

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第一名

080111

我不搖擺喔!-魚尾船的尾槳擺盪與船速相關性探討

學校名稱：新北市新莊區中信國民小學

作者： 小五 呂雨叡 小五 李珮琪 小五 鄭暄潔 小五 李佳穎 小五 王怡婕 小五 高瑞思	指導老師： 鍾賢忠 陳宇書
---	-----------------------------

關鍵詞：尾槳推進力、擺動頻率、水阻

得獎感言

像爬山的科展之路

還記得剛開始時，我們認為科展探究就像平常的自然課一樣，既好玩又有趣，但實際接觸後，每週任務接踵而來，從找題目、文獻探討和設計實驗，足足就花了我們兩個多月的時間，真的不是件容易的事情。自然課的實驗有課本可以參考，但科展研究的內容只能自己蒐集資料後，設計內容並與老師討論；加上一開始的我們在作實驗上很不主動，所以常常被老師念，當時大家真的覺得壓力很大！

但是我們還是堅持著，探究的路途上經歷了許多困境，例如：船體掉到地上損毀，導致整艘魚尾船重作，連帶影響到過去的實驗要重新操作，結果(船速)才能互相比較；跟老師討論報告時，大家針對問題一直無法抓到回答的重點而氣餒灰心；甚至還有人因為報告內容寫不出來或是一直膽怯回答問題，被要求留在學校進行補強等。但是我們也學到了很多，例如：製作東西不是只有做而已，還要做好、而且要有美感；做實驗要有耐心、不能急躁；科展探究和其他活動時間衝突時，需要知道如何分配時間，甚至學會取捨；相信自己的隊友，大家會互相扶持與合作；閱讀自然課本和數學的圖表時，能夠更快理解並掌握其中內容……，這些都是我們在科展過程中所獲得的養分。

這次，我們從市展脫穎而出，代表新北市參加國展，再到獲得國小物理科第一，過程真的很辛苦，就像爬山一樣，有時候真的累到流眼淚、不想再走下去，但還好有老師和爸爸媽媽的鼓勵與支持，讓我們能夠走到最後，有機會去感受從山頂看到山下景色的美麗與美好，突然覺得一切都是值得的！我們相信這些學習與體驗，終將是難忘的回憶。



大家利用假日時間一起找文獻資料、討論並將資料整理與記錄



市賽布置時，我們與老師的討論畫面

摘要

魚尾船是一個類似搖櫓船的科學玩具，設計上應用到曲柄與連桿，利用前軸曲柄來帶動後軸曲柄產生拉與推兩種運動狀態，使尾槳可以來回左右的擺動。我們發現尾槳擺動角度、尾槳處所裝的魚尾面積、魚尾形狀、魚尾柔軟度和魚尾尾鬚長度等條件會影響到尾槳擺動頻率、尾槳提供給船的推進力和船身前後歪斜程度，進而影響魚尾船船速的快慢。

尾槳擺動頻率會影響尾槳提供給船推進力的持續程度，尾槳推進力提供船前進的力量，而船身前後歪斜程度會改變船身與水的橫斷面積，進而影響船前進時受到的水阻大小。當尾槳持續提供給船的推進力與水阻兩股力量互相作用後，最後提供船前進的合力越大，則船速會越快。

壹、前言

一、研究動機

我們在網路上看過一台利用船槳左右搖擺方式前進的船影片，與利用船尾底部螺旋槳來使船前進的構造不太一樣，所以我們想研究這艘船到底是利用什麼方式使得尾槳可以左右擺動，而這種依靠船尾尾槳左右擺動前進的船，船速快慢與那些條件有關？所以進行了以下的實驗探討。

二、研究目的




- (一)魚尾船設計、製作與改良
- (二)探討尾槳擺動角度與船速快慢的關係
- (三)探討魚尾形狀大小與船速快慢的關係
- (四)探討魚尾軟硬度與船速快慢的關係
- (五)探討魚尾尾鬚長度與船速快慢的關係
- (六)探討魚尾船船速與尾槳推進力的關係

三、文獻探討

(一)市面販售玩具船前進的方法

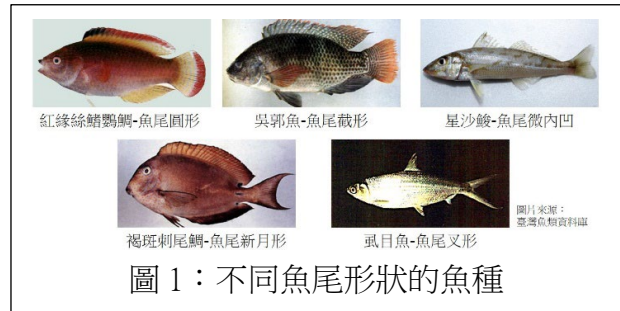
根據表 1，市面販賣的玩具船能前進有來自橡皮筋的扭力、發條帶動滾輪或是馬達通電後，讓螺旋槳在水中或是風扇在空氣中轉動等方法。但卻沒有利用尾槳左右擺動使船前進的玩具船，如果了解魚尾形狀或特徵對魚的游泳速度是否有關係？那麼就必須要找到或製作一台是可以利用尾槳左右擺動前進的船，才能夠進行相關的討論。最後在網路上找到一款簡單且符合我們研究的魚尾船，相關的製作與改良方法可參考實驗一。

表 1：市面販售玩具船的動力來源比較

照片			
名稱	滾輪玩具船	電動玩具船	風力動力船
動力來源 描述	利用發條讓船兩側的滾輪旋轉，使船前進。	馬達通電後，使螺旋槳在水中轉動讓船前進。	馬達通電，利用風扇向後吹，使船前進。

(二)魚尾形狀分類

在水中生活，受到的阻力比在空氣中大上八百倍，魚類從幾億年前，就開始在水中生活，所以有一套在水中活動的辦法。而魚能在水中前進，主要動力是來自於魚尾的擺動，魚尾形狀有圓形、截形、中間微凹、分叉形或半月形等，如圖 1。



(三)水的阻力

將手放在水中時，手刀比手掌更容易在水中移動，是因為手掌在水中撥動時，水給手的阻力較大。根據文獻資料，人游泳時的水阻大小與「前進速度」和「身體橫斷面積」有關(水阻 = $1/2 \times \text{水的密度} \times \text{移動速度}^2 \times \text{水阻係數} \times \text{身體橫斷面積}$)。因此當物體在水中的移動速度越快、與水的橫斷面積越大時，物體在水中移動時所受到的水阻就越大。

(四)搖櫓船

在馬祖，可以看到一種利用搖櫓方式前進的船，稱為搖櫓船。搖櫓船是用櫓來推進，通常裝在船尾，使船前進的力量是在推櫓時產生，但船身會有搖晃的現象。與划槳不同，槳板在水面下與水面上來回交互划動，出水時並不產生動力；而櫓則完全在水面下操作，很像魚尾。



貳、研究設備及器材

- 一、實驗器材：寶特瓶(方形)、護貝膠膜、膠帶、魔鬼氈、2mm 四驅車車軸、鐵絲、130 馬達、電源開關、子彈型端子、3 號電池、電池座、電線、計時器、平板(攝影)、電鑽、厚度 1mm 壓克力條、珍珠吸管、海綿圈、剪刀、美工刀、泡棉膠、熱熔膠、熱熔膠槍、方格紙、PP 板、漆包線、鱷魚夾、6V 變壓器。
- 二、實驗軟體：Avidemux (分析影片畫格時間的軟體)、ImageJ (分析圖形面積的軟體)

叁、研究過程或方法

一、實驗構想與流程

想知道尾槳(魚尾)特徵與形狀對船速的影響，要先製作出一台利用尾槳左右擺動來前進的船，所以我們參考影片，逐步設計並改良魚尾船，接著探討使船的尾槳能夠左右擺動的條件與相關原理後，再進行尾槳(魚尾)特徵與形狀對船速的影響，有關實驗構想的流程如圖 3。

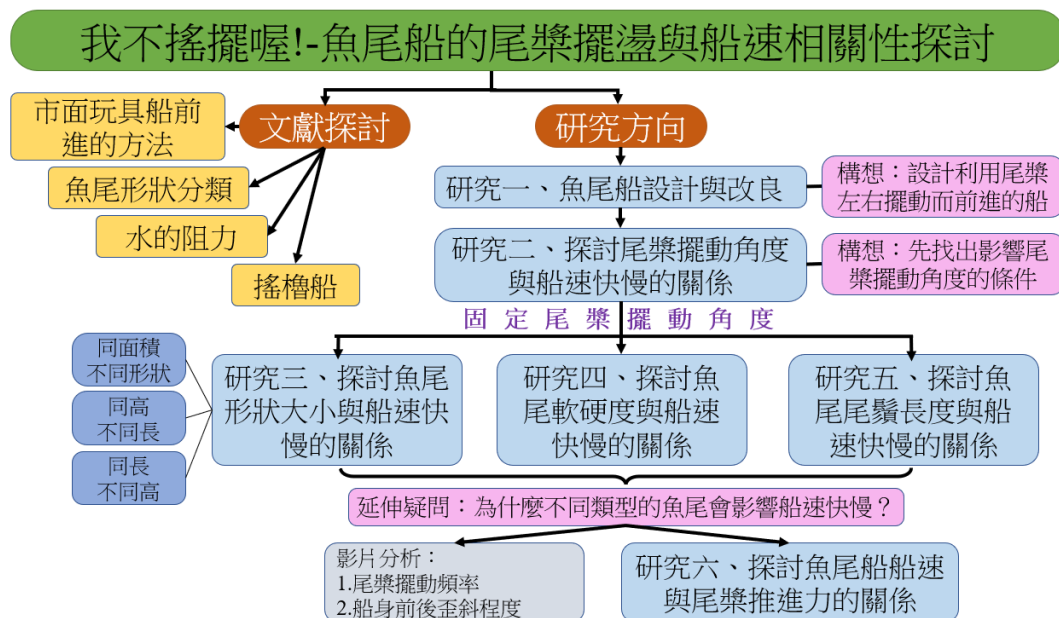


圖 3：實驗構想與流程圖

二、軟體介紹

(一)Avidemux

這是款可以分析影片畫格時間的軟體，我們先用平板從船身的正上方拍攝船在行駛時的尾槳擺動狀況，再透過慢動作播放找出尾槳來回擺動 5 次所經過的時間後，算出尾槳擺動的頻率(尾槳擺動頻率=擺動次數÷擺動時間)，如圖 4-1。

(二)ImageJ

這是一個能幫忙計算圖案面積的軟體，點開要算面積的檔案後，只要將圖案中的某一條已知長度的線段畫出來，在工具列的 Analyze-Set Scale-Known distance 輸入實際長度，如圖 4-2，再將要計算的面積範圍圈起來後，點選 Analyze-Measure，如圖 4-3，就會出現 Area(面積)的數值，就能算出我們選擇的圖案面積大小。



圖 4-1：軟體頁面介紹

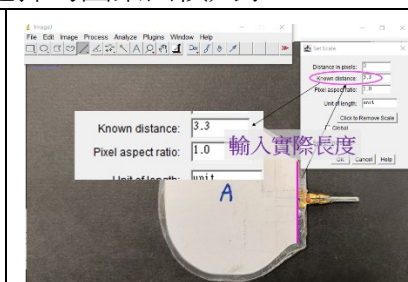


圖 4-2：輸入已知長度(公分)

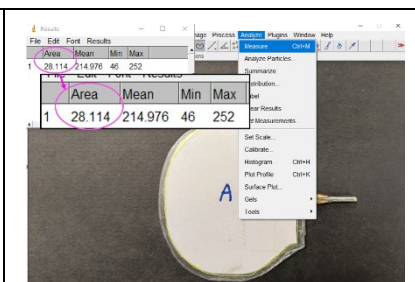


圖 4-3：選取測量面積範圍

三、實驗方法與流程

■ 實驗一：魚尾船設計與製作(第三代)

- (一)將前兩代魚尾船有問題的地方進行改良，繪製設計圖，如圖 5。
- (二)將 3 號電池座、130 馬達、電線、鱷魚夾利用串聯方法接在一起，如圖 6。
- (三)將馬達底座和電池座分別黏在寶特瓶中間與前面，馬達、端子與車軸連接，總長 10cm，後軸長度 15cm，如圖 7。
- (四)珍珠吸管兩端開口用熱熔膠封住，並黏在船身兩側，防止船行駛的時候翻覆，並在船底黏上平衡板、船底後軸處黏上海綿球，如圖 7。
- (五)將兩個端子十字對接，裝在前、後軸上，使前後軸曲柄等高，並接上不同長度的曲柄，再用串珠卡住，避免前後軸轉動時，連桿甩出與曲柄分離，如圖 8。
- (六)在後軸裝上指針，指針能對齊量角器刻度，方便實驗二尾槳擺動角度的調整，如圖 8。
- (七)裝上 3 號電池，測試魚尾船的轉動情形並改良。

<p>圖 5 展示了魚尾船第三代的設計圖。圖中標註了各個部件的尺寸和位置：前軸曲柄長 3cm，後軸曲柄長 3cm，前軸總長 11.5cm，後軸總長 15cm，馬達底座長 10cm，電池座長 2cm，船身總長 22cm。圖中還標註了「鐵絲(車軸)」、「電子端子」、「可拆換」、「尾槳處可拆換」等細節。</p>	<p>圖 6 展示了開關與零件的串聯接法。圖中可以看到電池座與電池、鱷魚夾、馬達與底座等部件的連接方式。</p>
<p>圖 5：魚尾船設計圖(第三代)</p>	<p>圖 6：開關與零件串聯接法</p>
<p>圖 7 展示了馬達、電池、前軸、後軸的位置。圖中可以看到馬達底座、電池座、前軸、後軸、平衡板、海綿球等部件的安裝位置。圖中標註了前軸長 10cm，後軸長 15cm，平衡板、海綿球等部件。</p>	<p>圖 8 展示了前、後軸曲柄的位置。圖中可以看到前、後曲柄等高，端子十字對接，串珠、指針等部件的安裝位置。圖中標註了前、後曲柄等高，端子、十字對接，串珠，3.5cm，指針等細節。</p>
<p>圖 7：馬達、電池、前軸、後軸位置</p>	<p>圖 8：前、後軸曲柄位置</p>
<p>註：子彈型端子連接車軸，需再用三秒膠固定，避免脫落、車軸請老師幫忙用鉗子剪成需要的長度。</p>	

■ 實驗二：探討尾槳擺動角度與船速快慢的關係

- (一)用智高積木組裝連桿裝置，如圖 9。拍攝前、後軸曲柄長不同時的轉動情形。

<p>圖 9 展示了智高積木連桿裝置的組裝情況。圖中可以看到智高積木、連桿、馬達等部件的安裝。</p>	<p>圖 10 展示了繪製後軸擺動情形的過程。圖中可以看到繪製好的後軸擺動情形圖。</p>	<p>圖 11 展示了測量後軸擺動角度的過程。圖中可以看到量角器、後軸、指針等部件的安裝。圖中標註了 90° 的角度。</p>
<p>圖 9：智高積木連桿裝置</p>	<p>圖 10：繪製後軸擺動情形</p>	<p>圖 11：測量後軸擺動角度</p>

(二)用 avidemux 軟體播放影片，在電腦螢幕上放上透明片，將後軸擺動情況畫在透明片上，
如圖 10，最後用量角器測量後軸的最大擺動角度，如圖 11，並將結果記錄下來。

(三)製作高 3cm、長度分別為 2、3、4、5、6、7、8cm 的曲柄，如圖 12。

(四)用厚度 1mm 的壓克力條，製作當魚尾船前軸接上曲柄 2cm、後軸接上曲柄 3~8cm 時的
連桿長度，分別為 3.5、4.5、5.5、6.5、7.5、8.5cm，如圖 13。

(五)將長度 2cm 和 3cm 的曲柄分別裝入前軸和後軸，長度 8.5cm 的連桿套入前、後軸曲柄
上，尾槳裝上實驗三的截形魚尾，根據後軸轉動角度調整尾槳方向，如圖 15。再將魚
尾船放入魚缸的起點(魚尾船最前端到水族箱邊緣距離=96 公分)，如圖 14。



圖 12：後軸曲柄

圖 13：連桿

圖 14：實驗裝置圖(含正面拍攝的平板)

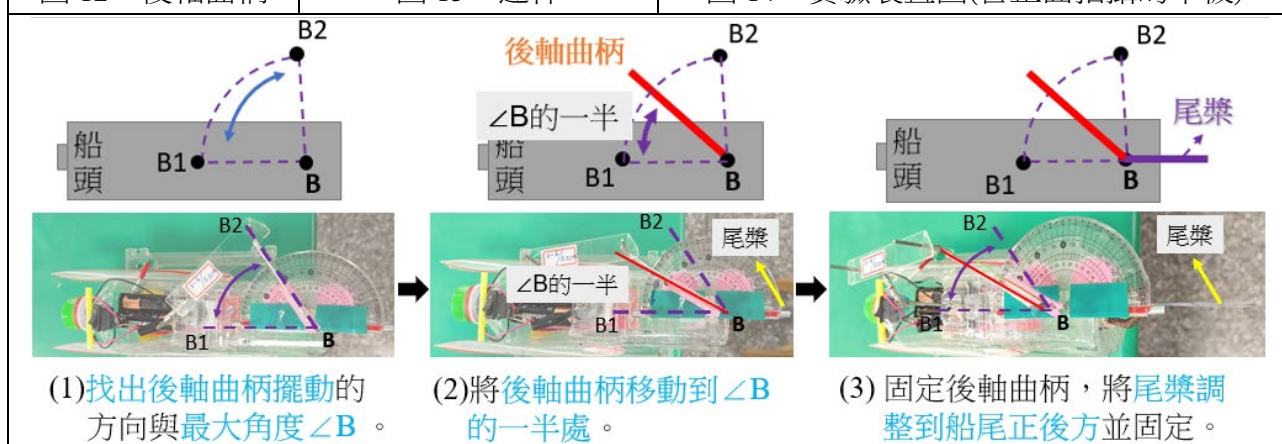


圖 15：後軸最大轉動角度的測量與尾槳方向調整的方法



圖 16：從船上方拍攝尾槳擺動狀況

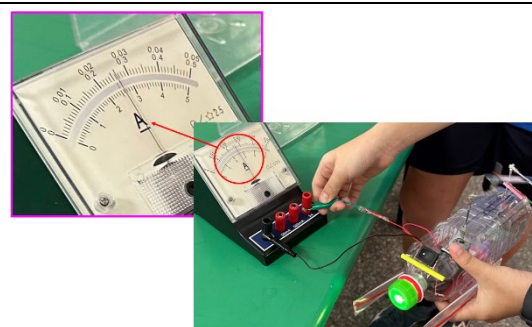


圖 17：啟動開關，馬達轉動時測量裝置電流量

註：1.智高或魚尾船曲柄的連桿長度=前、後軸曲柄同時朝船頭時，兩曲柄把手之間的距離。

2.將魚尾船開關打開，使馬達轉動，檢測馬達轉動時，整艘船電路裝置的電流量約為 2.5A，每實驗 4~5 次後重新檢測電流量，低於 2.2A 則更換新電池，確定每次實驗的電量能維持在一定強度，如圖 17。

