

投稿類別：自然科學類

篇名：

無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

作者：

游博竣。縣立花崗國中。七年 12 班

羅奕喬。縣立花崗國中。七年 12 班

指導老師：

李恩銘老師

曾文郁老師

## 壹●前言

### 一、研究動機

在書本中發現了「紙環飛機」有趣的科學遊戲，在吸管上黏兩個一小一大的紙環，接著將小環那端朝前用力射出，「紙環飛機」便可在空中優雅地滑翔一段時間才降落。我們突發奇想將「紙環飛機」加以改裝成為可在水中漂移的「環翼潛艇」，但有哪些因素會影響「環翼潛艇」在水中漂移前進的情形？又「環翼潛艇」能否在無動力裝置下進行沉浮呢？……一連串的問題在我的腦海中一一浮現，我們決定組隊一起進行更深入的研究，揭開「環翼潛艇」的神秘面紗。

### 二、研究目的

- (一)探究影響「環翼潛艇」漂移及沉浮的因素有哪些。
- (二)研發能在無動力裝置下在水中進行沉浮的「環翼潛艇」。

### 三、研究方法

本研究採用文獻分析、實驗室實驗法的研究方式，探究無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象。研究步驟如圖 1：

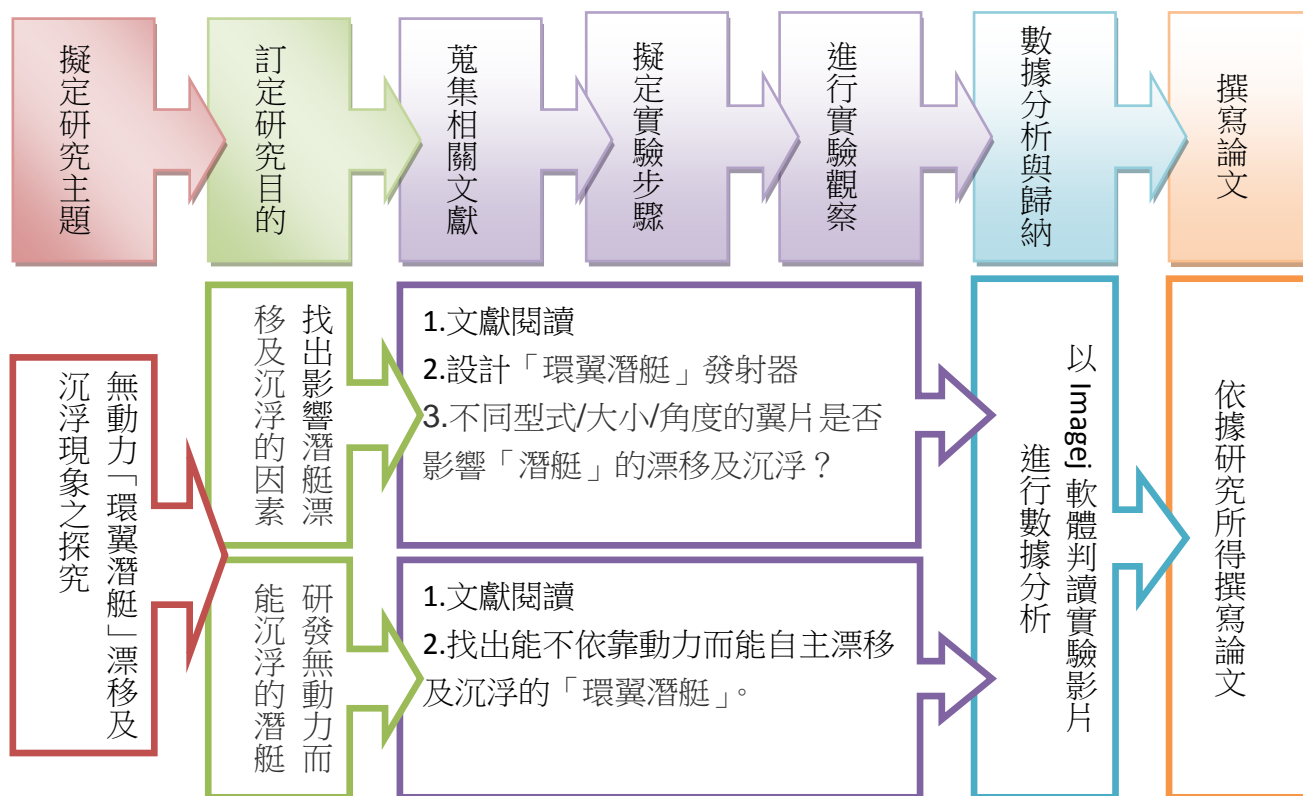


圖 1 研究架構圖

## 貳●正文

### 一、文獻探討與實驗器材說明

#### (一) 文獻探討

自主式水下滑翔機(AUG)與遙控水下載具(ROV)、自主式水下載具(AUV) 都被歸類為無人水下載具(UUV)。但AUG並不像AUV及ROV，在海洋中需要倚靠傳統的螺旋槳當作推進器，而是利用重力的原理自然下潛，再利用浮力引擎產生浮力上浮，在上下的過程中藉由雙翼轉換出向前的推力，讓AUG可以依循著垂直鋸齒狀軌跡的運動方式，如圖2所示，進行海洋觀察，大範圍蒐集水文資料(如溫度、鹽度、壓力…等)。

