

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

第一名

080109

「環」原真相－探究雙環潛艇漂移的各種現象

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者：  小六 鄧晴文  小六 鍾允恩  小六 李博文  小六 劉家余	指導老師：  李偲華  游時銘
---	-----------------------------

關鍵詞：創意型雙環潛艇、漂移、旋轉

## 得獎感言

### 找到打開科學之門的鑰匙

科展，是一段漫長而辛苦的過程，不過在其中，我們學到了很多：像是在我們實驗中的潛艇，只要製作時有一點差錯，可能就需要重新製作一架，在這樣不斷嘗試之下，我們學習到了不屈不撓的精神；研發降落器、創意型潛艇時，常常需要面對許多研究上的瓶頸，因此，我們練就了愈挫愈勇，大膽嘗試的態度。

一整年的研究過程中，每一天我們都要秉持著好奇心，盡情發揮想像力，最重要的是加上堅毅的研究精神，去接受一次又一次的挑戰。做科展像是幫助我們找到打開科學之門的鑰匙，讓我們體會到研究中的快樂，那種感覺，是非常令人想去繼續追尋的。

這一年裡我們四個研究伙伴在指導老師的教導下，不論在知識上、實驗技巧上、合作默契上、個性上、態度上都成長許多，指導老師說：「一份成功作品的背後，必定有非常棒的團隊默契以及許許多多的人的支持與協助。」所以我們能得到這份獎，要感謝我們的研究伙伴能彼此敞開心胸相互鼓勵切磋，要感謝爸媽總是不辭辛苦的接送，還要感謝學校許多老師的支持，更要感謝時銘老師、偲華老師耐心的指導，總是無時無刻陪伴著我們面對研究中的所有困難。

這次能拿到第一名，或許只是一份殊榮，但令我們最深刻難忘的還是實驗過程所經歷的點點滴滴，也是一種對我們努力的肯定，更讓我們了解到做任何事要全力以赴、專心一致的精神。



從事研究時，大家都聚精會神的觀察雙環潛艇漂移的現象。



參加全國第 52 屆科展時，我們站在佈置完成的版面前留影。



經過五天的參展，我們得到國小組物理科的第一名，大家都好開心！

## 摘要

本研究從五年級下學期自然與生活科技領域中「力」的單元出發，想找出影響「雙環潛艇」漂移的因素，並探究讓「雙環潛艇」能在水中漂移的原因，最後研發出能延長在水中漂移距離及時間的創意型潛艇。

首先我們發現潛艇重量、管長及雙環直徑、寬度、環位、與管身角度都會影響雙環潛艇漂移距離及時間，也發現潛艇雙環與管身的角度及墊片位置會影響潛艇螺旋降落圈數。我們還設計保麗龍球創意實驗確認潛艇在水中漂移前進時，潛艇各部位水流速不同，使我們更深入了解潛艇漂移現象背後的原因。最後改變潛艇傳統結構使漂移距離及時間更長更久。

我們利用一整年的假日、週三下午完成「雙環潛艇」研究，發現物理世界是這麼的奧妙、有趣，付出再多的辛苦也值得。

## 壹、研究動機

有一天上自然課時，老師帶著我們進行一種名叫「怪怪飛行器」的滑翔機，是在吸管上黏兩個一大一小的紙環，接著再將小環的那端朝前用力射出，便可以在空中滑行一段時間。而有些頑皮的同學居然把小石子黏在飛行器上當作「砲管」，突然聽到「啊~」的一聲，原來那些頑皮的同學不小心把飛行器掉進一旁的魚缸裡，但令人驚訝的是，飛行器居然也可以在魚缸中前進，變成「潛艇」了！這引起了我們的好奇心，究竟「雙環潛艇」能在水中漂移前進的原因是什麼？且影響「雙環潛艇」在水中漂移前進的因素有哪些？.....這些問題在我的腦海中一一浮現。為了揭開「雙環潛艇」的神秘面紗，決定找志同道合的同學一起進行更深入的研究，一同向困難挑戰。

## 貳、研究目的

- 一、探究影響「雙環潛艇」漂移的因素有哪些。
- 二、探究「雙環潛艇」能在水中漂移的原因。
- 三、研發能延長在水中漂移距離及時間的「雙環潛艇」。

## 參、研究設備及器材

- 一、材料：透明片、直徑 0.5cm 吸管、墊片、熱熔膠、雙面膠帶、木條、銅釘、鐵釘、透明膠帶、油性筆、鐵片、強力磁鐵、鐵絲、保麗龍球、彈簧、油土、釣魚線、魔鬼氈。
- 二、器材、工具：水族箱（長 90cmx寬 45cmx高 45cm）、熱熔膠槍、鐵鎚、水管、剪刀、美工刀、量角器、電子秤、直尺、布尺、攝影機、照相機、砝碼、滴管、滑輪。
- 三、電腦軟體：威力導演軟體、Imagej 軟體。

## 肆、研究過程及結果

### 子題一：雙環潛艇、降落器、實驗環境設計

#### （一）雙環潛艇的設計

- 1.用熱熔膠、雙面膠帶將透明片、直徑 0.5cm 吸管、直徑 1cm 中空墊片加以組合，再用熱熔膠或油土封住吸管兩端，就完成囉！「雙環潛艇」各部位名稱如圖 1-1 所示。
- 2.本研究中將改變「雙環潛艇」墊片數、管身長度、紅/黑環直徑大小、環寬、紅/黑環位置、紅/黑環和管身的角度.....。

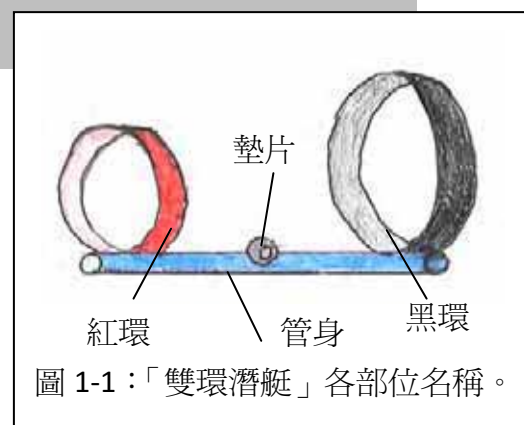


圖 1-1：「雙環潛艇」各部位名稱。

## (二) 降落器的設計

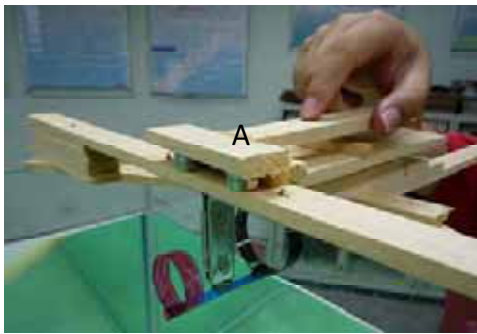


圖 1-2：第一代「雙環潛艇」降落器

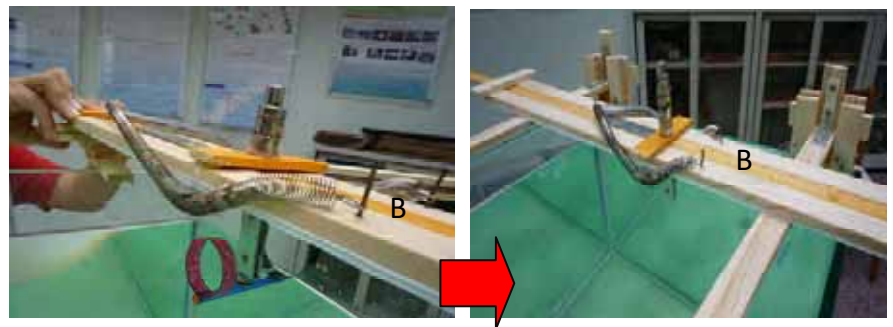


圖 1-3：第二代「雙環潛艇」降落器。

### 1. 第一代降落器：

- (1) 製作方法：使用木條、銅釘、L 型鐵片、強力磁鐵加以組裝成「雙環潛艇」降落器（如圖 1-2），利用磁力原理，強力磁鐵的磁力透過木條、L 型鐵片吸住雙環潛艇上的墊片。待用手移除上方黏有強力磁鐵的木條 A 後，雙環潛艇上的墊片會因磁力暫留因素還被 L 型鐵片吸住，一會兒後等 L 型鐵片的磁力消失後，「雙環潛艇」就會掉落下來。

### (2) 使用心得：

- ①因強力磁鐵的磁力極強，所以要用手移除木條 A 時，容易晃動到降落器，以致影響「雙環潛艇」的自然降落。
- ②用手移除木條 A 後，L 型鐵片磁力會暫留，以致常常要等很久「雙環潛艇」才會掉落下來。

### 2. 第二代降落器：

- (1) 製作方法：使用木條、銅釘、鐵釘、L 型鐵片、一型鐵片、彈簧、強力磁鐵加以組裝成「雙環潛艇」降落器（如圖 1-3），木條 B 以彈簧固定於台座上，先用手往後扣住木條 B，利用磁力原理，強力磁鐵的磁力透過木條、L 型鐵片吸住雙環潛艇上的墊片。鬆手後，木條 B 會因彈力關係移動，使得木條 B 上下的鐵片移至強力磁鐵下方，用以阻隔強力磁鐵的磁力，此時「雙環潛艇」就會馬上掉落下來。

### (2) 使用心得：

- ①用手扣住木條 B，鬆手後，木條 B 會因彈力關係而移動，不會晃動到降落器以影響「雙環潛艇」的降落。
- ②用鐵片阻隔強力磁鐵的磁力後，「雙環潛艇」會馬上掉落下來，效果極好。



圖 1-4：實驗環境。

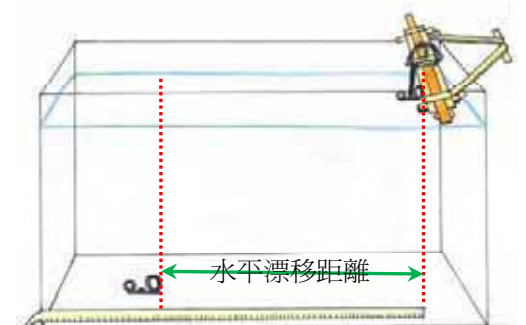


圖 2-1：測量漂移距離的方法。

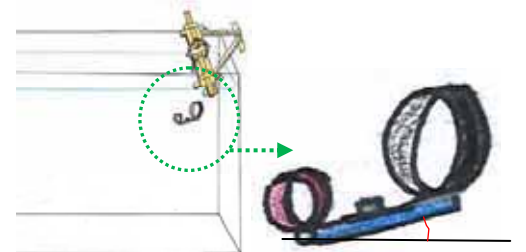


圖 2-2：漂移過程中的前段角度。

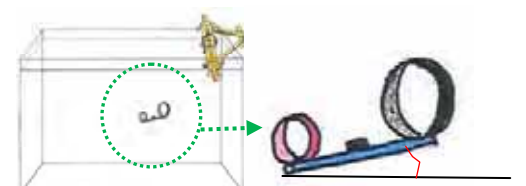


圖 2-3：漂移過程中的中段角度。

### (三) 實驗環境說明 (如圖 1-4)

1. 將第二代「雙環潛艇」降落器架設在長 90cm×寬 45cm×高 45cm 水族箱一端，使「雙環潛艇」在水面上降落。
2. 在水族箱下方黏貼一布尺，以便進行「雙環潛艇」落水後漂移距離的觀測。
3. 在水族箱前方約 1.5m 處以水平視角架設一攝影機，所錄製的電子檔以威力導演軟體判讀漂移時間、漂移現象，再以 Imagej 軟體判讀「雙環潛艇」落水後漂移過程中的角度變化。

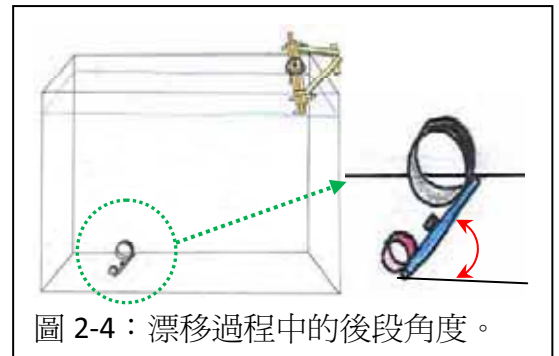


圖 2-4：漂移過程中的後段角度。

#### 子題二：「雙環潛艇」漂移原理及名詞定義

##### (一)「雙環潛艇」漂移原理

「雙環潛艇」在水中會因浮力、重力、水流的影響而產生漂移。

##### (二) 名詞定義

1. **漂移時間**：「雙環潛艇」降落後從管身碰觸到水面開始計時至「雙環潛艇」漂移到管身完全碰觸水族箱底為止的時間。
2. **漂移距離**：「雙環潛艇」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 (如圖 2-1)。
3. 漂移過程中的**前段角度**：「雙環潛艇」降落至水面後，管身漂移過程中調好角度開始漂移的起始角度。(如圖 2-2)。
4. 漂移過程中的**中段角度**：「雙環潛艇」降落至水面後，管身漂移過程中總時間中段時角度。(如圖 2-3)。
5. 漂移過程中的**後段角度**：「雙環潛艇」漂移至水底時，管身一接觸箱底的角度。(如圖 2-4)。



圖 3-2：黏 7 個墊片潛艇特寫圖。

#### 子題三：雙環潛艇的重量如何影響漂移情形？

##### (一) 研究方法

1. 將透明片、吸管製成環寬 1cm、管長 7cm、紅環直徑 3cm、黑環直徑 4.5cm 的「雙環潛艇」14 架。
2. 其中 7 架「雙環潛艇」管身兩端直接以熱熔膠封住，分別在 7 架「雙環潛艇」的管身正中央處黏貼 1~7 個墊片 (如圖 3-1、圖 3-2)。
3. 另外 7 架「雙環潛艇」在管身一端封上油土後裝水，另一端再用油土封住，分別在 7 架「雙環潛艇」的管身正中央處黏貼 1~7 個墊片。
4. 利用降落器依序將步驟 2 及步驟 3 的 14 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
5. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。



圖 3-1：在 7 架潛艇的管身上分別黏上 1~7 個墊片。

##### (二) 研究結果

表 3-1：雙環潛艇管身封空氣時，不同墊片數與其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

墊片數		1						2					
實驗次數		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
漂移距離		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
漂移時間		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
角度	前段	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	中段	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	後段	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
描述		雙環潛艇只浮在水面上，雙環傾斜接觸水面。						雙環潛艇只浮在水面上，雙環傾斜接觸水面。					
墊片數		3						4					
實驗次數		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
漂移距離		43.7	42.3	41.6	43.3	42.5	42.68	54.7	54.8	54.2	54.2	52.2	54.02
漂移時間		5.43	5.40	5.33	5.33	5.50	5.40	4.33	4.47	4.43	4.43	4.23	4.38
角度	前段	16.82	18.65	16.43	18.34	19.96	18.04	12.22	11.16	12.10	13.39	13.26	12.42
	中段	21.85	22.24	23.63	23.44	21.64	22.56	15.68	15.96	15.18	15.99	14.40	15.44
	後段	20.47	19.40	20.35	19.64	20.53	20.08	14.89	15.28	14.76	14.88	13.27	14.62
描述		小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動 2.5cm，待大環緩慢的完全沒入水中後，便往小環方向傾斜降落至箱底。						小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動 1.9 cm，待大環完全沒入水中後，便往小環方向傾斜降落至箱底。					
墊片數		5						6					
實驗次數		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
漂移距離		59.5	58.2	57.6	59.4	58.7	58.68	64.2	63.8	62.4	63.5	62.3	63.24
漂移時間		3.80	3.70	3.73	3.73	3.67	3.73	3.10	3.30	3.40	3.07	3.13	3.20
角度	前段	14.16	15.59	15.95	14.39	14.12	14.84	17.11	16.43	17.47	20.32	18.89	18.04
	中段	14.55	14.34	14.80	14.08	15.17	14.59	15.67	15.11	13.49	16.28	16.00	15.31
	後段	14.85	13.97	14.01	14.09	13.92	14.17	13.88	14.27	13.74	14.39	14.43	14.14
描述		雙環潛艇直接落入水中後，便快速、平穩的往小環方向傾斜降落至箱底。						雙環潛艇直接落入水中後，往小環方向傾斜，邊漂移邊調整角度至降落至箱底。					
墊片數		7											
實驗次數		1	2	3	4	5	平均						
漂移距離		57.30	57.40	55.50	53.30	53.60	55.42						
漂移時間		2.60	2.60	2.50	2.43	2.50	2.53						
角度	前段	21.68	21.58	22.26	20.50	20.20	21.24						
	中段	23.22	21.33	23.14	26.38	22.91	23.40						
	後段	21.38	21.40	21.69	21.61	22.01	21.62						
描述		雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。											

