

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

第一名

080109

神緒魔力“渦”最行？！

學校名稱：彰化縣溪州鄉水尾國民小學

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 作者：<br><br>小六 鐘胤展<br><br>小四 鐘可恩<br><br>小五 鐘若欣 | 指導老師：<br><br>林碧珊<br><br>吳建儒 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：尾鰭配速、渦流、推力

## 得獎感言

### 化不可能為可能—全國科展驚奇之旅

雙腳發顫、腦袋發暈的站在全國科展舞台上拿著第一名的獎座，我們這三個來自彰化鄉下農村的小孩，居然真的可以在這場科學盛會中得到評審老師的最高肯定，這連作夢都沒想過的事情竟然發生了！

回顧近一年的研究過程，從自然課觀察水生動物，觸發我們對魚類的游動方式產生好奇，為了解開這個謎團，一連串的挑戰也接踵而來。在研究一開始，老師要我們畫心智圖，彼此腦力激盪，激發更多的創意與發想；透過變因的控制，裝置的設計，以科學的方式找出數據；在實驗過程中，遭遇許多挑戰與挫折，常為了設計一個新的裝置，就得耗費一兩個星期，甚至更多的時間來構思及製作，主要是因為我們得克服在水中進行實驗的關卡，幾乎可取得的儀器都不能放進水中測量，那要如何測出渦流產生的水流速度？如何測量水流對機械魚產生多大的前進推力？這些都曾是讓我們傷透腦筋的難題，透過搜尋資料、互相討論、嘗試不同材料製作，不斷的修正、檢討，就只為了找出最能準確測出數據的方式。從無到有的過程，回想起來，真的很辛苦，每個實驗都是花費大量的時間和心力才能產出，但也因為這樣，才能體會到這份作品的珍貴。

我們三位都是第一次科展比賽的新手，從參與縣賽開始，在比賽前總是抱著戰戰兢兢的心情，因為科展不僅僅只有做實驗，也需要透過口語表達，將我們的實驗內容傳達給聽眾了解，甚至要在短時間內能理解對方提出的問題，做出最正確的回應。在這方面的訓練，我們也是遭遇許多挫折，還懷疑自己真的有能力參加比賽嗎？但老師總是耐著性子，陪我們不斷的練習，我們也把握所有可以解說作品的機會，報告給許多沒聽過的師長和同學聽，增加實戰經驗，每一次的練習，都是在修正缺點和錯誤，也因為有這些經驗的累積，才能在比賽會場和評審老師們暢所欲言。

水尾國小只是一間全校學生數四十二人的偏鄉小校，但是我們有滿滿熱愛科學的心意，能奪得佳績，除了要感謝家人的支持，最要感謝老師，因為有您們的協助與指導，我們才能在國小生涯中親身參與這樣一個既縝密又有趣的科學實驗，並且能和各縣市的精英在科學殿堂上一較高下。但就像老師一直強調的，過程比結果還要重要，這段時間所經歷的點滴，都是未來學習路上的養分，只要能以堅持、正確的態度做正確的事，總會有發光發熱的一刻。



觀察機械魚在水中擺動尾鰭時產生的渦流



用自製裝置測量和紀錄，機械魚擺動尾鰭產生的前進推力



登 101 小天下---組員合照

## 摘要

本研究探討魚類擺動尾鰭，產生渦流與前進推力的關係。經測試與改良，製作能單純以尾鰭擺動前進的機械魚，並克服水中數據量測不易的困境，自製前進推力檢測裝置、水流流速偵測儀，也自製渦流製造機模擬魚體受力情況，希望找出尾鰭擺動造成加速的真相，結果如下：

- 一、魚以**配速**的方式擺動前進，**速差越大**，產生**推力越大**，前進**速度也越快**。
- 二、尾鰭擺動形成渦流作用於魚體，分為四個時期：**單一渦流產生期**、**成對渦流產生期**、**渦流相遇期**、**合流期**。
- 三、渦流相遇合流後，會產生強勁**噴流**，作用在尾鰭上**是主要推力來源**。
- 四、渦流重疊區越大，噴流強度越強，**產生位置隨重疊區變小而往後移動**。
- 五、噴流與尾鰭垂直方向**夾角呈 35 度**，有助魚體前進。

## 壹、研究動機

在自然課水生動物的單元裡，我學到不同魚鰭的構造具有各自的功能，其中魚的尾鰭主要功能是推動魚體前進，在仔細的觀察魚鰭擺動後，發現原地游動時，魚的胸鰭和尾鰭會輕輕擺動，但遇到危險要快速前進時，身體後段至尾鰭處會做瞬間擺動，接著便能讓身體快速前進，這讓我感到好奇，**這個瞬間的推力是怎麼產生的呢？單純是橫向擺動造成的反作用力，還是周遭的水流也扮演了關鍵的角色呢？**在求知欲驅使之下，我和學長姐組成團隊，在老師的協助下，開始進行一連串的探究之旅。

作品與教材相關性：

康軒版 自然與生活科技領域 四上 第二單元 水生家族

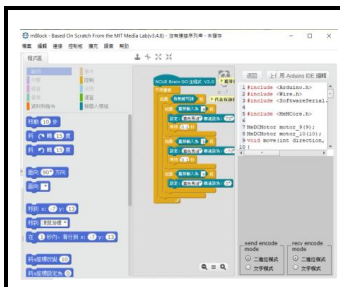
南一版 自然與生活科技領域 六下 第一單元 巧妙的施力工具

## 貳、研究目的

- 一、製作能單純運用尾鰭游動的機械魚
- 二、找出尾鰭不同速度擺動時所需的時間
- 三、觀察機械魚擺動尾鰭時水流變化的情形
- 四、探討尾鰭擺動時產生最大前進推力的配速模式
- 五、探討兩個渦流交會時水流速度的變化
- 六、探討噴流角度對機械魚前進推力的影響

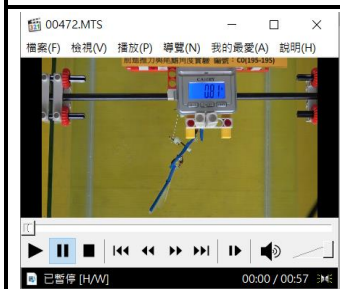
## 參、研究設備及器材

- 一、器材：水族箱(長 30cm、寬 18cm、高 20cm)、水族箱(長 120cm、寬 30cm、高 35cm)、積木、Brain Go 電路板、USB 傳輸線、USB 變壓器(5V—3A)、電子秤、碼表、游標尺、轉速計、剝線鉗、老虎鉗、鑷子、剪刀、尺、刻磨機、焊錫、熱熔槍、手機、平板
- 二、材料：發泡球、保麗龍、鐵絲、鈎環、壓克力板、乒乓球、螺絲、螺絲帽、彈簧、雙排孔鐵片、塑膠連桿
- 三、軟體：



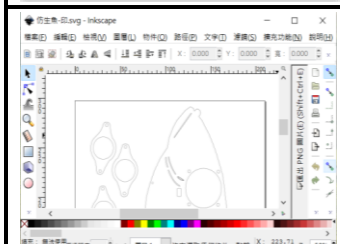
### m block

是一款圖形化程式軟體，支援 Arduino 的程式編輯，使用時可以拖曳圖形方塊來進程式編輯，在本實驗中利用這套軟體來編寫馬達運轉的速度、時間及方向。



### Media Player Classica

利用此軟體播放錄製電子秤數據的影片，因電子秤數字變化快，使用「慢速播放」功能來記錄數據，也可直接儲存擷取畫面，儲存成圖片檔。



### Inkscape

是一款向量繪圖軟體，我們利用此軟體繪製機械魚外型線條，輸出 SVG 檔，作為雷射切割使用。

## 肆、研究方法、結果與討論

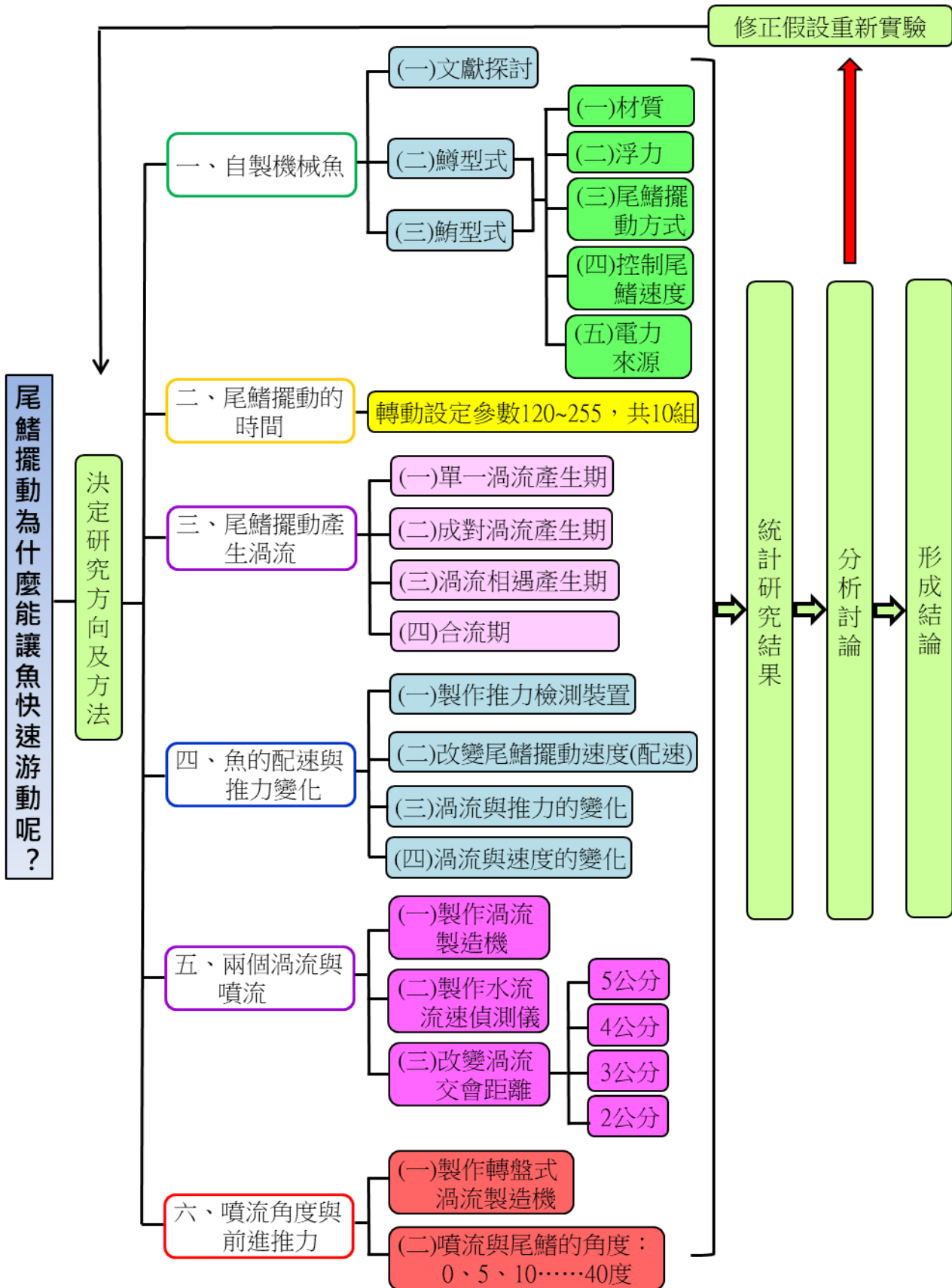


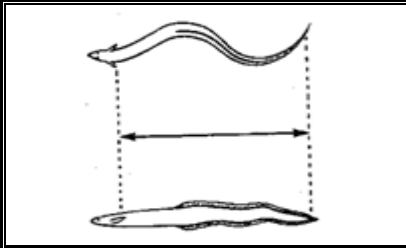
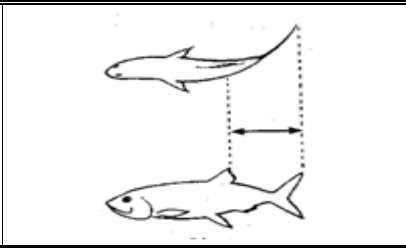
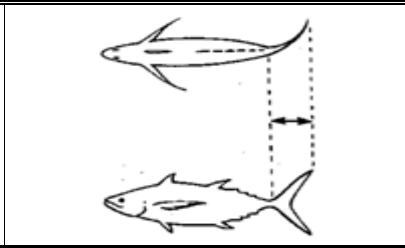
圖 1：實驗架構圖

## 實驗一、製作能單純運用尾鰭游動的機械魚

### (一)文獻探討：魚類的游動方式

一般我們所見的魚類游泳方式都是以擺動尾鰭為主要推進方式，並以其他的鰭作為輔助推力及操控方向。魚類擺尾的方式可依身體擺動範圍分為三類：

表 1：魚類擺尾的類型

|   |  |   |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 鰻行式 (anguilliform)<br>如：鰻魚、水蛇等  | 鱒行式 (carangiform)<br>如：鱒魚、鱸魚、鯡魚等   | 鮪行式 (thunniform)<br>如：鮪魚、鯖魚、馬林魚等  |
| 全身皆會擺動，身體擺動如同波浪狀，魚頭會隨著擺動改變方向。   | 約身體後三分之一的部分作擺尾，魚頭朝前，方向筆直。  | 只有尾鰭擺動，魚頭朝前，方向筆直，速度最快。  |

本實驗主要是探討尾鰭擺動與渦流的關係，上述三種類型中我們想以鱒行式或鮪行式來設計裝置，因為鰻行式的魚類尾鰭退化，主要是靠身體扭動來前進，我們希望可以用生活中容易取得的工具和材料，設計出靠尾鰭擺動就能前進的機械魚。

### (二)設定尾鰭擺動速度及電壓控制

「設定尾鰭擺動速度」及「製造穩定的電壓」是這兩類機械魚共同需要解決的問題，我們先一起做敘述：

#### 1.設定尾鰭擺動速度

為了準確掌握機械魚尾鰭的擺動速度及時間，我們利用資訊課學的 m block 撰寫程式，透過 Brain Go 電路板，控制馬達的轉速、運轉時間和方向。而馬達轉速是以電路板能輸出的電力範圍(0~255)來做設定，當數值越大代表轉速越快，在實驗中，我們將此速值定義為轉速設定參數。



圖 2：以 m block 撰寫控制馬達的程式



圖 3：Brain Go 電路板

## 2. 製造穩定的電壓

最初實驗的電力來源是使用可充電的鋰電池，但隨著電力的消耗，馬達運轉會變慢，考量此因素會影響實驗數據，因此，我們到電子材料行請教老闆，如何才能有**穩定的電源**，老闆說電路板需要 5V 的電力才能驅動，推薦我們使用 **USB 變壓器(5V-3A)**，使用變壓器後馬達運作穩定，但也因此多了**必須連接電線**的限制。

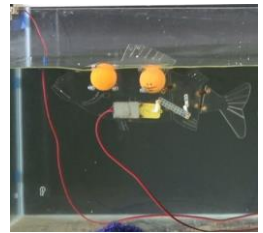


圖 4：機械魚必須連接電線

### (三) 鮪行一號機械魚製作 (原型魚種--鯖魚)

鮪行式游動的魚體，只有尾鰭擺動，魚頭朝前快速前進，因此我們設計的概念是將機械魚分成兩部分，一為魚首和魚身為前段，另一為尾鰭。



圖 5：鯖魚的外觀

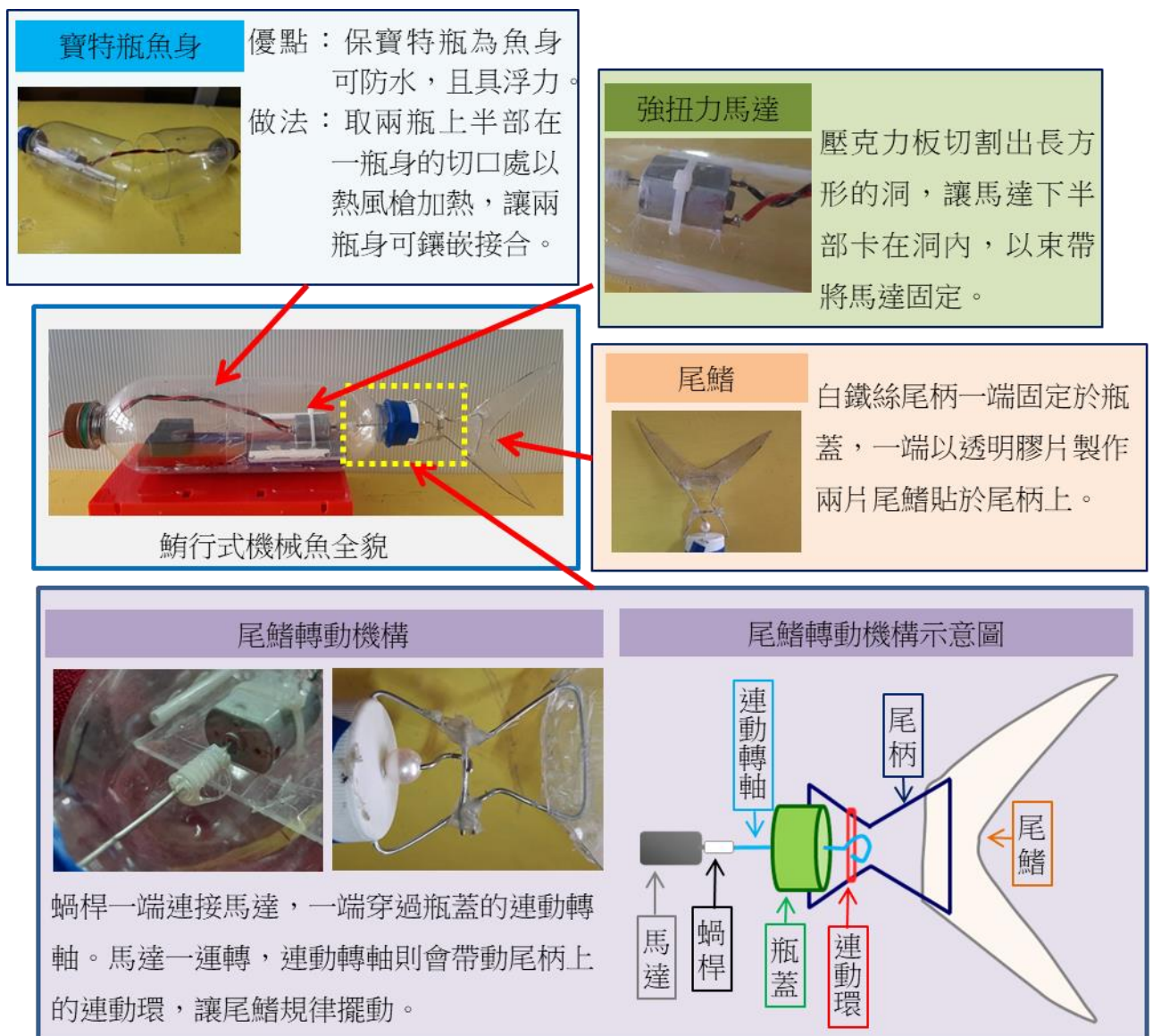


圖 6：鮪行一號機械魚結構說明



(四) 鱸行一號機械魚製作 (原型魚種--鱸魚)




圖 7：鱸魚的外觀

一開始設計「鱸行式」游動的機械魚，有許多的難題需要解決。要以什麼材質當作魚體，才能長時間浸在水中，耐用、不變形？如何讓魚有浮力？怎樣讓魚身和尾鰭能連動？

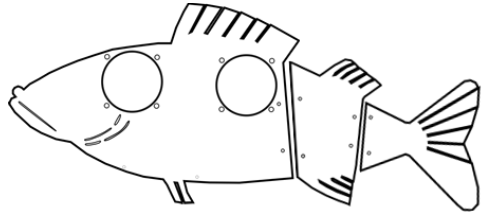
製作過程中，經過不斷的嘗試，發現缺點再做修正，完成下表的鱸行式機械魚。以下為我們製作機械魚的細部說明。

### 浮力裝置




兩顆乒乓球做為浮力的來源，以 Inkscape 繪出 4 個支架，再以螺絲和螺帽來固定魚體上。

### 魚體材質及切割



材質：以壓克力來做魚體材料  
製作：以 Inkscape 畫出鱸魚的向量圖形，到鄰近的自造中心能協助做雷射切割。



魚體放到水中，發現略有傾斜。在魚身貼上鐵片，使用磁鐵改變配重。

前段和中段是以兩組連桿和雙排鐵片做連結。當馬達運轉前段的連桿會帶動雙排鐵片，鐵片另一端的連桿會帶動中段的魚身。

中段和後段的尾鰭則只有用一組小彈簧做連接，當中段擺動時，會利用小彈簧帶動尾鰭往相反方向擺動。

### 魚體與尾鰭的連動裝置

鱸行式機械魚約身體後三分之一的部分作擺尾，魚頭朝前，游動方向筆直，我們將魚體分成前段、中段和尾鰭三部分：

圖 8：鱸行一號機械魚結構說明

(五)實際測試

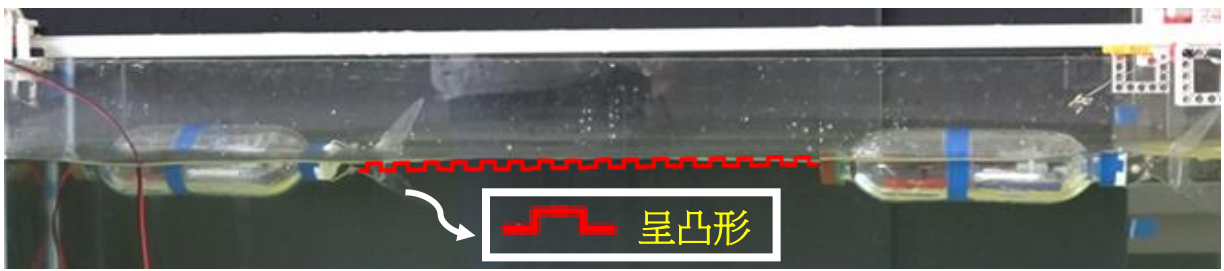


圖 9：鮪行一號機械魚前進軌跡

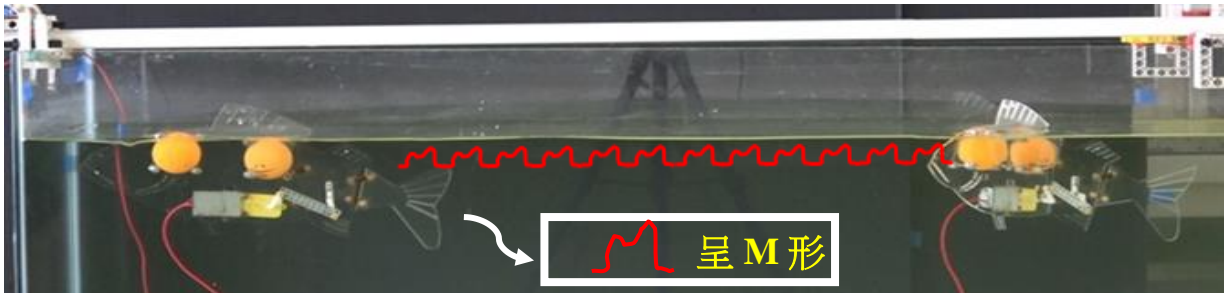


圖 10：鱒行一號機械魚前進軌跡

(六)實際發現

- 1.我們終於**製作出可以單純用尾鰭擺動就可以前進的機械魚**了，這也**驗證**課本上說的，**尾鰭是魚主要負責推進的運動構造**。
- 2.實測下水的機械魚後，我們整理和比較兩種機械魚的優劣，結果如**表 2**，考量本次需求為探討水流和推力變化，最後決定使用**鱒行一號機械魚**來進行之後的實驗。

表 2：鮪行式和鱒行式機械魚的優缺點一覽表

|    | 鮪行一號  | 鱒行一號   |
|----|---|--|
| 優點 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.以寶特瓶當魚身，具<b>立體感</b>。</li> <li>2.尾鰭<b>連動機構單純</b>，擺動具周期性。</li> <li>3.<b>游速較快</b></li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.<b>能確實模仿鱒行式魚類</b>的游動狀態。</li> <li>2.機構<b>零件維修方便且不容易故障</b>。</li> <li>3.因連桿裝置，能<b>以不同速度互相搭配當作實驗變因</b>。</li> <li>4.尾鰭擺動可以<b>分節呈現</b>，容易觀察。</li> </ol> |
| 缺點 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.魚體<b>配重不易掌握</b>，無法讓機械魚水面上游動，而不沉於水底。</li> <li>2.兩端瓶蓋有鑽孔，游動時，<b>水容易進入瓶中，改變身體重量</b>。</li> <li>3.機構在寶特瓶內，<b>要檢修時需拆開瓶子</b>，造成檢修的麻煩。</li> <li>4.結構的關係，<b>尾鰭無法以分節型態表現</b>。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.以壓克力板當材質，<b>為平面</b>，沒有厚實的魚身。</li> <li>2.連桿裝置皆在魚身左側，游動時，<b>尾鰭會偏左擺動</b>。</li> </ol>   |

