

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040808

鹹溼無“馬”—海上磁動力船

學校名稱：國立台東高級中學

| | |
|---|--------------|
| 作者： 高二 簡忠源 高二 李魁原 高二 黃紹恆 高二 曾仁興 | 指導老師： 趙臨軒 |
|---|--------------|

關鍵詞：右手開掌定則 磁動力鉛

壹、摘要

本實驗之磁動力推進系統是利用磁場與電場，在鹽水中產生交互作用，使電解產生之離子產生偏移、轉向之現象。研究帶電離子排出軌道系統之流速、推力與電極板的高度、長度、種類及電極板間寬度之關係。並利用經計算後最佳、次等及最差效果之軌道系統，實際製作成磁動力船模型，觀察其運動情形。我們實驗了不同變因之軌道所產生之流速、推力及磁動力船實際航行之速度等。依據實驗數據，我們得到了以下結論：

- 一、軌道系統的電極寬度相同時，電極板高度愈高，其流速愈大。
- 二、軌道系統的電極寬度及高度相同時，電極板長度愈長，其流速愈大。
- 三、電極板寬度若超出磁鐵的直徑，會造成兩側磁場分部不均，造成水流不穩而影響流速。

貳、研究動機

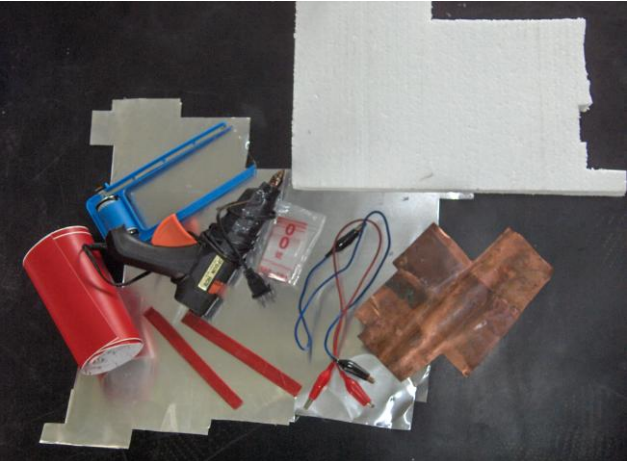


前不久，某部震撼寫實的軍事電影吸引了我們的目光。片中描述潛艇在作戰與敵軍相近時，爲了防止敵艦聲納的偵測而導致行蹤曝光，不得已只好關閉了動力。卻讓己方進退不得，影響了作戰效能。電影結束後，我們都對於此片段印象深刻。於是有人提出了疑問：是否可以製造出能夠無聲無息前進的方法，卻又不會產生機械運轉發出的噪音？



恰巧，在物理課程中，提到了磁與電的關係：電子在流動時會受到磁場的作用而產生偏移現象。於是我們幾位對物理有興趣的同學討論後認爲有其可行性，開始上網查詢資料，並著手實驗製作「無聲磁動力船」！



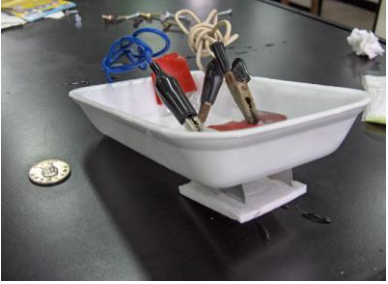
參、實驗目的

- 一、了解磁動力船運動之原理。
- 二、探討磁動力軌道間距，電極板面積和推力之間的大小關係。
- 三、探討電極板材質和推力之間的大小關係。
- 四、找出最佳之磁動力軌道，實際做出可在水面運行的磁動力模型船。
- 五、剖析以磁動力取代現今引擎動力之可行性，並運用於實際生活

肆、研究器材與設備

| 軌道 | |
|---|--|
|  <p>製作軌道材料</p> | <p>保麗龍板 ×1 保麗龍切割器 ×1 鋁片(4.5 cm×1.5 cm) ×10 鋁片(4.5 cm×2.0 cm) ×10 鋁片(4.5 cm×2.5 cm) ×10 鋁片(4.5 cm×3.0 cm) ×10 鋁片(4.5 cm×3.5 cm) ×10 銅片 熱熔膠條 ×5 熱熔槍 ×1 15 cm鐵尺 ×2 防水膠帶 ×1(一卷) 夾鍊帶 ×2</p> |
|  <p>完成之軌道</p> | |
|  <p>軌道特寫</p> | |

| | |
|---|--|
| <p>測流速設備</p>   | <p>大型水槽 ×1 壓克力固定架 ×1 電子秤 ×1 500 cc燒杯 ×1 1000 cc量筒 ×2 刮勺 ×1 食鹽(1 kg) ×10 滴定管架 ×1 自由夾 ×1 滴管 ×1 安全吸球 ×1 電源供應器 ×1 數位相機(HP R707) ×1 紅色廣告顏料 ×1 伏特計 ×1 安培計 ×1 鱷魚夾 ×2 白紙 ×2 分度吸量管 ×1</p> |
|---|--|

| | |
|--|---|
| <p>船</p>    | <p>保麗龍盤 ×10 珍珠板(4 開) ×1 鋁片(cm×cm) ×2 鋁片(cm×cm) ×2 熱熔膠條 ×5 熱熔槍 ×1 夾鍊帶 ×2 鱷魚夾 ×2 電池(9v) ×4 圓形強力磁鐵 (直徑 30mm 厚 5mm) ×20</p> |
|--|---|

測流速用電腦軟體

The screenshot shows the Tracker software interface. The main window displays a video of a model boat with a sensor. The software has analyzed the video and generated a graph of velocity (v) versus time (t). The graph shows a curve that starts at approximately 1.45 m/s at t=14s, rises to a peak of about 1.85 m/s at t=21s, and then continues to rise to about 1.95 m/s at t=26s. The software also provides a table of data points and various statistics.

| 時間 | x | y |
|--------|---------|--------|
| 13.888 | -85.675 | 83.156 |
| 14.888 | -87.648 | 83.156 |
| 15.888 | -89.619 | 83.051 |
| 16.888 | -89.501 | 83.051 |
| 17.888 | -89.276 | 83.051 |
| 18.811 | -82.448 | 83.051 |
| 19.811 | -84.336 | 83.051 |
| 20.788 | -86.03 | 83.051 |
| 21.768 | -87.636 | 83.051 |
| 22.747 | -89.016 | 82.845 |
| 23.744 | -89.378 | 82.845 |
| 24.75 | -89.108 | 82.734 |
| 25.74 | -88.117 | 82.845 |
| 26.75 | -86.862 | 82.845 |
| 27.75 | -85.83 | 82.838 |
| 28.71 | -83.817 | 82.838 |

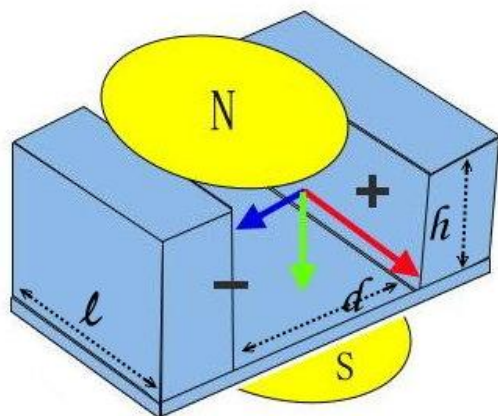
Tracker

用來在模型船上標設質點，使軟體自動計算速度與時間關係。

伍、研究方法與過程

一、原理說明：

電解質溶解於水中，會解離出正、負離子，此時接上電源使離子流動導電，便可將離子流視為電流。之後，將此裝置裝載上一與之垂直的磁場，根據右手開掌定則，電流會受到一向後的推力，水中離子受力後加速，與水分子產生碰撞，進而使水向後流動（流速 u ）（水分子並未直接被磁場加速）。



← 電流 ← 磁場 ← 受力方向

(圖一)

帶電離子流經磁場時（圖一），其所受到的力為：

$$F_B = qv \times B \quad (1)$$

※ q ：離子 v ：離子流速 B ：磁場

因為此軌道的體積為 Ad （電極板面積為 A ，軌道間距為 d ），存在於其中的總電荷為 nAd ，其中 n 為單位體積的電荷數目。因此，施加於軌道上的總磁力為：

$$F_B = (qv \times B)nAd$$

又電流 $I = nqvA$ ，因此方程式可以改寫為：

$$F_B = Id \times B \quad (2)$$

電流 I 也可寫成：

$$I = J \times A = J(l \times h) \quad (3)$$

※ J ：表面電流密度 $\left(\frac{A}{m^2}\right)$ h ：電極板高

而電流密度可寫作：

$$J = E\sigma = \frac{E}{\rho} \quad (4)$$

※ σ : 導電率 ρ : 電阻率

註：清水的電阻率 = $2.6 \times 10^5 \Omega m$ 鹽水(海水濃度)的電阻率 = $0.22 \Omega m$

電場受電位差及電極板間距影響：

$$E = \frac{V}{d} \quad (5)$$

※ d : 兩電極板間距 V : 電壓

將 (5) 帶入 (4) 中，可得：

$$J = \frac{V}{d \times \rho} \quad (6)$$

再將 (6) 帶入 (3) 中，可得電流：

$$I = \frac{V \times lh}{d \times \rho} \quad (7)$$

最後將 (7) 帶入 (2) 中，可得推力：

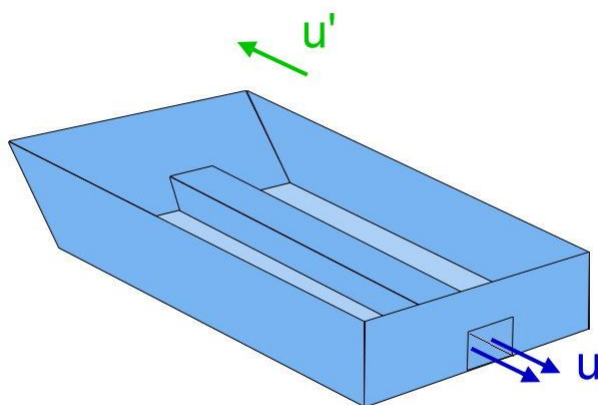
$$F_B = \left(\frac{V \times lh}{d \times \rho} \right) d \times B = \left(\frac{V \times lh}{\rho} \right) \times B$$

由公式可知，在其餘條件固定的情況下，推力和電極板的關係如下：

1. 推力和電極板長度成正比。
2. 推力和電極板高度成正比。

又依據牛頓第三定律，向後流動的水流，會產生一向前之反作用力，因而推動模型船前進。又作用力與反作用力屬於模型船系統之內力，連接電源前質心速度為零，套用動量守恆定律，向後的水流確實會使模型船產生向前的速度。得到速度之後，根據牛頓第二定律，我

們可以得知 $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \times \Delta u$ ，所以推力 $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \times u = F_B = qv \times B$ 。



(圖二)

