

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

佳作

080120

「錐」根究柢

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 潘柏君 小六 陳雅婕 小六 楊皓雲	指導老師： 李偲華 游時銘
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：圓錐型潛艇、沉降、翻轉力道量測儀

摘要

我們研發「液壓手臂降落器」進行「圓錐型潛艇」的沉降實驗，發現潛艇以『頂點朝下』或『頂點朝上』的方式沉降至水底的姿態大不相同。本研究則讓潛艇以『頂點朝上』方式落下，它在水中會先 180 度翻轉後，再左右搖擺下潛至箱底，沉降路線猶如一個「？」-大問號，引發我們想對「問號」裡所隱藏的科學奧秘追根究柢！

研究中發現「圓錐型潛艇」的高度、斜邊長、口徑、重量、對稱性，都會影響其在水中的沉降現象，我們還利用潛艇頂點「朝上/朝下」而「有/無」翻轉現象的特點設計一款【翻轉力道量測儀】，而各式潛艇所量測出的翻轉力道竟與其在水中的翻轉距離有高度相關！最後在圓錐型潛艇上裁剪出 V 型、扇葉等變化，讓潛艇可在下潛過程中邊旋轉邊沉降！

壹、研究動機

有一陣子，校園裡吹起了玩陀螺的風潮，各式各樣的陀螺都出籠了，還有一種是可以讓人坐在裡頭邊玩邊練習平衡感的「漏斗型」搖滾陀螺(如圖 1-1)！我突發奇想：如果將這「漏斗型」陀螺從「陸地上」移至「水中」，又會呈現怎樣的運動樣貌呢？將我的想法與同學分享後，他們也同感興趣，決定一起攜手設計實驗，共同探究「水中陀螺」在水裡的各種姿態！



▲圖 1-1：市面上販賣的「漏斗型」搖滾陀螺。(照片取自網路)

貳、研究目的

- 一、觀察「圓錐型潛艇」在水中沉降的各種現象。
- 二、探究影響「圓錐型潛艇」在水中沉降現象的各種因素。
- 三、自創儀器量測「圓錐型潛艇」在水中的翻轉力道。

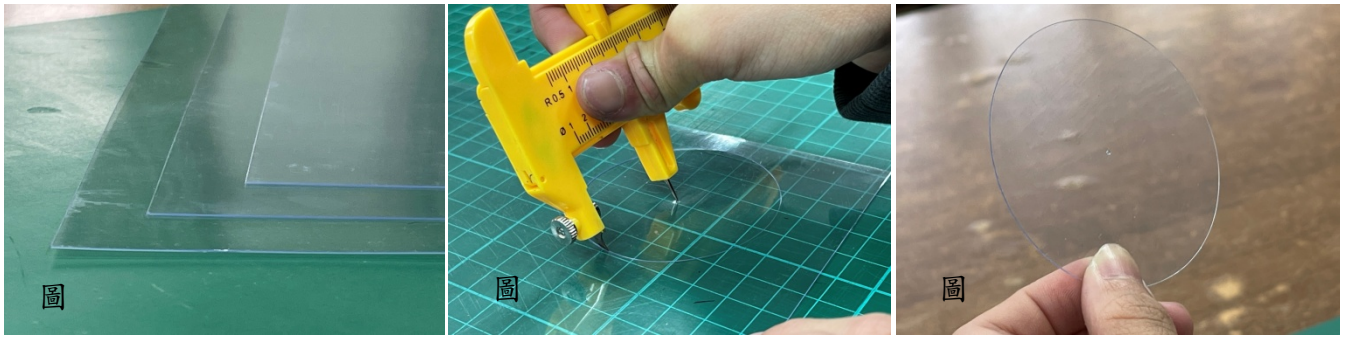
參、研究設備及器材

- 一、工具：長 90cm×寬 45cm×高 45cm 水族箱、圓規刀、攝影機、相機、切割墊、打洞器、熱熔膠槍、紙鎮、圓規、直尺、砝碼、滑輪、電子秤、量角器、剪刀。
- 二、材料：透明塑膠片、布尺、油性筆、透明膠帶、塑膠針筒、木條、巧拼地墊、塑膠瓦楞板、窗簾桿、螺絲、螺帽、塑膠軟管、熱熔膠條、鐵絲、保麗龍球、棉線、長尾夾、氣球桿座。
- 三、軟體：威力導演、tracker 軟體。

