

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

080115

風磁變色

**【磁力輔助垂直式風力發電的可行性初探】**

學校名稱：金門縣金湖鎮金湖國民小學

作者：	指導老師：
小六 許淮瑞	李永欽
小六 楊舒絢	謝家耀
小六 林義昊	
小六 洪芊雅	
小四 王竣陞	
小四 陳廷瑞	

關鍵詞：磁力、風力發電、電壓

# 摘要

我們想到磁力在生活中無時無刻存在的，那結合風力發電，會如何呢？所以組成了研究小組，展開這次實驗活動。

研究顯示：(1)串連磁鐵數、磁鐵-鐵片接觸面積與磁吸拉力都呈正相關性。(2)磁鐵面對面角度、間距與相斥絕對走角都呈負相關性。(3)正轉走角與轉盤切角近正相關；反轉走角與轉盤切角近負相關性。(4)磁鐵與轉盤切角在 30~70 度間，正轉/反轉走角比值  $> 1$ ，最大比值為 1.55。(5)在內外磁鐵比值數為 8/4、4/8、8/8 時，會突破 cogging 現象獲得 1/2 圈。(6)第一代新式風磁發電機，磁鐵間距 6.3cm，協助增加 78% 發電量。(7) 第二代新式風磁發電機經過直流風洞場實驗，磁鐵間距 5.5cm，協助增加 70% 發電量。(8)攝影求出轉速證明→磁力協助風力發電的確是有效，風推轉速越大 cogging 就越小。

## 壹、研究動機

在六上課本中，有個單元是有關電生磁，我們想既然有電生磁，那就會有磁生電，雖然課本上有提到磁生電，可是如今都沒有人去用，加上最近全球暖化嚴重，所以我們需要新的替代能源，來使我們的生活更便利，因此我們想到磁力在生活中不是無時無刻存在的嗎？那結合風力發電，會如何呢？剛好我們金門地區有許多垂直式的風力發電，因此我們想出把它加上磁力，如此以來不一定要在風強的地方才能使用了！這個想法令我們十分興奮，所以下課後，大家聚在一起討論，磁鐵要放幾個？角度要傾斜幾度？要如何擺放？還有如何讓他轉動？等等問題，所以我們收集一些資料並請教老師，組成了一個磁力結合風力發電的研究小組，展開這次的實驗活動。

## 貳、研究目的

- 一、研究磁鐵串聯數、鐵片接觸面積與磁鐵吸拉力的關係。
- 二、研究磁鐵同極性不同面對面的距離、角度與相斥推動圓轉盤角度的關係。
- 三、研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與相斥推動圓轉盤角度的關係。
- 四、研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與正轉/反轉推動圓轉盤角度比值的關係。
- 五、研究內外轉盤磁鐵數比例與轉動角度的關係。
- 六、研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內 8 外 4)磁鐵間距離與發電量的關係。
- 七、研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內 8 外 4)磁鐵間角度與發電量的關係。
- 八、研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內 4 外 8)磁鐵間距離與發電量的關係。
- 九、研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內 4 外 8)磁鐵間角度與發電量的關係。
- 十、利用攝影轉速來驗證磁力轉盤協助風力發電的可行性。

# 參、文獻探討

## 一、磁鐵

磁鐵能夠產生磁場，吸引鐵磁性物質如鐵、鎳、鈷等金屬。將條形磁鐵的中點用細線懸掛起來，靜止的時候，它的兩端會各指向地球南方和北方，指向北方的一端稱為指北極或N極，指向南方的一端為指南極或S極。磁鐵與磁鐵之間，同極相排斥、異極相吸引。磁鐵可分為「永久磁鐵」與「非永久磁鐵」。永久磁鐵可以是天然產物，又稱天然磁石，也可以由人工製造（最強的磁鐵是釹磁鐵）。

## 二. 風力發電機種類

### (一) 水平軸式風力發電

水平軸式指的是葉輪圍繞一根水平軸旋轉，作功時葉輪的旋轉面與風向垂直。

#### 1.優點

- (1)葉片在整組發電機的一邊，有助於安定性。
- (2)葉片受風情況改變時，可調整葉片攻角(大型機現多為自動調整)。
- (3)受暴風雨時可遙控調整葉片角度,使受強風時減少結構損壞。
- (4)可將葉片設在高處,承受較高風速。
- (5)高塔設計容許風力發電機安置在不平地型及離岸地區，也可架設在樹林間。
- (6)絕大多數啟動扭力較足夠，可自動起動，不須助推。
- (7)可大型化，提高輸出功率。
- (8)平均單價較低。

#### 2.缺點

- (1)產生噪音大
- (2)需要強一點的風力才能夠發揮該有的電力輸出。(因設計上的技巧問題)
- (3)葉片容易損壞。
- (4)集電環要經常保養因為很容易氧化造成接觸不良。

### (二) 垂直軸式風力發電

葉輪圍繞一個垂直軸旋轉，最大優點是可接受來自任何方向的風，結構簡單。

#### 1.優點

- (1)不挑風向，不需要水平軸風力機的追風裝置。
- (2)各部件離地很近，容易維護。
- (3)結構設計簡化。
- (4)葉片安裝角(pitch angle)大，可降低高或低壓時的阻力。
- (5)可安裝在都會地區、台地、山丘頂、山脊等地，該處貼地有較強的風力。
- (6)可安裝在建築法規規定限高地區。
- (7)齒輪箱和發電機可以安裝在地面，對風力機維修服務也較便利。
- (8)不須塔架，節省部份經費。
- (9)轉速較慢，在強風中較無結構破壞問題。

#### 2.缺點：

- (1) 整體氣動效率較低，同樣功率條件下體積較大。
- (2) 軸心較長，而且是外掛，受結構與振動影響較大，體積有上限，功率輸出受限制。
- (3) 整體重量加在下軸承上，支撐線(guy wires)也加重在下軸承負荷。
- (4) 葉片一部份向風轉動(產生阻力)，一部份逆風前進(受風推動，但相對速度減少)，整體效率打折扣，能量轉換效率僅約水平軸風力機的 50% 或更低。

## 肆、研究設備及器材

### 一、研究器材：

表 4.1 研究器材

編號	設備名稱	數量	單位	備註
1	尺	1	支	圖 4.1
2	游標尺	1	支	
3	捲尺	1	個	
4	光碟片	1	包	圖 4.1
5	數位照相機	2	組	
6	電風扇	2	組	
7	熱熔膠槍	1	台	圖 4.1
8	各式強力磁鐵	1	組	圖 4.3、4.4
9	直流馬達	4	組	圖 4.1
10	三用電表	1	台	圖 4.2
11	粗吸管	14	包	
12	塑膠瓦楞紙	5	片	



圖 4.1 各式器材

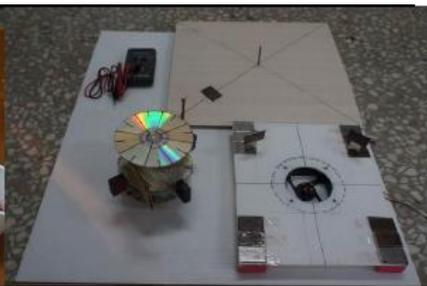


圖 4.2 實驗用 DIY 磁力轉盤



圖 4.3 各式強力磁鐵 1



圖 4.4 各式強力磁鐵 2

## 伍、研究過程與方法

### 一、設計及研製實驗磁力轉盤：

材料由老師購買，裁切及組裝由我們來幫忙，老師一步步的指導我們應該注意及小心的地方，最後終於完了磁力測試平台如下所示。



圖 5.1 測試平台材料切割

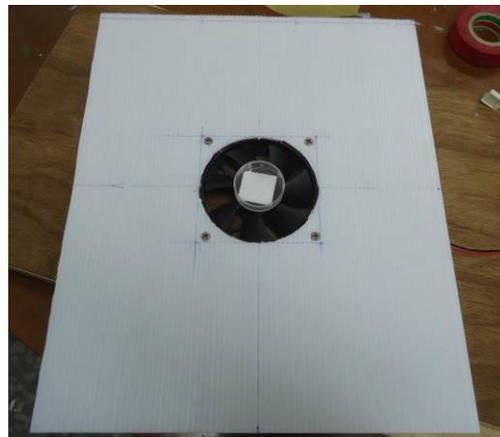


圖 5.2 測試平台組合



圖 5.3 測試平台上角度繪製

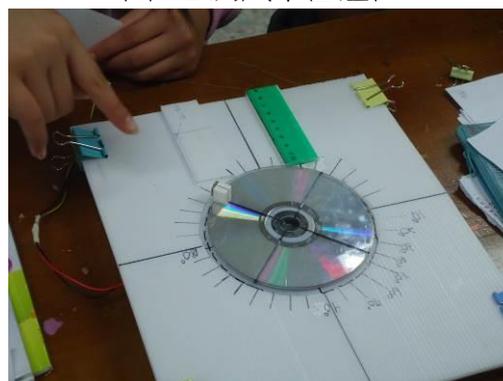


圖 5.4 整體設置完成及操作

### 二、正式試驗與步驟：

**【實驗一】** 研究磁鐵串聯數、鐵片接觸面積與磁鐵吸拉力的關係。

- (1)取同直徑 12mm 不同厚度(1、2、5mm)三種不同圓形強力磁鐵數顆，串聯相同強力磁鐵與鐵環接觸相吸，並利用彈簧秤測量拉開鐵環的磁鐵對鐵環吸拉力，並記錄拉力。
- (2)取不同厚度(2、5mm)二種不同強力磁鐵，分別與不同面積(0.13、0.45、0.91cm<sup>2</sup>)的鐵片相吸接觸，並利用彈簧秤測量拉開鐵片的磁鐵對鐵片吸拉力，並記錄拉力。

**【實驗二】** 研究磁鐵同極性不同面對面的距離、角度與相斥推動圓轉盤角度的關係。

- (1)取 2 顆直徑 12mm\*2mm 厚的強力磁鐵，同極性面對面貼合於直徑 12cm 的光碟圓轉盤上，一顆固定於轉盤內，一顆固定外盤上。
- (2)定面對面距離為 0.5、1、1.2、2、2.3、3cm，並配合面對面的角度 0、15、30、45、60、90 度，讓磁鐵相斥自轉，並記錄轉角。

**【實驗三】** 研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與相斥推動圓轉盤角度的關係。

(1)取面對面距離為 1cm 的同極性 12mm\*2mm 厚強力磁鐵，一顆固定於轉盤內，一顆固定外盤上。

(2)改變線對應轉盤切角 0、15、30、45、60 度，讓磁鐵相斥自轉，並記錄轉角。

**【實驗四】** 研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與正轉/反轉推動圓轉盤角度比值的關係。

(1)計算「實驗三」的正轉/反轉推動圓轉盤角度比值。

(2)分析正轉區與反轉區的分佈情形。

**【實驗五】** 研究內外轉盤磁鐵數比例與轉動角度的關係。

(1)改變內外轉盤磁鐵數分別為 1、2、4、8 顆比例。

(2)觀測轉盤轉動角度，並記錄。

**【實驗六】** 研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內 8 外 4)磁鐵間距離與發電量的關係。

(1)以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的第一代新式風磁發電機 A進行實驗。

(2)利用電風扇弱、中、強風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間距離，並記錄發電直流電壓。

**【實驗七】** 研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內 8 外 4)磁鐵間角度與發電量的關係，並提出最佳建議。

(1)以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的發電機進行實驗。

(2)利用電風扇弱、中、強風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間角度，並記錄發電直流電壓。

