

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 物理科

佳作

040115

浮標靈敏度的測定

學校名稱：國立鳳新高級中學

作者：  高二 李冠樟  高二 林煒喆  高二 黃峻祿	指導老師：  楊山河  王鈺茹
---	-----------------------------

關鍵詞： 最大加速度、最大位移、魚訊

# 浮標靈敏度的測定

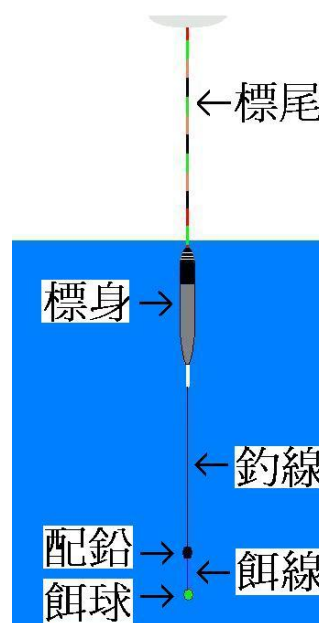
**摘要：**依垂釣時的視覺經驗為基礎，以浮標受「擾力」時反應的加速度與位移作為浮標的靈敏度。操作浮標局部的物理特質為變因，逐步掌握靈敏度與變因間的關係以對照釣場的口傳經驗。

## 壹、研究動機：

釣魚界有句名言：「以池釣始，以池釣終」。前者著眼於池釣的方便性；後者則指出池釣精緻、細膩的一面。在實際進行池釣時，這精緻、細膩的一面本身就具有多元化變因的存在與考量，其中屬於物理性質掌握的部分，應該屬於浮標靈敏度的要求。直至目前為止，關於浮標靈敏度的了解，大多數是口耳相傳的經驗談，既缺乏可靠的科學數據，也沒有一套有效的說明模式，即便是由極具經驗的老釣手來陳述，也會令人感到模糊不清。本實驗試著以科學的數據，希望能有效地呈現出具科學基礎的浮標敏度特質。

## 貳、研究目的：

我們在垂釣時，浮標訊號的產生主要依「釣組」的搭配而有所不同。所謂「釣組」是指浮標與「配鉛」的組合，為了方便後文的討論我們將浮標再細分為「標身」<sup>1</sup>與「標尾」。垂釣之初會調整「配鉛」直到「標尾」恰好浮在水面上的狀態，如圖，此時「釣組」的合力為0<sup>2</sup>。當魚吃餌的時候會對「釣組」的平衡形成一外來「擾力」，改變浮標的運動狀態，這時還得考慮水阻與黏滯力的狀態，這一切的變因複雜，不易以理論進行計算而獲得有效的結果，比較適合透過實驗的操作直接獲得具體的結論。



圖一

<sup>1</sup> 包含浮標下部碳纖維的部分。

<sup>2</sup> 此時「釣組」主要受力有重力、浮力，另外在多數池釣時，餌球觸底，所以還有一個微小的餌線支撐力。

垂釣時浮標主要的功用是提供釣者「魚訊」，讓釣者在當下決定是否「作合」<sup>3</sup>。這「魚訊」主要呈現在兩個方面——加速度與位移。一般說來，在釣界的口傳經驗上強調「挫之力」，指浮標瞬間加速的視覺印象，是一種瞬間的「視覺驚見」效果。然而因情況的不同，位移的大小也是決定是否起竿的依據，尤其是要讓「視覺驚見」的效果轉化為意志上的明確性，需有一明顯的位移量來加持。本實驗將依這兩個方向，逐步探討並掌握浮標的靈敏度。主要的操作變因有：

- 一、「標尾」的粗細。
- 二、「標身」的粗細。
- 三、「標身」的密度。
- 四、「釣組」的質量。

---

<sup>3</sup> 釣界術語，指揚竿而起期待鉤子能勾住魚嘴。

## 參、研究設備器材：

### 一、一般設備

木條	12 條	實心木板	2 片
釣線	數捆	直流變壓器	1 臺
鐵棒	1 支	保力龍球	5 顆
鋼球	1 顆	壓克力水箱	1 箱
吸管	20 根	注射筒 (60 ml)	2 支
電腦	1 臺	小注射筒	1 支
自來水	適量	釣魚用鉛製咬鉛	2 包
漆包線	1 捆	巴爾薩木	5 根
釣線方向控制桿	1 根	高粱桿	4 根
凡士林	1 罐	蘆葦桿	4 根
快乾膠	2 瓶	硬質保麗龍	4 根
橡膠塞	2 個	孔雀羽毛	4 根
塑鋼土	4 組	Matlab	1 套
夜光珠	10 顆		
斜坡軌道	1 個		
保力龍膠	1 罐		

### 二、測量儀器

Data Studio 軟體	1 套	電子天平 (0.01g)	1 臺
Xplorer GLX Simulator <sup>4</sup>	1 組	游標尺 (0.05mm)	1 把
量筒 (1cc)	數支	直尺 (1mm)	數把

(註：括號內為精確度)

---

<sup>4</sup> 測量位移、速度、加速度的儀器，以下簡稱「運動感應器」。

## 肆、研究過程或方法：

### 一、數據信度校準：

1. 實驗之前準備一個水箱以模擬池釣的狀況。我們在水箱壁挖洞，設立支撐體以便固定注射筒（圖二.1），再以鐵球撞擊注射筒來提供釣組「擾力」。考慮到實際測量時的種種變因，我們設計了軌道、運動感應器支架、注射筒擋板……等等的器具。經由預測的結果來加以修正這些器材的實際效用，例如注射筒擋板原先的支點太遠（在外側）會造成不確定大小的緩衝效果，所以改成幾乎是完全固定式的狀態，又實際測試時，輕質的浮標容易晃動而脫離感應器的感應範圍，所以我們加裝釣線方向控制桿（圖二.2），又考慮到此桿將形成新的阻力誤差，而改用目前市面上最滑溜的釣線<sup>5</sup>，因為浮標的質量很小，運動量也不高，光是事前誤差控制的工作，就花了很長的一段時間來準備，期待在數據的精確度上有一定的表現。

取市售浮標進行數據校準的工作，實驗裝置如圖二-3（示意圖如圖三.甲區），將釣線調整好，以固定高度的電磁鐵吸附鐵球，並將注射筒吸附餌球於注射口（可大大的減少「擾力」的誤差），固定注射筒內管的伸出長度，開電腦及運動感應器，關掉電磁鐵電源讓鐵球沿平滑軌道下滑，撞擊注射筒內管，衝擊餌球，對「釣組」形成「擾力」，促使「釣組」運動。測量並紀錄最大位移與最大加速度，如圖 a。以及圖 b。



圖二.1



圖二.2



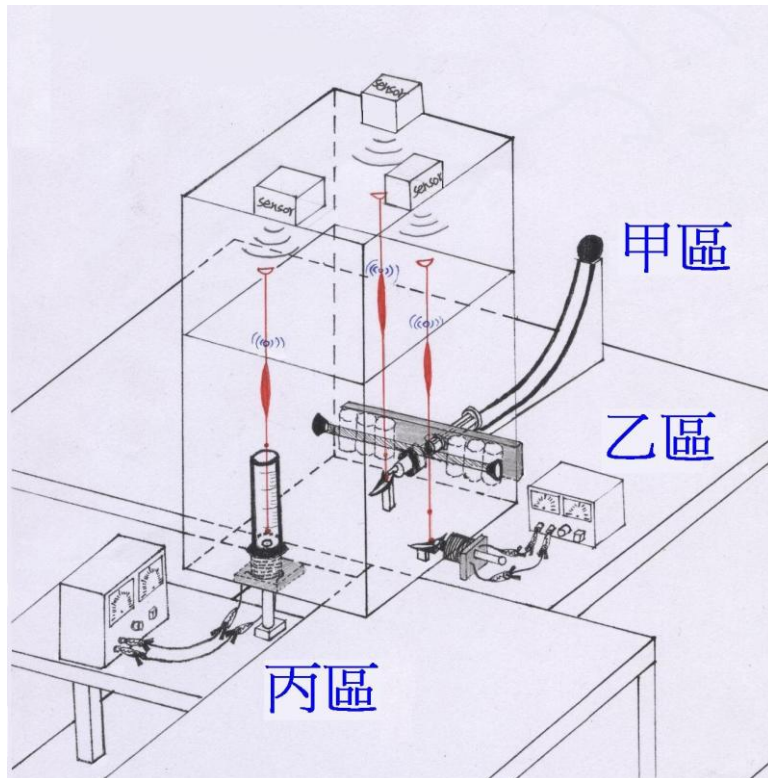
圖二.3

2. 原先考慮以滑輪組的方式「牽動」餌球，但相較於「釣組」極小的質量來考慮，市面上滑輪的質量都顯得如此巨大，不得不放棄。經全員討論後，改以磁力來提供餌球「擾力」。改動實驗裝置，以圖釘配上硬海綿<sup>6</sup>為餌球，配合水平向裝置的電磁鐵提供餌球「擾力」（圖三.乙區）來進行實驗並記錄位置與最大加速度如圖 c。

<sup>5</sup> 一般刀剪很難剪斷，因為會滑掉。

<sup>6</sup> 使密度略大於 1。則在「釣組」平衡時可以省去餌球質量的考慮。

3. 再次改動實驗裝置，改以質量幾乎不存在的一小段大頭針<sup>7</sup>為餌球，配以鉛直向裝置的電磁鐵（圖三.丙區）加 4.40 安培的電流提供「擾力」來進行實驗，記錄最大位移 $\Delta X_{\max}$ 與最大加速度  $a_{\max}$  如圖表 d。
4. 改變不同的電流值（3.55、2.85 安培），重複上一步驟，分別得 e 系列與 f 系列的圖表。



圖三. 實驗裝置示意圖

## 二、 敏度測定：

在取得實驗數據信度的掌握之後，我們進行各種不同變因的探討：

1. 以吸管製作 5 支幾乎一模一樣的浮標，唯其「標尾」的粗細不同（圖四.）分別編號為甲、乙、丙、丁、戊，「標尾」截面積依序為 1.65、2.55、5.73、7.31、13.53 mm<sup>2</sup><sup>8</sup>，依步驟肆、一、3 進行測量，取得最大位移（以下簡稱為 $\Delta X_{\max}$ ）及最大加速度（以下簡稱為  $a_{\max}$ ）的值，如圖表 g。
2. 取上述浮標甲為樣本浮標，「標身」的體積保持不變，「標尾」的條件也固定，僅改變「標身」的直徑（當然觸水面積也改變）來製作浮標（含甲共 5 支），分別編號為 A、B、C、D、E（D=甲），直徑分別為 12.35、8.30、7.40、6.15、5.05 mm（圖五.），依步驟肆、一.3 進行實驗，測得 $\Delta X_{\max}$ 及  $a_{\max}$  如圖表 h。

<sup>7</sup> 以電子天平測量（靈敏度 0.01 克），數據閃動不穩定，時有時無，估計約 0.02 克

<sup>8</sup> 以游標尺（精密度為 0.05mm）測直徑，面積取到小數下兩位數。

3. 再一次以上述的甲為樣本浮標，另外製作 4 支外觀一模一樣的浮標，但在內部裝置不同質量的鉛粒（圖六.），此時 5 支浮標，勢必得用不同的「配鉛」來進行實驗<sup>9</sup>，其「釣組」的質量分配如下表（單位為克）<sup>10</sup>

4.