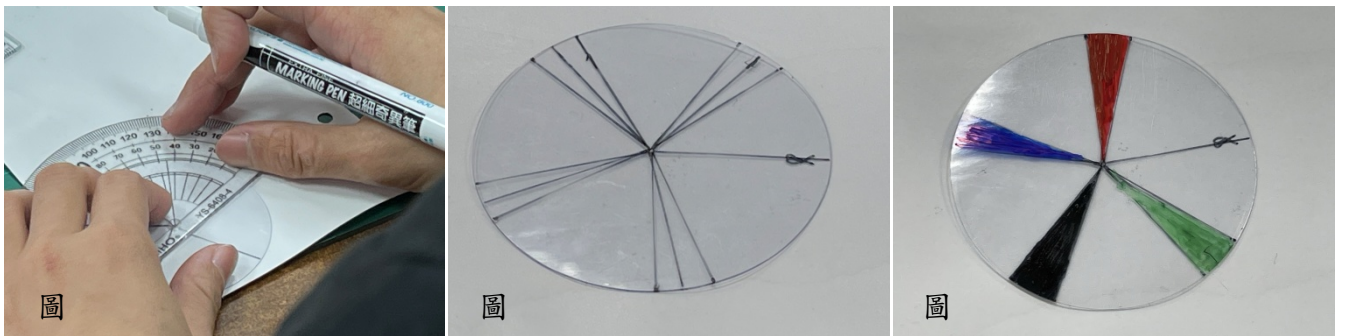
肆、研究過程及結果

實驗一：圓錐型潛艇、降落器、實驗環境的設計

(一)「圓錐型潛艇」的設計(如圖 1-2~1-13)及各部位名稱(如圖 1-14)。



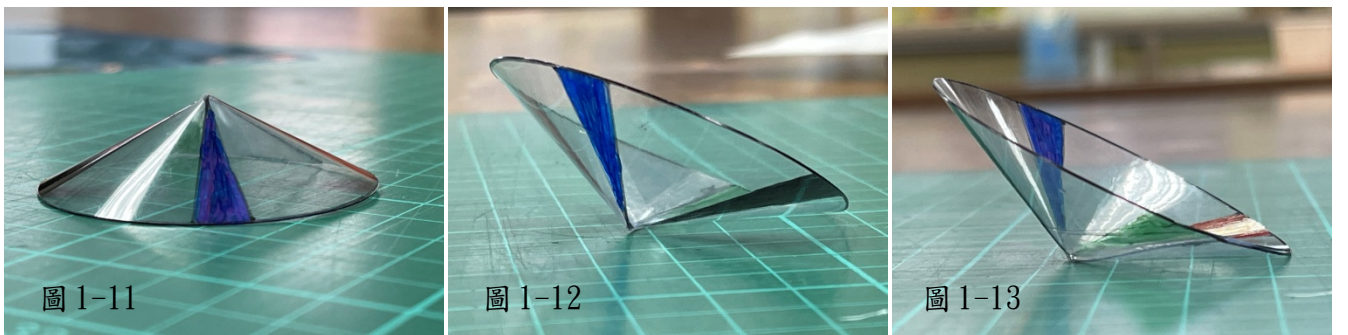
▲1-2~圖 1-4：採用厚 0.3mm 塑膠透明片，以圓規刀輔助裁切出完美塑膠圓片。



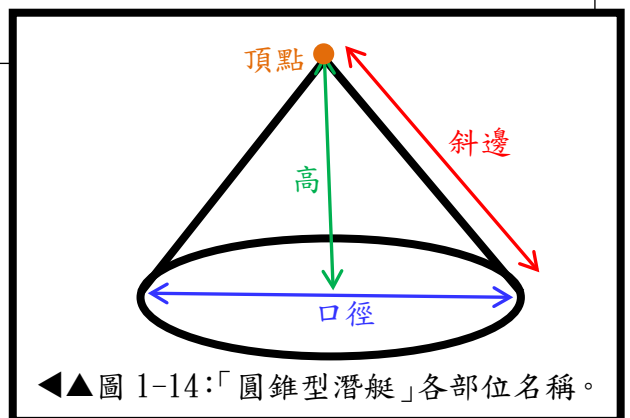
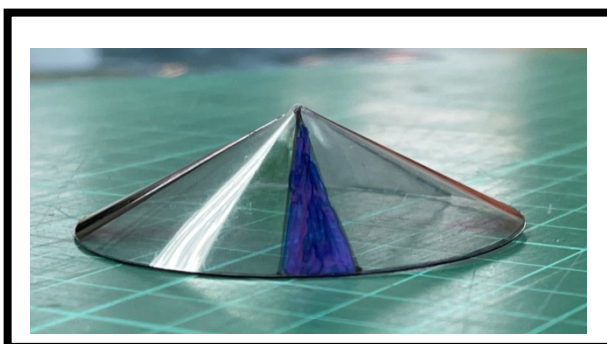
▲圖 1-5~圖 1-7：依實驗中「圓錐型潛艇」要件，計算圓片重疊黏貼角度並註記；因塑膠圓片透明無色，為方便判讀實驗影片各式數值，將扣除黏貼角度後的扇形分成四等分，在等分線塗上「黑色」、「藍色」、「紅色」、「綠色」等扇形記號。