表 3-2：雙環潛艇管身封水時，不同墊片數與其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

墊片數		1						2					
實驗次數		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
漂移距離		41.2	40.8	41.4	42.0	42.9	41.66	50.8	50.5	50.0	52.5	51.0	50.96
漂移時間		6.33	6.00	5.80	5.93	6.07	6.03	4.87	4.83	4.80	4.57	4.80	4.77
角度	前段	11.70	10.72	10.02	11.08	11.49	11.00	12.49	11.15	11.69	12.01	11.40	11.75
	中段	15.50	15.60	14.86	15.32	15.96	15.45	14.75	14.79	14.76	15.50	14.48	14.86
	後段	13.88	14.34	14.69	14.70	13.95	14.31	14.47	14.83	13.04	13.01	14.96	14.06
描述	小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動 4.9 cm，待大環緩慢的完全沒入水中後，便往小環方向傾斜降落至箱底。						小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向稍微傾斜移動 2.5 cm，待大環完全沒入水中後，便往小環方向傾斜降落至箱底。						
墊片數		3						4					
實驗次數		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
漂移距離		59.9	60.2	58.9	59.8	56.6	59.08	61.9	62.8	61.9	62.4	61.0	62.00
漂移時間		3.93	4.10	4.00	4.00	4.00	4.01	3.70	3.60	3.63	3.53	3.60	3.61
角度	前段	16.48	16.04	15.81	16.54	16.77	16.33	19.91	18.41	19.45	20.01	20.02	19.56
	中段	13.97	14.38	14.27	13.83	13.38	13.97	12.95	13.39	12.98	13.78	13.86	13.39
	後段	13.44	13.74	13.86	13.92	14.58	13.91	13.99	14.55	14.07	13.56	13.70	13.97
描述	雙環潛艇直接落入水中稍微晃動後，便往小環方向傾斜降落至箱底。						雙環潛艇直接落入水中後，便緩緩的往小環方向傾斜，降落至箱底。						
墊片數		5						6					
實驗次數		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
漂移距離		69.1	67.8	68.0	66.3	66.5	67.54	50.4	50.1	50.5	49.8	50.2	50.2
漂移時間		3.10	3.20	3.13	3.10	3.03	3.11	2.00	1.97	1.90	1.97	1.93	1.96
角度	前段	19.77	18.88	19.88	19.39	20.31	19.64	20.04	20.76	20.96	19.76	18.31	19.97
	中段	11.72	11.32	11.40	10.25	11.47	11.23	27.71	28.61	26.32	27.93	26.52	27.42
	後段	10.85	11.67	11.22	10.88	12.53	11.43	34.38	35.33	38.31	38.87	33.69	36.12
描述	雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。						雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。						
墊片數		7											
實驗次數		1	2	3	4	5	平均						
漂移距離		45.2	45.5	45.8	45.9	45.4	45.56						
漂移時間		1.73	1.67	1.60	1.73	1.63	1.67						
角度	前段	27.14	26.56	27.12	25.85	27.27	26.79						
	中段	33.27	35.11	34.91	33.08	35.34	34.34						
	後段	46.15	46.48	45.66	47.19	46.85	46.47						
描述	雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。												



### (三) 研究發現

1.將表 3-1 經過整理製成圖 3-3、圖 3-4 後發現管身封空氣的雙環潛艇中：

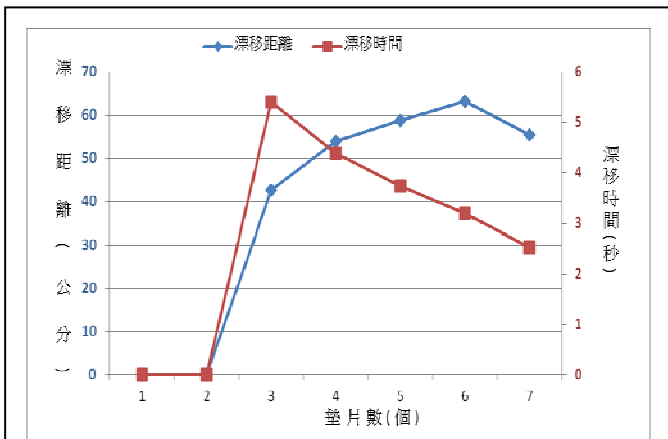


圖 3-3：雙環潛艇管身封空氣時，不同墊片數與其漂移距離、漂移時間之關係圖。

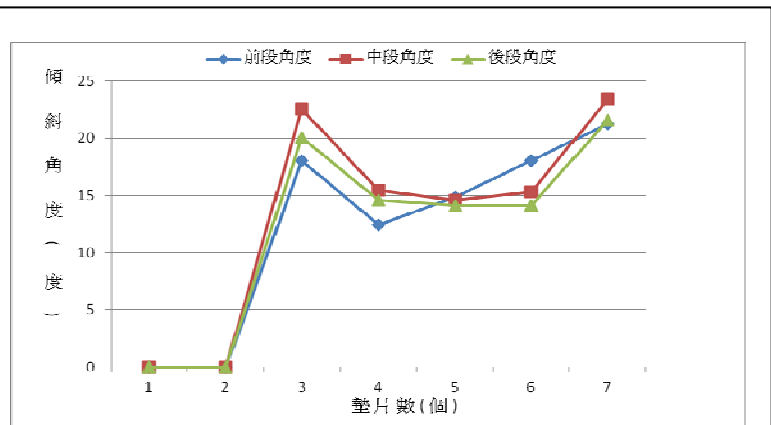


圖 3-4：雙環潛艇管身封空氣時，不同墊片數與其漂移角度變化之關係圖。

- (1) 1、2 個墊片時，雙環潛艇都只浮在水面上，雙環傾斜與水面接觸（如圖 3-5）。
- (2) 3~7 個墊片時，雙環潛艇一發射沒入水面後，會往紅環（小環）的方向傾斜漂移至箱底。
- (3) 3、4 個墊片，紅環（小環）沒入水中而黑環（大環）未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動數公分，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜降落至箱底（如圖 3-6）。
- (4) 5、6、7 個墊片，雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往紅環（小環）方向傾斜降落至箱底（如圖 3-7）。
- (5) 3~7 個墊片中，雙環潛艇在水中的平均漂移時間：3 個 > 4 個 > 5 個 > 6 個 > 7 個，也就是雙環潛艇重量越重，在水中的漂移時間就越短。其中 3 個墊片的雙環潛艇平均漂移時間最長，是 5.4 秒；7 個墊片的雙環潛艇平均漂移時間最短，是 2.53 秒。
- (6) 3~7 個墊片中，雙環潛艇在水中的平均漂移距離：6 個 > 5 個 > 7 個 > 4 個 > 3 個，其中 6 個墊片的雙環潛艇平均漂移距離最長，是 63.24cm；3 個墊片的雙環潛艇平均漂移距離最短，是 42.68cm。
- (7) 3~7 個墊片中，潛艇在水中前段平均角度：7 個 > 6 個 > 3 個 > 5 個 > 4 個，基本上墊片數越多，雙環潛艇重量越重，前段平均角度越大。但其中 3 個墊片的雙環潛艇很特別，因為重量較輕使得雙環潛艇發射落到水面時，明顯可看出紅環（小環）會先沒入水面，而黑環（大環）再緩緩沒入水面的過程中，會往大環方向傾斜移動數公分，等大環完全沒入水中後，會重新調整角度，往小環方向向下傾斜、大環方向向上抬升，漂移降落至箱底，推論因小環向下傾斜而大環同時向上抬升，使前段平均角度特別大，也



圖 3-5：1、2 個墊片雙環潛艇只浮在水面上，雙環傾斜與水面接觸。

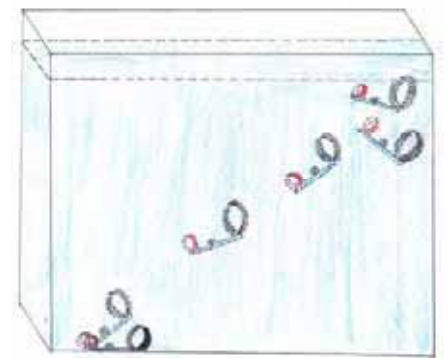


圖 3-6：3、4 個墊片的雙環潛艇，小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動數公分，待大環沒入水中後，開始重新調整角度，往小環方向傾斜降落。

因此 3 個墊片的雙環潛艇的中、後段平均角度也較大。

- (8) 4~6 個墊片中，雙環潛艇在水中的中段平均角度差距不大，介於 14.59~15.44 度；7 個墊片的雙環潛艇在水中的中段平均角度驟然增大約 8 度，為 23.40 度。
- (9) 4~6 個墊片中，雙環潛艇在水中的後段平均角度差距不大，介於 14.14~14.62 度；7 個墊片的雙環潛艇在水中的後段平均角度驟然增大約 7 度，為 21.62 度。
- (10) 5 個墊片的雙環潛艇在水中的前、中、後段平均角度幾乎一樣，介於 14.17~14.84 度。



圖 3-7：潛艇直接落入水中，快速的往小環方向傾斜降落。

2.將表 3-2 經過整理製成圖 3-8、圖 3-9 後發現管身封水的雙環潛艇中：

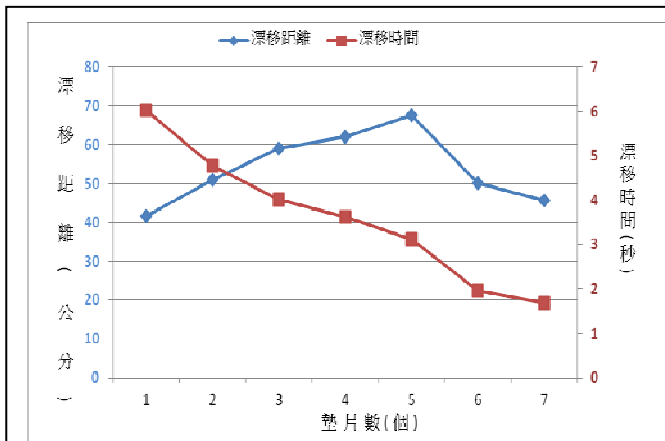


圖 3-8：雙環潛艇管身封水時，不同墊片數與其漂移距離、漂移時間之關係圖。

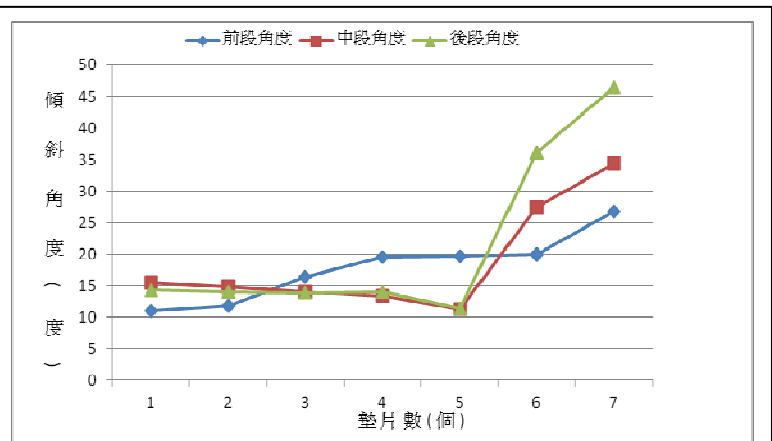


圖 3-9：雙環潛艇管身封水時，不同墊片數與其漂移角度變化之關係圖。

- (1) 1~7 個墊片時，雙環潛艇一發射沒入水面後，會往紅環（小環）的方向傾斜漂移至箱底。
- (2) 1、2 個墊片，紅環（小環）沒入水中而黑環（大環）未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜降落至箱底。
- (3) 3~7 個墊片，雙環潛艇直接落入水中後，便快速往紅環（小環）方向傾斜降落至箱底。
- (4) 1~7 個墊片中，雙環潛艇在水中的平均漂移時間：1 個 > 2 個 > 3 個 > 4 個 > 5 個 > 6 個 > 7 個，也就是雙環潛艇重量越重，在水中的漂移時間就越短。其中 1 個墊片的雙環潛艇平均漂移時間最長，是 6.03 秒；7 個墊片的雙環潛艇平均漂移時間最短，是 1.67 秒。
- (5) 1~7 個墊片中，雙環潛艇在水中的平均漂移距離：5 個 > 4 個 > 3 個 > 2 個 > 6 個 > 7 個 > 1 個，其中 5 個墊片的雙環潛艇平均漂移距離最長，是 67.54cm；1 個墊片的雙環潛艇平均漂移距離最短，是 41.66cm。
- (6) 1~7 個墊片中，雙環潛艇在水中的前段平均角度：7 個 > 6 個 > 5 個 > 4 個 > 3 個 > 2 個 > 1 個，墊片數越多，雙環潛艇的重量越重，前段平均角度就越大。
- (7) 1~5 個墊片的雙環潛艇各自的中、後段平均角度都很接近，兩者差距介於 0.06~1.14 度；6~7 個墊片的雙環潛艇各自的中、後段平均角度的差距就較大，且是後段 > 中段角度。
- (8) 1~5 個墊片中，雙環潛艇在水中的中段平均角度越來越小，但差距不大，介於 11.23~15.45 度；6、7 個墊片的雙環潛艇在水中的中段平均角度驟增且越來越大。
- (9) 1~5 個墊片中，雙環潛艇在水中的後段平均角度大致上越來越小，但差距不大，介於 11.43~14.31 度；6、7 個墊片的雙環潛艇在水中的中段平均角度驟增且越來越大。

#### 子題四：雙環潛艇的管長如何影響其漂移情形？

##### (一) 研究方法

1. 準備 3 cm、5 cm、7 cm、9 cm、11 cm 不同長度的 5 根吸管，在管身中封水，管身正中央處黏貼 5 個墊片。
2. 利用透明片在步驟 1 的管身上分別黏上前環與後環，其紅環與黑環的直徑皆為 3cm 和 4.5cm，環寬 1cm。
3. 利用降落器依序將上述 5 架「雙環潛艇」(如圖 4-1) 發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。



圖 4-1：管長不同的 5 架雙環潛艇

##### (二) 研究結果

表 4-1：雙環潛艇管身長度不同時，其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

管長 (cm)	實驗 次數	漂移距離 (cm)	漂移時間 (秒)	角度(度)			描述
				前段	中段	後段	
3	1	23.8	2.53	21.47	-11.58	32.08	落入水面時，會先朝大環傾斜，再朝小環傾斜，再朝大環傾斜，再朝小環傾斜.....，邊搖擺邊朝小環方向漂移。
	2	26.3	2.53	22.91	20.51	-5.82	
	3	24.3	2.50	27.67	15.11	21.91	
	4	23.5	2.57	20.03	19.57	-6.52	
	5	23.8	2.60	18.44	-10.91	17.58	
	平均	24.34	2.55	22.10	6.54	11.85	
5	1	59.8	3.27	20.18	11.72	12.04	小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向稍微傾斜移動，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜降落至箱底。
	2	59.0	3.23	19.97	11.02	11.08	
	3	59.2	3.23	19.24	12.04	12.99	
	4	59.2	3.20	19.80	12.06	10.49	
	5	59.6	3.20	19.93	11.43	11.79	
	平均	59.36	3.23	19.82	11.65	11.68	
7	1	69.1	3.10	19.77	11.72	10.85	雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。
	2	67.8	3.20	18.88	11.32	11.67	
	3	68.0	3.13	19.88	11.40	11.22	
	4	66.3	3.10	19.39	10.25	10.88	
	5	66.5	3.03	20.31	11.47	12.53	
	平均	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43	
9	1	54.2	2.73	8.64	16.34	20.39	雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。
	2	53.4	2.63	6.92	18.13	17.29	
	3	54.5	2.67	10.59	19.64	21.10	
	4	52.9	2.67	12.35	19.60	22.93	
	5	54.8	2.73	10.08	17.34	18.69	
	平均	53.96	2.69	9.72	18.21	20.08	

