

浮力與重力的交響曲—— 水下滑翔機

文／宋祚忠、林旻宜 國立海洋科技博物館籌備處研究規劃組

試想，當物體被置放在水中，影響物體最後會浮出水面，或是沉入水底的原因為何？簡單來說就是物體的「重量」，跟物體在水中所受到「浮力」等二者最後交互作用的結果。當物體重量

小於其在水中所受到浮力，物體便會浮出水面；反之，則會沉入水底，而物體在水中所受到浮力大小又等於其在水中所排開水體積的重量，這便是著名的“阿基米德原理”。從本篇實作



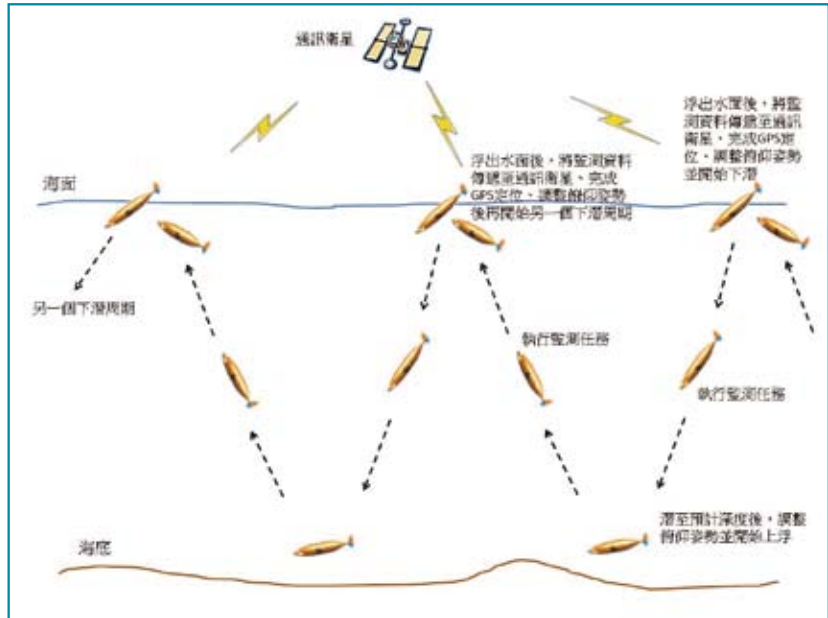
圖(1A) 在研究船舷邊，正預備部署到海上執行監測任務之Slocum Glider。(圖片提供：臺灣大學郭振華教授)



圖(1B) 正在海上進行測試的Slocum Glider。(圖片提供：臺灣大學郭振華教授)

中，讓我們再仔細看看，「重量」跟「浮力」除了幫忙阿基米德證明國王的新王冠中確實含有其他雜質，成功的揭穿了金匠的詭計之外，還在現代海洋科技應用中扮演何種重要角色。

由於目前國家正不遺餘力的推動海洋教育，而水下科技在海洋科技領域又占有一席之地，因此，本篇特以水下科技發展重



圖(2) AUG在海洋中的垂直鋸齒狀軌跡運動行為。

點之一的「水下滑翔機」

為例，將其運用「阿基米德原理」優游滑翔在大範圍海域偵測與取樣之沉浮方式介紹給讀者，帶領讀者一窺水下科技的奧秘，同時並提供另一種包含海洋元素的「浮力與重力」素材給中小學教師們參考，有機會時可以在課堂上引用。



圖(1C) 臺灣大學研究團隊所研發之水下滑翔機。(圖片提供：臺灣大學郭振華教授)

你知道麼是「水下滑翔機」嗎？

「水下滑翔機」的滑翔原理跟天上飛的滑翔機一樣嗎? 答案是否定的。

天上飛的滑翔機依靠迎面而來的風而爬升，就像老鷹一樣，依靠風勢而盤旋在天際，風愈強，爬升的速度愈快。下降則是受重力作用而逐漸滑翔至低處，所依靠的原理是「伯努利定律」。

「水下滑翔機」的全名又稱為自主式水下滑翔機 (Autonomous Underwater Glider, AUG)，在水下科技的分類上，屬於無人水下載具 (Unmanned Underwater Vehicle, UUV) 之一種，與遙控水下載具 (Remotely Operated Vehicle, ROV)、自主式水下載具 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV) 等同屬一類。但AUV及ROV在



