

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

佳作

030806

「驚濤駭“電”！」—波浪發電之研究

學校名稱：桃園縣立內壢國民中學

作者： 國一 洪欣怡	指導老師： 鍾文憲 陳美華
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 海浪發電、電磁效應、線圈

作品名稱：「驚濤駭“電”！」—波浪發電之研究

摘要

搖晃的浮台觸發了靈感，海浪的起伏決定了發電方法與實驗研究及研發的方向，包括了：

- 一、首先我們研發出創意繞線圈工具機，內含多種生活簡單用品之聯想與應用，並且可以精準與方便地纏繞多圈線圈。
- 二、之後我們在發電管上纏繞漆包線圈的研究活動中，亦證明與歸納出了正確的纏繞線圈方式為何。
- 三、接著創作出模擬海浪測試平台，內含有我們所設計的發電管套插座組體與自創電路測試系統，讓我們在實驗測試發電管的發電電壓效率時，也發現與證明了線圈圈數、磁場強度、線圈號數、以及纏繞線圈方式對發電電壓的影響與關係為何。
- 四、綜合實驗研究所得，並經長時間反覆研究，設計出海浪發電模型，樣式完全依據波浪上下振動特性而來擷取波浪的能量，並能將其成功轉換成電能。



壹、研究動機

我們全家一起去台北縣淡水鎮的八里騎自行車遊玩，當騎到八里渡船口時，臨時決定要到對岸的淡水鎮吃晚餐，正當在渡船口的浮台上等待船隻時，我突然發現渡船口的浮台上下起伏左右搖晃的好厲害，此時令我深刻地感受到海浪強悍的力量，也想起了自然課時老師在相關的課程中，所提到的台灣海水流動與波動情形；猝然靈機一動，一個點子閃過腦海，「這股海浪強悍的力量，我是否能夠利用它來發電呢？」自然老師於課堂上曾經提到台灣屬於海島地形，沿海地區由於受到強大季風吹襲，在廣闊海面上，經常存在著洶湧的波濤，特別是台灣全島共擁有長達 1,448 公里的海岸線，海浪能源蘊藏極為豐富，而若能利用海浪來發電，既不會產生污染，也不需消耗燃料而產生二氧化碳，造成了溫室效應危害了地球，可說是十分有價值的藍色再生能源；我們生為地球村的一員，在節能減碳重要課題下，使得許多國家均積極尋找可以有效減少環境傷害及可以長期使用的替代性能源，除了開發新式燃料之外，可再生能源也是努力開發的極大重點，而佔全球面積 70% 的海洋，就是一個很好的能源開發之來源；於是我回到學校後請教老師，利用不停斷的波浪可造成浮台不停斷的起伏搖晃，以這樣的想法，可否應用在設計發電上，老師對我說，「這是一個很好的實驗研究題目，你可以試著做做看」，於是便開始跟著老師進行研究，展開了此次豐富的科學研究與學習之旅。

註：教材之相關性【教學單元】：

國中自然與生活科技課本↔	第一冊（康軒版）§1-2 生命生存的環境↔
國中自然與生活科技課本↔	第一冊（康軒版）§7-2 解決問題的方法↔
國中自然與生活科技課本↔	第一冊（康軒版）§7-3 傳達構想的方法↔
國中自然與生活科技課本↔	第一冊（康軒版）§7-4 科技的展望↔
國中自然與生活科技課本↔	第三冊（康軒版）§3-1 波的傳播↔
國中自然與生活科技課本↔	第三冊（康軒版）§3-2 波的特性↔
國中自然與生活科技課本↔	第四冊（康軒版）§6-1 力與平衡↔
國中自然與生活科技課本↔	第四冊（康軒版）§6-2 萬有引力↔
國中自然與生活科技課本↔	第四冊（康軒版）§7-3 浮力與物體的浮沉↔
國中自然與生活科技課本↔	第五冊（康軒版）§3-7 能源↔
國中自然與生活科技課本↔	第五冊（康軒版）§5-1 地球上的水↔
國中自然與生活科技課本↔	第六冊（康軒版）§2-1 磁鐵與磁場↔
國中自然與生活科技課本↔	第六冊（康軒版）§2-2 電流的磁效應↔
國中自然與生活科技課本↔	第六冊（康軒版）§2-3 馬達↔
國中自然與生活科技課本↔	第六冊（康軒版）§2-5 電磁感應↔
國中自然與生活科技課本↔	第六冊（康軒版）§4-3 全球變遷↔
國中自然與生活科技課本↔	第六冊（康軒版）§5-1 能源萬事通↔

貳、研究目的

- 一、研發一座創意繞線圈工具機。
- 二、發電管上纏繞漆包線圈。
- 三、研發一組模擬海浪測試平台。
- 四、實驗測試發電管的發電電壓效率。
- 五、研發一組海浪發電模型。
- 六、實驗測試海浪發電模型。

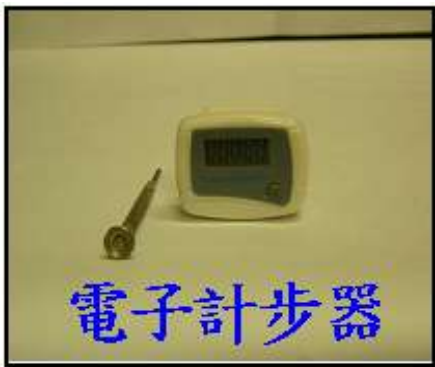
參、研究設備及器材

設 備 器 材	三用電錶	老虎鉗	自製繞線圈工具機	熱熔槍	鉚槍	電鑽	電子式計步器
	打火機	電腦	數位相機	小刀	砂紙	螺絲起子	玩具汽車引擎
	剝線鉗	斜口鉗	塑膠方形水槽	小鑷子	圓規	量角器	鑽洞器
	快乾膠	減速馬達	組合式方形壓克力蓋	保利龍板	磁簧管	壓克力盒	圓木棒
	塑鋼土	透明塑膠管	泡棉雙面膠	8字環	導線	電池盒	圓形鐵片
	強力磁鐵	軸承	電壓測試頭	壓克力罐	漆包線	CD片	名片盒的蓋子
	搖頭開關	壓克力板	發電管塑膠圓套	原子筆管	小鐵塊	橡膠圈	二片式門軸

肆、研究過程方法、結果與討論

一、研發一座創意繞線圈工具機

實驗 1-1：應用日常生活中聯想到的電子式計步器及磁簧管製作繞線圈馬達計次器



圖：打開計步器蓋子



圖：將小彈簧鐵桿及下面鐵片



圖：將 2 條延長導線接於磁簧管

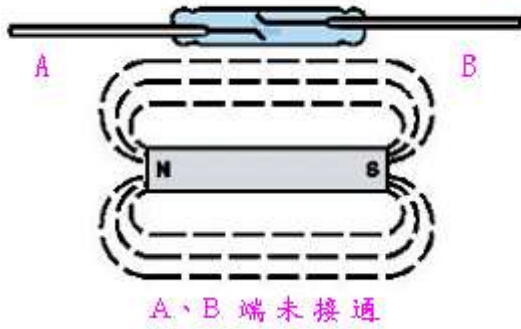
各焊接 1 條延長導線

的兩端

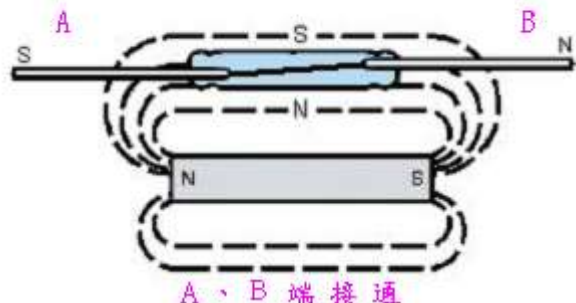
研究結果與討論 1-1：

1. 繞線圈馬達的計次器的動作原理，計步器內有一根小彈簧鐵桿，當鐵桿往下接觸下面鐵片時，則計步器會顯示+1，所以我們利用此現象，再引用課本「磁鐵與磁場」之所學，配合磁簧管特性，當磁簧管在感應磁力時，鐵桿與鐵片相接觸，管內的 A、B 兩端會相接觸導通電源與信號，所以當有磁鐵靠近磁簧管時，計步器則會顯示+1，這樣便可以計算磁鐵靠近磁簧管的次數。

磁簧管的原理圖

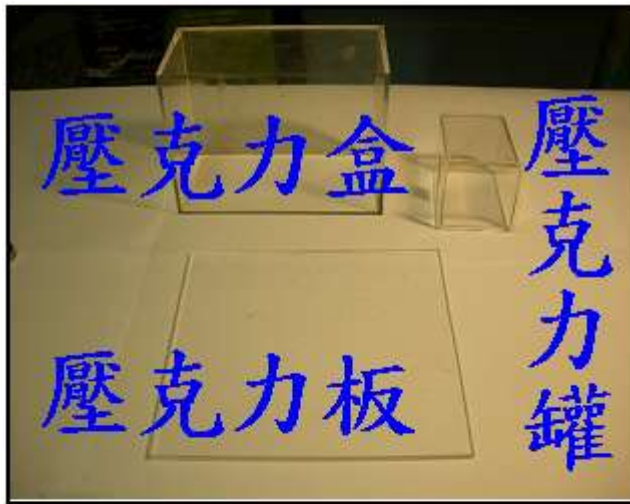


A、B 端未接通



A、B 端接通

實驗 1-2：應用日常生活中聯想到的原子筆筆頭管、小馬達、軸承、8 字環製作繞線圈平台



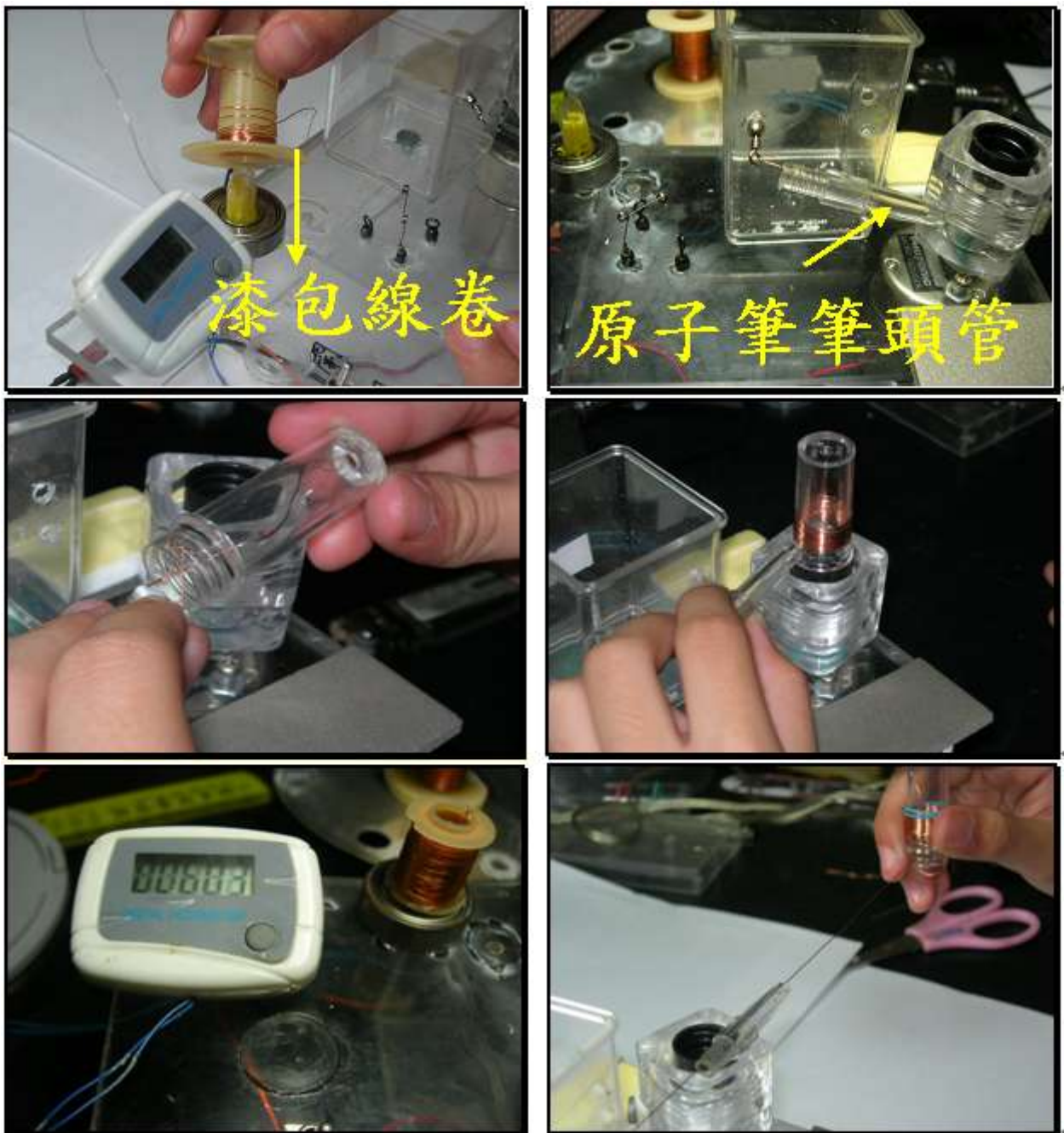
圖：當組合式方形壓克力蓋旋轉 1 次，會使磁簧管內部金屬片相接觸 1 次，電子計步器也會顯現 +1 次，再把相關物件加以設計組合，便完成繞線圈工具機