## 實驗二：找出尾鰭不同速度擺動時所需的時間

在觀察魚類游動時發現，尾鰭快速游動的尾鰭擺動的頻率似乎不一致，因此我們想先了解尾鰭擺動速度不同時，每擺動一次的時間各為多少，當轉速設定參數在 120 以下，因水的阻力，尾鰭幾乎無法擺動，最後取介在 120~255 之間的轉速設定參數，每隔 15 取一組，共 10 組。

### (一)實驗步驟

- 1.尾鰭擺動的轉速設定參數為 120、135、150、165、180、195、210、225、240、255，共十組。
- 2.將機械魚放入水族缸，並固定位置，不讓魚向前游動，且尾鰭的放置在運轉前要先定位在魚身的最左邊，確保尾鰭每次擺動的範圍皆一致。
- 3.魚開始擺動尾鰭時，用攝影機記錄擺動十次的影像(由左到右、由右再回原位皆算半次)，此步驟進行三次。
- 4.以軟體播放影片，找出影像尾鰭擺動二十個半次的時間，算出不同速度的尾鰭擺動半次所需的平均時間。

### (二)實驗結果

表 3：尾鰭每半次擺動的平均時間

| 轉速設定參數   | 120  | 135  | 150  | 165  | 180  | 195  | 210  | 225  | 240  | 255  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 時間(秒/半次) | 0.73 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.51 | 0.48 | 0.45 | 0.42 | 0.38 | 0.36 |

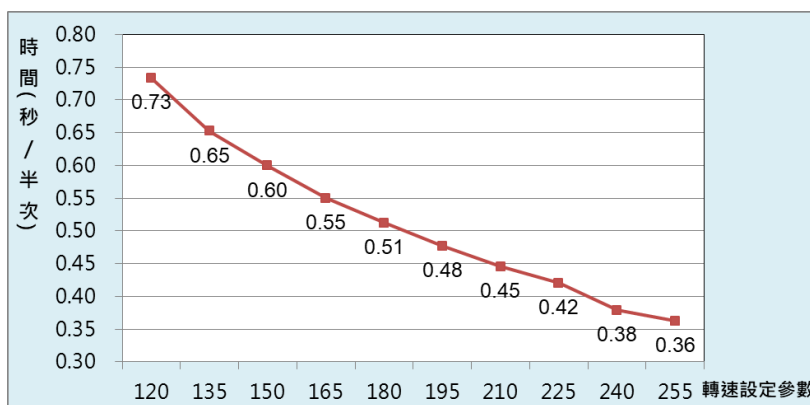


圖 11：不同轉速設定參數的尾鰭，每半次擺動的平均時間折線圖

(四)實驗發現：

從圖 11 結果中發現，不同速度的擺動時間接近線性變化，因此運用實驗結果，我們可以嘗試搭配快慢速度不同的擺動，建立一個「有配速」的實驗組，(模式如圖 12)，與「沒有配速」的對照組來比較，探討配速對魚體前進的影響。

我們取中間四組(165、180、195、210)來當對照組，以對照組尾鰭來回擺動的時間當基準，實驗組來回擺動時間須與對照組的時間誤差控制在 0.01 秒以內，實際搭配出四組不同的配速組合，如下表 4-8。

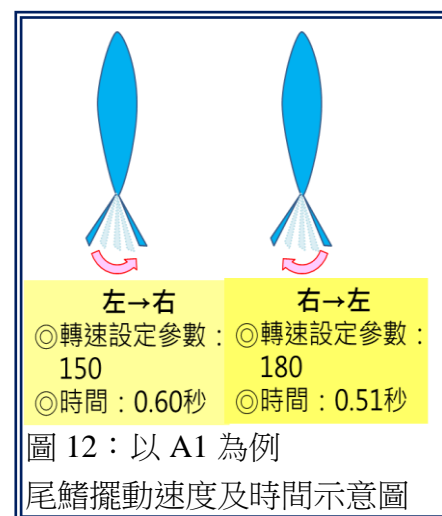


表 4：尾鰭每半次擺動的平均時間

對照組

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 轉速設定參數   | 120  | 135  | 150  | 165  | 180  | 195  | 210  | 225  | 240  | 255  |
| 時間(秒/半次) | 0.73 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.51 | 0.48 | 0.45 | 0.42 | 0.38 | 0.36 |

表 5：A 組配速組別及來回時間

|     | 組別 | 左→右 | 右→左 | 來回時間      |
|-----|----|-----|-----|-----------|
| 對照組 | A0 | 165 | 165 | 1.10<br>秒 |
| 實驗組 | A1 | 150 | 180 |           |
|     | A2 | 135 | 210 |           |
|     | A3 | 120 | 240 |           |
|     | A4 | 120 | 255 |           |

表 6：B 組配速組別及來回時間

|     | 組別 | 左→右 | 右→左 | 來回時間      |
|-----|----|-----|-----|-----------|
| 對照組 | B0 | 180 | 180 | 1.02<br>秒 |
| 實驗組 | B1 | 165 | 195 |           |
|     | B2 | 150 | 225 |           |
|     | B3 | 135 | 240 |           |

表 7：C 組配速組別及來回時間

|     | 組別 | 左→右 | 右→左 | 來回時間      |
|-----|----|-----|-----|-----------|
| 對照組 | C0 | 195 | 195 | 0.96<br>秒 |
| 實驗組 | C1 | 180 | 210 |           |
|     | C2 | 165 | 225 |           |
|     | C3 | 150 | 255 |           |

表 8：D 組配速組別及來回時間

|     | 組別 | 左→右 | 右→左 | 來回時間      |
|-----|----|-----|-----|-----------|
| 對照組 | D0 | 210 | 210 | 0.90<br>秒 |
| 實驗組 | D1 | 195 | 225 |           |
|     | D2 | 180 | 240 |           |
|     | D3 | 165 | 255 |           |

### 實驗三、觀察機械魚擺動尾鰭時水流變化的情形

我們想進一步了解，機械魚的尾鰭擺動時，週遭的水流是如何變化的，從中找出讓機械魚速度變快的秘密。

#### (一)實驗步驟

- 1.將魚體以定滑輪固定為將魚體固定，讓 1/4 的尾鰭露出水面，並以積木組成口字型限制魚首活動範圍。
- 2.在水面撒上直徑 1-2mm 的發泡球，觀察尾鰭擺動時，發泡球流動情形。
- 3.以錄影機攝影尾鰭擺動及發泡球流動情形。
- 4.以 Media Player Classica 慢速播放影片，分析尾鰭擺動和發泡球變化情形，並擷圖記錄。



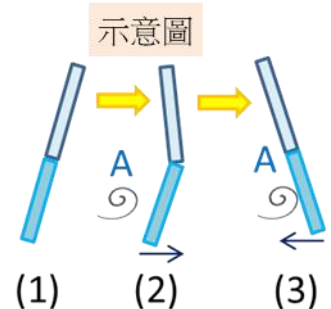
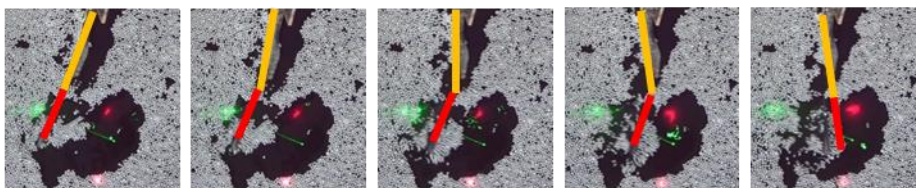
圖 13：實驗環境布置圖說明

#### (二)實驗結果

我們將機械魚擺動尾鰭形成渦流的過程分成四個階段，各時期渦流的形成及變化情形如下：

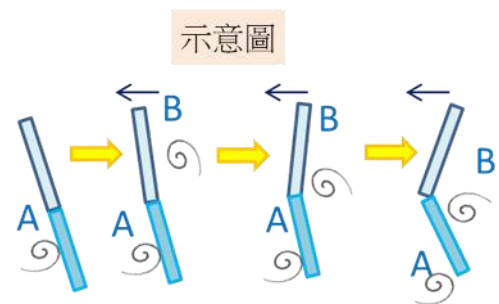
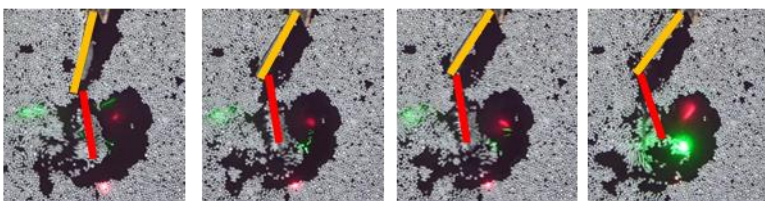
##### 第一期：單一渦流產生期

尾鰭從起點開始擺到另一側(1)，擺動時，會在尾鰭後方形成渦流A(2)，直到尾鰭要往回擺時，渦流A會碰撞到尾鰭(3)。



##### 第二期：成對渦流產生期

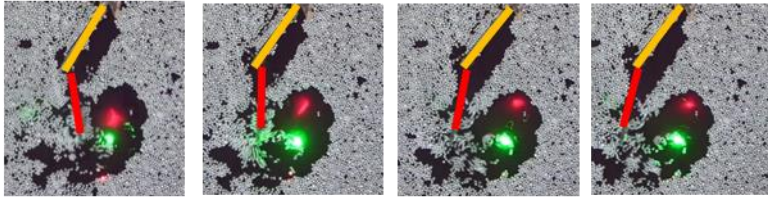
渦流A撞到尾鰭後，因為尾鰭反向擺動，所以會順著尾鰭往後移動，同時在尾鰭的另一側也產生渦流B。



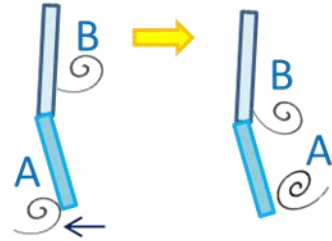
### 第三期：渦流相遇產生期



尾鰭回擺時，會將渦流A擠到另一側，兩個渦流會因此相遇。



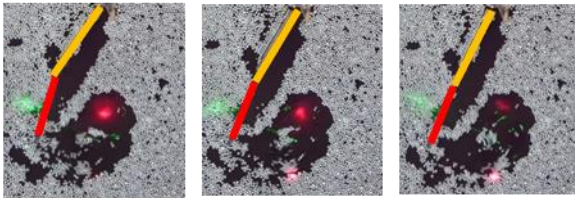
示意圖



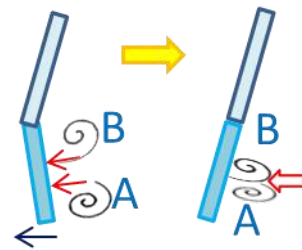
### 第四期：合流期



兩渦流相遇後，產生較大水流作用在尾鰭上，可以增加擺速，直到尾鰭可以擺到最大角度，水流會順勢往後。



示意圖



### (三)實驗發現

- 1.由觀察結果可知，當尾鰭擺動時，原來位置的水被撥往另一側時，周遭的水會填補空間而形成漩流，這是造成渦流的主因。
- 2.在四個時期渦流皆會作用於尾鰭上，我們認為主要推力的產生應為第二期及第四期，第二期的渦流於尾鰭兩側推動魚身，第四期的渦流合流後，於同一側推動魚身，至於何者可以產生比較大的力，需要再做實驗確定。
3. 我們另外將機械魚解開，讓它直線往前游動，可以觀察到有時候在尾端不只一對渦流出現，如果速度快的話，還會出現兩對或三對，這是否與增加速度有關，需要再做進一步的探討。



圖 14：尾鰭製造的兩對渦流

## 實驗四、探討尾鰭擺動時產生最大前進推力的配速模式

實驗三的結果將尾鰭擺動分成四個階段，在本實驗中想了解，不同的配速模式在每個階段推力的變化，因為無法讓魚一邊前進一邊量測推力，因此我們讓機械魚在定點擺動，並設計適合的測量裝置來記錄擺動時產生的推力。

### (一)自製實驗器材：製作前進推力檢測裝置

為測量不同速度模組的尾鰭擺動時，魚體前進推力的數據，利用積木及電子秤製作裝置。以魚體移動撞擊積木，形成轉動後，按壓電子秤，測量前進推力的變化。

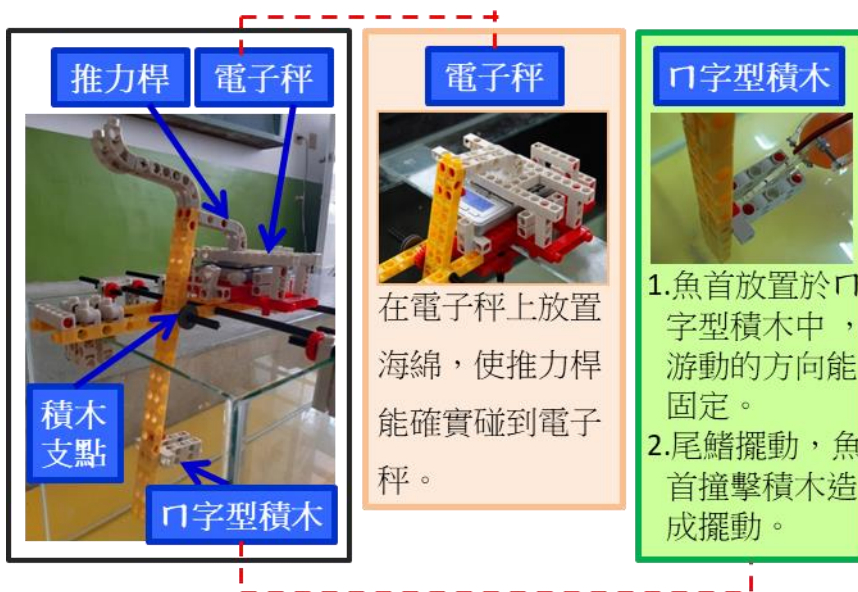


圖 15：推力檢測裝置說明

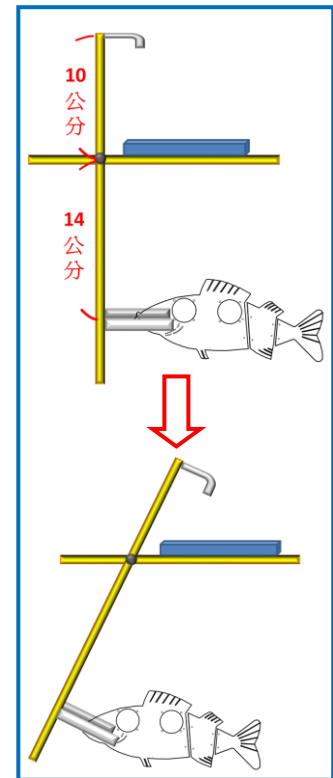


圖 16：測量機械魚前進推力示意圖

### (二)實驗步驟

- 1.以 m blok 撰寫配速程式，並用手機藍芽連接電路板，控制尾鰭擺動的速度。尾鰭由最左擺到最右，再擺回原位，為完整的擺動一次，每組紀錄 10 次，以錄影機拍攝過程。
- 2.以 Media Player Classica 八倍慢速播放數據的影片，因每組擺動時間的差異，A、B 組可取 9 個影格，C、D 組為 8 個影格，將電子秤的推力數據紀錄下來，並換算成絕對力數值。

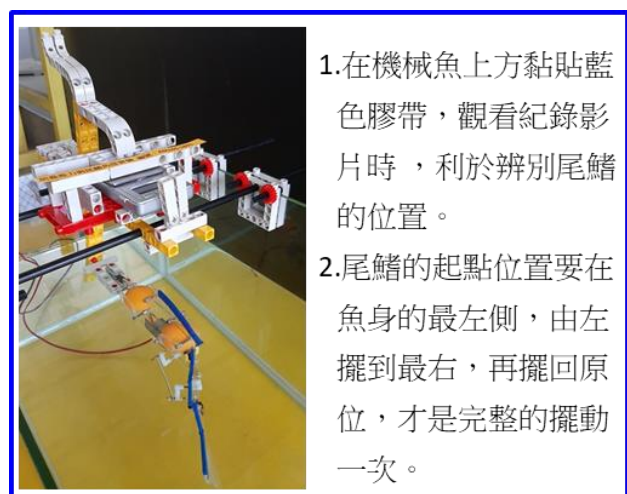


圖 17：尾鰭擺放位置說明圖

(三)實驗結果(下圖為整理後資料，原始資料收於附錄一)

表 9：每組在四個時期的推力(gw)一覽表

|     | 組別 | 單一渦流產生期 | 成對渦流產生期 | 渦流相遇產生期 | 合流期   | 推力總和   |
|-----|----|---------|---------|---------|-------|--------|
| 對照組 | A0 | 9.83    | 20.18   | 12.06   | 40.07 | 82.14  |
|     | A1 | 25.92   | 35.50   | 17.67   | 14.26 | 93.35  |
|     | A2 | 12.54   | 25.85   | 14.56   | 31.57 | 84.53  |
|     | A3 | 15.61   | 47.75   | 14.79   | 29.19 | 107.34 |
|     | A4 | 17.30   | 46.87   | 19.73   | 26.48 | 110.38 |
| 最佳  |    |         |         |         |       |        |
| 對照組 | B0 | 16.36   | 34.64   | 19.94   | 33.09 | 104.03 |
|     | B1 | 25.27   | 32.38   | 20.05   | 37.23 | 114.93 |
|     | B2 | 10.79   | 37.80   | 16.52   | 50.88 | 115.99 |
|     | B3 | 20.71   | 30.17   | 20.29   | 56.09 | 127.25 |
| 最佳  |    |         |         |         |       |        |
| 對照組 | C0 | 8.28    | 12.33   | 20.56   | 64.65 | 105.82 |
|     | C1 | 6.87    | 31.71   | 23.18   | 52.88 | 114.65 |
|     | C2 | 10.34   | 31.90   | 20.48   | 50.71 | 113.43 |
|     | C3 | 28.56   | 36.68   | 24.48   | 35.39 | 125.11 |
| 最佳  |    |         |         |         |       |        |
| 對照組 | D0 | 3.76    | 30.35   | 18.16   | 63.10 | 115.37 |
|     | D1 | 14.49   | 33.44   | 21.56   | 51.08 | 120.56 |
|     | D2 | 13.54   | 42.26   | 21.95   | 47.89 | 125.64 |
|     | D3 | 4.83    | 39.76   | 20.16   | 64.97 | 129.72 |
| 最佳  |    |         |         |         |       |        |

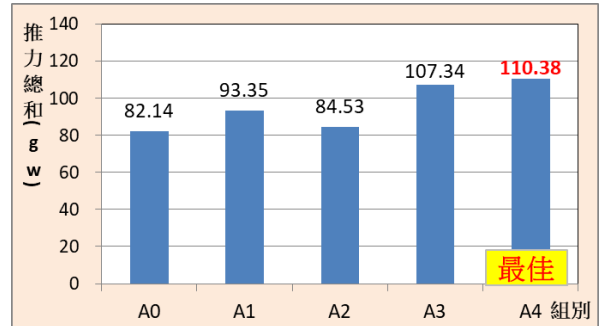


圖 18：A 組推力總和直條圖

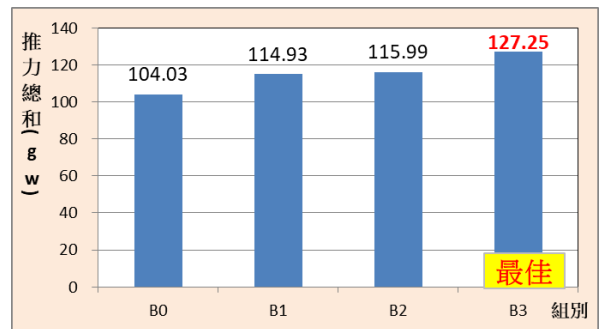


圖 19：B 組推力總和直條圖

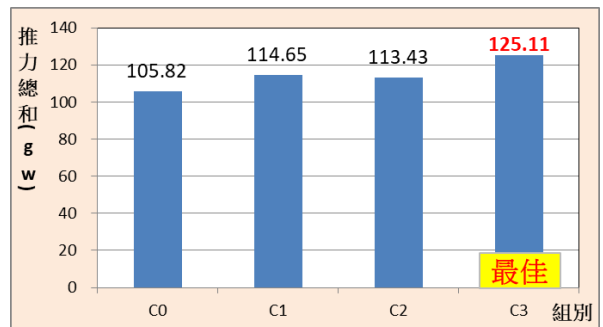


圖 20：C 組推力總和直條圖

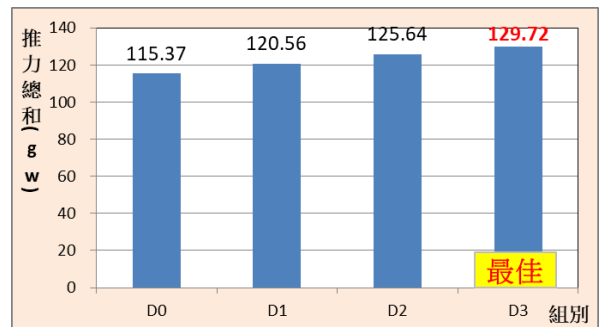


圖 21：D 組推力總和直條圖



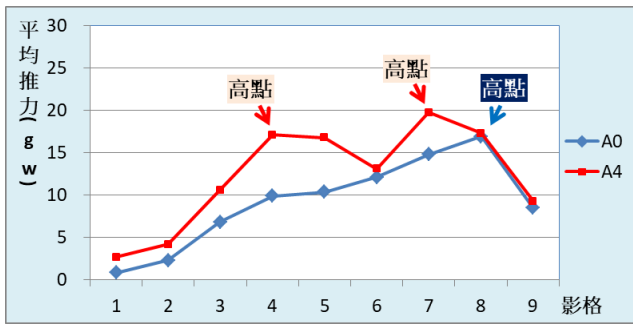


圖 22：A0 和 A4 推力變化折線圖

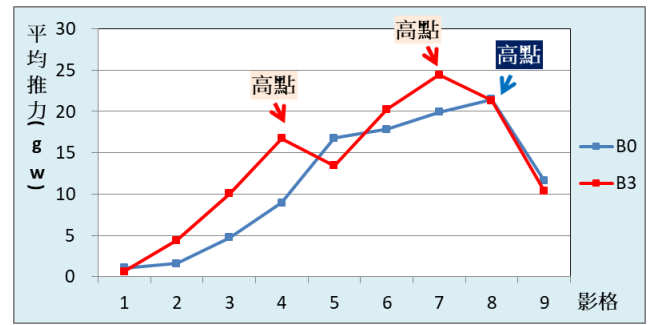


圖 23：B0 和 B3 推力變化折線圖

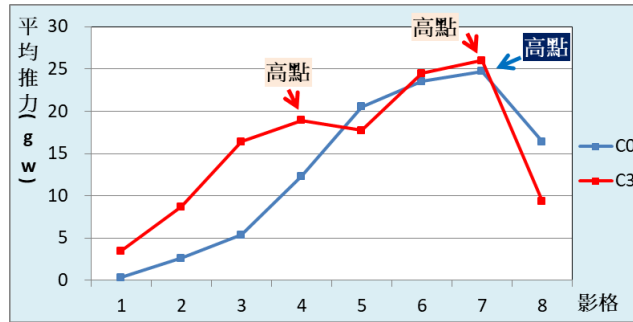


圖 24：C0 和 C3 推力變化折線圖

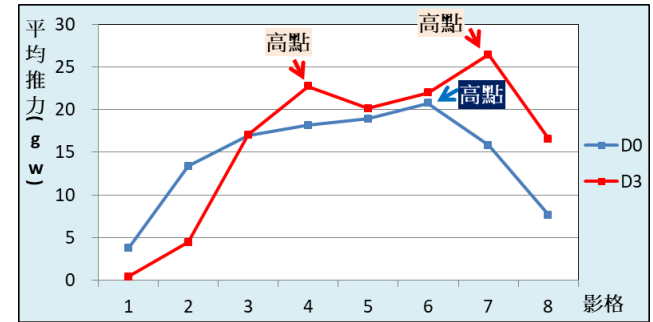


圖 25：D0 和 D3 推力變化折線圖

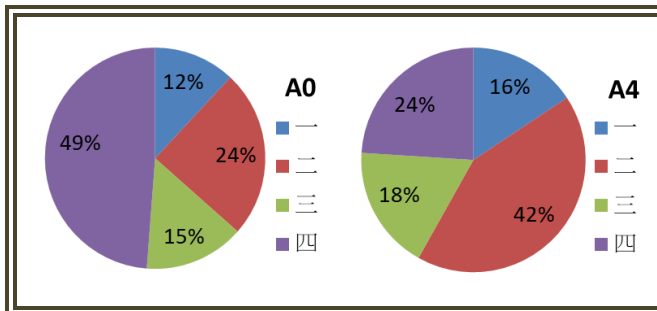


圖 26：A0 和 A4 四個時期推力分布圓形圖

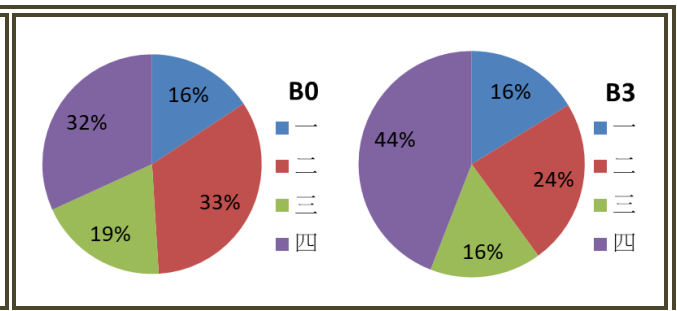


圖 27：B0 和 B3 四個時期推力分布圓形圖

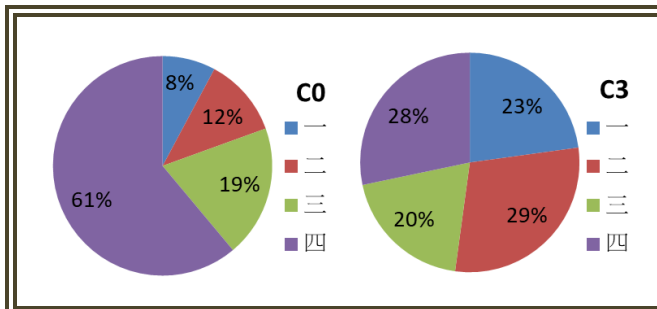


圖 28：C0 和 C3 四個時期推力分布圓形圖

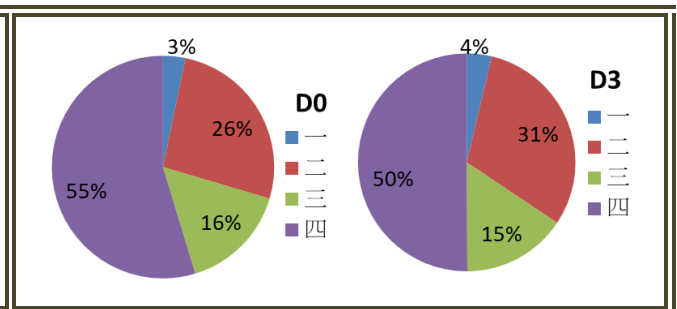


圖 29：D0 和 D3 四個時期推力分布圓形圖

#### (四)實驗發現

- 1.由各組推力總和直條圖(圖 18-21)可知，四組實驗皆有相同的結果，有配速的尾鰭擺動時，產生的推力皆優於沒有配速，顯示魚類尾鰭擺動時，如果可以做一快一慢的速度搭配，在推進上會有比較大的優勢。
- 2.綜合四組結果發現，快慢速度差距越大的搭配，可以在擺動過程產生越大的力道。而前進推力有沒有辦法反映在前進速度上呢？我們將做延伸實驗探討。
- 3.進一步分析，比對不同時間的推力變化折線圖(圖 22-25)，發現配速後，推力變化明顯呈現雙峰，即來回擺動可以有兩次比較大的力道產生，沒有配速的實驗組則只有一次。
- 4.另外對照附錄一結果，折線圖的高點幾乎都是在第二期和第四期產生，符合實驗三的觀察結果。
- 5.由圖 26-29可知，渦流相遇(第三期)和合流(第四期)的這兩個階段，佔全體輸出力的比重最大，而兩個渦流相遇之後到底水流會如何變化呢？是我們接下來必須探討的重點。