▲圖 1-8~圖 1-10：將圓片以透明膠帶黏製成漏斗狀，在口徑周圍塗上黑色線條以便於辨識。



▲圖 1-11~圖 1-13：「圓錐型潛艇」各角度的樣貌！



◀▲圖 1-14：「圓錐型潛艇」各部位名稱。

(二)降落器設計

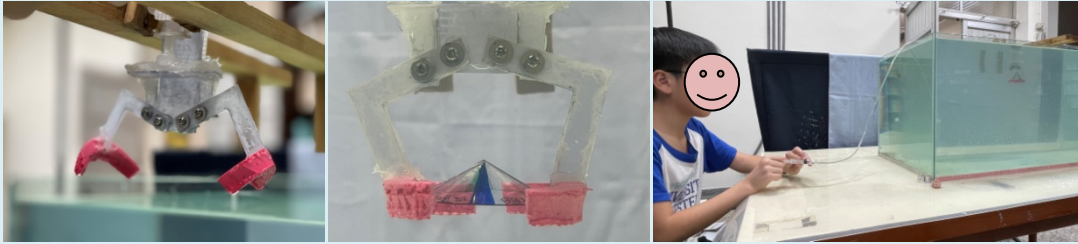
本研究主要探究「圓錐型潛艇」在水中的沉降現象，為減少因人為操作潛艇落入水中而產生的實驗誤差，我們經由多次設計、測試、修正、改良，「降落器」操作方式的演變大致可分成三代，經分析其優缺點(如表 1-1)，最後決定使用第三代的「液壓手臂降落器」進行正式實驗。

表 1-1：三種「降落器」的操作方式及其優缺點分析一覽表

代數	第一代	第二代	第三代
名稱	自然重力降落器	卡榫開闔式降落器	液壓手臂降落器
照片			
操作方式	將細棉線一端穿過「圓錐型潛艇」頂點，用砝碼壓住棉線另一端，移開砝碼，使「圓錐型潛艇」因重力而在水中沉降。	使用窗簾軌道、木條、塑膠瓦楞板製成的降落器，將「圓錐型潛艇」置於塑膠瓦楞板的卡榫平台上，拉動兩端拉繩，卡榫平台便會開啟，使「圓錐型潛艇」在水中沉降。	用塑膠瓦楞板和針筒自製成液壓機械手臂，操作液壓裝置控制機械手臂的開闔，使「圓錐型潛艇」在水中沉降。
優點	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 材料取得容易。 ✓ 製作簡易。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 製作簡易。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 堅固耐用，不易損壞。 ✓ 機械手臂的兩爪夾可穩穩地夾住潛艇的口徑處。 ✓ 機械手臂的兩爪夾可同步開啟，潛艇每次實驗初始的沉降狀態很固定，大大提高實驗穩定性。
缺點	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 因棉線一端須穿過潛艇，會使頂點處遭到破壞。 ✗ 棉線常因掉落時懸掛於水箱邊緣，導致潛艇無法順利落至水箱底部。 ✗ 棉線會隨著「圓錐型潛艇」落入水中，在水中漂動，影響實驗結果的準確性。 ✗ 懸吊於棉線下方的「圓錐型潛艇」易晃動，導致每次實驗初始的沉降狀態不固定，影響實驗穩定性。 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 置放於卡榫平台上的潛艇容易在正式實驗前隨著水流漂走。 ✗ 不易同步拉動兩端拉繩，導致潛艇每次實驗初始的沉降狀態不固定，影響實驗穩定性。 ✗ 在水中的卡榫平台容易隨著水流晃動。 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 設計及組裝較為費時。

(三)實驗環境布置(如圖 1-15)

