

無動力水下滑翔機之製作

宋祚忠* 林旻宜

國立海洋科技博物館籌備處 研究規劃組

壹、學生實驗

一、前言

有鑑於目前國家正不遺餘力推動海洋科學與科技應用，而水下科技又在此領域占有重要的一席之地，因此，本篇將以目前已測試並應用於大範圍海域偵測與取樣之「自主式水下滑翔機」的代表性沉浮方式(由水面滑翔沉降至水底→拋棄配重→滑翔浮出水面)，帶領讀者一窺水下科技的奧秘。

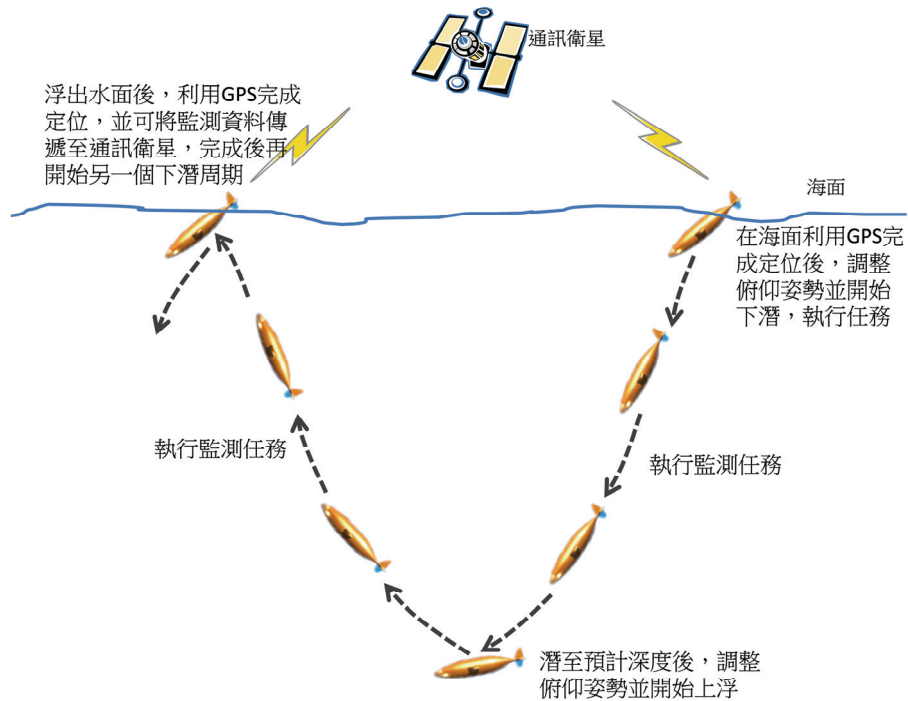


圖(1) 臺灣大學研究團隊所研發之水下滑翔機

首先，先簡單介紹「自主式水下滑翔機」。自主式水下滑翔機 (autonomous underwater glider, AUG)，與遙控水下載具 (remotely operated vehicle, ROV)、自主式水下載具 (autonomous underwater vehicle,

AUV) 等同被歸類為無人水下載具 (unmanned underwater vehicle, UUV)。但是 AUG 並不像 AUV 及 ROV 那樣，在海洋水體中靠傳統的螺槳推進，而是利用重力自然下潛，再用浮力引擎(一種可以抽排水的裝置)產生浮力上浮，在上下的過程中藉由雙翼轉換出向前的推力，使得 AUG 可循著垂直鋸齒狀軌跡的運動方式，如圖(2)所示，進行掃描海洋水體，大範圍蒐集水下水文資料(如水溫、鹽度、壓力…等)之作業，其航程往往可以達到數千甚至數萬公里遠。世界上目前仍以從事研究型態用的 AUG 居多，其水深範圍可及 200 公尺至 6000 公尺深海，水平速度則介於 25cm/sec(約 0.5 節)至 40cm/sec(約 0.8 節)。AUG 之所以可以巡航數千公里的主要原因是 AUG 只有在水中啟動浮力引擎，改變上浮、下沉狀態或傾角姿態時才需要耗費電能，在水中滑翔的過程中除僅需耗費少量電能執行必要監測任務外，並不需要額外電能提供行進之動力，因此相當節能，才能進行長時間及大範圍作業(邱逢琛、蕭高明，2006；郭真祥、簡鴻斌、李建億，2008；Davis, Eriksen 和 Jones，2002；Wood, 2009)。圖(1)是國立臺灣大學研究團隊所研發之水下滑翔機，而圖(2)

*為本文通訊作者



圖(2) AUG 在海洋中典型的垂直鋸齒狀軌跡運動行為(修改自 Wood,2009)

則為 AUG 在海洋中呈現垂直鋸齒狀軌跡的典型運動行為。

二、目的

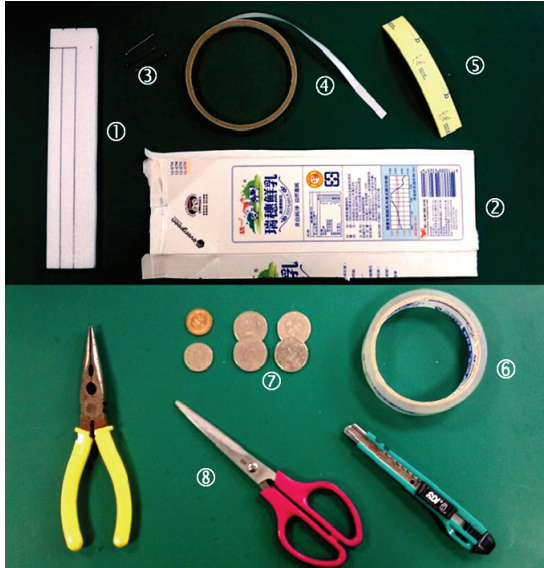
本教學活動將利用 1 元、5 元及 10 元硬幣、大頭針、喝完的鮮奶(或鮮果汁)紙盒、雙面膠帶，以及 5mm 厚的珍珠板，配合筆者提供的 1:1 設計圖，經落樣、裁切、黏合、測試及調整之過程而製作出「無動力水下滑翔機」模型，使其可以在學校的長型實驗水槽(或洗手台)中、或是家中的浴缸裡，完成先往水底滑翔後，碰觸底面後再往水面滑翔之動作，體驗水下科技的奧秘。「無動力水下滑翔機」的設計圖如圖(24)。

三、「無動力水下滑翔機」模型之製作

(一) 材料及工具準備(如圖(3)所示)

1. 17.5cm×3.5cm 的 5mm 珍珠板一片
2. 鮮奶或鮮果汁紙盒一只(可多人共用)
3. 大頭針 3 支
4. 5mm 寬之雙面膠帶，長約 40cm
5. 15mm 寬之泡棉雙面膠帶長約 10cm
6. 15mm 寬透明膠帶約 20cm
7. 1 元硬幣 1 枚、5 元硬幣 1 枚及 10 元硬幣 4 枚

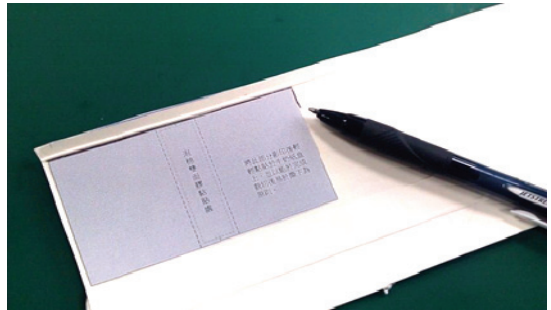
8. 美工刀及尖嘴鉗各一支，亦可多準備一把剪刀
9. 長型實驗水槽(或洗手台)一座