#### 延伸實驗、研究不同配速的尾鰭擺動時前進的速度

在實驗四中發現當尾鰭擺動有配速時，會影響魚前進的推力，那對機械魚前進的速度是否也有影響呢？

##### (一)實驗設計：

為了解不同配速的機械魚直線前進的速度變化，在水族缸上方架設窗簾軌道，作為機械魚前進的路徑。再將白鐵絲一端固定在長尾夾的鐵片上，再將長尾夾夾在魚體的前方，另一端固定在軌道上的滑輪。一驅動馬達，尾鰭擺動集會帶動滑輪往前移動。

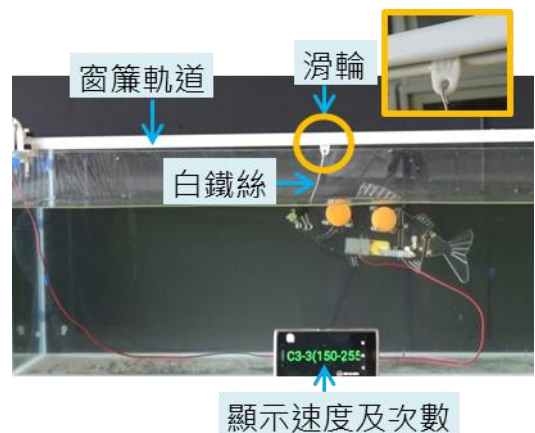


圖 30：實驗設計說明

## (二)實驗步驟

- 1.以 mblock 撰寫程式，並用手機藍芽連接電路板，控制尾鰭十七組擺動的配速。
- 2.滑輪的起點位置固定，機械魚尾鰭的位置擺放在最左邊。
- 3.游動直線距離是 100 公分，每組皆游 5 次，用攝影機記錄游動情形。
- 4.以軟體播放影片，找出魚開始游動的起始時間，及當魚撞到缸壁為到達終點的時間，記錄下這兩個時間，並計算出每次游動所花的時間，再刪除極端值，取三次數據，求每組的平均速度。



圖 31：實驗過程說明

## (三)實驗結果

表 10：各組配速模式的平均速度和推力總和對照表

| 組別            | A0      | A1      | A2      | A3      | A4      | B0      | B1      | B2      | B3      |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 配速模式          | 165-165 | 150-180 | 135-210 | 120-240 | 120-255 | 180-180 | 165-195 | 150-225 | 135-240 |
| 平均速度 (cm/sec) | 3.26    | 3.50    | 3.31    | 4.06    | 4.11    | 3.95    | 4.35    | 4.37    | 4.65    |
| 推力總和 (gw)     | 82.14   | 93.35   | 84.53   | 107.34  | 110.38  | 104.03  | 114.93  | 115.99  | 127.25  |

| 組別            | C0      | C1      | C2      | C3      | D0      | D1      | D2      | D3      |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 配速模式          | 195-195 | 180-210 | 165-225 | 150-255 | 210-210 | 195-225 | 180-240 | 165-255 |
| 平均速度 (cm/sec) | 5.65    | 6.12    | 6.04    | 6.54    | 6.58    | 6.69    | 6.87    | 7.00    |
| 推力總和 (gw)     | 105.82  | 114.65  | 113.43  | 125.11  | 115.37  | 120.56  | 125.64  | 129.72  |

註：1.平均速度 A0<A2<A1<A3<A4 B0<B1<B2<B3 C0<C2<C1<C3 D0<D1<D2<D3

2.推力總和 A0<A2<A1<A3<A4 B0<B1<B2<B3 C0<C2<C1<C3 D0<D1<D2<D3

#### (四)實驗發現

- 1.由實驗結果可知推力總和越大，魚體前進的速度就越快，顯示配速產生的渦流，無論是在前進推力或實際前進時，都比沒有配速的擺動好。
- 2.由實驗四和延伸實驗的結果，我們得到一個有趣的發現，**原來魚前進要比較快，不是來回均速擺動，而是要一下快一下慢的擺動才行！**

#### 實驗五、探討兩個渦流交會時水流速度的變化

在實驗四中，發現渦流相遇到合流時，是推力變化到最大值的階段，我們想探討其中的原因，因此自製渦流，透過葉扇轉動情形，探討水的流向及流速的變化。

##### (一)自製實驗器材：**渦流製造機**

- 1.機體：將瓶蓋固定在 3V 直流馬達上，馬達鑲在保麗龍裡，減少運轉時的震動。
- 2.底座：以五孔積木為底座，為增加重量，用束帶將四個螺帽綁在底部。
- 3.速度控制：以程式控制馬達轉速，讓渦流一為順時針轉，另一為逆時針轉，轉速設定參數為 200 及-200。
- 4.電力來源：為有穩定電力，避免轉速不均，使用 USB 變壓器。

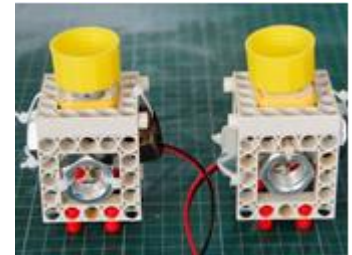


圖 32：渦流製造機

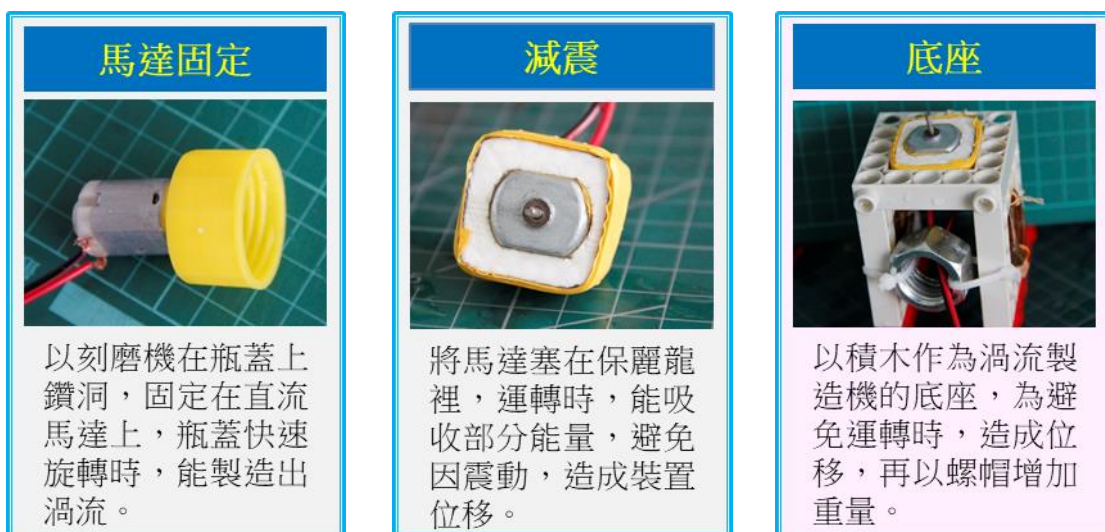


圖 33：渦流製造機細部說明

## (二)實驗環境布置

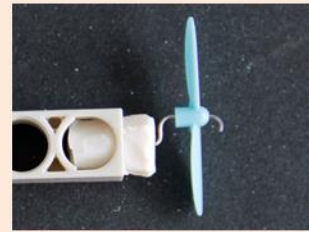
1.將渦流製造機放置魚透明水族缸(30\*18\*20cm)中，以積木及葉扇組裝成「**水流流速偵測儀**」，用紅外線轉速計測量葉扇經水流沖擊一分鐘的轉速。因玻璃會使紅外線產生折射，實驗時要將轉速計完全貼在缸壁上。

### 水流流速偵測儀—支架

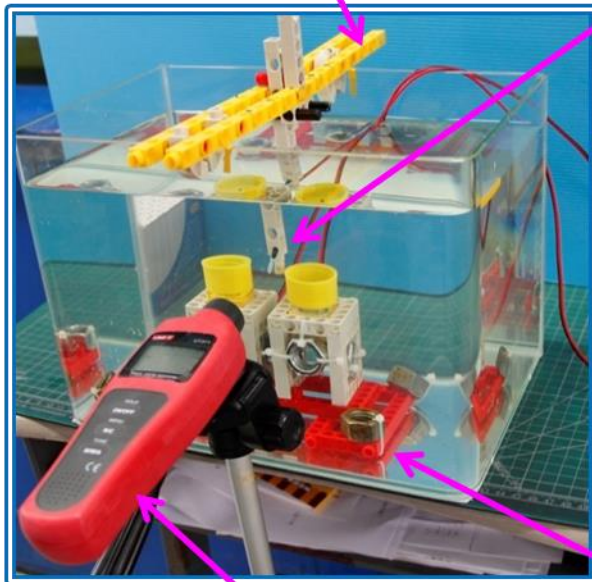


支架有定位功能，確保讓葉扇至於兩渦流機的中間。前後移動葉扇，也是以積木孔洞做為距離的判斷。

### 水流偵測器—葉扇



水流動時會帶動葉扇旋轉，藉此可知水流速度的快慢。



### 測量轉速



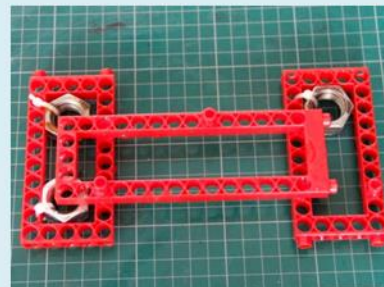
轉速計的紅外線對準葉扇，水流帶動葉扇轉動，轉速計也會計算轉動圈數。

### 紅外線轉速計



以轉速計測量葉扇一分鐘的轉速，作為量化的數據。

### 紅色積木底盤



底盤能固定渦流製造機，也當兩機距離的測量工具，積木每個孔距為一公分。

圖 34：實驗環境布置說明

2.葉扇放置位置：將葉扇置於兩渦流製造機的中間，以兩瓶蓋圓心連線為中間點，向前、向後各取三個位置，每個位置相隔 1 公分，測量七個位置，水流推力大小。

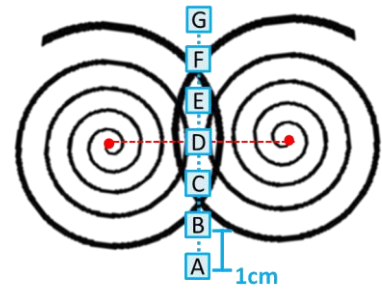


圖 35：葉扇放置位置

3.渦流距離判讀：我們定義兩渦流交會距離(d)為重疊

區，操作變因為兩個渦流中心的距離(D)，以兩瓶蓋的圓心做為距離的控制；為了要找出製造機的渦流有多大，我們將發泡球倒入水面，啟動製造機後，以游標尺量出半徑(r)。因此，我們可知  $d = 2r - D$ 。

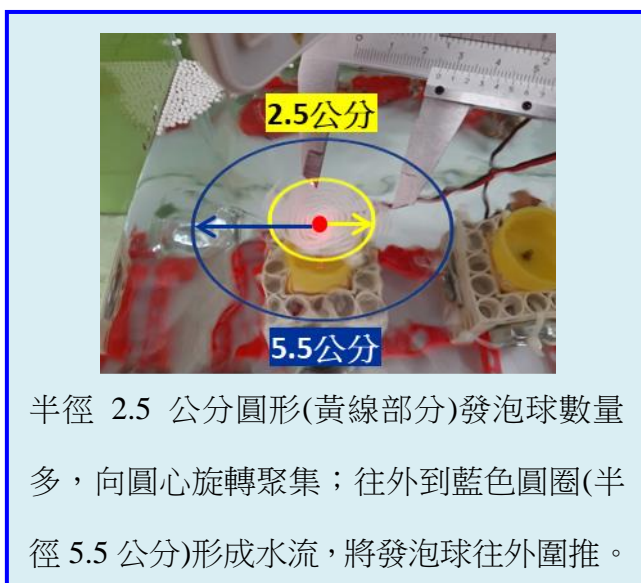


圖 36：渦流半徑示意圖

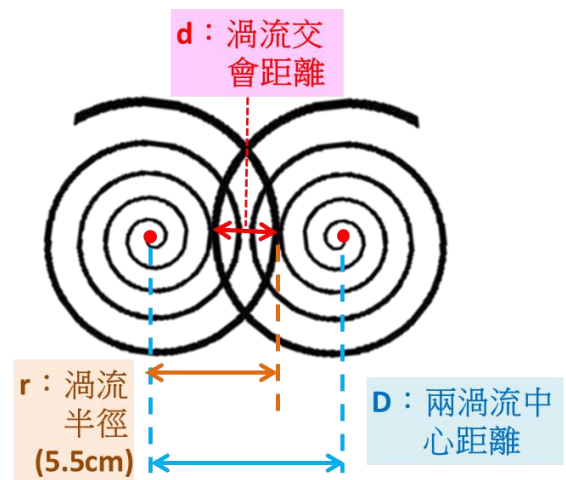


圖 37：渦流相關距離定義解說圖

### (三)實驗步驟

- 1.將渦流製造機放入玻璃缸，改變兩渦流交會的長度(d)，分別為 1~4 公分，共 4 組。
- 2.葉扇一次測量一個位置的流速，依序放置在 A~G 七個位置，以紅外線轉速計測量葉扇轉速，每個位置測一分鐘，測量 5 次，再計算平均轉速。

#### (四)實驗結果

表 11：渦流交會長度不同時，葉扇在七個位置的平均轉速一覽表

| 位置<br>交會距離 | A    | B     | C     | D     | E     | F     | G     |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d=5cm      | 73.2 | 139.8 | 385.4 | 870.2 | 707.8 | 715.4 | 526.6 |
| d=4cm      | 44.4 | 116.6 | 305.2 | 700.4 | 553.8 | 509.4 | 405.8 |
| d=3cm      | 71.2 | 41.0  | 127.4 | 335.2 | 453.8 | 519.0 | 472.0 |
| d=2cm      | 69.2 | 193.2 | 253.4 | 243.8 | 474.4 | 498.6 | 449.4 |

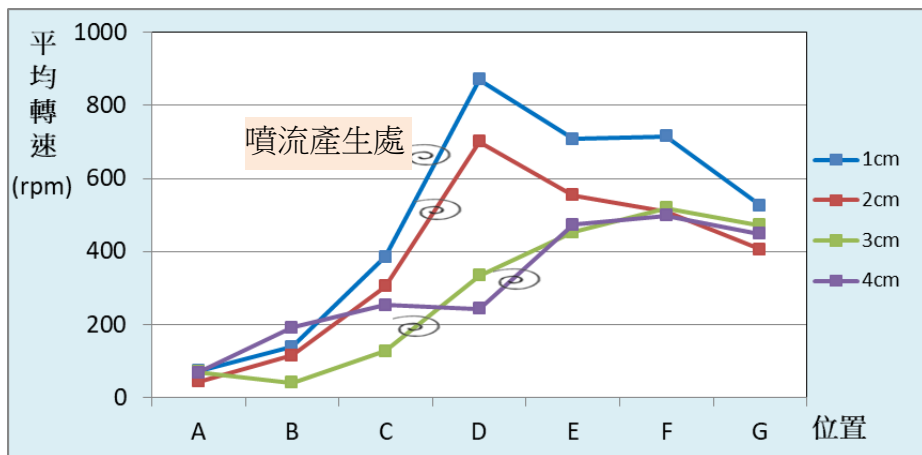


圖 38：渦流交會距離不同時，葉扇在七個位置的平均轉速折線圖

#### (五)實驗發現

- 1.由表 11 可知，在重疊區 d=5 時，中線位置 D 風扇轉最大可達 870.2rpm，流速突然增加二倍，由位置 D 之後速度皆高於 400rpm，顯示產生了一段強勁往後的直線噴流。
- 2.我們比較不同長度的重疊區，由圖 38 可知，當重疊區長度越長，即兩個渦流越靠近時，噴流強度越強，產生噴流的位置會隨著重疊區變短往後移動。
- 3.在實驗中我們另外發現，在噴流產生之前的位置點，葉片在這些區域會呈現拉扯無法轉動的現象，顯示噴流是具有方向性的，那麼噴流作用在魚體上的角度如果不同，產生的推力是否會有差異，需要再進一步確認。

## 實驗六、探討噴流角度對機械魚前進推力的影響

從附錄一資料可知，無論有沒有配速，渦流在合流期形成噴流時，可製造出最大的推力，本實驗想探討噴流角度與魚體前進推力的關係。

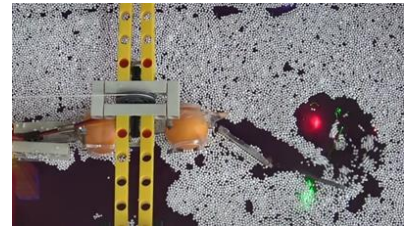


圖 39：合流期形成噴流

### (一)實驗設計

#### 1.渦流速度

魚類游動製造的渦流會隨著牠前進而不見，為模擬渦流旋轉狀況，先觀察渦流製造機形成渦流的時間為 3 秒，製造機關閉後，渦流消失的時間為 2 秒，因此，馬達轉速設定參數為 200，運轉 3 秒，停止 2 秒為一循環，連續做 12 次，時間共為 1 分鐘。為製造噴流，讓渦流一為順時針轉，另一為逆時針，因此轉速設定參數為 200 及 -200。



圖 40：測量渦流產生及消失的時間

#### 2.電控旋轉台+渦流製造機

為便於改變噴流角度，我們改裝手機旋轉架，利用鍊條、齒輪和馬達製作成電控旋轉台，用於放置渦流製造機。

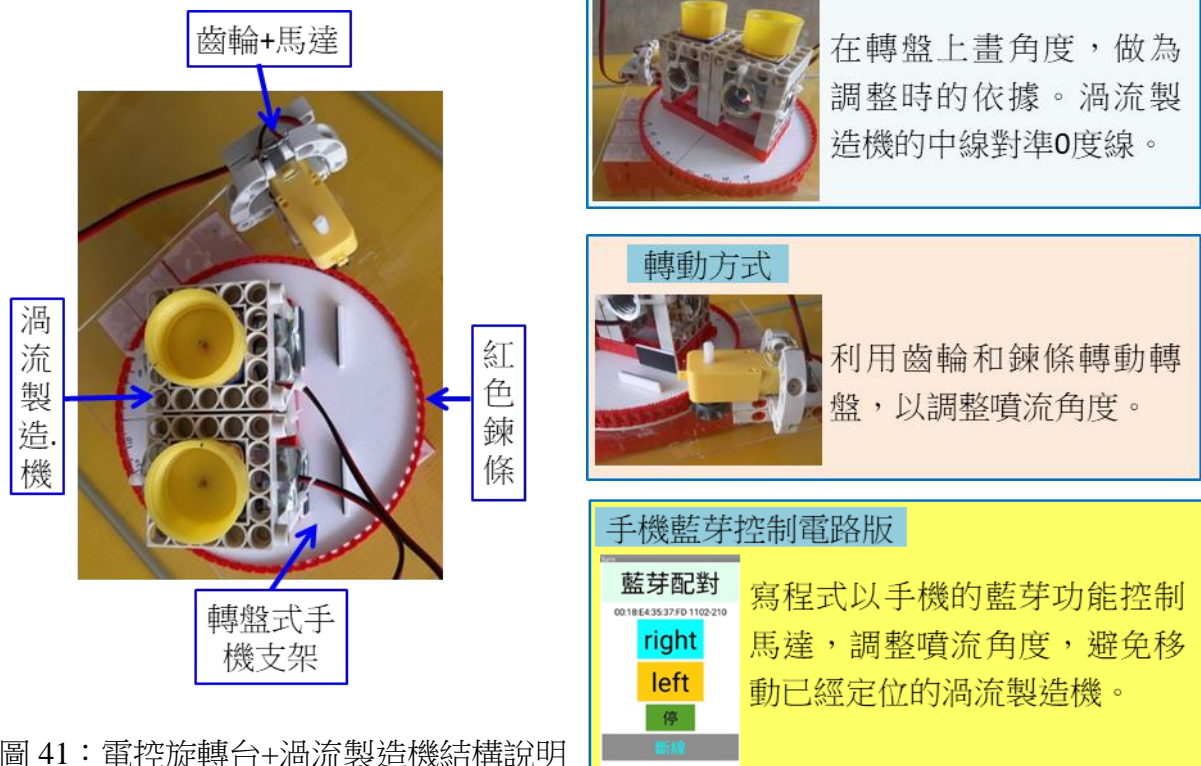


圖 41：電控旋轉台+渦流製造機結構說明



### (三)實驗步驟

- 1.將前進推力檢測裝置、機械魚定位，機械魚無動力，處於靜止狀態。
- 2.電控旋轉台 0 度對準尾鰭中段，機械魚向前游動 1 分鐘 (渦流產生 3 秒，停止 2 秒為一循環，共 12 次)，以錄影機錄下電子秤的數據。接著旋轉台每隔 5 度往尾鰭後端轉動，共有 9 組角度。
- 3.以 Media Player Classica 慢速播放數據影片，找出每一循環裡最大的推力，每組角度共有 12 個數據，去除極端值，保留 10 個數據。

