

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 環境學科

第三名

最佳創意獎

052606

追風逐電-無扇葉型風力發電機

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者：  高二 劉邦彥  高二 黃子嘉  高二 林義傑	指導老師：  胡育豪  黃蕾靜
---	-----------------------------

關鍵詞：卡門渦街、無葉風力發電

## 摘要

鑒於人類用電的需求，能源枯竭，人類急尋解決方式，再生能源成為風潮，環保發電方式推陳出新，如何利用再生能源是現今重要的課題。

實驗利用卡門渦街，使中柱振動帶動磁鐵而發電。和有扇葉風力發電機相比，有噪音小，體積小，製作成本和方法容易等優點。

為增加發電量，須讓振動物有更大的振幅及頻率，需利用「共振」的現象加強振幅，振動裝置運用中柱的彈性來產生擺動，藉由改變各種變因尋求最大的發電效益。

實驗中，找出了感應電動勢會正比於振幅的 1.5 次方、頻率的 2 次方。且發現以截面距為 9cm、自然振動頻率為 2.1Hz，放置於軟風(0.4~1.1m/s)下，會有較佳之發電效能。未來期望做出即使自然條件變化也可做出調整的無扇葉型流體振盪發電機。

## 壹、研究動機

升旗時，看見國旗隨風飄揚的樣子，彷彿在冥冥中有種規律；假日與家人出遊，看見西部平原上豎立著一根根的風力發電機，周遭人民經常要忍受高分貝的噪音，且佔地太大。於是我們想到如果可以把國旗那種物體在流體中的擺動情況利用在風力發電上，可以降低費用及噪音。

近來的扇葉型風力發電機雖然是一種較為環保的發電方式，但其佔地廣大、噪音擾民、造價不斐等缺點，兼其只能在風速大且穩定的時候才能恆定供電。市面上無扇葉風力發電機是運用卡門渦街的原理，利用邊界層先後剝離而帶動物體振動。然，發電量較小於扇葉型發電機約 30%，不過單位面積，能多直立幾組無扇葉發電機來提高效能。且占地小，製作相對簡易，最重要的是無噪音，使附近的居民免於受整天噪音的打擾。無扇葉風力發電機通常是設置在空曠地上，我們想讓它更生活化，運用不同於市面上的擺動方式，主要是運用中柱的彈性來產生振動，找出最佳的發電模組。比較下振幅較小、電量較小，但此裝置體積可縮小至一公尺內，可運用在居家環境下，且只要在微風下即可發電。

目前市面上已有利用卡門渦街的風力發電裝置，主要是運用在空曠地上。雖然不知道市面上的無扇葉發電機的技术與設計，但主要希望可以藉由生活中的微風即可發電，為環境提供一部份的電力。



傳統扇葉型風力發電機與無扇葉型風力發電機比較表

	傳統扇葉型風力發電機	無扇葉型風力發電機
優點	1.發電效能較佳	1.無噪音 2.延長維修時間間隔 3.佔地空間小 4.裝置架設簡化 5.無扇葉 6.成本較低 7.重量較輕
缺點	1.噪音大 2.維修困難 3.佔地空間大 4.裝置架設困難 5.扇葉攻擊到鳥類 6.成本較高 7.重量較重	1.發電效能較差

## 貳、研究目的

一、尋找單擺式振動體其振動頻率  $f$ 、振幅  $R$  對感應電動勢  $\varepsilon$  之關係

二、由實驗找尋發電功率最佳之模組

(一)振動體大小改變，其振動  $f$ 、振幅  $R$  對風速之關係

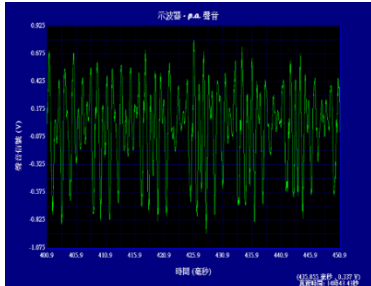
(二)自然振動頻率改變，其振動  $f$ 、振幅  $R$  對風速之關係

三、研究發電構造與各項變因之關係

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗測量儀器：

(一)P.a.模擬示波器



(二)風速計



(三)電壓檢測器



(範圍:0.2~5.0m/s 解析度: 0.01m/s) (範圍:±10V 解析度:5mV)

### 二、實驗材料與工具：

(一)風洞材料：瓦楞板、壓克力板、吸管、木架、角鋼

(二)線圈：由電鑽纏繞直徑 0.55cm 銅線而成

(三)振動裝置：

1.中柱：直徑 0.4cm 碳纖維管長 1m(自然振動頻率  $f_0$  : 1.37Hz)

2.磁鐵：鈷鐵硼磁鐵(質量 18.2g；高 0.8cm；直徑 2.0cm)

3.振動物(長 22.0cm)：質量  $m(g)$  直徑  $d(cm)$



(圖 1-1) 瓶 a  
( $m_1$ :14.74g  $d_1$ :5.3cm)



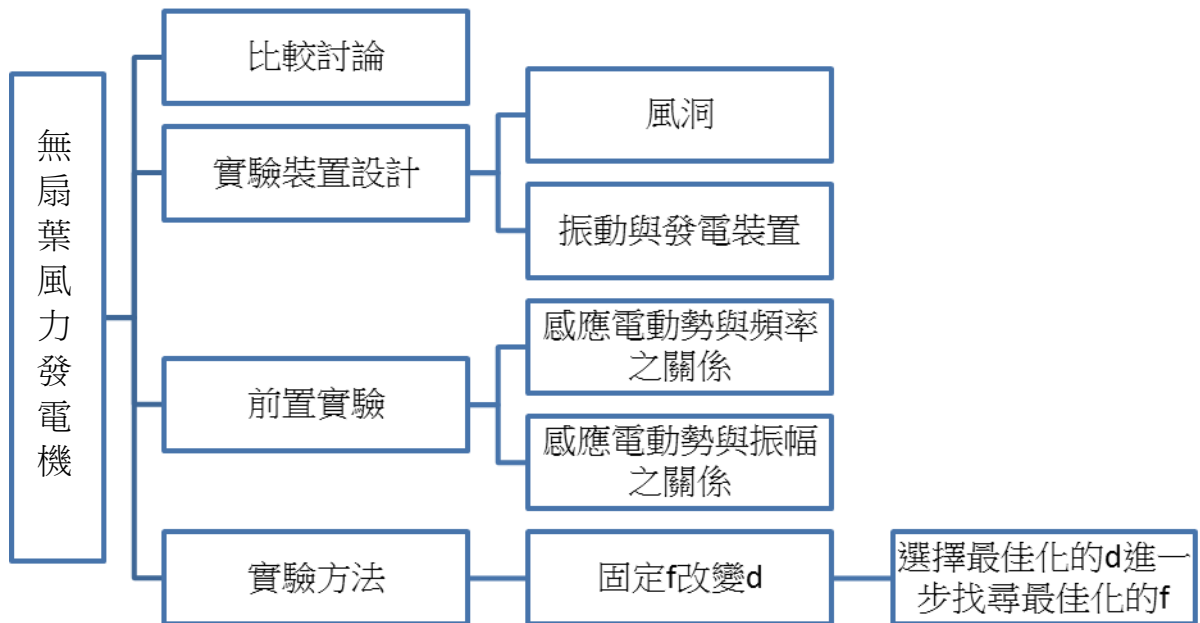
(圖 1-2) 瓶 b  
( $m_2$ :39.02g  $d_2$ :9.0cm)



(圖 1-3) 瓶 c  
( $m_3$ :32.18g  $d_3$ :6.7cm)

## 肆、研究過程及方法

### 一、實驗架構

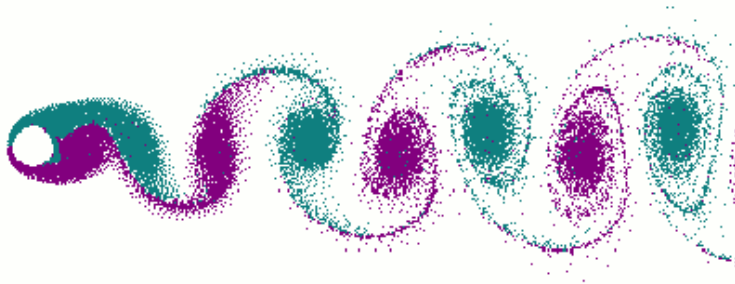


## 二、研究原理

### (一) 邊界層：

由黏滯力效應所形成一層沿著固體邊界的薄層

### (二) 卡門渦街的形成



(圖 1)卡門渦街

當一穩定流體流經一障礙物，即會在物體的表面發生邊界層分離的現象，分成上下兩邊界層。而受到黏滯力的影響，上下兩個邊界層會先後剝離物體表面，剝離的同時，速度發生變化，造成上下兩邊速度的差異，根據連續方程式及伯努利定律，物體的上下兩端即產生壓力差，使物體會往上方或下方移動。

### (三)卡門渦街的頻率與共振

卡門渦街穩定產生後，會有固定之渦流出現頻率  $f$

此  $f$  表示為：

$$f = Sr \times \frac{v}{d} \quad (\text{式 1})$$

$f$ :卡門渦街頻率(Hz)

$v$ :風速(m/s)

$d$ :迎風物體之截面距(m)

$Sr$ :斯特勞哈爾數(自然情況下大約為 0.2)

實驗中的物體振動，有其固有自然振動頻率。若此自然振動頻率與卡門渦街的頻率相同，即會產生共振的現象。一旦發生共振的現象，此震盪物體的能量被加強，就會產生最大的振幅，也就能在實驗的發電構造中產生較大的感應電動勢，以增加發電的效率。

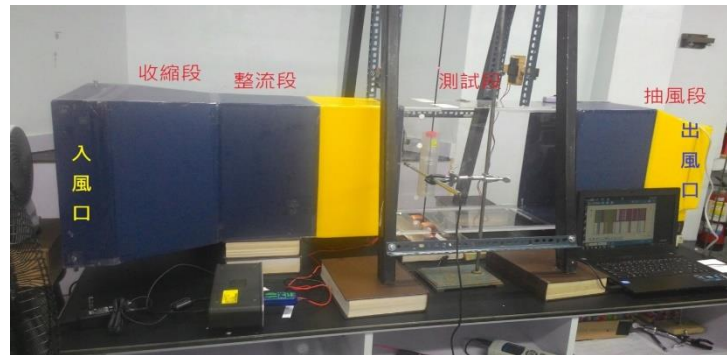
### 三、架設實驗裝置

#### (一)風洞：

1.風洞的製作：本實驗用之風洞分為 5 個部分：入風口、收縮段、整流段、測試段、抽風口。風洞的側面由上而下每間隔 8.5cm 鑽一小孔，共開 5 個孔洞(側面全長 40.5cm ) 以風速計探針進入風洞。入風口大小為：42.5cm\*42.5cm；整流段、測試段則是以 23.0cm\*40.5cm 來進行測量，抽風口大小為：29.5cm\*29.5cm



