

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第一名

080830

就「油」自取

—風動式海面浮油自動汲取器之製作與探討

學校名稱：臺南市永康區崑山國民小學

作者：	指導老師：
小六 蔡昀宸	沈聰男
小六 鄭丞佑	張良誠
小六 黃柏穎	
小六 陳俞成	
小五 卓函柔	

關鍵詞：離心泵浦、相對黏滯性、汲液含油率

得獎感言



胡適先生曾有過一句名言：「要怎麼收穫，先那麼栽。」當我們得知自己的作品從「強敵環伺」中脫穎而出的那一刻，內心的悸動和驕傲實在是難以筆墨形容的，一年來所付出的心力和汗水瞬間化成甜美的果實。這榮耀的一刻，將令我們永生難以忘懷。

回顧整個參賽的歷程，大家利用每天課餘、甚至寒暑假的時間，在兩位指導老師的辛勤指導之下進行討論和實驗，分享彼此的心得或觀點。雖然犧牲了不少玩樂的時間，但不知不覺中吸收了很多新知；也常在實驗過程中遭遇挫折，但大家總能相互激勵，一起面對困難，從沒出現過一句怨言或一臉倦容。

老師常鼓勵我們：「態度，決定你們未來的高度。」這句話為我們辛勤研究的成果下了一個完美的註腳。我們深信：秉持著對於科學的一份熱愛，未來，一定還有更多驚奇等待我們去探索！

就「油」自取—風動式海面浮油自動汲取器之製作與探討

摘要

本文旨在探討：利用簡單創意，自行研發一款免耗能、免耗材、低成本海面除油裝置的可行性。研發流程劃分為三個研究階段。在階段一的實驗中，我們探究了各式浮具的適用性，發現：**配置得當的浮球(板)能提供汲油器相當優異的浮性、穩定性和荷重性**。在階段二的實驗中，我們以改變泵浦導管相關變因的方法，**探討簡易離心泵浦的基本特性和能力限制**，並進一步**確認其應用在本裝置的可行性**。最後的研究階段中，我們**整合了以上的研究成果**，成功的研發出一款海面除油裝置—「布袋蓮號」模型。此款風動能汲油器模型經歷波浪、浮油、黏稠環境等模擬試驗，證實在 12m/s 風速下，可於常浪、中黏稠度浮油環境中執行除油任務。

壹、研究動機

2010 年，是全球海洋生態多災多難的一年。

先是英國 BP 石油的「深海地平線」鑽油井 4 月 20 日在墨西哥灣爆炸，導致 70 萬公噸原油外洩，直到 7 月 15 日才堵住漏油。無獨有偶，7 月 16 日，中國大連新港輸油管發生爆炸，導致 1500 公噸原油流入黃海，據報載，浮油厚度最厚處竟深達一公尺。

短短一年之間，嗚咽的海洋就經歷了兩場空前的生態浩劫。我們**是不是能為海洋的永續做些什麼**？就在這樣一個簡單想法的驅使下，大家便天馬行空的，嘗試應用日常生活中的簡單科技來研發一種能幫助清除海面浮油的新工具。**從一個夢想、一紙草圖、一個空筒開始**，我們自行研發的「布袋蓮號」就這樣在大家的群策群力下誕生了！

貳、研究目的

- 一、從資料蒐整過程中，**瞭解現行各種海面浮油處理方式，並分析其利弊**，探索其它可行的替代方案。
- 二、透過團隊的腦力激盪，描繪出想像中的**浮油汲取器雛型**，並**構思具體可行的實驗方法**。
- 三、藉由實驗中對於**浮板(球)尺寸、數量、配置方式**等變因的操控，**探討影響浮體浮性、穩性及荷重性的可能變因**。
- 四、藉由實驗中對於**泵浦汲液深度、射角變化、旋轉半徑**等變因的操縱，**瞭解簡易離心泵浦的基本特性**。
- 五、綜合離心力原理、浮力原理、船舶原理之應用，並參考布袋蓮之生物型態，**組裝一具免耗能、省耗材、無污染、易維修的海面除油機具模型**。
- 六、藉由**波浪、流體黏滯性、浮油厚度**等環境因素的模擬來測試模型的汲油能力，並探討、**驗證主題構想的可行性**。

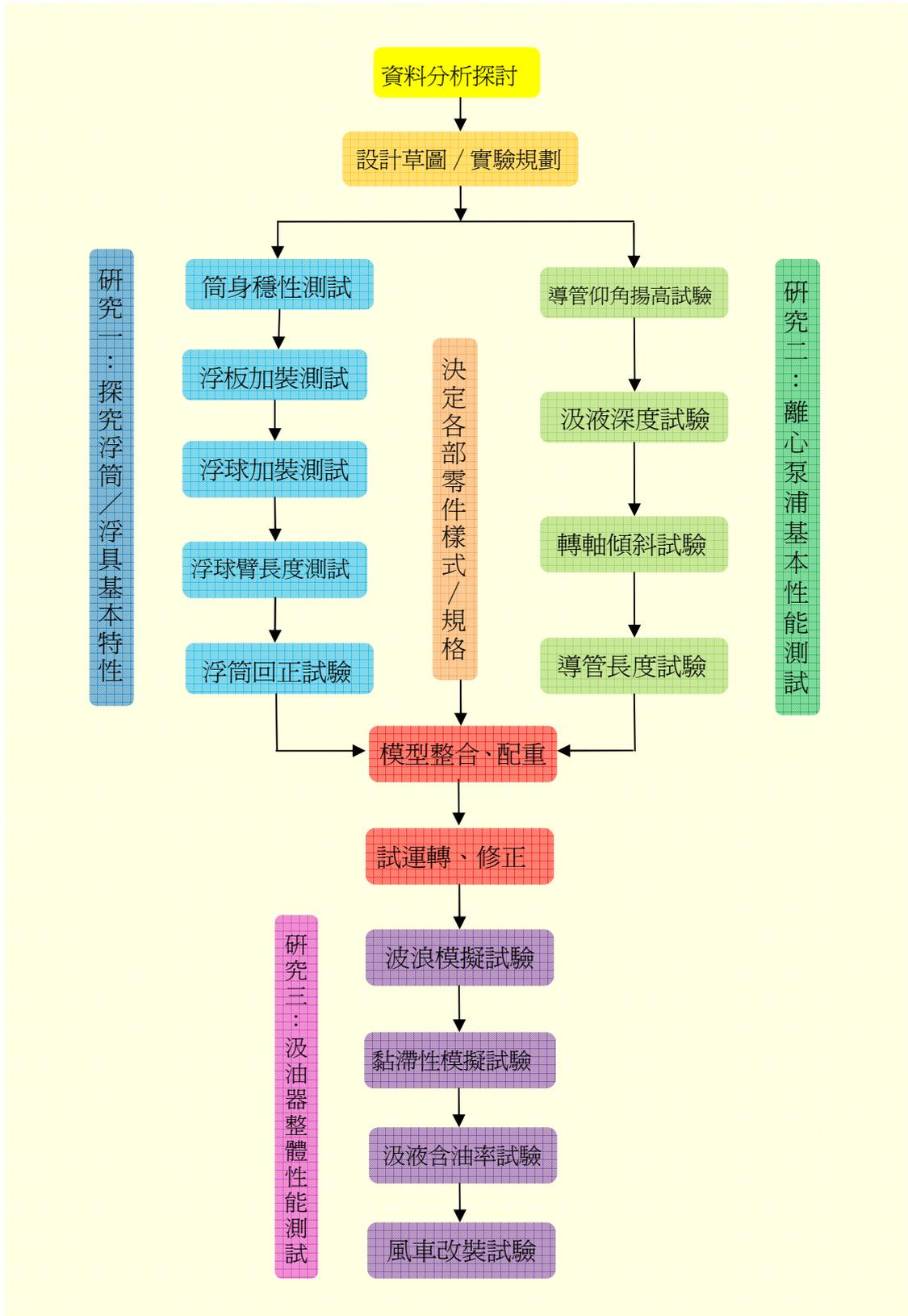
參、研究設備及器材

- 一、研究一：CD 空筒、空餅乾盒、傾角觀測器、量尺、1~2cm 厚保麗龍板、3~6cm 直徑保麗龍球、竹籤、水槽。
- 二、研究二：直流吹風機(改裝)、直流電源供應器、實驗支架、各式自製簡易離心泵浦、軸承、簡易風車、風速計、量筒、捲尺、顏料水、全開圖畫紙數張。

三、研究三：「布袋蓮號」模型、自製造浪機、自製各型風車、12V 直流鼓風機、直流電源供應器、自製太白粉膠狀溶液、大豆沙拉油、各式黏稠液體、1cm 鋼珠、15cm 細塑膠管、顏料水、食鹽、小磅秤、水盆、量筒、量尺、碼錶。

肆、研究過程、方法及結果

一、研究架構



二、文獻資料蒐整及探討

我們很好奇：面臨這些可能引發生態浩劫的海面浮油，世界各國是如何因應的呢？從網路文獻、報導中，我們初步瞭解到，現階段海面油汙的清除作業大致上採用以下的方法：

方法	處理方式	優、缺點
燃燒法	直接將浮油在現場進行控制性燃燒	優：最 直接快速 的除油方法 缺：大量 致癌物質 隨濃煙飄散
藥劑處理法	利用藥劑來改變浮油的物理或化學特性（如密度、表面張力、乳化等）來達到沉澱浮油或阻止油面擴張	優：能 迅速施灑 於大範圍汙染 缺：1. 多含 毒性 ，造成 二次汙染 2. 其效用只能將油汙微粒 沉降至海床 或 集中於海面
微生物處理法	運用某些具有分解碳氫化合物能力之綠膿桿菌屬細菌來進行油膜分解	優：目前 科學界最熱衷 的一環 缺：1. 嗜油菌無法滲入海面原油內部，只能在油水交界面進行分解， 耗時較久 2. 營養化 問題
機械處理法	運用攔油索、吸油棉、撇油船、油汙輸送帶等器具進行人工清理	優： 最實際、較環保 的方法 缺：1. 投入大量人力 ，除油效率低 2. 吸油棉等 耗材成本高 ，且無法重複使用
	超大型汲油船 (2010年墨西哥灣洩油事件首次登場並進行測試)	堪稱史上最大的汲油船(鯨魚號)，但經過兩周 實地測試 ， 未能收集到任何浮油 ，最終宣告任務失敗

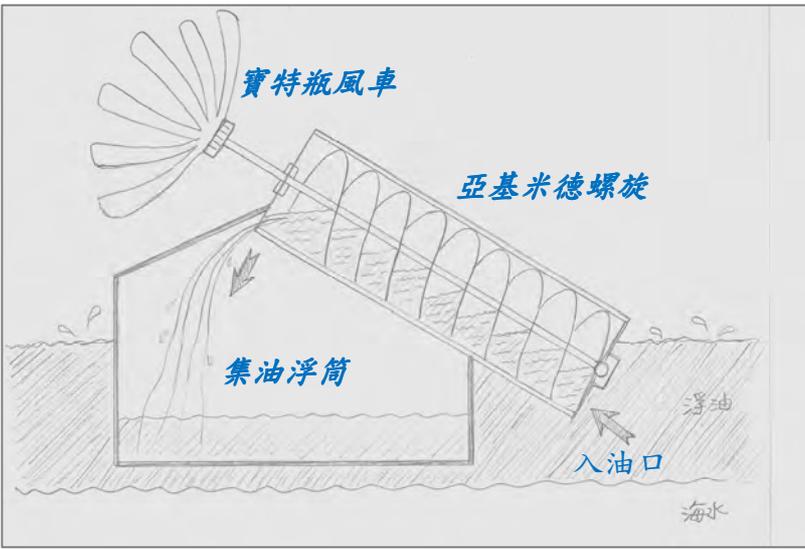
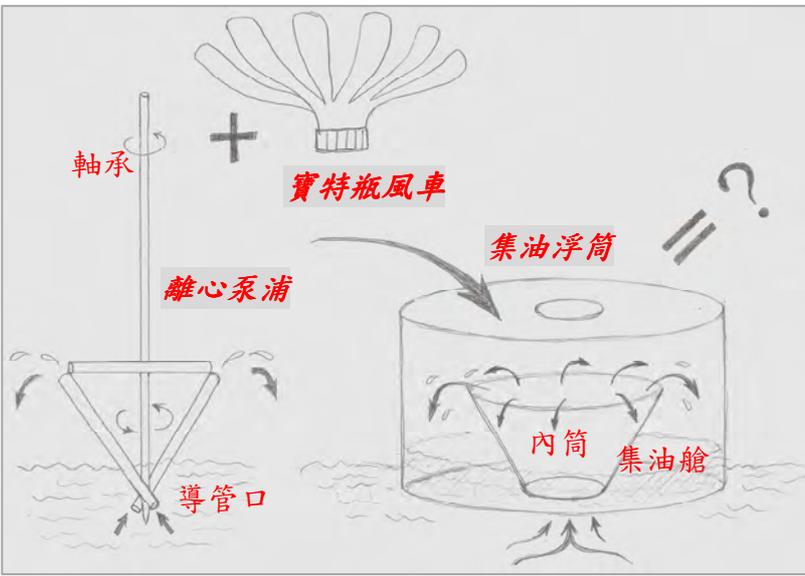
表 1、現行海面油汙處理方式

綜合以上的分析，我們歸納出以下幾點：

- (一)上述各種方法均各有其優缺點和適用性，科學界至今也還沒有找到一種完美的清除浮油方法或裝置，這是值得大家共同努力的目標。
- (二)儘管**傳統的機械處理方式效率不高**，但與**其他方法相比**，**卻較為實際、環保**。也因此，在可預見的十數年內，這種較為成熟的老方法仍然不會在海面油汙戰場中缺席。
- (三)新一代的科技，不但要提升使用效益，也應朝向低耗能、低耗材、低污染的方向發展。既然**傳統的除油裝置還有很大的改善空間**，**我們有沒有可能在它的耗能、耗材、人力或效率方面加以改良呢？**

基於這樣的想法，我們決定以海面風力為動力、簡單的機械模組為主體，運用基礎的物理概念發展一款綠能、免耗材、維修簡易的海面除油裝置，希望能提供除油作業另一種全新選擇。

三、初步構想

<p>原始方案</p>	 <p>圖 1. 構想草圖之一：亞基米德螺旋汲油器(未實作)</p>	<p>想法： 利用寶特瓶簡易風車直接驅動一具亞基米德螺旋，只要控制好整個裝置的沉浮，使其螺旋管口高度保持在油水界面之上，就能將汲取的浮油收集在浮筒中了</p> <p>缺點： 結構複雜，難以達到輕量化的要求</p>
<p>決定方案</p>	 <p>圖 2、構想草圖之二：離心泵浦汲油器(雛型)</p>	<p>想法： 這款簡易離心泵浦由一轉軸帶動兩支吸管做成的入水導管旋轉。當轉速到達一定速度時，液面下的浮油便會因圓周運動所產生的離心力作用而流經導管並向四周噴灑，集中於浮筒內</p> <p>優點： 結構輕巧，能以風車直接驅動</p>

四、實驗規畫及設計

為了讓構想中的海面浮油汲取器（以下簡稱汲油器）模型能夠正常的運作，我們將探究活動劃分為三個階段主題：

（一）研究一：本階段主要在探究浮筒浮具的基本特性和影響漂浮能力的相關變因，以作為汲油器整體設計的參考依據。實驗過程中，我們引用了船舶設計的基礎概念來進行探討，並且參考了布袋蓮的型態進行浮具的調整改良。其性能評估指標及操作定義如下：

評估指標	內容	操作型定義	測量方法
平穩性	浮筒集油荷重後會因其內部自由液面的晃動而產生不同程度的側傾現象。側傾愈小，穩性愈佳	浮筒在荷重狀態下側傾角度的變化量。其斜率愈小，穩性愈佳	如下圖 3，以自製簡易側傾儀測量

