

中華民國第 52 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

第一名

030821

承諾一個乾淨的未來－太陽能磁浮馬達和高效
率磁浮小型電動機及風力發電機

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國中)

作者： 國二 羅于傑	指導老師： 彭黃銘 馬瑪宣
---------------	---------------------

關鍵詞：太陽能發電、磁浮馬達、綠色能源

得獎感言

感謝

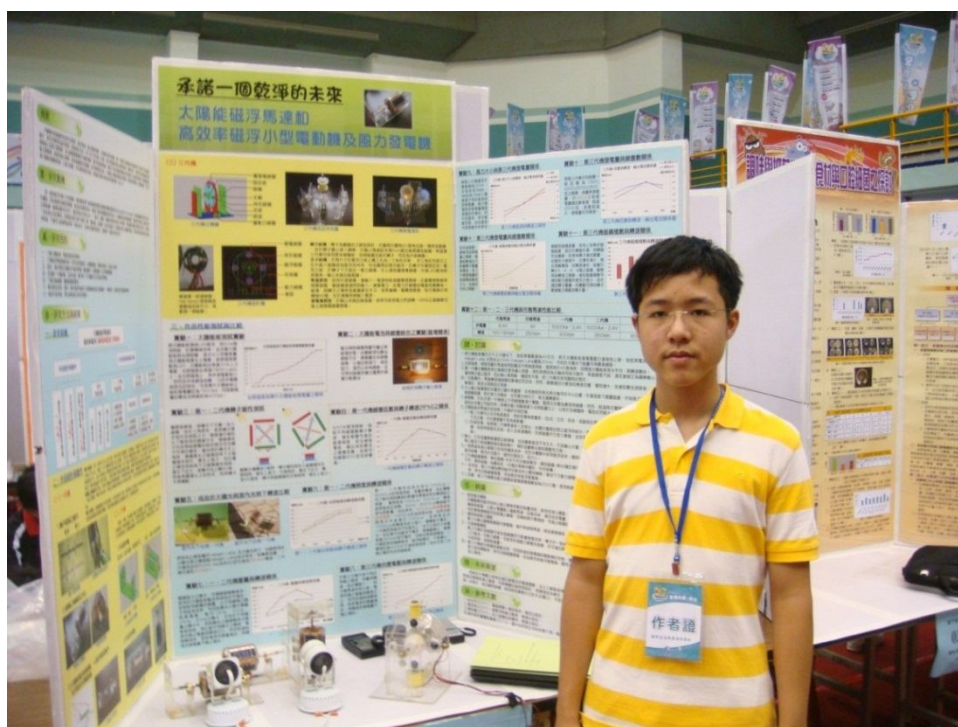
當台上傳來「生活與應用科學國中組第一名是台北市私立復興實驗高級中學羅于傑……」，內心的喜悅與雀躍是難以言喻的。感謝是這樣甜美的果實迎接我，感謝評審教授給我這樣的機遇。

從校內科展，北市科展，全國科展，我看到無數優良且精心的作品。我永遠記得媽媽對我說的話：「把自己的線畫長。」。兩年來，我不斷投入自己的研究，「自信」成了我最大的武器。

這樣漫長的歷程，無數的磨難與困境，常讓我覺得踽踽獨行於茫茫黑夜，唯有堅強的意念，抽絲剝繭地一個個解決問題，才能不斷地累積經驗。而大多數時候，光明往往只差一步之遙，只需再堅持一下，所以「永不放棄」是我做科展最佳力行的座右銘。

一路走來，要感謝的人太多，感謝媽媽、外公、外婆無怨無悔的付出，徐老師的教導，感謝西湖國小資優班邱老師、吳老師、談老師，感謝復興實中黃銘老師、柏青老師、俊佑老師、瑪宣老師、若虹老師及每一位教導過我的老師。

走過的足跡不會消逝，未來，我會更昂首闊步走我的科學路。



我和我的作品



鎮宇與我



一切努力皆化為甜美的甘果

摘要

本實驗利用磁鐵同性相斥的原理，結合馬達，減少摩擦係數，以期製作類永動機。第一代原型太陽能磁浮馬達使用了隨手可得的資源製作，為符合環保效益的馬達。經過設計改良，有了可立可臥第二代機。因仍希望能再減少機械耗損，提高效率，於是利用切割線圈的原理製造小型風力發電機，及以霍爾感應器取代傳統電樞，製作無碳刷馬達，製造了結合發電與電動功用的第三代高效率磁浮小型電動機及風力發電機。其具有減少摩擦，降低能量損失的優點。與市售馬達比較，大幅減少振動與噪音的問題。因無潤滑問題，容易維護，又可外接太陽能板驅動馬達，以風力發電，符合環保綠色效益。希望我的創作能為地球環保盡一份心力。

壹、研究動機

我一直對磁浮列車十分有興趣，當我聽到拿下諾貝爾物理獎的俄籍科學家諾瑟列夫 (Konstantin Novoselov) 說他最喜歡天馬行空地作實驗，因為這樣的過程與激勵，使他走向學術頂尖，啟發了我想做實驗與研究的心。他還說他的恩師蓋姆，就曾利用物理上的動力磁力現象讓一隻青蛙飄浮在空中，這深深烙印在我心中，「磁浮」這樣一個雛形開始在我心中萌芽。經過學校專研課程的研討，生物課「科技與生活的應用」的學習及理化第六冊第二章「電與磁」的運用，我決定製作一台能磁浮的太陽能馬達。而使用綠色能源做出的磁浮馬達，不僅可以提高馬達效率，降低成本，必有許多應用與潛力，還期許一個乾淨的未來。

貳、研究目的

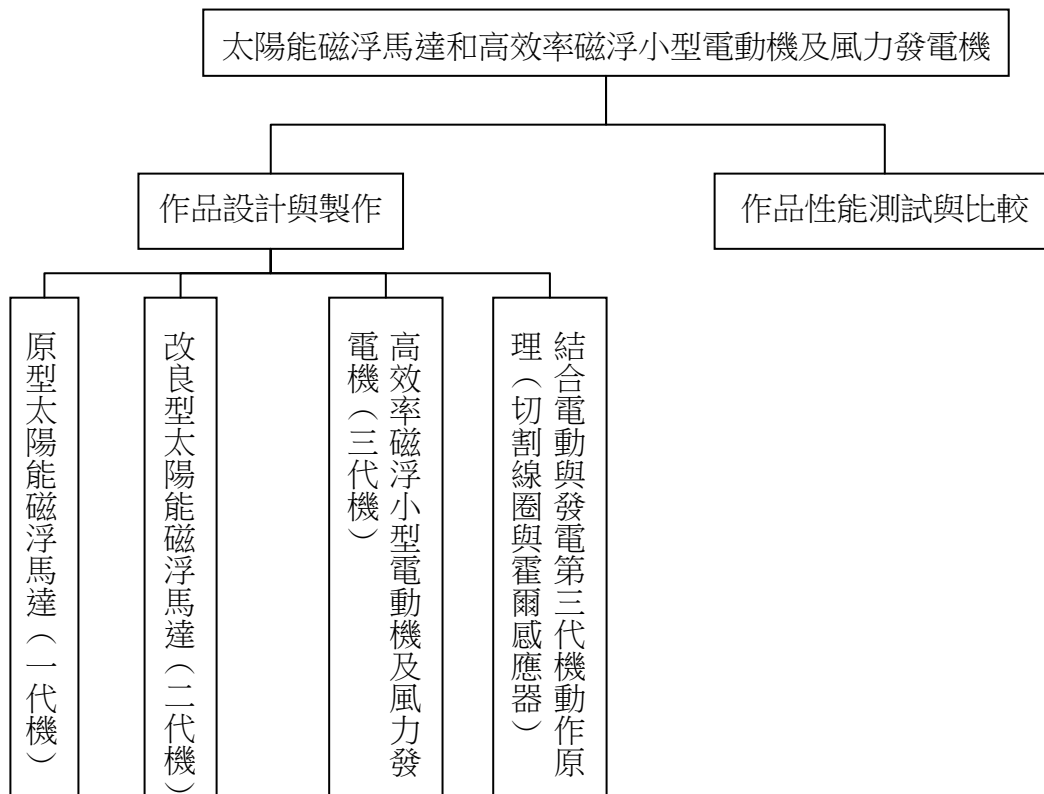
- 一、了解太陽能板、馬達及磁浮的原理。
- 二、了解磁浮馬達發展技術，研究如何將磁浮、太陽能電池、馬達作組合，並加以改良。
- 三、設計、製作原型太陽能水平磁浮馬達，藉由實作，印證理論，從中累積經驗。
- 四、改進第一代機缺點，延伸功能，製作第二代太陽能可立可臥磁浮馬達。
- 五、了解切割線圈、霍爾感應器原理。
- 六、尋求更佳效率，設計、製作高效率磁浮小型電動機及風力發電機，一機兩用，並探討其性質與應用。
- 七、測試作品效能，提出缺點修正與未來展望。

參、研究設備及器材

器材名稱	數量	器材名稱	數量
1. 指南針	一個	14. 錫絲	一卷
2. 三用電表	一個	15. SD 卡 (記憶卡) 包裝塑膠盒	四面
3. 電線	數條	16. 瞬間膠	一瓶
4. 電池	數個	17. 熱融膠槍	一支
5. 鱷魚線夾	數個	18. 剪刀	一把
6. 小馬達	數個	19. 圓規	一支
7. 漆包線 0.16 ϕ mm	一卷	20. 公分尺規	一個
8. 自繞線圈	數個	21. 剪線鉗 (斜口鉗)	一把
9. 磁鐵棒 (鈷鐵鋇強力磁鐵)	數個	22. 剝線鉗	一把
10. 圓形竹筴	數支	23. 50W 燈泡	一座
11. 太陽能板 sm-5626 3 cm \times 6 cm、3V、60mA	八片	24. 壓克力板 10 cm X 8 cm、20 cm X 6 cm、40 cm X 16 cm	數片
12. 塑膠吸管	數支	25. 膠布	一卷
13. 電烙鐵	一隻	26. 轉速計、照度計	各一台

肆、研究過程和方法

一、研究架構



二、作品設計與製作

(一)原型太陽能磁浮馬達(一代機)

1. 轉子框架之製作

- (1)取一支長 20cm 之免洗筷。
- (2)將兩片相同之塑膠盒(5.5cm，寬 4cm，高 7 mm)裁成正方形，並取其圓心，穿直徑 5 mm 之小洞。
- (3)將竹筷穿入兩片底片盒之中心孔，隔出一片太陽能板長(6 cm)之距離，另兩端距離相等，使其達到平衡，並以熱溶膠固定。