二、實驗一：測試磁動力船之可行性（圖二）

根據文獻上所提供磁動力船的資料製作出一艘與文章上設計之一模一樣的磁動力船，並且依文章上所使用之電池電壓和數量來測試磁動力船是否可行。

三、實驗二：測量等寬之軌道對鹽水的推力作用

使用軌道(電極板長度固定為 4.5cm，間距有 1.6、2.4、3.2、4.0cm 四種，高度固定為 3.5cm，兩側上電極與軌道同長而高度有 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 五種，所以相互變化有 20 種不同軌道)，測量在鹽水(海水濃度 3.5%)時的排水速度。電源由電源供應器開到 9V 來提供，軌道上下各放一顆磁鐵作為磁場來源。

- (一)把軌道放入鹽水中，並裝好電源供應器、磁鐵和滴管。
- (二)開啓電源使軌道開始推水。
- (三)過幾秒速度穩定後用滴管滴一滴紅色廣告顏料溶液進入水中。
- (四)用數位相機錄下紅色水彩溶液進入軌道和離開軌道的過程以推算數據。
- (五)關掉電源清理軌道。
- (六)重複(一)到(五)之步驟每組軌道測量 10 次。
- (七)使用 TRACKER 開啓錄下之影片算出紅色廣告顏料溶液進出軌道時間差。
- (八)用 EXCEL 處理之數據推算出速度及推力。
- (九)作出數據之函數圖表。

四、實驗三：變換軌道長度計算推力作用

由實驗二找出效果最好的軌道(寬 3.2，電極高 3.5)，變換軌道長度(3.5，4.0，4.5，5.0，5.5) 測量在鹽水(海水濃度 3.5%)時的排水速度。電源由電源供應器開到 9V 來提供，軌道上下各放一顆磁鐵作為磁場來源。

- (一)把軌道放入鹽水中，並裝好電源供應器、磁鐵和滴管。
- (二)開啓電源使軌道開始推水。
- (三)過幾秒速度穩定後用滴管滴一滴紅色廣告顏料溶液進入水中。
- (四)用數位相機錄下紅色水彩溶液進入軌道和離開軌道的過程以推算數據。
- (五)關掉電源清理軌道。
- (六)重複(一)到(五)之步驟每組軌道測量 10 次。
- (七)使用 TRACKER 開啓錄下之影片算出紅色廣告顏料溶液進出軌道時間差。
- (八)用 EXCEL 處理之數據推算出速度及推力。
- (九)作出數據之函數圖表。

五、實驗四：變換金屬作為電極看推力效果

選擇由實驗二所找出推力效果最好的軌道變換不同金屬(鋁和銅)作為電極來分析何種效果最佳。

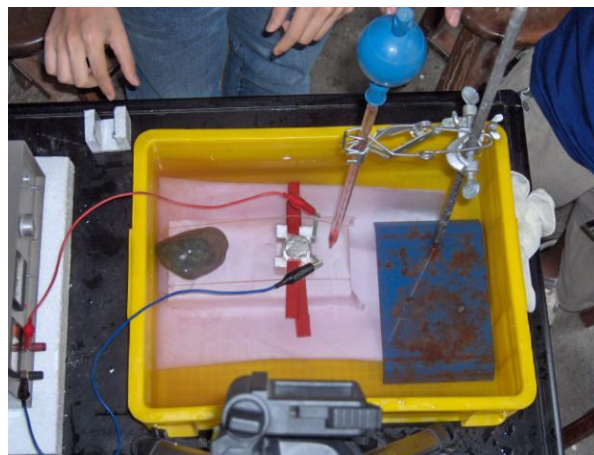
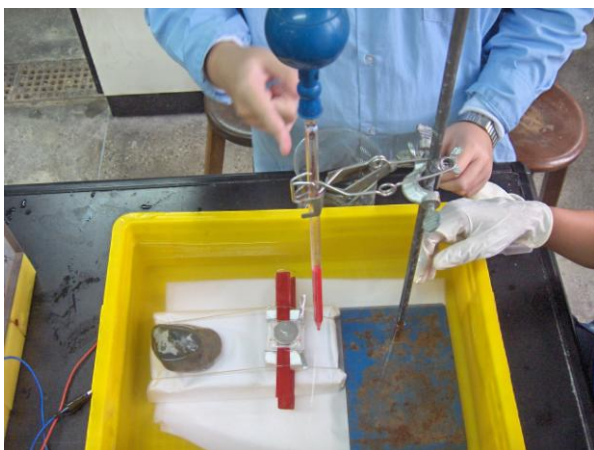
- (一)把軌道放入鹽水中，並裝好電源供應器、磁鐵和滴管。
- (二)開啓電源使軌道開始推水。
- (三)過幾秒速度穩定後用滴管滴一滴紅色廣告顏料溶液進入水中。
- (四)用數位相機錄下紅色水彩溶液進入軌道和離開軌道的過程以推算數據。
- (五)關掉電源清理軌道。

- (六)重複(一)到(五)之步驟每組軌道測量 10 次。
- (七)使用 TRACKER 開啓錄下之影片算出紅色廣告顏料溶液進出軌道時間差。
- (八)用 EXCEL 處理之數據推算出速度及推力。
- (九)作出數據之函數圖表。

六、實驗五：軌道套用於保麗龍船上

由實驗二和三找出效果最好與最差的軌道並分別套用在兩艘保利龍盤所做的簡型磁動力船，放入鹽水中讓它跑看看並測量這兩艘船是否符合由數據所推出來的結果。

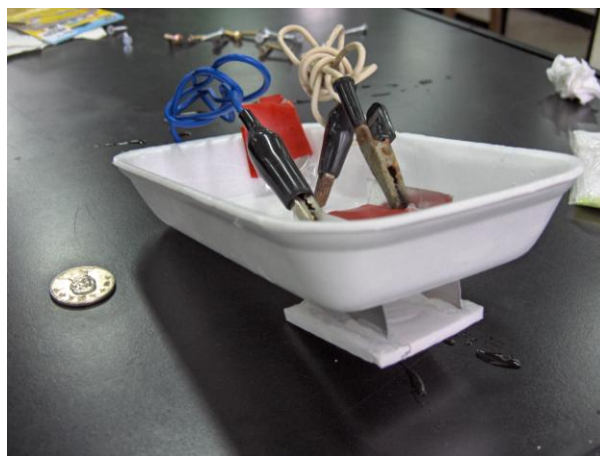
七、實驗相關照片



測量軌道流速



製作模型船



船的完成品



測量船速



行進中的船



裝有海綿的軌道

陸、研究結果

一、結果一：測試磁動力船之可行性

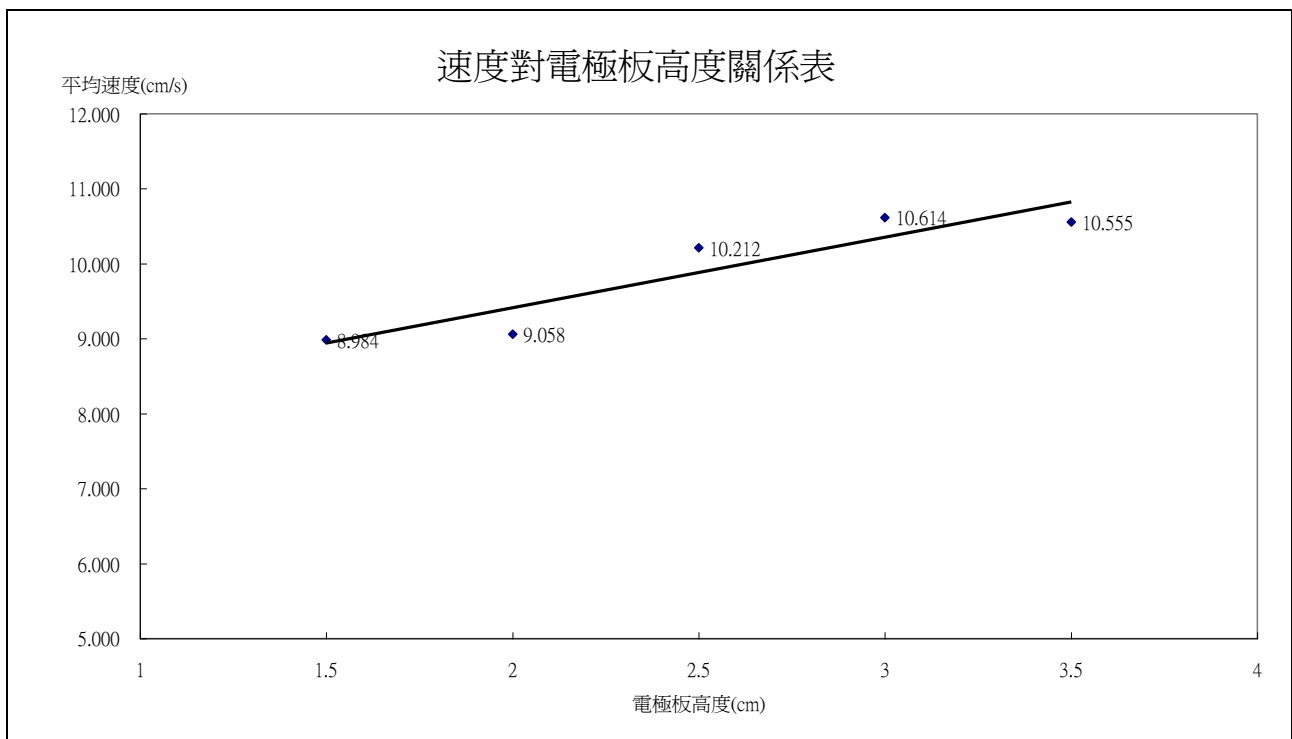
由資料上所提供的資料做出來的船，確實可以在鹽水上穩定的航行，雖然有幾個小問題有待改善，但磁動力船確實可行。

二、結果二：等間距之軌道，不同高度電極板的比較

(一)、固定電極板間距(1.6cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係表

| 電極板高度對速度關係表 | | | | | |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均速度(cm/s) | 8.984 | 9.058 | 10.212 | 10.614 | 10.555 |