	配鉛 $m_1$	標身 $m_2$	標尾 $m_3$	標重 $m_2+m_3$	釣組
子	4.20	1.04	0.11	1.15	5.35
丑	3.61	1.78	0.11	1.89	5.50
寅	2.26	2.91	0.11	3.02	5.28
卯	1.16	3.99	0.11	4.10	5.26
辰	0.64	4.38	0.11	4.49	5.13

（註：卯即甲）

重複步驟肆、一.3 進行實驗，並測得  $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  如圖表 i。

實驗初時「釣組」所受合力為零，若  $V_1$  與  $V_2$  分別代表「配鉛」與「標身」的排水體積，以 CGS 制列式：

$$(V_1 + V_2) \times 1 = (m_1 + m_2 + m_3) \quad (\text{gw})$$

$$\begin{aligned} \text{則「標身」密度 } d &= m_2 / V_2 = m_2 / [(m_1 + m_2 + m_3) - (m_1 / d_{\text{鉛}})] \\ &= m_2 / \{ [(d_{\text{鉛}} - 1) / d_{\text{鉛}}] \times m_1 + m_2 + m_3 \} \end{aligned}$$

「配鉛」的密度  $d_{\text{鉛}} = 11.30 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ，即可算出「標身」密度。

5. 取市售浮標一組三支（「標身」材料相同）因為「標身」體積不同，使得「釣組」質量也不同，進行步驟肆、一.3 實驗並記錄  $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  如圖表 j。

### 三、 檢驗：

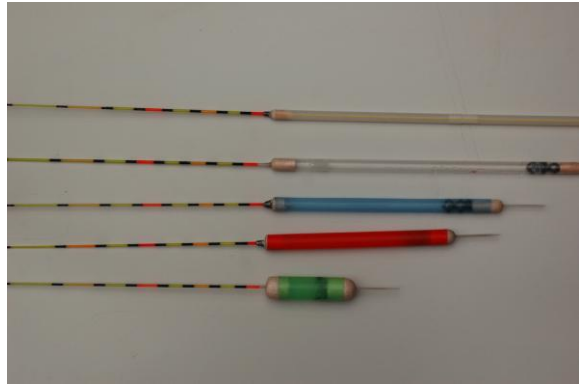
取尋雲 2 號浮標（原已測定有  $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$ ）分別黏附一塊小鉛片與兩塊小鉛片（如圖九.）（增加「標身」的平均密度）重複步驟肆、一.3 實驗，得圖表 k。

<sup>9</sup> 肆、二.1 與肆、二.2 的「配鉛」都沒有改變，連帶的釣線的各部分長度也都固定，總之盡量減少不必要的變因干擾數據的判讀。

<sup>10</sup> 釣線的質量很小約 0.01g，僅在我們使用天平的精密度左右，而且，依此肆、二.3 的設計精神而言，釣線的質量併入  $m_1$  與  $m_2$  皆不適宜，所以先不計。



圖四.



圖五.



圖六.



圖七.



圖八.



圖九.