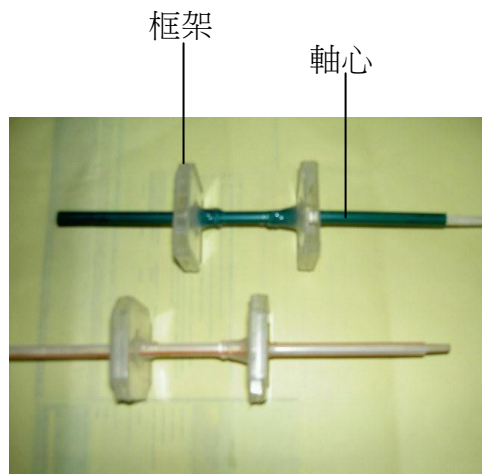


圖 1、轉子框架圖

2. 太陽能板之連接

- (1)將四片太陽能板焊上電線，並將其固定於底片盒四面，電線連接於外，並以紅線接上黑線使其串聯並焊接。

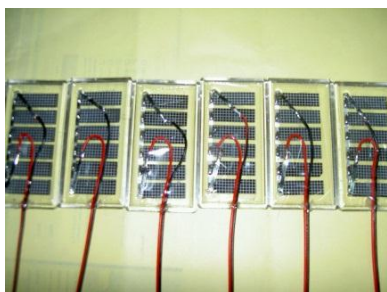


圖 2a、太陽能板電線焊接



圖 2b、太陽能板框架固定

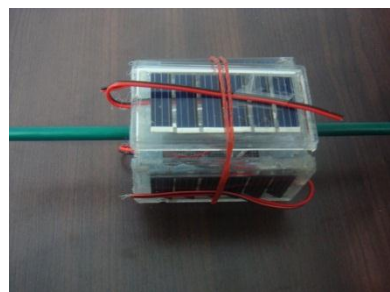


圖 2c、太陽能板線路連接

3. 線圈之繞線及方向

- (1)繞線方向，如下圖 3、4 於任兩太陽能板溝槽間繞製，接至底片支架時以斜角繞製，於背面重複以另兩太陽能板溝槽間繞製，再接至另一底片支架以斜角繞製。
- (2)將線圈焊接於電線，並纏繞於支架對角線 500 圈，再接於另一端之電線。
- (3)重複上述步驟製作另一組線圈。
- (4)轉子照光後，焊接之線圈底面應成 NS 相間之極性，以使其透過相斥與吸引之偏轉極慣性定律轉動，因此需以指南針測試其照光之偏轉，使其於所有角度偏轉方向一致，才可導致其同方向旋轉。



圖 3、繞線側視圖

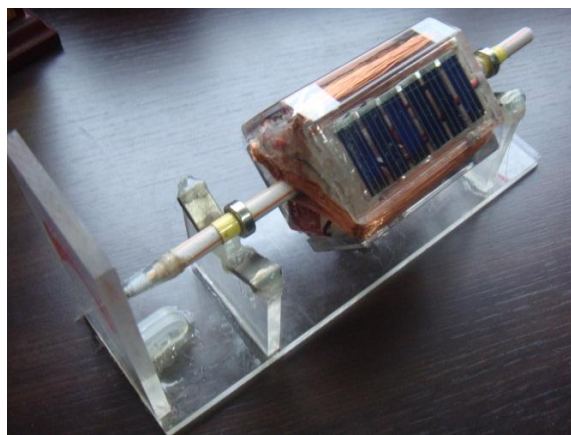


圖 4、繞線立體圖

4. 太陽能電池與線圈如何結合成電動機 (磁場方向、電流方向、動力方向之關聯)

(1)如何使轉子轉動：

線圈繞線方向及接線，必須使轉子於每一象限產生之磁場均可得到順向推力及吸力，於象限轉換時其磁場極性須順向轉換，類似傳統電動機之電樞轉子般，自動轉換極性。

(2)接線方式：

將太陽能板與線圈如圖 5a、圖 5b 方式接線(即將上側之正極接至線圈之繞線啟始點，然後負極接至線圈之繞線終點，其磁極之方向依安培右手定則可得知)。

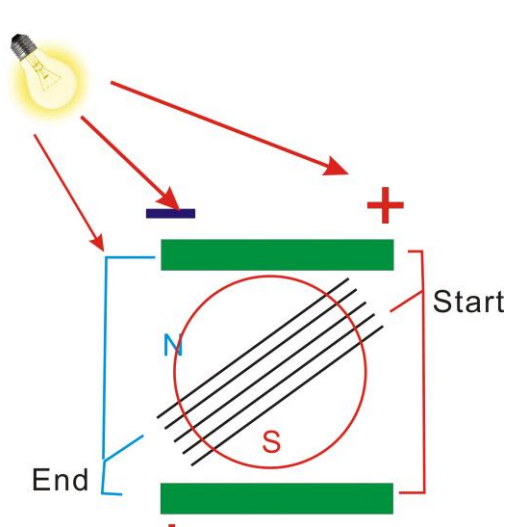


圖 5a、轉子於 0 度時之光照極性

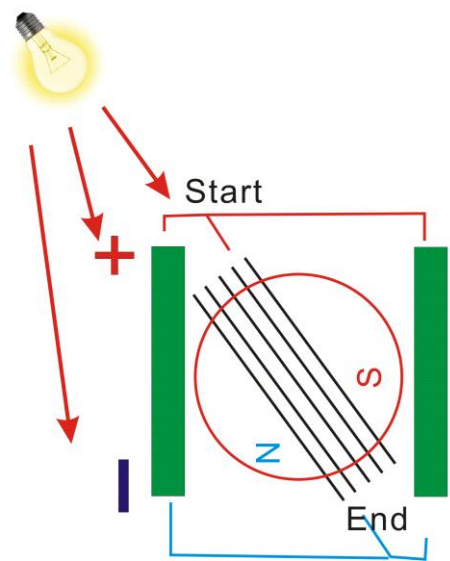


圖 5b、轉子轉至 90 度時之光照極性

5. 磁浮框架製作

- (1) 取一壓克力板裁切成 20x6 cm 之規格，於一端固定另一面，垂直於基座之壓克力板。
- (2) 製作二 V 型支架，高度取 3 個磁鐵高。
- (3) 將 V 型支架固定二棒狀磁鐵，並於中間處固定 2 圓形磁鐵(用三秒膠及 AB 膠)。
- (4) 將做好之轉子本體兩端裝上環形磁鐵(用三秒膠及 AB 膠)。

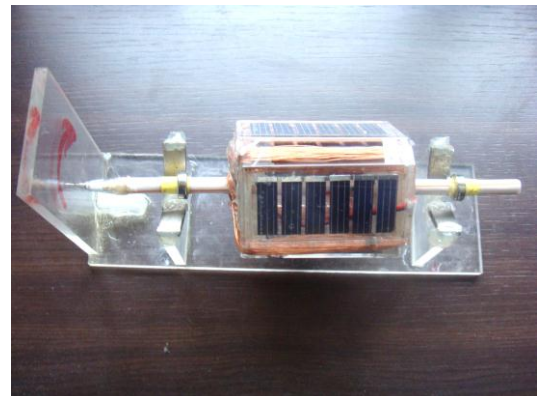


圖 6、一代機完成圖

(二)改良型太陽能磁浮馬達(可立可臥二代機)

1. 轉子設計：欲使馬達更穩固，恆定性更高，且可以任一角度擺放。

- (1) 轉子主軸改用金屬如：銅棒、鋁棒、鐵棒、不鏽鋼棒。
- (2) 磁鐵之排列設計，採圓周封閉式，轉子之四周必須有磁場支撐，使轉子不致彈出軌道。
- (3) 壓克力圖式設計，委外加工。

2. 作品設計圖：

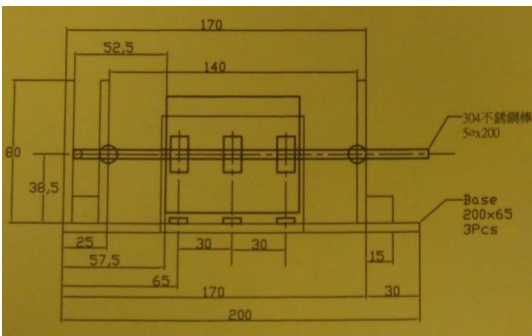


圖 7、二代機平面設計正視圖

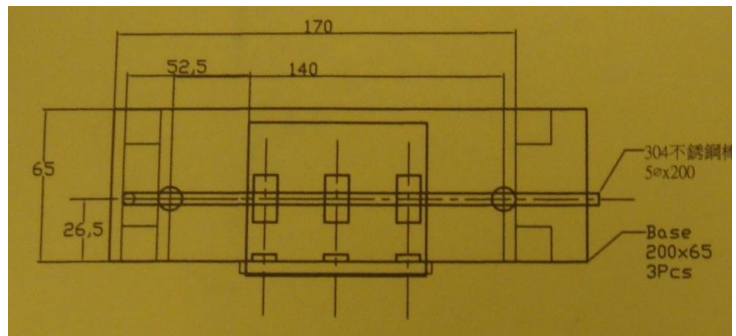


圖 8、二代機平面設計頂視圖

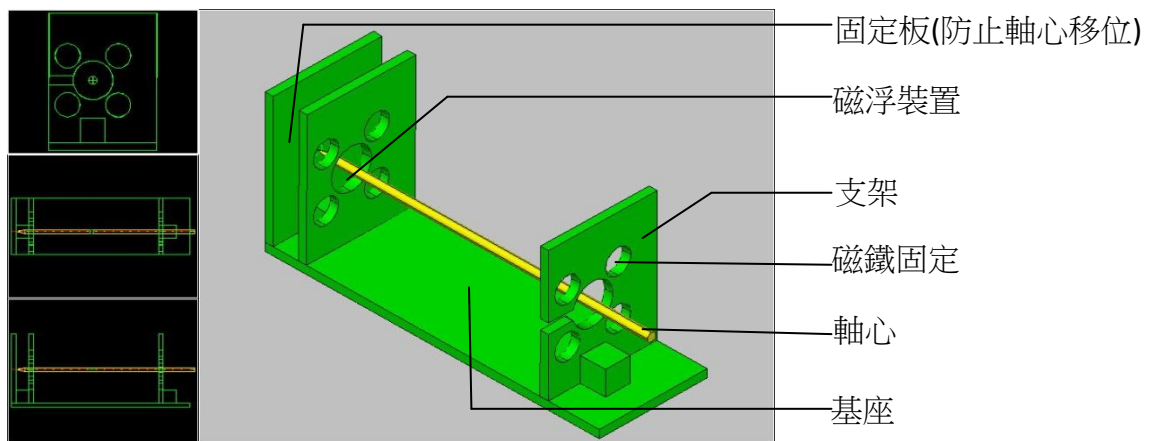


圖 9、二代機框架立體圖

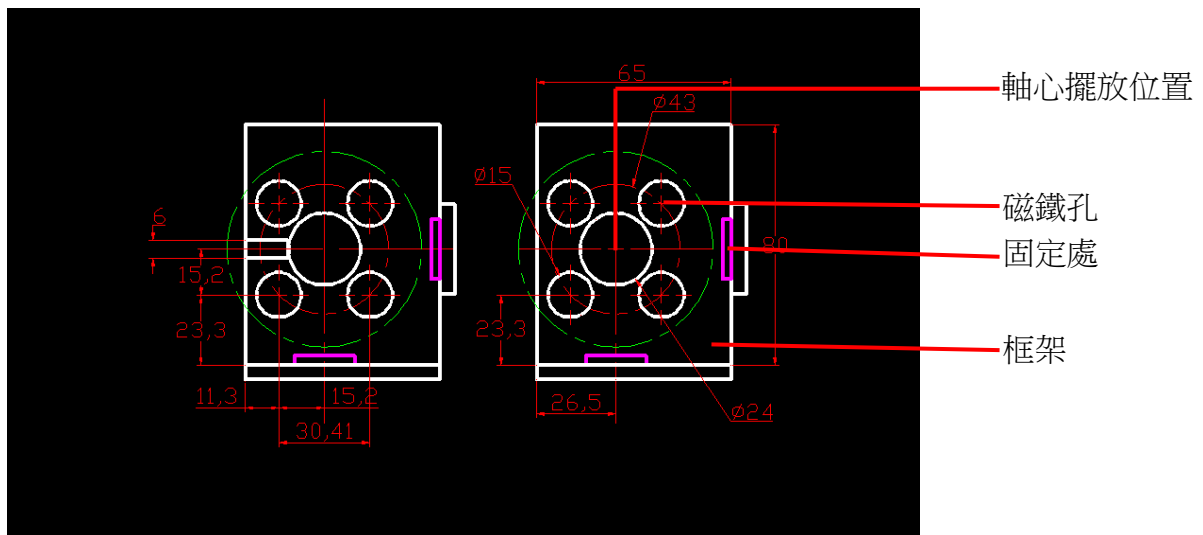


圖 10、二代機框架側視圖(支撐板中心孔設計圖，左側圖須設計開口，以利轉子可以放置)

