

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 地球科學科

最佳創意獎

030502

妖魔之海百慕達沉船解謎—模擬甲烷水合物學  
說探討液體的浮力與沉船的關係

學校名稱：彰化縣立彰安國民中學

作者：  國二 陳宥豪  國二 吳宗諺	指導老師：  郭佳文  陳 迪
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：浮力、百慕達三角、甲烷水合物說

# 摘要

百慕達三角一直以來，籠罩著神秘的面紗。關於此區所發生的離奇事件，眾說紛紜！在各種假說中，可以用科學邏輯驗證的，當屬「甲烷水合物學說」。本組利用二手的壓克力透明桶，以蜘蛛爐改裝為氣體輸入裝置，自製第一代氣泡產生模擬槽，更換不同的輸入氣體、不同的流速、以及不同的密度液體模擬沉船之可能，經縣賽教評審議重新改良為第二代模擬槽，以第二模代擬槽提高實驗精密度，並增加深度、溫度等變因。發現液體(海水)中出現氣泡，浮在此區域水面的浮體(船)確實會下沉，當氣泡流速愈快，浮體下沉程度越顯著。本組認為：當浮體下沉，相對而言液體的密度因此改變，氣泡與浮體(船)接觸，在界面所提供的支持力也較低，兩者是導致沉船的主因。

## 壹、研究動機

地理課老師提到：臺灣是個四面環海的國家，各個海域都有不同的特色。其中從臺灣的西端往東北至東京，再轉南至雅浦群島，這三個地點所形成的三角形海域，被稱為魔鬼海，常發生飛機和船隻失蹤的案件。這和著名小說波西傑克森之妖魔之海一書中，其所提的妖魔之海指百慕達三角有些雷同。文中主角乃是經過了卡律布狄斯漩渦的摧殘，才度過了入口，與在此海域渡行的船隻翻覆或毀壞的情形類似，更引起我們對百慕達三角的興趣，科學家對這件事的看法也是眾說紛紜，於是我們想藉由實驗來印證假說。

## 貳、研究目的

- 一、自製海洋氣泡生成模擬槽，模擬甲烷水合物說探討浮體(船)的浮力是否與氣泡生成有關。
- 二、探討不同的氣體種類對浮體(船)沉浮的影響。
- 三、探討不同密度液體對浮體(船)沉浮的影響。
- 四、探討水深浮體(船)沉浮的影響。
- 五、探討浮體(船)水面下與液體接觸之表面積大小。
- 六、探討不同流速(氣泡生成速度)對浮體沉浮的影響。

## 參、研究設備器材

透明壓克力飲料桶、瓦斯罐、電鑽、壓克力圓環、壓克力圓板、熱熔槍、衣服、塑膠管、木條、浮標、矽膠、鐵尺、桌墊、螺絲、板手套筒、氣泡石、雙頭器閥、止水膠帶。

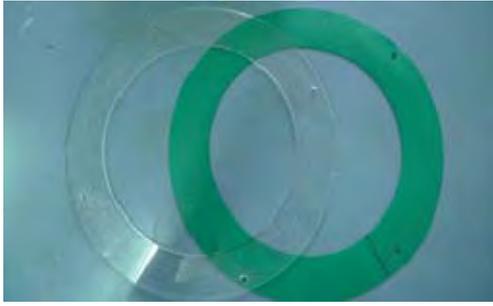


圖 3-1、圓環



圖 3-2、自製氣泡產生模擬槽



圖 3-3、模擬船之胖、瘦浮球



圖 3-4、空氣壓縮機



圖 3-5、雙頭氣閥



圖 3-6、定布架



圖 3-7、第二代自製氣泡產生長型模擬槽



圖 3-8、第一代冒泡示意圖



圖 3-9、氣泡石大、小

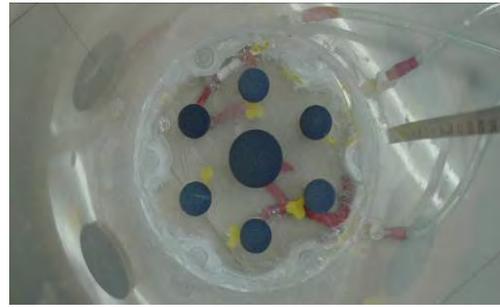


圖 3-10、氣泡產生裝置

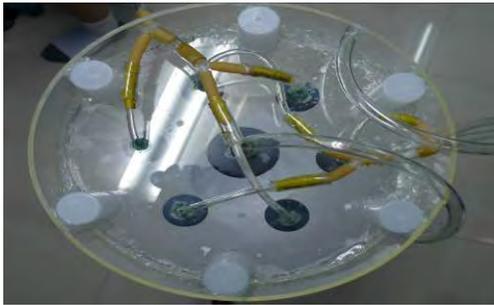


圖 3-11、管線配路



圖 3-12、流量計



圖 3-13、管線配置



圖 3-14、第二代冒泡示意圖



圖 3-15、控制氣閥  
(註：高 1m)

## 肆、研究過程

### 一、文獻探討

自二十世紀到現在，有上百架的飛機和上千艘的船隻在百慕達三角神秘失蹤，科學家對這種現象提出了各種解釋，有些是超自然現象，有些邏輯比較符合科學，如：凹面鏡說、甲烷水合物說等等。