### 伍、研究結果（圖表部分 $\Delta X_{\max}$ 與 $a_{\max}$ 分別簡寫為 $\Delta X$ 與 $a$ ）：

#### 一、數據校準：

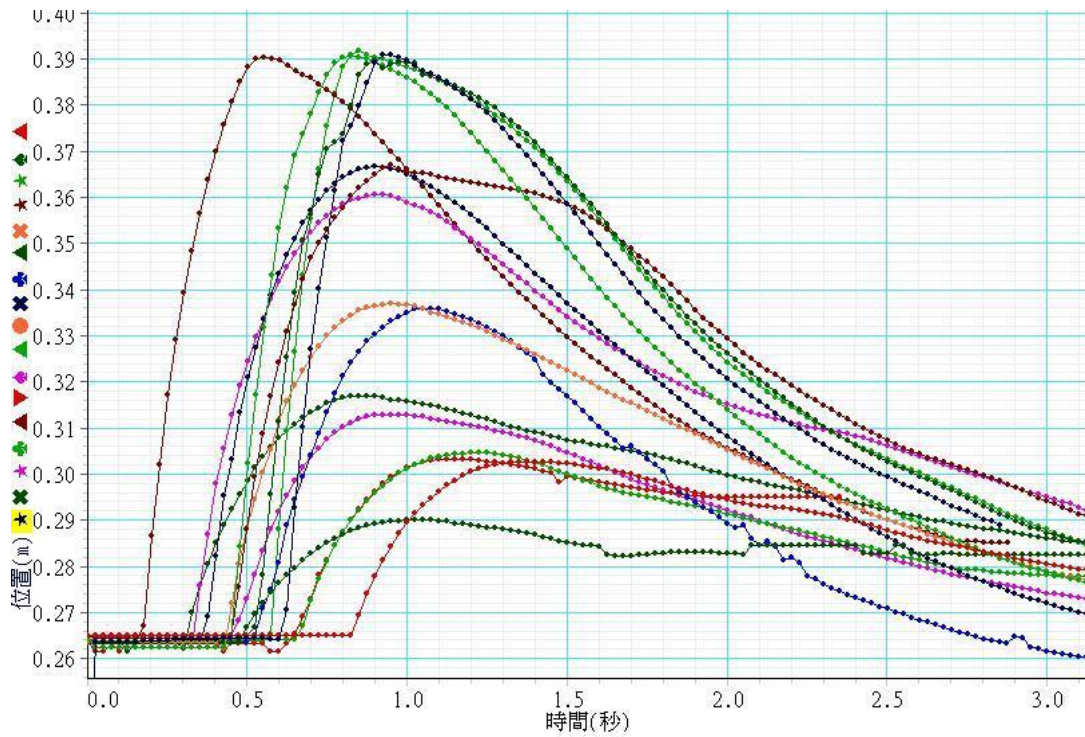


圖 a

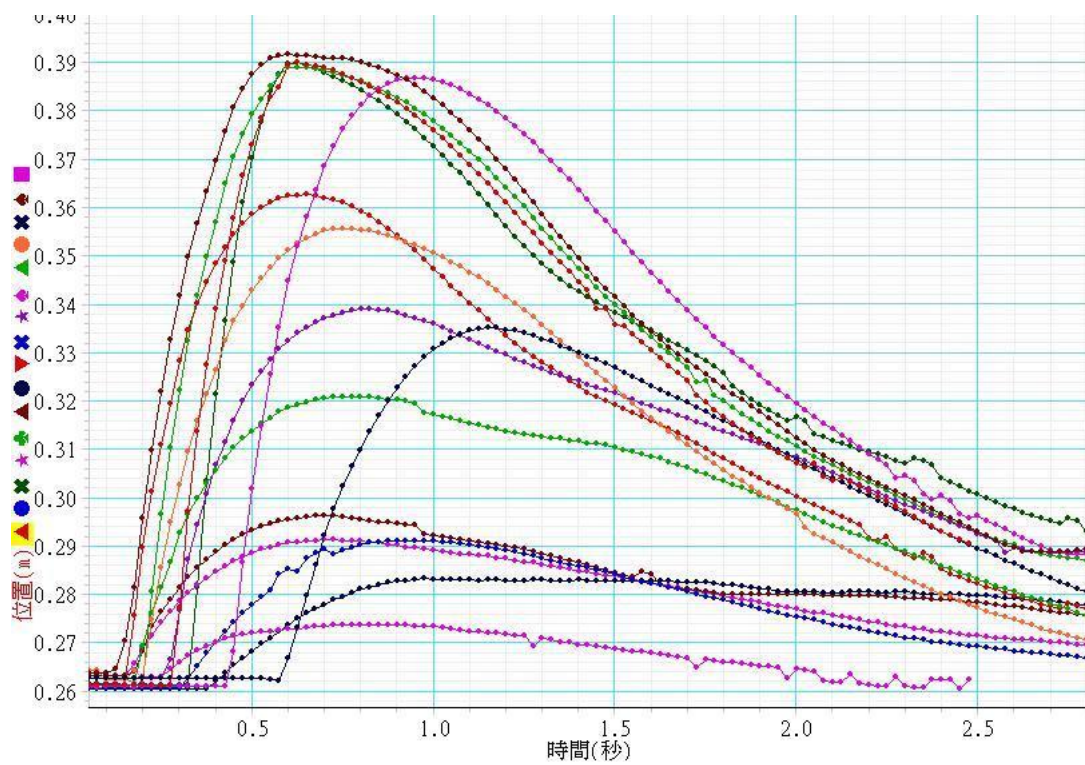


圖 b

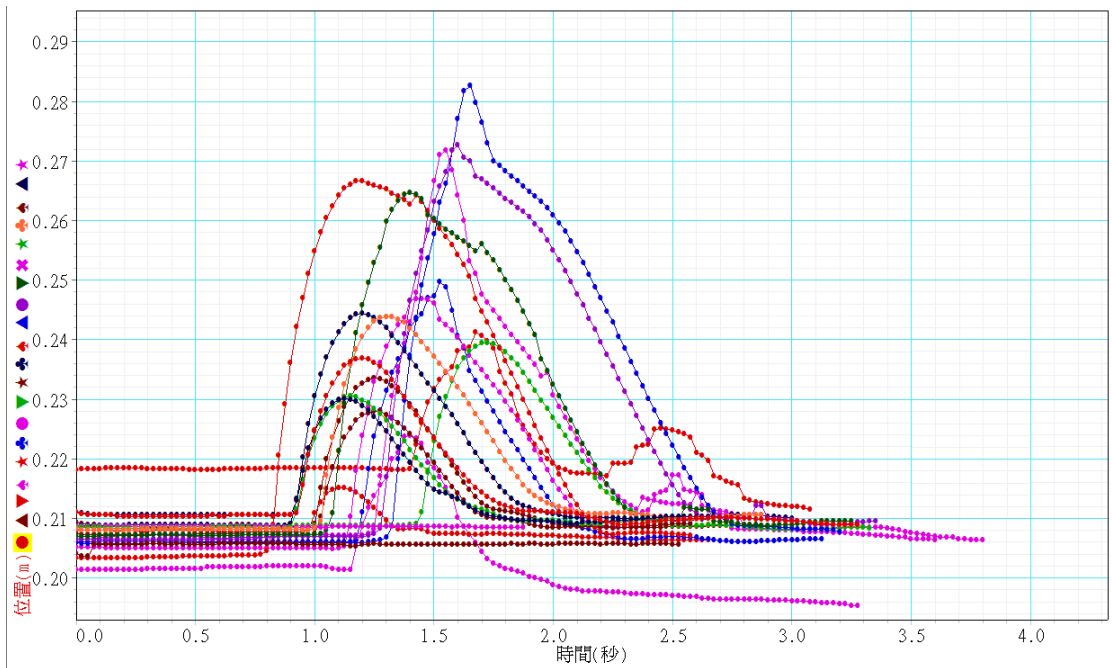


圖 c (x-t 圖)

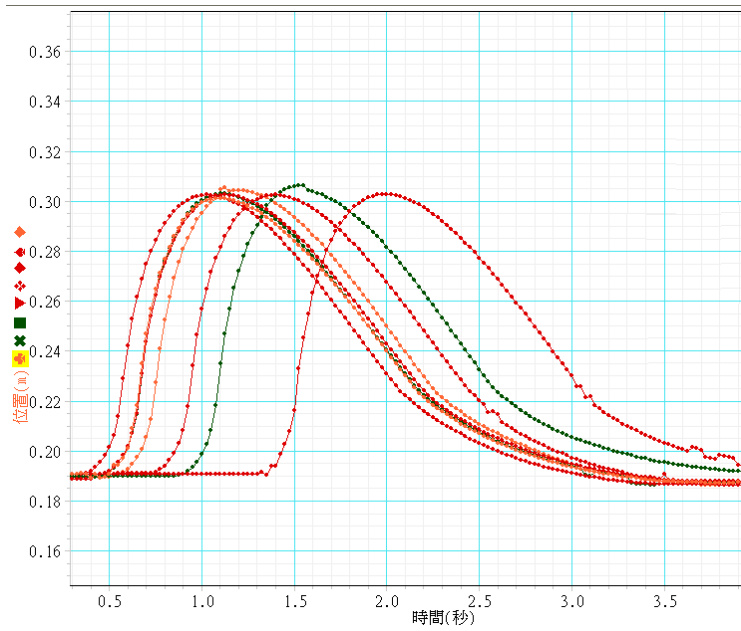


圖 d-1 (4.40A 的 x-t 圖)

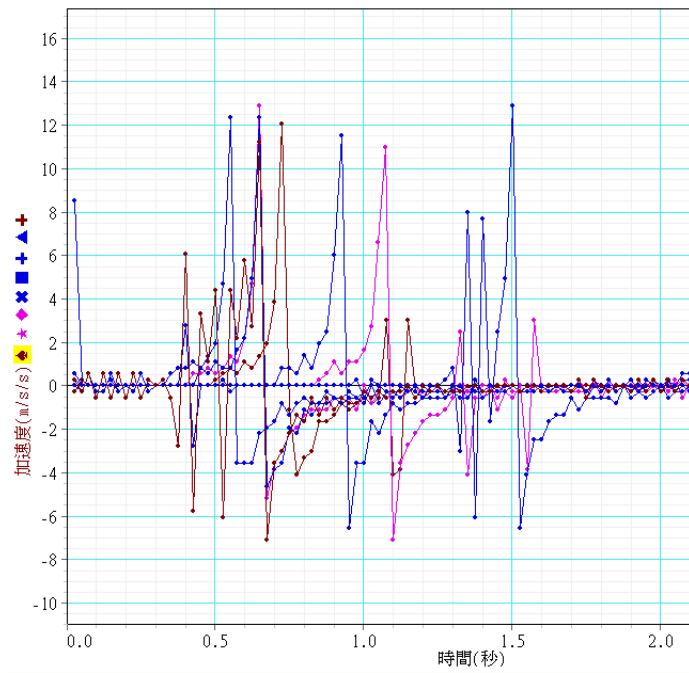


圖 d-2(a-t 圖)

	1	2	3	4	5
$\Delta x$ (cm)	11.58	11.62	11.36	11.38	11.18
$a(m/s^2)$	12.0631	10.9753	12.8806	12.8783	12.3325

6	7	8	平均	最大誤差
11.16	11.16	11.03	11.31	2.7409%
11.5065	12.3347	11.2322	12.0254	8.7315%

表 d (精密度取到 mm)

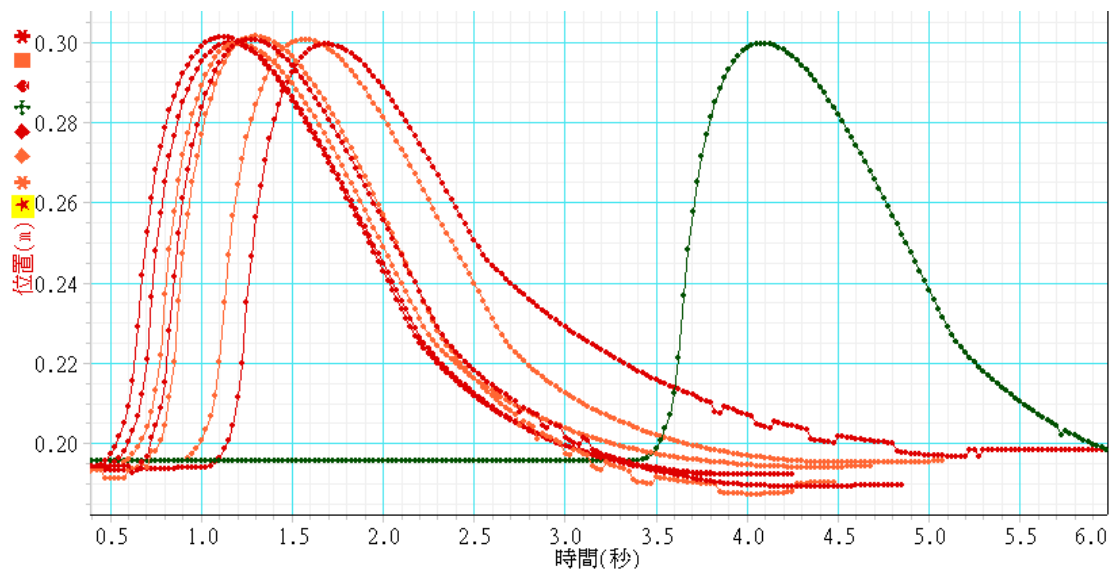


圖 e (3.55A)

	1	2	3	4	5
$\Delta x$ (cm)	10.82	10.51	10.63	10.62	10.4
$a(m/s^2)$	10.4144	10.9632	10.4225	10.6888	10.6875
	6	7	8	平均	最大誤差
	10.61	10.54	10.78	10.61	1.9793%
	10.4132	10.1401	10.9704	10.5875	4.2257%

表 e

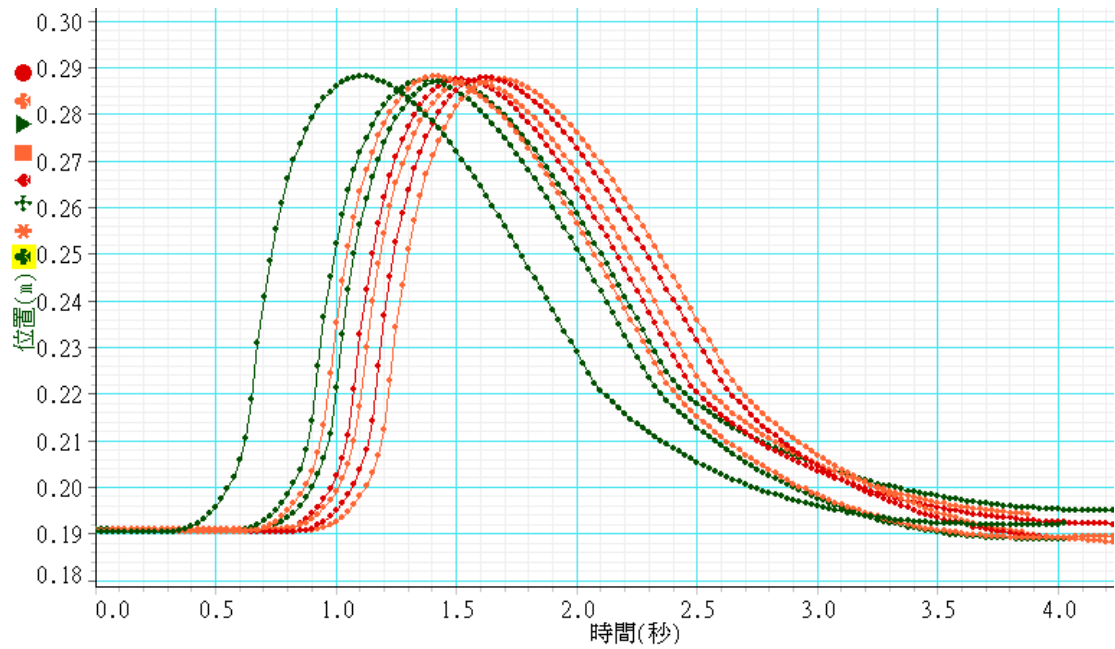


圖 f (2.85A)