11	1	50.0	3.00	11.90	15.95	13.88	雙環潛艇直接落入水中後，便快速的往小環方向傾斜降落至箱底。
	2	52.2	3.00	9.98	14.80	15.23	
	3	50.9	3.00	6.69	15.84	12.67	
	4	49.4	3.00	8.99	15.05	12.53	
	5	49.8	3.00	8.21	16.67	15.02	
	平均	50.46	3.00	9.15	15.66	13.87	

(三) 研究結果：將表 4-1 經過整理製成圖 4-2、圖 4-3 後發現：

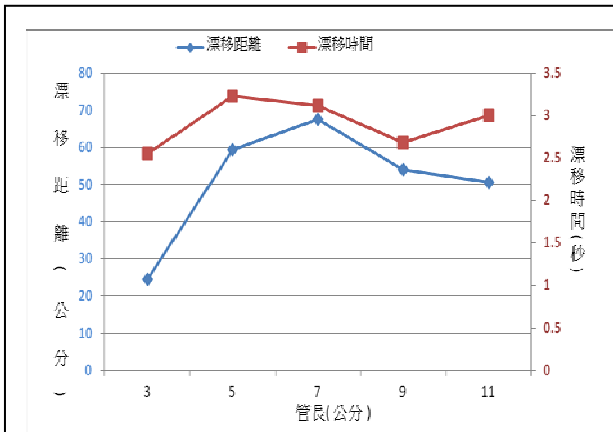


圖 4-2：雙環潛艇管身長度不同時與其漂移距離、漂移時間之關係圖。

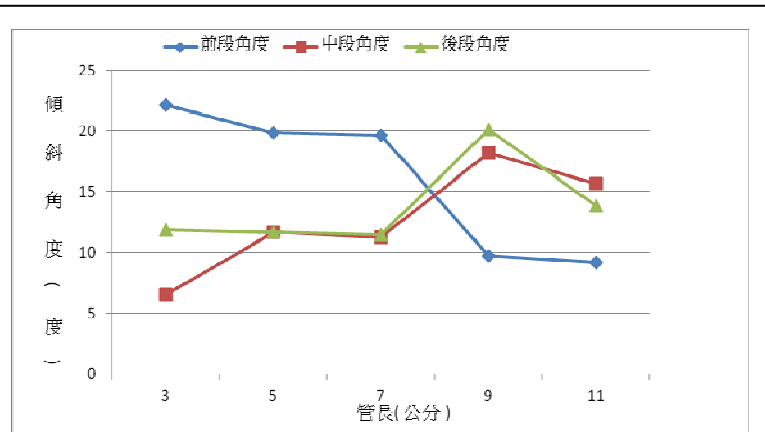


圖 4-3：雙環潛艇管身長度不同時與其漂移角度變化之關係圖。

1. 雙環潛艇的管身長 3cm 落入水面時，會先朝黑環（大環）傾斜，再朝紅環（小環）傾斜，再朝大環傾斜，再朝小環傾斜.....，一面左右傾斜搖擺一面朝小環方向漂移，有如「翹翹板」（如圖 4-4），所以中、後段的平均角度有時會出現負數。
2. 雙環潛艇管身長 5cm 落入水面時，會先稍朝黑環（大環）傾斜，但立即調整角度從紅環（小環）方向向下傾斜漂移降落。
3. 雙環潛艇不同管身長度漂移時間由多至少是：5cm > 7cm > 11cm > 9cm > 3cm，管長 5cm 的雙環潛艇漂移時間最久，為 3.23 秒；管長 3cm 的雙環潛艇漂移時間最少，為 2.55 秒。
4. 雙環潛艇不同管身長度漂移距離：7 cm > 5 cm > 9 cm > 11 cm > 3 cm，管長 7cm 漂移距離最長，為 67.54cm；管長 3cm 漂移距離最短，為 24.34cm。
5. 雙環潛艇不同管身長度漂移時前段平均角度是：3cm > 5cm > 7cm > 9cm > 11cm。推論是因為管身長度越長，在水中浮力越大，使前段平均角度越小。管長 5cm、7cm 的前段平均角度極為接近，差距為 0.18 度；管長 9cm、11cm 的前段平均角度也很接近，差距為 0.57 度。
6. 管長 5cm、7cm、9cm、11cm 的中、後段平均角度極為接近，差距介於 0.03~1.87 度。

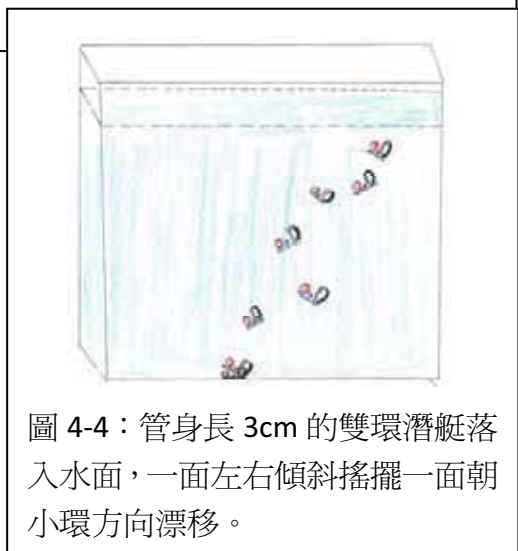


圖 4-4：管身長 3cm 的雙環潛艇落入水面，一面左右傾斜搖擺一面朝小環方向漂移。

子題五：雙環潛艇前後環的直徑比例不同如何影響其漂移情形？

(一) 研究方法

1. 將透明片、吸管製成管長 7cm、環寬 1cm、管身中封水、管身正中央處黏貼 5 個墊片的「雙環潛艇」5 架。
2. 改變步驟 1 潛艇紅/黑環直徑為 3cm/1.5cm、3cm/3cm、3cm/4.5cm、3cm/6cm、3cm/7.5cm（如圖 5-1）。
3. 利用降落器將步驟 2 的 5 架「雙環潛艇」發射降落



圖 5-1：紅/黑環直徑比例不同的雙環潛艇。

至水中，觀測漂移現象、漂移距離。

4.以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。

(二) 研究結果

表 5-1：雙環潛艇雙環比例不同時，其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

編號	紅環直徑 (cm)	黑環直徑 (cm)	平均漂移距離 (cm)	平均漂移時間 (秒)	角度(度)		
					前段	中段	後段
1	3	1.5	-40.40	1.34	-32.33	-37.93	-40.62
			落入水中後，便很俐落快速的往黑環(小環)方向傾斜降落至箱底。				
2	3	3	3.04	1.85	-1.46	-0.27	-1.16
			落入水中後，不向任一方傾斜，幾乎以鉛直方向降落至箱底。				
3	3	4.5	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43
			直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。				
4	3	6	59.34	2.91	25.40	22.98	20.33
			直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。				
5	3	7.5	44.16	2.63	25.84	30.39	32.02
			雙環潛艇直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底，且大環會在漂移過程中略變成橢圓形。				

註：各數值僅以 5 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

(三) 研究發現：將表 5-1 經過整理製成圖 5-2、圖 5-3 後發現：

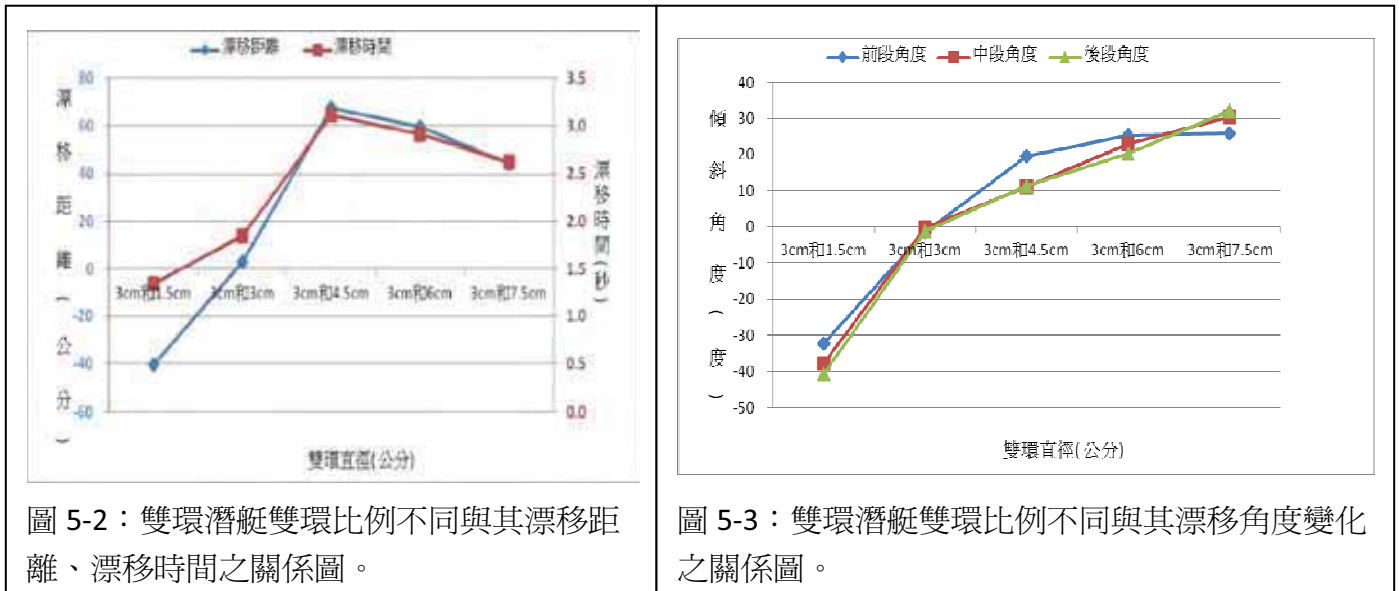


圖 5-2：雙環潛艇雙環比例不同與其漂移距離、漂移時間之關係圖。

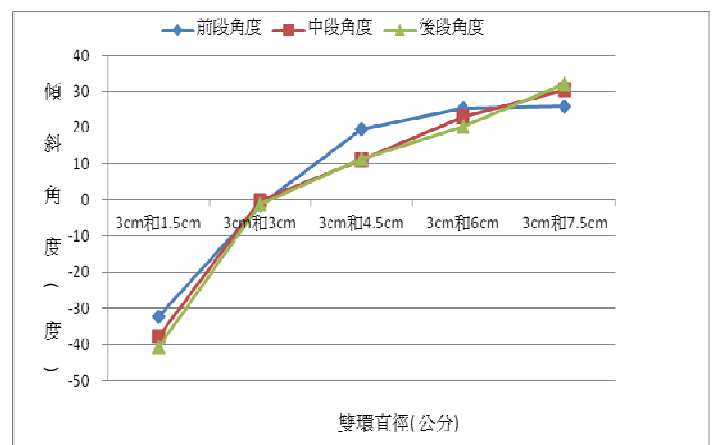


圖 5-3：雙環潛艇雙環比例不同與其漂移角度變化之關係圖。

- 1.紅/黑環直徑為 3cm/4.5cm、3cm/6cm、3cm/7.5cm 時，雙環潛艇發射後會直接落入水中，便往紅環（小環）方向傾斜降落至箱底。其中最特別的是紅/黑環直徑為 3cm/1.5cm 的雙環潛艇落入水中後，是以“極俐落的”速度往黑環(小環)方向傾斜降落至箱底，故漂移距離為負值。
- 2.紅/黑環直徑為 3cm/3cm 時，雙環潛艇落入水中後，不向任一方傾斜降落至箱底，降落過程中會因水流的影響而稍微偏移，此證明環的大小是讓潛艇穩定的傾斜漂移之主要因素。
- 3.雙環潛艇的雙環直徑不同其漂移時間由多至少依序是：3cm 和 4.5cm > 3cm 和 6cm > 3cm 和 7.5cm

7.5 cm > 3cm 和 3cm > 3cm 和 1.5cm，其中雙環直徑 3cm 和 4.5cm 的雙環潛艇漂移時間最久，為 3.11 秒；雙環直徑 3cm 和 1.5cm 的雙環潛艇漂移時間最少，為 1.34 秒。

4. 雙環潛艇的雙環直徑不同其漂移距離由大至小依序是：3cm 和 4.5cm > 3cm 和 6cm > 3cm 和 7.5 cm > 3cm 和 1.5cm > 3cm 和 3cm，其中雙環直徑 3cm 和 4.5cm 的雙環潛艇漂移距離最長，為 67.54cm；雙環直徑 3cm 和 3cm 的雙環潛艇漂移距離最短，為 3.04cm。

5. 雙環潛艇的雙環直徑不同其漂移時的前、中、後段平均角度由大至小依序是：3cm 和 7.5 cm > 3cm 和 6cm > 3cm 和 4.5cm > 3cm 和 3cm > 3cm 和 1.5cm。也就是說，紅環與黑環的直徑為 3cm 和 4.5cm、3cm 和 6cm、3cm 和 7.5cm 時，黑環(大環)的直徑越大，傾斜角度越大。

6. 雙環直徑不同的雙環潛艇其中、後段平均角度極為接近，差距介於 0.2~2.69 度。

#### 子題六：雙環潛艇前後環的直徑相同比例但大小不同如何影響其漂移情形？

##### (一) 研究方法

1. 將透明片、吸管製成管長 7cm、環寬 1cm、在管身中封水、管身正中央處黏貼 5 個墊片的「雙環潛艇」5 架。
2. 改變步驟 1 的 5 架潛艇紅/黑環的直徑分別為 1 cm/1.5cm、2cm/3cm、3cm/4.5cm、4cm/6cm、5cm/7.5cm (如圖 6-1)。
3. 利用降落器依序將步驟 2 的 5 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」在水中的漂移過程，再以威力導演讀取影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。



圖 6-1：紅/黑環直徑比例相同但大小不同的雙環潛艇。

##### (二) 研究結果

表 6-1：雙環潛艇雙環同比例但大小不同時，其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

編號	紅環直徑 (cm)	黑環直徑 (cm)	平均漂移距離 (cm)	平均漂移時間 (秒)	角度(度)		
					前段	中段	後段
1	1	1.5	45.28	1.57	17.49	25.11	16.82
			直接落入水中後，往小環方向傾斜降落。漂移過程會往右側或左側翻轉約 0.25 圈。				
2	2	3	50.04	1.73	22.52	26.78	29.86
			直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。				
3	3	4.5	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43
			直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。				
4	4	6	57.72	4.09	9.10	8.36	12.56
			小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向稍微傾斜移動，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜緩緩的降落至箱底。				
5	5	7.5	44.14	4.27	9.88	10.14	8.96
			小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向稍微傾斜移動，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜很緩慢的降落至箱底，且大環會在漂移過程中略變成橢圓形。				