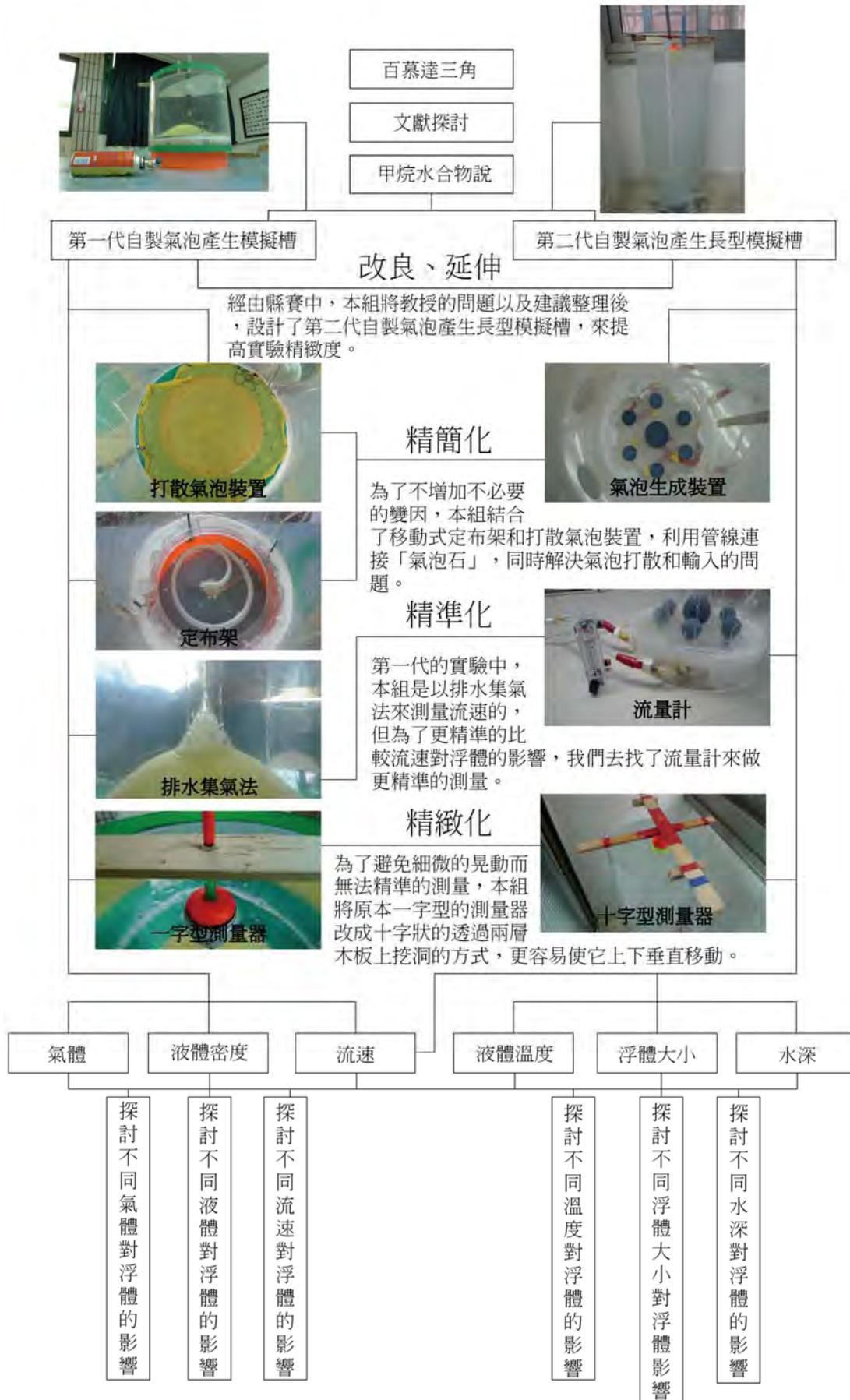
- (一) **百慕達三角地理位置**：百慕達三角常被誤稱為百慕達三角洲，又稱為魔鬼三角，位於北大西洋的馬尾藻海，是英屬百慕達群島、美屬波多黎各和美國佛羅里達州南端組成的海域，有許多經過的船隻、飛機及人員常會「神秘失蹤」，有些謎團也不過是對失蹤事件的長期誤傳，有些謎團仍有些未得到合理的解釋。(Smithsonian Institute, 2005)
- (二) **百慕達三角洋流**主要洋流以順時針方向旋轉的特定的海域，主要洋流分佈於百慕達三角四方，分別為西邊的墨西哥灣暖流，北邊的北大西洋暖流，東邊的加那利寒流，南邊的北赤道暖流。洋流是指海水運動，能使海水運動的因素有風力、海水鹽度差異和地球自轉的力(王萬邦, 2008)，分為：  
暖流：本身水溫比周圍水溫高。  
冷流：從高緯度流向中高緯度，水溫比周圍水溫低。  
涼流：從中高緯度流向低緯度，水溫比周圍水溫低，比寒流高溫。
- (三) **凹面鏡說**：百慕達三角的洋流流向剛好會形成一個巨大的旋渦，形成漩渦時從上面看就像一塊巨大的凹面鏡，當「凹面鏡」受到陽光照射時便會產生聚焦現象，此時溫度可以上升到上萬度，所以飛機、船一旦進入焦點附近，就會爆炸燃燒。
- (四) **甲烷水合物說**：英國地質學家提出，在百慕達三角海底地層有一種水和甲烷(CH<sub>4</sub>)混合成的結晶體，稱為甲烷水合物，當海底火山運動時，就會造成此結晶體被翻出來，因外界壓力減輕，便會汽化變成大量的氣泡，當大面積的氣泡散佈在海中，便會使航行的船隻，因浮力改變而沉到海中。(王怡, 2007)
- (五) **浮力**：就是指物體在液體或氣體中產生的上浮的力，當把東西丟到液體裡時，丟進去的物體占走了原本液體的體積，導致液面上升，然而占了多少體積的液體重量，就是浮力的大小(Pickover, 2013)，浮體的浮力大小為：

$$B = V \times d = W \quad B \text{浮力} \quad d \text{水的密度} \quad V \text{液面下的體積} \quad W \text{物重(船重)}$$

當物體密度 > 液體密度，此時物體會下沉；物體密度 = 液體密度，此時物體會液體中飄浮；物體密度 < 液體密度，此時物體會浮在液面上

根據古希臘學者阿基米德的一條古老法則：「如果一個物體能夠浮在水面上，那麼水的密度必須大於這個物體的平均密度。」是否當大量的氣泡佈滿水中就讓海水的浮力產生了變化，使浮在水面上的物體沉入水中呢？

## 二、研究架構



#### 四、研究方法：

##### (一) 使用第一代氣泡產生模擬槽，改變不同變因對浮體（船）沉浮之影響。

- 1、**流速**：當甲烷水合物結晶因外界壓力減輕，便會汽化變成大量的氣泡，但汽化的速率不一定會是一個定值，於是本組利用排水集氣法來測量流速，並以每秒 40 毫升、每秒 80 毫升做為操縱變因。
- 2、**氣體種類**：因甲烷是天然氣不易取得，固本組以同樣為烴類的丁烷卡式瓦斯罐，以及容易取得空氣做比較。
- 3、**液體密度**：本組實驗是以方便取用的家用自來水為主要液體，但百慕達三角是一片海域，液體為海水但又不易取得，於是本組將自來水與鹽混合到與海水的濃度相近做為不同液體的比較。

##### (二) 使用第二代氣泡產生長型模擬槽，精緻化測量不同變因，對浮體（船）沉浮之影響。

- 1、**流速**：第一代的實驗中，本組是以排水集氣法來測量流速的，但為了更精準的比較流速對浮體的影響，我們去找了流量計來做更精準的測量細分流速成 1LPM(每分鐘氣體流量，單位為公升)、2LPM、3LPM、4LPM、5LPM。
- 2、**水溫**：我們認為溫度也有可能影響浮體的下沉，於是本組利用電熱水器調節水溫做更進一步的探討。
- 3、**水深**：經縣賽後我們認為水深都有可能影響浮體的下沉，於是我們將第一代自製氣泡產生模擬槽，改良為可以大範圍控制水的高度（水深）的長型模擬槽，並以 84cm、63cm、31.5cm 做為操縱變因。
- 4、**胖、瘦浮球**：本組使用等重，但胖瘦不同的浮球（船），探討液面下與水接觸面積不同（和氣泡面積接觸不同）對沉浮的影響。

#### 四、模擬槽的製作與測量方式

甲烷水合物學說中提到當，大量氣體分佈在水中時，將會改變海水的浮力？海水的浮力真的會改變嗎？所以我們設計並自製**第一代氣泡產生模擬槽**來模擬海中佈滿氣泡的情況，並經過縣賽評審的建議後，進行改良，設計了更精簡的**第二代加長型氣泡產生模擬槽**，並增加了水深、溫度與浮體底部與液體接觸面積的變因作為探討模擬槽製作方法如下：