	1	2	3	4	5
$\Delta x$ (cm)	9.77	9.77	9.70	9.74	9.60
$a(m/s^2)$	8.5059	5.7659	7.1363	7.411	7.9529
	6	7	8	平均	最大誤差
	9.65	9.70	9.74	9.71	1.1330%
	8.5044	7.9586	8.5044	7.9962	10.7538%

表 f

二、敏度測定：

截面積 (mm <sup>2</sup> )	13.53	7.31	5.73	2.55	1.65
$\Delta X$ (cm)	7.33	9.08	9.95	12.22	14.05
$a$ (m/s <sup>2</sup> )	6.2801	6.6189	7.0714	7.3272	7.5164

表 g (標尾粗細)

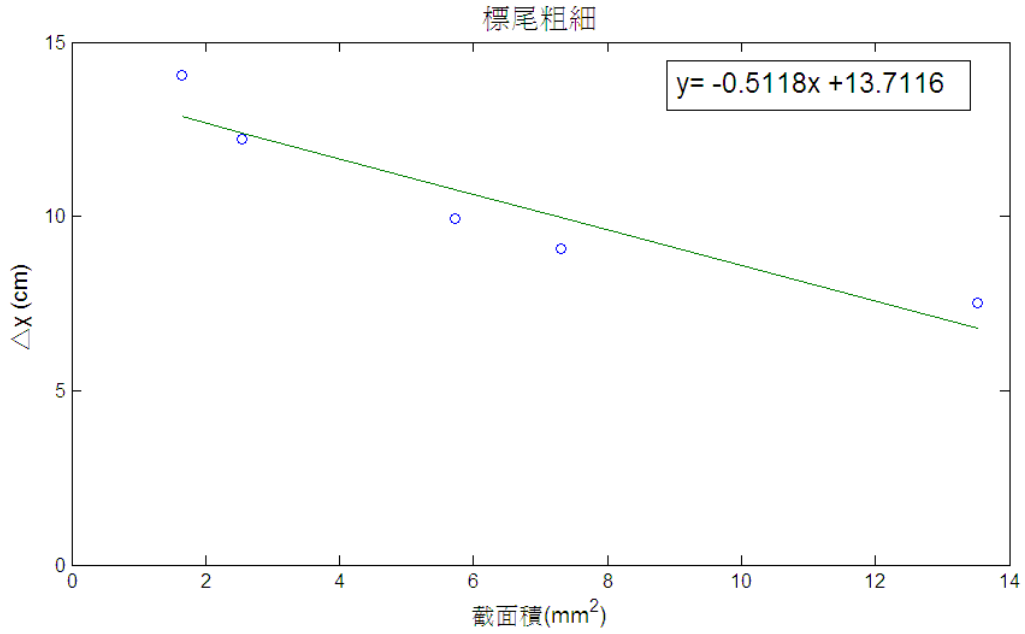


圖 g-1

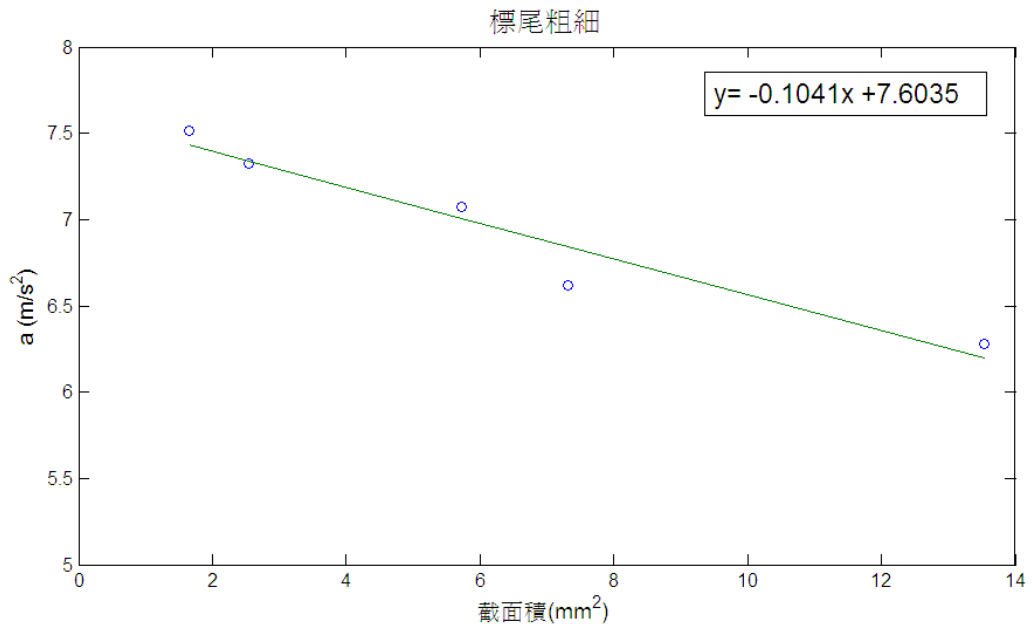


圖 g-2

截面積直徑(mm)	5.05	6.15	7.40	8.30	12.35
截面積(mm <sup>2</sup> )	20.03	29.71	43.01	54.11	119.79
$\Delta X$ (cm)	14.48	14.05	13.47	13.28	11.92
$a$ (m/s <sup>2</sup> )	7.6513	7.5164	7.6839	7.6868	7.5494

表 h(標身粗細)

