

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

佳作

080814

拯救地球的電磁燈籠－震動電磁發電研究

學校名稱：臺北市大安區龍安國民小學

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| 作者：<br><br>小六 周子萱 | 指導老師：<br><br>曾松峯<br>潘怡吟 |
|-------------------|-------------------------|

關鍵詞： 震能發電、電磁感應

# 拯救地球的電磁燈籠 - 震動電磁發電研究

## 摘要

本研究使用自製高斯計來瞭解磁鐵磁通密度的分佈情形，運用各種實驗來瞭解法拉第定律，利用電動起子機與圈數計數器自行纏繞實驗所需要的漆包線線圈，以震動馬達當震動源，將震動中的磁鐵穿越線圈並觀察記錄感應電動勢的大小，最後運用實驗的心得成功的做出「震動電磁發電機」，使用震動電磁發電機來取代燈籠裡的電池，就成為不需要電池的「電磁燈籠」。

## 壹、研究動機

六上的自然課教到：通電的電線可以產力，使指針發生偏轉。去年參加科展從觀摩別人的科展作品發現：磁場的變化可以產生感應電流。於是從暑假開始收集資料閱讀相關書籍。在收集資料的過程發現，有人研究製造利用電磁感應的原理，靠心跳的震動就可以為手機充電的發電機，於是就拿「震動」和「電磁發電」來當研究的題目。

## 貳、研究目的

利用電磁感應原理，研究能否收集日常生活環境中震動的能量。

我們的生活環境中有很多的「震動」，是不是能夠利用震動來讓磁鐵和漆包線線圈做相互運動而產生「電」？

因為靠震動所能收集的能量很小，所以必須研究出最有效率的電磁發電方法，才能利用電磁感應來收集環境中震動的能量加以運用。

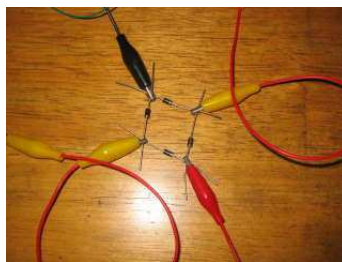
另外又看到環保署估計每年元宵節全國將消耗 180 萬顆的電池，用震動電磁發電來取代電池，製作出電磁燈籠，就可以大量減少電池的消耗，來拯救地球。

## 參、研究設備及器材

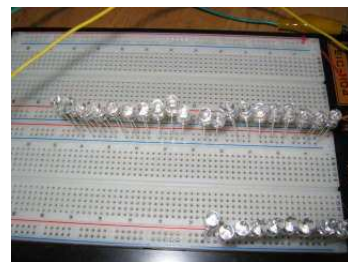
### 一、主要的設備與器材：



圖一



圖二



圖三

圖一 - 指針型與數位型三用電錶：兩者缺一不可，指針型三用電錶可以用來測量瞬間電壓的變動，數位型三用電錶可以用來測量需要比較精準數據的場合。某些實驗還需要兩者同時測量電壓與電流。

圖二 - 4 顆整流二極體與 4 條雙頭鱷魚夾線：組合成橋式整流。

圖三 - 麵包板與高亮度 LED：製作電磁燈籠時用的到。



圖四



圖五



圖六

圖四 - 肩膀按摩器：原本是用來模擬震動，後來爲了拯救地球而被拆解了。

圖五 - 震動馬達一：從肩膀按摩器拆解下來的，可以使用 1 或 2 顆電池驅動。

圖六 - 震動馬達二：RF-60 馬達加上黏土做的偏心輪，可以使用 2 到 8 顆電池驅動。



圖七



圖八



圖九

圖七 - 大捲漆包線：這是 6 公斤裝的，SWG39、SWG41、SWG42、SWG44 各一卷。

圖八 - 市售捲好的漆包線：SWG35 500g、SWG35 250g、SWG44 250g、SWG29 100g、SWG40 100g、SWG41 100g、SWG42 100g、SWG43 100g、SWG44 100g 各一卷。

圖九 - 各種磁鐵規格如下表一：

表一、實驗中所用到的磁鐵規格表

| 磁鐵編號 | 材質   | 形狀  | 直徑(mm)    | 高度(mm) |
|------|------|-----|-----------|--------|
| #0   | 一般磁鐵 | 圓柱體 | 20        | 5      |
| #1   | 釹鐵硼  | 正方體 | 5 x 5 x 5 |        |
| #2   | 釹鐵硼  | 圓柱體 | 6         | 6      |
| #3   | 釹鐵硼  | 圓柱體 | 8         | 4      |
| #4   | 釹鐵硼  | 圓柱體 | 10        | 3      |
| #5   | 釹鐵硼  | 圓柱體 | 10        | 10     |

|     |     |     |    |     |
|-----|-----|-----|----|-----|
| #6  | 鈹鐵硼 | 圓柱體 | 12 | 3.5 |
| #7  | 鈹鐵硼 | 圓柱體 | 13 | 4   |
| #8  | 鈹鐵硼 | 圓柱體 | 14 | 16  |
| #9  | 鈹鐵硼 | 圓柱體 | 15 | 5   |
| #10 | 鈹鐵硼 | 圓柱體 | 18 | 2   |



圖十



圖十一



圖十二

圖十 - 熱熔槍與熱熔膠：做科展作品必備的工具。

圖十一 - 指南針。

圖十二 - 其他實驗中用到的材料：紙黏土（做偏心輪）、玩具積木（組裝各種實驗台），不銹鋼（非導磁）螺絲、鐵（導磁）墊片或鐵片、投影片（捲成管子）、橡皮筋、竹筷子。



圖十三

圖十三上方 - 負載實驗用的充電電池與電池座：AAA 1.2V 1000mAh。

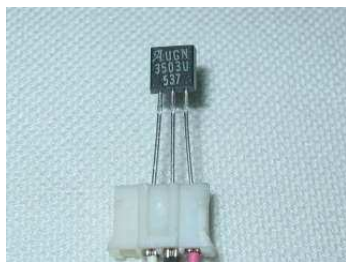
圖十三下方右邊 - LED1：10mm 普通 LED，啟動電壓 1.5V、標準電壓 1.8V、最大電壓 2.2V、電流 20mA。

圖十三下方左邊，LED2：5mm 高亮度 LED，啟動電壓 3.0V、標準電壓 3.9V、最大電壓 4.6V、電流 20mA。

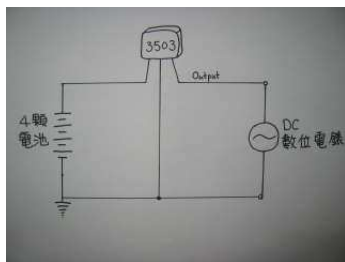
## 二、自製高斯計

爲了方便比較不同磁鐵的磁力，以及磁鐵周圍磁通密度分佈情形與線圈的關連性，這個實驗需要一部可以測量數千高斯的高斯計。要找到一部這樣的高斯計不是那麼容易，參考這個網站 <http://www.coolmagnetman.com/magmeter.htm> 利用霍爾效應感測 IC 3503 自製一個簡單的高斯計，來測量磁鐵周邊的磁通密度。

自製高斯計所需的設備：單心線鱷魚夾 3 條、雙頭鱷魚夾一條、霍爾效應感測 IC 3503(功能見表二)，AAx4 電池座，AA 電池 4 顆，三孔音源連接線一條。



圖十四：霍爾 IC 3503



圖十五：電路圖



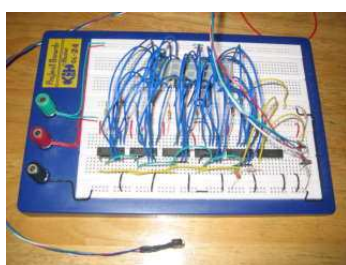
圖十六：完成圖

表二、霍爾 IC3503 的功能表

|        | 最低   | 標準   | 最高   | 單位       |              |
|--------|------|------|------|----------|--------------|
| 運作電壓   | 4.5  | 5.0  | 6.0  | Volt     |              |
| 基準輸出電壓 | 2.25 | 2.5  | 2.75 | Volt     | 感測的磁通密度為零高斯時 |
| 感測磁通密度 | 0.75 | 1.30 | 1.72 | mV/Gauss |              |

### 三、自製可以計算圈數的簡易繞線機

買來現成繞好的漆包線並不知道漆包線繞了多少圈，歷屆科展的作品報告裡很多人提到可以自己繞線圈。因此，爲了做好實驗，我搜尋多方面的資料，找到有人做出一個可以計算圈數的電路圖，再加上起子機的幫忙，終於成功的做出一個半自動可以計算圈數的繞線機(圖十八)。



圖十七：圈數計數器



圖十八：繞線機



圖十九：拆開上蓋的硬碟機

圈數計數器(圖十七)：首先參考這個網頁 <http://61.70.96.216/phpbb2/viewtopic.php?t=1212> 所提供的資訊，做出可以計算圈數的計數器。需要的設備與材料：麵包板與單心線、CD4026 5 顆、CD4069、電阻 100k 歐姆 5 根、15k 歐姆、1k 歐姆、100 歐姆各一根、陶瓷電容 222，共陰極數字 LED 5 顆，反射式紅外線感測 IC KR1201，電源可以與高斯計用的電源共用。



繞線機（圖十八）：原本打算利用奶奶縫紉機上的繞線設備來繞漆包線，卻沒能成功，因為漆包線的線軸無法裝上去，可是縫紉機用的木製線軸給了我靈感。將木製線軸鋸成兩半就可以拿來固定漆包線的線軸，中間穿入一根螺絲兩端鎖緊，用起子機轉動，就可以拿來繞漆包線了。繞線機所需的設備與材料：從左到右螺絲、螺母、鋸成兩半的木製線軸、漆包線軸、夾頭、起子機。

拆開上蓋的回收硬碟機(圖十九)：用來放置大捲的漆包線，中間用熱熔膠黏住的眼藥水空瓶是用來固定漆包線在中心點。圓盤底下的紙片厚度可以調整漆包線的拉力。

下圖是實際繞線的相片：



#### 肆、研究過程或方法

暑假期間收集資料，閱讀相關書籍瞭解了法拉第定律：感應電流的大小與磁場強弱變化、線圈與磁鐵的相對運動速率、纏繞的線圈數目成正比。

##### 一、實驗前的準備工作

##### （一）測量磁鐵的磁通密度

霍爾效應感測 IC 根據感測到的磁通密度會輸出不同的電壓。當輸出電壓高於基準電壓時，是為 S 極，磁通密度愈高電壓值與基準電壓的差距就愈大。實驗過程需要堆疊多顆磁鐵時就以「磁鐵編號 x 堆疊顆數」來表示，例如以「#8x2」表示 2 個 8 號磁鐵堆疊起來。

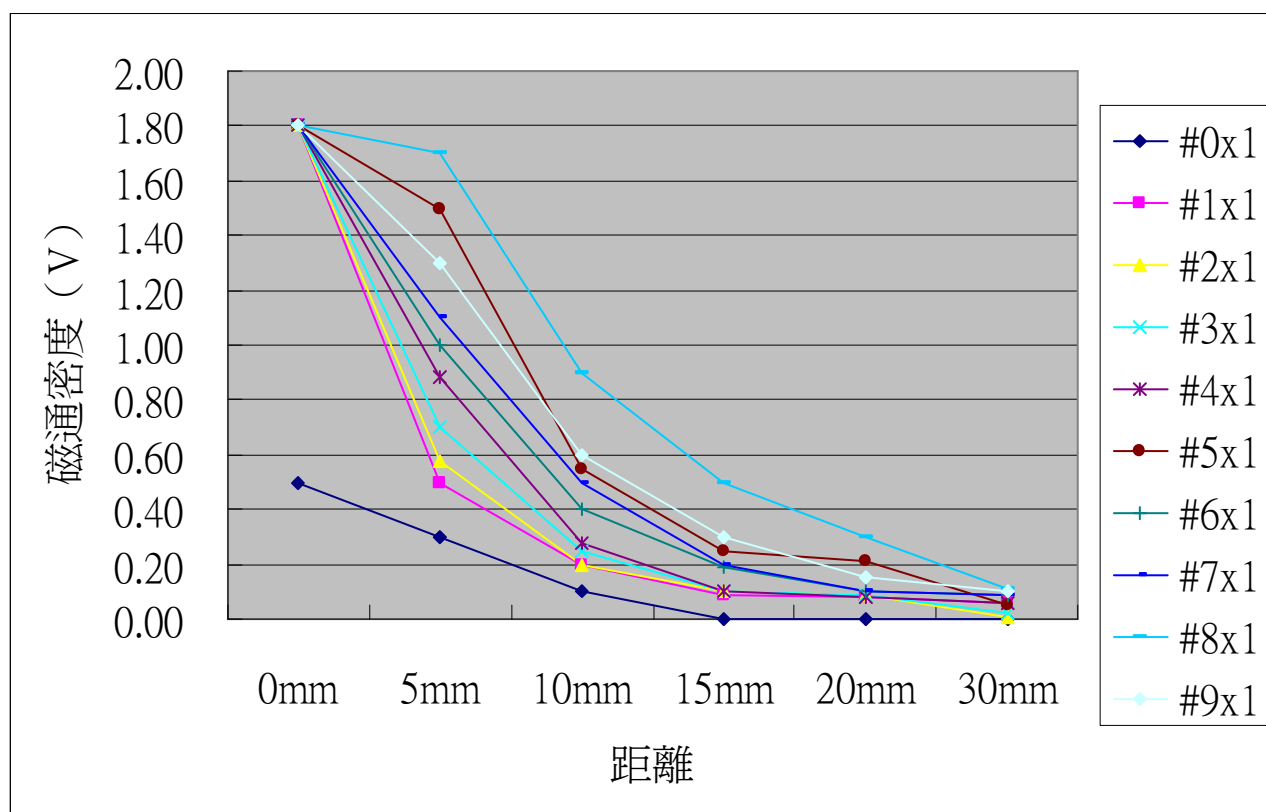
首先測量距離 S 極正上方每隔 5mm 的磁通密度，直到測不出磁通密度為止，以比較各類型磁鐵其磁力的差異。結果如下表三。