3.曾經考慮要用變壓器和電線接上馬達，可行駛的時候電線會拉到船，影響船速，所以才用電池。

- (六)水族箱前方架設平板，拍攝船前進狀況，並在船正上方用第二台平板拍攝尾槳在水中的擺動情形，實驗裝置如圖 14、16。測量魚尾船行駛時間，重複實驗至少 5 次。
- (七)將後軸曲柄長度依序改成 4~8cm，並換新電池檢測電量，如圖 17，重複步驟(四)到(六)。
- (八)用 avidemux 分析影片，計算尾槳擺動頻率(擺動頻率=尾槳擺動次數÷擺動時間)以及船速(船速=船行駛的距離÷行駛花費的時間)，如圖 4。

■ 實驗三：探討魚尾形狀大小與船速快慢的關係

一、魚尾同面積不同形狀

- (一)從臺灣魚類資料庫參考紅緣絲鰭鸚鯛、石斑魚、日本沙梭、蓋斑鬥魚以及鬼頭刀，先在方格紙(每格 0.5 cm x0.5cm)上畫出牠們的魚尾形狀(魚尾面積=完整的方格數+不完整的方格數/2，面積約 103~105 格)，再用 ImageJ 軟體算出魚尾實際面積(操作方法參考圖 4-2 和 4-3)，並修正魚尾面積，讓面積盡量接近，修正後的魚尾 A 到 E 面積依序為 28.11、27.94、27.90、28.36、28.47 平方公分，如圖 18。
- (二)將五種魚尾護貝(各兩片)後，用塑膠黏著劑、三秒膠相黏，並將端子與 2cm 車軸黏在魚尾邊緣正中間處，如圖 18。
- (三)在魚柄上用黏土調整魚尾重量，使每個魚尾重量約為 2.791 公克，如圖 19。

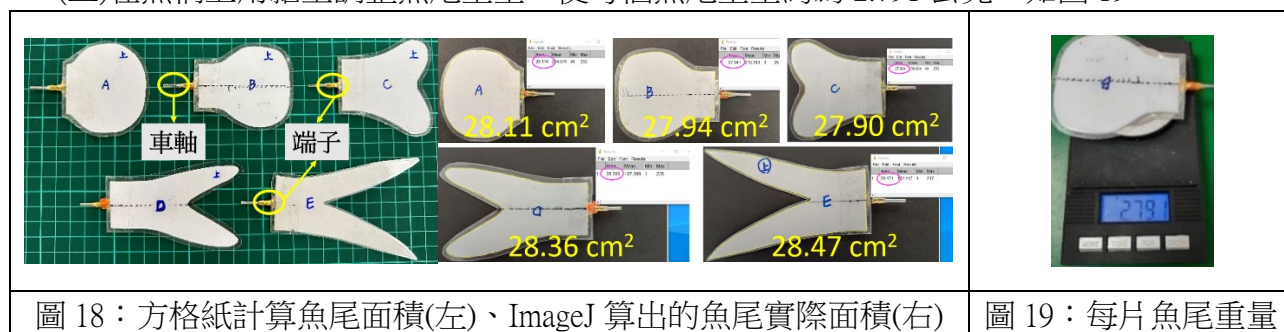


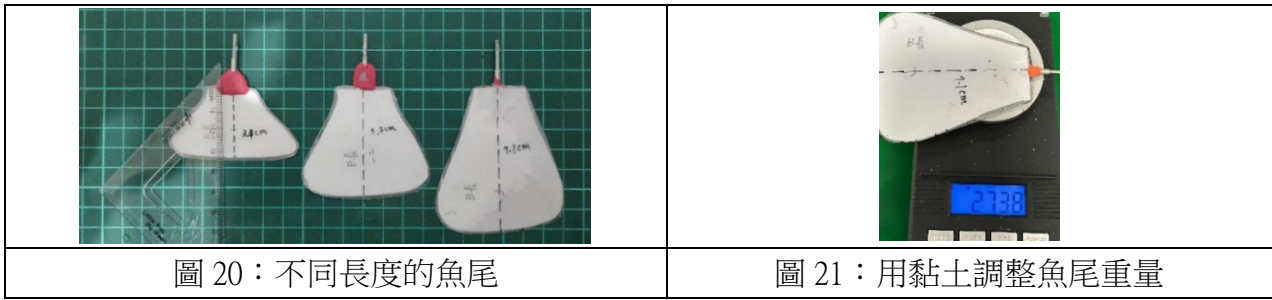
圖 18：方格紙計算魚尾面積(左)、ImageJ 算出的魚尾實際面積(右)

圖 19：每片魚尾重量

- (四)選第三代魚尾船，前軸曲柄長度 2cm，後軸曲柄長度 6cm，連桿長度 5.5cm，後軸尾槳處分別接上 A~E 五種不同形狀的魚尾，並將魚尾船放入魚缸的起點。
- (五)用平板拍攝尾槳擺動與船前進時的情形，並測量魚尾船行駛時間，重複實驗至少 5 次。
- (六)每次換上不同形狀的魚尾進行實驗時，都需要換成同品牌的新電池並確認電流量。
- (七)用 avidemux 分析影片，計算尾槳擺動頻率和船速。

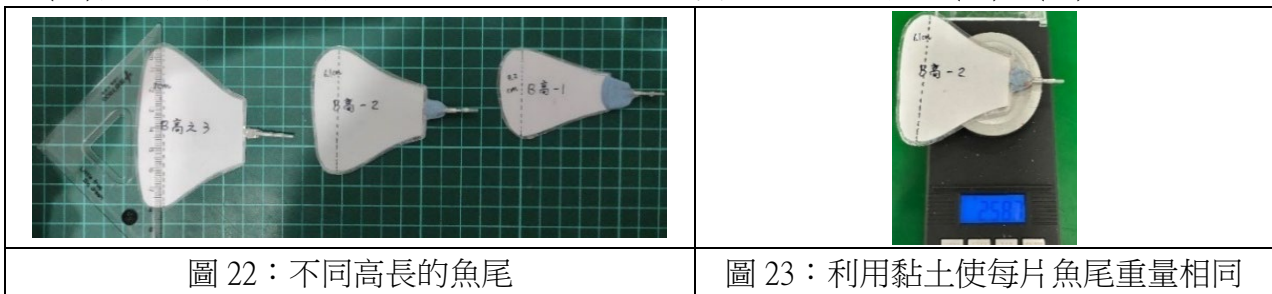
二、魚尾同高不同長

- (一)參考吳郭魚魚尾，製作高 5cm，長分別為 3.4(長度約縮小 1.5 倍)、5.3(原圖)、7.1cm(長度約放大 1.5 倍)的魚尾並護貝(各兩片)，編號為長 1~長 3，如圖 20。
- (二)將三種魚尾(各兩片)與端子、2cm 車軸相黏，如圖 20。
- (三)在魚柄上用黏土調整魚尾重量，使每個魚尾重量約 2.738 公克，如圖 21。
- (四)後軸尾槳處接上魚尾編號長 1~3，重複實驗三之一的步驟(四)到(七)。



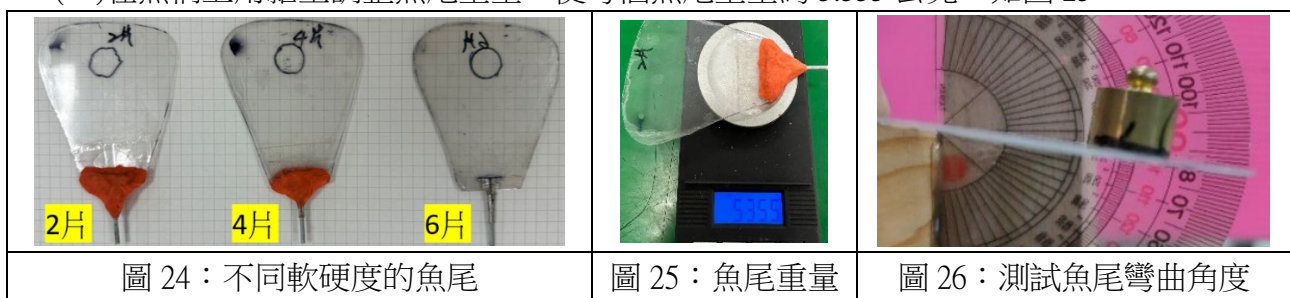
三、魚尾同長不同高

- (一)利用簡報調整吳郭魚魚尾大小，製作長 5cm，高的長度分別為 4.2(高長約縮小 1.5 倍)、6.1(原圖)、8cm(高約放大 1.5 倍)的魚尾並護貝(各兩片)，編號為高 1~高 3，如圖 22。
- (二)將三種魚尾(各兩片)與端子、2cm 車軸相黏，如圖 22。
- (三)在魚柄上用黏土調整魚尾重量，使每個魚尾重量約 2.587 公克，如圖 23。
- (四)後軸尾槳處分別接上魚尾編號高 1~3，重複實驗三之一的步驟(四)到(七)。



■ 實驗四：探討魚尾軟硬度與船速快慢的關係

- (一)用護貝紙製作與魚尾編號[長 3]形狀大小一樣的魚尾共 12 片，分別將 2 片、4 片和 6 片魚尾與端子、2cm 車軸相黏，做成三種不同厚度的魚尾，如圖 24。
- (二)在魚柄上用黏土調整魚尾重量，使每個魚尾重量約 5.355 公克，如圖 25。



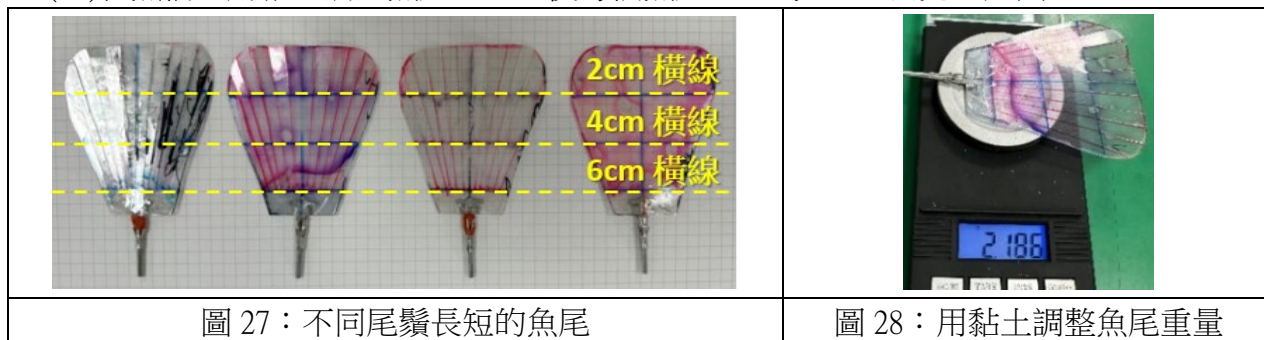
- (三)將三種魚尾平放，並在魚尾的相同位置(圖 24 的圓圈處)放上重量 10 公克的砝碼，記錄魚尾的彎曲角度，如圖 26。
- (四)後軸尾槳處分別接上不同軟硬度的魚尾，重複實驗三之一的步驟(四)到(七)。

■ 實驗五：探討魚尾尾鬚長度與船速快慢的關係

- (一)用護貝紙製作與魚尾編號[長 3]形狀大小一樣的魚尾共 8 片，每兩片與端子、2cm 車軸相黏，做成 4 個厚度一樣的魚尾。

(二)離魚尾邊緣 2、4 和 6cm 處畫上橫線，將橫線 12 等分，再將上下等分點相連(共 11 條線)，沿著這 11 條線分別剪到 2、4、6cm 處，製作四種不同尾鬚長度的魚尾，如圖 27。

(三)在魚柄上用黏土調整魚尾重量，使每個魚尾重量約 2.186 公克，如圖 28。



(五)後軸尾槳處分別接上不同尾鬚長度的魚尾，重複實驗三之一的步驟(四)到(七)。

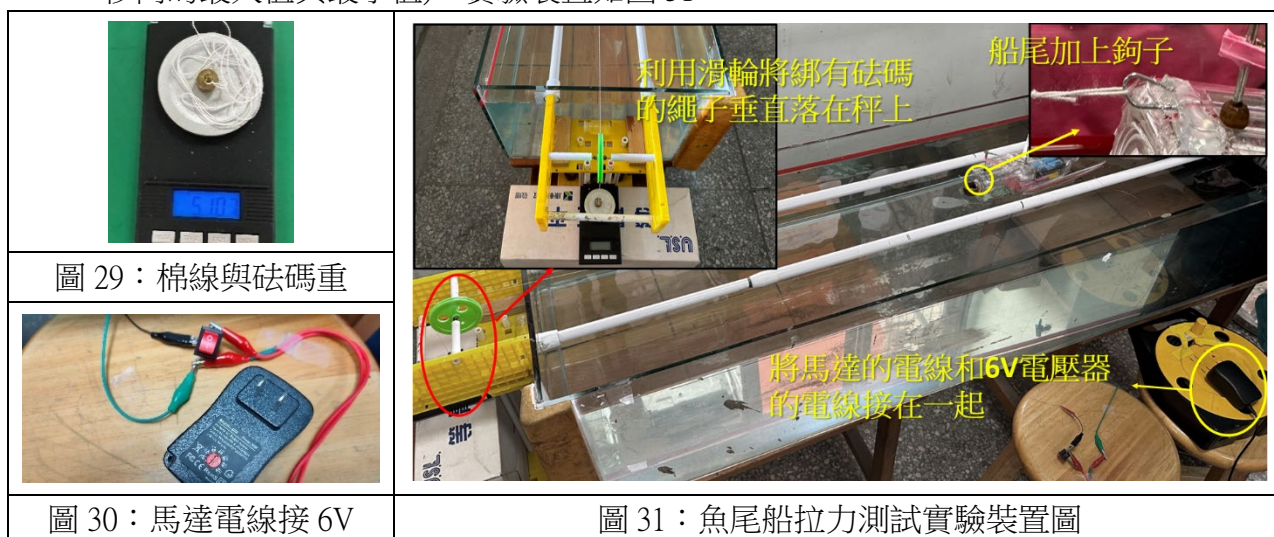
■ 實驗六：探討魚尾船船速與尾槳推進力的關係

(一)將棉線一端綁在砝碼上並秤重，約為 5.107 公克，如圖 29。

(二)將棉線另一端套在船尾的鉤子上，並讓砝碼透過滑輪垂直落在電子秤上，如圖 31。

(三)將馬達的電線接到 6V 變壓器上，如圖 30。

(四)根據實驗二到五的操作變因，量測尾槳在水中擺動時，電子秤上的讀數(記錄啟動後 25 秒內的最大值與最小值)，實驗裝置如圖 31。



註：1.尾槳擺動時給船的推進力=魚尾船的拉力=5.107-電子秤上的讀數

2.船的最大拉力=5.107-電子秤最小讀數

3.船的最小拉力=5.107-電子秤最大讀數

肆、研究結果

一、實驗一：魚尾船設計、製作與改良

(一)第一代魚尾船的探討

圖 32 是第一代魚尾船，將魚尾船的尾槳接上魚尾後，放入水盆中測試、觀察，找出問題進行討論，並提出改善方法，如表 2。



圖 32：第一代魚尾船

表 2：第一代魚尾船的問題與改善

編號	改善處	發現問題	改善方法
1	前後曲柄	(1)鐵絲很難彎成需要的長度，且彎的地方不容易折成直角。 (2)裝入瓶中時，彎曲的鐵絲不容易穿入洞。	(1)鐵絲換成較硬的四驅車車軸。 (2)利用端子連接不同長度的車軸，用分段連接的方法，較易拆換。 (3)前、後軸曲柄、尾槳處利用端子改成可拆換的分段連接，不用每次整根彎好的鐵絲都要重新穿入寶特瓶中。
2	鐵絲	(1)裝入鐵絲時，容易彎曲。 (2)鐵絲太粗，不易折成需要長度。	
3	鐵絲與馬達連接處	(1)馬達空轉，沒帶動木頭轉動。 (2)大木頭不易拆除與維修。 (3)小木頭不好鑽洞，無法當接頭。	(1)選用體積小的端子當接軸。 (2)用三秒膠加強接軸與前、後車軸的黏性。
4	後軸底部	放入水中時，水會從底部的洞流入。	在底部的洞黏上海綿，讓水不容易從洞直接流入。
5	電線	電線太凌亂，電池座拔起在裝入容易卡到電線。	調整電線的長度，盡量將電線集中在同一處。
6	電池座	拆除後裝入都要重新黏泡棉膠。	利用魔鬼氈，改成可重複黏貼。
7	瓶底	因為電池座與馬達太重，且集中在船頭，因此船身會向前歪斜。	船身兩側黏吸管，船頭增加橫向浮板，降低船左右擺動而翻覆的機會。

(二)第二代魚尾船的探討

圖 33 是第二代魚尾船，改良後重新將船放入水中測試，表 1 的問題都已經解決。但是在後續實驗時，我們發現本來為了避免船翻覆所設計的橫向浮板，反而使船前進時受到的水阻變大，造成船速變慢，另外也發現了幾個小問題，如表 3，於是我們對船進行了一些調整。

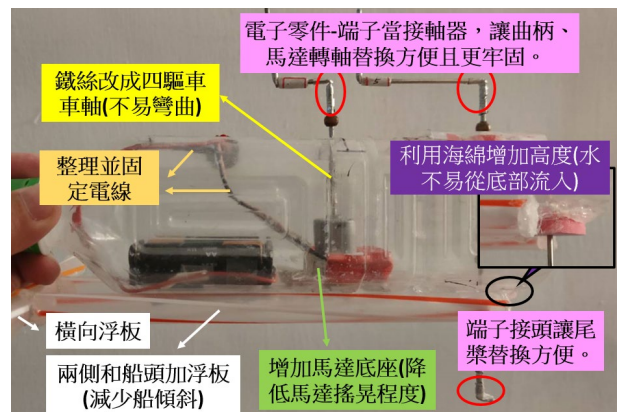


圖 33：第二代魚尾船

表 3：第二代魚尾船的問題發現與改善

編號	改善處	發現問題	改善方法
1	橫向浮板	橫向浮板使船前進時受到的水阻變大，導致船速變慢。	拆掉橫向浮板，並在船身底部增加平衡板，並黏在靠近尾槳處，增加船尾的重量，避免船前後歪斜嚴重。
2	端子	我們將單一端子折成 90 度，做為不同車軸相接的橋樑，但在拆換曲柄和魚尾時，端子容易折斷。	將兩個端子以 90 度的方式卡住(十字對接)，並用三秒膠固定，讓它們不容易脫落，避免拆換魚尾時，端子折斷。
3	船的電線	原本船的電線直接接在開關上，但實驗六中，電線需要拆掉改與變壓器的線接在一起，拆換不便。	將馬達電線接鱷魚夾，利用鱷魚夾夾住開關，或是夾住變壓器的線進行拉力測試，拆換上會更方便。
4	平衡板	船行駛過程中會一直左右搖晃。	船底增加直立的平衡板，降低船的搖晃。

