

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科
佳作

051805

船有吸引力？用疏水性材料破解船吸現象

學校名稱：彰化縣私立精誠高級中學

作者：	指導老師：
高二 柯昱銘	胡誌峰
高二 賴立晨	
高二 劉予恩	

關鍵詞：船吸現象、康達效應、疏水性材料

摘要

本研究主要探討親水性與疏水性船體在船吸現象的影響。在原理方面，藉由作圖研究船吸現象、親水性與疏水性對彼此的影響，並藉此推導在理想情況下的加速度；在實驗方面，我們以試管去做驗證，發現親水性會互相吸引，而疏水性與親水性間會互相排斥。接著探討在不同變因下，親水性的船吸現象是否符合公式推導，而結果與推導出的公式相似：船寬及初始流速都與其成正相關，並且與質量不太有影響。進一步分析疏水性船體的影響，探討不同流速下疏水性是否都能對抗此現象，而在實驗過程中發覺中間水流似乎會衝向另一艘船，進而研究康達效應在本實驗的影響，並用其解釋實驗結果，最終，模擬真實情況的親水性障礙物，測試疏水性的船體是否能避免與它相撞。

壹、前言

一、研究動機：

在怒海劫（Captain Phillips）這部電影中，有一幕場景描述一群海盜追著一艘美國貨船，從追逐漸漸靠近，最終船與船貼緊，海盜上了貨船，不過，船是怎麼在不同水流速度下可以像電影場景中貼緊渡輪呢？

在經過查詢後，找到一種有關流體力學，很神奇的現象，叫做「船吸現象」，就是當兩艘船在水上航行時會互相吸引，並且，它竟然是一件重大的船難事件。在 1912 年秋天，一艘名為「奧林匹克號」的船在海上航行，而另一艘名為「豪克」的裝甲巡洋艦正在距其 100 公尺外的海面上，兩艘船「平行」開往前方。忽然，豪克號像是無法控制般撞向奧林匹克號，而釀成一件重大海難事故。

在看過這件事件後，我們發現目前並沒有明確的方式去阻止這種現象發生，於是我們開始思考如何能避免船的互相吸引，找到另一個發生在水上的神奇現象，就是疏水性材料會與親水性材料相斥。

由於在水上大部分的障礙（漂流木、船殘骸）都是親水性，我們想利用疏水性材料在水中會與親水性相斥的原理來製造一艘疏水性的船來避免船吸現象這種悲劇發生，甚至，還能避免鐵達尼號撞向冰山等類似事件發生（冰也是親水性，會相斥）。

二、實驗目的：

(一) 疏水性材料的影響

1. 實驗一：探討疏水性與親水性試管在水中對彼此的影響

(二) 各種變因對船吸現象的影響

1. 實驗二：探討不同水流衝擊下對一般船體船吸現象及平均速度大小的影響
2. 實驗三：探討不同質量對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響
3. 實驗四：探討不同船寬對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響

(三) 疏水性的影響

1. 實驗五：探討疏水性船體是否能抵抗船吸現象
2. 實驗六：探討疏水性船體在不同水流衝擊下的距離關係
3. 實驗七：探討康達效應對疏水性以及親水性船體的影響

(四) 真實模擬

1. 實驗八：探討在水中疏水性船體是否能避免撞上沿路上的親水性物質

三、文獻回顧：

參考了 2011 年洪碩成、張上仁、吳東翰的論文，論文中以棉線綁住蓋玻片來測量親水性相吸的實驗，而我們使用試管，因為若用棉線綁住蓋玻片可能會因繩張力而產生些許實驗誤差，並且試管上也可以利用燃燒蠟燭來附著奈米碳，而在後面的實驗中，我們也參考文獻中的紙杯來進行船吸現象（我們使用紙船），因為試管相對太輕且太容易被水波影響相吸及相斥。

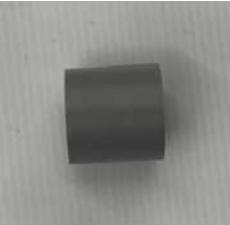
為什麼試管會相吸與相斥？我們參考了王恩哥、孟勝以及 Phys. Rev. Lett 分別在 2011 年及 2019 年所發表的論文，王恩哥、孟勝（2011）的論文有助於我們解釋親水性相吸的原理，使我們知道氫鍵是親水性分子之間最主要的吸引力來源，而 Phys. rev. let (2019) 則是探討親水性與疏水性材料之間彼此的相吸相斥現象，從這篇文章，得知疏水性材料會與分子間的穩定性有關，利用這兩篇論文能讓我們了解有關「材料」上的物理原理。

在船吸現象方面，我們主要由劉澄芳、王珉玟、徐力行所寫的流體力學（第七版）（公制版）這本書來了解白努利定理，書中有提到縮小水流面積所帶來的影響，而我們由此畫圖思考船吸現象的原理並做出公式的推導來深入了解船吸現象。

而在實驗原理，因張慧貞（2016）白努力定理的誤解與錯誤應用中，提到白努力公式的限制，於是，我們利用康達效應去彌補船吸現象部分理論不足的地方，船體，最後，在實驗中，有些地方並不符合船吸現象的理論，在 Wang yu-fei1, Wang xin-wei1, Ma xing-yu2, Tang zhan-qi2, & Jiang nan. (2022) . Effects of the Superhydrophobic Surface on Coherent Structures in the Turbulent Boundary Layer. 提到疏水性會減少康達效應的發生。

貳、 研究設備及器材

一、實驗器材：

大水箱		小水箱	
			
水管	蠟燭	抽水馬達（可控流度）	試管
			
紙盒	馬達組	壓克力塗料	棉線
			
電火布	瓦楞板	水管	
			

（以上照片皆為作者自行拍攝）

二、實驗軟體

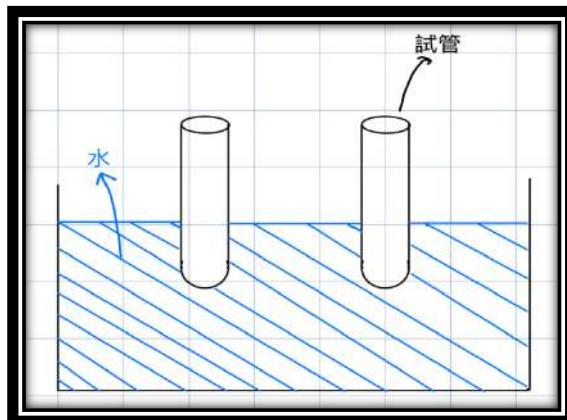
Tracker (分析軌跡)	Excel	SciDAVis (製作圖表)
		

(以上軟體圖示取自各軟體官網)

參、 研究過程或方法

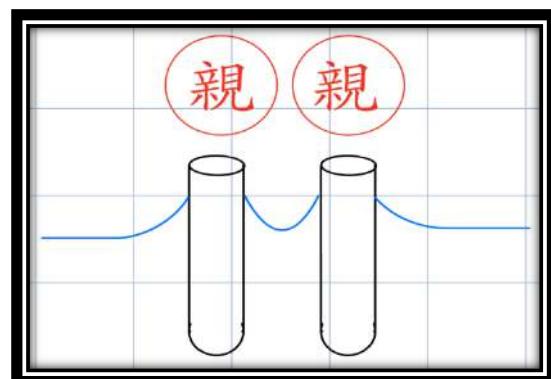
一、實驗原理：親水性與疏水性相吸相斥現象

(一) 當兩試管放於水中時 (圖一)，因兩試管接觸水的材質不同，兩試管會產生不一樣的反應。



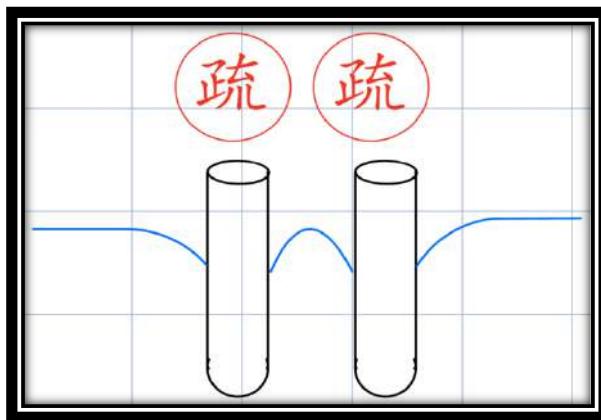
(圖一) 兩試管放置於水面 (自行手繪)

(二) 在親水性相吸方面，如 (圖二)，從這裡可以看出親水性試管間的水形成凹槽，而水之間有氫鍵會結合，導致試管與水面的接觸角增大，試管間水平方向的表面張力增加，兩試管聚集。



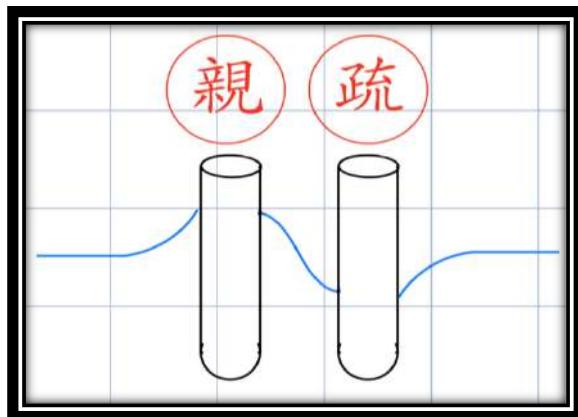
(圖二) 親水性試管水面圖 (自行手繪)

(三) 而在疏水性方面，疏水性材料之間的吸引力與分子間的穩定性有關，當疏水性材料在水中時(圖三)，水分子會在疏水性材料周圍形成有序的結構，導致系統的熵降低。當兩個疏水性材料互相靠近時，水分子會被排擠出來，而導致熵增加，使系統趨近於穩定，而此現象會使中間水平面下降，試管間水平方向的表面張力增加，兩試管聚集。



(圖三) 疏水性試管水面圖 (自行手繪)

(四) 反之，親水性物質則與水分子形成氫鍵，因此當親水性物質與疏水性物質接近時，疏水性與親水性因為當兩試管相聚時因水面斜度增加，試管間水平表面張力減小，小於試管外水平表面張力，所以會造成相斥 (圖四)。



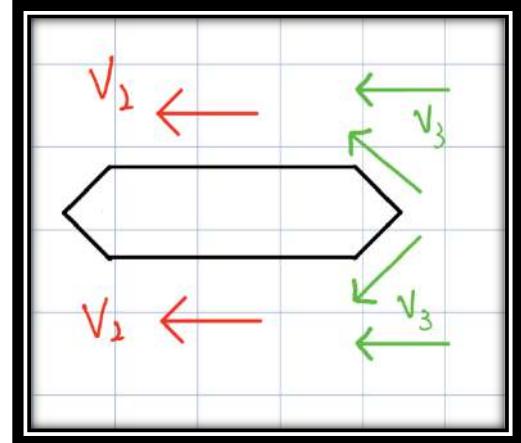
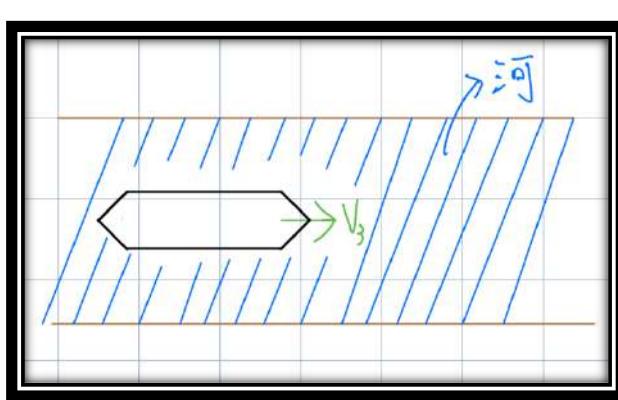
(圖四) 疏水性與親水性試管水面圖 (自行手繪)

二、實驗原理：船吸現象

(一) 如(圖五)，當一艘船以 v_3 行駛在河流上，我們可以看做水流以 v_3 的速度衝向船體(圖六)，因船前方的構造，將前端水分成左右兩邊，在理想情況下因流體力學的連續方程式：

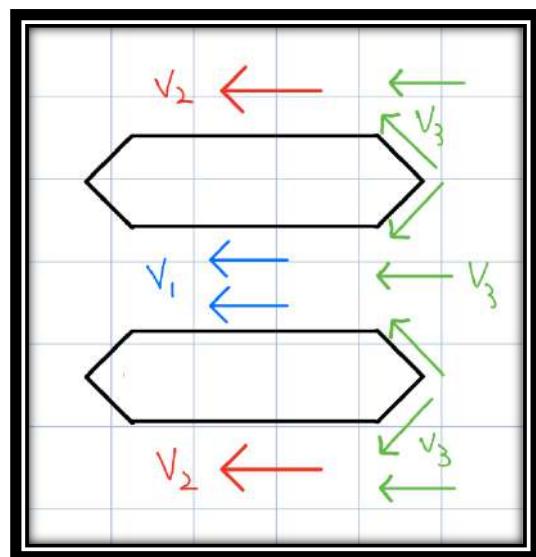
$$A_1V_1 = A_2V_2$$

如(圖六)，從大面積到小面積，也就是從 v_3 水的截面積到 v_2 水的截面積，水的截面積減少，由此可知，兩邊所形成的 v_2 比原先的 v_3 還大，也就是 $v_2 > v_3$ 。



(圖五) 一艘船以 v_3 行駛於水面上 (自行手繪) (圖六) 水流聚集 (自行手繪)

(二) 而當兩艘船時(圖七)，兩艘船中間部分會形成 v_1 ，因中間部份是由多個 v_3 匯集，因此得知 $v_1 > v_2 > v_3$ 。



(圖七) 兩艘船的速度差 (自行手繪)

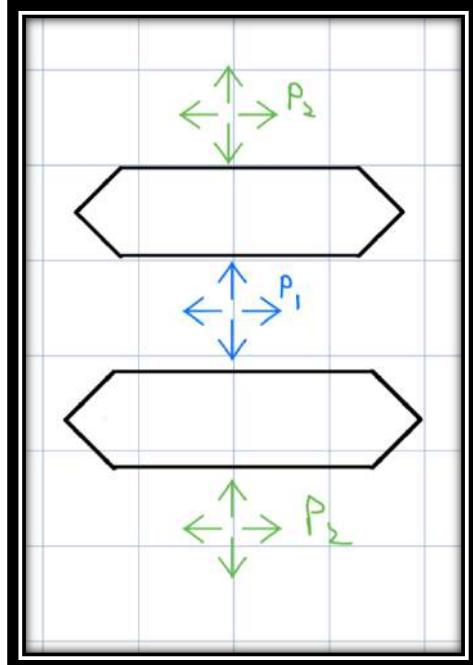
(三) 由白努利公式：

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{定值}$$

其中 P 為壓力， ρ 為液體密度， g 為重力加速度， v^2 為速度平方。

我們將中間壓力設為 P_1 ，旁邊壓力設為 P_2 ，如（圖八）。可以得到：

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$



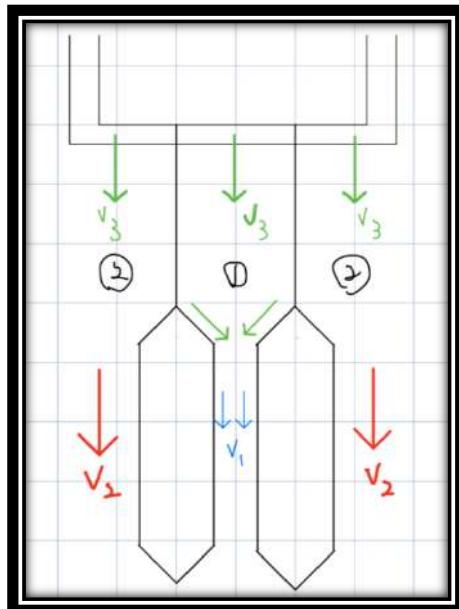
（圖八） 白努利效應（自行手繪）

因為 $v_1 > v_2$ ，由

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

所以可知 $P_2 > P_1$ 因此，兩端壓力大於內部壓力，兩艘船會像有一個向內的吸引力。

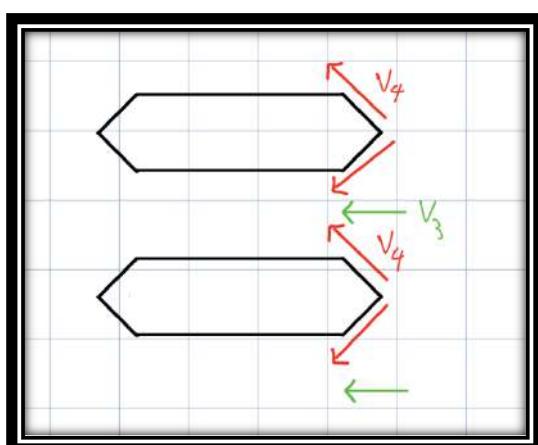
(四) 因此，當設計一個結構，如（圖九），有一穩定水流 v_3 沖向船，造成船內外水流速度不同，導致壓力差，兩艘船會產生加速度，並向內聚集，與兩艘船向前行駛所造成的影响相同。



（圖九）本次設計實驗（自行手繪）

三、實驗理論：康達效應

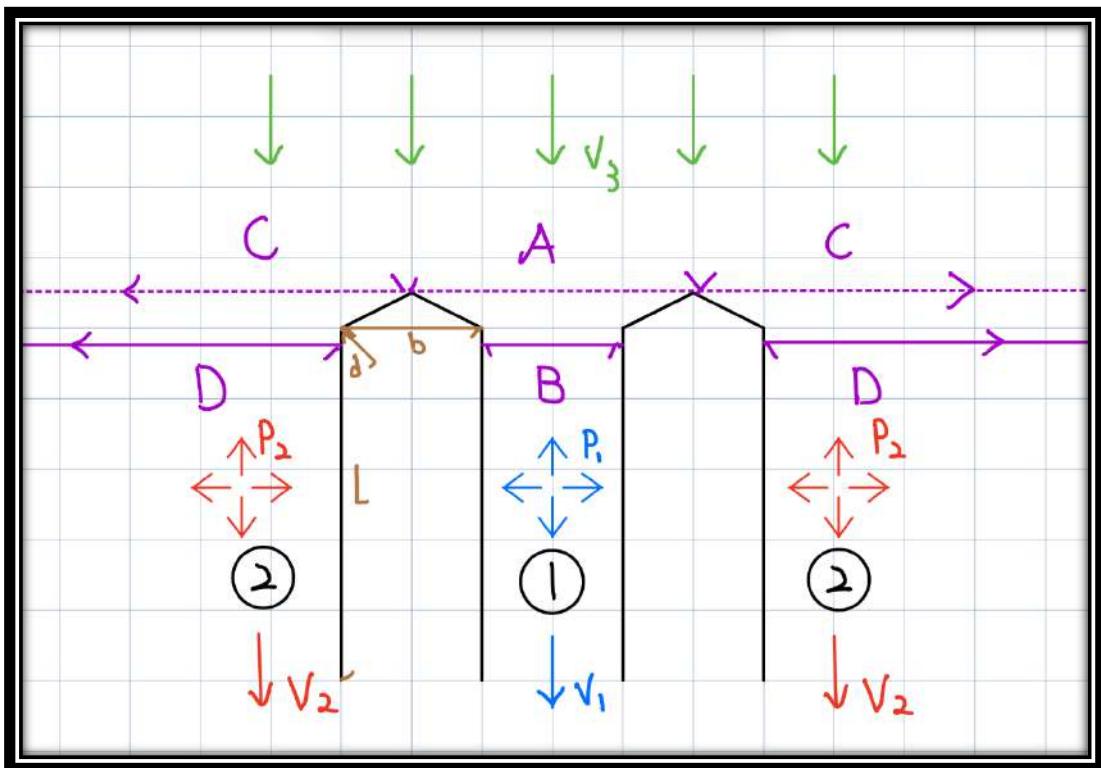
在張慧貞（2016）白努力定理的誤解與錯誤應用提到，白努力作用有一道限制，必須在「同一條」水流，如（圖十）， v_4 與 v_3 ，為此，利用康達效應可以解釋水流為同一條。康達效應是一種流體在流動時，會因黏致力等因素，貼附在凸面上流動的現象。該效應最早由羅馬尼亞航空工程師亨利·康達（Henri Coandă），他注意到排出的氣體沿著機身流動，而非直線噴出，這一現象後來被命名為康達效應。