表三、距離 S 極正上方的磁通密度比較表（單位：伏特）

| 磁鐵編號/距離 | 0mm  | 5mm  | 10mm | 15mm | 20mm | 30mm |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| #0x1    | 0.50 | 0.30 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| #1x6    | 1.80 | 0.70 | 0.30 | 0.10 | 0.09 | 0.07 |

|      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|
| #1x1 | 1.80 | 0.50 | 0.20 | 0.09 | 0.08 | 0.06 |
| #2x9 | 1.80 | 0.75 | 0.46 | 0.11 | 0.10 | 0.08 |
| #2x1 | 1.80 | 0.58 | 0.20 | 0.10 | 0.09 | 0.01 |
| #3x9 | 1.80 | 1.25 | 0.49 | 0.28 | 0.10 | 0.09 |
| #3x1 | 1.80 | 0.70 | 0.25 | 0.10 | 0.09 | 0.02 |
| #4x9 | 1.80 | 1.60 | 0.69 | 0.30 | 0.20 | 0.10 |
| #4x1 | 1.80 | 0.88 | 0.28 | 0.10 | 0.08 | 0.06 |
| #5x5 | 1.80 | 1.70 | 0.70 | 0.35 | 0.25 | 0.10 |
| #5x1 | 1.80 | 1.50 | 0.55 | 0.25 | 0.21 | 0.05 |
| #6x9 | 1.80 | 1.70 | 0.90 | 0.48 | 0.30 | 0.10 |
| #6x1 | 1.80 | 1.00 | 0.40 | 0.19 | 0.10 | 0.09 |
| #7x9 | 1.80 | 1.80 | 0.98 | 0.51 | 0.30 | 0.10 |
| #7x1 | 1.80 | 1.10 | 0.50 | 0.20 | 0.10 | 0.09 |
| #8x5 | 1.80 | 1.80 | 1.10 | 0.68 | 0.40 | 0.20 |
| #8x1 | 1.80 | 1.70 | 0.90 | 0.50 | 0.30 | 0.11 |
| #9x9 | 1.80 | 1.80 | 1.15 | 0.70 | 0.45 | 0.25 |
| #9x1 | 1.80 | 1.30 | 0.60 | 0.30 | 0.15 | 0.10 |

將表三的實驗整理得下圖二十：

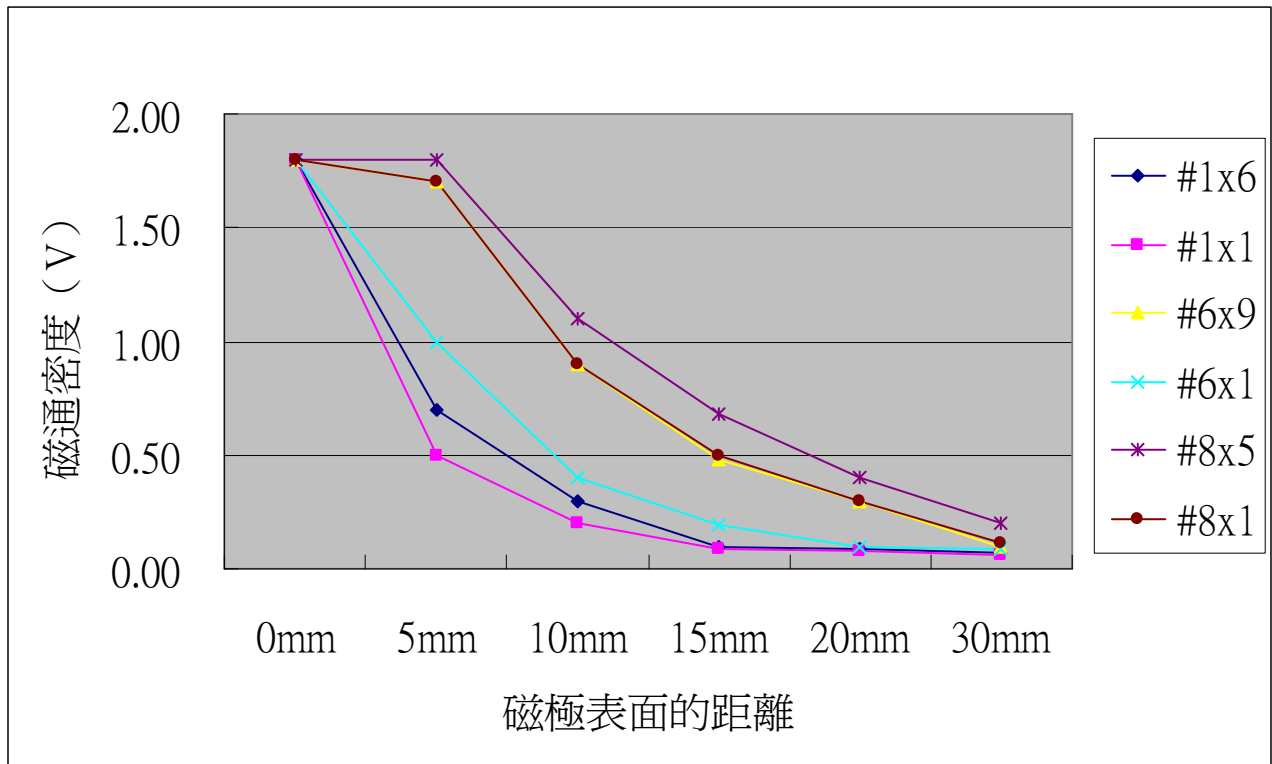


圖二十、磁鐵磁極上方磁通密度比較圖

從上圖二十中可以發現：

1. 材質不同的磁鐵其磁力差異很大，一般磁鐵距離 15mm 就測不到磁通密度，釹鐵硼磁鐵不管體積大小都在超過 30mm 左右時才測不到磁通密度。
2. 所有釹鐵硼磁鐵磁極表面的磁通密度都一樣，也幾乎在 30mm 之處磁力趨近於零，但同一材質體積較大的磁鐵在磁極表面上方的磁力比較強。

那麼堆疊多顆磁鐵的磁力又如何？根據實驗結果畫出下圖二十一：

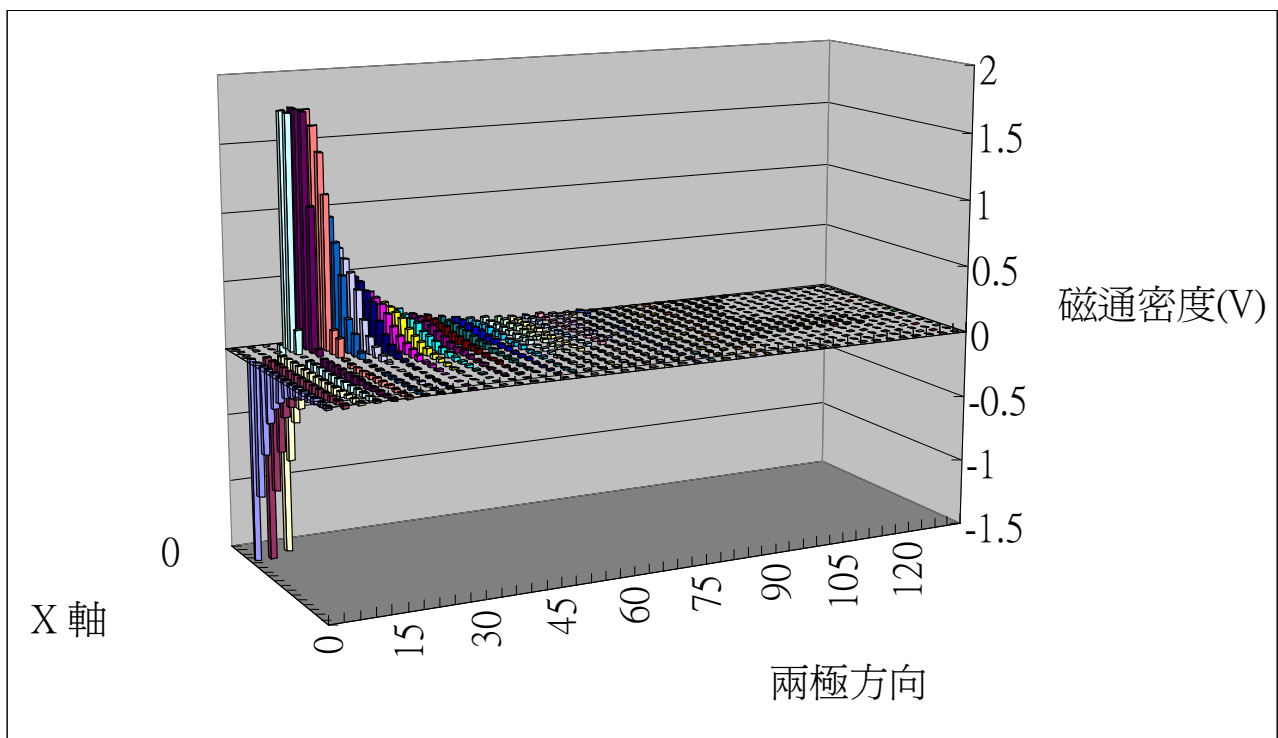
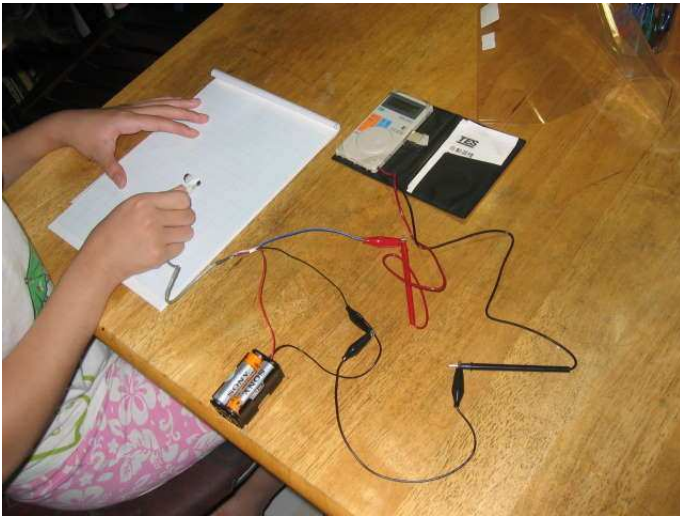


圖二十一、磁鐵上方磁通密度比較表

根據圖二十一發現：磁鐵堆疊之後，「磁極表面」(0mm)的磁力沒有變化，但是「靠近磁極表面」(5mm~)的磁力確實增強許多，但是距離愈遠它的影響力就愈弱。同樣的，不管堆疊幾顆磁鐵，最後都在距離超過 30mm 的地方就測不到磁力。

接著量取磁鐵周圍的磁通密度，磁鐵周邊的磁通密度應該是上下左右對稱，抽樣量取某些對稱點證明確實如此。所以將磁鐵中心點放在方隔紙上座標的原點，只量取右下角的區域，間隔 3mm 量取一次並記錄下來，得到圖二十二。為了方便比較，測量時一律將磁鐵的 S 極朝向同一個方向。





圖二十二、磁鐵編號 #8 磁通密度分佈圖

## (二) 測量實驗中用到的漆包線的各项數據

爲了方便記錄與比較，漆包線以「號數-重量」標示，例如「SWG43-100g」。

### 1. 各種重量漆包線的外觀尺寸：(單位：mm)

| 重量   | 線軸高度 | 線軸內徑 | 漆包線高度 | 漆包線內徑 | 漆包線外徑 |
|------|------|------|-------|-------|-------|
| 100g | 30   | 14   | 28    | 16    | 34    |
| 250g | 35   | 20   | 32    | 22    | 22    |
| 500g | 53   | 20   | 49    | 22    | 50    |