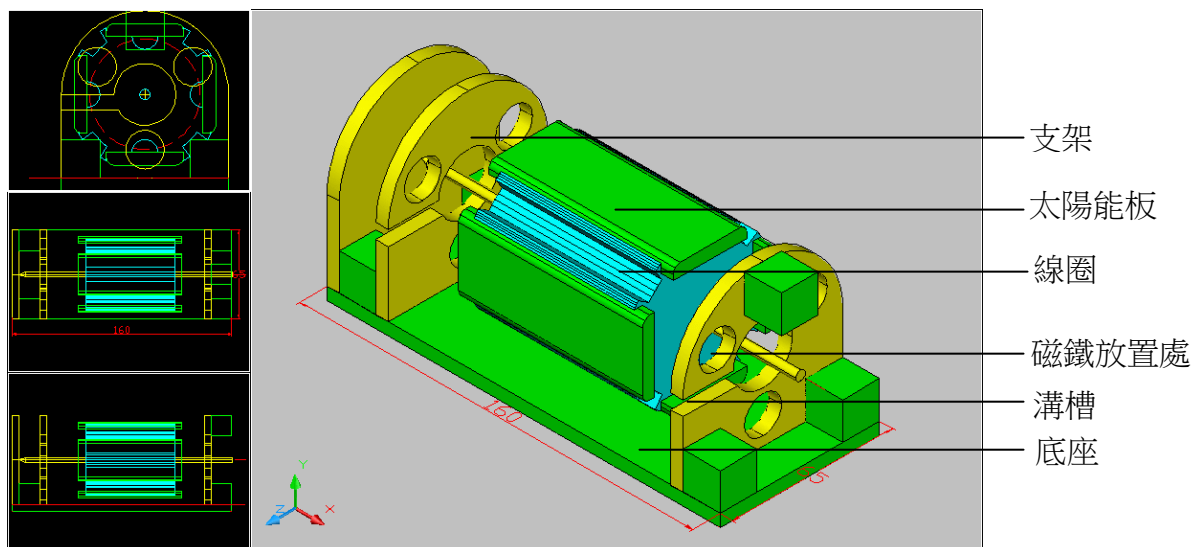


圖 11、二代機完成立體圖(可臥式、立式、及各種角度擺放)

3. 製作步驟：

- (1) 同第一代機(水平式)完成製作如圖 12(軸心改為鋼棒，使其更穩固，更精準)。
- (2) 於軸心兩端放入環型磁鐵(20 mm)，於對稱位置並固定。
- (3) 切割壓克力板，如工程設計圖之規格並組裝。
- (4) 於壓克力支架兩端放入四圓形磁鐵成一矩形狀並固定。
- (5) 將馬達主體放入支架中。



圖 12、二代機立式圖

(三)高效率磁浮小型電動機及風力發電機(三代機)

1.轉子設計：

- (1) 轉子為圓盤狀之碟型設計，使用壓克力板為材料，以雷射切割厚 0.5 cm，半徑 6cm 之圓盤，於圓周外圍每 90 度角加裝一彈珠型磁鐵，並於轉子圓心穿入鋼棒。
- (2) 軸心材質使用不銹鋼棒，因其最穩固與精密，較不易有偏心之現象。取一 20cm 之鋼棒，將其兩端削尖，準確測量其重心位置並穿入圓心，以兩片螺帽型之支架固定，並以 AB 膠黏著，黏著時須確定軸心與圓面垂直。
- (3) 於軸心兩端距末尾 5cm 處加裝兩環型磁鐵。
- (4) 希望第三代機可使用更多線圈組，故將磁鐵加裝於轉子，而改為外接線圈。

2.支架與底座設計：

- (1)將兩片方形壓克力板切割為 14cm×8cm，以距離底部 10cm 處為圓心，鑽一半徑 2.5cm 之環型孔，以此孔為中心，鑽三孔成一三角形支架(如圖 14、15、16)。兩片壓克力板固定於基座時必洽距 10.5cm。
- (2)於三角形支架之三孔中裝入磁鐵做為磁浮培林用。
- (3)為使其磁浮時磁力之施力點恰當，使軸心不偏移，於一端再加裝一壓克力擋板，中心加一修正螺絲，做為中心定位修正。
- (4)於轉子外環固定另一壓克力板，做為固定動力線圈及發電線圈。

3.線圈設計：

- (1)此馬達為外接線圈，於轉子下方固定一動力線圈。
- (2)於上頭放置發電線圈，外接 LED 燈泡使其發亮。
- (3)在軸心末端加裝風扇，以作為風力發電使用。



圖 13、線圈

4.磁浮磁鐵設計：

- (1)於底座兩端加裝壓克力板支架，間隔同軸心兩磁鐵之距離，將三磁鐵製於支架中，形成圓周封閉式磁浮，磁浮支撐軸心磁鐵。
- (2)以環型磁鐵為主，但改使用三點支撐，使其支撐於一臨界點產生磁浮。