世界上目前從事研究型態的無人水下載具以AUG居多，其水深範圍可至6000公尺深海。AUG可以在水下航行數千公里是因為AUG只需在水中改變上浮、下沉狀態或傾角姿態時，啟動浮力引擎耗費電能，其餘滑翔的過程中，並不需要花費電能提供行進動力，相當節能，可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)。

宋祚忠、林旻宜(2014)設計出以相當容易取得的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，如圖3所示。

水下滑翔機是藉由調整「水下滑翔機」模型整體密度的變化造成沉浮現象，同時也可藉由浮沉過程時，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(宋祚忠、林旻宜，2011)。

由於「水下滑翔機」之機翼是水平固定在機體上，若要改變機翼的傾角必須以調整機體「俯仰」姿勢，可以利用移動機體內的重物位置，調整機體整體的重心進行水平移動(宋祚忠、林旻宜，2014)。

劉澐方等人於2005年所發表的「海底蛟龍」作品中，使用圓桶型的保特瓶製作成模型潛水艇，在水面上架設管線連接潛水艇內的轉向幫浦以及進、排氣孔，達到能在水中上浮、下潛及前進的目的，但管線長度的問題使得潛水艇模型潛入深度有其極限，無法達到AUG的下

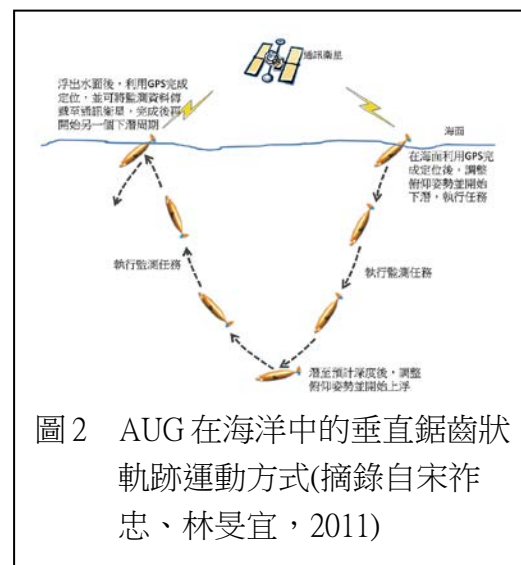


圖2 AUG在海洋中的垂直鋸齒狀軌跡運動方式(摘錄自宋祚忠、林旻宜，2011)

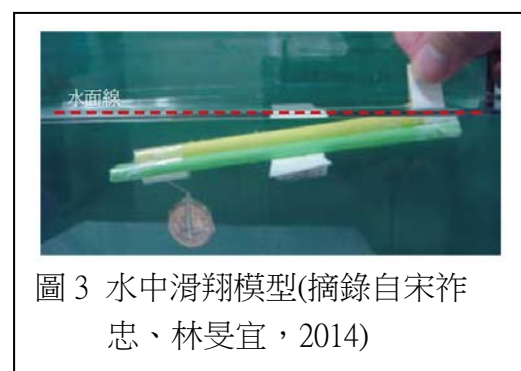


圖3 水中滑翔模型(摘錄自宋祚忠、林旻宜，2014)