## 2. 各號數漆包線的規格（數據由廠商提供）

| 號數     | 線徑（mm） | 耐電流（mA） | 每公克的長度（M） | 每公里的電阻值（歐姆） |
|--------|--------|---------|-----------|-------------|
| SWG#29 | 0.33   | 243     | 1.184     | 202         |
| SWG#35 | 0.21   | 102     | 2.750     | 505         |
| SWG#40 | 0.12   | 33      | 8.421     | 1570        |
| SWG#41 | 0.11   | 27      | 10.022    | 1750        |
| SWG#42 | 0.10   | 22      | 12.126    | 2198        |
| SWG#43 | 0.09   | 18      | 14.970    | 2720        |
| SWG#44 | 0.08   | 14      | 18.947    | 3440        |

## 3. 各式漆包線實際量測的電阻值

| 漆包線號數               | 電阻值（歐姆） | 實際圈數  |
|---------------------|---------|-------|
| SWG29-100g          | 17.3    | *     |
| SWG35-250g          | 374     | *     |
| SWG35-500g          | 768     | *     |
| SWG40-100g          | 1.419k  | *     |
| SWG41-100g          | 1.94k   | *     |
| SWG41-250g          | 5.44k   | 33700 |
| SWG42-100g          | 2.6k    | *     |
| SWG43-100g          | 4.38k   | *     |
| SWG44-100g          | 6.55k   | 29970 |
| SWG44-250g          | 16.65k  | 43300 |
| *表示購買現成的線圈，所以無法計算圈數 |         |       |

## 4. 自繞漆包線的數值

繞線時，每隔一定的圈數引出一條線以方便實驗時測量不同圈數的感應電動勢。

### （1）SWG41-250g

| 線 圈 編 號                           | 1    | 2     | 3     | 4     | 5      | 6      |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 圈 數                               | 6000 | 12000 | 18000 | 24000 | *26600 | *33700 |
| 歐 姆 值                             | 894  | 1.87k | 2.97k | 3.88k | 4.3k   | 5.44k  |
| 半徑增加(mm)                          | 2.5  | 5     | 7.5   | 9     | 10.2   | 13     |
| *編號 5 和 6 號線圈因為繞線時不小心把線扯斷，所以沒有規律。 |      |       |       |       |        |        |

### （2）SWG44-250g

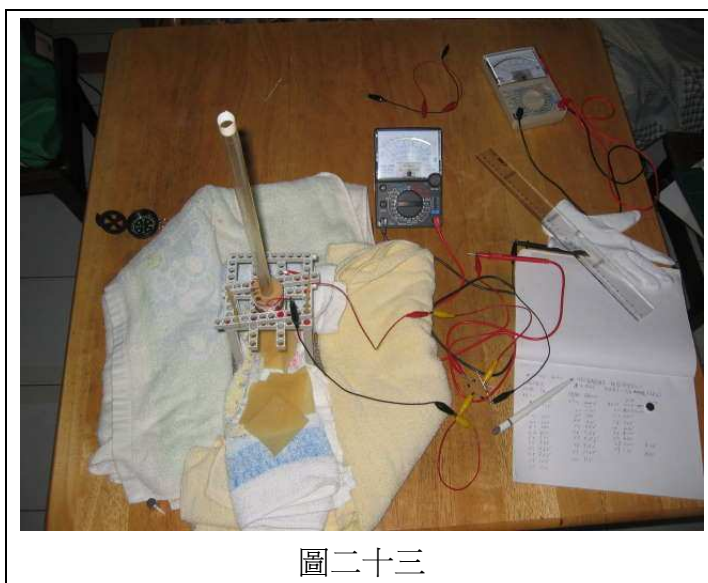
| 線 圈 編 號                           | 1     | 2     | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 圈 數                               | 8000  | 16000 | 24000 | 30000 | 34170  | 40000  | 43300  |
| 歐 姆 值                             | 2.26k | 4.85k | 7.87k | 10.4k | 12.28k | 15.09k | 16.81k |
| 半徑增加(mm)                          | 2.5   | 5     | 7.5   | 9     | 10.2   | 12     | 13     |
| *編號 5 和 7 號線圈因為繞線時不小心把線扯斷，所以沒有規律。 |       |       |       |       |        |        |        |

## 二、驗證法拉第定律

使用玩具積木組裝一個自由落體實驗台，上頭可以放置並固定漆包線線圈，磁鐵通過線圈產生的是交流電，線圈接出的兩條線接上四顆二極體組成的橋式整流，將交流電整流成爲直流電，使用三用電錶的直流電壓檔位 DCV 來量發電的電壓。

使用準備好的各種漆包線線圈與磁鐵重複上述的實驗，實驗的變因包括：

1. 不同號數與重量的漆包線線圈。
2. 各種不同尺寸的磁鐵，單一與多個堆疊。
3. 自由落體的高度，0cm、30cm、或是從 0-30cm 間隔 1cm。



實際實驗時，依序變換上述的變因，記錄發電的感應電動勢。根據記錄的數值獲得下列實驗的比較表。

實驗一：不同磁力的磁鐵，感應電動勢有何不同？

實驗的控制變因：

漆包線：#29-100g

磁鐵編號：#5 與 #6 堆疊 1-9 顆

自由落體高度：30cm

表四、不同磁力的磁鐵，感應電動勢的比較表（單位：伏特 V）

| 編號/顆數 | x1   | x2   | x3   | x4   | x5   | x6   | x7   | x8   | x9   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| #5    | 0.08 | 0.20 | 0.28 | 0.34 | 0.35 | 0.35 | 0.36 | 0.38 | 0.39 |
| #6    | 0.00 | 0.06 | 0.14 | 0.20 | 0.26 | 0.34 | 0.38 | 0.42 | 0.46 |

從上表四可以發現：磁場愈強，感應電動勢愈高。

實驗二：不同的相對運動速率，感應電動勢有何不同？

實驗的控制變因：

漆包線：#43-100g

磁鐵編號：#6x4 與 #6x8

自由落下的距離：0-30cm 間隔 1cm

表五、不同的相對運動速率，感應電動勢的比較表（單位：伏特 V）

| 磁鐵/距離(cm) | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5-14 | 15-29 | 30  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|
| #6x4      | 3.8 | 4   | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 4.4  | 4.5   | 4.8 |
| #6x8      | 7.2 | 7.4 | 8   | 8.1 | 8.1 | 8.2  | 8.6   | 8.7 |

從上表五可以發現：相對運動速率愈快，感應電動勢愈高。

實驗三：纏繞的線圈數目多寡與感應電動勢的關係

同一號數的漆包線線徑一樣，重量愈重纏繞的線圈數目就愈多。同一重量的漆包線，號數大的線徑小，纏繞的線圈數目就比較多。所以使用同重量不同號數的漆包線，以及，同號數不同重量的漆包線來做比較，實驗結果如表六之一和六之二。

實驗三之一：同重量不同號數的漆包線感應電動勢比較表

實驗的控制變因：

漆包線：#29-100g 與 #43-100g

磁鐵編號：#6 堆疊 1-9 顆

自由落下的距離：30cm

表六之一、同重量不同號數的漆包線感應電動勢的比較表（單位：伏特 V）

| 線圈/顆數    | x1   | x2   | x3   | x4   | x5   | x6   | x7   | x8   | x9   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| #43-100g | 1.00 | 2.00 | 3.40 | 4.80 | 5.60 | 6.70 | 7.80 | 8.60 | 9.40 |
| #29-100g | 0.00 | 0.06 | 0.14 | 0.20 | 0.26 | 0.34 | 0.38 | 0.42 | 0.46 |

實驗三之二：同號數不同重量的漆包線感應電動勢比較表

實驗的控制變因：

漆包線：#35-500g 與 #35-250g

磁鐵編號：#9 堆疊 5-9 顆

自由落下的距離：30cm

表六之二、同號數不同重量的漆包線感應電動勢的比較表（單位：伏特 V）

| 線圈/顆數    | x5  | x6  | x7  | x8  | x9  |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| #35-500g | 4.8 | 5.8 | 6.7 | 7.6 | 8.4 |
| #35-250g | 3.2 | 3.4 | 4.1 | 4.4 | 4.9 |

從上表六之一和六之二可以發現：線圈的圈數愈多，感應電動勢愈高。

實驗四：磁鐵的 N 極與 S 極朝向兩側，自由落下會怎麼樣？

實驗的控制變因：

漆包線：#43-100g

磁鐵編號：#4x1 與 #4x2

自由落下的距離：30cm

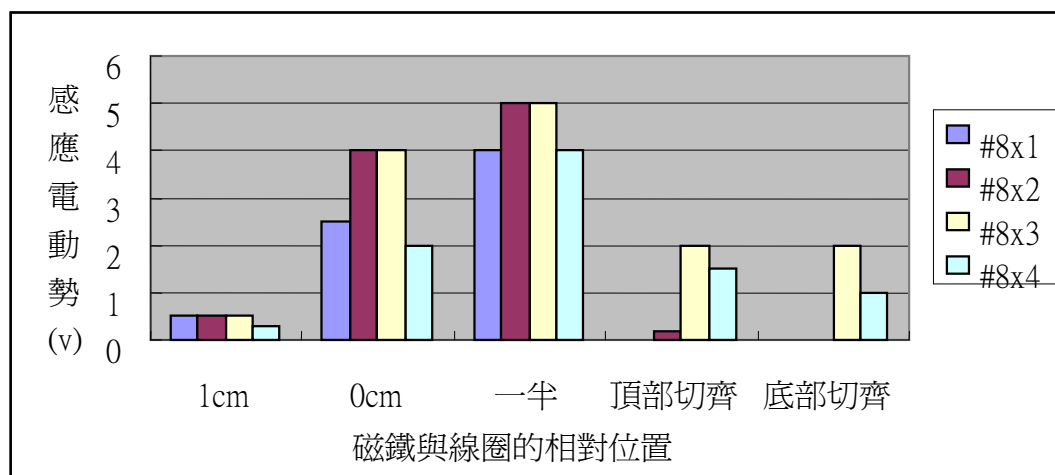
表七、磁鐵降落方向不同時感應電動勢的比較表（單位：伏特 V）

| 磁鐵編號 | 朝向兩側 | 朝向上下 |
|------|------|------|
| #4x1 | 0.2  | 0.5  |
| #4x2 | 0.4  | 1    |

從上表七可以發現：磁鐵降落時，磁極朝向上下方產生的電量較大。

### 三、震動模擬發電實驗

一開始的實驗，使用肩膀按摩器來模擬震動，將磁鐵吸附在肩膀按摩器上由下方漸漸靠近線圈，觀察紀錄磁鐵線圈之間相對距離與感應電動勢的關係。實驗結果如下圖二十四。



圖二十四：肩膀按摩器模擬震動的感應電動勢

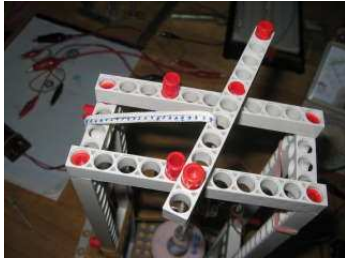
使用肩膀按摩器來模擬震動雖然可以約略看出震動中的磁鐵、線圈、與感應電動勢的關係。例如：磁鐵高度的一半進入線圈時感應電動勢最高，磁鐵編號 #8x3 與 #8x4 雖然磁力比較強，但是感應電動勢卻沒有比磁鐵編號 #8x2 高。顯然堆疊太多顆的磁鐵重量增加，反而影響震動的頻率與幅度，從磁鐵編號 #8x4 的感應電動勢反而降低也可以證明。

但是，重複實驗時發現誤差太大，而且這種實驗方法不能讓磁鐵通過線圈，於是將肩膀按摩器拆解，發現震動源就是一顆馬達上加上一個偏心輪，將他命名為「震動馬達一」。

為了增加不同的震動源來做實驗，使用紙黏土做一個偏心輪黏在 RF-60 的馬達上，作為另一個震動源，命名為「震動馬達二」。

實驗初期，一直無法順利的將震動從震動馬達傳達至磁鐵上。經過多次的嘗試終於發現，要有效的傳導震動必須使用堅硬的物質來傳導，在實驗過程又發現鐵製的螺絲會導引磁力。最後，終於找到非導磁的物質「鋼製的螺絲」(圖二十六)前端用熱熔膠黏上一片鐵製的墊片，另一端黏在一小片塑膠板上，再將震動馬達用橡皮筋綁緊(圖二十七)，終於可以開始做實驗了。

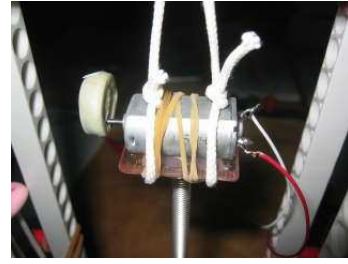




圖二十五實驗用的支架



圖二十六鋼製的螺絲



圖二十七震動馬達二

這個實驗的困難度在於要讓震動中的磁鐵懸在空中並且垂直的穿入線圈。所以要讓實驗順利進行還要注意一些小細節：

1. 圖二十五吊繩上每隔 3mm 劃上一個刻度，實驗中調整磁鐵的位置時才有一個準則。
2. 如圖二十七，先用橡皮筋將震動馬達與傳導棒綁住。再用兩個活結綁住震動馬達，這樣才能前後左右的調整，讓整個傳導棒垂直的下垂。
3. 鋼製螺絲前端要黏上「鐵」製的墊片，以方便吸附磁鐵。