研究結果與討論 1-2：

1. 課本中「電流的磁效應」，清楚明確的告訴我們，纏繞漆包線圈時，線圈與線圈之間務必要**緊靠**，以獲得良好實驗效果，所以我們製作繞線圈工具機，並選用旋轉靈活的8字環與原子筆筆頭管來**導引且統一纏繞漆包線**，以達到良好實驗效果的要求。

二、發電管上纏繞漆包線圈

實驗 2：以所創造研發之繞線圈工具機進行發電管上纏繞漆包線圈之實驗



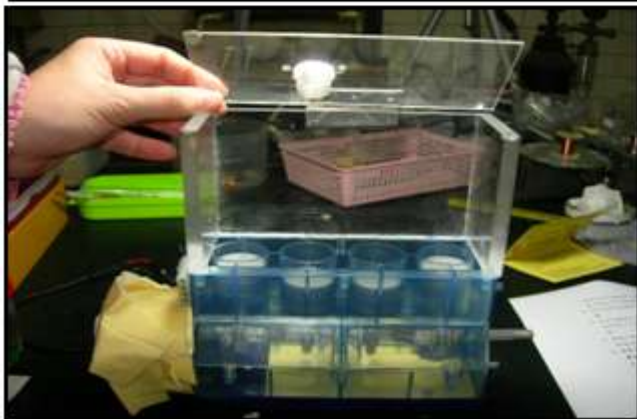
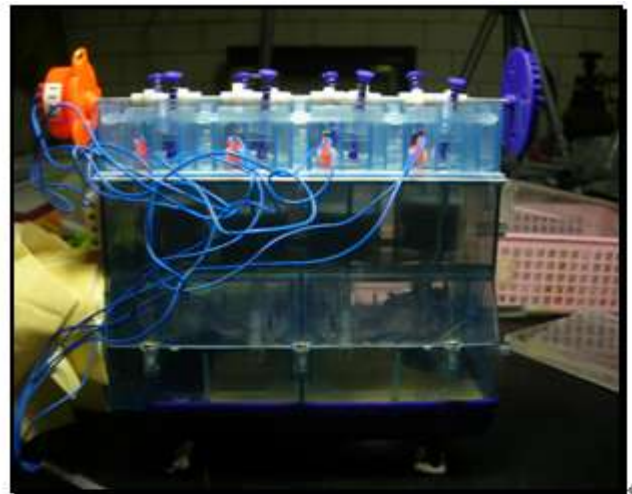
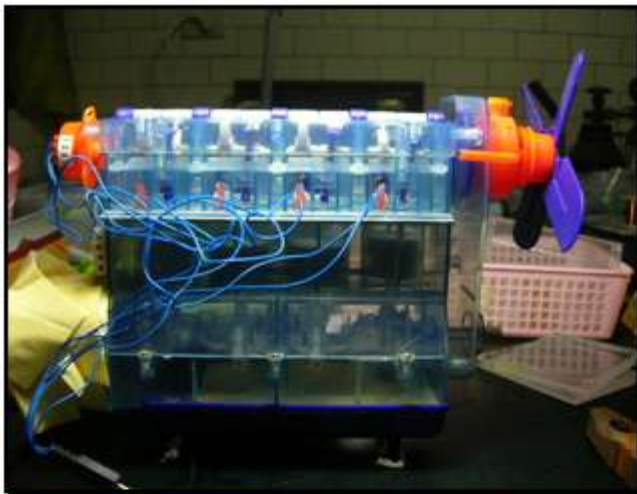
圖：漆包線穿過8字環、原子筆頭管，開啟旋轉馬達，計次器開始顯示纏繞圈數。

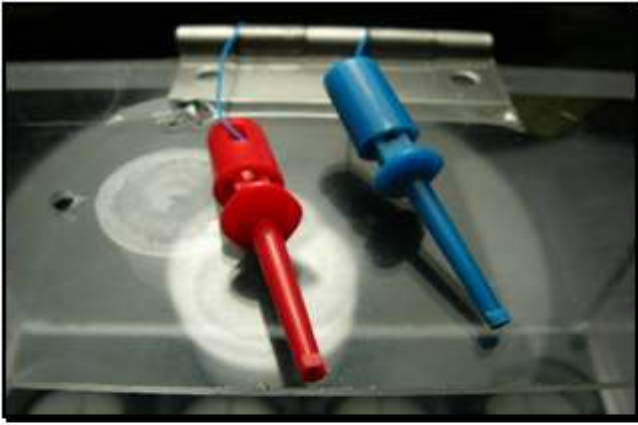
研究結果與討論 2：

1. 其實剛開始用人工纏繞發電管，因為纏繞的圈數太多而容易數錯，且纏繞出來的漆包線，線圈與線圈之間，鬆緊程度也不同，十分不精確、不科學，還好後來改由我們研發出來的創意繞線圈工具機來協助纏繞線圈，才解決了這個棘手的問題，並能廣泛於日後的生活或科學學習活動當中應用；此外，對於在本報告稍後進一步探討漆包線的圈數多寡及線徑大小對發電電壓之影響的研究活動之進行，亦有極大之幫助。

三、研發一組模擬海浪測試平台

實驗 3：以所設計的發電管套插座組體與自創的電路測試系統進行模擬海浪測試平台之研發





圖：聯想與應用生活中廢棄的玩具模型，加以拆除，進行研究與重新組裝，設計發電管套插座組體與自創電路測試系統，加以安裝，並以導線連接電壓測試頭與電錶測試插座，加以焊接，逐步完成模擬海浪測試平台之研發工作。



圖：1 號管:0 個強力磁鐵，
2 號管:1 個強力磁鐵，
3 號管:3 個強力磁鐵，
4 號管:5 個強力磁鐵，
5 號管:7 個強力磁鐵。

研究結果與討論 3：

1. 我們利用廢棄的汽車引擎玩具模型，玩具模型內高轉速的馬達，經由齒輪組轉換為慢速大扭力，此刻再轉動活塞連桿，使汽車引擎內的活塞產生上下起伏動作，我們要的就是活塞的動作，來模擬波浪上下起伏的動作，再加上我們所設計的電路測試系統，成功地做出此一模擬海浪測試平台，我們在測試平台的活塞上面放有強力磁鐵管，讓強力磁鐵管跟著活塞動作，而發電管插於發電管套中，不隨活塞做上下起伏，這樣的設計會使強力磁鐵管於發電管內呈現做來回起伏穿梭之動作。
2. 根據課本「電磁感應」章節之所學，我們知道原先沒有電流的線圈，會因為線圈內的磁場發生變化而產生電流，這種因磁場發生變化而產生電流的現象稱為「電磁感應」，而產生的電流稱為「感應電流」，我們設計讓強力磁鐵管，來回穿梭發電管內，這會使發電管上線圈內的磁場發生變化而產生電流，來回穿梭線圈的速率越快，線圈內的磁場變化速率越快，線圈內產生的感應電流就越大，這就是海浪測試平台的動作目的，並且透過所設計的 5 支不同磁場強度的強力磁鐵管及不同漆包線號數與圈數的發電管，能在之後的研究活動中更進一步探討其分別與所產生的電壓之關係為何。

四、實驗測試發電管的發電電壓效率

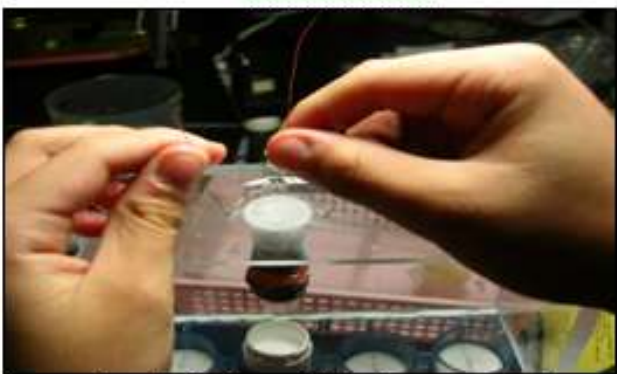
實驗 4-1：以所創造研發之模擬海浪測試平台進行纏繞不同號數（包括：31、35、37、40 號，直徑分別為：0.226、0.142、0.114、0.079 毫米）以及不同圈數（包括：200、300、400 圈）的漆包線之發電管的發電效能之測試實驗



圖：自創發電管套測試插座組體



圖：將發電管插入發電管套測試插座中



圖：漆包線從測試插座的小孔伸出



圖：鉤住漆包線的末端



圖：自創電路測試系統(測試發電管發電電壓)



圖：電錶探針插入連接二個電壓測試頭尾端的電壓測試座中

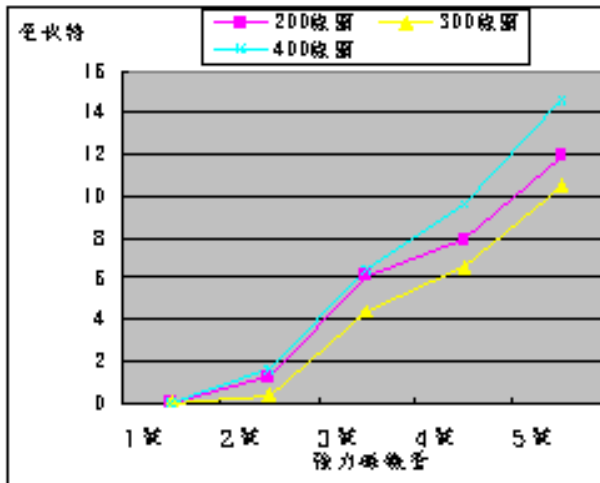


圖：按下 "MAX" 按鍵記錄最高的電壓值

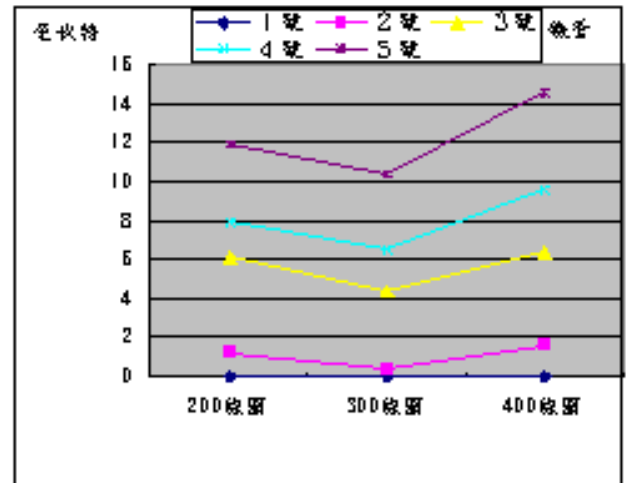


圖：自創發電管套測試組體與電路測試系統結合，成功測試發電管發電電壓效率

測試 31 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表(請見附錄 1)