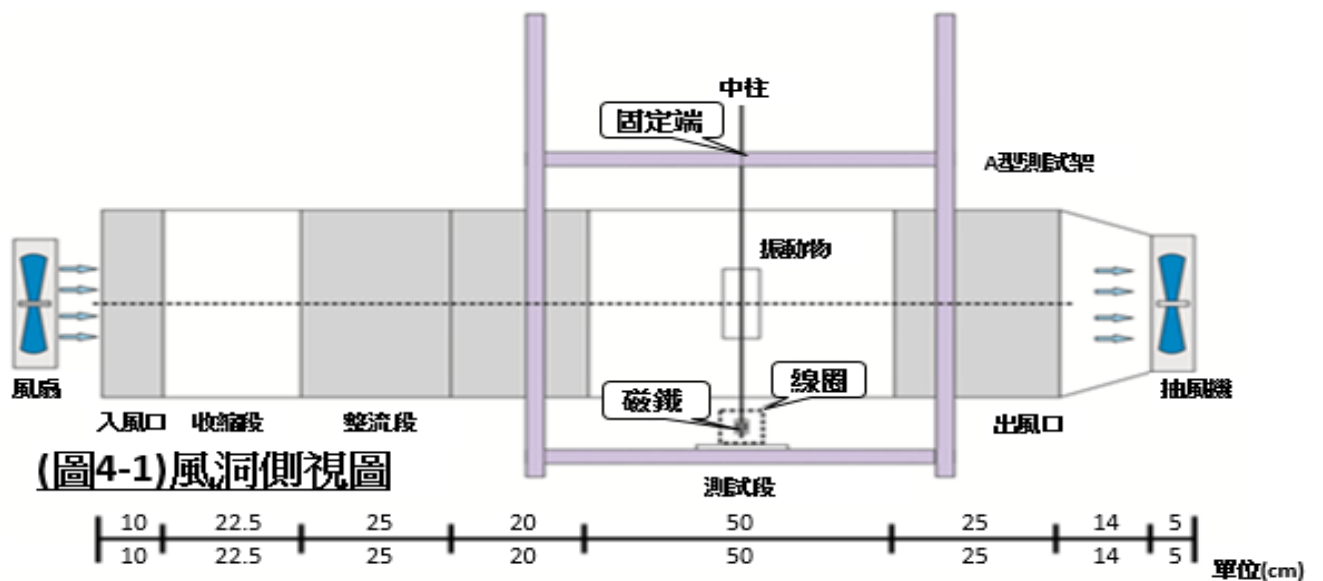
(圖 3-1)入風口



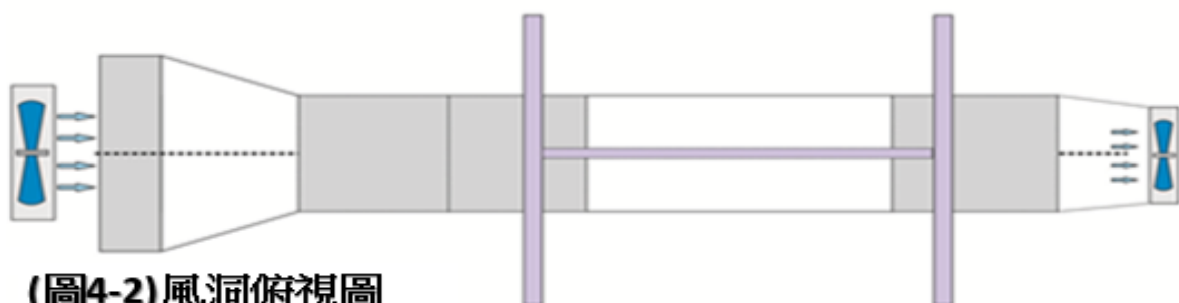
(圖 3-2)實驗架設全圖



(圖 3-3)抽風口

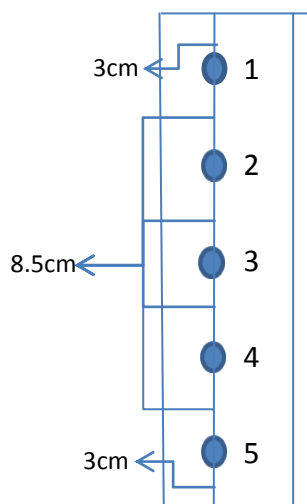


(圖4-1)風洞側視圖

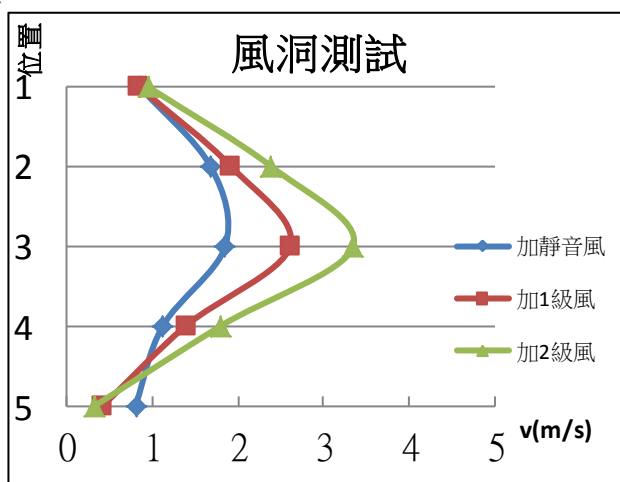


(圖4-2)風洞俯視圖

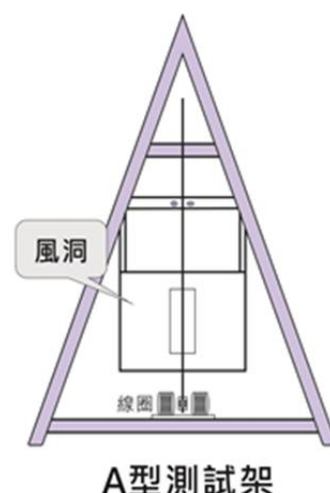




(圖 4-3)測風孔示意圖



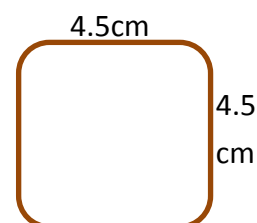
(圖 4-4)風洞中風速示意圖



(圖 4-5)A 型架側視圖

## (二)發電構造：

1.線圈的製作：製作出兩捆各 350 匝長寬皆為 4.5cm 的線圈，使其纏繞方向相同後將其串聯並連接至 pasco 電壓感測器，並在兩捆線圈之間空出 6cm 的距離供磁鐵振動。



(圖 5)線圈示意圖

## (三)振動裝置：

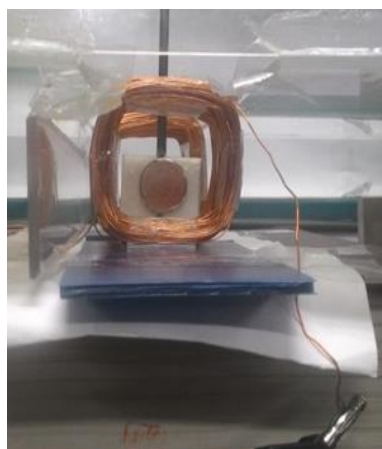
1.利用 A 形架、角鋼架設，做成可上下調整的平台。

2.將碳纖維中柱固定於平台上

3.振動裝置設計成中柱上端為固定、下端振動的形式，是因為這發電構造需要有明顯的振幅，須將磁鐵放至中柱底部，全圖如下。



(圖 6)振動裝置



(圖 7-1)線圈



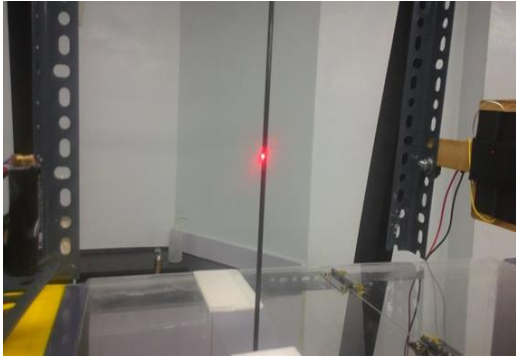
(圖 7-2)線圈側視圖



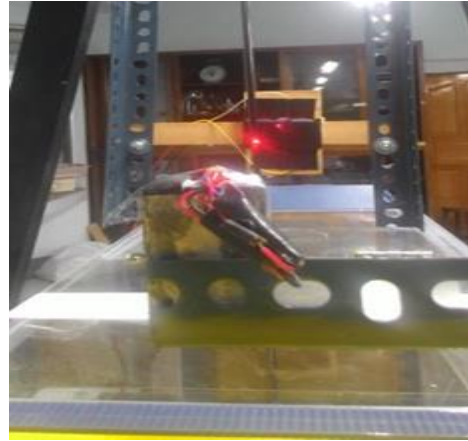
#### 四、實驗測量

##### (一)頻率測量

1.紅光發射器與太陽能板：將太陽能板接一個喇叭轉接頭連到電腦裡，在太陽能板上只留下一個縫隙可接收紅光雷射的能量。



(圖 8-1)測頻率側視圖



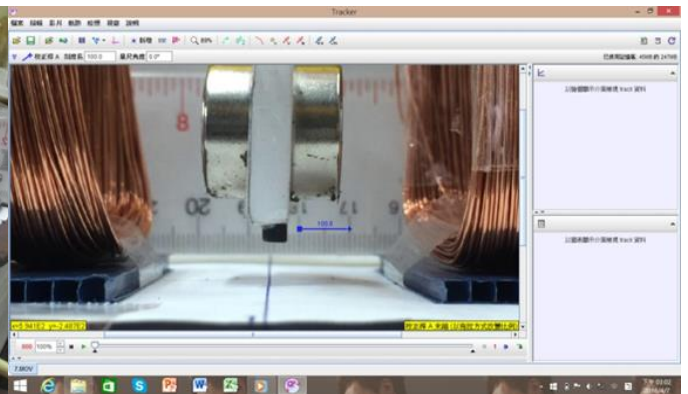
(圖 8-2)測頻率正視圖

2. p.a. 模擬示波器：接收到的數據傳至電腦內的軟體 p.a. 模擬示波器，會隨著光影變化畫出我們所需的波形圖，分析波形頻率，那即是振動物的頻率。

(二)振幅測量：架設如下圖。將手機固定位置，並在背景放置一把尺(作為分析影片時之校正桿)。利用手機的錄影功能，風扇開啟後同時開始錄影，再經由運動分析軟體 tracker 來觀測最大振幅。



(圖 9-1)拍攝振幅影片



(圖 9-2)Tracker 軟體追蹤運動軌跡

## 五、前置實驗

### (一)頻率 $f$ 與振幅 $R$ 對感應電動勢 $\epsilon$ 之關係

發電裝置是由磁鐵振動與線圈發生電磁感應來發電，又振動會同時具有振幅及頻率的加成性質來影響磁通量的變化率，而改變感應電動勢  $\epsilon$ ，先在振動裝置中討論出頻率、振幅與電壓之間的關係式。

推測為(式 2)： $\epsilon$  為感應電壓； $R$  為振幅； $f$  為頻率； $k$ 、 $m$ 、 $n$  為某一常數。

$$\epsilon = k R^m f^n \quad (\text{式 2})$$

分別在固定頻率(振幅)的情況下，測量振幅(頻率)與電壓，取  $\log$  函數作圖，藉由斜率找出  $m$ 、 $n$  之值。

#### 1.探討振幅與感應電壓之次方關係

##### (1)實驗方法：

當相同中柱與振動物時，給振動物一點微擾，無論其振幅或大或小，其頻率皆相同(皆為自然振動頻率  $f_0$ )。分別將振動物在振幅  $R=0.5\text{ cm}$ 、 $1.0\text{ cm}$ 、 $1.5\text{ cm}$ 、 $2.0\text{ cm}$ 、 $2.5\text{ cm}$ 、 $3.0\text{ cm}$  時釋放，並記錄其感應電壓。每個振幅取 3 次感應電壓值。

#### 2.探討頻率與感應電壓之次方關係：

##### (1)實驗方法：

改變中柱長度：藉由改變中柱的長度。調整中柱頂端至固定端之長度，並利用角鋼固定在適當距離。中柱全長  $1.0\text{ m}$ ，定義中柱底端(磁鐵端)至固定端之長度為  $L$ ，分別以  $L=70\text{ cm}$ 、 $80\text{ cm}$ 、 $90\text{ cm}$ 、 $100\text{ cm}$  操作實驗，並記錄其感應電壓。