5.作品設計圖：

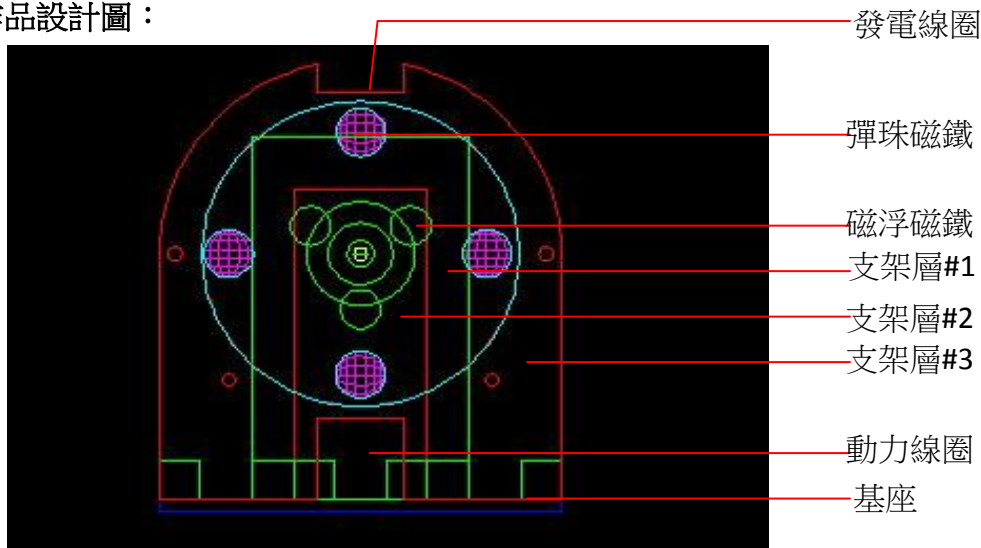


圖 14、三代機正視圖

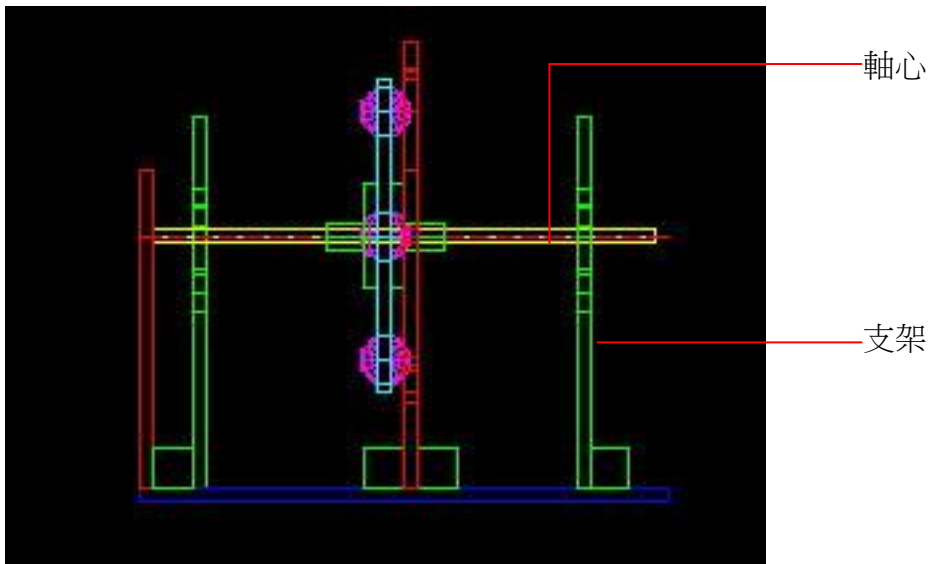


圖 15、三代機側視圖

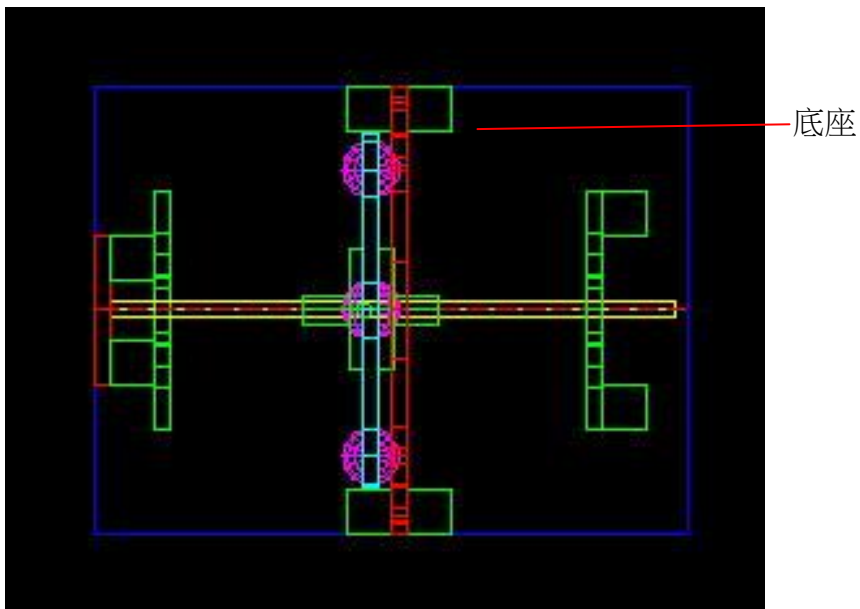


圖 16、三代機頂視圖

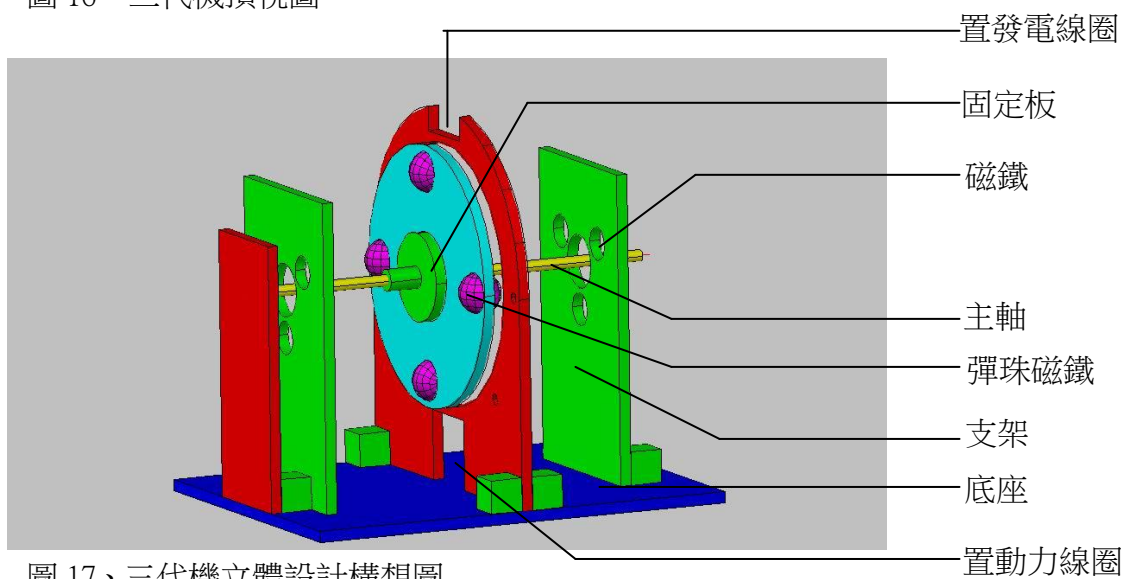


圖 17、三代機立體設計構想圖

6. 製作步驟：

- (1)首先取雷射切割好之壓克力板，於四環形孔固定彈珠型磁鐵，且使其磁極 NSNS 排列，接著於中心固定鋼棒，並加裝風扇。
- (2)將每一擋板及支架依位置固定於底座，並將線圈置入，於尖端一頭加裝修正螺絲固定。
- (3)於適當位置裝置霍爾感應器。
- (4)將線圈放於底部，並接上**霍爾感應器**。
- (5)於轉子之上方裝置一發電線圈，外接 LED 燈泡。

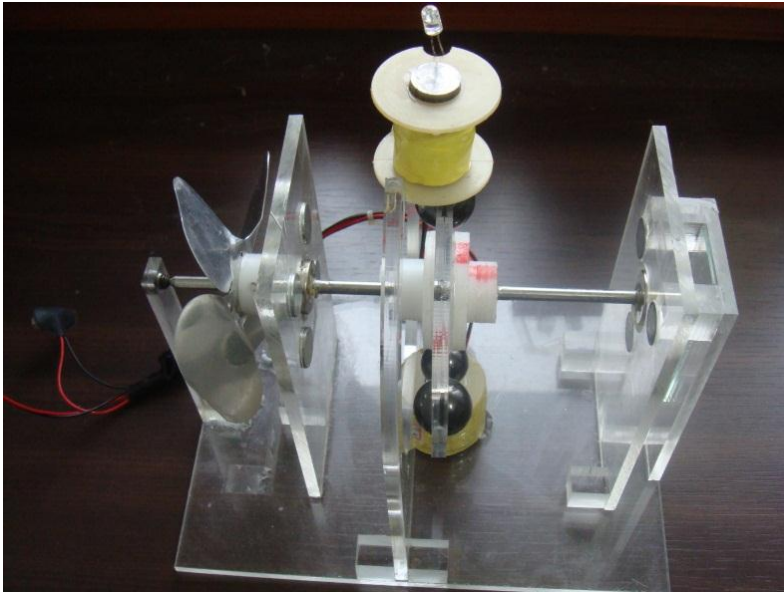


圖 18、三代機成品圖

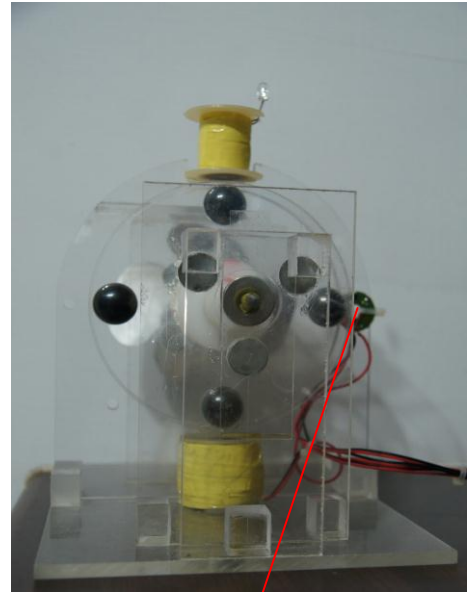


圖 19、霍爾感應器

(四) 第三代機動作原理：

1.馬達原理：

- (1) 第三代機採用外接線圈，外接電源可為太陽能板或一般電源。
- (2) 當輸入一電源時經過霍爾感應器，此霍爾感應器將感應磁鐵，當磁鐵通過時即輸入一適當電力，此電力於線圈由電磁效應轉為一磁場，與轉子之珠型磁鐵產生斥力，使其偏轉。
- (3) 霍爾感應器，取代電樞作用轉換 NS 極，並於適當時候輸入電源。霍爾感應器可控制線圈產生之磁場，使其與永久磁鐵為互斥，並於磁鐵稍為通過線圈後才啟動線路，給予磁場，否則磁鐵將受一反向之斥力。
- (4) 霍爾感應器

霍爾感應器(Hall Sensor)是一個換能器，能感測磁場的變化並將其轉化為相應變換的電壓。霍爾感測器可用來感測磁場，此外還可以應用於測量產生和影響磁場的物理量。在已知磁場下，磁鐵距霍爾感應器的距離是可以被測定的。霍爾效應感測器可和電路相連，其可感應磁場而產生一相應的電壓，此電壓同過電路便可使設備以數位（開／關）模式操作，如此便可成為一感應磁場變化之開關。當磁鐵上有 NSNS 的排列時，霍爾感應器會在 NS 磁區反轉的時候作出磁力感應，感應出電流，做為觸發訊號，以控制線圈之磁力。

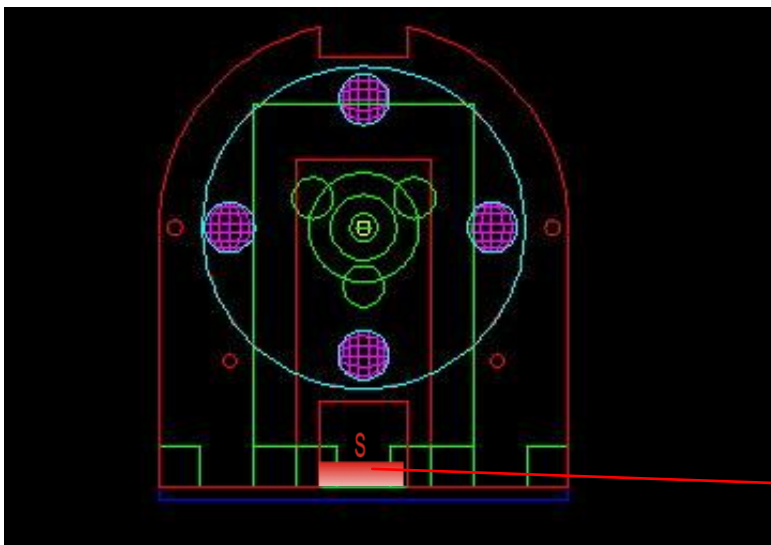


圖 20、推力產生方式示意圖



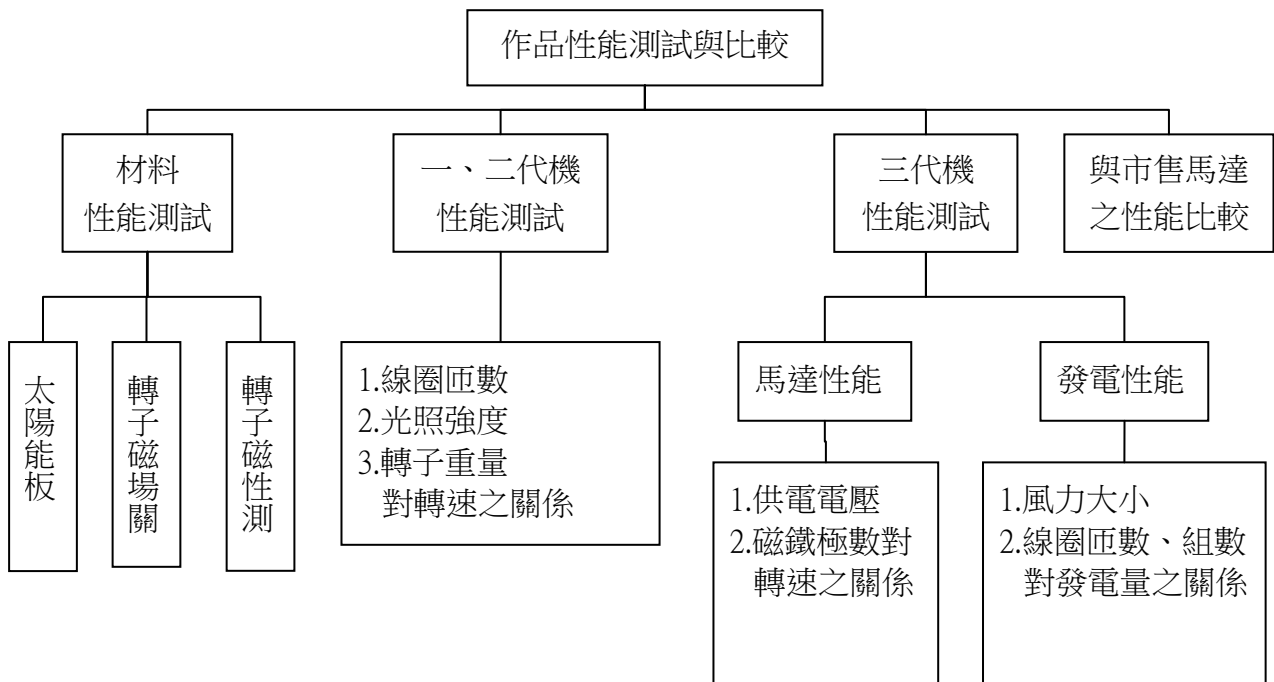
圖 21、霍爾感應器

當磁極一經過線圈，Hall Sensor 便感應使線圈造成排斥力，推動每一個磁鐵。

2.發電原理

於軸心末端加裝風扇，使其可接受風力而旋轉，NSNS 之磁鐵會切割上端發電線圈發電。

三、作品性能測試與比較



實驗一：太陽能板測試實驗

1. 太陽能板轉換效率：將太陽能板(SM-5626 3V 60mA)連接 LED 燈泡，然後用 50w 燈泡照射，當其達到使用功率 3V 時，測量其所需照度，即可計算轉換效率。
2. 太陽能板與光照距離、光照度與發電量關係：