##### (一) 第一代氣泡產生模擬槽製作：

根據「甲烷水合物學說」提及，氣泡是從海底中慢慢冒出來的，而不是一次幾個大氣泡將船弄翻，因此我們設計了「氣泡產生模擬槽」(圖 4-1)，製作分為幾部分：

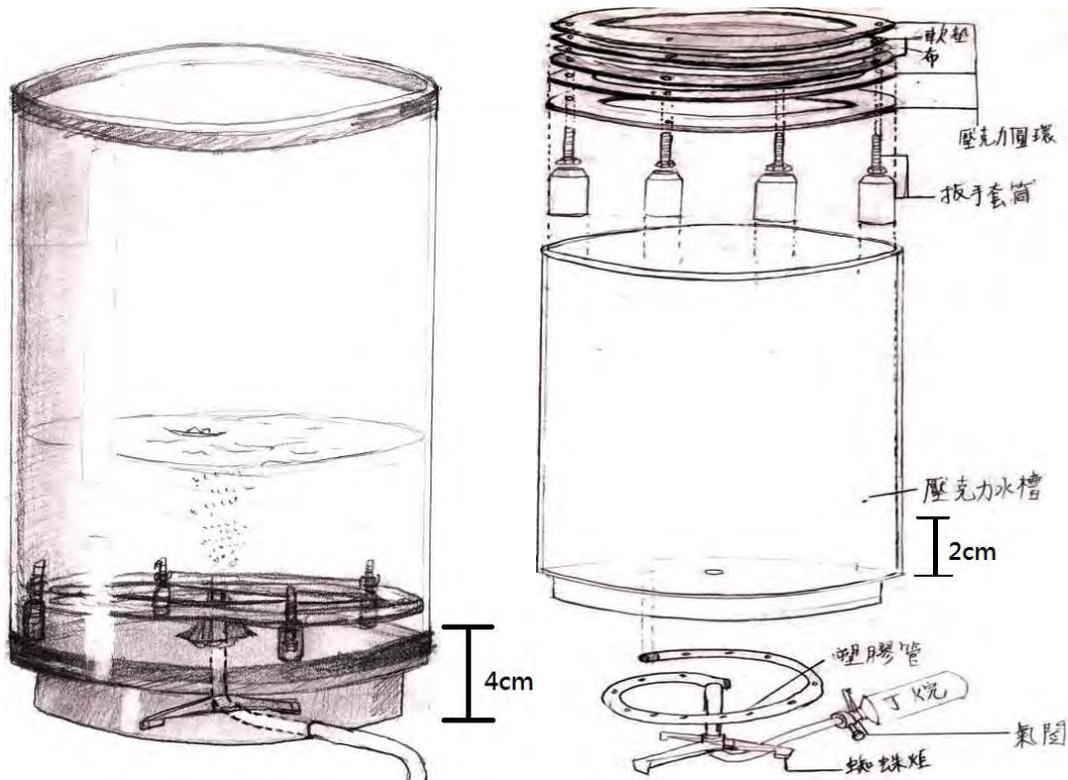


圖 4-1、第一代氣泡產生模擬槽設計圖

圖 4-2、第一代氣泡產生模擬槽分解圖

- 1、**氣體輸入裝置**：以攤販使用的大型壓克力飲料筒，底部鑽孔，穿過透明塑膠管，連接野外炊煮「蜘蛛爐」爐頭，利用爐頭做為罐裝瓦斯輸入轉接，另一邊塑膠軟管通入飲料筒，將塑膠管在容器底部盤旋成圈，每隔一段距離挖洞使氣泡能分散，設計為第二代模擬槽。(圖 4-2、4-3、4-4)



圖 4-3、第一代氣體輸入裝置



圖 4-4、第二代氣體輸入裝置

2、**移動式定布架製作**：將訂製壓克力圓環鑽洞套入板手套筒和長螺絲中做為可移動式的定布架（圖 4-2、4-5），用矽膠封起來，防止漏氣（圖 4-6），布架可以抽換阻隔板材或是布面，此設計可以達到控制氣泡產量。



圖 4-5、可移動式的定布架



圖 4-6、將定布架用矽膠封起來

3、**流速檢測**：為定量氣泡的生成，利用排水集氣法來收集氣體（圖 4-7），以**罐裝瓦斯**透過爐頭轉接產生氣泡，調整氣閥旋轉圈數來做為氣體定量依據（圖 4-8），測量結果如（表 4-1）。得知氣閥開半圈、整圈流速為 40ml/s、80ml/s；**空氣壓縮機**開 0.8 圈流速為 80ml/s，後續實驗也以 40ml/s 和 80ml/s 的流速做為操縱變因。



圖 4-7、排水集氣法



圖 4-8、氣閥開關之刻度

表 4-1、不同氣體流速檢測(測量 15 次平均值，詳見附錄表 9-1、9-2、9-3)

	瓦斯罐開關半圈	瓦斯罐開關整圈	空氣壓縮機開關五分之四圈
時間平均（秒）	5.0	2.5	2.5
收集氣體（ml）	200	200	200

從第一代模擬槽實驗結果可以清楚得知，氣泡的產生確實會造成浮體(船)下沉，然則造成浮體(船)下沉原因為何？是否有其他因子影響，為了解釋浮體(船)下沉的原因，經縣比賽後，參考評審意見，設計製作了第二代長形氣泡產生模擬槽，除了**精緻化流速測量**外，更增加了**同重量但胖、瘦不同的浮球**，探討**氣泡和浮球接觸面積**（浮體在水面下表面積大小）是否影響浮體(船)是否下沉？更增加**溫度、水量(深度)**作為變因，據此改良設計了**第二代氣泡產生長型模擬槽**來模擬(圖 4-9、圖 4-10)，製作方法如下：

(二) 第二代自製氣泡產生成長型模擬槽的製作：

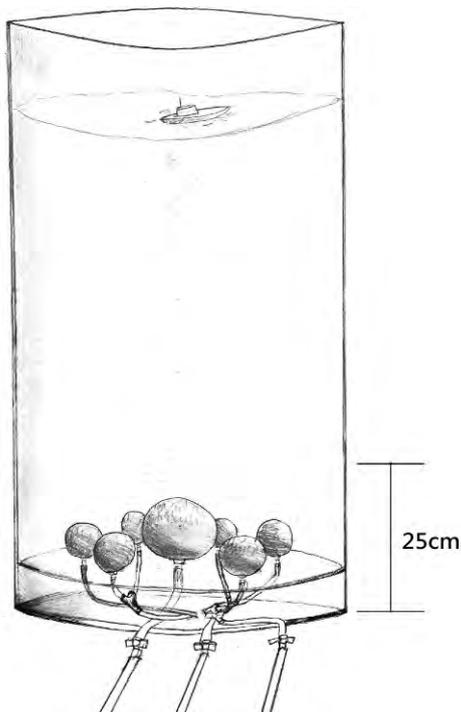


圖 4-9、自製氣泡產生成長型模擬槽

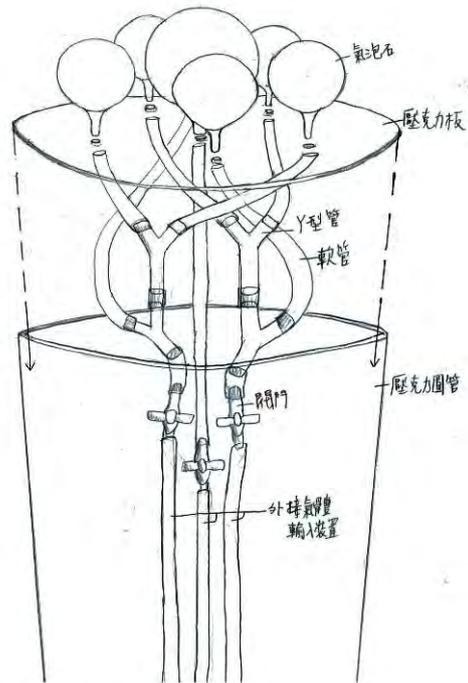


圖 4-10、自製氣泡產生成長型模擬槽分解圖

1、**氣泡生成裝置**：第一、二代的氣體輸，利用蜘蛛爐爐頭將罐裝瓦斯通入飲料筒，並設計移動式定布架打散氣泡，**第二代氣泡產生成長型模擬槽**，氣泡生成裝置則結合了移動式定布架和氣體輸入裝置，利用管線直接連接「氣泡石」，外面連接空氣壓縮機便同時解決氣泡打散和輸入的問題（圖 4-11、4-12）。



圖 4-11、第三代氣泡打散裝置



圖 4-12、支撐氣泡生成裝置

2、**管線配置**：為了要更精準的控制氣泡大小和流量，我們將市售的「氣泡石」分成六顆小的一顆大的，以大為中心，小的以正六邊形的方式圍繞在旁（圖 4-13），再利Y型管把不相鄰的三顆小氣泡石分別成兩組，外接三個氣閥以便控制氣泡冒出範圍（圖 4-14）。