潛效果以及節能的目標。

鍾孟岳等人於2012年所發表的「全速潛進」作品中，仿造宋祚忠、林旻宜(2014)設計的水下滑翔機進行實驗及改良，發現使用熱融膠及膠帶封口，有助於改善吸管漏水問題；使用塑膠墊板當做機翼材質，可以使機翼不會變軟；使用5顆小鋼珠當成配重，可防止滑翔機不規則轉彎；機翼寬度對水中滑翔機水平距離的影響大於改變機翼長度。但是其研究中沒有提到配重對於水下滑翔機的影響。

綜合上述文獻，本文所研究的無動力「環翼潛艇」與宋祚忠、林旻宜(2011)所推廣設計的無動力水下滑翔機相同，皆採用（由水面滑翔沉降至水底→拋棄配重→滑翔浮出水面）的方式進行沉浮，期望利用這種方式，體會自主式水下載具(AUV)在水下移動情形。而在鍾孟岳等人以及鍾孟岳等人的研究中並無提到，機翼的形狀改變是否會影響其水平移動或是左右偏移情形，在偶然的機會中，我們觀察到一種奇特的「怪怪飛行器」（許良榮，2009），採用環翼當作機翼，是否可以讓我們運用於水下滑翔機上呢？此外，環翼的大小以及配重的改變，是否會影響水下滑翔機的移動現象及距離呢？值得我們深入研究。

## (二) 實驗環境說明

### 1、發射器的設計

為了能控制每一次發射潛艇的力道，經過多次嘗試最後以飛機木、鐵片、強力磁鐵加以組裝成潛艇發射器。利用磁力原理，強力磁鐵的磁力透過飛機木、吸住潛艇上的墊片。拉動繩子使鐵片移至強力磁鐵下方，用以阻隔強力磁鐵磁力，此時潛艇就會掉下來(如圖 4)。

### 2、潛艇的設計

將直徑 0.5cm 的硬式塑膠管裁成 7cm 長、直徑 1cm 的中空墊片 5 個、1cm 寬的透明片加以組合，再用油土封住吸管兩端，就是潛艇的基本構造，潛艇各部位名稱如圖 5 所示。本研究將改變「潛艇」的翼片型式、環的直徑、環與管身的角度，以了解影響潛艇漂移及沉浮的原因。

### 3、實驗數據判讀方式

在長 90cm×寬 45cm×高 45cm 水箱下方及兩側黏貼布尺，在水箱前約 1.5m 處以水平視角架設攝影機（如圖 6），所錄製的實驗影片以 Imagej 軟體判讀潛艇落水後現象及漂移

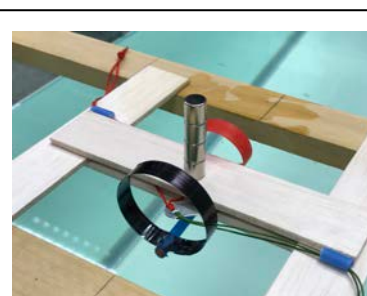


圖 4 潛艇發射器

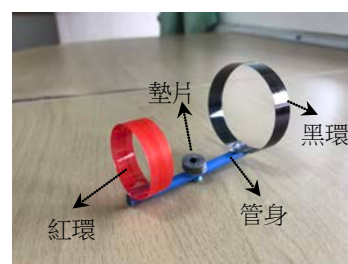


圖 5 潛艇基本構造其各部位名稱

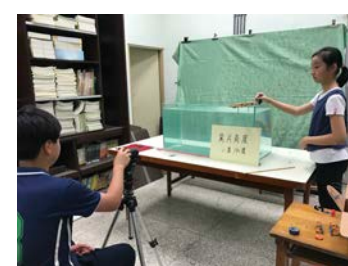


圖 6 實驗環境布置

## 無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

距離。漂移距離是指潛艇降落後管身接觸水面開始至管身漂移至箱底為止的水平距離。

### 二、研究過程及結果

#### (一)不同型式的翼片是否影響潛艇的漂移及沉浮？

##### 1、實驗步驟：

- (1)將寬 1cm 的透明片製成直徑 3cm 的紅環翼片、直徑 4.5cm 的黑環翼片之「環翼潛艇」2 架，將其中 1 架「環翼潛艇」的紅/黑環翼片從中裁斷即為「平翼潛艇」(如圖 7)
- (2)利用發射器將「環翼潛艇」、「平翼潛艇」發射降落至水中，觀察其漂移現象，並以攝影機錄下實驗過程，再以 Image-j 軟體判讀前後漂移距離及左右偏移距離。