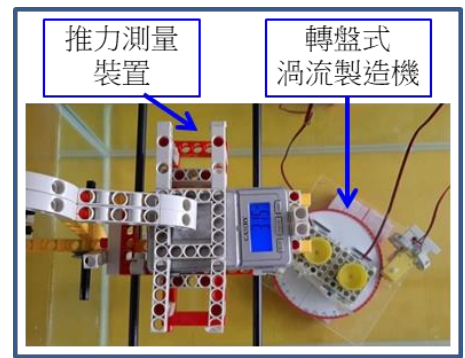


圖 42：實驗裝置布置圖

| 定位渦流製造機                     | 定位尾鰭角度         | 噴流角度調整                     | 渦流旋轉方向                  |
|-----------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| 渦流製造機中線 (電控旋轉台 0 度)，對準尾鰭中段。 | 尾鰭固定在能生最大推力的位置 | 0 度線往尾鰭後端轉動，使噴流以不同的角度讓尾鰭受力 | 製造一順、逆時針渦流，產生的噴流會往尾鰭流去。 |

圖 43：電控旋轉台+渦流製造機與尾鰭位置說明

### (四)實驗結果

表 12：噴流角度不同時，對機械魚產生的向前平均推力一覽表

| 角度   | 0 度  | 5 度  | 10 度 | 15 度 | 20 度 | 25 度 | 30 度 | 35 度 | 40 度 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 平均推力 | 0.61 | 0.78 | 0.51 | 0.86 | 1.15 | 1.19 | 1.02 | 1.71 | 1.16 |

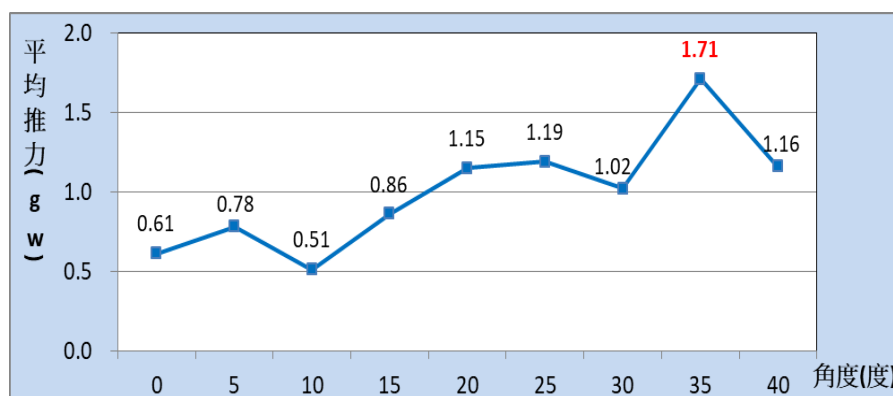


圖 44：渦流角度與前進平均推力關係折線圖

## (五)實驗發現

- 1.由結果(圖 44)可知，魚體受力的變化，和噴流的角度有關，噴流與尾鰭垂直方向夾角 35 度時，可以產生比較大的推力。
- 2.實驗結果也同時顯示，推力數值會在噴流與尾鰭相對位置呈特定角度時變大，我們以結果去驗證配速和沒配速推力值的差別，合理推測這應該是一快一慢的速差讓合流期的噴流角度改變，進而達到產生比較大的推力。

## 伍、研究結論

- 一、本實驗成功製作出單純用尾鰭擺動即可在水中運動的機械魚，也證實魚的尾鰭確實是魚主要前進的運動構造。

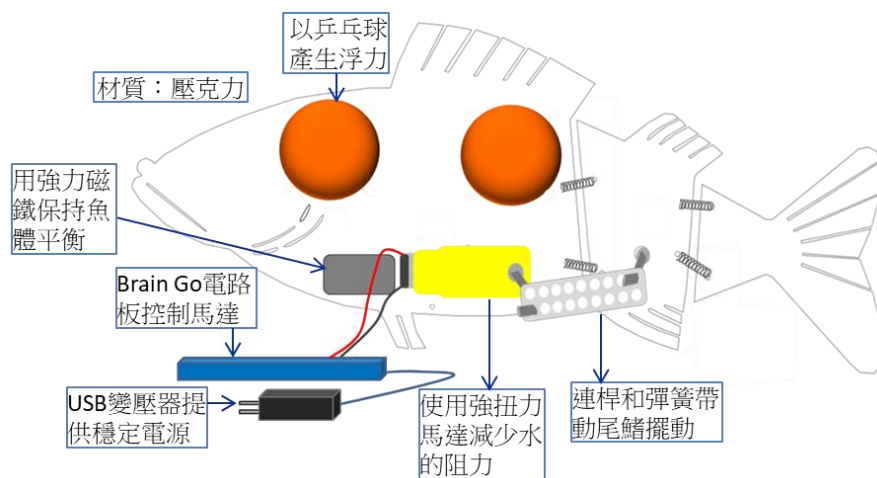


圖 45：機械魚結構說明

- 二、機械魚可透過電壓的輸出量控制尾鰭擺動速度，不同速度的擺動時間接近線性變化，可搭配成數組配速模式。
- 三、(一)機械魚尾鰭左右擺動後會形成一對方向相反的渦流，在尾鰭後方同側相遇並合流，按照尾鰭擺動的形態和渦流作用於魚體的狀況，可細分為四個時期：1.單一渦流產生期、2.成對渦流產生期、3.渦流相遇期、4.合流期。

(二)四個時期渦流皆會作用於尾鰭上，主要推力的產生為第二期及第四期，第二期的渦流於尾鰭兩側推動魚身，第四期的渦流合流後，於同一側推動魚身。

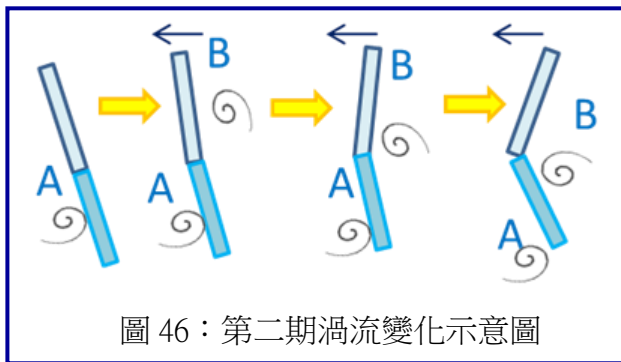


圖 46：第二期渦流變化示意圖

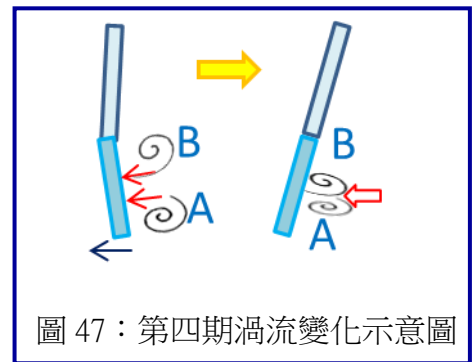


圖 47：第四期渦流變化示意圖

四、(一)當魚體快速前進時，如果擺動配速，速差越大，可以產生較大的推力，前進速度也比較快。

(二)當尾鰭擺動配速時，在推力變化折線圖會呈現雙峰，來回擺動有兩次比較大的力道產生，沒有配速的實驗組則只有一次。

五、(一)兩渦流交會時，在重疊區會產生一段強勁往後的直線噴流，作用在魚體上，是主要的前進推力來源。

(二)當重疊區長度越長，即兩個渦流越靠近時，噴流強度越強，產生噴流的位置會隨著重疊區變短往後移動。

六、魚體受力的變化，和噴流的角度有關，噴流與尾鰭垂直方向夾角 35 度時，可以產生比較大的推力。

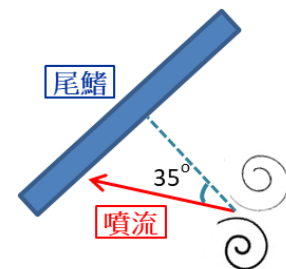


圖 48：噴流與魚體受力的關係

## 陸、參考資料及其他

- 1.趙國宏、李嘉亮(民 77)。台灣自然觀察圖鑑海水食用魚。新北市：渡假出版社有限公司。
- 2.水中游 [https://www.greenpower.org.hk/html5/chi/an\\_121.shtml](https://www.greenpower.org.hk/html5/chi/an_121.shtml)
- 3.康軒版自然與生活科技領域四上第二單元，水生家族。
- 4.南一版自然與生活科技領域六下第一單元，巧妙的施力工具。

附錄一 不同配速在四個時期的推力變化一覽表

|    |       |      |       |       |       |       |       |       |       |    |
|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| A0 | 第一期   |      |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 0.78  | 2.27 | 6.78  | 9.87  | 10.31 | 12.06 | 14.75 | 16.87 | 8.46  |    |
|    | 9.83  |      |       | 20.18 |       | 12.06 | 40.07 |       |       |    |
| A1 | 第一期   |      |       | 第二期   |       |       | 第三期   | 第四期   |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 1.20  | 3.79 | 8.28  | 12.66 | 11.77 | 10.57 | 13.16 | 17.67 | 14.26 |    |
|    | 25.92 |      |       |       | 35.50 |       |       | 17.67 | 14.26 |    |
| A2 | 第一期   |      |       | 第二期   |       |       | 第三期   | 第四期   |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 2.03  | 3.83 | 6.68  | 10.40 | 7.62  | 7.83  | 14.56 | 19.26 | 12.31 |    |
|    | 12.54 |      |       | 25.85 |       |       | 14.56 | 31.57 |       |    |
| A3 | 第一期   |      |       | 第二期   |       |       | 第三期   | 第四期   |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 2.31  | 4.19 | 9.12  | 16.03 | 17.55 | 14.17 | 14.79 | 18.47 | 10.72 |    |
|    | 15.61 |      |       | 47.75 |       |       | 14.79 | 29.19 |       |    |
| A4 | 第一期   |      |       | 第二期   |       |       | 第三期   | 第四期   |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 2.62  | 4.13 | 10.56 | 17.08 | 16.75 | 13.03 | 19.73 | 17.23 | 9.24  |    |
|    | 17.30 |      |       | 46.87 |       |       | 19.73 | 26.48 |       |    |

|    |       |      |       |       |       |       |       |       |       |    |
|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| B0 | 第一期   |      |       | 第二期   |       |       | 第三期   | 第四期   |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 1.06  | 1.61 | 4.75  | 8.95  | 16.80 | 17.85 | 19.94 | 21.48 | 11.61 |    |
|    | 16.36 |      |       | 34.64 |       |       | 19.94 | 33.09 |       |    |
| B1 | 第一期   |      |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 2.74  | 7.37 | 15.16 | 16.99 | 15.39 | 20.05 | 18.49 | 12.56 | 6.18  |    |
|    | 25.27 |      |       | 32.38 |       | 20.05 | 37.23 |       |       |    |
| B2 | 第一期   |      |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 0.77  | 1.89 | 8.12  | 17.45 | 20.35 | 16.52 | 18.28 | 21.08 | 11.52 |    |
|    | 10.79 |      |       | 37.80 |       | 16.52 | 50.88 |       |       |    |
| B3 | 第一期   |      |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |    |
|    | 0.62  | 4.40 | 10.04 | 16.74 | 13.43 | 20.29 | 24.43 | 21.31 | 10.35 |    |
|    | 20.71 |      |       | 30.17 |       | 20.29 | 56.09 |       |       |    |

|    |       |      |       |       |       |       |       |       |        |    |
|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----|
| C0 | 第一期   |      |       | 第二期   | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |    |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |    |
|    | 0.33  | 2.59 | 5.37  | 12.33 | 20.56 | 23.53 | 24.71 | 16.40 |        |    |
|    | 8.28  |      |       | 12.33 | 20.56 | 64.65 |       |       |        |    |
|    |       |      |       |       |       |       |       |       | 105.82 |    |
| C1 | 第一期   |      | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |    |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |    |
|    | 0.50  | 6.37 | 17.08 | 14.63 | 23.18 | 24.45 | 21.07 | 7.36  |        |    |
|    | 6.87  |      | 31.71 |       | 23.18 | 52.88 |       |       |        |    |
|    |       |      |       |       |       |       |       |       | 114.65 |    |
| C2 | 第一期   |      | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |    |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |    |
|    | 1.21  | 9.13 | 16.57 | 15.33 | 20.48 | 24.71 | 19.27 | 6.73  |        |    |
|    | 10.34 |      | 31.90 |       | 20.48 | 50.71 |       |       |        |    |
|    |       |      |       |       |       |       |       |       | 113.43 |    |
| C3 | 第一期   |      |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |        | 總和 |
|    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |    |
|    | 3.45  | 8.69 | 16.42 | 18.94 | 17.75 | 24.48 | 26.02 | 9.37  |        |    |
|    | 28.56 |      |       | 36.68 |       | 24.48 | 35.39 |       |        |    |
|    |       |      |       |       |       |       |       |       | 125.11 |    |

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| D0 | 第一期   |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |
|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |
|    | 3.76  | 13.37 | 16.98 | 18.16 | 18.91 | 20.74 | 15.82 | 7.63  |        |
|    | 3.76  |       | 30.35 |       | 18.16 | 63.10 |       |       |        |
|    |       |       |       |       |       |       |       |       | 115.37 |
| D1 | 第一期   |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |
|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |
|    | 3.39  | 11.09 | 20.61 | 12.83 | 21.56 | 22.44 | 19.43 | 9.21  |        |
|    | 14.49 |       | 33.44 |       | 21.56 | 51.08 |       |       |        |
|    |       |       |       |       |       |       |       |       | 120.56 |
| D2 | 第一期   |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |
|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |
|    | 1.68  | 11.87 | 23.66 | 18.59 | 21.95 | 25.88 | 17.55 | 4.47  |        |
|    | 13.54 |       | 42.26 |       | 21.95 | 47.89 |       |       |        |
|    |       |       |       |       |       |       |       |       | 125.64 |
| D3 | 第一期   |       | 第二期   |       | 第三期   | 第四期   |       |       | 總和     |
|    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |        |
|    | 0.40  | 4.43  | 17.06 | 22.71 | 20.16 | 21.97 | 26.44 | 16.57 |        |
|    | 4.83  |       | 39.76 |       | 20.16 | 64.97 |       |       |        |
|    |       |       |       |       |       |       |       |       | 129.72 |

## 【評語】 080109

1. 能實際依據觀察魚的游動，製作相對應模型，並配合程式控制，進行實驗探究，作品具有創意。
2. 能架設實驗裝置，且改變各項變數，探究實驗，尤其也能透過相關視覺方式呈現實驗結果。
3. 能模擬魚游動的特性，探究藉由魚尾部左右擺動的時間差，形成渦流，以加快前進的結果。

# 摘要

本研究探討魚類擺動尾鰭，產生渦流與前進推力的關係。經測試與改良，製作能單純以尾鰭擺動前進的機械魚，並克服水中數據量測不易的困境，自製前進推力檢測裝置、水流流速偵測儀，也自製渦流製造機模擬魚體受力情況，希望找出尾鰭擺動造成加速的真相，結果如下：

- 一、魚以**配速的方式擺動前進**，**速差越大**，產生**推力越大**，前進**速度也越快**。
- 二、尾鰭擺動形成渦流作用於魚體，分為四個時期：**單一渦流產生期**、**成對渦流產生期**、**渦流相遇期**、**合流期**。
- 三、渦流相遇合流後，會產生強勁**噴流**，作用在尾鰭上是**主要推力來源**。
- 四、**渦流重疊區越大**，**噴流強度越強**。噴流**產生位置隨重疊區變小而往後移動**。
- 五、噴流與尾鰭垂直方向**夾角呈35度**，有助魚體前進。

## 壹、研究動機

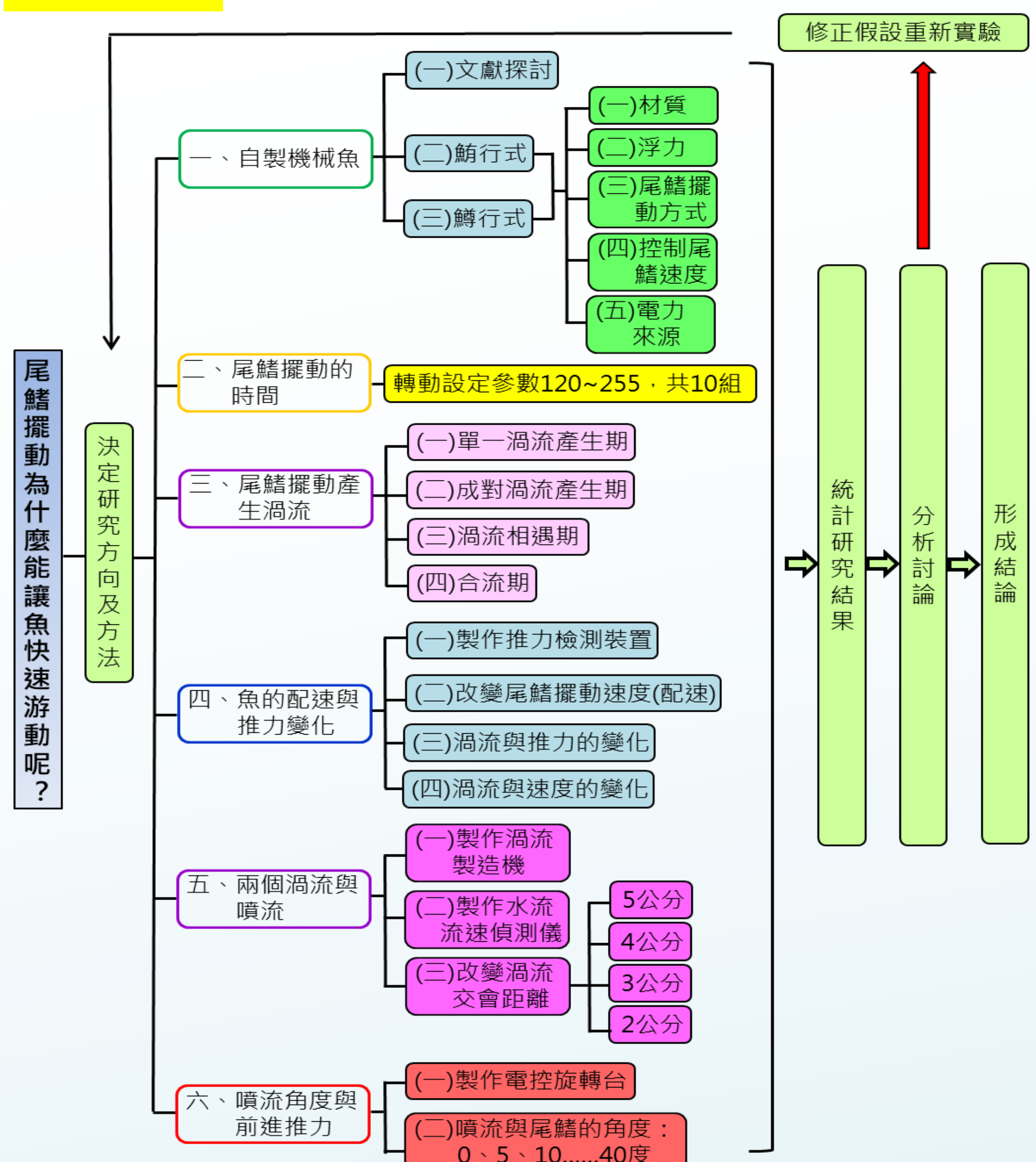
在自然課水生動物的單元裡，我學到不同魚鰭的構造具有各自的功能，其中魚的尾鰭主要功能是推動魚體前進，在仔細的觀察魚鰭擺動後，發現原地游動時，魚的胸鰭和尾鰭會輕輕擺動，但遇到危險要快速前進時，身體後段至尾鰭處會做瞬間擺動，接著便能讓身體快速前進，這讓我感到好奇，**這個瞬間的推力是怎麼產生的呢？單純是橫向擺動造成的反作用力，還是周遭的水流也扮演了關鍵的角色呢？**在求知欲驅使之下，我和學長姐組成團隊，在老師的協助下，開始進行一連串的探究之旅。

## 貳、研究目的

- 一、製作能單純運用尾鰭游動的機械魚
- 二、找出尾鰭不同速度擺動時所需的時間
- 三、觀察機械魚擺動尾鰭時水流變化的情形
- 四、探討尾鰭擺動時產生最大前進推力的配速模式
- 五、探討兩個渦流交會時水流速度的變化
- 六、探討噴流角度對機械魚前進推力的影響