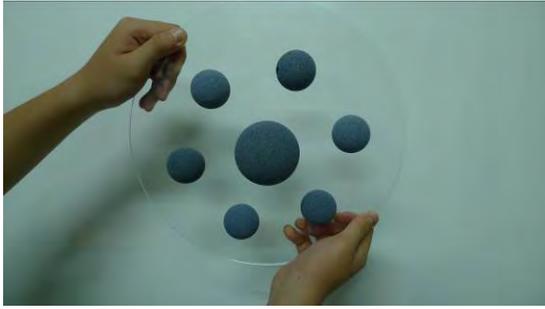


圖 4-13、正六邊形氣泡石排列



圖 4-14、控制氣閥

3、**船隻固定測量器**：因在實驗中常因一些晃動而無法更精準的測量，所以為了要更精準的測量，我們把原本一字型的測量器改成十字狀（圖 4-15、圖 4-16）的，分別固定測量的鐵尺，使它更能上下垂直移動。

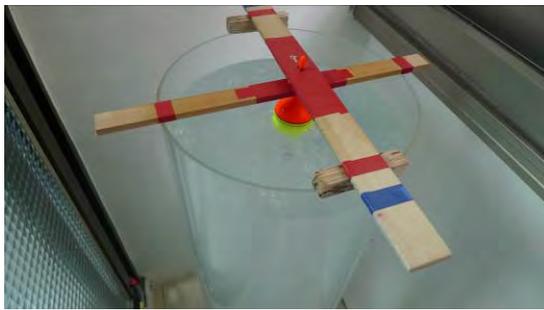


圖 4-15、十字船隻固定器

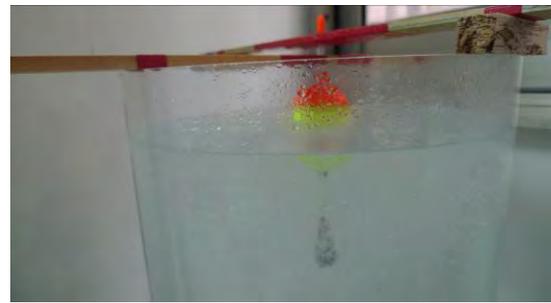


圖 4-16、十字船隻固定器

### （三）沉船模擬：

1、**模擬船隻**：一開始船隻使用過乒乓球、扭蛋殼來模擬，但因質量太輕或重心不穩，都不易測量，最後採用穩定性的浮球來做為「**模擬船隻**」。但為增加重心，在浮球下綁一顆鉛錘，此時整個浮球加鉛錘的質量是 44.5g，並測出其與水平面平行的直徑分為 3.9 cm 和 4.5cm。

2、**船隻固定**：雖然浮標穩定性高，遇到突如其來的氣泡，難免會四處飄移，造成測量的困難，起初以釘子限制浮球飄移的範圍，實驗後發現，釘子時常卡住浮球（圖 4-17），因此改在木條中間開了一個比較大的洞，使其上升或下降時有足夠的空間（圖 4-18）。

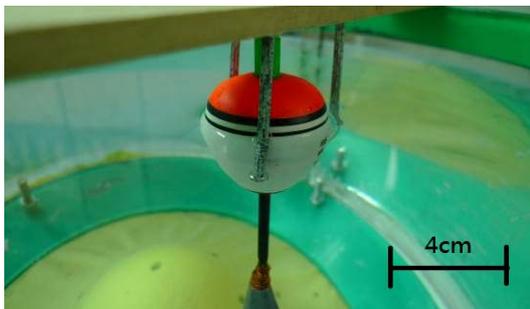


圖 4-17、第一代船隻固定器



圖 4-18、第二代船隻固定器

實驗過程中發現，因為氣泡佔有體積，所以我們打開瓦斯使水槽內產生氣泡時，水面有上升的情形，但浮球也隨之上升，看似上升時乃下沉，因此後續實驗將水上升的高度和浮球上升的高度都列入考慮。

#### (四) 沉船測量設計：

- 1、**船隻測量器**：我們將船隻固定器上插入兩隻尺，一隻用來測量水面上升的高度，另一隻尺則測量浮球上升高度（圖 4-19）並在浮球上做記號以便觀察。

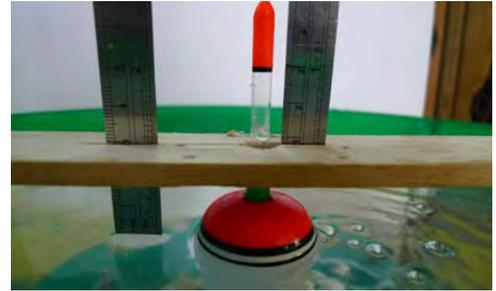


圖 4-19、船隻測量器

- 3、**浮力計算**：將物質沉入水中的等體積液體乘以液體密度即是該物質所受之浮力。我們先於靜止時浮球與水面接觸處做記號並於停止時也做記號，量出該長度後，乘以截面面積即是下沉體積。

## 伍、結果

### 一、第一代模擬槽使用不同流速、氣體及液體對浮球(船)的影響：

測量時以浮球沉浮達到穩定狀態時做為測量依據，當氣體的流速愈快，使得散佈於水面中的氣泡變多，且時間也花得較短(表 5-1)。若以時間與氣體流速的乘積來看，氣泡產生後浮球重新達到平衡，不再上下沉浮所需的時間，氣泡流速快所需時間較短，但達平衡所需的氣體總量相當，無明顯差異。

在氣體種類方面，本組以罐裝瓦斯丁烷和空氣做比較，發現當流速相同時，在自來水中，若要使浮球下沉 1 cm 分別需要流速 70.8 ml/s 的丁烷持續 2.9 秒或流速 31.62 ml/s 持續 1.4 秒的空氣，丁烷下沉所需的流速明顯較空氣快（表 5-2），所以我們可以知道空氣比丁烷更容易改變浮球的沉浮。

表 5-1、以丁烷輸入於自來水中，不同氣體流速與浮球(船)沉浮關係

	40 ml/s	80 ml/s
下沉 (cm)	0.4	1.07
時間 (s)	5.7	2.9
氣量 (ml)	228	232

註：測量 15 次平均，詳見附錄表 9-5、表 9-6

表 5-2、自來水中，固定流速 80 ml/s，不同氣體與浮球(船)沉浮關係

	丁烷	空氣
下沉 (cm)	1.13	2.53
時間 (s)	2.9	1.4
氣量 (ml)	232	112

註：測量 15 次平均，詳見附錄表 9-7、表 9-8

表 5-3、流速 80ml/s，不同氣體不同液體使浮球(船)下沉情形比較

	自來水		模擬海水	
	丁烷	空氣	丁烷	空氣
下沉(cm)	1.13	2.53	0.61	2.32
時間(s)	2.9	1.4	5.0	2.3
氣量(ml)	232	112	400	184

註：測量 15 次平均，詳見附錄表 9-9、表 9-10

模擬不同密度液體(純水及模擬海水)時，使用丁烷氣體及一般空氣產生氣泡，以 80 ml/s 為基準，在相同流速下所花的氣量和時間也明顯不同(表 5-3、圖 5-1)。浮球下降平衡所達平均時間來說，海水所需時間較自來水高。由結果可知在密度愈大的水域中氣泡每秒的流速越多才能使船下沉，其中空氣也比丁烷更容易使海水的密度下降。

