值，尤其是第一代特別高。因為我們只有三用電表，只能以觀察所得的平均值作為取樣，一般都是取樣穩定偏高的發電電壓。
- (3) 第一代的電壓偶然出線極高值，但平均而言還是最低的。
- (4) 我們從第一代到第三代，將轉軸的摩擦力點利用雙環磁浮消除，最後雖仍然有一個摩擦力點，但是已經大大提升風力扇葉轉動的速度。

陸、 討論

一、磁鐵磁極方向決定，本來我們只是利用同極相斥異極相吸的方式來判定如何放置磁鐵，但是單從相斥或相吸來判定會有所失誤，仔細研究指南針，發現指南針的紅色箭頭所指的方向就是磁力線的方向，而磁力線是由N極指向S極，因此磁鐵面對指南針的那面是N極。

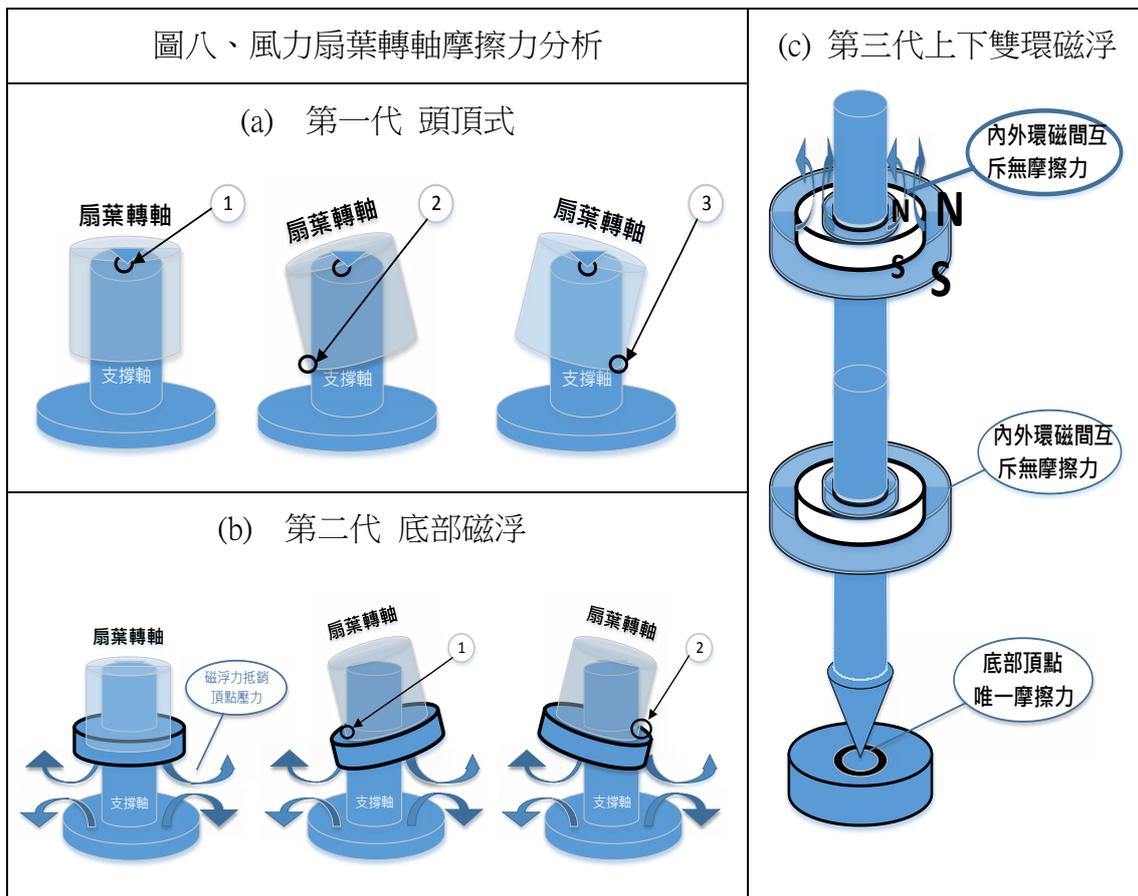


二、磁鐵磁極問題。因為我們做小型風力發電，所實作發電盤中磁鐵排列相當靠近，因此會有磁力線互相吸引的問題，例如下圖左邊所示，當發電盤的磁鐵都是同一磁極面向外（我們將N極面向漆包線圈），則因磁鐵“同極相斥”造成磁力線垂直射出的高度比較高。若是讓N極-S極交互的排列在發電盤上，則因為“異極相吸”造成N極磁力線過早彎曲到鄰近S極磁鐵上，如此則通過漆包線圈的磁力線數目就會減少，造成發電效率不佳。