（圖十）康達效應水流圖（自行手繪）

四、公式推導：船吸現象

(一) 如(圖十一)，我們設一艘船的加速度為 a ，質量為 m ，體積為 V ，兩艘船相聚加速度為 $a_{\text{總}}$ 。設船的長、寬、水面下的高分別為 L 、 b 、 d ，在①區域裡的壓力為 P_1 ，在②區域裡的壓力為 P_2 ，水從寬度為 A 、 C (流速為 v_3)流向 B 、 D (流速分別為 v_1 、 v_2)， C 、 D 的箭頭為從船到很遠的距離(在海洋上視為無邊際)，而它們的水深為 h ，水密度為 $\rho_{\text{水}}$ 。



(圖十一) 船吸現象各種符號圖(自行手繪)

(二) 我們在理想狀態下思考，並做了以下的假設：

1. $D \gg B$ (在海洋上視為無邊際)， $A = b + B$ ， $C = \frac{1}{2}b + D$ 。
2. 水流均為直線，且因船頭而被分成兩半。
3. 船的質量分布幾乎都在船體，不在船頭，並且船頭的體積遠小於船身。
4. 在理想狀態(忽略流體阻力、水的黏滯力)。

(三) 依照流體力學的連續方程式：

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

代入到此圖形，得 $A_h v_3 = B_h v_1 \rightarrow v_1 = \frac{A}{B} v_3$ ， $C_h v_3 = D_h v_2 \rightarrow v_2 = \frac{C}{D} v_3$ -----①

(四) 依照白努利方程式：

$$\text{得出 } P_1 + \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} v_2^2, \text{ 壓力差 } \Delta P = P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} v_1^2 - \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} v_2^2$$

$$\text{壓力} = \frac{\text{力}}{\text{面積}} = \frac{m \times a}{\text{面積}} = \frac{m \times a}{Ld} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\text{將(1)代入(2)得出 } \Delta P = \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} v_3^2 \left(\frac{A^2}{B^2} - \frac{C^2}{D^2} \right), a = \frac{1}{2} \rho_{\text{水}} v_3^2 \left(\frac{A^2}{B^2} - \frac{C^2}{D^2} \right) \times \frac{Ld}{m}$$

(五) $\because \text{浮力} = mg$ (重力常數) $= \rho_{\text{液體}} V g$

$$\therefore m = \rho_{\text{水}} V = \rho_{\text{水}} Ldb \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\text{將(3)代入(2), 約分後得 } a = \frac{1}{2b} v_3^2 \left(\frac{A^2}{B^2} - \frac{C^2}{D^2} \right)$$

(六) $\because A = b + B, C = \frac{1}{2}b + D$

$$\therefore a = \frac{1}{2b} v_3^2 \left(\frac{2BD^2b + D^2b^2 - DB^2b - \frac{b^2B^2}{4}}{B^2D^2} \right)$$

(七) $\because D \gg B$ (在海洋上視為無邊際)

$$\therefore a = \frac{1}{2b} v_3^2 \left(\frac{2BD^2b + D^2b^2}{B^2D^2} \right) = a = \frac{1}{2b} v_3^2 \left(\frac{2Bb + b^2}{B^2} \right) = a = \frac{1}{2} v_3^2 \left(\frac{2B + b}{B^2} \right)$$

(八) 因為有兩艘船，總加速度 $a_{\text{總}}$ 為兩倍 a

$$a_{\text{總}} = 2a = v_3^2 \left(\frac{2B + b}{B^2} \right)$$

(九) 由此可見 $a_{\text{總}}$ 與 v_3^2 成正比，與兩船距離 B 呈負相關，與船寬 b 呈正相關

(十) 又因 B 為時間 t 的函數，將 B 設為 $N - \frac{1}{2}a_{\text{總}}(t)t^2$ ， N 為兩船初始距離，帶入後得到

$$\frac{1}{4}t^2 a_{\text{總}}^3 - Nt^2 a_{\text{總}}^2 + (N^2 + v^2 t^2) a_{\text{總}} - v^2 (2N + b) = 0, \text{ 利用公式解得 } a_{\text{總}} = -\frac{b}{3a} +$$

$$\sqrt[3]{n + \sqrt{n^2 + m^3}} + \sqrt[3]{n - \sqrt{n^2 + m^3}}, n = \frac{8N^3}{27t^6} - \frac{20v^2 N}{3t^4} - \frac{2v^2 b}{t^4}, m = \frac{4v^2}{3t^2} - \frac{4c^2}{9t^4}, \text{ 判別式}$$

為正，實數解僅一解

(十一) 又因船吸現象速度 $v_{\text{吸}} = \frac{\iint a_{\text{總}} d^2 t}{t}$ ，可得知 $a_{\text{總}}$ 越大，平均速度越大

五、實驗一：探討疏水性與親水性試管在水中對彼此的影響

(一) 實驗方法：

藉由疏水性材料與親水性材料相斥，親水性與親水性相吸的原理，探討與觀察其現象。

親水性試管	疏水性試管
	

(表一) 親水性與疏水性試管 (自行拍攝)

(二) 實驗步驟：

1. 將小水箱內裝滿水，測量兩個玻璃試管（親水性）試管距離對時間的關係
2. 利用蠟燭燒試管表面，形成一層奈米碳（疏水性）
3. 將兩個表面有附著奈米碳的玻璃試管（疏水性）放入水中測量試管產生的反應
4. 將一個表面有附著奈米碳的玻璃試管（疏水性）與另一個普通的玻璃試管（親水性）放入水中觀察兩試管產生的現象

(三) 實驗架設圖：

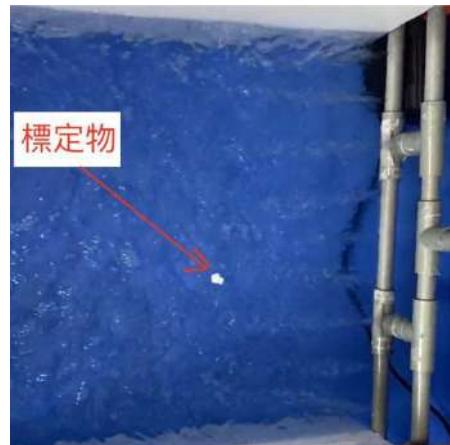


(圖十二) 試管的實驗架設 (自行拍攝)

六、實驗二：探討不同水流衝擊下對一般船體船吸現象及平均速度大小的影響

(一) 實驗方法：

利用抽水馬達，控制水流初速度，並利用放置一些小物體，來分析初始水流速度，探討水流速度對船吸現象的影響



(圖十三) 利用標定物測量水流速度 (自行拍攝)

(二) 實驗步驟：

1. 將沉水馬達及水管連接，並裝在大水箱上 (圖十四)
2. 利用可控制水流速度的沉水馬達，控制水流初速度
3. 在紙船上塗上廣告顏料 (親水性) 並利用棉線固定，放置於水面上
4. 利用 Tracker 分析水流速度
5. 利用 Tracker 分析實驗和利用 Excel 計算速度最後用 SciDAVis 繪製成圖表

(三) 實驗架設圖：



(圖十四) 實驗架設 (自行拍攝)

七、實驗三：探討不同質量對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響

(一) 實驗方法：

雖然依公式證明：

$$a_{\text{總}} = v_3^2 \left(\frac{2B + b}{B^2} \right)$$

質量並不會對船吸現象造成影響，但一般而言，依照 $F = ma$ ，質量會對加速度有影響，我們想試著藉由改變船的質量，去測量是否真的沒有明顯的關係。

(二) 實驗步驟：

1. 使用實驗二的架設，且維持使用同一種水流速度
2. 在紙船上塗上廣告顏料（親水性）並利用棉線固定，放置於水面上
3. 在船裡裝不同質量（本實驗分別的水使重量為原重的 1 倍、2 倍、3 倍、4 倍）
4. 分析實驗

八、實驗四：探討不同船寬對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響

(三) 實驗方法：

在現實生活，船往往比我們所製作的船有著更大的體型，依照公式：

$$a_{\text{總}} = v_3^2 \left(\frac{2B + b}{B^2} \right)$$

船寬是除了水流速度，最容易去做改變的變因，但因為本實驗容器不夠大，我們藉由減少船寬，使船寬為原本船寬的 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、1 倍，觀察船寬對速度的影響。

(四) 實驗步驟：

1. 使用實驗二的架設，且維持使用同一種水流速度
2. 製造不同船寬的船（船寬為原本船寬的 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、1 倍）
3. 在紙船上塗上廣告顏料（親水性）並利用棉線固定，放置於水面上再分析實驗

九、實驗五：探討疏水性船體是否能抵抗船吸現象

(一) 實驗方法：

利用疏水性材料與親水性材料相斥的原理與船吸現象的原理，探討是否疏水性材料在水流衝擊下還能保持相斥的現象。

(二) 實驗步驟：

1. 利用蠟燭燒紙船外層，形成一層薄薄的奈米碳
2. 在實驗二的裝置上將一個塗上廣告顏料的紙船換成表面為奈米碳的紙船
3. 進行實驗，觀察在水流衝擊下兩物體是否能保持相斥

十、實驗六：探討疏水性船體在不同水流衝擊下的距離關係

(一) 實驗方法：

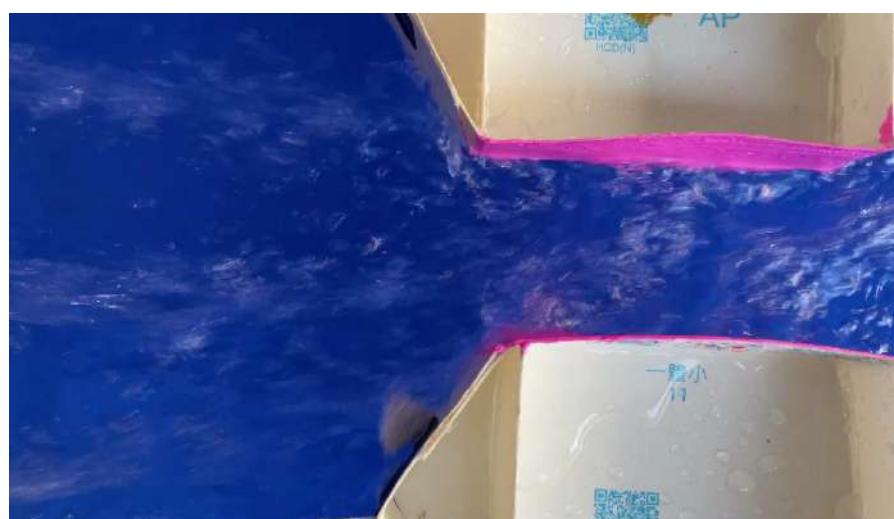
利用實驗五的架構，並利用改變不同水流速度，觀察不同水流衝擊下的影響下是否能保持相斥現象，並利用 Tracker 分析它們彼此的最近距離。

(二) 實驗步驟：

1. 利用蠟燭燒紙船外層，形成一層奈米碳
2. 在實驗二的裝置上將一個塗上廣告顏料的紙船換成表面為奈米碳的紙船
3. 進行實驗，測量在不同水流速下兩物體的距離關係

十一、實驗七：探討康達效應對疏水性以及親水性船體的影響

不管是在親水性之間的實驗中，還是疏水性之間的實驗中發現數據與我們的猜想並不太相同，在近距離拍攝後，我們發現水流似乎會推動船體（圖十五），在查詢文獻後，我們發現當水流速度越大時，康達效應會較不明顯，而當距離減少時，似乎兩水流會很用力地衝向船體，而在另一則文獻中有提到，疏水性會造成康達效應變得不明顯，我們想藉由改變不同水流速度，觀察會對船產生何種的衝擊水流。



（圖十五）水流衝到另一艘船上（自行拍攝）

(一) 實驗方法：

在實驗過程中，我們發現親水性船體在某一特定距離後，速度不增反減，在近距離拍攝後，發現在水流速度較快時，因康達效應會因水流速度太快而造成水流未完全貼於物體表面，而所形成的水流似乎「會對另一艘船造成影響」，我們想藉由改變不同速度，觀察會對疏水性船體以及親水性船體造成什麼影響。

(二) 實驗步驟：

1. 將船用棉線綁緊
2. 分析小物體在疏水性與疏水性、疏水性與親水性、親水性與親水性船體間，在不同水流速度下的軌跡
3. 測量不同水流的軌跡

十二、 實驗六：探討在水中疏水性船體是否能避免撞上沿路上的親水性物質

(一) 實驗方法：

結合船吸現象、親水性與疏水性相斥原理製作一艘疏水性船隻，放入有親水性物質的環境下實測是否真的可以減少相撞及觀察其現象。

(二) 實驗步驟：

1. 自製環境（例如放有親水性物質的水箱）
2. 將船體（親水性）裝上馬達，實測是否會與親水性物質互相吸引
3. 將船體用蠟燭燒上一層奈米碳（疏水性）
4. 將船體（疏水性）裝上馬達，實測是否會與親水性物質互相排斥



(表二) 親水性與疏水性船體 (自行拍攝)

肆、研究結果

一、實驗一：探討疏水性與親水性試管在水中對彼此的影響

(一) 親水性與親水性：

由（表三）可以知道，當它們接近時，會互相吸引。

兩個放附近	互相吸引最終碰在一起
	

（表三）親水性試管相吸圖（自行拍攝）

(二) 疏水性與疏水性：

使兩者從遠處靠近，和親水性與親水性一樣，最後會相吸（圖十六）。



（圖十六）疏水性試管相吸圖（自行拍攝）

(三) 親水性與疏水性：

實驗讓兩者放在附近，結果兩者不靠近，後來我們讓疏水性試管去主動靠近（圖十七），結果為親水性試管會主動遠離。



（圖十七）親水性試管與疏水性試管相斥圖（自行拍攝）

二、實驗二：探討不同水流衝擊下對一般船體船吸現象及平均速度大小的影響

利用 Tracker 分析以及 Excel 整理數據後，得出分別在水流初始速度約為 16、36、54、65 (cm/s)，船吸現象的平均速度關係圖如下：

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	總平均速度
初始流速16 (cm/s) 的平均速度 (cm/s)	1.423	1.424	1.486	1.536	1.496	1.438	1.467 ± 0.018
初始流速36 (cm/s) 的平均速度 (cm/s)	1.643	1.711	1.696	1.510	1.468	1.529	1.593 ± 0.042
初始流速54 (cm/s) 的平均速度 (cm/s)	1.834	1.843	1.635	1.830	1.717	1.720	1.763 ± 0.034
初始流速65 (cm/s) 的平均速度 (cm/s)	1.848	1.974	1.998	1.891	2.111	2.087	1.985 ± 0.042

(表四) 船吸現象「親水性船體」不同水流對平均速度大小的影響 (自行製作)

三、實驗三：探討不同質量對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響

我們將船上加入不同重量的水，分別加水使重量為原重的 1 倍、2 倍、3 倍、4 倍、5 倍、6 倍 (原重 15 克)，利用 Tracker 測其速度，得出平均速度為如 (表五)。

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	總平均速度
15 克的平均速度 (cm/s)	1.643	1.711	1.696	1.510	1.468	1.529	1.593 ± 0.042
30 克的平均速度 (cm/s)	1.434	1.434	1.325	1.314	1.306	1.482	1.382 ± 0.031
45 克的平均速度 (cm/s)	1.591	1.552	1.552	1.591	1.542	1.553	1.559 ± 0.011
60 克的平均速度 (cm/s)	1.382	1.433	1.411	1.560	1.447	1.453	1.448 ± 0.024

75 克的平均速度 (cm/s)	1.493	1.531	1.501	1.514	1.456	1.426	1.487 ± 0.015
90 克的平均速度 (cm/s)	1.437	1.401	1.407	1.505	1.418	1.519	1.447 ± 0.021

(表五) 船吸現象「親水性船體」不同質量平均速度大小的影響 (自行製作)

四、實驗四：探討不同船寬對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響

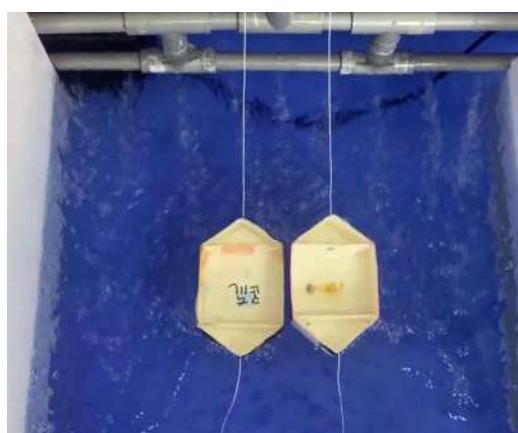
我們分別使船寬從原先的變為原先的 1 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 倍，利用 Tracker 測其速度，得出在平均速度為如 (表六)。

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均速度
船寬8.7cm的 平均速度 (cm/s)	1.843	1.635	1.830	1.717	1.720	1.763 ± 0.034
船寬6.525cm的 平均速度 (cm/s)	1.463	1.649	1.564	1.639	1.573	1.572 ± 0.027
船寬4.35cm的 平均速度 (cm/s)	1.339	1.313	1.397	1.234	1.339	1.321 ± 0.021

(表六) 船吸現象「親水性船體」不同船寬對平均速度大小的影響 (自行製作)

五、實驗五：探討疏水性船體是否能抵抗船吸現象

我們將疏水性紙船與親水性紙船 (塗上廣告顏料)，當水流開啟後，測試其船吸現象 (圖十八)，而在數分鐘後依然不會靠近。



(圖十八) 疏水性船體與親水性船體觀察圖 (自行拍攝)

六、實驗六：探討疏水性船體在不同水流衝擊下的距離關係

利用 Tracker 分析以及 Excel 整理數據後，得出分別在水流速度，兩端平均距離分別為。

(一) 疏水性與疏水性兩船平均距離：

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	總平均距離
初始流速16 (cm/s) 的平均距離	0.339 (cm)	0.355 (cm)	0.466 (cm)	0.537 (cm)	0.492 (cm)	0.437 ± 0.038 (cm)
初始流速36 (cm/s) 的平均距離	0.983 (cm)	1.137 (cm)	1.197 (cm)	1.046 (cm)	1.038 (cm)	1.080 ± 0.038 (cm)
初始流速54 (cm/s) 的平均距離	0.973 (cm)	0.812 (cm)	1.033 (cm)	0.872 (cm)	0.905 (cm)	0.919 ± 0.038 (cm)
初始流速65 (cm/s) 的平均距離	0.537 (cm)	0.461 (cm)	0.624 (cm)	0.583 (cm)	0.577 (cm)	0.557 ± 0.027 (cm)

(表七)「疏水性與疏水性船體」不同水流速度下最低平均距離關係 (自行製作)

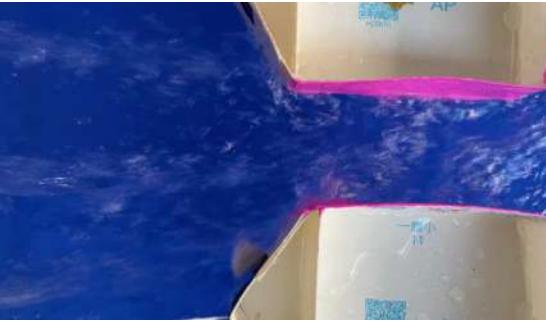
(二) 疏水性與親水性兩船平均距離：

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	總平均距離
初始流速16 (cm/s) 的平均距離	0.154 (cm)	0.217 (cm)	0.155 (cm)	0.184 (cm)	0.252 (cm)	0.192 ± 0.018 (cm)
初始流速36 (cm/s) 的平均距離	0.837 (cm)	0.840 (cm)	0.959 (cm)	0.913 (cm)	0.8848 (cm)	0.887 ± 0.022 (cm)
初始流速54 (cm/s) 的平均距離	0.818 (cm)	0.728 (cm)	0.760 (cm)	0.788 (cm)	0.763 (cm)	0.771 ± 0.015 (cm)
初始流速65 (cm/s) 的平均距離	0.404 (cm)	0.4295 (cm)	0.414 (cm)	0.378 (cm)	0.522 (cm)	0.429 ± 0.024 (cm)