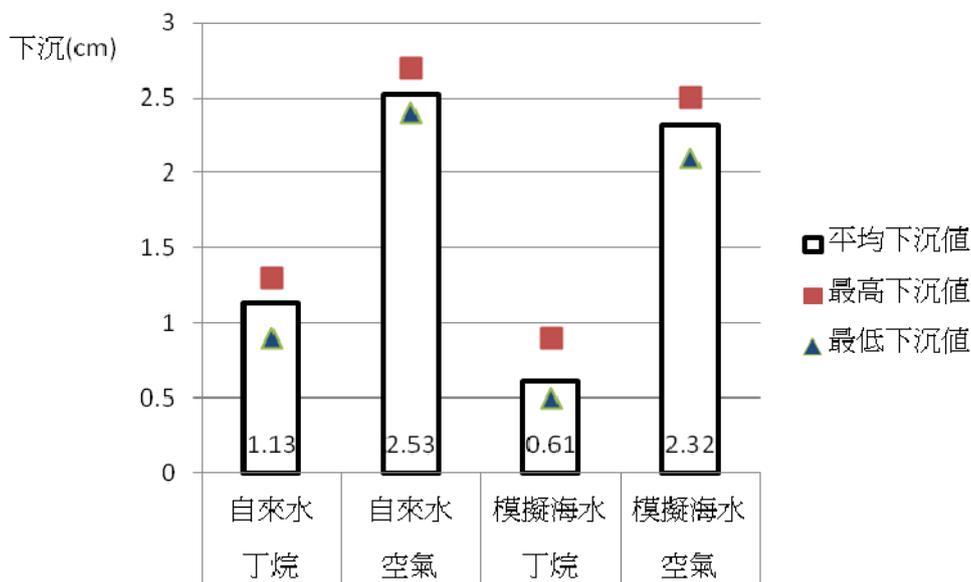


圖 5-1、流速 80 ml/s，不同氣體及不同液體中浮球(船)下沉情形比較

## 二、使用第二代模擬槽精準化流速實驗與增加變因：

從前述第一代模擬槽中實驗可以得知，模擬槽中充滿氣泡，無論是丁烷或是一般空氣所造成的，浮體(船)皆會因氣泡產生而下沉，無論液體密度是否不同，均有氣泡流速越快，下沉越明顯的結果。使用第二代模擬槽，槽內產生氣泡均使用空氣壓縮機製造，以求供氣穩定且下沉情形顯著容易觀察。

### (一)、以胖、瘦浮球最為浮體(船)在第二代氣泡產生槽中下沉情形：

在相同條件下(空氣、純水 61 升)及流速為 2LPM(每分鐘氣體流量，單位公升)，進行胖、瘦兩浮球沉浮比較，結果如表 5-4 所示，胖浮球平均下沉 0.5cm，較瘦浮球平均下沉 0.2cm 明顯。

表 5-4、氣體空氣，液體自來水 61L，氣泡 2LPM，胖、瘦浮球下沉比較

	胖浮球	瘦浮球
下沉(cm)	0.5	0.2
時間(s)	10	10

註：測量 15 次平均，詳見附錄表 9-13、表 9-14

從結果得知胖浮球顯然比瘦福球更容易下沉，因此後續液體深度、密度、溫度以及氣體流速實驗，均改採胖浮球，方便測量。

(二)、不同氣體流速之比較：

第一代模擬槽容量為 26 公升，使用第二代模擬槽，加入等量的水，以新的氣體輸入裝置，精準改變流速。從結果顯示，氣體的流速愈快，散佈於水面之中的氣泡變多。實驗中以流速為 5LPM 的平均下沉量最大(表 5-5、圖 5-2)，浮體達平衡時間也最少。而第一代的模擬槽的平均流量為 80ml/s，約等於二代模擬槽流量計的 5LPM。在同樣都是空氣的狀態下，第二代所使浮球達到穩定的時間大於第一代的(表 5-8)。

表 5-5、氣體為空氣，液體為自來水 26L，流速不同與浮體(船)下沉比較

	1LPM	2LPM	3LPM	4LPM	5LPM
下沉(cm)	0.25	0.3	0.5	0.7	0.86
時間(s)	5.0	4.3	3.8	3.1	2.3

註：測量 15 次平均，詳見附錄表 9-15、表 9-16、表 9-17、表 9-18、表 9-19

表 5-6 氣體空氣，液體自來水 26L 相同流速，胖浮球，不同模擬槽浮球沉浮比較

	第二代/5LPM	第一代/80 ml/s(4.8LPM)
下沉(cm)	0.86	2.53
時間(s)	2.3	1.4
氣量(ml)	191.67	112.0

註：測量 15 次平均，詳見附錄表 9-15、表 9-16

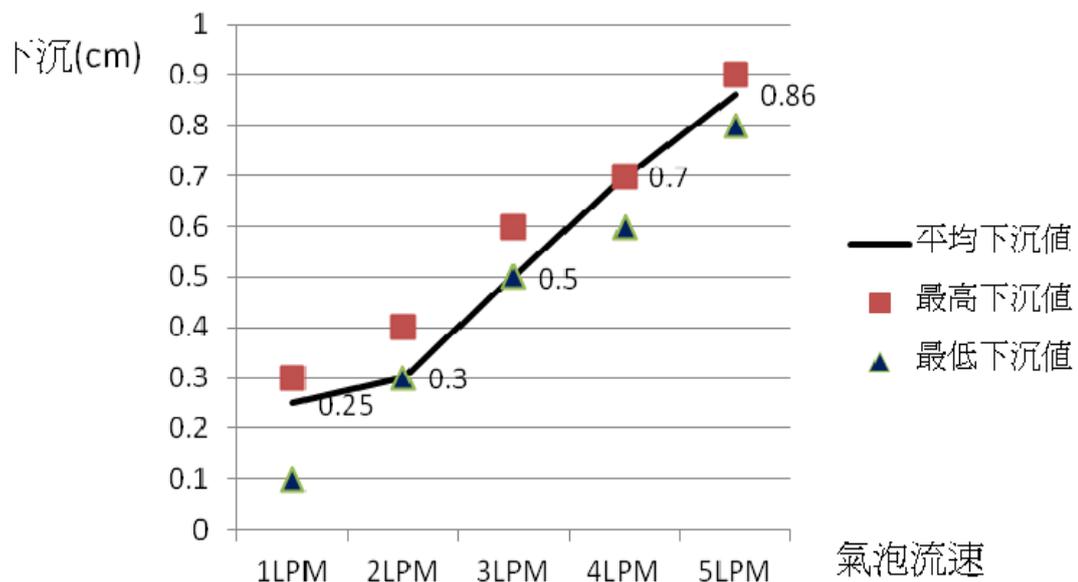


圖 5-2 氣體為空氣，液體為自來水 26L，流速不同之比較

### (三)、不同液體之比較：

在第二代的模擬槽，採用改用改變量較大的空氣和第二代的胖型浮球。模擬海水量加到最高水位 61 公升。流速 2LPM(表 5-7)；無論下沉量和平衡所需時間都明顯相差很多，**模擬海水中平均浮體下沉量較自來水多**，達 0.4cm，但**所需平衡時間(14 sec.)**，卻遠大於自來水所需時間(4.2 sec.)。

表 5-7、以相同體積液體(61L)不同密度液體，使用流速 2 LPM 空氣產生氣泡，對浮體影響

	自來水	模擬海水
下沉 (cm)	0.3	0.4
時間(s)	4.2	14

註：詳見附錄表 9-20、表 9-21

### (四)、液體溫度高低比較：

不同的水溫對於氣泡的外型、大小都會有相當的影響。以常溫 25°C 的水溫和 50°C 來比較，浮體下沉程度並沒有明顯不同(0.3 cm 與 0.4 cm)，但**溫度較高所需的平衡時間較長**(表 5-8)，代表需較多的氣量才可使浮球達到穩定；此外，水溫高(50°C)時，可以觀察到氣泡漸上升接近水面時，比常溫(25°C)，氣泡明顯較大顆。