1. 將第三代「液壓手臂降落器」架設在長 90cm×寬 45cm×高 45cm 水族箱上，使「圓錐型潛艇」在水中沉降(如圖 1-16~1-18)。
2. 水族箱右方及下方各黏貼一布尺，以便進行「圓錐型潛艇」沉降時各式距離之量測(如圖 1-19)。
3. 水族箱角落架設「水流穩定檢測器」(如圖 1-20)，待檢測器上棉線與保麗龍球與箱底呈「垂直」狀態不再漂動後，表示水靜止了，才可進行實驗。
4. 為了保持水質的乾淨以及維持實驗的流暢度，我們用鐵絲自製撈起潛艇的杓子(如圖 1-21)。
5. 在水族箱前方約 1.5m 處以水平視角架設一台攝影機，將所錄製的實驗影片以 tracker 軟體判讀「圓錐型潛艇」沉降過程中的各種變化。



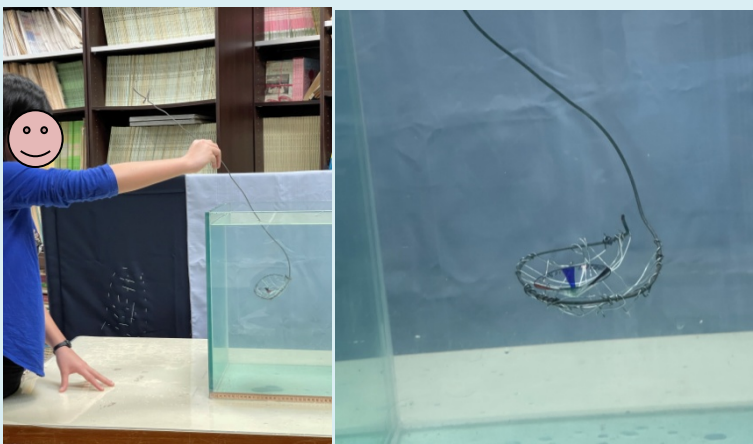
▲圖 1-16~圖 1-18：將「液壓手臂降落器」架設在水族箱上，由同學操作塑膠針筒使機械手臂進行開闔的動作。



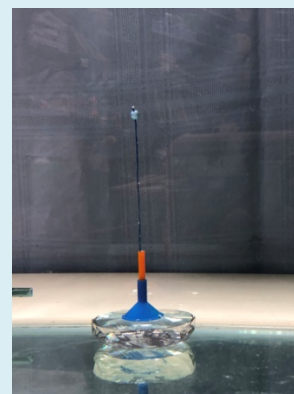
▲圖 1-15：實驗環境全貌。



▲圖 1-19：在水族箱右方、下方各黏貼一布尺



▲圖 1-21：為了保持水質的乾淨以及維持實驗的流暢度，我們用鐵絲自製撈起潛艇的杓子。



◀圖 1-20：水族箱角落架設「水流穩定檢測器」

實驗二：觀察「圓錐型潛艇」在水中的沉降現象並定義所量測數值之意涵。

(一)實驗方法

1. 製作一斜邊 3cm、高 1.5cm、口徑 5.5cm 的「圓錐型潛艇」，分別以『頂點朝下』及『頂點朝上』的放置方式利用「液壓手臂降落器」使其在水中沉降。
2. 實驗各重複 5 次，以攝影機錄下「圓錐型潛艇」降落至箱底的過程，以 tracker 軟體慢速播放以觀察其在水中的沉降現象。