(表八)「疏水性與親水性船體」不同水流速度下最低平均距離關係 (自行製作)

七、實驗七：探討康達效應對疏水性以及親水性船體的影響

利用在近距離拍攝，拍攝出來的照片如下：

親水性船體與親水性船體（水流大）	親水性船體與親水性船體（水流小）
	

（表九）不同水流速度，親水性船體與親水性船體對比（自行拍攝）

親水性船體與疏水性船體（水流大）	親水性船體與疏水性船體（水流小）
	

（表十）不同水流速度，親水性船體與疏水性船體對比（自行拍攝）

疏水性船體與疏水性船體（水流大）	疏水性船體與疏水性船體（水流小）
	

（表十一）不同水流速度，疏水性船體與疏水性船體對比（自行拍攝）

八、實驗八：探討在水中疏水性船體是否能避免撞上沿路上的親水性物質

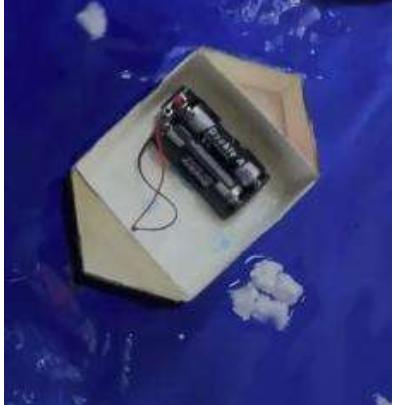
我們利用船隻與親水性物體相撞（表十二）、（表十三），觀察疏水性船體與親水性船體是否對親水性物體會產生不同的影響。

（一）親水性物體與親水性船體：

物體在前方	物體附著
	

（表十二）船吸現象「親水性船體」實際實驗圖（自行拍攝）

（二）親水性物體與疏水性船體：

物體在前方	物體避開
	

（表十三）船吸現象「疏水性船體」實際實驗圖（自行拍攝）

伍、 討論

一、實驗一：探討疏水性與親水性試管在水中對彼此的影響

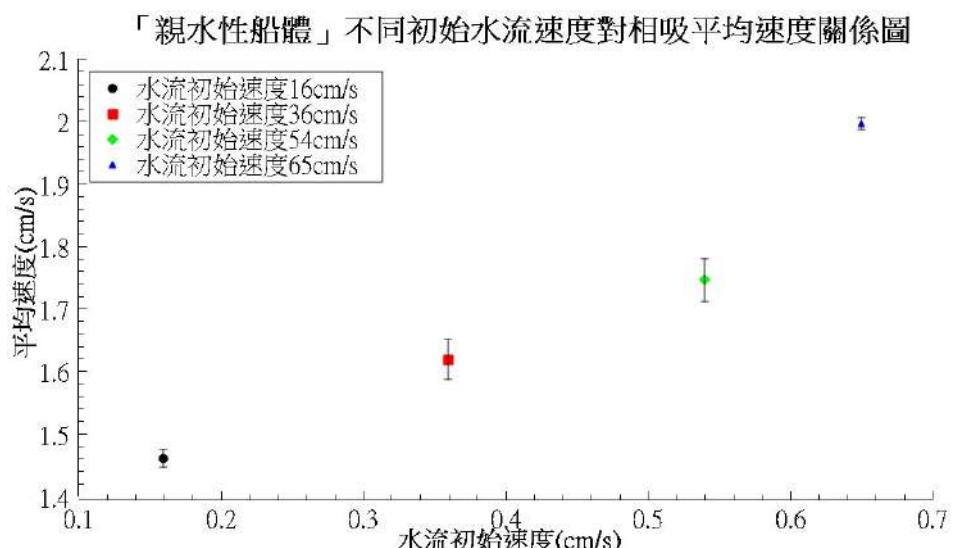
- (一) 從親水性對親水性試管的實驗中可以得知，試管與我們的理論（親水性與疏水性相吸相斥現象）符合，親水性會與親水性相吸。
- (二) 而疏水性對疏水性的結果也為相吸，從表中（表十四）可以得知。
- (三) 最後，由（表十四）可以得知疏水性對親水性會彼此相斥，就算讓疏水性試管刻意碰觸親水性試管，親水性試管也會馬上遠離。

親水性與親水性相吸	疏水性與疏水性相吸	親水性與疏水性相斥
		

（表十四）試管疏水性與親水性比對（自行拍攝）

二、實驗二：探討不同水流衝擊下對一般船體船吸現象及速度大小的影響

從結果（表十五）可以知道，當水流初始速度越大時，在同樣距離下的平均速度也會越大（圖十九）

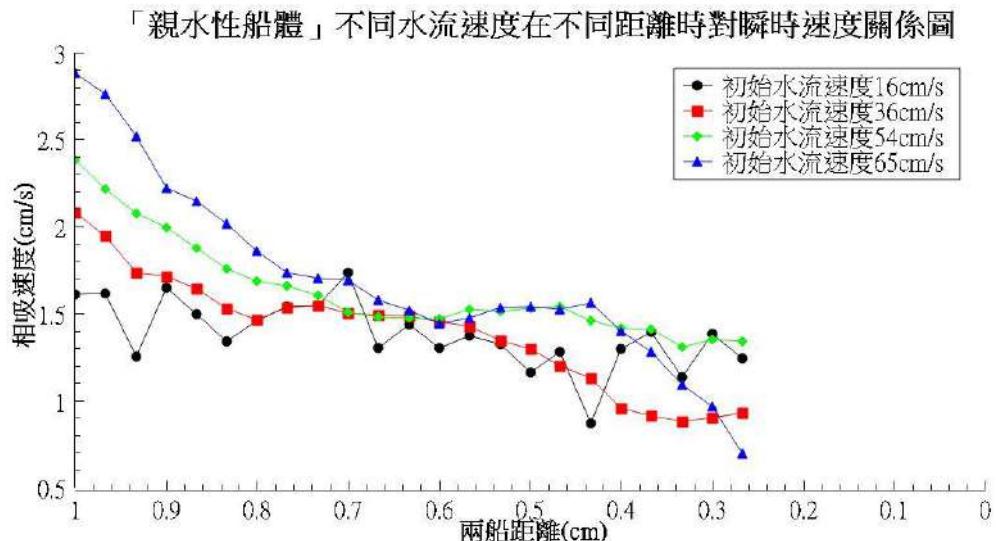


（圖十九）「親水性船體」不同初始水流速度對相吸平均速度關係圖（自行製作）

	初始水流速度 16 (cm/s)	初始水流速度 36 (cm/s)	初始水流速度 54 (cm/s)	初始水流速度 65 (cm/s)
平均速度 (cm/s)	1.467 ± 0.018	1.593 ± 0.042	1.763 ± 0.034	1.985 ± 0.042

(表十五)「親水性船體」不同初始水流速度對相吸平均速度關係 (自行製作)

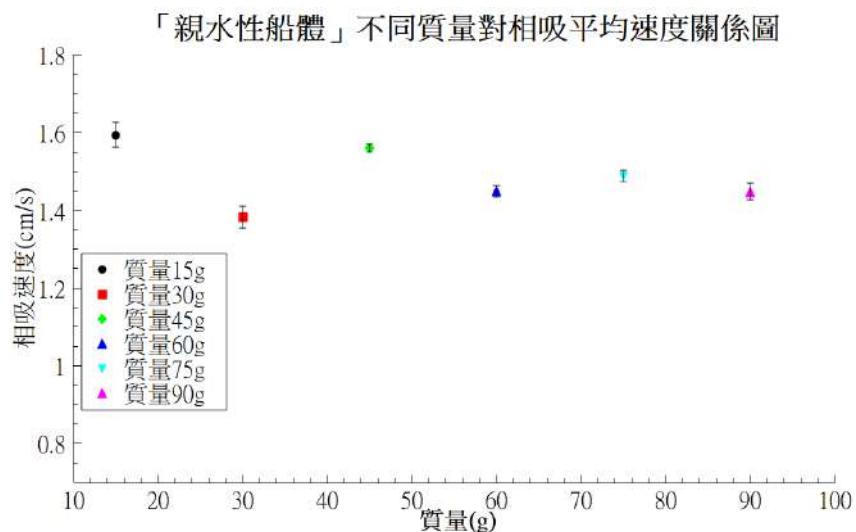
但是由 (圖二十) 了解到，當兩船靠近時，瞬時水流速度似乎會越來越小，這與船吸現象本身的理論並不吻合，而這也是我們會進行實驗七的原因。



(圖二十)「親水性船體」不同水流速度在不同距離時對瞬時速度關係圖 (自行製作)

三、實驗三：探討不同質量對一般船體的船吸現象及速度大小的影響

將表格整理成圖表 (圖二十一)，可以發現在不同質量下，質量的改變仍並不會劇烈影響到速度的改變。



(圖二十一)「親水性船體」不同質量對相吸平均速度關係圖 (自行製作)

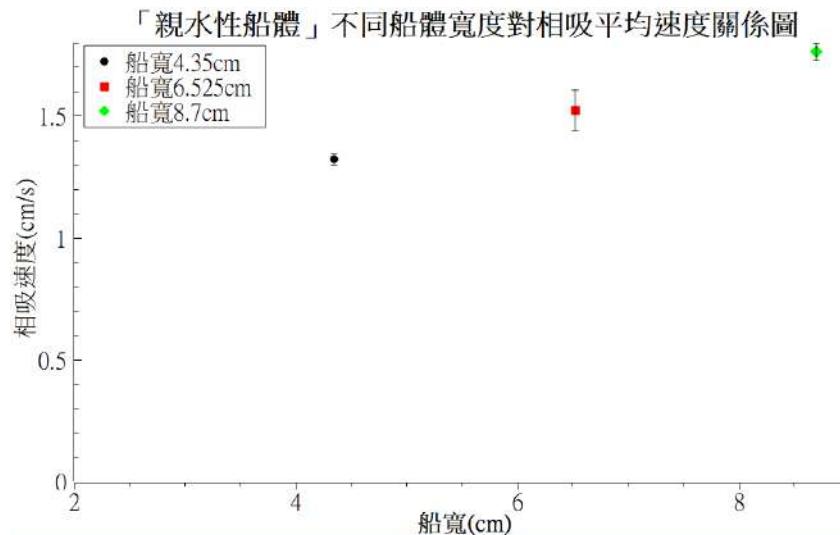
	質量 15 克	質量 30 克	質量 45 克	質量 60 克	質量 75 克	質量 90 克
平均速度 (cm/s)	1.593 ± 0.042	1.382 ± 0.031	1.559 ± 0.011	1.448 ± 0.024	1.487 ± 0.015	1.447 ± 0.021

(表十六)「親水性船體」不同質量對相吸平均速度關係 (自行製作)

四、實驗四：探討不同船寬對一般船體的船吸現象及平均速度大小的影響

我們分別使船寬從原先的變為原先的 1 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 倍，從結果可以發現當船寬越寬時，在相

同距離下的平均速度會越大。



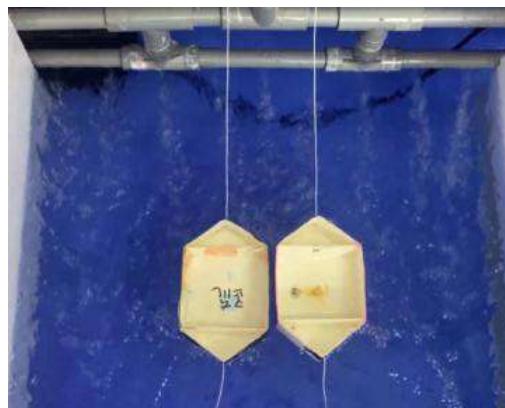
(圖二十二)「親水性船體」不同船體寬度對相吸平均速度關係圖 (自行製作)

	船寬 8.7cm	船寬 6.525cm	船寬 4.35cm
平均速度 (cm/s)	1.763 ± 0.034	1.572 ± 0.027	1.321 ± 0.021

(表十七)「親水性船體」不同船體寬度對相吸平均速度關係 (自行製作)

五、實驗五：探討疏水性船體是否能抵抗船吸現象

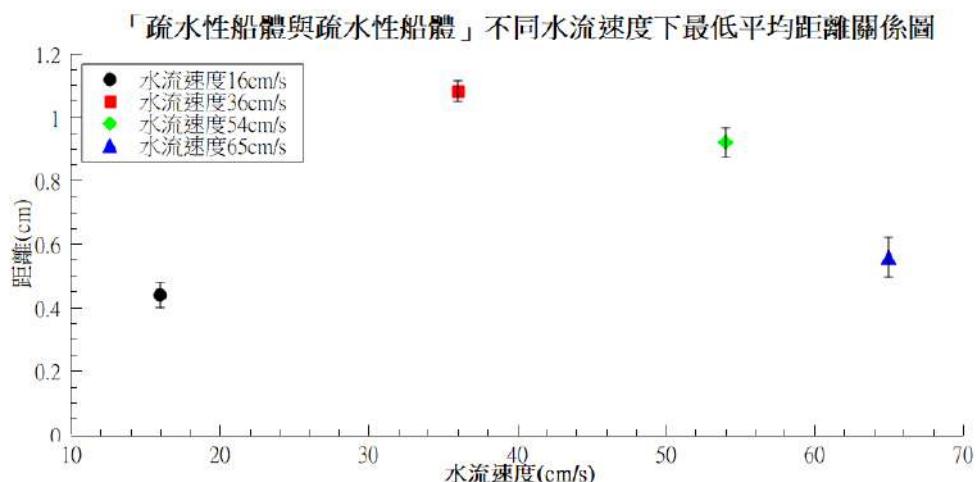
如（圖二十三），這是在有水流後數分鐘的圖片，從此結果可以得知塗上疏水性材料會在水流衝擊下保持距離，可以有效避免實驗二水流所產生的船吸現象。



（圖二十三）船吸現象「疏水性船體」與「親水性船體」圖（自行拍攝）

六、實驗六：探討疏水性船體在不同水流衝擊下的距離關係

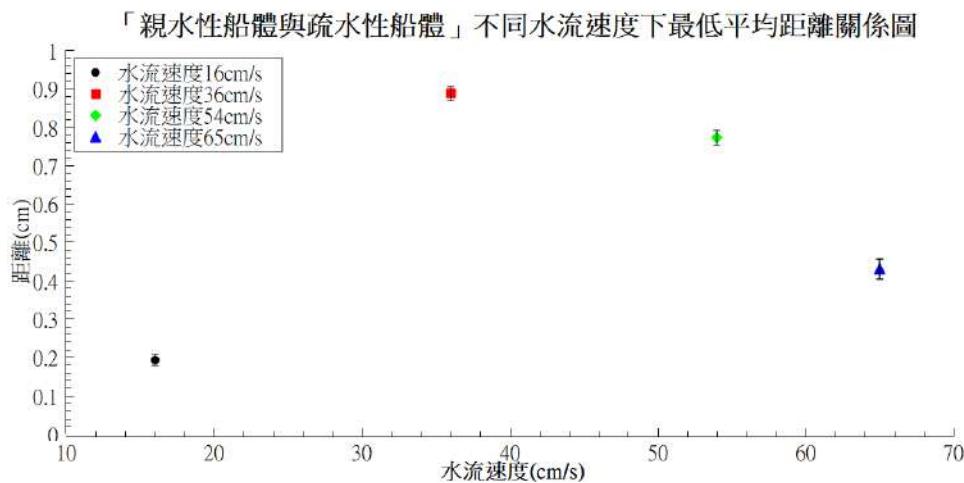
在（圖二十五）以及（圖二十六）兩個實驗數據可以發現，不管是親水性對疏水性還是疏水性對疏水性在初始流速 36~65 (cm/s) 兩船平均距離都會越來越小。這是因為依照公式，當初始流速越大時，兩者相吸的力會越大，然而為什麼在 16 (cm/s) 會很近呢？此會在實驗七說明。



（圖二十五）「疏水性與疏水性船體」不同水流速度下最低平均距離關係圖（自行製作）

	初始水流速度 16 (cm/s)	初始水流速度 36 (cm/s)	初始水流速度 54 (cm/s)	初始水流速度 65 (cm/s)
平均距離 (cm)	0.437 ± 0.038	1.080 ± 0.038	0.919 ± 0.038	0.557 ± 0.027

（表十八）「疏水性與疏水性船體」不同水流速度下最低平均距離關係（自行製作）



(圖二十六)「親水性與疏水性船體」不同水流速度下最低平均距離關係圖 (自行製作)

	初始水流速度 16 (cm/s)	初始水流速度 36 (cm/s)	初始水流速度 54 (cm/s)	初始水流速度 65 (cm/s)
平均距離 (cm)	0.192 ± 0.018	0.887 ± 0.022	0.771 ± 0.015	0.429 ± 0.024

(表十九)「親水性與疏水性船體」不同水流速度下最低平均距離關係 (自行製作)

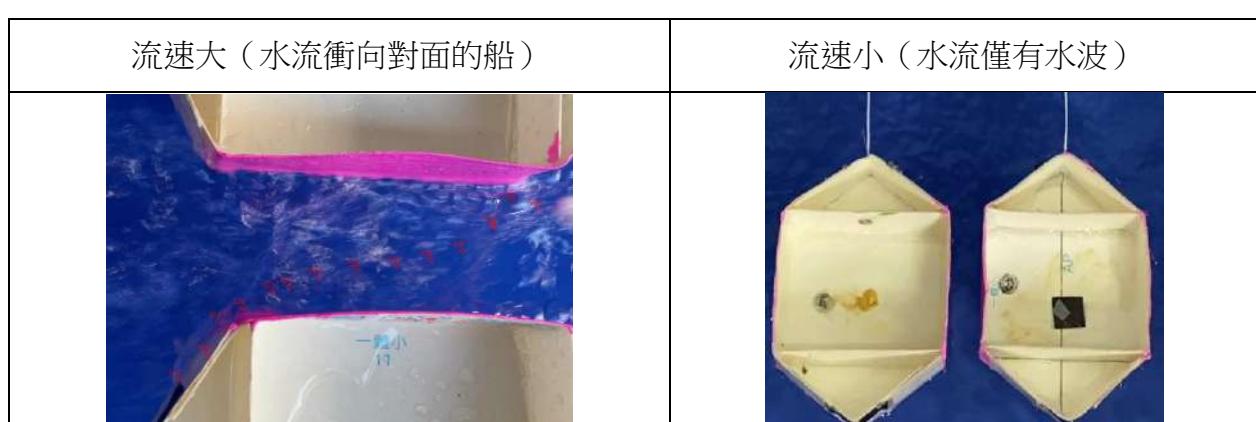
七、實驗七：探討康達效應對疏水性以及親水性船體的影響

從 (表二十~表二十三) 可以解釋

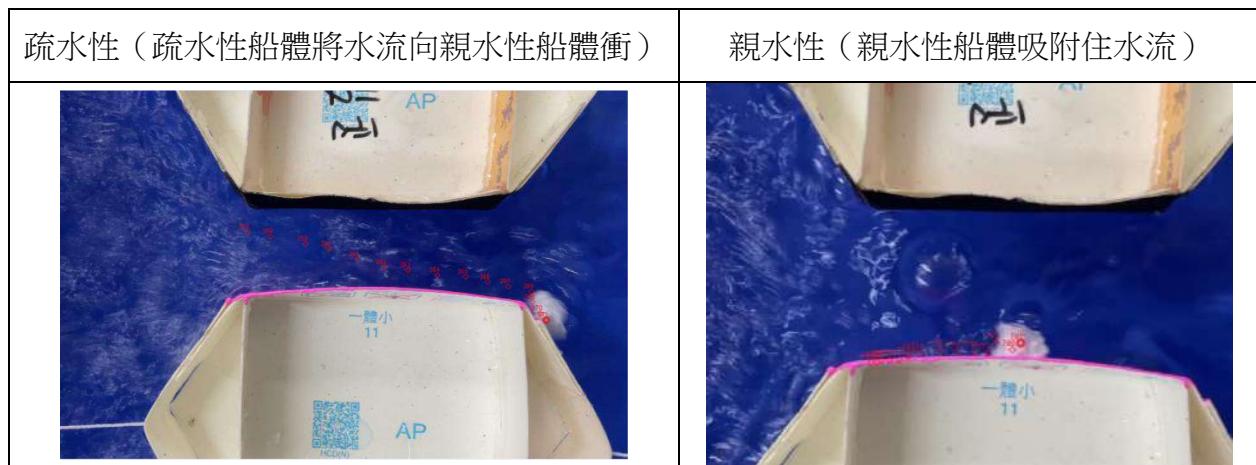
(一) 實驗二中的後面，發現距離越近時相聚速度竟不是越大而是越小 (表二十三)，在距離較近時所產生的水流衝擊較大