**【實驗八】** 研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內 4 外 8)磁鐵間距離與發電量的關係。

(1)以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的第二代新式風磁發電機 B進行實驗。

(2)利用電風扇外加 DIY 風洞實驗組取得弱、中、強直流風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間距離，並記錄發電直流電壓。

**【實驗九】** 研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內 4 外 8)磁鐵間角度與發電量的關係，並提出最佳建議。

(1)以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的發電機進行實驗。

(2)利用電風扇外加 DIY 風洞實驗組取得弱、中、強直流風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間角度，並記錄發電直流電壓。

**【實驗十】** 利用攝影轉速來驗證磁力轉盤協助風力發電的可行性。

(1)以【實驗八】【實驗九】的最佳結果，並在風力機組單葉片扇上色記號，進行新式風磁發電機 B 實驗。

(2)利用電風扇外加 DIY 風洞實驗組取得弱、中、強直流風力推動風磁發電機，利用數位攝影機攝影及 PowerDirector12 影片製作軟體分析，記錄攝影檔案及時間，並求得每 10 秒風磁發電機轉動圈數。

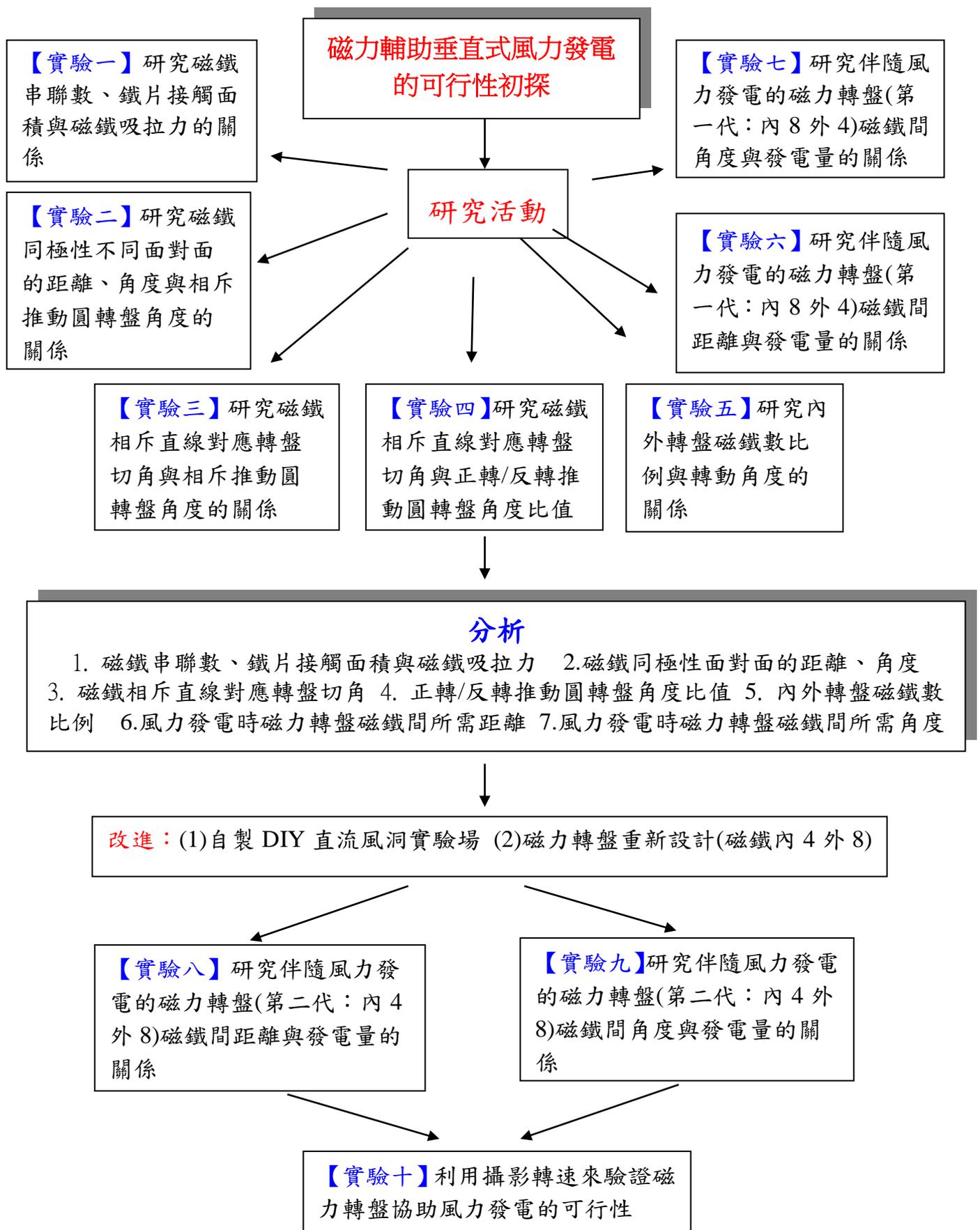


圖 5.5 研究流程



圖 5.6 直流馬達測試平台

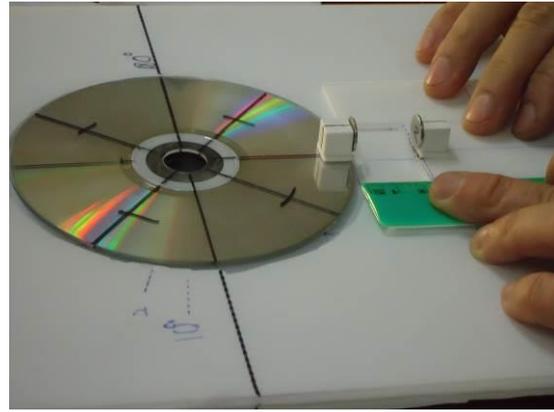


圖 5.7 磁鐵走角量測情形

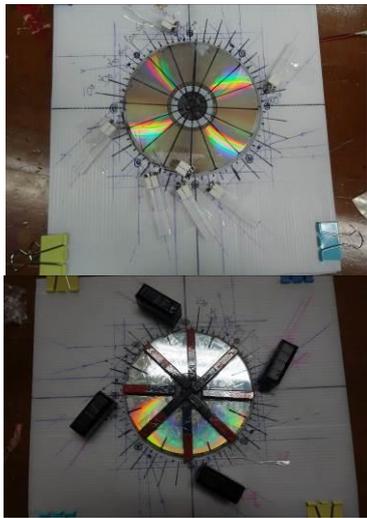


圖 5.8 各式磁推實驗組合

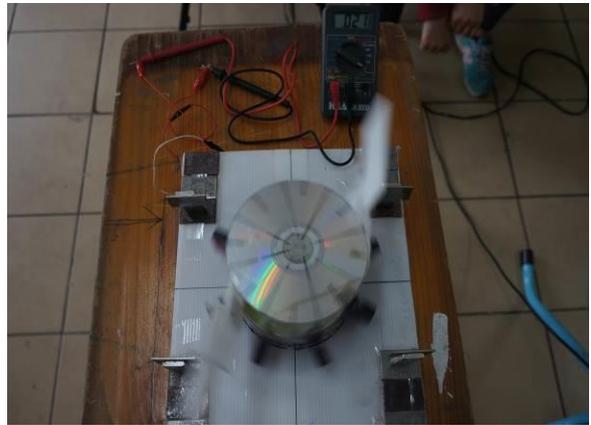
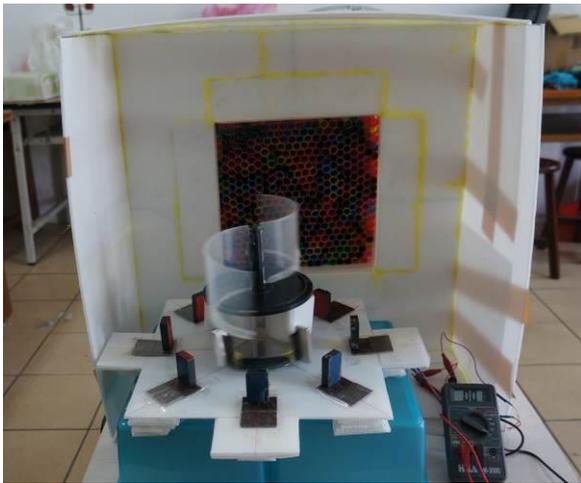


圖 5.9 第一代新式風磁發電機實驗



5.10 第二代新式風磁發電機實驗



圖 5.11 小組討論情形

## 陸、研究結果

### 【實驗一】研究磁鐵串聯數、鐵片接觸面積與磁鐵吸拉力的關係

磁鐵厚度(mm)	磁鐵串聯數(個)	磁拉力測量(gw)					平均
		1	2	3	4	5	
1mm	1	15	15	10	10	10	12.0
	2	20	25	25	20	20	22.0
	3	30	30	30	30	30	30.0
	4	35	35	35.0	40	40	37.0
	5	40	40	40	45	40	41.0
2mm	1	20	15	20	20	20	19.0
	2	30	30	30	35	35	32.0
	3	40	40	40.0	40	40	40.0
	4	45	42	45.0	42	43	43.4
	5	45	45	48.0	47	48	46.6
5mm	1	40	40	43	43	40	41.2
	2	55	58	55	58	58	56.8
	3	65	58	55.0	58	58	58.8
	4	65	65	65.0	70	60	65.0

磁鐵厚度(mm)	磁鐵與鐵片接觸面積(cm <sup>2</sup> )	磁拉力測量(gw)					平均
		1	2	3	4	5	
2mm	0.125	30	30	30.0	30	30	30.0
	0.4515	65	65	65.0	65	70	66.0
	0.91	100	100	110.0	110	110	106.0
5mm	0.125	40	40	43.0	43	40	41.2
	0.4515	150	190	170.0	180	150	168.0
	0.91	230	270	250.0	250	260	252.0

### 【實驗二】研究磁鐵同極性不同面對面的距離、角度與相斥推動圓轉盤角度的關係

#### 兩磁鐵距離 3cm

		磁鐵面對角度					
		0	15	30	45	60	90
走角測量 次數	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0

	5	0	0	0	0	0	0
	平均	0	0	0	0	0	0

**兩磁鐵距離 2.3cm**

		磁鐵面對角度					
		0	15	30	45	60	90
走角測量 次數	1	30	20	18	0	0	0
	2	30	25	20	0	0	0
	3	25	20	20	0	0	0
	4	28	20	15	0	0	0
	5	33	20	18	0	0	0
	平均	29.2	21	18.2	0	0	0

**兩磁鐵距離 2cm**

		磁鐵面對角度					
		0	15	30	45	60	90
走角測量 次數	1	40	30	20	15	12	5
	2	40	30	20	15	12	5
	3	40	30	20	15	13	5
	4	40	30	20	15	12	5
	5	40	30	20	15	12	5
	平均	40	30	20	15	12.2	5

**兩磁鐵距離 1.5cm**

		磁鐵面對角度					
		0	15	30	45	60	90
走角測量 次數	1	88	73	40	28	20	10
	2	85	30	40	28	20	10
	3	85	30	40	25	21	10
	4	88	73	38	28	21	11
	5	83	70	38	25	23	11
	平均	85.8	55.2	39.2	26.8	21	10.4

**兩磁鐵距離 1cm**

		磁鐵面對角度					
		0	15	30	45	60	90
走角測量 次數	1	135	125	110	55	45	5
	2	130	130	90	40	40	5
	3	150	125	120	40	45	5
	4	150	130	90	55	40	5
	5	160	130	90	50	30	5
	平均	145	128	100	48	40	5