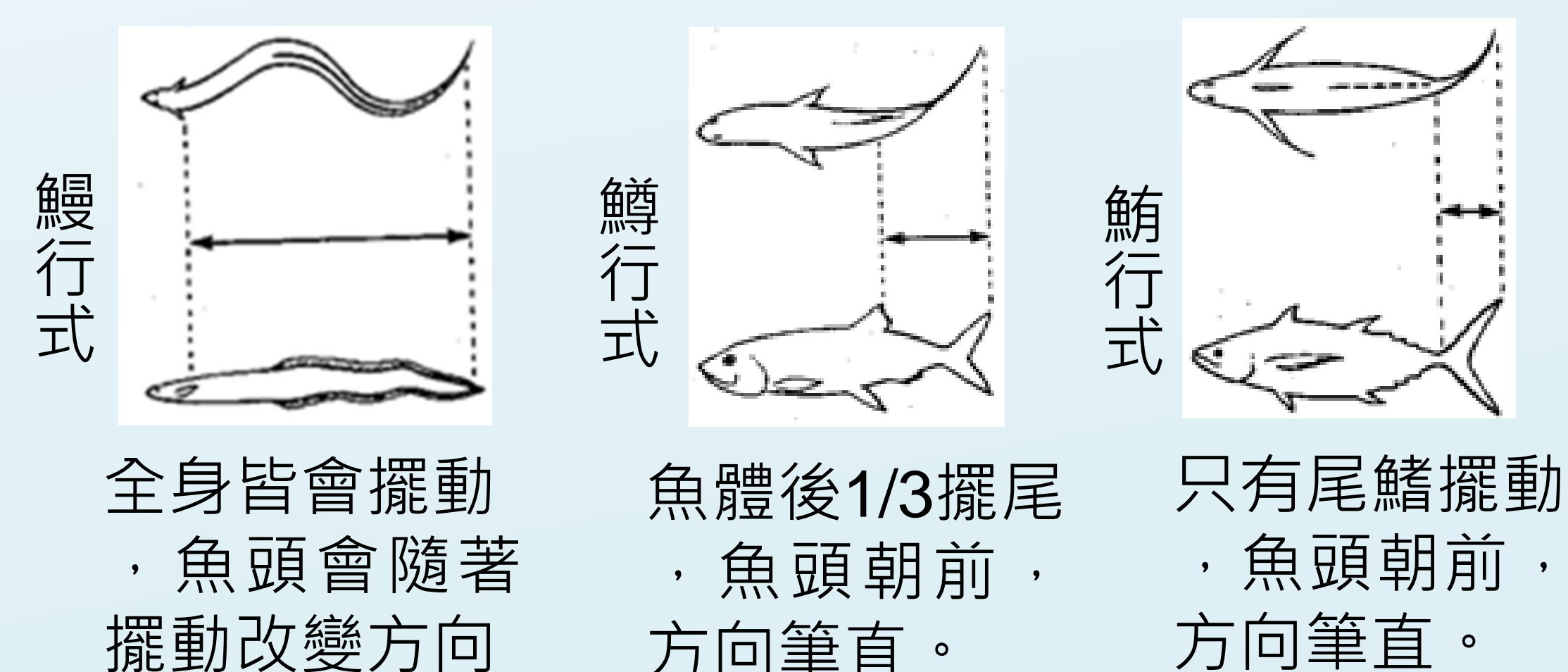
## 參、研究方法、結果與討論

### 研究架構



## 一、製作能單純運用尾鰭游動的機械魚

### (一) 魚類的游動方式



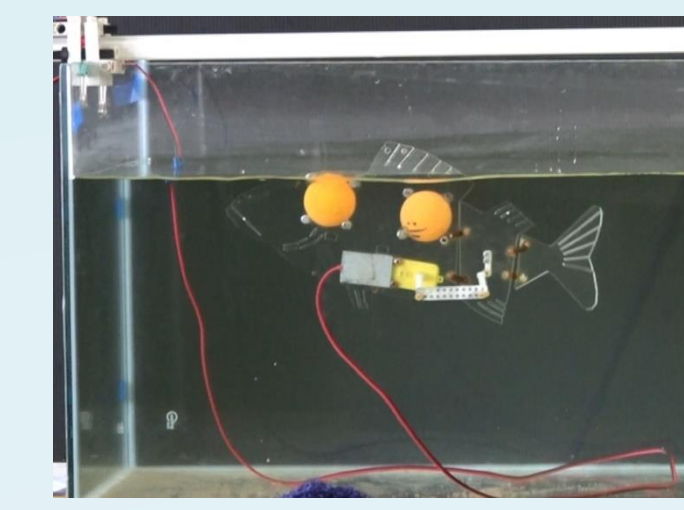
## (二) 設定尾鰭擺動速度及電壓控制

### 1. 定義轉速設定參數



圖：控制馬達的程式

### 2. 製造穩定的電流



圖：機械魚需連接電線

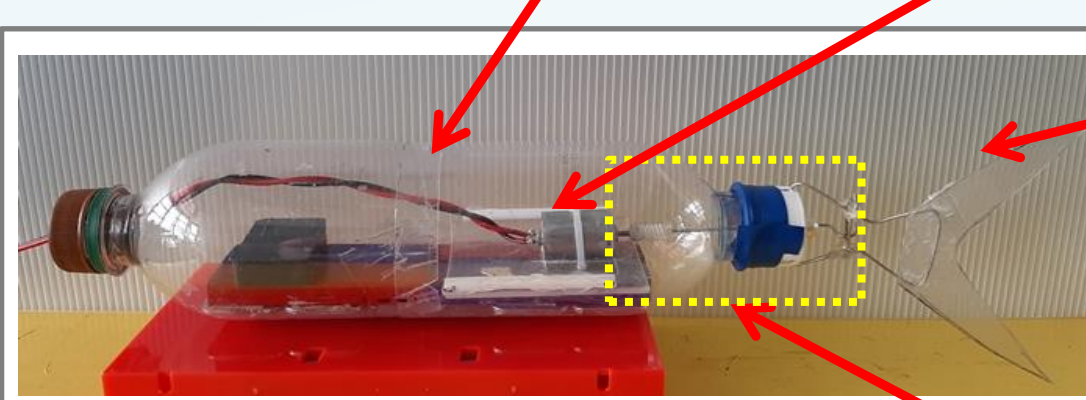
USB變壓器提供穩定電流，但也多了連接電線的限制。

## (三) 鮪行一號機械魚製作

### 寶特瓶魚身

做法：取兩瓶上半部在一瓶身的切口處以熱風槍加熱，讓兩瓶身可鑲嵌接合。

優點：保寶特瓶**可防水**，且具**浮力**。



鮪行一號機械魚全貌



原型魚種—鯖魚

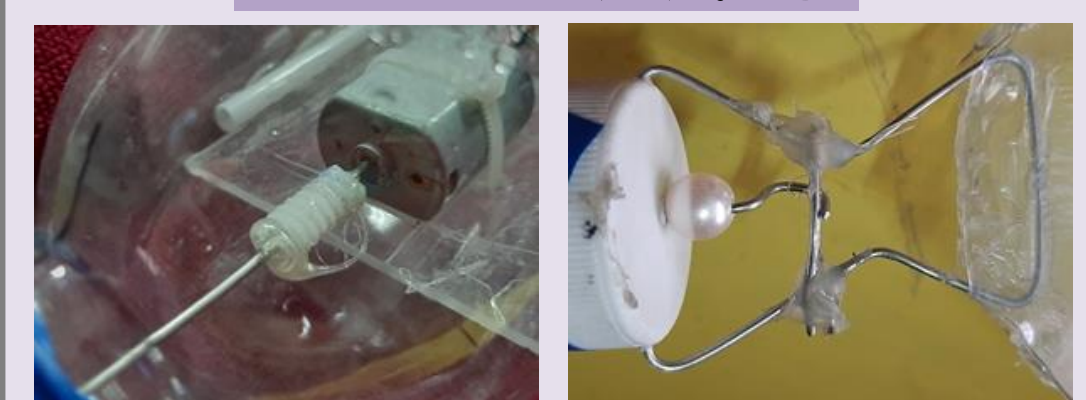
### 強扭力馬達

壓克力板切割長方形的洞，馬達下半部卡在洞內，以束帶將馬達固定。

### 尾鰭

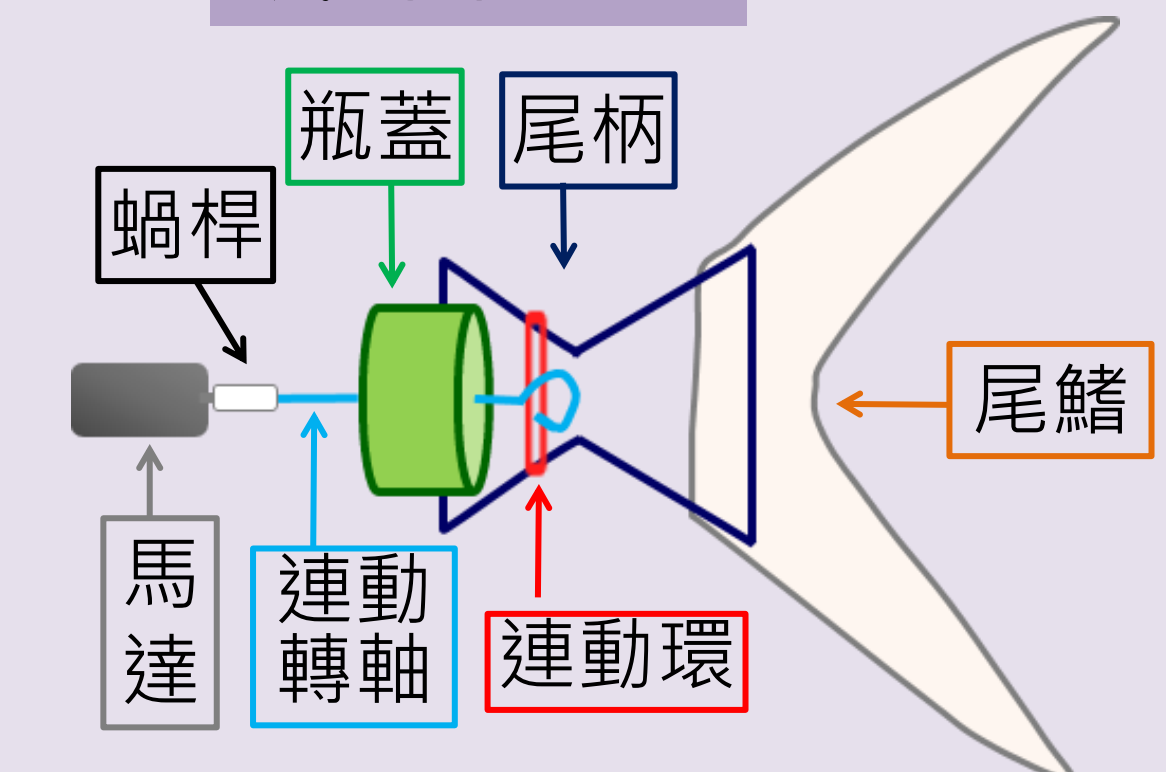
鐵絲尾柄一端固定於瓶蓋，一端以透明膠片製作兩片尾鰭貼於尾柄上。

### 尾鰭轉動機構



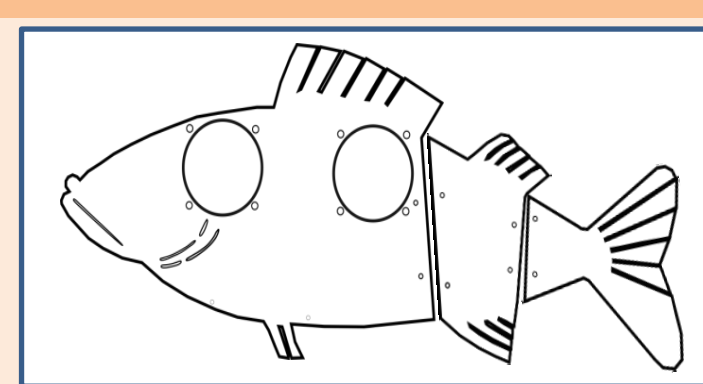
蝸桿一端連接馬達，一端穿過瓶蓋的連動轉軸。馬達一運轉，連動轉軸則會帶動尾柄上的連動環，讓尾鰭規律擺動。

### 機構示意圖



## (四) 鱒行一號機械魚製作

### 魚體材質及切割



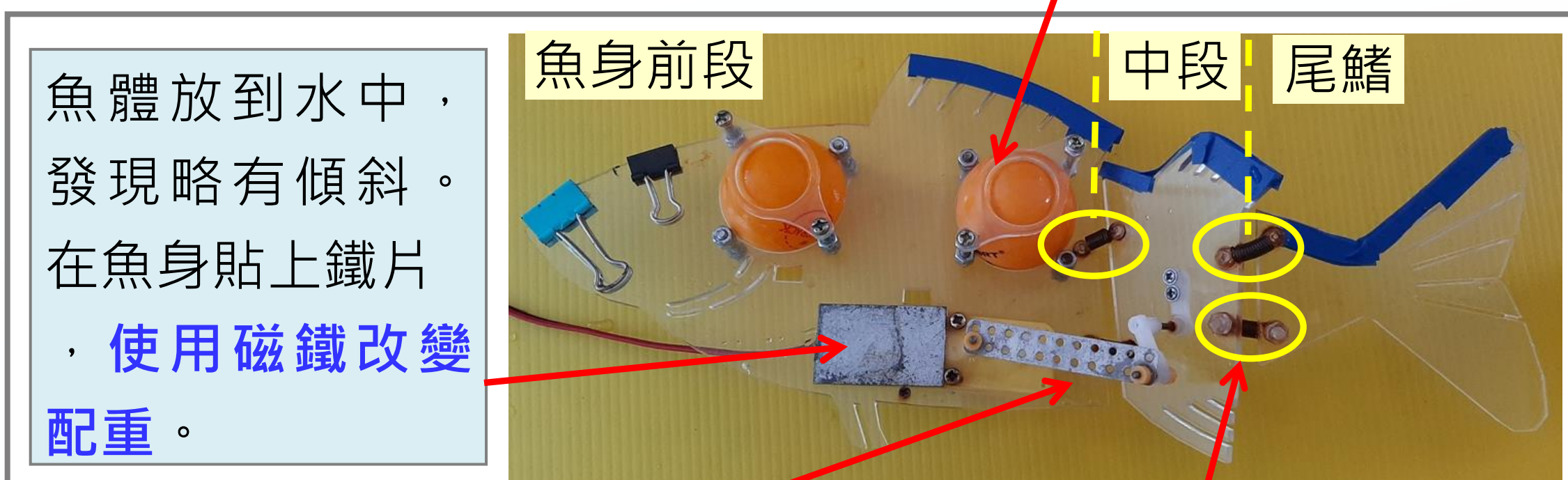
材質：以**壓克力**做魚體材料  
製作：以Inkscape畫出鱒魚的向量圖形，請自造中心協助**雷射切割**



原型魚種—鱒魚

### 浮力裝置

用支架及螺絲固定**乒乓球**產生浮力。



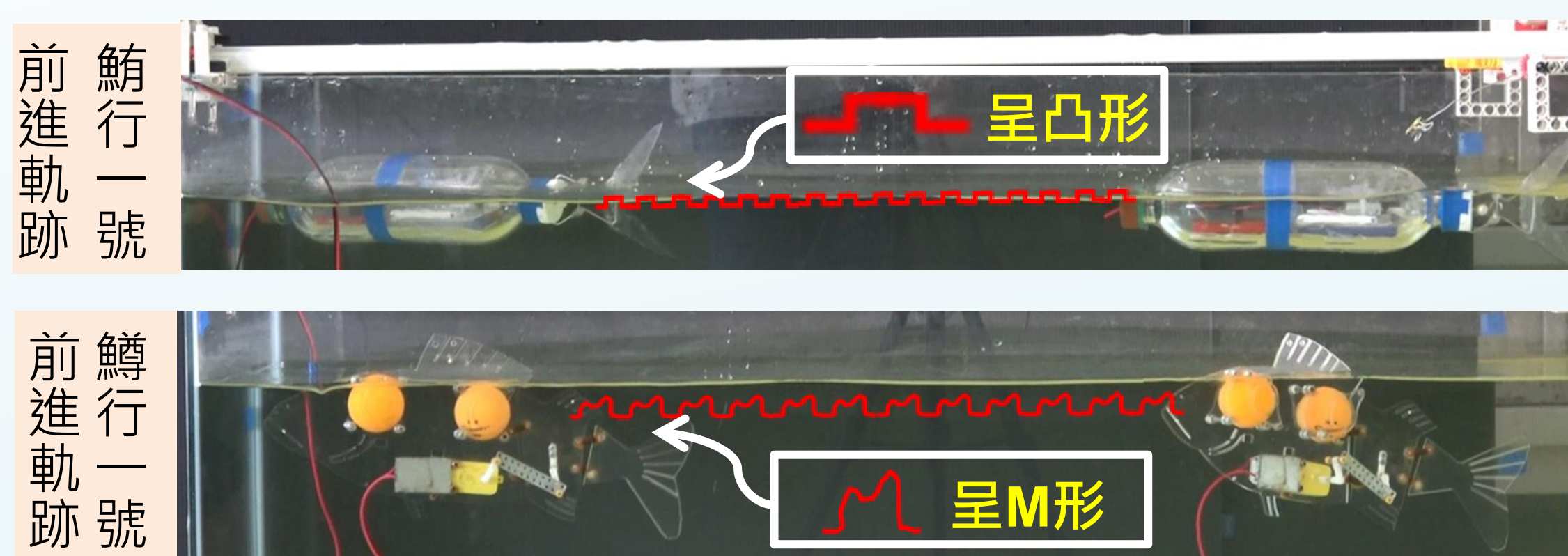
魚體放到水中，發現略有傾斜。在魚身貼上鐵片，使用磁鐵改變配重。

前段和中段是以兩組曲軸和雙排鐵片做連結。當馬達運轉前段的曲軸會帶動雙排鐵片，鐵片另一端的曲軸會帶動中段的魚身。

中段和後段的尾鰭只有用一組彈簧做連接，當中段擺動時，會利用彈簧帶動尾鰭往相反方向擺動。

## (五) 實際測試

下列兩種機械魚都單純用尾鰭擺動就可以前進，這驗證課本上說的，**尾鰭是魚主要負責推進的運動構造**。



## (六) 實驗發現

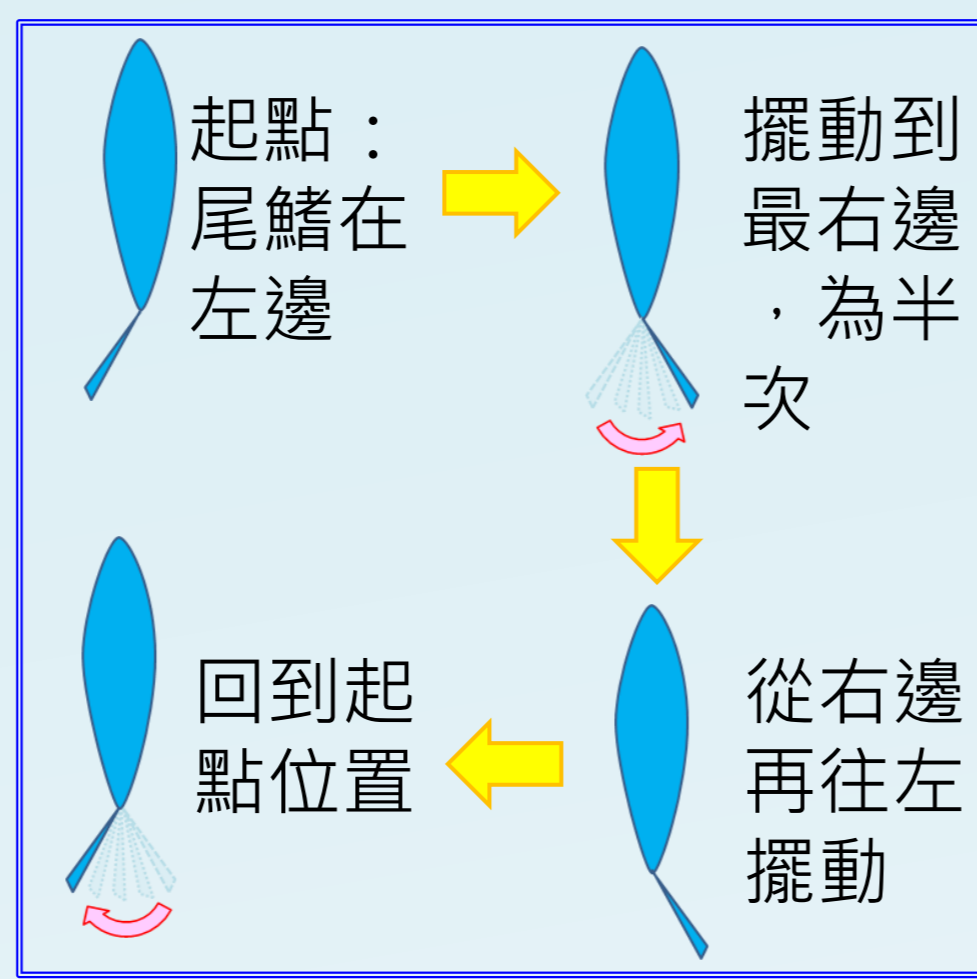
鮪行式和鱒行式機械魚的優缺點一覽表

| 鮪行一號   | 鱒行一號  |
|--|---|
| <p>◎優點：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以寶特瓶當魚身，<b>具立體感</b>。</li> <li>2. <b>尾鰭連動機構單純</b>，擺動具周期性。</li> <li>3. <b>游速較快</b>。</li> </ol> <p>◎缺點：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 魚體<b>配重不易掌握</b>，無法讓機械魚在水面下游動，而不沉於水底。</li> <li>2. 兩端瓶蓋有鑽孔，游動時，<b>水容易進入瓶中</b>，<b>改變魚體重量</b>。</li> <li>3. 機構在寶特瓶內，<b>要檢修時需拆開瓶子</b>，造成檢修的麻煩。</li> <li>4. 結構的關係，<b>尾鰭無法以分節型態表現</b>。</li> </ol> | <p>◎優點：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>能模仿鱒行式魚類的游動狀態</b>。</li> <li>2. 機構<b>零件維修方便且不易故障</b>。</li> <li>3. 因連桿裝置，<b>能以不同速度互相搭配當作實驗變因</b>。</li> <li>4. <b>尾鰭擺動能分節呈現</b>，易觀察。</li> </ol> <p>◎缺點：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以壓克力板當材質，<b>為平面</b>沒有厚實的魚身。</li> <li>2. 連桿裝置皆在魚身左側，游動時，<b>尾鰭會偏左擺動</b>。</li> </ol> |

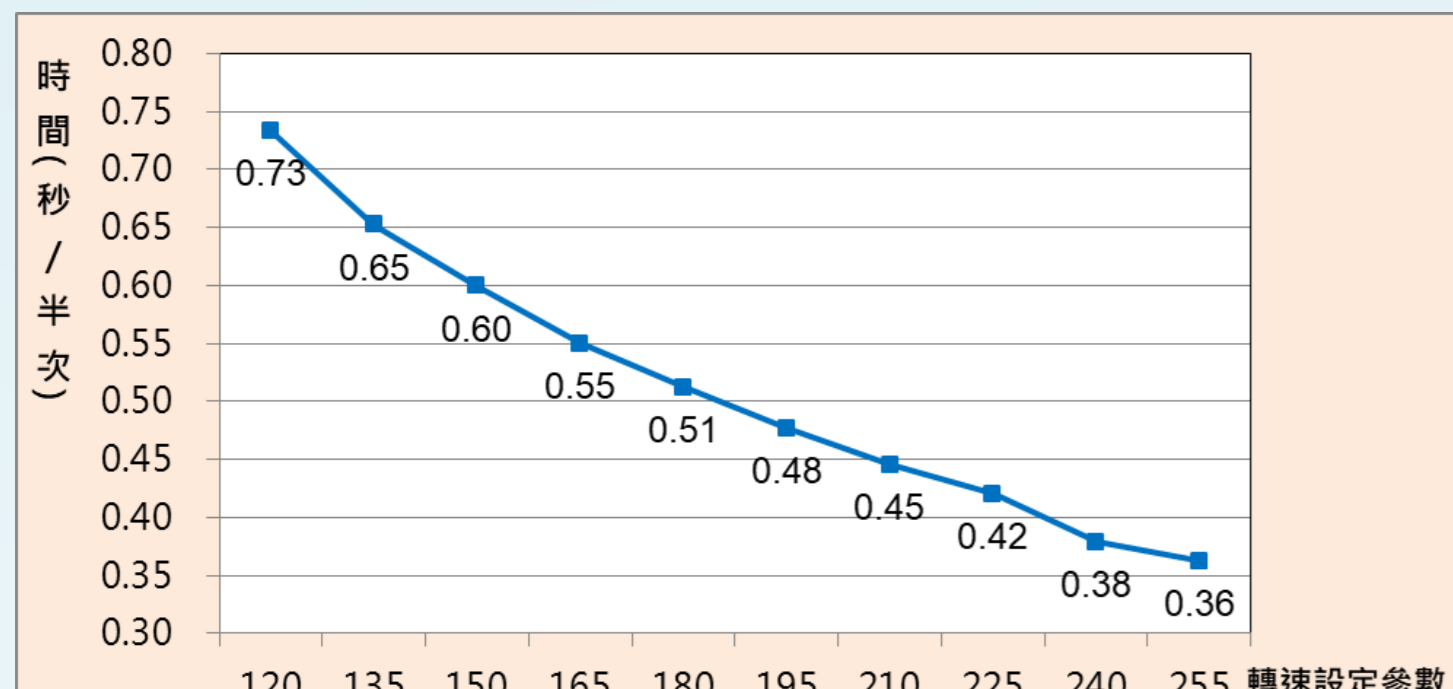
## 二、找出尾鰭不同速度擺動時所需的時間

### (一)實驗步驟

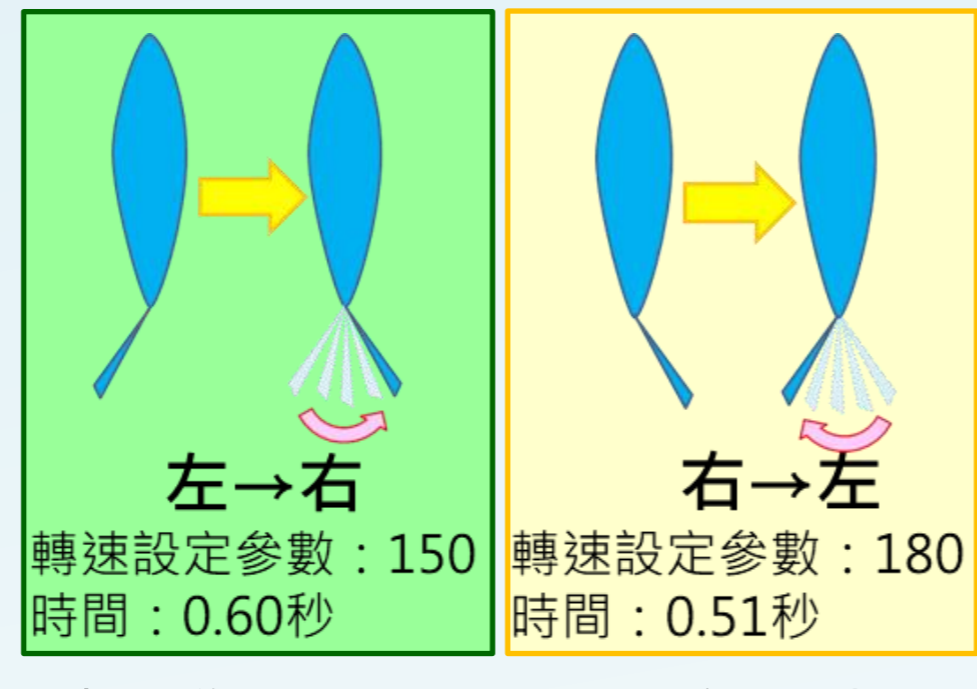
1. 固定魚身，不向前游動。尾鰭擺動的轉速設定參數有十組。
2. 機械魚的尾鰭在運轉前要先定位在魚身的最左邊，每次擺動範圍皆一致。
3. 攝影機記錄擺動十次的影像(由左到右、由右再回到左皆算半次)，進行三次。
4. 以軟體播放影片，紀錄二十個半次的擺動時間，並算出半次的平均時間。



### (二)實驗結果與發現



不同轉速設定參數的尾鰭，每半次擺動的平均時間折線圖



以A1為例尾鰭擺動速度及時間示意圖

1. 從折線圖發現，不同速度的擺動時間接近線性變化。
2. 運用結果，搭配快慢速度不同的擺動，建立有配速的實驗組，與沒有配速的對照組來比較，探討配速對魚體前進的影響。
3. 取中間四組當對照組，以對照組尾鰭來回擺動的時間當基準，實驗組來回擺動時間須與對照組的時間誤差控制在0.01秒以內，搭配四組不同的配速組合。

尾鰭每半次擺動的平均時間紀錄表

| 轉速設定參數   | 120  | 135  | 150  | 165  | 180  | 195  | 210  | 225  | 240  | 255  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 時間(秒/半次) | 0.73 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.51 | 0.48 | 0.45 | 0.42 | 0.38 | 0.36 |

A組配速組別及來回時間一覽表

| 組別     | 左→右 | 右→左 | 來回時間   |
|--------|-----|-----|--------|
| 對照組 A0 | 165 | 165 | 1.10 秒 |
| 實驗組 A1 | 150 | 180 |        |
| A2     | 135 | 210 |        |
| A3     | 120 | 240 |        |
| A4     | 120 | 255 |        |

B組配速組別及來回時間一覽表

| 組別     | 左→右 | 右→左 | 來回時間   |
|--------|-----|-----|--------|
| 對照組 B0 | 180 | 180 | 1.02 秒 |
| 實驗組 B1 | 165 | 195 |        |
| B2     | 150 | 225 |        |
| B3     | 135 | 240 |        |