(二)實驗發現

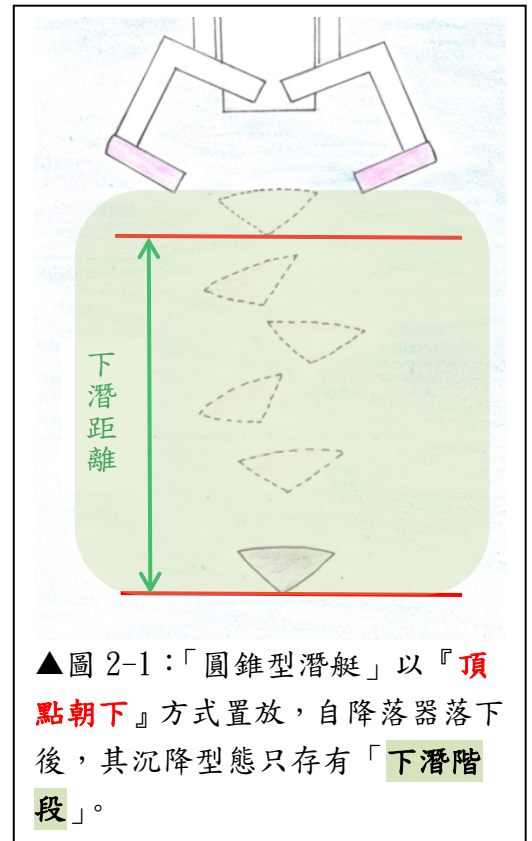
1. 若將「圓錐型潛艇」以『頂點朝下』方式置放，自降落器落下，只會下潛至水箱底部。(圖 2-1)
2. 若將「圓錐型潛艇」以『頂點朝上』方式置放，自降落器落下，會一邊沉降，一邊進行 180 度垂直翻轉，再緩慢左右搖擺下潛至箱底，行徑路線猶如一個「？」-大問號(圖 2-2)，非常有趣！本研究將使「圓錐型潛艇」以『頂點朝上』方式，自降落器落下，探究若改變「圓錐型潛艇」的斜邊長、高度、口徑大小、重量、對稱與否將如何影響其沉降現象，對「問號」裡所隱藏的奧秘追根究柢！
3. 為進行分析，將潛艇在水中沉降現象依據其沉降樣貌可分為「垂直翻轉階段」及「下潛階段」，在實驗中測量及計算以下數值，說明如下：

(1)垂直翻轉階段

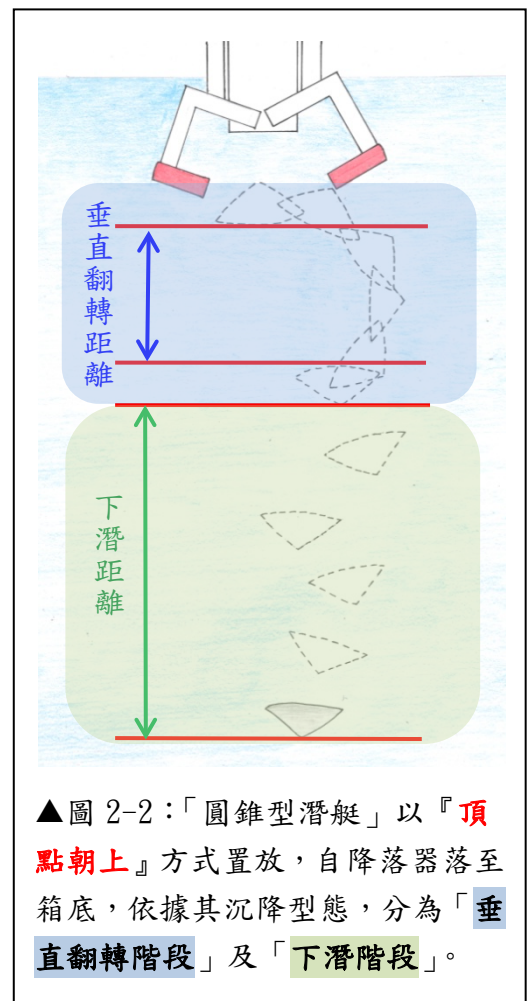
- ① **垂直翻轉距離**：「圓錐型潛艇」自機械手臂中落下至完成垂直翻轉，所量測到的直線翻轉距離。(如圖 2-2)
- ② **垂直翻轉時間**：「圓錐型潛艇」自機械手臂中落下至完成垂直翻轉的所需時間。
- ③ **垂直翻轉速率**：「垂直翻轉距離」÷「垂直翻轉時間」所得之數值。
- ④ **翻轉水平位移**：「圓錐型潛艇」自機械手臂中落下至完成垂直翻轉，所產生的水平位移。以施放點為原點，若向右平移，數值為正值；若向左平移，數值為負值(如圖 2-3)。