## 六、找出效能最佳之組合

### (一)裝置:振動物與中柱之討論

#### 1.研究 1：風速與感應電壓之關係

### (1)實驗方法：

探討振動物置於不同風速下，其發電量及相關物理量之關係。以風速為操縱變因，記錄感應電壓、頻率、振幅。並同時比較風速對瓶 a( $d_1=5.3\text{cm}$ )、瓶 b( $d_2=9.0\text{cm}$ )、瓶 c( $d_3=6.7\text{cm}$ )之影響(同截面距比較各風速之電壓、頻率、振幅)。

### (2)實驗裝置：

根據理論資料推論，振動物只會在某些特定的風速下產生共振的現象，才会有穩定且較大的振幅來發電，因此必須嘗試各種風速。風洞設計為可抽風，所以藉由抽風與不抽風、外加不同段位...等組合出不同的風速。

## 2.研究 2：振動物之截面距、與發電量、共振頻率之關係

### (1)實驗方法：

探討不同截面距之振動物，其發電量及相關物理量之關係。比較不同截面距，記錄感應電壓、頻率、振幅。並同時比較風速對瓶 a( $d_1=5.3\text{cm}$ )、瓶 b( $d_2=9.0\text{cm}$ )、瓶 c( $d_3=6.7\text{cm}$ )之影響(同風速比較各截面距之電壓、頻率、振幅)。

### (2)實驗裝置：

選用之瓶 a 之截面距為  $5.3\text{cm}$ 、b 之截面距為  $9.0\text{cm}$ 、c 之截面距為  $6.7\text{cm}$ ，長度皆為  $22.5\text{cm}$  之塑膠寶特瓶。

## 3.研究 3：中柱長度與發電量、共振頻率之關係

### (1)實驗方法：

由上述之前置實驗中可得知，改變中柱長度是較簡易可造成較大頻率差異之方法。因此藉由改變中柱長度，以頻率做控制變因，在不同風速下記錄感應電壓、頻率、振幅。

### (2)實驗裝置：

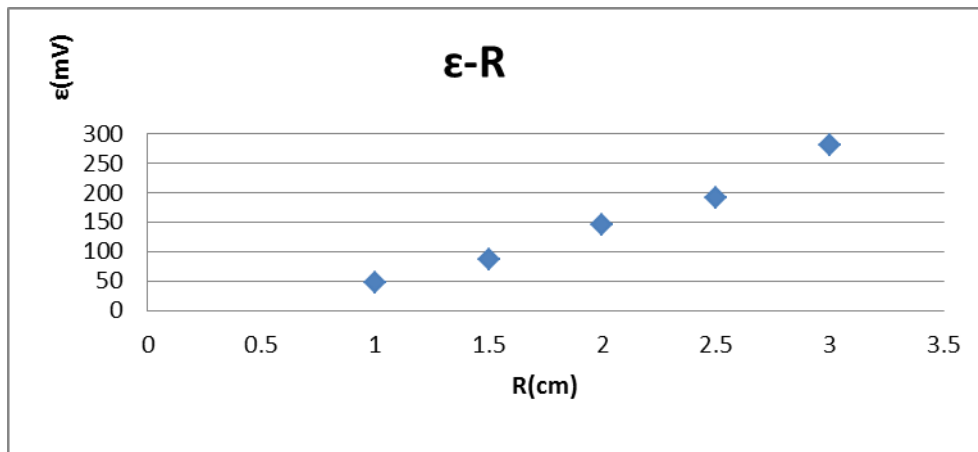
調整中柱頂端至固定端之長度，並利用角鋼固定在適當距離。中柱全長  $1\text{m}$ ，定義中柱底端(磁鐵端)至固定端之長度為  $L$ ，之後分別以  $L=60\text{cm}$ 、 $80\text{cm}$ 、 $100\text{cm}$  操作實驗。

## 伍、研究結果

### 一、前置實驗

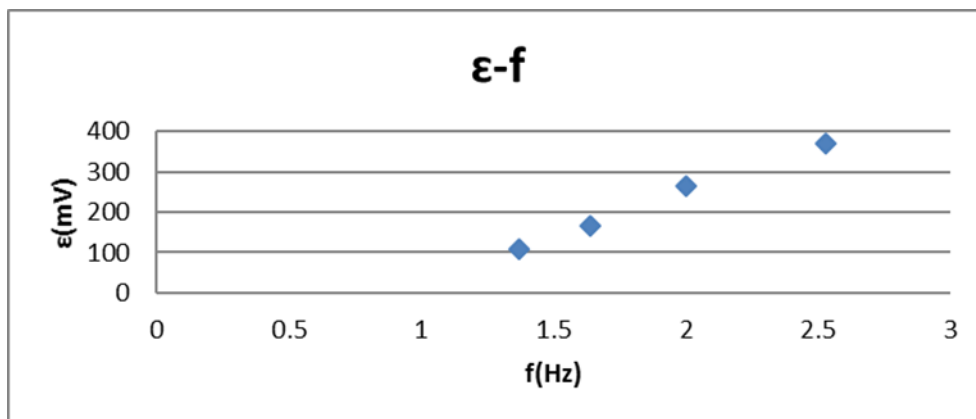
#### (一)頻率與振幅之加成效果對電壓的影響

##### 1. 振幅與電壓實驗數據



根據此圖，可以看出  $\epsilon$  與  $R$  成正相關。

##### 2. 頻率與電壓/實驗數據



根據此圖，可以看出  $\epsilon$  與  $f$  成正相關。

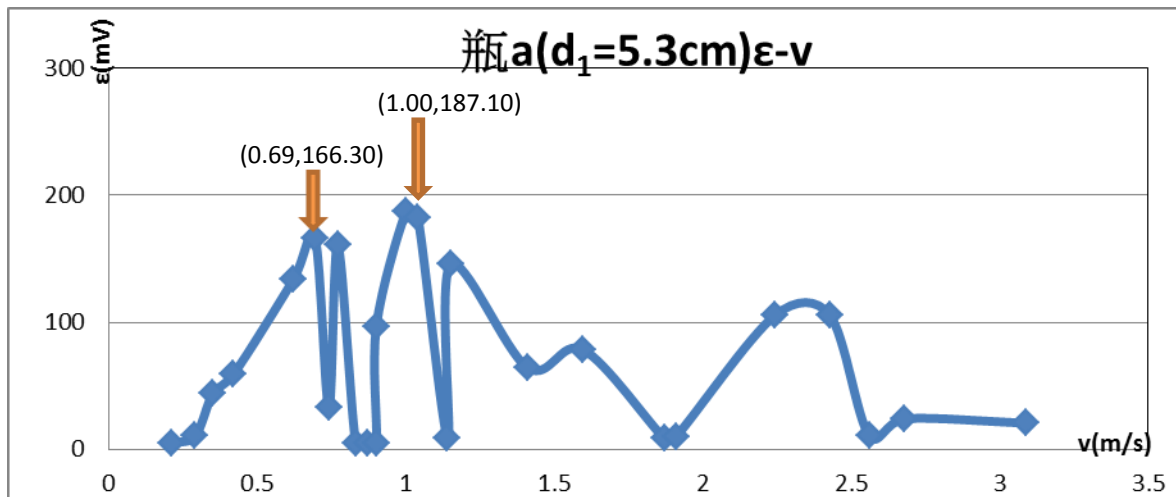
## 二、找出效能最佳之組合

### (一)振動物裝置:振動體與中柱之討論

#### 1.研究 1:風速與感應電壓之關係

##### (1) $\epsilon$ - $v$

##### a.瓶 a

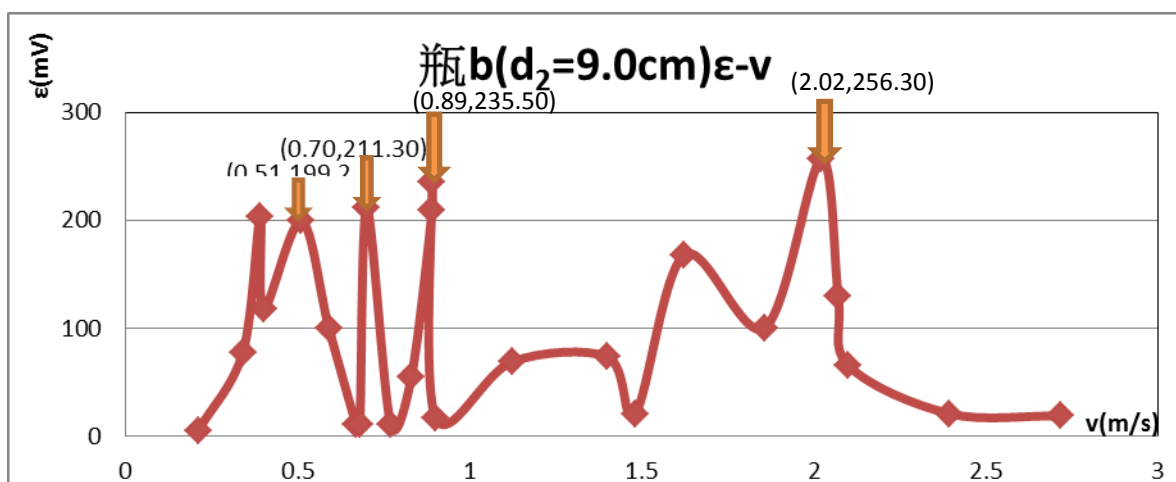


(a)可以看出風速大約在 1.00(m/s)時可以達到電壓的峰值。

(b)風速在 2.50(m/s)以上電壓值偏弱。

(c)在  $v=0.62\sim 1.15$ (m/s)之間有出現較多的峰值，可至 150.00(mV)以上。

##### b.瓶 b

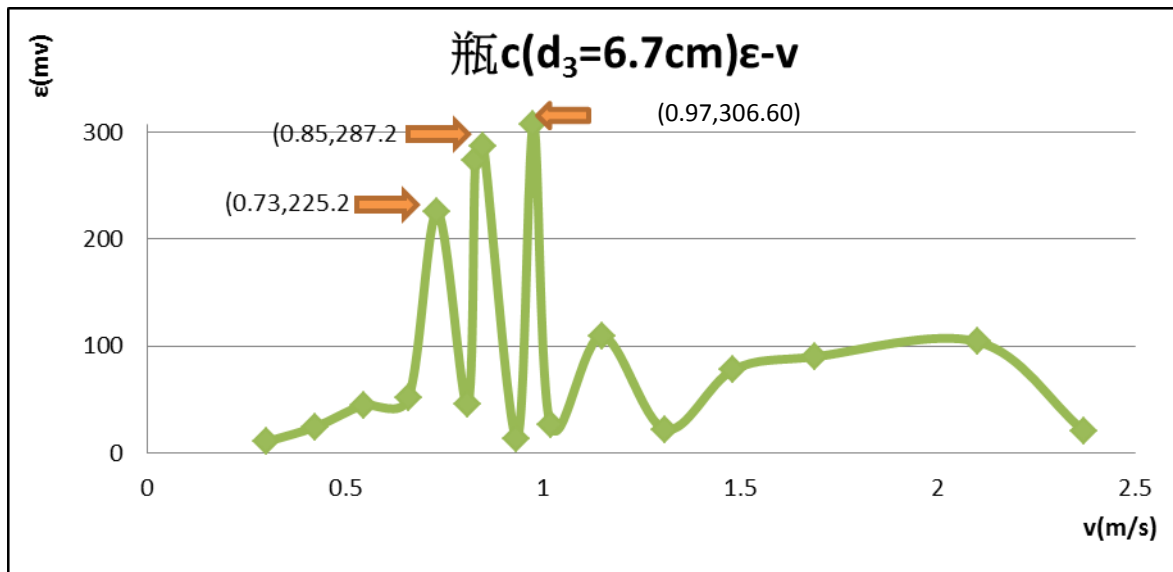


(a)可以看出峰值出現在風速 2.00(m/s)