**兩磁鐵距離 0.5cm**

		磁鐵面對角度					
		0	15	30	45	60	90

走角測量 次數	1	415	325	230	145	110	5
	2	420	270	225	155	133	5
	3	350	275	250	150	155	5
	4	340	320	228	175	150	5
	5	360	290	175	160	140	5
	平均	377	296	221.6	157	137.6	5

【實驗三】研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與相斥推動圓轉盤角度的關係													
		磁鐵相斥直線對應轉盤切角角度(度)											
		0		15		30		45		60		90	
		正轉	反轉	正轉	反轉	正轉	反轉	正轉	反轉	正轉	反轉	正轉	反轉
走角測量 次數(度)	1	660	670	610.0	650	660	660.0	710	550	550.0	405	--	--
	2	570	690	670.0	630	690	670.0	670	430	530.0	415	--	--
	3	660	690	620.0	700	670	680.0	660	450	590.0	405	--	--
	4	67	670	670.0	670	670	675.0	715	450	600.0	400	--	--
	5	560	710	610.0	720	670	680.0	680	500	530.0	390	--	--
	平均	503.4	686	636	674	672	673	687	476	560	403	--	--
正轉/反轉		0.733819		0.94362		0.998514		1.443277		1.389578		--	

【實驗六】研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內8外4)磁鐵間距離與發電量的關係													
【實驗七】研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內8外4)磁鐵間角度與發電量的關係													
轉盤磁鐵間距離	外磁角度(度)	風速(m/s)	風力+磁力的發電直流電壓(V)					平均	電壓增加量(V)	電壓增加率(%)			
			1	2	3	4	5				平均		
無磁	0	小風0.85	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.0024					
		中風1.08	0.003	0.003	0.004	0.007	0.008	0.005					
		大風1.2	0.007	0.007	0.006	0.007	0.008	0.007					
8cm	45	小風0.85	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.0034	0.001	41.7	37.7		
		中風1.08	0.007	0.006	0.007	0.007	0.008	0.007	0.002	40.0			
		大風1.2	0.01	0.01	0.008	0.01	0.008	0.0092	0.0022	31.4			
8cm	0	小風0.85	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.0026	108.3	70.0		
		中風1.08	0.007	0.008	0.008	0.007	0.009	0.0078	0.0028	56.0			
		大風1.2	0.009	0.01	0.011	0.011	0.01	0.0102	0.0032	45.7			
8cm	-45	小風0.85	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.0028	0.0004	16.7	28.0		
		中風1.08	0.006	0.007	0.008	0.007	0.006	0.0068	0.0018	36.0			
		大風1.2	0.01	0.011	0.009	0.008	0.008	0.0092	0.0022	31.4			
6cm	45	小風0.85	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.0038	0.0014	58.3	50.1		
		中風1.08	0.007	0.007	0.007	0.009	0.008	0.0076	0.0026	52.0			
		大風1.2	0.01	0.01	0.01	0.009	0.01	0.0098	0.0028	40.0			
6cm	0	小風0.85	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.0054	0.003	125.0	77.9		
		中風1.08	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	0.008	0.003	60.0			
		大風1.2	0.01	0.01	0.011	0.011	0.01	0.0104	0.0034	48.6			
6cm	-45	小風0.85	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.0006	25.0	35.4		
		中風1.08	0.006	0.007	0.008	0.008	0.007	0.0072	0.0022	44.0			
		大風1.2	0.011	0.01	0.009	0.009	0.009	0.0096	0.0026	37.1			

4cm	45	小風0.85	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.0036	0.0012	50.0	42.8
		中風1.08	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.0072	0.0022	44.0	
		大風1.2	0.009	0.01	0.01	0.008	0.01	0.0094	0.0024	34.3	
4cm	0	小風0.85	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.0038	0.0014	58.3	47.8
		中風1.08	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.0074	0.0024	48.0	
		大風1.2	0.009	0.009	0.01	0.01	0.01	0.0096	0.0026	37.1	
4cm	-45	小風0.85	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.0026	0.0002	8.3	8.9
		中風1.08	0.005	0.004	0.005	0.006	0.006	0.0052	0.0002	4.0	
		大風1.2	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	14.3	

【實驗八】研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內4外8)磁鐵間距離與發電量的關係

【實驗九】研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內4外8)磁鐵間角度與發電量的關係

轉盤磁鐵間距離	外磁角度(度)	風速(m/s)	風力+磁力的發電直流電壓(V)					平均	電壓增加量(V)	電壓增加率(%)	
			1	2	3	4	5			增加率	平均
無磁	0	小風0.69	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.0024			
		中風0.82	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.0052			
		大風0.93	0.006	0.007	0.006	0.005	0.006	0.006			
7.5cm	0	小風0.69	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	0.0044	0.002	83.3	37.4
		中風0.82	0.005	0.007	0.005	0.007	0.006	0.006	0.0008	15.4	
		大風0.93	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.0068	0.0008	13.3	
7.5cm	45	小風0.69	0.004	0.004	0.004	0.003	0.005	0.004	0.0016	66.7	28.3
		中風0.82	0.005	0.006	0.007	0.005	0.006	0.0058	0.0006	11.5	
		大風0.93	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.0064	0.0004	6.7	
7.5cm	90	小風0.69	0.004	0.004	0.002	0.003	0.002	0.003	0.0006	25.0	8.3
		中風0.82	0.006	0.005	0.004	0.006	0.005	0.0052	0	0.0	
		大風0.93	0.006	0.007	0.006	0.005	0.006	0.006	0	0.0	
7.5cm	4組磁推	小風0.69	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.0038	0.0014	58.3	31.4
		中風0.82	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.0062	0.001	19.2	
		大風0.93	0.007	0.008	0.007	0.007	0.006	0.007	0.001	16.7	
5.5cm	0	小風0.69	0.006	0.006	0.005	0.005	0.006	0.0056	0.0032	133.3	69.5
		中風0.82	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.0072	0.002	38.5	
		大風0.93	0.01	0.009	0.007	0.006	0.009	0.0082	0.0022	36.7	
5.5cm	45	小風0.69	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.0046	0.0022	91.7	49.7
		中風0.82	0.007	0.006	0.006	0.007	0.008	0.0068	0.0016	30.8	
		大風0.93	0.007	0.006	0.007	0.009	0.009	0.0076	0.0016	26.7	
5.5cm	90	小風0.69	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.0038	0.0014	58.3	24.2
		中風0.82	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.0056	0.0004	7.7	
		大風0.93	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006	0.0064	0.0004	6.7	
5.5cm	4組磁推	小風0.69	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.0016	66.7	36.8
		中風0.82	0.006	0.006	0.006	0.008	0.007	0.0066	0.0014	26.9	
		大風0.93	0.008	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007	0.001	16.7	

3.5cm	0	小風0.69	0.003	0.005	0.005	0.005	0.004	0.0044	0.002	83.3	42.3
		中風0.82	0.006	0.007	0.007	0.007	0.006	0.0066	0.0014	26.9	
		大風0.93	0.008	0.006	0.006	0.008	0.007	0.007	0.001	16.7	
3.5cm	45	小風0.69	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.0022	-0.0002	-8.3	-5.2
		中風0.82	0.005	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	-0.0002	-3.8	
		大風0.93	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0058	-0.0002	-3.3	
3.5cm	90	小風0.69	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.0012	-0.0012	-50.0	-25.3
		中風0.82	0.004	0.003	0.005	0.005	0.004	0.0042	-0.001	-19.2	
		大風0.93	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.0056	-0.0004	-6.7	
3.5cm	4組磁推	小風0.69	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.0028	0.0004	16.7	13.7
		中風0.82	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.0056	0.0004	7.7	
		大風0.93	0.007	0.006	0.008	0.007	0.007	0.007	0.001	16.7	

### 【實驗十】利用攝影轉速來驗證磁力轉盤協助風力發電的可行性

風速(m/s)	風力機轉速(轉/10秒)					平均	分轉速(rpm)
	1	2	3	4	5		
風力+無磁轉速							
小風0.69	22.250	22.250	23.000	22.500	22.750	22.550	135.3
中風0.82	28.500	28.500	28.000	28.125	28.125	28.250	169.5
大風0.93	32.750	32.750	32.000	32.250	32.750	32.500	195.0
風力+有磁轉速							
小風0.69	23.500	23.250	23.000	23.000	23.250	23.200	139.2
中風0.82	28.500	29.000	28.750	29.000	29.125	28.875	173.3
大風0.93	35.250	35.000	35.000	34.750	35.000	35.000	210.0

## 柒、討論

【實驗一】研究磁鐵串聯數、鐵片接觸面積與磁鐵吸拉力的關係。

<方法>(1)取直徑 12mm 厚度(1、2、5mm)三種不同圓形強力磁鐵，串聯相同強力磁鐵與鐵環接觸相吸，並利用彈簧秤測量磁鐵吸拉力，記錄並繪出串聯磁鐵數 vs 磁鐵對鐵片的吸拉力圖，如下圖所示。(2) 取不同厚度(2、5mm)強力磁鐵，與不同面積(0.13、0.45、0.91cm<sup>2</sup>)的鐵片接觸相吸，並利用彈簧秤測量拉開鐵片的磁吸拉力，記錄並繪出磁鐵與鐵片接觸面積 vs 磁鐵對鐵片的吸拉力圖，如下圖所示。

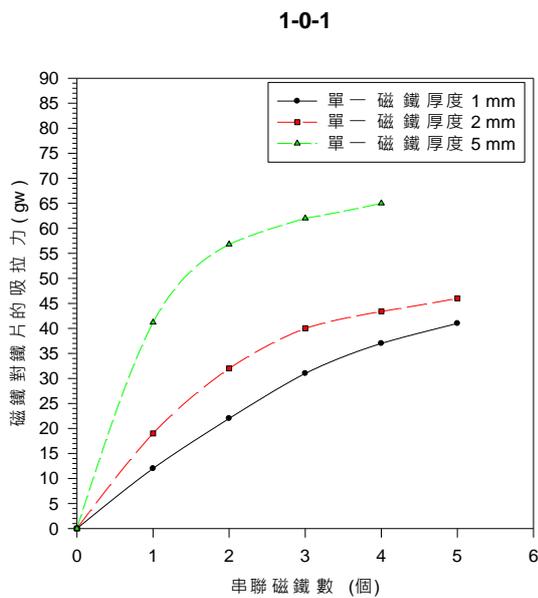


圖 7.1 磁鐵拉力 vs 串聯磁鐵數關係圖

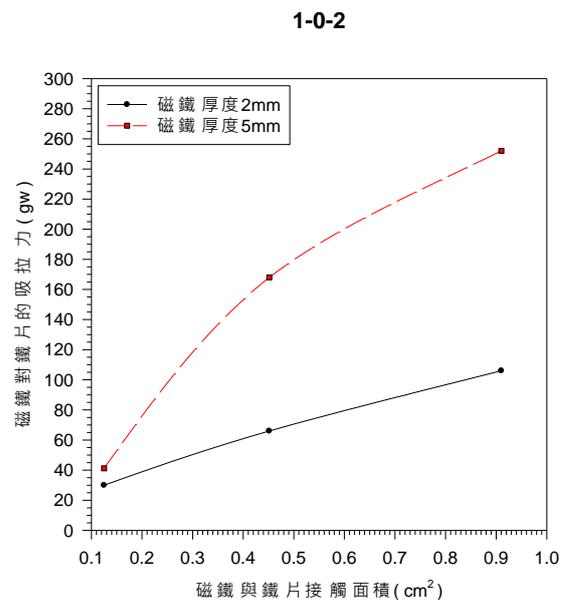


圖 7.2 磁鐵拉力 vs 磁鐵與鐵片接觸面積關係圖



圖 7.3 串聯磁鐵數量測磁拉力情形



圖 7.4 不同接觸面積量測磁拉力情形

### <結果>

1. 磁鐵厚度與磁鐵的吸拉力呈正相關性。
2. 串聯磁鐵數與磁鐵的吸拉力呈正相關性。
3. 磁鐵-鐵片接觸面積與磁鐵的吸拉力呈正相關性。
4. 串聯磁鐵愈多，吸拉力愈強。但串連 3 個磁鐵就可達到串連 5 個磁鐵的 80%磁拉力。
5. 磁鐵與鐵片接觸面積越大磁拉力就越大。接觸面積(0.13、0.45、0.91cm<sup>2</sup>)，會使厚度 5mm 磁鐵產生(40gw、170gw、250gw)拉力，會使厚度 2mm 磁鐵產生(30gw、65gw、110gw) 拉力。