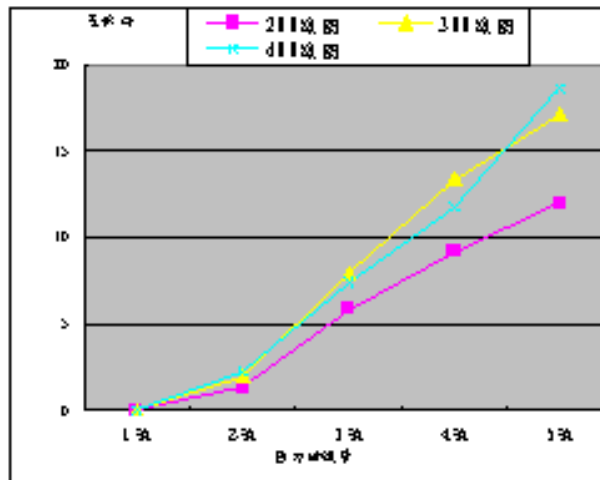


測試 31 號漆包線統計圖 A

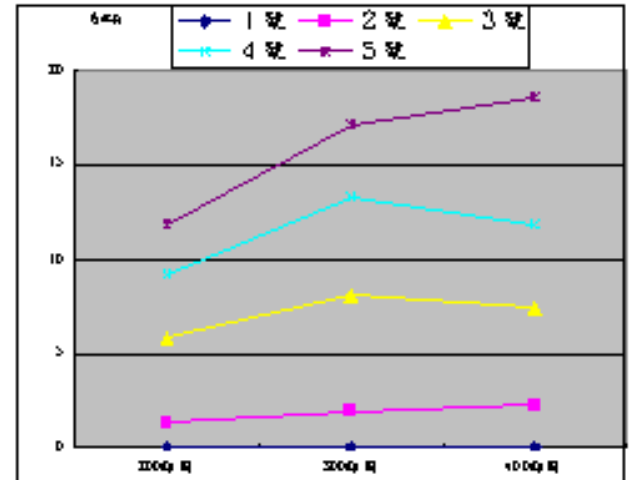


測試 31 號漆包線統計圖 B

測試 35 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表(請見附錄 2)

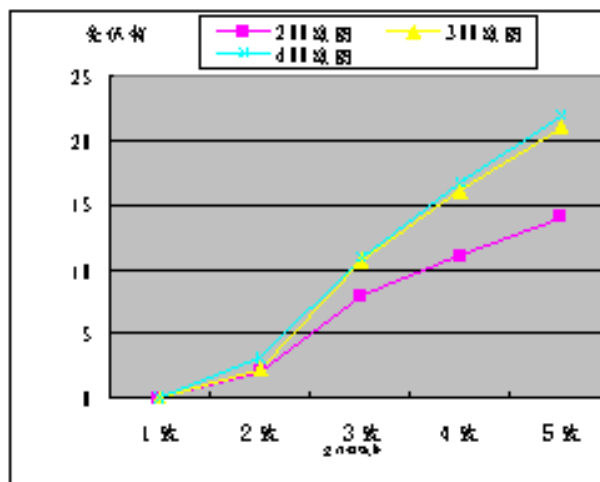


測試 35 號漆包線統計圖 A

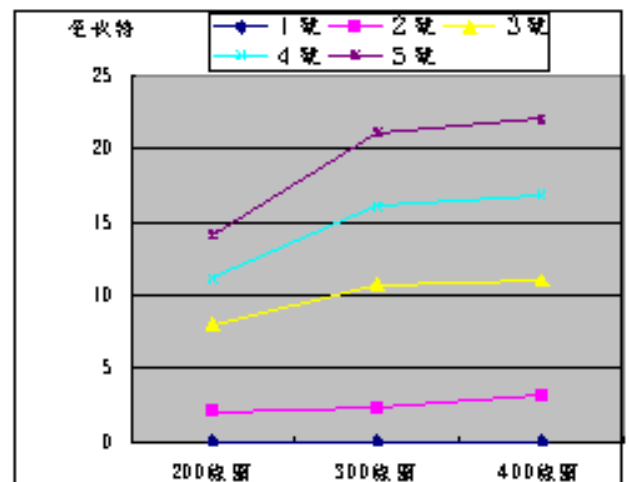


測試 35 號漆包線統計圖 B

測試 37 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表(請見附錄 3)

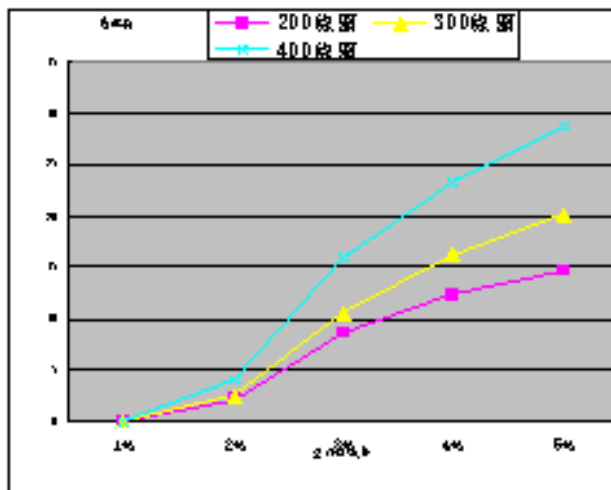


測試 37 號漆包線統計圖 A

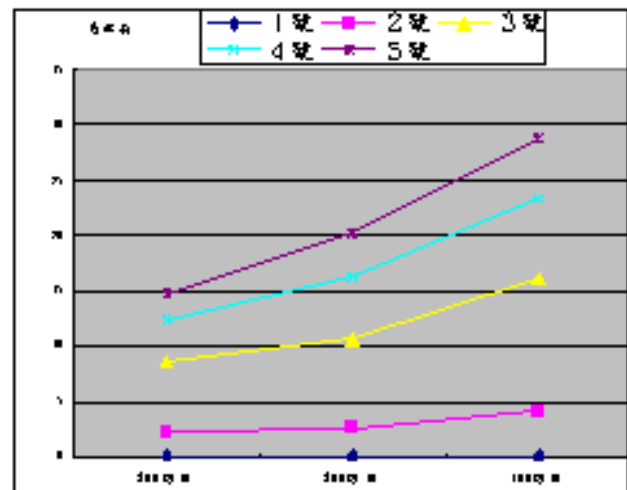


測試 37 號漆包線統計圖 B

測試 40 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表(請見附錄 4)

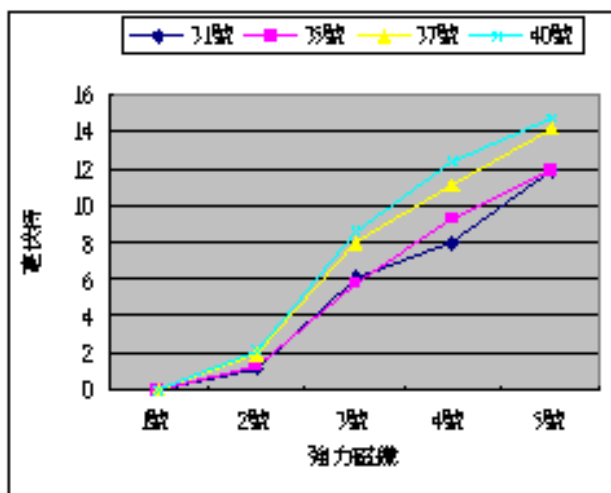


測試 40 號漆包線統計圖 A



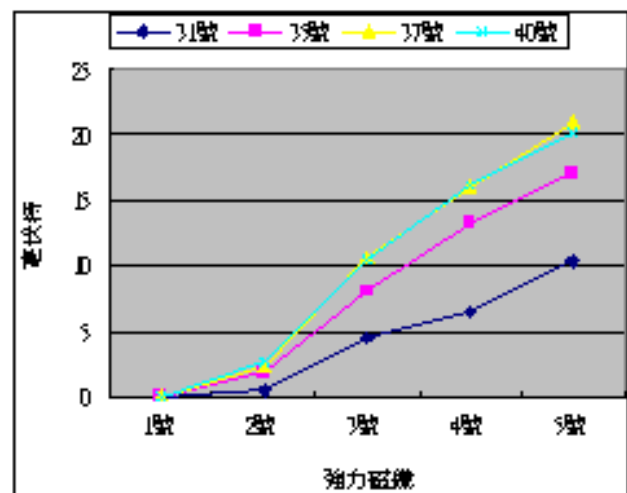
測試 40 號漆包線統計圖 B

纏繞相同 200 圈數的發電管觀察記錄表 (請見附錄 5)



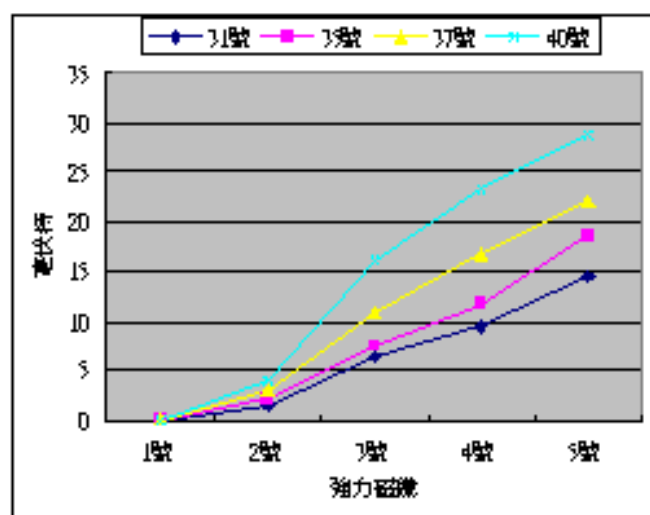
纏繞相同 200 圈數的發電管觀察統計圖

纏繞相同 300 圈數的發電管觀察記錄表 (請見附錄 6)



纏繞相同 300 圈數的發電管觀察統計圖

纏繞相同 400 圈數的發電管觀察記錄表(請見附錄 7)