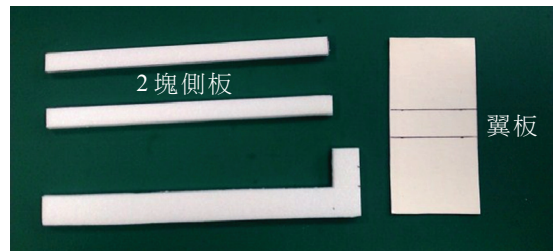
圖(3) 材料及工具準備

(二) 落樣與裁切

將本篇教師手冊一節所附之圖(24)「無動力水下滑翔機」主體設計及翼板設計圖影印後，分別輕輕的浮貼(或描繪)在珍珠板及鮮奶紙盒上，並利用美工刀依照設計所繪製之實線裁切完成，會得到二支 16cm×1cm 之珍珠板側板、一支約為 17.5cm×1.5cm 之珍珠板主板以及一片 9.5cm×5cm 之鮮奶紙盒製成的翼板，如圖(4)及圖(5)所示。



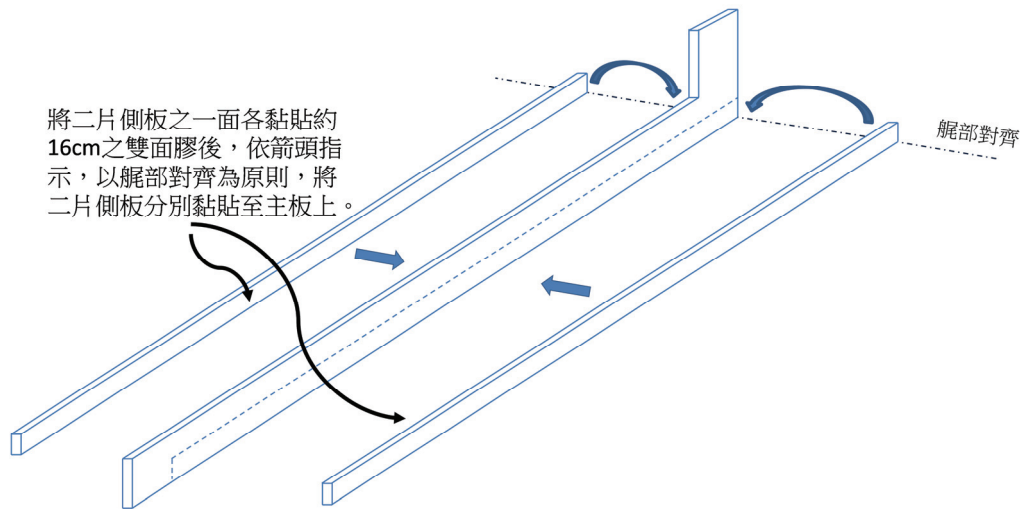
圖(4) 將機體及翼板設計圖分別描繪或影印浮貼於珍珠板(上圖)以及牛奶紙盒上(下圖)照片



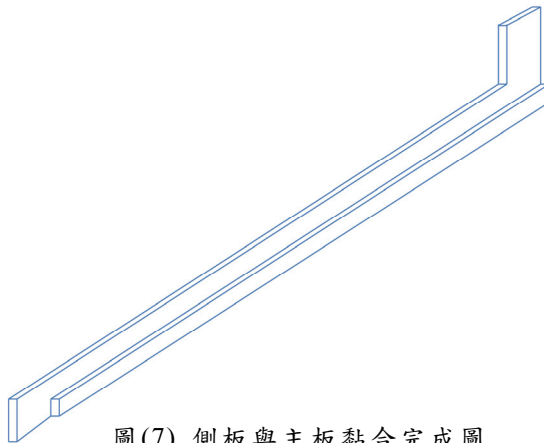
圖(5) 完成裁切後之機體主板與側板及翼板，其中翼板上之二條黑線是為了黏貼泡棉雙面膠時較易對齊而繪製

(三) 黏合

1. 如圖(6)所示，將二片側板之一面各黏貼約 16cm 之雙面膠後，依箭頭指示，以艙部對齊為原則，將二片側板分別黏貼至主板上，完成圖如圖(7)。



圖(6) 將二片側板黏貼至主板兩側示意圖



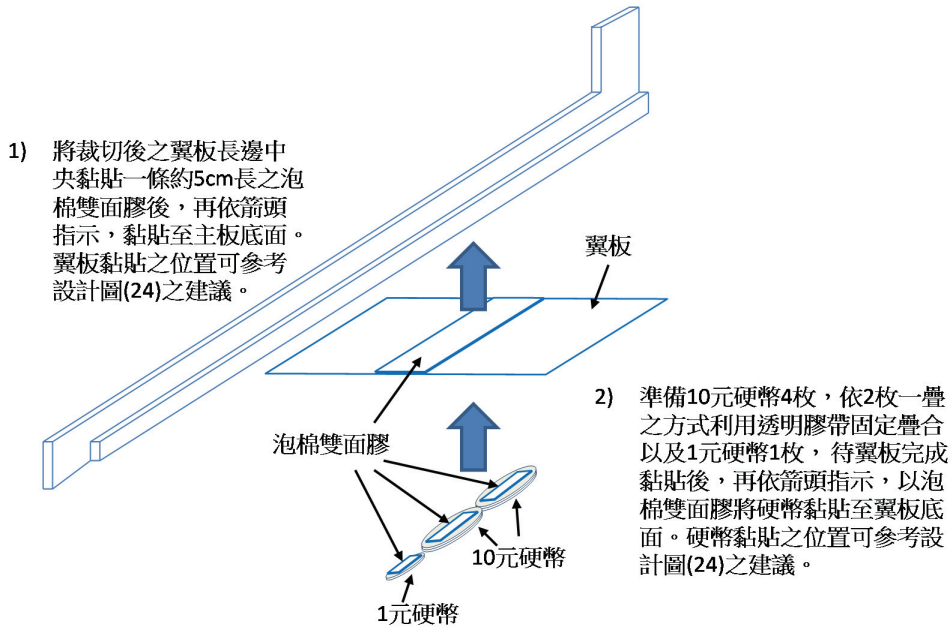
圖(7) 側板與主板黏合完成圖

2. 如圖(8)所示：

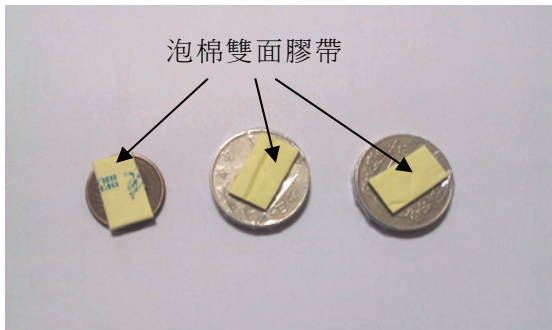
- (1) 將裁切後之翼板長邊中央黏貼一條約 5cm 長之泡棉雙面膠後，再依箭頭指示，黏貼至主板底面。翼板之後緣約距艙部 4.5cm，黏貼位置可以參考設計圖(25)之建議。
- (2) 準備 10 元硬幣 4 枚，依 2 枚一疊之方式利用透明膠帶固定疊

合以及 1 枚 1 元硬幣，視為固定載重，待翼板完成黏貼後，再依箭頭指示，以泡棉雙面膠將硬幣黏貼至翼板底面。硬幣黏貼之位置約在一板下方，可以參考設計圖(25)之建議。