(三)第三代魚尾船的探討

圖 34 是第三代魚尾船，改善了前兩代的問題。有關船的底部增加平衡板能降低船搖晃的探討，可以參考討論三。

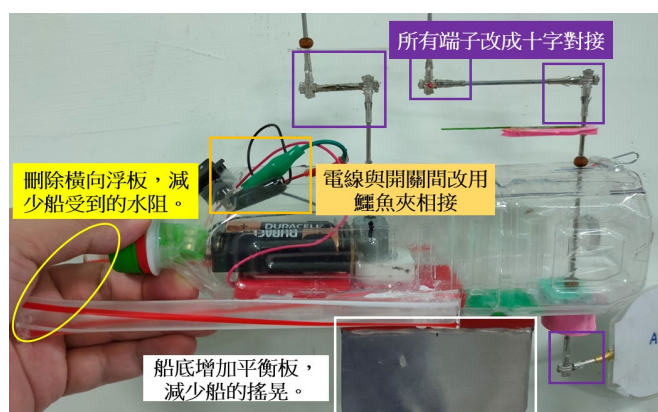


圖 34：第三代魚尾船

二、實驗二：探討尾槳擺動角度與船速快慢的關係

改良第一代魚尾船時，我們發現後軸尾槳擺動角度可能與前、後軸曲柄長度有關，於是利用智高積木組裝成連桿組，並改變前、後軸曲柄長度，觀察並記錄前軸轉動一圈，後軸轉動的情形，相關紀錄如圖 35。

根據實驗結果，我們發現以下幾點：

- (一)要讓前軸曲柄轉動時，透過連桿帶動後軸曲柄，那麼前軸半徑一定要等於或小於後軸半徑。
- (二)當前軸半徑固定，後軸半徑越長，後軸轉動的角度會越小。

前軸半徑(格)	後軸半徑(格)	後軸/前軸比值	兩軸軸心距離(格)	連桿長度(格)	後軸轉動描述	後軸轉動角度(度)
5	4	0.80	10	11	無法轉動	
4	4	1.00	10	10	順利擺動	125
4	5	1.25	10	9	順利擺動	95
4	6	1.50	10	8	順利擺動	70
3	2	0.67	10	11	無法轉動	
3	3	1.00	10	10	順利擺動	110
3	4	1.33	10	9	順利擺動	90
3	5	1.67	10	8	順利擺動	60
3	6	2.00	10	7	順利擺動	50
2	2	1.00	10	10	順利擺動	131
2	3	1.50	10	9	順利擺動	65
2	4	2.00	10	8	順利擺動	45
2	5	2.50	10	7	順利擺動	37

圖 35：前、後軸半徑不同時，前軸帶動後軸的擺動情形與擺動角度紀錄

透過智高連桿組，我們知道後軸曲柄轉動的角度受到前、後軸曲柄長度的影響，於是我們將魚尾船的前軸曲柄長度固定為 2cm，後軸曲柄長度依序為 3~8cm，並選取適當的連桿長

度，測試當後軸曲柄長度不同時，後軸曲柄擺動角度的變化(方法如圖 15)是否與智高連桿組模擬出的結果類似，實驗結果如圖 36。

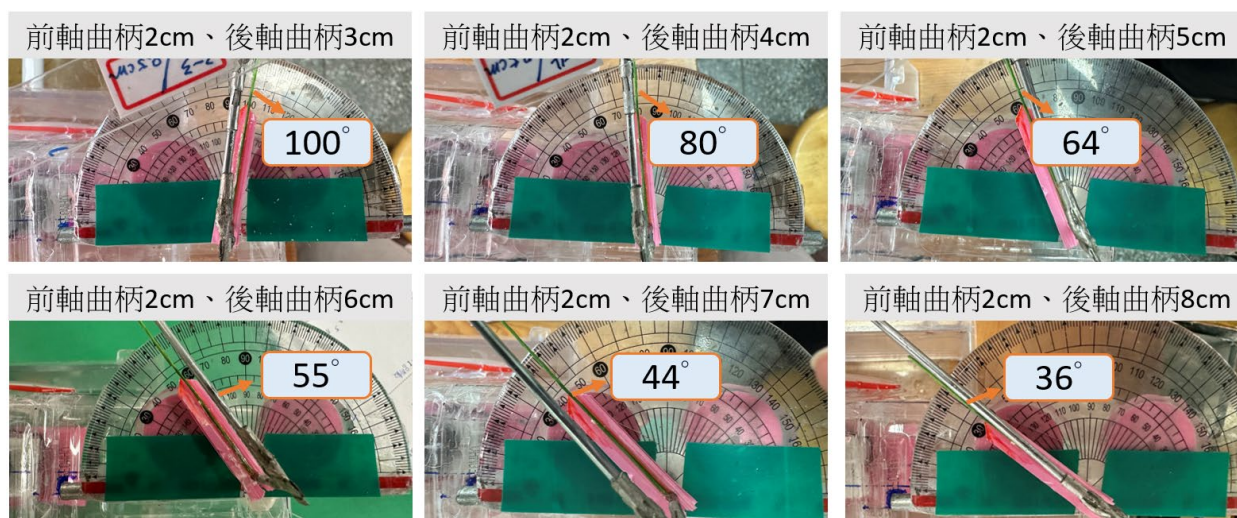


圖 36：前軸曲柄長度固定，後軸曲柄長度不同時，後軸曲柄擺動的角度

根據圖 36，當前軸曲柄長度固定為 2cm 時，後軸曲柄的長度從 3 公分增加到 8 公分，後軸帶動尾槳擺動的角度會從 100 度減少到 36 度，後軸曲柄長度越長，擺動角度會越來越小，與智高連桿組的測試結果類似。

知道前、後軸曲柄長度會影響尾槳擺動角度後，我們將船的前軸曲柄固定在 2cm，改變後軸曲柄長度，尾槳裝上截形魚尾，記錄在船底有裝平衡板和沒有平衡板時，不同的尾槳擺動角度對船速的影響，實驗結果如圖 37、38。

(一)無平衡板魚尾船的尾槳擺動角度與船速的關係

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm		後軸半徑=3cm 尾槳形狀：截形		尾槳擺動100度 船底無平衡板		
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	19.54	20.81	18.99	19.48	19.66	19.70
船行駛的平均速度 (cm/s)						4.87

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm		後軸半徑=4cm 尾槳形狀：截形		尾槳擺動80度 船底無平衡板		
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	10.15	10.24	10.43	9.63	10.07	10.10
船行駛的平均速度 (cm/s)						9.50

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm		後軸半徑=5cm 尾槳形狀：截形		尾槳擺動64度 船底無平衡板		
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	8.16	8.43	9.02	8.73	8.14	8.49
船行駛的平均速度 (cm/s)						11.30

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm		後軸半徑=6cm 尾槳形狀：截形		尾槳擺動55度 船底無平衡板		
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	6.60	6.74	6.48	6.71	6.75	6.65
船行駛的平均速度 (cm/s)						14.43

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm		後軸半徑=7cm 尾槳形狀：截形		尾槳擺動44度 船底無平衡板		
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	6.46	6.62	6.68	6.61	6.46	6.57
船行駛的平均速度 (cm/s)						14.62

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm		後軸半徑=8cm 尾槳形狀：截形		尾槳擺動36度 船底無平衡板		
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	6.87	6.85	6.93	6.41	6.31	6.67
船行駛的平均速度 (cm/s)						14.39

尾槳擺動角度(度)	100	80	64	55	44	36
船行駛平均花費時間(秒)	19.70	10.10	8.49	6.65	6.57	6.67
船行駛時的平均速度(cm/s)	4.87	9.50	11.30	14.43	14.62	14.39

圖 37：尾槳擺動角度不同時，無平衡板魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

觀察無平衡板魚尾船擺動的過程與實驗結果，發現以下幾點：

- 1.尾槳擺動角度從 100 逐漸變小到 55 度時，船速會越來越快；擺動角度 55 度與 44 度的船速較快，但差別不大；當擺動角度變為 36 度時，船速開始變慢。
- 2.船前進時，當尾槳擺動角度越大，船身左右晃動的程度也會變得越大。

(二)有平衡板魚尾船的尾槳擺動角度與船速的關係

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=3cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動100度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							11.065							10.76							11.95							11.19							11.21							11.24						
船行駛的平均速度 (cm/s)														8.54																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=5cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動64度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							7.31							7.275							7.235							7.435							7.52							7.36						
船行駛的平均速度 (cm/s)														13.05																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=7cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動44度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.51							6.51							6.795							6.6							6.575							6.60						
船行駛的平均速度 (cm/s)														14.55																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=4cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動80度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							8.855							8.715							8.81							8.805							9.15							8.87						
船行駛的平均速度 (cm/s)														10.83																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=6cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動55度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.75							6.50							6.41							6.68							6.71							6.61						
船行駛的平均速度 (cm/s)														14.53																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=8cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動36度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.43							6.58							7.08							6.99							6.86							6.78						
船行駛的平均速度 (cm/s)														14.15																																		

尾槳擺動角度(度)	100	80	64	55	44	36
船行駛平均花費時間(秒)	11.24	8.87	7.36	6.61	6.60	6.78
船行駛時的平均速度(cm/s)	8.54	10.83	13.05	14.53	14.55	14.15

圖 38：尾槳擺動角度不同時，有平衡板魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

觀察有平衡板魚尾船擺動的過程與實驗結果，發現以下幾點：

- 1.尾槳擺動角度從 100 逐漸變小到 55 度時，船速會越來越快；擺動角度 55 度與 44 度的船速較快，但差別不大；當擺動角度變為 36 度時，船速變慢。
- 2.尾槳擺動角度越來越小時，有平衡板和無平衡板船的船速變化趨勢一致。

三、實驗三：探討魚尾形狀與船速快慢的關係

有加平衡板的船在前進時較不會左右搖晃而翻覆，和無平衡板的船速比會較快。所以我們選用有平衡板的船來進行後續實驗，並將尾槳擺動角度固定為 55 度(因為尾槳擺動角度小於 55 度時，船速沒有明顯變快)，探討不同形狀與不同面積的魚尾會不會影響船速快慢。

(一)面積相同、形狀不同的魚尾

我們想知道面積相同，形狀不同的魚尾會不會影響船速，因此在尾槳處裝上圓形、截形、微內凹形、新月形與叉型五種形狀的魚尾，記錄有平衡板魚尾船在擺動角度相同時，魚尾形狀對船速的影響，實驗結果如圖 39。

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=6cm 尾槳形狀：圓形							尾槳擺動55度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.02							6.02							6.175							6.125							6.185							6.11						
船行駛的平均速度 (cm/s)														15.72																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=6cm 尾槳形狀：截形							尾槳擺動55度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.02							6.27							6.04							6.07							6.07							6.09						
船行駛的平均速度 (cm/s)														15.75																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm							後軸半徑=6cm 尾槳形狀：微內凹形							尾槳擺動55度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.17							6.245							6.2							6.13							6.27							6.20						
船行駛的平均速度 (cm/s)														15.48																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=93.7cm							後軸半徑=6cm 尾槳形狀：新月形							尾槳擺動55度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							6.45							6.43							6.455							6.505							6.385							6.45						
船行駛的平均速度 (cm/s)														14.54																																		
前軸半徑=2cm 跑道距離=93.7cm							後軸半徑=6cm 尾槳形狀：叉形							尾槳擺動55度 船底有平衡板																																		
實驗次數							1							2			3			4			5			平均																						
行駛花費秒數							5.53							5.46							5.15							5.39							5.475							5.40						
船行駛的平均速度 (cm/s)														17.35																																		

尾槳形狀	圓形	截形	微內凹形	新月形	叉形
船行駛平均花費時間(秒)	6.11	6.09	6.20	6.45	5.40
船行駛的平均速度(cm/s)	15.72	15.75	15.48	14.54	17.35

註：新月形和叉型魚尾因為過長，放在起點時，尾部會碰到魚缸邊緣，因此起點往前移動，水道距離變短為93.7公分。

圖 39：魚尾同面積不同形狀時，魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

根據實驗結果發現：

- 1.尾槳接上叉型魚尾時，船速最快，每秒可行駛 17.35 公分。
- 2.尾槳接上圓形、截形，船速很接近，分別為每秒行駛 15.72 和 15.75 公分，比裝上叉型魚尾的船速慢。
- 3.尾槳接上微內凹形時，船速稍微比圓形和截形魚尾的船速慢(差異不大)。
- 4.尾槳接上新月形魚尾時，船速最慢，每秒行駛 14.54 公分。
- 5.船速快慢順序：叉型魚尾 > 圓形、截形魚尾 > 微內凹形魚尾 > 新月形魚尾。

(二)面積不同-魚尾同高不同長

魚尾高長相同，長不同時，船速紀錄如圖 40。(註：本實驗為二代魚尾船的實驗結果。)

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 魚尾：截形魚尾-長1							前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 魚尾：截形魚尾-長2						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	平均
秒數	11.35	10.50	10.69	12.82	12.79	11.63	秒數	12.38	12.43	12.17	11.87	12.85	12.34
在尾槳擺動45°時，船身前進的速度 (cm/s)						8.26	在尾槳擺動45°時，船身前進的速度 (cm/s)						7.78

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 魚尾：截形魚尾-長3						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
秒數	13.82	13.92	13.83	13.89	13.18	13.73
在尾槳擺動45°時，船身前進的速度 (cm/s)						6.99

魚尾類型	長1	長2	長3
截形魚尾長度(cm)	3.4	5.3	7.1
船行駛花費時間(秒)	11.63	12.34	13.73
船速(cm/s)	8.26	7.78	6.99

圖 40：魚尾同高不同長時，魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

根據實驗結果發現，當魚尾高固定時，編號從長 3 到長 1，魚尾的長度越來越短，面積越來越小，但船速會變得越快，從每秒行駛 6.99 公分增加到 8.26 公分。

(三)面積不同-魚尾同長不同高

魚尾長相同，高長不同時，船速紀錄如圖 41。(註：本實驗為二代魚尾船的實驗結果。)

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 魚尾：截形魚尾-高1							前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 魚尾：截形魚尾-高2						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	平均
秒數	10.07	10.24	10.52	10.80	10.66	10.45	秒數	11.23	11.35	10.68	11.16	11.69	11.22
在尾槳擺動45°時，船身前進的速度 (cm/s)						9.18	在尾槳擺動45°時，船身前進的速度 (cm/s)						8.56

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 魚尾：截形魚尾-高3						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均
秒數	11.20	11.55	12.18	12.22	12.46	11.92
在尾槳擺動45°時，船身前進的速度 (cm/s)						8.05

魚尾類型	高1	高2	高3
截形魚尾高度(cm)	4.2	6.1	8
船行駛花費時間(秒)	10.45	11.22	11.92
船速(cm/s)	9.18	8.56	8.05

圖 41：魚尾同長不同高時，魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

根據實驗結果發現，當魚尾長固定時，編號從高 3 到高 1，魚尾的高長越來越短，面積越來越小，但船速會變得越快，從每秒行駛 8.05 公分增加到 9.18 公分。

四、實驗四：探討魚尾軟硬度與船速快慢的關係

我們用很多個形狀、大小相同的護貝紙，以 2、4、6 片黏在一起做出不同厚度的魚尾，在魚尾末端相同處放上重量 10 公克的砝碼，觀察魚尾彎曲的程度，如圖 42。

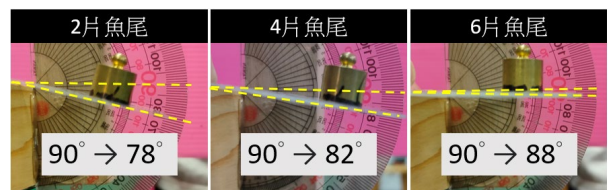


圖 42：不同厚度的魚尾彎曲程度

魚尾的厚度越厚時，魚尾的彎曲角度越小，2片魚尾可以彎曲12度，4片魚尾彎曲8度，6片魚尾只能彎曲2度。

在船的尾槳處裝上3種不同厚度的魚尾，記錄有平衡板魚尾船在擺動角度相同時，魚尾軟硬度不同對船速的影響，實驗結果如圖43。

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾槳軟硬度：2片 尾槳擺動55度 船底有平衡板							前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾槳軟硬度：4片 尾槳擺動55度 船底有平衡板						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	7.01	6.94	6.97	7.335	7.41	7.13	行駛花費秒數	7.955	8.1	7.955	7.825	7.82	7.93
船行駛的平均速度 (cm/s)						13.46	船行駛的平均速度 (cm/s)						12.10

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾槳軟硬度：6片 尾槳擺動55度 船底有平衡板							尾槳軟硬度			
實驗次數	1	2	3	4	5	平均	2片	4片	6片	
行駛花費秒數	8.90	8.78	8.93	8.86	9.05	8.90	魚尾彎曲角度(度)	12	5	2
船行駛的平均速度 (cm/s)						10.78	船行駛花費時間(秒)	7.13	7.93	8.90
							船行駛的平均速度(cm/s)	13.46	12.10	10.78

圖 43：魚尾軟硬度不同時，魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

根據實驗結果發現，魚尾較硬(6片)的魚尾船每秒行駛10.78公分，船速最慢；而魚尾重疊2片，魚尾較柔軟(2片)的魚尾船每秒行駛13.46公分，船速最快。

五、實驗五：探討尾鬚長短與船速快慢的關係

我們製作四種形狀、大小相同的魚尾，分別將魚尾末端剪成鬚狀，尾鬚長度分別為0、2、4、6cm。在船的尾槳處裝上這4種魚尾，記錄有平衡板魚尾船在擺動角度相同時，魚尾尾鬚長度對船速的影響，實驗結果如圖44。

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾鬚長度：0 cm 尾槳擺動55度 船底有平衡板							前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾鬚長度：2 cm 尾槳擺動55度 船底有平衡板						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	7.55	7.26	7.30	7.43	7.22	7.35	行駛花費秒數	7.04	6.99	7.17	6.98	7.1	7.06
船行駛的平均速度 (cm/s)						13.06	船行駛的平均速度 (cm/s)						13.61

前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾鬚長度：4 cm 尾槳擺動55度 船底有平衡板							前軸半徑=2cm 跑道距離=96cm 後軸半徑=6cm 尾鬚長度：6 cm 尾槳擺動55度 船底有平衡板						
實驗次數	1	2	3	4	5	平均	實驗次數	1	2	3	4	5	平均
行駛花費秒數	7.00	6.95	7.03	6.73	6.85	6.91	行駛花費秒數	5.38	5.575	5.605	5.305	5.48	5.47
船行駛的平均速度 (cm/s)						13.89	船行駛的平均速度 (cm/s)						17.55

尾槳尾鬚長度			
0 cm	2 cm	4 cm	6 cm
船行駛平均花費時間(秒)	7.35	7.06	6.91
船行駛的平均速度(cm/s)	13.06	13.61	13.89

圖 44：魚尾尾鬚長度不同時，魚尾船前進所花費的時間與船速紀錄

根據實驗結果發現：

- (一)魚尾尾鬚長度越長，船速越快，船每秒行駛距離從13.06公分增加到17.55公分。
- (二)尾鬚長度在0~4公分，船速差異不大，每秒行駛距離差不到1公分；尾鬚長度從4變成6公分時，船速明顯變快，與其他魚尾比，每秒行駛距離增加約3~4公分。

六、實驗六：探討魚尾船船速與尾槳推進力的關係

我們在魚尾船的後方用棉線綁上5公克重的砝碼，讓砝碼垂放在電子秤上。啟動開關擺動尾槳，當電子秤讀數減少時，減少的重量相當於船的拉力，而船的平均拉力等於尾槳擺動時給船的平均推進力，利用這方式來了解實驗二到五中，不同類型的魚尾在擺動時，提供給