##### 2、研究結果：


- (1)不論是「環翼」或「平翼」潛艇，都是紅色翼片先進入水面，接著黑色翼片再進入，並朝紅色翼片方向傾斜降落。
- (2)「環翼潛艇」的平均漂移距離較「平翼潛艇」長 40cm，且「環翼潛艇」每一次實驗的落點、航道都比「平翼潛艇」穩定，「平翼潛艇」在漂移中會呈「」型轉彎，每一次實驗的落點都不一樣(如圖 8)。
- (3)「平翼潛艇」在水中漂移時，其翼片會嚴重變形呈「V」型，且隨水流不斷地進行不同彎曲角度的形變，導致其常常改變航道；但「環翼潛艇」在水中漂移時，其翼片只稍稍變形為「O」型，因為「環翼」型比「平翼」型翼片的形狀固定，不易產生嚴重形變，才使得「環翼潛艇」的漂移航道穩定、漂移距離較長，所以之後的實驗設計都以「環翼」型的潛艇進行。
- (4)不論是「環翼」或「平翼」潛艇，落入水面後會緩緩下降的原因，是因潛艇往下的重力及往上的浮力。



圖 7 「環翼潛艇」與「平翼潛艇」

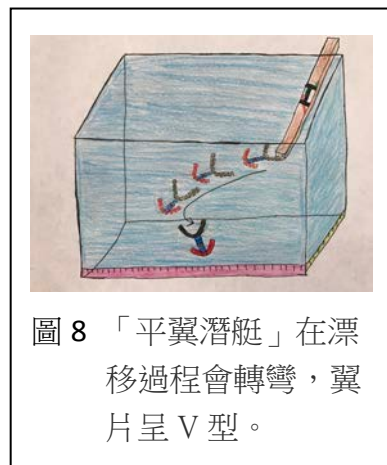


圖 8 「平翼潛艇」在漂移過程會轉彎，翼片呈 V 型。

## 無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

表一、潛艇翼片型式不同時，其漂移現象、漂移距離、偏移距離一覽表

翼片型式	潛艇照片	實驗次數	前後漂移距離 (cm)	左右偏移距離 (cm)	描 述
平翼潛艇		1	17.3	10.5	平翼潛艇進入水中時，紅色小長條先進入水面，接著黑色大長條再進入，航行方向漂忽不定，漂移中會轉彎，長條受水流影響呈V字型，其中以黑色更為明顯。
		2	26.3	4.5	
		3	36.2	15	
		4	30.9	7.5	
		5	15.1	10	
		平均	25.16	9.50	
環翼潛艇		1	66.4	0.5	環翼潛艇進入水中時，紅色小環先進入水面，接著黑色大環再進入，接著便快速、平穩、筆直的往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。
		2	66.2	1	
		3	64.7	2	
		4	65.6	2	
		5	66.0	1.5	
		平均	65.78	1.40	

### (二)不同大小的環形翼片是否影響潛艇的漂移及沉浮？

#### 1、實驗步驟：

- (1)改變「環翼潛艇」紅/黑環直徑為 3cm/4.5cm、3cm/3cm、4.5cm/4.5cm、4.5cm/3cm、(如圖 9)。
- (2)利用發射器將上述 4 架潛艇發射降落至水中，觀察其漂移現象，並以攝影機錄下實驗過程，再以 Image-j 軟體判讀其漂移距離。