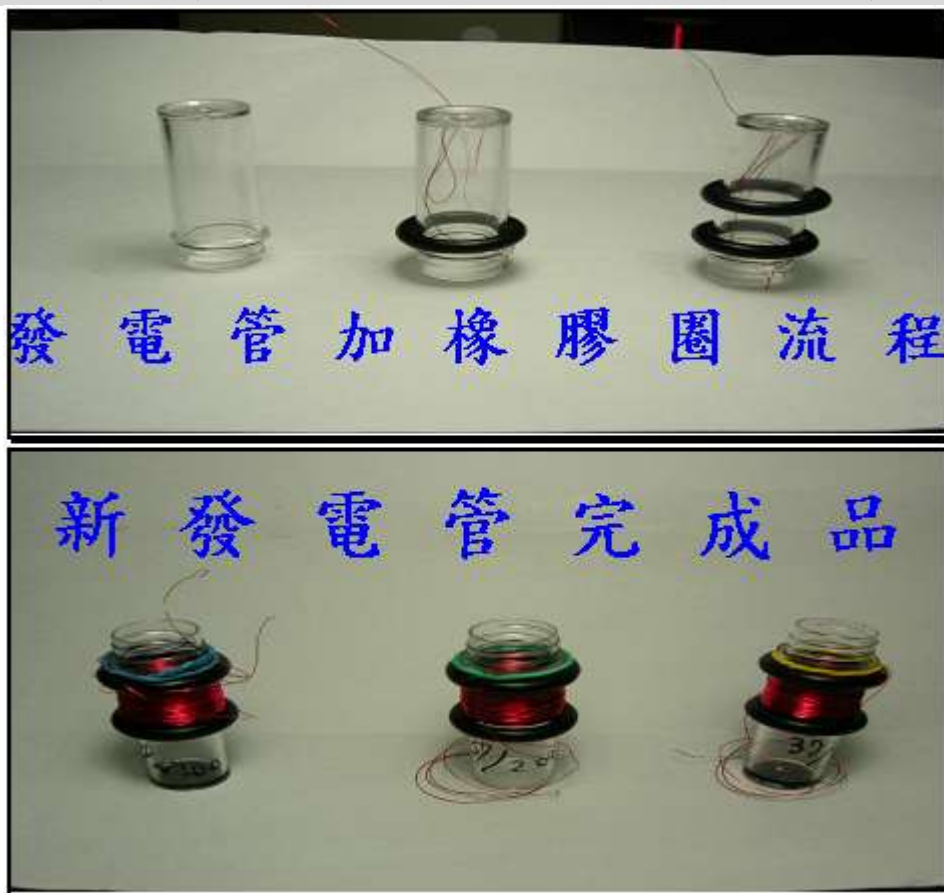


纏繞相同 400 圈數的發電管觀察統計圖

研究結果與討論 4-1：

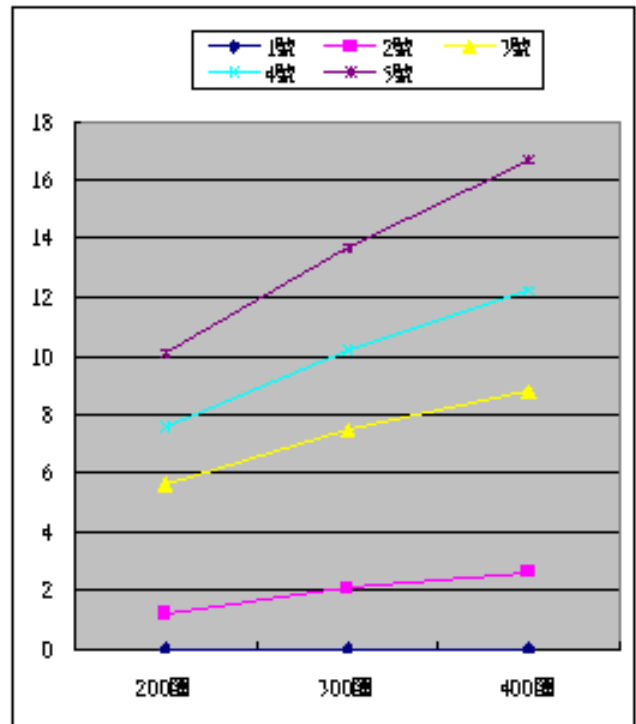
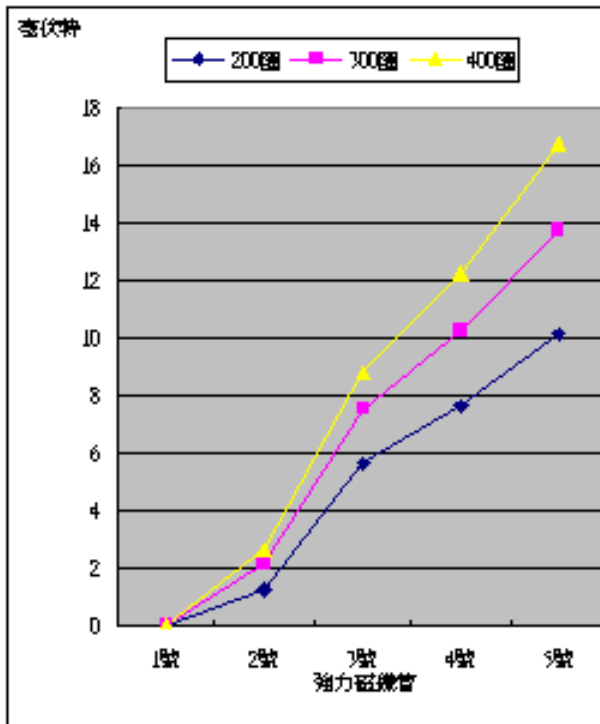
1. 觀察「測試 31 號、35 號、37 號、40 號漆包線統計圖 A」，我們發現當強力磁鐵進出線圈的速率一樣時，強力磁鐵愈多的強力磁鐵管，會使同一支發電管產生的感應電壓就越大。
2. 觀察 1 號強力磁鐵管，因為沒有強力磁鐵的磁場，所以測量的感應電壓為 0 電壓。
3. 觀察「測試 31 號、35 號、37 號、40 號漆包線統計圖 A、B」，我們發現當強力磁鐵進出線圈的速率一樣時，纏繞圈數愈多的發電管，並不會使得發電管產生的感應電壓就越大，例如「測試 31 號漆包線統計圖 A、B」、「測試 35 號漆包線統計圖 A、B」中，說明了此異常結果。
4. 課本「電流與磁現象」中的探索活動，有說明纏繞線圈的方式須一致，但漆包線在管子上涵蓋的長度亦應該一致，我們在討論繞線圈的異常情況之後，最後我們決定改進二個部份：第一部份把同號漆包線、同圈數的發電管要製作 3 支再來求取平均值。第二部份在發電管上加上二個橡膠圈，把漆包線纏繞在二個橡膠圈中間，保持發電管外壁上涵蓋的長度一致，於是我們再針對這個問題再進行實驗 4-2。

實驗 4-2：利用可固定漆包線涵蓋發電管外壁的長度之厚橡膠圈（內圈直徑 1 公分厚 0.4 公分）及所研發創造的繞線圈工具機重新纏繞 31、35、37、40 號漆包線的發電管，使漆包線在發電管外壁上涵蓋的長度能一致，且不同圈數的發電管各要製作 3 支



實驗 4-3：以所創造研發之模擬海浪測試平台重新進行加了橡膠圈之新完成發電管的發電效能之測試實驗

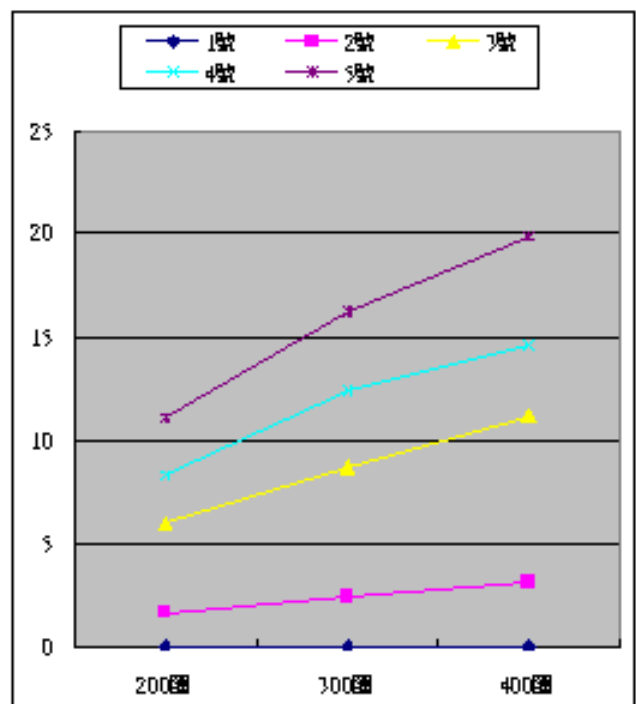
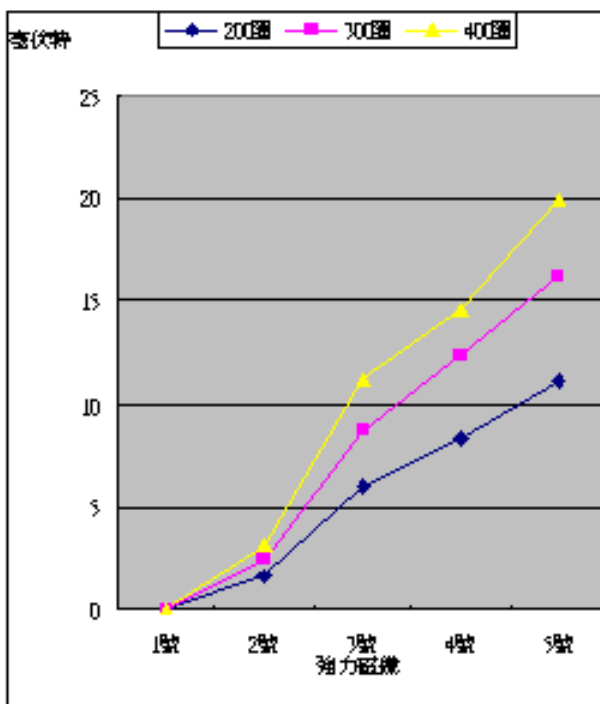
重新測試加了橡膠圈 31 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表
(請見附錄 8)



重新測試加了橡膠圈 31 號漆包線統計圖 A

重新測試加了橡膠圈 31 號漆包線統計圖 B

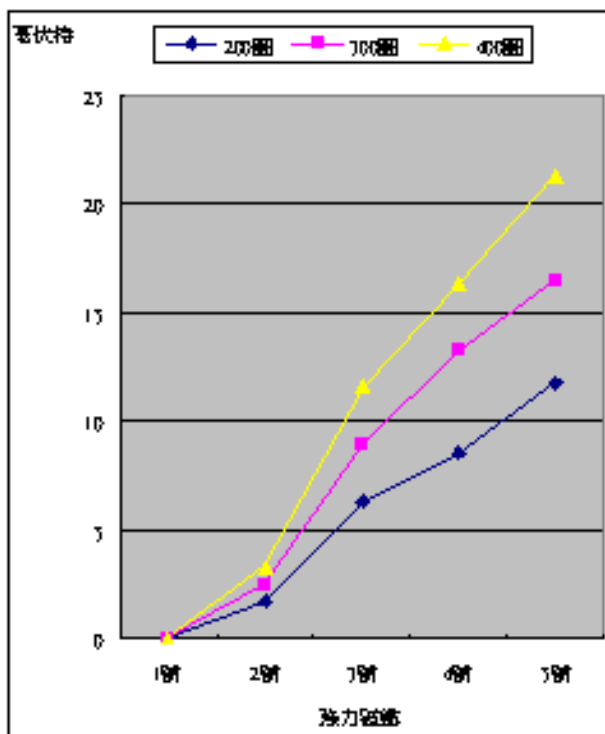
重新測試加了橡膠圈 35 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表
(請見附錄 9)



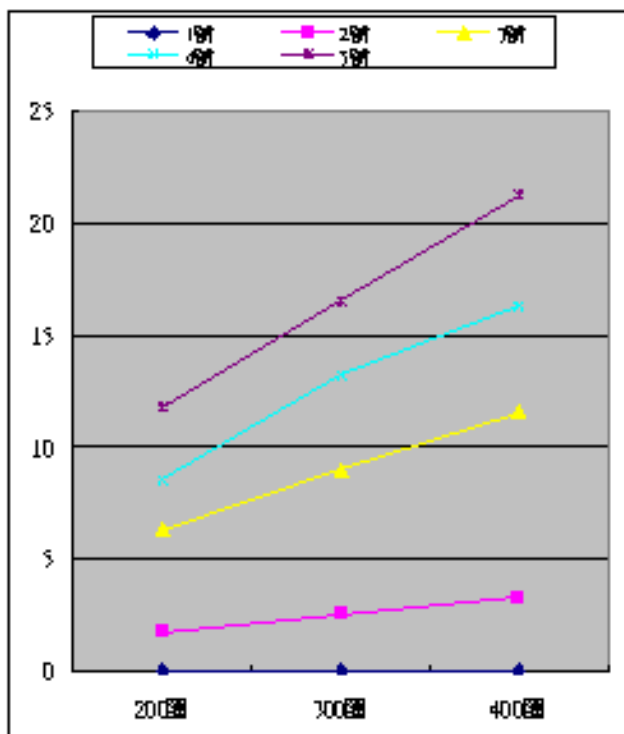
重新測試加了橡膠圈 35 號漆包線統計圖 A

重新測試加了橡膠圈 35 號漆包線統計圖 B

重新測試加了橡膠圈 3T 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表
(請見附錄 10)