C組配速組別及來回時間一覽表

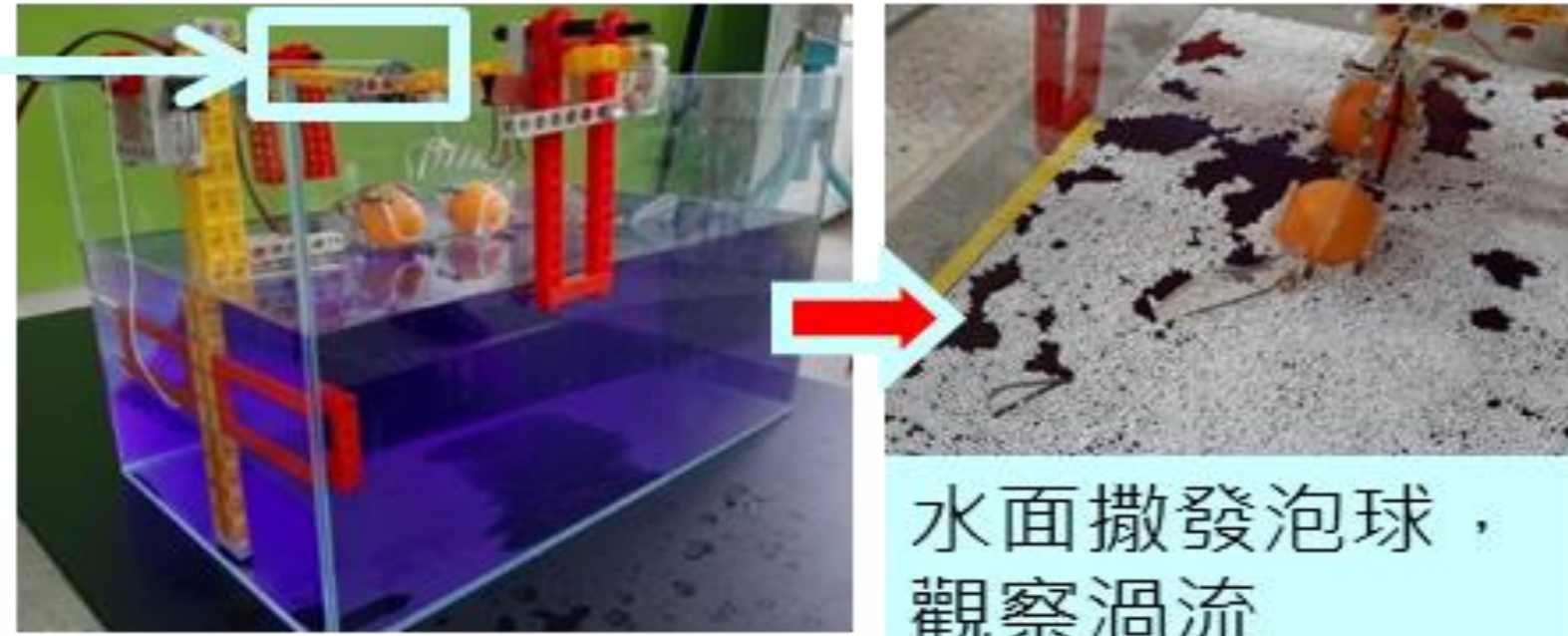
| 組別     | 左→右 | 右→左 | 來回時間   |
|--------|-----|-----|--------|
| 對照組 C0 | 195 | 195 | 0.96 秒 |
| 實驗組 C1 | 180 | 210 |        |
| C2     | 165 | 225 |        |
| C3     | 150 | 255 |        |

D組配速組別及來回時間一覽表

| 組別     | 左→右 | 右→左 | 來回時間   |
|--------|-----|-----|--------|
| 對照組 D0 | 210 | 210 | 0.90 秒 |
| 實驗組 D1 | 195 | 225 |        |
| D2     | 180 | 240 |        |
| D3     | 165 | 255 |        |

## 三、觀察機械魚擺動尾鰭時水流變化的情形

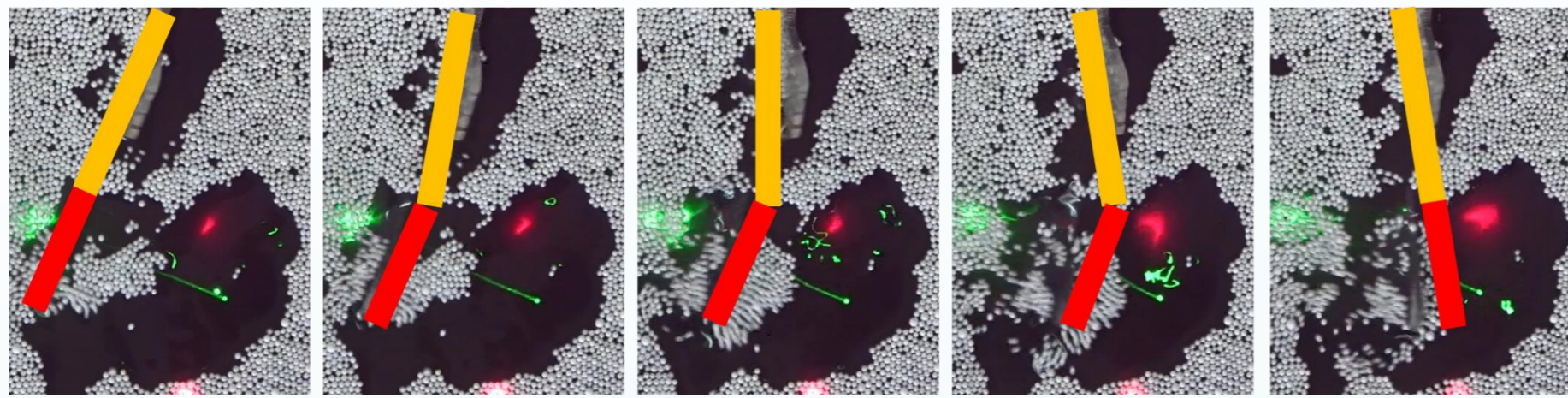
### (一)實驗步驟



### (二)實驗結果 機械魚擺動尾鰭形成渦流的過程分成四個階段：

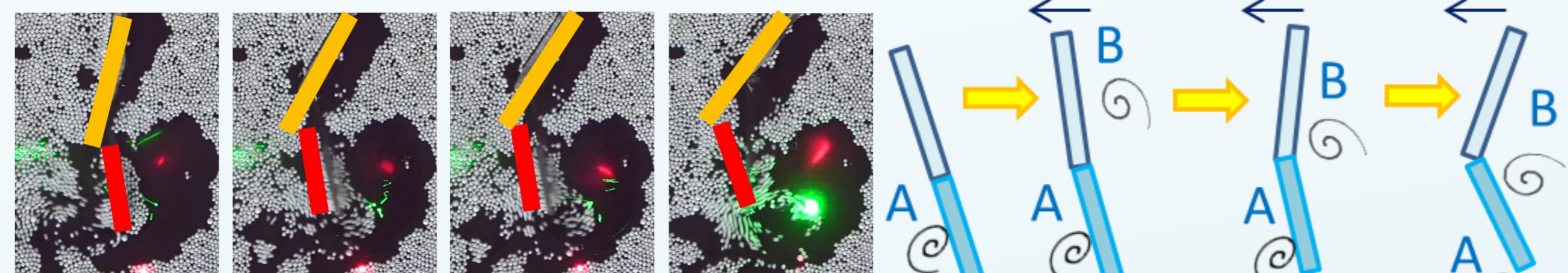
#### 第一期：單一渦流產生期

尾鰭從起點開始擺到另一側，擺動時，會在尾鰭後方形形成渦流A，直到尾鰭要往回擺時，渦流A會碰撞到尾鰭。



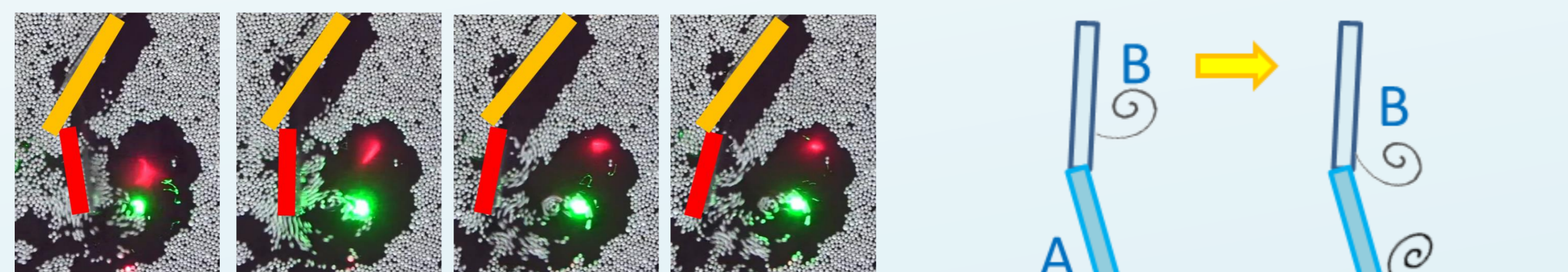
#### 第二期：成對渦流產生期

渦流A撞到尾鰭後，因為尾鰭反向擺動，所以會順著尾鰭往後移動，同時在尾鰭的另一側也產生渦流B。



#### 第三期：渦流相遇期

尾鰭回擺時，會將渦流A擠到另一側，兩個渦流會因此相遇。



#### 第四期：合流期

兩渦流相遇後，產生較大水流作用在尾鰭上，可以增加擺速，直到尾鰭可以擺到最大角度，水流會順勢往後。

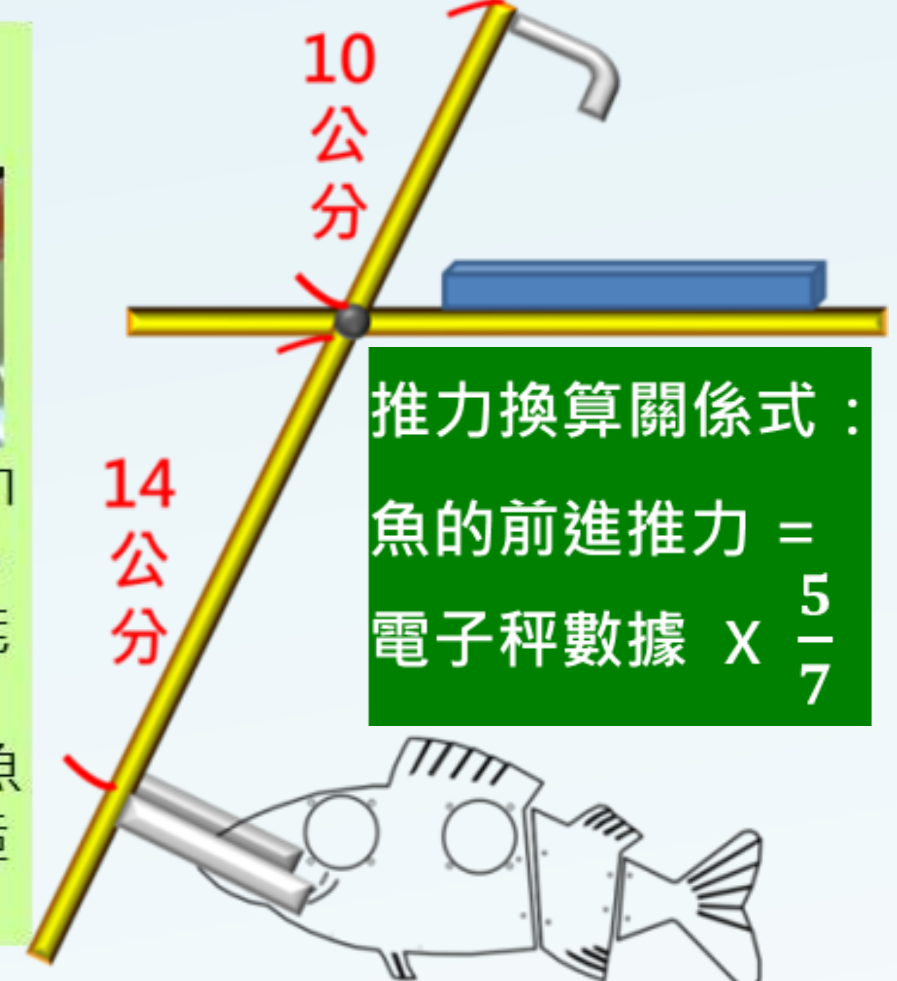
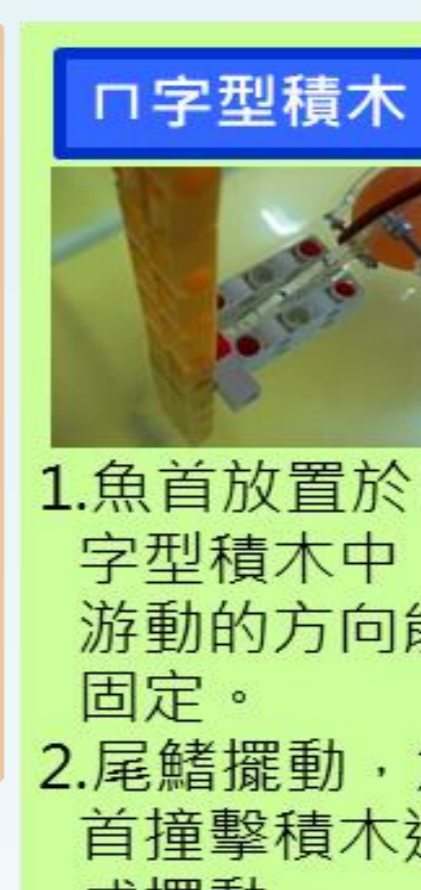


## (三)實驗發現

1. 當尾鰭擺動時，原來位置的水被撥往另一側時，周遭的水會填補空間而形成漩流，這是造成渦流的主因。
2. 四個時期渦流皆會作用於尾鰭，主要推力的產生應為第二期、第四期，第二期的渦流於尾鰭兩側推動魚身，第四期的渦流合流後，於同一側推動魚身。

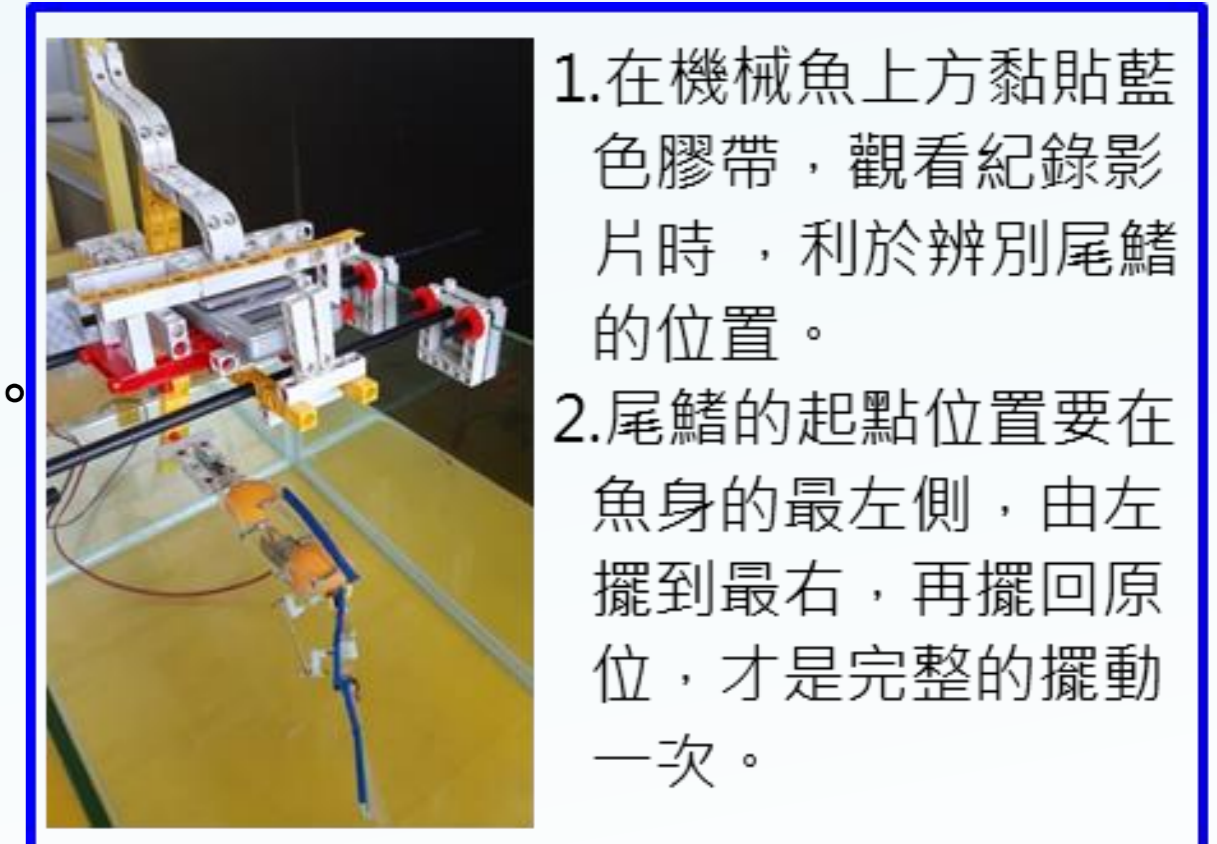
## 四、探討尾鰭擺動時產生最大前進推力的配速模式

### (一)裝置設計



### (二)實驗步驟

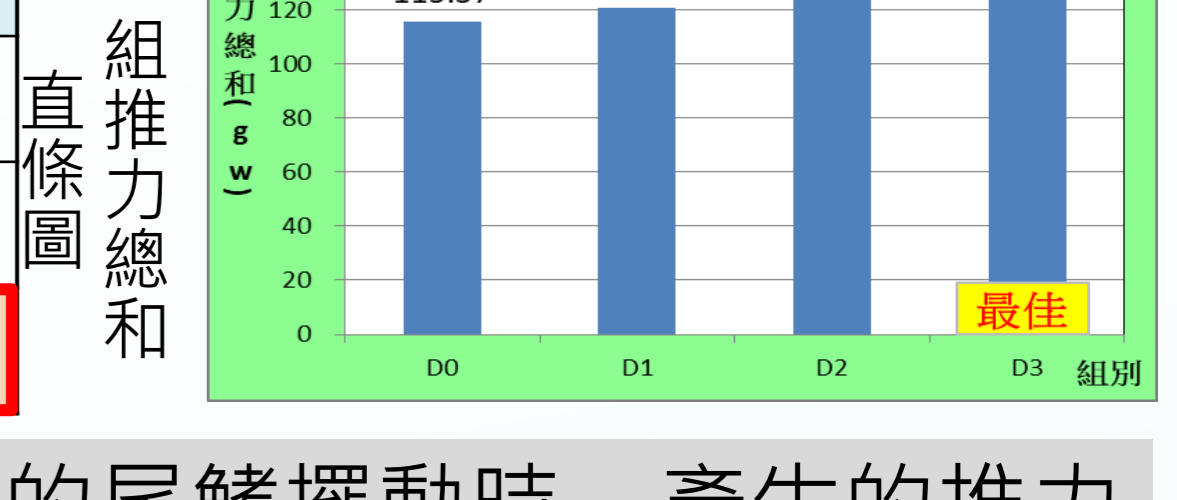
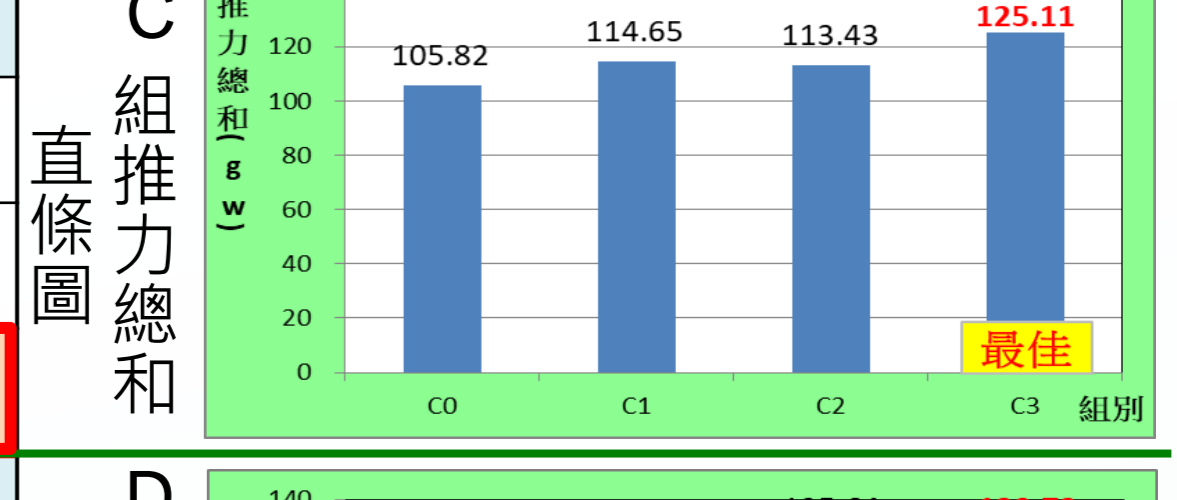
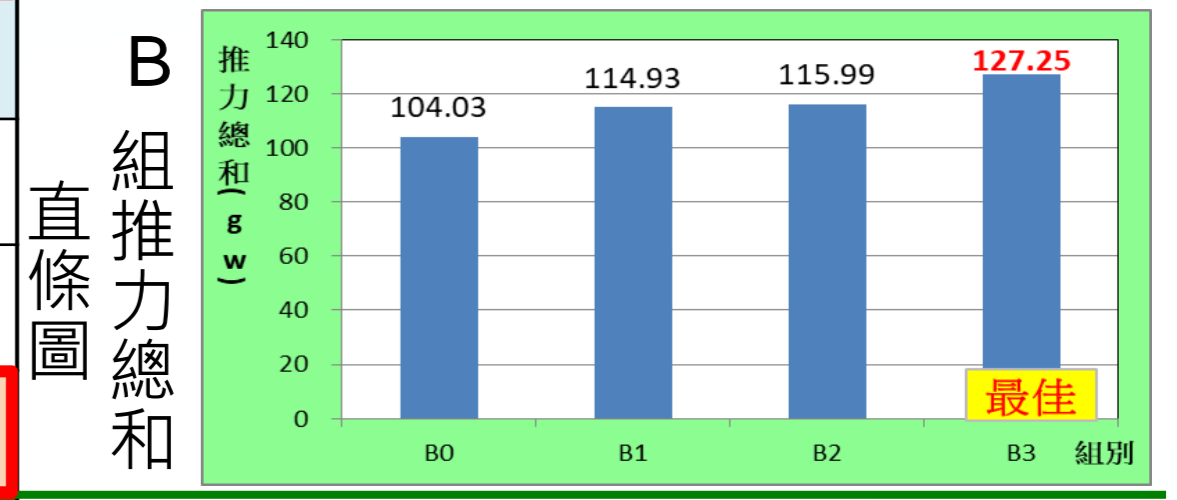
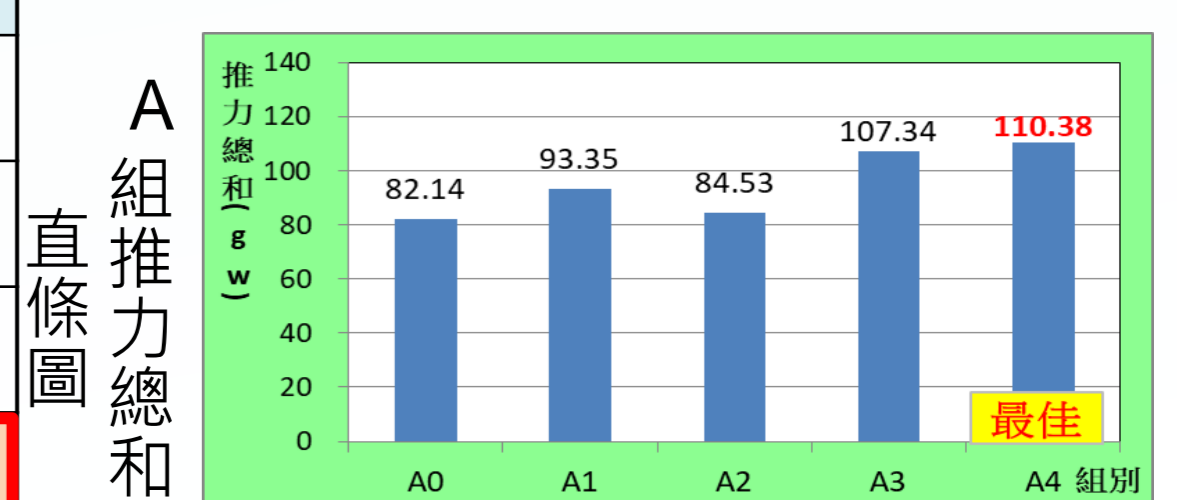
尾鰭由最左擺到最右，再擺回最左，為擺動一次，每組紀錄10次，以錄影機拍攝過程，以軟體擷取影像。每組擺動時間的差異，A、B組可取9個影格，C、D組為8個影格，將電子秤數據換算成前進推力數值。