固定電極板間距(1.6cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係圖

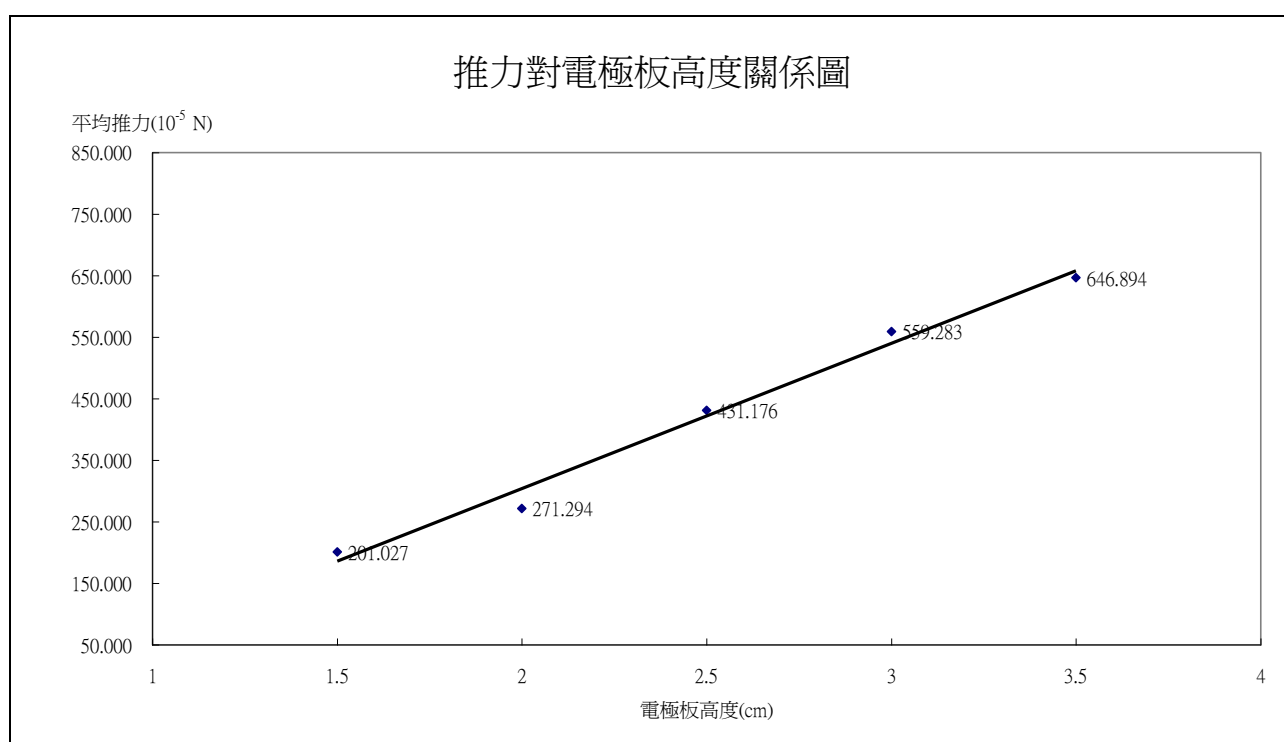


由上圖各落點可看出固定軌道寬度(1.6cm)下，流速隨著電極板高度的增加呈現出正比的關係，雖然流速在電極板高 3.5cm 時比 3.0cm 稍慢一些，但從趨勢線上看還是符合正比的關係。另外可看出每一落點之間的差距很小，可能是因在 1.6cm 寬的軌道下電極板高度對流速雖有影響但並不大。

固定電極板間距(1.6cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

| 電極板高度對推力關係表 | | | | | |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均推力(10^{-5} N) | 201.027 | 271.294 | 431.176 | 559.283 | 646.894 |

固定電極板間距(1.6cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

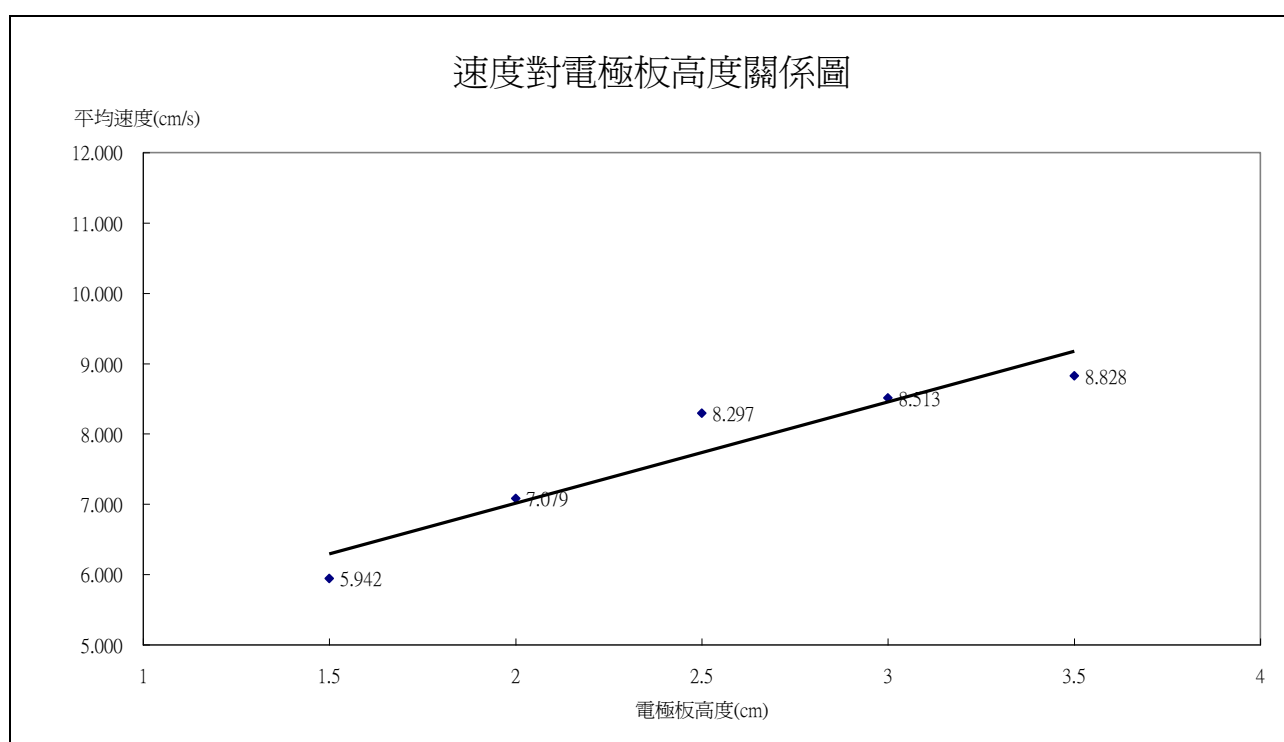


上圖表現出整體推力隨電極板高度增加而加大，並且與流速有明顯正比關係。乘上水流量後，推力間的差距變化量更有規律性，且呈現更明顯的正比趨勢。

(二)、固定電極板間距(2.4cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係表

| 電極板高度對速度關係表 | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均速度(cm/s) | 5.942 | 7.079 | 8.297 | 8.513 | 8.828 |

固定電極板間距(2.4cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係圖

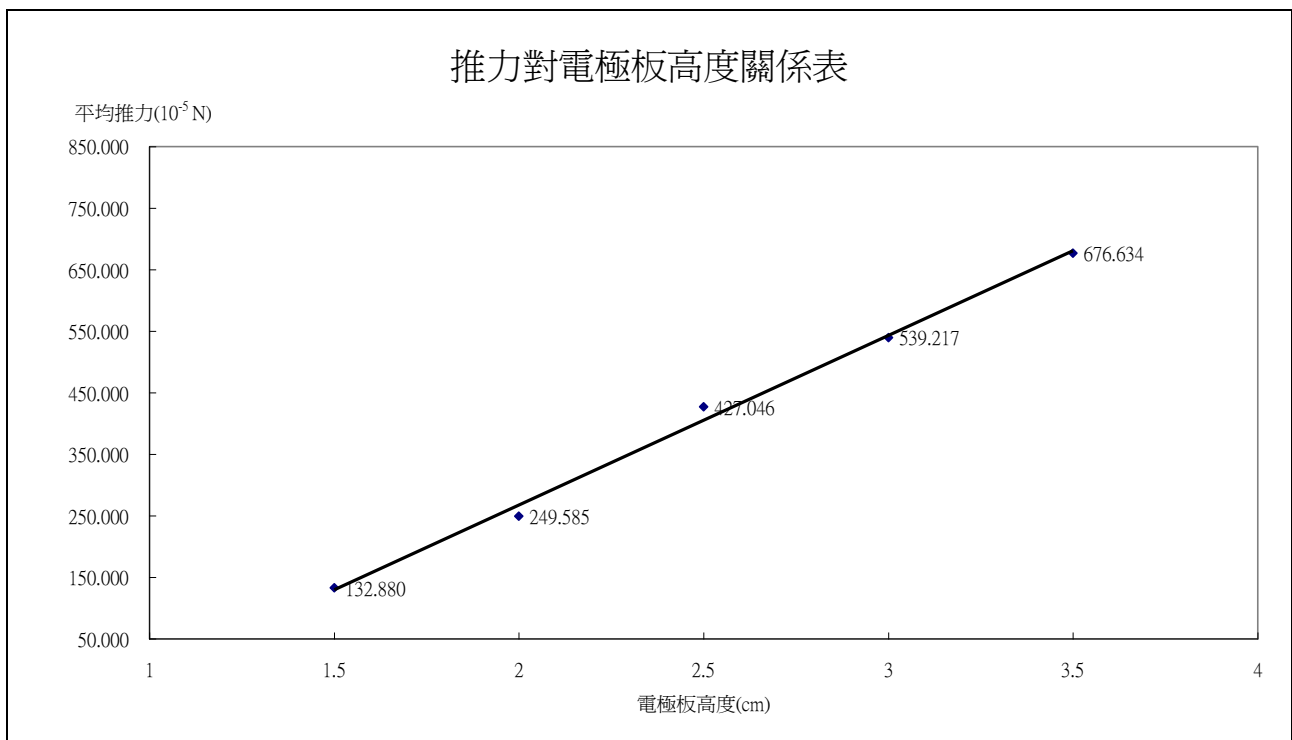


由上圖得知軌道流速與電極板高度成正比關係，雖然在電極板高度 2.5cm 時速度略高於趨勢線，但大致上還是呈現正比的趨勢。

固定電極板間距(2.4cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

| 電極板高度對推力關係表 | | | | | |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均推力(10^{-5} N) | 132.880 | 249.585 | 427.046 | 539.217 | 676.634 |