#### 2、研究結果：

- (1)紅/黑環直徑為 3/3cm、4.5/4.5cm 時，潛艇落入水中後，不向任一方傾斜降落至箱底，證明環一小一大的差異真的是讓潛艇可以穩定地傾斜向前漂移之主要因素。
- (2)紅/黑環直徑 4.5/4.5cm 比 3/3cm 在水中漂移時間長約 2 秒，表示兩環直徑越大，漂移時間越久，證明環越大在水中所造成的浮力也越大。
- (3)紅/黑環直徑為 3/4.5cm、4.5/3cm 時，潛艇落入水中後會往小環方向傾斜漂移，我

## 無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

們推論原因有二，一是依據伯努力定律，大環直徑比小環大，大環上的水流速度會比小環上的水流速度快，所以大環上方的壓力比小環上方的壓力小，促使大環往上抬升的幅度比小環大，因此看起來潛艇是向小環方向傾斜；二是環翼直徑越大，在水中所產生的浮力則越大，使得大環往上抬升的角度大。

表二、潛艇環形翼片直徑不同時，其漂移現象、漂移距離一覽表

紅/黑環直徑		3cm / 4.5cm	3cm / 3cm	4.5cm / 4.5cm	4.5cm / 3cm
漂 移 距 離 (cm)	實驗 1	66.4	0	-0.6	-0.7
	實驗 2	66.2	2.8	0	-0.6
	實驗 3	64.7	4.1	-0.3	-0.5
	實驗 4	65.6	0.1	2.4	-0.6
	實驗 5	66.0	2.2	1.8	-0.7
平均		65.78	1.84	0.6	-0.62
現象描述		落入水中往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。	落入水中不向任何一方傾斜，幾乎鉛直降落。	落入水中不向任何一方傾斜，幾乎鉛直降落。	落入水中往黑環(小環)方向傾斜，一直撞到箱壁。

### (三) 不同角度的環形翼片是否影響潛艇的漂移及沉浮？

#### 1、實驗步驟：

(1)改變「環翼潛艇」紅/黑環與管身的夾角為 0/0 度、45/0 度、90/0 度、0/45 度、45/45 度、90/45 度、0/90 度、45/90 度、90/90 度、45/135 度。

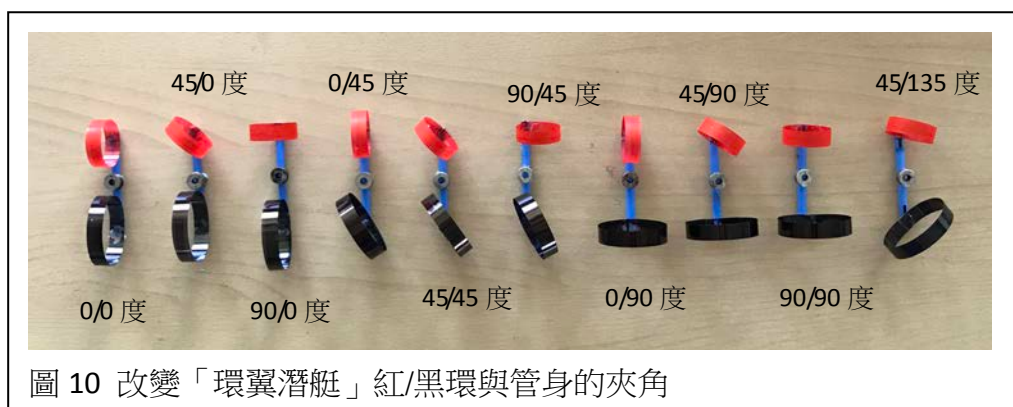


圖 10 改變「環翼潛艇」紅/黑環與管身的夾角

(2)利用發射器將上述 10 架潛艇發射降落至水中，觀察其漂移現象，並以攝影機錄下實驗過程，再以 Image-j 軟體判讀其漂移距離。

#### 2、研究結果：

(1)改變紅/黑環角度對於潛艇漂移現象的影響很大，原先當紅/黑環都呈 90/90 度時，

### 無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

潛艇會往紅環(小環)方向傾斜漂移至箱底，漂移距離為 65.78cm。但一旦改變兩環翼的角度，潛艇雖然還是會往紅環(小環)方向傾斜，但漂移距離則是大大縮短。

- (2)當紅/黑環呈 45/0 度、0/45 度、90/45 度、45/90 度、45/135 度時，潛艇落水後往小環傾斜，並以管身前端為中心呈螺旋狀降落，其中紅/黑環呈 45/135 度時，旋轉圈數最多圈。但當紅/黑環呈 45/45 度時，則是整台潛艇在逆時針旋轉。這說明環與管身的角度有掌控潛艇漂移方向的能力。
- (3)當前環或後環與管身呈 0 度時，漂移過程中可明顯看出與管身呈 0 度角的環很努力的在對抗水流，很難順利向前漂移，甚至出現 0 度的環在「顫抖」的有趣現象，所以小/大環的角度與潛艇能否流暢保持直線漂移息息相關。