註：各數值僅以 5 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

(三) 研究發現：將表 6-1 經過整理製成圖 6-2、圖 6-3 後發現：

1. 紅/黑環的直徑為 1cm/1.5cm、2cm/3cm、3cm/4.5cm 時，雙環潛艇發射後會直接落入水中，便往小環方向傾斜降落至箱底；紅/黑環的直徑為 4cm/6cm、5cm/7.5cm 時，雙環潛艇落入水面後，紅環（小環）沒入水中而大環未沒入水中時，會往黑環（大環）方向傾斜移動數公分，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜緩慢降落至箱底。
2. 雙環直徑不同其漂移時間是：5cm 和 7.5cm > 4cm 和 6cm > 3cm 和 4.5cm > 2cm 和 3cm > 1cm 和 1.5cm，其中雙環直徑 5cm 和 7.5cm 的雙環潛艇漂移時間最久，為 4.27 秒；雙環直徑 1cm 和 1.5cm 的雙環潛艇漂移時間最少，為 1.57 秒。也就是說，雙環直徑越大，漂移時間越久，推論這是和雙環在水中所造成的浮力有關。
3. 雙環直徑不同其漂移距離是：3cm 和 4.5cm > 4cm 和 6cm > 2cm 和 3cm > 1cm 和 1.5cm > 5cm 和 7.5cm，其中雙環直徑 3cm 和 4.5cm 的雙環潛艇漂移距離最長，為 67.54cm；雙環直徑 5cm 和 7.5cm 的雙環潛艇漂移距離最短，為 44.14cm。

#### 子題七：雙環潛艇環的寬度如何影響漂移情形？

##### (一) 研究方法

1. 將透明片、吸管製成管長 7cm、在管身中封水、管身正中央處黏貼 5 個墊片、紅/黑環的直徑分別為 3cm/4.5cm 的「雙環潛艇」5 架。
2. 改變步驟 1 的潛艇環的寬度分別為 0.5 cm、1 cm、1.5 cm、2 cm、2.5 cm（如圖 7-1）。
3. 利用降落器依序將步驟 2 的 5 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。

##### (二) 研究結果

表 7-1：雙環潛艇環寬不同時，其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

環寬(cm)	平均漂移距離 (cm)	平均漂移時間 (秒)	角度(度)		
			前段	中段	後段
0.5	31.36	2.03	10.97	17.61	20.41
	小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向稍微傾斜移動，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜降落至箱底。				
1	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43
	雙環潛艇直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。				
1.5	61.92	3.77	17.44	9.20	9.36
	雙環潛艇直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。				

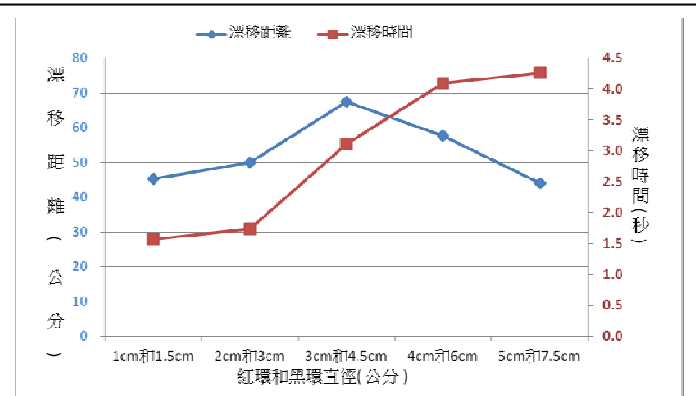


圖 6-2：雙環潛艇環等比例放大與其漂移距離及漂移時間的關係圖

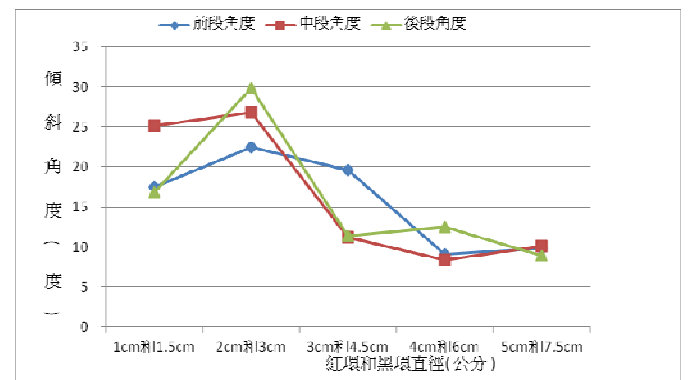


圖 6-3：雙環潛艇等比例放大與其漂移時前中後段管身的漂移角度之關係圖



圖 7-1：不同環寬的 5 架雙環潛艇。

2	40.20	3.83	10.06	7.48	7.18
	雙環潛艇直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜緩緩的降落至箱底。				
2.5	14.52	3.41	17.03	14.63	36.84
	落入水面時，會先朝大環傾斜，再朝小環傾斜，再朝大環傾斜，再朝小環傾斜.....，邊搖擺邊朝小環方向做些微距離的漂移。				

註：各數值僅以 5 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

(三) 研究發現：將表 7-1 經過整理製成圖 7-2、圖 7-3 後發現：

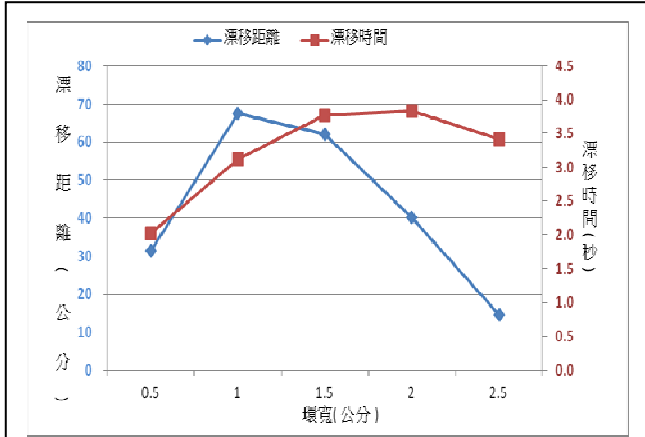


圖 7-2：雙環潛艇環寬與其漂移距離及漂移時間的關係圖。

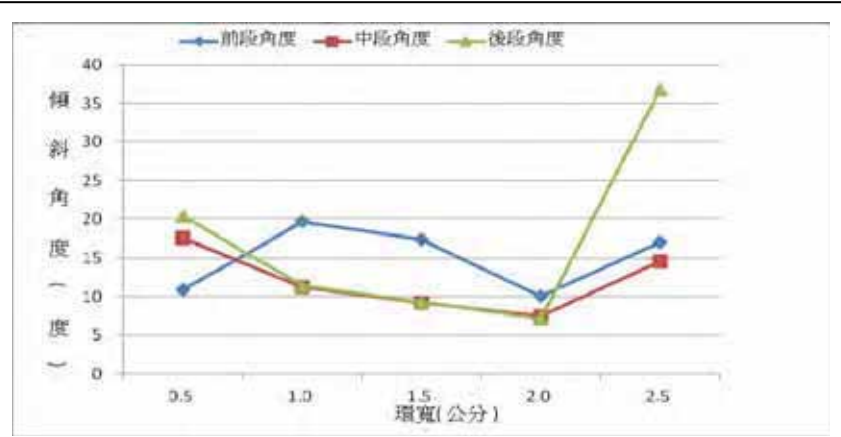


圖 7-3：雙環潛艇環寬與其漂移時前中後段管身的漂移角度之關係圖。

1. 環寬為 0.5cm 時，雙環潛艇發射後紅環（小環）沒入水中而黑環（大環）未沒入水中時，會往大環方向稍微傾斜移動，待大環完全沒入水中後，便開始重新調整角度，往小環方向傾斜降落至箱底，移動路徑像「 $\nearrow$ 」字型；環寬為 1cm、1.5cm、2cm 時，雙環潛艇落入水面後會直直落入水中，便往小環方向傾斜緩緩的降落至箱底；環寬為 2.5cm 時，雙環潛艇落入水面時，會先朝大環傾斜，再朝小環傾斜，再朝大環傾斜，再朝小環傾斜.....，邊搖擺邊朝小環方向做些微距離的漂移。
2. 雙環潛艇環寬不同漂移時間由多至少是：2 cm > 1.5 cm > 2.5 cm > 1 cm > 0.5 cm，環寬為 2 cm 的雙環潛艇漂移時間最久，為 3.83 秒；環寬為 0.5 cm 的雙環潛艇漂移時間最少，為 2.03 秒。大體而言，環寬越寬，漂移時間較長，推論應是環寬越寬，在水中的浮力較大的原故。
3. 雙環潛艇環寬不同漂移距離是：1 cm > 1.5 cm > 2 cm > 0.5 cm > 2.5cm，其中環寬為 1 cm 的雙環潛艇漂移距離最長，為 67.54cm；環寬為 2.5 cm 的雙環潛艇漂移距離最短，為 14.52cm。
4. 雙環潛艇環寬不同漂移時前段平均角度由大至小是：1cm > 1.5cm > 2.5cm > 0.5cm > 2cm。
5. 環寬 0.5~2cm 的雙環潛艇其各自的中、後段平均角度都很接近，且其角度會逐漸變小。

#### 子題八：雙環潛艇環的位置如何影響漂移情形？




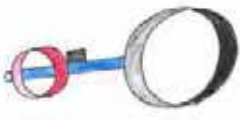


##### (一) 研究方法






1. 將透明片、吸管製成管長 7cm、在管身中封水、管身正中央上方處黏貼 5 個墊片、紅/黑環的直徑分別為 3cm/4.5cm，環寬 1cm 的「雙環潛艇」16 架。
2. 改變步驟 1 的 16 架「雙環潛艇」雙環紅環/黑環的位置分別為右/左環位、左/右環位、左/左環位、右/右環位、左/上環位、右/上環位、下/右環位、下/左環位、下/下環位、左/下環位、右/下環位、上/右環位、上/左環位、上/下環位、上/上環位、下/上環位。
3. 利用降落器依序將步驟 2 的 16 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。

##### (二) 研究結果



表 8-1：雙環潛艇環位不同時，其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

紅環/黑環位置 及示意圖	實驗 次數	漂移距離 (cm)	漂移時間 (秒)	角度(度)			描述
				前段	中段	後段	
右/左環位 	1	40.7	3.27	12.49	18.15	29.29	落入水面後，潛艇會邊翻轉成墊片朝下、左右環位邊後移，再朝紅環（小環）方向傾斜漂落至箱底。
	2	41.3	3.23	11.86	18.06	30.85	
	3	40.6	3.20	12.71	18.39	29.33	
	4	41.2	3.33	11.28	17.56	29.93	
	5	41.0	3.23	12.66	17.79	29.25	
	平均	40.96	3.25	12.20	17.99	29.73	
左/右環位 	1	41.2	3.20	12.44	18.11	30.05	落入水面後，潛艇會邊翻轉成墊片朝下、右左環位邊後移，再朝紅環（小環）方向傾斜漂落至箱底。
	2	41.5	3.23	12.97	17.94	30.63	
	3	39.9	3.27	11.05	17.48	29.54	
	4	41.3	3.23	12.78	19.52	29.98	
	5	39.7	3.23	12.49	18.53	30.37	
	平均	40.72	3.23	12.35	18.32	30.11	
左/左環位 	1	57.3	3.10	18.30	14.66	12.85	落入水面後，潛艇會翻轉成雙環朝上，墊片朝右，往紅環（小環）方向傾斜漂落至箱底。
	2	58.6	3.13	17.84	14.20	13.35	
	3	57.8	3.03	18.97	15.87	12.66	
	4	58.7	3.13	19.37	15.18	13.44	
	5	58.4	3.10	19.65	14.10	15.00	
	平均	58.16	3.10	18.83	14.80	13.46	
右/右環位 	1	58.1	3.17	17.76	14.82	13.22	落入水面後，潛艇會翻轉成雙環朝上，墊片朝左，朝紅環（小環）方向傾斜漂落至箱底。
	2	58.7	3.23	19.06	14.77	12.23	
	3	57.6	3.23	18.84	14.03	13.81	
	4	58.7	3.17	16.39	14.28	12.72	
	5	57.7	3.13	18.40	14.43	13.97	
	平均	58.16	3.19	18.09	14.47	13.19	
左/上環位 	1	57.8	2.47	25.45	25.77	39.91	落入水面後，潛艇會稍稍向右翻轉，紅環(小環)朝左上，黑環(大環)朝右上，墊片朝右上，往小環方向傾斜漂落至箱底。
	2	57.3	2.53	26.56	26.47	39.29	
	3	55.3	2.40	24.08	26.73	38.46	
	4	56.8	2.40	25.59	26.10	39.50	
	5	57.4	2.37	25.68	26.56	40.69	
	平均	56.92	2.43	25.47	26.32	39.57	
右/上環位 	1	55.7	2.47	25.04	26.85	41.03	落入水面後，潛艇會稍稍向左翻轉，紅環(小環)朝右上，黑環(大環)朝左上，墊片朝左上，朝小環方向傾斜漂落至箱底。
	2	54.3	2.40	25.40	27.86	40.97	
	3	54.2	2.53	25.49	25.76	38.43	
	4	55.3	2.50	26.12	27.53	39.50	
	5	55.5	2.53	24.62	25.83	39.76	
	平均	55.00	2.49	25.33	26.76	39.94	

下/右環位 	1	55.1	2.57	19.14	21.62	33.86	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝右上，黑環(大環)朝左上，墊片朝左下，朝小環方向傾斜漂落至箱底。
	2	58.0	2.67	20.86	20.38	33.78	
	3	57.0	2.73	18.95	20.96	32.60	
	4	57.1	2.73	18.80	21.12	31.51	
	5	57.5	2.67	19.81	19.25	31.25	
	平均	56.94	2.67	19.51	20.66	32.60	
下/左環位 	1	57.2	2.63	19.93	21.32	32.20	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝左上，黑環(大環)朝右上，墊片朝右下，朝小環方向傾斜漂落至箱底。
	2	56.8	2.57	20.05	20.62	33.26	
	3	57.0	2.63	19.97	20.41	31.48	
	4	56.2	2.57	20.17	21.49	30.93	
	5	55.6	2.60	19.12	20.62	33.39	
	平均	56.56	2.60	19.85	20.89	32.25	
下/下環位 	1	47.4	3.20	7.98	13.57	23.87	落入水面後，潛艇會翻轉成雙環朝上，墊片朝下，朝紅環(小環)方向傾斜漂落至箱底。
	2	50.3	3.13	8.34	14.39	24.28	
	3	48.0	3.10	7.85	13.16	25.20	
	4	48.4	3.07	7.00	13.77	24.92	
	5	49.3	3.00	8.68	14.07	23.33	
	平均	48.68	3.10	7.97	13.79	24.32	
左/下環位 	1	45.4	2.70	19.21	21.99	35.12	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝右上，黑環(大環)朝左上，墊片朝右下，朝紅環(小環)方向傾斜漂落至箱底。
	2	43.8	2.73	19.12	20.89	34.51	
	3	47.0	2.77	18.06	20.29	34.75	
	4	44.8	2.73	19.79	20.84	35.42	
	5	44.5	2.73	18.09	19.21	35.89	
	平均	45.10	2.73	18.86	20.64	35.14	
右/下環位 	1	44.5	2.83	18.60	20.68	33.63	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝左上，黑環(大環)朝右上，墊片朝左下，朝紅環(小環)方向傾斜漂落至箱底。
	2	45.2	2.67	18.22	20.60	34.01	
	3	43.9	2.63	18.48	20.50	36.56	
	4	44.8	2.77	20.40	21.87	37.05	
	5	42.8	2.73	19.05	20.96	36.84	
	平均	44.24	2.73	18.95	20.92	35.62	
上/右環位 	1	47.8	2.67	17.51	23.27	34.69	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝左上，黑環(大環)朝右上，墊片朝左上，朝小環方向傾斜漂落至箱底。
	2	47.9	2.73	16.65	23.14	33.39	
	3	50.3	2.70	17.81	22.88	34.03	
	4	47.8	2.57	18.30	23.00	36.10	
	5	49.5	2.53	18.95	23.39	34.76	
	平均	48.66	2.64	17.84	23.13	34.59	
上/左環位 	1	48.1	2.67	17.94	23.60	33.29	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝右上，黑環(大環)朝左上，墊片朝右上，朝小環方向傾斜漂落至箱底。
	2	48.2	2.67	18.09	24.33	34.22	
	3	48.1	2.70	17.12	22.94	34.58	
	4	47.9	2.67	19.42	24.78	35.86	
	5	48.3	2.73	17.84	23.23	35.95	
	平均	48.12	2.69	18.08	23.78	34.78	