船多少推進力？

(一)有平衡板魚尾船在尾槳擺動角度不同的拉力如圖 45，從實驗結果發現：

- 1.尾槳擺動角度從 100 減少到 44 度時，尾槳給船的推進力逐漸變大(從 1.67 增加到 2.71 公克重)。
- 2.尾槳擺動角度從 44 減少到 36 度時，尾槳給船的推進力反而會變小(從 2.71 減少為 2.5 公克重)。

尾槳擺動角度(度)		100	80	64	55	44	36
船的推進力	最大拉力(gw)	2.13	3.26	3.59	3.75	3.60	3.41
	最小拉力(gw)	1.22	0.90	0.86	1.62	1.83	1.58
	平均拉力(gw)	1.67	2.08	2.22	2.68	2.71	2.50

圖 45：有平衡板的魚尾船在尾槳擺動角度不同時的平均拉力

(二)有平衡板魚尾船在同面積、魚尾形狀不同時的拉力如圖 46，從實驗結果發現：

- 1.圓形、截形和叉型魚尾的尾槳，擺動時給船的推進力較大，約 2.94~2.98 公克重。
- 2.新月形魚尾的尾槳，擺動時給船的推進力最小，平均約 2.14 公克重。

尾槳形狀		圓形	截形	微凹內形	新月形	叉形
船的推進力(gw)	最大拉力(gw)	3.78	3.84	3.78	2.80	4.05
	最小拉力(gw)	2.19	2.10	1.54	1.47	1.83
	平均拉力(gw)	2.98	2.97	2.66	2.14	2.94

圖 46：有平衡板的魚尾船在同面積、不同魚尾形狀時的平均拉力

(三)有平衡板魚尾船在魚尾同高不同長(長 1~3)與同長不同高(高 1~3)時的拉力如圖 47，從實驗結果發現：

- 1.魚尾高長固定，從編號長 1 到長 3，魚尾長度越長，魚尾面積越大，尾槳給的推進力會逐漸變小(從 2.38 減少為 1.48 公克重)。
- 2.魚尾長度固定，從編號高 1 到高 3，魚尾高長越長，魚尾面積越大，尾槳給的推進力會逐漸變小(從 2.15 減少為 1.74 公克重)。

尾槳類型		長1	長2	長3	高1	高2	高3
尾槳長或高的長度(cm)		3.4	5.3	7.1	4.2	6.1	8
船的推進力(gw)	最大拉力(gw)	3.23	2.95	2.63	3.29	3.13	2.96
	最小拉力(gw)	1.53	0.51	0.34	1.01	0.92	0.53
	平均拉力(gw)	2.38	1.73	1.48	2.15	2.02	1.74

圖 47：有平衡板的魚尾船在不同面積時的平均拉力

(四)有平衡板魚尾船在魚尾軟硬度不同時的拉力如下頁圖 48，從實驗結果發現：尾槳片數越少，魚尾會越柔軟，此時尾槳給船的推進力會逐漸較大(從 0.73 增加到 2.28 公克重)。

船身底下有平衡板時，船的拉力測試實驗紀錄				
尾槳軟硬度	2片	4片	6片	
魚尾彎曲角度(度)	12	8	2	
船的推進力(gw)	最大拉力(gw)	3.13	2.64	0.97
	最小拉力(gw)	1.04	0.87	0.50
	平均拉力(gw)	2.08	1.76	0.73

圖 48：有平衡板的魚尾船在尾槳軟硬度不同時的平均拉力

(五)有平衡板魚尾船在魚尾尾鬚長度不同時的拉力如圖 49，從實驗結果發現：魚尾尾鬚越長時，尾槳給的推進力會逐漸變大(從 2.06 增加到 2.7 公克重)。

船身底下有平衡板時，船的拉力測試實驗紀錄					
尾槳尾鬚長度	0 cm	2 cm	4 cm	6 cm	
船的推進力(gw)	最大拉力(gw)	3.22	3.31	3.35	3.37
	最小拉力(gw)	0.91	1.00	1.17	2.04
	平均拉力(gw)	2.06	2.15	2.26	2.70

圖 49：有平衡板的魚尾船在尾鬚長度不同時的平均拉力

伍、討論

一、魚尾船的動力傳送

我們製作的魚尾船，尾槳能左右擺動與機械的連桿裝置有關，如圖 50，當開關打開時，馬達轉動使前軸曲柄轉動，前軸曲柄上的連桿會跟著一起運動，對後軸曲柄產生拉力與推力，當前軸轉到 A1，連桿對後軸產生拉力，將後軸曲柄拉動到 B1；當前軸轉到 A2，連桿對後軸產生推力，將後軸曲柄推回到 B2，透過連續的推力與拉力，讓後軸曲柄帶動後軸底部的尾槳進行左右的來回擺動，而尾槳來回擺動時，會提供給船一股推進力，使船前進。

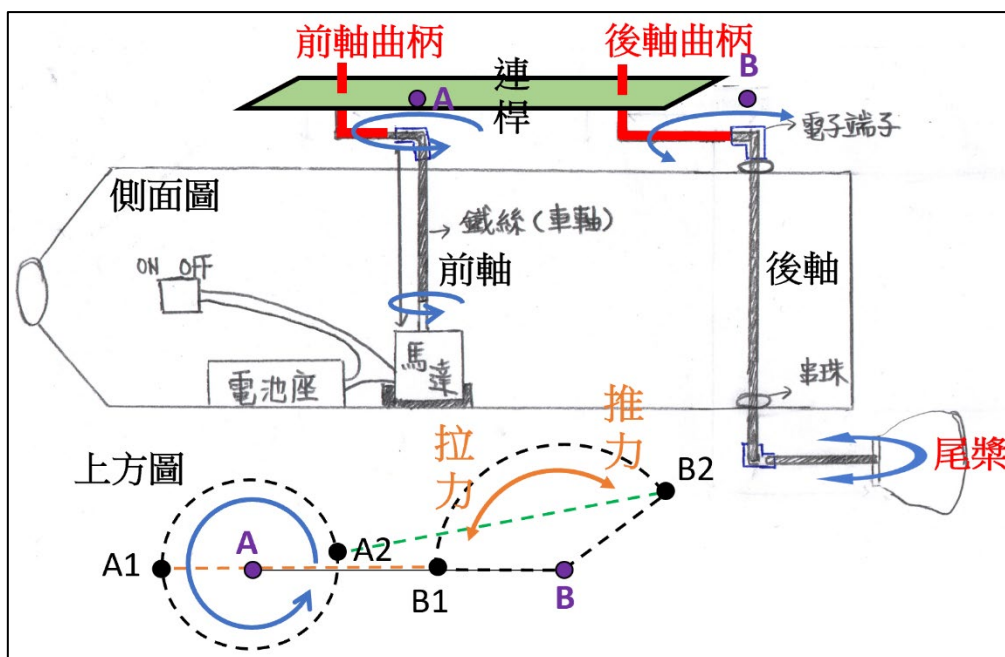


圖 50：魚尾船動力傳送示意圖

魚尾船的動力傳送順序為：馬達→前軸→前軸曲柄→連桿→後軸曲柄→後軸→尾槳

二、實驗二中，比較有、無平衡板魚尾船在前進時的左右搖晃程度，如圖 52 和 53。當尾槳擺動角度相同時，無平衡板的船較容易左右搖晃。尾槳擺動角度不同時，無平衡板的船左右搖晃程度差異較大(14~38 度)，有平衡板的船左右搖晃程度差異較小(1~7 度)。

	尾槳擺動100度	尾槳擺動80度	尾槳擺動64度	尾槳擺動55度	尾槳擺動44度	尾槳擺動36度
船身左右搖晃照片						
最大搖晃角度	38°	24°	19°	15°	14°	14°

圖 52：無平衡板時，船左右搖晃的程度(最大角度)比較

	尾槳擺動100度	尾槳擺動80度	尾槳擺動64度	尾槳擺動55度	尾槳擺動44度	尾槳擺動36度
船身左右搖晃照片						
	船底有平衡板	船底有平衡板	船底有平衡板	船底有平衡板	船底有平衡板	船底有平衡板
最大搖晃角度	1.5°	1°	7°	3°	5°	3°

圖 53：有平衡板時，船左右搖晃的程度(最大角度)比較

當魚尾在左右擺動時，因為作用力與反作用力的關係，所以船身會有左右搖晃和前後歪斜的問題，當我們在船身底部加上平衡板後，船想要左右搖晃時，平衡板與水之間產生了一股阻力，阻止了船身的搖晃，所以搖晃的程度降低了。

三、實驗二中，有平衡板魚尾船在尾槳擺動角度不同時的船速比較如圖 54。從圖中發現尾槳擺動角度會影響到船速，當尾槳擺動角度越大，船速會越慢，為什麼會這樣呢？

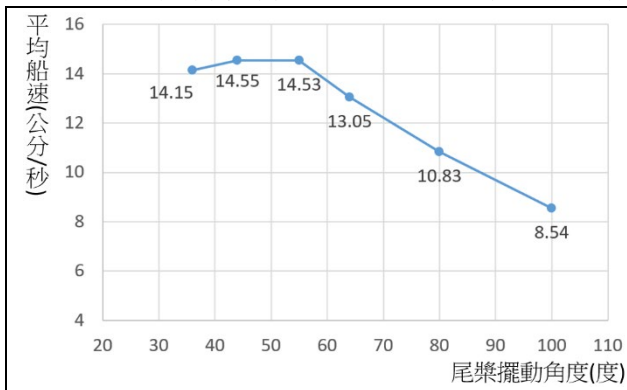


圖 54：尾槳擺動角度與船速比較圖

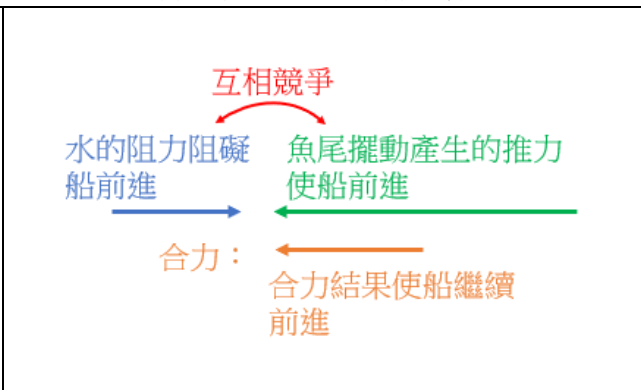


圖 55：阻力與推力競爭示意圖

我們認為魚尾船在前進時，尾槳會提供船一股推進力，而尾槳擺動頻率影響船持續受到推進力的程度(尾槳來回擺動一次就產生一次推進力，若擺動頻率越快，就能持續產生推進力)，而根據文獻探討，船在前進時，也會受到「前進速度造成的水阻」和「船身前後歪斜產生的橫斷面積阻力」影響。當推進力與這些阻力互相競爭後的合力，決定了船速，如圖 55。以下是我們的探討：

(一)尾槳擺動頻率：從影片分析有平衡板魚尾船在尾槳擺動角度不同時，尾槳擺動的頻率，如圖 56、57。從結果發現，當尾槳擺動角度越小時，擺動頻率會越快，能夠持續提供船推進力，使船前進，所以船速才會越快，因此尾槳擺動頻率可能是影響船速的條件之一。

尾槳擺動角度(度)	100	80	64	55	44	36
尾槳擺動次數	5	5	5	5	5	5
平均花費時間(秒)	6.50	5.06	3.75	3.16	3.01	2.47
尾槳平均擺動頻率(次/s)	0.77	0.99	1.33	1.58	1.66	1.95

圖 56：尾槳擺動角度不同時，船的尾槳擺動頻率實驗結果

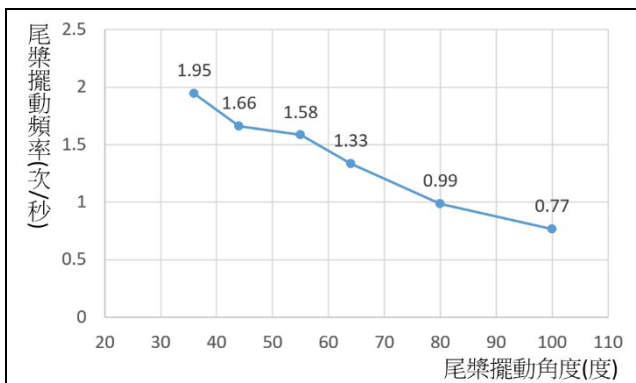


圖 57：尾槳擺動角度與擺動頻率關係圖

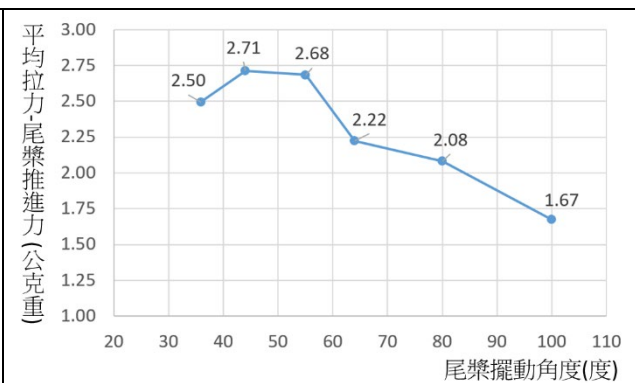


圖 58：尾槳擺動角度與推進力關係圖

(二)尾槳推進力：尾槳擺動角度與尾槳給船的推進力關係如圖 58。從結果發現，尾槳擺動角度從 100→44 度時，給船的推進力逐漸增加，從 44→36 度時，推進力會減少，與船速的變化相似。因此尾槳推進力可能也是影響船速的條件之一。

(三)船身前後歪斜程度：從影片分析船前進時的運動狀態，如圖 60，當尾槳擺動角度從 100 變到 36 度，船頭左右最大移動距離為 A~F，長度比是 3.02 : 2.59 : 1.77 : 1.61 : 1.48 : 1，數字越小代表船身不易歪斜。

我們發現尾槳擺動角度越大，船身越歪斜，船前進時與水的橫斷面積越大，如圖 59，根據文獻資料，橫斷面積越大，物體前進受到的水阻就會越大，造成船從起點到終點的行駛時間變長，船速變慢。因此船身前後歪斜造成的橫斷面積阻力可能也是影響船速的條件之一。

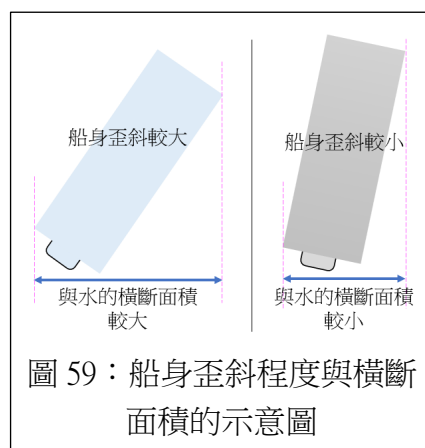


圖 59：船身歪斜程度與橫斷面積的示意圖

我們也認為若是船身前後越歪斜，那尾槳給的推進力有一部分被消耗在讓船身左右移動上，真正給船前進的力量反而會較少，因此船身前後越歪斜，那麼真正使船前進的力量較少，船速也會較慢。

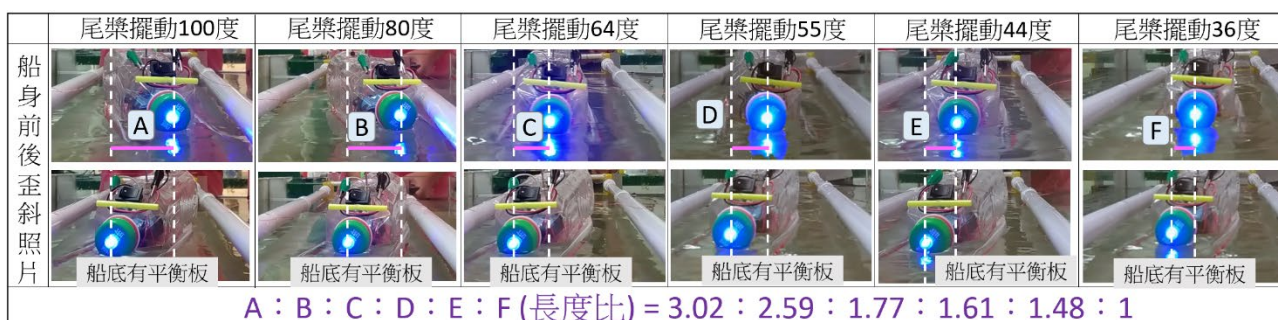


圖 60：尾槳擺動角度不同時，船身前後歪斜(位移)比較圖

(四)綜合上面的內容，尾槳擺動角度會影響船速，當擺動角度越大時：

- 1.尾槳無法持續提供船推進力(擺動頻率慢)。
- 2.尾槳擺動時，提供給船的平均推進力較小。

- 3.船身前後歪斜明顯，船身與水的橫斷面積較大，前進時受到的水阻會跟著變大。
 - 4.船身前後歪斜明顯也會分散了尾槳給船的推進力，使得讓船前進的力量較小。
- 上面四個條件互相影響之後，尾槳擺動角度越大的船，船速會變得較慢。

四、根據圖 60，當尾槳擺動角度在 36 度時，船速反而變慢。我們認為雖然此時的尾槳擺動頻率最快，尾槳較能持續供給船推進力、船身前進時與水的橫斷面積最少，受到的橫斷面積阻力最小，但是尾槳給船的推進力同時也變小了，因此我們推測當尾槳擺動角度小到一個程度後，船可能會因為尾槳擺動提供給船的推進力減弱(此點可能是主要原因)，所以船速會開始變慢。

五、實驗三之(一)中，在尾槳裝上相同面積、不同形狀的魚尾，魚尾形狀與船速的比較如圖 62。從圖中發現魚尾形狀會影響到船速的快慢。當尾槳裝上叉型魚尾，船速會較快；尾槳裝上新月形魚尾，船速會較慢。為什麼會這樣呢？我們從以下幾個地方來探討：

(一)魚尾面積：五種不同形狀的魚尾面積大約相同，用 ImageJ 軟體算出的面積為 28.11、27.94、27.90、28.36、28.47 平方公分，大致上差不多，所以在這實驗中，魚尾面積應該不是影響船速快慢的原因。

(二)尾槳擺動頻率：討論四中，我們推測尾槳擺動頻率可能與船速快慢有關。於是我們從影片分析這五種魚尾的尾槳擺動頻率，如圖 61、63，從結果發現：

- 1.尾槳裝上叉型魚尾時，擺動頻率最快，每秒擺動 2.49 次。
- 2.尾槳裝上圓形、截形魚尾，擺動頻率相似，每秒擺動分別為 2.28、2.24 次。
- 3.尾槳裝上新月形魚尾，尾槳擺動頻率最慢，每秒擺動 1.88 次。
- 4.尾槳擺動頻率快慢的順序：叉型魚尾 > 圓形、截形魚尾 > 微內凹形魚尾 > 新月形魚尾。