表 5-8、以相同體積液體、密度液體，不同溫度，以流速 2 LPM 空氣產生氣泡，對浮體影響

水溫(°C)	50°C	25°C
下沉 (cm)	0.4	0.3
時間 (s)	7.0	4.2

註：詳見附錄表 9-22、表 9-23

### (五)、水深比較：

在縣賽時評審的問題中有提到，我們的第一代自製海洋氣泡生成模擬槽製作所做出的結果，在真實的大海中符不符合？於是本組透過第二代海洋氣泡產生長型模擬槽，將水量分成三組作比較分別為 26L、47L、61L，從表 5-9 **發現浮體(船)在水量較多較深的情況下**，比水量少且淺的下沉較明顯，且氣泡到達水面的時間以水量越多的越長，而且氣泡在上升的過程中會相撞而變大，此現象水位越高越明顯。

表 5-9 氣體為空氣，氣泡 2LPM，大浮球下沉比較

	自來水 26L	自來水 47L	自來水 61L
下沉 (cm)	0.32	0.42	0.51
時間(s)	4.2	7.2	10

註：詳見附錄表 9-24、表 9-25、表 9-26

## 陸、討論

以浮力產生的概念而言，物體沉入水中體積與液體密度乘積為物體所受浮力( $B = V \times d$ )。綜合以上結果，無論氣泡的種類以及液體的密度為何，只要水中產生氣泡之後，浮球較原水準面相對位置會下沉，換而言之，以浮力產生的概念而言，物體沉入水中體積與液體密度乘積為物體所受浮力( $B = V \times d$ )，因此當浮球下沉，水面下體積增加( $V' > V$ )，其所受浮力經換算是增加的( $B' > B$ )，但是物體浮力若是增加，應該是上浮而非下沉，此處顯有矛盾之處。

若以平衡概念看浮體，浮體所受之浮力即物重而言( $B = W$ )，物重不會因液體環境改變而改變，意即浮體所受浮力相等( $B = W = B'$ )，而物體所受浮力即沉入水中體積與液體密度乘積( $B = V \times d, B' = V' \times d'$ )但沉入水中體積不同，意即在兩種不同的情況下，液體的密度改變了：

$$\because B = W = B', \therefore V \times d = V' \times d', \text{而 } V \neq V', \text{故 } d \neq d'$$

因  $B = V \times d = W$  在實驗過程中浮體重量不會改變，所以所受浮力  $B = V \times d = W = 41.5$  (稱重得知) 為定值。自來水和海水的密度分別為  $1 \text{ g/cm}^3$  和  $1.025 \text{ g/cm}^3$ ，帶入  $B = V \times d = W = 41.5$  算出無動靜時浮球於水面以下的體積  $41.5 \text{ cm}^3$  和  $40.5 \text{ cm}^3$ 。若是開始實驗後，原先下沉量再加上下沉量乘以截面積就是下沉過後在水底下的體積。為方便計算，將浮球視為圓柱狀。就可算出每種下沉量，浮體在水中的體積，再帶入  $B = V \times d = W = 41.5$  就可以分別算出各種下沉狀況時液體的密度，進而得知液體的密度改變量(表 6-1、6-2)。

表 6-1、液體自來水，氣體空氣，浮球下沉換算液體密度改變量

下沉高度(cm)	0(實驗前)	0.5	1.0	1.5
下沉體積( $\text{cm}^3$ )	41.5	47.2	52.9	58.6
密度變化( $\text{g/cm}^3$ )	1	0.88	0.78	0.71

表 6-2、液體海水，氣體空氣，浮球下沉換算液體密度改變量

下沉高度(cm)	0(實驗前)	0.5	1.0	1.5
下沉體積( $\text{cm}^3$ )	40.5	46.2	51.9	57.6
密度變化( $\text{g/cm}^3$ )	1.025	0.90	0.80	0.72

從實驗結果發現當氣泡冒出時會使浮標下降，一開始我們認為浮標下降是因為浮標所受到的浮力減少所造成的，但根據  $B = V \times d = W$  公式發現，當浮球下沉水的密度不變時，所算出來的浮力反而增加了，應該上浮且不等於物重，自相矛盾，若浮力增加了浮球應該會上升而不是下沉，因此我們換一個角度想，因為  $B = W$  物體的重量絕對不會改變，當然浮力也不會有所變化，在浮力和物重都不變的情況下，排開水的體積又增加，密度就一定會減少所以我們可以知道，甲烷水合物說的氣泡並不是改變水的浮力而使船沉入水中，而是改變液體的密度使船沉入水中。

根據研究結果空氣較丁烷更容易使浮體(船)下沉，可以推論：當液體中產生大量氣泡時，部分氣體溶於水中，因此體積略微改變導致液體的密度下降，造成浮體下沉；從文獻中可知丁烷不易溶於水，相較於丁烷，空氣溶解度較高，或許是這個原因造成空氣較丁烷更易使浮體(船)下沉。

## 一、液體密度改變

氣泡流速愈快，使得液體的密度越小（表 6-3）。因流速愈快，每秒停留於水中的氣體越多，進而擴大體積而改變密度。而海水的密度較水大，因而在密度改變時有較大的緩衝空間。

當有氣泡冒出時，浮球便開始下沉，使得在水中浮標的體積增加，當體積一增加，代表液體裡的氣泡越多，水的密度隨之變小，從實驗中也可以發現流速較快的氣體較流速較慢的氣體，改變液體的密度較多。

由實驗結果我們發現氣體同是丁烷，液體不同的這兩組實驗，模擬海水的密度減少的較少，自來水較多，空氣也是如此，但模擬海水的密度減少了  $0.095 \text{ g/cm}^3$ ，自來水的密度減少了  $0.1 \text{ g/cm}^3$  並沒有明顯的差距，所以我們認為，氣體可以影響水的密度，在不同的水中  $40 \text{ ml/s}$  的丁烷能改變的密度不會有太大的差異。

在不同氣體相同流速下，不管液體是模擬海水還是自來水，其中空氣使液體密度減少的情形最為明顯，所以我們可以知道空氣比丁烷更容易改變水的密度。且從丁烷的密度比空氣大這一點，我們可以知道密度較大的氣體較密度小的氣體不易改變水的密度。

表 6-3、水溶液密度比較關係

	40 ml/s		80 ml/s			
	丁烷		空氣		丁烷	
	自來水	模擬海水	自來水	模擬海水	自來水	模擬海水
下沉(cm)	0.4	0.46	2.33	2.53	1.07	0.61
體積( $\text{cm}^3$ )	46.06	45.74	70.34	68.06	53.70	47.45
液體密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	0.90	0.93	0.59	0.61	0.85	0.87

註：詳見附錄表 9-24、表 9-25、表 9-26

本組將胖、瘦不同的浮球（船）配成等重，以平衡概念看浮體，浮體所受之浮力即物重而言 ( $B = W$ ) 物重不會因液體環境改變而改變，所以浮體所受浮力相等，自來水的密度為  $1 \text{ g/cm}^3$  時兩者排開水的體積也相等，因此當氣泡散佈在水中時液體的密度便會隨之改變，浮體便會下沉（增加排開水的體積），但胖浮球之截面積大於瘦浮球之截面積，所以當兩者排開水體積相同時，胖浮球下沉應會小於瘦浮球，但實驗結果卻是大浮球下沉較多。