三、扇葉結構問題，我們初次的扇葉設計，用爸爸過期的信用卡來做扇葉，因為是平面的，因此受風時風力完全抵消無法轉動扇葉，必須只讓扇葉一半受風力才可以轉動。後來改用弧形扇葉，一樣是八片式扇葉，可以全面接受風力，發現扇葉轉軸轉速可以加快，而提高發電效率。因為弧形扇葉在受風時可以有效將風力轉為轉動的動力。

四、我們起先嚐試八片式的扇葉，當設計磁浮扇葉時，發現原先的八片式葉扇，並沒有兩片式或三片式扇葉的轉動速度快，主要是因為上面的小光碟片會有阻擋風進入的缺點，但我們發現兩片式扇葉轉動時因為重心不是很穩定，會有跳動的缺點造成轉動上的能量損耗，使用三片式扇葉的重心會在軸中央，因此轉動時比較平穩，也獲致會好的發電效率。

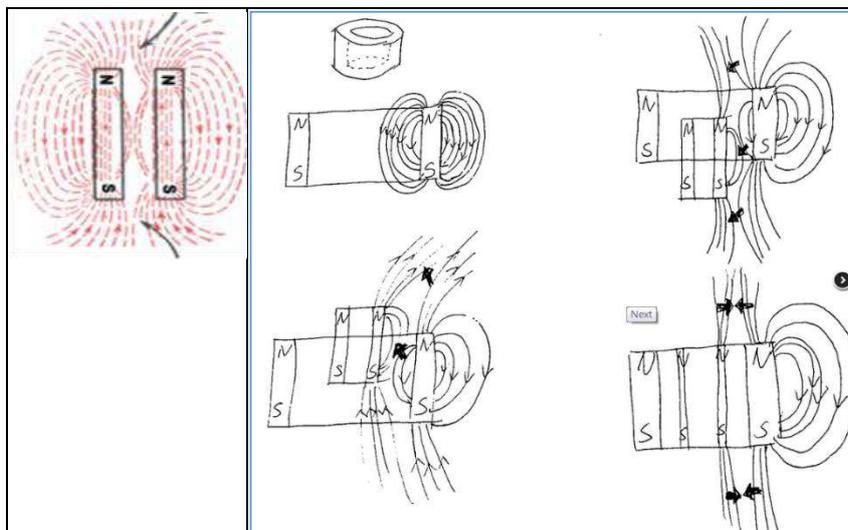


五、觀察磁浮如何抵消摩擦，整個磁浮發電機會在三頂點摩擦力的狀態下運轉。第一代的頭頂式扇葉盤式發電機，如圖八(a)所示，當空心扇葉轉軸旋轉時，除了頂點的摩擦力，還有扇葉旋轉時會隨機有左右兩個碰撞點，剛好達成三個點摩擦力的平衡狀態。第二代底部磁浮軸承發電如(圖八(b))，底部磁浮力抵銷頂點摩擦力，因為磁力不是很穩定，扇葉轉動時與軸承間的左右兩點碰撞與第一代相似，但在三點平衡的轉動剩下兩個隨機磨擦力點，如圖八(b)小圓圈所示。為了克服軸承和扇葉間的摩擦力，我們用大小兩環磁造成互斥，如圖八(c)下兩對環磁間磁力將軸承和扇葉的兩頂點摩擦力抵消，但三點平衡轉動原則下，唯一的頂點摩擦力在軸承下方(也可以改為上方)，使得扇葉軸承相當穩定，因此收集到的風力在轉換為電能過程中損耗小很多，可以獲得很高的轉換效率。