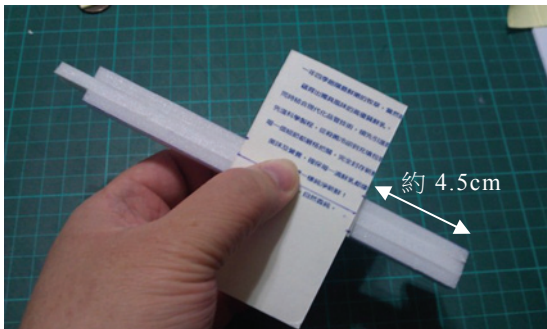
- (3) 於此階段，完成之無動力水下滑翔機的照片如圖(9)。



圖(8a) 將10元硬幣4枚，依2枚一疊之方式利用透明膠帶固定疊合。



圖(8b) 將每一疊硬幣皆黏貼上泡棉雙面膠後備用。

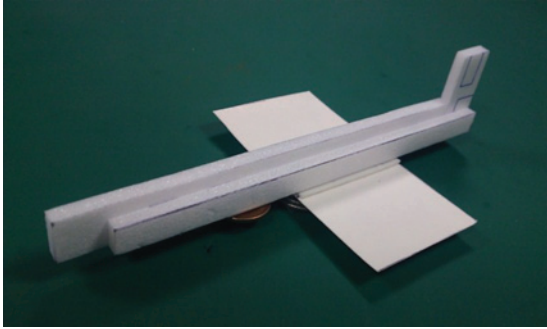


圖(8c) 將翼板長邊中央黏貼一條約5cm長之泡棉雙面膠後，小心黏貼至機體下方，翼板後緣距離艦部約4.5cm。

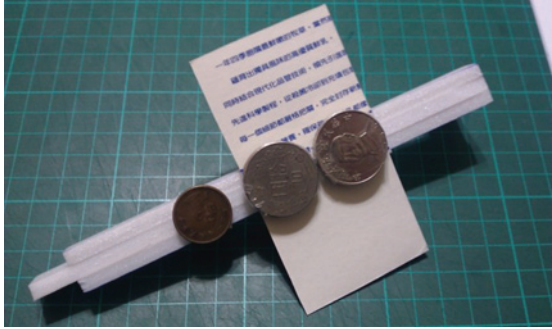


圖(8d) 將二疊10元硬幣及1元硬幣1枚依圖(19)之建議黏貼至翼板及機體下方對應處。

圖(8) 翼板及固定載重黏貼方式示意圖



圖(9a) 上方完成圖

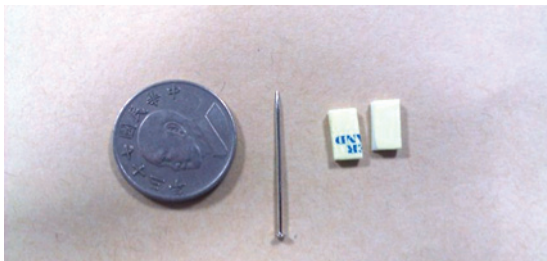


圖(9b) 底面完成圖

圖(9) 翼板及固定載重黏貼完成後之水下滑翔機照片

(四) 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(10)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後，將已彎成 U 字型之大頭針兩端均黏於雙面膠上，如圖 (11)所示，再用透明膠帶圍繞黏貼於其上，以免大頭針脫落。



圖(10a) 取出 1 支大頭針，5 元硬幣及 2 小塊泡棉雙面膠。



圖(10b) 利用尖嘴鉗將大頭針彎成 U 字型，小心不要被大頭針刺到。

圖(10) 翼板及固定載重黏貼完成後之水下滑翔機照片



圖(11a) 將 2 小塊泡棉雙面膠依圖上示意之位置黏貼至 5 元硬幣二側。

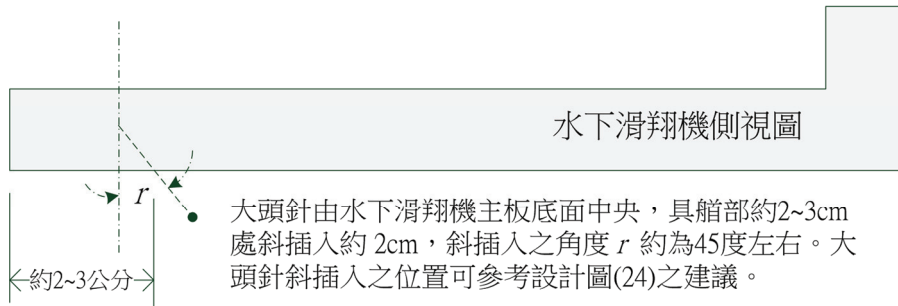


圖(11b) 將 U 字型大頭針兩端均黏於雙面膠上，再用透明膠帶圍繞黏貼於其上，以免大頭針脫落。

圖(11) 將彎成 U 字型之大頭針固定在 5 元硬幣之上

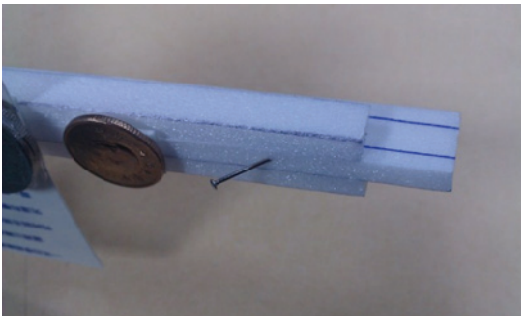
(五) 配重勾安裝

1. 再取出 1 支大頭針，作為水下滑翔機之配重勾。
2. 大頭針自水下滑翔機主板底面中央斜插入約 2cm，斜插入之角度 r 約為 45 度左右，如圖(12)所示，以可以掛住由步驟四所完成之「配重」為原則。

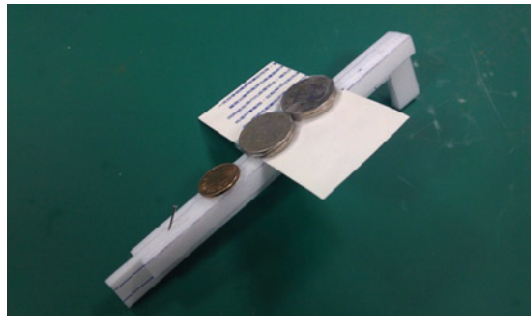


圖(12) 配重勾安裝角度示意圖

3. 大頭針斜插入之位置，約距艙部 2cm-3 cm 之間，實際範圍可參考設計圖(25)之建議，完成後如圖(13)所示。



圖(13a) 上方完成圖



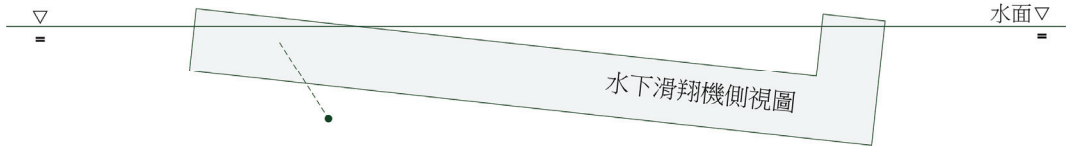
圖(13b) 底面完成圖

圖(13) 配重勾安裝後之水下滑翔機照片

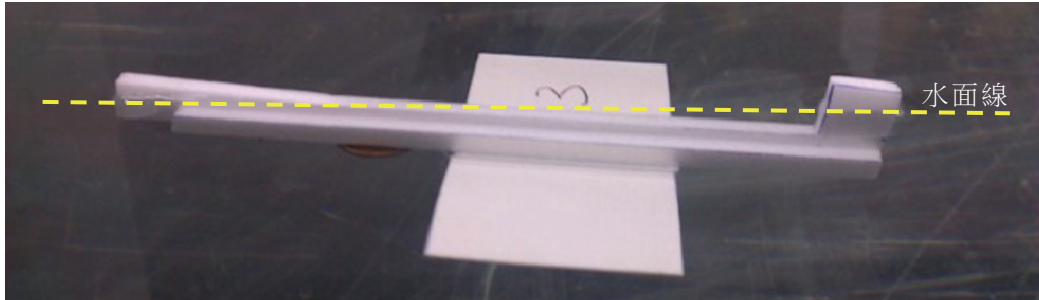
(六) 初步測試

1. 將長型實驗水槽(或洗手台)放滿水，並將已完成配重勾安裝之水下滑翔機，放置於水面。

【觀察】水下滑翔機此時應浮於水面，且應僅剩艙部及艙部上端部分珍珠板會外露於水面上，如圖(14a)及圖(14b)所示。若於此時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模型以類似圖(14a)的角度自水底滑翔前進並逐漸浮出至水面。