表三、潛艇環形翼片角度不同時，其漂移現象、漂移距離一覽表

紅/黑環角度		0/0 度	45/0 度	90/0 度	0/45 度	45/45 度	90/45 度
潛艇照片							
漂 移 距 離 (cm)	實驗 1	1.2	0.6	1.3	0.3	11	0
	實驗 2	0.8	0.2	1	0	13.8	0.7
	實驗 3	1.4	0.6	1.4	-2.1	11.3	1.3
	實驗 4	1.2	0.3	1.3	1.8	9.2	0.9
	實驗 5	0.6	0.3	1.6	-1.6	10.8	1
平 均		1.04	0.4	1.32	-0.32	11.22	0.78
現象描述		環左右晃動，緩緩沉入水底。	邊降落邊順時針旋轉 1 圈。	落水後大環會左右顫動。	邊緩慢降落邊順時針旋轉 0.5 圈。	整台潛艇逆時針旋轉 0.5 圈。	邊降落邊順時針旋轉 1 圈。
紅/黑環角度		0/90 度	45/90 度	90/90 度	45/135 度		
潛艇照片							
漂 移 距 離 (cm)	實驗 1	0	7.2	66.4	1.1		
	實驗 2	0	6.0	66.2	0.8		
	實驗 3	0.2	5.8	64.7	1.5		
	實驗 4	0	6.3	65.6	0.3		
	實驗 5	0.5	7.0	66.0	0.9		
平 均		0.14	6.46	65.78	0.92		
現象描述		以大角度入水，小環會左右顫動。	降落中途急速順時針旋轉 1 圈。	平穩、筆直地往小環方向漂移。	平穩地邊降落邊逆時針旋轉 1.5 圈。		



(四)研發能在無動力裝置下在水中進行沉浮的「環翼潛艇」。

1、實驗步驟：

我們知道藉由調整「環翼潛艇」整體密度的變化造成沉浮現象，同時也可藉由浮沉過程時，轉換水作用於環翼上之力量，使得「環翼潛艇」得以前進(宋祚忠、林旻宜，2011)。因而我們透過改變翼片型式、環的直徑大小、環的角度等實驗，讓我們能利用簡單的素材就能製造出漂移最遠或是能旋轉落下的潛艇構造。接著我們要採用由水面滑翔沉降至水底→拋棄配重→滑翔浮出水面的方式讓「環翼潛艇」能在無動力裝置下在水中進行沉浮(宋祚忠、林旻宜，2011)。

在「環翼潛艇」的「配重」方面是最難的，此「配重」要讓潛艇能成功進入水中漂移，在拋棄配重後，又能成功浮出水面。歷經近百次的嘗試，終於成功研發出能在無動力裝置下在水中進行直線型及旋轉型沉浮的「環翼潛艇」。

2、研究結果：

(1)無動力直線型沉浮的「環翼潛艇」製作：從研究(一)、(二)中得知環翼型式、紅/黑環直徑為 3/4.5cm 構造的潛艇能漂移最遠的距離，我們將原本是 5 個中空墊片的配重替換成「鐵絲勾勾+1 元硬幣」(如圖 11)，待「環翼潛艇」漂移至水底，因碰撞箱底而使得 1 元硬幣脫鉤後，「環翼潛艇」就能成功地自水底浮出水面了(如圖 12)。