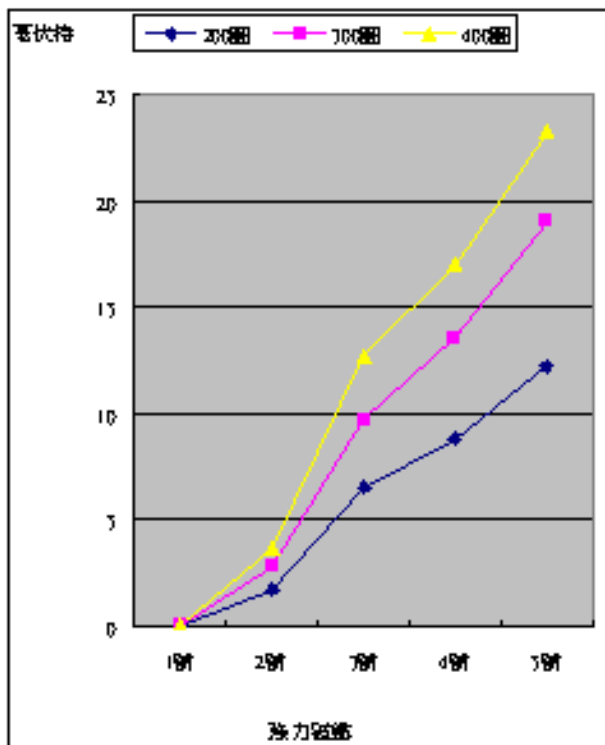


重新測試加了橡膠圈 3T 號漆包線統計圖 A

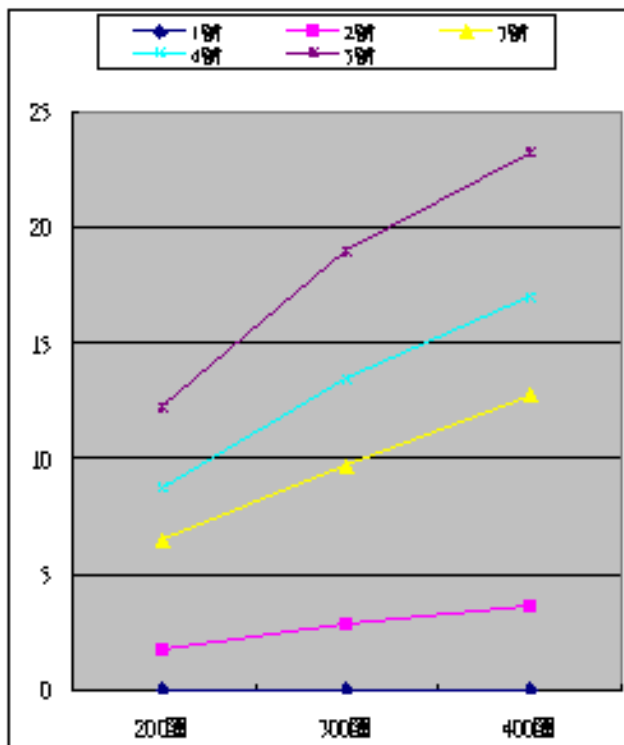


重新測試加了橡膠圈 3T 號漆包線統計圖 B

重新測試加了橡膠圈 4B 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表
(請見附錄 11)

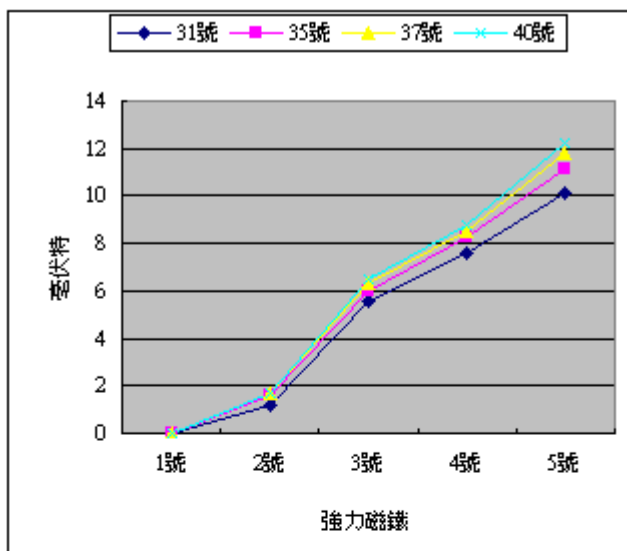


重新測試加了橡膠圈 4B 號漆包線統計圖 A



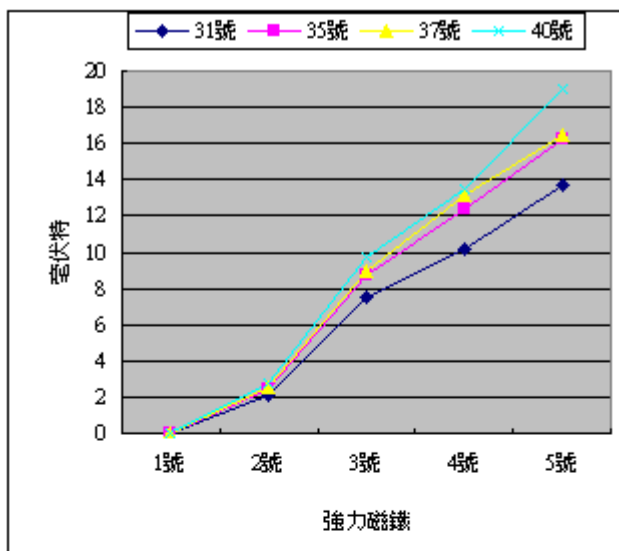
重新測試加了橡膠圈 4B 號漆包線統計圖 B

重新纏繞相同 200 圈數的發電管觀察記錄表
(請見附錄 12)



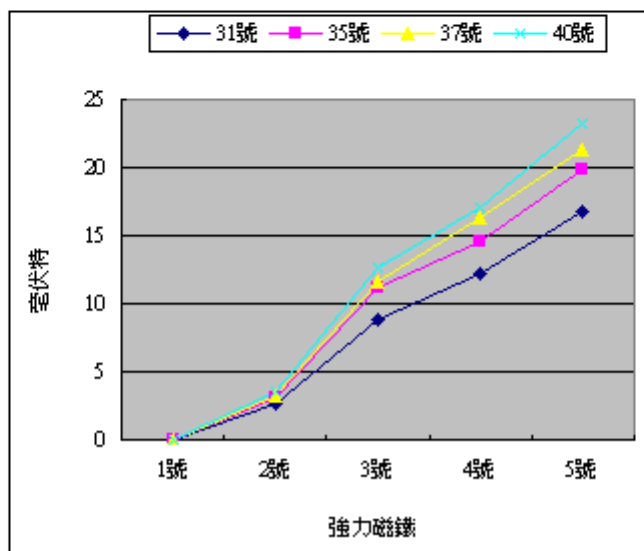
重新纏繞相同 200 圈數的發電管觀察統計圖

重新纏繞相同 300 圈數的發電管觀察記錄表
(請見附錄 13)



重新纏繞相同 300 圈數的發電管觀察統計圖

重新纏繞相同 400 圈數的發電管觀察記錄表(請見附錄 14)



重新纏繞相同 400 圈數的發電管觀察統計圖

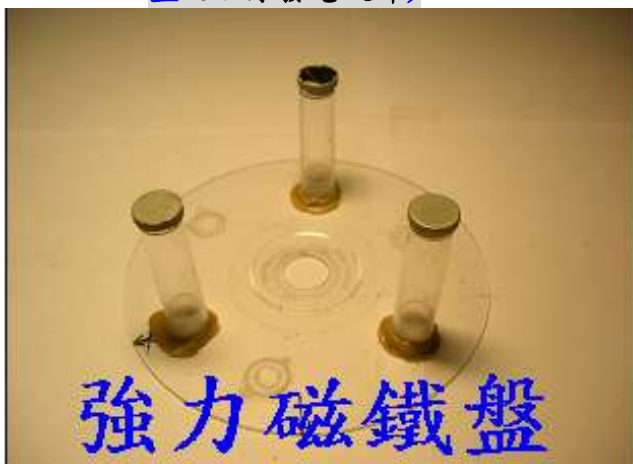
研究結果與討論 4-3 :

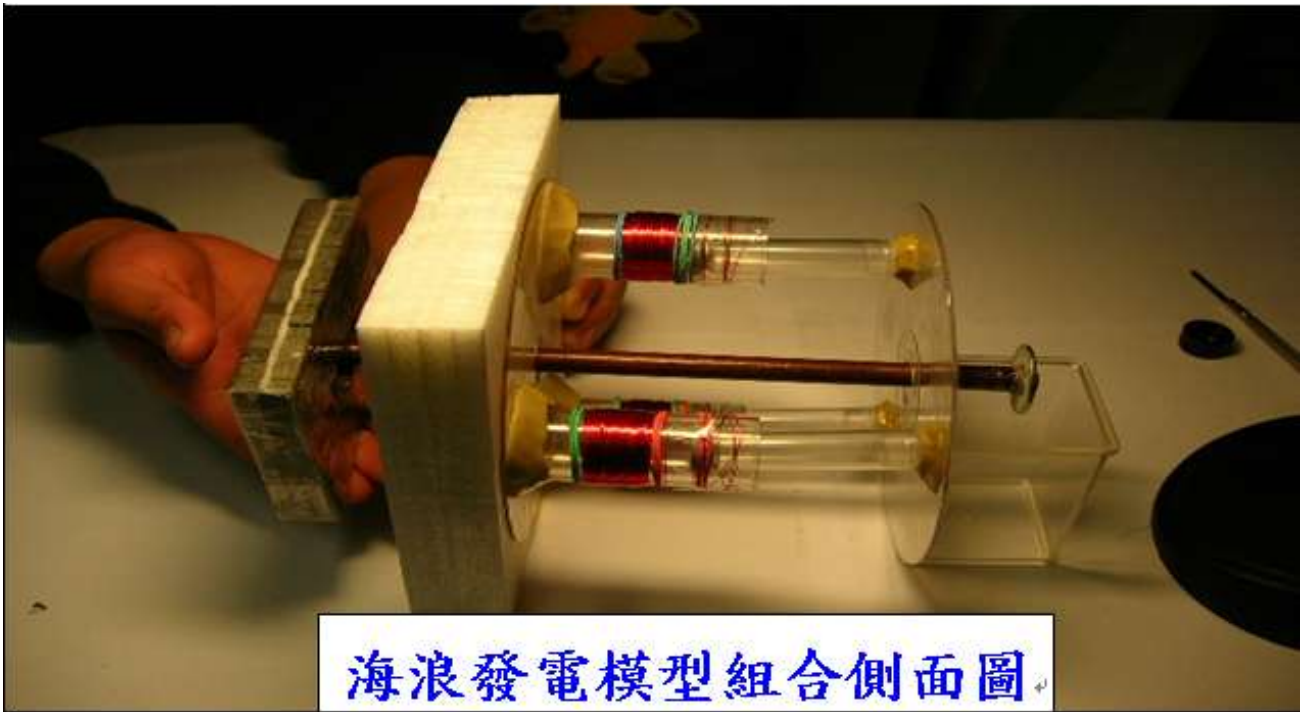
1. 在模擬海浪測試平台下，利用相同的強力磁鐵產生的磁場，進出測試發電管的發電效能，我們觀察「重新測試加了橡膠圈 31、35、37、40 號漆包線統計圖 A、B」，圖中測試發電管的發電效能都有重要的發現：在相同的強力磁鐵管進出下，纏繞漆包線圈愈多圈的發電管產生的電壓愈高(400 圈 > 300 圈 > 200 圈)；在纏繞相同的漆包線圈數的發電管下，愈多的強力磁鐵進出發電管，所產生的電壓就愈高(強力磁鐵管 5 號 > 強力磁鐵管 4 號 > 強力磁鐵管 3 號 > 強力磁鐵管 2 號 > 強力磁鐵管 1 號)。