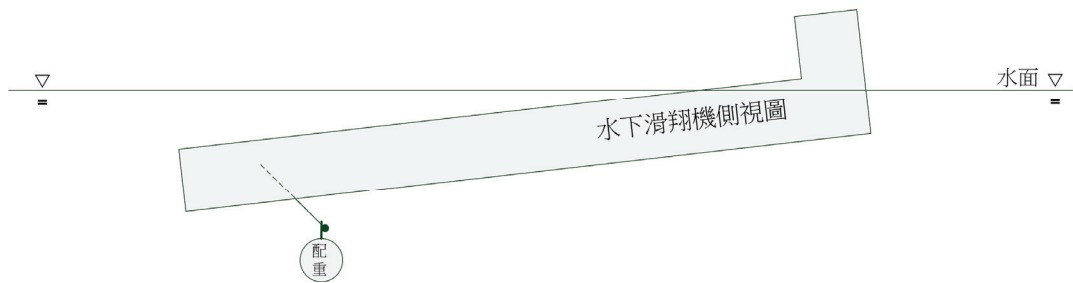
圖(14a) 水下滑翔機浮於水面時之姿勢狀態示意圖



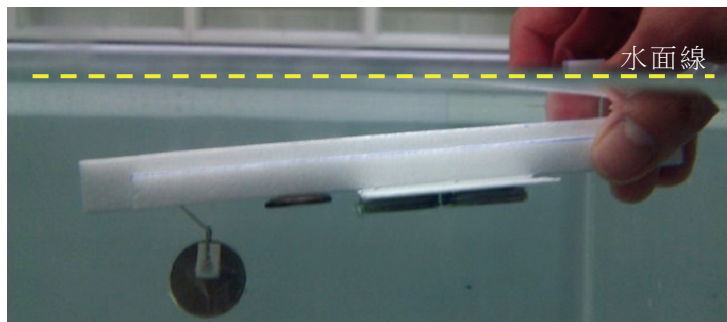
圖(14b) 水下滑翔機浮於水面之實際參考照片

2. 取出 步驟四所完成之「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(15a)及圖(15b)所示。

【觀察】水下滑翔機此時應朝前方滑翔前進並逐漸沉入水底，當「配重」碰觸到水槽底部時，「配重」應會自行脫落留在水槽底部，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。



圖(15a) 將水下滑翔機含配重輕斜放入水中時之姿勢狀態示意圖



圖(15b) 將水下滑翔機含配重輕斜放入水中之實際參考照片

(七) 調整及測試

1. 若將不含配重之水下滑翔機輕輕置放於水面後，水下滑翔機並未能浮於水面上而隨即下沉時，可以藉由於翼面二側對稱位置上(以接近側板為宜)同樣黏貼 1cm*0.5cm (5mm 厚)之珍珠板各一小片的方式改善。多次測試，直到水下滑翔機可以浮於水面，且僅剩艙部及艙部上端部分珍珠板會外露於水面上為止，結果如圖(14)。

【觀察】此時可以觀察每調整一次，水下滑翔機之浮沉狀況是否有變化?可探究出其原因為何嗎?

2. 若將含有配重之水下滑翔機輕輕斜放入水中後放開，水下滑翔機並未能逐漸沉入水中時，可以利用美工刀逐步之對稱削除二側珍珠板側板長度之方式改善(亦即，同樣削除艙部左右側板各 0.25cm，或同樣削除艙部左右側板各 0.25cm)，多次測試，直到未含配重之水下滑翔機可以浮於水面，加了配重之水下滑翔機可以逐漸沉入水中為止。

【觀察】此時可以觀察每調整一次，水下滑翔機之浮沉狀況是否有變化?可探究出其原因為何嗎?

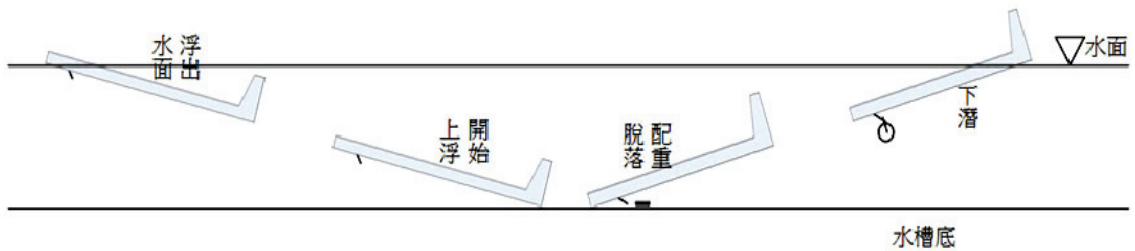
3. 若水下滑翔機之滑翔下潛角度過大(艙部過重)，可以將配重勾(大頭針)位置往艙部移動(反之，若滑翔下潛角度過小，則可以將配重勾位置往艙部移動)，多次測試，直到獲得較滿意之滑翔下潛角度為止。

【觀察】此時可以觀察每調整一次配重勾(大頭針)位置，水下滑翔機之滑翔下潛角度是否皆有些微調整?可探究出其原因為何嗎?

4. 若「配重」碰觸到水槽底部而並未自行脫落時，可能是因為步驟五配重勾安裝時之大頭針插入角度 r 過大，使得「配重」不易脫落，可以藉由調整大頭針插入角度，多次測試，直到「配重」碰觸到水槽底部時能自行脫落為止。

5. 若「配重」在碰觸到水槽底部之前便已脫落，可能是因為步驟五配重勾安裝時之大頭針插入角度 r 過小，使得「配重」太易脫落，可以藉由調整大頭針插入角度，多次測試，直到「配重」碰觸到水槽底部時能自行脫落為止。

6. 完成調整及測試後之水下滑翔機模型應該可以依照圖(16)所描述之運動方式與歷程完成「下潛-上浮」運動。



圖(16) 水下滑翔機模型在水槽中之「下潛-上浮」運動歷程示意圖

貳、教師手冊

與本篇教學活動類似透過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(2008)、蕭次融及余甄紘(2008, 2008a)等以改良“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，有興趣之讀者可參考之。