### <發現>

串連磁鐵數和磁鐵對鐵片的吸拉力呈正相關性，磁鐵愈厚→磁吸力愈強；串連磁鐵數愈多→磁吸力愈大，但串連 3 個磁鐵就可達到串連 5 個磁鐵的 80%磁拉力，磁力越強的越明顯，為了經濟效益建議最多串連三個即可。磁鐵-鐵片接觸面積與磁鐵對鐵片的吸拉力呈正相關性，接觸面積愈大→磁吸力愈強。

**【實驗二】** 研究兩同極性磁鐵的間距、角度與相斥推動圓轉盤角度的關係。

<方法>取 2 顆直徑 12mm\*2mm 厚的強力磁鐵，同極性面對面貼合於直徑 12cm 的光碟圓轉盤上，一顆固定於轉盤內，一顆固定外盤上，定面對面距離為 0.5、1、1.2、2、2.3、3cm，並配合面對面的角度 0、15、30、45、60、90 度，讓磁鐵相斥自轉，記錄並繪出磁鐵相斥走角 vs 磁鐵面對面角度圖，如下圖所示。

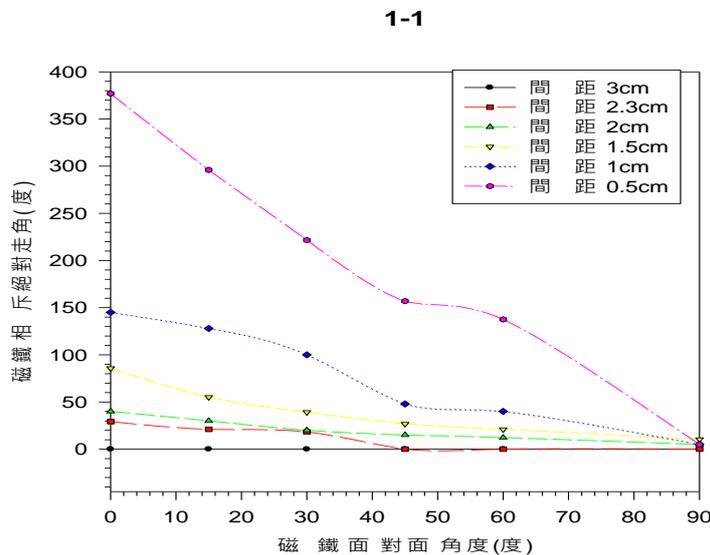


圖 7.5 磁鐵相斥走角 vs 磁鐵面對面角度關係圖

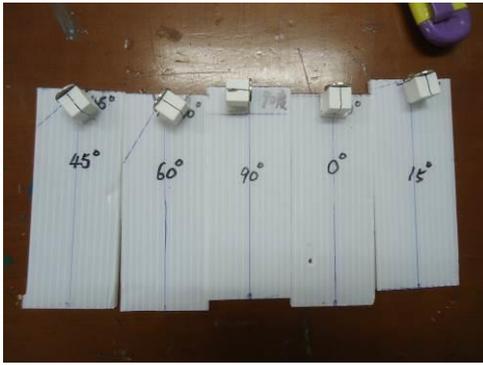


圖 7.6 DIY 各種角度實驗用強力磁鐵



圖 7.7 小組實驗操作情形



圖 7.8 磁相斥推動圓轉盤情形

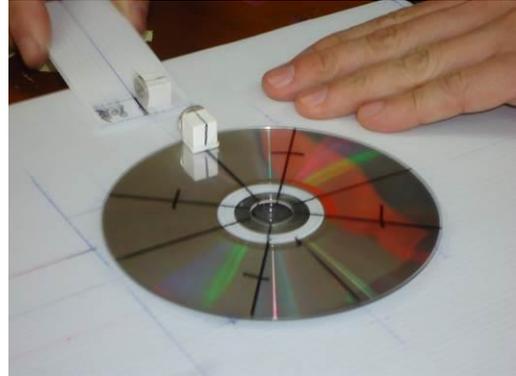


圖 7.9 磁相斥推動圓轉盤情形



圖 7.10 磁相斥 0 度磁力線鐵粉分佈情形

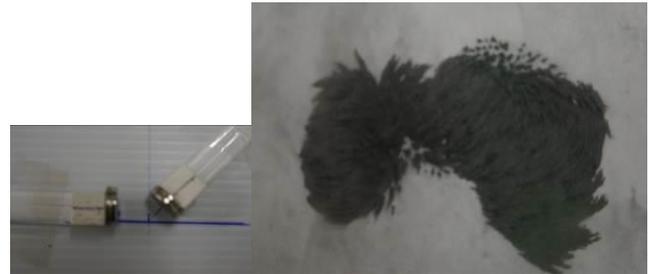


圖 7.11 磁相斥 45 度磁力線鐵粉分佈情形

### <結果>

1. 兩磁鐵面對面的角度與相斥絕對走角有負相對性，面對面的角度越大，相斥絕對走角反而越小。
2. 兩磁鐵面對面的間距與相斥絕對走角有負相對性，距離越近磁力反而越大。
3. 兩磁鐵間距 0.5cm 面對呈 0 度，磁推力約為 380 度。
4. 不論兩磁鐵間距為何，只要兩磁鐵面對呈 90 度，磁推力約為 0 度。

### <發現>

磁鐵面對面的角度、間距與相斥絕對走角都呈負相對性。面對的角度越大→磁力越小；面對的間距越大→磁力越小。

**【實驗三】** 研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與相斥推動圓轉盤角度的關係。

<方法>取面對面距離為 1cm 的同極性 12mm\*2mm 厚強力磁鐵，一顆固定於轉盤內，一顆固定外盤上，改變線對應轉盤切角 0、15、30、45、60 度，讓磁鐵相斥自轉，記錄並繪出磁鐵

相斥走角 vs 磁鐵相斥直線對應轉盤切角圖，如下圖所示。

3-1-1

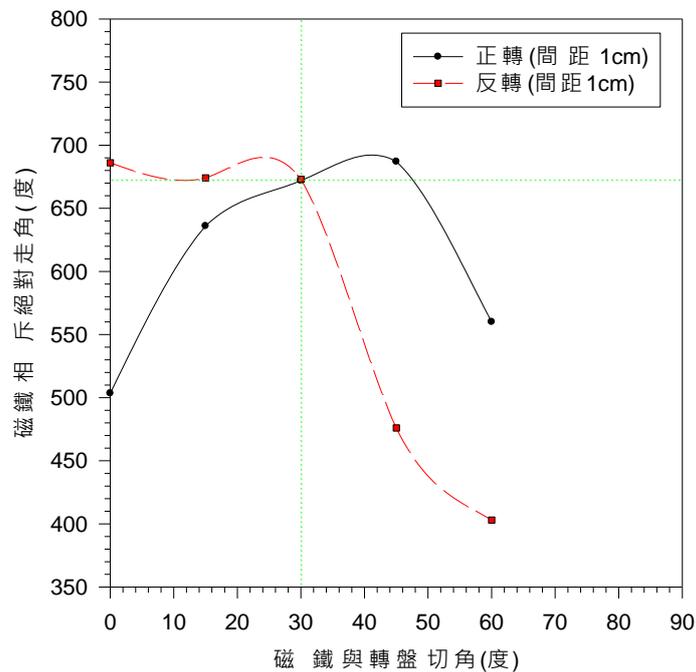


圖 7.12 磁鐵相斥走角 vs 磁鐵相斥直線對應轉盤切角關係圖

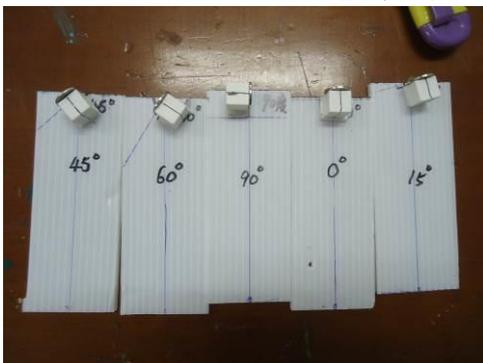


圖 7.13 各種角度實驗用強力磁鐵

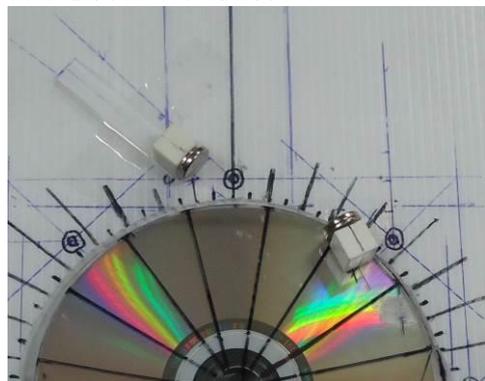


圖 7.14 改變轉盤切角推動圓轉盤情形

<結果>

1. 正轉及反轉所獲得走角與轉盤切角有相關性。正轉走角與轉盤切角近正相關性；反轉走角與轉盤切角近負相關性。
2. 全程獲得最大走角為正轉與轉盤切角約 41 度，獲得約 790 度走角；全程獲得最小走角為反轉與轉盤切角約 60 度，獲得約 400 度走角。
3. 與轉盤切角=30 度時，正轉與反轉有交叉點，獲得一致的走角，約 670 度。

<發現>

正轉走角與轉盤切角近正相關性；反轉走角與轉盤切角近負相關性。與轉盤切角=30 度時，正轉與反轉有交叉點，約 670 度走角。與轉盤切角 < 30 度 → 走角(反轉 > 正轉)；

與轉盤切角  $> 30$  度  $\rightarrow$  走角(正轉  $>$  反轉)。

### <探究分析>

磁力同極相斥、異極相吸，在這次的實驗驗證了，有時吸引有排斥，要讓物體同方向運動，真的不容易，關鍵的地方就是需要控制好轉盤切角，轉盤切角為  $30$  度時為交叉點，但多大的角度會讓正轉/反轉走距比值為最大，好讓控制正轉效果最佳，所以我們必需進行下面的研究。