圖 11 直線型沉浮的「環翼潛艇」

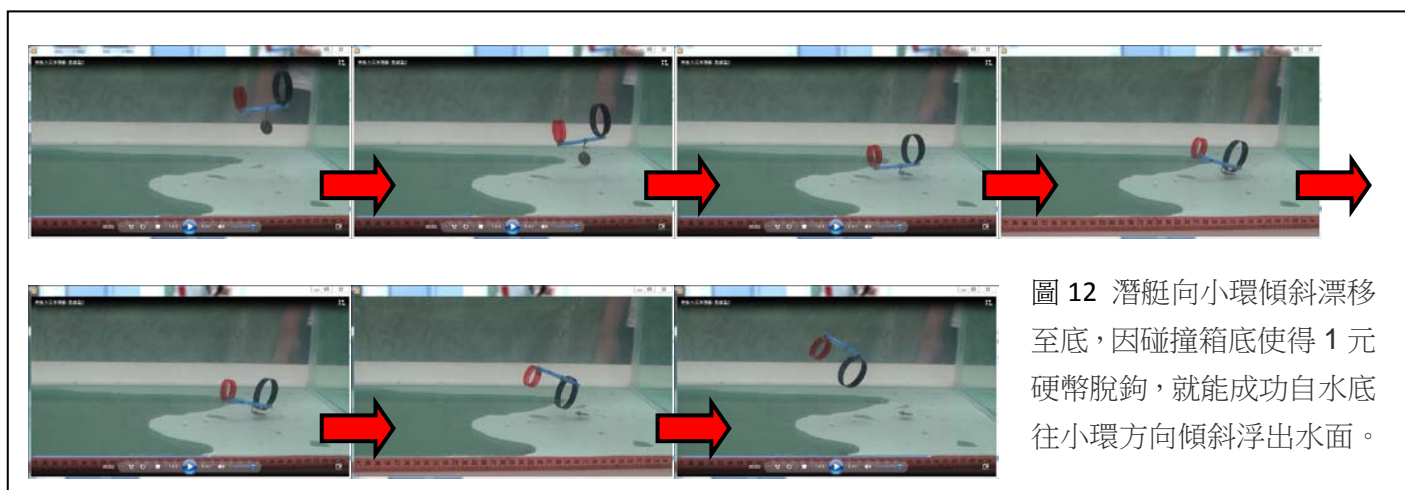


圖 12 潛艇向小環傾斜漂移至底，因碰撞箱底使得 1 元硬幣脫鉤，就能成功自水底往小環方向傾斜浮出水面。

(2)無動力旋轉型沉浮的「環翼潛艇」製作：從研究(三)中得知紅/黑環與管身角度呈 45/135 度構造的潛艇最能平穩地旋轉降落，我們將原本是 5 個中空墊片的配重替換成「鐵絲勾勾+1 個中空墊片+5 個中