#### 實驗五：震動馬達模擬震動發電實驗

這個實驗利用改變震動馬達的供電電壓來變換震動的頻率。

震動馬達一：使用一顆電池與兩顆電池來改變震動頻率。

震動馬達二：分別使用 八、六、四、二顆電池（12V、9V、6V、3V）來改變震動頻率。

配合各種漆包線與磁鐵，依序變換上述的變因，利用非導磁傳導棒將震動馬達的震動傳到磁鐵上，由上方垂降並穿越線圈，每隔 3mm 記錄發電電壓值，相對距離以線圈上的第一圈為 0，上方為負，下方為正，得到圖二十八。

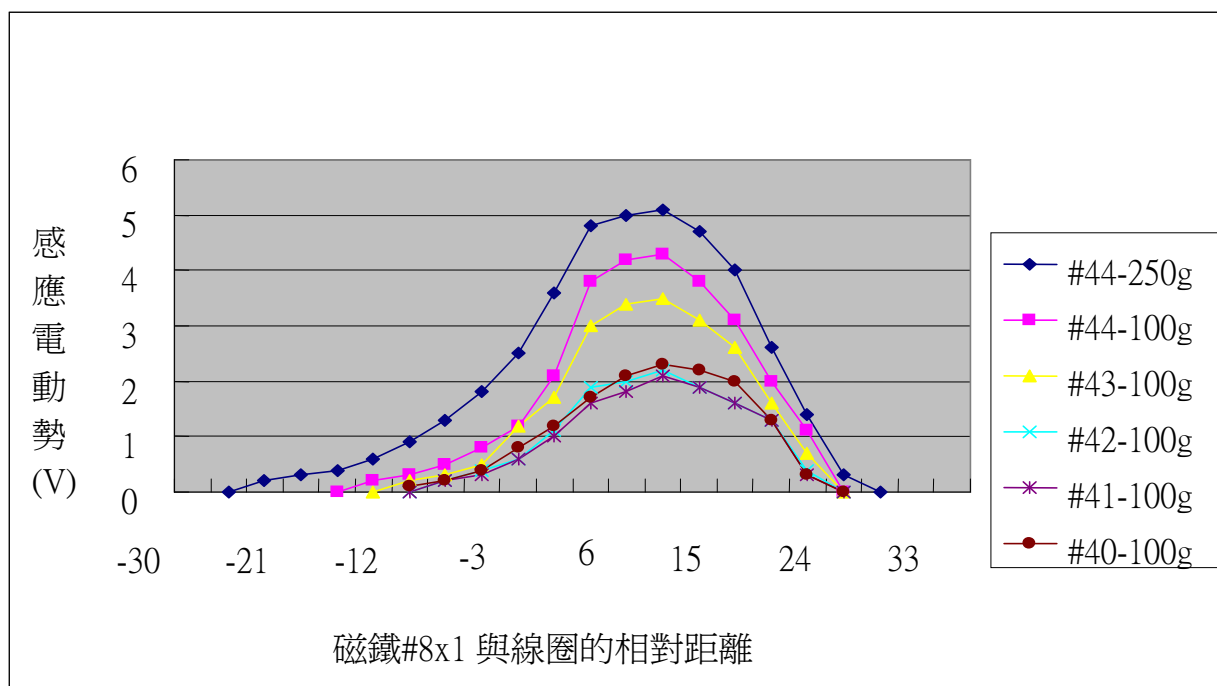
#### 實驗五之一：不同的線圈感應電動勢比較

實驗的控制變因：

震動源：震動馬達二（9V）

磁鐵編號：#8x1

漆包線：#44-250g、#44-100g、#43-100g、#42-100g、#41-100g、#40-100g



圖二十八：震動馬達模擬震動發電不同的線圈感應電動勢比較

由圖二十八發現：同一重量的漆包線號數愈高，線徑愈細，圈數愈多，感應電動勢也比較高。

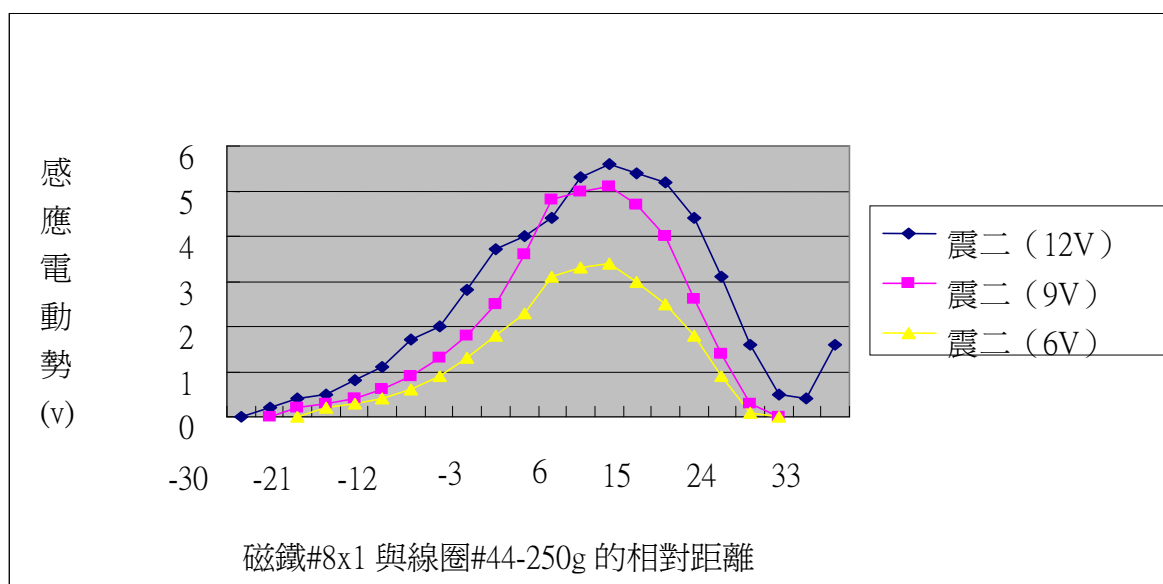
#### 實驗五之二：不同的震動源感應電動勢比較

實驗的控制變因：

震動源：震動馬達二（變換電壓 12V、9V、6V），結果如下圖二十九。

磁鐵編號：#8x1

漆包線：#44-250g



圖二十九：震動馬達模擬震動發電不同的震動源感應電動勢比較

由圖二十九發現：供應震動馬達的電壓愈高，震動頻率愈快，感應電動勢就愈高。

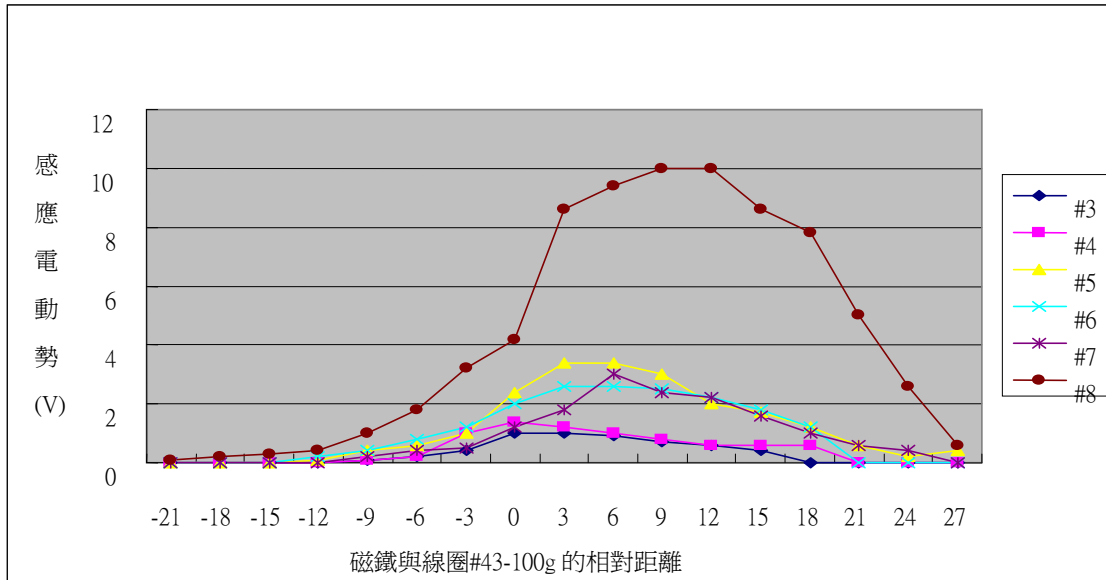
### 實驗五之三：不同的磁鐵感應電動勢比較

實驗的控制變因：

震動源：震動馬達一（3V）

漆包線：#43-100g

磁鐵編號：#3、#4、#5、#6、#7、#8，結果如圖三十。



圖三十：震動馬達模擬震動發電不同的磁鐵感應電動勢比較

由圖三十發現：磁鐵高度的一半進入線圈時感應電動勢最高。

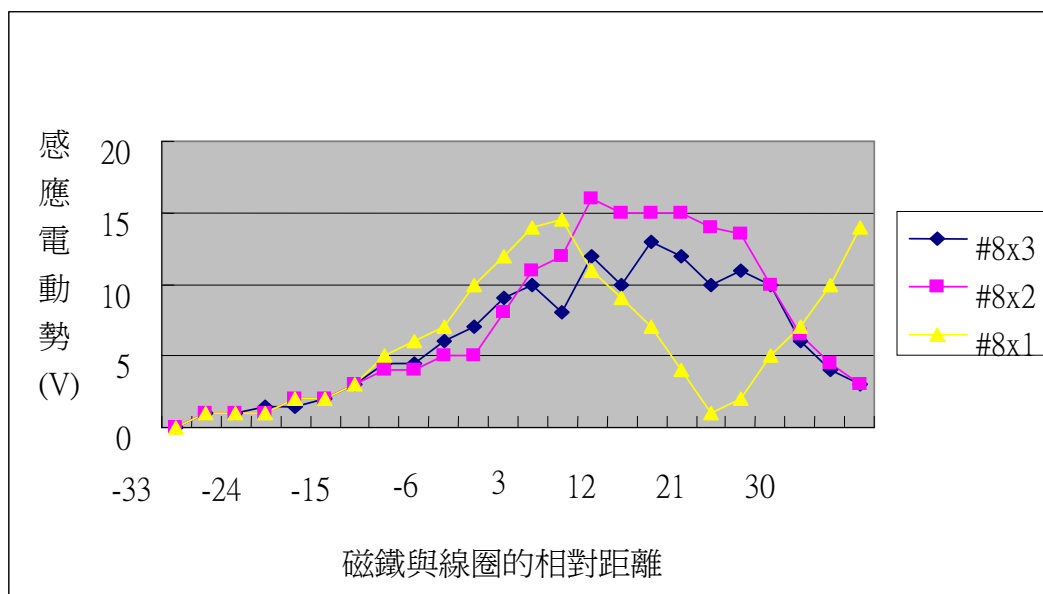
### 實驗五之四：同一磁鐵堆疊感應電動勢比較

實驗的控制變因：

震動源：震動馬達一（3V）

漆包線：#44-250g

磁鐵編號：#8x1、#8x2、#8x3，結果如圖三十一。

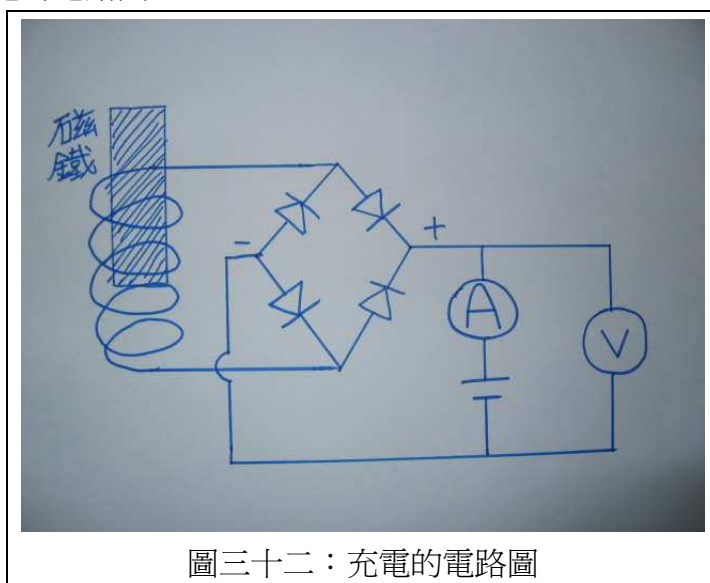


圖三十一：震動馬達模擬震動發電同一磁鐵堆疊感應電動勢比較

由圖三十一發現：堆疊磁鐵時會因為磁鐵重量增加而震動不起來，因此感應電動勢反而比較低。

#### 四、充電實驗

想要將收集到的「電」儲存起來，所以就試試能不能充電。要知道有沒有在充電，在電路裡串聯一個三用電錶，將檔位調到電流檔，另外再並聯數位電錶量取充電時的電壓。下圖三十二表示充電的電路圖：