固定電極板間距(2.4cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

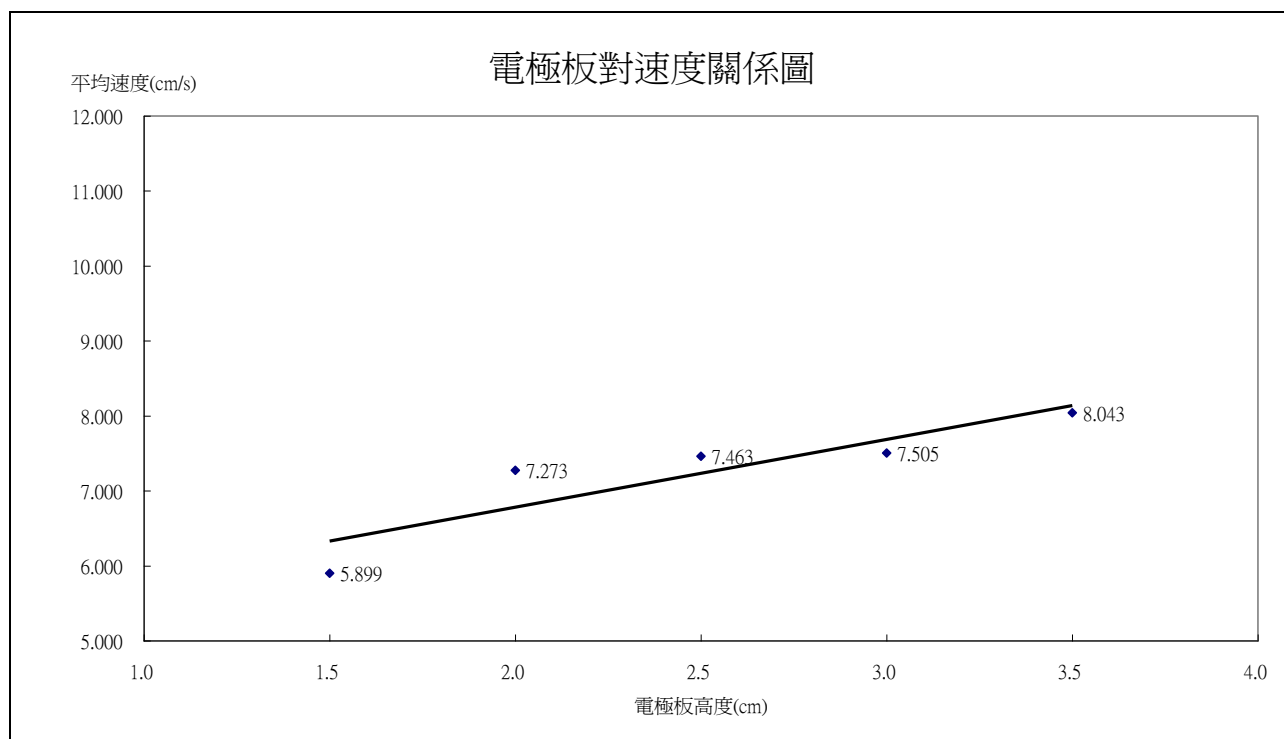


由上圖得知，電極板高度與推力成明顯的正比關係。因為速度隨電極板高度增加而加快，又因電極板越高排水截面積越大，所以推力隨電極板高度增加而加大。

(三)、固定電極板間距(3.2cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係表

| 電極板高度對速度關係表 | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均速度(cm/s) | 5.899 | 7.273 | 7.463 | 7.505 | 8.043 |

固定電極板間距(3.2cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係圖

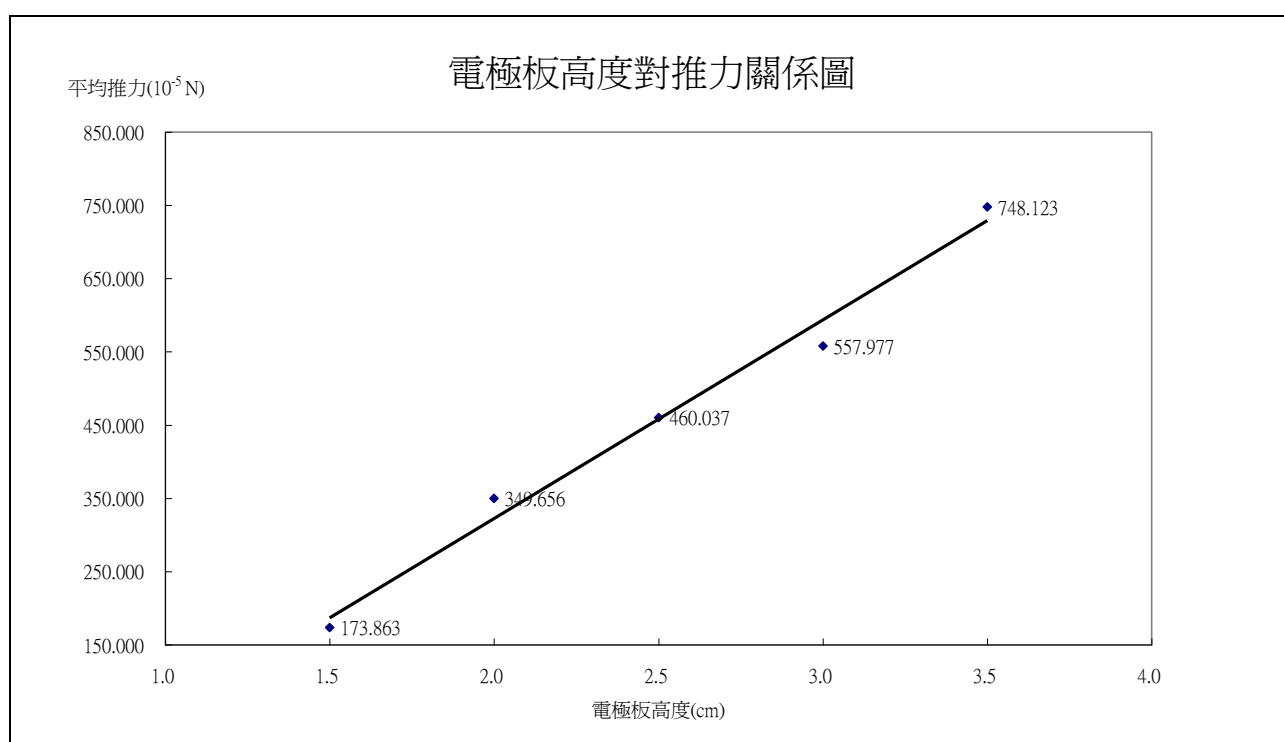


由上圖可得，平均速度的大小隨電極板高度的增加而有增快的趨勢。寬度 3.2(cm)的水道中，因軌道寬度與磁鐵的作用直徑相同，故整體而言，水道內的磁場作用十分平均，可以使離子較為完整的帶動軌道中的水，使得流速得以穩定的因電極板高度增加而上升。

固定電極板間距(3.2cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

| 電極板高度對推力關係表 | | | | | |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均推力(10^{-5} N) | 173.863 | 349.656 | 460.037 | 557.977 | 748.123 |

固定電極板間距(3.2cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

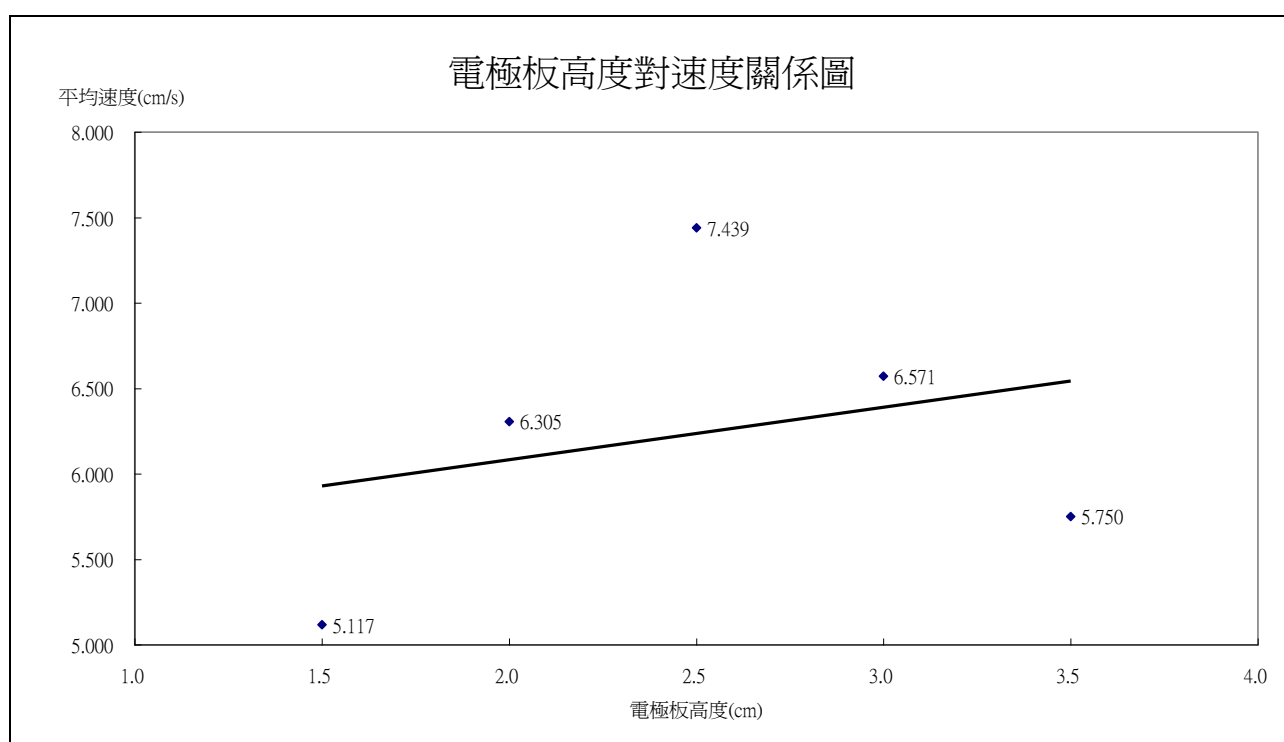


由上圖得知，平均推力的大小隨電極板高度增加而增加，又寬度 3.2(cm)的軌道擁有穩定的磁場作用，所產生之推力也因此有十分穩定的成長，趨勢線可看出平均推力與電極板高度成正比關係。

(四)、固定電極板間距(4.0cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係表

| 電極板高度對速度關係表 | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均速度(cm/s) | 5.117 | 6.305 | 7.439 | 6.571 | 5.750 |

固定電極板間距(4.0cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和流速的關係圖

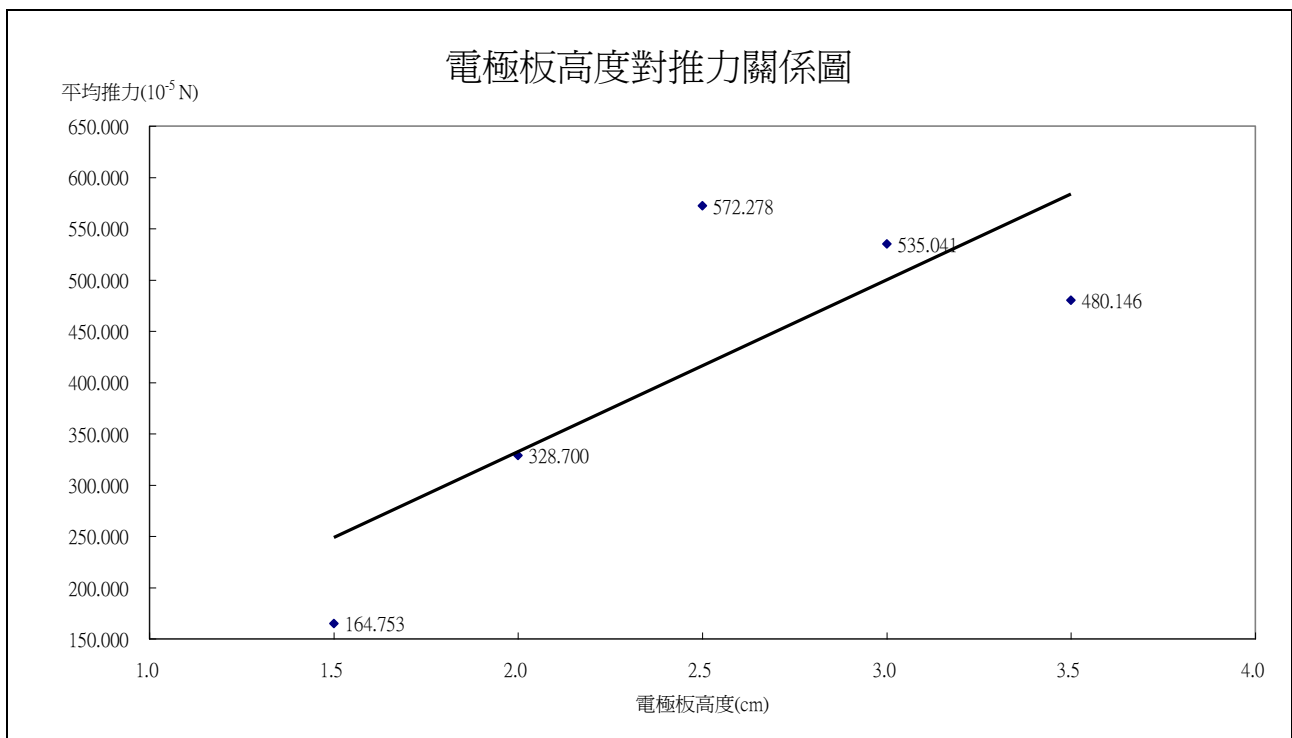


由上圖可知，流速起初和電極板高度成正比，但高度來到 2.5cm 後，卻又逐步下降，推測可能是電極板間距大於磁鐵直徑，導致磁場不均勻，產生邊際效應。所以當電極板高度大於中間值時，整體反應帶動的水流加大，卻因不均勻磁場而無法順利推動水流，使得流速下降，不過依趨勢線而言，整體仍有隨高度增加而加快的傾向。