- 在模擬海浪測試平台下，利用相同的強力磁鐵產生的磁場，進出測試發電管的發電效率，我們觀察「重新纏繞相同 200、300、400 圈數的發電管觀察統計圖」，圖中測試發電管的發電效能都有重要的發現：在相同的強力磁鐵管進出下，以及纏繞相同漆包線圈數的發電管下，纏繞漆包線的號數愈大的發電管產生的電壓愈高(40 號 > 37 號 > 35 號 > 31 號)，也就是線徑愈小，發電管產生的電壓愈高 (31、35、37、40 號直徑分別為 0.226、0.142、0.114、0.079 mm)。
- 在此研究的過程當中，也讓我們確實地體驗與證明了正確纏繞線圈方式的重要性，須有一致性(包括纏繞方向、均勻排列性、鬆緊度及涵蓋管子的長度等均要一致)，而在經歷了繞線圈工具機的研發以及橡膠圈固定寬度的創想等漫漫過程，讓我們探究式地一步步體驗與學會了如何纏繞出良好的發電線圈，亦可培養我們良好的面對問題、思考問題、解決問題的正確科學態度，對我們來說，也是十分可貴的科學學習經驗與過程。
- 透過此次的實驗研究，讓我們對課本「電磁感應」有了更深的認知與聯結，感應電壓的大小確實與線圈中的磁場變化率成正比，增強進出線圈的磁鐵磁場強度或增加線圈圈數均可使感應的電壓提高。

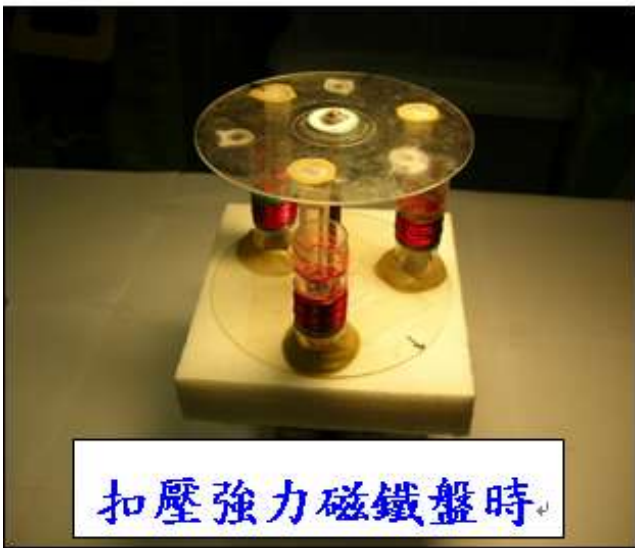
五、研發一組海浪發電模型

實驗 5：以日常生活中常見之物品進行海浪發電模型之研發(內含有強力磁鐵盤及線圈發電盤之磁浮發電設計)

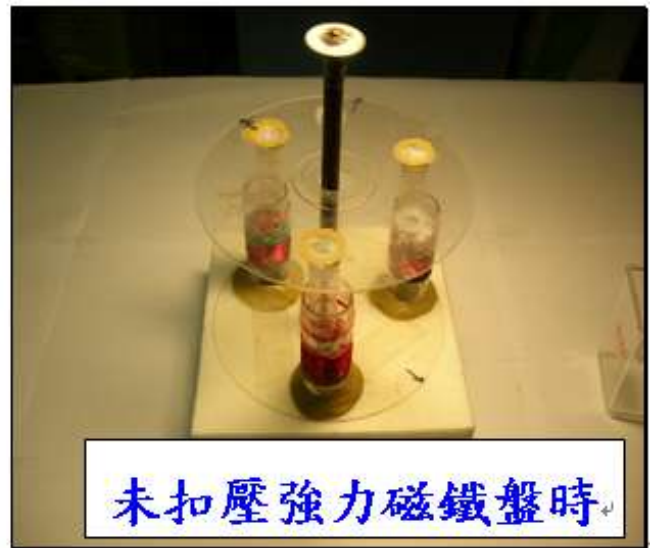




海浪發電模型組合側面圖



扣壓強力磁鐵盤時



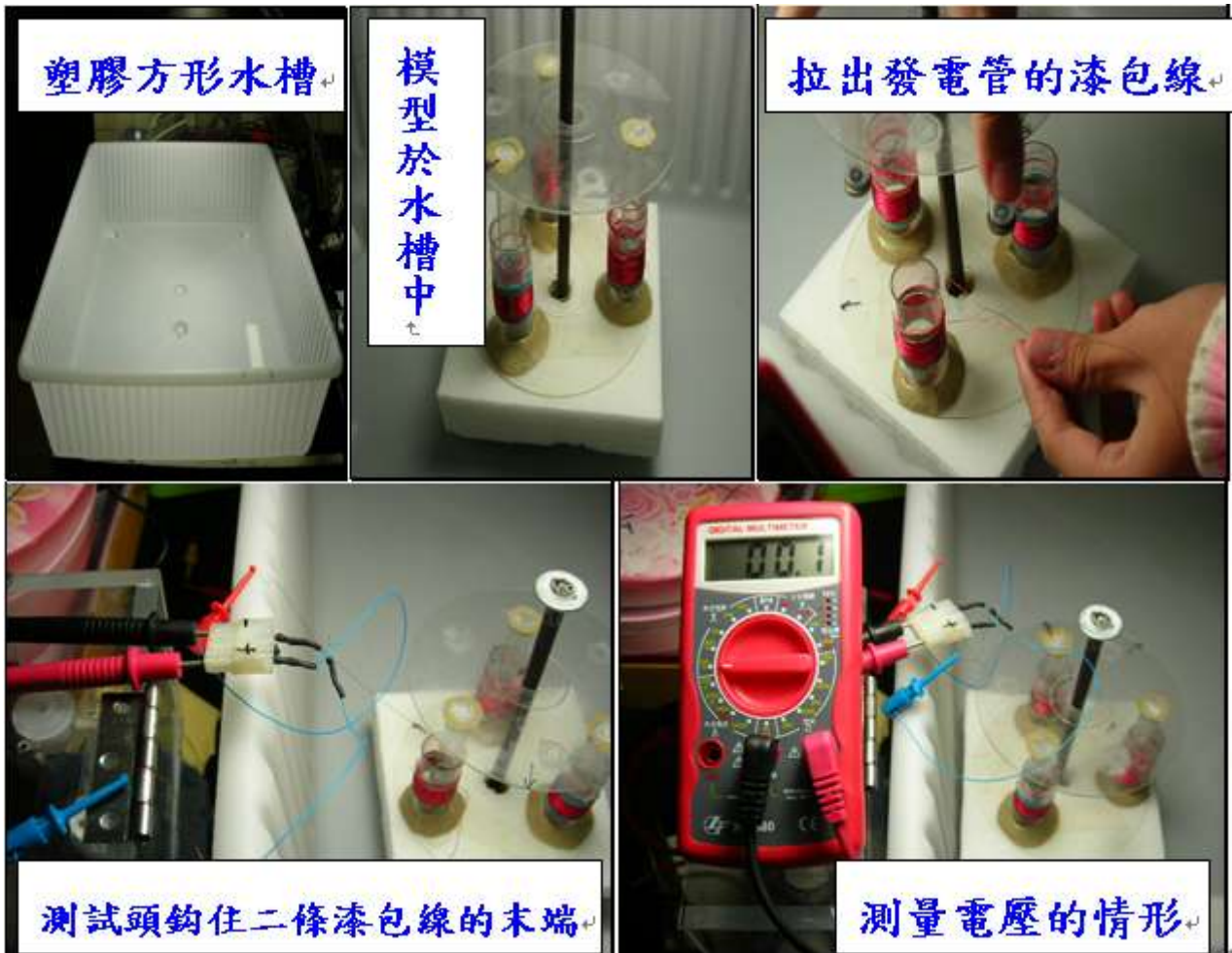
未扣壓強力磁鐵盤時

研究結果與討論 5：

1. 由課本「波動」及「浮力」等章節所學，了解到了水波的傳播特性及物體上浮的原理，於是我們利用保利龍板，使線圈發電平台漂浮於海面，讓線圈發電平台能夠隨著海面高低而上下起伏，線圈發電平台上有 3 支發電管，在發電管的管底部，黏貼強力磁鐵，其作用是與強力磁鐵盤中的 3 支透明管上的強力磁鐵相斥，而把強力磁鐵盤頂起來，產生磁浮於空中，同時圓木棒一端，穿過強力磁鐵盤中心的小洞與線圈發電平台中心的小洞，再與沉重的名片鐵塊盒接合，名片鐵塊盒的作用是模擬「海床」，使圓木棒固定不移動，圓木棒的一端鐵片，會扣壓住磁浮的強力磁鐵盤，所以當波浪的波能，使線圈發電平台向上漂浮時，圓木棒的鐵片，會扣壓住磁浮的強力磁鐵盤，阻止線圈發電平台向上漂浮，於是便會壓縮磁浮的距離，使得強力磁鐵與漆包線圈有相對運動，而產生感應電壓與電流。

六、實驗測試海浪發電模型

實驗 6：以實際波浪進行海浪發電模型之測試實驗



研究結果與討論 6：

1. 透過此處實際的實驗測試，證明了我們所設計的**海浪發電模型**確實能**產生感應電壓**，成功地驗證了可以利用波浪來加以設計**發電的可行性**，也順利達成了我們一開始的研發與研究目的。
2. 而經由此處的實際實驗研究與測試結果，我們發現並進一步分析出我們設計的海浪發電模型之發電來源可剖析為二大類說明：
 - (1) 第一類是波浪的起伏，使**線圈發電平台與強力磁鐵盤**產生**相對運動**，造成線圈因磁場變動而感應電壓，將波浪能量直接轉換成電能。
 - (2) 第二類是**波浪向上**時，會**壓縮磁浮**的距離，這個部份會像彈簧一樣**吸收波浪能量**，儲存在線圈發電平台與強力磁鐵盤之間，等**波浪向下**時，不再被壓縮而**伸張磁浮**的距離，這個部份會也像彈簧一樣**釋放波浪能量**，推開線圈發電平台與強力磁鐵盤距離，兩者**相對運動**，也造成線圈因磁場變化而感應電壓，再一次將波浪能量轉換成電能。

伍、結論

針對我們當初的六大研究目的，我們得到的結論為：

研究目的一：研發一座繞線圈工具機之結論：

1. 由自然課本「磁鐵與磁場」章節之學習，我們了解到**磁鐵會在周圍三度空間產生磁場**而會吸引鐵器物質，我們應用這個觀念，研究並運用了**磁簧管來協助繞線圈時的圈數計算**，因為磁簧管在感應磁力時，管內的兩片鐵片，會相接觸導通電源與信號，故當所設計的旋轉馬達上的磁鐵靠近磁簧管時，電子式計步器就會顯示+1，這樣便可**計算磁鐵靠近磁簧管的次數**，而進一步得知所繞的正確圈數為何，解決了數圈數時的辛勞與容易錯誤的嚴重問題。
2. 自然課本「電流的磁效應」之章節亦清楚說明纏繞漆包線圈時，**線圈間務必緊靠**，以獲得良好實驗效果，所以我們選用了旋轉靈活的8字環與原子筆筆頭管來**導引且統一纏繞漆包線**，再加上旋轉馬達、電子式計步器、及磁簧管等材料**創意地相混應用**，成功地研發出精準且方便的繞線圈工具機，此為我們用心的創意發明。