【實驗四】研究磁鐵相斥直線對應轉盤切角與正轉/反轉推動圓轉盤角度比值的關係。

<方法>計算「實驗三」的正轉/反轉推動圓轉盤角度比值，分析正轉區與反轉區的分佈情形，並繪出正轉/反轉走距比值 VS 磁鐵與轉盤切角圖，如下圖所示。

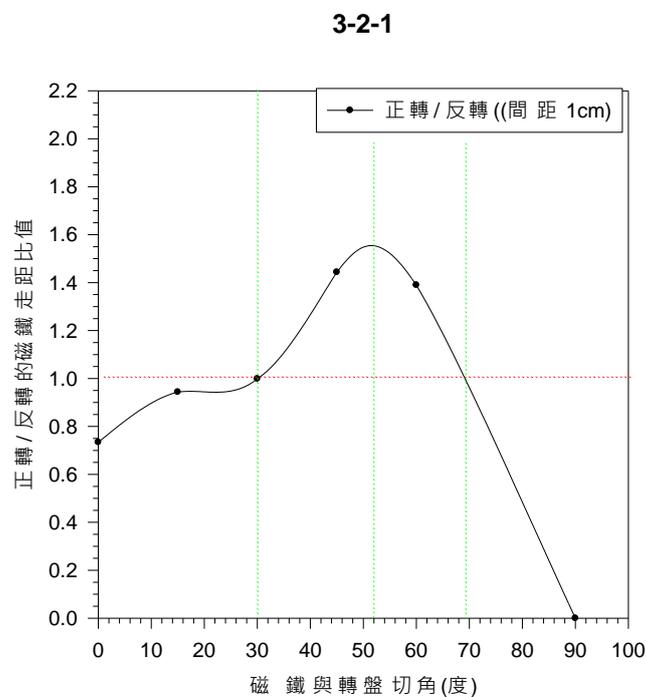


圖 7.15 正轉/反轉走距比值 VS 磁鐵與轉盤切角關係圖

### <結果>

1. 正轉/反轉走角比值與磁鐵與轉盤切角具相關性。
2. 磁鐵與轉盤切角在  $30\sim 70$  度間，正轉/反轉走角比值  $> 1$ 。
3. 正轉/反轉走角比值，在磁鐵與轉盤切角  $0\sim 52$  度，呈增加趨勢；在磁鐵與轉盤切角  $52\sim 90$  度，呈減少趨勢。
4. 磁鐵與轉盤切角為  $52$  度時，有最大的正轉/反轉走角比值為  $1.55$ 。

### <發現>

正轉/反轉走角比值與磁鐵與轉盤切角具相關，磁鐵與轉盤切角在 30~70 度間，正轉/反轉走角比值 > 1。磁鐵與轉盤切角為 52 度時，有最大的正轉/反轉走角比值為 1.55。

<探究分析>

磁力的推及吸還真複雜，想要讓磁力有最力的推力比，就必需控制磁鐵與轉盤切角在 30~70 度間，最好是 52 度，推力比為最大。

【實驗五】研究內外轉盤磁鐵數比例與轉動角度的關係。

<方法>改變內外轉盤磁鐵數分別為 1、2、4、8 顆比例，觀測轉盤轉動角度，並比較內、外盤磁鐵數比例，所造成的轉動圈數大小。

轉動圈數		內盤磁鐵數					
		1	2	4	8		
外盤磁鐵數	1	1 圈	1/2 圈	1/4 圈	1/8 圈		
	2	1/2 圈	1/2 圈	1/4 圈	1/8 圈		
	4	1/4 圈	1/4 圈	1/4 圈	1/2 圈		
	8	1/8 圈	1/8 圈	1/2 圈	1/2 圈		

【實驗四】研究內外轉盤磁鐵數比例與轉動角度的關係。(設定磁鐵與轉盤切角為 52 度)

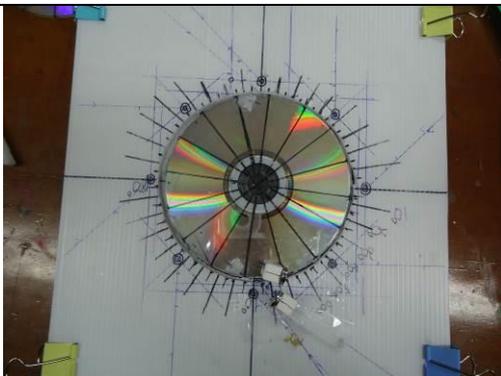


圖 7.16 內/外=1/1



圖 7.17 內/外=1/2

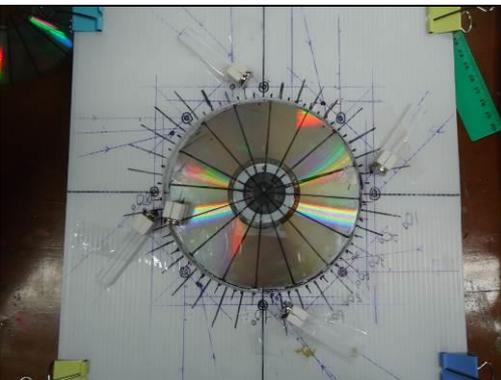


圖 7.18 內/外=1/4



圖 7.19 內/外=1/8

### <結果>

1. 內外轉盤磁鐵數比例為 1/1 時，會轉 1 圈後即磁齒了。
2. 在內外磁鐵比值數為 8/4、4/8、8/8 時，會突破磁齒現象而多轉一些，獲得 1/2 圈。
3. 但設定磁鐵與轉盤切角為 52 度，會有最佳磁推力效果，但最多推力圈數不會大於 1 圈。

### <發現>

設定磁鐵與轉盤切角為 52 度，最大磁推圈數也不會大於 1，真的很有失落感，但可以證明一件事就是-----磁推力突破磁齒現象而獲得的最大走角為 1/2 圈，也就是可助推 1/2 圈。

### <探究分析 >

在實驗的過程中，我們發現磁吸力比我們想像的大，磁推動後下一關就是磁吸，往往因為轉盤的轉動讓磁鐵與轉盤切角會有所轉變，進而進入正轉/反轉走角比值小於 1，也就是吸力>推力，而讓轉盤減速轉動，我們上網查相關資料發現，這就是所謂的磁齒現象 (cogging)，磁推磁吸瞬間產生，就好像齒輪一凸一凹的咬合，網路很多成功的永動純磁機，大部分是騙人的，因為有磁齒現象(cogging)而讓純磁動機成功率大減，但若是已經會轉動的風力機，會不會再加上磁力的幫助而多轉 1/2 圈，進而讓發電量增加呢？所以我們又設計了 DIY 垂直式風力發電機+磁力協助組，看看效果如何？

**【實驗六】** 研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內 8 外 4)磁鐵間距離與發電量的關係。  
<方法>以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例(內 8 外 4 的比例)，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的**第一代新式風磁發電機 A**進行實驗，利用電風扇最強風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間距離，並繪出發電直流電壓 VS 磁鐵間距離圖，如下圖所示。

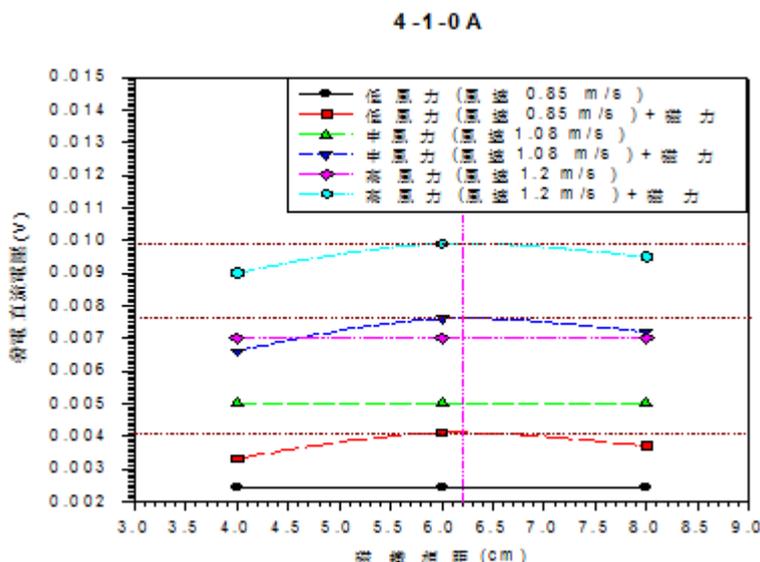


圖 7.20 發電直流電壓 VS 磁鐵間距離關係圖

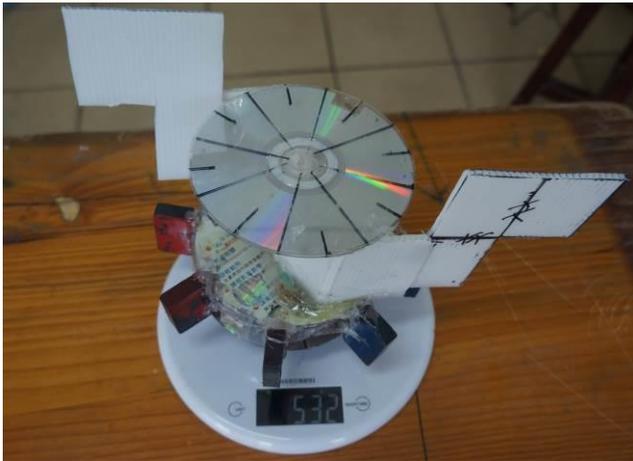


圖 7.21 第一代新式風磁發電機(重 532g)

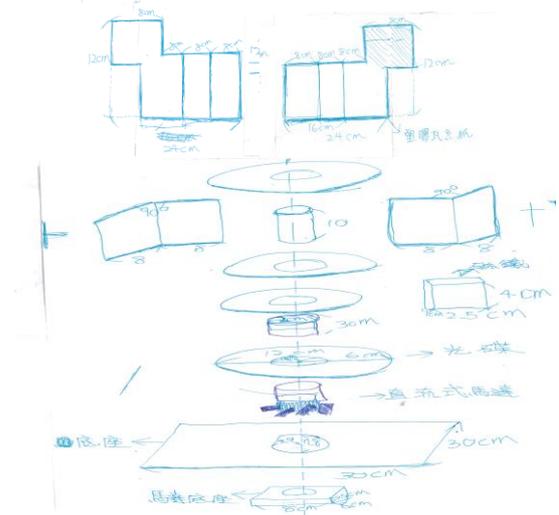
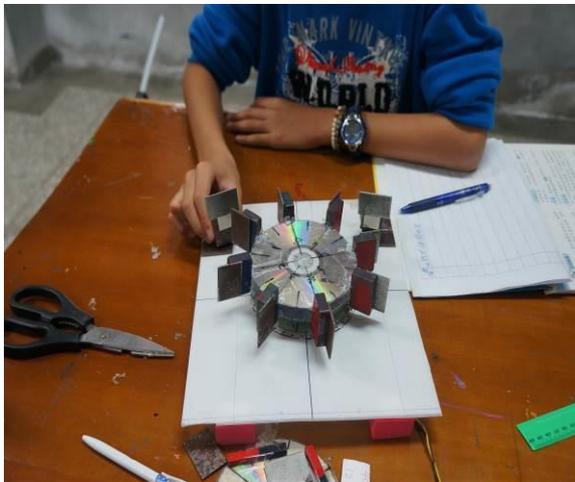


圖 7.22 第一代新式風磁發電機設計圖(爆炸圖)



電風扇無風洞處理的渦流風現象(持續晃動)