(二) 實驗六中水流速很小時，因康達效應較明顯 (表二十)，雖流速小時相聚速度較小，但相對的相撞的水流所造的的衝擊也較少

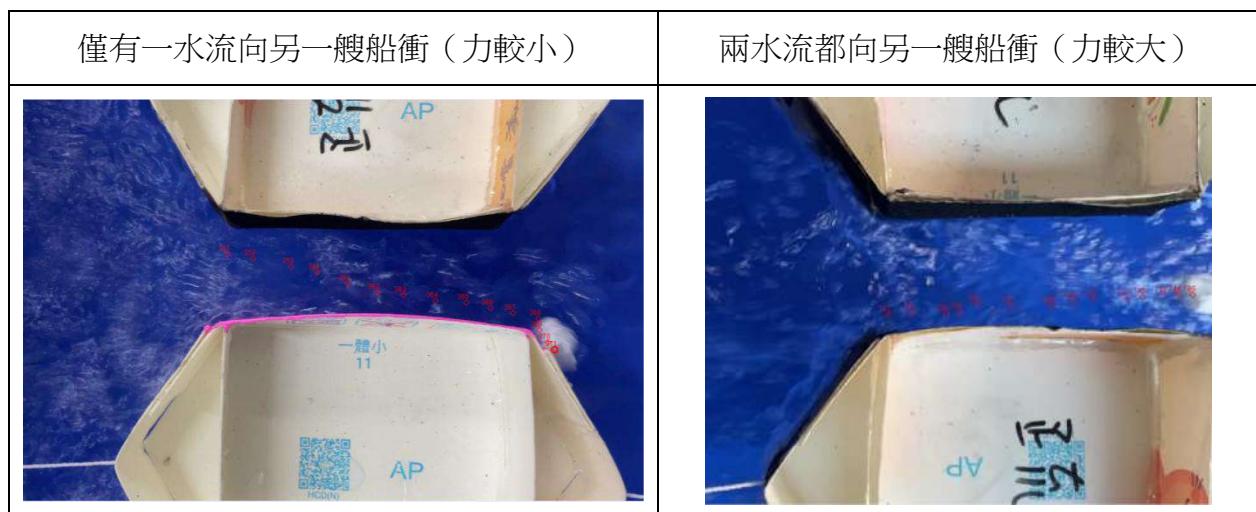
(三) 實驗六中，疏水性與疏水性相聚距離較疏水性與親水性距離較遠 (表二十二)，疏水性與疏水性所產生的水流衝擊較疏水性與親水性大



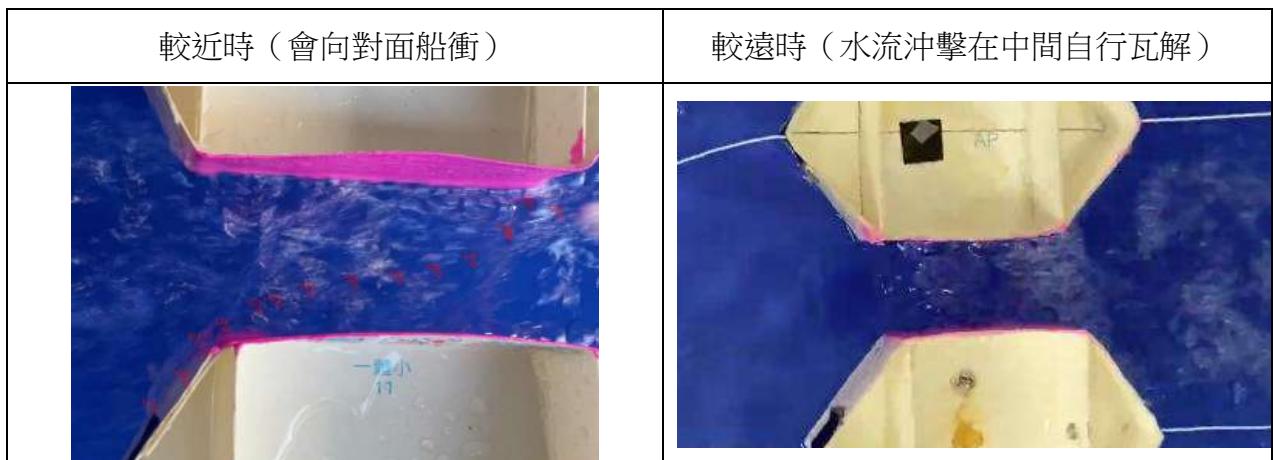
(表二十) 水流速度大對比水流速度小 (自行拍攝)



（表二十一）親水性船體對比疏水性船體（自行拍攝）



（表二十二）親水性船體與疏水性船體對比疏水性船體與疏水性船體（自行拍攝）

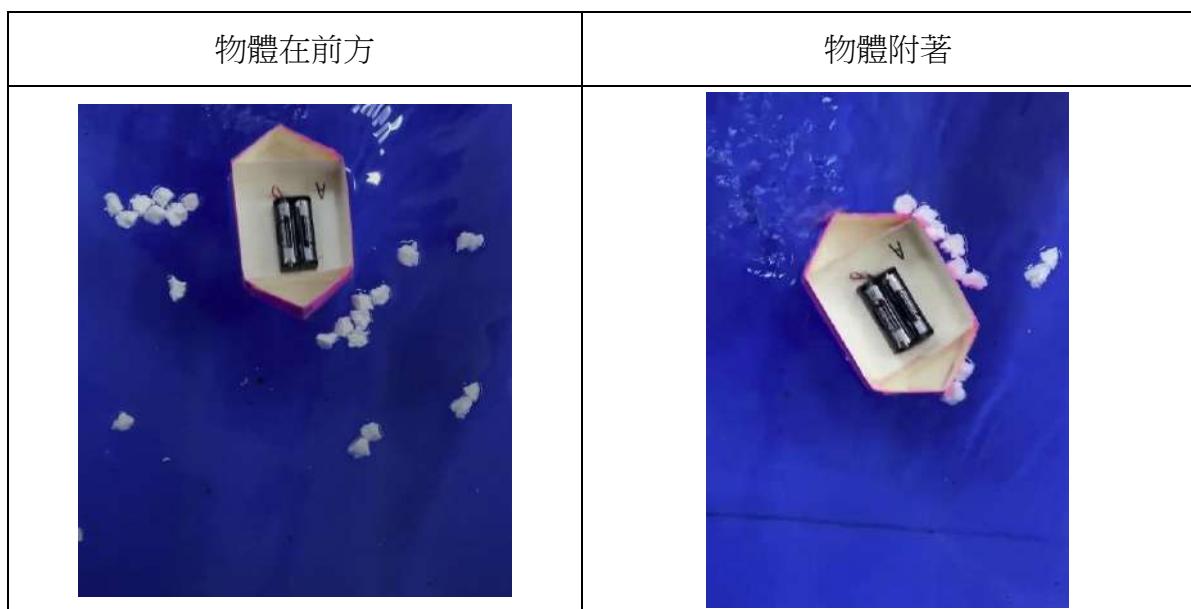


（表二十三）相聚距離在流速較大時所產生的水流對船的影響（自行拍攝）

八、實驗八：探討在水中疏水性船體是否能避免撞上沿路上的親水性物質

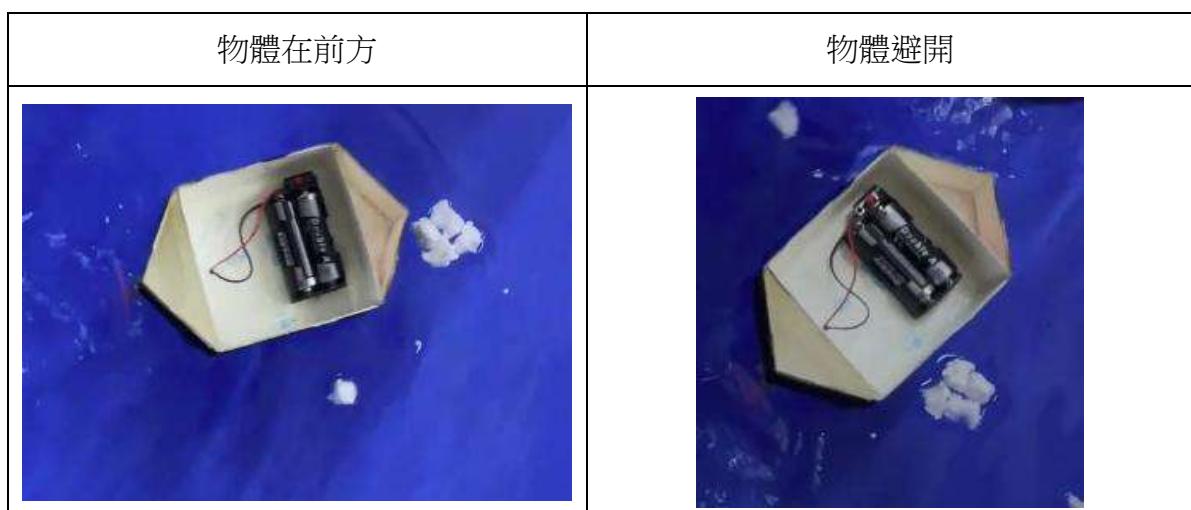
在實驗後可以發現疏水性的船依然會撞到物體（推測是因為親水性的遠離的速度比船速慢），但可以發現，在撞到之後的結果很不一樣（表二十四）及（表二十五），在親水性船體撞到物體後，物體會附著在船周圍，然而，疏水性船體在撞到後，會與親水性物體遠離，因此，我們推測這可以避免一些海洋垃圾吸附在船周圍及馬達上，導致船隻受損，並且也可以避免兩艘船相撞（船吸現象）。

(三) 親水性物體與親水性船體：



(表二十四) 船吸現象「親水性船體」實際實驗圖（自行拍攝）

(四) 親水性物體與疏水性船體：



(表二十五) 船吸現象「疏水性船體」實際實驗圖（自行拍攝）

陸、 結論

一、由實驗一及理論（親水性與疏水性相吸相斥現象）可以得知：

(一) 親水性試管會與親水性試管相吸，疏水性與疏水性相吸，疏水性與親水性相斥。

二、由實驗二～四結合理論（船吸現象）可以得知：

(一) 從理論 $a_{\text{總}} = 2a = v_3^2 \left(\frac{2B+b}{B^2} \right)$ ，得知當水流速度越大時，船吸現象的加速度會越大，

並且在實驗過程中也證實，當初始水流速度越大時，在同一距離下的平均速度越大，與理論吻合。

(二) 從理論 $a_{\text{總}} = 2a = v_3^2 \left(\frac{2B+b}{B^2} \right)$ ，得知質量不會影響船吸現象，在實驗過程中也證實，

當質量越大時，並不會造成船吸現象明顯的改變，與理論吻合。

(三) 從理論 $a_{\text{總}} = 2a = v_3^2 \left(\frac{2B+b}{B^2} \right)$ ，得知當船寬越大時，船吸現象的加速度會越大，並且

在實驗過程中也證實，當船寬越大時，在同一距離下的平均速度越大，與理論吻合。

三、由實驗二結合實驗七得知：

(一) 實驗二，在兩船離近距離時水流速度越小，與船吸現象不吻合，但因為實驗七，得知在兩船距離較近時水流造成的衝擊較大，得以解釋實驗二。

四、由實驗五～七可以得知：

(一) 疏水性船體能在一定流速中避免船吸現象的發生。

(二) 疏水性船體不一定會在水流速度越大時相斥距離越近，因為相斥距離還要考慮到水流的衝擊（實驗七）。

(三) 親水性船體較疏水性船體容易相吸（因康達效應在疏水性中會減少對水的吸附能力）。

(四) 疏水性與疏水性船體更能避免船吸現象，因在航行時兩疏水性因水流衝擊所造的的相斥力較大。

五、由實驗八以及前面可以得知：

(一) 雖然疏水性船體沒辦法阻止撞擊親水性物質，但能有效避免船體附著親水性物質導致機器或其他零件的故障以及避免船吸現象的發生。

柒、 參考文獻資料

一、參考文獻

(一) 書籍類：

- 1、 Robert W. Fox, Philip J. Pritchard, Alan T. McDonald (2014). 流體力學 (劉澄芳、王珉玟、徐力行, Trans.; No. 06134017; (第七版) (公制版)). 全華圖書股份有限公司.

(二) 網路文獻：

- 1、 洪碩成,張上仁,吳東翰. (2011). 「液表」人才一同性相吸，異性相斥. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會.

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=64&sid=9052>

- 2、 陳延松. (2012). 銀奈米液滴在奈米碳管上的毛細現象. 碩博士論文網.

<https://hdl.handle.net/11296/h3cf22>

- 3、 Phys. Rev. Lett. (2019). Direct Measurement of Length Scale Dependence of the Hydrophobic Free Energy of a Single Collapsed Polymer Nanosphere. APS.

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.047801>

- 4、 王恩哥, 孟勝. (2011). 分子尺度上水和金屬表面的相互作用. 物理, 40 (05), 289 – 296.

<https://everest.iphy.ac.cn/papers/wuli40.289.pdf>

- 5、 施靜慧, 洪若男, 尤靜誼, & 林千貴. (2009). 「蓮」「環」密碼, 環境因子對蓮花效應的影響. 中華民國第四十六屆中小學科學展覽會.

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/senior/0407/040715.pdf>

- 6、 張慧貞. (2016, May 5). 白努力定理的誤解與錯誤應用. 物理雙月刊. <https://bimonthly.ps-taiwan.org/articles/67bc37761efd7411b20ce2df>

- 7、 Wang yu-fei¹, Wang xin-wei¹, Ma xing-yu², Tang zhan-qi², & Jiang nan. (2022). Effects of the Superhydrophobic Surface on Coherent Structures in the Turbulent Boundary Layer. 力學期刊, 38 (10) (322022). 10.1007/s10409-022-22022-x

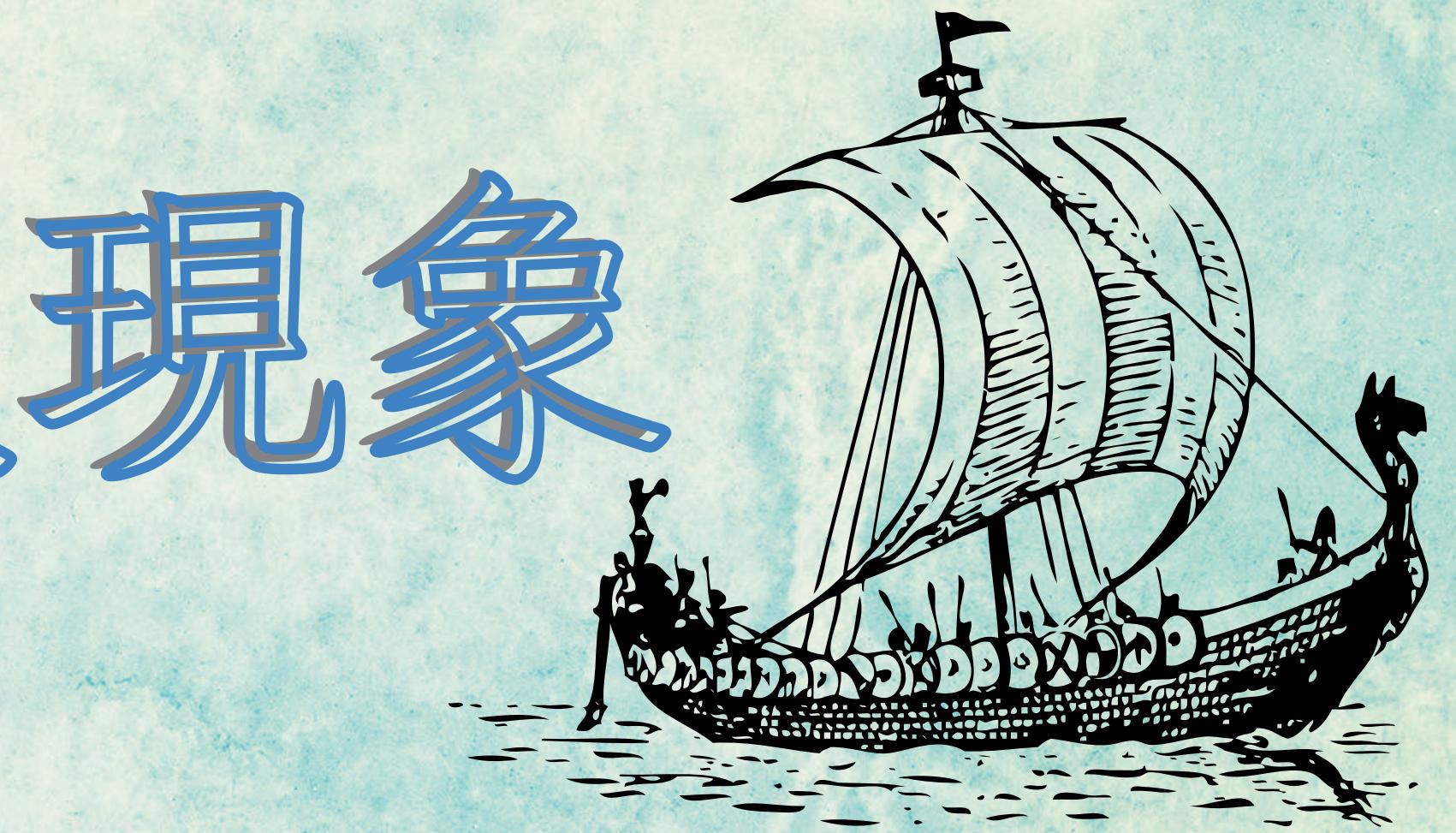
【評語】051805

此研究探討親水性與疏水性船體在船吸現象的影響。在原理方面，藉由船吸之現象了解親水性與疏水性對彼此的影響。在實驗方面，以塗料去做驗證，發現親水性會互相吸引，而疏水性與親水性間會互相排斥。船寬及初始流速都與其成正相關，與質量不太有影響。在實驗過程中中間水流會衝向另一艘船，進而研究康達效應在此實驗的影響。模擬真實情況的親水性障礙物，測試疏水性的船體是否能避免與它相撞。學生表達佳、理論論述佳、實驗過程與結果佳、討論與結論尚可。

作品海報

船有吸引力？

用疏水性材料破解船吸現象



摘要

本研究主要探討親水性與疏水性船體在船吸現象的影響。在原理方面，藉由作圖研究船吸現象、親水性與疏水性對彼此的影響，藉此推導在理想情況下的加速度：

$$a_{\text{總}} = V_3^2 \left(\frac{2B+b}{B^2} \right)$$

在實驗方面，我們以試管去做驗證，發現親水性間會互相吸引，而親水性與疏水性間會互相排斥。接著探討在不同變因下，親水性的船吸現象是否符合公式推導，而結果與推導出的公式相似：船寬及初始流速都與相吸速度成正相關，並且質量的改變不會造成影響。進一步分析疏水性船體的影響，探討不同流速下疏水性是否都能抵抗船吸現象，而在實驗過程中發覺中間水流似乎會衝向另一艘船，進而研究康達效應在本實驗的影響，並用其解釋實驗結果，最後，模擬真實情況的親水性障礙物，測試疏水性的船體是否能避免與它相撞。

研究動機

在怒海劫 (Captain Phillips) 電影中，我們觀察到渡輪和海盜船平行行駛時會漸漸靠在一起，經過研究後，我們發現了造成這個現象的原因——船吸現象。船吸現象的由來可追溯至 1912 年，當時兩艘船在海上平行行駛，因失去控制並發生碰撞，造成一場嚴重的船難事故。然而，至今仍沒有有效的方法能解決船吸現象。後來我們在材料工程學中找到「親疏水性」彼此的相吸相斥現象，而其中親水性和疏水性的物體在水上會有相斥現象，於是我們設想是否能夠利用此現象來避免船吸現象的發生。