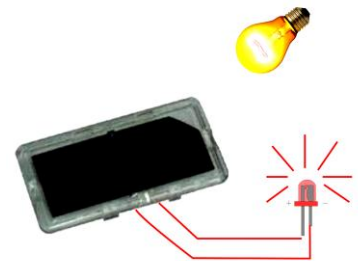


圖 22、太陽能板發電點亮 LED 燈

以 Halogen Lamp (50W)光照太陽能板，改變距離，逐次以三用電表量測太陽能板產生之電壓。為了解光源與太陽能板不同距離時，太陽能板上光照度與發電量之關係，以光照度計置於太陽能板旁邊，用 Halogen Lamp 光照太陽能板，觀察照度計之數據，然後調整 Halogen Lamp 之距離，開始記錄數據，逐漸縮小距離及加強光度，每增加 100Lux 記錄數據。

實驗二：太陽能電池與線圈結合之實驗(磁場關係)

線圈連接太陽能板後，將轉子置於燈光下，用指南針量測其極性。檢測繞線於不同角度是否皆能產生相同的極性，並檢測其電阻是否造成過大之電量消耗。此實驗亦可作為製造最低電阻，高磁通量之繞線方式依據，更能進一步了解如何擺置磁鐵，及磁鐵擺置的 NS 極。

實驗三：第一、二代機轉子磁性測試

實際接線後，將轉子下方置一永久磁鐵，由左上角照光，使其轉子產生相斥及相吸之力。此實驗以模擬運作情形，了解採用的繞線方式、繞線順逆方向及兩組線圈的結合是否符合轉子所須的極性。並且以同樣接線，改變光照角度，了解線圈與永久磁鐵間推力的關係，且了解在不同角度之光照是否可運轉，以及各種角度之運轉方向與運轉效率。

實驗四：第一代機線圈匝數與轉子轉速(RPM)之關係

決定繞線方式與方向後，以 50W 燈泡距離十五公分照射。不同線圈數(線徑 0.1mm)，測試轉子轉速。增多線圈可增加磁場強度，卻也增強電阻。由此可了解在不同繞線時之電阻與電流對磁場的影響，藉此找到最佳之線圈數。

實驗五：成品於太陽光與室內光照下轉速比較

將完成品置放於太陽光照處與室內燈光(Halogen Lamp 鹵素燈泡)比較轉速。可測試在不同光照度的轉速，了解在不同光照強度對轉速的影響。

實驗六：一、二代機光照與轉速關係

將一、二代機完成品分別以 1000Lux – 9000Lux 的照度照射，測量其轉速。5000Lux 為一般自然光的照度。由此實驗可了解光照對轉速的影響及須達到特定轉速時之照度。

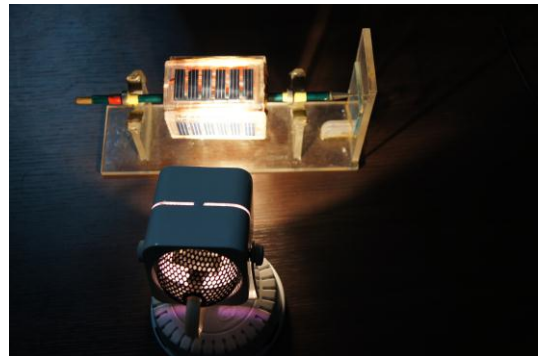


圖 23、一代機照光時測量轉速圖

實驗七：一、二代機重量與轉速關係

體積愈大之轉子，可環繞線圈數較多，使用的太陽能板數及其規格亦可增加，卻相對有較重的質量，以不同體積之轉子測試其效率，可找到最佳之轉子重量與線圈數。製作 150g、200g、250g、300g 之轉子，分別於不同重量之轉子中，找到最佳之繞線數與太陽能板規格，再比較不同轉子之轉速。

實驗八：第三代機供應電壓與轉速關係

於第三代機外接不同伏特數之電源，測量其轉速。結合實驗十一，與市售馬達效率比較。

實驗九：風力大小與第三代機發電關係

將第三代機擺放於電風扇前 20cm，分別使用 2m/s、4m/s 與 7m/s 三種風速不同的風測試其發電量。



圖 24、三代機風力發電測試圖



風扇
發電後點亮
之 LED 燈

圖 25、三代機風力發電測試圖-使 LED 燈發亮

實驗十：第三代機發電量與線圈匝數及線圈組數關係

將第三代機分別裝置一組匝數為 1900、2200、2500、2800 匝之線圈，測量其發電量。增加一組線圈之匝數可增加其發電量，然而電阻隨之增加，由實驗可得知一組線圈之最佳線圈數。而亦可設多組線圈，觀察其與發電量之關聯。使用多組線圈，亦可增加發電量，且推測其較不會提高電阻，為增加發電量的關鍵。

實驗十一：第三代機磁鐵極數與轉速關係

裝置於轉子 2、4、6、8 極之磁鐵，觀察其與轉速之關聯。增加磁鐵極數可增加動力線圈所提供之推力，卻亦增加轉子重量，由實驗可得知轉子最適當之極數及轉子重。



圖 26、轉子加裝 4 極磁鐵，測量轉速

實驗十二：第一、二、三代機與市售馬達性能比較

測試一代機、二代機以四片太陽能板(一片 3V，功率小於 20%)供應電量，與市售小型 6V 馬達比較效率(轉速及電流)。比較市面上達同效率所需電量。測試三代機於 9V 供應電源與市售 9V DC 四極馬達之效能比較。比較市面上達同效率所需電量。

伍、研究結果

實驗一：太陽能板測試實驗

1. 太陽能板轉換效率:要點亮 LED,太陽能板必須達 3V 以上之電壓,光照強度必須達 1300 Lux 以上。
2. 太陽能板光照距離、照度與發電電壓關係

表 1、光照強度與單片太陽能板發電量之關係

Lux (光照度)	Volts	Lux (光照度)	Volts	Lux (光照度)	Volts
200	0	700	1.31 ± 0.03	1200	2.70 ± 0.03
300	0.02 ± 0.02	800	1.50 ± 0.03	1300	3.01 ± 0.03
400	0.69 ± 0.04	900	1.70 ± 0.03	1400	3.61 ± 0.03
500	1.01 ± 0.02	1000	2.01 ± 0.03	1500	3.90 ± 0.05
600	1.10 ± 0.02	1100	2.31 ± 0.04	1600	3.91 ± 0.04

(1)實驗結果發現，光照度愈小，其所得電壓愈小，進一步測驗光照度與電壓之關係，易見其並非成線型函數，乃因半導體與受光的特性。此數據可見單片太陽能板之飽和發電量約為 1500lux，而推動裝置的最低光照度約為 400lux。

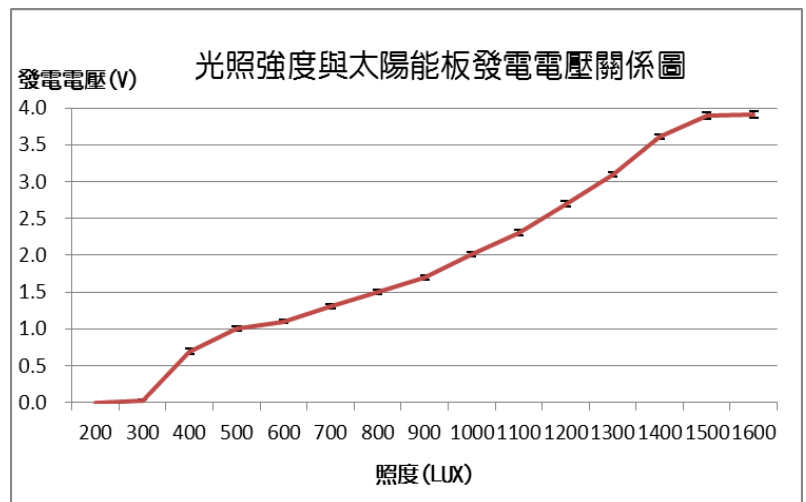


圖 27、光照強度與單片太陽能板發電量之關係

(2)雖然此數據並不能直接利用於機體結構中之太陽能

板，因其照射角度不同，且機體結構中之太陽能板需考慮電阻等機械耗損。但由測試實驗可知太陽能板發電量與照度的關係及其轉換效率，並可依此結果設計高效率的太陽能馬達。

實驗二：太陽能電池與線圈結合之實驗(磁場關係)

當光照時線圈周圍可量出其磁場狀態(見圖 28)。由實驗得知最佳繞製方式，應盡量加多線圈面積，以增加推進力，減低阻力，進而以斜角繞製。並可得知磁鐵放置位置應於線圈中點最佳。



圖 28、指南針與轉子軸心垂直

實驗三：第一、二代機轉子磁性測試

當光照於轉子左上角時，線圈產生之磁極與其下之磁鐵極性相斥，產生上推力，而右邊之極性則與其下之磁鐵極性相吸，產生下拉力，使轉子向上轉 90 度，然後再重複以上的狀況，

則其轉子不停轉動。(如圖 29a、29b、30a、30b、30c)