圖 7.23 風力為主+磁力為輔的發電組運作情形

### <結果>

1. 有風速的協助，但無磁協助的垂直式風力發電，低風速(0.85m/s)平均發電直流電壓 DC 為 0.0024V、中風速(1.08m/s) 發電直流電壓為 0.005 V、高風速(1.2m/s) 發電直流電壓為 0.007 V。
2. 不論低、中、高風力風速+磁力的風力發電，的確都有增加發電量的情形，在平均磁鐵間距為 6.2cm 處，都有最大的綜合發電量，低風速+磁力為 0.0041V、中風速+磁力為 0.0076V、高風速+磁力為 0.0099V。

### <發現>

磁力協助風力發電是有效果的，但不是磁鐵越接近越好，太接近有可能會產生磁齒現象(cogging)，以本組的實驗為例，磁鐵間距離 6.2cm 為最佳發電磁鐵間距。

**【實驗七】**研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第一代：內 8 外 4)磁鐵間角度與發電量的關係，並提出最佳建議。

<方法>以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的發電機進行實驗。利用電風扇強風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間角度，記錄發電直流電壓。並繪出增加發電率 VS 磁鐵間距離及磁鐵間角度圖，如下圖所示。

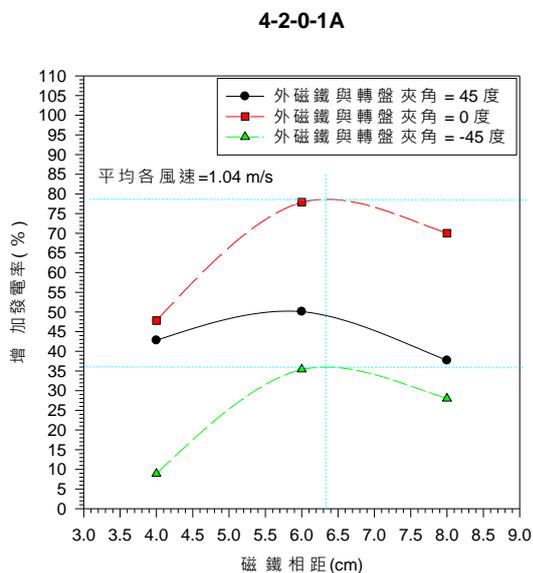


圖 7.24 增加發電率 VS 磁鐵間距離之關係圖

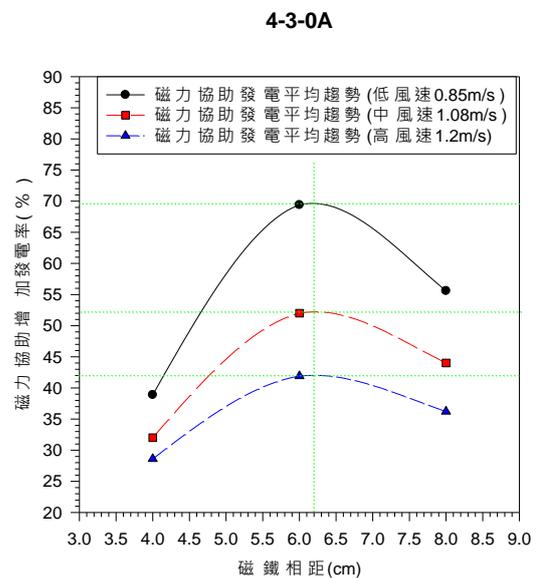


圖 7.25 增加發電率 VS 磁鐵間距離之平均圖

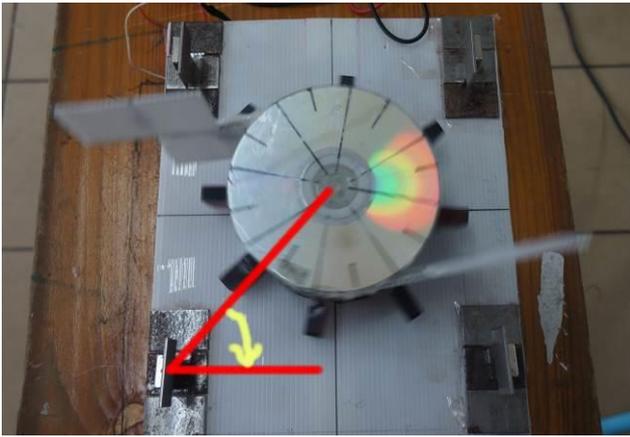


圖 7.26 改變外磁鐵與磁力轉盤夾角為 45 度協助風力發電的情形

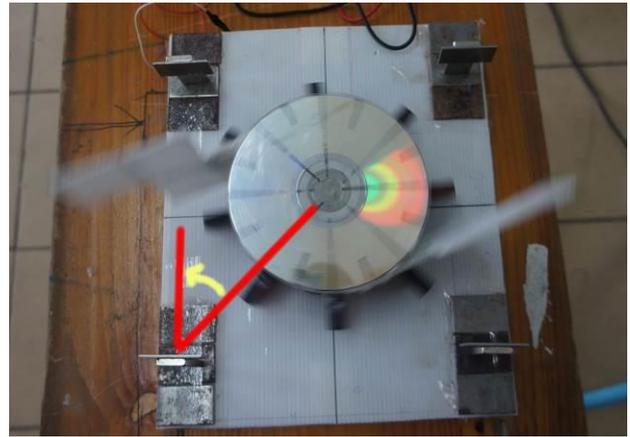


圖 7.27 改變外磁鐵與磁力轉盤夾角為-45 度協助風力發電的情形

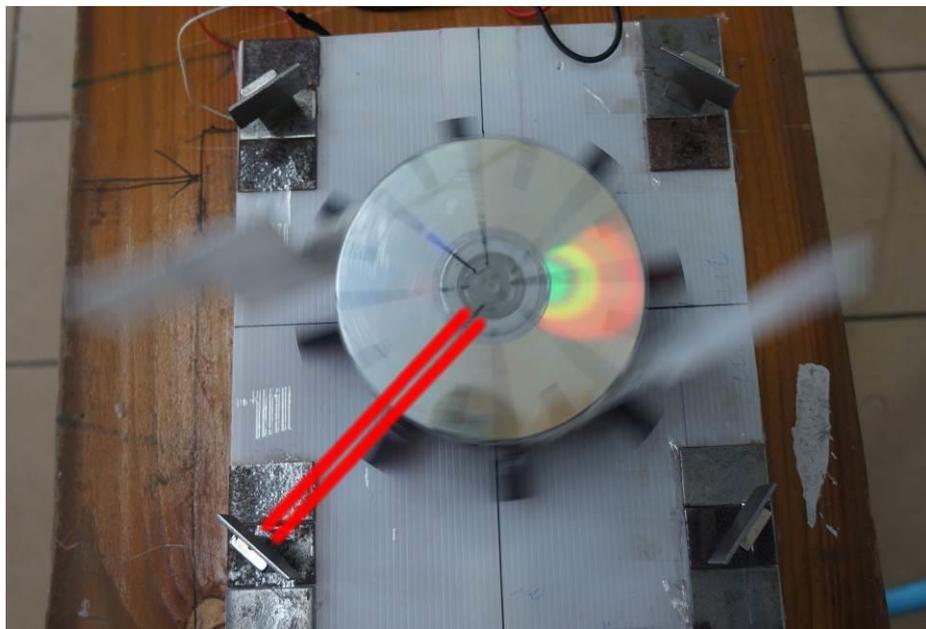


圖 7.28 改變外磁鐵與磁力轉盤夾角為 0 度協助風力發電的情形

### <結果>

1. 外磁鐵與轉盤夾角-45 度，磁鐵間距為 6.3cm，有最大發電量，可增加約 31%的電量。
2. 外磁鐵與轉盤夾角 0 度，磁鐵間距為 6.3cm，有最大發電量，可增加約 78%的電量。
3. 不管外磁鐵與轉盤夾角為何，平均趨勢磁鐵間距為 6.2cm，平均磁力可以協助增加最大發電率：在低風速為+69%、中風速為+52%、高風速為+42%。

### <發現>

磁力協助增加發電率在低風速時效果較佳，外磁鐵與轉盤夾角 0 度、磁鐵間距 6.3cm 時，協助發電量為最大，所以建議外磁鐵與轉盤夾角採取 0 度為最佳角度，磁鐵間距採用 6.3cm 為最佳間距，即可獲得為最佳發電量。

### <探究分析 >

在實驗的過程中，我們發現幾個問題：(1)風力的控制問題比我們想像的大，不同的風扇角度會造成不同風向，也會產生渦流現象，造成實驗誤差變大。(2)磁力轉盤設計(磁鐵內 8 外 4)過重(重 532g)，造成只能使用較大風力風扇來實驗。所以我們決定自製 DIY 直流風洞實驗場以獲取模擬的直流自然風，並改進磁力轉盤設計為(磁鐵內 4 外 8)重量為 271g(減少 49%的重量)，希望能改進我們所提的缺點，進行以下的實驗。

**【實驗八】** 研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內 4 外 8)磁鐵間距離與發電量的關係。

<方法>以**【實驗五】**結果的最佳磁鐵數比例(內 4 外 8 的比例)，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的**第二代新式風磁發電機 B**進行實驗，利用**電風扇外加 DIY 風洞實驗組**取得弱、中、強直流風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間距離，並繪出發電直流電壓 VS 磁鐵間距離圖，如下圖所示。

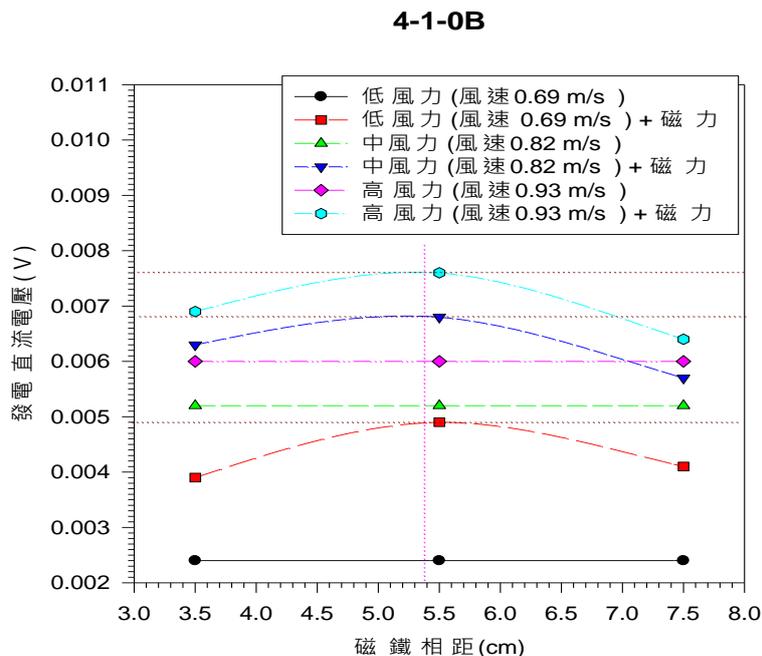
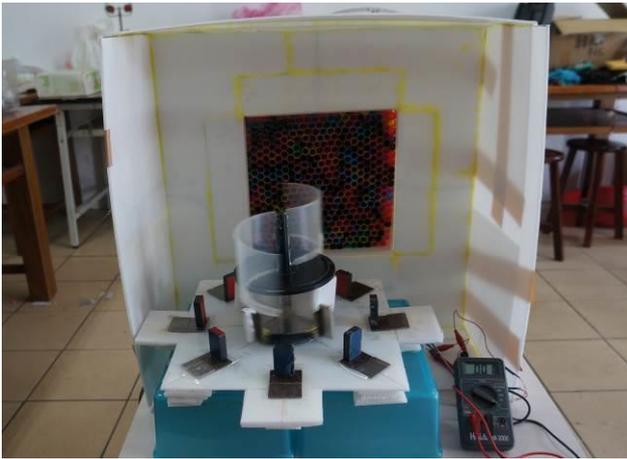