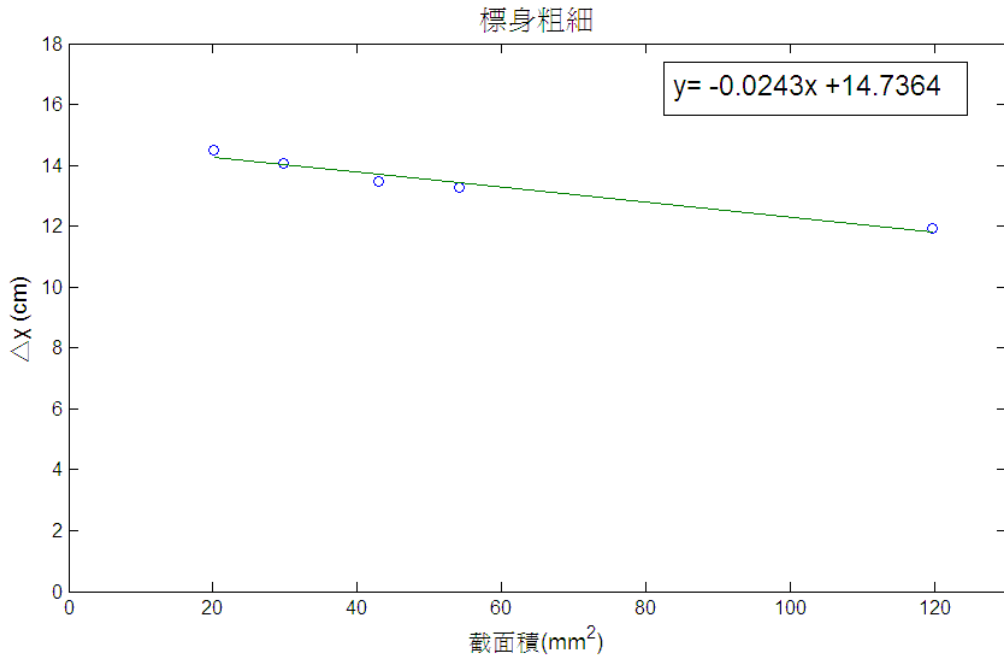


圖 h-1

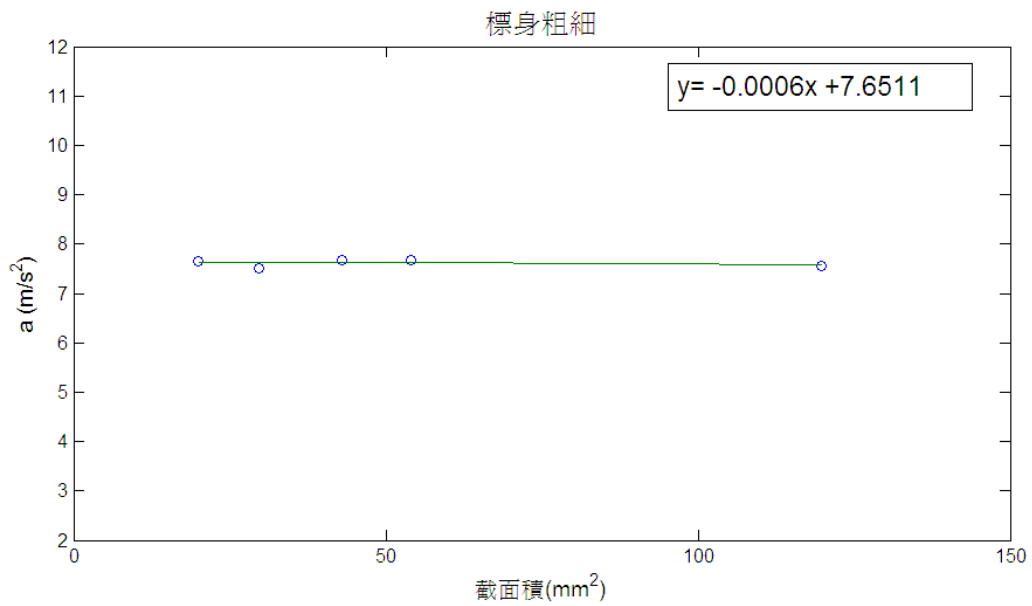


圖 h-2

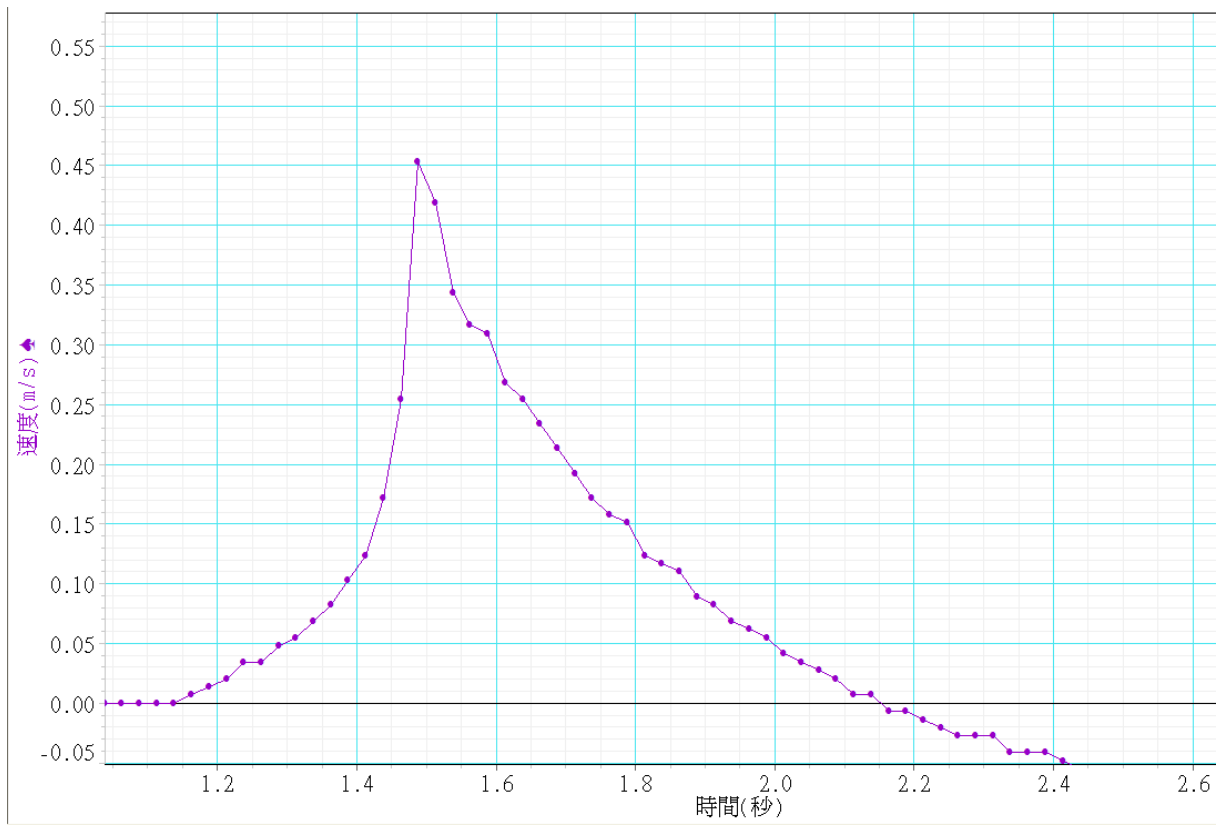


圖 h-3 (v-t 圖)



浮標 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.21	0.34	0.57	0.78	0.88
$\Delta X$ (cm)	11.92	13.28	13.47	14.05	14.48
$a$ (m/s <sup>2</sup> )	7.5494	7.6868	7.6839	7.5164	7.6513

表 i(標身密度)

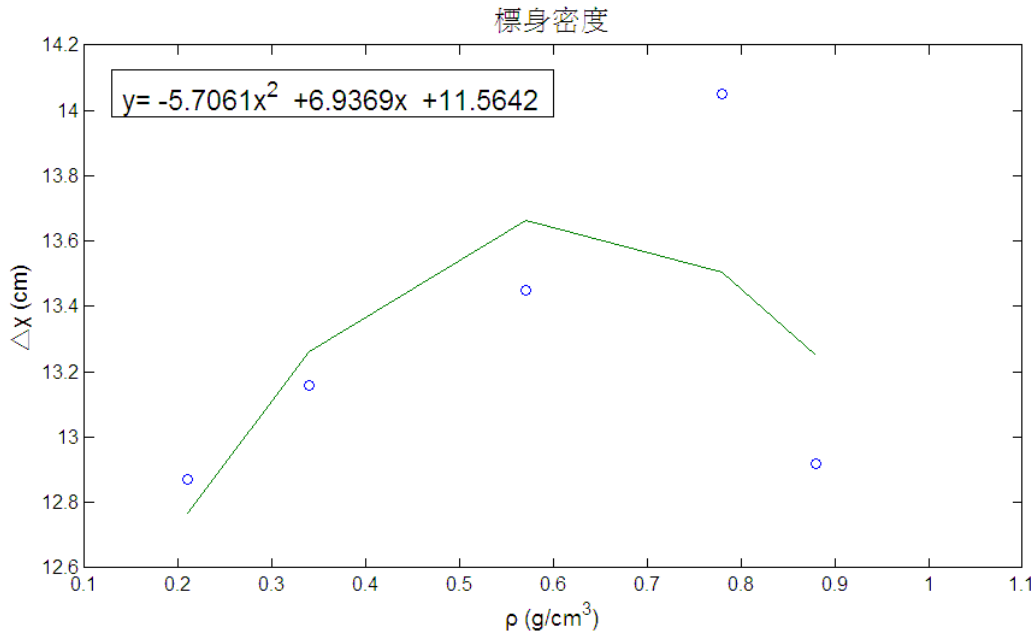


圖 i-1

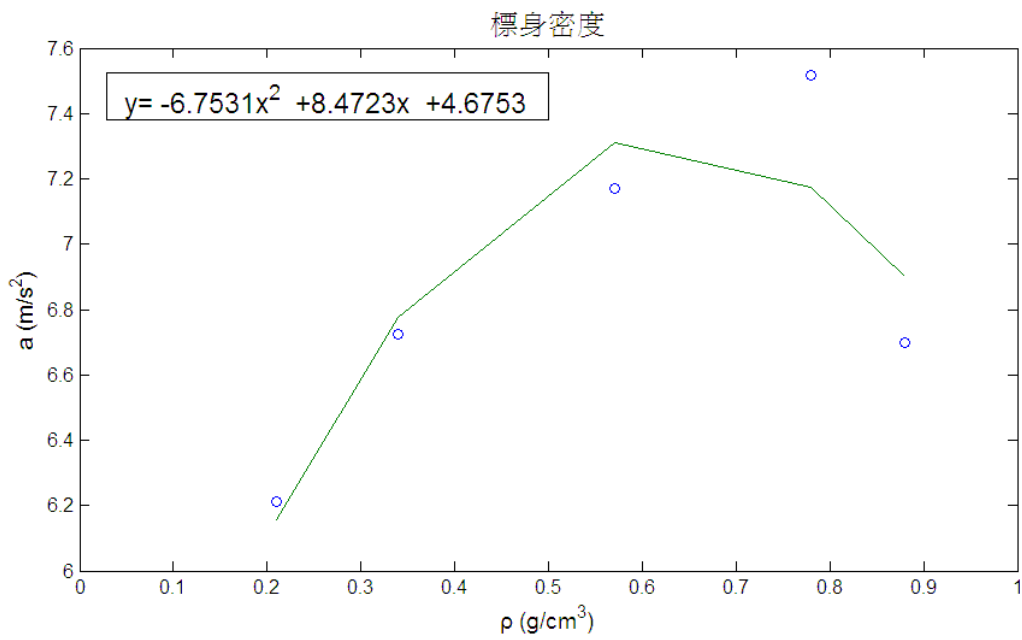


圖 i-2

重量 (g)	1.88	2.15	2.35
$\Delta X$ (cm)	11.92	13.28	13.47
$a(m/s^2)$	7.5494	7.6868	7.6839

表 j (鈞組質量)