圖(3) 材料及工具準備。

水中大多是靠傳統的螺旋槳推進，而AUG在海洋水體中則是利用重力自然下潛，利用浮力引擎產生浮力上浮，就在一上一下的過程中靠著機翼轉換出向前的推力，並以如圖(2)所示之垂直鋸齒狀軌跡運動方式掃描海洋水體，進行大範圍蒐集水下水文資料（如水溫、鹽度、壓力…等），其水平之航程甚至可以達到數千到數萬公里之遠。

目的

本教學活動將利用相當容易取得的1元、5元硬幣、大頭針、喝完的鮮奶（或鮮果汁）紙盒、泡棉雙面膠帶，以及直徑5mm的吸管等材料，經過剪裁、黏合、測試及調整之過程而製作出「水下滑翔機」模型，使其可以在學校的長型實驗水槽（或洗手台）中、或是家中的浴缸裡的進行水中滑翔。

實驗步驟

一、材料及工具準備：如圖(3)所示。

1. 準備三支直徑5mm的吸管，其中二支長約14cm作為側管，一支長約13cm當作為頂管。
2. 從鮮奶（或鮮果汁）紙盒所剪裁成之翼板（10cm×2cm）及垂直舵翼（1cm×4cm）各一張。
3. 大頭針（或3cm細短鐵絲）2支。
4. 15mm寬之泡棉雙面膠帶長約10cm。
5. 15mm寬透明膠帶長約40cm。
6. 1元硬幣3枚、5元硬幣1枚。
7. 剪刀（或美工刀）一把、尖嘴鉗一支。
8. 長型實驗水槽（或洗手台）一座，建議長×寬×深至少為60cm×30cm×20cm以上。

二、水下滑翔機製作：

1. 較長的二支較長之側管及一支較短之頂管，是為水下滑翔機主體。請將側管及頂管的二側（共6個開口）各以透明膠帶分別加以封口，並確保其不致進水。如圖(4A)至圖(4B)所示所示。