圖三十二：充電的電路圖

充電電池使用一顆 4 號充電電池。

#### 實驗六：充電實驗

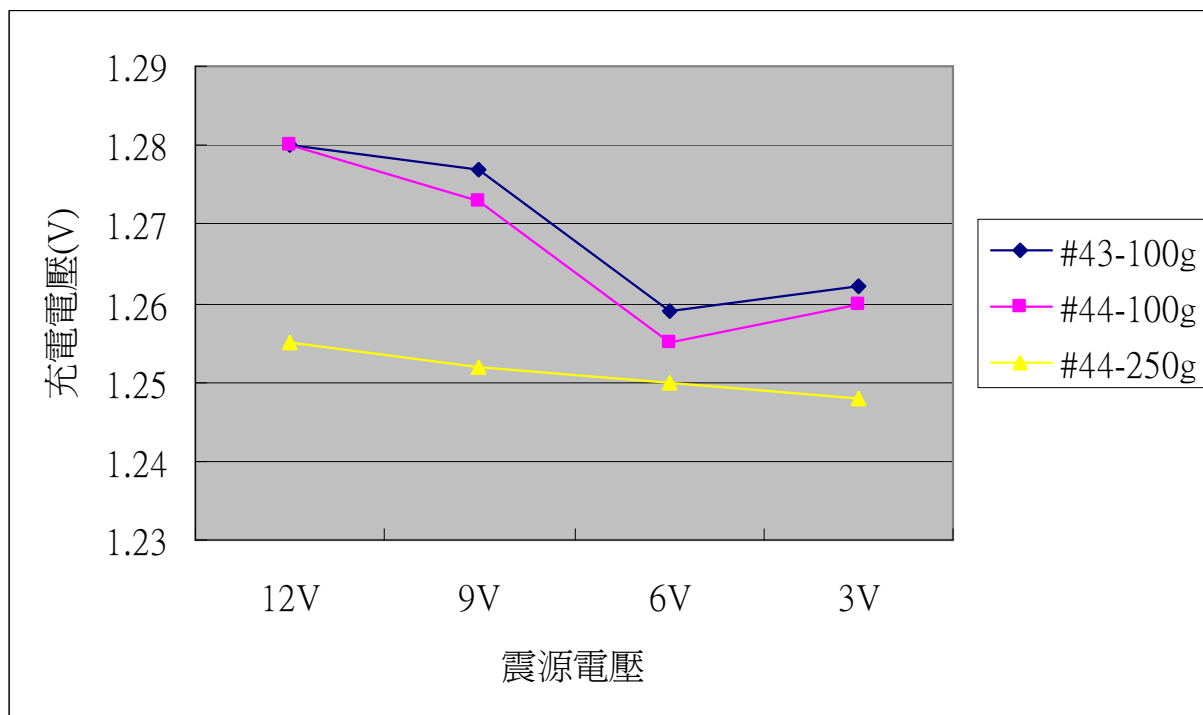
實驗的控制變因：

震動源：震動馬達二分別使用 八、六、四、二顆電池（12V、9V、6V、3V）來改變震動頻率。

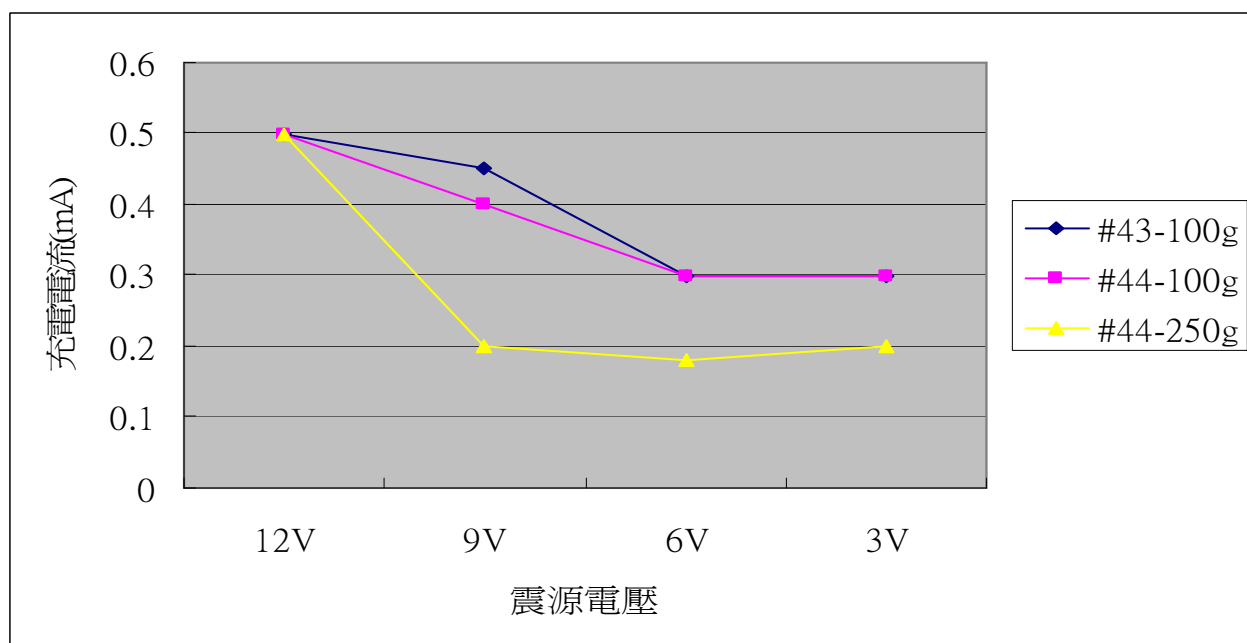
漆包線：#43-100g，#44-100g，#44-250g。

磁鐵：#8x1 與 #8x2。

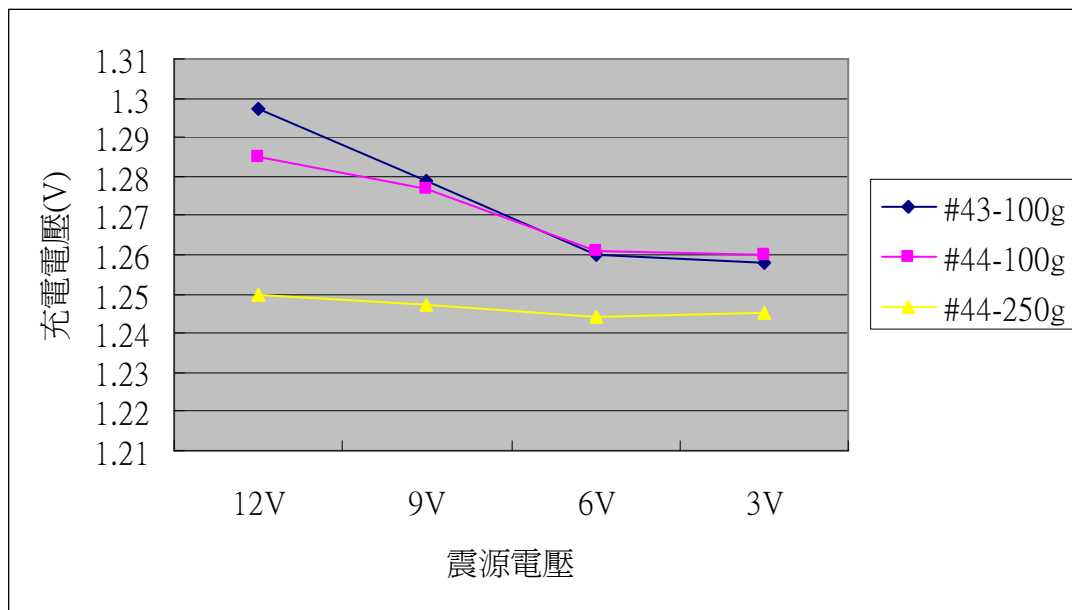
從實驗五發現震動中的磁鐵大約高度的一半進入線圈時感應電動勢最高，所以這次的實驗就將磁鐵與線圈之間的相對位置固定在發電效果最好之處。實驗之前先將震動中的磁鐵垂降至發電電壓最高之處，然後固定繩子。



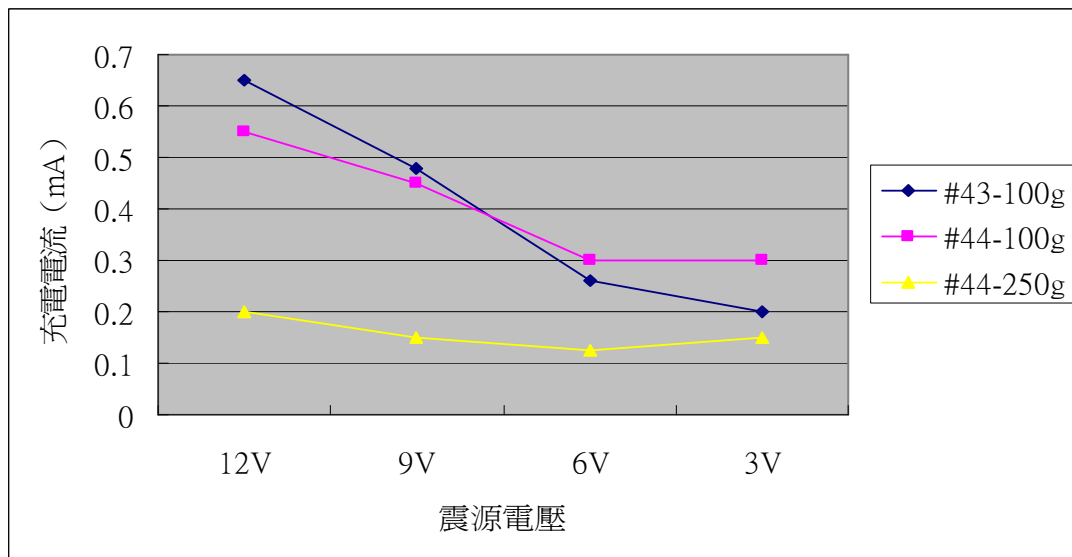
圖三十三：實驗六之一，磁鐵編號 #8x2 的充電電壓  
震源電壓為 3V 時，#43-100g 與 #44-100g 的充電電壓反而比較高。



圖三十四：實驗六之二，磁鐵編號 #8x2 的充電電流  
震源電壓 6V 與 3V 充電電流差異不大。



圖三十五：實驗六之三，磁鐵編號 #8x1 的充電電壓



圖三十六：實驗六之四 磁鐵編號 #8x1 的充電電流

由圖三十三至圖三十六發現：

- 1.震源的電壓越大(9V,12V)時，充電電池的電流和電壓就越大。
- 2.在震源電壓較低的時候，有時使用 3V 震源的電流、電壓還比 6V 震源高，可見震動頻率高並不見得感應電動勢就會比較高。

## 五、負載實驗

在做充電實驗時，發現加上負載後發電的電壓與電流會產生變化。以前上電學課的時候學過  $P = I * V$ ，功率等於電流乘以電壓，現在終於對功率有了更深一層的瞭解。爲了瞭解震動電磁發電加上負載後功率的變化，就選用三種不同啓動電壓的負載：充電電池、普通 LED、與高亮度 LED 來做負載實驗。

負載實驗沿用實驗六充電實驗的電路圖與實驗的變因，其中漆包線部分增加自行纏繞已



知圈數的各種漆包線線圈。另外增加一個實驗的變因就是增加負載為：充電電池（1.2V）、LED1 普通 LED（1.8V）、與 LED2 高亮度 LED（3.2V）。