<p>浮性</p>	<p>指一定荷重下浮筒的漂浮能力。若沒入水面下過深，表示浮性不足，除了會影響荷重性，也會造成內筒的離心泵浦阻力過大，不利汲取</p>	<p>筒身側傾時，深淺兩側吃水深度之平均值 $H_{平} = (H_{深} + H_{淺}) \div 2$ 此值愈小，浮性愈佳</p>	<p>以量尺分別測量浮筒底部深淺兩側之吃水深度</p>
<p>荷重性</p>	<p>浮性好、穩性佳則荷重能力愈強。測量浮筒因荷重而傾斜至液面覆蓋頂部之前，能夠承受多大重量</p>	<p>取荷重實驗最大值，即為最大荷重能力</p>	<p>以容積測量盒逐次注水觀察</p>
<p>回正時間</p>	<p>參考船舶的回正機制，模擬荷重的浮筒受外力(如風、浪)作用而側傾時，是否能在短時間內自動回正</p>	<p>浮筒歷經傾斜狀態→來回震盪→回復平穩狀態所需時間</p>	<p>Avidemux 動態影像剪輯軟體分析</p>

表 2、浮筒性能評估指標

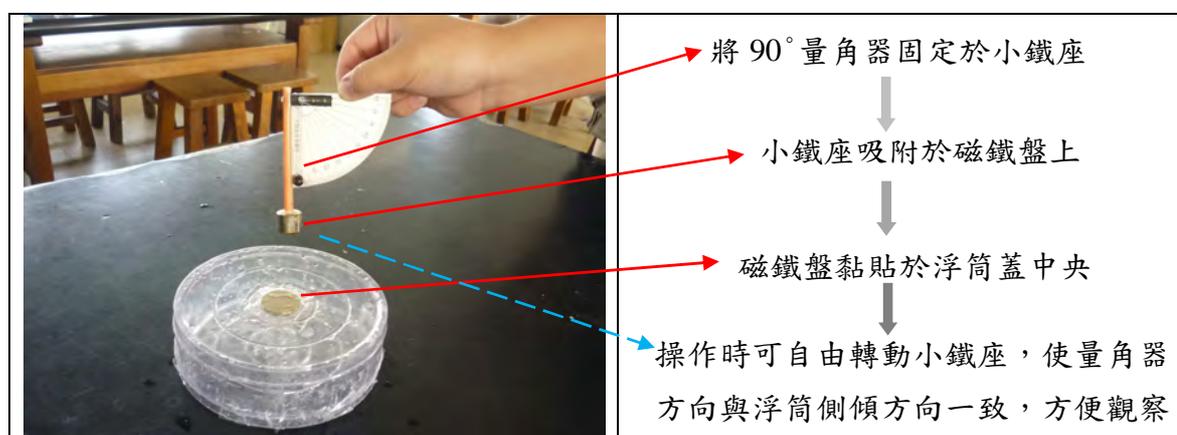


圖 3、簡易側傾儀製作方法

(二) 研究二：主要在測試簡易離心泵浦被風車驅動後是不是能順利汲取液體？其基本性能是否符合我們的需求？

1. 如下圖 4 所示，在我們的設計構想中，離心泵浦汲取的液體必須能跨越漏斗型內筒的壁障，才能順利進入集液艙中。因此，我們關心的重點是：**泵浦啓動後，液體被拋射的距離和高度（即揚程、揚高）是否足夠？**當泵浦轉軸因海浪作用力而處於**傾斜的狀態時，是否仍能順利進行汲取的動作？**

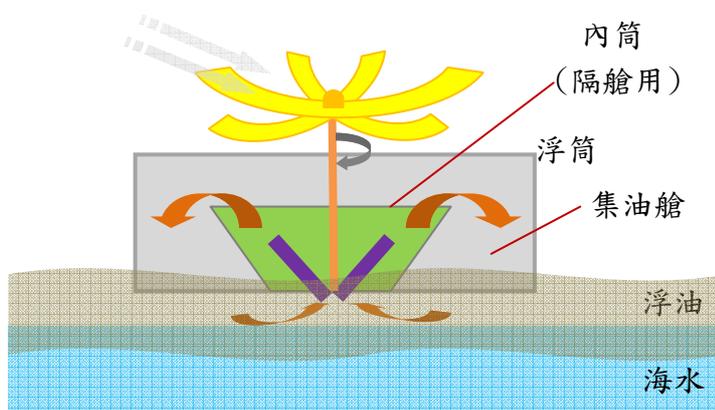


圖 4、構想中的汲取動作示意圖

2.測試方面(如圖 5),以實驗支架固定軸承座作為測試台,量筒放置於壁報紙中央,注滿顏料水供泵浦汲取。泵浦風車用一具改裝為直流輸入的定速吹風機來驅動,其最大出口風速約為 9.6 m / s。泵浦的揚程先以壁報紙上顏料之拋灑軌跡顯示,再以捲尺測量。

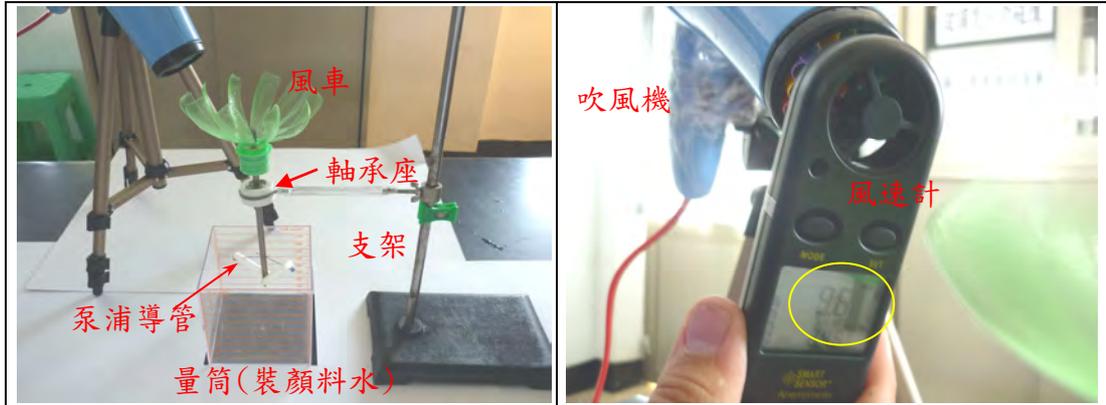


圖 5、泵浦基本性能測試台

3.泵浦轉速以 *Avidemux* 剪輯軟體進行影像擷取、分析,方法如下圖 6 所示。

測速開始 → 時間: 00:00:05.400 (第 0 圈)

第 1 圈 第 2 圈 第 3 圈 第 4 圈 第 5 圈

第 6 圈 第 7 圈 第 8 圈 第 9 圈 第 10 圈

轉速 = 10 圈 / 0.933 秒 = 10.72 圈 / 秒 = 643(rpm) 結束 → 時間: 00:00:06.333

圖 6、泵浦轉速的測定(以實驗八示例)

(三) 研究三：實驗目的在測試整合之後的汲油器模型是否能如預期的在油水界面上正常運作？在模擬風力場、波浪及黏稠流體的實驗環境下，它的整體性能（包含汲油流量、汲液含油率）表現如何？

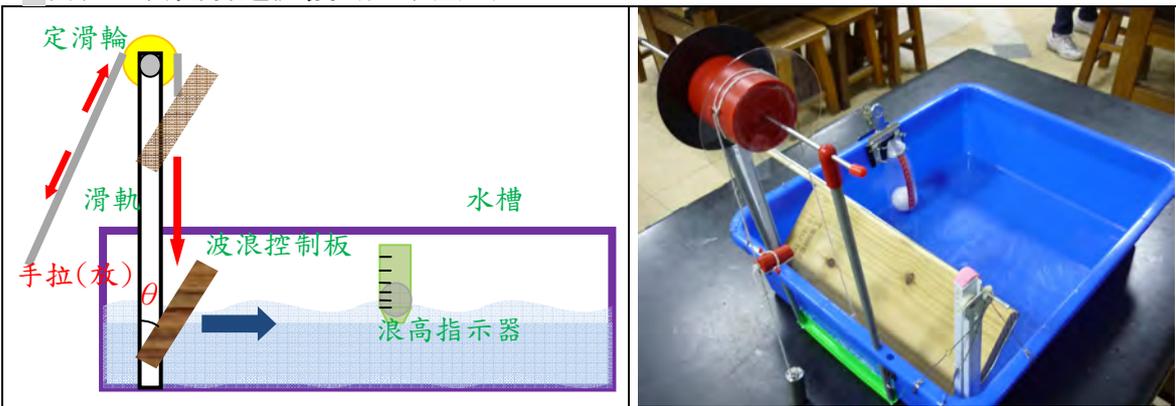
評估指標	內容	操作型定義	測量方法
汲油流量	評估汲油器除油效率最重要的指標。汲油流量愈大代表清除浮油的效能愈高	汲油器每分鐘汲取浮油的總體積，單位：ml / 分鐘	碼錶計時 容積測量盒

<p>汲液含油率</p>	<p>海面浮油層厚薄不一，汲取之浮油和海水所佔比例便有差異。此值愈大，表示汲油器在不同浮油厚度下的清除效率愈高</p>	<p>油水分離後，浮油含量佔總體的百分率： $(\text{浮油體積} \div \text{總體積}) \times 100\%$</p>	<p>同上</p>
---------------------	---	--	-----------

表 3、汲油器整體性能評估指標

本階段爲了模擬海面上較爲複雜多變的環境，在實驗設計方面做了以下調整：

1. 風力驅動源改採 12V 直流鼓風機，將平均出口風速提升爲 12 m/s（若以風級對照，風速 8.0~10.7m/s 爲五級--清風；10.8~13.8m/s 則爲六級--強風）。
2. 自製一台**簡易造浪機**（如下圖 7）。



此造浪機設計靈感是來自花式跳水。**運用重物入水角度愈大，形成的波浪就會相對增強的原理**，讓手控的松木板以某一入水角度垂直落下，並以手拉方式控制好往復頻率（每秒一次），便能使水槽產生各種不同規模的波浪。

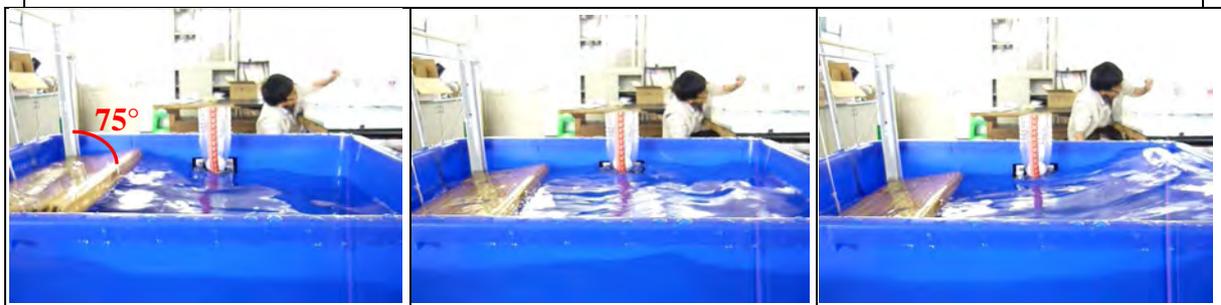
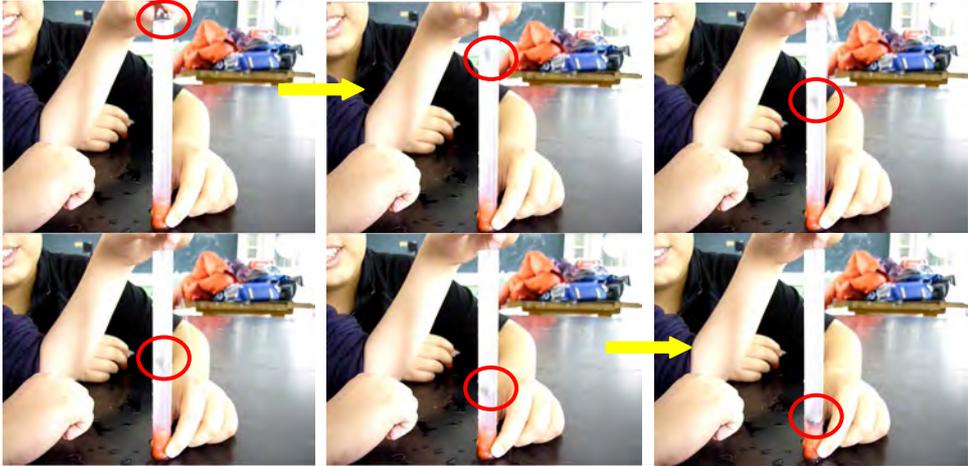


圖 7、自製造浪機及其連續造浪情形(以入水角度 75° 示例)

3. 基於人體健康和**安全**考量，在探討流體黏滯性對於汲液流量影響的實驗中，我們自行**調製不同黏稠度的太白粉膠狀溶液**（即勾芡）**進行模擬**。由於這些膠狀溶液都是自製的，網路上無法查詢其黏滯性；爲了顯示它們究竟有多黏稠，我們便利用簡易的「**落球法**」測量鋼珠在各種黏性液體管中落下的時間來進行對照和比較。原理、方法如下：

<p>落球法 原理</p>	<p>液體愈黏稠，黏滯力愈強，小鋼珠掉落至黏液管底部的速度愈慢；亦即液體的相對黏滯性正比於小鋼珠在黏液管中的落下時間</p>
<p>實驗方法</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將常溫的各種待測黏液分別倒入 15cm 長之細管中 2. 取 1cm 直徑小鋼珠一顆，使其自管口落下 3. 以 Avidemux 影像剪輯軟體分析小鋼珠落至管底所需的時間 4. 以測得之黏滯時間來呈現待測黏液之相對黏稠性

<p>實驗方法 示例</p>																																																				
<p>相對 黏滯性</p>	<p>由小至大排序： (單位：秒)</p> <table border="1" data-bbox="459 707 1394 1406"> <thead> <tr> <th>待測黏稠液體</th> <th>調製方式</th> <th>黏滯時間</th> <th>黏性描述</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>自來水</td> <td>無</td> <td>0.40</td> <td>無</td> </tr> <tr> <td>全脂鮮乳</td> <td>〃</td> <td>0.50</td> <td>極弱</td> </tr> <tr> <td>1:60 太白粉膠液</td> <td>下列 1:50 膠液+水 2L 稀釋</td> <td>0.53</td> <td>極弱</td> </tr> <tr> <td>針車潤滑油</td> <td>無</td> <td>0.57</td> <td>〃</td> </tr> <tr> <td>1:50 太白粉膠液</td> <td>下列 1:40 膠液+水 2L 稀釋</td> <td>0.70</td> <td>弱</td> </tr> <tr> <td>1:40 太白粉膠液</td> <td>下列 1:30 膠液+水 2L 稀釋</td> <td>1.03</td> <td>中</td> </tr> <tr> <td>大豆沙拉油</td> <td>無</td> <td>1.43</td> <td>〃</td> </tr> <tr> <td>二行程機油</td> <td>〃</td> <td>2.07</td> <td>強</td> </tr> <tr> <td>1:30 太白粉膠液</td> <td>200g+水 6000ml(勾芡冷卻)</td> <td>2.57</td> <td>強</td> </tr> <tr> <td>洗碗精(沙拉脫)</td> <td>無</td> <td>8.30</td> <td>極強</td> </tr> <tr> <td>1:20 太白粉膠液</td> <td>300g+水 6000ml(勾芡冷卻)</td> <td>16.8</td> <td>極強</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 4、黏滯時間對照表</p>				待測黏稠液體	調製方式	黏滯時間	黏性描述	自來水	無	0.40	無	全脂鮮乳	〃	0.50	極弱	1:60 太白粉膠液	下列 1:50 膠液+水 2L 稀釋	0.53	極弱	針車潤滑油	無	0.57	〃	1:50 太白粉膠液	下列 1:40 膠液+水 2L 稀釋	0.70	弱	1:40 太白粉膠液	下列 1:30 膠液+水 2L 稀釋	1.03	中	大豆沙拉油	無	1.43	〃	二行程機油	〃	2.07	強	1:30 太白粉膠液	200g+水 6000ml(勾芡冷卻)	2.57	強	洗碗精(沙拉脫)	無	8.30	極強	1:20 太白粉膠液	300g+水 6000ml(勾芡冷卻)	16.8	極強
待測黏稠液體	調製方式	黏滯時間	黏性描述																																																	
自來水	無	0.40	無																																																	
全脂鮮乳	〃	0.50	極弱																																																	
1:60 太白粉膠液	下列 1:50 膠液+水 2L 稀釋	0.53	極弱																																																	
針車潤滑油	無	0.57	〃																																																	
1:50 太白粉膠液	下列 1:40 膠液+水 2L 稀釋	0.70	弱																																																	
1:40 太白粉膠液	下列 1:30 膠液+水 2L 稀釋	1.03	中																																																	
大豆沙拉油	無	1.43	〃																																																	
二行程機油	〃	2.07	強																																																	
1:30 太白粉膠液	200g+水 6000ml(勾芡冷卻)	2.57	強																																																	
洗碗精(沙拉脫)	無	8.30	極強																																																	
1:20 太白粉膠液	300g+水 6000ml(勾芡冷卻)	16.8	極強																																																	