(b)當風速大於 2.00(m/s) 電壓值較小。。

(c)在  $v=0.40\sim 0.89$  (m/s)之間有出現較多的峰值，可至 200.00(mV)以上。

c. 瓶 c



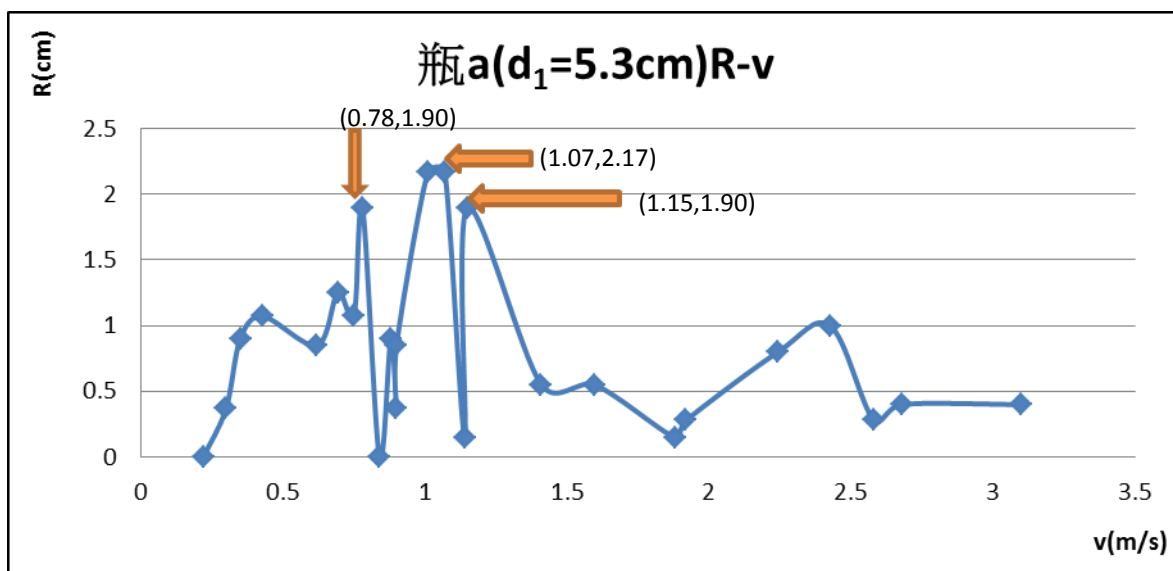
(a)可以看出峰值出現在風速 1.00(m/s)。

(b)當風速大於 1.00(m/s)後，電壓值偏弱。

(c)在  $v = 0.73 \sim 1.00$ (m/s)之間出現 3 個峰值，可產生 200.00(mV)以上，最大至 306.60(mV)。

(2)R-v

a. 瓶 a

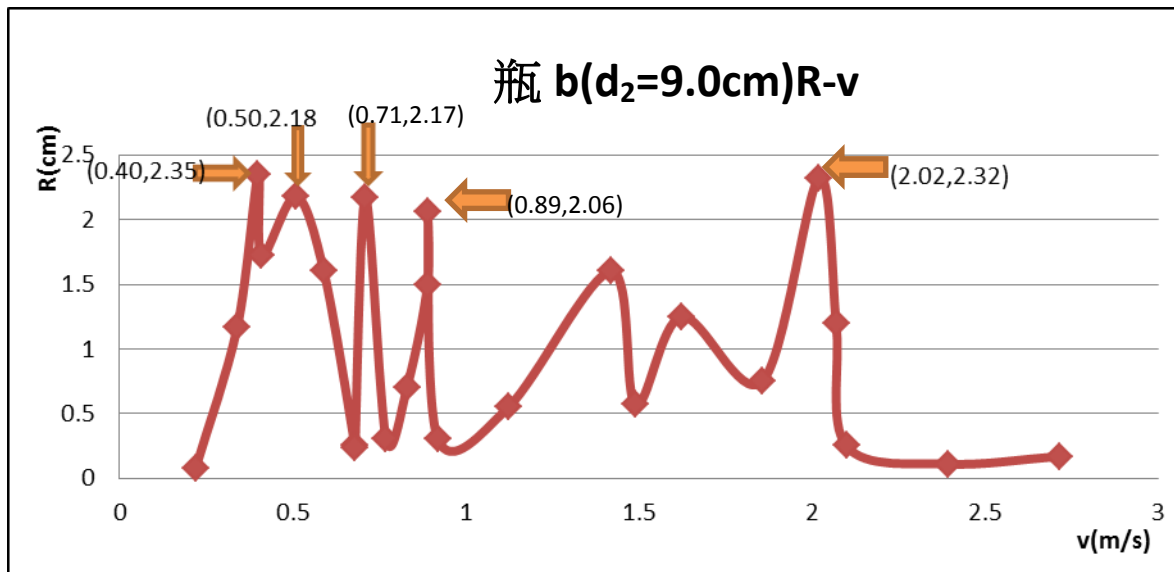


(a)可以看出風速大約為 1.00(m/s)時會有最大的振幅。

(b)風速超過 2.50(m/s)以後沒有顯著的震幅。

(c)與上圖(瓶 a 之  $\epsilon$ -v)走勢相似。

b. 瓶 b

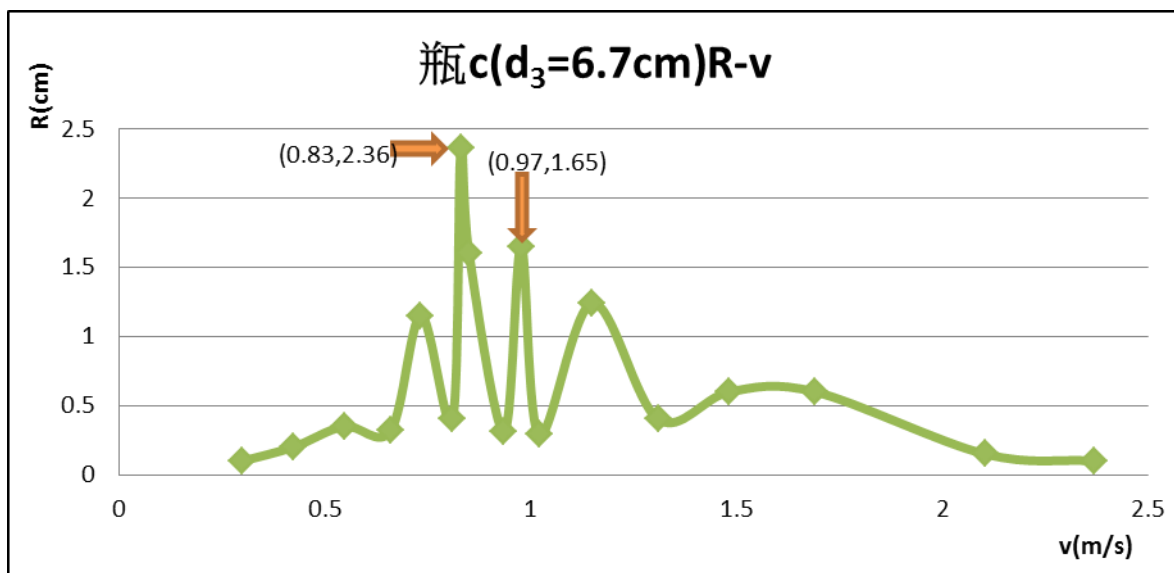


(a)可以看出風速大約為 0.40~0.89(m/s)時會有振幅峰值。

(b)風速 2.00(m/s)時再出現一峰值，風速超過 2.00(m/s)以後沒有顯著的震幅。

(c)與上圖(瓶 b 之  $\varepsilon$ -v)走勢相似。

c. 瓶 c



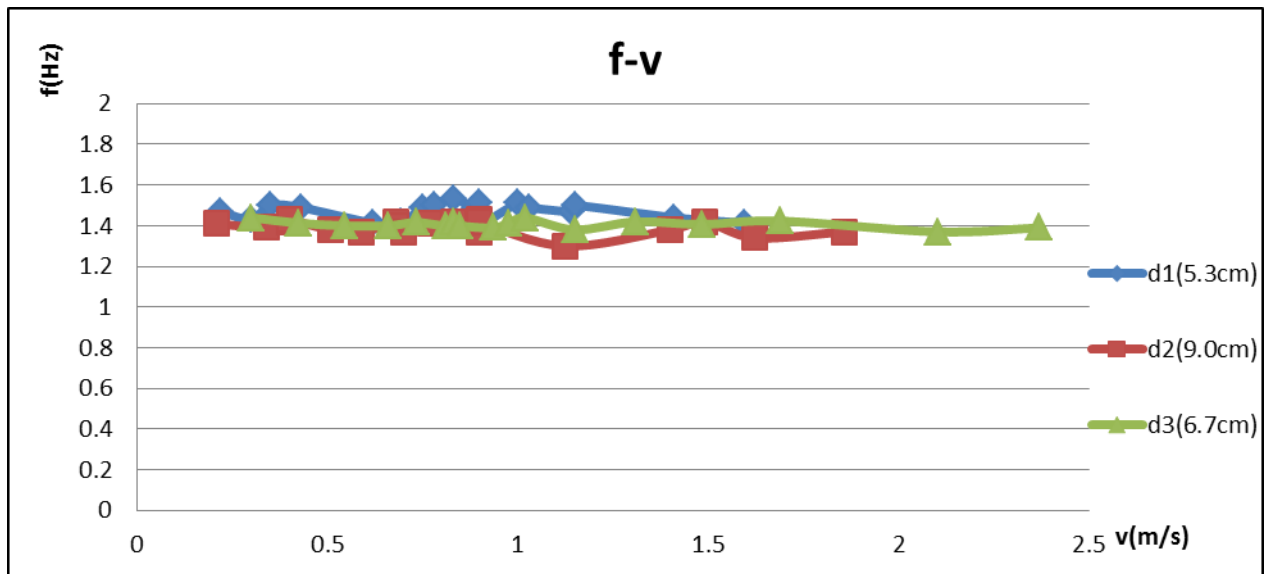