尾槳形狀	圓形	截形	微凹內形	新月形	叉形
尾槳擺動次數	5	5	5	5	5
平均花費時間(秒)	2.19	2.23	2.49	2.66	2.01
尾槳平均擺動頻率(次/s)	2.28	2.24	2.01	1.88	2.49

圖 61：尾槳裝上不同形狀的魚尾時，船的尾槳擺動頻率實驗結果

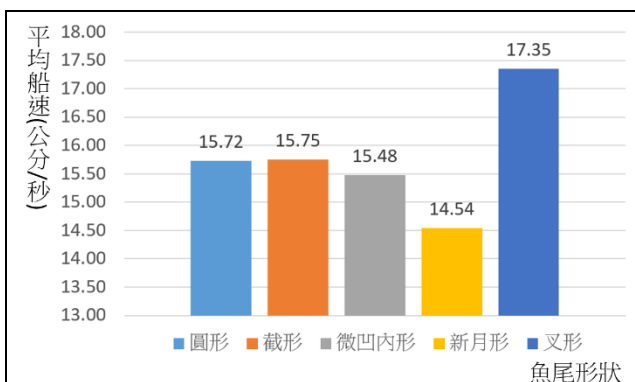


圖 62：魚尾形狀與船速比較圖

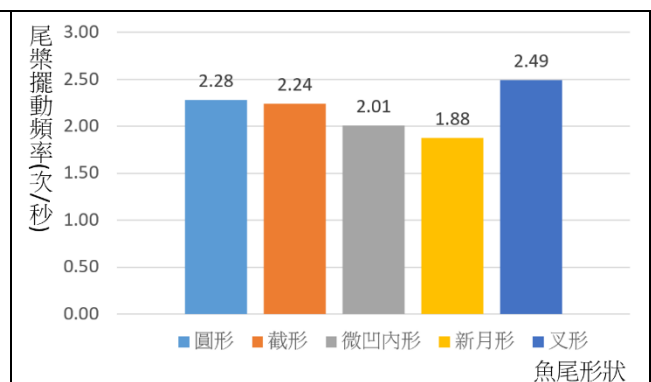


圖 63：魚尾形狀與尾槳擺動頻率比較圖

(三)尾槳推進力：從魚尾形狀與尾槳推進力的比較中(圖 64)，我們發現尾槳裝上圓形、截形和叉型魚尾時，平均尾槳推進力差異不大，約為 2.94 ~ 2.98 公克重，而新月形魚尾的推進力最弱，只有 2.14 公克重。尾槳推進力大小的順序為：圓形、截形、叉型魚尾 > 微內凹形魚尾 > 新月形魚尾。

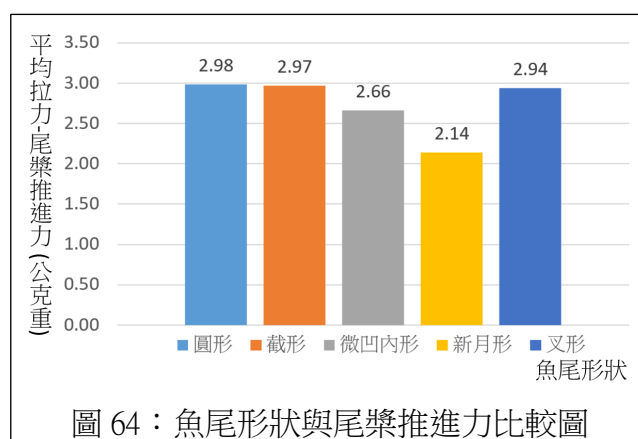


圖 64：魚尾形狀與尾槳推進力比較圖

(四)船身前後歪斜程度：尾槳裝上五種不同形狀的魚尾，比較船身前進時的前後歪斜程度，如圖 65。A~E 長度比是 1.12 : 1.12 : 1.07 : 1.22 : 1，從結果發現：

- 1.和裝了叉型魚尾的船身比，新月形魚尾的船身歪斜程度最大，船頭左右移動距離約多了 1.22 倍，船身前進時與水的橫斷面積最大，受到的水阻會較大。
- 2.和裝了叉型魚尾的船身比，圓形、截形和微內凹形魚尾的船身歪斜程度稍大(彼此很接近)，船頭左右移動距離增加了 1.07 到 1.12 倍，橫斷面積造成的水阻會比新月形魚尾的船小。

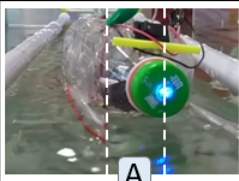
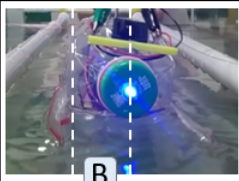
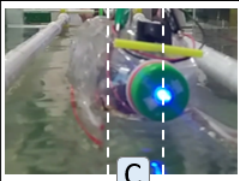
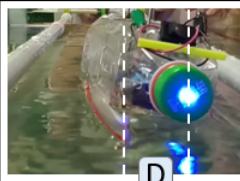
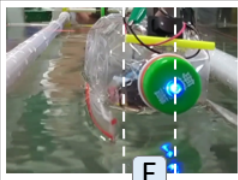
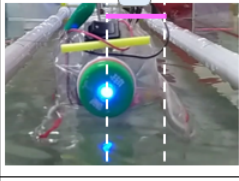
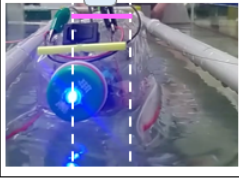
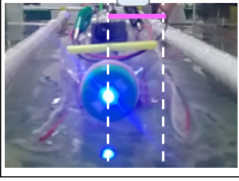
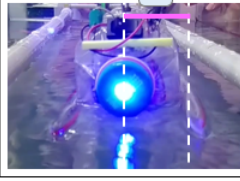
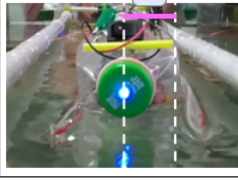
	圓形魚尾	截形魚尾	微內凹形魚尾	新月形魚尾	叉型魚尾
船身前後歪斜照片					
					
	A : B : C : D : E (長度比) = 1.12 : 1.12 : 1.07 : 1.22 : 1				

圖 65：尾槳裝上相同面積、不同形狀的魚尾，船身前後歪斜比較圖

(五)綜合上面的內容，當尾槳擺動角度和魚尾面積相同時，改變魚尾的形狀，叉型魚尾的尾槳推進力雖然和圓形與截形魚尾差不多，但是因為叉型魚尾擺動頻率快，且船身前後歪斜程度較小，船身與水的橫斷面積阻力較小，所以船速最快，而圓形與截形魚尾的船速稍慢；新月形魚尾的擺動頻率最慢，尾槳推進力最小，而且船身前後歪斜程度較大，船身與水的橫斷面積阻力較大，所以船速最慢。

六、實驗三之(二)、(三)中，在尾槳裝上固定高長、改變長度與固定長度，改變高長的魚尾與船速的比較，如圖 66、67。

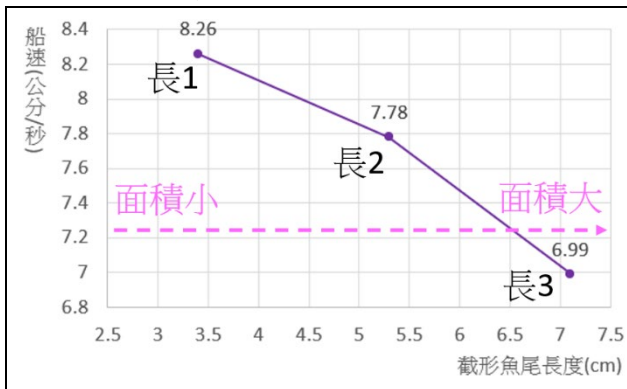


圖 66：魚尾同高不同長與船速關係圖

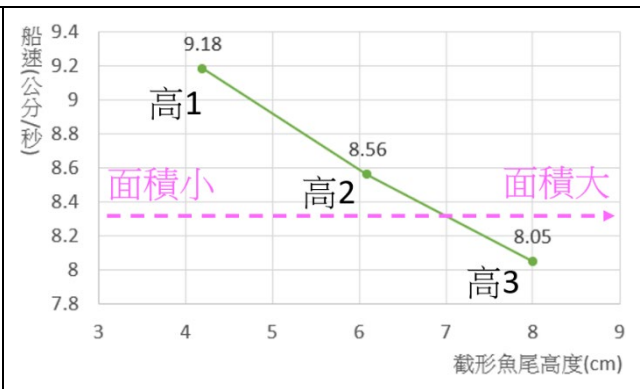


圖 67：魚尾同長不同高與船速關係圖

魚尾的長度或高長越長的時候，面積會越大，從關係圖中可以發現魚尾面積越大，船速會越慢，魚尾面積越小、船速會越快。為什麼會這樣呢？我們從以下幾個地方來探討：

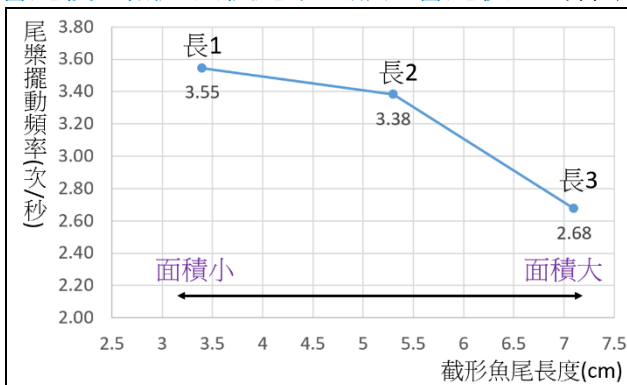


圖 68：魚尾同高不同長與擺動頻率關係圖

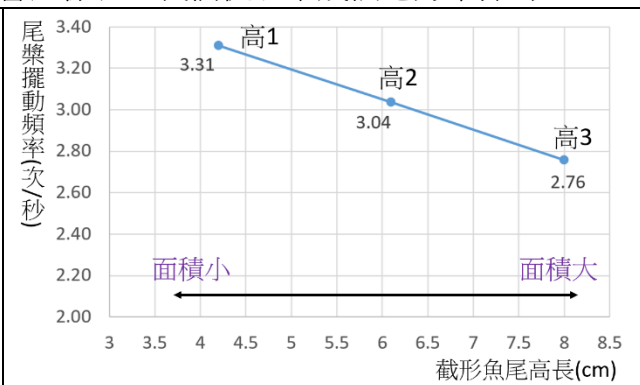


圖 69：魚尾同長不同高與擺動頻率關係圖

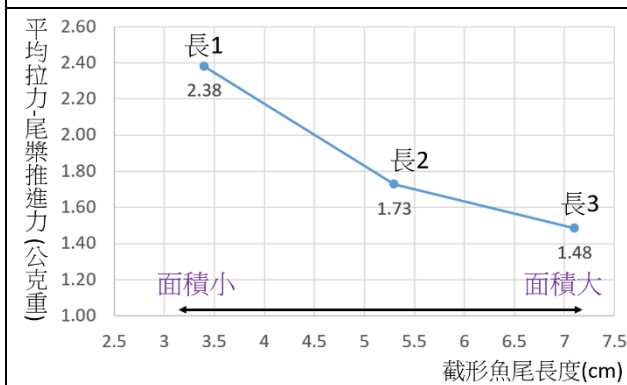


圖 70：魚尾同高不同長與推進力關係圖

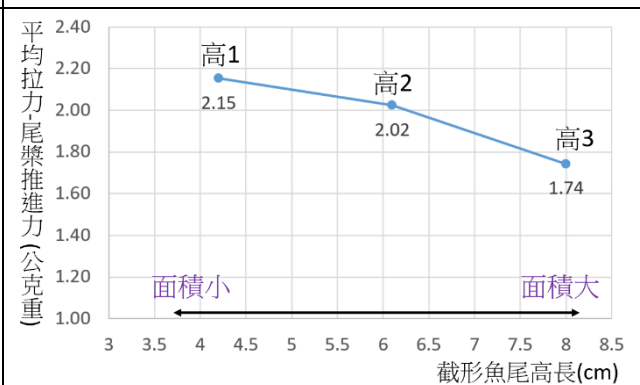


圖 71：魚尾同長不同高與推進力關係圖

尾槳類型	長1	長2	長3	高1	高2	高3
長度(cm)	3.4	5.3	7.1	4.2	6.1	8
尾槳擺動次數	5	5	5	5	5	5
平均花費時間(秒)	1.41	1.48	1.87	1.51	1.65	1.81
尾槳平均擺動頻率(次/s)	3.55	3.38	2.68	3.31	3.04	2.76

圖 72：尾槳裝上面積不同的魚尾時，船的尾槳擺動頻率實驗結果

(一)尾槳擺動頻率與尾槳推進力：我們從影片分析編號長 1~3 與高 1~3 的尾槳擺動頻率(如上頁圖 68、69、72)與尾槳推進力(如上頁圖 70、71)，從結果發現：

- 1.魚尾同高不同長時，魚尾長度越長，面積越大，擺動頻率從每秒 3.55 降到 2.68 次，擺動頻率變慢，而尾槳推進力從 2.38 降到 1.48 公克重，給船的推進力變弱。
- 2.魚尾同高不同長時，魚尾高長越長，面積越大，擺動頻率從每秒 3.31 降到 2.76 次，擺動頻率變慢，而尾槳推進力從 2.15 降到 1.74 公克重，給船的推進力變弱。

(二)船身前後歪斜程度：尾槳裝上長 1~3 與高 1~3 的魚尾，比較船身前進時的前後歪斜程度，如圖 73，從結果發現：

- 1.在魚尾同高不同長時，魚尾長度越長，船身前後歪斜程度越明顯，長 3 和長 1 比，船頭左右移動距離約多 1.54 倍，船身與水的橫斷面積阻力變大。
- 2.在魚尾同長不同高時，高長越長，船身前後歪斜程度沒有明顯變化，高 3 和高 1 比，船頭左右移動距離多約 1.07 倍，船身與水的橫斷面積阻力差異不大。

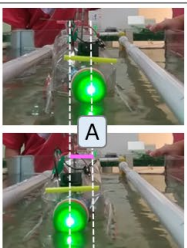
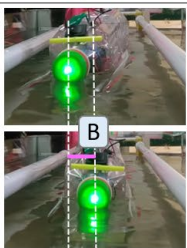
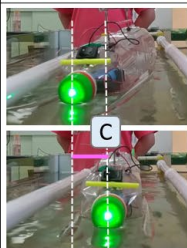
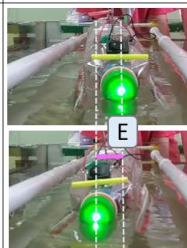
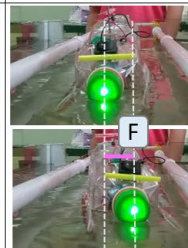
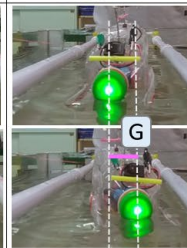
	長1	長2	長3	高1	高2	高3
船身前後傾斜照片						
	A : B : C (長度比) = 1 : 1.18 : 1.54			E : F : G (長度比) = 1 : 1.07 : 1.07		

圖 73：魚尾同高不同長與同長不同高時，船身前後歪斜比較圖

(三)綜合上面的內容，魚尾面積會影響到船速，當魚尾面積越大時，尾槳擺動頻率會變慢，尾槳推進力會變小，所以最後船速會變得較慢。我們也發現魚尾越長，船身前後歪斜程度變大，與水的橫斷面積增加，前進時受到的水阻也會跟著變大；但若魚尾的高越長，船身與水的橫斷面積卻沒有明顯的增加，此時如果能增加馬達轉速，使面積較大的魚尾能提高擺動頻率，又能同時穩定不讓船前後歪斜，應可以提升船速。

七、實驗四中，在尾槳裝上不同軟硬度的魚尾，魚尾軟硬度與船速的關係如圖 74。從圖中知道魚尾越柔軟(彎曲程度越大)時，船速會越快。為什麼會這樣呢？我們從以下幾個地方來探討：

(一)尾槳擺動頻率與尾槳推進力：我們從影片分析這 3 種魚尾的尾槳擺動頻率(如圖 75、76)與尾槳推進力(如圖 77)，從結果發現：

- 1.魚尾從 2 片疊加到 6 片時，魚尾會變得較硬，尾槳擺動頻率從每秒 1.48 降到 1.38 次，擺動頻率變慢但變化不明顯。

2.魚尾從 2 片疊加到 6 片時，魚尾會變得較硬，尾槳推進力從 2.08 降到 0.73 公克重，推進力變弱。

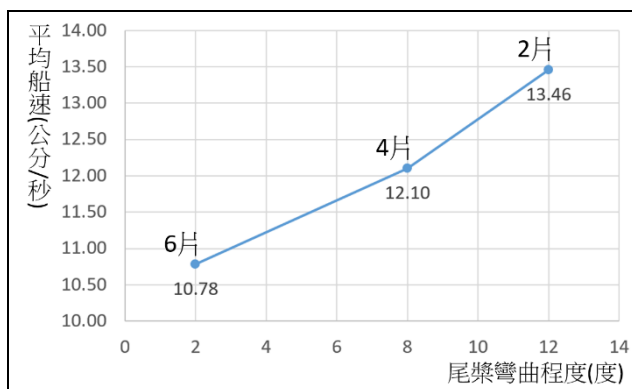


圖 74：魚尾軟硬度與船速關係圖

尾槳軟硬度	2片	4片	6片
魚尾彎曲角度(度)	12	8	2
尾槳擺動次數	5	5	5
平均花費時間(秒)	3.37	3.51	3.63
尾槳平均擺動頻率(次/s)	1.48	1.42	1.38

圖 75：軟硬度不同的尾槳擺動頻率紀錄

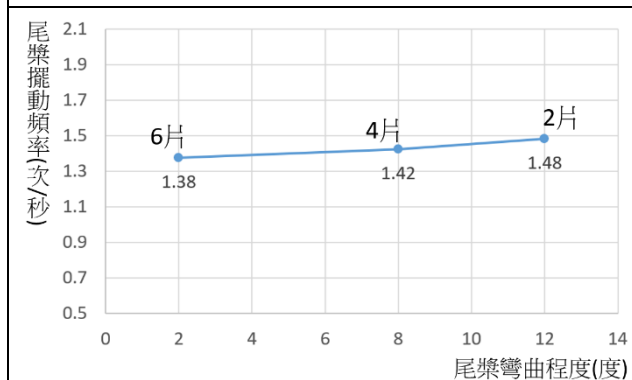


圖 76：魚尾軟硬度與尾槳擺動頻率關係圖

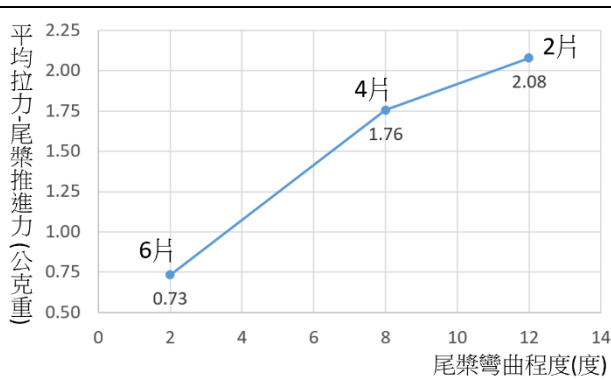


圖 77：魚尾軟硬度與尾槳推進力關係圖

(二)船身前後歪斜程度：比較 3 種軟硬度

不同的魚尾與船身前進時的前後歪斜程度，如圖 78，從結果發現：2 片魚尾的軟硬度最軟，船身前後歪斜程度較小，船身與水的橫斷面積較小，受到的水阻較小；4 片和 6 片魚尾的軟硬度較硬，船身前後歪斜的程度也較大，船身與水的橫斷面積較大，受