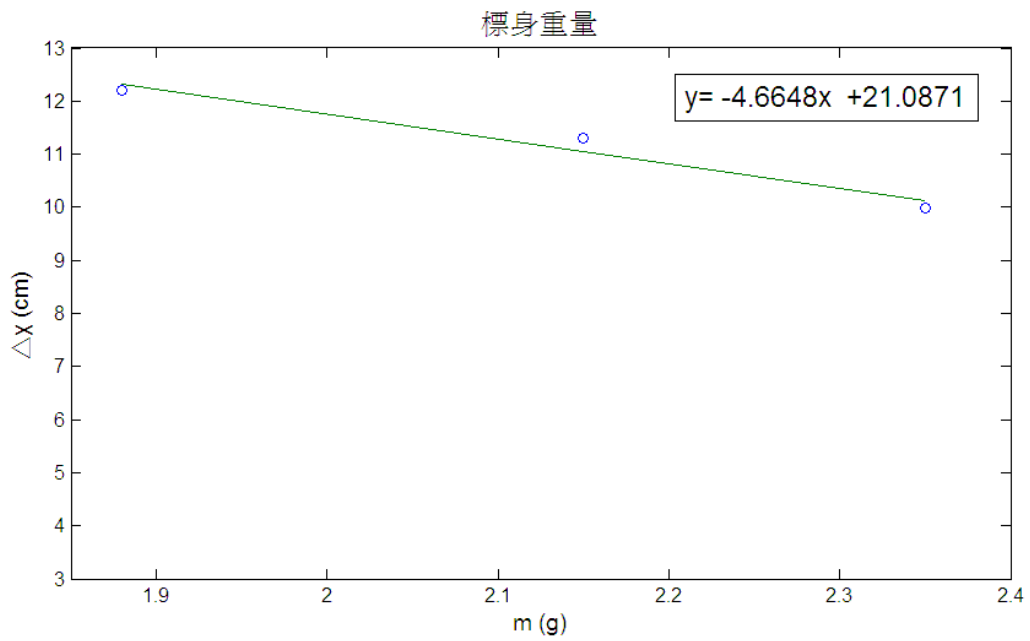


圖 j-1

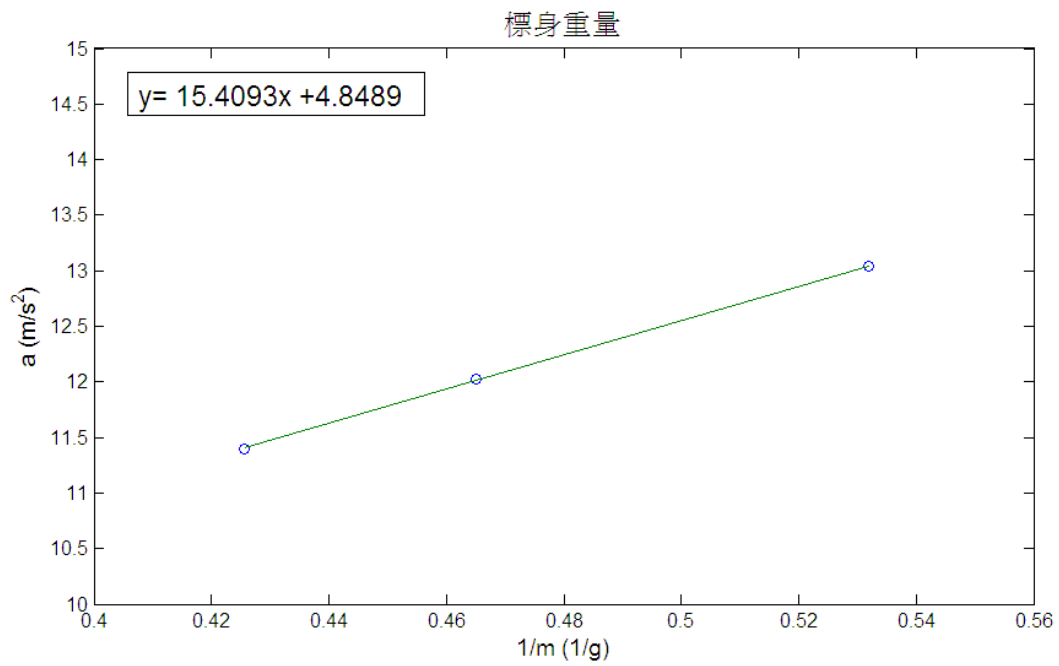


圖 j-2

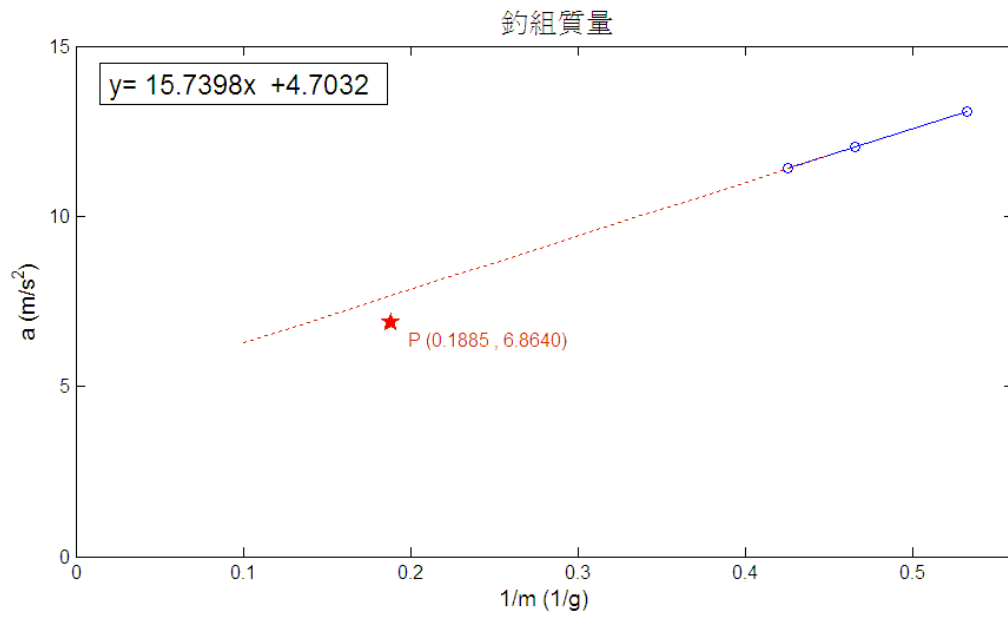


圖 j-3

三、 檢驗：

密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	0.4093	0.4883	0.5953
$\Delta X$ (cm)	11.31	12.52	13.39
$a$ (m/s <sup>2</sup> )	12.0254	12.8791	13.5063

表 k

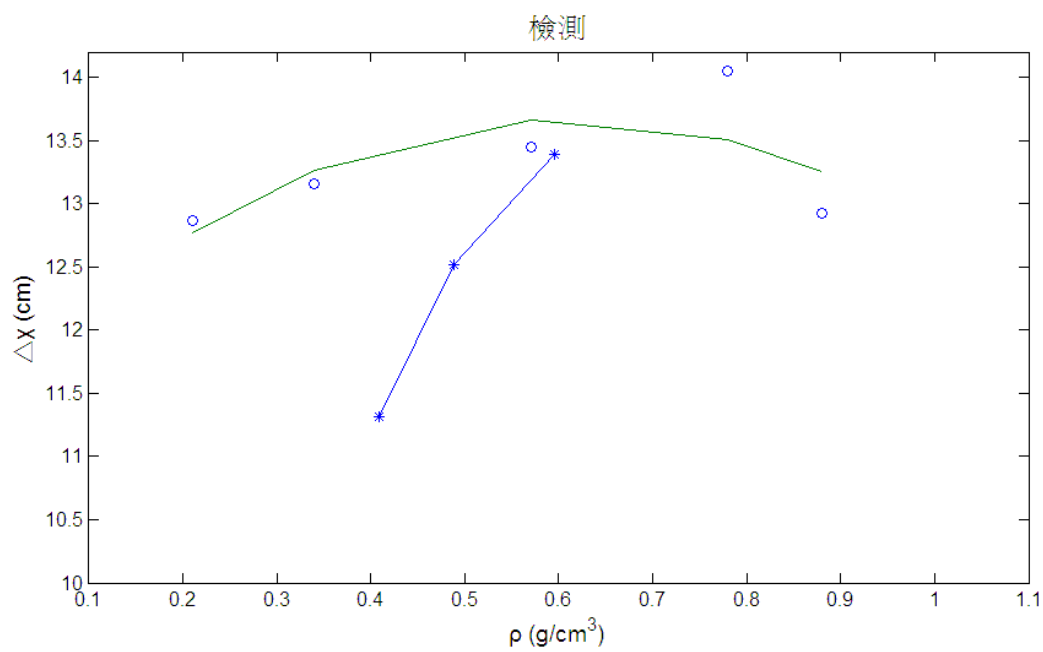


圖 k-1

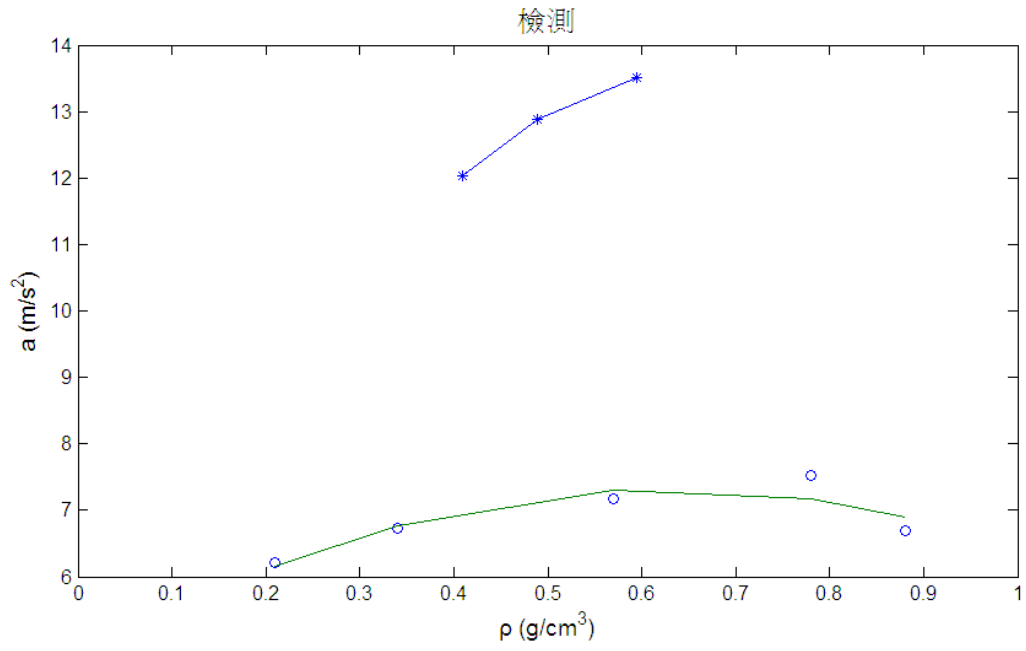


圖 k-2

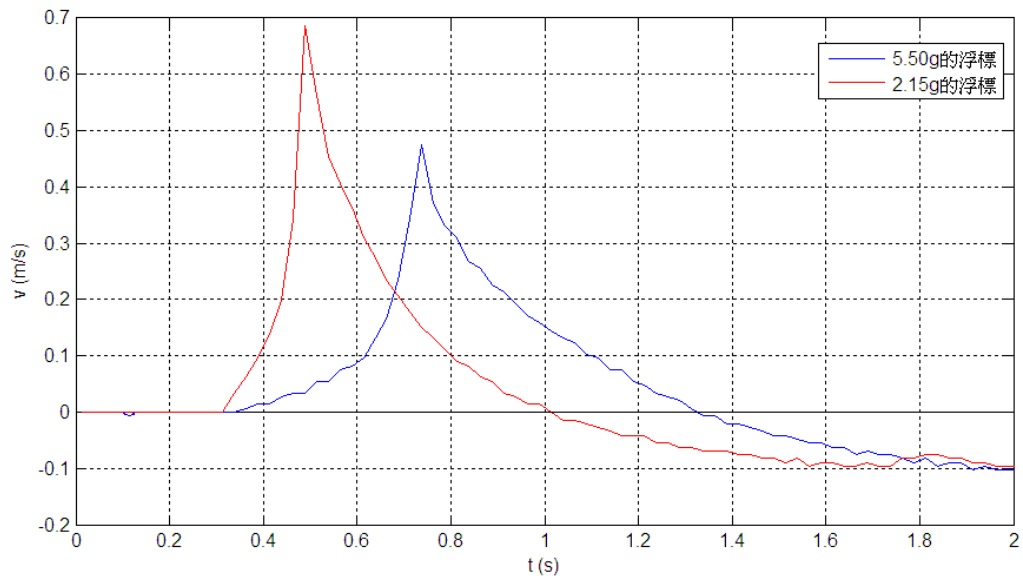


圖 k-3

## 陸、討論：

### 一、 數據校準部分

1. 圖 a 與圖 b 是數據校準時以固定鐵球高度來提供餌球「擾力」所測得的位置對時間的關係圖。很明顯地浮標下沈的 $\Delta X_{\max}$ 有著極大的落差，而且可以看出呈現區段分佈，從實驗的過程中，我們可以確定是注射筒筒壁摩擦不均所造成<sup>11</sup>，雖然知道科學實驗的誤差不外「系統誤差」與「偶然誤差」，後者來自實驗操作時人為或環境因素的不確定性，數據時而偏大、時而偏小，可以透過取多次數據求平均值來有效消弭到最小；前者來自於理論或儀器的限制，數據不是偏大就是偏小。本實驗的「系統誤差」無論是注射筒的摩擦效應、餌球吸附位置或是釣線方向控制桿的影響，較之於理想狀態（注射筒的摩擦小且均勻，餌球能正向吸附，正向衝擊）都將使得「擾力」的效果變小。似乎可以說明圖 a 與圖 b 中區段分布的最高 $\Delta X_{\max}$ 何以如此相近。我們雖然想以「系統誤差」來解釋此一現象，但不同區段間的「落差」如此之大，一經考量「誤差」的文義，雖然已經經過長時間的整備，還是不得不決定改變實驗的裝置與方法。
2. 由圖 c 可以看出浮標的 $\Delta X_{\max}$ 變異性極大，而無一定的秩序規則，主要是因為考慮到「釣組」的物理特性，不當包含餌球的重量，而將餌球故意設計到密度僅略大於 1，卻令實驗的進行在初平衡狀態時，形成餌球極不易定位的情形<sup>12</sup>，