(4A) 將吸管二側各以透明膠帶分別加以封口，並確保其不致進水。



(4B) 已完成封口的吸管。

圖(4) 將吸管二側各以透明膠帶分別加以封口防水。

2. 製作水下滑翔機主體：

取出完成封口防水之吸管，將其中2支側管前後對齊，並以透明膠帶黏貼固定後，再拿出頂管，

將其一側先對齊側管之一側，同樣以透明膠帶予以黏貼固定，如圖(5)所示。



(5A) 取出完成封口防水之吸管。



(5B) 將2支側管前後對齊，並以透明膠帶黏貼固定。



(5C) 拿出頂管，將其一側先對齊側管之一側，同樣以透明膠帶予以黏貼固定。



(5D) 完成固定後之主體。

圖(5) 製作水下滑翔機主體。

3. 製作配重勾：

(1) 取出2片長寬約1cm×1.5cm之泡棉雙面膠，並將此2片泡棉雙面膠疊合黏貼在一起，如圖(6A)及圖(6B)所示。

(2) 將此疊合黏貼後之泡棉雙面膠黏至主體艙部之側管下方，再以透明膠帶予以加強固定，如圖(6C)及圖(6D)所示。完成圖則如



(6A) 取出2片長寬約1cm×1.5cm之泡棉雙面膠。



(6B) 將此2片泡棉雙面膠疊合黏貼在一起。



(6C) 將疊合黏貼後之泡棉雙面膠黏至主體艙部之側管下方，位置如上圖所示。



(6D) 再以透明膠帶予以加強固定。



(6E) 以透明膠帶予以加強固定後之完成圖。



(6F) 取出一支大頭針，從泡棉雙面膠重中央以45度斜插入二支側管中央，並小心不可插入側管及頂管，以免吸管發生進水。



(6G) 完成大頭針插入步驟之艙部側視圖。

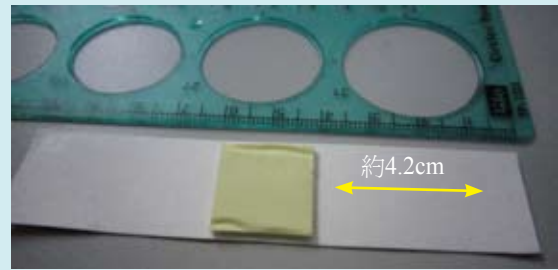


(6H) 完成大頭針插入步驟之艙部底面視圖。

圖(6) 配重勾製作。



(7A) 取出翼板，及一條約2cm長之泡棉雙面膠帶。



(7B) 將翼板之一側中央短邊黏貼上一條約2cm長之泡棉雙面膠帶。



(7C) 將翼板黏貼有泡棉雙面膠帶之一側貼附至側管下方，邊緣距離尾部約5cm。



(7D) 取出一條約2cm長之泡棉雙面膠帶以及1元硬幣2枚、5元硬幣1枚備用。



(7E) 將翼板底側中央短邊再黏貼上泡棉雙面膠帶。



(7F) 將1元硬幣2枚、5元硬幣1枚如圖所示之疊合。



(7G) 硬幣疊合後之結果。



(7H) 將疊合後之硬幣撇附至翼板底側中央處。

圖(7) 機翼黏貼及固定置重。

圖(6E)所示。

- (3) 取出一支大頭針，從泡棉雙面膠重中央以45度斜插入二支側管中央，並小心不可插入側管及頂管，以免發生進水，如圖(6F)所示。完成圖則如圖(6G)及圖(6H)所示。

4.黏貼機翼及固定置重：

- (1) 取出自鮮奶(或鮮果汁)紙盒中剪裁出翼板(10cm×2cm)，並將其一側中央短邊黏貼上一條約2cm長之泡棉雙面膠帶，如圖(7A)及圖(7B)所示。
- (2) 將翼板黏貼有泡棉雙面膠帶之一側貼附至二支側管下方，邊緣距離艙部約5cm，如圖(7C)所示。
- (3) 取出一條約2cm長之泡棉雙面膠帶以及1元硬幣2枚、5元硬幣1枚備用，並將翼板底側中央短邊再黏貼上泡棉雙面膠帶，如圖(7D)及圖(7E)所示。
- (4) 將1元硬幣2枚、5元硬幣1枚如圖所示之方式疊合後黏貼固定，如圖(7F)及圖(7G)所示。
- (5) 將疊合後之硬幣撇附至翼板底側中央處，如圖(7H)

所示。

5.製作垂直尾翼：

- (1) 取出垂直尾翼板，及一條約1cm長之泡棉雙面膠帶，將泡棉雙面膠帶貼附至垂直尾翼板之一側，如圖(8A)及圖(8B)所示。
- (2) 將垂直尾翼板折合起來，但保持中間可以讓吸管插入之空間，將完成支垂直尾翼插入頂管之艙部，如圖(8C)及圖(8D)所示。

6.配重製作：

- (1) 取出1支大頭針，並以尖嘴鉗將其彎成U字型，如圖(9)所示。
- (2) 取出1枚5元硬幣，於其二側各黏貼上一小段泡棉雙面膠帶後，將已彎成U字型之大頭針兩端均黏於雙面膠上，如圖(9)所示，再用透明膠帶圍繞黏貼於其上，以免大頭針脫落。