(a)可以看出風速大約為 0.70~1.00(m/s)時會有振幅峰值

(b)風速 0.83(m/s)時出現最大振幅，風速超過 1.70(m/s)以後幾乎沒有顯著的振幅。

(c)與上圖(瓶 c 之  $\varepsilon$ -v)走勢相似。



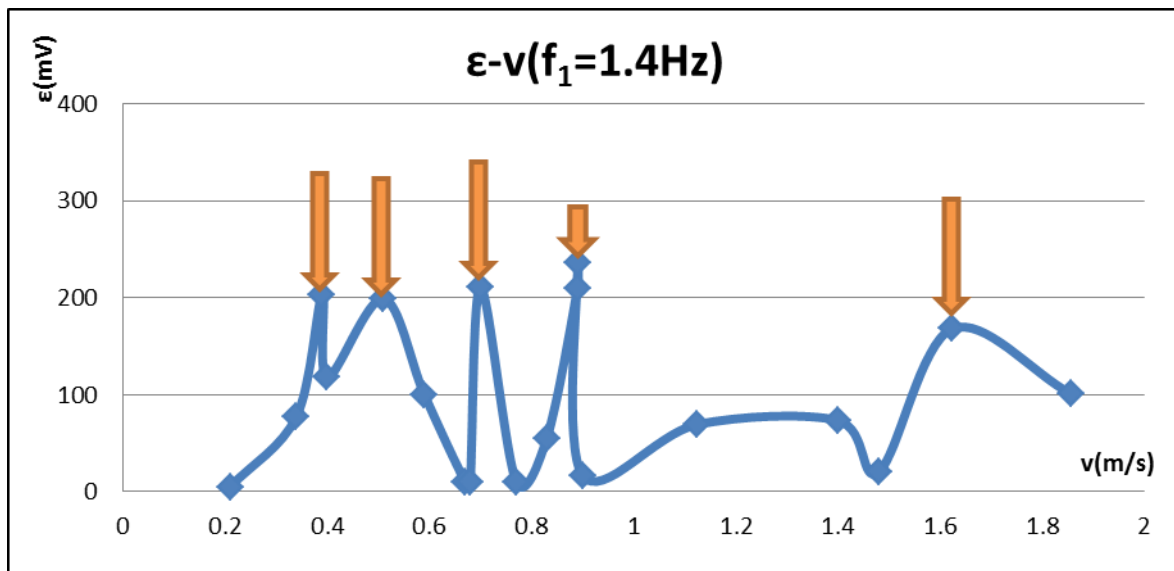
## 2.研究 2：振動物之截面距與感應電壓、頻率之關係



(a)可以看出不同瓶子在不同風速下，頻率沒有明顯變動。皆維持自然振動頻率。

## 3.研究 3：自然振動頻率與感應電壓、振動頻率之關係

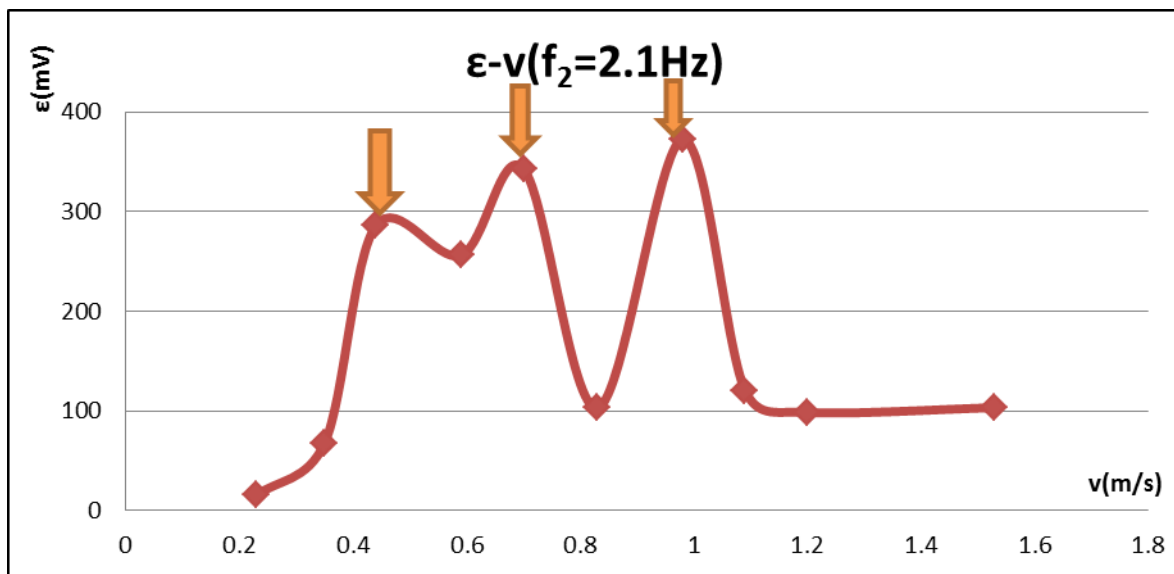
a.



(a)由圖中可看出風速在 0.39、0.51、0.70、0.89、1.62(m/s)時出現電壓的峰值，分別為 202.70、199.20、211.30、235.50、168.06(mV)。

(b)可看出電壓峰值出現的風速範圍在 0.20~0.90(m/s)。

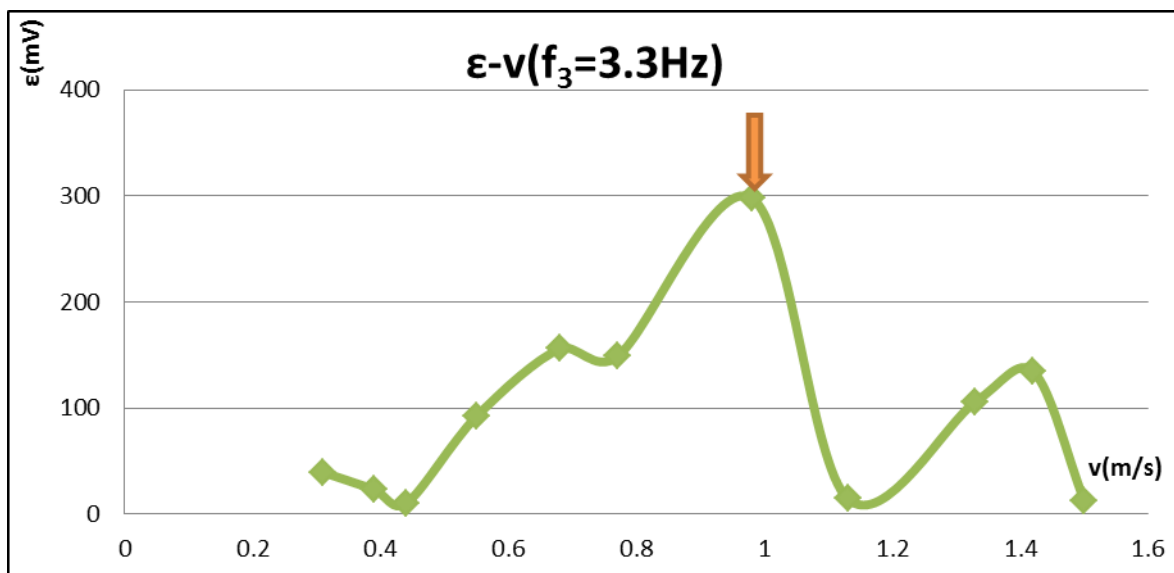
b.



(a)此圖中在風速 0.44、0.70、0.98(m/s)時出現電壓的峰值，分別為 285.80、343.00、372.40(mV)。

(b)發現到電壓值在風速在大於 1.00(m/s)後偏弱。

c.



(a)此圖中電壓峰值在風速 0.98(m/s)時出現，為 297.93(mV)