上/下環位 	1	-15.0	3.33	-30.14	21.61	32.89	落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝下，黑環(大環)朝上，墊片朝下，先朝大環方向傾斜漂落，再朝小環方向傾斜漂落至箱底，整體路徑呈「>」字型。
	2	-13.2	3.33	-28.23	20.60	32.19	
	3	-13.4	3.47	-29.93	22.10	33.99	
	4	-13.5	3.40	-27.91	19.45	31.39	
	5	-14.0	3.33	-28.30	20.94	32.05	
	平均	-13.82	3.37	-28.90	20.94	32.50	
上/上環位 	1	69.1	3.10	19.77	11.72	10.85	雙環潛艇直接落入水中後，便往紅環(小環)方向傾斜降落至箱底。
	2	67.8	3.20	18.88	11.32	11.67	
	3	68.0	3.13	19.88	11.40	11.22	
	4	66.3	3.10	19.39	10.25	10.88	
	5	66.5	3.03	20.31	11.47	12.53	
	平均	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43	
下/上環位 	1	49.6	2.43	24.62	23.15	29.75	落入水面後，潛艇先朝黑環(大環)方向傾斜漂落，再翻轉成紅環(小環)朝左，黑環(大環)朝右，墊片朝右，才朝紅環(小環)方向傾斜漂落至箱底，整體路徑呈「>」字型。
	2	37.0	2.10	39.49	30.24	39.72	
	3	43.0	2.33	31.47	28.08	42.15	
	4	27.4	2.00	37.86	36.42	47.42	
	5	45.7	2.20	49.10	21.82	25.23	
	平均	40.54	2.21	36.51	27.94	36.85	

### (三) 研究發現

1. 不同環位的雙環潛艇落入水面後，除了上/上環位的雙環潛艇環位不變之外，其餘的雙環潛艇環位都會立即翻轉調整(如表 8-2)，才往紅環(小環)的方向傾斜漂移至箱底。

表 8-2：不同環位的雙環潛艇落入水面後，其紅環/黑環的原環位與調整後環位之比較表

紅環/黑環 原環位	右/左	左/右	左/左	右/右	左/上	右/上	下/右	下/左
紅環/黑環 調整後環位	左/右	右/左	上/上	上/上	左上/右上	右上/左上	右上/左上	左上/右上
調整後墊 片位置	下	下	右	左	右上	左上	左下	右下
紅環/黑環 原環位	下/下	左/下	右/下	上/右	上/左	上/下	上/上	下/上
紅環/黑環 調整後環位	上/上	右上/左上	左上/右上	左上/右上	右上/左上	下/上	上/上	左/右或右/左
調整後墊 片位置	下	右下	左下	左上	右上	下	上	右或左

從表 8-2 中可以發現：

- (1) 紅/黑環相差 180 度，如右/左、左/右、下/上環位的潛艇落入水面後，雙環會調整成左/右或右/左位置；但上/下環位的潛艇落入水面後，雙環卻會調整成下/上位置，很特別。
- (2) 紅/黑環相差 0 度，如左/左、右/右、上/上、下/下落入水面後，雙環會調整呈上/上位置，其中紅/黑環是上/上環位的落入水面後維持原環位漂移至箱底。
- (3) 紅/黑環相差 90 度，如左/上、右/上、下/右、下/左、左/下、右/下、上/右、上/左環位的雙環潛艇落入水面後，雙環會調整呈左上/右上或右上/左上位置。
- (4) 不管原先環位如何，墊片原都朝上，但潛艇落入水面會重新調整環位（除上/上環位外），而墊片位置可能變成下、上、左、右、右上、右下、左上、左下等位置，也就是說雙環潛艇落水後，墊片沒有特定要維持的方位。
- (5) 從潛艇環位的改變，更可確知雙環與墊片兩者比較起來，雙環對潛艇的漂移比較有影響力，尤其是大環從不位居下位。

2. 上/下、下/上環位的雙環潛艇落入水面後，潛艇會翻轉，先朝大環方向傾斜漂落，再朝小環方向傾斜漂落至箱底，路徑大致呈現「>」字型。

3. 將表 8-1 經過整理製成

圖 8-1、圖 8-2 後發現：

- (1) 從圖 8-1 及圖 8-2 中可以輕易的看出右/左、左/右和左/左、右/右和左/上、右/上和下/右、下/左和左/下、右/下和上/右、上/左兩兩的漂移距離、漂移時間、前中後段的角度變化都幾乎一樣。

- (2) 上/下環位的雙環潛艇落入水面後，潛艇會翻轉成紅環(小環)朝下，黑環(大環)朝上，墊片朝下，先朝大環方向傾斜漂落，再朝小環方向傾斜漂落至箱底，整體路徑呈「>」字型，所以漂移距離及前段平均角度才會呈現出負數值，其漂移時間是整體中最多的，為 3.37 秒。

- (3) 左/上、右/上、下/右、下/左、左/下、右/下、上/右、上/左環位的潛艇其漂移時間都很接近，介於 2.43~2.73

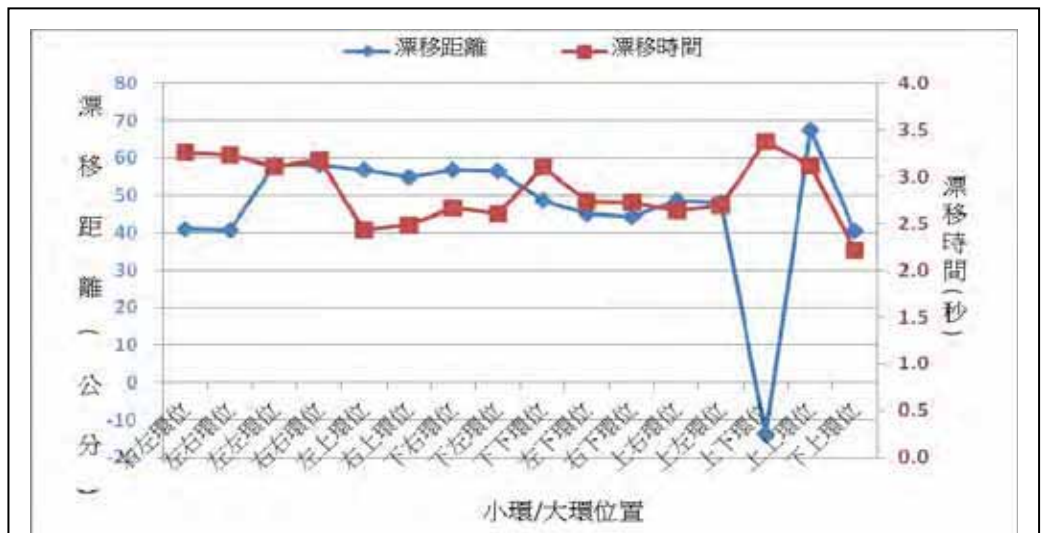


圖 8-1：雙環潛艇環位與其漂移距離及漂移時間的關係圖。



圖 8-2：雙環潛艇環位與其漂移時前中後段管身的漂移角度之關係圖。

- 秒間，推論是因為這些雙環潛艇的紅環(小環)與黑環(大環)的角度都相差 90 度的關係。
- (4) 右/左、左/右、左/左、右/右、下/下、上/上、上/下環位的潛艇漂移時間都很接近，介於 3.10~3.37 秒間，推論是因這些潛艇的紅環與黑環角度都相差 0 度或 180 度的關係。
- (5) 下/上環位的雙環潛艇其前中段的平均角度最高，漂移時間是整體中最少的，為 2.21 秒。
- (6) 上/上環位雙環潛艇漂移過程中不翻轉最穩定，漂移距離是整體中最長的，為 67.54cm。
- (7) 左/左、右/右、上/上環位的潛艇其前中後段平均角度很接近，推論是因為雙環是平行的狀態，環與墊片也相差 90 度或 0 度的關係。但下/下環位的雙環潛艇雖雙環是平行的狀態，但環與墊片相差 180 度的關係，所以前中後段平均角度差距較大。

子題九：雙環潛艇環的角度如何影響其漂移情形？

(一) 研究方法：

1. 準備管長 7cm、管身封水、管身正中央黏貼 5 個墊片、紅/黑環直徑分別為 3cm 和 4.5cm，環寬 1cm 的「雙環潛艇」10 架。
2. 改變潛艇紅/黑環與管身角度為 0 度/0 度、0 度/90 度、0 度/135 度、45 度/0 度、45 度/45 度、45 度/90 度、45 度/135 度、90 度/0 度、90 度/90 度、90 度/135 度 (如圖 9-1)。
3. 利用降落器依序將步驟 2 的 10 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。

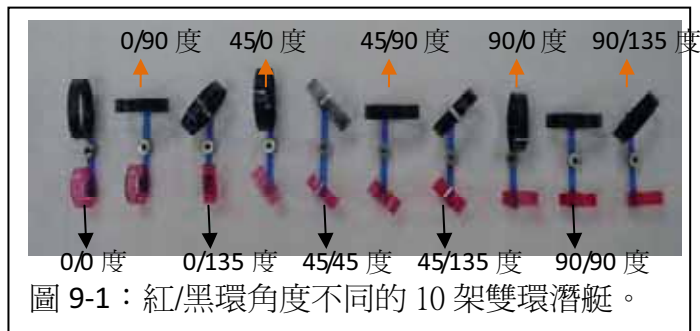


圖 9-1：紅/黑環角度不同的 10 架雙環潛艇。

(二) 研究結果

表 9-1：雙環潛艇環與管身的角度不同時，其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

紅環/黑環 角度	平均漂移距離 (cm)	平均漂移時間 (秒)	角度(度)		
			前段	中段	後段
0 度/0 度	-6.66	2.50	11.37	20.93	32.15
	往小環傾斜，雙環會左右晃動，緩緩落入箱底，潛艇後漂數公分，故漂移距離是負值。				
0 度/90 度	13.86	2.34	36.80	47.05	49.33
	往小環傾斜，便以相當大的角度落入箱底，漂移過程可以明顯看出小環會左右晃動。				
0 度/135 度	-7.14	2.71	35.79	76.28	66.12
	往小環傾斜，漂移過程會轉彎亂漂，潛艇後退數公分，所以水平漂移距離是負值。				
45 度/0 度	2.66	2.64	29.80	34.77	59.98
	往小環傾斜，降落過程會以管身前端為中心順時針旋轉約 0.8 圈後，降落至箱底。				
45 度/45 度	17.68	1.87	24.83	55.88	56.75
	落入水面後，往小環傾斜落入箱底，漂移過程整台潛艇會轉彎。				
45 度/90 度	8.32	2.07	13.13	63.31	51.99
	往小環傾斜，降落過程會以管身前端為中心順時針旋轉約 1.375 圈後，降落至箱底。				
45 度/135 度	4.00	2.73	12.68	29.31	22.05
	往小環傾斜，降落過程潛艇會以管身前端為中心順時針旋轉約 2 圈後，降落至箱底。				
90 度/0 度	4.56	2.26	22.16	15.80	10.06
	往小環傾斜，便幾乎直直的落入箱底，漂移過程會因水流而稍漂移。				
90 度/90 度	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43
	往小環方向傾斜漂移至箱底。				
90 度/135 度	6.24	3.00	22.20	36.64	27.39
	往小環傾斜，降落過程會以管身前端為中心順時針旋轉約 1.125 圈後，降落至箱底。				

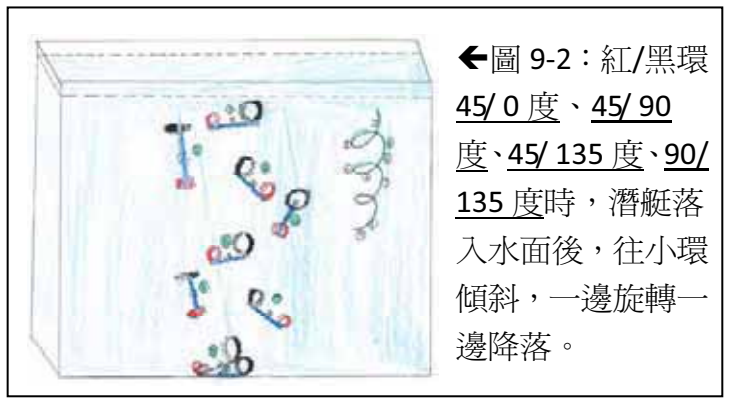
註：各數值僅以 5 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

(三) 研究發現

1.紅/黑環角度改變對於雙環潛艇漂移現象的影響很大，原先當紅/黑環都呈 90/90 度時，雙環潛艇會往紅環(小環)方向傾斜漂移至箱底，漂移時間為 3.11 秒，漂移距離為 67.54cm。但一旦改變雙環的角度，雙環潛艇雖然還是會往紅環(小環)方向傾斜，但漂移時間減少(本子題平均漂移時間介於 1.87~3.00 秒)，漂移距離更是大大縮短(本子題平均漂移距離介於 -7.14~17.68cm)。

2.紅/黑環呈 45/0 度、45/90 度、45/135 度、90/135 度時，潛艇落水後，往小環傾斜，且特別的是漂移過程會以管身前端為中心邊旋轉邊降落，如圖 9-2。旋轉圈數為：45 度/135 度 > 45 度/90 度 > 90 度/135 度 > 45 度/0 度，可見紅/黑環角度的改變對旋轉圈數影響很大。

3.將表 9-1 經過整理製成圖 9-3、圖 9-4 後發現：



←圖 9-2：紅/黑環 45/0 度、45/90 度、45/135 度、90/135 度時，潛艇落入水面後，往小環傾斜，一邊旋轉一邊降落。

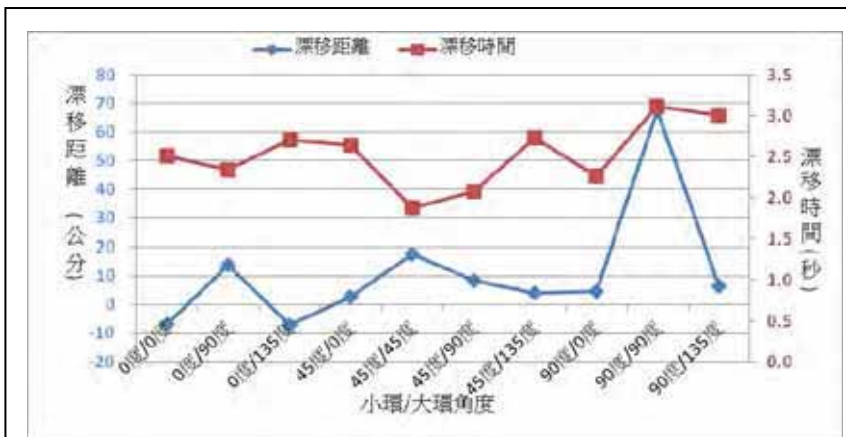


圖 9-3：潛艇環與管身的角度與其漂移距離及漂移時間之關係圖。

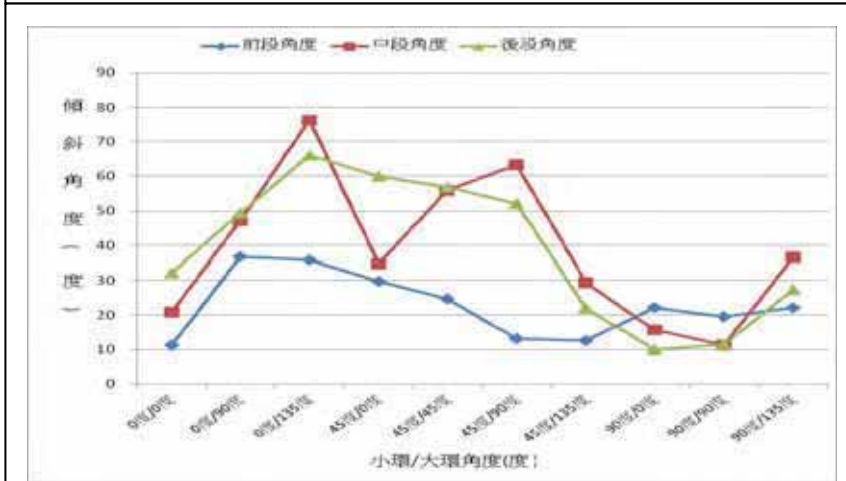


圖 9-4：雙環潛艇環與管身的角度與其漂移時前中後段管身潛艇紅/黑環角度為 45 度/135 度、90 度/135 度時會產生旋轉，且其前中後的平均角度不僅接近也偏低，所以漂移時間也較長；而紅環/黑環的角度為 45 度/90 度時也會產生旋轉，雖前段平均角度偏低，但中、後段平均角度大大增加，使得下降速度也增快。