當轉子運轉時其極性不斷變化，其互相之作用力使轉子繼續轉動。

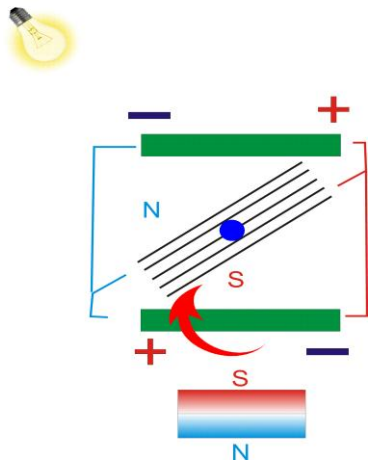


圖 29a、實際接線後，於下方置一磁鐵其極性如圖，其轉子與磁鐵極性相同，產生上推力。

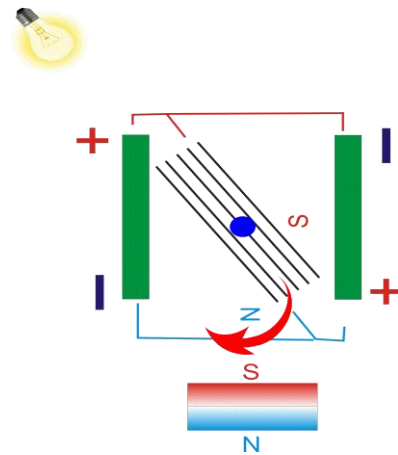


圖 29b、當轉子運轉至 90 度時，其轉子與磁鐵極性相反，產生下拉力

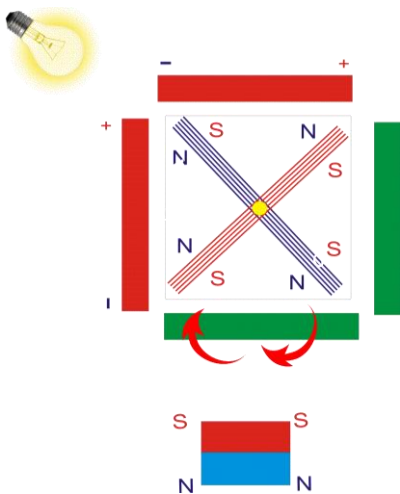


圖 30a、當轉子運轉至 0 度時，轉子極性與永久磁鐵極性左側相同，產生上推力，右側相反，產生下拉力

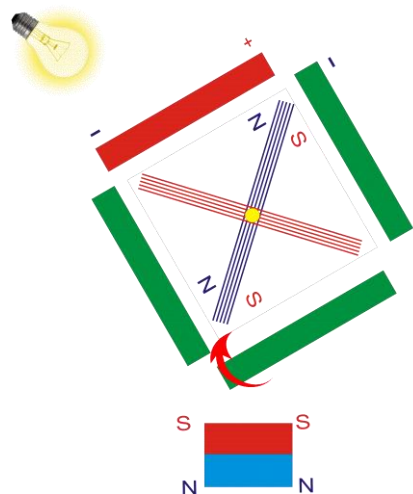


圖 30b、當轉子運轉至 45 度時，轉子與磁鐵極性左側相同，產生上推力

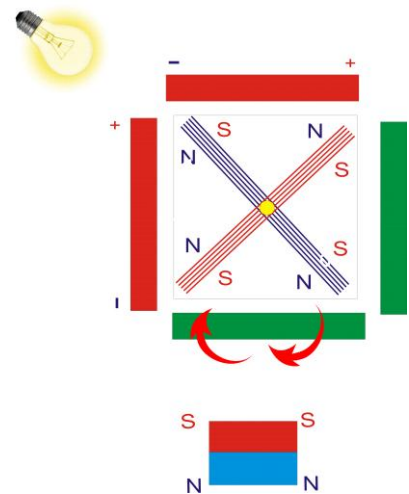


圖 30c、當轉子運轉至 90 度時，轉子受光情形及所產生極性與轉子於 0 度時相同。

從模擬運轉圖中得知光源於轉子左上 45 度角轉速最佳，如果光照於轉子右上 45 度角，其運轉之磁極相衝，無法產生順暢之作用力，轉子將停止運轉(圖 31a、31b)。光源介於此二角度間效率漸減。如果光照同時照於上下左右太陽能板時，因太陽能板之極性正負相對連接，電壓正負短路，線圈將不產生任何極性。光源僅能照於一方(左上方)，不可 360 度照光。

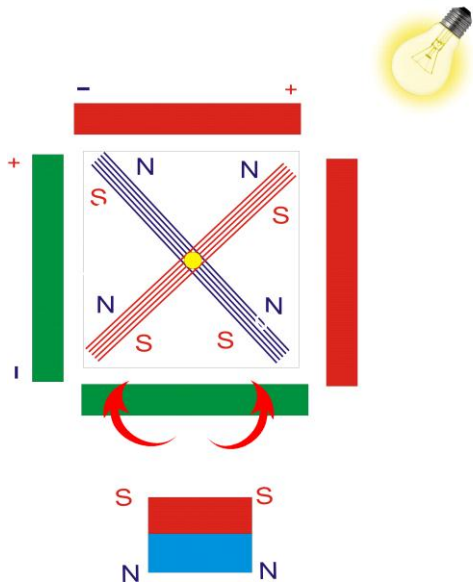


圖 31a、當轉子運轉至 0 度時，轉子與磁鐵極性左側相同，產生上推力，右側亦相同，產生上推力，左右推力互相抵制，讓轉子停止

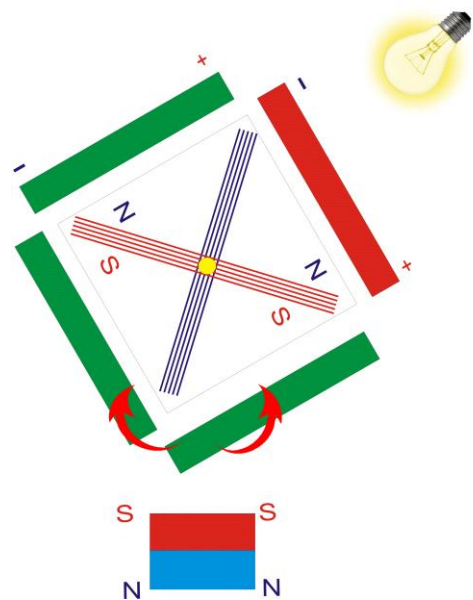


圖 31b、光照反方向，推力互相抵消。當轉子於 45 度時，轉子與磁鐵極性左側相同，產生上推力，右側亦相同，產生上推力，左右推力互相抵制，讓轉子停止運轉

實驗四：第一代機線圈匝數與轉子轉速(RPM)之關係

表 2、第一代線圈匝數與轉子轉速(RPM)之關係(5000lux 自然光照射)

匝數	轉速(rpm)	匝數	轉速(rpm)	匝數	轉速(rpm)	匝數	轉速(rpm)
260	0	400	132.62 ± 3.00	600	252.2 ± 5.18	800	202.16 ± 3.55
300	44.86 ± 4.12	500	189.98 ± 6.47	700	228.54 ± 4.54	900	168.52 ± 4.32

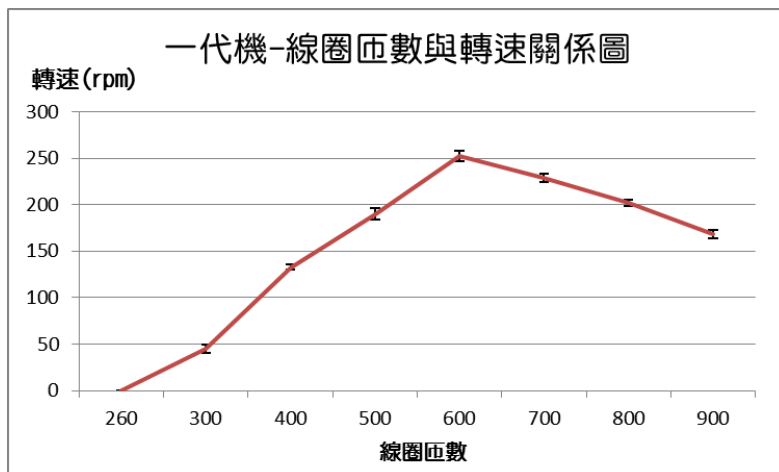


圖 32、第一代機線圈匝數與轉子轉速(RPM)之關係

當線圈超過 900 圈時，線圈已滿，再也無法繞線。由此表可知，繞製 600 圈效率最高。增加線圈圈數，可增加線圈中流通的總電量，在面積不改變的情況下，可增加磁通量，使轉子運行速度加快。

實驗五：第一、二代機成品於太陽光與室內光照下轉速比較

將完成之模型置於 Halogen Lamp 及太陽光照下，由觀察得知太陽光照之轉速較 Halogen Lamp 快非常多。經實際測量，一代機成品在 5000 lux 即可達到 250rpm 轉速，二代機可達到 300rpm。由此可知，在自然光可達到較良好效果。

實驗六：第一、二代機照度與轉速關係

表 3、第一、二代機照度與轉速關係(線圈：600 匝)

照度	1000Lux	3000 Lux	5000 Lux (自然光)	7000 Lux	9000 Lux (夏日中午)
一代機轉速 (rpm)	122.9 ± 3.31	188.46 ± 3.41	251.8 ± 2.71	311 ± 3.66	322.56 ± 3.45
二代機轉速 (rpm)	147.18 ± 2.98	220.72 ± 3.70	298.12 ± 3.03	342.14 ± 2.50	361.1 ± 2.49

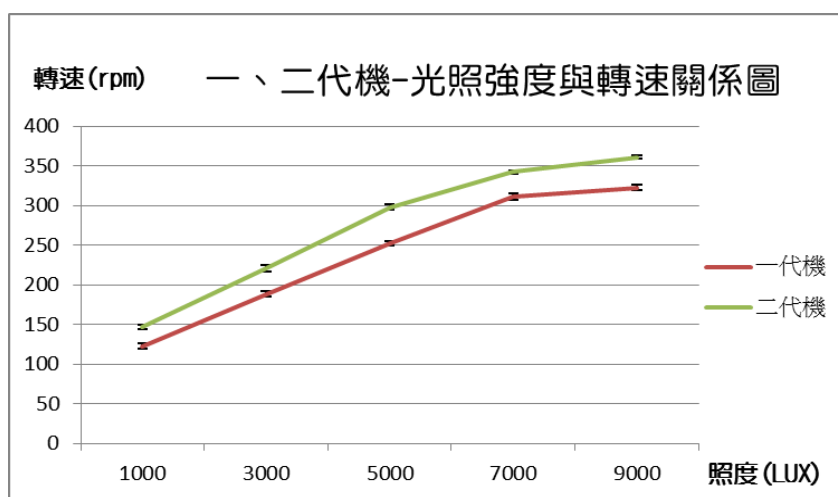


圖 33、一、二代機光照度與轉子轉速關係圖

1. 當照度為 1000Lux – 5000Lux，轉速與照度成正相關。5000 – 9000Lux 轉速較不受光照影響。由此表知，5000Lux 為其最適當的光照度。
2. 一、二代機低限光照與終端轉速
1000Lux 約為低限光照，自然光除陰雨天外皆高於 1000Lux，若照度低於 1000Lux 其轉速及扭力過小，運轉較不穩定。
3. 一代機因其磁浮方向皆向上，向下之固定力為重力，如此單方向磁浮不穩定，易偏離軸心，當轉速達 320rpm 即不穩定，也無法再提高轉速。二代機因其採環繞磁浮，磁浮較穩定，不易偏心，轉速約達 400rpm 才達終端速度。由此可見二代機之穩定性及效能較高。

實驗七：一、二代機重量與轉速關係

表 4、一、二代機重量與轉速關係(光照：5000Lux)

轉子重	繞線數	一代機轉速(rpm)	二代機轉速(rpm)
150g	400 匝	192.8 ± 2.23	201.82 ± 3.52
200g	500 匝	212.44 ± 3.45	271.98 ± 2.89
250g	600 匝	250.13 ± 3.05	298.26 ± 2.60
300g	700 匝	242.34 ± 2.56	261.24 ± 2.52

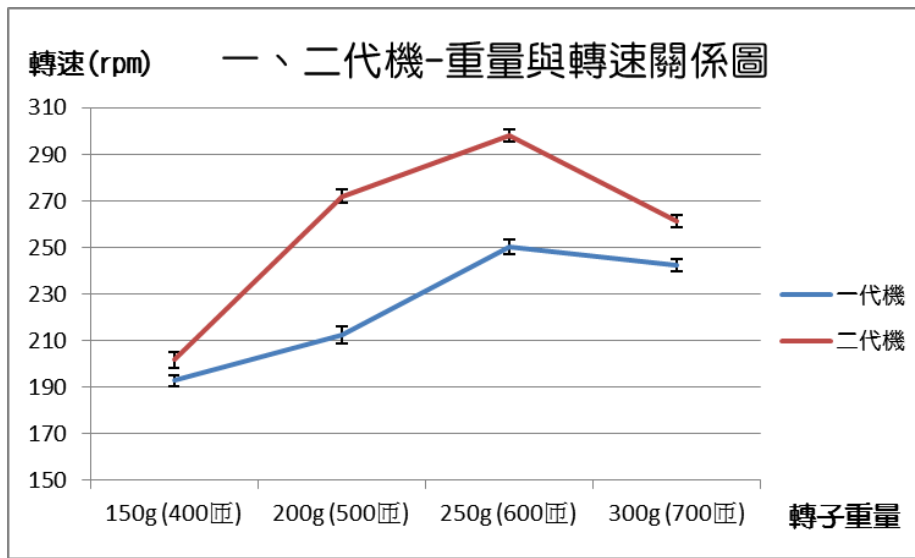


圖 34、一、二代機重量與轉速關係圖

由此實驗可知最適當之轉子重約為 250g。

實驗八：第三代機供應電壓與轉速關係

表 5、三代機供電電壓與轉速關係表

輸入電壓	5.6V	7V	9V	12V
轉速(rpm)	324.68 ± 2.25	424.46 ± 3.14	573.43 ± 3.18	803.12 ± 5.15