(b)可看到電壓在接近風速 1.00(m/s)時出現最大值。

## 陸、討論

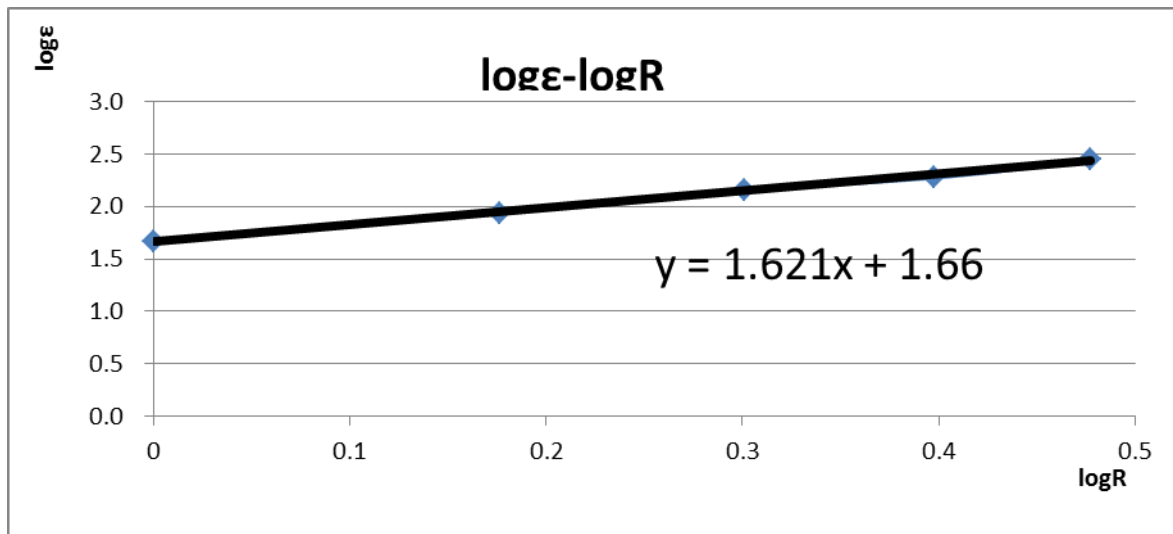
### 一、前置實驗

#### (一)頻率與振幅之加成效果對電壓的影響

1. 振幅與電壓: 在固定頻率下，我們將(式 1) $\epsilon$ 、 $R$  取  $\log$  作圖求斜率  $m$ 。

$$\log \epsilon = m \log R + \log K f^n$$

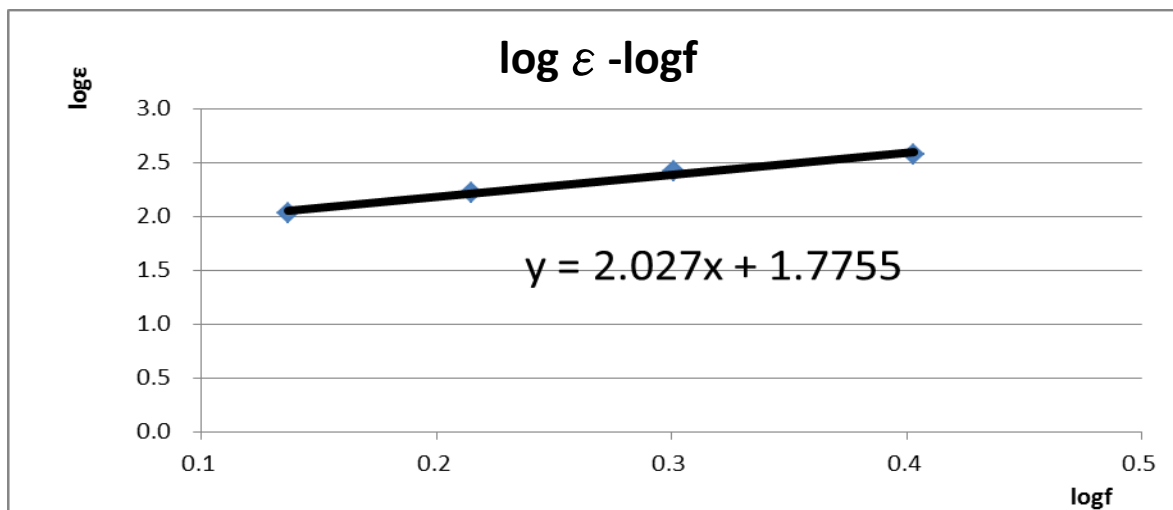
經由 excel 計算其斜率  $m=1.621$



2. 頻率與電壓: 在固定振幅下，我們將(式 1)取  $\log$  作圖求斜率  $n$ 。

$$\log \epsilon = n \log f + \log K R^m$$

經由 excel 計算其斜率  $n=2.027$



## 二、找出效能最佳之組合

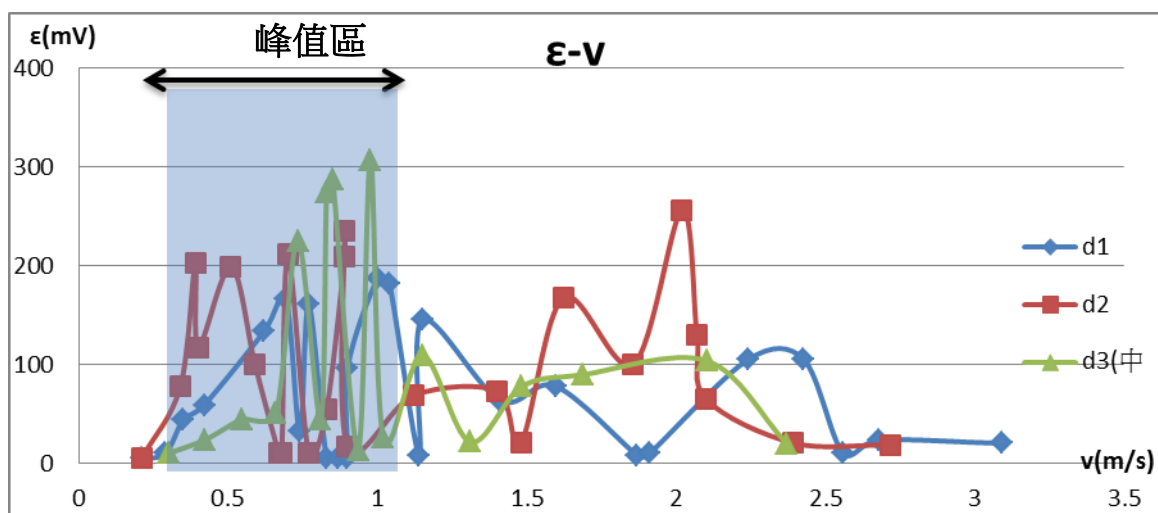
### (一)裝置：振動物及中柱之討論

#### 1.研究 1：風速與感應電壓之關係：

在  $\epsilon$ - $v$  中，瓶 a ( $d_1=5.3\text{cm}$ ) 在風速為  $0.70\sim 1.15\text{m/s}$  下較有可能出現共振的現象，較大的感應電壓值皆出現在風速為  $1.50(\text{m/s})$  以下的範圍內(微風)。而瓶 b ( $d_2=9.0\text{cm}$ ) 雖在風速為  $2.00(\text{m/s})$  時出現最大感應電壓值，但其發生共振現象還是主要出現在風速  $0.40\sim 0.90\text{m/s}$  之間。瓶 c ( $d_3=6.7\text{cm}$ ) 有出現 3 個電壓的峰值，其共振現象發生之風速範圍為  $0.70\sim 1.00(\text{m/s})$  之間，其餘電壓皆偏弱。在  $R$ - $v$  中，因為我們的實驗頻率變化並不大(皆維持自然振動頻率)，振幅成為影響發電量的重要因素，因此  $\epsilon$ - $v$  極相似於  $R$ - $v$ 。

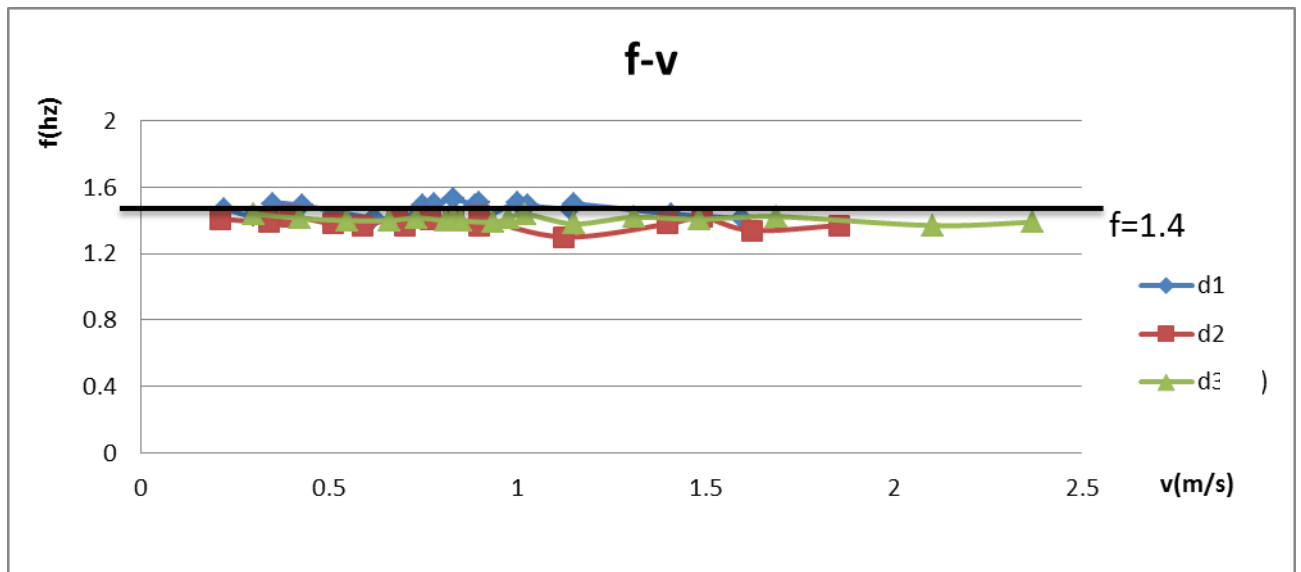
#### 2.研究 2：振動物之截面距與感應電壓、頻率之關係：

若將瓶 a( $d_1=5.3\text{cm}$ )、瓶 b( $d_2=9.0\text{cm}$ )、瓶 c( $d_3=6.7\text{cm}$ )之  $\epsilon$ - $v$  圖相疊，如下圖。



(1)可發現瓶 a( $d_1$ )、瓶 b ( $d_2$ )與瓶 c ( $d_3$ )出現  $\epsilon$  的峰值，其風速範圍在  $0.40\sim 1.00(\text{m/s})$  時，瓶 a 與瓶 b 之發電效能較佳區域剛好為互補。若我們要設計一個最佳的發電裝置，可將瓶 a 與瓶 b 兩同頻率之不同振動物結合，當在微風的情況下，就算風速在  $2.00(\text{m/s})$  以下變動，此瓶 a 與瓶 b 之發電機組依然可維持發電效能。

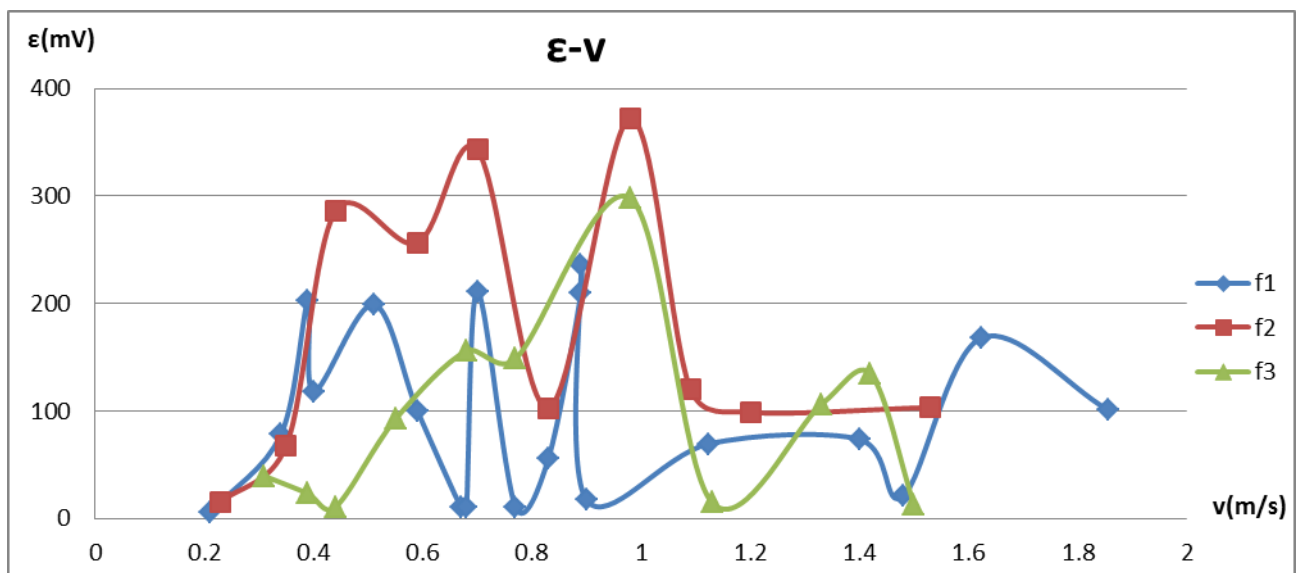
(2)瓶 c 之峰值相較於瓶 a、瓶 b 較高，但具有較佳發電效能之風速僅限於  $0.70\sim 1.00(\text{m/s})$ ，其分布範圍不夠廣泛。因此就平均來說，瓶 b 有較多的峰值可至  $200.00(\text{mV})$ ，其具有較全能之發電效益。



(1)風速對頻率幾乎毫無影響，頻率沒有太大的變動。瓶 a(d<sub>1</sub>)、瓶 b(d<sub>2</sub>)與瓶 c(d<sub>3</sub>) 在實驗中，無論振幅大小其頻率皆與自然振動頻率相差不大。推測是因為其中柱之彈性回復力大於渦街產生之壓力差所造成的推力，故其仍維持自然振動頻率。

(2)推測其卡門渦街頻率亦在倍頻下發生共振。

### 3.研究 3:自然振動頻率與感應電壓、振動頻率之關係

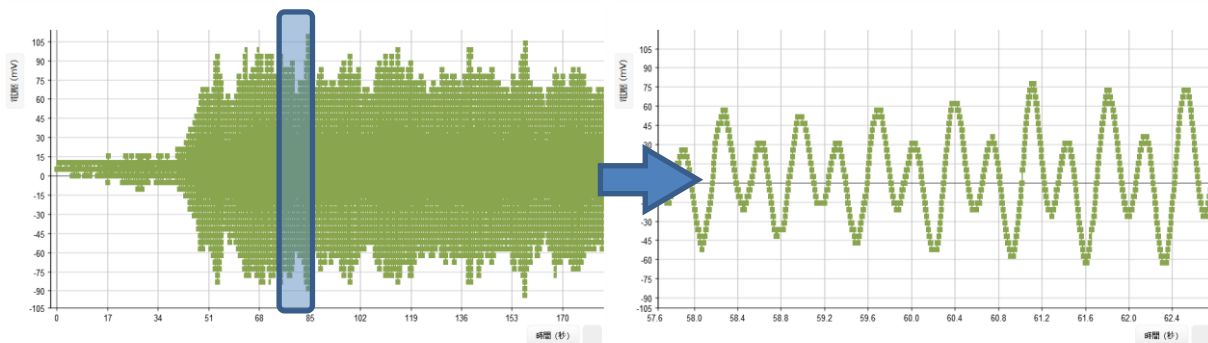


在  $\epsilon-v$  圖中比較  $f_1=1.4$ 、 $f_2=2.1$ 、 $f_3=3.3$ (Hz)之感應電動勢。頻率愈高，其彈性愈強，振幅愈小，反之。但我們的磁鐵運動模式須同時兼具較大的振幅與較大的頻率，因此頻率介於中間的  $f_2$  之發電量就比其他較大及較小的  $f_1$ 、 $f_3$  還要來的大的許多。