圖 10-1：紅/黑環角度不同的雙環潛艇。

子題十：雙環潛艇環的角度如何影響其旋轉情形？

(一) 研究方法

- 1.將透明片、吸管製成管長 7cm、在管身中封水、管身正中央處黏貼 5 個墊片、紅環與黑環的直徑分別為 3cm 和 4.5cm，環寬 1cm 的「雙環潛艇」25 架。
- 2.改變步驟 1 的 25 架「雙環潛艇」雙環紅環/黑環與管身的角度，如下表 10-1。

表 10-1：紅環/黑環與管身的角度一覽表

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
紅環角度	15	15	15	15	15	30	30	30	30	30	45	45	45	45	45
黑環角度	165	150	135	120	105	165	150	135	120	105	165	150	135	120	105
編號	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	註：紅環角度、黑環角度如圖 10-1 所示。				
紅環角度	60	60	60	60	60	75	75	75	75	75					
黑環角度	165	150	135	120	105	165	150	135	120	105					


- 3.利用降落器依序將步驟 2 的 25 架「雙環潛艇」發射降落至水中，以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中的旋轉圈數、旋轉起始角度。

(二) 研究結果

表 10-2：雙環潛艇環角度不同時，其漂移秒數、旋轉圈數、起始角度變化一覽表

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
紅環角度	15	15	15	15	15	30	30	30	30	30
黑環角度	165	150	135	120	105	165	150	135	120	105
平均漂移時間(秒)	2.36	2.38	2.40	2.49	2.51	2.37	2.75	2.27	2.73	2.67
平均旋轉圈數(圈)	0.83	0.60	0.60	0.80	0.50	0.68	1.33	0.73	1.76	1.73
平均起始角度(度)	15.14	19.48	5.99	5.00	20.08	21.74	6.54	27.17	12.57	12.61
編號	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
紅環角度	45	45	45	45	45	60	60	60	60	60
黑環角度	165	150	135	120	105	165	150	135	120	105
平均漂移時間(秒)	2.17	2.68	2.73	2.33	2.47	2.13	2.77	2.73	2.89	2.17
平均旋轉圈數(圈)	0.14	1.00	2.02	1.75	1.84	0.13	1.65	1.53	1.63	1.30
平均起始角度(度)	14.90	16.82	12.68	10.69	7.32	5.93	11.10	8.91	12.10	16.43
編號	21	22	23	24	25	註：各數值僅以 5 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。				
紅環角度	75	75	75	75	75					
黑環角度	165	150	135	120	105					
平均漂移時間(秒)	2.65	2.63	2.92	3.05	2.21					
平均旋轉圈數(圈)	1.48	1.38	1.43	1.08	0.50					
平均起始角度(度)	16.91	16.36	17.38	19.15	17.19					

(三) 研究發現

1.這 25 架雙環潛艇紅環與黑環的角度與管身大致呈現「」型，其落入水面後，往紅環(小環)傾斜落入箱底，漂移過程整台潛艇會以管身前端為中心順時針旋轉，但旋轉圈數依據紅環與黑環的角度而有不同的表現。

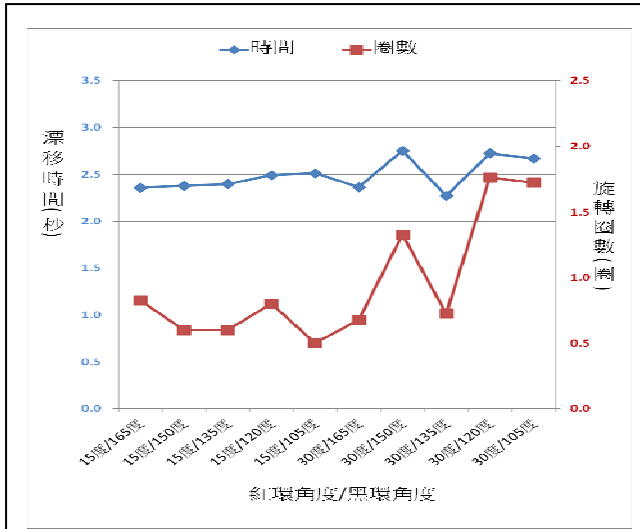


圖 10-2：雙環潛艇雙環的角度與其旋轉時間及旋轉圈數之關係圖之一。

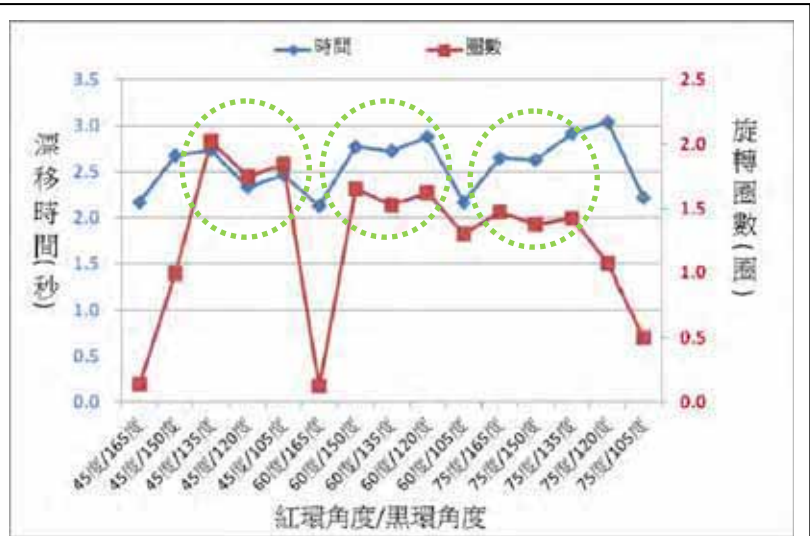


圖 10-3：雙環潛艇雙環的角度與其旋轉時間及旋轉圈數之關係圖之二。

2.將表 10-2 經整理製成圖 10-2、圖 10-3 後發現：

- (1) 雙環不同角度變化中之漂移時間折線圖起伏趨勢與旋轉圈數折線圖起伏趨勢很接近。大體而言，旋轉圈數越多，其漂移所需時間也較長，但紅環(小環)是 15 度角時的表現卻與此原則不相符。
- (2) 旋轉圈數前 11 名紅環/黑環角度如表 10-3 中標示，經由分析發現：旋轉圈數前 11 名的紅環與黑環角度延伸之夾角(如圖 10-4)，不外乎是 90 度、75 度、60 度。而這前 11 名在圖 10-2、圖 10-3 折線圖中，可明顯看出有 3 個「M」型的折線圖趨勢(如圖 10-2、圖 10-3 綠色圓形虛線圈起來之處)。

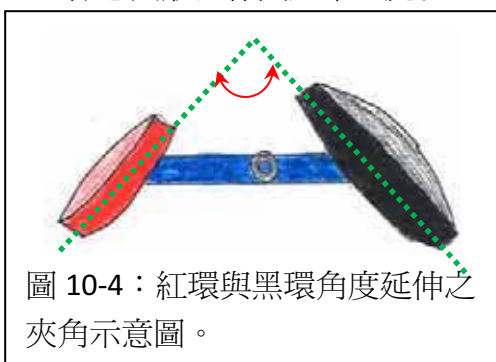


圖 10-4：紅環與黑環角度延伸之夾角示意圖。

表 10-3：紅/黑環角度及其夾角與旋轉圈數多寡之關係

編號	1	2	3	4	5
紅環角度(度)	15	15	15	15	15
黑環角度(度)	165	150	135	120	105
紅環與黑環夾角	150	135	120	105	90
編號	6	7	8	9	10
紅環角度	30	30	30	30	30
黑環角度	165	150	135	120	105
紅環與黑環夾角	135	120	105	90 <sup>③</sup>	75 <sup>⑤</sup>
編號	11	12	13	14	15
紅環角度	45	45	45	45	45
黑環角度	165	150	135	120	105
紅環與黑環夾角	120	105	90 <sup>①</sup>	75 <sup>④</sup>	60 <sup>②</sup>
編號	16	17	18	19	20
紅環角度	60	60	60	60	60
黑環角度	165	150	135	120	105
紅環與黑環夾角	105	90 <sup>⑥</sup>	75 <sup>⑧</sup>	60 <sup>⑦</sup>	45
編號	21	22	23	24	25
紅環角度	75	75	75	75	75
黑環角度	165	150	135	120	105
紅環與黑環夾角	90 <sup>⑨</sup>	75 <sup>⑪</sup>	60 <sup>⑩</sup>	45	30

註：(N)內的數字表示旋轉圈數的表現名次。



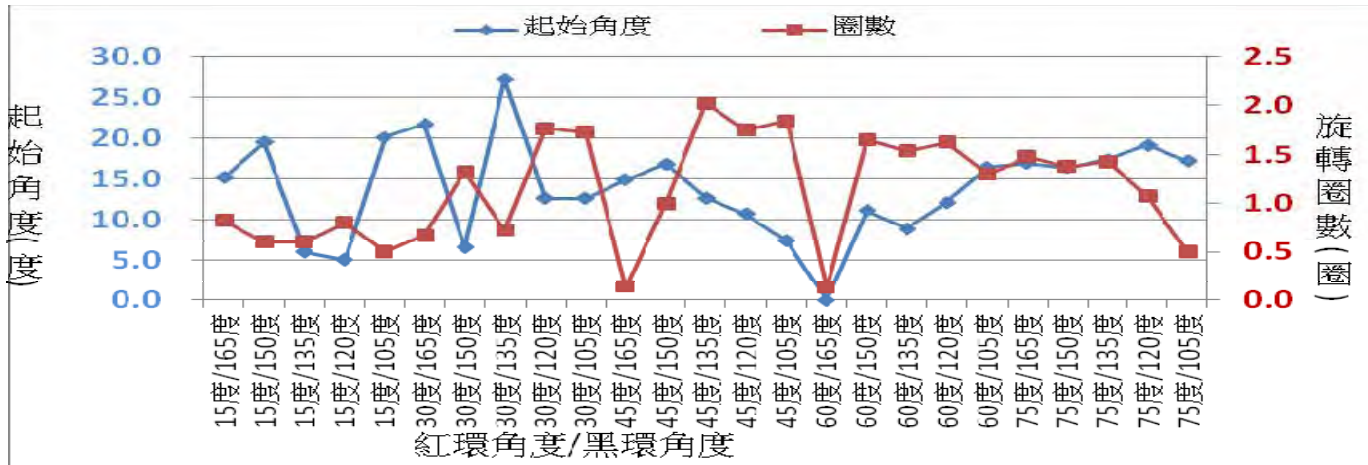


圖 10-5：雙環潛艇雙環的角度與其旋轉圈數及旋轉起始角度之關係圖。

(3) 承(2)，從表 10-3 中我們也發現很特別的是，紅環角度為 15 度時，不論黑環的角度為何，其旋轉圈數的表現都不佳；紅環角度為 30 度、45 度、60 度、75 度時，黑環角度分別為 120 度、135 度、150 度、165 度時，其紅環與黑環夾角都是 90 度，旋轉圈數都是位居該紅環角度的第 1 名；紅環角度為 45 度、60 度、75 度時，黑環角度分別為 105 度、120 度、135 度時，其紅環與黑環夾角都是 60 度，旋轉圈數都是位居該紅環角度的第 2 名；紅環角度為 30 度、45 度、60 度、75 度時，黑環角度分別為 105 度、120 度、135 度、150 度時，其紅環與黑環夾角都是 75 度，旋轉圈數都是位居該紅環角度的第 3 名。

3. 將表 10-2 經整理製成圖 10-5 後可以發現大致上，雙環潛艇旋轉起始角度越大，旋轉的圈數越少；旋轉起始角度越小，旋轉的圈數越多。


子題十一：雙環潛艇墊片的位置如何影響其旋轉情形？

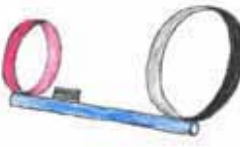

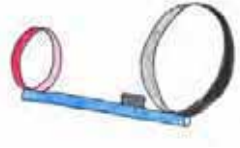

(一) 研究方法

1. 準備管長 7cm、在管身中封水、紅環與黑環的直徑分別為 3cm 和 4.5cm、紅/黑環與管身的角度分別為 45 度和 135 度，環寬 1cm 的「雙環潛艇」5 架。
2. 將管身的 1.5cm、2.5cm、3.5cm、4.5cm、5.5cm 處，分別定義為前、前中、中、中後、後，改變步驟 1 的 5 架「雙環潛艇」5 個墊片在管身上的位置。
3. 利用降落器依序將步驟 2 的 5 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移時間、旋轉圈數、旋轉直徑。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。

(二) 研究結果

表 11-1：雙環潛艇墊片位置不同，其漂移秒數、旋轉圈數、起始角度、旋轉直徑變化一覽表

墊片位置及示意圖	實驗次數	漂移時間 (秒)	圈數 (圈)	起始角度 (度)	旋轉直徑 (cm)	描述
	1	2.70	1.50	25.89	5.6	落入水面後，往紅環(小環)傾斜，漂移過程整台潛艇會以管身前端為中心順時針旋轉約 1.5 圈後，降落至箱底。
	2	2.67	1.50	25.68	5.4	
	3	2.63	1.50	25.48	5.6	
	4	2.67	1.50	25.20	5.7	
	5	2.73	1.50	23.42	5.3	
	平均	2.68	1.50	25.14	5.52	

	1	2.83	1.75	19.98	5.6	落入水面後，往紅環(小環)傾斜，漂移過程整台潛艇會以管身前端為中心 <b>順時針旋轉約1.7圈</b> 後，降落至箱底。
	2	2.73	1.75	17.22	5.4	
	3	2.80	1.75	17.26	6.2	
	4	2.73	1.75	18.66	5.9	
	5	2.63	1.63	18.58	5.7	
	平均	2.75	1.73	18.34	5.76	
	1	2.73	2.00	13.42	5.0	落入水面後，往紅環(小環)傾斜，漂移過程整台潛艇會以管身前端為中心 <b>順時針旋轉約2圈</b> 後，降落至箱底。
	2	2.73	2.00	13.73	5.0	
	3	2.73	2.00	11.65	5.0	
	4	2.73	2.00	11.98	5.1	
	5	2.70	2.00	12.63	4.9	
	平均	2.73	2.00	12.68	5.00	
	1	2.63	0.75	-9.40	6.8	落入水面後，稍稍往黑環(大環)傾斜，漂移過程整台潛艇會以管身後端為中心 <b>逆時針旋轉約0.8圈</b> 後，降落至箱底。
	2	2.63	0.75	-8.86	6.8	
	3	2.73	0.88	-8.77	6.4	
	4	2.67	0.75	-8.26	6.3	
	5	2.77	0.88	-7.24	6.7	
	平均	2.69	0.80	-8.51	6.60	
	1	3.63	2.13	-10.46	6.9	落入水面後，往黑環(大環)傾斜，漂移過程整台潛艇會以管身後端為中心 <b>逆時針旋轉約2.1圈</b> 後，降落至箱底。
	2	3.70	2.13	-10.28	6.7	
	3	3.63	2.13	-11.00	6.4	
	4	3.63	2.13	-11.41	6.7	
	5	3.63	2.00	-11.06	6.9	
	平均	3.65	2.10	-10.84	6.72	