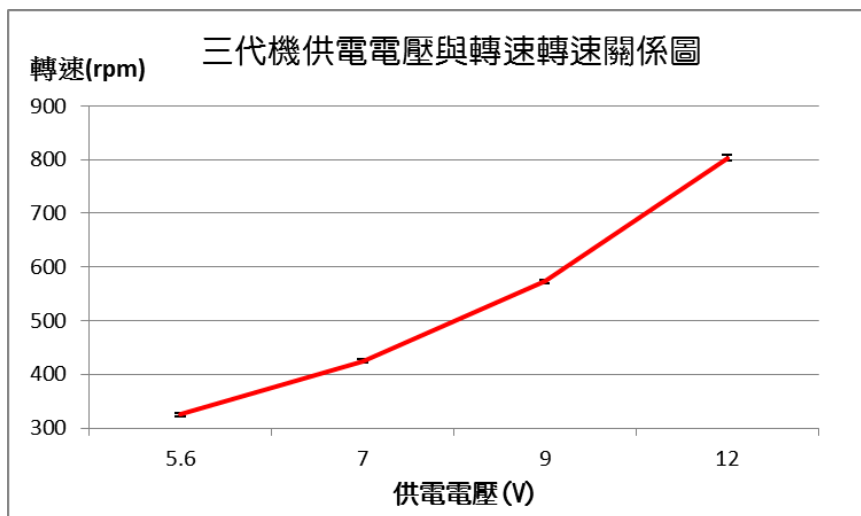


圖 35、三代機供電電壓與轉速之關係

電源供應之電壓與轉速成正比，然而到達終端轉速時，即使電源供應量增加，其轉速及發電量不隨之增加。

實驗九：風力大小與第三代機發電量關係

表 6、風力大小與第三代機發電量關係

風力 (m/s)	輸出電流(mA)	轉速(rpm)
2 (弱風)	21.13 ± 0.31	382.6 ± 2.24
4 (自然風)	31.44 ± 0.26	474.42 ± 2.78
7 (有發電經濟效益之風力)	39.96 ± 0.37	664.96 ± 3.01

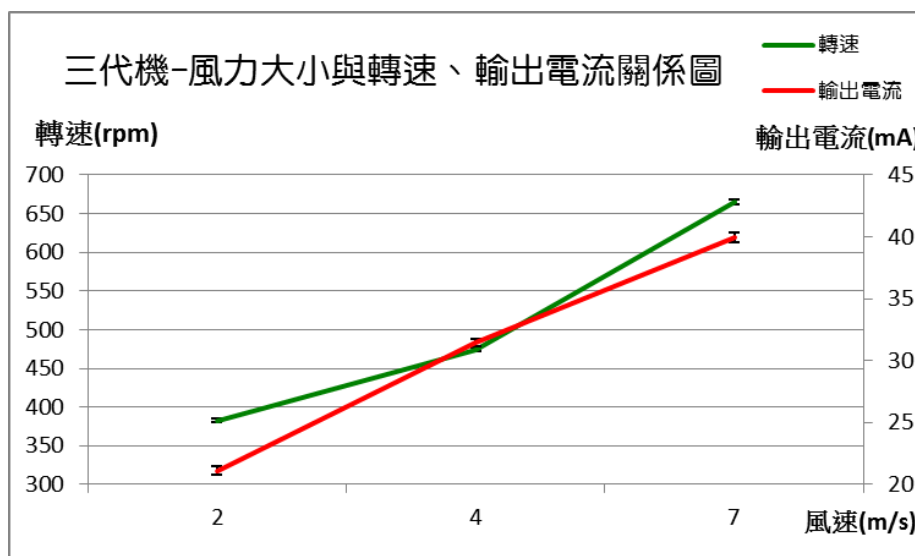


圖 36、三代機風力大小與轉速、輸出電流關係圖

風力發電時其發電量隨風速增加而增加。而外加風洞，其可壓縮空氣，加快風速，可使發電效率更佳。

實驗十：第三代機發電量與線圈數關係

表 7、第三代機發電量與線圈匝數關係(風力 4m、線圈組數 1 組、使用粗線圈)

線圈匝數	發電量(mA)	轉速(rpm)
1900	24.19 ± 0.30	473.9 ± 2.62
2200	29.16 ± 28.97	524.9 ± 2.16
2500	31.42 ± 0.32	576.9 ± 3.26
2800	28.16 ± 0.51	524.86 ± 2.04

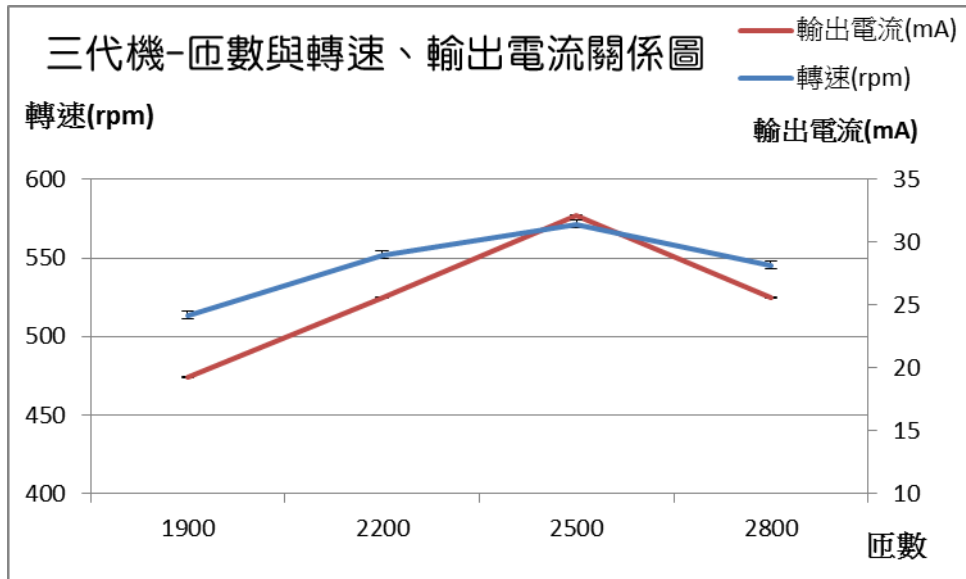


圖 37、三代機匝數與轉速、輸出電流關係圖

表 8、第三代機發電量與線圈組數量之關係(風速 4m/s、匝數 2500 匝)

線圈數	1	2	4	6
發電量(mA)	31.256 ± 0.21	59.30 ± 0.24	119.26 ± 0.38	181.04 ± 0.38

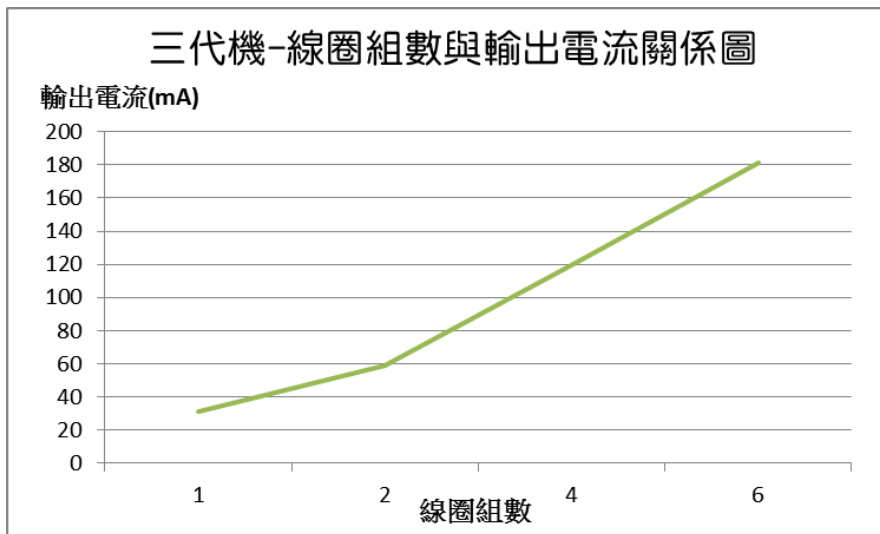


圖 38、第三代機線圈組數與輸出電流關係圖

與推測結果類似，於 2500 匝前發電量隨匝數漸增，超過 2500 匝，因電阻過大，發電量反而漸減。而因其設計為外接線圈，線圈數增多不影響轉子重量與電阻，故其發電量約與線圈數成正比。一般家用 120W 23V 燈泡約需 191mA 的電流量，可知總發電量已相當接近。

實驗十一：第三代機磁鐵極數與轉速關係

表 9、第三代機磁鐵極數與轉速關係(供電量：9V)

磁鐵極數	2	4	6	8	環繞型磁鐵裝置
轉速(rpm)	374.76 ± 3.10	573.7 ± 1.99	575.82 ± 3.67	475.04 ± 2.60	674.36 ± 2.80

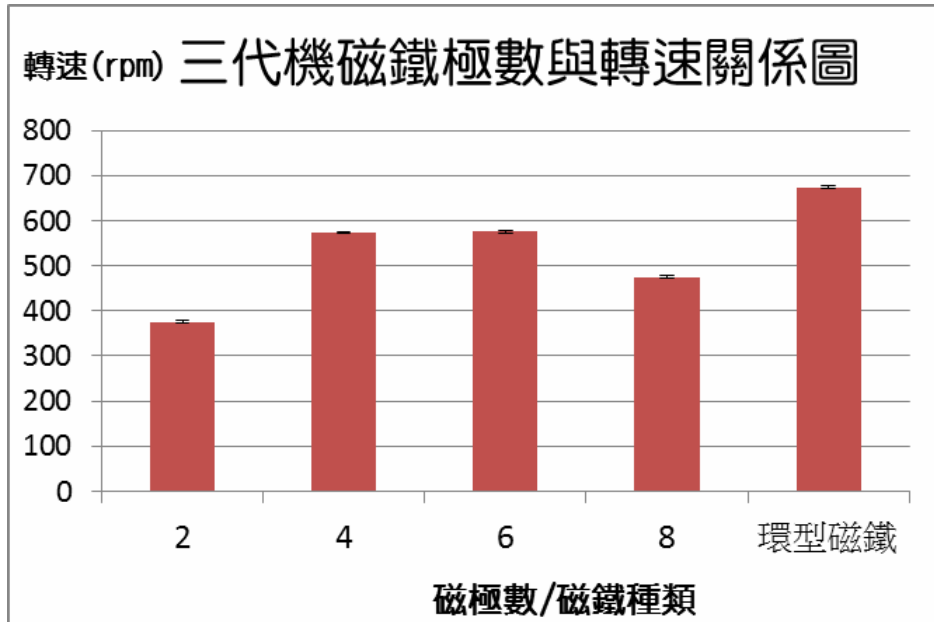


圖 39、第三代機磁鐵極數與轉速關係圖

環繞型磁鐵裝置，係用小型棒狀鈷硼磁鐵，固定於轉盤外環，將轉盤完全圍繞。即便使轉子增加重量，但極性大幅提升，且慣性增大，類似飛輪構造，故轉速增快。

實驗十二：第一、二、三代機與市售馬達性能比較

表 10、第一、二、三代機與市售馬達(4 極 DC 碳刷馬達)性能比較

	市售馬達	一代機	二代機	三代機	市售馬達
供電電壓(V)	6.4V	5000lux, 2.4V	5000lux, 2.4V	9V	9V
轉速(rpm)	150-180	250	300	600	250