## 二、浮體表面積大小影響：

在第一代自製甲烷水合物氣泡生成模擬槽實驗時，本組發現當氣體噴出後會短暫停留於水域中。從巨觀的角度來看，整體的密度會因此改變進而使浮體下沉。但並不是所有氣體均

和浮球接觸，所以我們認為氣泡和浮球接觸，產生氣墊會使介面改變使浮標失去支力點進而讓浮標下沉。

從實驗結果發現胖浮球較瘦浮球下沉明顯，從微觀的角度來看，當氣泡與船體接觸時，其氣墊對於物體的支撐力小於液體對船體的支撐力，導致浮力不足使船下沉較為明顯，所以胖浮球之所以下沉較明顯，是因為胖浮球比瘦浮球的液面下表面積大，接觸到氣泡的量和機率也相對的比瘦浮球大。

將胖、瘦兩浮球配中成重量相等，使其浮在液體上時所受浮力相同，因此兩者所排開的液體體積一樣。如圖 6-1 所示，假設斜線面積所排開的液體體積相同時，當氣泡平均散佈在水中時，A 所能接觸的氣泡為六顆則 a 所能接觸的氣泡只有四顆，所以胖浮球較瘦浮球接觸到的氣泡多。

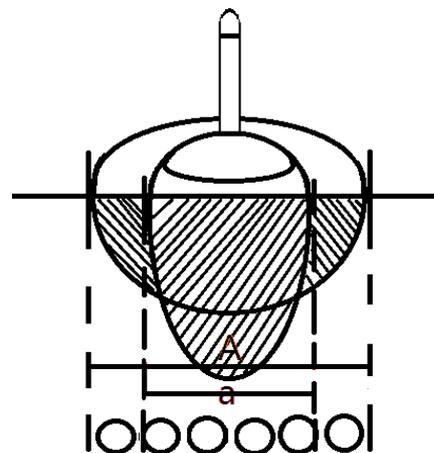


圖 6-1、胖、瘦浮球與氣體交界面示意圖

### 三、水深對浮體影響：

我們配置相同水量的水，由於管徑大小的不同所以會有不同的水位，又水域之中的水壓會有不同而會有氣泡大小的差別，水位越高所產生的氣泡到水面上也就越大顆，氣泡越大越容易使浮球下沉，此結果亦可支持氣泡與浮體接觸介面失去支持力的推論。

相較於第一代的因其水量較少，在同樣都是改變密度的情況下，水量較多的就需要較多的氣泡才能改變密度，所以只要是水量越多，液體密度由氣泡的多少改變就相差很大了。如要使浮球在自來水中和模擬海水中就分別需要 140ml 和 466.2ml 的空氣。

### 四、發現：

雖然當氣泡散佈在水中時，會影響到了密度，實驗結果也指出，氣量愈多浮球就下降的愈多，空氣造成的下沉明顯比丁烷大，推測空氣溶於水，丁烷卻無法溶於水所造成差異，而空氣在冒出水的過程中可能就有一些空氣溶使水的密度下降更多。但並非所有氣體均和浮球接觸，所以我們推測氣泡和浮球接觸，會使介面改變使浮標失去支力點進而讓浮標下沉，實驗指出，胖浮球較瘦浮球容易下沉，若是以密度改變量無法解釋，所以導致浮體(船)下沉原因亦有可能是液面下與氣體接觸表面積大小差異所造成。

模擬海水中，浮體受到氣泡產生影響，雖然下沉量與自來水接近，但是達到平衡所需的時間較長，或許是鹽溶解後未能均勻散佈模擬槽，或是溶解於水中的溶質使氣體溶解量下降所造成。此一現象是否可以用來解釋真實海域因密度差異所造成的洋流流動呢？或許能更進一步的模擬當時情況，做為後續努力和研究的的方向。

本實驗所模擬的氣泡生成是否能弄沉船隻，主要以丁烷與空氣兩種氣體做為模擬，但是「甲烷水合物學說」所提及氣泡是由甲烷氣體組成，本實驗所模擬結果是否可以用來解釋？我們知道甲烷氣體密度小於空氣和丁烷，無論是哪一種氣體，從本研究結果可以知道水中有氣泡產生時，浮體皆會受影響而下沉，其下沉時所增加的排水量並不會增加浮力，應該說是氣泡使液體環境(海水)的密度改變了，其改變量受氣泡流速而不同。

## 五、實際上海中出現甲烷氣泡是否可以弄沈船？

以 175,600 載重噸散裝貨輪為例，其船高 24m，吃水 16.5m。並設此船的甲板面積和船底面積一樣大。

因為物重等於浮力，所以此船的浮力是 175600 噸。而原本的海水密度為  $1.025(\text{g}/\text{cm}^3)$ ，透過浮力公式就可以推算出原船在水裡的體積約是  $171317\text{m}^3$ 。

假設要使此船完全下沉水位需要高於甲板(24m)，所以若要使此船完全下沉還需要多下沉 7.5m。乘上此船的截面積，即是  $77865\text{m}^3$ 。在加上原本在水裡的體積( $171317\text{m}^3$ )，得到  $249182\text{m}^3$ (整艘船的體積)。

若須將此船沉入水中，則所需浮力必須改變；換言之，海水密度必須下降到  $175600/249182 = 0.70\text{g}/\text{cm}^3$  左右；換算出密度必須降到  $0.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，根據本實驗模擬結果，下降密度為  $0.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，小於丁烷氣泡使海水密度降至  $0.87\text{g}/\text{cm}^3$ ，而甲烷氣體密度又小於丁烷氣體，若以改變海水密度的角度來看，海域中出現甲烷氣泡使船隻沉沒是有可能發生的。然而甲烷不溶於水，單以氣體溶於海水導致密度下降，不足以解釋沈船可能，仍需考慮氣泡與船體接觸面所造成的支撐力消失複合原因。

## 柒、結論

本組利用自製海洋氣泡生成模擬槽模擬「甲烷水合物學說」，解釋百慕大沉船事件的科學性，並更換不同的氣體和不同的氣泡流速還有不同的密度液體，來模擬船隻遇到水中出現氣泡時的變化，實驗結果發現：

- 一、液體(海水)中出現氣泡，浮在此區域水面浮體(船)確實會下沉，當氣泡流速愈快，散佈於水面之中的氣泡愈多，浮體下沉程度越顯著，浮體所受浮力等於物重，則當浮體下沉，相對而言液體的密度因此改變，氣泡流速愈快，液體密度改變愈快。
- 二、當氣體不同時，空氣比丁烷更容易造成浮體(船)下沉，從丁烷的密度比空氣大這一點，我們可以知道密度較大的氣體較密度小的氣體不易改變液體的密度。
- 三、在密度愈大的水域中氣泡需要流速愈快的氣體才能使船下沉，其中空氣也比丁烷更容易使海水的密度下降。
- 四、雖然當氣泡散佈在水中時，會使液體(海水)的體積變大，質量卻沒什麼改變，使液體的密度下降，進而影響到了浮力，使用胖、瘦不同浮球，其重量相等，在液面下的體積相同，但胖浮球之截面積大於瘦浮球之截面積，所以當兩者排開水體積相同時，胖浮球下沉應會小於瘦浮球，但實驗結果卻是大浮球下沉較多。本組認為氣泡和浮球接觸，會使介面支撐力改變使浮體(船)下沉。
- 五、當水深度不同時發現水量較多較深的比水量少且淺的下沉較明顯，故在真實的海水中效果會更為顯著。
- 六、當液體溫度高低不同時，溫度較高所需的時間較多下沉愈多。

## 捌、參考資料

- 柯利弗德·皮寇弗 物理之書 (2013)。臺北市：時報文化  
王怡 恐怖的地域 (2007)。臺北市：驛站文化  
Smithsonian Institute 地球大百科 (2005)。新北市：DK 出版社  
王萬邦 海洋與海岸 (2008)。臺中市：暢談文化

## 玖、附錄

表 9-1 瓦斯罐開關半圈排水集氣法所需時間

流量 (圈)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
收集氣體 (ml)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
時間 (秒)	5	6	4	5	5	5	6	5	4	5