實驗目的

(一) 疏水性材料的影響

- 實驗一：探討親水性與疏水性試管在水中彼此的影響

(二) 各種變因對船吸現象的影響

- 實驗二：探討不同初始水流速度對親水性船體的船吸現象及相吸的平均速度大小的影響

- 實驗三：探討不同船寬對親水性船體的船吸現象及相吸的平均速度大小的影響

- 實驗四：探討不同質量對親水性船體的船吸現象及相吸的平均速度大小的影響

(三) 疏水性的影響

- 實驗五：探討疏水性船體是否能抵抗船吸現象

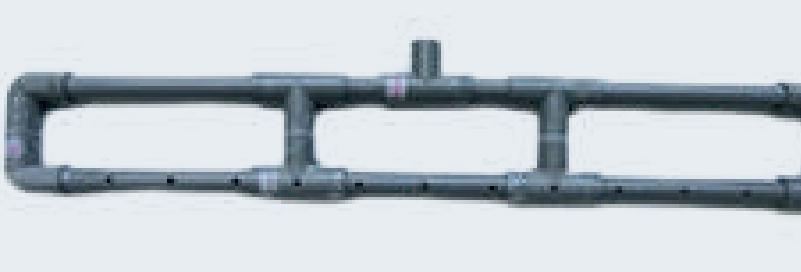
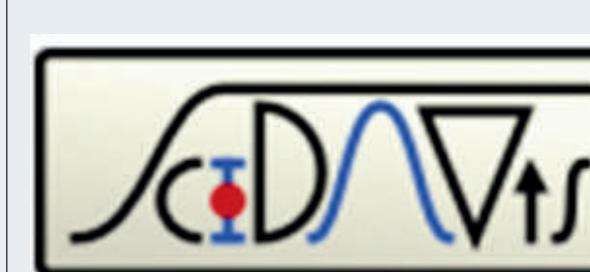
- 實驗六：探討疏水性船體在不同初始水流速度的距離關係

- 實驗七：探討康達效應對疏水性以及親水性船體的影響

(四) 真實模擬

- 實驗八：探討在水中疏水性船體是否能避免撞上沿路上的親水性物質

研究架設及器材

大水箱 約90*110*35cm	小水箱 約52*32*21cm	棉線	抽水馬達	蠟燭	試管	紙盒
						
水管	馬達組	水管	壓克力顏料	Tracker	Excel	SciDAVis
						

(表一) 實驗器材與使用軟體 (自行拍攝)

實驗架設



(圖一)
實驗架設 (自行拍攝)

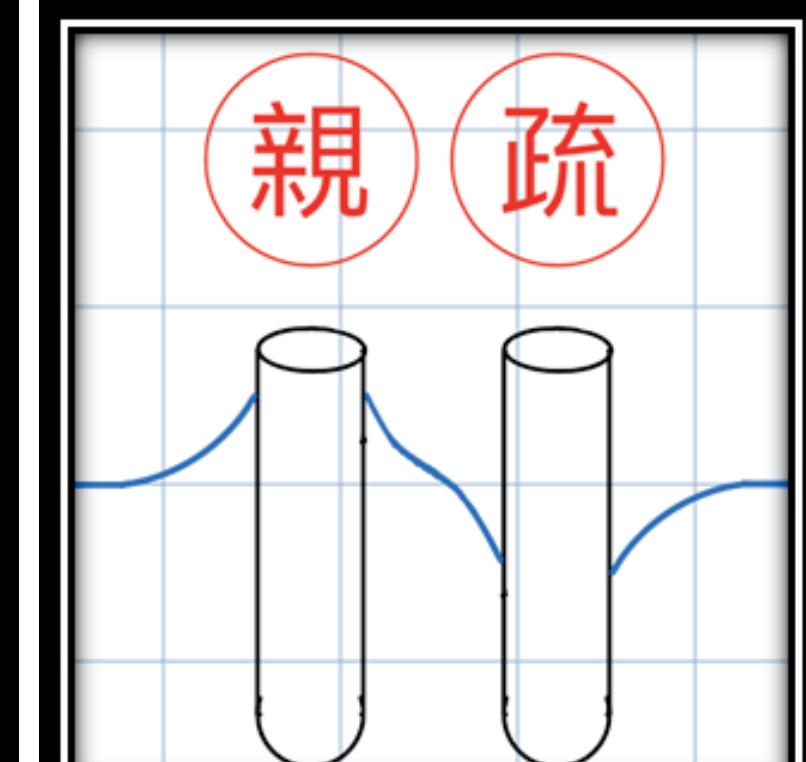
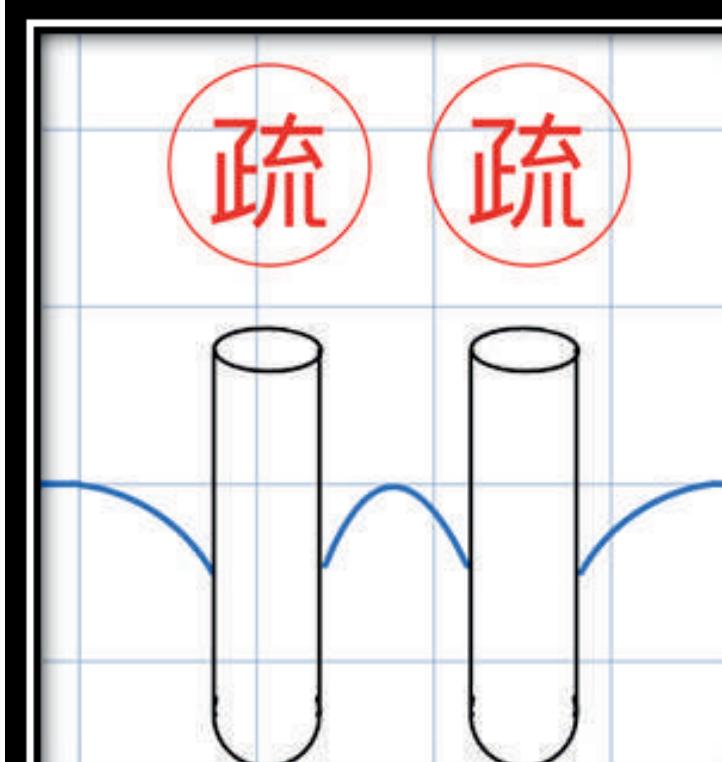
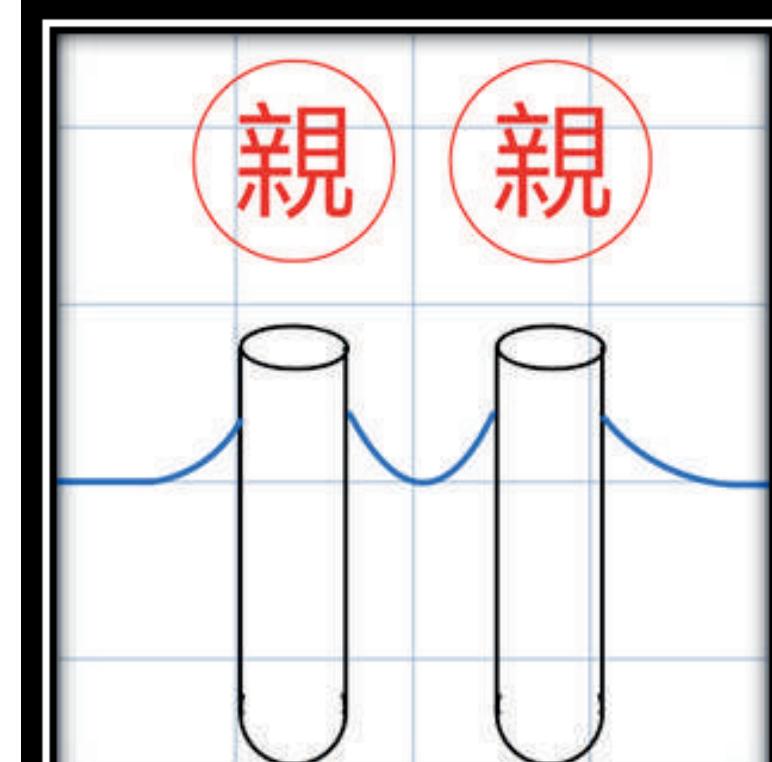


(圖二) 親水性與疏水性船體
(自行拍攝)

原理一

親疏水性之間的相吸相斥現象

藉由參考王恩哥、孟勝的論文，我們了解親水性相吸的原理，氫鍵是親水性分子之間最主要的吸引力來源，而 Phys. Rev. Lett 則是探討親水性與疏水性材料之間彼此的相吸相斥現象，從這篇文章得知，疏水性材料會與分子間的穩定性有關。

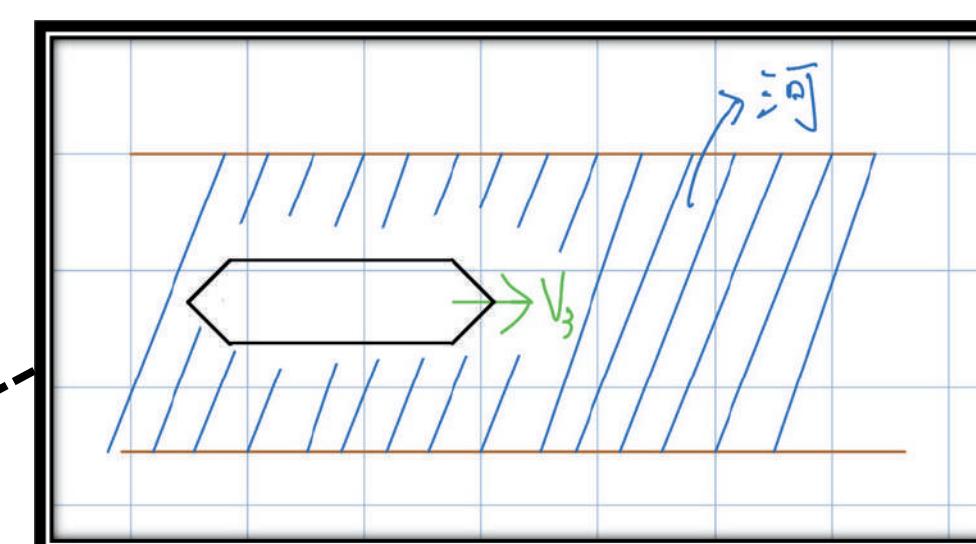


(圖二) (圖三) (圖四) 親水性與疏水性試管各種排法產生的水面圖
(自行手繪)

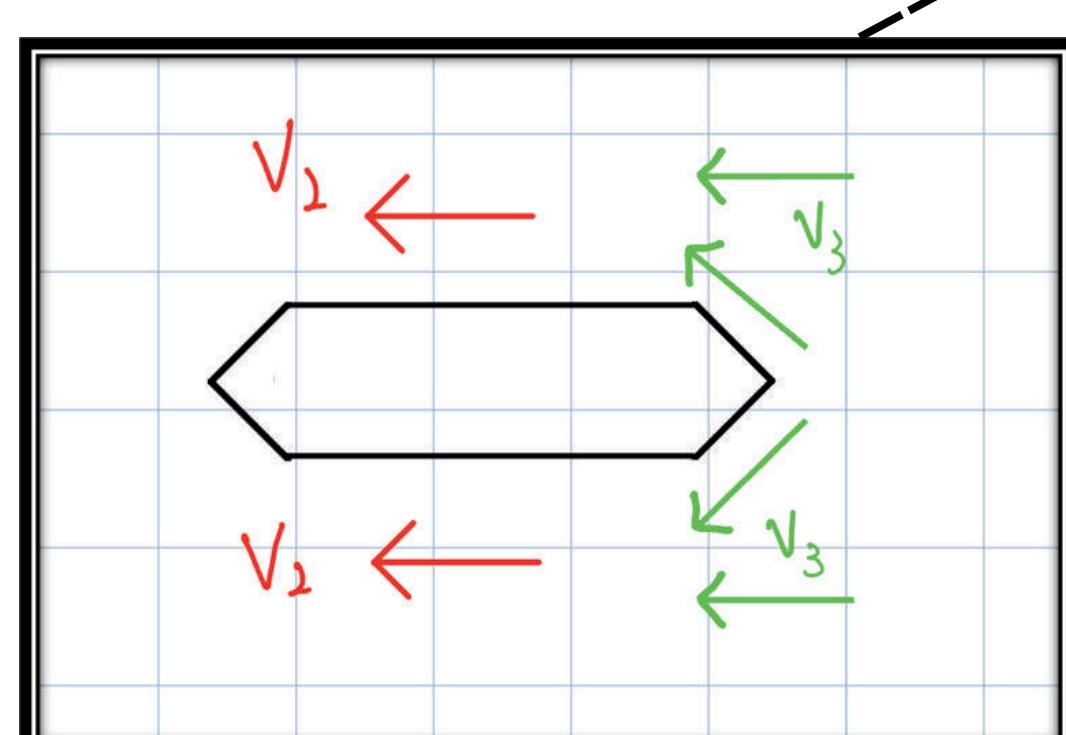
原理二

船吸現象

1. 當一艘船以 v_3 行駛在河流上，可以看做水流以 v_3 的速度衝向船體



(圖五) 船行駛於水面上 (自行手繪)

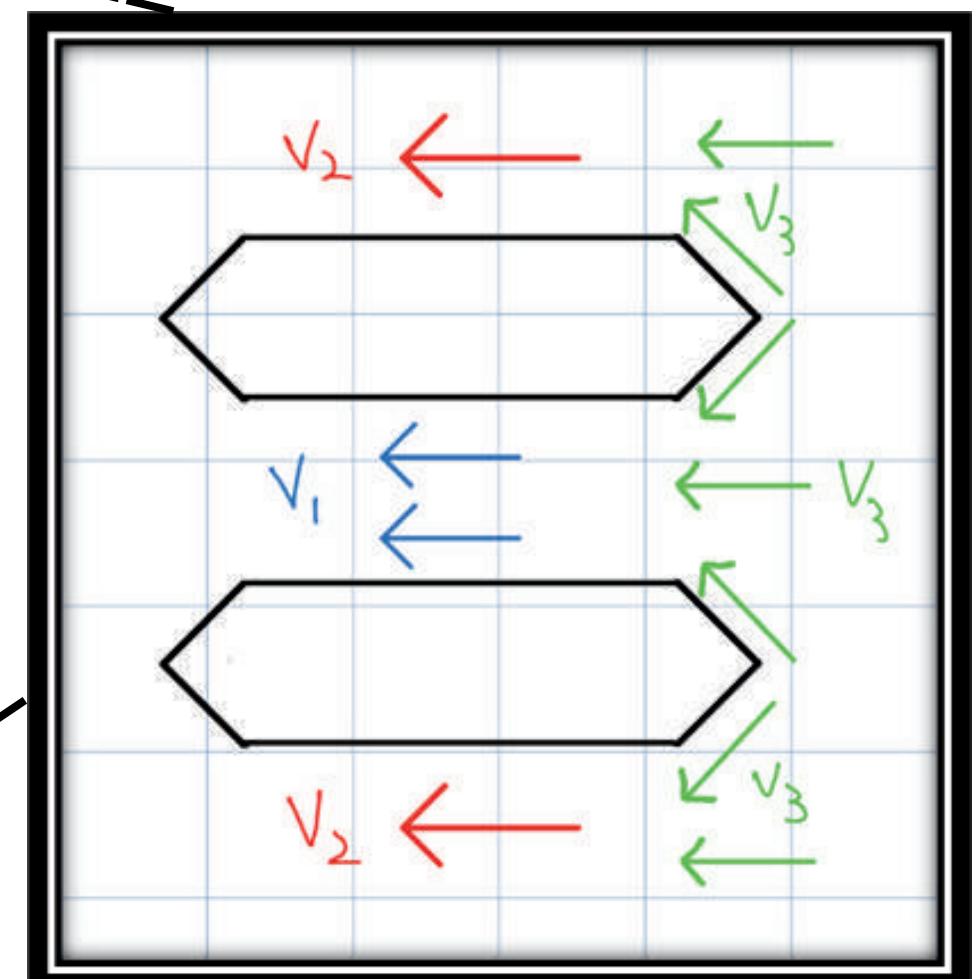


(圖六) 水流分開 (自行手繪)

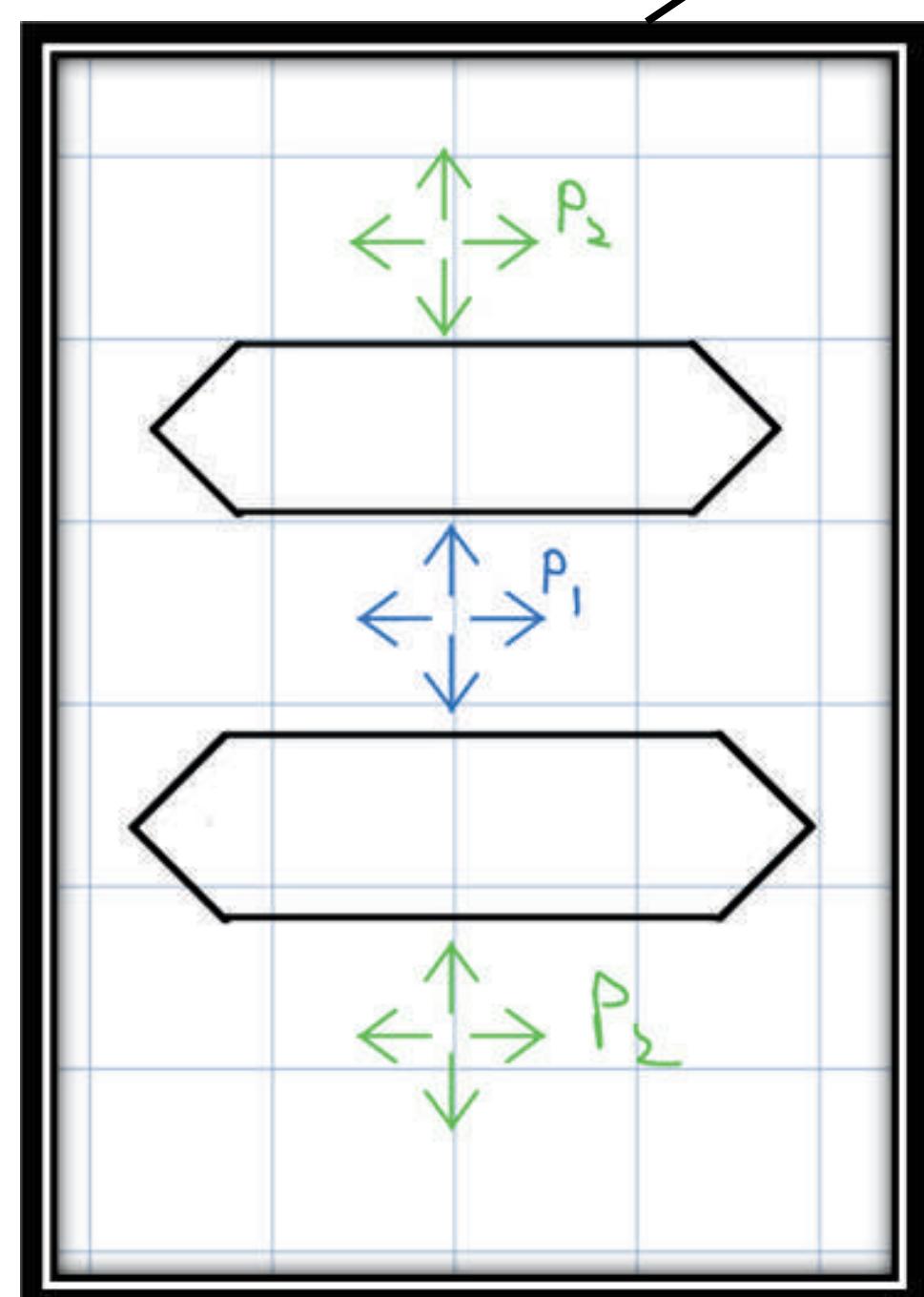
2. 從流體力學連續方程式：

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

由圖可知， v_3 的水截面積大於 v_2 的水截面積，因此 $v_2 > v_3$ 。



(圖七) 不同區域的水流速度差 (自行手繪)



(圖八) 白努利效應 (自行手繪)