固定電極板間距(4.0cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表

| 電極板高度對推力關係表 | | | | | |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 電極板高度(cm) | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 平均推力(10^{-5} N) | 164.753 | 328.700 | 572.278 | 535.041 | 480.146 |

固定電極板間距(4.0cm)以及長度(4.5cm)時，電極板高度和推力的關係表



上圖表現出整體推力隨電極板高度增加而加大，雖然流速有明顯差異，但乘上水流量後，推力間的差距已縮小許多，呈現更明顯的正比趨勢。

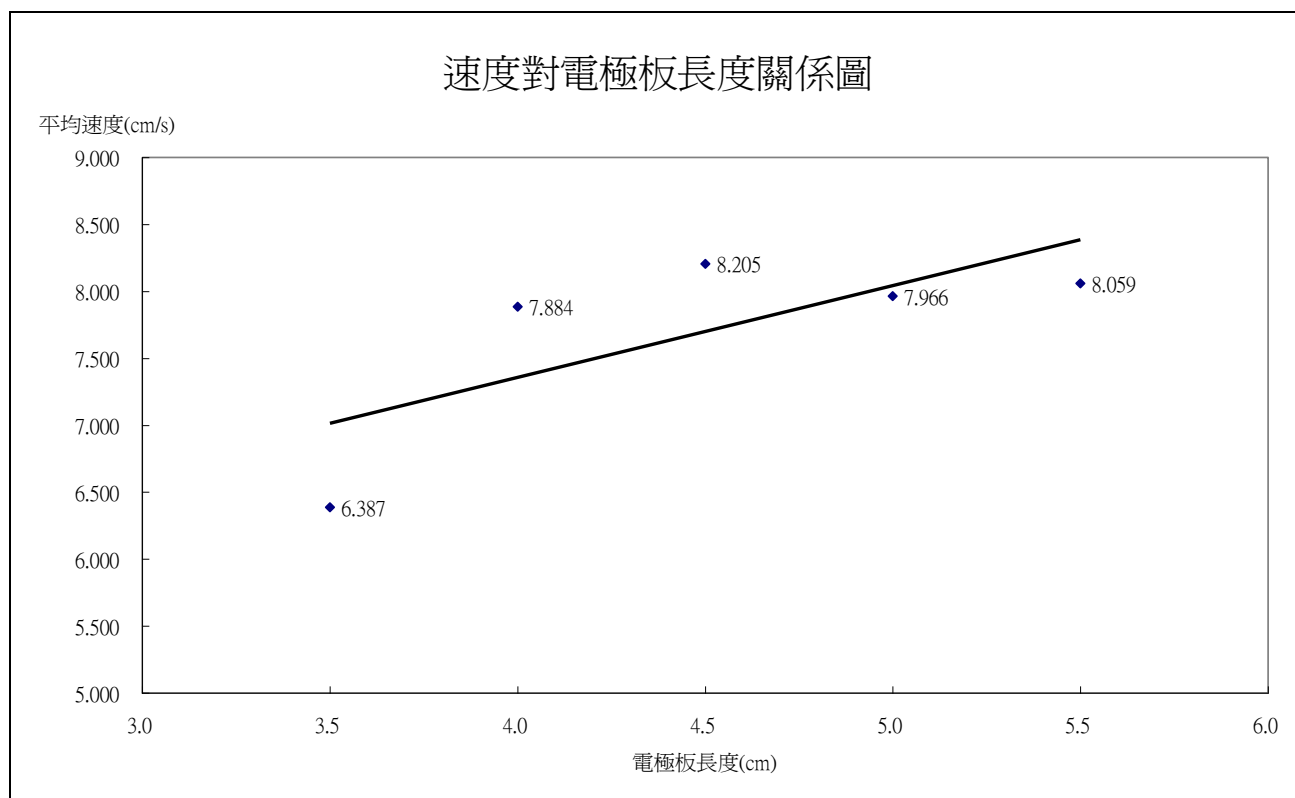
由以上關係圖表認定，此一軌道必定要在均勻磁場下操作，才能發揮最大效用。

三、結果三：最佳化軌道變換不同長度電極板之比較

(一)、固定電極板間距(3.2cm)、電極板高度(3.5cm)，電極板長度與流速關係表

| 速度對電極板長度關係表 | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電極板長度(cm) | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 |
| 平均速度 | 6.387 | 7.884 | 8.205 | 7.966 | 8.059 |

固定電極板間距(3.2cm)、電極板高度(3.5cm)，電極板長度與流速關係圖

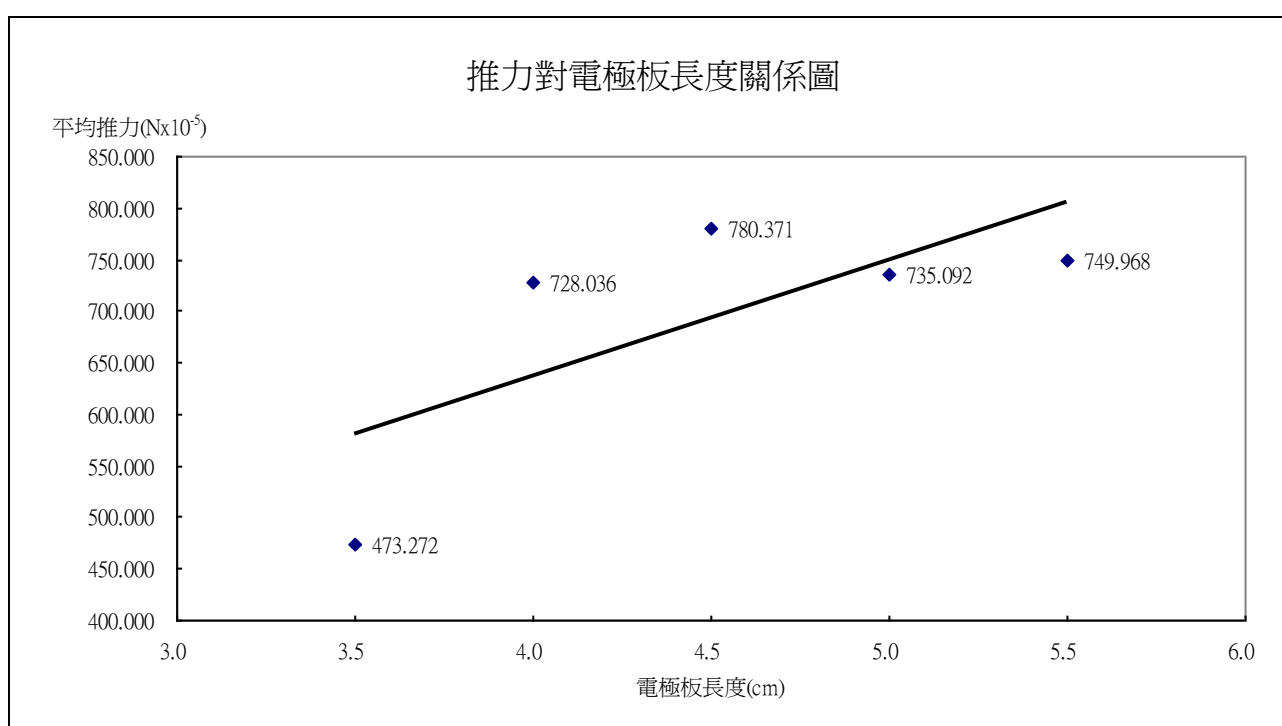


由上圖得知，流速大致上與電極長度成正比，不過當電極板長度超出某範圍時，磁鐵磁力無法平均分布於軌道中，磁力分布不均導致無法正常加速，以至於速度些許下降。

固定電極板間距(3.2cm)、電極板高度(3.5cm)，電極板長度與推力關係表

| 推力對電極板長度關係表 | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 電極板長度(cm) | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 |
| 平均推力 | 473.272 | 728.036 | 780.371 | 735.092 | 749.968 |