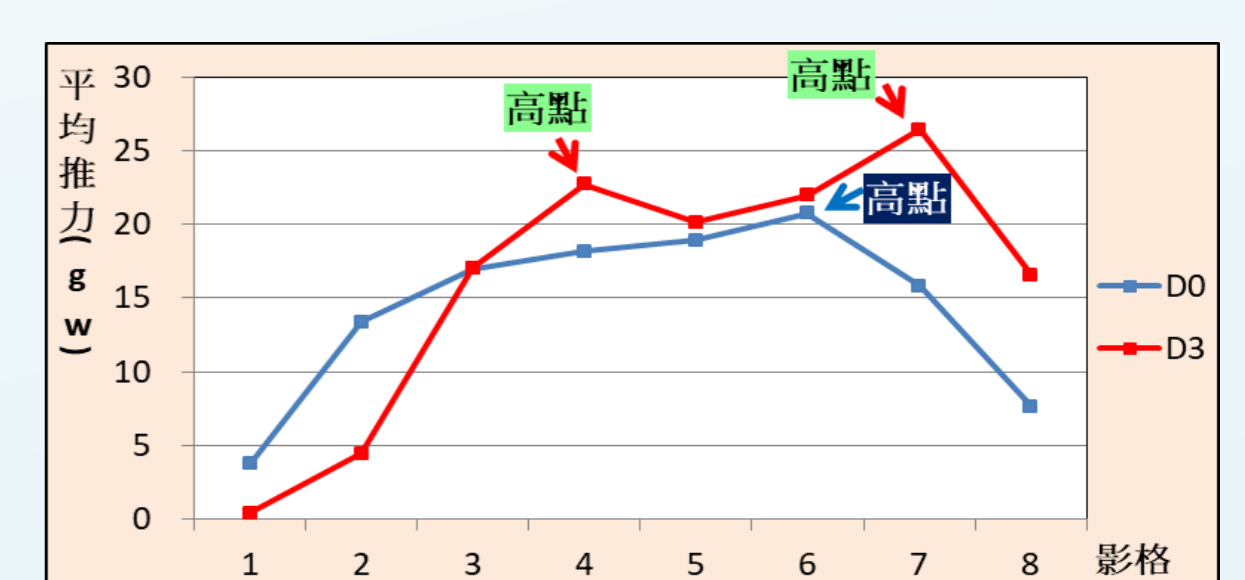
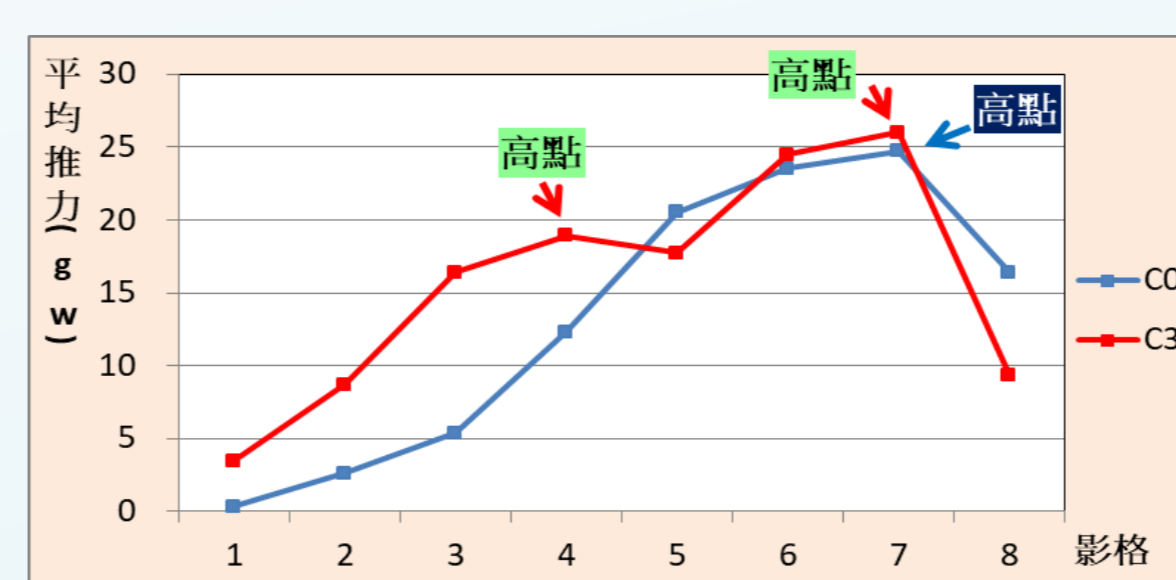
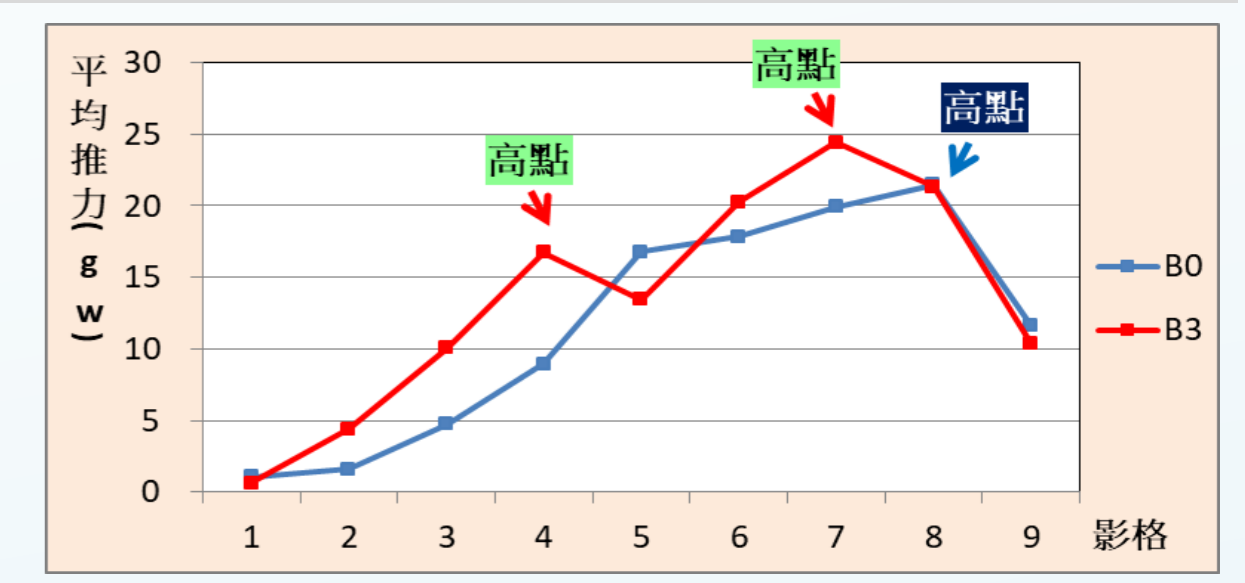
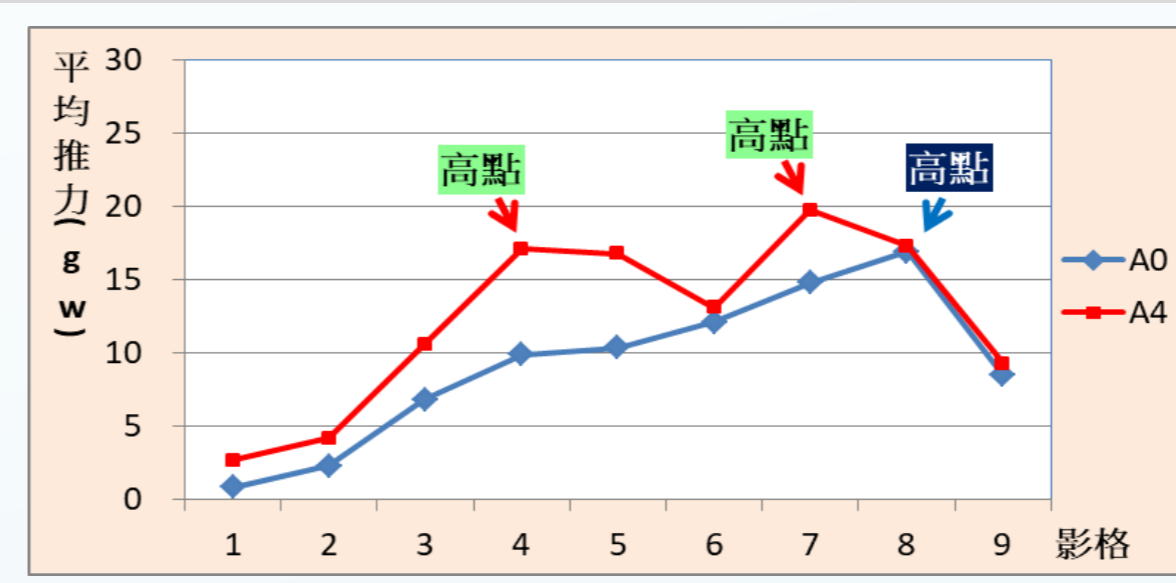
### (三)實驗結果與發現

每組在四個時期的推力(gw)一覽表

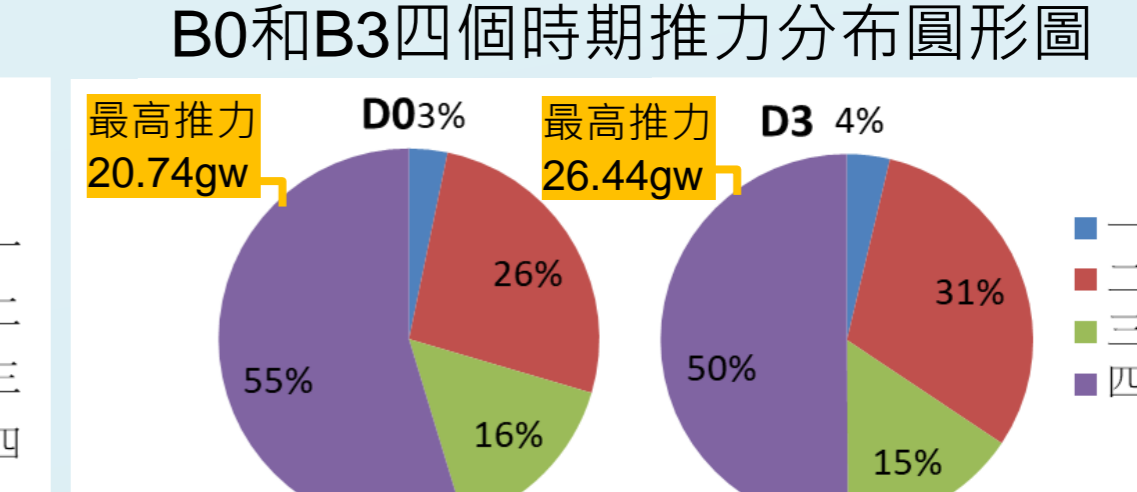
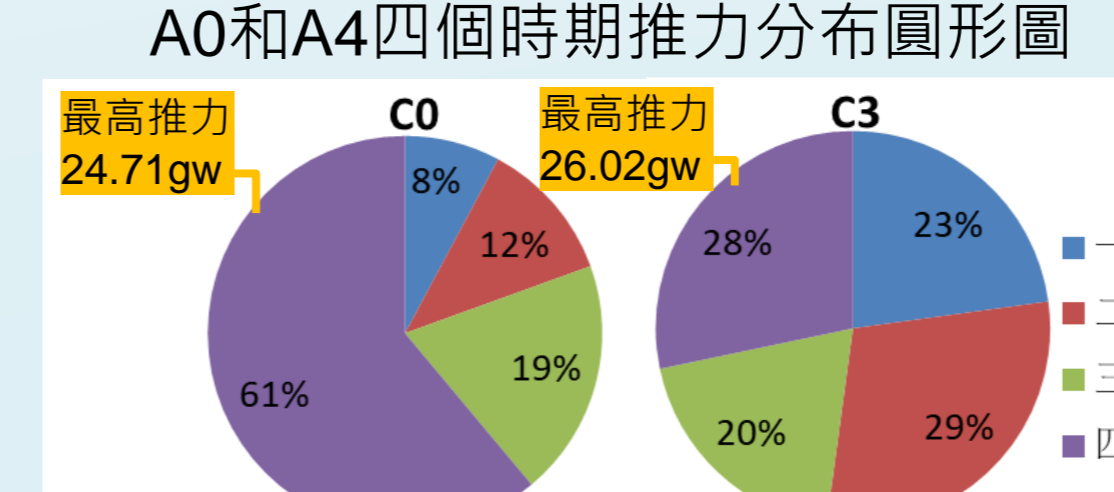
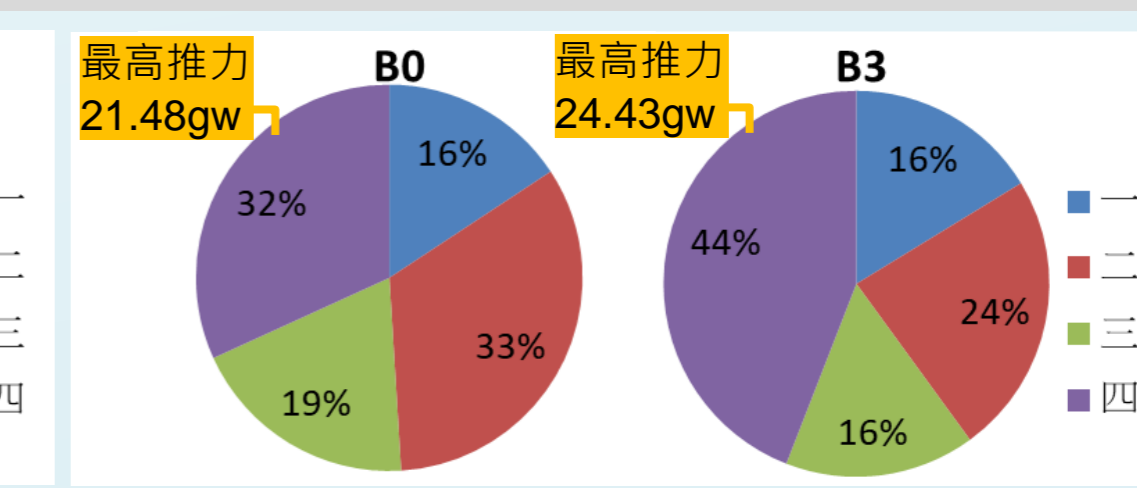
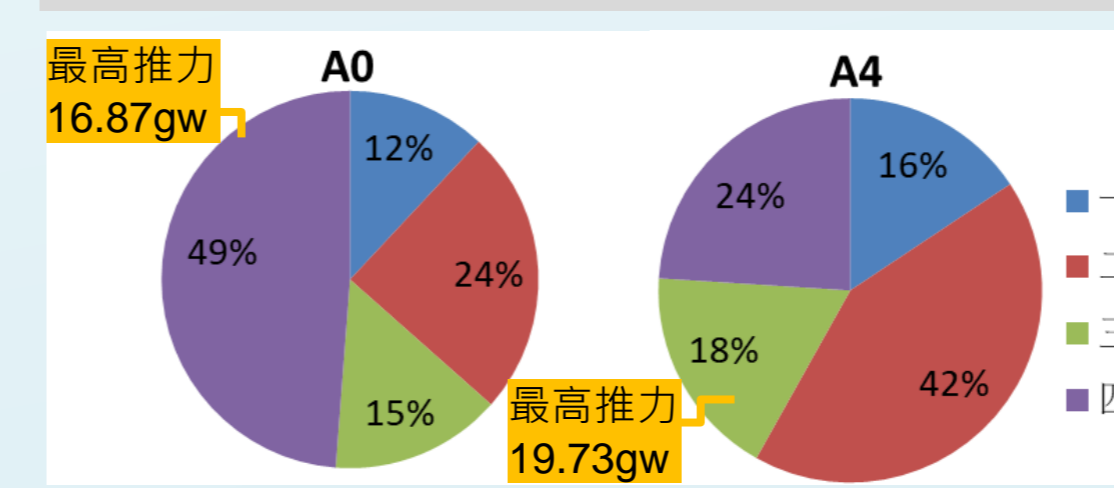
| 組別 | 第一期   | 第二期   | 第三期   | 第四期   | 推力總和   |
|----|-------|-------|-------|-------|--------|
| A0 | 9.83  | 20.18 | 12.06 | 40.07 | 82.14  |
| A1 | 25.92 | 35.50 | 17.67 | 14.26 | 93.35  |
| A2 | 12.54 | 25.85 | 14.56 | 31.57 | 84.53  |
| A3 | 15.61 | 47.75 | 14.79 | 29.19 | 107.34 |
| A4 | 17.30 | 46.87 | 19.73 | 26.48 | 110.38 |
| B0 | 16.36 | 34.64 | 19.94 | 33.09 | 104.03 |
| B1 | 25.27 | 32.38 | 20.05 | 37.23 | 114.93 |
| B2 | 10.79 | 37.80 | 16.52 | 50.88 | 115.99 |
| B3 | 20.71 | 30.17 | 20.29 | 56.09 | 127.25 |
| C0 | 8.28  | 12.33 | 20.56 | 64.65 | 105.82 |
| C1 | 6.87  | 31.71 | 23.18 | 52.88 | 114.65 |
| C2 | 10.34 | 31.90 | 20.48 | 50.71 | 113.43 |
| C3 | 28.56 | 36.68 | 24.48 | 35.39 | 125.11 |
| D0 | 3.76  | 30.35 | 18.16 | 63.10 | 115.37 |
| D1 | 14.49 | 33.44 | 21.56 | 51.08 | 120.56 |
| D2 | 13.54 | 42.26 | 21.95 | 47.89 | 125.64 |
| D3 | 4.83  | 39.76 | 20.16 | 64.97 | 129.72 |



由各組推力總和直條圖可知，有配速的尾鰭擺動時，產生的推力皆優於沒有配速，顯示魚類尾鰭擺動時，如果可以做一快一慢的速度搭配，在推進上會有比較大的優勢，且快慢速度差距越大的搭配，可以在擺動過程產生越大的力道。



1. 比對不同時間的推力變化折線圖，發現配速後，推力變化呈現雙峰，即來回擺動有兩次比較大的力道產生，沒有配速的實驗組則只有一次。
2. 折線圖的高點幾乎都是在第二期和第四期產生，符合實驗三的觀察結果。



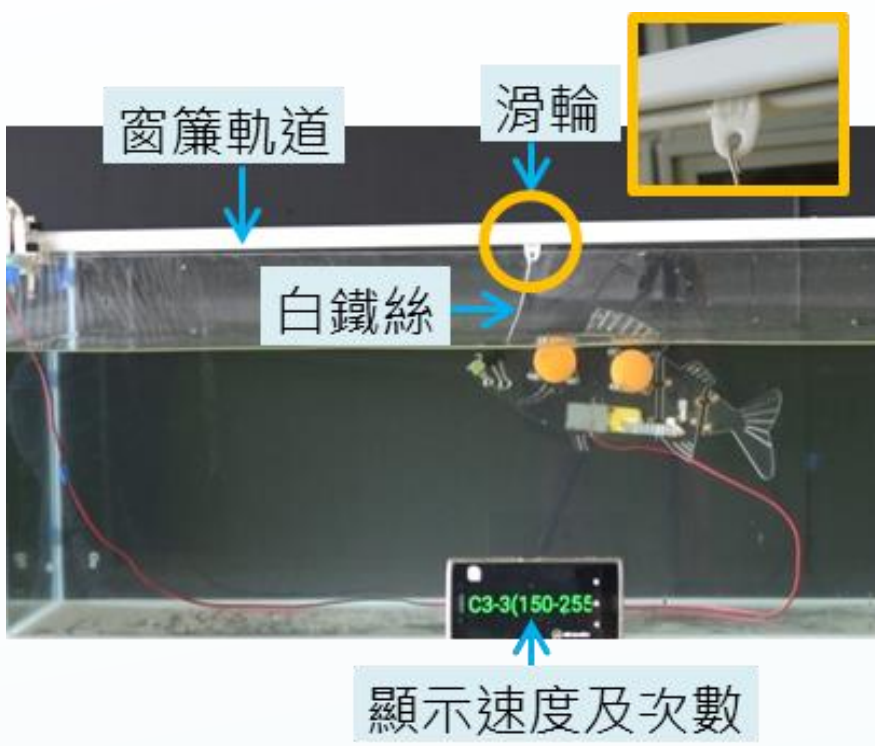
渦流相遇(第三期)和合流(第四期)的這兩個階段，是最高推力出現的時期。



## 延伸實驗、研究不同配速的尾鰭擺動時前進的速度

### (一) 實驗步驟

1. 手機藍芽控制尾鰭十七組的配速
2. 機械魚以鐵絲固定於滑輪，尾鰭擺放在最左邊。
3. 游動距離100公分，每組游5次，錄影記錄，以軟體播放計算游動的時間，刪除兩個極端值後，求每組配速模式的平均速度。



### (二) 實驗結果與發現

各組配速模式的平均速度和推力總和對照表

| 組別            | A0    | A1    | A2    | A3     | A4     | B0     | B1     | B2     | B3     |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均速度 (cm/sec) | 3.26  | 3.50  | 3.31  | 4.06   | 4.11   | 3.95   | 4.35   | 4.37   | 4.65   |
| 推力總和 (gw)     | 82.14 | 93.35 | 84.53 | 107.34 | 110.38 | 104.03 | 114.93 | 115.99 | 127.25 |

| 組別            | C0     | C1     | C2     | C3     | D0     | D1     | D2     | D3     |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均速度 (cm/sec) | 5.65   | 6.12   | 6.04   | 6.54   | 6.58   | 6.69   | 6.87   | 7.00   |
| 推力總和 (gw)     | 105.82 | 114.65 | 113.43 | 125.11 | 115.37 | 120.56 | 125.64 | 129.72 |

註：平均速度  
A0<A2<A1<A3<A4 B0<B1<B2<B3 C0<C2<C1<C3 D0<D1<D2<D3  
推力總和  
A0<A2<A1<A3<A4 B0<B1<B2<B3 C0<C2<C1<C3 D0<D1<D2<D3

1. 推力總和越大，魚體前進的速度越快，顯示配速產生的渦流，在前進推力或前進速度，比沒有配速的好。
2. 由實驗四和延伸實驗的結果可發現，原來魚前進要比較快，不是來回均速擺動，而是要一下慢一下快的擺動才行！

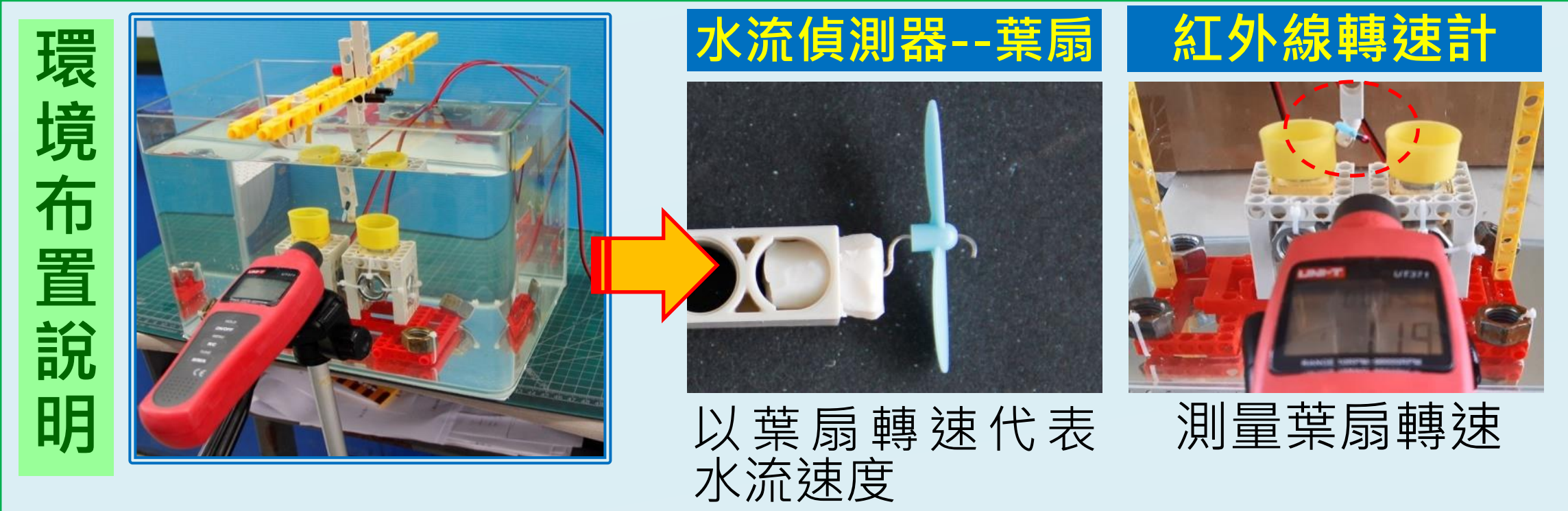
## 五、探討兩個渦流交會時水流速度的變化

### (一) 裝置設計

1. **機體**：瓶蓋固定在3V直流馬達上，馬達鑲入保麗龍。具減震效果。
2. **底座**：以積木為底座，四個螺帽綁在底部，增加重量。
3. **速度**：轉速設定參數200，一為順時針轉，另一為逆時針。
4. **電力**：使用USB變壓器提供穩定電流