圖 7.29 發電直流電壓 VS 磁鐵間距離關係圖



風洞裝置設計圖

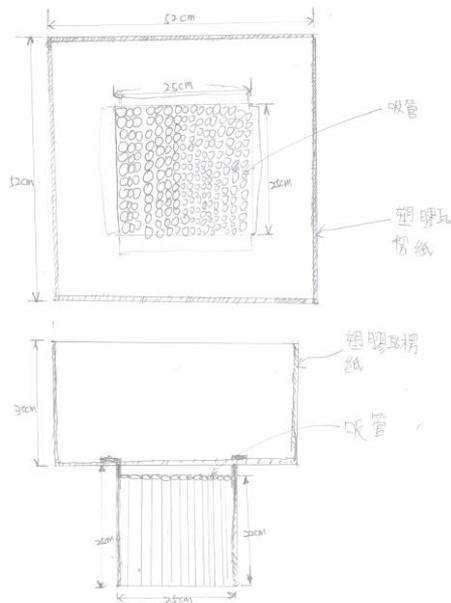


圖 7.30 DIY 風洞實驗組及設計圖

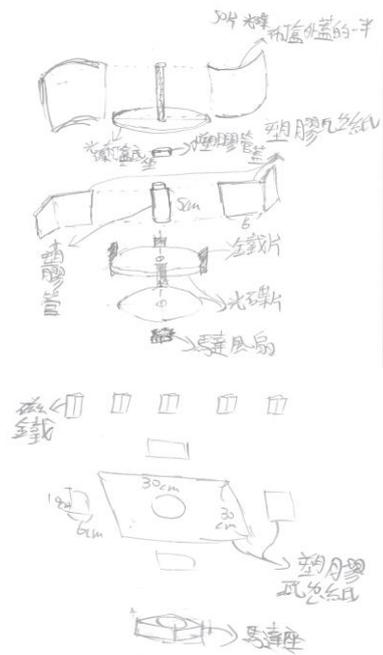
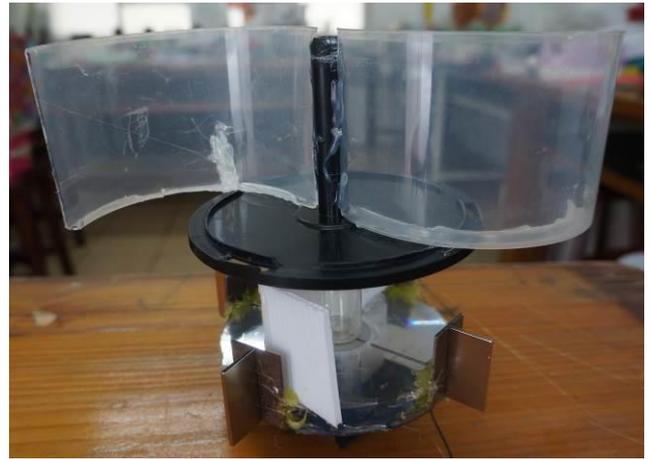
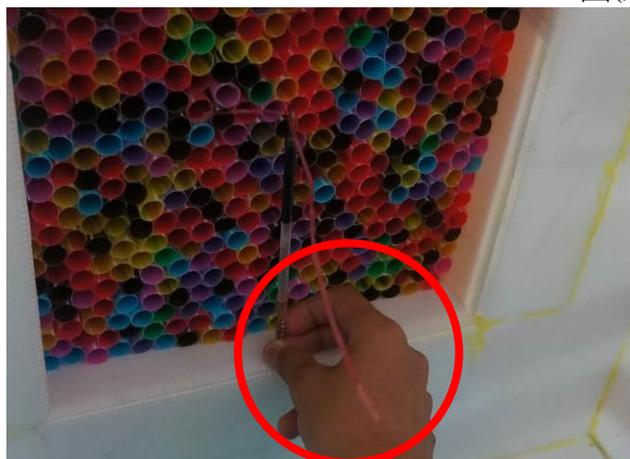


圖 7.31 第二代新式風磁發電機(重 271g)及設計圖(爆炸圖)



電風扇有風洞處理過的直流風(維持不晃動)

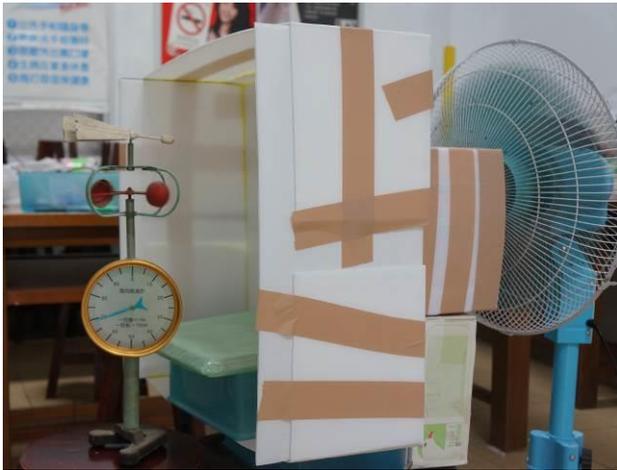


圖 7.32 DIY 風洞實驗組試轉測風速情形

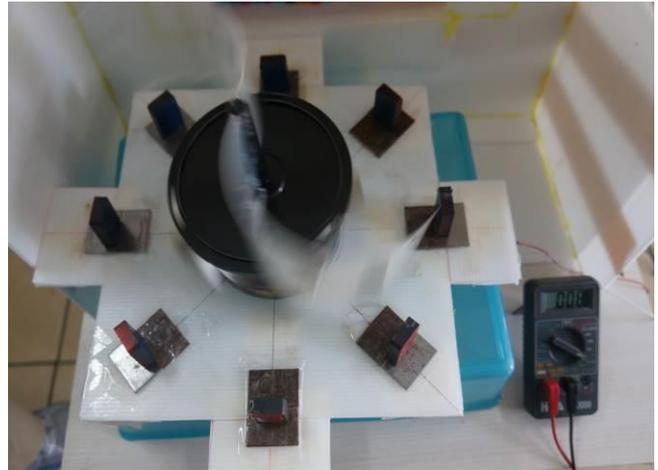


圖 7.33 第二代新式風磁發電機測量情形

### <結果>

1. 有風速的協助，但無磁協助的垂直式風力發電，低風速(0.69m/s)平均發電直流電壓 DC 為 0.0024V、中風速(0.82m/s) 發電直流電壓為 0.0052 V、高風速(0.93m/s) 發電直流電壓為 0.0076V。
2. 不論低、中、高風力風速+磁力的風力發電，的確都有增加發電量的情形，在平均磁鐵間距為 5.4cm 處，都有最大的綜合發電量，低風速+磁力為 0.0049V、中風速+磁力為 0.0068V、高風速+磁力為 0.0076V。

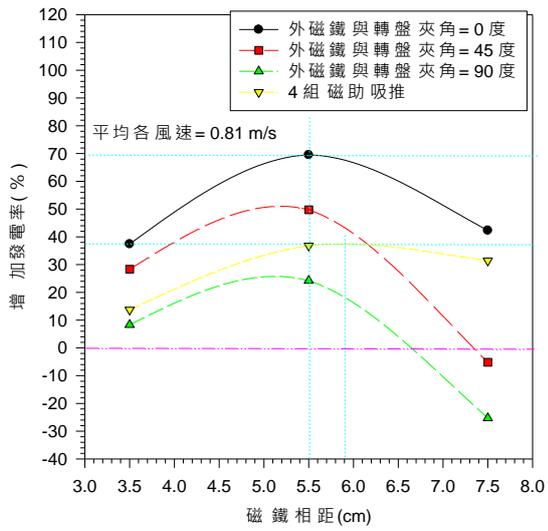
### <發現>

磁力協助風力發電是有效果的，以本組(第二代)的實驗為例，磁鐵間距離 5.4cm 為最佳發電磁鐵間距。

**【實驗九】**研究伴隨風力發電的磁力轉盤(第二代：內 4 外 8)磁鐵間角度與發電量的關係，並提出最佳建議。

<方法>以【實驗五】結果的最佳磁鐵數比例(內 4 外 8 的比例)，並配合自製垂直式風力發電轉盤與磁力轉盤結合一體的**第二代新式風磁發電機 B**進行實驗，利用**電風扇外加 DIY 風洞實驗組**取得弱、中、強直流風力推動風磁發電機，並改變外轉盤磁鐵間距離，並繪出增加發電率 VS 磁鐵間距離及磁鐵間角度圖，如下圖所示。