4.浮油環境的模擬方面，由於油品種類繁多，取得困難且多具危險性，此階段的實驗我們以比重約 0.8 的大豆沙拉油添加於比重 1.025 的藍色食鹽水中來進行模擬。

五、實驗方法及研究結果

《研究一》浮筒、浮具的基本特性及變因探討

【實驗一一1】採用何種樣式的圓柱浮筒較有利於漂浮的平穩性及荷重性？

(一) 實驗方法：

- 1.如圖 8，準備高筒(A)、扁筒(B)、寬扁筒(C)各一個；A 筒為 B 筒的兩倍高，兩者底面積相同；B 筒與 C 筒等高，但 C 筒底面積較大。
- 2.在浮筒上蓋中心處固定一具側傾儀。
- 3.如圖 9，各浮筒用空針筒定量注水並放入水槽，連續測量浮筒補水後的傾角變化。
- 4.同時測量筒底沒入部深淺兩側的平均吃水深度。
- 5.直到浮筒頂蓋傾斜至沒入水面下或翻覆，停止實驗。

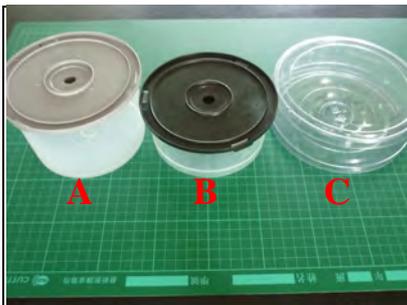
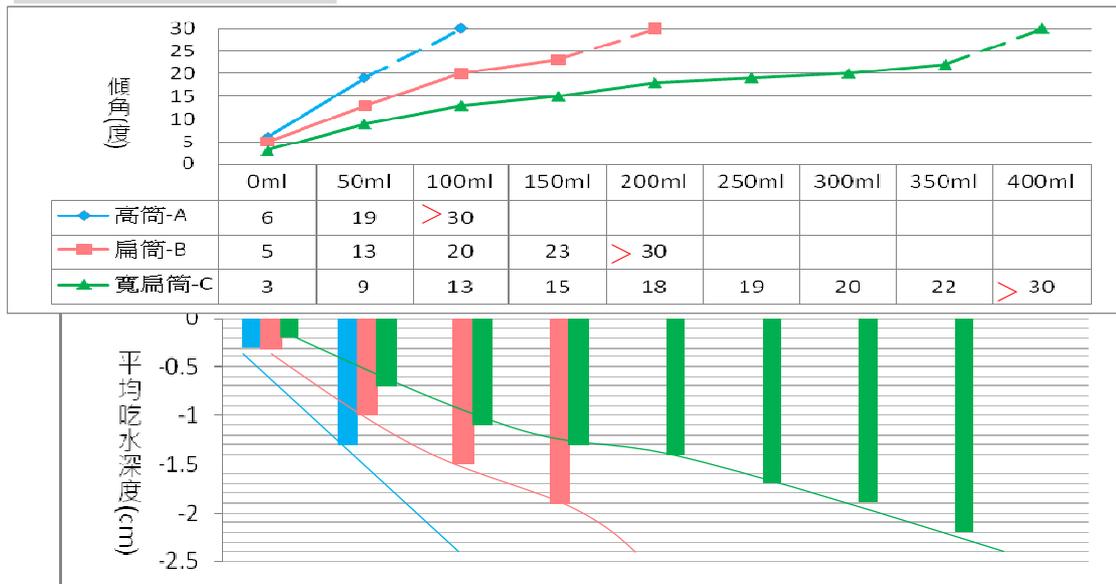


圖 8、不同樣式的浮筒



圖 9(a)(b)、側傾角之測量

(二) 實驗結果及探討、改進：



(※註：表中的虛線及傾角 $> 30^\circ$ 表示浮筒頂蓋已沒入水面下或翻覆)

表 5、不同樣式浮筒的性能比較

1. 浮筒傾角及吃水深度均隨注水量的補注而增加，但比較三組的傾角變化率，可發現：高筒 A 注水 50ml 便傾斜至液面覆蓋的程度，穩性及荷重性很差；寬扁筒 C 則注水到 350 ml 才逼近液面覆蓋的狀態，穩性及荷重性都明顯優於高筒 A。綜合各項性能表現而言，寬扁筒 C > 扁筒 B > 高筒 A。
2. 浮筒的穩定性及荷重性與其外型有很大的關聯。對於等底面積的浮筒而言，高度愈高，荷重時重心位置便隨之上移，愈不利於飄浮時的穩定；對等高的浮筒而言，造型愈寬則愈有利於漂浮時的穩定及荷重。
3. 決定以寬、扁造型的 C 筒作為浮筒主體，但如果只靠浮筒自身的浮性在海面漂浮，平穩性及荷重性都會明顯不足，是不是能借助其他浮具作進一步的改良？

【實驗一—2】加裝不同厚度的保麗龍浮板，對於浮筒的浮性、平穩性及荷重性有何影響？

(一) 實驗方法：

1. 如圖 10，準備保麗龍板 (D、E、F) 三片，分別固定於寬扁筒底部當作浮板，三板的面積與空盒底面積都相同，但厚度分別為 1 cm、2 cm 及 3 cm。
2. 重複【實驗一—1】的 2~5 步驟，測試各組浮筒性能並與【實驗一—1】C 筒比較。

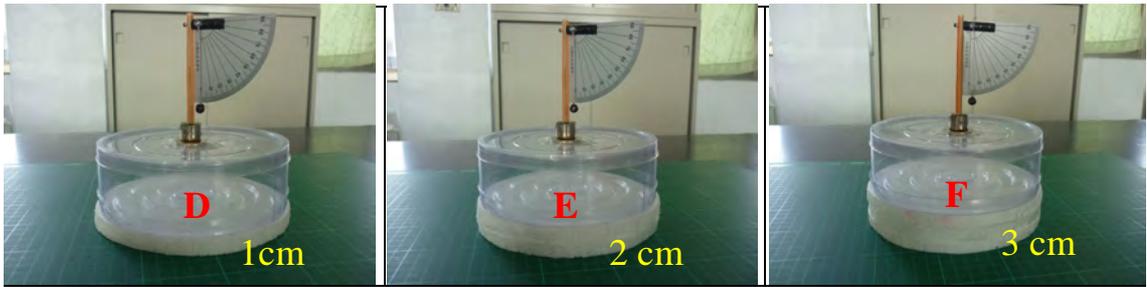
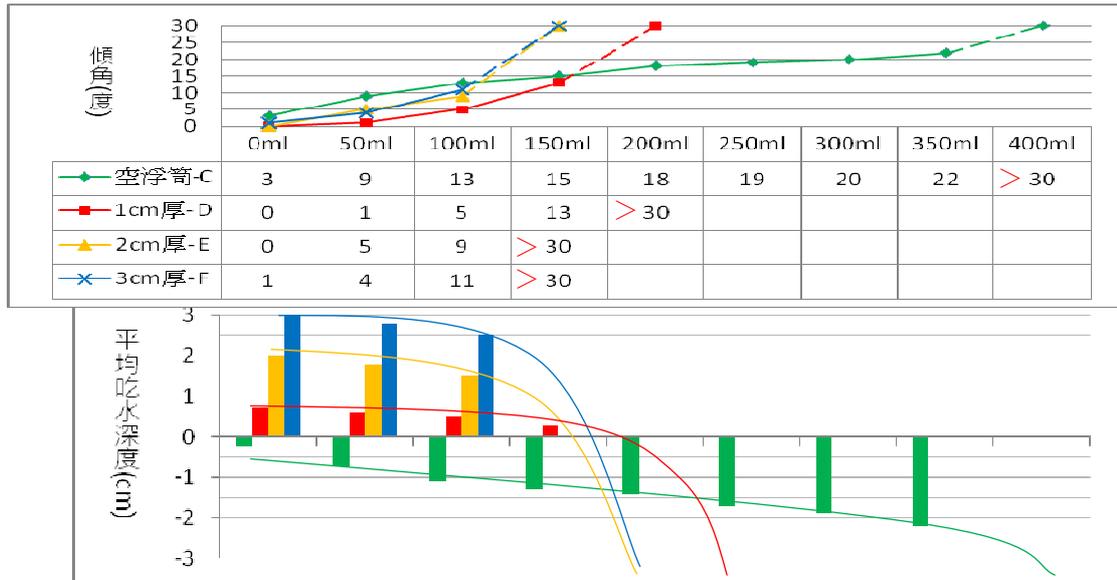


圖 10、加裝不同厚度的保麗龍板

(二) 實驗結果及探討、改進：



(※註：平均吃水線為正值者表示筒底位準高於水面；負值者表示低於水面。)

表 6、不同厚度浮板之浮筒性能比較

- 1.加裝厚浮板的 D、E、F 三組浮筒浮性增加（底部均高於水線），但荷重都不超過 150 ml 就翻覆，穩性反而比未加裝的空浮筒 C 還差。
 - 2.由上述結果可知：浮性好不代表穩性佳。加裝浮板可以改善浮筒的浮性，但若浮板厚度加得太厚，會使得整體重心隨浮筒抬而上升，造成頭重腳輕，穩性反而變差。
 - 3.大王蓮用寬大的蓮葉面積來增加自身浮性和穩性，這項特性我們是否可加以應用？
- 【實驗一—3】加裝不同底面積的浮板對於浮筒的浮性、穩性及荷重之影響？

(一) 實驗方法：

- 1.如圖 11，準備保麗龍板（G、H、I）三片，分別固定於寬扁浮筒底部，三板厚度均為 1 cm 厚，但面積則分別為浮筒底面積之 1 倍、2 倍、3 倍大。
- 2.重複【實驗一—1】的 2~5 步驟，測試各組浮筒性能並與【實驗一—1】C 筒比較。

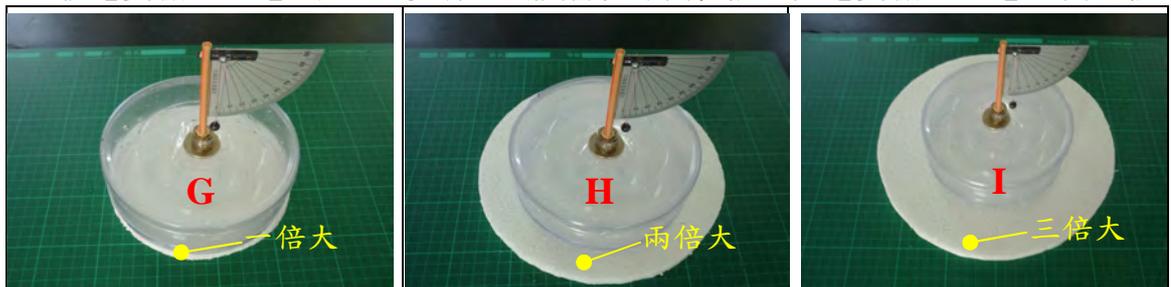


圖 11、加裝不同底面積的保麗龍板

(二) 實驗結果及探討、改進：

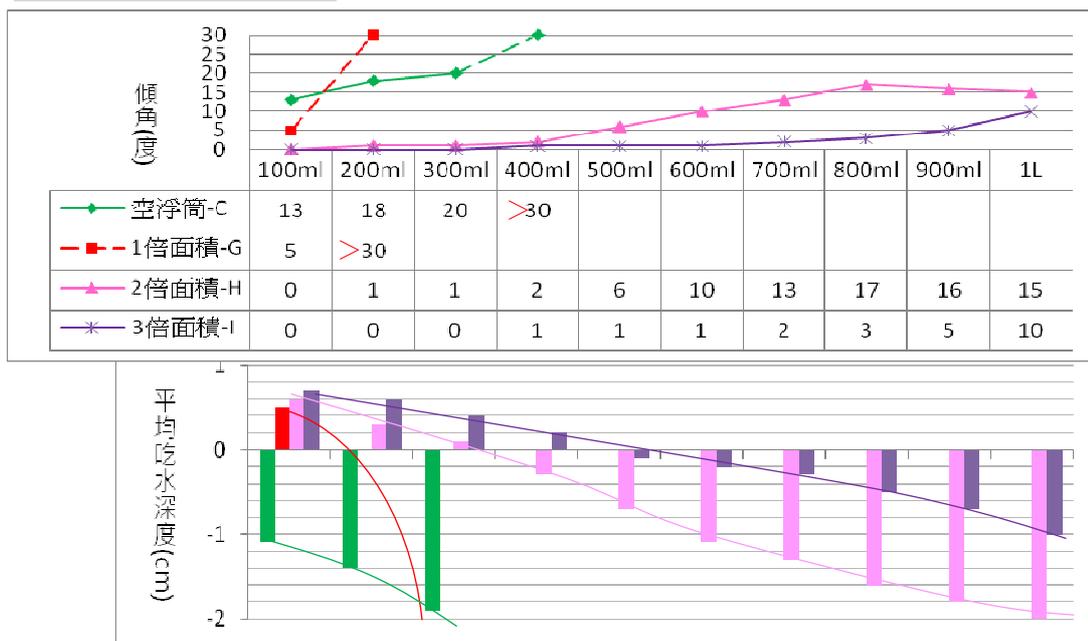


表 7、不同底面積浮板之浮筒性能比較

1. 一倍面積浮板的浮筒 G 荷重無法超過 200ml，性能表現遠遠不及二倍面積的浮筒 H；三倍面積浮板的浮筒 I 荷重至 1000ml 時只沒入水面下 1cm，各項性能都是最好。
2. 與空浮筒 C 相對照，加裝二倍以上面積的浮板，平穩性、浮性及荷重性均大幅改善。
3. 與【實驗一—2】結果相對照，浮具 H 和 E 同為 G 的兩倍體積，浮具 I 和 F 同為 G 的三倍體積，但加寬型的 H、I 組表現優異；加厚型的 E、F 組卻得到反效果。
4. 雖然大面積保麗龍浮板的性能不錯，但機械強度（抗變型力）很差，可能無法承受海浪的連續拍擊而碎裂，是否有其它可行的替代方案？例如：保麗龍球？
5. 布袋蓮莖部的四周分布著許多膨大的葉柄，形成環繞的浮囊來幫助自身的穩定漂浮，它的特殊構造是不是也值得我們借鏡呢？

【實驗一—4】浮筒周圍如果改用不同直徑的保麗龍球作為浮具，效果如何？

(一) 實驗方法：

1. 如圖 12，在空筒底固定三支竹籤，呈 Y 字型配置。
2. 在三支竹籤上各固定一顆保麗龍球（共三顆），依球徑大小，分 3 cm、4 cm、5 cm、6 cm 四組進行性能測試。
3. 重複【實驗一—1】的 2~5 步驟，測試各組浮筒性能並與【實驗一—3】結果比較。