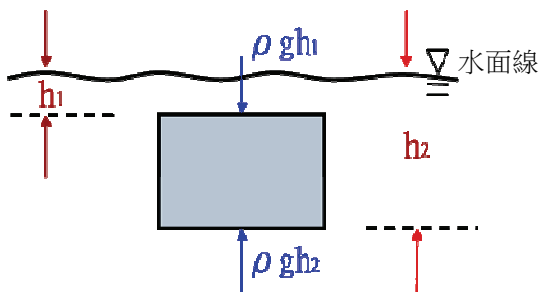
本篇則除了闡述浮沉概念，藉由調整「水下滑翔機」模型整體密度之變化造成沉浮現象外，亦可藉由浮沉過程間，水作用於機翼上之力量，使得「水下滑翔機」模型可以伴隨著前進。本篇整個教學活動(含製作、調整與測試過程)經過數次於海科館寒暑假營隊學員的實際試驗，約在2小時以內可以完成，可當作浮力與重力交互作用概念之教材實施，亦可考慮進行比賽，如參與比賽之學生必須在最短時間內自行調整「水下滑翔機」模型而使其可以通過位於水槽底部的閘門，進而增進學生對浮沉概念之吸收與應用。

一、運作原理

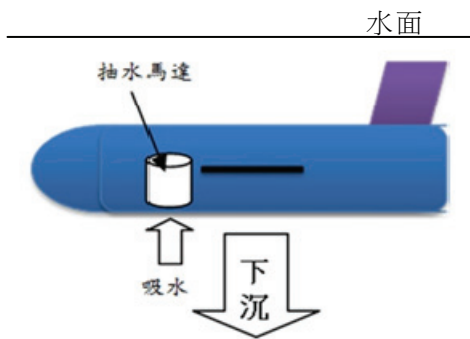
天上飛的滑翔機依靠迎面而來的風而爬升，就像老鷹一樣，依靠風勢而盤旋在天際，風愈強，爬升的速度愈快。下降則是受重力作用而逐漸滑翔至低處，所依靠的原理是「伯努利定律」。「水下滑翔機」運作的原理跟天上飛的滑翔機不同。基本上，水下滑翔機靠浮力與重力的相對作用而由海底升到海面上，或是由海面逐漸滑翔至海底。而「浮力與重力的相對作用」可用「阿基米德原理」來說明。

簡單的解釋「阿基米德原理」，就是物體浸在水中所失去的重量 = 浮力 = 該物體所排開水的重量。浮力之產生是由水的靜壓作用於水中物體表面時，上下表面所受作用力之差值，因為下表面沒入水中的深度(h)較大，其所受靜壓(ρgh)也較大，故其浮力是向上，如圖(17)所示。

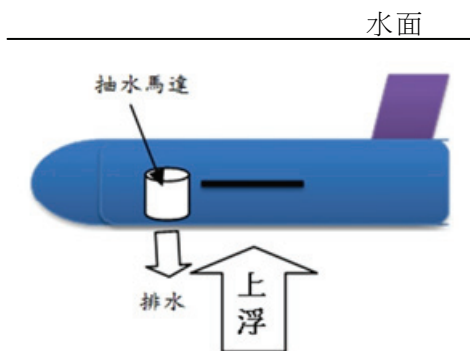
但是，當我們已經知道「水下滑翔機」是靠浮力與重力的相對作用下沉與上浮時，另一個問題來了，它是如何前進呢？請先參考圖(18)所示之圖解。



圖(17)浮力之產生

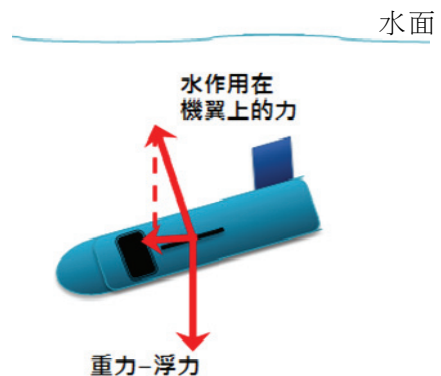


圖(18a) 水下滑翔機下沉之原理：將水吸入水下滑翔機，使機體密度比水大，水下滑翔機便會下沉。

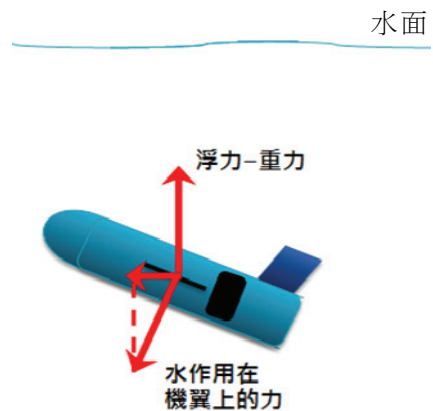


圖(18b) 水下滑翔機上浮之原理：將水排出水下滑翔機，使機體密度比水小，水下滑翔機便会上浮。

「水下滑翔機」通常有一個負責抽水的馬達(又可被稱為浮力引擎)可以將水從外面抽入「水下滑翔機」的壓載艙內，或是將水從壓載艙抽出「水下滑翔機」外。當「水下滑翔機」要下潛時，只要使抽水馬達將水從外面抽入「水下滑翔機」的壓載艙內即可；反過來說，要上浮時，只要使抽水馬達將水從壓載艙抽出「水下滑翔機」外即可達到上浮的目的。為了在下潛或上浮時，還要同時能前進，必須在吸、排水時，一併改變機翼的傾角才可達成，如圖(19)與圖(20)所示。



圖(19) 下潛時藉由往前調整機體重心方式使水下滑翔機往前行進



圖(20) 上浮時藉由往後調整機體重心方式使水下滑翔機往前行進

如圖(19)與圖(20)所示之「水下滑翔機」，由於機翼本身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，當重心位置在浮心(註 1)之前時，機體頭部會往下傾斜，距離愈遠，傾角愈大，在同樣深度的情況下愈快能夠從水面潛到水底；反之，當重心位置在浮心之後，機體尾部則會往下傾斜，距離愈遠，傾角愈大，在同樣深度的情況下愈快能夠從水底面浮出水面(國立海洋科技博物館籌備處，2008；宋祚忠，2010，2010a)。

本篇的設計則稍微做了修改，以配重之加入與自行於水底脫落之方式，調整重心之位置，進而能使本篇的水下滑翔機試驗模型得以達成「由水面滑翔沉降至水底→配重脫勾→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。

二、設計參數

本篇所設計之水下滑翔機試驗模型的重要參數如下：

(一) 水下滑翔機本體(不含配重)

1. 重量：約為 39g。
2. 體積：約為 41cm³。

(二) 硬幣參考重量

1. 10 個 10 元硬幣之重量約為 75g。

2. 10 個 5 元硬幣之重量約為 45g。
3. 10 個 1 元硬幣之重量約為 34g。

(三) 配重(含 5 元硬幣 1 枚、1 支大頭針、雙面膠及透明膠帶等)

1. 重量：約為 4.5 g。
2. 體積：約為 0.5 cm³。

(四) 水下滑翔機(含配重)於下潛時之總體密度：約 1.05 g/cm³，略大於水的密度(1 g/cm³)。

(五) 水下滑翔機於上浮時之總體密度：約 0.95 g/cm³。

三、設計參數

如圖(21)右圖所示，是為俯仰角度調整器，其目的在於當已完全依照圖示與說明步驟，以及參考圖(25)之建議黏貼翼板、10 元硬幣、1 元硬幣以及安裝配重勾以後，完成之水下滑翔機模型浮於水面上之姿態仍與圖(14)所示狀態有些差異時，可以利用此俯仰角度調整器進行姿態微調。

(一) 製作方式

拿出一個 1 元硬幣、1 根大頭針以及透明膠帶少許。利用透明膠帶將大頭針及 1 元硬幣固定起來，結果可如圖(21)所示。



圖(21) 製作完成之俯仰角度調整器

(二) 使用方式

1. 如圖(22a)所示，先將原本已黏貼在水下滑翔機模型下側之 1 元硬幣拔下，準備進行俯仰姿態微調。
2. 將「俯仰角度調整器」之大頭針線垂直插入原黏貼 1 元硬幣之中心處，如圖(22b)圖所示，再將水下滑翔機模型輕輕擺置在水面上，若發現艙部抬頭過高，則可以將「俯仰角度調整器」拔出，朝艙部(反之，相較於圖(14)，若艙部過低或低入水面，則朝艙部)稍微移動再插入後，再於水面上觀察其俯仰姿態。