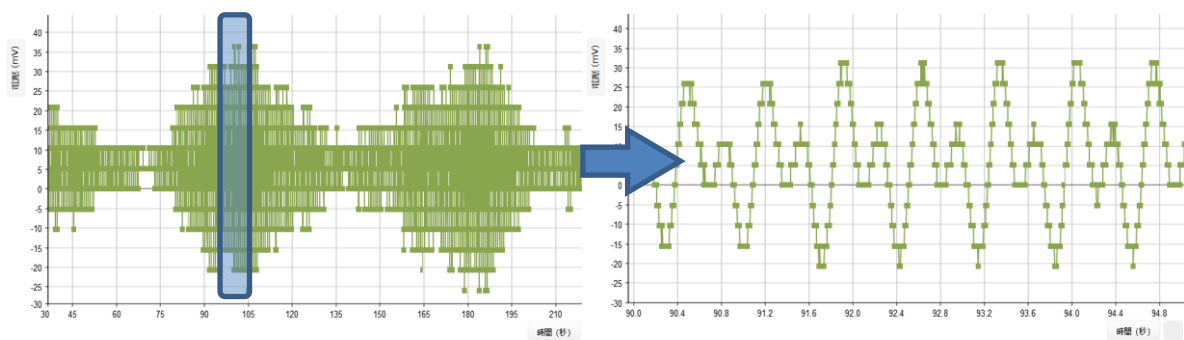
### 三、感應電動勢與時間關係圖

這是感應電動勢與時間的關係圖，從上圖擷取一段就是下圖。從下圖可清楚的看出感應電動勢的波形。藉由此波形，可以得知此交流電和振動體擺動的頻率。

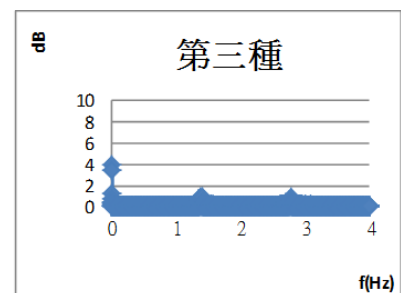
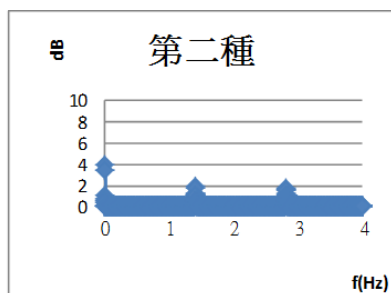
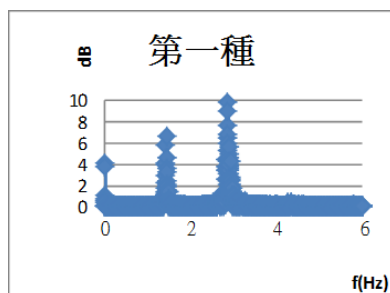
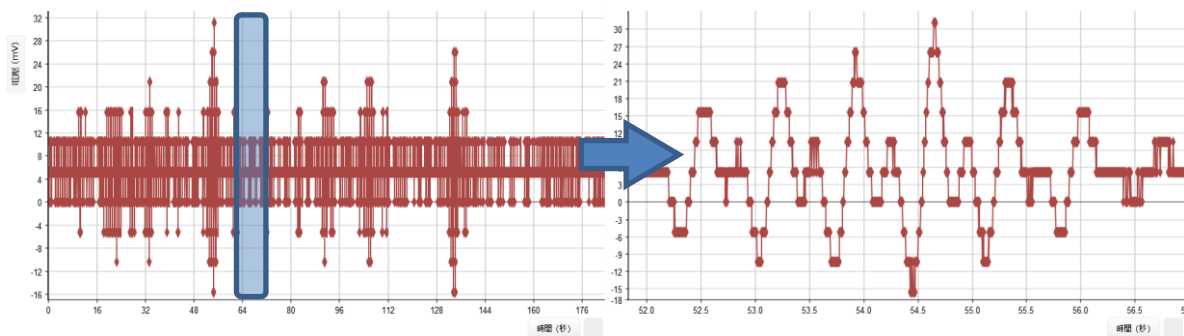
#### (一)第一種



#### (二)第二種



#### (三)第三種



(四)觀測到振幅對時間的關係圖通常分為 3 種：

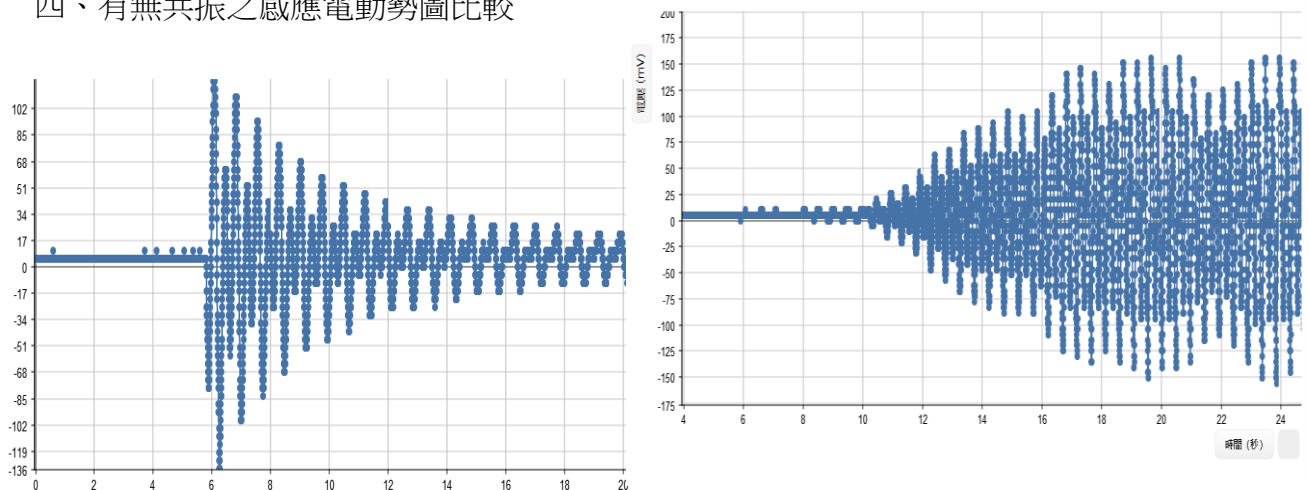
1.第一種電壓比其他圖都高，且振幅穩定，無衰退現象，為卡門渦街穩定共振的現象。藉由頻譜圖，有兩個峰值，分別是 1.42 與 2.84(Hz)，第一個峰值與振動物的頻率相符，第二個峰值是兩倍頻，其強度會是最大的。

2.第二種會有波包的現象，電壓值有周期性變化，推測與卡門渦街共振頻率有關係，所以出現不穩定的感應電壓。從頻譜圖可知有兩個與第一種相同較大的峰值，但第一個峰值較高，且兩個峰值都比第一種小，電壓值也比第一種小，代表它並不完全共振。

3.第三種電壓較小，也有波包的現象，應該是由風吹動造成微擾，使它時動時不動。由頻譜圖可以看到在一倍頻與兩倍頻的峰值差不多大，但強度明顯比第一種小很多。

(五)有時振動物以錐動擺擺動時，會產生這種現象。理想狀況下，振動物都會以一維的震盪為主，可以獲得較大的電壓值，但如果是錐動擺，能量不夠集中，所以通常電壓值都不會比一維的震盪來得好。振動物受風擾動後，再加上有些微的共振現象，產生二維的振盪，造成它開始有錐動擺的現象，共振的現象不穩定出現，導致有時會停下來，因此可以在電壓對時間的關係圖中，看到類似波包的圖形(如第 2 種)。

#### 四、有無共振之感應電動勢圖比較



(1)有無共振現象，有明顯的特徵。有共振現象會維持振幅，故會有較穩定的感應電動勢輸出，反之則立即衰減，如上圖之對比。類似有阻尼振動的現象。

(2)不同風速下，振動物之振幅不同且達成共振之時間長短也不相同；有些是 3~4 秒，有些會至 30~40 秒，且達成共振的穩定狀態不同。



## 五、卡門渦街與雷諾數

在我們的實驗中，藉由(式 1)計算出理想之卡門渦街頻率。根據我們的文獻參考，卡門渦街有生成條件:在雷諾數  $Re$  在  $3 \times 10^2 \sim 3 \times 10^5$  中間，卡門渦街頻率中之斯特勞哈爾數  $Sr$  可以 0.2 計算。

雷諾數之公式為:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{式 3})$$

$Re$ :雷諾數

$\mu$ :空氣黏滯係數( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )

$\rho$ :空氣密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$v$ :流體流速( $\text{m}/\text{s}$ )

$D$ :迎風物體之截面距( $\text{m}$ )

\* $25^\circ\text{C}$ 時(我們實驗室溫  $22 \sim 25^\circ\text{C}$ )

$\mu \doteq 1.84 \times 10^{-5} (\text{Pa} \cdot \text{s})$  ;  $\rho \doteq 1.19 (\text{kg}/\text{m}^3)$

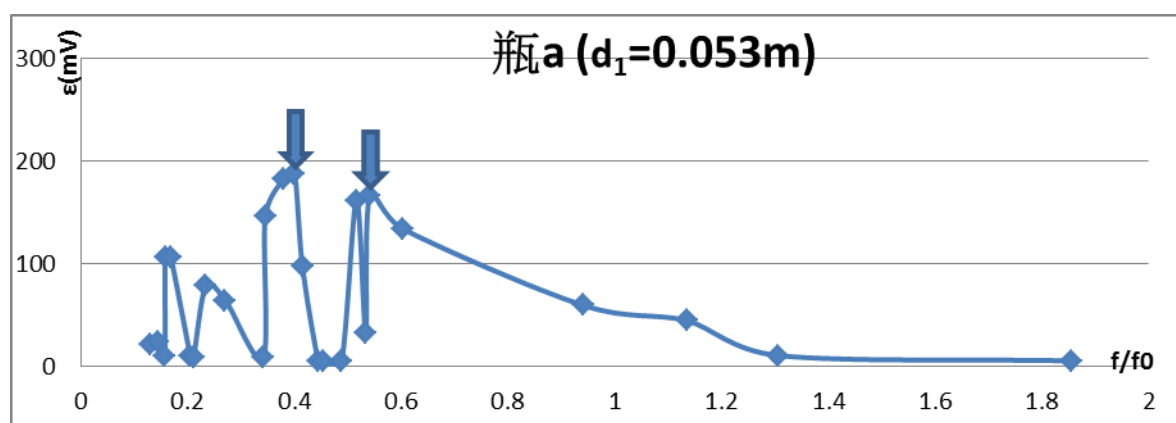
我們可計算出雷諾數：其範圍皆落在  $3 \times 10^2 \sim 3 \times 10^5$ ，故皆有機會生成卡門渦街。(斯特勞哈爾數  $Sr$  可以 0.2 計算)

	最小值	最大值
瓶 a ( $d_1=0.053\text{m}$ )	719.82	10591.65
瓶 b ( $d_2=0.09\text{m}$ )	1222.34	15812.77
瓶 c ( $d_3=0.067\text{m}$ )	1299.95	10269.57

## 六、頻率比值與共振

$f$  為我們實驗中觀測到之振動頻率， $f_0$  為運用(式 1)計算出的卡門渦街生成頻率，從兩者的比值即可看出在何比值下，會出現共振的現象，有較大之發電量。