圖 13 螺旋型沉浮的「環翼潛艇」

## 無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

空墊片組」(如圖 13)，待「環翼潛艇」漂移至水底，因碰撞箱底而使得 5 個中空墊片組脫鉤後，「環翼潛艇」就能成功地自水底旋轉浮出水面了(如圖 14)。

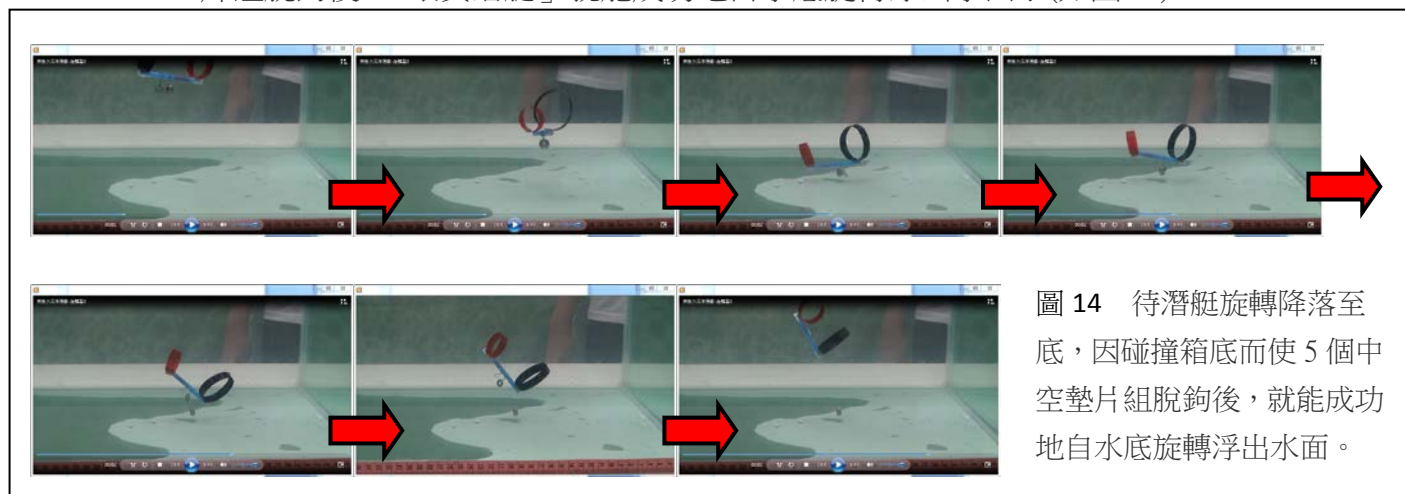


圖 14 待潛艇旋轉降落至底，因碰撞箱底而使 5 個中空墊片組脫鉤後，就能成功地自水底旋轉浮出水面。

### 參●結論與建議

#### 一、結論

(一) 潛艇在行進過程中會受到浮力、重力、白努力定律等因素影響其漂移現象。

- 1、我們發現 7cm 長的管身、管身中央 5 個中空墊片、環寬 1cm、管身兩端封上油土的潛艇結構，其重力、浮力之受力總合能讓潛艇穩定地在水中漂移。
- 2、一小一大的環形翼片讓潛艇可以穩定地往小環傾斜漂移，因環型翼片形狀固定，不易隨水流而變形，所以航道穩定。而依據伯努力定律，「環翼潛艇」中大環直徑比小環大，大環上的水流速度會比小環上的水流速度快，促使大環往上抬升的幅度比小環高，因此形成潛艇往小環方向傾斜漂移。

(二)環翼與管身的夾角，奇妙地掌握了潛艇在水中的漂移型式。

當紅/黑環呈 45/0 度、0/45 度、90/45 度、45/90 度、45/135 度時，潛艇落水後往小環傾斜，並以管身前端為中心呈螺旋狀降落，其中紅/黑環呈 45/135 度時，旋轉圈數最多圈。

(三)成功研發出無動力裝置下在水中進行直線型和旋轉型沉浮的「環翼潛艇」。

藉由調整「環翼潛艇」整體密度的變化造成沉浮現象，同時也藉由作用於環翼上水流的壓力差以及環的角度變化，使得「環翼潛艇」得以傾斜直線前進或旋轉落下。我們採用水面沉降至水底→拋棄配重→漂移浮出水面的方式讓「環翼潛艇」能在無動

## 無動力「環翼潛艇」漂移及沉浮現象之探究

力裝置下在水中成功進行沉浮。

### 二、未來研究建議

- (一)本研究所研發之無動力裝置「環翼潛艇」造型輕巧，且改變其環與管身的角度，還能使潛艇依據任務型態，以直線型或旋轉型在水中進行漂移。未來希望能進一步地研究如何在「環翼潛艇」上安裝小型針孔或其它儀器，就能實際地在水裡進行水平面或垂直面的水中觀察，大範圍地蒐集水文資料。
- (二)本研究所研發之無動力裝置「環翼潛艇」目前只能在水中進行一次性的沉浮，未來希望能進一步設計發射出的無動力潛艇，能自行在水中沉浮多次，以蒐集更大範圍的資料。

### 肆●引註資料

- 宋祚忠、林旻宜(2011)。無動力水下滑翔機之製作。科學教育月刊，340：22-40。
- 宋祚忠、林旻宜(2014)。浮力與重力的交響曲-水下滑翔機。科學研習月刊，50,8：12-23。
- 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。
- 許良榮(2009)。玩出創意—120個創新科學遊戲(122-124頁)。臺北市：書泉。
- 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。
- 劉濤方、邱麗安、王昱中、徐御宸、吳家榕(2005)。海底蛟龍。(未出版，第45屆全國科展研究報告)。
- 鍾孟岳、許君碩、黃奕呈(2012)。全速潛進。(未出版，第52屆全國科展研究報告)。