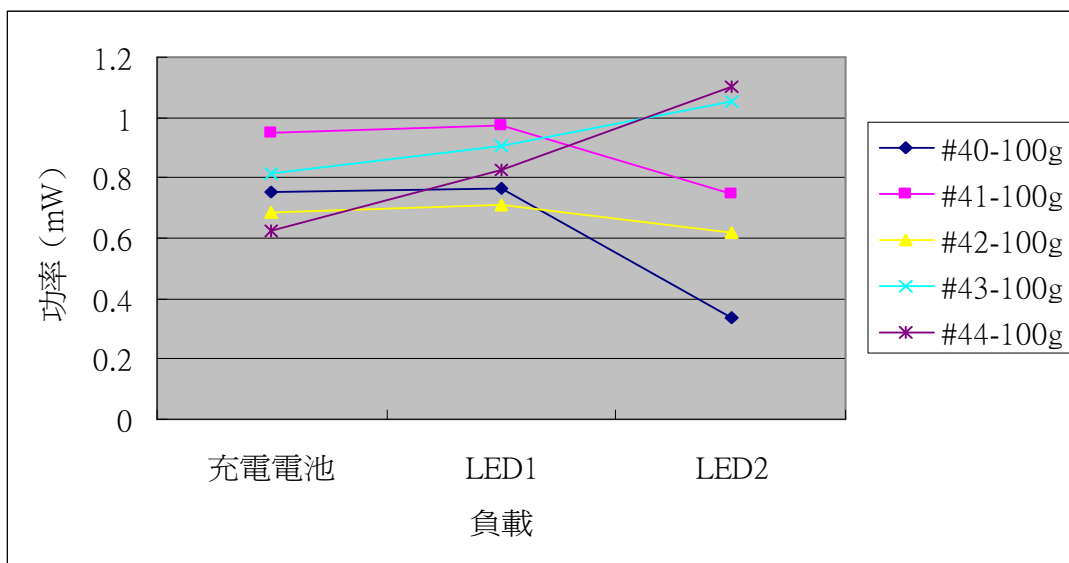
#### 實驗七：漆包線發電功率比較

實驗的控制變因：

震動源：震動馬達二（12V）

漆包線：#40-100g、#41-100g、#42-100g、#43-100g、#44-100g

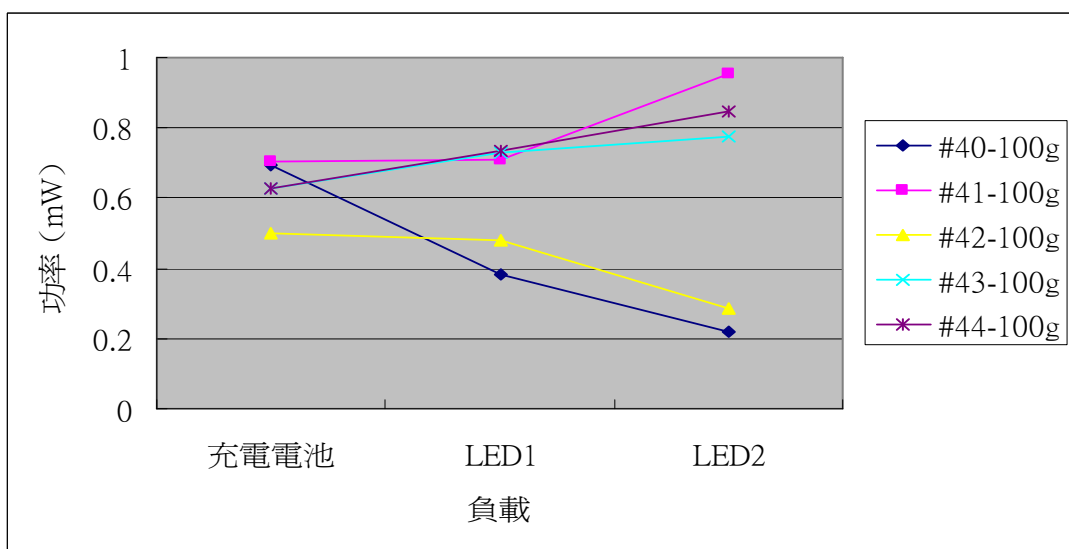
負載：1.2V 充電電池、LED1（普通 LED 1.8V）、LED2（高亮度 LED 3.2V）



圖三十七：實驗七之一，漆包線發電功率比較，磁鐵編號 #8x1

由圖三十七發現：#43-100g 與 #44-100g 負載愈重功率愈高。#41-100g 與 #42-100g 於 LED1 時功率最高。#40-100g 負載愈重功率愈低。

實驗七之二 漆包線發電功率比較，磁鐵編號 #7x4，結果如下圖三十八：



由圖三十八發現：#40-100g 適合拿來為充電電池充電，#44-100g 適合拿來點亮高亮度的

LED。

#### 實驗八 漆包線圈數與發電功率的關係

實驗的控制變因：

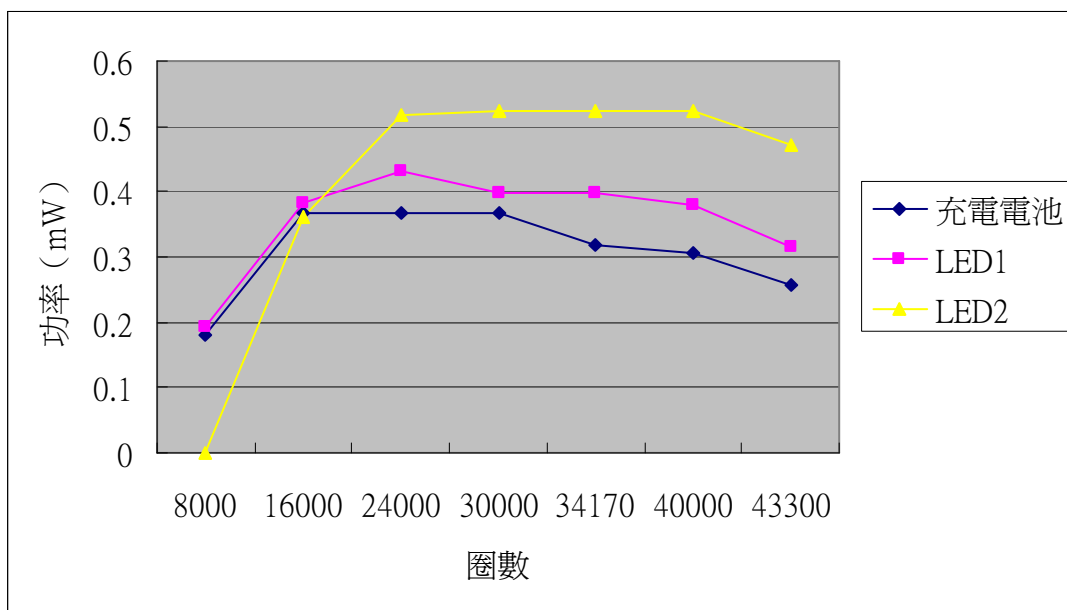
震動源：震動馬達二（12V）

漆包線：使用自行纏繞知道圈數的漆包線 #44-250g、#41-250g

負載：1.2V 充電電池、LED1（普通 LED 1.8V）、LED2（高亮度 LED 3.2V）

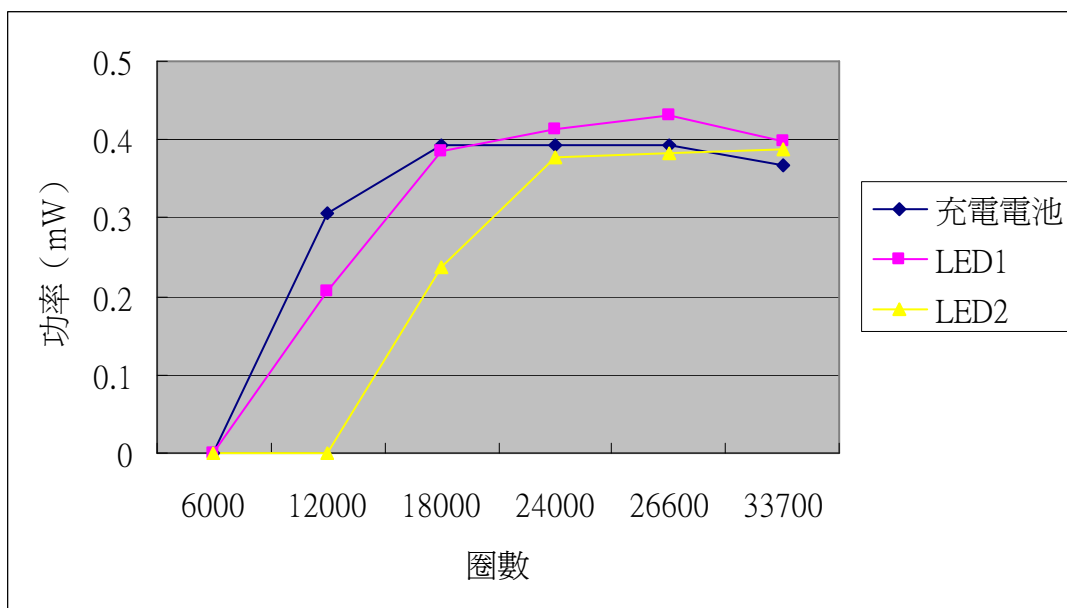
磁鐵編號：#8x1、#7x4

實驗八之一 #44-250g 線圈圈數與功率關係比較，磁鐵編號 #8x1，結果如下圖三十九：



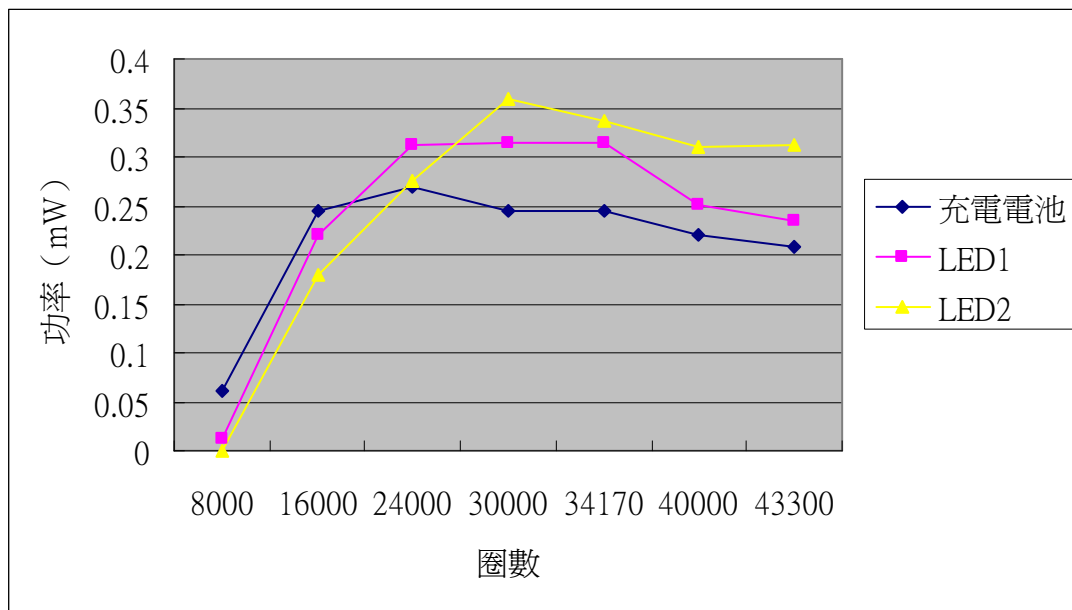
圖三十九：#44-250g 線圈圈數與功率關係比較圖

實驗八之二 #41-250g 線圈圈數與功率關係比較，磁鐵編號 #8x1，結果如下圖四十：



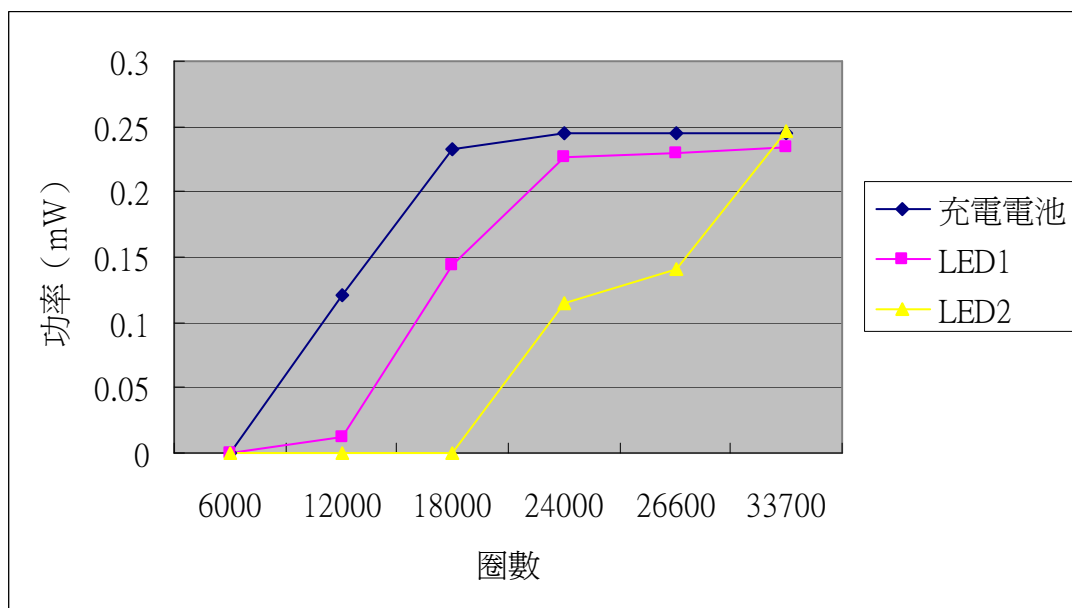
圖四十：#41-250g 線圈圈數與功率關係比較圖

實驗八之三 #44-250g 線圈圈數與功率關係比較，磁鐵編號 #7x4，結果如下圖四十一：



圖四十一：#44-250g 線圈圈數與功率關係比較圖

實驗八之四 #41-250g 線圈圈數與功率關係比較，磁鐵編號 #7x4，結果如下圖四十二：



圖四十二：#41-250g 線圈圈數與功率關係比較圖

由圖三十九至圖四十二發現：要為充電電池充電，漆包線繞 16000-18000 圈效率最好。要點亮普通的 LED 要繞 24000 圈，要點亮高亮度 LED 則需要繞 30000 圈。