研究目的二：發電管上纏繞漆包線圈之結論：

1. 我們剛開始是用人工拿漆包線去纏繞發電管，但在纏繞的過程中，因為纏繞的圈數太多而**容易數錯**，且纏繞出來的線圈與線圈之間，**鬆緊程度也不同**，十分不精確、不科學，還好後來我們**改由自己所研發出來的創意繞線圈工具機來協助纏繞線圈**，才解決了這個棘手的問題，達成了我們創意研發與精確研究的目的，**並能廣泛於日後的生活或科學學習活動當中應用**；我們也成功運用了此自創的繞線圈工具機纏繞完成了各種所需的漆包線圈數與號數的發電管，以進行發電電壓效率之研究。

研究目的三：研發一組模擬海浪測試平台之結論：

1. 我們研究並應用了引擎模型玩具內的**活塞之上下起伏的動作**，來**模擬海浪上下起伏的動作**，再加上我們所設計的電路測試系統，成功地研究發展完成了此一**模擬海浪測試平台**，運作順利，達成了我們創意研發與精確研究的目的，並且能夠幫助完成之後相關的科學活動研究工作。例如，在測試平台的活塞上面，我們放有強力磁鐵管，讓強力磁鐵管跟著活塞做**上下起伏**，而發電管裝置在強力磁鐵管上方的相對位置之發電管套中，不隨活塞做上下起伏，這樣的設計會**使強力磁鐵管於發電管內呈現做來回穿梭之動作**。
2. 自然課本「電磁感應」章節教導我們知道原先沒有電流的線圈，會因為**線圈內的磁場發生變化而產生電流**，我們設計讓強力磁鐵管上的強力磁鐵，來回穿梭發電管內，而發電管外壁，纏繞有漆包線圈，這會使漆包線圈內的磁場發生變化而產生電流，**磁鐵來回穿梭線圈的速率越快**，會使線圈內的**磁場變化速率越快**，線圈內產生的**感應電流就越大**，這就是我們研發設計**海浪測試平台的動作目的**，能提供穩定的上下起伏動作速率，並且透過所設計的**5支不同磁場強度的強力磁鐵管及不同漆包線號數與圈數的發電管**，能在之後的研究活動中，成功地成為發電電壓效率可以有效測試與方便讀取的平台。

研究目的四：實驗測試發電管的發電電壓效率之結論：

1. 觀察「測試 31 號、35 號、37 號、40 號漆包線統計圖 A」，我們得到結論當強力磁鐵進出線圈的速率一樣時，強力磁鐵愈多的強力磁鐵管，會使同一支發電管產生的感應電壓就越大。
2. 觀察 1 號強力磁鐵管，因為沒有強力磁鐵的磁場，所以測量的感應電壓為 0 電壓。
3. 觀察「測試 31 號、35 號、37 號、40 號漆包線統計圖 A、B」，我們發現當強力磁鐵進出線圈的速率一樣時，纏繞圈數愈多的發電管，並不會使得發電管產生的感應電壓就越大，例如「測試 31 號漆包線統計圖 A、B」、「測試 35 號漆包線統計圖 A、B」，說明了此異常結果。
4. 自然課本「電流與磁現象」中的探索活動有說明纏繞線圈的方式須一致，但漆包線在管子上涵蓋的長度亦應該一致，使得同樣單位長度的圈數有多有寡，才有比較之意義，我們討論的結論之決定是改進二個部份：第一部份把同號漆包線、同圈數的發電管要製作 3 支再來求取平均值。第二部份在發電管上加上二個橡膠圈，把漆包線纏繞在二個橡膠圈中間，保持發電管外壁上涵蓋的長度一致，重新進行實驗 4-2，測試新纏繞線圈方式的發電管之發電電壓效率為何。
5. 針對新纏繞線圈方式的發電管，我們觀察「重新測試加了橡膠圈 31、35、37、40 號漆包線統計圖 A、B」及「重新纏繞相同 200、300、400 圈數的發電管觀察統計圖」，有重要的發現及結論如下：
 - (1) 在相同的強力磁鐵管進出下，纏繞漆包線圈愈多圈的發電管產生的電壓愈高(400 圈 > 300 圈 > 200 圈)。
 - (2) 在纏繞相同漆包線圈數的發電管下，愈多的強力磁鐵進出發電管，所產生的電壓就愈高(強力磁鐵管 5 號 > 強力磁鐵管 4 號 > 強力磁鐵管 3 號 > 強力磁鐵管 2 號 > 強力磁鐵管 1 號)。
 - (3) 在相同的強力磁鐵管進出下，以及纏繞相同漆包線圈數的發電管下，纏繞漆包線的號數愈大的發電管產生的電壓愈高(40 號 > 37 號 > 35 號 > 31 號)，也就是線徑愈小，發電管產生的電壓愈高(31、35、37、40 號直徑分別為 0.226、0.142、0.114、0.079 mm)。
6. 經由此處的研究過程，也讓我們確實地體驗與證明了正確纏繞線圈方式的重要性，須有一致性(包括纏繞方向、均勻排列性、鬆緊度及涵蓋管子的長度等均要一致)，而在經歷了繞線圈工具機的研發以及橡膠圈固定寬度的創想等漫漫過程，讓我們探究式地一步步體驗與學會了如何纏繞出良好的發電線圈，亦可培養我們良好的面對問題、思考問題、解決問題的正確科學態度，對我們來說，也是十分可貴的科學學習經驗與過程。
7. 透過此研究歷程，讓我們對自然課本「電磁感應」有了更深的認知與聯結，感應電壓的大小確實與線圈中的磁場變化率成正比，增強進出線圈的磁鐵磁場強度或增加線圈圈數均可使感應的電壓提高。上述之實驗證明，均是我們研究的重要結論。

研究目的五：研發一組海浪發電模型之結論：

1. 由自然課本的「波動」及「浮力」等章節所學，我們了解到了水波的傳播特性，以及物體上浮的原理，並且成功地設計了海浪發電模型，使線圈發電平台漂浮於海面，讓線圈發電平台能夠隨著海面高低而上下起伏，而模型下方沉重的名片鐵塊盒的作用是模擬「海床」，使上下貫通的圓木棒固定不移動，圓木棒的一端鐵片，會扣壓住磁浮的強力磁鐵盤，所以當波浪的波能，使線圈發電平台向上漂浮時，圓木棒的鐵片，會扣壓住磁浮的強力磁鐵盤，阻止線圈發電平台向上漂浮，於是便會壓縮磁浮的距離，使得強力磁鐵與漆包線圈有相對運動，而產生感應電壓與電流。

研究目的六：實驗測試海浪發電模型之結論：

1. 透過此處實際的實驗測試，我們發現並證明了我們所設計的海浪發電模型確實能夠有效產生感應電壓，成功地證明了可以利用波浪來加以設計發電的可行性，也成功地達成了我們一開始的研發與研究目的。
2. 而經由此處的實際實驗研究與測試結果，我們發現並進一步分析出我們設計的海浪發電模型之發電來源可剖析為二大類說明：
 - (1) 第一類是波浪的起伏，使線圈發電平台與強力磁鐵盤產生相對運動，造成線圈因磁場變動而感應電壓，將波浪能量直接轉換成電能。
 - (2) 第二類是波浪向上時，會壓縮磁浮的距離，這個部份會像彈簧一樣吸收波浪能量，儲存在線圈發電平台與強力磁鐵盤之間，等波浪向下時，不再被壓縮而伸張磁浮的距離，這個部份會也像彈簧一樣釋放波浪能量，推開線圈發電平台與強力磁鐵盤距離，兩者相對運動，也造成線圈因磁場變化而感應電壓，再一次將波浪能量轉換成電能。
3. 我們設計的海浪發電模型之特性：

(1) 置於海上的線圈發電平台，隨波浪向上或向下移動。

(2) 向上或向下移動的線圈發電平台會壓縮或伸張磁浮的距離。

(3) 波浪的起伏，使線圈發電平台與強力磁鐵盤產生相對運動，造成線圈因磁場變動而感應電壓，將波浪能量直接轉換成電能。

(4) 波浪向上時，會壓縮磁浮的距離，這個部份會像彈簧一樣吸收波浪能量，儲存在線圈發電平台與強力磁鐵盤之間，等波浪向下時，不再被壓縮而伸張磁浮的距離，這個部份會也像彈簧一樣釋放波浪能量，推開線圈發電平台與強力磁鐵盤距離，兩者相對運動，也造成線圈因磁場變化而感應電壓，再一次將波浪能量轉換成電能。

(5) 我們的波浪發電，不需特殊波長的波浪就能發揮功效，可以不受波浪的波長所限制，有波動造成波浪起伏即可以發電。

(6) 我們的設計沒有旋轉式發電機等裝置，少一份轉換，便少一份損耗，成本低，效率高。

(7) 本設計亦沒有彈簧裝置，但確能像彈簧被壓縮的方式加以儲存波浪能量與釋放波浪能量，使發電效率更加提升。

4. 我們分析了我們波浪發電與各種能源的優缺點之比較，並加以整理說明如下表：

波浪發電與各種能源的優缺點比較表

能源種類	優點	缺點
波浪發電	<ul style="list-style-type: none"> 1. 乾淨的燃料，不會造成空氣污染。 2. 安全性高，且不受陰晴天氣影響。 3. 它是乾淨且取之不盡的能源。 4. 不需要熱能。 5. 可 24 小時發電。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 波浪之不穩定性。 2. 發電設備需固定於海床上，承受海水之腐蝕，浪潮侵襲破壞。 3. 施工及維修成本相對過高。
石油	<ul style="list-style-type: none"> 1. 容易儲存和提煉。 2. 容易開採，例如中東石油每天可開採約一萬桶。 3. 容易運輸，且安全性頗高。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 石油一旦燃燒，燒完就完全消失於空氣，故不可以再重複使用。 2. 石油是石化燃料儲存量最少的。 3. 中東的政治不穩，影響了石油的供應量。 4. 世界上有產石油的地方不多。 5. 石油會造成空氣污染(汽車排氣就是最明顯的例子)。
煤	<ul style="list-style-type: none"> 1. 煤的儲藏量很豐富。 2. 容易被轉換成熱能。 3. 容易運送，且使用安全性高。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 煤一經使用，就不能再重複被用。 2. 開採煤礦的危險性很高，經常發生礦災。 3. 燃燒煤時會浪費熱能，並釋放出二氧化碳、二氧化硫、微粒及黑煙等，造成空氣污染。
天然氣	<ul style="list-style-type: none"> 1. 最乾淨的燃料，不會造成空氣污染。 2. 運送及存放皆容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 天然氣一旦燃燒後，就不可以重複使用。 2. 目前產量不多，有待再研究開發。
核能	<ul style="list-style-type: none"> 1. 與石化燃料比較，核能比較不會造成環境污染。 2. 不需要空氣中的氧來幫助燃燒。 3. 只需少量原料，即可產生大量熱能。 4. 單位成本比較低。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 雖然不會造成環境污染，但會造成周圍的海域生態污染。 2. 核廢料的輻射能仍然會對人體有害，故存放不易，估計需埋放百年以上。 3. 造廠之費用頗高。 4. 熱效率只有 33%。
太陽能	<ul style="list-style-type: none"> 1. 它是乾淨且取之不盡的能源。 2. 不會增加或減少地球上的溫度。 3. 建廠容易，成本低。 4. 安全性高。 5. 熱效率亦很高。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 當有陽光的日子才會發電，亦即只有白天才能發電。 2. 因受陰雨天影響，發電日子無法控制。 3. 風大的地方其熱效率會降低。
風能	<ul style="list-style-type: none"> 1. 儲藏多，只要有風的地方即可設立。 2. 不會造成空氣污染。 3. 不需要熱能。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 風能的來源不穩，因風速不是定值。 2. 風速必須大於每小時 11 公里以上，才可以被用來發電。
水力 (指水力發電)	<ul style="list-style-type: none"> 1. 可以重複使用，亦即取之不盡。 2. 單位成本低。 3. 水能轉換成電能的效率是 90%。 4. 不會造成空氣污染。 5. 可生產氫氣。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 建築費用相當高。 2. 在河川上築水壩，會破壞河川的生態。 3. 很難找到適合築水壩的地點。
地熱能	<ul style="list-style-type: none"> 1. 地熱的儲藏量很豐富。 2. 單位成本比開採石化燃料或核能低。 3. 建造地熱廠時間短且容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 熱效率低，共有 30% 的地熱能用來推動渦輪發電機。 2. 所流出的熱水含有很高的礦物質。 3. 一些有毒氣體(如硫、硼或鉍摩尼亞)會隨熱氣，噴入空氣中，造成空氣污染。
生質能	<ul style="list-style-type: none"> 1. 生質能所使用的原料來源豐富。 2. 生產技術簡單。 3. 最適合少量地區使用。 4. 所需的溫度不高，約 5~35°C。 5. 不會造成空氣污染。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 轉換效率低。 2. 種植原料所需約土地很大。 3. 原料約含水量高。