固定電極板間距(3.2cm)、電極板高度(3.5cm)，電極板長度與推力關係圖



由上圖得知，推力與電極板長度大致上呈現正比，但仍因電極板長度超出磁力範圍，導致磁場分布不均，所以推力在電極板長度為 4.5cm 之後有段落差。

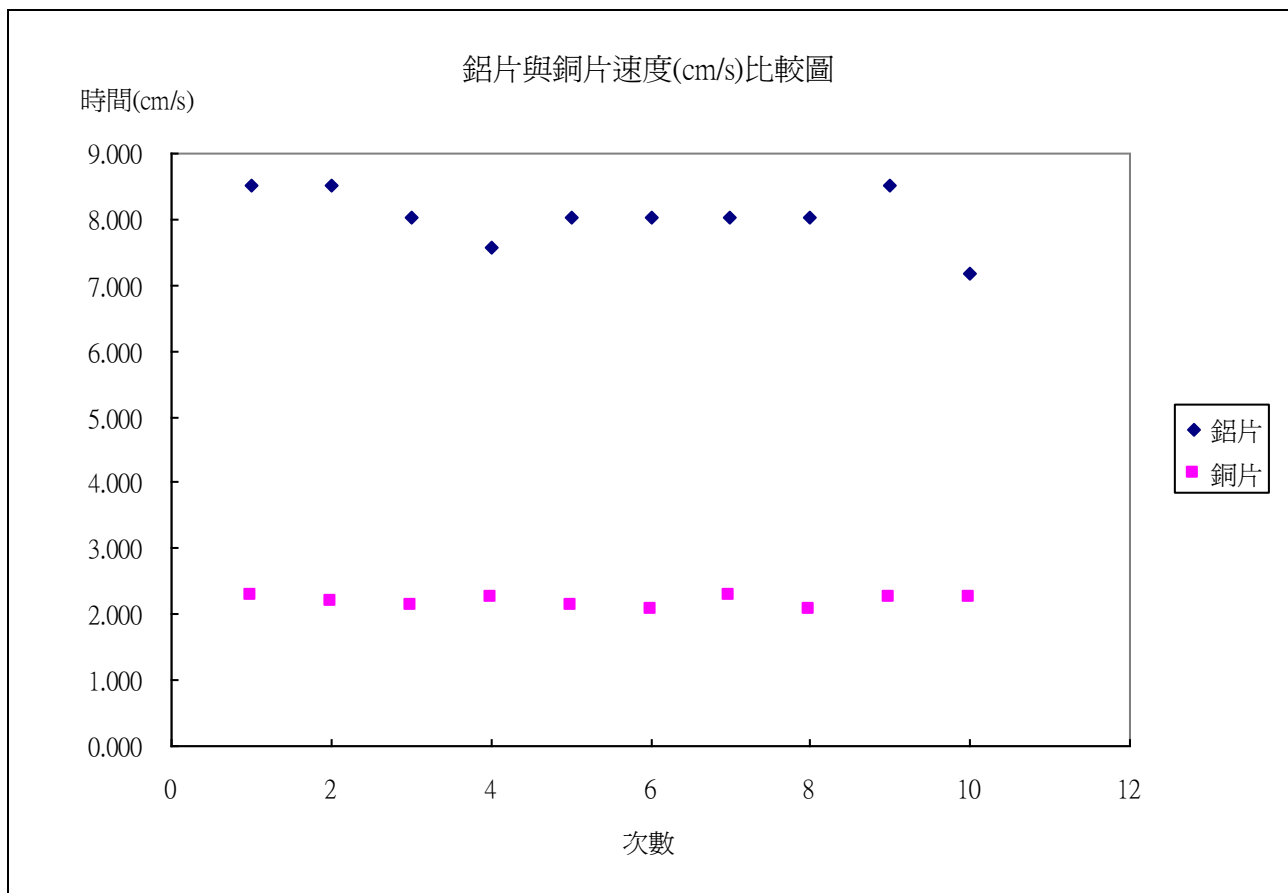
四、結果四：最佳化軌道，變換不同種類電極板之比較

(一)、最佳化軌道，不同電極板（鋁片、銅片）的流速比較表

| 鋁片與銅片速度(cm/s)比較表 | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均值 |
| 鋁片 | 8.523 | 8.523 | 8.021 | 7.576 | 8.021 | 8.021 | 8.021 | 8.021 | 8.523 | 7.177 | 8.043 |
| 銅片 | 2.273 | 2.199 | 2.131 | 2.235 | 2.131 | 2.066 | 2.273 | 2.066 | 2.235 | 2.235 | 2.184 |
| 速度差 | 6.250 | 6.324 | 5.890 | 5.341 | 5.890 | 5.955 | 5.748 | 5.955 | 6.288 | 4.942 | 5.858 |

註：電極板間距(3.2cm)、電極板高度（3.5cm）及電極板長度(4.5cm)

最佳化軌道，不同電極板（鋁片、銅片）的流速比較圖

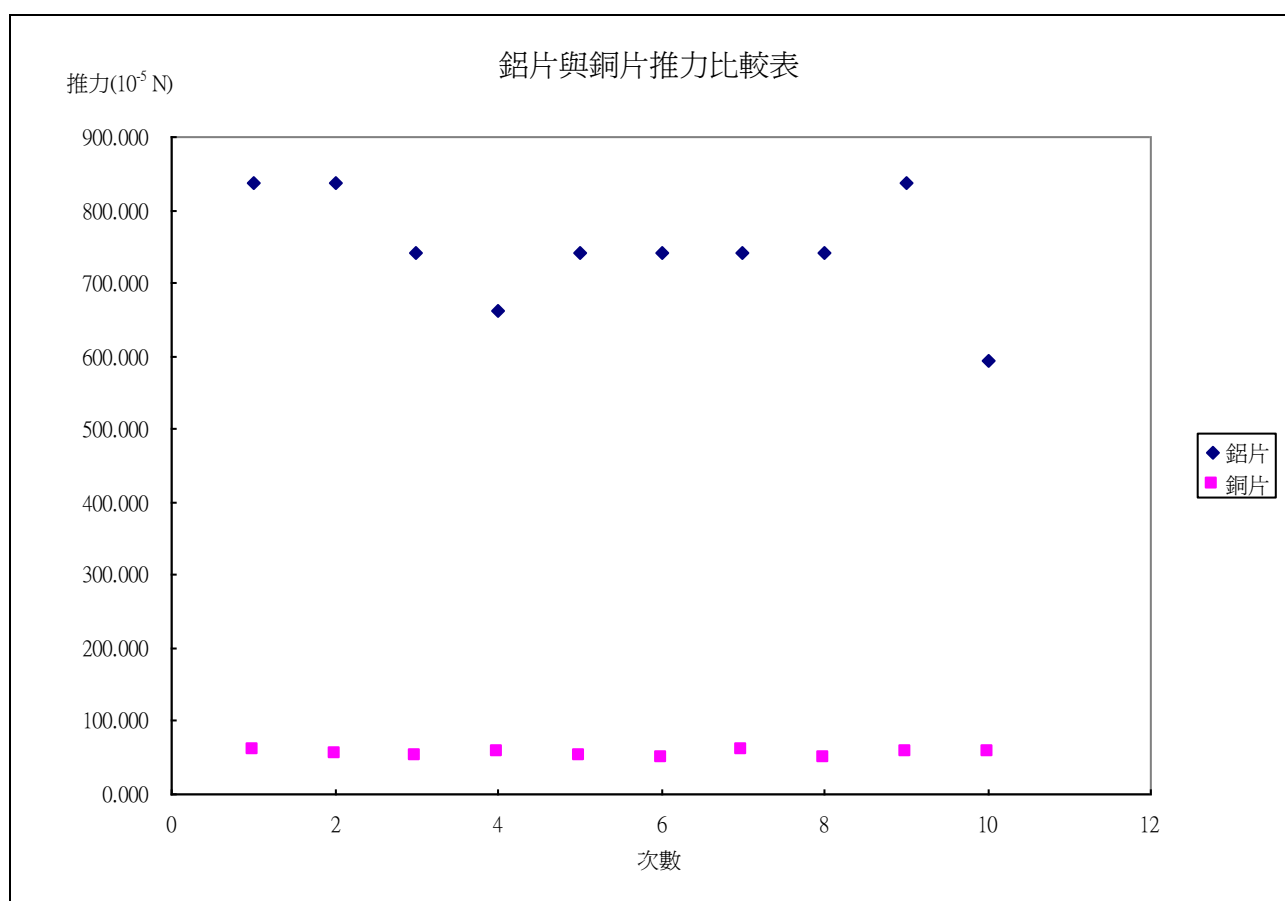


最佳化軌道，不同電極板（鋁片、銅片）的推力比較表

| 鋁片與銅片推力(10^{-5} N)比較表 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均值 |
| 鋁片 | 837.993 | 837.993 | 742.185 | 662.118 | 742.185 | 742.185 | 742.185 | 742.185 | 837.993 | 594.212 | 748.123 |
| 銅片 | 59.587 | 55.804 | 52.371 | 57.649 | 52.371 | 49.245 | 59.587 | 49.245 | 57.649 | 57.649 | 55.116 |
| 推力差 | 778.406 | 782.188 | 689.814 | 604.469 | 689.814 | 692.940 | 682.598 | 692.940 | 780.344 | 536.562 | 693.007 |

註：電極板間距(3.2cm)、電極板高度（3.5cm）及電極板長度(4.5cm)

最佳化軌道，不同電極板（鋁片、銅片）的推力比較圖



由上圖可以看出鋁片推力明顯大於銅片。

銅的活性較小，不易釋放出銅離子，且會在表面形成綠色的反應物，降低反應速率，而相對於鋁片而言，鋁的活性較大，且易放出三價的 Al^{3+} ，但銅離子只是二價的 Cu^{2+} ，因此我們可以推論速度和推力大小與電極板釋放的離子數，以及離子所帶價數有關，離子數越多，離子所帶價數越大，速度和推力也就越強。

五、結果五：軌道結果套用於模型船

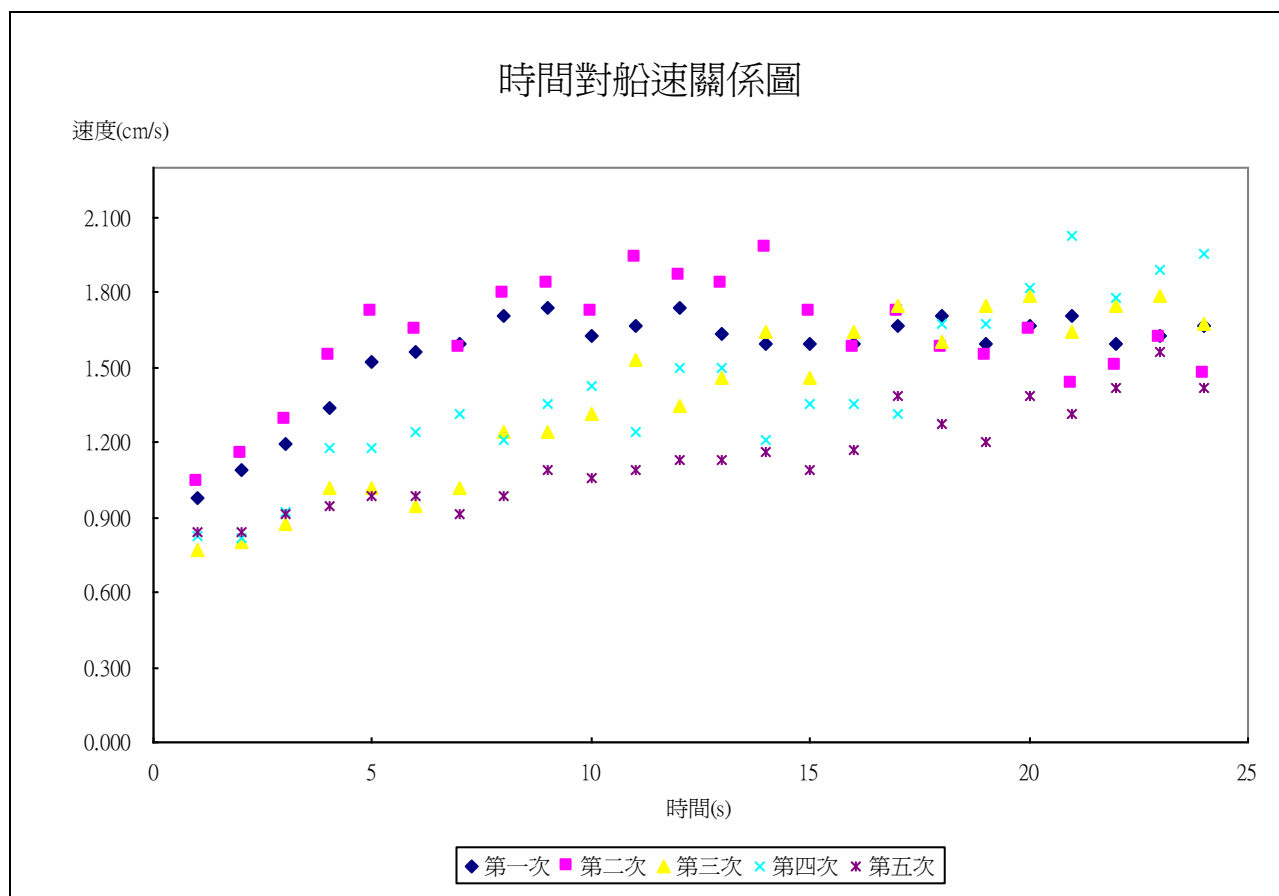
註：所有有關船速的實驗，皆在海水濃度的食鹽水中進行，並以一顆九伏特鹼性電池為電力來源。