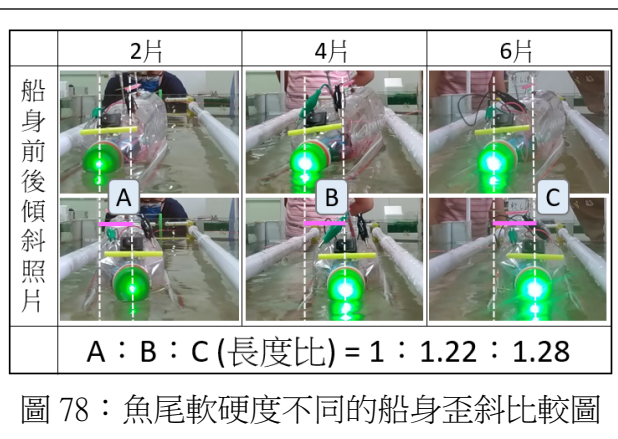


圖 78：魚尾軟硬度不同的船身歪斜比較圖

到的水阻較大，但是 4 片和 6 片兩種魚尾的船身前後歪斜程度並沒有相差太多。

(三)綜合上面的內容，當魚尾越軟時，尾槳擺動頻率稍微較快，尾槳推進力較大，船身歪斜程度較小，船身與水的橫斷面積較小，受到的水阻較低，所以船速較快。

八、實驗五中，在尾槳裝上尾鬚長度不同的魚尾，魚尾尾鬚長度與船速的關係，如圖 79。從圖中知道魚尾尾鬚越長時，船速會越快。為什麼會這樣呢？我們從以下幾個地方來探討：

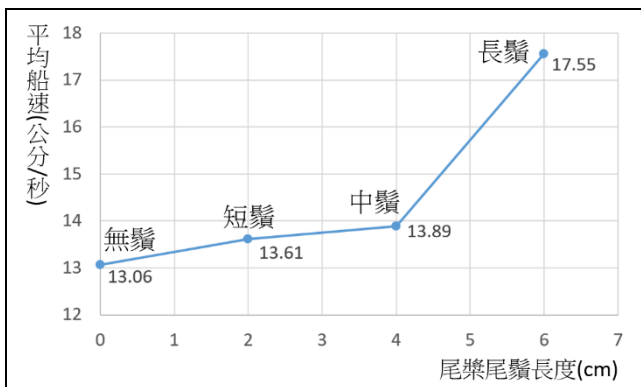


圖 79：魚尾尾鬚長度與船速關係圖

編號	無鬚	短鬚	中鬚	長鬚
尾鰭尾鬚長度(cm)	0	2	4	6
尾鰭擺動次數	5	5	5	5
平均花費時間(秒)	3.54	3.51	3.32	1.52
尾鰭平均擺動頻率(次/s)	1.41	1.43	1.50	3.28

圖 80：尾鬚長度不同的尾鰭擺動頻率紀錄

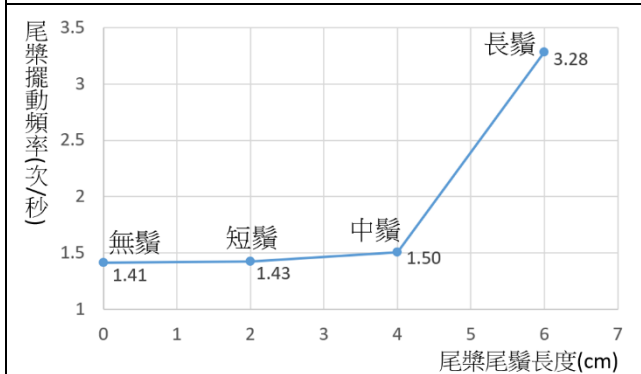


圖 81：尾鬚長度與尾鰭擺動頻率關係圖

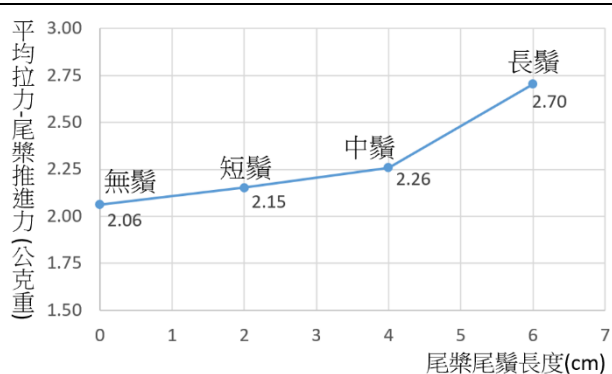


圖 82：魚尾尾鬚長度與尾鰭推進力關係圖

(一)尾鰭擺動頻率與尾鰭推進力：我們從影片分析這 4 種魚尾的尾鰭擺動頻率(如圖 80、81)與尾鰭推進力(如圖 82)，從結果發現：

- 魚尾從尾鬚 0 公分到 4 公分，尾鬚長度越長，尾鰭擺動頻率從每秒 1.41 增加到 1.50 次，尾鰭擺動頻率雖然增加，但是變化不明顯；尾鬚從 4 公分變到 6 公分時，尾鰭擺動頻率明顯增加，從每秒 1.50 次增加到 3.28 次(增加快 2 倍)。
- 魚尾從尾鬚 0 公分到 4 公分，尾鬚長度越長，尾鰭推進力從 2.06 增加到 2.26 公克重，尾鰭推進力雖然增加，但是變化不明顯；尾鬚從 4 公分變到 6 公分時，尾鰭推進力明顯增加，從 2.26 增加到 2.70 公克重。
- 為什麼從尾鬚從 4 公分(中鬚)到 6 公分(長鬚)，尾鰭擺動頻率會變快很多？我們分析不同長度的尾鬚在水面下左右擺動時的過程，如下頁圖 83(紅色箭頭為尾柄方向、藍色線條從尾柄延伸至魚尾中線，方便與尾柄方向比較，判斷魚尾彎曲程度、黃色箭頭代表尾鰭擺動的方向)。從尾鰭擺動過程中發現：
 - 長鬚魚尾擺動時，藍色的魚尾中線偏離尾柄方向最大，魚尾彎曲最明顯(如圖 83-⑳)，且連續擺動時，能觀察到魚尾順著水流進行蛇行擺動。
 - 中鬚魚尾擺動時，魚尾中線の後半段開始偏離尾柄方向，中後半段彎曲較明顯(如圖 83-⑮)，但沒有蛇行擺動的現象發生。
 - 短鬚和無鬚魚尾擺動時(如圖 83-⑤、⑩)，魚尾中線整段幾乎與尾柄方向一致，所以魚尾彎曲的較不明顯。

所以我們認為長鬚魚尾的尾槳擺動頻率突然變快，可能是它的尾鬚長度最長、最柔軟(比較圖 83-⑤、⑩、⑮、⑳)，加上能夠在水中進行蛇行擺動(其他三種魚尾並未觀察到)，擺動時受到的水阻較小，所以尾槳擺動頻率才會突然變快。

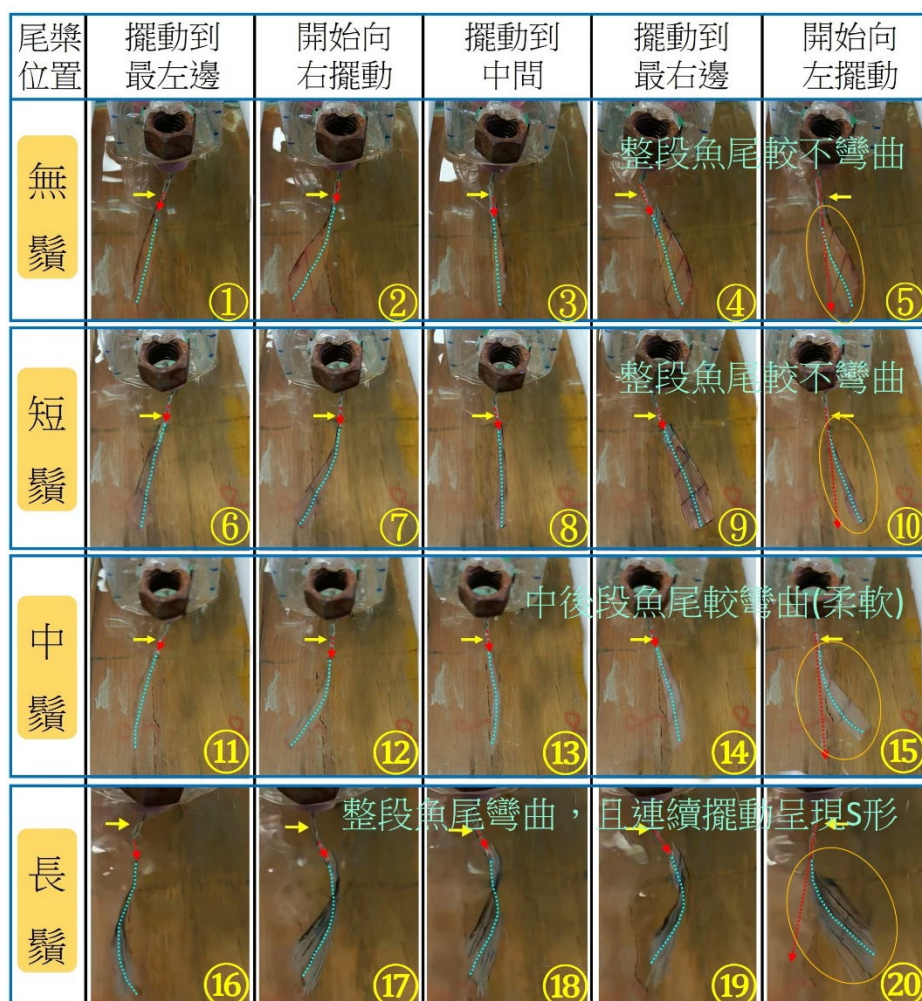


圖 83：魚尾尾鬚長度不同時的魚尾擺動情形

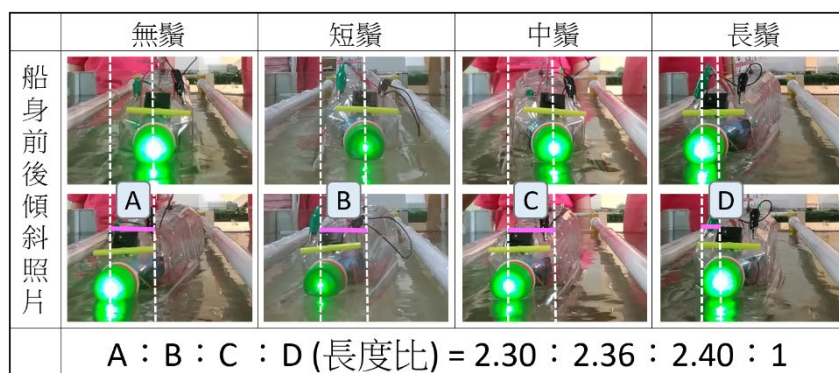


圖 84：魚尾尾鬚長度不同的船身歪斜比較圖

(二)船身前後歪斜程度：比較 4 種尾鬚長度不同的魚尾與船身前進時的前後歪斜程度，如圖 84，從結果發現：尾鬚長度從 0 公分增加到 4 公分時，船身前後歪斜程度沒有明顯的差別，當尾鬚長度從 4 公分增加到 6 公分時，船身前後歪斜程度明顯變小，船身與水的橫斷面積變小，受到的水阻也會變小。

(三)綜合上面的內容，當魚尾尾鬚長度越長時，在擺動時能夠順著水流蛇行擺動，所以尾槳擺動頻率較快，尾槳推進力較大，船身前後歪斜程度較小，船身前進時與水的橫斷面積較小，受到的水阻較小，所以船速較快。

陸、結論

- 一、魚尾船的推進力來自於尾槳的左右擺動，透過曲柄和連桿的應用，當前軸曲柄轉動一圈時，能夠持續對後軸曲柄產生「推」與「拉」兩種運動狀態，因此能讓尾槳左右擺動。整艘船的動力順序為：馬達→前軸→前軸曲柄→連桿→後軸曲柄→後軸→尾槳。
- 二、若要使魚尾船尾槳能順利擺動且在水中順利的向前行駛，需要符合以下條件：
 - (一)前軸曲柄長度<後軸曲柄長度→前軸才能順利透過連桿帶動後軸，使尾槳左右擺動。
 - (二)尾槳處需要在船的正後方擺動，且左右擺動角度要一樣，使船能盡量直線前進。
- 三、根據實驗二，在船底加上平衡板時，因為平衡板與水之間會產生阻力，當船在行駛時，可以減少船身左右搖晃的程度。
- 四、根據實驗二，尾槳擺動角度會影響船的速度，
 - (一)尾槳擺動角度越大，擺動頻率越慢，尾槳較無法持續提供船推進力。
 - (二)尾槳擺動角度越大，尾槳擺動提供給船的推進力會變小。
 - (三)尾槳擺動角度越大，船身前後歪斜程度會越大，船身與水的橫斷面積會變大，船行駛時的水阻會變大，且我們認為會分散尾槳給船的推進力，使船前進的力量減弱。
 - (四)綜合(一)到(三)的內容，當尾槳持續擺動所產生的推進力與水的阻力互相作用後的合力越大，船速會越快，合力越小，船速會越慢。
 - (五)當尾槳擺動角度小到一定程度，船可能會因為尾槳的推進力減弱，船速開始變慢，根據我們的實驗，當尾槳擺動角度在 44 或 55 度時，船速會較快。
- 五、根據實驗三之(一)，魚尾船的船速可能與魚尾形狀有關，魚尾面積相同時，尾槳裝上叉型、圓形與截形魚尾的尾槳推進力差不多大，但因為叉型魚尾的尾槳擺動頻率較快，且船身與水的橫斷面積較小，所以船速較快；新月形魚尾的尾槳推進力最小，尾槳擺動頻率最慢，加上船身與水的橫斷面積較大，船行駛受到的水阻較大，所以船速最慢。
- 六、根據實驗三之(二)、(三)，若魚尾面積越大，魚尾左右擺動受到的水阻越大，尾槳擺動頻率會較慢，尾槳提供船的推進力也會減弱，所以船速會變得較慢。
- 七、根據實驗四，魚尾軟硬度不同時，擺動頻率沒有明顯的差別，但魚尾越軟，船身前後歪斜程度較不明顯，與水的橫斷面積較小，船前進時受到的水阻會較小，加上尾槳提供給船的推進力較大，所以船速會較快。
- 八、根據實驗五，當魚尾的尾鬚越長時，魚尾會順著水流進行蛇行擺動，擺動時受到的水阻會較少，因此擺動頻率會變快；且船身與水的橫斷面積會減少，船前進時受到的水阻會較小；加上尾槳提供給船的推進力較大，所以船速會較快。

九、綜合以上的內容，若要讓我們的魚尾船船速快，尾槳的擺動角度要適當(根據實驗，擺動角度 44、55 度最好)，且尾槳左右擺動的角度要相同、尾槳使用叉形魚尾、魚尾面積不能太大、要柔軟並且呈現長長的鬚狀，這樣才能減少船前進時與水的橫斷面積所造成的阻力、而且能提高尾槳擺動頻率和尾槳推進力，使船的速度變快。

柒、參考文獻資料

- 一、臺灣的魚類世界-魚的尾鰭。取自：<https://reurl.cc/kq4xDn>
- 二、周銘泰、高瑞卿、張瑞宗、廖俊(2020)。臺灣淡水及河口魚蝦圖鑑。晨星出版有限公司。
- 三、張譽騰。魚兒的本領。取自：<http://163.20.58.20/classweb2/book09.htm#11>
- 四、Arvind Gupta.(2012 年 6 月 21 日)。FISH TAIL BOAT- Arvind Gupta. [視頻]。Youtube。
https://www.youtube.com/watch?v=zkJ0uXHZ4mI&ab_channel=ArvindGupta
- 五、徐國峰(2012 年 12 月 11 日)。[書摘]《在水裡自由練功》—在水中必先思考減少阻力。
取自：<https://reurl.cc/Dmn9M5>
- 六、船舶與港口-早期船舶操控/槳、櫓與車船。國立海洋科技博物館。取自：
<http://ship.nmmst.gov.tw/ship/content/154/645>
- 七、滾輪玩具船(照片)。取自：<https://reurl.cc/VRGW2Z>
- 八、電動玩具船(照片)。取自：<https://reurl.cc/mZWYOG>
- 九、風力玩具船(照片)。取自：<https://reurl.cc/kq48ZL>
- 十、魚類結構特徵-魚尾形狀(照片)。取自：<https://www.hk-fish.net/tc/fish/fish-structural-feature/>

【評語】 080111

本作品利用自製魚尾船，探討魚尾槳擺動(搖櫓)前進快慢的變因。運用 Avidemux 分析畫格時間，計算尾槳擺動的頻率。運用 ImageJ 計算尾槳面積。魚尾鰭(機械)動力等相關主題探究，以往已有許多科展作品得獎，內容與本作品類似，建議進行參考文獻探討，值得回顧分析與借鏡。雖然考量了多項變因進行多樣實驗，但是數據分析、作圖與誤差標示等，仍有改善空間。

作品海報

我不搖擺喔！—

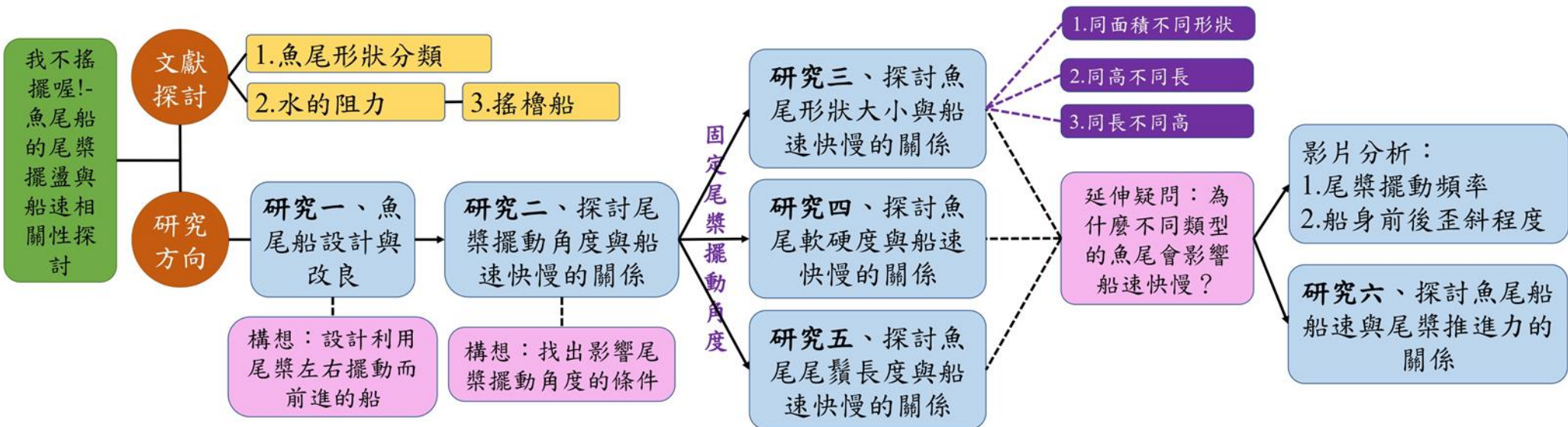
魚尾船的尾槳擺盪與船速相關性探討

摘要

魚尾船是一個類似搖櫓船的科學玩具，設計上應用到曲柄與連桿，利用前軸曲柄來帶動後軸曲柄產生拉與推兩種運動狀態使尾槳可以來回擺動，我們發現魚尾船的船速與尾槳擺動角度、尾槳處所裝的魚尾面積大小、形狀、魚尾柔軟度和魚尾尾鬚長度這些條件有關。這些條件可能會影響到尾槳擺動頻率、船身左右歪斜程度和上下搖晃程度。尾槳擺動頻率影響每秒產生的推進力，船身左右歪斜程度和上下搖晃程度則會影響到船前進時受到的水阻大小。推進力與水阻力兩股作用後的合力決定了魚尾船前進的速度。