7.水下滑翔機製作完成，如下圖(11)所示。

三、測試您的水下滑翔機

- 1.將長型實驗水槽(或洗手台)放滿水(建議至少約20cm深)，並將已完成配重勾安裝之水下滑翔機，放置於水面，此時水下滑翔機應會浮於水面上，而且艙部



(8A) 取出垂直尾翼板，及一條約1cm長之泡棉雙面膠帶。



(8B) 將泡棉雙面膠帶貼附至垂直尾翼板之一側。

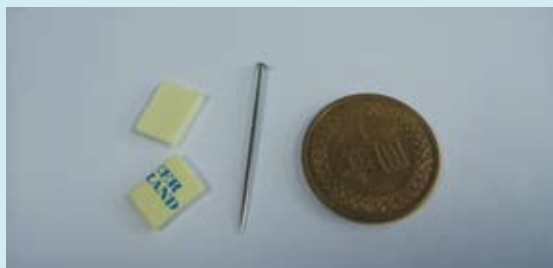


(8C) 將垂直尾翼板折合起來，但保持中間可以讓吸管插入之空間。



(8D) 將完成支垂直尾翼插入頂管之尾部。

圖(8) 垂直尾翼製作。



取出1支大頭針(或3cm細短鐵絲)，1元硬幣及2小塊泡棉雙面膠。



利用尖嘴鉗將大頭針(或3cm細短鐵絲)彎成U字型，小心不要被大頭針刺到。

圖(9) 利用尖嘴鉗將大頭針(或3cm細短鐵絲)彎成U字型。



將2小塊泡棉雙面膠依圖上示意之位置黏貼至1元硬幣二側，並將U字型大頭針(或3cm細短鐵絲)兩端均黏於雙面膠上。

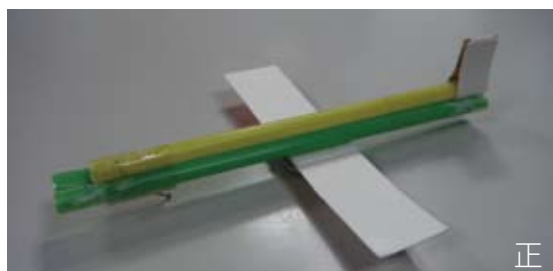


最後用透明膠帶圍繞黏貼於其上，以免大頭針(或3cm細短鐵絲)脫落。

圖(10) 將彎成U字型之大頭針(或3cm細短鐵絲)固定在1元硬幣之上。

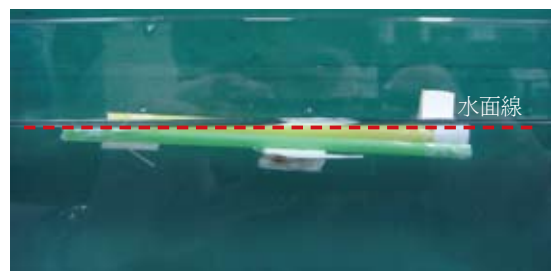
較艉部稍微突出於水面，如圖（12）所示。

- 2.將水下滑翔機按壓於水槽底後再放手，將會看到水下滑翔機開始慢慢滑翔前進並逐漸浮出至水面，如圖（13）所示。
- 3.取出「配重」，掛在水下滑翔機之配重勾上，並以手將此水下滑翔機輕輕斜放入水中後放開，如圖（14）所示。水下滑翔機此時應會朝前方滑翔前進並逐漸沉入水底，並且當「配重」碰觸到水槽底部時，「配重」會自行脫落留在水槽底部，而水下滑翔機則將跟前項之觀察結果一樣，自水底滑翔前進並逐漸浮出至水面，如圖（15）所示。



圖（11）水下滑翔機製作完成之照片。

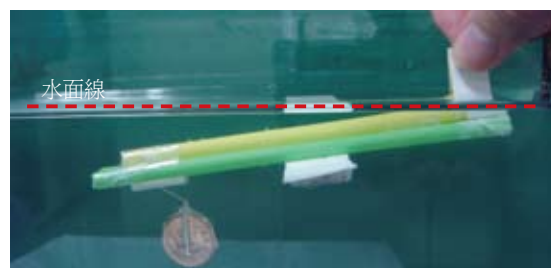
四、實際測試滑翔成果照片共可分為六個階段。



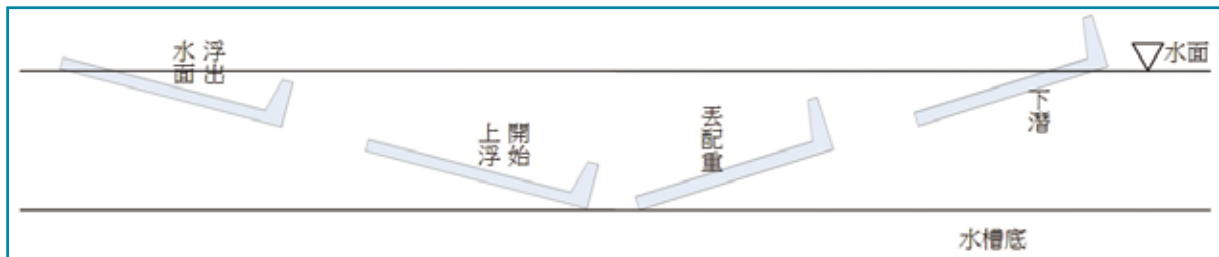
圖（12）水下滑翔機浮於水面之實際參考照片。



圖（13）水下滑翔機自水槽底逐漸滑翔並浮出水面之實際參考照片。



圖（14）將水下滑翔機含配重輕斜放入水中之實際參考照片。



圖(15) 水下滑翔機模型在水槽中之「下潛-上浮」運動歷程示意圖。



圖(16) 第一階段：將水下滑翔機輕放入透明水槽中之水面上並放開手。



圖(19) 第四階段：水下滑翔機逐漸往上升並同時前進。



圖(17) 第二階段：水下滑翔機正逐漸下潛、前進並輕碰水槽底部而拋棄配重。



圖(20) 第五階段：水下滑翔機正準備浮出水面。



圖(18) 第三階段：水下滑翔機一拋棄配重後隨即改變姿態開始往水面上浮。



圖(21) 第六階段：水下滑翔機滑浮出水面但仍保持前進。

補充說明

類似透過DIY方式讓學生了解浮沉概念的示範教學方式曾由余甄紘及蕭次融於科學研習月刊第48-2期提出“創意教學示例—聽話的浮沉娃娃”，以改良“浮沉子”的製作方式提出，透過壓迫寶特瓶的方式利用水壓迫使浮沉娃娃體積變小，進而浮力變小，無法支撐其重量而沉入瓶底，有興趣之讀者可以加以參考〔4-7〕。