(一)、推力最小之鋁片軌道

實際測量時效果不明顯，模型船不但無法前進，甚至因水流不穩定而有打轉的現象。

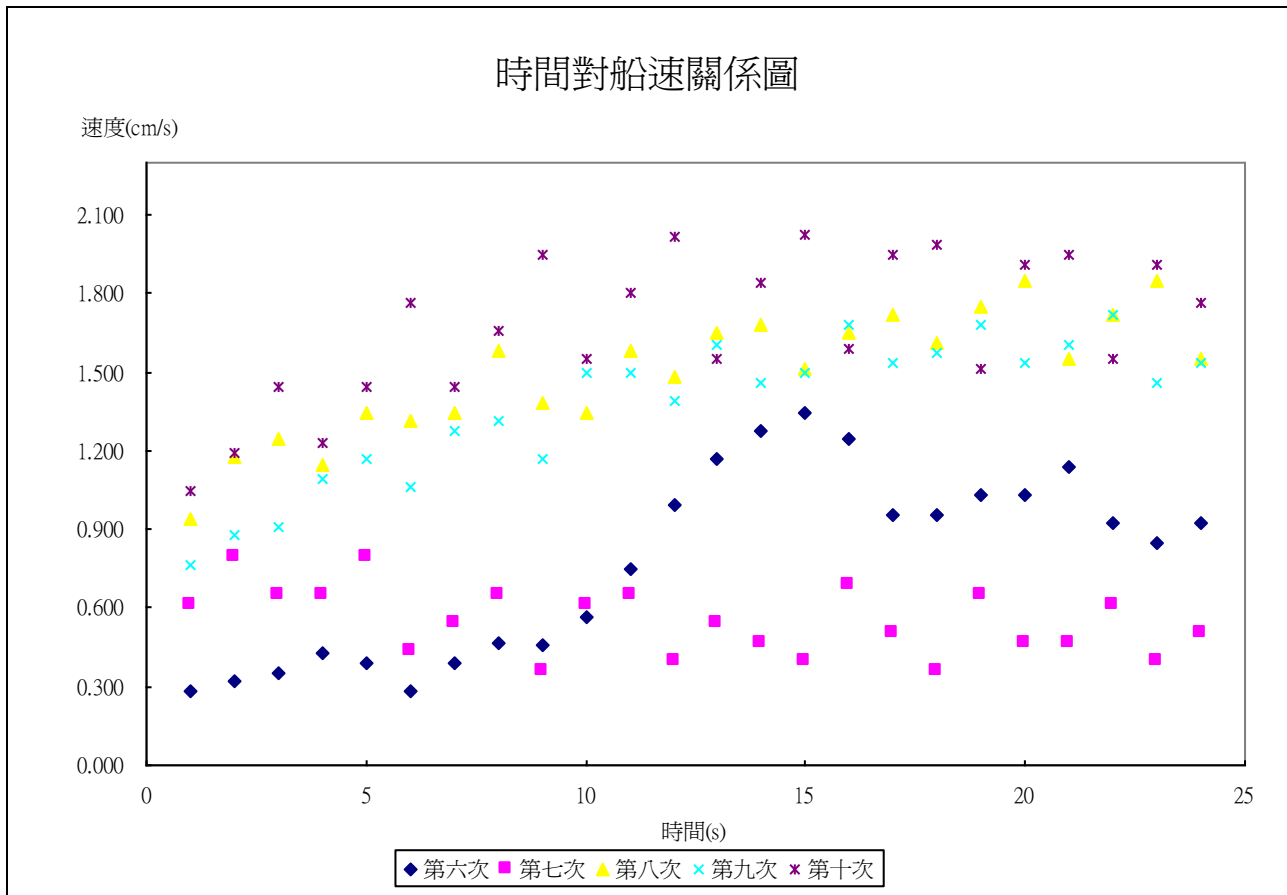
(二)、推力中等之鋁片軌道各次速度比較圖

1. 第一到五次實驗



由上圖可知，前五次實驗，船速從漸增到接近平穩，大致呈現出相近的趨勢。因為此時我們使用的是全新的電池，電源供應較為穩定，使得推力產生的速度也相對穩定。

2. 第六到十次實驗

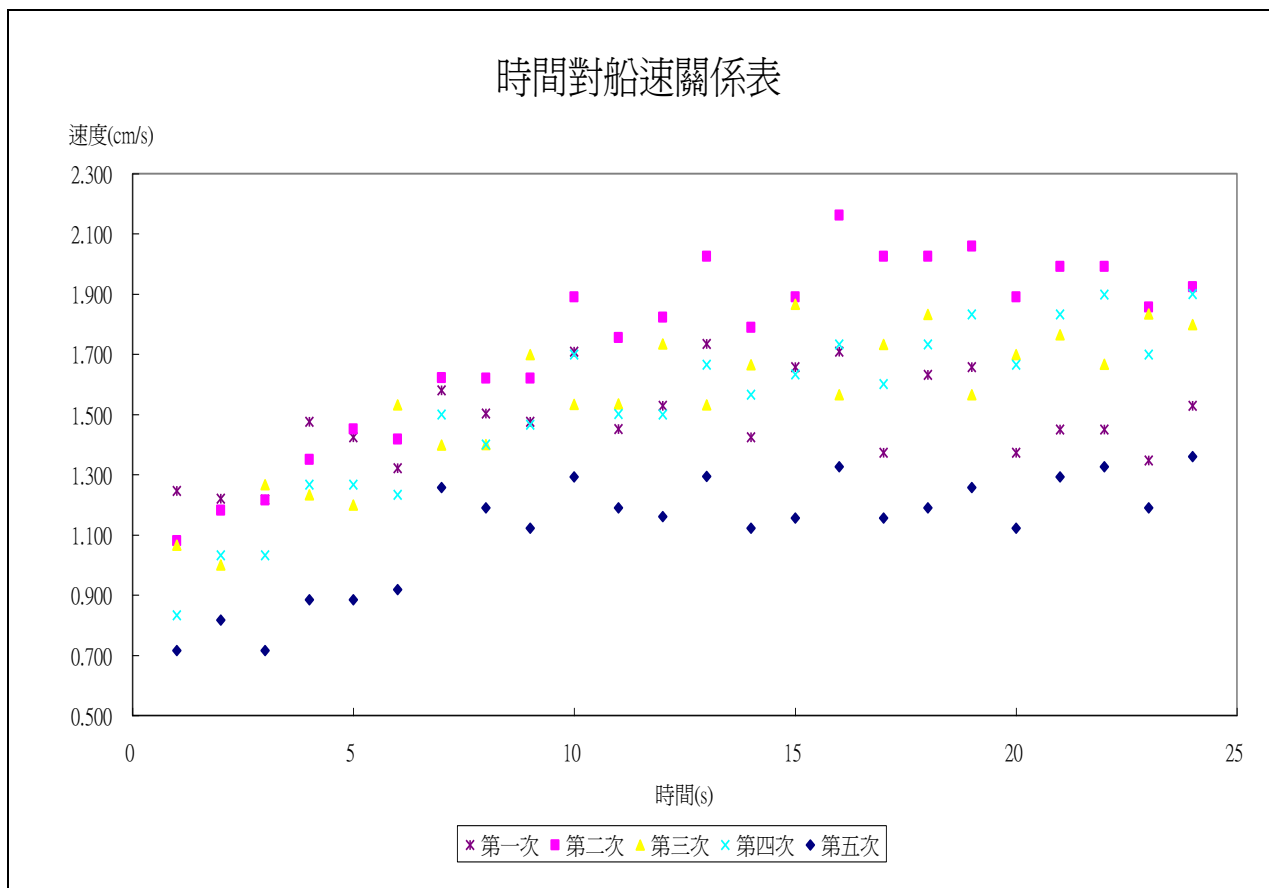


此圖明顯表現出船速不規則跳動的情形，因為電池從實驗一開始使用，來到實驗後半段電力已經下降，造成以上結果。此外，我們也可以觀察到水波作用，影響船速的現象。

綜合以上十次測量，我們可以觀察到會有三到四次呈現不規則波動，船速趨勢有明顯的鋸齒狀情形，原因是水道不夠長，船一前進便產生水波(下面的實驗也可以看見水波的效應)，加上電力供給不穩定，電池電力損耗，根據我們在實驗中的統計，一顆全新的九伏特鹼性電池約可使用三次，最佳情況約前兩次，且之後會發熱，電池效果急遽下降。此外，加上軌道本身可輸出的力道不足，導致模型船仍然無法穩定前進。