如果已接近圖(14)所示狀態，則可將「俯仰角度調整器」之插入位置做好記號後，將 1 元硬幣之圓心貼於接近記號之處，如圖(22c)及圖(22d)所示。至於調整「俯仰角度調整器」位置之方式微調水下滑翔機模型時所呈現之 4 種俯仰姿態，則請參考圖(23a~d)。

3. 若水下滑翔機模型之俯仰姿態經「俯仰角度調整器」微調後，仍有差異就必須依“調整及測試”一節之描述，進行重新調整與測試。



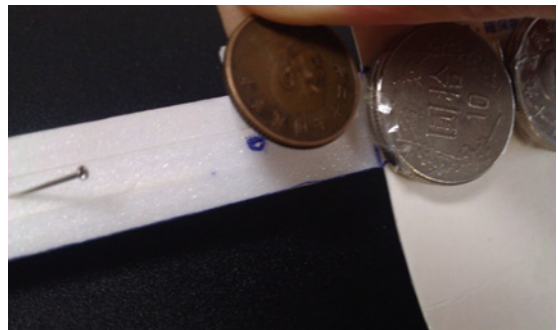
圖(22a) 小心地將 1 元硬幣拔起



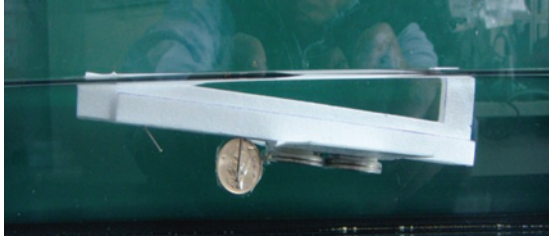
圖(22b) 將「俯仰角度調整器」垂直插入原黏貼 1 元硬幣之中心處



圖(22c) 用筆在「俯仰角度調整器」插入處作記號



圖(22d) 再將 1 元硬幣之圓心貼於接近記號處



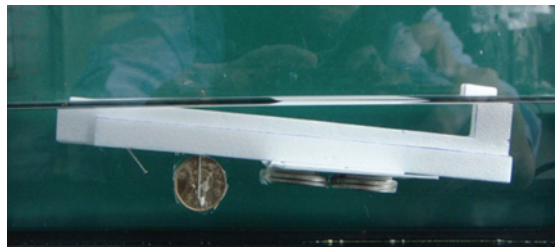
圖(23a) 為「艏部過仰，艉部過沉」之俯仰姿態。從水槽底部放開水下滑翔機模型時，雖會朝艏部前進，但將會出現浮出時仰角過大之情況



圖(23b) 為「過平」之俯仰姿態。從水槽底部放開水下滑翔機模型時，不會前進也不會後退，將會呈現以此狀態而垂直浮出的情況



圖(23c) 為「艏部過沉，艉部過仰」之俯仰姿態。從水槽底部放開水下滑翔機模型時，雖仍會浮出水面，但是會朝艉部後退



圖(23d) 為「期望」之俯仰姿態，將會呈現設計之結果

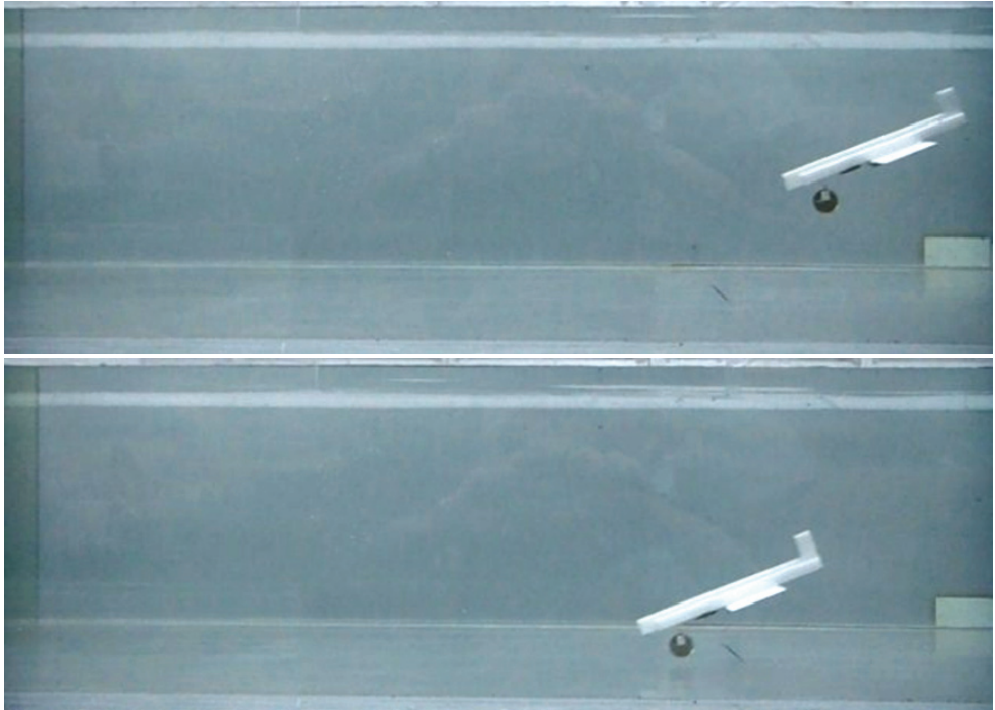
圖(23) 以調整「俯仰角度調整器」位置之方式微調水下滑翔機模型時所呈現之4種不同

四、設計圖(如圖 24、圖 25)