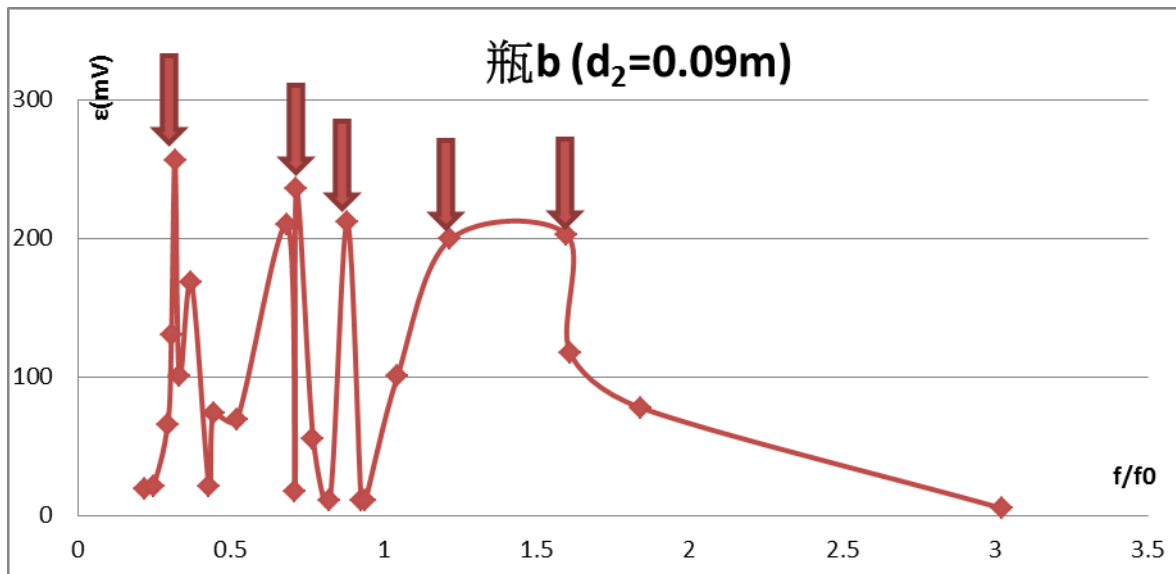
(一)瓶 a( $d_1=0.053\text{m}$ )



(a)比值分別於 0.4、0.54 時，出現  $\epsilon$  之峰值為 187.00、166.00(mV)。

(b)在比值為 0.6 以下其約間隔 0.1 出現峰值

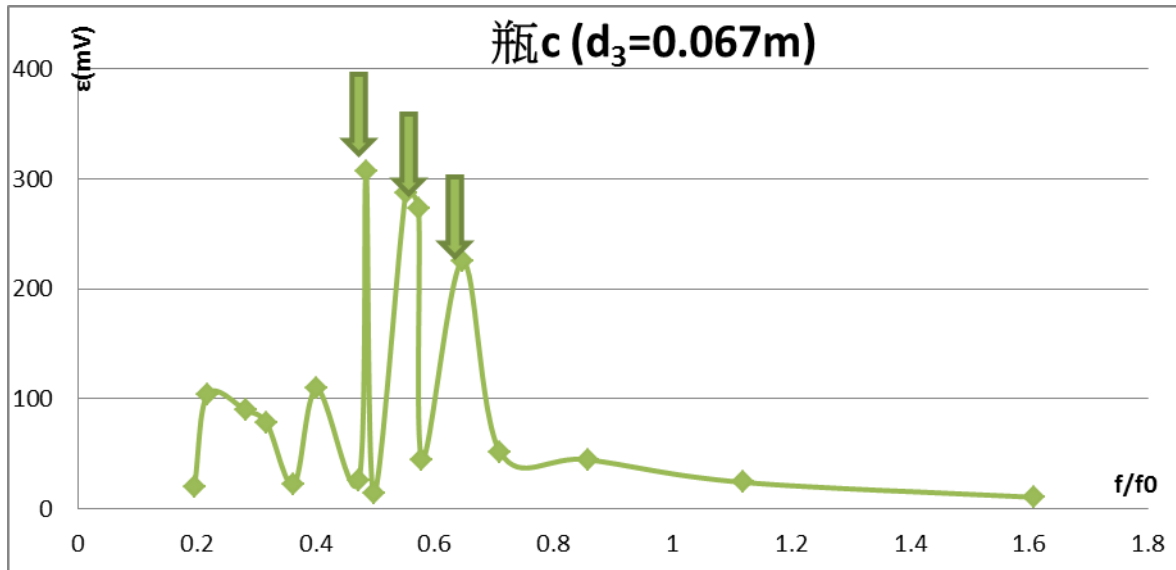
(二)瓶 b ( $d_2=0.090\text{m}$ )



(a)比值分別於 0.31、0.7、0.8、1.21、1.6 時，出現  $\epsilon$  之峰值為 256.30、235.50、211.30、199.20、202.70(mV)。

(b)在比值為 2 以下其約間隔 0.4 出現峰值。

(三)瓶 c ( $d_3=0.067\text{m}$ )



(a)比值分別於 0.48、0.55、0.65 時，出現  $\epsilon$  之峰值為 306.60、287.20、225.20(mV)。

(b)在比值為 0.8 以下其約間隔 0.1 出現峰值。

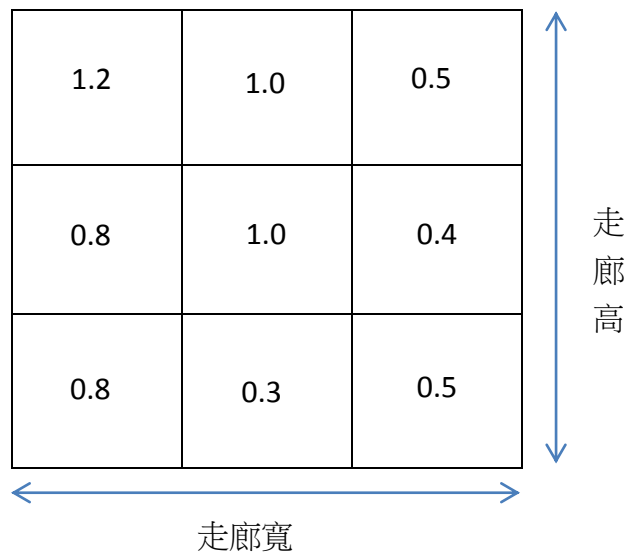
(四)瓶 a、瓶 b 與瓶 c 的頻率比值為 0.4~0.8 之間較有可能出現共振的現象，比值大於 2 則效果不佳。

## 七、環境改善效益討論

### (一)啟動風速

我們的實驗裝置啟動發電所需之風速相對較小，只需要微小的風速即可發電，甚至在微風下的一定範圍內會出現最大的發電量。若將我們的裝置放置在走廊，根據實地觀測，走廊風速大部分分布在範圍內(0.2~1.8m/s)，因此在走廊的應用上會有較佳的發電效益。

走廊風速分布示意圖(單位：m/s)



### (二)製造成本

取材容易：主要為碳纖維棒、寶特瓶、磁鐵、線圈，這些器材在生活中容易取得且價格低廉；實驗裝置相對簡易，不須複雜的裝置構造，架設簡單，應用性廣泛。

### (三)振動方式不同

此實驗裝置主要是運用中柱的自然回復力，不同於市售的無扇葉風力發電機。市售之無扇葉風力發電機為轉動模式，此實驗裝置為振動模式。

### (四)郊區化和生活化

市售的無扇葉風力發電機是被設計為架設在無人空曠地上，需要較大的空間，若架設在郊區，則需要長距離的電力傳輸，會增加電能的損耗；而此實驗裝置主要架設在生活中，即不需要長距離的運送，可減少電能散失，占地空間也較小。最後可設置為一種裝置藝術遍佈於生活當中。

## 柒、結論

一、在實驗裝置中，感應電壓與磁鐵之振動頻率、磁鐵之振幅成次方關係；振幅約為 1.5 次方，頻率約為 2 次方。若將感應電壓換算成發電功率 P，其與振幅約為 3 次方關係，與頻率約為 4 次方關係。

$$\varepsilon \propto R^{1.5} f^2$$

$$P \propto R^3 f^4$$

二、在我們的實驗中，較佳的發電組合為：

(一)碳纖維中柱 80cm(自然振動頻率為 2.1Hz)

(二)截面距為 9cm 之障礙物

(三)風速為 0.40~1.00(m/s)下有較多之峰值出現，其峰值可至 300.00(mV)

三、瓶 a( $d_1=5.3\text{cm}$ )、瓶 b( $d_2=9.0\text{cm}$ )、瓶 c( $d_3=6.7\text{cm}$ )在微風風速為 2.50(m/s)以下的範圍內有較佳的發電效能。

四、瓶 a 與瓶 b 出現  $\varepsilon$  的峰值，其風速範圍在 2.00(m/s)以下時，瓶 a 與瓶 b 之發電效能較佳為剛好互補。

五、磁鐵的振動頻率、與振幅需同時兼顧才能有較好的發電效能，在我們的實驗中，頻率為 2.1Hz 時為最佳。

## 捌、未來展望

一、關於感應電動勢偏弱的問題有以下改善:

(一)更換為較小的線圈並增加匝數

(二)找出最佳的共振頻率

(三)發電振動物陣列

二、運用改變物體對震動支點之轉動慣量來改變自然振動頻率的模式，來尋找一個方式來偵測周圍環境之風速，並做出相對應之變化，改變自然振動頻率，使其與卡門渦街的頻率共振

三、研究尋找最佳的發電機構造:例如改變磁鐵之排列方式

四、尋找更佳的中柱材質、粗細

五、研究連續性的變因:例如用可變電阻調整風速、以自製玻璃纖維做振動物調整截面距

六、卡門渦街之實驗模型建立

七、線圈距可以自動隨振幅改變

八、將實驗裝置實體化應用在生活中(e.g.走廊)

## 玖、參考資料及其他

電磁學 陳錫桓 中央圖書出版社出版

流體力學 第七版 全華圖書出版

電磁學 徐氏基金會出版

大學物理學 第五版 曉園出版社出版

物理(上) Halliday 第九版 全華圖書出版

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8D%A1%E9%97%A8%E6%B6%A1%E8%A1%97>

<http://baike.baidu.com/view/569268.htm>

<http://windenergy.cycu.edu.tw/>

<http://www.twnwea.org.tw/>

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/>

<http://www.twtia.org.tw/upload/111/2006661713205148.pdf>

<http://www.vr.ncue.edu.tw/esa/b1013/ch05.pdf>

<http://www.wfu.edu.tw/~wwwwee/m10/07/07-19.pdf>

[http://www.small-wind.org.tw/content/wind/wind\\_principle.aspx](http://www.small-wind.org.tw/content/wind/wind_principle.aspx)

<http://www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine>

<http://www.cstam.org.cn/upload/meeting/H056403/pdf%5CH056403109.pdf>

<http://www.vortexbladeless.com/technology.php>

紀喬棟，2012，一個用於能量收集的微流道之設計與製作，中興大學，碩士論文。

Design and fabrication of a microchannel for energy harvesting

邱俊元，2010，卡門渦列作用驅動之電磁式能量擷取器，中興大學，碩士論文。

Electromagnetic energy harvester based on vibration induced by the Karman Street

## 【評語】 052606

1. 研究團隊設計小型風洞試驗來驗證所發展應用卡門渦街原理的單擺式震動發電機效能，在研究主題、科學方法與實驗設計皆具創意與創新，值得高度肯定。
2. 所進行之風洞測試與系統設計僅考慮單一風向，建議未來系統設計可以考慮如何因應環境風向的改變，以達最大發電效益。建議未來也可探討陣列設計的最佳化。
3. 實驗設計考慮不同瓶體的發電效益，目前選用瓶體以圓柱保特瓶組合，建議未來可以設計考慮不同瓶體外形、重量等的最佳組合，以及對發電效能的影響。
4. 團隊成員在科學研究設計、現象探討、數據分析與成果表達，皆展現極佳團隊合作默契。