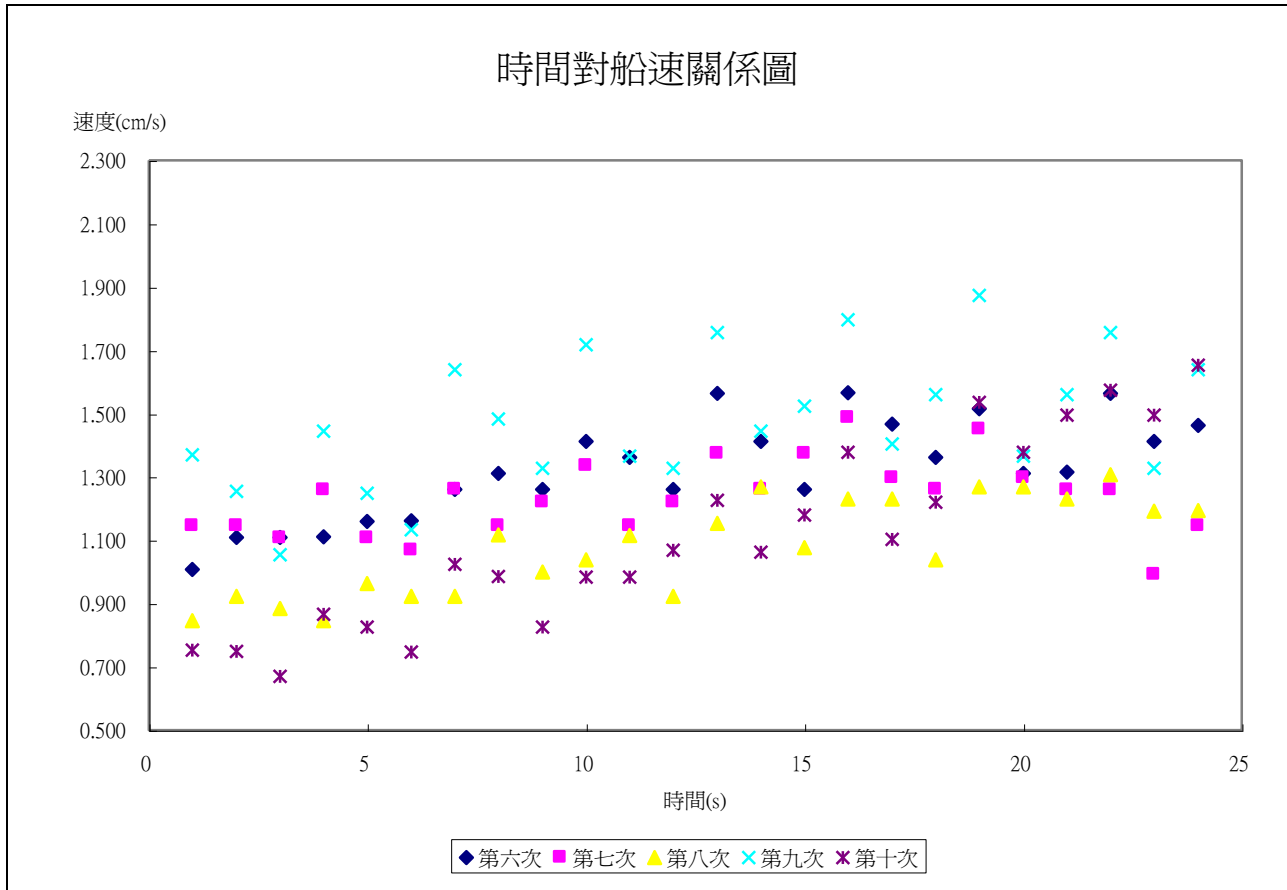
(三)、推力最強之鋁片軌道各次速度比較圖

1. 第一到五次實驗



在此圖中，因為新電池（使用兩顆新電池）加上裝有最大推力的軌道，使得船速先上升後平穩的現象更加明顯。但我們可以看到第五次實驗時，新電池的電力已下降，導致流速下降。

2. 第六到十次實驗



上圖顯示出裝有推力最大之軌道的模型船，即使來到實驗後半段，也是穩定的前進，只有速度稍微下降，水波影響也在最後才出現。此外，第九次實驗速度會比其他實驗次數高的原因，是電池冷卻後，電力供應上升，所以速度也跟著上升。

綜合以上十次測量，我們都可以觀察到一個明顯的趨勢：模型船受推力作用，起初呈加速狀態，行駛一段時間後，推力與阻力達成平衡，幾近等速度運動狀態，穩定的前進。

柒、討論

一、磁動力船之可行性

根據資料提供的磁動力船資料加以製作與改良，雖資源有限，但確能做出可運動之磁動力船。實驗過程中，發現許多問題，如磁動力船在運動時，發現船會偏向，猜測是地磁與重心的關係。若能提供更強大的電場與磁場，及方向舵的設置，其轉向的問題便可解決。在實際應用上，現今技術可穩定提供電力；磁場方面，可選用超導體來取代一般強力磁鐵。超導體因其零電阻的特性，通電後可高效率地利用電生磁，故超導體會有比強力磁鐵更佳的效果。

二、固定軌道電極板間距，變換電極板高度

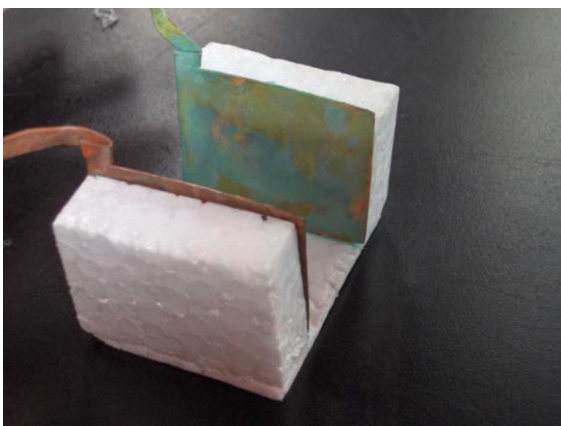
在固定軌道電極板寬度時，在寬 1.6, 2.4, 3.2cm 在流速和推力方面都呈現出與電極板高度正比的關係，雖然有些在流速方面的數據落點不是說非常規律，但換算成推力之後正比趨勢就非常完整。比較特別的是在固定寬度 4.0cm 時流速的變化，流速起初和電極板高度成正比，但後來卻又逐步下降，推測可能是電極板間距大於磁鐵直徑，導致磁場不均勻，產生邊際效應。所以當電極板高度大於中間值時，整體反應帶動的水流加大，卻因不均勻磁場而無法順利推動水流，使得流速下降，不過依趨勢線而言，整體仍有隨高度增加而加快的傾向。

三、固定軌道電極板高度與間距，變換電極板長度

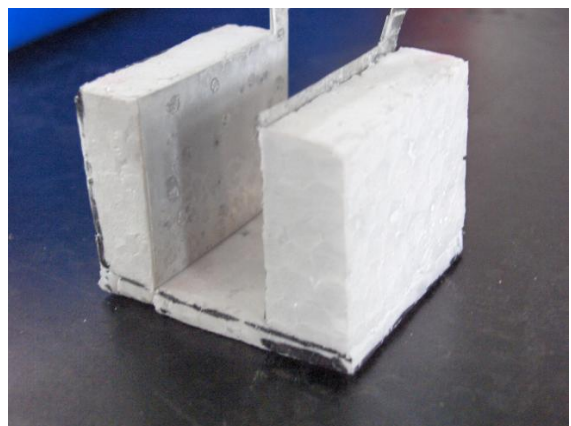
在軌道電極板高度固定 3.5cm、間距 3.2cm 時，在流速與推力方面和電極板長度成正比的關係，不過在長度到達 4.5cm 之後流速有些許下降，推測可能是因為軌道長度超出磁鐵有效磁力範圍，產生邊際效應。所以當電極板長度超出中間值時，雖然長度增加，理論上加速的範圍增加，速度應隨之增加，但因磁鐵磁力分布不均，水中的離子無法正常加速，以至於流速至中間值後便開始下降。

四、最佳化軌道，變換不同種類電極板之比較

由變換不同種類電極板(銅、鋁)所測出的數據比較出不管是在流速還是推力上，都是使用鋁片來當電極板的效果會比較好，應是與金屬活性(放出離子數的多寡)和放出之離子價數(Cu^{2+} 、 Al^{3+})有相當大的關係。而且無論使用銅片或鋁片作為電極板通電時，都會在水中產生電解反應時生成化合物(附圖)，留下電解後的痕跡。但相較之下，銅化合物十分明顯，且不方便清理，可能有危害環境之虞。



綠色銅化合物



白色鋁化合物

五、軌道結果套用於模型船

我們分別套用了推力弱、中、強三種軌道至模型船上，發現弱、中軌道呈現不規則跳動的情形，推力最強之軌道相對穩定。原因來自於電力供應不穩定，模型船的電力來源為九伏特鹼性電池，根據我們在實驗中的歸納，一顆全新的電池約可連續測量三次，之後便會發熱，推力也下降許多；軌道推力大小也是變因之一，輸出推力直接影響船的穩定，推力越大，越不易偏轉，也不易受水波作用，所以想要使磁動力船正常運行，必須擁有充足且穩定的電力來源，與推力強大的軌道。

註：我們在船行走的水道兩頭加裝海綿，以吸收水波，但無可避免的還是會有些許波動存在。

六、功率轉換效能

實驗中，我們可以觀察到船因產生的推力而航行，但我們經由計算功率後，發現其實電池所輸入之功率與磁動力軌道所輸出的功率有極大落差，所輸出之功率極小，工業上並不實際與經濟。經由上網找尋資料後發現，國外研究單位也有對於此一系統做出研究，實驗中可有效率地將電能轉換為其動力，但其使用較先進之材料，能產生比本實驗更為強大的磁場，因此製造出極佳的效果。而我們礙於實驗成本與技術的考量，此實驗並不能產生如此佳的效果，只能對於磁動力系統做更進一步認識。

捌、結論

- 一、根據實驗結果，磁動力船運動確實可行。
- 二、等寬之軌道，推力大小隨電極板高度增加而上升。
- 三、軌道推力大小隨長度增加成正比。
- 四、利用鋁片當電極的效果比使用銅片效果佳。
- 五、軌道測出之結果與實際應用於模型船上結果相符。

玖、實驗檢討與未來展望

- 一、磁動力船在跑時會因船的推力大小與重心及地磁問題造成偏轉，雖然偏轉的問題在做成實際的船時可由方向舵來解決，但在測量時確實造成了麻煩。儘管我們有想到幾種解決辦法但都因會影響船速而作罷。希望以後有機會能找到低經費而不影響船速的解決方法。
- 二、因為經費有限，所以我們所用於提供磁場的強力磁鐵為一般的圓形，可能導致磁力受力不平均，希望將來再繼續做此實驗時能夠有充足的經費使用長條型的磁鐵作為磁場提供，或是能想出一種便宜的解決辦法。
- 三、雖然在測軌道推力及流速時是由電源供應器提供穩定的電壓，但在測船時是用 9V 的電池，因此數據會受電池的耗損影響。雖然想過用跟電車一樣外接穩定電源，但連接時的摩擦力等阻力無法有效的解決。如果能想出解決方法將能更有效的測出數據。

四、希望未來磁動力船在大家共同努力研究下能夠增加它的效能，不管是在軍事上無聲地隱密航行或是減少船隻的噪音汙染，都能對人類的進步做出一些貢獻。

拾、參考文獻

- 一、Serway & Jewett 著，呂正中、林俊男等譯。物理學(下冊)。第三版。滄海書局。P158~369。2003。
- 二、楊寶旺著。物質科學化學篇下冊。龍騰文化事業公司。2007。
- 三、林明瑞著。高中物理(下)。南一書局。2007。
- 四、Gavriel L. Font and Scott C. Dudley。2004。Magnetohydrodynamic Propulsion for classroom。THE PHYSICS TEACHER。October -- Volume 42, Issue 7。P410~415。
- 五、Windell H. Oskay。2006。MHD II: Make a magnetohydrodynamic propulsion boat。2007年4月8日，引自：<http://www.evilmadscientist.com/article.php?story=MHDCraft&query=MHD>
- 六、Douglas Brown。2007。Tracker version 1.72。來源：<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

【評語】 040808 鹹溼無“馬”－海上磁動力船

本作品是探討鹽水中電場與磁場垂直而造成離子移動，產生推力的現象，是一個值得研究的有趣問題。所做的一系列實驗，大致上合理，但也有一些可以改進的地方，例如在取值數目不多(5個數據)，以直線描述兩個變數的相關性，並不太合理，電極板在鹽水中因為電解產生氣泡，這個現象對於推力的影響應該考慮。