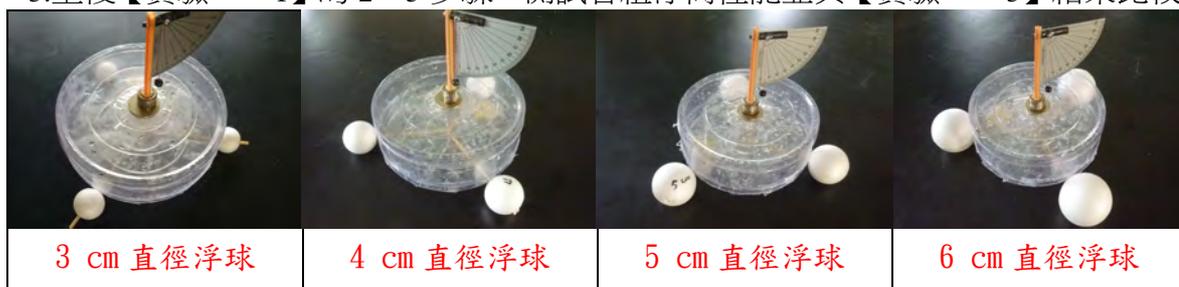


圖 12、不同直徑的保麗龍球浮具

(二) 實驗結果及探討、改進：

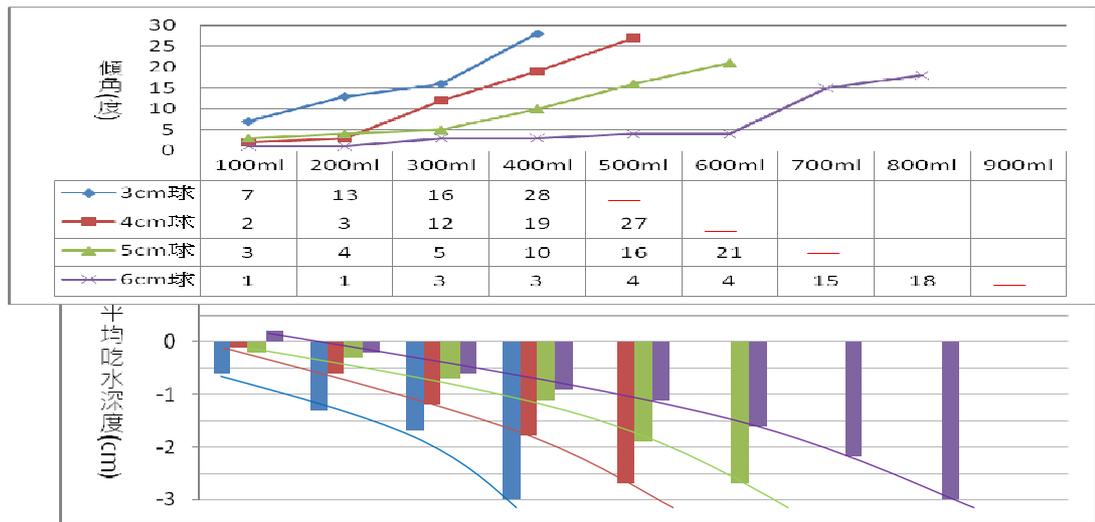


表 8、不同浮球直徑之浮筒性能比較

- 1.球徑愈大，各項性能表現愈佳，但若與【實驗一—3】結果對照，改用三顆保麗龍球當作浮具，平穩性、浮性及荷重性都不會比大面積的保麗龍板來得好。
 - 2.上述結果有可能是浮球體積不足的緣故，再嘗試增加浮球數，看看能不能改善？
- 【實驗一—5】浮筒周圍若增加浮球配置數，是否能提升穩性、浮性及荷重性？

(一) 實驗方法：

- 1.如圖 13，準備 5 cm 球徑保麗龍球三~六顆，分別用竹籤固定在浮筒筒周三~六等分圓的外側，使配置方式分別呈 Y 字型、X 字型、☆字型、* 字型。
- 2.重複【實驗一—1】的 2~5 步驟，測試各組浮筒性能並與【實驗一—4】結果比較。

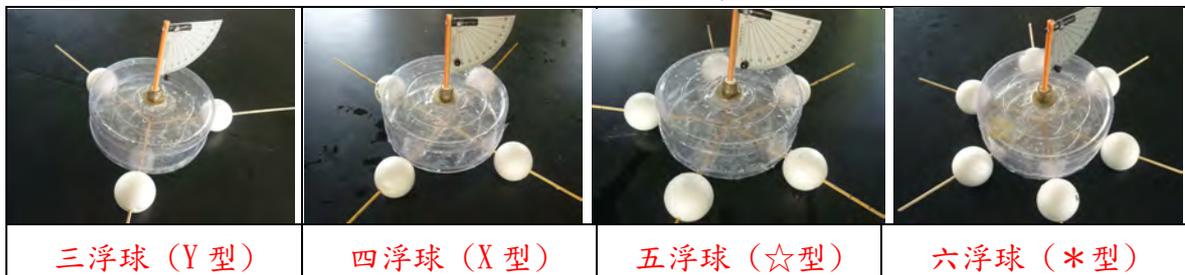


圖 13、不同浮球數量之配置方式

(二) 實驗結果及探討、改進：

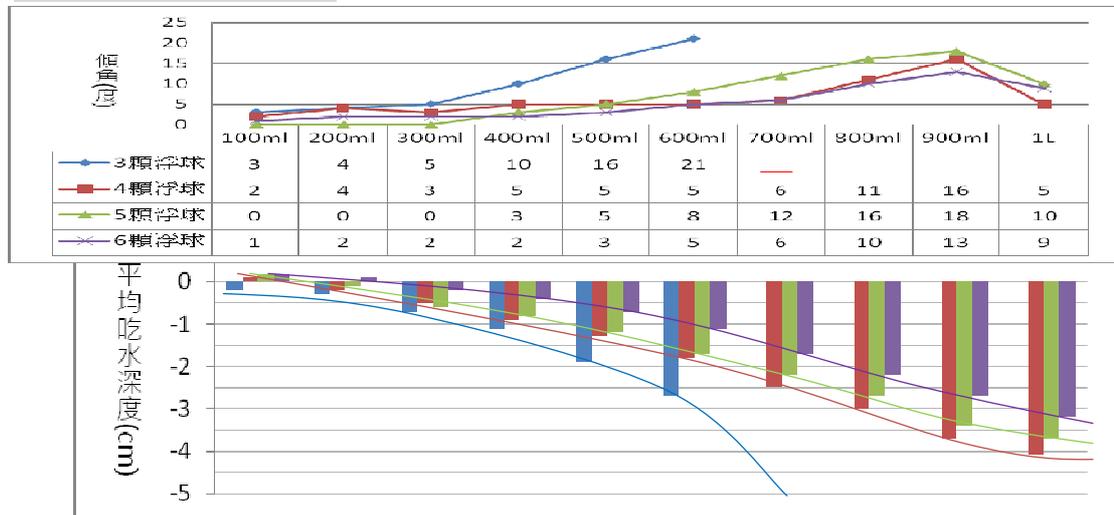


表 9、不同浮球數之浮筒性能比較

- 1.與【實驗一—4】數據比較，增加浮球後各項性能都有顯著提升。但其中以三浮球浮筒荷重表現較差（600ml），其餘四、五、六浮球組的荷重能力均可達 1000ml。
- 2.發現累積注水量達滿容量 1000ml 時，浮筒傾角不增反減；研判應是自由液面效應受到浮筒外型的限制，而產生的回穩現象。
- 3.三浮球、五浮球浮具穩性相對較差，可能是對稱性較難掌握，若稍有偏差，就會呈現「一面倒」的狀態；四浮球及六浮球較平穩，但六浮球的浮性及穩性又比四浮球稍佳。因此，浮具採六浮球*字型配置是較佳方案。

【實驗一—6】若增加浮球臂長度（即保麗龍球與浮筒之距離），效果如何？

(一) 實驗方法：

- 1.如圖 14，準備 5 cm 球徑的保麗龍球六顆，採*字型配置在浮筒外圍，利用長竹籤作為浮球臂，從筒身外緣為起點，在竹籤上每距離 2cm 標記一個刻劃。
- 2.依刻劃逐步調整浮球臂長度，分 0、2、4、6、8 cm 五組進行測試。
- 3.重複【實驗一—1】的 2~5 步驟，測試各組浮筒性能並進行數據的分析、比較。

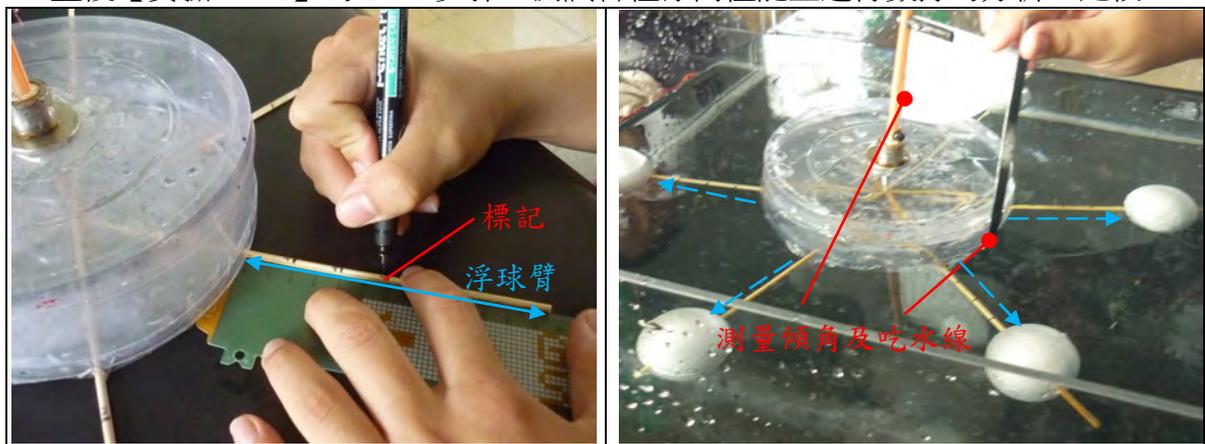


圖 14、增長浮球臂之浮筒性能測試

(二) 實驗結果及探討、改進：

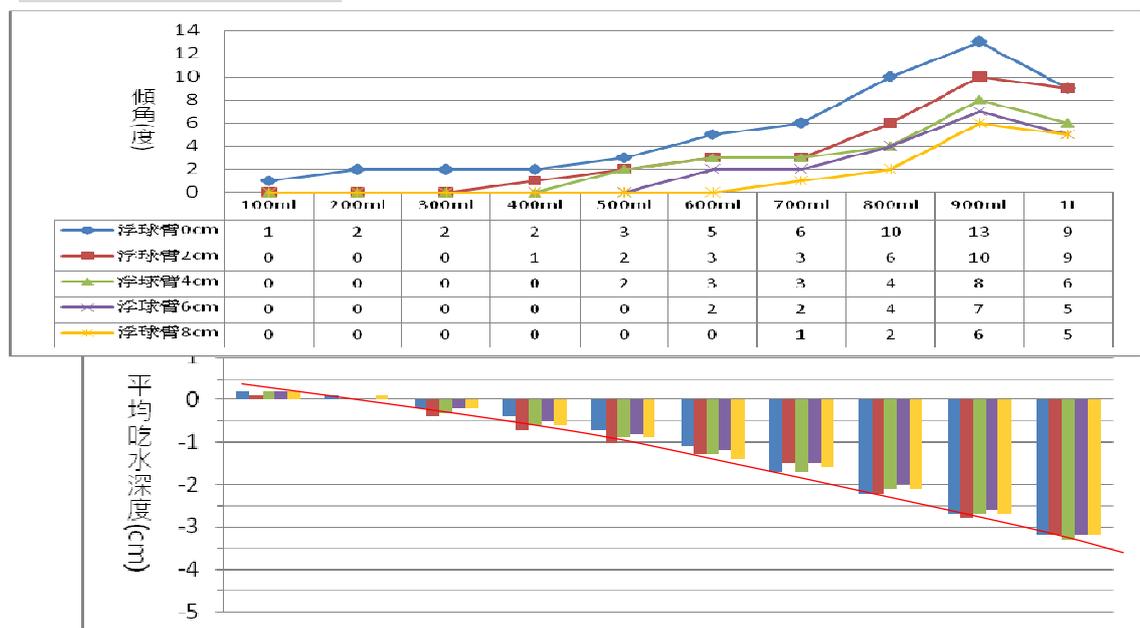


表 10、不同浮球臂長度之浮筒性能比較

1.浮球臂愈長，傾角變化量愈小，穩性愈好。但五組平均吃水深度並無顯著差異，可知加長浮球臂無法增加浮筒的浮性（因排開液體總體積不變），但卻能有效提升浮筒平穩性。這可能是浮球臂加長後，浮球的回正力矩增大，足以抗衡浮筒側傾時重力、浮力形成的力偶作用，所以能使得重心、浮心保持在同一垂直軸線上，有效抑制側傾。

2.愈長的浮球臂愈佔空間，且有折斷之虞，故浮球臂長度設定為 2 cm 即可。

【實驗一—7】浮筒內部的荷重量是否會影響浮筒側傾後的自動回正？

(一) 實驗方法：

- 1.準備 6 cm 球徑的保麗龍球六顆，採 * 字型配置在浮筒外圍。
- 2.如圖 15，在浮筒底部固定一個迴紋針，並綁上一條棉線。
- 3.用拉動棉線的方式來控制浮筒的側傾角度，當棉線下拉至側傾角觀測器呈 20°時，放開棉線，使浮筒藉浮球浮力自動回正，同時以動態影像記錄整個過程。
- 4.逐次定量注水，每次累加 100 ml，至累積水量為 900 ml 為止。
- 5.如圖 16，運用 Avidemux 動態影像剪輯軟體來分析浮筒回正所需的時間。