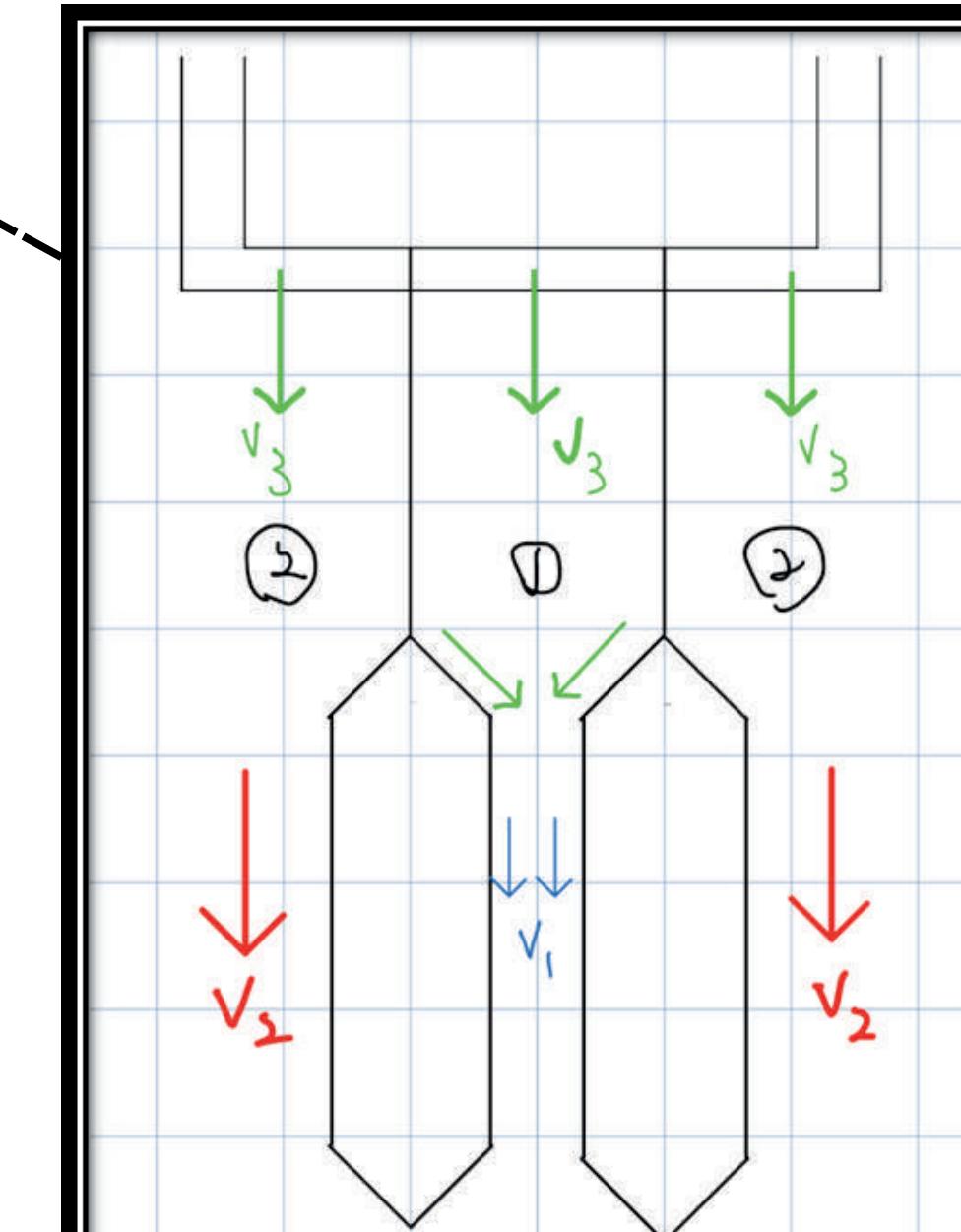
4. 由白努利公式：

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{定值}$$

代入得：

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

因 $v_1 > v_2$ ，導致 $P_2 > P_1$ 由此產生向內的力。

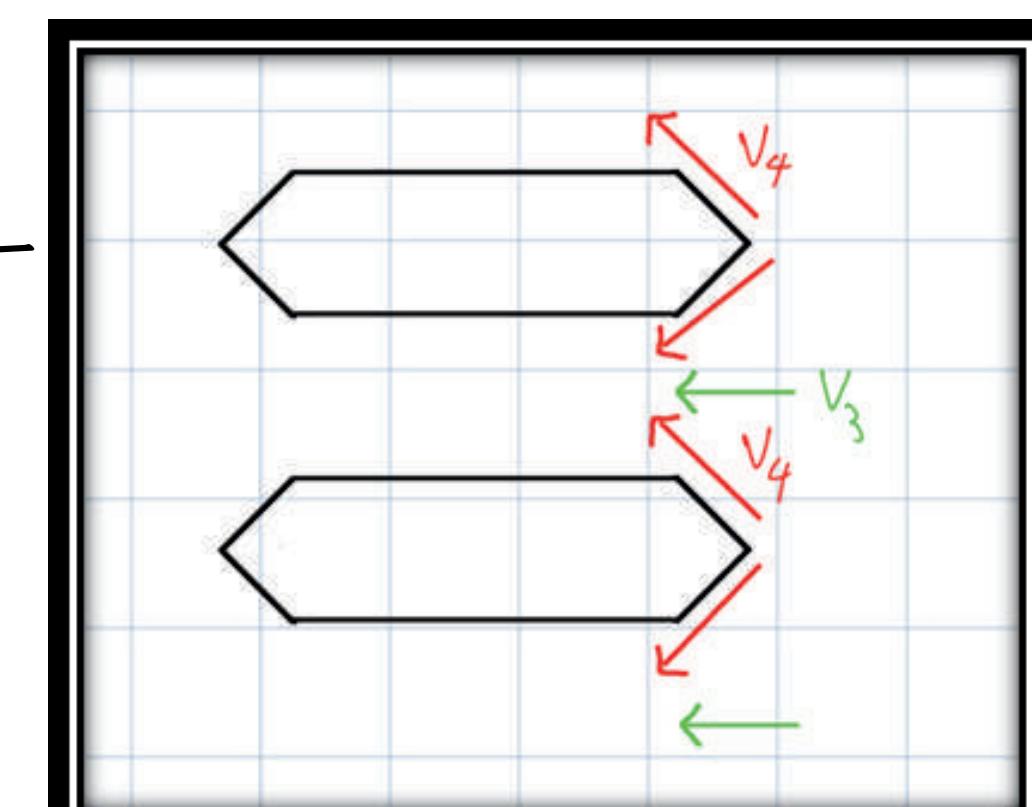


(圖九) 本次實驗設計圖 (自行手繪)

5. 因此將實驗架構為右圖，利用水衝向船體，模擬船吸現象。

康達效應

而在另一則文獻中，提到使用白努利定律時有一道限制，必須為「同一方向」的水流，如圖， v_3 與 v_4 不能算同一條水流，這時候可以利用康達效應去解釋。康達效應是一種流體在流動時，會因黏滯力等因素，貼附在表面上流動的現象，因此 v_4 的水流在經過兩船時會與 v_3 的方向相同。



(圖十) 康達效應水流圖 (自行手繪)

公式推導

我們利用前方理論，自行推導兩船相吸之加速度，在理想狀態下，兩船相吸的加速度公式：

$$a_{\text{總}} = v_3^2 \left(\frac{2B+b}{B^2} \right)$$

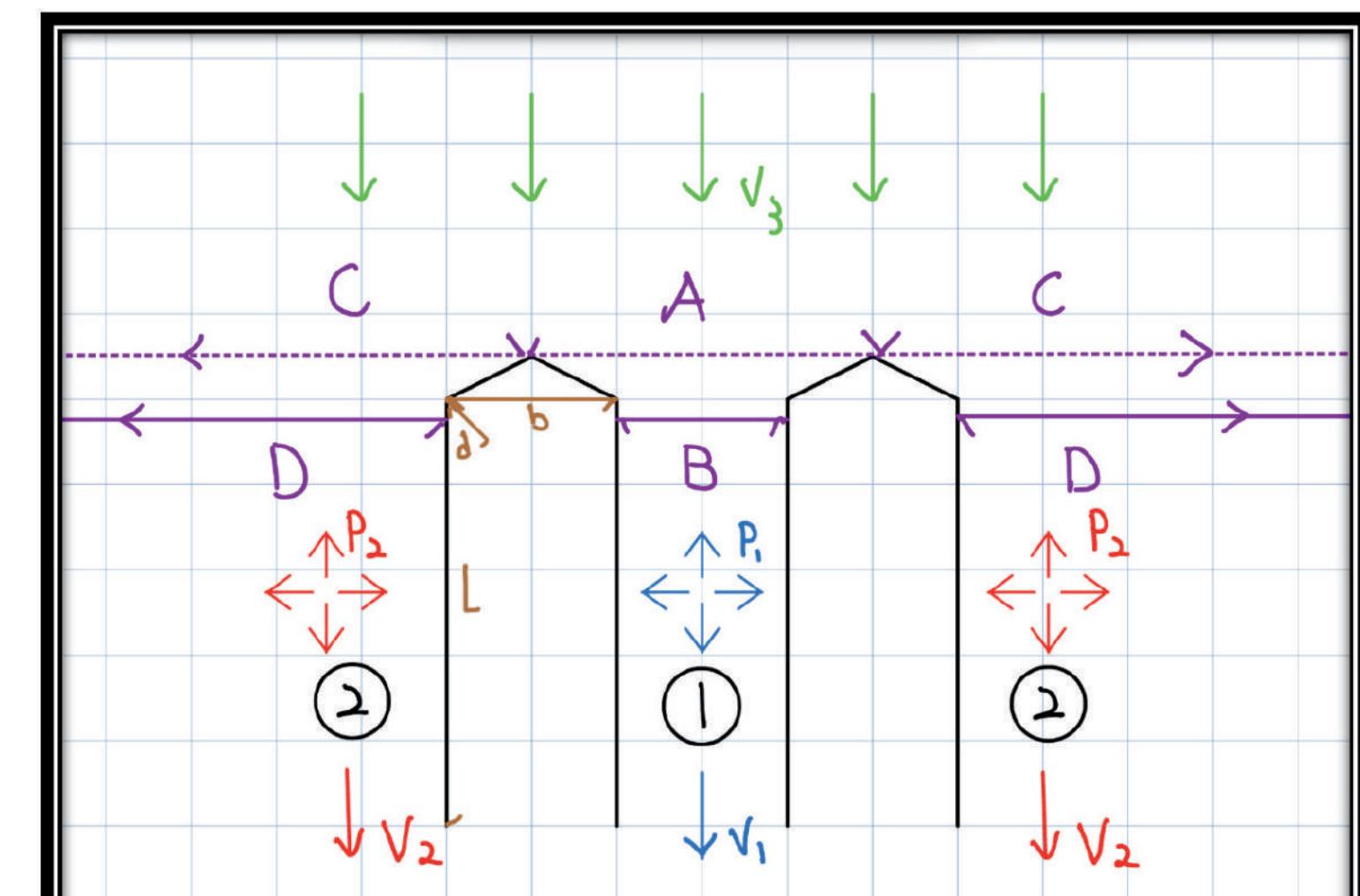
其中

v_3 ：為初始水流速度

B ：為兩船距離

b ：為船寬

由此可知 $a_{\text{總}}$ 與流速 v_3 以及船寬 b 呈正相關。



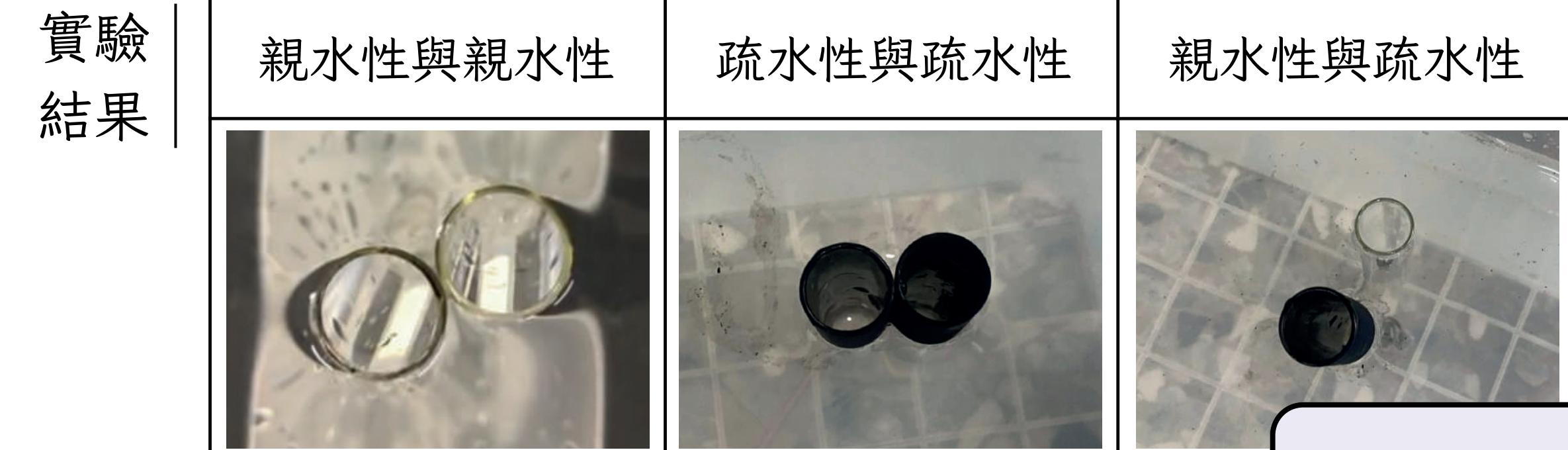
(圖十一) 船吸現象各種符號圖 (自行手繪)

實驗步驟及結果

實驗一

探討親水性與疏水性試管在水中彼此的影響

實驗方法 觀察親水性試管與親水性試管產生的現象，並藉由將試管表面燒上一層奈米碳使試管為疏水性，最後觀察疏水性試管與疏水性試管、親水性試管與疏水性試管產生的現象。



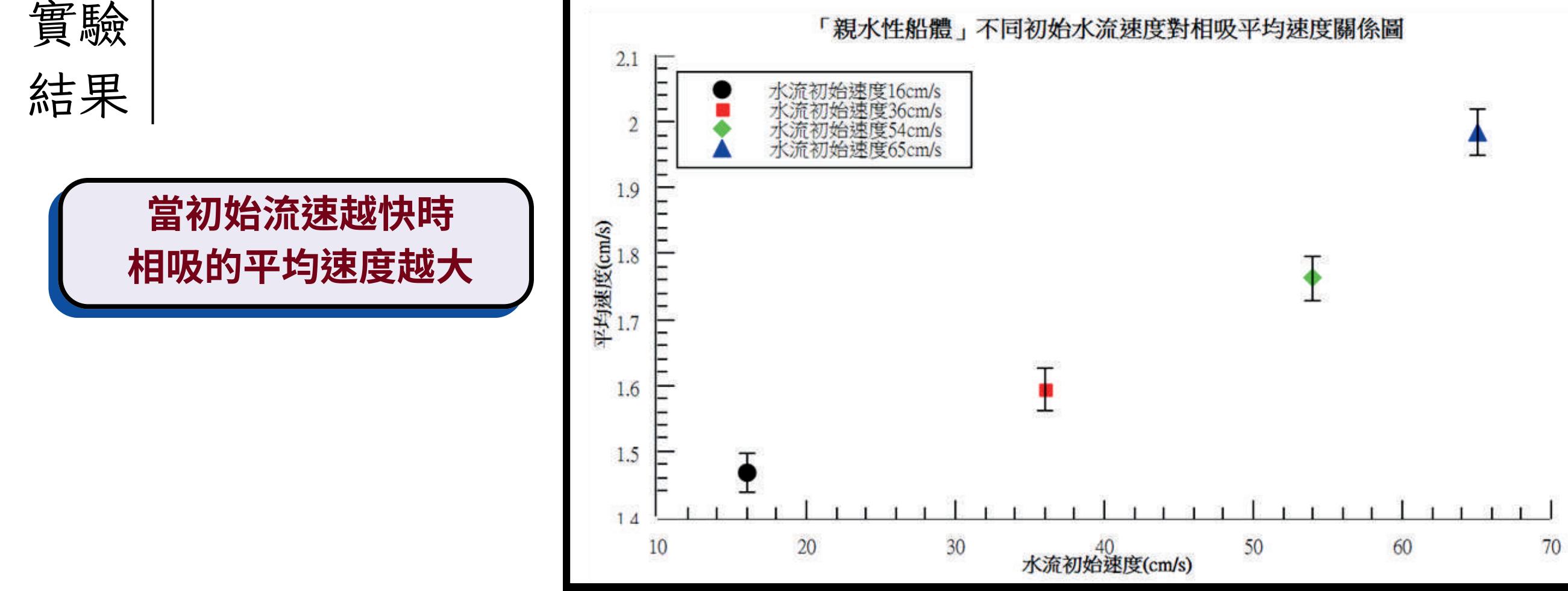
(表三) 試管相吸相斥圖 (自行拍攝)

親水性與疏水性會相斥

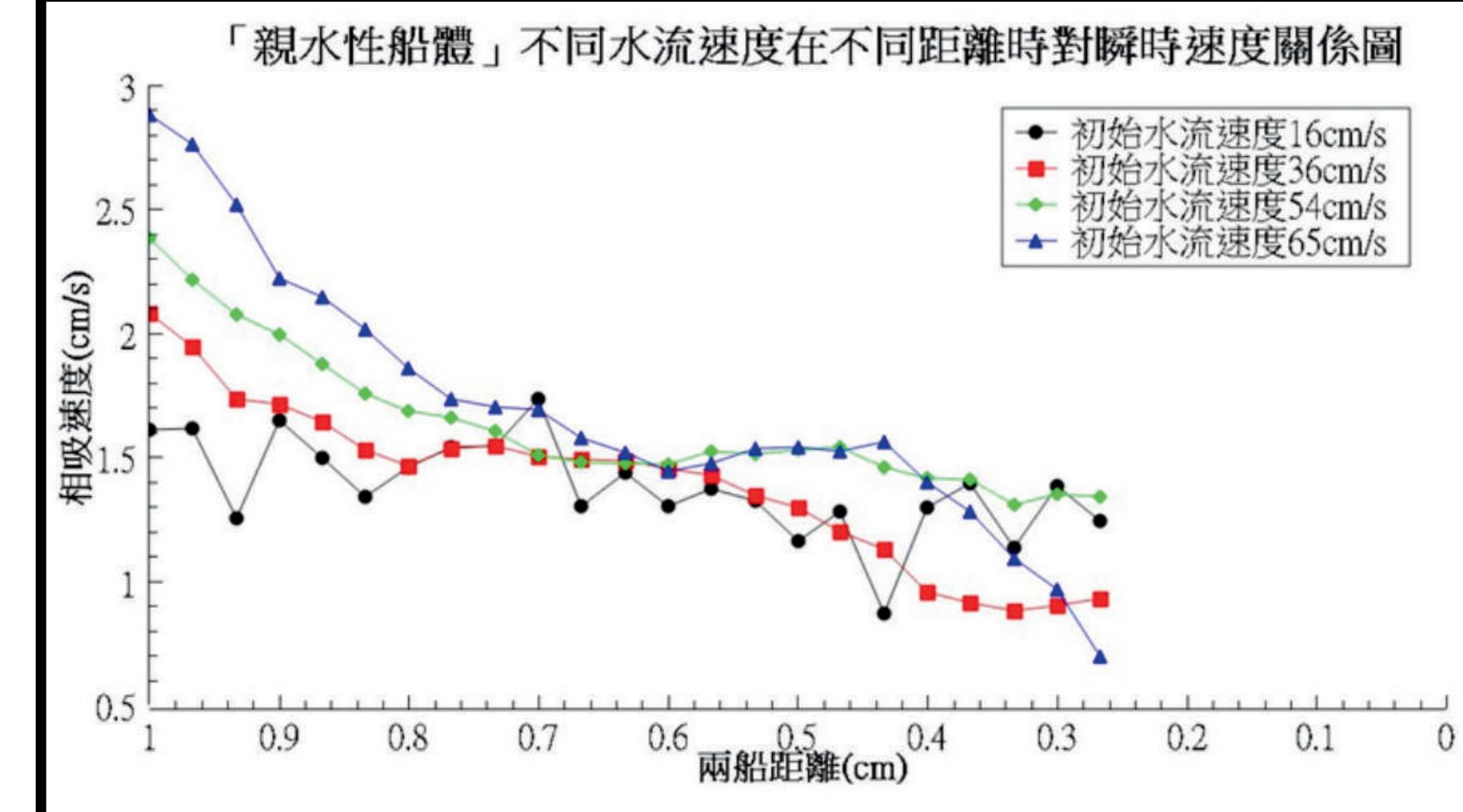
實驗二

探討不同初始水流速度對親水性船體的船吸現象及相吸的平均速度大小的影響

實驗方法 先在船上塗上廣告顏料 (親水性)，測量不同初始水流速度 (16、36、54、65cm/s) 對親水性船體相吸速度的影響，並利用 Tracker 分析數據。