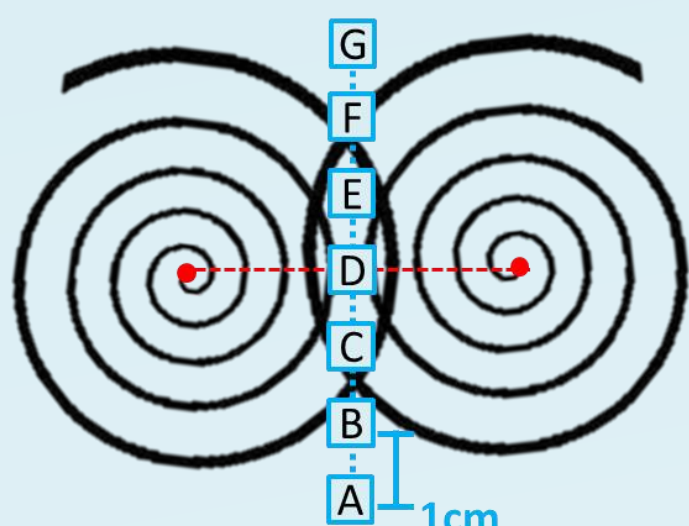
### (二) 實驗環境

將渦流製造機放置水族缸中，將水流流速偵測儀的葉扇放置在渦流之間，用紅外線轉速計測量葉扇經水流沖擊的轉速。



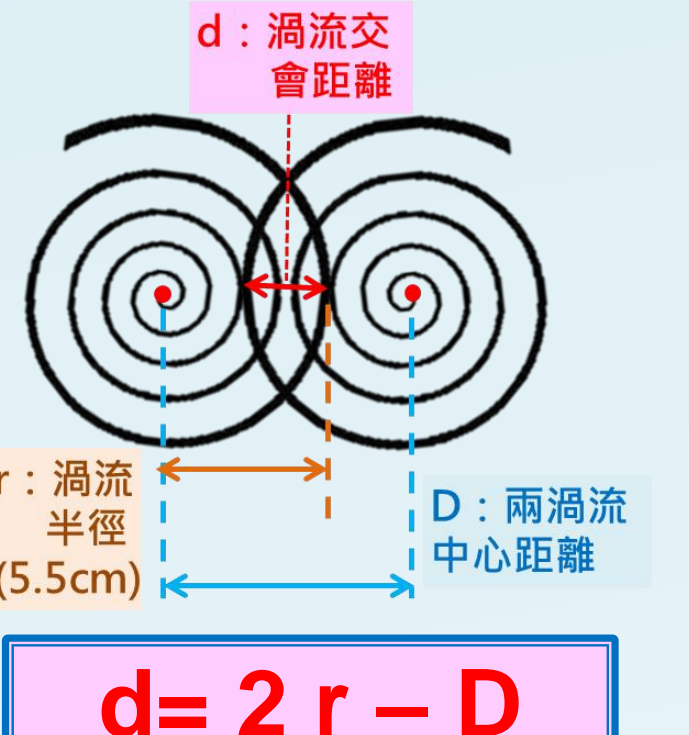
### 葉扇位置

將葉扇置於兩渦流的中間，以兩瓶蓋圓心連線為中間點，向前、向後各取三個位置，每個位置相隔1公分，測量七個位置的水流流速。



### 渦流交會距離

發泡球向圓心聚集，約半徑2.5cm的黃色圓圈；向外到藍色圓圈 (r=5.5cm) 形成漩流，將發泡球往外推去。



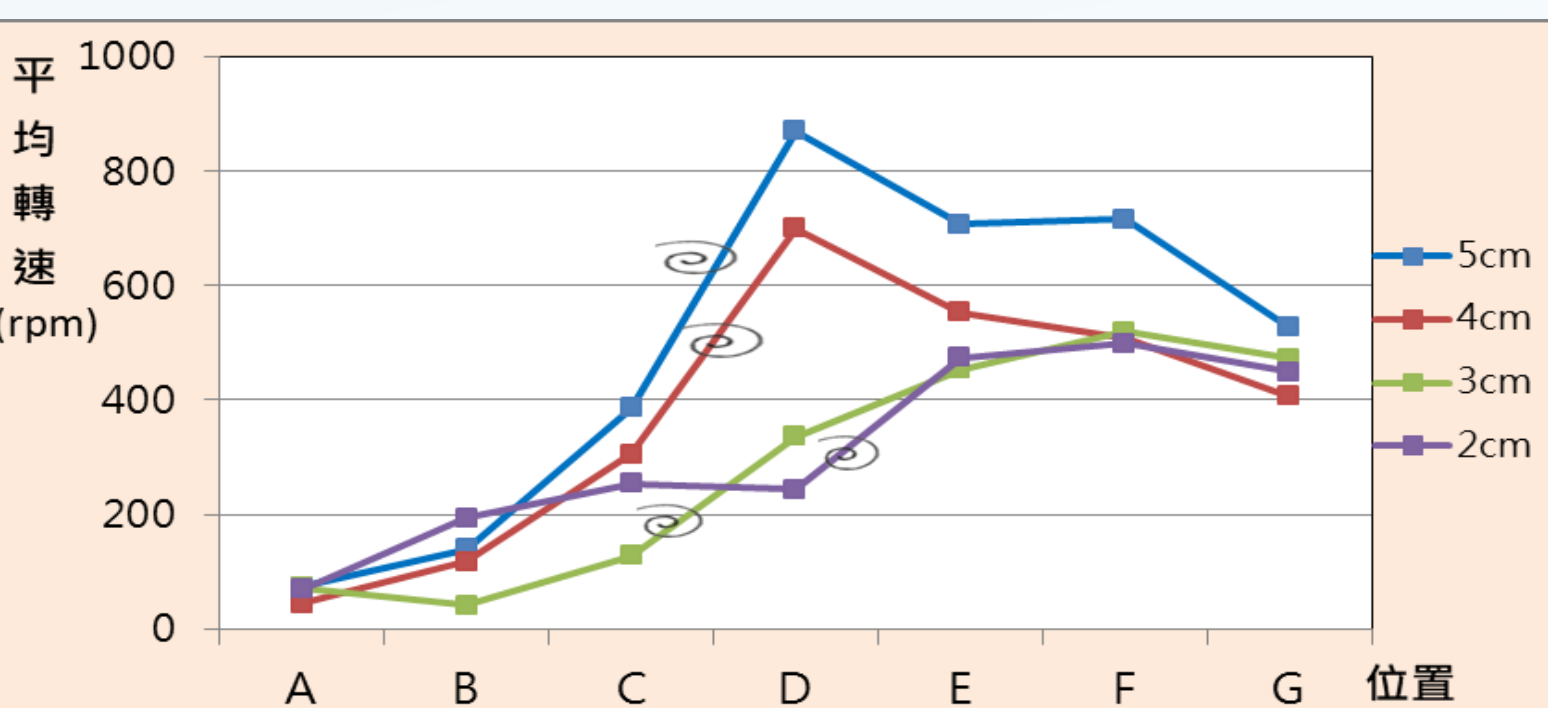
### (三) 實驗步驟

改變兩渦流交會的長度，為2~5公分，共有4組。葉扇一次測量一個位置的流速，依序放置在A~G 七個位置，以紅外線轉速計測量葉扇轉速，每個位置測一分鐘，測量5次，再計算平均轉速。

### (四) 實驗結果與發現

渦流交會長度不同，葉扇在七個位置的平均轉速(rpm)一覽表

| 位置    | A    | B     | C     | D     | E     | F     | G     |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d=5cm | 73.2 | 139.8 | 385.4 | 870.2 | 707.8 | 715.4 | 526.6 |
| d=4cm | 44.4 | 116.6 | 305.2 | 700.4 | 553.8 | 509.4 | 405.8 |
| d=3cm | 71.2 | 41.0  | 127.4 | 335.2 | 453.8 | 519.0 | 472.0 |
| d=2cm | 69.2 | 193.2 | 253.4 | 243.8 | 474.4 | 498.6 | 449.4 |

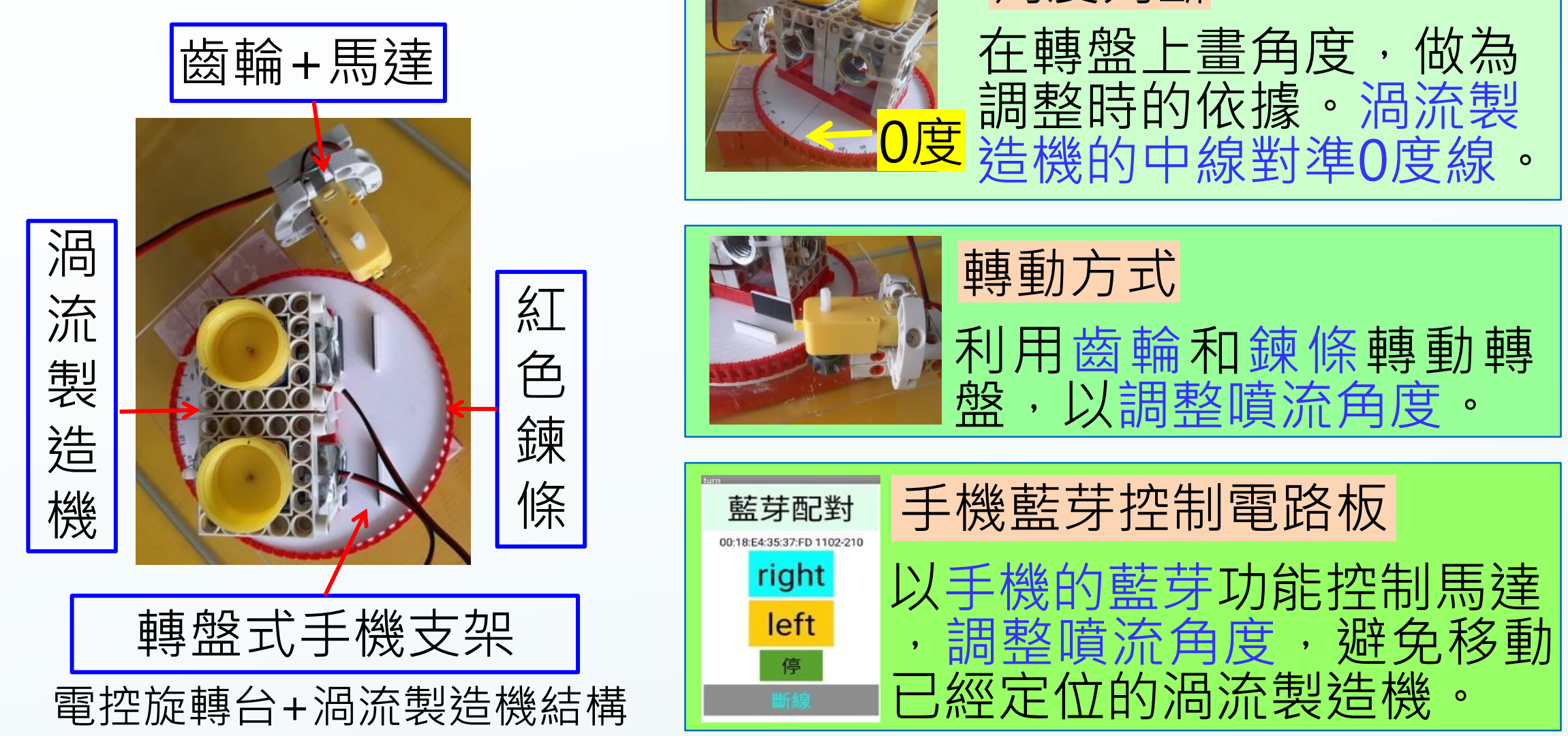


渦流交會距離不同時，葉扇在七個位置的平均轉速折線圖

1. 從表可知，在重疊區d=5時，中線位置D葉扇轉最大可達870.2rpm，流速突然增加二倍以上，顯示產生了一段強勁往後的直線噴流。
2. 當重疊區長度越長，即兩個渦流越靠近時，噴流強度越強；產生噴流的位置會隨著重疊區變短往後移動。

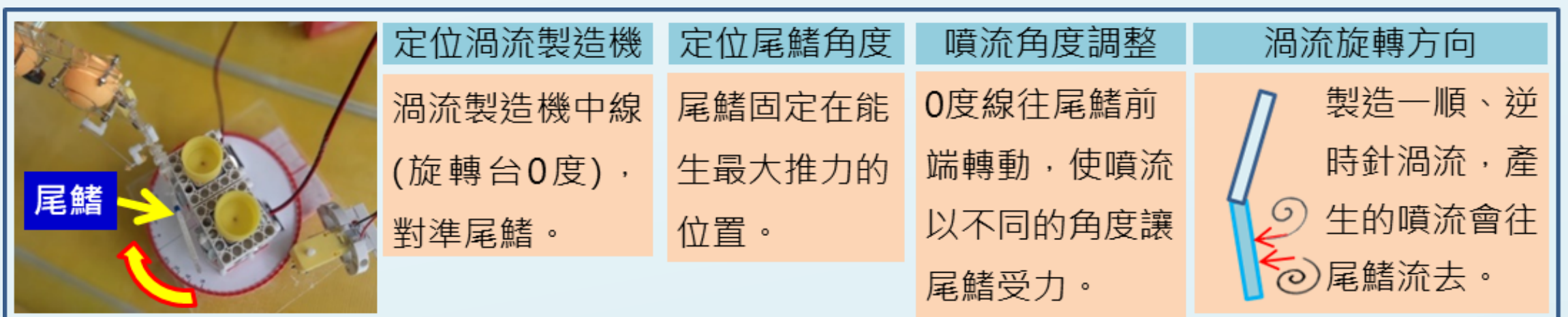
## 六、探討噴流角度對機械魚前進推力的影響

### (一) 裝置設計



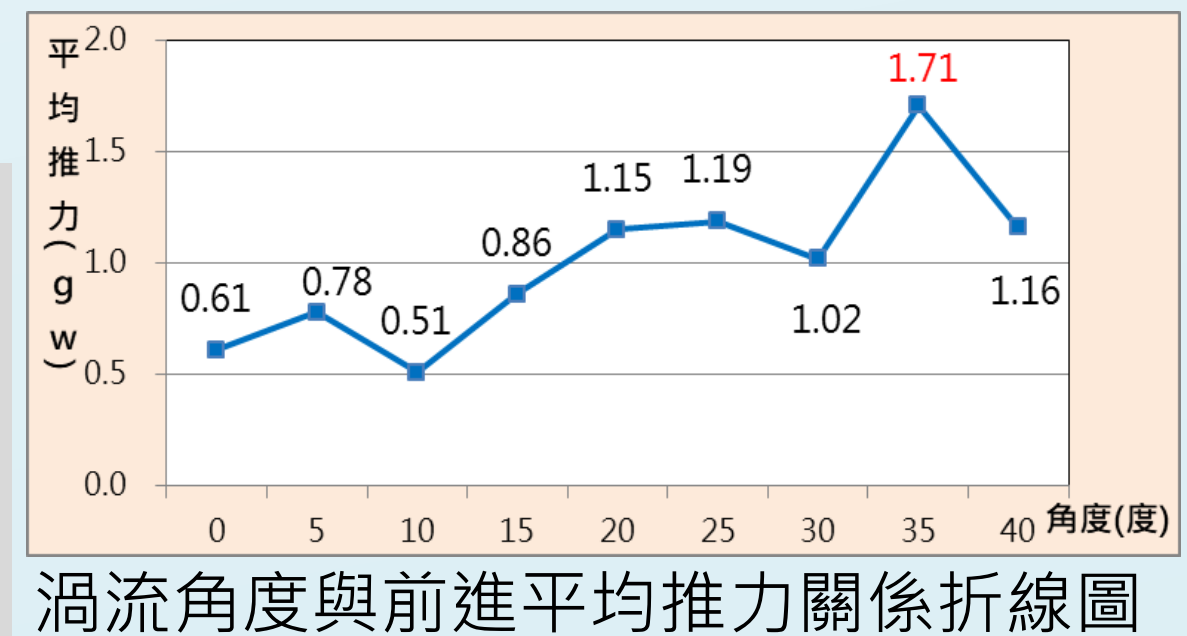
### (二) 實驗步驟

1. 機械魚尾鰭角度固定，為無動力。
2. 電控旋轉台0度對準尾鰭中段，移動角度為每隔5度往尾鰭前端轉動，有9組角度。
3. 渦流製造機運轉3秒，停止2秒為一循環，共12次。
4. 以錄影機紀錄推力檢測裝置上電子秤數據，找出每次循環中的最大推力，去除兩組極端值，求出平均推力。



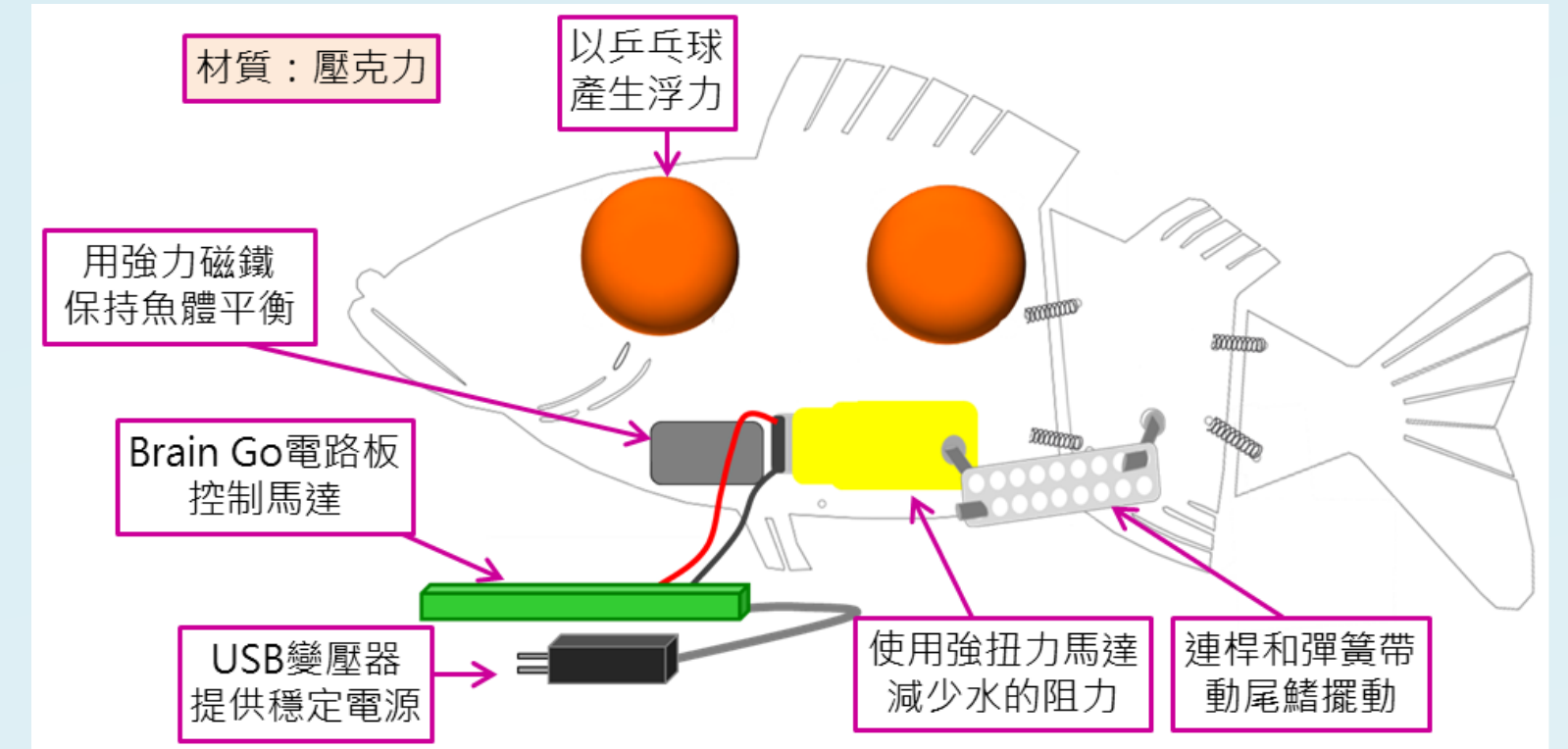
### (三) 實驗結果與發現

1. 魚體受力的變化和噴流的角度有關，噴流與尾鰭垂直方向夾角35度時，可以產生比較大的推力。
2. 推力數值會在噴流與尾鰭相對位置呈特定角度時變大，我們以結果去驗證配速和沒配速推力值的差別，合理推測這應該是一慢一快的速差讓合流期的噴流角度改變，進而達到產生比較大的推力。

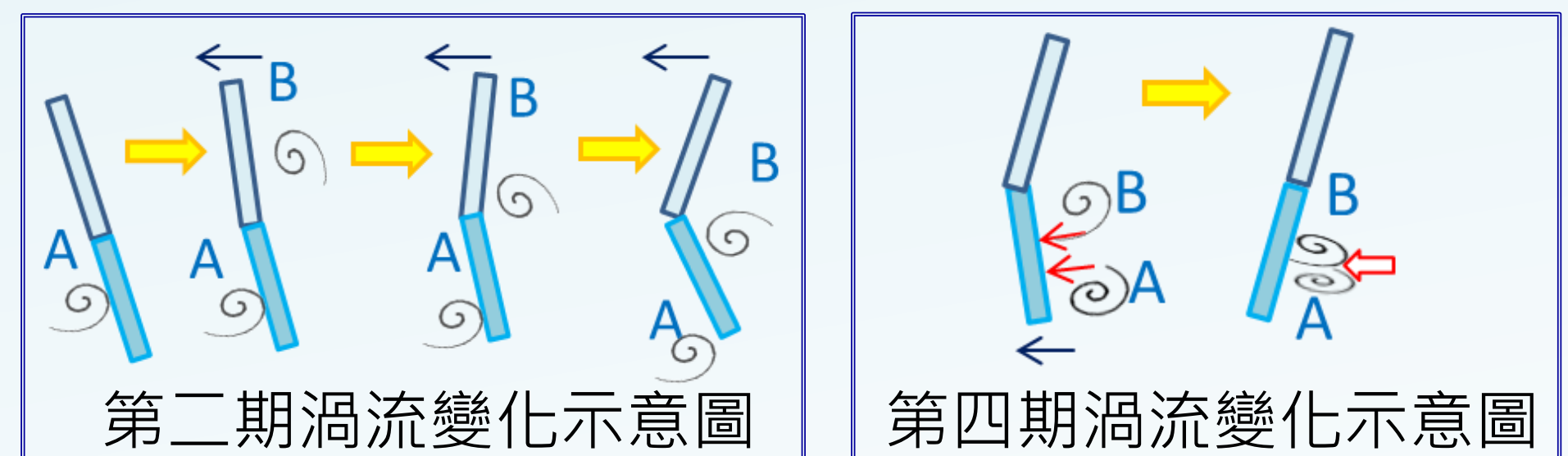


## 肆、研究結論

- 一、本實驗成功製作出單純用尾鰭擺動即可在水中運動的機械魚，也證實魚的尾鰭確實是魚主要前進的運動構造。



- 二、機械魚可透過電壓的輸出量控制尾鰭擺動速度，不同速度的擺動時間接近線性變化，可搭配成數組配速模式。
- 三、(一) 機械魚尾鰭左右擺動後會形成一對方向相反的渦流，在尾鰭後方同側相遇並合流，按照尾鰭擺動的形態和渦流作用於魚體的狀況，可細分為四個時期：  
1. 單一渦流產生期、2. 成對渦流產生期、3. 渦流相遇期、4. 合流期。  
(二) 四個時期渦流皆會作用於尾鰭上，主要推力的產生為第二期及第四期，第二期的渦流於尾鰭兩側推動魚身，第四期的渦流合流後，於同一側推動魚身。



- 四、(一) 當魚體快速前進時，如果擺動配速，速差越大，可以產生較大的推力，前進速度也比較快。  
(二) 當尾鰭擺動配速時，推力變化折線圖會呈現雙峰，來回擺動有兩次比較大的力道產生，沒有配速的實驗組則只有一次。
- 五、(一) 兩渦流交會時，在重疊區會產生一段強勁往後的直線噴流，作用在魚體上，是主要的前進推力來源。  
(二) 當重疊區長度越長，即兩個渦流越靠近時，噴流強度越強，產生噴流的位置會隨著重疊區變短往後移動。
- 六、魚體受力的變化，和噴流的角度有關，噴流與尾鰭垂直方向夾角35度時，可以產生比較大的推力。