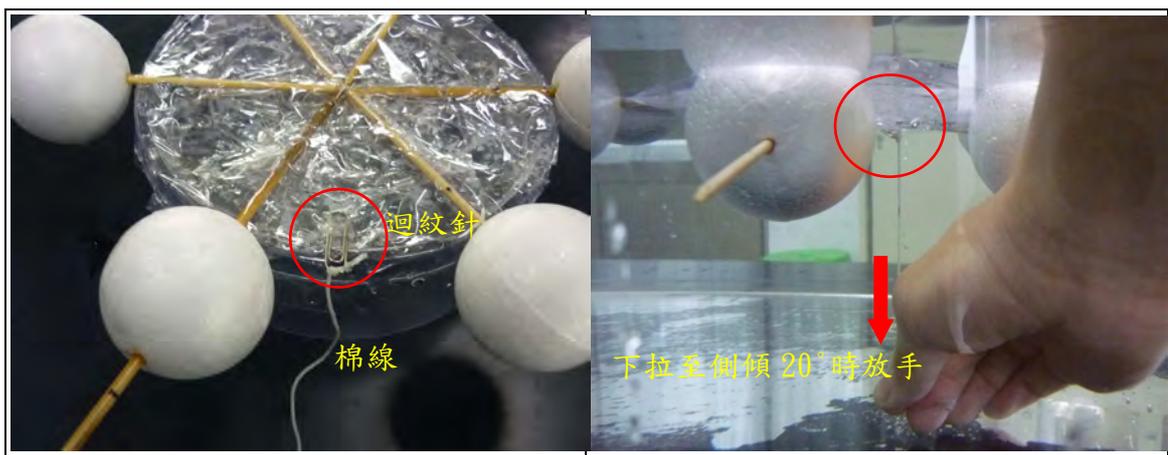


圖 15、浮筒回正試驗



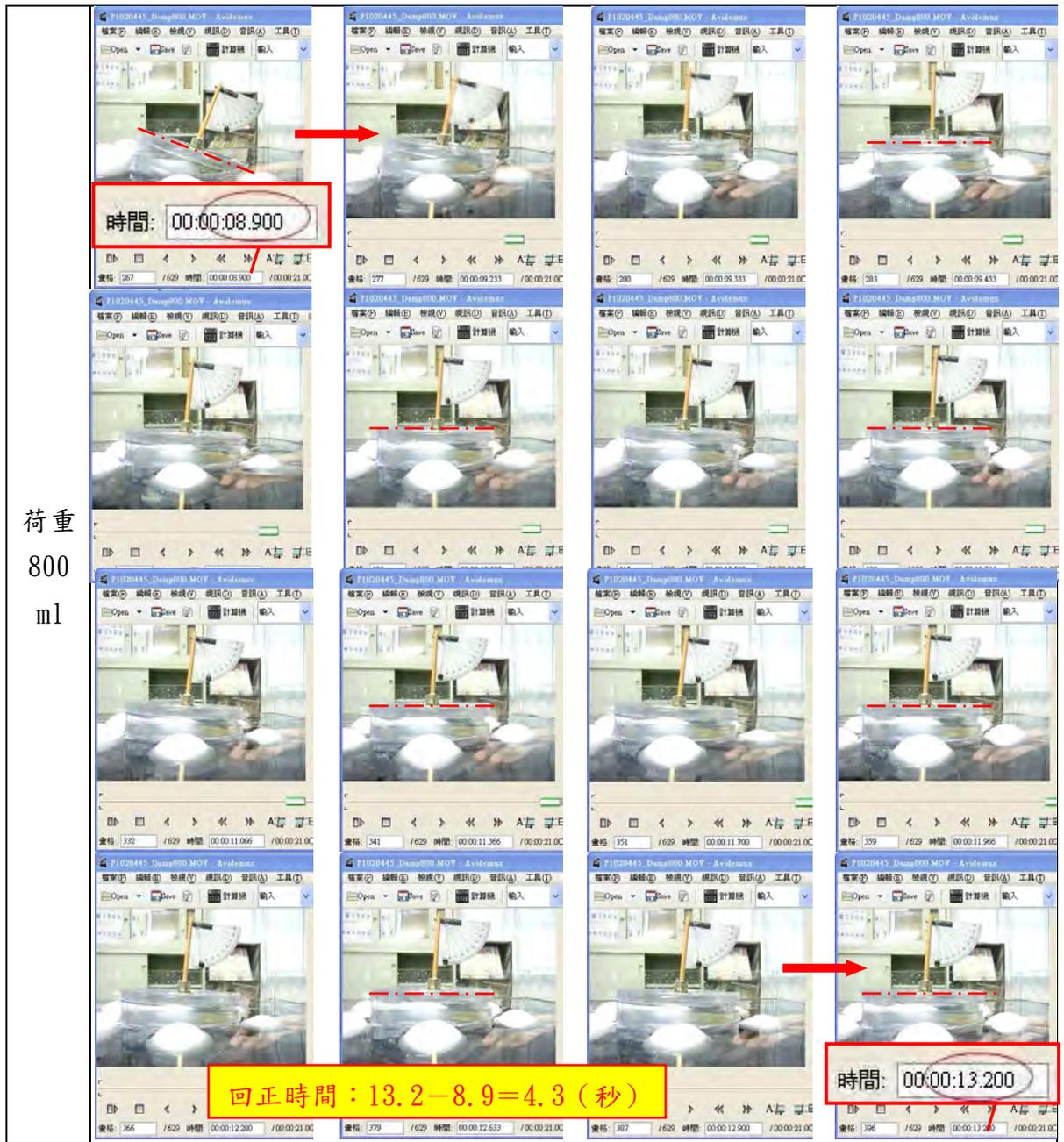


圖 16、浮筒回正時間測量方法(以浮筒注水量 200ml、800ml 示例)

(二) 實驗結果及探討：

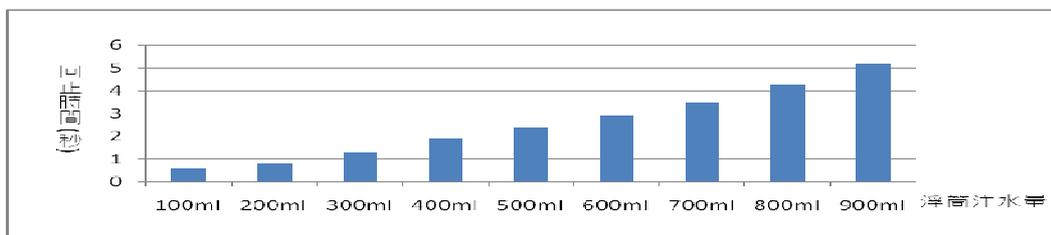


表 11、不同荷重量下之回正時間

1.結果顯示，在外力（如風、浪）作用下，浮筒的荷重對於浮具的回正機制有相當程度的影響；荷重愈重，自由液面效應愈明顯，回正時間會受慣性影響而增長。故集油艙的設計容量大約半滿（500ml）即可。

《研究二》離心泵浦基本性能測試及變因探討

【實驗二-1】**改變離心泵浦的導管仰角是否會影響流體的拋射高度(揚高)?**

(一) 實驗方法：

- 1.因泵浦導管的仰角必須大於漏斗型內筒的斜面角度才能自由轉動，故製作 4cm 導管，仰角分別為 45°、60°、70°、80°之離心泵浦四組（如圖 17）。
- 2.製作拋射軌跡記錄筒。截取寶特瓶身一段，白紙一張捲成圓紙筒狀，嵌入直徑 11 cm 的瓶身內壁。
- 3.調整瓶內紙捲高度，以紙捲下緣為基準線，與導管口切齊（如圖 18）。
- 4.如圖 19，先架好測試台及顏料水，導管固定在顏料水面下 1 cm 深度，再以定速吹風機（風速約 9.0m / s）驅動離心泵浦，測量並分別記錄紙捲上四組導管的揚高。
- 5.運用 Avidemux 動態影像剪輯軟體測定泵浦轉速。

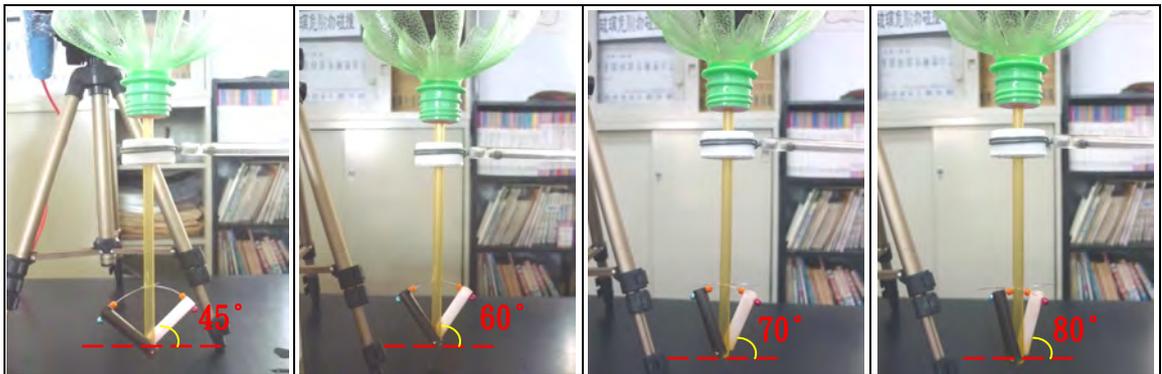


圖 17、不同仰角的汲液導管

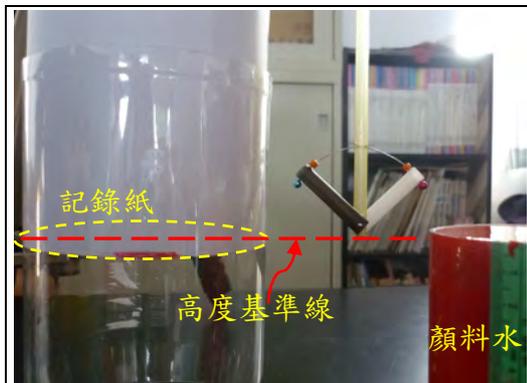


圖 18、安裝拋射軌跡記錄筒

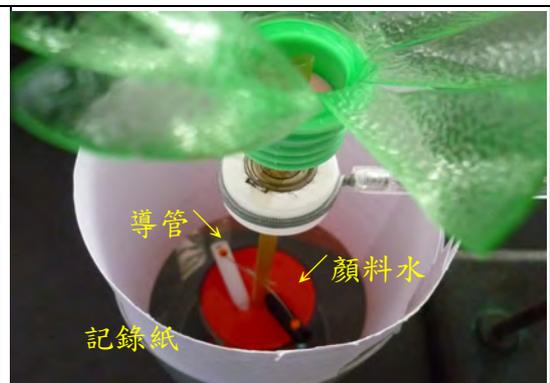


圖 19、不同仰角導管之揚高測試台

(二) 實驗結果及探討：

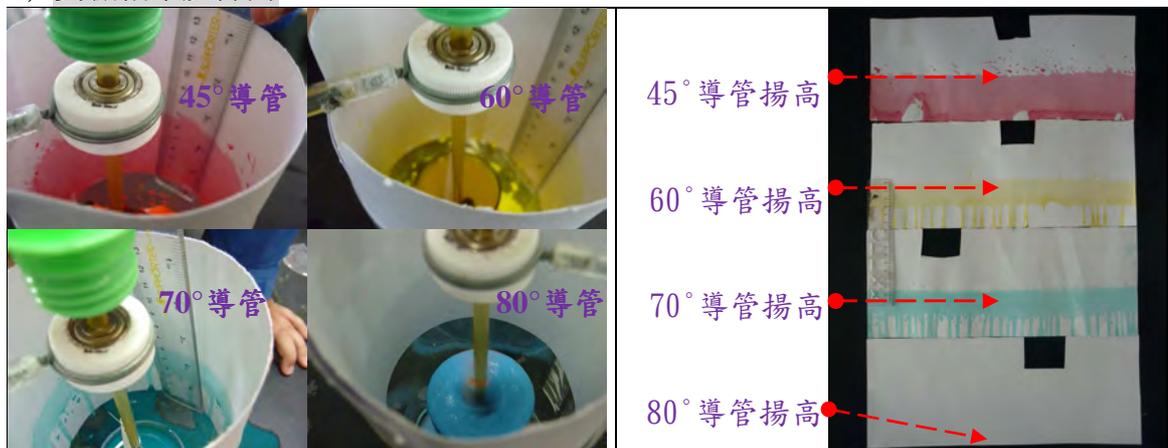


圖 20、不同導管仰角的拋射高度(揚高)軌跡圖

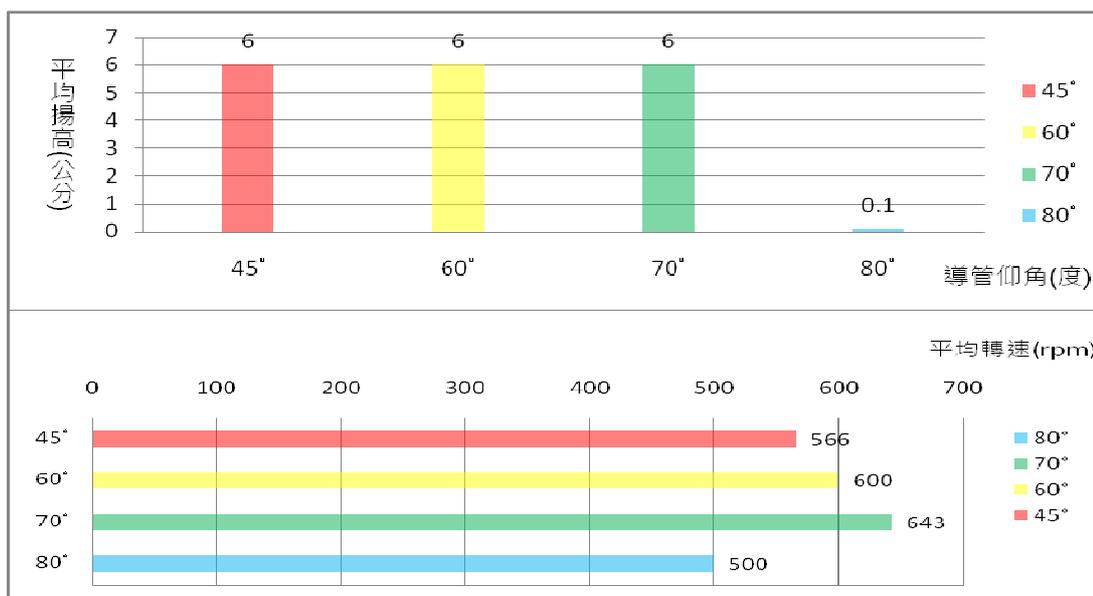


表 12、不同導管仰角的揚高及泵浦轉速

1. 實驗前我們猜測各組揚高會有所差異，但實驗結果顯示：除 80° 仰角導管之離心泵浦無法汲取液體外，其餘 45°、60°、70° 三組在 11 cm 拋射範圍內，揚高均為 6 cm，並無顯著差異。
2. 為了確保能順利汲液，決定漏斗型內筒的尺寸為：直徑 8 cm，垂直高度 4 cm。導管仰角約 45°~60° 即可。
3. 分析泵浦轉速，其結果為：70° > 60° > 45° > 80°，前三組可解釋為導管仰角愈大，張開角度愈小，使得泵浦軸旋轉半徑縮減，轉速增快。但 80° 導管明明是四組中張開角度最小的，為何轉速最慢？是不是還有其它會影響轉速的因素？

【實驗二-2】 改變離心泵浦導管的汲液深度是否會影響流體的拋射距離？

(一) 實驗方法：

1. 準備 45° 仰角、導管長度 4 cm 之簡易離心泵浦一組，以實驗支架固定。
2. 汲液深度分別設定 3.0cm、2.5cm、2.0cm、1.5cm、1.0cm、0.5cm 六組進行揚程測試。
3. 如圖 21(a)，將泵浦導管固定在壁報紙中央的量盒內，調整好汲液深度後，加入顏料水至滿水位，以定速吹風機驅動泵浦。
4. 如圖 21(b)，用捲尺分別測量各組的拋射距離〈揚程〉，並記錄結果。
5. 運用 Avidemux 動態影像剪輯軟體測定泵浦轉速。

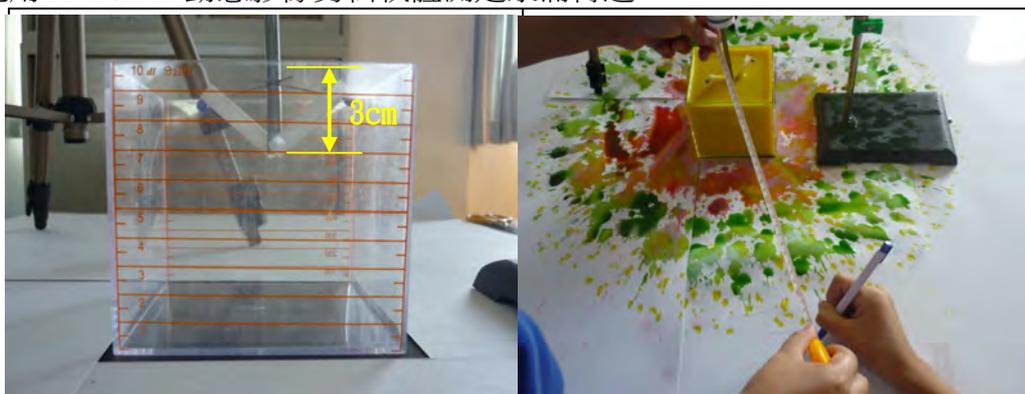


圖 21(a)

圖 21(b)