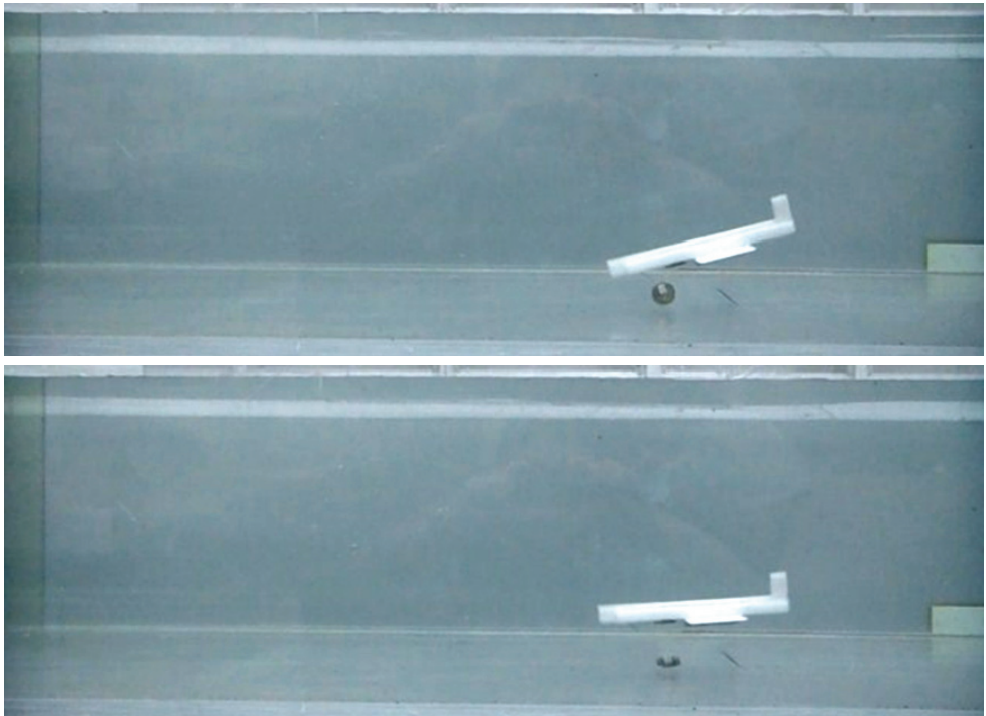
五、實際測試滑翔成果照片



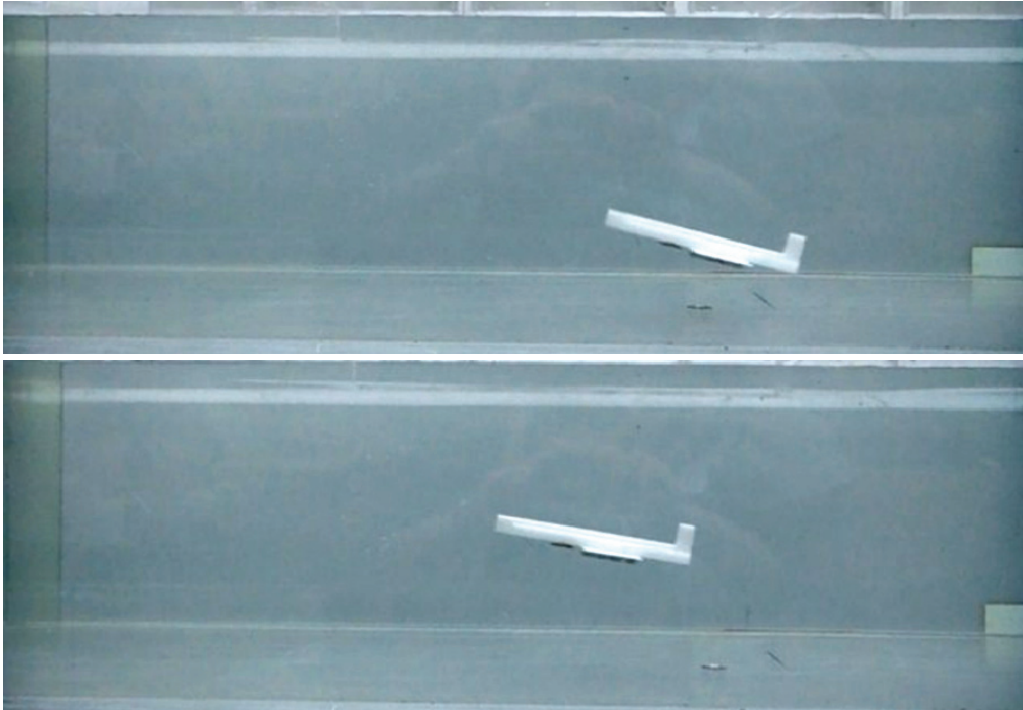
第一階段：將水下滑翔機輕放於透明水槽中之水面上後並放開手



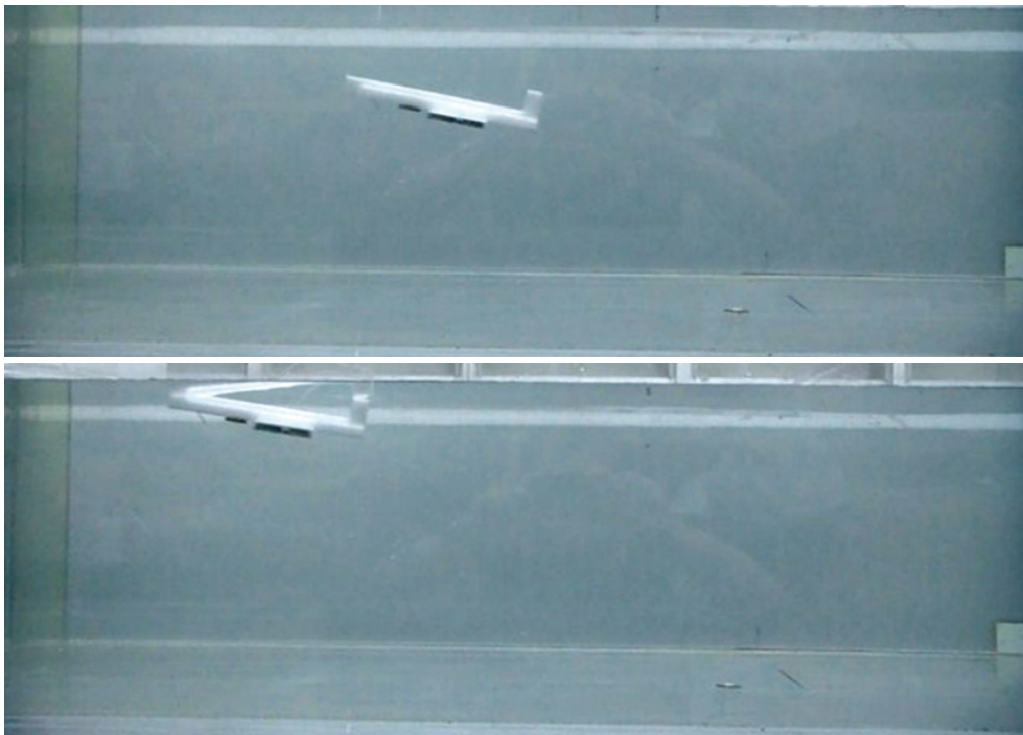
第二階段：水下滑翔機正逐漸下潛，輕碰水槽底部後配重脫落



第三階段：水下滑翔機之配重脫落後隨即改變姿態開始往水面上浮



第四階段：水下滑翔機逐漸往上浮並同時前進



第五階段：水下滑翔機正浮出水面但仍保持前進



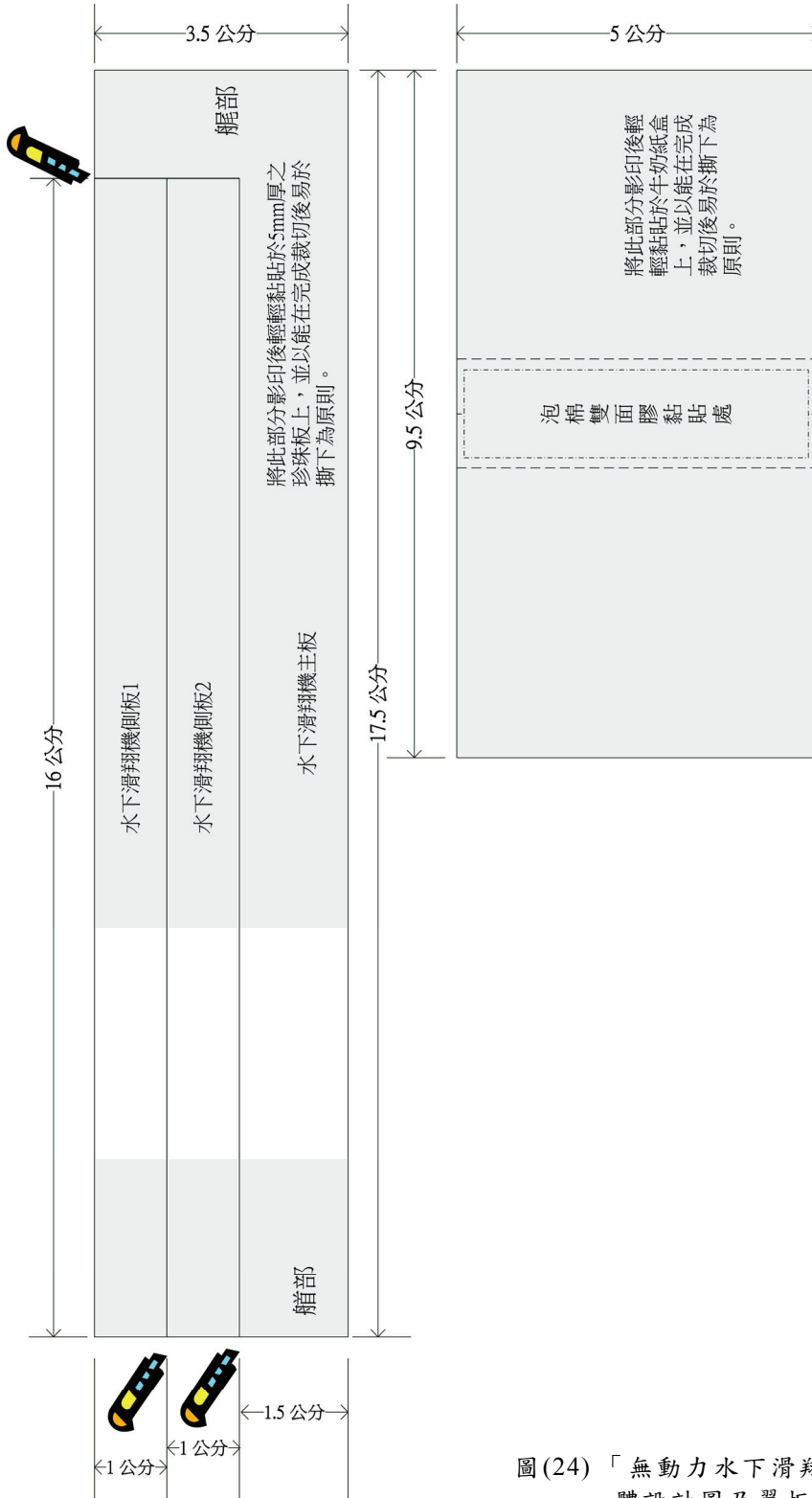
第六階段：水下滑翔機滑翔至水槽邊而停止

參、註解

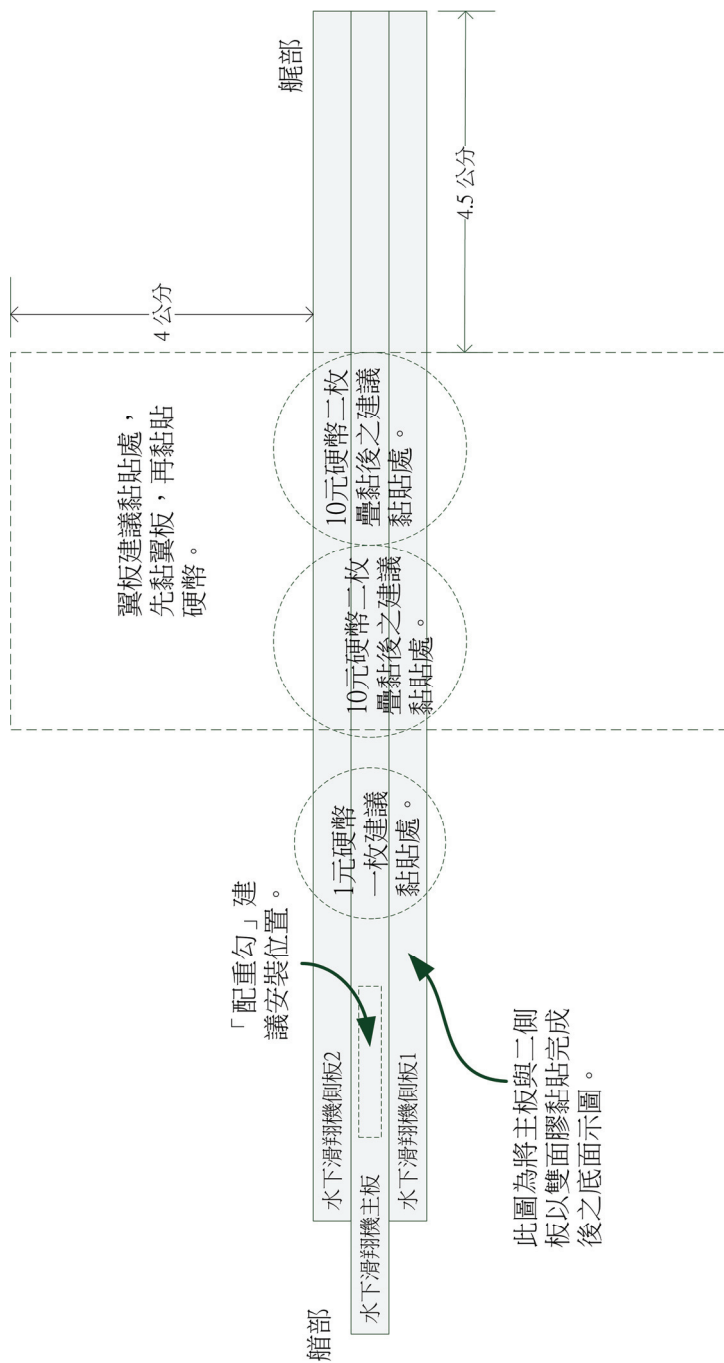
註 1：浮心 (center of bouyancy) 可視為浮力之合力作用於沉體或浮體的位置。簡單地說，一個完全浸在液體裡且密度均勻的物體，浮心與該物體之重心在同一位置。若一物體沒有完全浸在液體裡而浮在液體表面，浮心則位於該物體浸在液體裡那部分的重心位置。

參考文獻

- 邱逢琛、蕭高明(2006)：船的形形色色—海洋偵測大隊。科學發展，404，20-27。
- 郭真祥、簡鴻斌、李建億(2008)：水下滑翔機設計與運動模擬系統。第十屆水下技術研討會暨國科會成果發表會。高雄市：國立中山大學，2008年4月25日。
- 余甄紘、蕭次融(2008)：簡易浮沉子的製作與操作。科學教育月刊，306，43-49。
- 蕭次融、余甄紘(2008)：聽話的浮沉子。科學教育月刊，307，31-35。