4-2-0-1B



4-3-0B

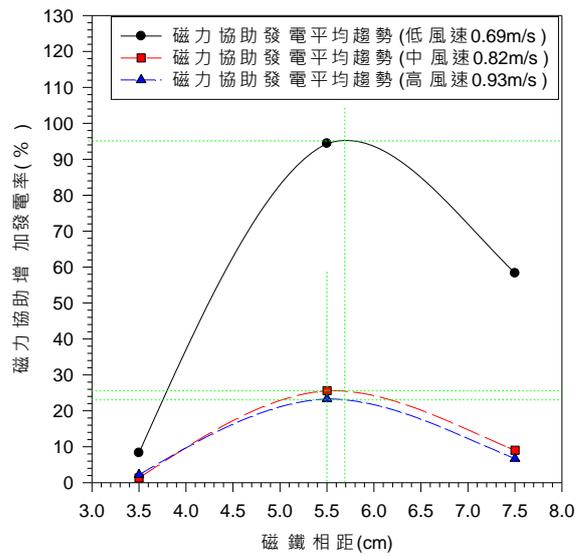


圖 7.34 增加發電率 VS 磁鐵間距離之關係圖

圖 7.35 增加發電率 VS 磁鐵間距離之平均圖

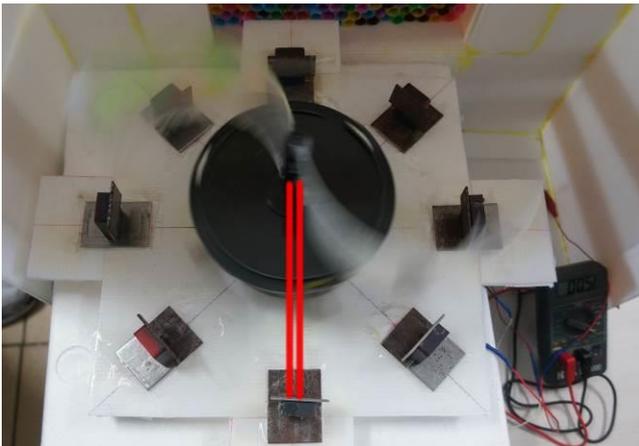


圖 7.36 改變外磁鐵與磁力轉盤夾角為 0 度協助風力發電的情形

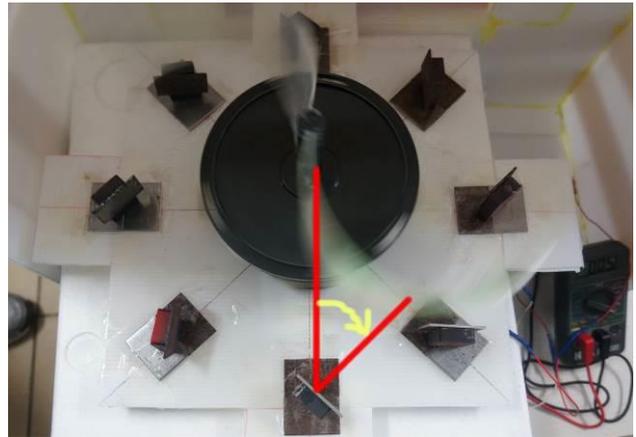


圖 7.37 改變外磁鐵與磁力轉盤夾角為 45 度協助風力發電的情形

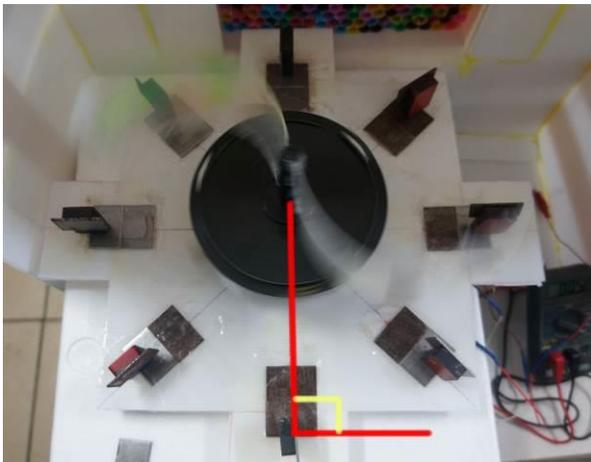


圖 7.38 改變外磁鐵與磁力轉盤夾角為 90 度協助風力發電的情形

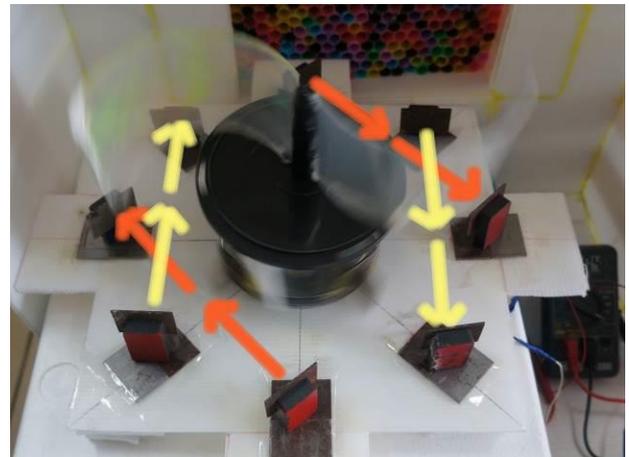


圖 7.39 改變外磁鐵為四組磁助吸推協助風力發電的情形

### <結果>

1. 外磁鐵與轉盤夾角 0 度，磁鐵間距為 5.5cm，有最大發電量，可增加約 70% 的電量。
2. 外磁鐵與轉盤夾角 45 度，磁鐵間距為 5.2cm 有最大發電量，可增加約 50% 的電量，但在磁鐵間距為 7.3cm 以上，則反而會減少發電量。
3. 外磁鐵與轉盤夾角 90 度，磁鐵間距為 5.1cm 有最大發電量，可增加約 24% 的電量，但在磁鐵間距為 6.6cm 以上，則反而會減少發電量。
4. 四組磁助吸推組，磁鐵間距為 5.9cm，有最大發電量，可增加約 38% 的電量。
5. 不管外磁鐵與轉盤夾角為何時，平均趨勢磁鐵間距為 5.5~5.7cm，平均磁力可以協助增加最大發電率：在低風速為+96%、中風速為+26%、高風速為+23%。

### <發現>

第二代新式風磁發電機以風洞實驗場實驗，磁力協助增加發電率在低風速時效果較佳，外磁鐵與轉盤夾角 0 度、磁鐵間距 5.5cm 時，協助發電量為最大，所以建議外磁鐵與轉盤夾角採取 0 度為最佳角度，磁鐵間距採用 5.5cm 為最佳間距，即可獲得為最佳發電量。

**【實驗十】** 利用攝影轉速來驗證磁力轉盤協助風力發電的可行性。

<方法>以【實驗八】【實驗九】的最佳結果，並在風力機組單葉片扇上綠色記號，進行第二代新式風磁發電機 B 實驗，利用電風扇外加 DIY 風洞實驗組取得弱、中、強直流風力推動風磁發電機，利用數位攝影機攝影及 PowerDirector12 影片製作軟體分析影格，並繪出風力機轉速 VS 風速圖，如下圖所示。

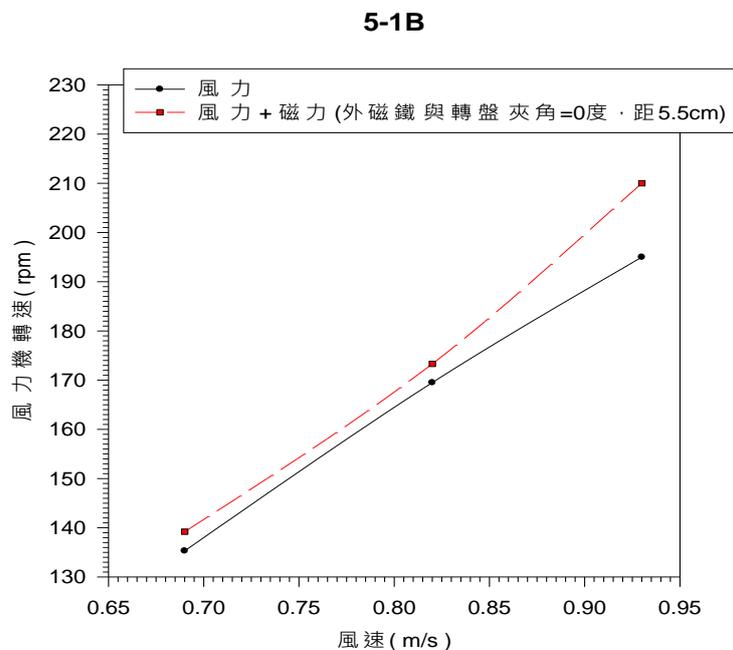
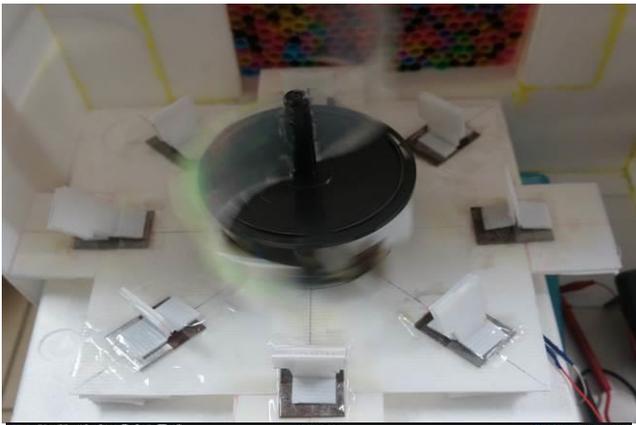


圖 7.40 風力機轉速 VS 風速關係圖



無磁助：PowerDirector12 影片製作軟體分析影格情形，計算每 10 秒轉動圈數

圖 7.41 無磁助風力發電機運轉情形(加設等面積的假磁鐵→模擬相同環境)



有磁助：PowerDirector12 影片製作軟體分析影格情形，計算每 10 秒轉動圈數

圖 7.42 有磁助風力機運轉情形

### <結果>

1. 風力+磁力與風力機轉速呈正相關。
2. 不管任何風速，風力機加上磁力後，轉速都有提升。
3. 風力+磁力，風力越大 cogging 就越小，轉速增加幅度也就越大。

### <發現>

以實際攝影比較轉速證明→磁力協助風力發電的確是有用的，風推風力機轉速越大 cogging 就越小，增加轉速的幅度也會增大，假如風力大到極限，很有機會無限轉動。

## 捌、結論

- 一、串連磁鐵數與磁的吸拉力呈正相關性，但串連 3 個磁鐵就可達到串連 5 個磁鐵的 80% 磁拉力，為了經濟效益建議最多串連三個即可。磁鐵-鐵片接觸面積與磁的吸拉力呈正相關性。
- 二、磁鐵面對面的角度、間距與相斥絕對走角都呈負相關性。面對的角度越大→磁力越小；面對的間距越大→磁力越小。
- 三、正轉走角與轉盤切角近正相關性；反轉走角與轉盤切角近負相關性。與轉盤切角=30 度

時，正轉與反轉有交叉點，約 670 度走角。與轉盤切角  $< 30$  度  $\rightarrow$  走角(反轉  $>$  正轉)；與轉盤切角  $> 30$  度  $\rightarrow$  走角(正轉  $>$  反轉)。

- 四、正轉/反轉走角比值與磁鐵與轉盤切角具相關，磁鐵與轉盤切角在 30~70 度間，正轉/反轉走角比值  $> 1$ 。磁鐵與轉盤切角為 52 度時，有最大的正轉/反轉走角比值為 1.55。
- 五、在內外磁鐵比值數為 8/4、4/8、8/8 時，會突破磁齒現象而多轉一些，獲得 1/2 圈。
- 六、第一代新式風磁發電機，風力風速(低風速 0.85m/s；中風速 1.08m/s；高風速 1.2m/s)+磁力的風力發電，的確都有增加發電量的情形，在平均磁鐵間距為 6.2cm 處，分別有最大的綜合發電量為(0.0041V；0.0076V；0.0099V)。
- 七、第一代新式風磁發電機，外磁鐵與轉盤夾角採取 0 度，磁鐵間距 6.3cm 時，協助發電量為最大約可增加 78%的電量。
- 八、第二代新式風磁發電機，直流風力風速(低風速 0.69m/s；中風速 0.82m/s；高風速 0.93m/s)+磁力的風力發電，的確也都有增加發電量的情形，在平均磁鐵間距為 5.4cm 處，分別有最大的綜合發電量為(0.0049V；0.0068V；0.0076V)。
- 九、第二代新式風磁發電機，外磁鐵與轉盤夾角採取 0 度，磁鐵間距 5.5cm 時，協助發電量為最大約可增加 70%的電量。
- 十、利用攝影求出轉速證明  $\rightarrow$  磁力協助風力發電的確是有效的，風推風力機轉速越大 cogging 似乎就越小，進而增加風力機轉速。

## 玖、參考資料及其他

- 一、劉君祖等人(2002)。小牛頓科學百科 4。台北：牛頓出版股份有限公司。
- 二、陳育仁等人(2001)。新知識-力和壓力。台北：圖文出版事業股份有限公司。
- 三、林素月/譯 (1978)。大學物理。台南：台南東海出版社。
- 四、普通物理實驗：摩擦力 國立中央大學物理系教學實驗室

<https://tw.search.yahoo.com/search?p=%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B%E5%AF%A6%E9%A9%97&fr=yfp-s&ei=utf-8&v=0>

## 備註

- 一、本次磁力及風力在研究中，因為學校電壓不是很穩定，所以會產一些誤差值。
- 二、本件作品是屬於科學實驗製作方法類。

## 【評語】 080115

磁助發電是一個有趣的科學題目，但是要小心陷入永動機的陷阱中。透過實作達到清楚的看到發電效率的提升，其實也有相當的教育意義。