六、實驗中我們了解磁鐵磁力並不是可任意控制大小的，尤其軸承雙環間磁力的控制實驗了很多次才達到穩定狀態。磁力要克服雙環軸承間水平方向摩擦力並穩定運轉，必須有垂直向下的磁力才可以懸空鎖住軸承，因此雖然只有一個頂點支撐，其磨擦力是很大的。也就是說穩定性越高，此為一頂點的摩擦力也越大。我們嘗試不同磁鐵做雙環磁浮，最

後選定用大小磁環來設計磁浮軸，發現這樣的設計是最穩定的，單是找不同規格磁鐵與實驗花了很多時間。

七、我們發現內外環磁鐵間的相對位置相當重要。因外環磁鐵固定且比較大，小內環磁鐵套在轉軸上而頂點由底部金屬平台支撐。當大小外內環磁的上緣對齊時，可以獲得最穩定的轉動，內環磁若比



外環磁上緣位置偏高，轉軸會彈出。若位置偏低，會造成外環磁對內環磁施加向下力量，造成轉軸磨擦力提高。反而造成轉動提早停止。我們根據磁力線特性分析原因。右圖左上為外環磁的磁力線，右圖右上為當內環磁上緣低於外環磁時，外環磁的磁力線會對內環磁產生向下的推力。右圖左下為內環磁上緣高於外環磁時，外環磁產生向上推力，因此會將轉軸彈出。右下圖為內外環磁上緣貼齊的時候，只有水平的相互斥力，這樣的相對位置對於轉軸來說可獲得最穩定且轉動最久的效果。

八、我們的風力發電機主要是在小風力下也可以轉動發電，我們希望將發電機做得更加堅固，可放在腳踏車上迎風發電發亮，目前已經找出發電效率最好的組合，但是還有改進的空間，例如扇葉尺寸、線圈匝數增加、配合蓄電池儲電等等。夜間最酷炫發電機非我莫屬。



柒、心得

- 一、老師和父母常告訴我們，學問為濟世之本，所學的知識應該要讓這個世界更好。因此我們非常喜歡將學校所學的知識做實驗與分析，希望透過實驗真正了解專業知識的力量，而且可以從實驗中找到快樂，越做越有趣。但是過程中也碰到很多困難無法突破，我們體驗到要學也要問才是真正的學問。
- 二、單單一個看似簡單的風力盤式發電機，每一個部分都會關係到最後發電效率的好壞。例如扇葉軸承的摩擦力，發電盤的磁鐵排列，轉動軸承的設計等等，注意每一個細節才能得到最好的整體效果。
- 三、有時我們覺得利用假日做實驗很累，但只要實驗有獲得新的發現，就會讓我們又燃起要知道更多的念頭，這讓我們重新站起來，繼續向科展挑戰！
- 四、忠實的紀錄實驗結果才能真正去分析方法的好壞，這次實驗的過程中，有目測轉速的結果也有以三用電表量發電電壓的結果，根據記錄的資料討論分析才能繼續改進。
- 五、我們很感謝一路上陪伴我們實驗、觀察、紀錄的父母、同學及教導我們的老師，爸爸和老師不厭其煩教導我們很多專業實驗方法與觀察結果的重點，讓我了解科學實驗的內容，老師和父母都給我極大的鼓勵讓我沒有放棄而有繼續做下去的動力！
- 六、這次的專題實驗讓我們瞭解到利用磁浮軸低阻力與風力發電相結合的原理和實作上可能的一些限制，但我們也發現未知的部分更多，我們希望將來可以深入學習發電的知識，可以真正做出高效率而且環保的發電機，為地球環保盡一份心力。

捌、 參考資料

- 一、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
- 二、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
- 三、張文亮。法拉第的故事(民國 90 年)，文經社，p167
- 四、牛山泉(民 100 年) 垂直軸風車 關和市 台大出版中心
- 五、牛山泉(民 99 年) 圖解風力發電入門 新北市 世茂出版
- 六、磁浮轉軸參考影片 https://www.youtube.com/watch?v=__KxFo9ATD4

【評語】 080108

有創新能改良軸承減少摩擦力，增加發電效果。