- 蕭次融、余甄紘(2008a)：跳號沉浮的浮沉子。科學教育月刊，308，35-39。
- 余甄紘、蕭次融(2009)：創意教學示例—聽話的浮沉娃娃。科學研習月刊，48(2)，44-47。
- 宋祚忠、潘美璟主編(2008)：海下機器人—探索深海秘境的超級武器 (海洋科技折頁)。基隆市：國立海洋科技博物館籌備處。
- 宋祚忠(2010)：認識水下滑翔機。2010 船舶科學冬令營課程講義，2010年1月。基隆市：國立海洋科技博物館籌備處。
- 宋祚忠(2010a)：水下滑翔機 DIY 體驗。2010 船舶科學冬令營課程講義，2010年1月。基隆市：國立海洋科技博物館籌備處。
- Russ E. Davis, Charles C. Eriksen and Clayton P. Jones (2002). Autonomous Buoyancy-Driven Underwater Gliders. In G. Griffiths, (ed.), The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles (ch.3, pp.37-58). London: Taylor and Francis.
- Stephen Wood (2009). Autonomous Underwater Gliders on Underwater vehicles, ISBN 978-953-7619-49-7, Publisher: IN-TECH, January 2009.



圖(24) 「無動力水下滑翔機」1:1 比例之主體設計圖及翼板設計圖



圖(25) 附件建議黏貼位置示意圖(1:1比例)