### (三) 研究發現

1. 墊片在「前」、「前中」、「中」時，雙環潛艇會**順時針旋轉**；墊片在「中後」、「後」時，雙環潛艇會**逆時針旋轉**。

2. 將表 11-1 經整理製成圖 11-1 後發現：

(1) 雙環潛艇漂移時間依墊片位置不同為：後>前中>中>中後>前，其中墊片位置在前、前中、中、中後時，漂移時間很接近，介於 2.68~2.75 秒間，而漂移時間最長的是墊片位置在「後」，為 3.65 秒，也就是說墊片位置在「後」可延長漂移時間。

(2) 雙環潛艇旋轉圈數依墊片位置不同：後>中>前中>前>中後，旋轉圈數最多是墊片位置在「後」，為 2.1 圈；旋轉圈數最少是墊片位置在「中後」，為 0.8

圈。承(1)發現墊片位置在「後」不僅漂移時間增長，旋轉圈數也增多一些。

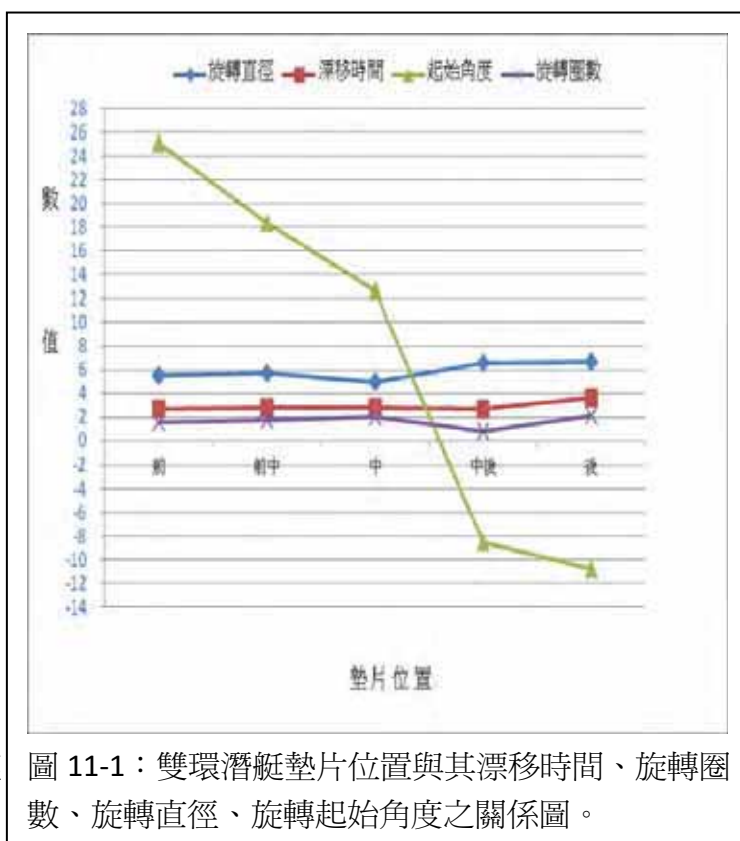


圖 11-1：雙環潛艇墊片位置與其漂移時間、旋轉圈數、旋轉直徑、旋轉起始角度之關係圖。

- (3) 雙環潛艇旋轉起始角度依墊片位置不同：前>前中>中>中後>後，墊片在「中後」、「後」時，因潛艇落水後朝黑環（大環）傾斜，所以旋轉起始角度以負值呈現。從旋轉起始角度數據來看，可知墊片位置會影響潛艇的旋轉重心，但墊片在「中」時，還是朝小環方向傾斜旋轉，可以推知傾斜方向除了受到墊片位置的影響之外，雙環對潛艇的影響也不容小覷。
- (4) 潛艇旋轉直徑依墊片位置不同由大至小：後>中後>前中>前>中，旋轉直徑最大是墊片位置在「後」，為 6.72cm；旋轉直徑最小是墊片位置在「中」，為 5cm，兩者差距 1.72cm。

**子題十二：雙環潛艇漂移時，流經潛艇各部位的水流速有何異同？**

(一) 研究方法

1. 利用木條、滑輪、釣魚線、銅釘組成一軌道，最邊端懸掛砝碼。
2. 在「雙環潛艇」的大環上、小環上、雙環正中間、吸管下方以細鐵絲及細線各繫住一個保麗龍球，並用一鐵絲將「雙環潛艇」固定於軌道上的繩子。在水中的「雙環潛艇」大環上、小環上、雙環正中間、吸管下方的保麗龍球都會浮起（如圖 12-1）。
3. 分別在軌道邊懸掛 15gw、30gw 砝碼，讓砝碼自然落下時會讓「雙環潛艇」沿著軌道往前移動，此時「雙環潛艇」大環上、小環上、雙環正中間、吸管下方保麗龍球會偏移（如圖 12-2）。
4. 以攝影機錄下「雙環潛艇」整個在水中的漂移過程，再以軟體分析各保麗龍球的偏移角度。

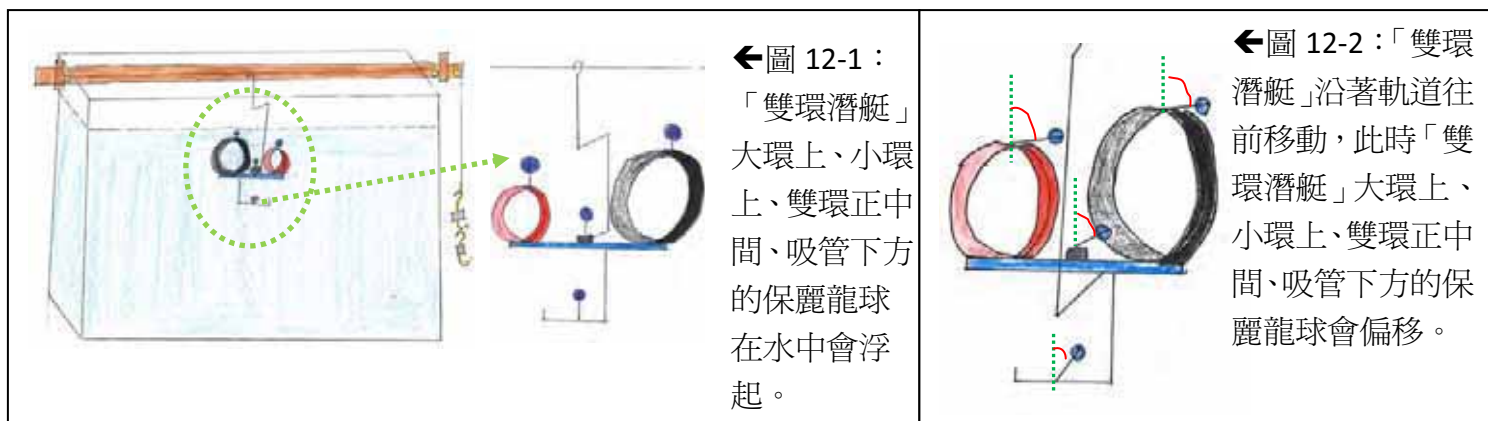


表 12-1：在不同重力下保麗龍球偏移角度一覽表

保麗龍球位置 實驗數據		重力				
		小環上	大環上	雙環 正中間	吸管下方	
15 克 重 力	實 驗 次 數	1	12.53	16.52	11.27	7.76
		2	11.35	16.60	11.49	7.84
		3	12.09	16.09	12.01	9.31
		4	11.98	15.68	12.36	9.06
		5	11.13	15.40	11.82	8.45
	平均	11.81	16.06	11.79	8.28	
30 克 重 力	實 驗 次 數	1	21.37	25.74	20.72	17.41
		2	22.05	24.31	21.04	15.86
		3	20.23	24.44	20.71	16.35
		4	22.48	25.25	21.63	15.70
		5	23.70	26.17	21.19	16.80
	平均	21.96	25.18	21.06	16.42	

(三) 研究發現

將表 12-1 經整理製成圖 12-3 後發現：

1. 不論是 15gw 或是 30gw 的拉力，不同位置保麗龍球的角度由大至小是：大環上>小環上>雙環正中間>吸管下方。這也表示潛艇在水中活動時，水流經過潛艇各部位的速度是：大環上>小環上>雙環正中間>吸管下方。

2.承 1，這個發現很重要：第一，讓我們了解雙環潛艇落入水面後會讓潛艇緩緩下降的原因，這是因為水流速度較大的地方壓力較小，潛艇漂移時，雙環的弧度使得雙環上方的水流比筆直的吸管下方快，因此潛艇下方有較大的上壓力，可減緩潛艇因重力造成的下墜現象，有利於持續向前漂移。第二，同時也解釋了潛艇往前漂移時，為什麼會往小環傾斜的原因，這是因為大環的直徑比小環大，所以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，所以看起來潛艇是向小環方向傾斜。

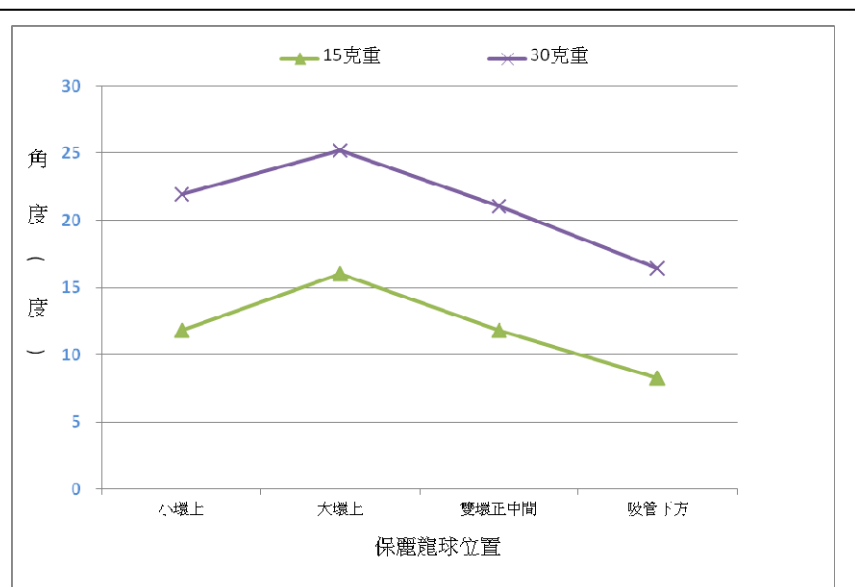


圖 12-3：雙環潛艇保麗龍球位置在不同重力下其偏移角度之關係圖。

3.砝碼越重，拉力越大，小環上、大環上、雙環正中間、吸管下方保麗龍球偏移的角度都會增加，增加的幅度分別是 10.15 度、9.12 度、9.27 度、8.14 度。

子題十三：研發設計出能延長在水中漂移距離及時間的「雙環潛艇」。

(一) 研究方法：

- 1.以傳統型雙環潛艇為基礎，在數百次試驗下，研發 7 種能延長在水中漂移距離及時間的「雙環潛艇」，分別命名為「基礎蝴蝶型」、「半圓蝴蝶型雙環潛艇」、「ㄣ字型」、「雪橇型」、「非對稱蝴蝶型」、「凸眼型」、「鳳眼蝴蝶型」以及原先的「傳統型」等潛艇，分別以代號 A、B、C、D、E、F、G、H 表示（如圖 13-1）。
- 2.利用降落器依序將步驟 1 的 8 架「雙環潛艇」發射降落至水中，觀測漂移現象、漂移距離。
- 3.以攝影機錄下潛艇整個在水中的漂移過程，再以威力導演讀取錄製影片檔以分析漂移時間及漂移過程中管身角度的變化。



(二) 研究結果

表 13-1：研發的 7 種蝴蝶型及傳統型其漂移距離、漂移時間、漂移角度變化一覽表

代號	名稱	平均漂移距離 (cm)	平均漂移時間 (秒)	平均角度 (度)		
				前段	中段	後段
A	基礎蝴蝶型	76.7	5.02	17.90	19.80	23.90
		潛艇落入水面後朝小環傾斜漂移，快落至箱底時會稍往側面翻轉。				
B	半圓蝴蝶型	76.8	5.49	15.39	14.63	20.71
		潛艇落入水面朝小環傾斜漂移，漂移過程會往側面翻轉約半圈。				
C	ㄣ字型	82.0	4.07	19.08	12.19	13.30
		潛艇落入水面朝單個大環處穩定的漂移，漂移過程中傾斜角度變小，漂移速度也逐漸變緩。潛艇最後碰到箱壁 2.44cm 高處。				
D	雪橇型	77.5	4.29	15.22	13.26	16.57
		潛艇剛落入水面時稍側翻，朝小環傾斜漂移，但漂移中會慢慢的調整回復至圓環朝上，漂移至箱底。				
E	非對稱蝴蝶型	82.0	6.20	4.41	6.69	4.26
		潛艇落入水面時朝非對稱處傾斜漂移，漂移後段會稍往對稱處搖擺。潛艇最後碰到箱壁 4.1cm 高處。				
F	凸眼型	82.0	4.23	12.96	13.90	15.32
		潛艇落入水面朝單個大環處傾斜穩定的漂移。潛艇最後碰到箱壁 4.6cm 高處。				
G	鳳眼蝴蝶型	82.0	7.23	12.26	9.16	8.55
		潛艇落入水面朝小環傾斜穩定的漂移，漂移過程可明顯看出會縮小傾斜角度。潛艇最後碰到箱壁 2.5cm 高處。				
H	傳統型	67.54	3.11	19.64	11.23	11.43
		潛艇落入水面朝小環方向傾斜穩定的漂移。				

(三) 研究發現

註：各數值僅以 5 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

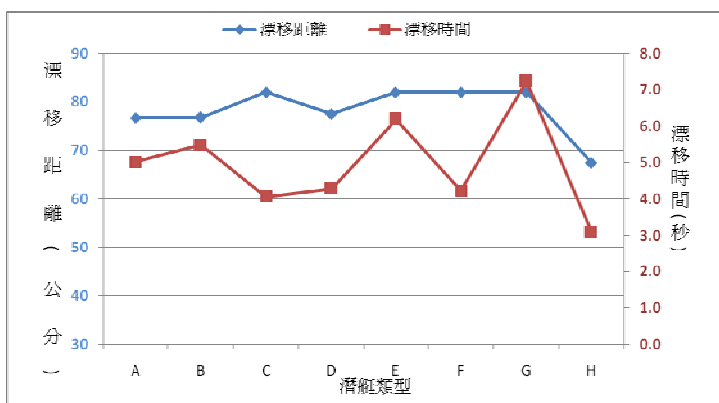


圖 13-2：不同潛艇類型漂移距離及時間之關係圖。

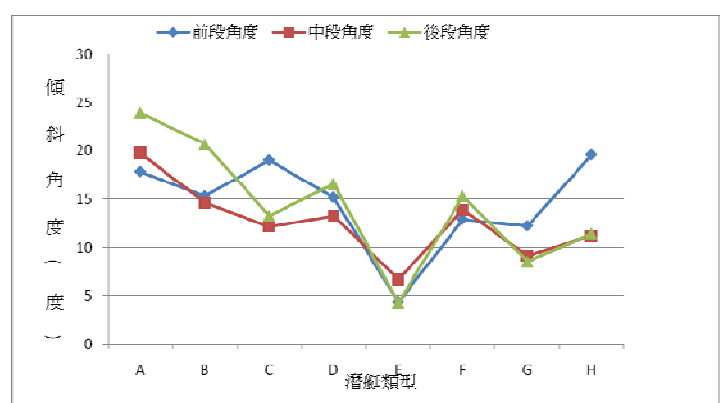


圖 13-3：不同潛艇類型漂移時管身角度之關係圖。

1. A~H 八類型潛艇中只有 C「ㄣ字型」、F「凸眼型」、G「鳳眼蝴蝶型」、H「傳統型」等潛艇落入水面後能穩定的漂移，不側翻。其他類型的潛艇在漂移過程中都會側翻或搖擺。
2. A~H 八類型潛艇中的 C「ㄣ字型」、E「非對稱蝴蝶型」、F「凸眼型」、G「鳳眼蝴蝶型」等 4 架潛艇漂移過程中因水族箱的長度有限，所以會撞到水族箱的壁面，分別為 2.44cm、4.1 cm、4.6 cm、2.5 cm 高處，所撞到壁面處越高表示若水族箱能延長其漂移距離應愈遠，所以所有潛艇中 F「凸眼型」潛艇能漂移的距離最遠。