陸、討論

一、太陽能磁浮馬達一代機研究與討論

- (一) 將太陽能板置於夏日正午之太陽光下，當照度超過 9000lux，測試其電壓值約為 4V，表示太陽能板發電電壓已達規格上限，無法再提升，但測試其電流達 55mA，比用 Halogen Lamp 光照多出 25mA (Halogen Lamp 最高 30mA)，可知於強太陽光下能量可得最高極限。
- (二) 光照角度：將燈泡置於馬達相同距離及不同角度照射，發現其於左上 45 度角時，因兩面太陽能板受光平均，極性不相消，其轉速最快。
- (三) 第一代轉子轉動時其主軸穩定度有偏心現象，探討其原因為主軸採用筷子製作，其直線度不夠，須改進修正為鋼棒軸心。此外，其僅有單方面之磁浮，因此軸心易晃動，穩固性不高，故二代機改使用圓周封閉式。
- (四) 中心軸之磁鐵極性及置放位置非常重要，如有差距則無法將主軸浮於中心位置。於基座底下擺置磁鐵，作為推力磁鐵，但基座 90 度處擺置磁鐵，對於推力沒幫助，反而產生相斥力，無法運轉順利。
- (五) 線圈數：
於臥式第一代機曾以不同線圈數進行實驗，發現五百圈為最理想線圈。然而，經過再次實驗後，發現六百圈之轉速較大。造成此改變之可能性有：
 1. 架構改變。
 2. 測試時實驗誤差。
 3. 光照能量太小，以致於多線圈時，電阻反而較大。

二、太陽能磁浮馬達改良型第二代機研究與討論

- (一) 第二代機可以任何角度擺放。測試各種角度置放，(臥式、立式、斜放、或磁吸於電冰箱之上)，觀察其運轉均正常，故此設計方法正確，可任意擺置不受角度影響。
- (二) 支架剖溝：為將第二代機馬達放入及移出，故需於圓周封閉之磁浮系統中，製作一開口。因支架剖溝最方便，且不影響馬達架構，故使用兩面式支架。放入支架溝槽時，先將磁鐵平行放入隙縫，並徐徐推入支架。推入時，因磁鐵斥力強，須使用較大力氣。
- (三) 第二代機主軸
 1. 軸心
由實驗得知，金屬棒較穩固且較精確，在製作馬達時有幾點需注意
 - (1) 金屬棒直徑不可太大，已免軸心太重。
 - (2) 尖端仍需削尖，以減少與壓克力板之摩擦力。
 - (3) 與金屬棒之壓克力板接觸面須加裝玻璃片，預防金屬棒尖端刮損壓克力板。

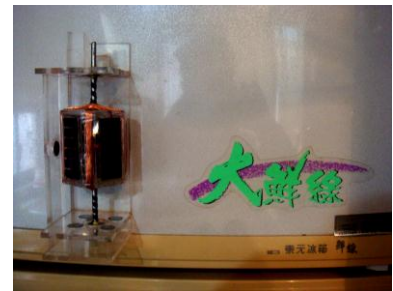


圖 40、第二代機磁吸於冰箱上

2. 培林

一般馬達為減少磨擦力多使用鋼珠培林，但在本實驗中採用磁浮培林，主要原因為鋼珠培林仍有圓型鋼珠之些許機械摩擦力，而磁浮培林：為磁浮架構，懸浮於空氣中，僅有空氣阻力，阻力小。轉子使用磁浮培林，可使摩擦力降低，提高轉動效率。

(四) 第二代機磁浮框架

框架中，採用 15 mm 之圓形磁鐵，而環型磁鐵直徑 20 mm，又經實驗後以 5 mm 磁鐵間隔距離最理想。因此假想環狀距離為， $((20 + 15) \div 2 + 5) \times 2 = 45 \text{ mm}$ 。因磁鐵假想環狀距離為 45 mm，考慮馬達主體對角線 65 mm，及磁鐵高度，取 85 mm 為支架高度，並取 32.5 mm 之微低於中心點放置軸心。

三、磁浮馬達第三代機研究與討論：

(一) 磁鐵種類

一代機之棒狀磁鐵形狀不符合機身需求，而二代機環型磁鐵之 NS 極於扁平之兩端，故需垂直於轉子放入，因此改良為彈珠磁鐵，為圓球狀，NS 極於兩側半圓形，符合架構。

(二) 電壓

經測試此機身最小需六伏特電力可運作，最大可承受至十二伏特電力而仍運作穩固。

(三) 磁鐵數量

曾使用二極、四極、八極，但二極磁力不足，八極機身太重，故四極為最佳之磁鐵數量。

(四) 磁感應

1. 若無使用此裝置，線圈隨時保持極性，故當異極磁鐵感應磁力時，其位於垂軸前，於是將彈回而不繼續運轉。因此需加裝感應裝置於線圈，使其變換極性，當磁鐵經過後才立即開啟。
2. 磁感應感控方式有三種，分別為霍爾感應器、光電感應器及線圈感應器。其效果並無顯著差異，但考慮霍爾感應器最易取得，因此使用霍爾感應器。
3. 感應裝置位置可以公式計算，首先測量感應時間，接著以慣性定律公式，算出其於反應時間中可行進之距離 L。接著，測量理想排斥點，由排斥點回推距離 L 即為架設點。

(五) 第三代高效率磁浮馬達可外接太陽能板：

1. 取一 5W 之太陽能板外接於高效率磁浮馬達做為電源供應。
2. 將太陽能板與地平線 23.5 度固定，使太陽能板面對陽光。
3. 裝置光源感應器，並裝置一旋轉裝置，使太陽能板跟著地球自轉旋轉。因一般太陽能板僅有 17 至 18% 的功率，加上自然光源較不固定，其效率約等於 9V 之功率。

(六) 匝數

第三代機最佳動力線圈與發電線圈匝數皆為 2500 圈。使用粗線圈，其電流量可供應 5~6 個 LED 燈使用。若以多組線圈，則可使發電量加倍，但因線圈需緊鄰轉子圓周，基於空間限制，動力線圈與發電線圈皆以使用 6 組為最佳。

柒、結論

一、一二三代機綜合比較

	優點	缺點	轉速範圍
一代機	1. 取材環保、方便。	1. 不穩固，軸心容易偏移，運轉時晃動。 2. 因擺放角度固定，應用受限制。 3. 手工製作，不夠精準。	250rpm (5000LUX)
二代機	1. 大部分以機械製作，精確度高。 2. 機身較堅固、穩固，可立可臥式，軸心不易偏移。	1. 效率要再提高的話，必須再尋找效率更高的太陽能板。	300rpm (5000LUX)
三代機	1. 應用磁浮及綠能概念，不僅將轉換之功率提升，且能實際結合綠色能源，如以風力驅動。 2. 軸心精準，磁浮與支架結構完善，穩固性極高，且不易損壞。 3. 使用外接線圈，提升轉速與發電量。 4. 依不同的外接電量，終端轉速有所不同。	1. 機身較無法調整。 2. 因機身仍十分小，無法做更高能源之發電。若未來能加強機身之堅固性，將機身加大，並加大能源輸入，必可應用於工業之高效率馬達及發電。	350-400rpm (DC6V) 550-650rpm(DC9V) >800rpm (DC12V)

二、使用磁浮優點

本實驗應用磁浮培林以減少摩擦係數及能量消耗，能有效減少震動、噪音與耗損，進而延長馬達壽命、提高終端轉速。機身運轉時轉換率較高，以較少電量輸入驅動馬達。因高效率，適合低供電量、高扭力、高效率、轉子慣性小的小型電動機及發電機，並可應用於需高精確度而低耗損之儀器。因機組間不需潤滑，可減少維護與維修次數，適用於特殊環境，如高壓、高溫與真空等。

三、運用無碳刷之優點

第三代機以霍爾感應器代替電樞，製作無碳刷馬達，降低損壞機率，減少摩擦力，其控制性也較佳。

四、外接線圈優點

第三代機外接線圈可接多個線圈而不影響發電效率，轉子於一粗線圈約可發動 5-6 個 LED 燈泡，若增加發電線圈，可發電約 30 個 LED 燈泡。於動力線圈，可使用多個動力線圈及磁鐵，亦可增加轉速。外接線圈也不會造成轉子的重量，且因置於定子上，可連結外部系統，或散熱裝置。

五、第三代機結合發電與電動功用，可同時達到發電機與電動機的效能。當由下方動力線圈供給能源時，其為高效率磁浮馬達，當使用風力使其轉動時，其可切割線圈發電，成為高效率磁浮發電機。應用本機械於工廠之散熱風扇，可兼具發電功能而同時供應照明系統之電源。

捌、未來展望

若能加大機體之規格並增加發電及供電線圈數，且以工廠製造增加其精準度，其相對轉速及發電效率亦相對提高。若應用於高精密度低機器耗損之儀器，可將機體加裝密閉設計、將環境抽為真空，使空氣阻力幾乎為零；若應用超導磁浮，則其效率及精確度更可進一步提升，或改變其架構，使用其他環境中之因子(如重力)，可使其達到類永動機之理想。

玖、參考文獻

1. 林光宇(2001)。電磁感應・隨波逐流。建宏出版社。
2. 黃忠良(2001)。磁懸浮與磁力軸承。復漢出版社。
3. 賴耿陽(2001)。永久磁鐵技術實用。復漢出版社。
4. 翰林教科書團隊編著(2010)。國中自然與生活科技第六冊。翰林出版社。
5. 吳權鵬(2010)。三相永磁式同步電動機之設計及控制。國立臺灣科技大學電機工程系碩士論文。
6. 范淑媛(2008)。碟型磁浮馬達之分析與實現。國立中正大學電機工程所博士論文。
7. 曾建偉(2009)。微型永磁同步電動機設計、分析、製作與測試。國立高雄應用科技大學機械與精密工程研究所碩士論文。
8. 楊紫億(2010)。無刷直流電動機之高速驅控系統研製。國立臺灣科技大學電機工程系碩士論文。
9. Hak-in Lee, Hyunchu Lee, Noh, M.D. (2009). Advanced Intelligent Mechatronics. 1631 – 1636. System-level optimization of magnetically-levitated micro flywheel energy storage device. Chungnam Nat. Univ., Daejeon, South Korea.
10. Kanebako, Hideki, Okada, Yohji, Abe, Keisuke(2002). Magnetically levitated motor. United States Patent.

【評語】 030821

1. 具綠色能源之研究主題，作者能利用所學，經過巧思及改良，設計出具高效率之磁浮馬達，並應用於電動機及風力發電機。
2. 對於原理設計、應用及如何改良均有深入而且具特色的理念，相當難得。
3. 根據實驗結果其所設計之第三代磁浮馬達可以獲得比一般市售馬達更佳之效能。