(圖十二) 「親水性船體」不同初始流速對相吸平均速度關係圖 (自行製作)

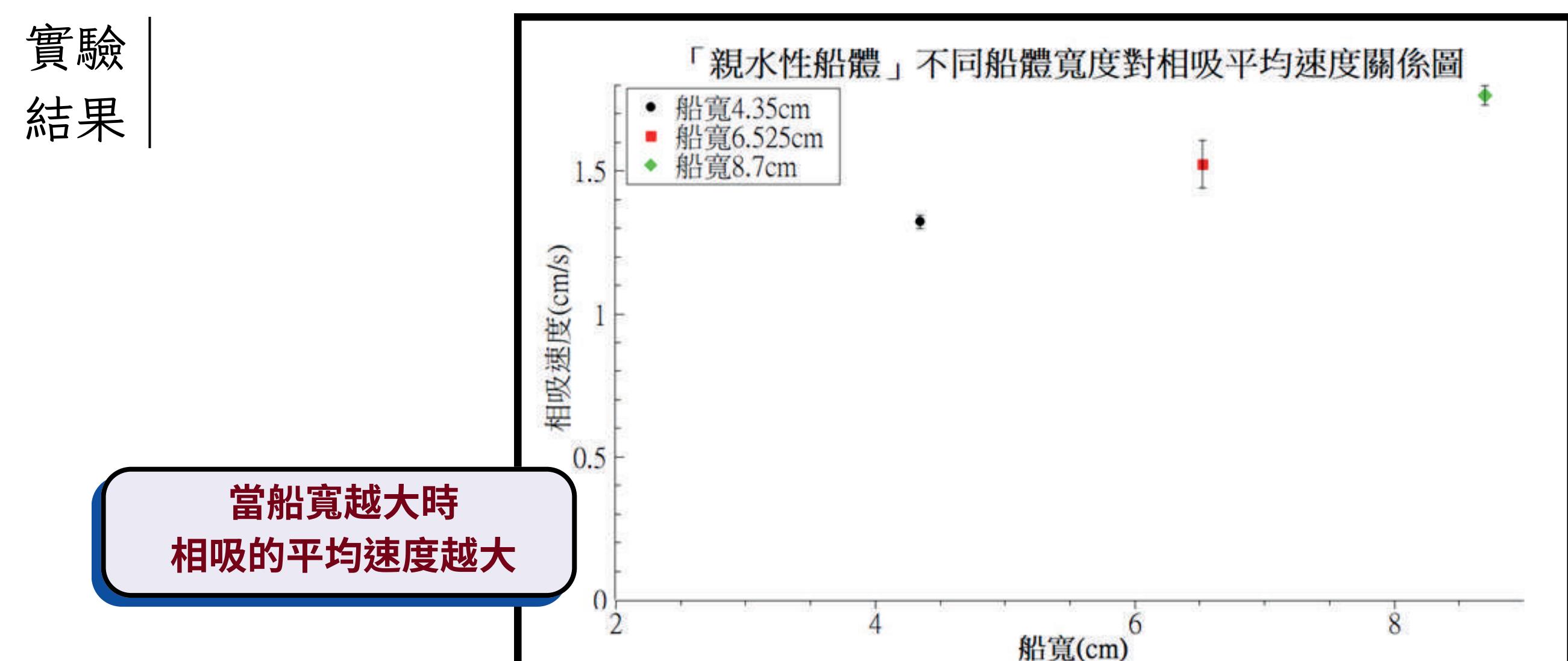


(圖十三) 「親水性船體」不同流速在不同距離時對瞬時速度關係圖 (自行製作)

實驗三

探討不同船寬對親水性船體的船吸現象及相吸的平均速度大小的影響

實驗方法 使用實驗二的架設，利用調整紙船船寬 (變成原先的 $1, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ 倍)，實驗並討論是否符合公式。

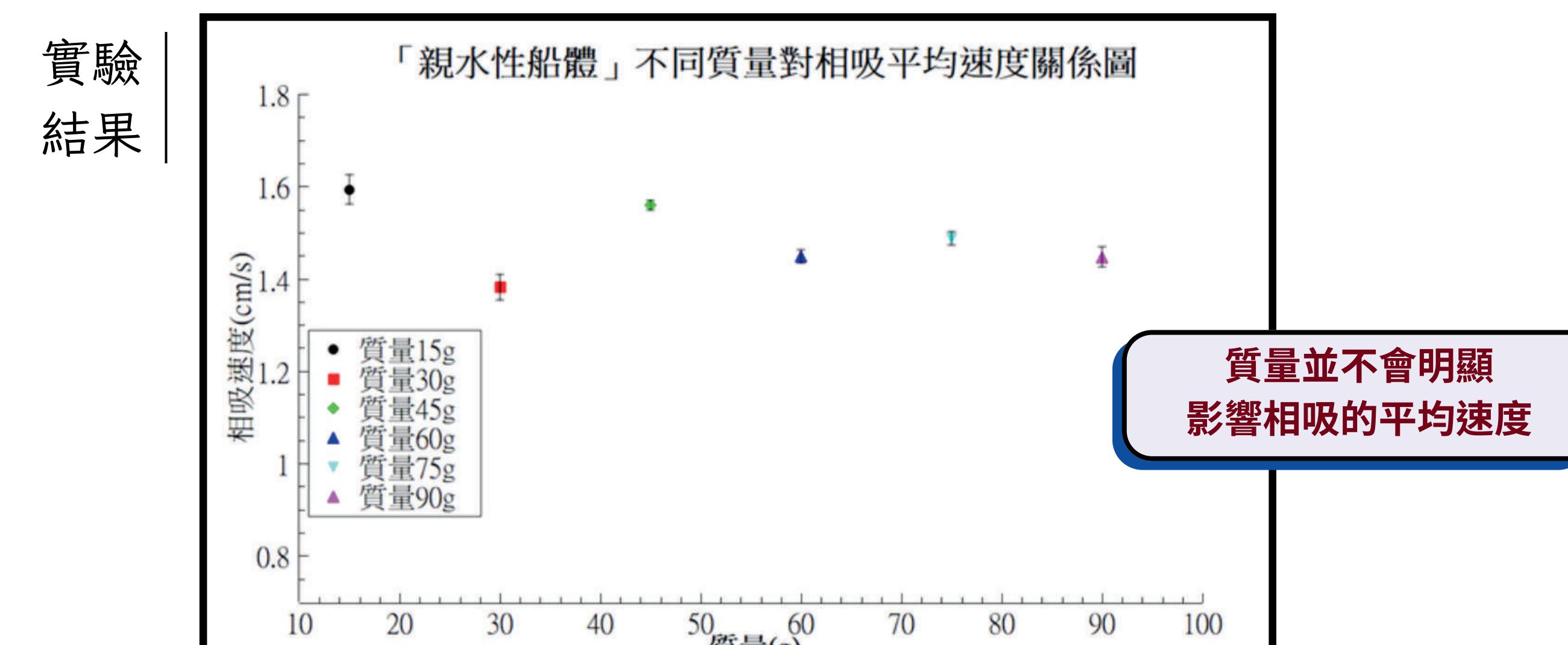


(圖十四) 「親水性船體」不同船體寬度對相吸平均速度關係圖 (自行製作)

實驗四

探討不同質量對親水性船體的船吸現象及相吸的平均速度大小的影響

實驗方法 使用實驗二的架設，利用裝水，改變船的質量 (15g、30g、45g、60g、75g、90g)，實驗並討論是否符合公式。



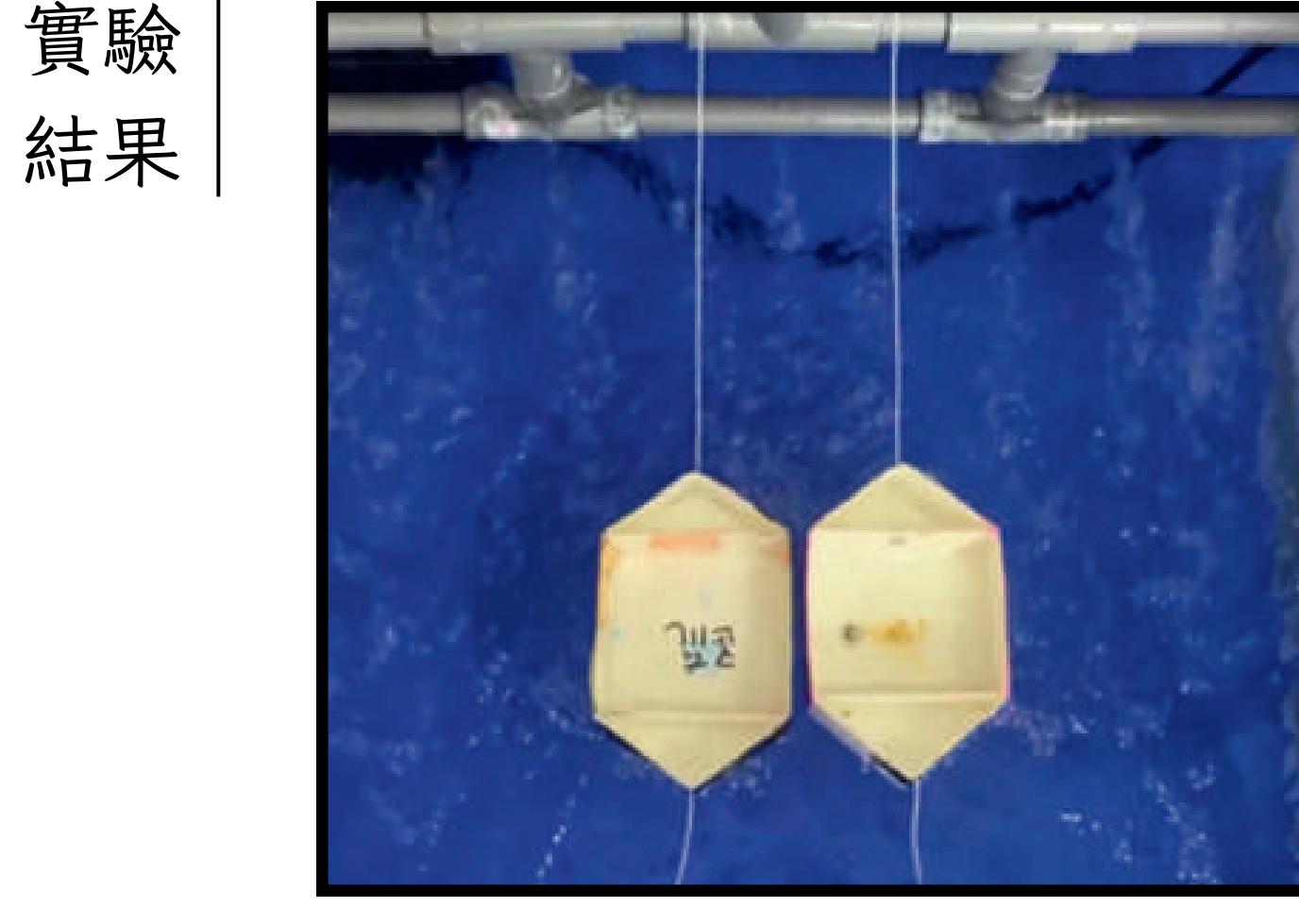
(圖十五) 「親水性船體」不同質量對相吸平均速度關係圖 (自行製作)

質量並不會明顯影響相吸的平均速度

實驗五

探討疏水性船體是否能抵抗船吸現象

實驗方法 利用蠟燭燒紙船外層，形成一層薄薄的奈米碳（疏水性），接著將一個塗有廣告顏料的紙船與一個有著奈米碳的紙船放置於水面上進行實驗，觀察在水流衝擊下親水性與疏水性船體是否能保持相斥。



(圖十六) 船吸現象「親水性與疏水性船體」圖 (自行拍攝)

當被吸引到一定距離後
會產生相斥而不相聚

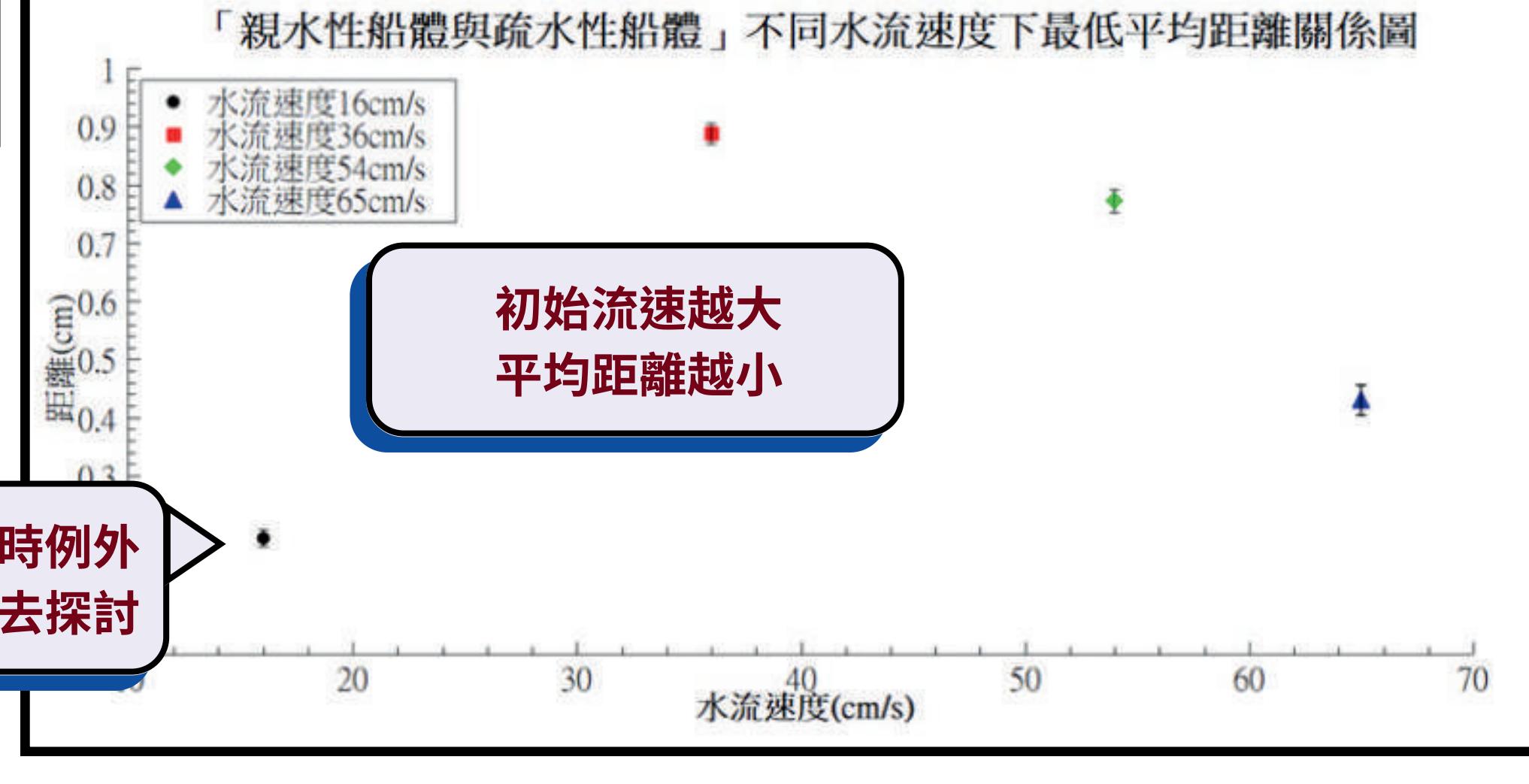
當水流速度最小時例外
於是利用實驗七去探討

實驗六

探討疏水性船體在不同初始水流速度的距離關係

實驗方法 利用改變初始水流速度進行實驗，測量兩艘分別為親水性與疏水性在不同水流速下兩物體的距離關係，並進而探討與兩艘都為疏水性時會有什麼不同。

實驗
結果



(圖十七) 「親水性與疏水性船體」在不同流速下最低平均距離關係圖 (自行製作)