(二) 實驗結果及探討：



圖 22、不同汲液深度的拋射軌跡圖

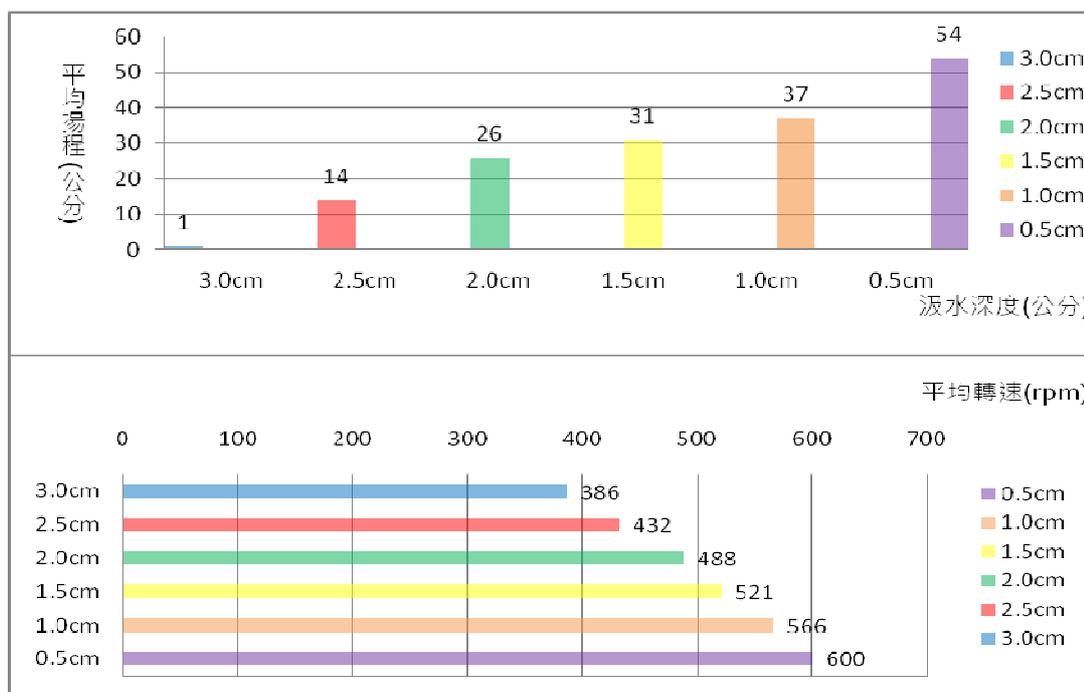


表 13、不同汲液深度的拋射距離(揚程)及泵浦轉速

1. 汲液深度達 3cm 時無法正常汲水；其餘各組的拋射範圍都呈現同心圓分布，且汲液深度愈淺，揚程愈遠。這個結果證明：流體會對泵浦導管形成阻力，愈大的阻力會導致泵浦轉速下降及揚程的損失。
2. 此結果也為上述【實驗二-2】的轉速問題提供了合理的解釋：70°、60°、45°這三組會因抽取顏料水而使液面持續降低，阻力減少，使得轉速提升；而 80°這一組空轉，無法抽取顏料水，阻力始終維持在定值，轉速便無法提升。
3. 心得：理想的導管口應保持在液面下 0.5~1.0 cm 之間；但泵浦與浮筒整合後，汲液深度就很難維持恆定，必然會隨浮筒荷重下沉而逐漸加深。所以汲油器在設計上，要確保足夠的浮性，以免開始汲油後，汲油導管下沉過深而無法正常運作。

【實驗二-3】 **改變離心泵浦的軸傾斜角是否會影響流體的拋射距離？**

(一) 實驗方法：

1. 在離心泵浦實驗支架上固定一具量角器，用來標定泵浦轉軸的傾斜角度。
2. 如圖 23，調整泵浦轉軸傾角，使轉軸與鉛垂線分別呈 0° 、 15° 、 30° 、 45° 夾角之傾斜狀態。
3. 準備 4cm 長、 45° 仰角導管，汲水深度固定為 1 cm，利用定速吹風機分別驅動四組離心泵浦，再以捲尺測量並記錄壁報紙上四組不同傾斜狀態之拋射距離。
4. 運用 Avidemux 動態影像剪輯軟體測定泵浦轉速。

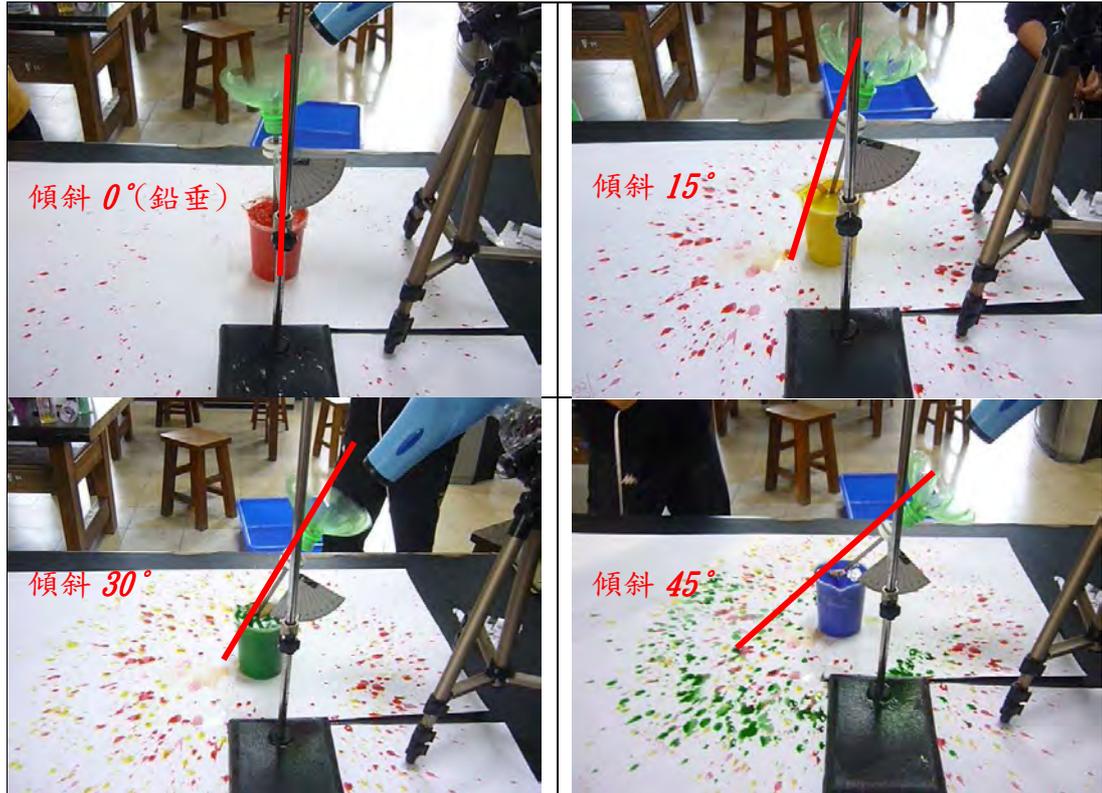
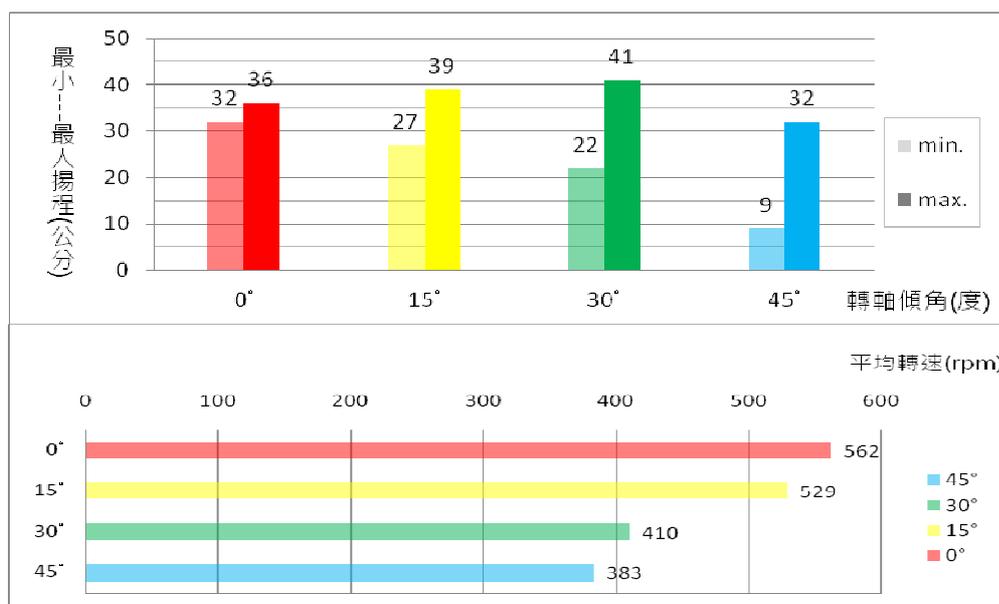


圖 23、不同泵浦軸傾角的拋射情形

(二) 實驗結果及探討：



圖 24、不同軸傾角的拋射軌跡圖



(※註：因拋射範圍不完全呈現等距分布，故揚程以最小 / 最大值表示。)

表 14、不同軸傾角的揚程及泵浦轉速

1. 泵浦轉速隨轉軸傾斜角度增加而遞減，應是汲液導管受到流體阻力干擾所引起。
2. 從軌跡圖可看出，拋射範圍在軸傾角 0° 時（紅色色點）呈現圓形的等距分布；15° 時呈黃色色點的橢圓形分布；30° 及 45° 時則呈藍、綠色點的扇形（不等距）分布。
3. 由結果可知，泵浦在浮筒略為傾斜的情況下仍具有一定的汲液能力，但效能可能會因流體阻力的增加及拋射範圍的不均勻而減損。
4. 心得：要在起伏的海面上作業，泵浦轉軸的短暫傾斜是無可避免的，所以在浮筒的設計上一定要考慮到平穩性和回正性。

【實驗二—4】改變離心泵浦的導管長度是否會影響流體的拋射距離？

(一) 實驗方法：

1. 如圖 25，製作 45° 仰角，2cm、3cm、4cm、5cm 不同長度導管的離心泵浦各一組，並分別以實驗支架固定於測試台上。
2. 置妥顏料水，汲液深度固定為 1cm，用吹風機啟動泵浦，分別測量並記錄壁報紙上四組導管之拋射軌跡。
3. 利用 Avidemux 動態影像剪輯軟體之畫格分析泵浦轉速。

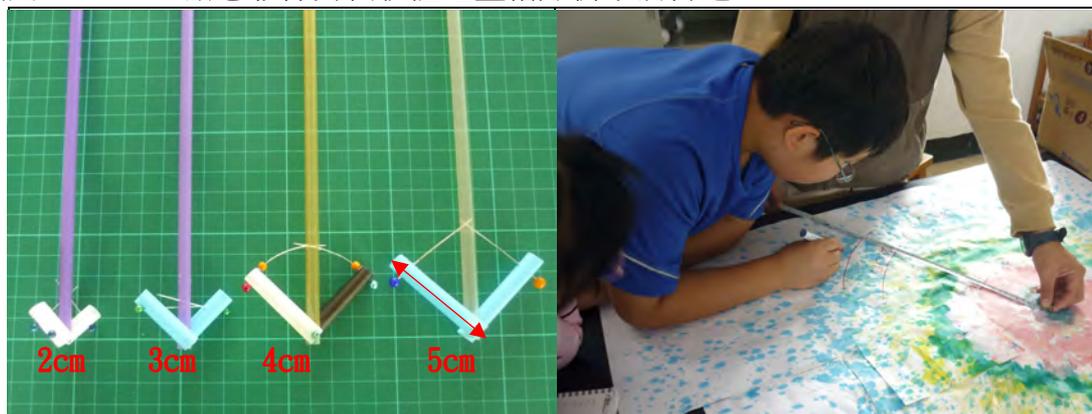


圖 25(a)、不同長度的導管

25(b)、不同長度導管的揚程測試

(二) 實驗結果及探討：

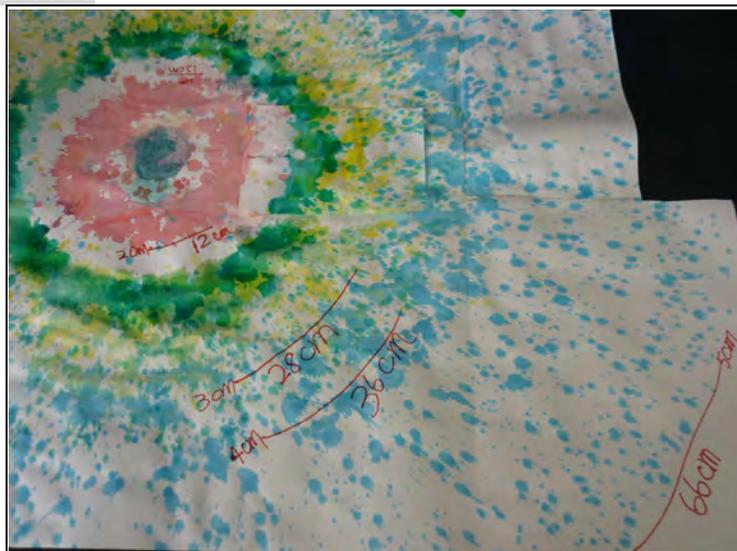


圖 26、不同長度導管的拋射軌跡圖

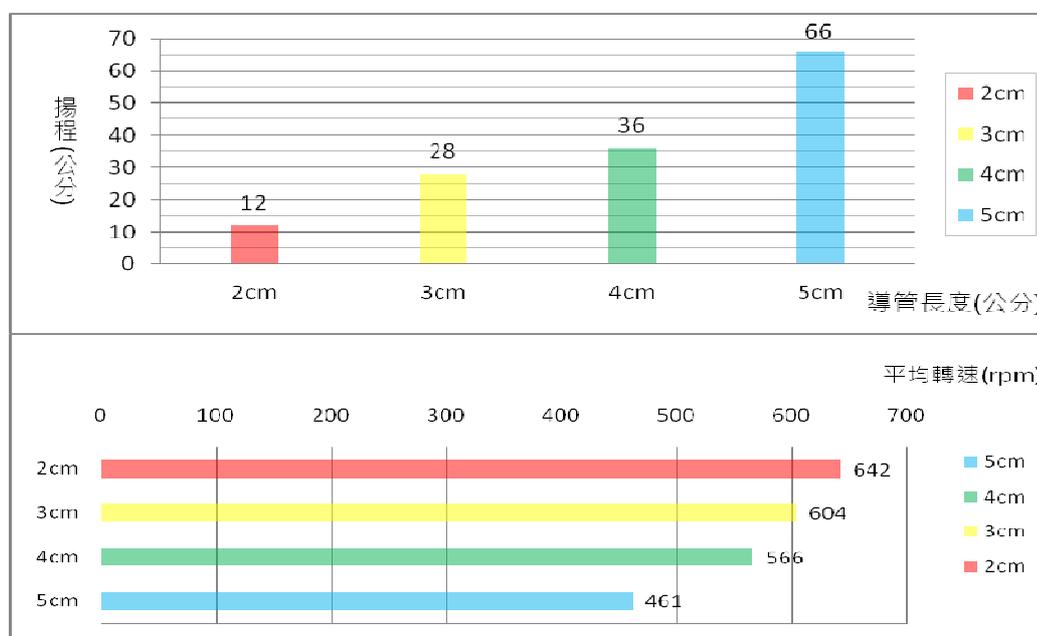


表 15、不同長度導管的揚程及泵浦轉速

- 2 cm 導管平均轉速最快，但揚程最短；5 cm 導管平均轉速最慢，但揚程卻最遠。
- 上述結果可知：泵浦轉速並非影響揚程的唯一變因；導管長度的改變亦會造成揚程的差異。以本實驗而言，5cm 導管的平均轉速雖然減緩，但管口的切線速度卻因旋轉半徑加大而提升，所產生的動量可以把流體拋甩到較遠的距離。
- 決定採用 5 cm 長度之吸管做為汲油器導管。

《研究三》汲油器整合性能測試及相關變因探討

完成第一、二階段的探究，我們以研究所得的數據為基礎，開始著手離心泵浦、浮筒和浮具的整合（原型機之部件及規格如下圖 27）。但組裝完成的原型機下水後並無法抽取液體，原因是浮筒處於空載狀態時，底部因浮球而懸空，泵浦導管接觸不到液面，造成空轉。且機體過輕，風一吹便四處漂移。