<sup>11</sup> 某些角度特滑，某些角度就不順。稍許差異結果就有很大的不同，相當難操控。

<sup>12</sup> 終於知道就算是表面上不動的杯水，水分子事實上還是紛擾的。

再加上餌球以及電磁鐵會磁化又得消磁的問題<sup>13</sup>，使得數據不具信度。

3. 有了如此的經驗，我們再改動實驗裝置，並且不做消磁的動作，而令新式餌球（見肆、一.3）與電磁鐵都保持在一「磁力飽和」的狀態，此時雖然「釣組」的初平衡要考慮一磁力的作用，但一方面這磁力相較與通電流後的磁力極為微小，更重要的是我們的實驗目標是「釣組」受「擾力」後的效應，這初始的磁力應當不致於影響趨勢的判斷，而且能有效的幫助餌球定位。實驗結果如圖表 d，可以看到 $\Delta X_{\max}$  的值極為穩定，而  $a_{\max}$  則有稍大的誤差，這是因為所使用的運動感應器是先設定頻率（時間差）於測得位置後，換算速度再換算加速度，因著實驗起動條件與偵測頻率無法同步而造成  $a_{\max}$  的誤差較為明顯。為此我們以  $f=100$  次/秒、 $f=50$  次/秒、 $f=40$  次/秒以及  $f=25$  次/秒進行預測，原先以為將測量頻率加高（ $f=100$  次/秒）會有比較準確數據的想法是有問題的，反倒是  $f=40$  次/秒進行測量時，加速度的規律性最佳，所以採  $f=40$  次/秒進行實驗。
4. 為了進一步確認數據信度，改變不同電壓，再進行肆一.3 的步驟，而有圖表 e 與圖表 f。配合表 d 來看，可以發現在相同「擾力」下， $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  的測量值都頗為相近<sup>14</sup>，而不同「擾力」下確實呈現合理的趨勢，「擾力」小  $\Delta X_{\max}$ ， $a_{\max}$  都變小。至此確定如此實驗所取得的數據具一定信度以進行浮標敏度的測定。

## 二、 敏度測定

1. 當我們固定一切的物理量僅改變「標尾」的粗細時，實驗的結果如圖表 g， $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  對應於「標尾」粗細的變化趨勢函數分別為  $y_1 = -0.5118x + 13.7116$  以及  $y_2 = -0.1041x + 7.6035$ ， $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  都隨著「標尾」截面積的增加（變粗）而有明顯的下降趨勢，也就是說無論「視覺驚見」的「挫力」或是浮標位移量令意識強化來說，「標尾」較細皆有利於「作合」與否的判斷。這一點與釣場的口傳經驗基本上相吻合。就物理特性來考量，這五支浮標的變因是標尾粗細的變化，影響所及主要是浮標處於相同下沉量時，粗的標尾提供較大的浮力增加值 $\Delta B$ (向上)，使得在相同「釣組」質量以及相同「擾力」之下，有較小的加速度，而在連續時間的累積之下，得到較小的位移量。

這裡值得一提的是，在前置作業中，我們曾經以注射筒提供餌球「擾力」來進行這組實驗，獲得的結果是 $\Delta X_{\max}$  也是隨「標尾」的增粗而下降，但  $a_{\max}$  幾乎與「標尾」粗細無關，主要是因為以注射筒提供「擾力」的  $a_{\max}$  發生在「釣

<sup>13</sup> 磁化與消磁的量很難掌握。

<sup>14</sup>  $a_{\max}$  是由位置換算而得，所以相較之下位置（變化）的誤差大。

組」運動的初瞬間， $\Delta B$  尚未發生；而現今的實驗  $a_{\max}$  發生在餌球吸附於電磁鐵之時，已存在 $\Delta B$  的增量。這樣的對照從另一側面證實我們推論「標尾」粗細主要的影響在 $\Delta B$  的不同具有合理性。另外，以電磁鐵吸附餌球的過程更接近於實際垂釣時魚吸食餌料的狀態（特別是鯉科魚）。

2. 由圖表 h 可知，當我們保持「釣組」的配重，「標身」體積與「標尾」粗細不變，而改變「標身」直徑（觸水表面積會改變）時，發現當「標身」截面積增加為 5 倍時， $\Delta X_{\max}$  改變了 17.67%<sup>15</sup>，而  $a_{\max}$  無明顯的變化趨勢；如果我們改以線性變化的趨勢來處理， $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  對截面積函數的斜率分別為 -0.0243 以及 -0.0006，這與原先的預期，也是釣場裡的經驗並不完全相符，一般釣手的口傳經驗是浮標愈胖「魚訊」愈不明顯，而釣場中的「魚訊」主要是「挫<sup>ㄊ</sup>力」的「視覺驚見」<sup>16</sup>，在這裡我們卻看到 $\Delta X_{\max}$  隨著「標身」變胖而減少，但  $a_{\max}$ （挫力的「視覺驚見」）並無明顯的變化。一般釣手在口語傳達上會將加速度與位移混談，而說「標身」細則「挫<sup>ㄊ</sup>力」較明顯，容易判斷要不要「作合」。然而，從實驗數據可看出，「標身」較細時，浮標的下沈位移易達到較大量值，但加速度並不會有明顯的變化，也就是「挫<sup>ㄊ</sup>力」在視覺上沒有太大的不同，而是位移量大強化了釣手「作合」的意念，從這裡我們看出一般生活上的用語具有不精確的模糊特質。

至於為什麼有這樣的結果呢？浮在水面上的「標尾」是相同的，所以上文的 $\Delta B$  並不是主要的變因，這就不得不讓人考慮到「標身」的表面積會造成黏滯力的變化，當體積一定而截面積變大，阻力變大時；表面積將變小且黏滯力也變小，是否兩者變化的效應相抵消，則有待更精密的實驗來說明<sup>17</sup>。以本實驗所得的數據而言，不同粗細的「標身」在加速吸附的過程中（圖 h-3 約 1.14 至 1.485 秒間），阻力與黏滯力的效應約略相抵消，使得  $a_{\max}$  在不同粗細下沒有太大變化；但在達到最大速度（吸附）之後依原有動勢而持續下沈的減速過程（約在圖 h-3 的 1.485~2.150 秒間）阻力的效應略勝一籌，使得較粗（表面積

---

<sup>15</sup> | 11.92-14.48 | ÷14.48×100%

<sup>16</sup> 在實際垂釣時經常遇到浮標被魚緩和的拉下一段不小的距離，卻「作合」失敗，好的「魚訊」是有明顯的「挫<sup>ㄊ</sup>力」搭配明確「爽利」的「位移」。

<sup>17</sup> 本實驗裡，我們謹守物理學的要求針對變因的操控來討論，在此是「標身」體積一定，改變截面積之下的結果。然而，在池釣場中的浮標一般說來截面積較大的時候，長度並沒有太大的差別，此時「配鉛」的重量勢必得增加，在相同的魚擾之下將會造成加速度與位移的改變。更重要的是會改變魚吃餌時的「口感」而使得「吃餌」的意願降低，這對垂釣而言是生物性的變因，不在此討論。



小)的浮標 $\Delta X_{\max}$ 變小。

3. 再來我們固定了所有外觀條件而將「配鉛」與「標重」作不同的配置，在初平衡時依  $F=ma$  及浮力原理，可換算出「標身」密度，再討論「標身」密度對 $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  的影響，由圖表 i 的趨勢可以看出無論是 $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  對「標身」密度之間都形成一個變曲走勢，而不是漸大或漸小，所以我們將這趨勢以電腦換算成函數關係，表現出浮標 $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  對「標身」密度的函數關係分別為  $y_1 = -5.7061x^2 + 6.9369x + 11.5642$  以及  $y_2 = -6.7531x^2 + 8.4723x + 4.6753$ ，再微分，分別得到  $y_1' = -11.4122x + 6.9369$  以及  $y_2' = -13.5062x + 8.4723$ ，令  $y_1' = 0$  則  $x = 0.6078$ ，令  $y_2' = 0$  則  $x = 0.6273$ ，也就是在只考慮「標身」密度時，當「標身」密度為 0.6078 與 0.6273 時分別能獲致最大的 $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  的效果。如此我們可以得知雖然釣界的經驗是「配鉛」愈輕，亦即以較高密度的材料來製作浮標較為靈敏，然而從純物理的角度來看並非必然。會有如此的結果，主要的因素應該是餌球能量經「配鉛」再傳到浮標時，物體間能量轉移的比例，受到質量比例以及釣線彈性的影響。

上述有關「標身」密度對 $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  (即「魚訊」) 影響的討論方式，應該是有效的方法，但礙於我們浮標製作的數目太少，數據取樣不足，可能會造成實驗結果與事實間的落差，但其變化趨勢是存在。如果時間許可，應該盡量增加浮標的數量，將「標身」密度作細分，將使得函數與事實間有著較佳的貼合關係。