### 實驗九 漆包線圈數的極限

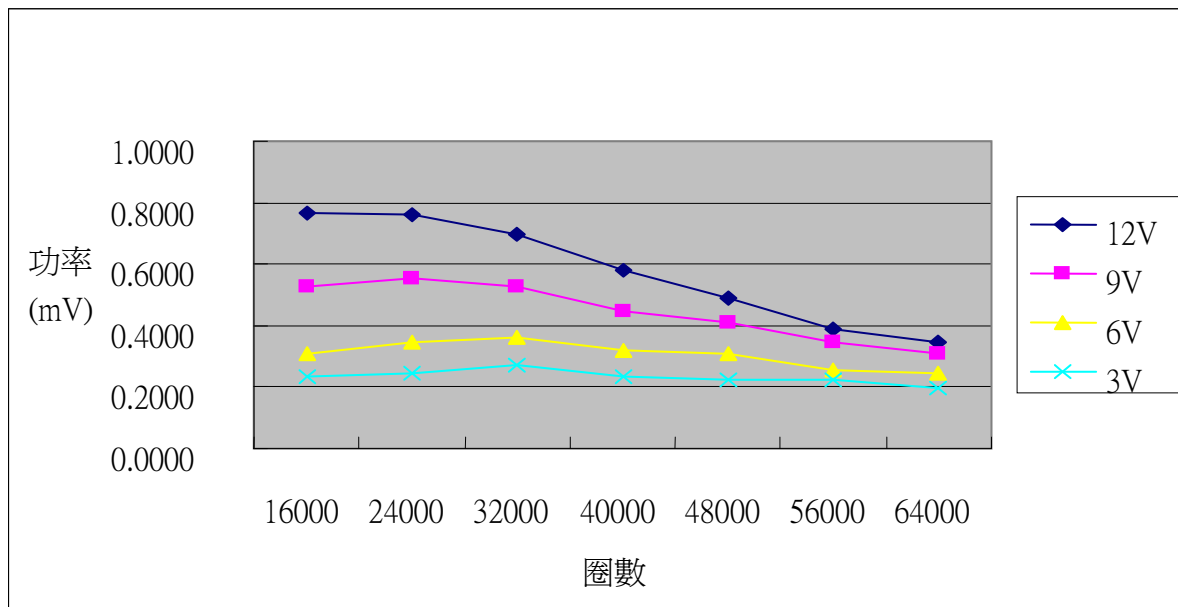
實驗的控制變因：

震動源：震動馬達二（供電電壓 12V、9V、6V、3V）

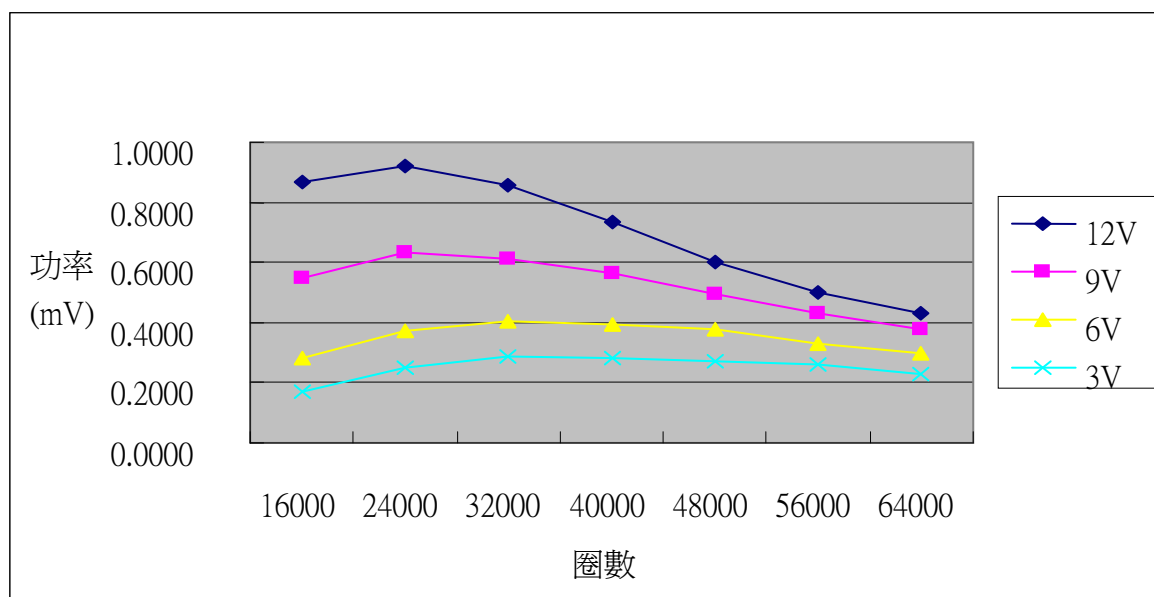
磁鐵編號：#8x1

自繞漆包線：SWG#45（16000 圈至 64000 圈每隔 8000 圈引出一條線）

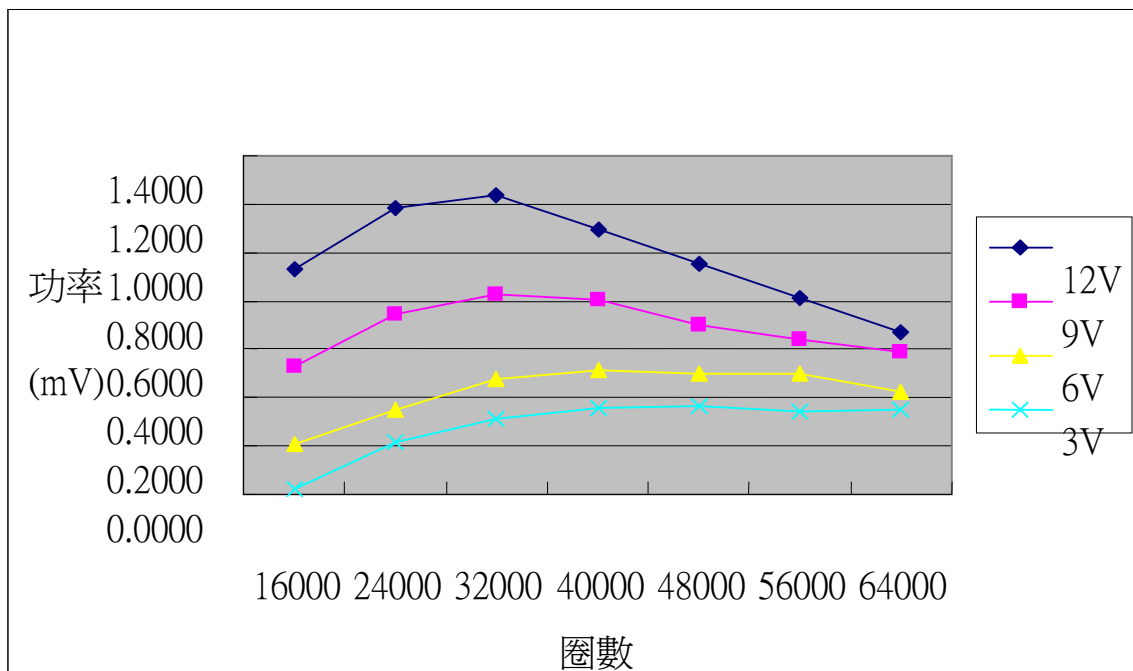
負載：1.2V 充電電池、LED1(普通 LED 1.8V)、LED2(高亮度 LED 3.2V)、手機鋰電池 (3.6V)



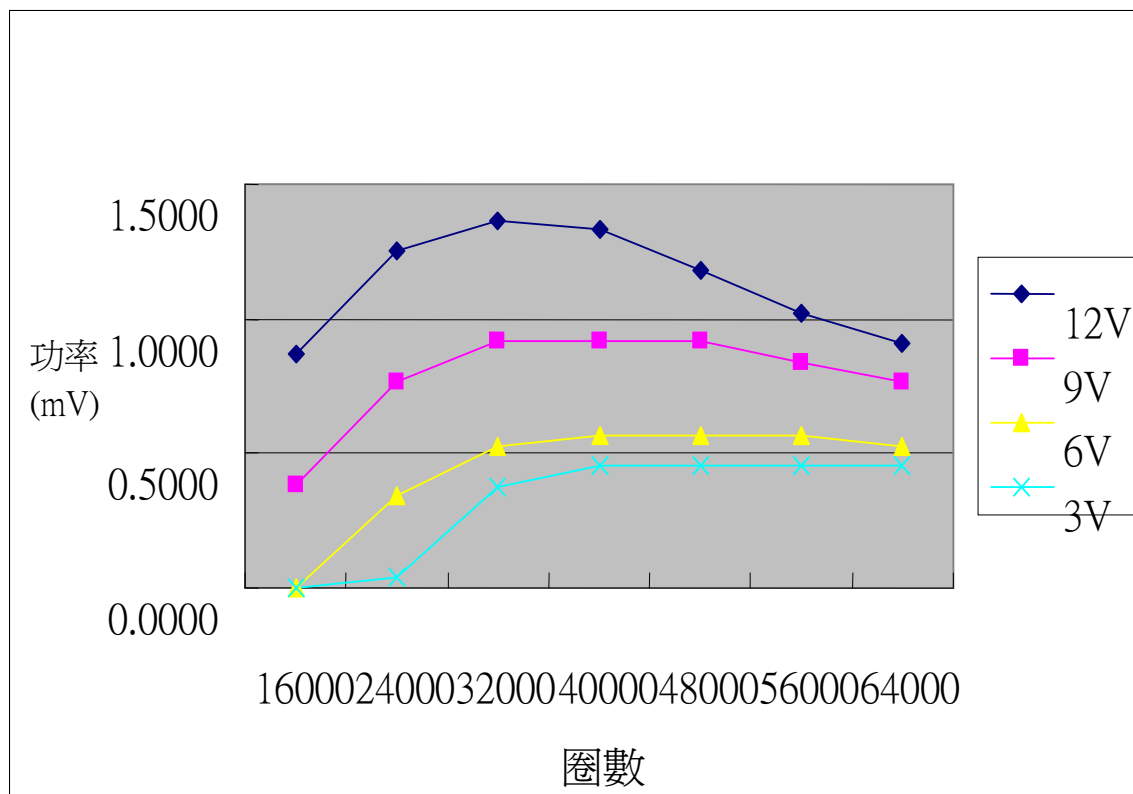
圖四十三：實驗九之一 負載為 1.2V 充電電池時，線圈圈數與發電功率比較圖



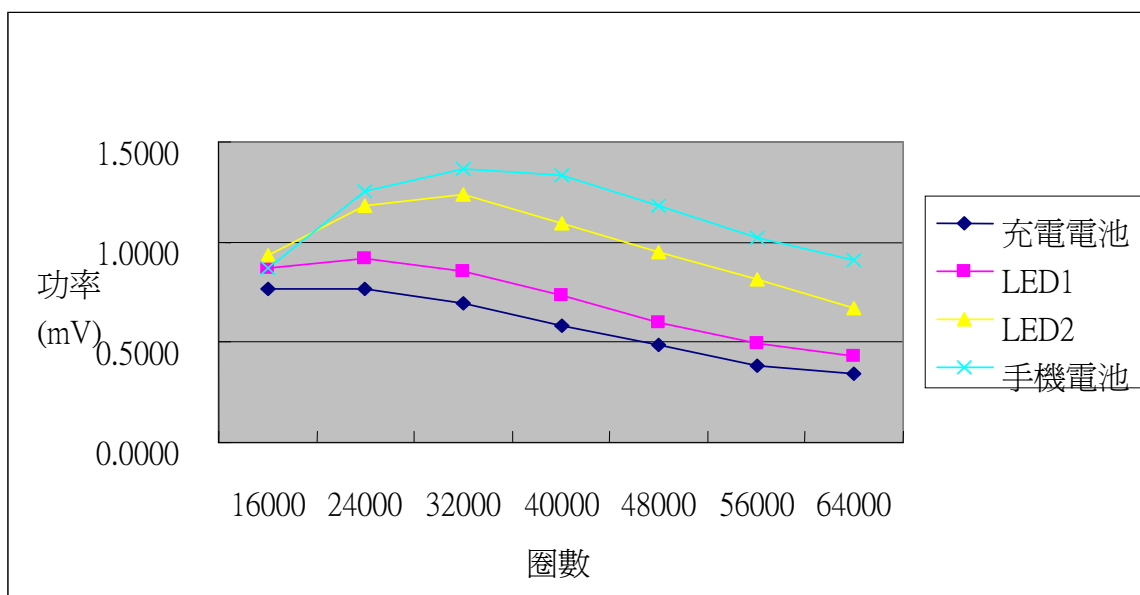
圖四十四：實驗九之二 負載為普通 LED1 時，線圈圈數與發電功率比較圖



圖四十五：實驗九之三 負載為 LED2 時，線圈圈數與發電功率比較圖



圖四十六：實驗九之四 負載為手機鋰電池時，線圈圈數與發電功率比較圖



圖四十七：實驗九之五 各種負載最高功率的圈數比較圖

由圖四十三至圖四十七發現要為充電電池充電，漆包線繞 16000 圈效率最好。要點亮普通的 LED 要繞 24000 圈，要點亮高亮度 LED 則需要繞 30000 圈，要對手機鋰電池充電大約要繞 32000 圈。繞過多的圈數發電的功率反而降低。