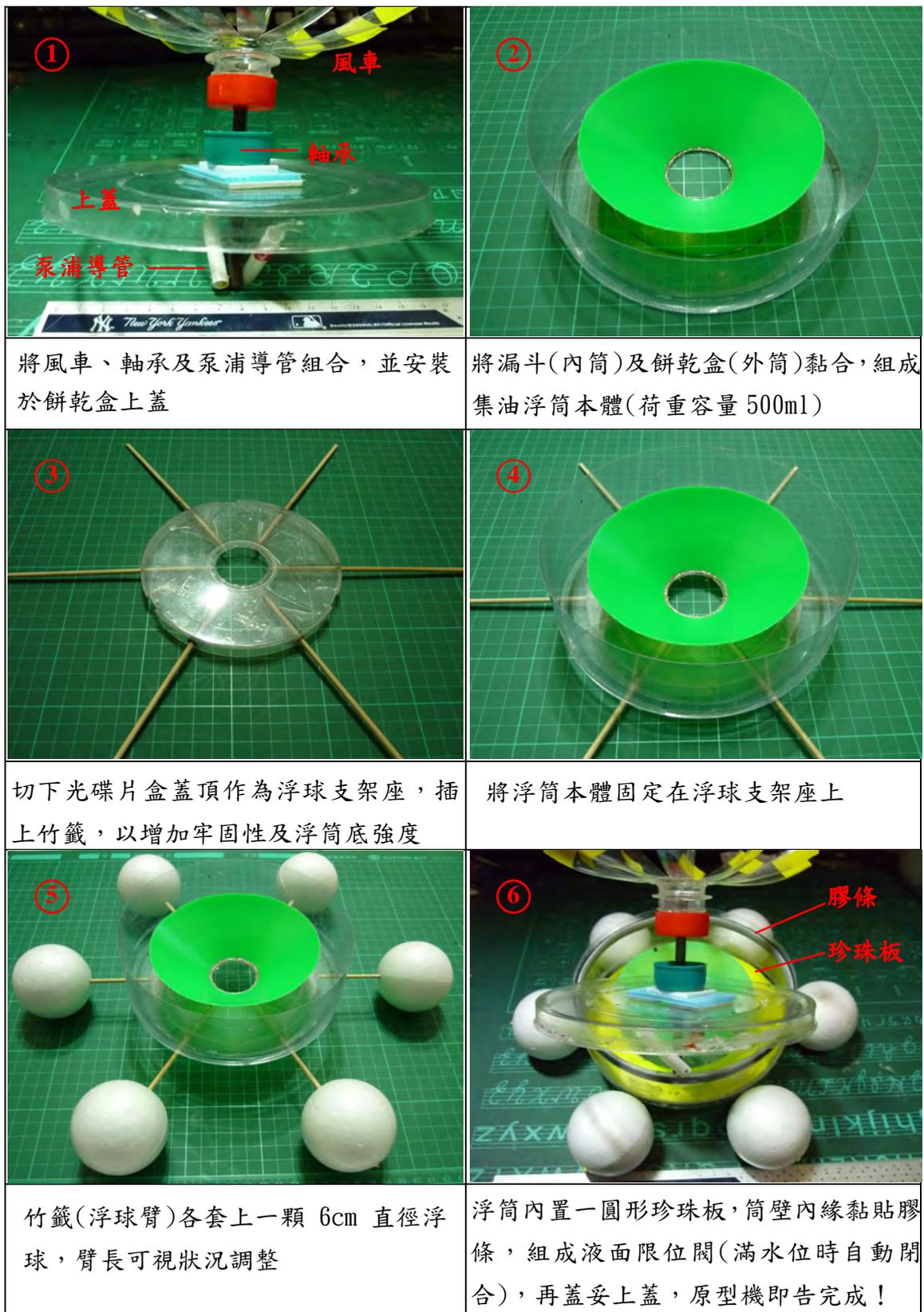


圖 27、汲油器(原型)部件及組裝說明

為了解決原型機的空轉和漂移問題，我們仿效了布袋蓮利用綿密的根系來平衡浮力以及空載船舶利用壓艙水適當調節船身吃水的原理，在浮筒底部配置適當的重量(如下圖 28)，完成第一代汲油器的組裝。也由於布袋蓮的特殊構造在設計上給了我們莫大的啓發與靈感，便決定把作品命名為——「布袋蓮號」汲油器。

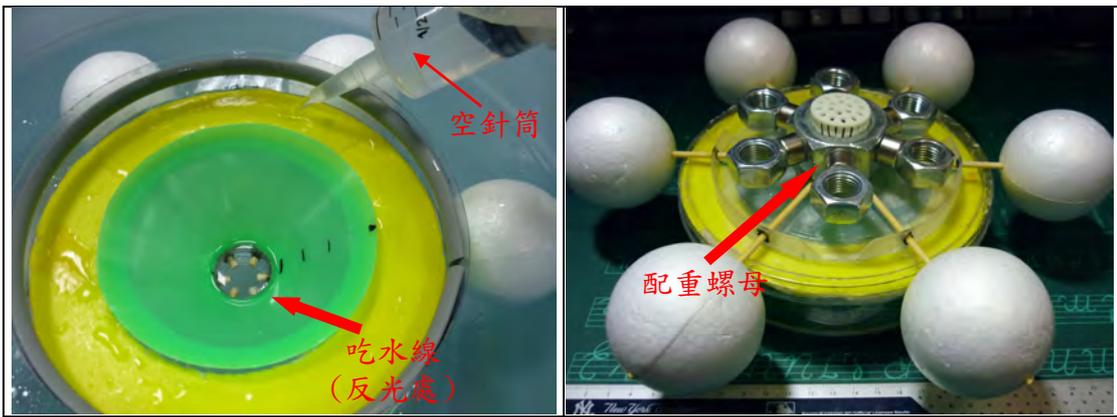


圖 28a、利用注水計重法使浮筒吃水 圖 28b、加裝與注水量等重的螺母(共 450g)

在經歷一連串的試運轉之後，我們又陸續針對第一代「布袋蓮號」的幾項缺點進行修正，接著又發展出第二代「布袋蓮號」(如下圖 29)。



圖 29、第一、二代布袋蓮號之比較及改良

整合工作終於告一段落，我們自行研發的「布袋蓮號」即將接受更嚴苛的模擬測試了！

【實驗三-1】不同程度的波浪是否會影響布袋蓮號的汲液流量？

(一) 實驗方法：

1.如圖 30，調整自製造浪機之浪板入水角度，使分別呈 30°、45°、60°、75° 入水，以

模擬不同強度的波浪環境。

- 2.如圖 31，將布袋蓮號放入水槽中，為避免受風後漂移太遠，先用棉線稍加泊定，再用直流鼓風機驅動（平均出口風速約 12 m/s）。
- 3.開始造浪並計時，以手拉放浪板，每秒往復一次之頻率激起波浪，觀察汲液情形。
- 4.當汲液至滿水位（500ml）時停止運轉，記錄所需時間，並換算為每分鐘汲油流量。

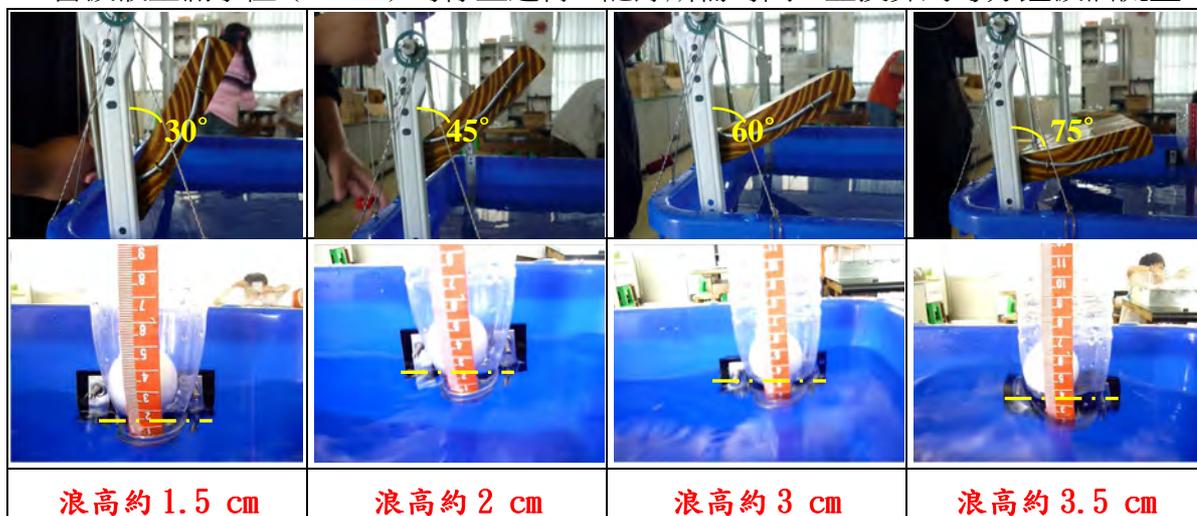


圖 30、不同入水角度的造浪板及其對應浪高(以指示器高度為準)

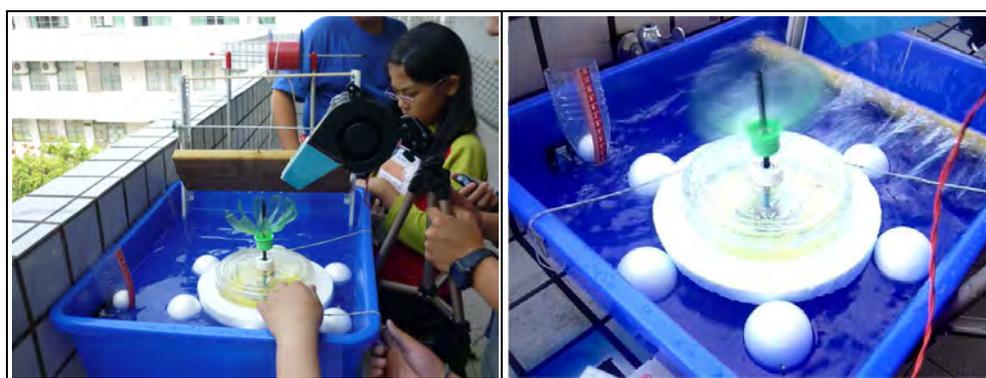


圖 31、不同波浪程度之汲液流量測試

(二) 實驗結果及探討：

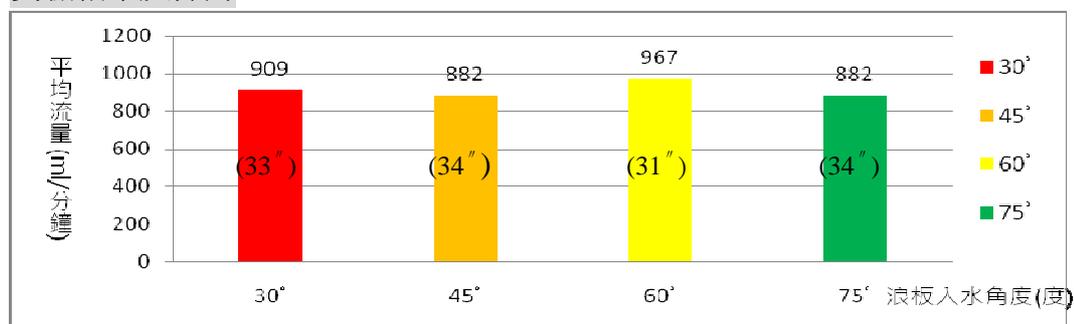


表 16、不同造浪板入水角度下之汲液流量

- 1.原本我們預測：浪頭若是愈高，汲液流量應會隨之遞減；但實驗結果顯示，**四組的流量差異並沒有預期中的大**。
- 2.實驗證明：「布袋蓮號」在常浪狀態（指浪高不超過浮筒高度）下，具有一定的汲液能力。

【實驗三—2】不同的流體黏稠度對於布袋蓮號的汲油流量有何影響？

(一) 實驗方法：

- 1.將不同比例的太白粉和水混合並加熱、冷卻，調製成不同黏稠度的膠狀溶液。依據太白粉和水的重量比，分 1：20、1：30、1：40、1：50、1：60 五組進行測試（調製方法和相對黏滯性如 P.8 表 4 之對照表所示）。
- 2.將適量的五種黏液，分別倒入水盆中（如圖 32）。放下布袋蓮號並以直流鼓風機（平均出口風速 12 m/s）驅動，運轉一分鐘（如圖 33）。
- 3.分別將汲取之膠狀溶液倒入容積盒測量，每組測量三次。
- 4.記錄一分鐘內汲取的流體平均總量，並將黏稠組之實驗結果與汲水組進行對照。

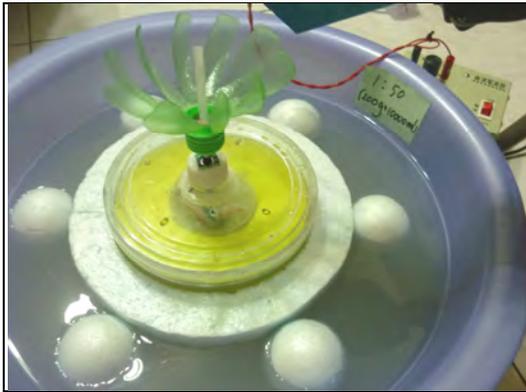


圖 32、黏稠液體測試台

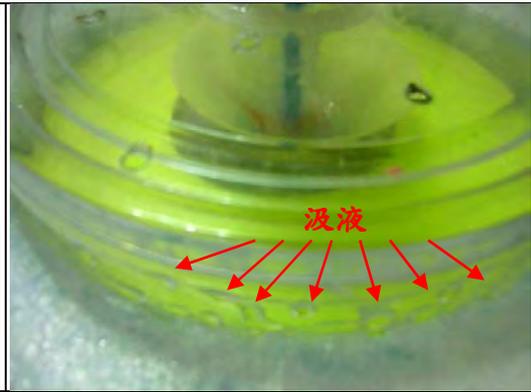


圖 33、黏稠液體的汲液情形

(二) 實驗結果及探討：

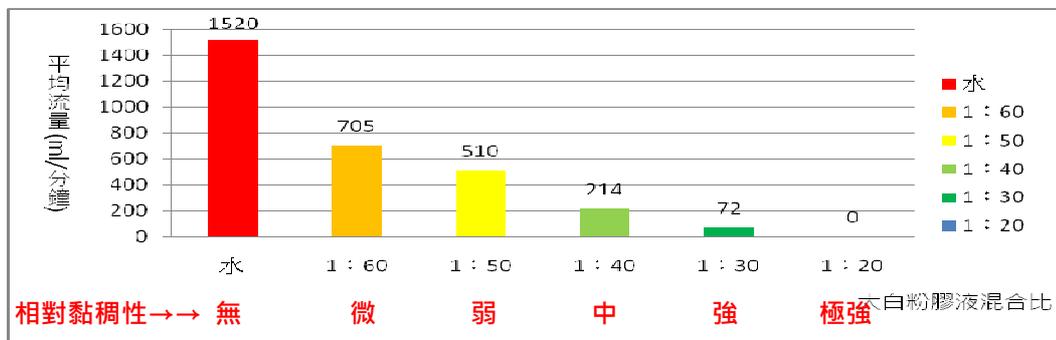


表 17、不同流體黏稠度對汲液流量之影響

- 1.流體的黏稠度對於汲油器的效能有非常大的影響；**流量隨黏稠性增加而大幅遞減**。
- 2.愈黏稠的流體愈會造成泵浦導管的遲滯，且受本身內聚力的影響，汲取會更加困難。
- 3.實驗證明：**「布袋蓮號」能汲取弱、中度黏稠性及部分強黏稠性的流體，但無法汲取極度黏稠的流體**（所述黏稠性係以 P.8 之表 4 為參照）。

【實驗三—3】浮油層的厚度是否會影響布袋蓮號的流量和汲液含油率？

(一) 實驗方法：

- 1.如圖 34，在藍色食鹽水盆中倒入不同厚度的大豆沙拉油，使浮油層厚度分別為 1.0 cm、1.5 cm、2.0 cm、2.5 cm、3.0 cm 五組，並以鼓風機驅動汲油器。
- 2.如圖 35，汲油至滿油位（500ml）時停止計時，測定各組平均流量。
- 3.如圖 36，將汲取的五組浮油分別倒入量筒中靜置一段時間，靜待油水分離。
- 4.測得各組**汲取的浮油佔總汲液高度的百分比值**，即為含油率。

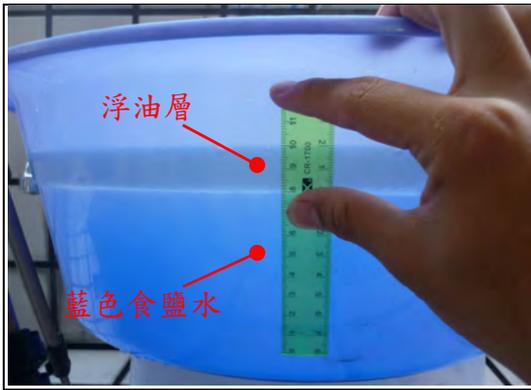


圖 34(a)