5. 提高波浪發電效率之可行方式：

- | |
|---|
| <p>(1) 依據法拉第電磁感應定律，線圈的感應電壓的大小也與線圈中磁場的變化率成正比，故可以尋找波浪來回起伏速率較快、較頻繁的地方，提高移動速率也可以使磁場變化率提高，進而產生較高的電壓。</p> |
| <p>(2) 根據我們的實驗研究結果，纏繞漆包線圈愈多圈的發電管產生的電壓愈高，故可依此設計，來提高發電電壓。</p> |
| <p>(3) 從我們的實驗研究亦得知，磁場強度愈強的強力磁鐵管進出發電管，產生的電壓亦愈高，亦可加以改良，以提高發電電壓。</p> |
| <p>(4) 我們的研究結果也發現，纏繞漆包線的號數愈大的發電管產生的電壓也愈高，亦可加以應用，以提高發電電壓。</p> |
| <p>(5) 在研究過程當中，也讓我們確實地體驗與證明了正確纏繞線圈方式的重要性，須有一致性(包括纏繞方向、均勻排列性、鬆緊度及涵蓋管子的長度等均要一致)，需有良好的繞線圈工具機，才能纏繞出良好的發電線圈，有效地提高應有的發電電壓。此亦是一十分珍貴的發電經驗與研發心得。</p> |

6. 我們也進一步查尋及整理出目前台灣波浪發電的研究現況為何，說明如下：

我們查尋整理了相關的資料，了解台電公司對波浪發電的注意是從民國 75 年開始，除著手收集整理台灣四周海域波浪資料外，並委託美國 E.O. TECH 顧問公司進行波浪發電可行性研究。北部海域及離島地區較具潛力，每公尺約有 13 千瓦之波能，東部及西北沿海居次，每公尺約有 7 千瓦之波能，西南及南部沿海較差，每公尺約有 3 千瓦之波能，依初步估計台灣地區波能蘊藏量約為 1,000 萬千瓦，可開採量約為 10 萬千瓦，然而其波浪之不穩定性及發電設備需固定於海床上，承受海水之腐蝕、浪潮侵襲破壞，以及施工及維修成本相對過高等問題，限制了目前波浪發電之發展，如何有效利用海浪所攜帶的能量來發電是海洋工程研究人員所追求的目標；此外，波浪發電是一種符合『節能減碳』，不排放二氧化碳等溫室氣體，不需自國外進口，不受陰晴天氣影響，白天及黑夜 24 小時均可發電，無核廢料，廢熱，廢氣等汙染，以及不必耗費燃料的再生能源發電方式，具有諸多優點，我們台灣的能源有 97% 都必須靠進口，然而我們是四面環海的島國，擁有開發海洋能量的優勢，故應可深入探討及研究發展，提高我國能量自產率，亦能降低對高污染能源的依賴，對地球盡一份心力，這也是我們研究波浪發電的初衷心意與重要動力來源。

陸、參考資料及其他

一、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第一冊。台北縣：康軒文教。
二、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第三冊。台北縣：康軒文教。
三、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第四冊。台北縣：康軒文教。
四、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第五冊。台北縣：康軒文教。
五、林英智（主編）（2008）。國中自然與生活科技 第六冊。台北縣：康軒文教。
六、蘇達貞、鍾珍（2004）。海洋能源的魅力。科學發展，(383)，28-33。
七、薛英林（2007年，5月）。台灣海域波浪發電潛力無窮。能源報導。2007年9月28日，取自 http://www.tier.org.tw/energymonthly/200705/34.pdf 。
八、泓能科技顧問公司（2007年，10月11日）。岸邊型波浪發電裝置。能源科技投資電子報。2007年10月22日，取自 http://blog.roodo.com/energytech/archives/cat_440801.html 。
九、行政院環保署（無日期）。台灣利用海洋能源發電之潛能。2007年10月25日，取自 http://study.nmmba.gov.tw/upload/Resource/conserv0033.htm 。
十、國立海洋大學（無日期）。專題報導 再生能源-波浪能。2007年10月28日，取自 http://iss.met.ntou.edu.tw/~met/Energy/B/3/1.htm 。
十一、台灣電力公司（2007年，10月30日）。再生能源。2007年11月1日，取自 http://www.taipower.com.tw/left_bar/power_life/power_development_plan/Regeneration_energy.htm 。

附錄

附錄 1

測試 31 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

接片端 磁管 空電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200	0	1.2	6.1	7.9	11.9
300	0	0.4	4.4	6.5	10.4
400	0	1.6	6.4	9.6	14.6

附錄 2

測試 35 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

接片端 磁管 空電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200	0	1.3	5.8	9.2	11.9
300	0	1.9	8.0	13.3	17.1
400	0	2.2	7.4	11.8	18.6

附錄 3

測試 37 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

接片端 磁管 空電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200	0	2.0	8.0	11.1	14.1
300	0	2.3	10.7	16.1	21.0
400	0	3.1	11.0	16.8	22.0

附錄 4

測試 40 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

接片端 磁管 空電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200	0	2.2	8.6	12.4	14.7
300	0	2.6	10.5	16.2	20.2
400	0	4.1	16.1	23.3	28.8

附錄 5

纏繞相同 200 圈數的發電管觀察記錄表

強力磁鐵管 漆包線號數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
31 號	0	1.2	6.1	7.9	11.9
35 號	0	1.3	5.8	9.2	11.9
37 號	0	2.0	8.0	11.1	14.1
40 號	0	2.2	8.6	12.4	14.7

↵
↵
↵
↵
↵

附錄 6

纏繞相同 300 圈數的發電管觀察記錄表

強力磁鐵管 漆包線號數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
31 號	0	0.4	4.4	6.5	10.4
35 號	0	1.9	8.0	13.3	17.1
37 號	0	2.3	10.7	16.1	21.0
40 號	0	2.6	10.5	16.2	20.2

↵
↵
↵
↵
↵

附錄 7

纏繞相同 400 圈數的發電管觀察記錄表

強力磁鐵管 漆包線號數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
31 號	0	1.6	6.4	9.6	14.6
35 號	0	2.2	7.4	11.8	18.6
37 號	0	3.1	11.0	16.8	22.0
40 號	0	4.1	16.1	23.3	28.8

附錄 8 重新測試加了橡膠圈 31 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

強力磁 鐵管 發電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200 (白)	0	1.2	5.6	7.9	10.3
200 (紅)	0	1.2	5.6	7.4	10.1
200 (黑)	0	1.2	5.6	7.4	9.9
200 平均	0	1.2	5.6	7.6	10.1
300 (白)	0	2.1	7.4	10.2	13.9
300 (紅)	0	2.2	7.6	10.2	13.7
300 (黑)	0	2.1	7.4	10.1	13.6
300 平均	0	2.1	7.5	10.2	13.7
400 (白)	0	2.6	8.8	12.6	17.2
400 (紅)	0	2.6	9.1	12.1	16.6
400 (黑)	0	2.5	8.5	12.0	16.7
400 平均	0	2.6	8.8	12.2	16.7

↵
↵
↵

附錄 9 重新測試加了橡膠圈 35 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

強力磁 鐵管 發電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200 (白)	0	1.7	6.2	8.0	11.0
200 (紅)	0	1.3	5.9	8.2	10.9
200 (黑)	0	1.7	6.0	8.8	11.5
200 平均	0	1.6	6.0	8.3	11.1
300 (白)	0	2.5	8.5	12.5	16.2
300 (紅)	0	2.3	8.5	12.3	16.2
300 (黑)	0	2.5	9.0	12.3	16.2
300 平均	0	2.4	8.7	12.4	16.2
400 (白)	0	3.3	11.3	15.9	20.8
400 (紅)	0	3.3	11.5	14.8	19.6
400 (黑)	0	2.7	10.9	13.0	19.3
400 平均	0	3.1	11.2	14.6	19.9

附錄 10 重新測試加了標膠圖 37 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

強力磁 鐵管 發電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200 (白)	0	1.6	6.4	8.7	11.2
200 (紅)	0	1.8	6.4	8.5	11.5
200 (黑)	0	1.7	6.2	8.4	12.6
200 平均	0	1.7	6.3	8.5	11.8
300 (白)	0	2.5	9.0	13.0	16.8
300 (紅)	0	2.6	9.1	12.8	16.5
300 (黑)	0	2.5	8.9	14	16.3
300 平均	0	2.5	9.0	13.2	16.5
400 (白)	0	3.3	11.8	16.0	20.9
400 (紅)	0	3.4	11.7	16.6	21.6
400 (黑)	0	3.3	11.3	6.3	21.3
400 平均	0	3.3	11.6	16.3	21.3

←
←
←

附錄 11 重新測試加了標膠圖 40 號漆包線的發電管之各種圈數發電效率觀察記錄表

強力磁 鐵管 發電管 漆包線圈數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
200 (白)	0	1.8	6.7	8.8	12.3
200 (紅)	0	1.6	6.3	8.7	12.3
200 (黑)	0	1.8	6.4	9.0	12.0
200 平均	0	1.7	6.5	8.8	12.2
300 (白)	0	2.9	10.2	14.2	18.5
300 (紅)	0	2.8	9.7	13.6	19.7
300 (黑)	0	2.6	9.2	12.6	18.8
300 平均	0	2.8	9.7	13.5	19.0
400 (白)	0	3.9	13.6	17.7	25.5
400 (紅)	0	3.5	12.1	16.6	19.7
400 (黑)	0	3.5	12.3	16.6	18.8
400 平均	0	3.6	12.7	17.0	23.2

附錄 12

重新纏繞相同 200 圈數的發電管觀察記錄表

強力磁 鐵管 漆包線繞數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
31 號	0	1.2	5.6	7.6	10.1
35 號	0	1.6	6.0	8.3	11.1
37 號	0	1.7	6.3	8.5	11.8
40 號	0	1.7	6.5	8.8	12.2

↵
↵
↵
↵
↵

附錄 13

重新纏繞相同 300 圈數的發電管觀察記錄表

強力磁 鐵管 漆包線繞數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
31 號	0	2.1	7.5	10.2	13.7
35 號	0	2.4	8.7	12.4	16.2
37 號	0	2.5	9.0	13.2	16.5
40 號	0	2.8	9.7	13.5	19.0

↵
↵
↵
↵
↵

附錄 14

重新纏繞相同 400 圈數的發電管觀察記錄表

強力磁 鐵管 漆包線繞數	1 號 (毫伏特)	2 號 (毫伏特)	3 號 (毫伏特)	4 號 (毫伏特)	5 號 (毫伏特)
31 號	0	2.6	8.8	12.2	16.7
35 號	0	3.1	11.2	14.6	19.9
37 號	0	3.3	11.6	16.3	21.3
40 號	0	3.6	12.7	17.0	23.2

【評語】 030806

本研究成果係一小女生獨立完成，實難能可貴。作者能由日常生活中找到適用的器材完成構想，執行力相當優秀。