本篇的創意則除了進一步闡述「浮」與「沉」的概念，藉由調整「水下滑翔機」模型整體密度之變化造成沉浮現象之外，同時亦可藉由浮沉過程間，轉換水作用於機翼上之力量，使得「水下滑翔機」模型得以前進。

由於「水下滑翔機」之機翼本身是通常是水平固定在機體上，因此，若要改變機翼的傾角必須以調整機體「俯仰」姿勢的方式來達成。一般來說，可以利用移動機體內之重物（如電池、水袋等）位置方式，來前後調整機體整體的重心（center of gravity）位置〔11〕。本文則在調整重心位置之方式稍做修改，以配重之「加入」與「自行於水底脫落」之方式，在「浮心」位置並未明顯變更之情況下，達成調整重心位置之目的，進而讓本實驗所設計之「水下滑翔機」可以完成AUG在海洋中典型的垂直鋸齒狀軌跡運動行為中的

一個週期運動。

筆者以往在國立海洋科技博物館籌備處辦理寒暑假青少年科學相關營隊時〔8-10〕，皆以營隊推動容易與否為考量。所以，在海科館操作「水下滑翔機」DIY體驗課程時，材料之採用均以可以精算重量與排水體積的方式為參考依據，因而採用5mm珍珠板為滑翔機主體，而以汽車用品店常用來作為平衡輪圈轉動慣量用之鉛片為固定載重及配重。在本次實驗中，為了讓學校教師容易取得與準備材料，特別作了多次測試，最後確定了以5mm吸管為滑翔機主體，以及以一元及五元硬幣為固定載重及配重，為本文重要的設計與改進重點。盼能藉由「水下滑翔機DIY」課程操作，以配重之加入與自行於水底脫落之方式，調整重心之位置，達成「由水面滑翔沉降至水底→拋棄配重→滑翔浮出水面」創意教學課程的展示目標，作為提供中小學教師另一種於「浮力概念」相關課程進行探究實作的實驗教材。

參考文獻

1. 邱逢琛、蕭高明，“船的形形色色——海洋偵測大隊”，科學發展，404期，pp.20-27，行政院國家科學委員會，2006年8月。
2. Russ E. Davis, Charles C. Eriksen and Clayton P. Jones, “Autonomous Buoyancy-Driven Underwater

- Gliders” , “The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles” , G.Griffiths, ed., Taylor and Francis, ch. 3, pp. 37-58., London, 2002.
3. Wood, Stephen, “Autonomous Underwater Gliders” , on “Underwater vehicles” , ISBN 978-953-7619-49-7, Publisher: IN-TECH, January 2009.
 4. 余甄紘、蕭次融, “簡易浮沉子的製作與操作” , 科學教育月刊, 第306期, pp.43-49, 台灣師範大學, 2008年3月。
 5. 蕭次融、余甄紘, “聽話的浮沉子” , 科學教育月刊, pp.31-35, 307期, 台灣師範大學, 2008年4月。
 6. 蕭次融、余甄紘, “跳號沉浮的浮沉子” , pp.35-39, 308期, 科學教育月刊, 台灣師範大學, 2008年5月。
 7. 余甄紘、蕭次融, “創意教學示例—聽話的浮沉娃娃” , 科學研習月刊, 第48-2期, 國立臺灣科學教育館, 2009年4月。
 8. 宋祚忠、潘美璟主編, “海下機器人—探索深海秘境的超級武器” , 海洋科學與科技系列折頁, 國立海洋科技博物館籌備處發行, 2008年12月。
 9. 宋祚忠, “認識水下滑翔機” , 2010船舶科學冬令營課程講義, 國立海洋科技博物館籌備處, 2010年1月。
 10. 宋祚忠, “水下滑翔機DIY體驗” , 2010船舶科學冬令營課程講義, 國立海洋科技博物館籌備處, 2010年1月。
 11. Guo, C. and Kato, N., “Mini Underwater Glider (MUG) for Education,” Workshop for Asian and Pacific Universities’ Underwater Roboticians (APuuRobo 2008) , Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan, January 2008.