4. 在市售浮標一組三支(圖八.)的實驗中由圖表 j 可看出當「釣組」的質量愈大(「標身」的排水體積愈大)， $a_{\max}$  的值將變小( $\Delta X_{\max}$  也變小)。圖 j-1 是 $\Delta X_{\max}$  對「釣組」質量的關係圖。圖 j-2 是  $a_{\max}$  對「釣組」質量倒數的關係圖，如此作圖主要是因為  $F=ma$ ，今日「擾力」表面上是固定的，但這「擾力」並不是施於單一剛體之上(見上一點討論)而且  $a_{\max}$  發生時已不只是「擾力」的作用，還得考慮 $\Delta B$  (上文) 及阻力，黏滯力等作用。所以函數圖的延伸線並未通過原點是合理現象。

在這裡我們注意到三組自製浮標的(表 g、h、j)的  $a_{\max}$  雖然因為各組中有著各自的變因而造成  $a_{\max}$  的變動，但當以電流 4.40A 來提供固定「擾力」時  $a_{\max}$  都在 6.2000~7.7000 ( $m/s^2$ ) 之間，但市售浮標的  $a_{\max}$  (表 j、k) 則達到 11.4000~13.6000 ( $m/s^2$ ) 間，主要原因在「釣組」質量不同，圖 j-3 是將表 i

(密度變因)的  $a_{max}$  與  $m^{18}$  的「倒數」設定為點  $p(a_{max}, 1/m)$  置入圖 j-2 中，並將原 j-2 的函數延伸，我們將發現  $p$  點在函數延伸線下方，但基本上還在趨勢線的合理指向上，明顯看出浮標  $a_{max}$  主要是受到「釣組」質量的牽動。另外， $p$  點在趨勢線下方的因素至少有：標尾較粗、外形較不具流線以及塗裝表漆黏滯力較大三點。由此  $a_{max}$  對  $1/m$  的關係圖，可知浮標「挫力」的「視覺驚見」還是受制於「釣組」的質量。

### 三、 檢測

如圖表 k 所表現的，在市售浮標尋雲 2 號的「標身」外加鉛片而改變密度時，雖然阻力與黏滯力皆有些許的增加，但  $\Delta X_{max}$  與  $a_{max}$  依然隨著「標身」密度的增加而上升。如此，我們注意到市售尋雲 2 號的「標身」密度(平均值)是  $0.41 (g/cm^3)$ ，而第一次與第二次加附鉛片後密度分別為  $0.49 (g/cm^3)$  與  $0.60 (g/cm^3)$ 。我們將  $\Delta X_{max}$  與  $a_{max}$  對應於「標身」密度的函數值分別置入圖 i-1 與圖 i-2 中而得圖 k-1 與 k-2，可知確實在「標身」密度由  $0.41 (g/cm^3)$  向  $0.60 (g/cm^3)$  提升的過程中， $\Delta X_{max}$  與  $a_{max}$  都隨之增大，基本趨勢與陸、二.3 (即圖 i-1 與 i-2) 的結果相吻合，而且增加率更大，也就是當「釣組」質量愈小時「標身」密度對靈敏度的影響更為明顯。另外，在相同「標身」密度之下，「釣組」質量小， $a_{max}$  較大，已在前文討論；但圖 k-1 呈現出當「釣組」質量小 ( $a_{max}$  大) 時  $\Delta X_{max}$  有較小的位移量，與一般的認知不同。圖 k-3 的藍、紅線，分別為丑標 (密度組之一，質量 5.50g) 與尋雲 2 號標 (質量 2.15g) 的 v-t 圖 (最大速度之前是加速吸附，之後是「釣組」依動勢下沈的歷程，請參看電子檔的動畫過程) 可以看出無論是前半吸附或後半動勢下沈的歷程，「釣組」質量大的浮標加速度大小皆較為緩和，而使得下沈的總時間較長 (0.975 秒與 0.700 秒) 如此，則雖然「釣組」質量大的浮標在  $a_{max}$  的表現上較差，卻有機會得到不錯的  $\Delta X_{max}$  的效果。由此我們看到市售浮標一般常見材料有：

名稱	高粱桿	蘆葦桿	硬質保麗龍	巴爾薩木	孔雀尾
$\rho (g/cm^3)$	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11

(如圖九.)

浮標製作的習慣是將上述材料作成流線水滴形，之後於下方加上密度相當

<sup>18</sup> 理論上每支質量應相同，但手工製作有些差異，見肆、二.3 處的表。今之  $a_{max}$  與  $m$  皆為整組五支浮標的平均值。

大的碳纖維<sup>19</sup>，此舉會使得標身的密度上升，如尋雲 1、2、3 號的「標身」密度分別為 0.46 (g/cm<sup>3</sup>)、0.41 (g/cm<sup>3</sup>)、0.39 (g/cm<sup>3</sup>)<sup>20</sup>。依據我們實驗結果所示如果要增加浮標敏感度<sup>21</sup>，市售材料應當要適切地提升密度，使得「標身」密度達到 0.60 (g/cm<sup>3</sup>) ~ 0.65 (g/cm<sup>3</sup>) 之間。也就是說，目前所採用的材料密度都偏小，而無法在相同排水體積（亦即「釣組」重）、外形、標尾、塗裝材料<sup>22</sup>的基礎下達到最高敏感度的要求<sup>23</sup>。

#### 四、 回顧與前瞻

1. 實驗的進行有著時間、空間、器材、儀器等等，甚至是金錢上的限制。我們已經在有限的條件下，儘可能有效而準確地掌握整個實驗的走向與流程，其中有著不少思維上、設計上、器材裝置上的轉折，依著實驗進程不同的體會而逐步修訂，但依然存在一些待改進的部分。首先，池魚在一般狀態下是側向吸食餌料，則原來肆、一.2（即圖三、乙區）的實驗裝置將更接近池釣情況，但必須解決餌球定位困難的問題。其二，因著早期實驗（圖三、甲、乙區）所得數據信度不足，在用圖三、丙區的裝置進行實驗時，提供了較大的「擾力」<sup>24</sup>，但實際進行時 $\Delta X_{max}$ 的數據重合性出乎預期的好<sup>25</sup>，在此條件之下，應當考慮減少餌球吸附前的加速距離（3.00cm）並減低「擾力」值（電流）來進行實驗，相信更能貼近實際垂釣的狀態。其三，浮標的製作雖不易，但每一組實驗的數據樣本若能增加，則實驗結果將更具意義。
2. 其他的像電源供應器與線圈的發熱、餌球磁化問題等都有些許的影響，但都能有效控制不至於造成太大的困擾。另外運動感應器以及軟體雖是科技產品但作為測量工具的使用也存在必然性的限制，在實測的進行中依然得經摸索而後決定其適切的操作程序。
3. 「標身」外形與塗裝表漆（特別是「標尾」）也是釣手關注的條件，但除了時間有限之外，實驗裝置以及測量儀器的精密度等客觀條件限制之下，暫時不嘗試測量。

<sup>19</sup> 浮標的重心會趨於下方。

<sup>20</sup> 碳纖維幾乎一樣大，水滴形體積大，平均密度自然較小。

<sup>21</sup> 並不是所有的釣況都是敏感度大為佳，如有太多小幼魚干擾時，敏感度不宜過大。但在魚食慾（術語：就餌）狀況不佳時，則需要靈敏度極佳的浮標。

<sup>22</sup> 將影響到黏滯力。

<sup>23</sup> 實際垂釣時「拋點」也是個重要因素，若將「標身」密度提高而其他條件固定，則「配鉛」相對變輕，將使得「拋點」的不確定性增加，特別是在有風的日子增加垂釣的困難。但這不在本實驗的關心之內。

<sup>24</sup> 因為怕 $\Delta X_{max}$ 及 $a_{max}$ 的誤差比例太大。

<sup>25</sup> 只要不卡線或碰壁、數值、穩定度超乎原先的預期太多（原先對電源供應器也不太敢信任，但是後來表現可圈可點）。

## 柒、結論：

- 一、「標尾」愈細（其他條件固定），無論是 $\Delta X_{\max}$  或  $a_{\max}$  皆變大，亦即浮標敏度較佳與釣場經驗相符。
- 二、標身粗細的變化，在相同「配鉛」、相同體積的條件下，對於  $a_{\max}$  沒有明顯的影響，但 $\Delta X_{\max}$  則隨著「標身」變粗而下降。與釣界經驗相同，但存在語言描述上的誤差。
- 三、以不同密度的材料來製作浮標時，當密度為  $0.63\text{g/cm}^3$  時加速度（挫力）的效果較佳，而密度為  $0.61\text{g/m}^3$  時位移量較明顯。針對儘量增大靈敏度的要求而言，市售浮標所採用的材料密度太小，可以改採密度較大的材質製作浮標。
- 四、「標身」的排水體積（即「釣組」質量）增大時，在相同的「擾力」之下， $\Delta X_{\max}$  與  $a_{\max}$  都將下降，且「釣組」質量愈小，「標身」密度的影響愈顯著。
- 五、當初想要做科展的原因只是不想讓高中生活太無趣，但是從準備中發現和當初的想法完全不一樣。原本以為做科展是一件輕鬆又愉快的事，事實不然，從一開始的構想到實驗驗證再到數據整理與討論都要非常的嚴謹，整個過程兼具趣味與挑戰，並在工作中找到樂趣，但也花費相當多的時間。但這一切都有回饋，我們學習到一般學校課程無法學到的經驗、體會到科學所需的嚴謹度，也學到如何以正確的態度來做學問，獲益匪淺！

## 捌、參考書目：

李嘉聲（85 年）。水庫野塘釣入門· 出版地點：戶外生活圖書股份有限公司

李嘉聲（87 年）。池釣釣技秘訣· 出版地點：戶外生活圖書股份有限公司

洪維恩（96 年）。Matlab7 程式設計· 出版地點：旗標出版股份有限公司

東北師大（93 年）。解題題典叢書——高中物理實驗解題題典（四版）· 出版地點：臺灣高等教育出版社

Harris · Benson(1991) . University Phsyics. Location:John Willey & Sons, Inc.

**【評語】** 040115

本作品設計一磁力撞擊裝置來模擬魚吃餌的現象，在探討浮標結構較佳參數中，僅依據一數據點來作與直觀相異之結論。應在讀密度範圍區間再提供較多組數據，才能穩固所作之結論。