壹、研究動機與目的

我們在網路上看過一台利用船槳左右搖擺方式前進的船，與利用螺旋槳來使船前進的構造不太一樣，加上尾槳左右搖擺時與魚尾很像，所以我們想先製作出一台利用尾槳左右擺動來前進的船，接著探討使船的尾槳能夠左右擺動的條件與相關原理後，再進行尾槳(魚尾)特徵與形狀對船速的影響，實驗流程與架構如下圖。



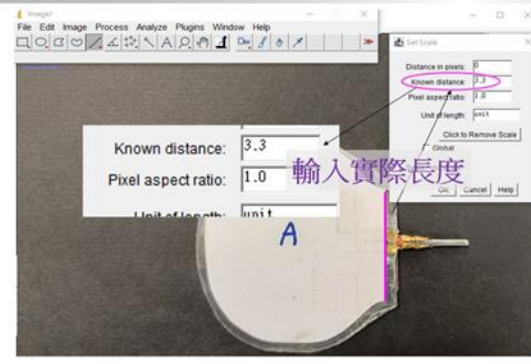
貳、研究設備與器材

一、Avidemux 軟體



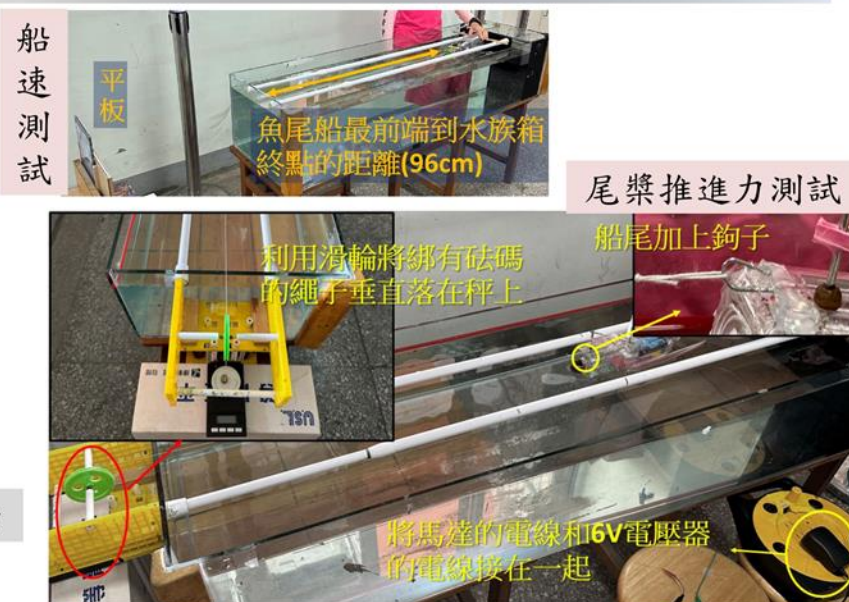
$$\text{尾槳擺動頻率} = \frac{\text{擺動次數}}{\text{花費時間}}$$

二、ImageJ 軟體



- 點選Analyze → Set Scale → Known distance (輸入已知長度)
- 點選Analyze → Measure → 讀取面積

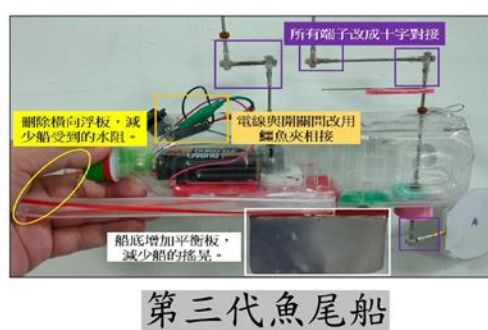
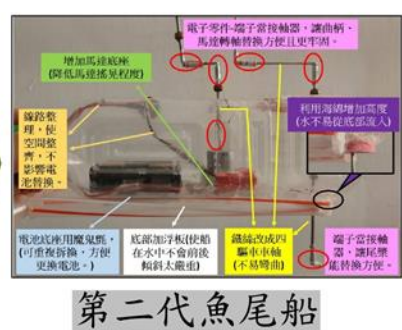
三、船速與尾槳推進力測量裝置圖



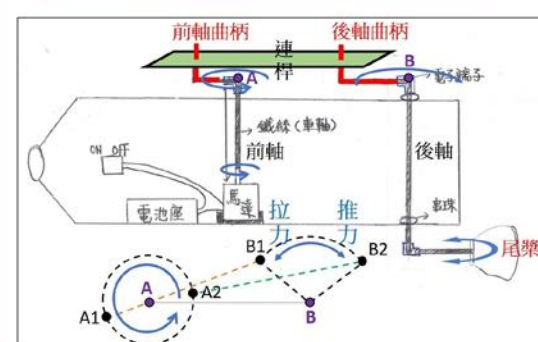
參、研究結果與討論

一、魚尾船設計、製作與改良

◎改良過程



◎魚尾船的動力傳送



二、探討尾槳擺動角度與船速快慢的關係

(一)利用智高積木模擬魚尾船前後曲柄轉動情形



前軸半徑(格)	後軸半徑(格)	後軸/前軸比值	兩軸軸心距離(格)	連桿長度(格)	後軸轉動描述	後軸轉動角度(度)
3	2	0.67	10	11	無法轉動	
3	3	1.00	10	10	順利擺動	110
3	4	後軸越來越長	3	10	順利擺動	90
3	5	7	10	8	順利擺動	60
3	6	0	10	7	順利擺動	50
2	2	0	10	10	順利擺動	131
2	3	0	10	9	順利擺動	65
2	4	0	10	8	順利擺動	45
2	5	2.0	10	7	順利擺動	37

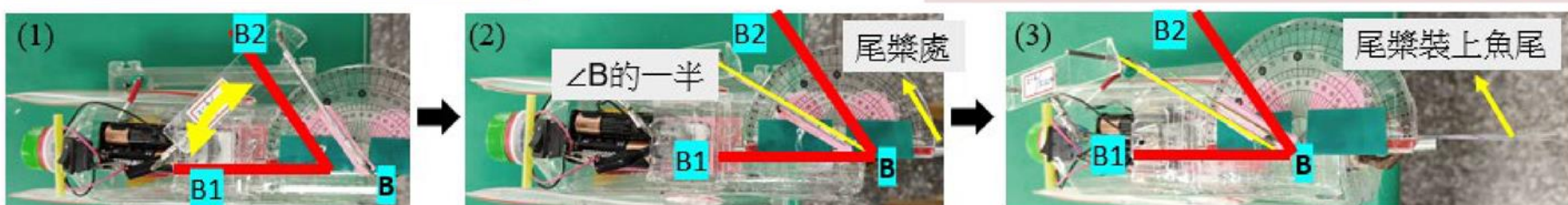
轉動角度越小

◎從智高積木模擬曲柄連桿裝置發現：

- 前軸半徑 < 後軸半徑，前軸可以透過連桿帶動後軸轉動。
- 前軸半徑固定，後軸半徑越長，後軸轉動的角度會越小。

(二)魚尾船—尾槳的擺動角度測試

尾槳擺動角度測量與位置調整的方式



實驗結果：	前軸曲柄長(cm)	2	2	2	2	2	2
	後軸曲柄長(cm)	3	4	5	6	7	8
發現：	後軸擺動角度(度)	100	80	64	55	44	36

前軸半徑固定，後軸半徑越長，後軸轉動角度越小。

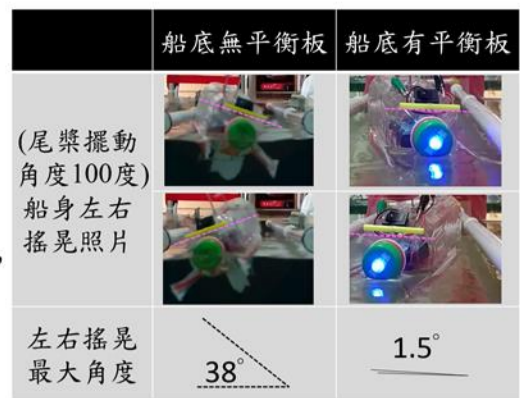
(三)船身會左右搖晃的解決方法-船底加裝平衡板

◎船底有、無平衡板，在不同尾槳擺動角度下，船身左右搖晃角度比較：

尾槳擺動角度(度)	100	80	64	55	44	36
無平衡板，船身左右搖晃角度(度)	38	24	19	15	14	14
有平衡板，船身左右搖晃角度(度)	1.5	1	7	3	5	3

◎發現：

尾槳擺動角度相同時，有平衡板的船身左右搖晃程度較不明顯。



(四)船底加裝平衡板，尾槳擺動角度與船速的關係

◎發現：尾槳擺動角度越大時，船速越慢。

◎討論：為什麼尾槳擺動角度越大，船速越慢呢？

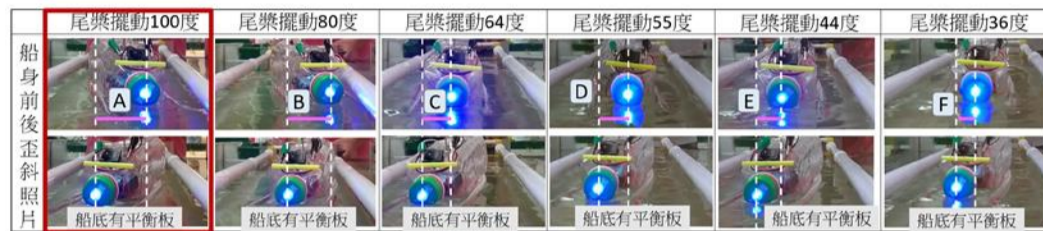
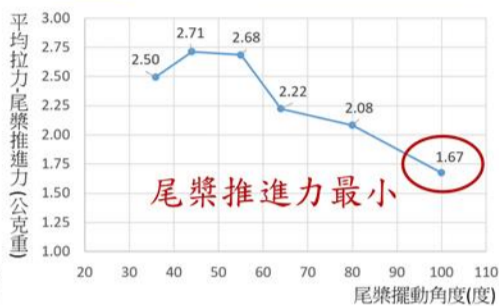
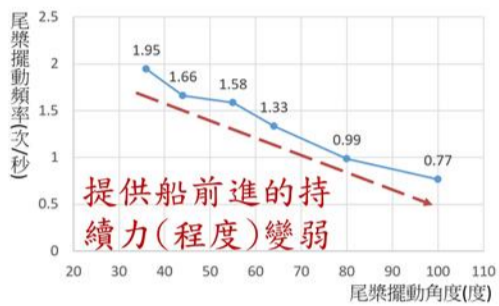
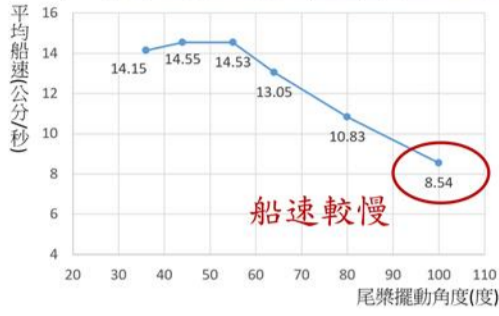
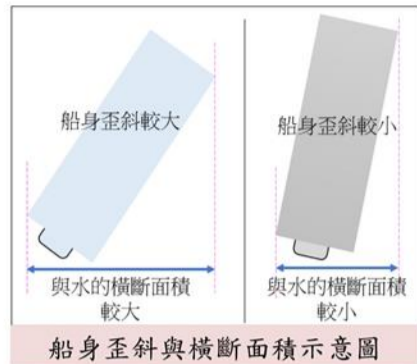
尾槳擺動角度越大

原因

- 尾槳擺動頻率(供船前進的持續力)越小
- 尾槳平均推進力(尾槳擺動給船的力)越小
- 船身前後歪斜(橫斷面積)形成的水阻力越大

造成

船速變慢



船身前後歪斜照片 A : B : C : D : E : F (長度比) = 3.02 : 2.59 : 1.77 : 1.61 : 1.48 : 1
歪斜最大 → 船身與水的橫斷面積最大 → 船前進時的水阻最大

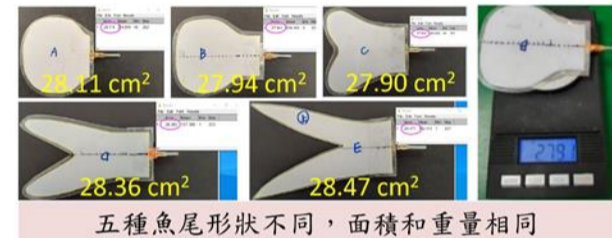
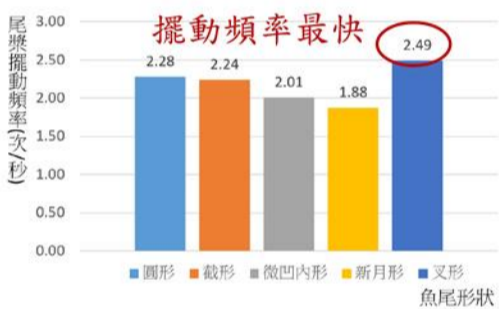
三、探討魚尾形狀與船速快慢的關係

(一)魚尾同面積、不同形狀大小與船速的關係

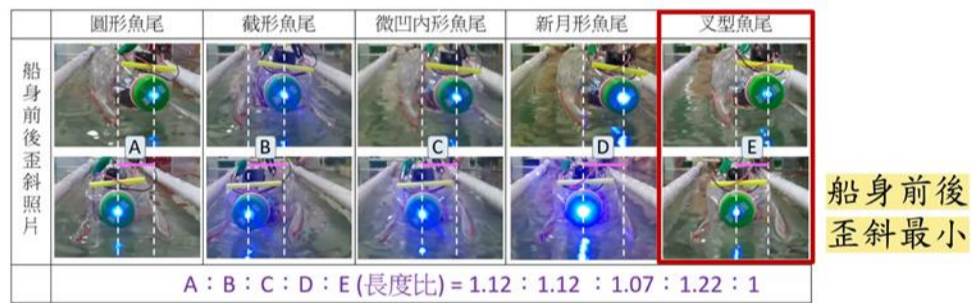
◎發現：尾槳裝上叉形魚尾，船速最快；尾槳裝上新月形魚尾，船速最慢。

◎討論：為什麼尾槳裝上叉型魚尾，船速最快呢？

叉形魚尾的尾槳推進力雖然和圓形與截形魚尾差不多，但是因為叉形魚尾擺動頻率快，且船身前後歪斜程度較小，船身與水的橫斷面積阻力較小，所以船速最快。



五種魚尾形狀不同，面積和重量相同



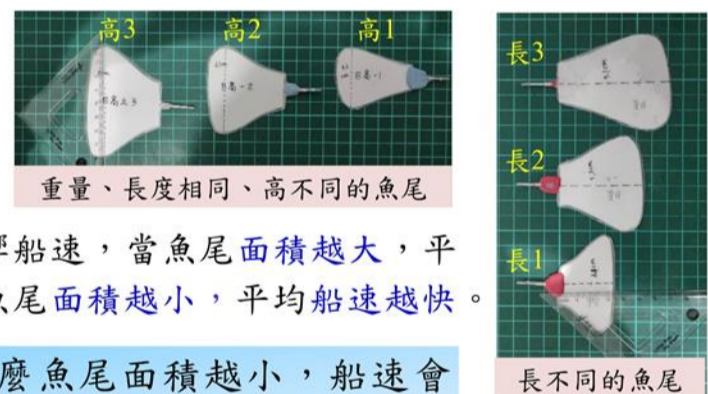
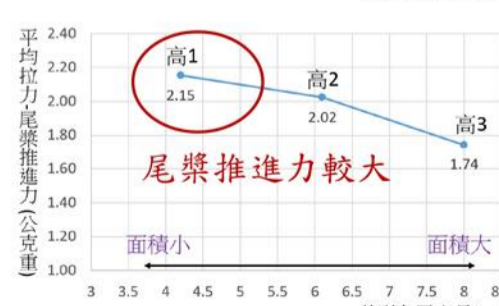
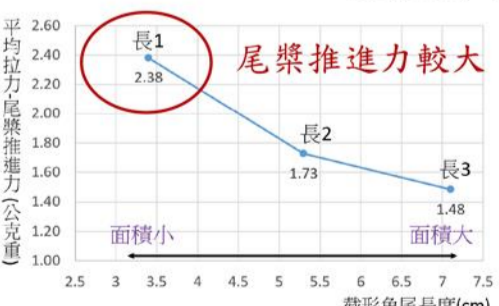
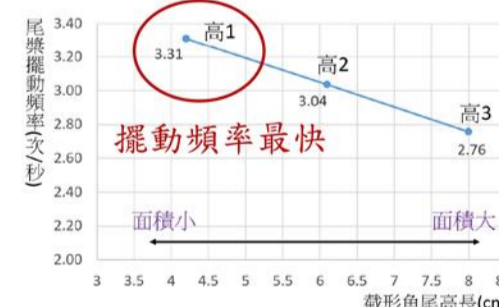
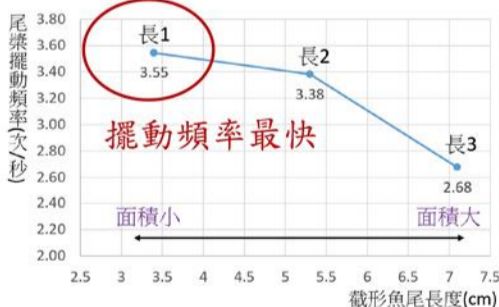
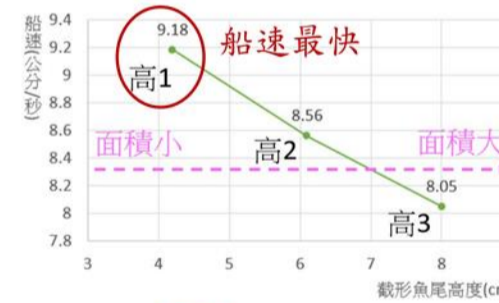
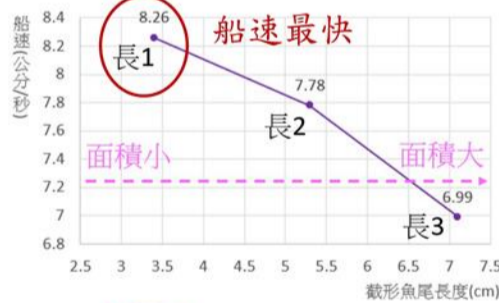
船身前後歪斜最小