3.將表 13-1 繪製成圖 13-2、圖 13-3 發現：

- (1) 研發的 7 種創意型潛艇其漂移距離及漂移時間都比原先的傳統型潛艇長。其中漂移距離最長的是「F 凸眼型潛艇」，平均漂移距離為 82cm，最終觸碰壁面高度 4.6cm；漂移時間最長為「G 鳳眼蝴蝶型潛艇」平均漂移時間為 7.23 秒，分別比傳統型潛艇足足延長漂移距離至少 14.46cm，延長漂移時間 4.12 秒。
- (2) 「G 鳳眼蝴蝶型潛艇」平均漂移時間最長為 7.23 秒，推測是因其漂移過程中到中、後段時傾斜角度都會因水流的影響再調小（中後段的傾斜角度都低於 10 度）的關係。
- (3) 「E 非對稱蝴蝶型潛艇」其前中後傾斜角度雖然非常接近，且都低於 7 度，所以其漂移距離及漂移時間也都有很不錯的表現（位居第二名），但其漂移過程中的搖擺現象使其漂移距離及時間稍減少。

## 伍、結 論

一、能從實驗中確認「雙環潛艇」在水中會因重力、浮力、水流的影響而產生各種漂移現象。

(一) 能從墊片數多寡的實驗中確認潛艇會因重力而影響其漂移情形。

子題三的實驗中得知墊片數的多寡決定潛艇是否能沉穩的落水且往前漂移：管身封空氣，1 個或 2 個墊片時，潛艇只會漂浮在水面無法下沉；管身封空氣的 5~7 個墊片及管身封水的 4~7 個墊片時，潛艇都會沉穩的落入水中，穩定的朝小環方向傾斜漂移。

(二) 能從雙環比例及環寬實驗中確認潛艇會因雙環的浮力而影響其漂移情形。

1. 子題六實驗中得知雙環潛艇前後環直徑相同比例但環的直徑越大時，潛艇在水中的漂移時間越長，因為雙環直徑越大，其浮力也越大，而使潛艇能停留在水中較久的時間。
2. 雙環潛艇環寬越寬，漂移時間越長，是因為環寬越寬，在水中的浮力較大之原故。

(三) 能從保麗龍球創意實驗設計中確認雙環潛艇在水中漂移前進時，潛艇各部位的水流速度不同。

在子題十二中，我們在「雙環潛艇」的大環上、小環上、雙環正中間、吸管下方各繫住一保麗龍球，發現其在水中前進時保麗龍球偏移的角度由大至小是：大環上 > 小環上 > 雙環正中間 > 吸管下方，這也代表「雙環潛艇」各部位的水流速度是：大環上 > 小環上 > 雙環正中間 > 吸管下方，這結果解答了我們在實驗過程中的疑惑：

1. 為什麼「雙環潛艇」會緩緩漂移降落至箱底？這是因為水流速度較大的地方壓力較小，潛艇漂移時，雙環的弧度使得雙環上方的水流較筆直的吸管下方快，因此潛艇下方有較大的上壓力，可減緩潛艇因重力造成的下墜現象，有利於持續向前漂移。

2. 為什麼「雙環潛艇」往前漂移時會往小環方向傾斜？在實驗三~十中，不論雙環的直徑、環寬、環位、角度或是墊片數，「雙環潛艇」穩定漂移或是螺旋降落時，都會往小環方向傾斜，這是因為大環上的水流速度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，所以才會向小環方向傾斜。

3. 為什麼「雙環潛艇」小/大環中，小環直徑固定，大環直徑越大時，往小環方向的傾斜角度越大？在子題五中得知大環直徑越大，傾斜角度越大，這是因為大環直徑越大，大環上的水流速度越快，使得大環上的壓力較小，吸管下的壓力較大，促使大環部分往上提升，因此傾斜角度就增大。

二、雙環的位置及環與管身的夾角對潛艇漂移的穩定性息息相關。

(一) 子題八不同環位的雙環潛艇實驗中發現，上/上環位的「雙環潛艇」漂移中很穩定不翻轉，但其餘右/左、左/右、左/左、右/右、左/上、右/上、下/右、下/左、下/下、左/下、右/下、上/右、上/左、上/下、下/上環位的「雙環潛艇」落入水中後，都會經過

重新調整環位方向後才穩定的漂移降落，且特別的是不論如何調整，大環會位於左、右、左上、右上或上位，就是從不位居下位(吸管下方)，由此可見「雙環潛艇」中大環對潛艇能穩定漂移的貢獻很大。

(二) 子題九中，紅/黑環呈 90/90 度時，「雙環潛艇」漂移距離最長為 67.54cm，但一旦改變雙環的角度，雙環潛艇漂移距離會大大縮短(如圖 14-1)。其中：

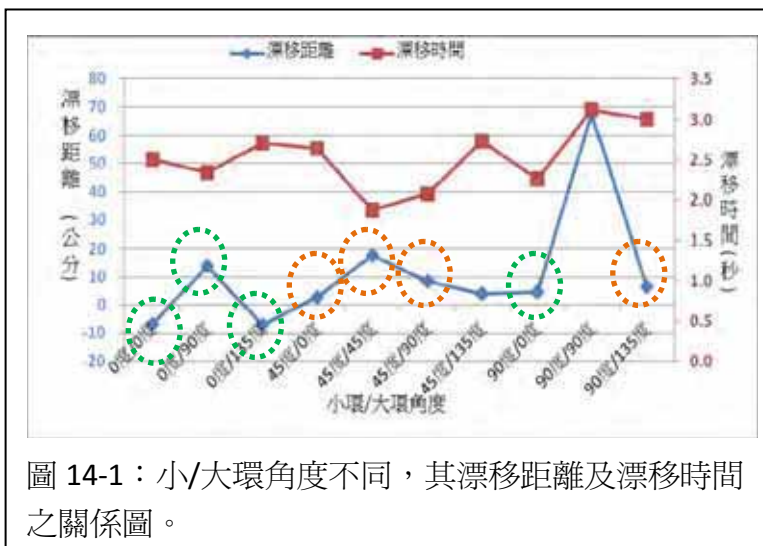


圖 14-1：小/大環角度不同，其漂移距離及漂移時間之關係圖。

- 1.當前環或後環與管身呈 0 度時(前環 45 度除外)，如圖 14-1 綠色圓形虛線處，潛艇漂移過程中，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，甚至出現整台潛艇後移或環在「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。
- 2.當前環或後環與管身呈 45 度或 135 度時(前環不得為 0 度)，如圖 14-1 橘色圓形虛線處，整台潛艇會產生螺旋落下的特別景象，這說明環與管身的角度有掌控潛艇漂移方向的能力。

### 三、能從實驗中得到雙環潛艇漂移距離最長、漂移情形最穩定的最佳變因組合。

子題三~八的實驗中，可以得知「雙環潛艇」在水中漂移距離最長、漂移情形最穩定的最佳組合如下表 14-1 所示，此狀態的「雙環潛艇」在水中漂移距離最長為 67.54cm，且能穩定的漂移。

表 14-1：「雙環潛艇」漂移距離最長、漂移情形最穩定的最佳組合

部位名稱	管身狀態	墊片數	管身長	小/大環直徑	雙環寬度	小/大環環位	小/大環與管身的夾角	墊片位置
最佳條件	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中

### 四、雙環潛艇旋轉圈數的多寡與雙環角度、墊片位置以及雙環間夾角的「神奇密碼」有關係。


- (一) 子題十實驗中得知當潛艇紅環/黑環角度與管身呈現「

表 14-2：「雙環潛艇」旋轉時間最長、旋轉情形最穩定的最佳組合

部位名稱	管身狀態	墊片數	管身長	小/大環直徑	雙環寬度	小/大環環位	小/大環與管身的夾角	小/大環間的夾角	墊片位置
最佳條件	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/上	45 度/135 度	90 度	後

(三) 子題十實驗中，經由分析後發現一系列的「神奇密碼」：旋轉圈數前 11 名其小環/大環角度延伸之夾角，不外乎是 90 度、75 度、60 度。詳細的說就是當小環呈 30 度、45 度、60 度、75 度時，其與大環的夾角為 90 度、75 度、60 度時，「雙環潛艇」能有較多的旋轉圈數如表 14-3。

表 14-3：旋轉圈數前 11 名其小環/大環角度及延伸之夾角一覽表

旋轉圈數名次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
小環角度 (度)	45	45	30	45	30	60	60	60	75	75	75
大環角度 (度)	135	105	120	120	105	150	120	135	165	135	150
小/大環間的夾角 (度)	90	60	90	75	75	90	60	75	90	60	75

- ❖小環角度為 30 度、45 度、60 度、75 度時，大環角度分別為 120 度、135 度、150 度、165 度時，小環與大環夾角都是 90 度，旋轉圈數都是位居該小環角度的第 1 名；
- ❖小環角度為 45 度、60 度、75 度時，大環角度分別為 105 度、120 度、135 度時，其小環與大環夾角都是 60 度，旋轉圈數都是位居該小環角度的第 2 名；
- ❖小環角度為 30 度、45 度、60 度、75 度時，大環角度分別為 105 度、120 度、135 度、150 度時，小環與大環夾角都是 75 度，旋轉圈數都是位居該小環角度的第 3 名。

五、不同組合的雙環潛艇其漂移路徑大致可分為「翹翹板型」、「螺旋型」、「>型」、「|型」、「/型」等五大類。

子題三~十一中，可將實驗裡不同變因下的雙環潛艇其漂移路徑大致分為五類型：「翹翹板型」、「螺旋型」、「>型」、「|型」、「/型」，符合每一類型路徑的潛艇組合將以表格呈現，**紅色粗體字**是特別呈現該實驗子題中的操縱變因。

- (一)「翹翹板型」：雙環潛艇落入水面，會先朝大環傾斜，再朝小環傾斜，再朝大環傾斜，再朝小環傾斜.....，邊搖擺邊降落。與此路徑相符的雙環潛艇組合如表 14-4。

表 14-4：「翹翹板型」漂移路徑之雙環潛艇組合方式一覽表

編號	管身狀態	墊片數	管身長度	小/大環直徑	雙環寬度	小/大環環位	小/大環與管身的夾角	墊片位置
1	封水	5 個	<b>3cm</b>	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中
2	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	<b>2.5cm</b>	上/上	90 度/90 度	中

- (二)「>型」：此類型漂移路徑又可細分二種：

- 1.「/型」---雙環潛艇的小環沒入水中而大環未沒入水中時，會往大環方向傾斜移動數公分，待大環完全沒入水中後，便往小環方向傾斜降落至箱底。與此路徑相符的雙環潛艇組合如表 14-5。

表 14-5：「/型」漂移路徑之雙環潛艇組合方式一覽表

編號	管身狀態	墊片數	管身長度	小/大環直徑	雙環寬度	小/大環環位	小/大環與管身的夾角	墊片位置
1	<b>封空氣</b>	<b>3 個</b>	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中
2	<b>封空氣</b>	<b>4 個</b>	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中
3	<b>封水</b>	<b>1 個</b>	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中
4	<b>封水</b>	<b>2 個</b>	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中
5	封水	5 個	<b>5cm</b>	3cm/4.5cm	1cm	上/上	90 度/90 度	中
6	封水	5 個	7cm	<b>4cm/6cm</b>	1cm	上/上	90 度/90 度	中
7	封水	5 個	7cm	<b>5cm/7.5cm</b>	1cm	上/上	90 度/90 度	中
8	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	<b>0.5cm</b>	上/上	90 度/90 度	中
9	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	1cm	<b>右/左</b>	90 度/90 度	中
10	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	1cm	<b>左/右</b>	90 度/90 度	中





2. 「」型---雙環潛艇落入水面後，潛艇會先朝大環方向傾斜漂落，再朝小環方向傾斜漂落至箱底，與此路徑相符的雙環潛艇皆在環位實驗中出現。與此路徑相符的雙環潛艇組合如表 14-6。


表 14-6：「」漂移路徑之雙環潛艇組合方式一覽表

編號	管身狀態	墊片數	管身長	小/大環直徑	雙環寬度	小/大環環位	小/大環與管身的夾角	墊片位置
1	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	1cm	下/上	90 度/90 度	中
2	封水	5 個	7cm	3cm/4.5cm	1cm	上/下	90 度/90 度	中

- (三)「螺旋型」：雙環潛艇呈螺旋狀降落。當雙環潛艇的小環不與管身呈 0 度且兩環角度不相同（紅/黑環不能呈 90/90 度、45/45 度...）時大多與此路徑相符。
- (四)「|型」：雙環潛艇落入水中後，不向任一方傾斜，幾乎以鉛直的方向降落至箱底。與此路徑相符的雙環潛艇組合如表 14-7。

表 14-7：「|型」漂移路徑之雙環潛艇組合方式一覽表


編號	管身狀態	墊片數	管身長	小/大環直徑	雙環寬度	小/大環環位	小/大環與管身的夾角	墊片位置
1	封水	5 個	7cm	3cm/3m	1cm	上/上	90 度/90 度	中

- (五)「型」：雙環潛艇直接落入水中後，便往小環方向傾斜漂移降落至箱底。除了前述四種類型的組合外，大多屬第五類型。

#### 六、研發雙環潛艇降落器以減少人為因素所造成的實驗誤差。

子題一中，在多次試驗下才成功研發出第二代雙環潛艇降落器，先利用磁力原理吸住雙環潛艇上的墊片，再利用一活動木條上的二鐵片隔絕強力磁鐵的磁力，讓雙環潛艇降落。第二代雙環潛艇降落器相當穩定，使用時不會晃動到雙環潛艇，且用鐵片阻隔強力磁鐵的磁力後，「雙環潛艇」會馬上掉落下來，效果極好。

#### 七、改變雙環潛艇的傳統結構使其有更長的漂移距離及漂移時間。

以傳統型雙環潛艇為基礎，研發 7 種能延長在水中漂移距離及時間的潛艇，分別為「基礎蝴蝶型」、「半圓蝴蝶型雙環潛艇」、「字型」、「雪橇型」、「非對稱蝴蝶型」、「凸眼型」、「鳳眼蝴蝶型」，與原先的「傳統型雙環潛艇」比較，發現其中「凸眼型潛艇」平均漂移距離為 82cm，最終觸碰壁面高度最高為 4.6cm；「鳳眼蝴蝶型潛艇」平均漂移時間最長為 7.23 秒，分別比傳統型潛艇至少延長漂移距離 14.46cm，至少延長漂移時間 4.12 秒，是一個令我們相當興奮的發明。

## 陸、參考資料

- 一、Jearl Walker 原著（1997）。物理學飛行馬戲。凡異出版社。
- 二、許良榮主編（2010）。玩出創意：120 個創新科學遊戲。書泉出版社。
- 三、陳建羽主編（2002）。發明原理活學活用。台灣實業文化。
- 四、<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/080103.pdf>
- 五、<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0308/030808.pdf>

## 【評語】 080109

1. 以自製的釋放裝置，探究各種大小、方位的雙環翼船落水之後，漂移的距離。變化的變因有質量、重心、雙環的位置、半徑、寬度等。實驗過程詳細記錄了雙環翼船的漂移距離。數據詳細，可再進一步歸納落水之後的初始狀態與漂移方式的關聯。
2. 前後環的變因與測距離之間的關係可以再深入探討，則將會更佳。