## 六、震動電磁發電機的製作

### (一) 第一代震動電磁發電機



圖四十八 - 鐵製的墊片，以熱熔膠黏上一個不銹鋼掛勾，用來吸附吊掛磁鐵。

圖四十九 - 製作所需的材料：橡皮筋，四顆二極體組成橋式整流，空罐子，漆包線，#8 磁鐵。

圖五十 - 在空罐子邊緣以美工刀刻出兩個缺口，讓橡皮筋不會滑落。漆包線黏在罐子的底部，罐子旁邊挖個小洞讓電線可以拉出來，接上橋式整流。

使用第一代震動電磁發電機對 1.2V 的充電電池充電，每震動一下大約可以產生 0.2-0.4mA 的電流，但是如果震動太輕就無法產生充電的電流，因此繼續研究第二代的震動電磁發電機。



## （二）第二代震動電磁發電機



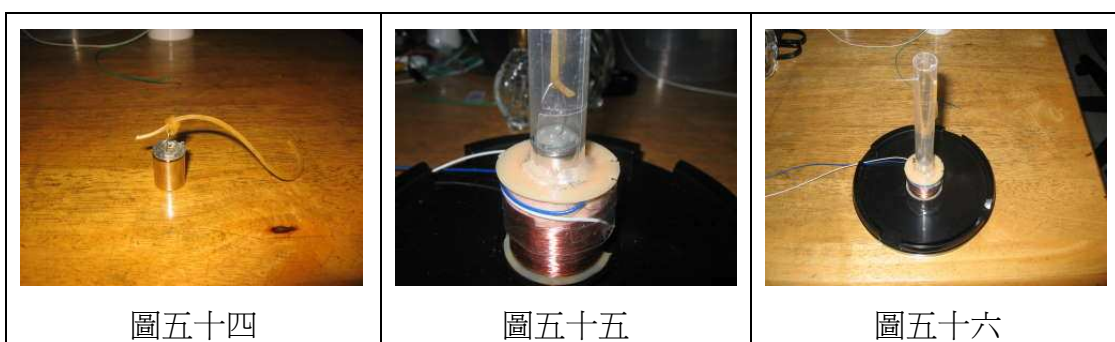
圖五十一 - 使用厚度 0.4mm 的塑膠板，使用兩顆編號 #8 的磁鐵夾住。

圖五十二 - 罐子底部墊上適當的高度，讓漆包線頂部與罐口平齊。

圖五十三 - 罐子旁邊挖個小洞讓電線可以拉出來，接上橋式整流。

使用第二代震動電磁發電機對 1.2V 的充電電池充電，每震動一下大約可以產生 0.4-0.6mA 的電流。雖然比第一代震動電磁發電機的充電電流多了一些，但是使用了兩顆編號 #8 的磁鐵。所以繼續研究使用一顆磁鐵的第三代震動電磁發電機。

## （三）第三代震動電磁發電機



圖五十四 - 使用圖四十八的掛勾，上頭綁一條剪開的橡皮筋。

圖五十五 - 漆包線上頭黏上比編號 #8 磁鐵直徑稍大的管子，一方面防止磁鐵脫落，另一方面用來吊掛磁鐵在適當的高度。

圖五十六 - 將漆包線黏在一個大的圓形底座上，才不會傾倒。

使用第三代震動電磁發電機對 1.2V 的充電電池充電，每震動一下大約可以產生 0.5-0.9mA 的電流，震動幅度較大時，充電電流甚至可以達到 2mA。

## 七、震動電磁發電機的實際應用



圖五十七 電磁燈籠



圖五十八 行動電磁充電機



圖五十九 步行震動能量收集實驗

圖五十七 - 使用第三代震動電磁發電機，接上各種造型顏色的高亮度 LED 就成為電磁燈籠。輕鬆的提在手上，走動的時候 LED 就會一閃一閃的，希望能夠在每年的元宵夜裡閃爍出耀眼的光芒，這就是拯救地球的「電磁燈籠」。

圖五十八 - 為了證明震動電磁發電機可以對手機鋰電池充電，在充電的電路裡串聯一個電流錶。靜止不動時，電流錶的讀數為零，走動時就會有數字出現。只是充電電流太低，還需要更進一步的研究才有實用的價值。

### 實驗十 步行震動能量收集實驗

該實驗使用第三代震動發電機的結構，為了了解不同號數漆包線的充電效果，分別使用漆包線：#40-100g、#41-100g、#42-100g、#43-100g、#44-100g，各自對 1.2V AA 充電電池充電。充電前先將充電電池接上一顆 120 歐姆的電阻放電，直到放電電流低於 10mA 為止。如圖五十九所示，將 12cm x 122cm 木板六塊鋪在走廊上，為了讓震動板的震動幅度增加，因此在震動板的中心位置綁了一條粗橡皮筋。一端放置震動電磁充電機，另一端 600 人次走過後，拆下充電電池量取充了多少的電。

要量取獲得了多少的「電」，使用一顆 120 歐姆的電阻當做負載，串聯一個電流表讀取電流值，以 0.5mA 為單位，計算每個電流值持續的時間，直到電流低於 10mA 為止。

測量結果如表八所示，#40-100g 所充電的電池，一開始就低於 10mA，所以充電的電量為零。漆包線愈細，充電效果愈好，#44-100g 總共持續了 85 秒電流值才低於 10mA。

表八 充電電池電量測量表

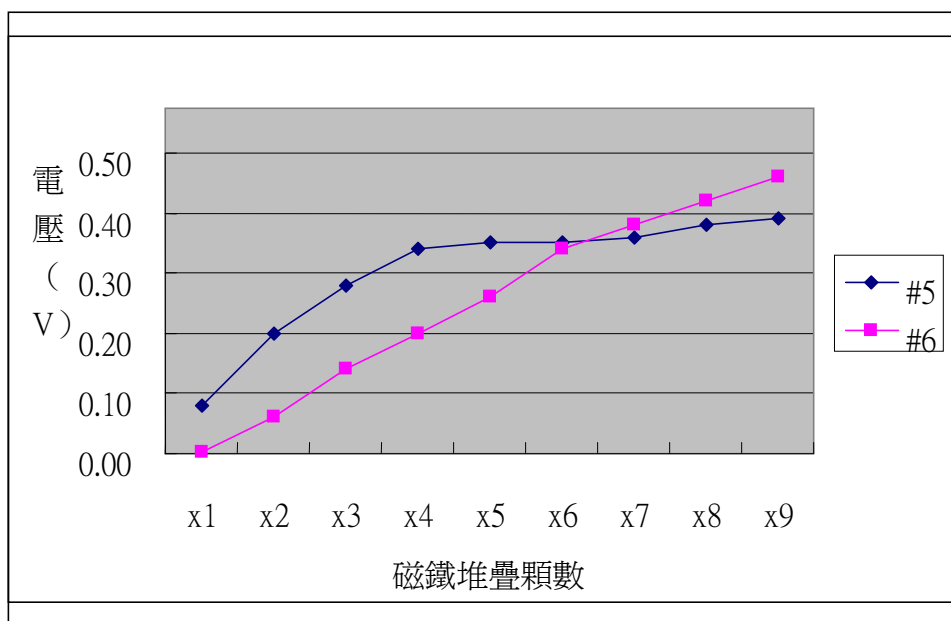
|          | 第一時間 |      |      | 第二時間 |      |      | 第三時間 |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 漆包線      | mA   | 持續秒數 | mAh  | mA   | 持續秒數 | mAh  | mA   | 持續秒數 | mAh  |
| #40-100g |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| #41-100g | 10.0 | 28   | 0.08 |      |      |      |      |      |      |
| #42-100g | 10.0 | 32   | 0.09 |      |      |      |      |      |      |
| #43-100g | 10.5 | 50   | 0.15 | 10.0 | 18   | 0.05 |      |      |      |
| #44-100g | 11.0 | 54   | 0.17 | 10.5 | 13   | 0.04 | 10.0 | 18   | 0.05 |
| 小計       | 0.31 |      |      | 0.09 |      |      | 0.05 |      |      |

## 伍、研究結果

- 一、實驗一、二、三驗證了法拉第定律：磁場強弱變化越大、線圈與磁鐵的相對運動速率越大、纏繞的線圈數目越多，產生的感應電流就越大。
- 二、實驗四證明了磁鐵 N 極切割線圈產生的電流，與 S 極切割線圈所產生的電流方向相反。磁鐵的 N 極與 S 極朝向兩側時，雖然磁鐵的兩極磁力較強，但是因為產生的電流互相抵消，導致感應電動勢降低。
- 三、實驗五之一，再度證明了同一重量的漆包線號數愈高，線徑愈細，圈數愈多，感應電動勢也比較高。實驗五之二，供應震動馬達的電壓愈高，震動頻率愈快，感應電動勢就愈高。實驗五之三，證明磁鐵高度的一半進入線圈時感應電動勢最高。實驗五之四，磁鐵編號 #8x3 堆疊了三顆磁鐵重量增加而震動不起來，因此感應電動勢反而比較低。
- 四、實驗六有個新發現，加了充電電池的負載之後，發電的電壓產生新的變化，也因此瞭解了功率的觀念。
- 五、實驗七之一，#43-100g 與 44-100g 負載愈重功率愈高。#41-100g 與#42-100g 於 LED1 時功率最高。#40-100g 負載愈重功率愈低。實驗七之二，#40-100g 適合拿來為充電電池充電，#41-100g 適合拿來點亮高亮度的 LED。
- 六、實驗八與實驗九的結果：要為充電電池充電，漆包線繞 16000-18000 圈效率最好。要點亮普通的 LED 要繞 24000 圈，要點亮高亮度 LED 則需要繞 30000 圈，要對手機鋰電池充電大約要繞 32000 圈。繞過多的圈數發電的功率反而降低。
- 七、實驗十證明了震動電磁充電機可以收集地板震動的能量。

## 陸、討論及未來研究方向

一、將實驗一的數據表四畫成下圖六十：



圖六十：磁鐵堆疊顆數和電壓的關係

由圖六十發現：編號 #5 的磁鐵在堆疊超過 5 顆之後的電壓，沒有明顯的上升，可能是因為編號 #5 的磁鐵高度 10mm，堆疊 5 顆的高度是 50mm，#29-100g 的漆包線高度 28mm，當磁鐵自由落下穿越線圈時，會有一段時間磁力較強的磁極遠離線圈，再加上磁場的變化不大，所以電壓沒有明顯的增加。

- 二、在實驗八裡，可能是因為圈數愈多線圈的電阻愈高，所以低負載高圈數的功率反而降低。
- 三、在實驗六使用 3V 震源的感應電動勢有時還比 6V 震源的高，可見震動頻率高並不見得感應電動勢就會比較高。
- 四、從實驗的數據中，未能看出磁鐵周邊磁通密度大小與線圈體積大小的關係。應該再多繞幾組線圈來實驗看看。
- 五、應該做震動頻率與磁鐵重量的配合實驗，比較不同組合的感應電動勢大小。
- 六、除了震動的頻率之外，震動幅度應該也是一個重要的變因。
- 七、實驗中發現磁鐵太重會震動不起來，要作成心跳發電機可能需要朝輕量級發展。
- 八、在製作第一代震動電磁發電機時，發現橡皮筋的鬆緊度會影響發電量。製作第二代震動電磁發電機時，發現塑膠片的厚薄也會影響發電量。至於第三代裡頭所使用橡皮筋的長度也會影響發電量。所以不同的材質與形狀也是一個值得研究的變因。例如使用非導磁的彈簧或是其他敏感度較高的材質。

## 柒、結論

收集環境中震動的能量是可行的，電磁燈籠可以取代電池燈籠。雖然「行動電磁充電機」可以充電，步行震動地板的能量也可以收集，但是還需要再進一步研究如何增加充電的效率才有實用的價值。

## 捌、參考資料及其他

- 一、自製高斯計。取自 <http://www.coolmagnetman.com/magmeter.htm>
- 二、圈數計數器。取自 <http://61.70.96.216/phpbb2/viewtopic.php?t=1212>
- 三、國中自然生活與科技第六冊（民 96）。台北市：康軒。

【評語】 080814

1. 利用震動的原理發電，希望達成節能的目的，立意值得鼓勵。
2. 利用科學的步驟驗證法拉第定律頗符合科學展覽的精神。作品中也利用此原理發展製作了三代發電機，符合應用科學的精神。
3. 在應用例中，LED 燈籠及行動電磁充電均是好例子，建議增加電力需求與供電設計的定量評估，才能完整說明或證明其實用性。