A : B : C : D : E (長度比) = 1.12 : 1.12 : 1.07 : 1.22 : 1

(二)魚尾面積不同與船速的關係

◎魚尾高長相同、長不同

◎魚尾長相同、高長不同



重量、長度相同、高不同的魚尾

長不同的魚尾

◎發現：

魚尾面積會影響船速，當魚尾面積越大，平均船速越慢；魚尾面積越小，平均船速越快。

◎討論：為什麼魚尾面積越小，船速會越快呢？

魚尾面積越小

原因

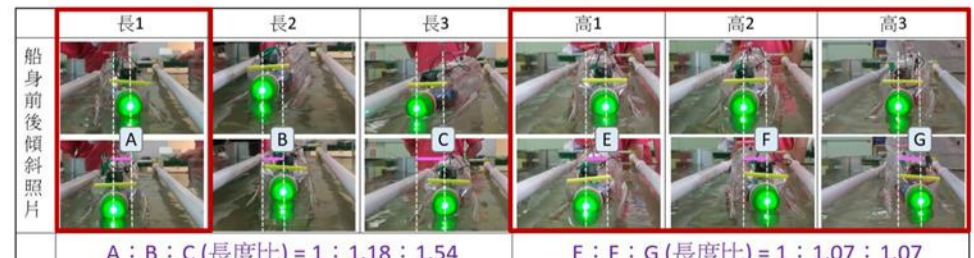
- 尾槳擺動頻率(供船前進的持續力)越快
- 尾槳平均推進力(尾槳擺動給船的力)越大
- 船身前後歪斜(橫斷面積)形成的水阻越小

造成

船速越快

船身前後歪斜最小

船身前後歪斜沒有明顯差異



A : B : C (長度比) = 1 : 1.18 : 1.54 E : F : G (長度比) = 1 : 1.07 : 1.07

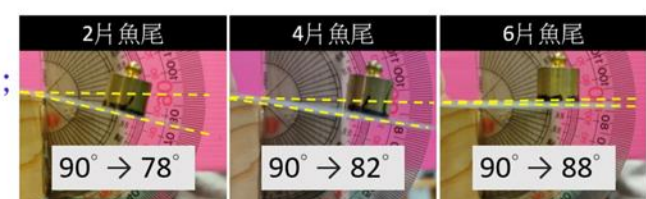
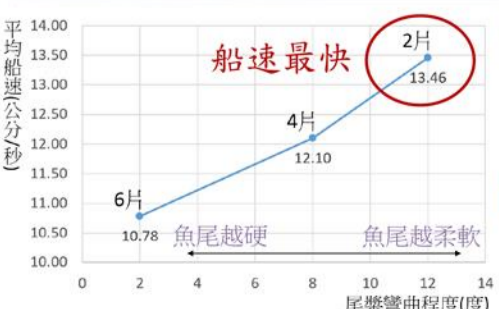
四、探討魚尾軟硬度與船速快慢的關係

◎發現：

魚尾的軟硬度會影響船速，魚尾越柔軟，平均船速越快；魚尾越硬，平均船速越慢。

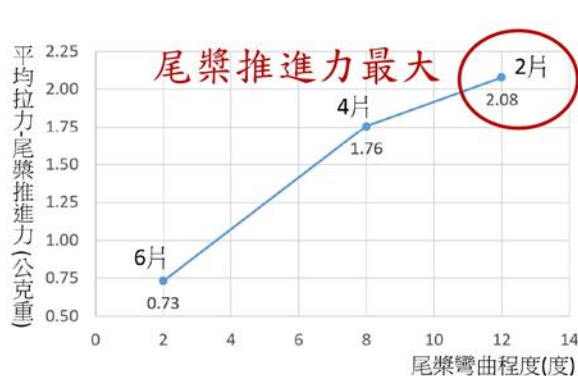
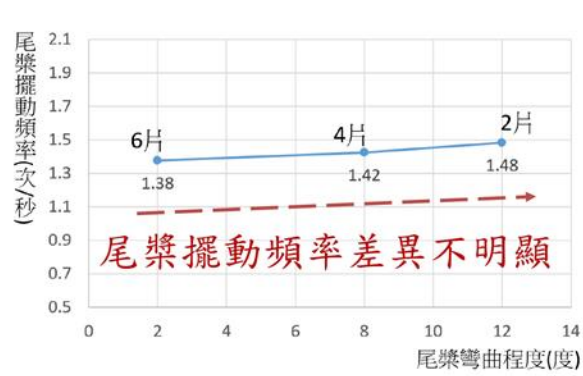
◎討論：為什麼魚尾越柔軟，船速會越快？

魚尾越柔軟時，但尾槳推進力較大，船身前後歪斜較小，水阻較小，所以船速較快。

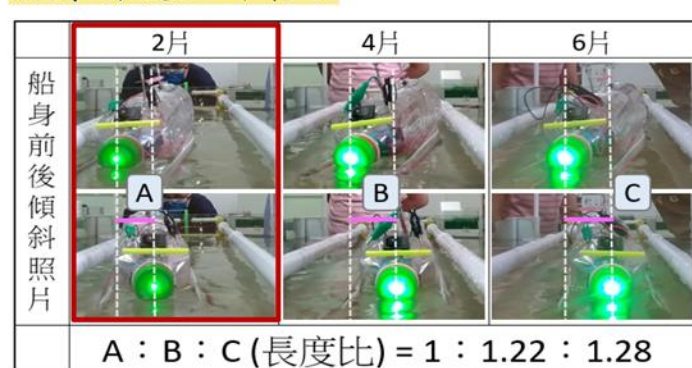


彎曲12度 彎曲8度 彎曲2度

疊加不同片數的魚尾-彎曲程度比較

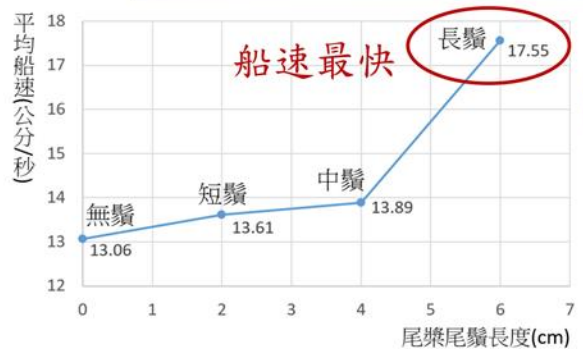


船身前後歪斜最小



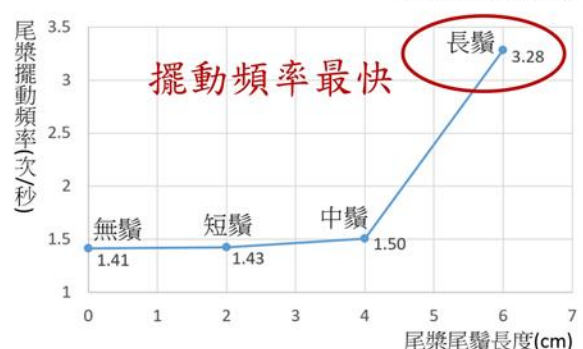
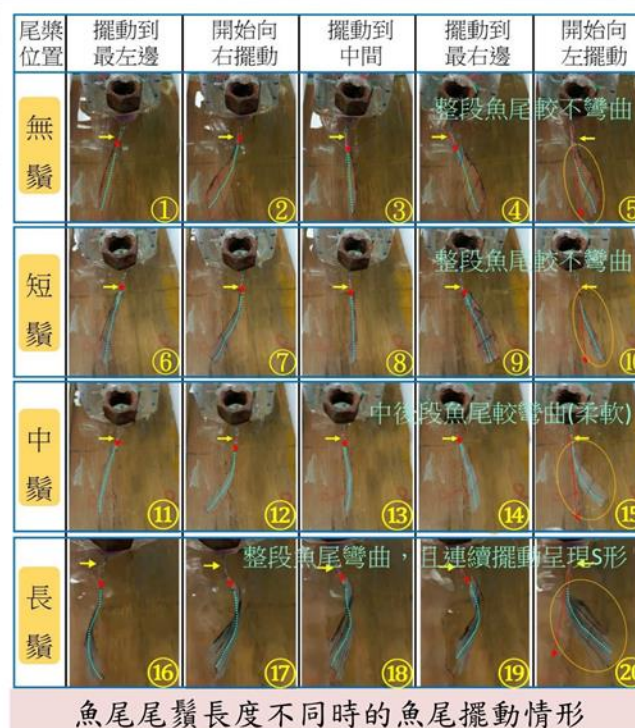
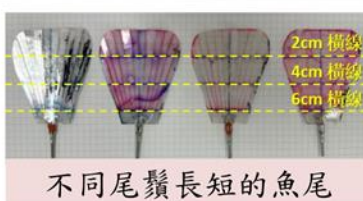
五、探討魚尾尾鬚長度與船速快慢的關係

(一)魚尾尾鬚長度與船速的關係探討

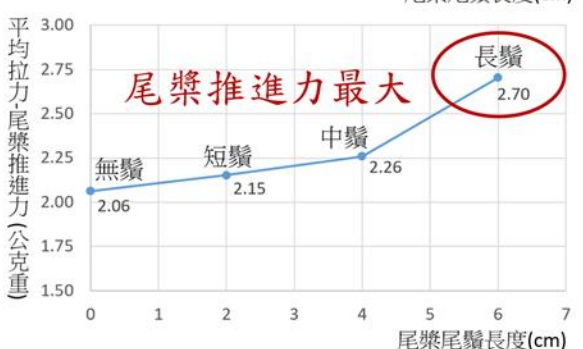
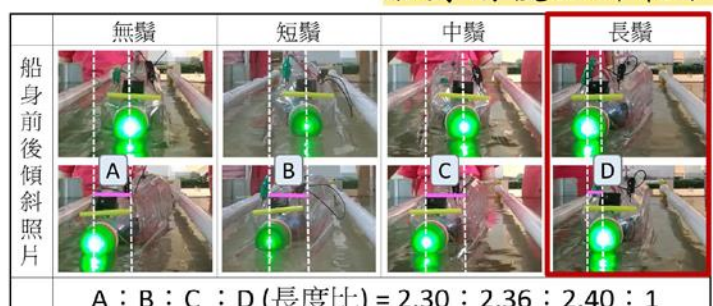


◎發現：

- 1.魚尾尾鬚長度越長時，船速最快。
- 2.魚尾尾鬚長度0~4cm時，船速差異不明顯，尾鬚長度6cm時，船速突然增快。

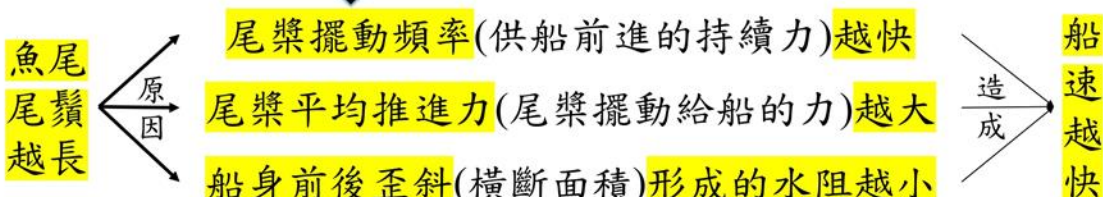


船身前後歪斜最小

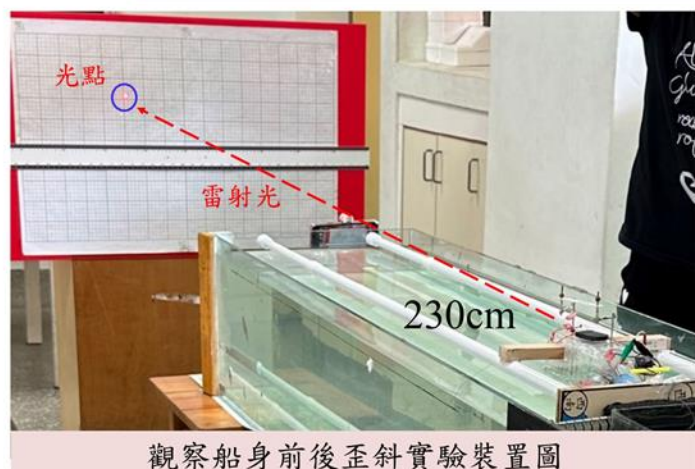


◎討論：為什麼魚尾尾鬚的長度越長時，船速會越快呢？

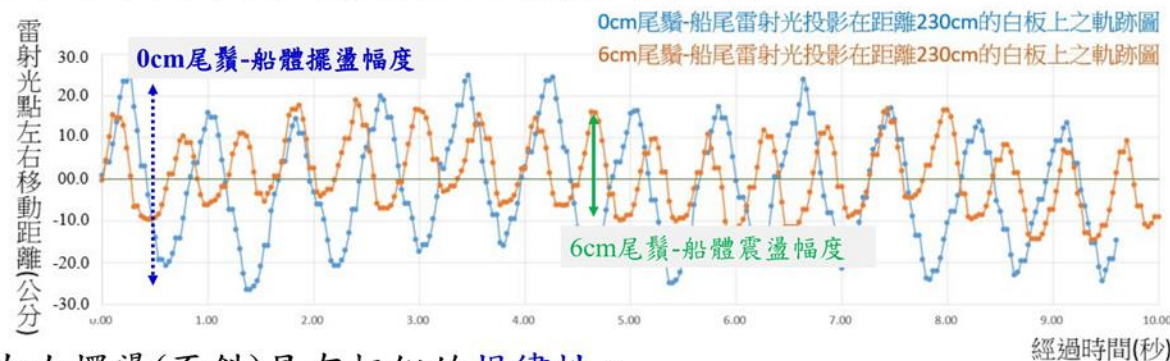
魚尾在擺動時較能夠順著水流蛇行擺動



(二)比較船體左右擺盪的穩定性-以尾鬚 0 cm和 6 cm為例



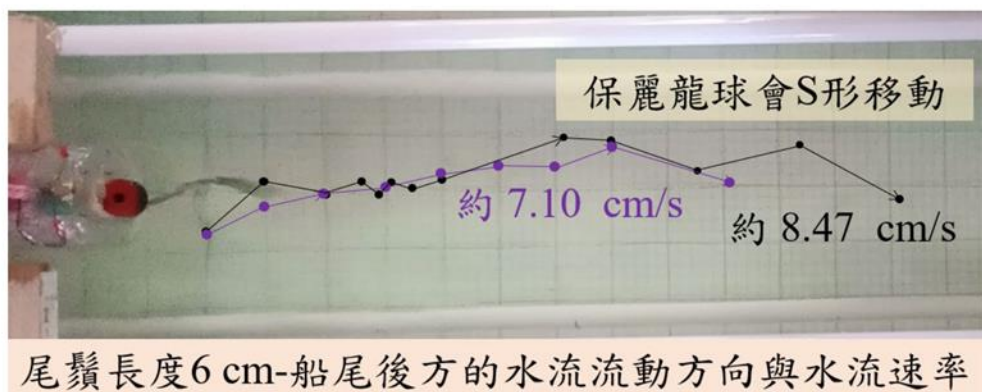
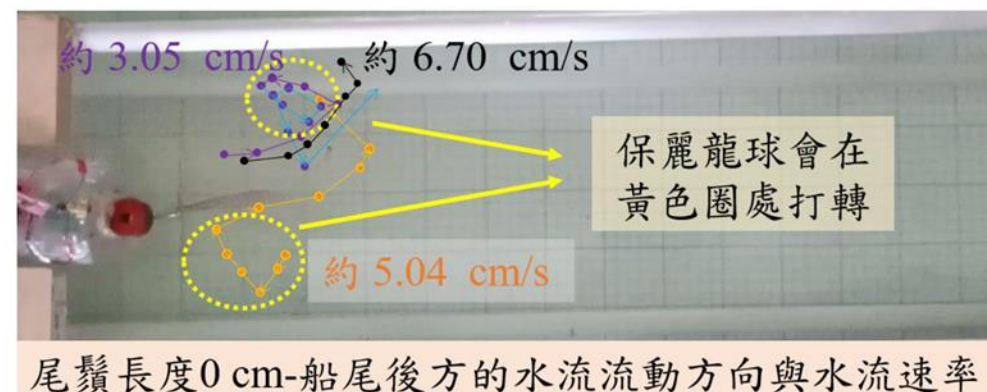
我們在船尾裝上1mW的雷射光發射器，將光點投影在白板上，繪製尾鬚長度不同時，光點每秒在白板上移動情形，利用這方式來判斷船體左右擺盪的穩定性。



- ◎發現：
- 1.在不同的尾鬚長度下，船體左右擺盪(歪斜)具有相似的規律性。
 - 2.尾鬚長度越長，尾槳擺動頻率越快，船體擺盪頻率也會越快。
 - 3.尾鬚長度越長，船體左右擺盪幅度會越小。

(三)比較尾槳左右擺動時，尾槳後方的水流方向與速率-以尾鬚 0 cm和 6 cm為例

我們利用小保麗龍球在水面的移動情形，觀察尾鬚長度不同時，船後的水流方向與速率差異。



- ◎發現：
- 1.尾鬚長度越短時，水流速度較慢，尾槳兩側的水流出現漩渦打轉。
 - 2.尾鬚長度越長時，水流速度較快，尾槳後方的水流方向呈現S形。

肆、結論

根據以上的實驗結果與討論，我們得到以下結論：

- 一、我們製作的魚尾船，動力傳送順序為：馬達→前軸→前軸曲柄→連桿→後軸曲柄→後軸→尾槳。
- 二、當前軸曲柄轉動一圈時，透過連桿裝置，能對後軸曲柄產生推與拉兩種不同方向的力，使尾槳能左右擺動，當尾槳在水中左右擺動時，能夠提供船前進所需要的推進力。在過程中我們也發現前軸曲柄半徑要小於後軸曲柄半徑，連桿裝置才能順利啟動。
- 三、船若要能保持直線前進，那麼一定要特別注意尾槳在左右擺動時是否有對稱，所以要根據前、後軸曲柄半徑的長度，適當的調整後軸曲柄方向，然後再將尾槳調整在船身的正後方，這樣才能確定尾槳能順利左右對稱擺動。
- 四、根據我們的實驗結果，要使魚尾船的船速變快，需要符合以下幾個條件：
 - (一)船身底下要有平衡板。
 - (二)尾槳的擺動角度要適當。(根據實驗結果，尾槳擺動角度在44或55度時，船速較佳)
 - (三)魚尾的面積不能太大。
 - (四)魚尾要柔軟，形狀部分可以選擇叉型魚尾或是具有長鬚狀的魚尾。

只要能符合以上的條件，就能夠減少船前進時，船身與水的橫斷面積所產生的阻力，也能夠提升尾槳的擺動頻率和尾槳的推進力，最後使船速變得更快。