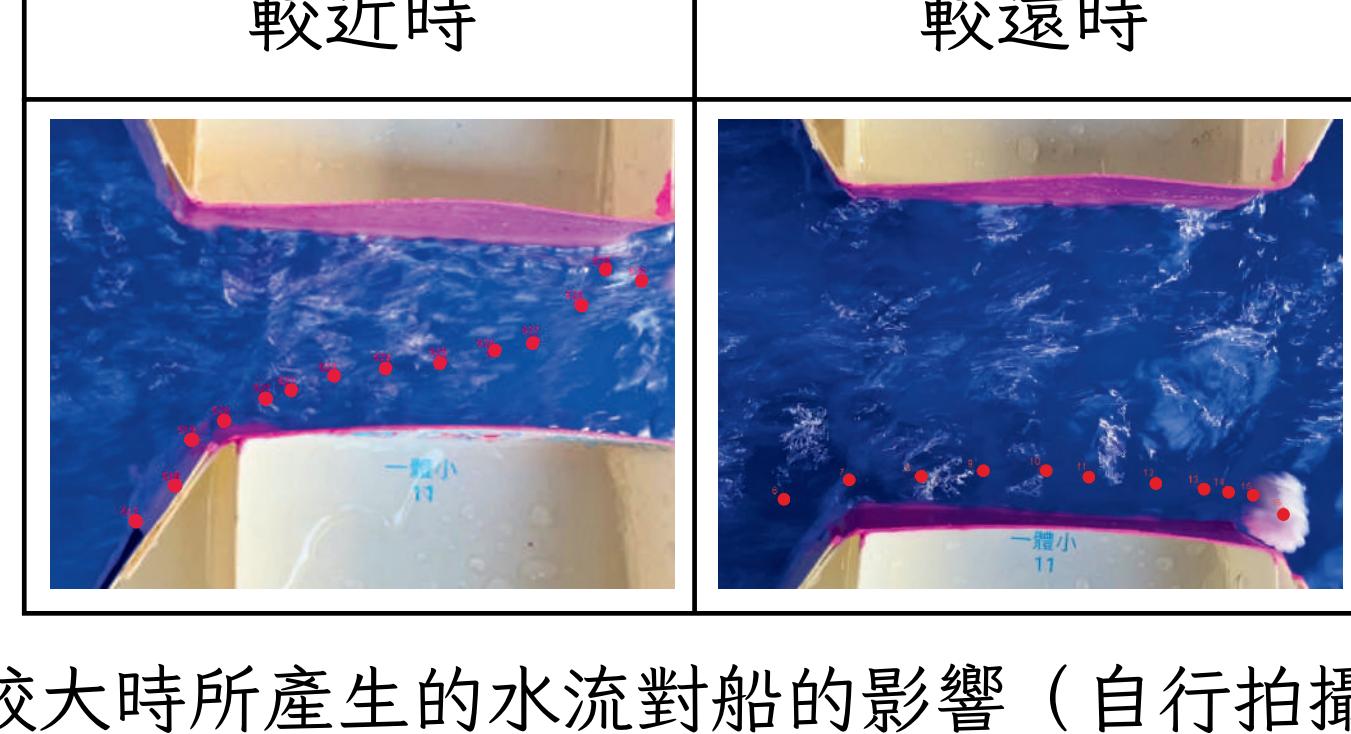
實驗七

探討康達效應對疏水性以及親水性船體的影響

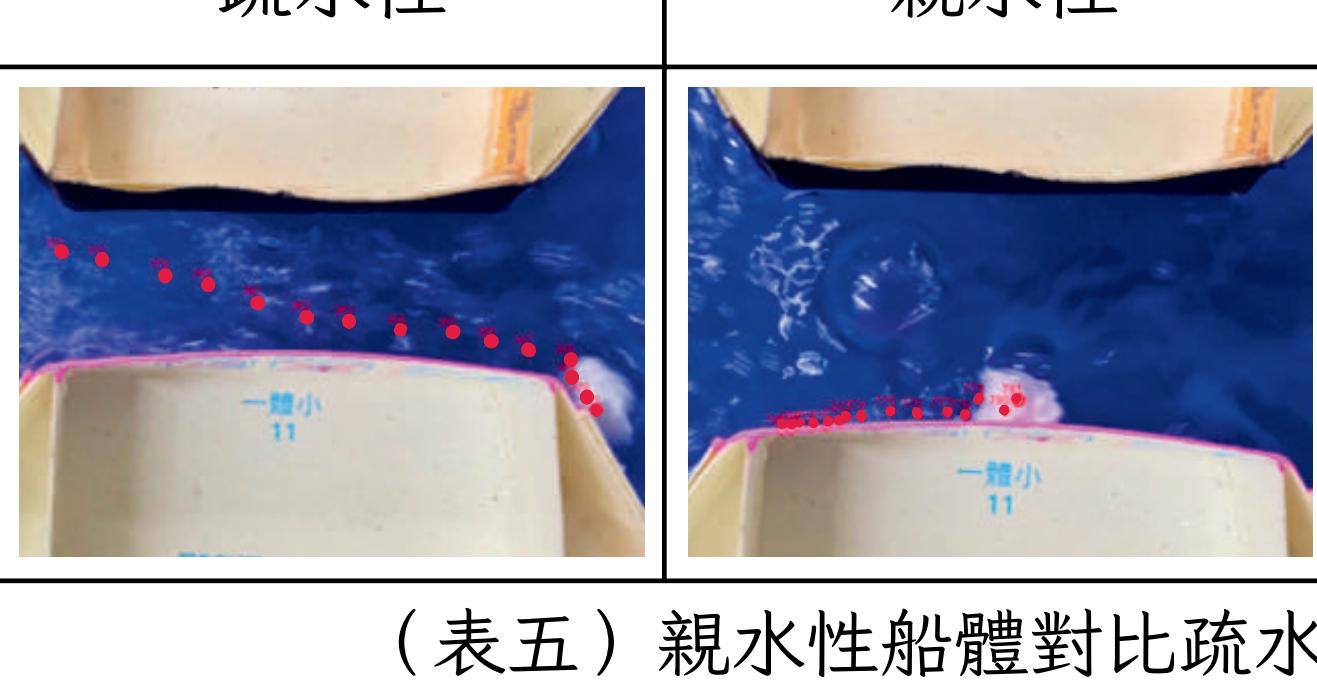
實驗方法 在前面實驗中，我們發現水流在不同變因下會有許多不同的流向，因康達效應為水流附著於船體表面，我們想藉由改變各種變因，觀察是否有不同的水流，並利用Tracker追蹤水流的流向 (紅色軌跡)。

實驗
結果

當兩船距離較近時
→ 水流衝向對面的船
當兩船距離較遠時
→ 衝向對面的水流在途中
自行瓦解

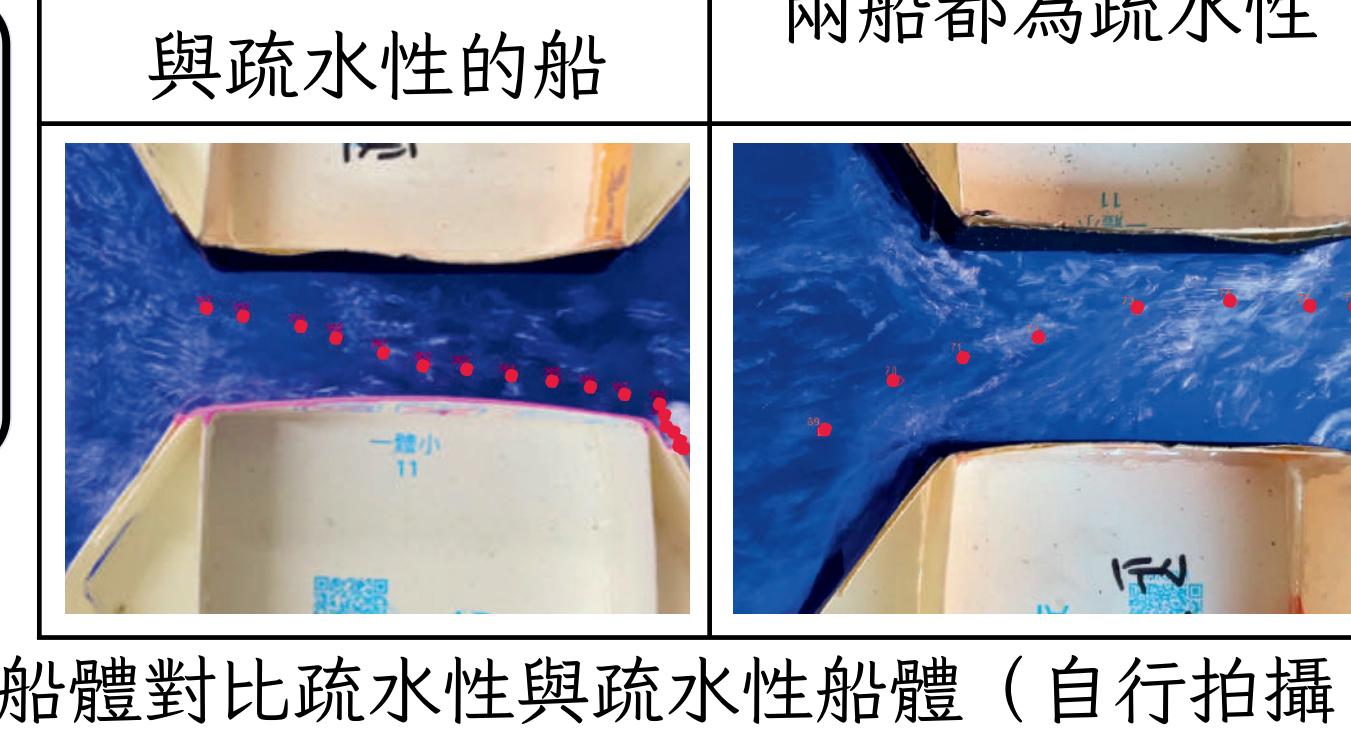


(表四) 相聚距離在流速較大時所產生的水流對船的影響 (自行拍攝)

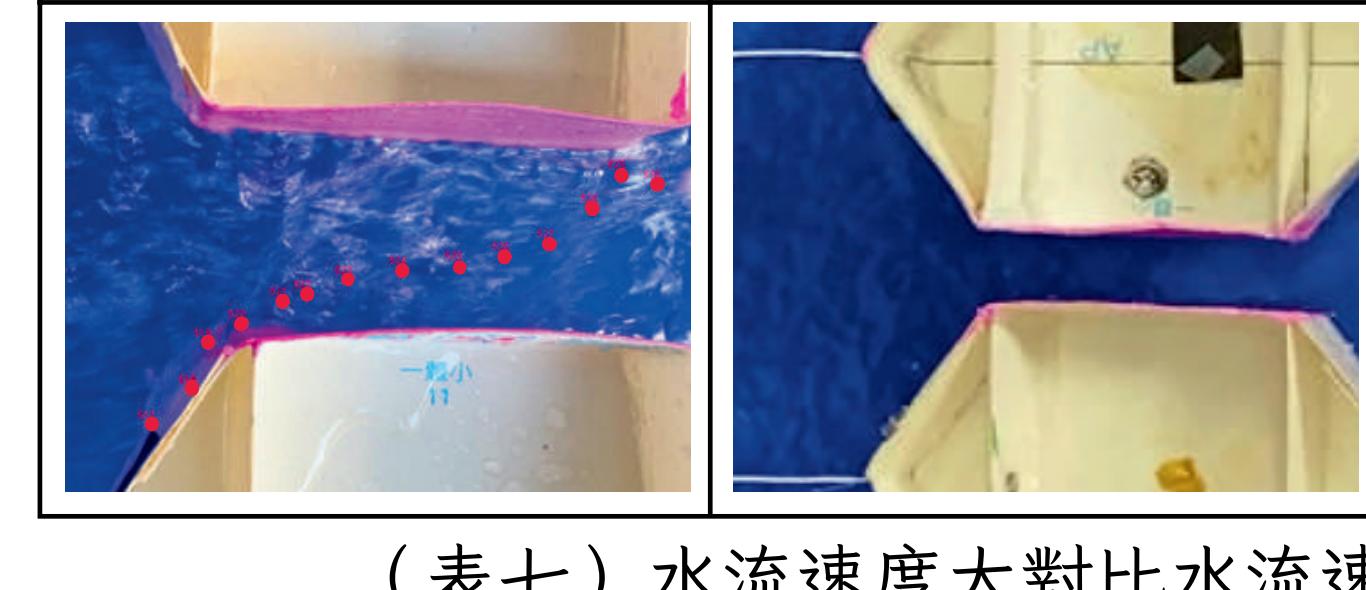


(表五) 親水性船體對比疏水性船體 (自行拍攝)

兩船分別為親水性與疏水性的船
→ 僅有一水流向另一艘船衝
兩船都為疏水性
→ 兩水流都會衝向另一艘船



(表六) 親水性與疏水性船體對比疏水性與疏水性船體 (自行拍攝)



當初始水流速度較大時
→ 水流衝向對面的船
當初始水流速度較小時
→ 水流僅有水波

(表七) 水流速度大對比水流速度小 (自行拍攝)

(圖十八) 「疏水性與疏水性船體」在不同流速下最低平均距離關係圖 (自行製作)

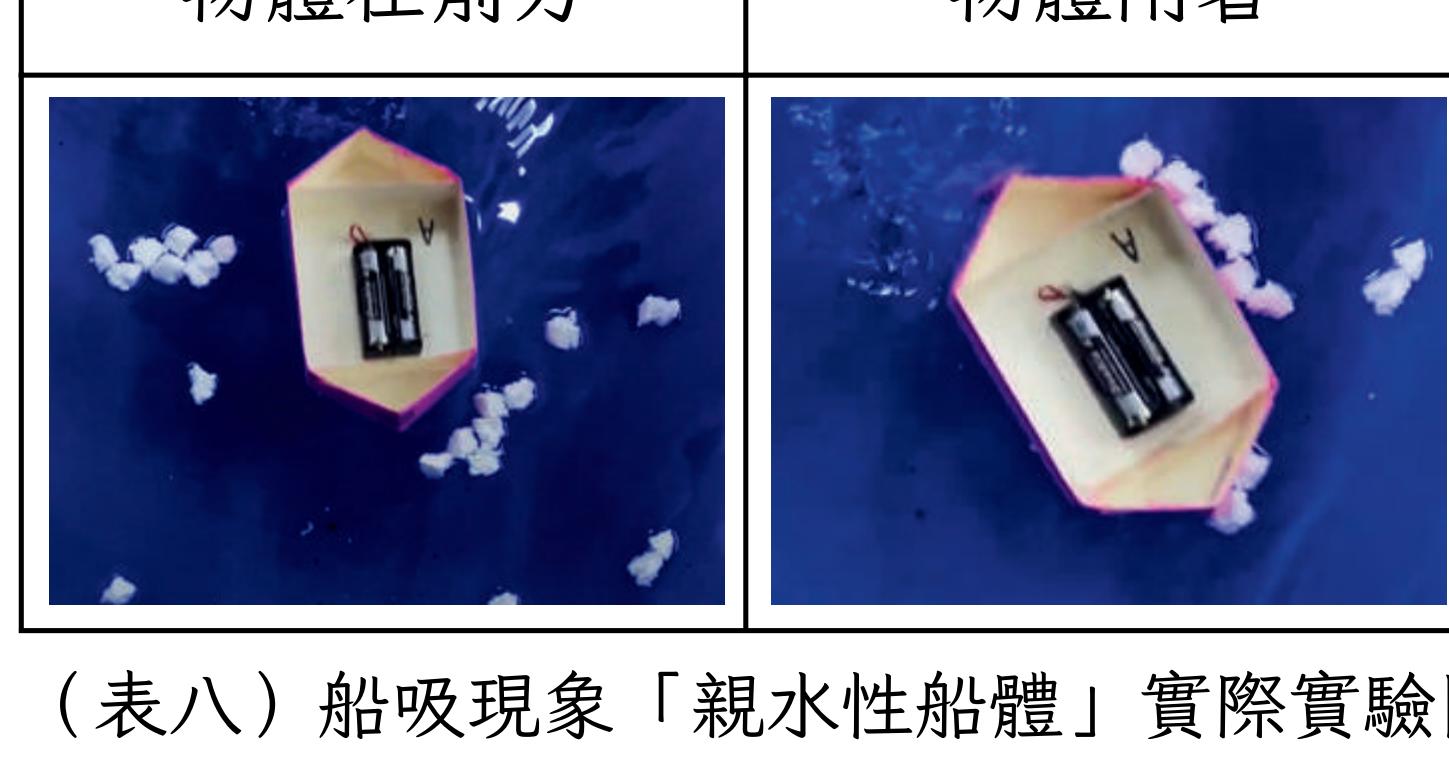
實驗八

探討在水中疏水性船體是否能避免撞上沿路上的親水性物質

實驗方法 我們模擬現實環境，利用保麗龍模擬在水面上的漂流物，並在親水性與疏水性船體裝上馬達，實測當為疏水性船體時是否能避免撞到漂流物，或者排斥漂流物，並與一般船體 (親水性) 對比。

實驗
結果

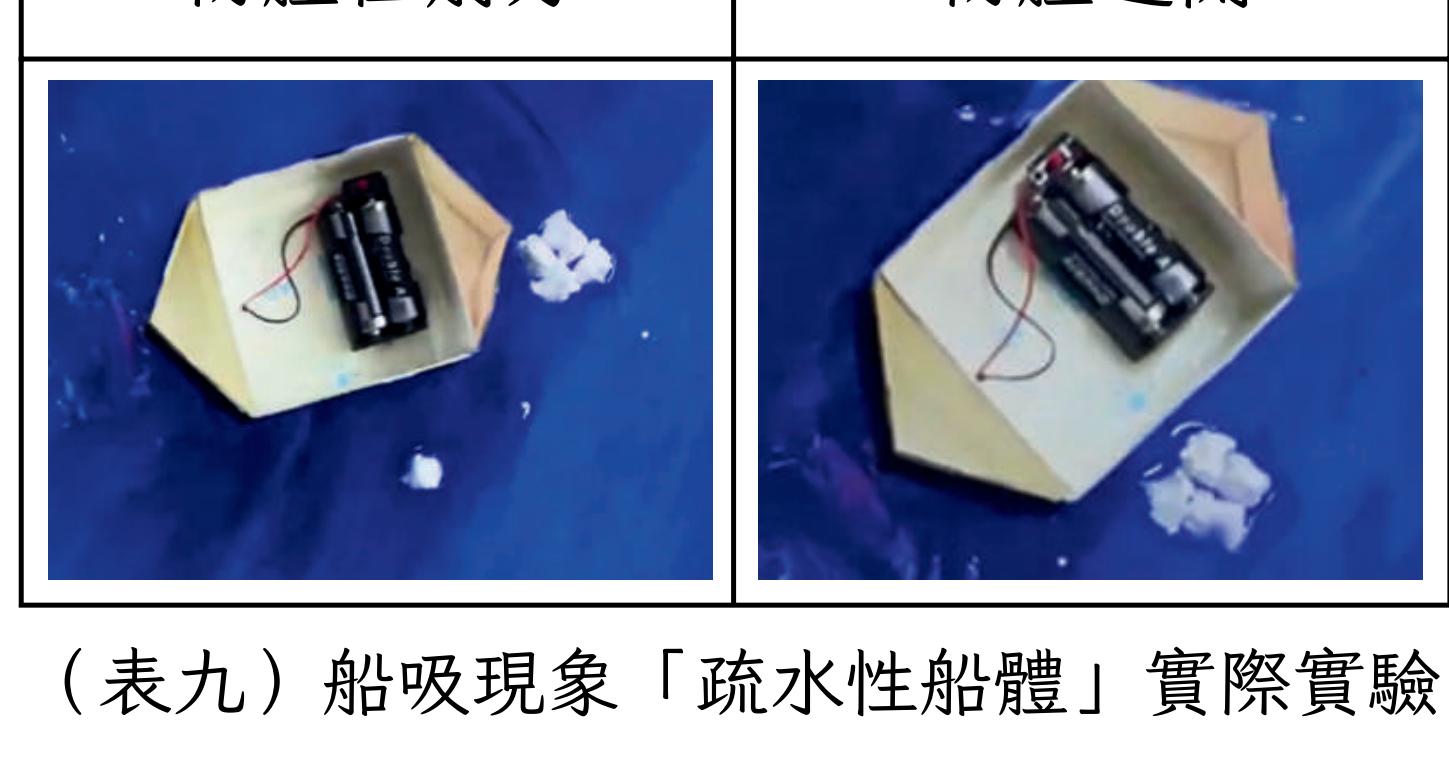
• 親水性船體：



親水性物質會吸附
於親水性船體表面

(表八) 船吸現象「親水性船體」實際實驗圖 (自行拍攝)

• 疏水性船體：



親水性物質在碰觸
疏水性船體表面後
會立即與其排開並
與船體保持距離

(表九) 船吸現象「疏水性船體」實際實驗圖 (自行拍攝)

實驗結論

- 親水性與親水性、疏水性與疏水性試管會互相相吸，疏水性與親水性試管則會相斥。
- 當初始水流速度越大時、船寬越大時，船吸現象在同一段距離下的平均速度越大，與理論吻合。
- 質量不會明顯影響船吸現象在同一段距離下的平均速度，與理論吻合。
- 在兩船較近時相吸速度越小，與船吸現象不吻合，但由實驗七，得知是因水流造成的衝擊較大，得以解釋實驗二。
- 疏水性船體能在一定流速中避免船吸現象的發生。
- 疏水性船體不一定會在水流速度越大時相斥距離越近，因為相斥距離還要考慮到水流的衝擊 (實驗七)。
- 親水性船體較疏水性船體容易相吸 (因康達效應在疏水性中會減少對水的吸附能力)。
- 在原先以為只有親水性與疏水性可以避免船吸現象的發生，在實驗後發現疏水性與疏水性船體也能避免，並且疏水性與疏水性船體效果更好 (實驗六)，因兩疏水性在水流衝擊下所造的相斥力較大 (實驗七)。
- 疏水性船體雖然沒辦法阻止撞擊親水性物質，但能有效避免親水性物質附著在船體。

參考資料

- Robert W. Fox, Philip J. Pritchard, Alan T. McDonald (2014). 流體力學 (劉澄芳、王珉玟、徐力行, Trans.; No. 06134017; (第七版) (公制版)). 全華圖書股份有限公司。
- 洪碩成, 張上仁, 吳東翰. (2011). 「液表」人才一同性相吸，異性相斥. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會.
- 陳延松. (2012). 銀奈米液滴在奈米碳管上的毛細現象. 碩博士論文網.
- Phys. Rev. Lett. (2019). Direct Measurement of Length Scale Dependence of the Hydrophobic Free Energy of a Single Collapsed Polymer Nanosphere. APS.
- 王恩哥, 孟勝. (2011). 分子尺度上水和金屬表面的相互作用. 物理, 40 (05), 289-296.
- 施靜慧, 洪若男, 尤靜誼, & 林千貴. (2009). 「蓮」「環」密碼, 環境因子對蓮花效應的影響. 中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
- 張慧貞. (2016, May 5). 白努力定理的誤解與錯誤應用. 物理雙月刊.
- Wang yu-fei1, Wang xin-wei1, Ma xing-yu2, Tang zhan-qi2, & Jiang nan. (2022). Effects of the Superhydrophobic Surface on Coherent Structures in the Turbulent Boundary Layer. 力學期刊, 38 (10) (322022). 10.1007/s10409-022-22022-x