圖 34(b)

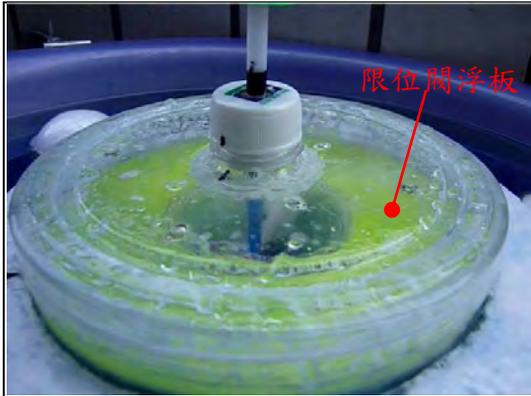


圖 35(a)



圖 35(b)

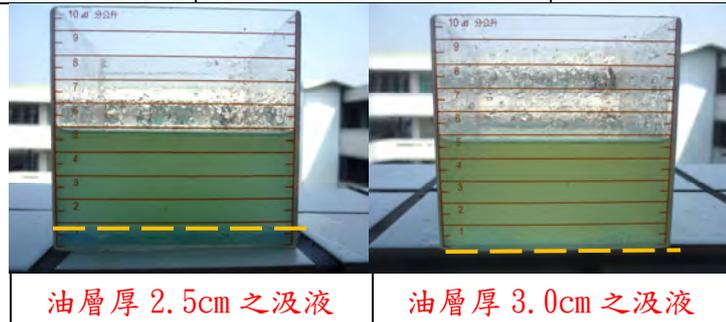
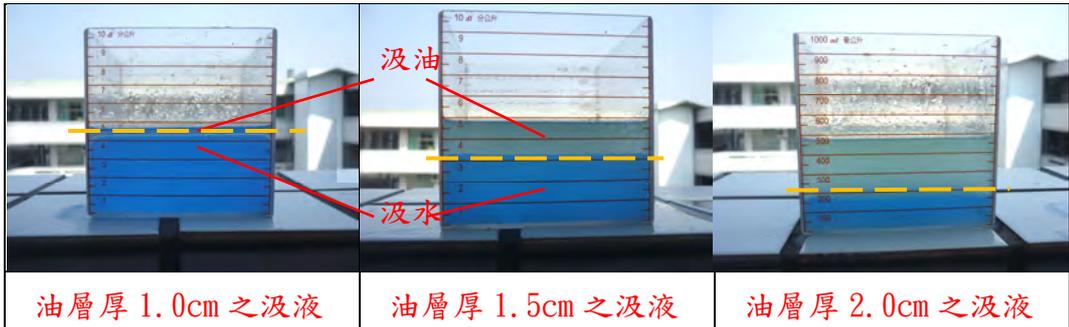


圖 36、不同油層厚度下，汲取液體之含油情形

(二) 實驗結果及探討：

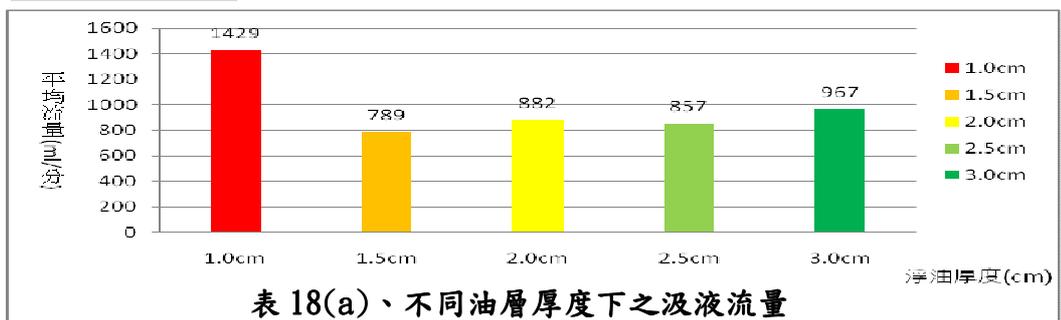
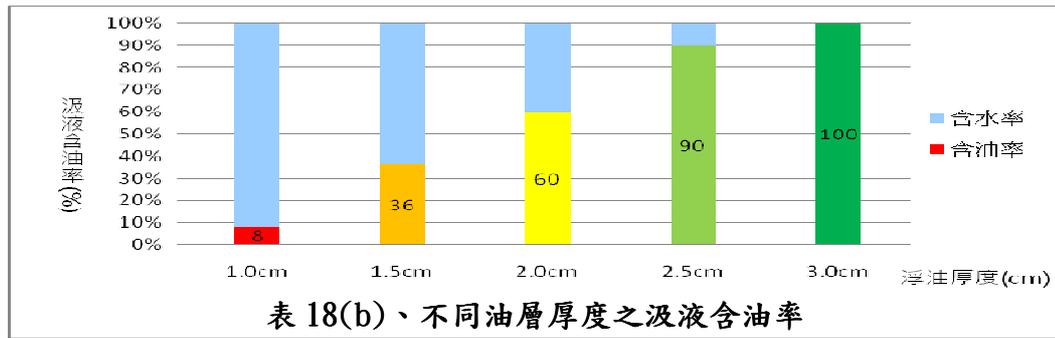


表 18(a)、不同油層厚度下之汲液流量



- 1.原本我們預測汲液流量會隨浮油厚度加深而規則性的遞減，但表 18(a)顯示：**除了油厚 1cm 組汲液流量較大，其餘四組流量差異不大。**
- 2.表 18(b)顯示：**含油率隨浮油層厚度加深而遞增；油厚 1.0cm 組幾乎抽水不抽油，油厚超過 1.5 cm 後便有可觀的含油率，油厚若超過 3.0 cm，則含油率可提升至 100%。**
- 3.觀察也發現：**汲油率也和汲油器開始荷重後，泵浦導管沉降的幅度有關，降幅愈小愈好。**一旦導管口因下沉而突破油水界面，汲油器便會吸入大量海水，而非浮油。

【實驗三-4】以其它不同型式的風車驅動是否能提升布袋蓮號的汲液流量？

(一) 實驗方法：

- 1.如圖 37，另行製作三種不同型式之垂直軸風車，分別為**雙翼型、直翼 H 型及杯型**，改裝於布袋蓮號上。
- 2.因為以上三種風車都是標準垂直軸式，所以將鼓風機風口角度調整為水平向，風口與風車受風面的距離都設定為 15 cm，並使風速維持在 12 m/s 左右。
- 3.浮油厚度固定為 3 cm，運轉一分鐘，測定各組平均流量。
- 4.記錄實驗結果，並與未改裝的簡易風車布袋蓮號進行比較。

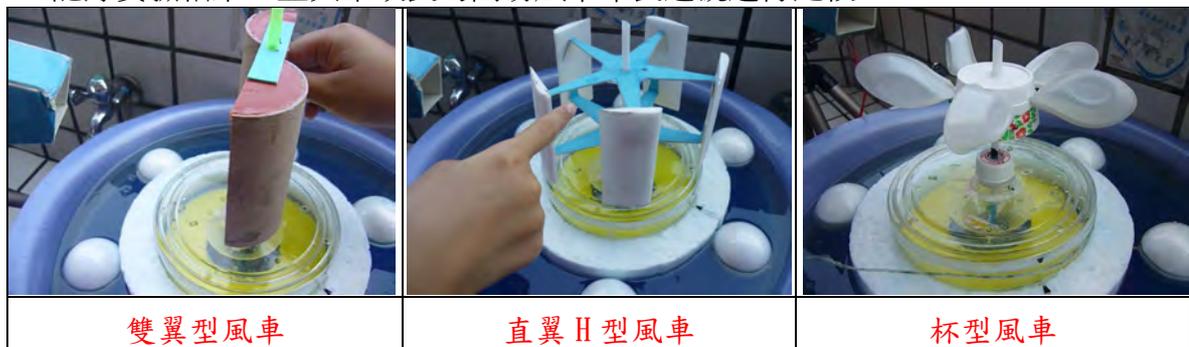


圖 37、裝配不同型式風車之汲油流量實驗

(二) 實驗結果及探討：

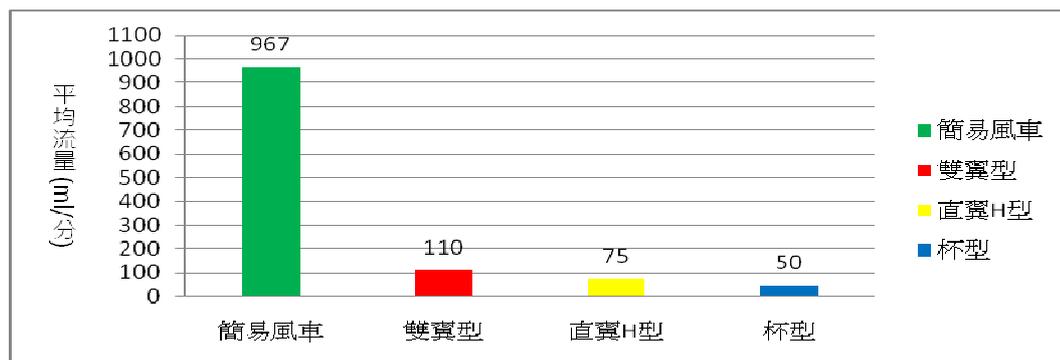


表 19、裝配不同型式風車之汲油流量

- 1.以本實驗的出口風量而言，原先採用簡易風車的布袋蓮號，汲油流量遠大於換裝其它三種風車的布袋蓮號。
- 2.由於風車是參考網路圖片自製的，除了製作技術不夠純熟之外，還有其它許多的變因（如扇葉重量、數量、掃風面積、風量需求…等），都會影響風車的性能表現。因此，我們只能說：布袋蓮號搭配簡易風車是合理可行的，但它未必是最佳方案。

伍、討論

- 一、在汲油器的試運轉過程中，我們發覺第一代汲油器在設計上存在著兩大盲點：
 - (一)上蓋採密合設計，但我們忽略了浮筒的內部空氣也佔有體積，它會因集油艙液面的逐漸上升而被壓縮，待壓縮到了一定的限度，這股「回壓」就會對泵浦導管內的拋射流體形成強大的阻力（就像壓縮到底的密閉空針筒會把活塞回頂一樣），導致汲液困難。在上蓋加開數個釋壓孔，讓筒內空氣得以排出，汲液就變得順暢、穩定。
 - (二)第一代汲取水面浮油時，總是抽到大量的水，汲油率遠遠不如預期，只有5~15%。失敗多次，才發現到：除了引流口位置一定要儘量貼近油面之外，還要設法減緩汲油器荷重後的沉降速度，使汲油導管的位準盡可能保持在油水交界面之上。我們將引流口位置提高，並在筒身側加裝浮板減緩沉降後，汲油率便獲得大幅改善。
- 二、在汲油器的流量測定過程中，我們藉由動態影像的輔助分析，發現汲油導管有可能因風車受風面的些微變動而出現順轉、逆轉、順逆交替三種運轉模式，雖然都能汲油，但轉速上並不一致，此現象可能會導致流量測定上的誤差。此外，風量的操控設備稍嫌簡陋，若能製作大型的風洞，實驗會更為精確。
- 三、限於篇幅，在【實驗三-4】的不同型式風車實驗中，我們只針對風口距離、風速等外在變因加以控制，至於風車本身的扇葉重量、數量、掃風面積…等內在變因並未加以一致化並分別探討，這部分可再延伸為專題來進行更深入的探究。
- 四、簡易離心泵浦還可應用在屋頂灑水器、澆水器、魚塭打水機…等設備，也是新奇有趣的研究主題。
- 五、關於「布袋蓮號」汲油器的實際應用，我們有以下幾點構想：
 - (一)筒底還須加裝洩油口，利用油水自然分離的特性將沉於底部的海水先行排放，再進行浮油的收集。
 - (二)我們的模型在實際應用時可將各部零件尺寸放大十倍，估算浮筒直徑約為1.8公尺、筒高55公分；滿載容量變成一千倍，可達500公升。**如果施放於海面上，應可勝任35公分浪高、15公分厚、中度黏稠性的浮油環境。**
 - (三)**可完全取代吸油棉，節省耗材成本**，且浮油的回收再利用會更為方便。
 - (四)在浮油尚未嚴重擴散的海域，因浮油層較厚，若**搭配攔油索把浮油限定在特定範圍內實施除油作業，效果會更好**（圍籬法）。
 - (五)可配合潮汐、洋流或風向，以纜繩泊定方式直接配置於近岸汙染海域（放牛吃草法）；離岸或遠洋海域則可配合中、大型船舶以定點吊掛、回收的方式作業（釣魚法）。
 - (六)可視汙染海域面積大小實施**多點配置或施放**（遍地開花法）。

(七)「布袋蓮號」以風能的運用為優先考量，但在風力不足的情形下，也可考慮配合電力輔助，利用直流馬達外接蓄電池或船舶電纜來驅動泵浦。

陸、結論

- 一、增大浮板（或浮球）的總體積，幫助浮筒排開較多液體，能有效增加汲油器的浮性。
- 二、若以橫向延展（增加面積、數量）的方法來增加浮具的總體積，較不會造成浮筒重心位置的變動或偏移，平穩性及荷重能力都遠比縱向延伸（加高）的方式更好。
- 三、延伸浮球臂長度雖然無法增加浮球的總體積，但也可有效提升浮筒的穩定性。
- 四、浮筒的回正時間與內部荷重量成正比。
- 五、離心泵浦軸的傾斜程度太大、導管的汲液深度太深或汲液太黏稠，都會使得流體阻力相對增大，造成泵浦轉速遲滯，縮減流體的拋射距離及流量。
- 六、泵浦轉速並非決定揚程的唯一變因；導管長度的改變也會造成泵浦揚程的增減。
- 七、浮油層厚度愈厚，汲油器的汲液含油率會相對提升。
- 八、決定「布袋蓮號」汲油器模型各部件規格為：簡易風車搭配寬扁造型浮筒，內筒直徑 8 cm，高度 4 cm，滿油容量 500ml；浮具由浮板及六顆 6cm 浮球組成，浮球臂 2cm；泵浦導管仰角 45°，長度 5 cm；模型底部配重 450g，可將導管口深度控制在液面下 0.5cm ~1cm 之間。
- 九、「布袋蓮號」汲油器模型無須額外耗油、耗材或耗電，在大約 12 m/s 的風速條件及常浪狀態下，有能力汲取厚度 1.5cm 以上的中黏滯度浮油（相對黏滯性參閱表 4）。

柒、參考資料

- 一、王肇禧（1973、11）。日趨嚴重的海洋污染。科學月刊全文資料庫 1973 年 11 月 47 期。取自：<http://210.60.226.25/science/content/1973/00110047/0019.htm>
- 二、海上除油大作戰（2010.10.09）。兩岸雜誌。取自：
<http://travel.sina.com/news/tnews/2010-10-08/19157519.html>
- 三、台灣鯨魚號沒撈到任何墨灣漏油（2010.07.17）。聯合晚報。取自：
<http://diginews.udn.com/forum/trackback/trackback.jsp?wid=N&aid=5730591>
- 四、海洋運輸。國立台灣海洋大學-海洋教育數位典藏。取自：
<http://meda.ntou.edu.tw/martran/?t=2&i=0015>
- 五、柯永澤。船舶科技之內涵與應用。取自：
<http://www.se.ntou.edu.tw/~shiparch/class99/1123/991123.pdf>
- 六、小野高麻呂，何學文譯（民 78）。泵浦入門（再版）。臺南市：正言。
- 七、休伊特（Paul G.Hewitt），蔡坤憲譯（2008）觀念物理 II：轉動力學·萬有引力（二版）。台北市：天下遠見

【評語】 080830

本作品是本屆科展參展作品中最具特色的作品之一，題材的選擇兼顧環保性，機械力學的實踐，作品完成度佳，在葉片組件與平衡的設計可見許多巧思，作者在展示作品時，表現也非常出色，足見此課題激發他們的研發興趣，是非常成功的科展作品。