表 9-2 瓦斯罐開關整圈排水集氣法所需時間

流量 (圈)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
收集氣體 (ml)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
時間 (秒)	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3

表 9-3 空氣壓縮機開關五分之四圈排水集氣法所需時間

流量 (圈)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
收集氣體 (ml)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
時間 (秒)	3	2	2	3	2	3	3	2	2	3

表 9-4 空氣壓縮機開關五分之四圈排水集氣法所需時間 (外側)

流量 (圈)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
收集氣體 (ml)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
時間 (秒)	11	11	10	12	12	11	10	11	11	11

表 9-5 氣體為丁烷，液體為自來水，氣泡流速 40ml/s 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.00
浮球 (cm)	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.53
下沉 (cm)	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.44
時間 (s)	6	6	5	7	6	6	5	7	6	5	5	6	5	5	6	5.7

表 9-6 氣體為丁烷，液體為自來水，氣泡流速 80ml/s 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	2.0	1.9	2.0	1.6	2.0	2.0	2.0	1.8	1.8	1.7	1.7	2.3	1.5	1.6	2.0	1.83
浮球 (cm)	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6	0.7	1.0	0.5	0.5	0.8	0.70
下沉 (cm)	1.0	0.9	1.2	1.0	1.2	1.3	1.2	1.1	1.3	1.1	1.0	1.7	1.0	1.1	1.2	1.07
時間 (s)	3	2	3	4	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	4	2.9

表 9-7 氣體為丁烷，液體為自來水，氣泡流速 80ml/s 浮球上升和水面上升之結果

	平均															
水面 (cm)	2.0	1.9	2.0	1.6	2.0	2.0	2.0	1.8	1.8	1.7	1.7	2.3	1.5	1.6	2.0	1.83
浮球 (cm)	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6	0.7	1.0	0.5	0.5	0.8	0.70
下沉 (cm)	1.0	0.9	1.2	1.0	1.2	1.3	1.2	1.1	1.3	1.1	1.0	1.7	1.0	1.1	1.2	1.07
時間 (s)	3	2	3	4	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	4	2.9

表 9-8 氣體為空氣，液體為自來水，氣泡流速 80ml/s 浮球上升和水面上升之結果

	平均															
水面 (cm)	3.8	4	4	4	4	3.9	3.8	4	4	4	4	3.8	4	4	3.9	3.95
浮球 (cm)	1.1	1.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5	1.3	1.6	1.3	1.4	1.42
下沉 (cm)	2.7	2.6	2.5	2.5	2.6	2.6	2.3	2.5	2.4	2.6	2.5	2.5	2.4	2.7	2.5	2.53
時間 (s)	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1.4

表 9-9 氣體為丁烷，液體為模擬海水，氣體流速 80ml/s 浮球上升和水面上升結果

	平均															
水面 (cm)	1.1	1.2	1.2	1.0	1.0	1.1	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.3	1.1	1.16
浮球 (cm)	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.42
下沉 (cm)	0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.6	0.61
時間 (s)	5	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5.0

表 9-10 氣體為空氣，液體為模擬海水，氣體流速 80ml/s 浮球上升和水面上升結果

	平均															
水面 (cm)	2.7	2.8	2.6	2.7	2.8	2.6	2.9	2.8	2.7	2.7	2.9	2.9	2.7	2.8	2.7	2.75
浮球 (cm)	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.43
下沉 (cm)	2.3	2.4	2.1	2.2	2.4	2.2	2.5	2.4	2.2	2.3	2.4	2.5	2.3	2.4	2.3	2.32
時間 (s)	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2.3

表 9-11 氣體為空氣，水為自來水，氣泡流速 18ml/s 浮球上升和水面上升結果(外側)

	平均															
水面 (cm)	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.59
浮球 (cm)	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.48
下沉 (cm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
時間 (s)	5	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4.53

表 9-12 氣體為空氣，水為自來水，氣泡流速 80ml/s 浮球上升和水面上升結果(中間)

																平均
水面(cm)	3.8	4	4	4	4	3.9	3.8	4	4	4	4	3.8	4	4	3.9	3.95
浮球(cm)	1.1	1.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5	1.3	1.6	1.3	1.4	1.42
下沉(cm)	2.7	2.6	2.5	2.5	2.6	2.6	2.3	2.5	2.4	2.6	2.5	2.5	2.4	2.7	2.5	2.33
時間 (s)	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1.4

表 9-13 氣體空氣，液體自來水 61L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果 (大浮球)

																平均
水面(cm)	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.64
浮球(cm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.13
下沉(cm)	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.51
時間 (s)	10	11	9	11	10	10	10	10	10	11	9	10	9	9	10	9.93

表 9-14 氣體空氣，液體自來水 61L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果 (小浮球)

																平均
水面(cm)	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.54
浮球(cm)	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30
下沉(cm)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.24
時間 (s)	10	10	11	9	19	10	9	9	9	9	10	9	9	11	11	10.33

表 9-15 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 1LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面(cm)	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.36
浮球(cm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11
下沉(cm)	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.25
時間 (s)	5	4	5	4	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4.66

表 9-16 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面(cm)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.52
浮球(cm)	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.20
下沉(cm)	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.34
時間 (s)	5	4	4	5	5	3	4	3	3	5	5	5	3	4	5	4.20

表 9-17 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 3LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.65
浮球 (cm)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.15
下沉 (cm)	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50
時間 (s)	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	5	3.80

表 9-18 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 4LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.77
浮球 (cm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.12
下沉 (cm)	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.65
時間 (s)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3.13

表 9-19 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 5LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2	1.0	1.1	1.07
浮球 (cm)	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.21
下沉 (cm)	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.86
時間 (s)	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2.26

表 9-20 氣體為空氣，液體為自來水 61L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.52
浮球 (cm)	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.20
下沉 (cm)	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.32
時間 (s)	5	4	4	5	5	3	4	3	3	5	5	5	3	4	5	4.20

表 9-21 氣體空氣，液體模擬海水 61L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果

																平均
水面 (cm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.50
浮球 (cm)	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12
下沉 (cm)	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.38
時間 (s)	14	14	14	15	15	15	14	14	14	14	15	14	14	14	15	14.33

表 9-22 氣體空氣，液體自來水 61L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果 50°C

											平均
水面 (cm)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.46
浮球 (cm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
下沉 (cm)	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.36
時間 (s)	6	8	7	7	7	8	6	7	7	7	7.00

表 9-23 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果 25°C

															平均	
水面 (cm)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.52
浮球 (cm)	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.20
下沉 (cm)	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.32
時間 (s)	5	4	4	5	5	3	4	3	3	5	5	5	3	4	5	4.20

表 9-24 氣體為空氣，液體為自來水 26L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果

															平均	
水面 (cm)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.52
浮球 (cm)	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.20
下沉 (cm)	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.32
時間 (s)	5	4	4	5	5	3	4	3	3	5	5	5	3	4	5	4.20

表 9-25 氣體為空氣，液體為自來水 47L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果

															平均	
水面 (cm)	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.55
浮球 (cm)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.13
下沉 (cm)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.42
時間 (s)	6	8	7	8	9	7	7	7	7	7	9	8	6	6	7	7.26

表 9-26 氣體為空氣，液體自來水 61L，氣泡 2LPM 浮球上升和水面上升之結果

															平均	
水面 (cm)	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.64
浮球 (cm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.13
下沉 (cm)	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.51
時間 (s)	10	11	9	11	10	10	10	10	10	11	9	10	9	9	10	9.93

## 【評語】 030502

1. 主題發想很有創意。
2. 能提出自己的想法，並加以驗證。
3. 能將小尺度模擬結果，推論到實際情況，具實用價值。
4. 可惜在資料的詮釋上，較少運用地球科學相關知識。