(2)下潛階段

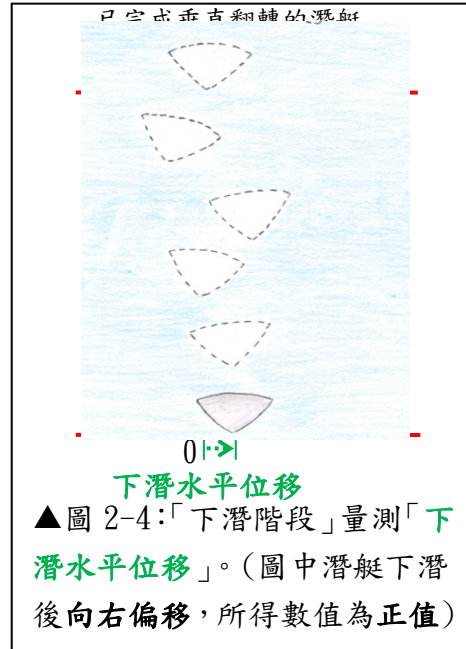
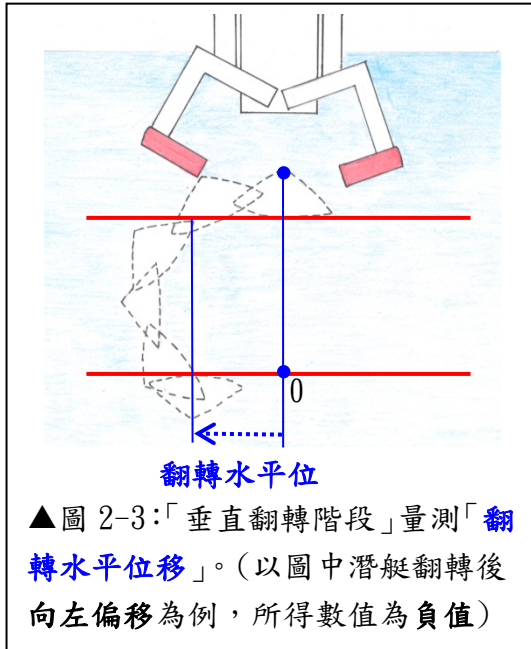
- ① **下潛距離**：「圓錐型潛艇」自翻轉後沉降到水箱底部，所量測到的直線沉降距離。(如圖 2-2)
- ② **下潛時間**：「圓錐型潛艇」自翻轉後沉降到水箱底部的所需時間。
- ③ **下潛速率**：「下潛距離」÷「下潛時間」所得之數值。
- ④ **下潛水平位移**：「圓錐型潛艇」自翻轉後沉降到水箱底，所產生的水平位移。以翻轉後的「潛艇頂點」為原點，若向右平移，數值為正值；若向左平移，數值為負值(如圖 2-4)。



▲圖 2-1：「圓錐型潛艇」以『頂點朝下』方式置放，自降落器落下後，其沉降型態只存有「下潛階段」。



▲圖 2-2：「圓錐型潛艇」以『頂點朝上』方式置放，自降落器落至箱底，依據其沉降型態，分為「垂直翻轉階段」及「下潛階段」。



實驗三:「圓錐型潛艇」的斜邊長相同,高度/口徑不同時,將如何影響其在水中的沉降現象?

(一)實驗方法

1. 固定「圓錐型潛艇」的斜邊長為 3cm, 依序改變其高度為 0.5cm、1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm(如圖 3-1), 並量測其不同高度潛艇之重量及口徑大小(表 3-1)。

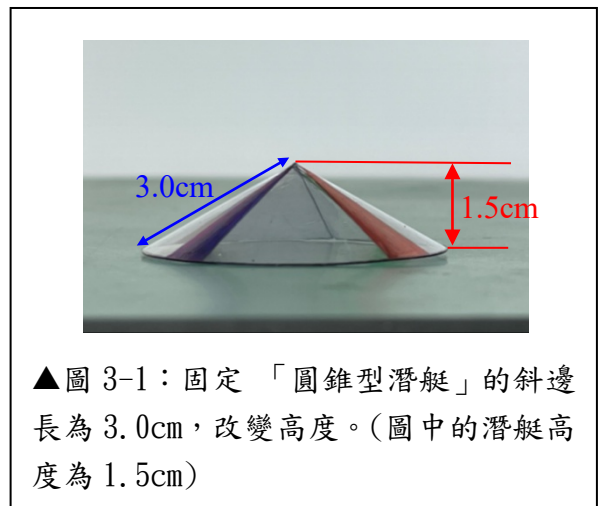






表 3-1: 編號 A-E 潛艇其重量、斜邊長、高度、口徑之一覽表

編號	A	B	C	D	E
照片					
重量(g)	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
斜邊長(cm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
高度(cm)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
口徑(cm)	5.9	5.7	5.5	4.6	3.4

2. 利用「液壓手臂降落器」使其在水中沉降。以攝影機錄下「圓錐型潛艇」降落至水底的完整過程, 再以 tracker 軟體量測並計算其在水中的垂直翻轉距離/時間/速率/水平位移, 以及下潛距離/時間/速率/水平位移。
3. 每種不同高度的「圓錐型潛艇」各重複實驗 5 次, 求出各數值之平均值。

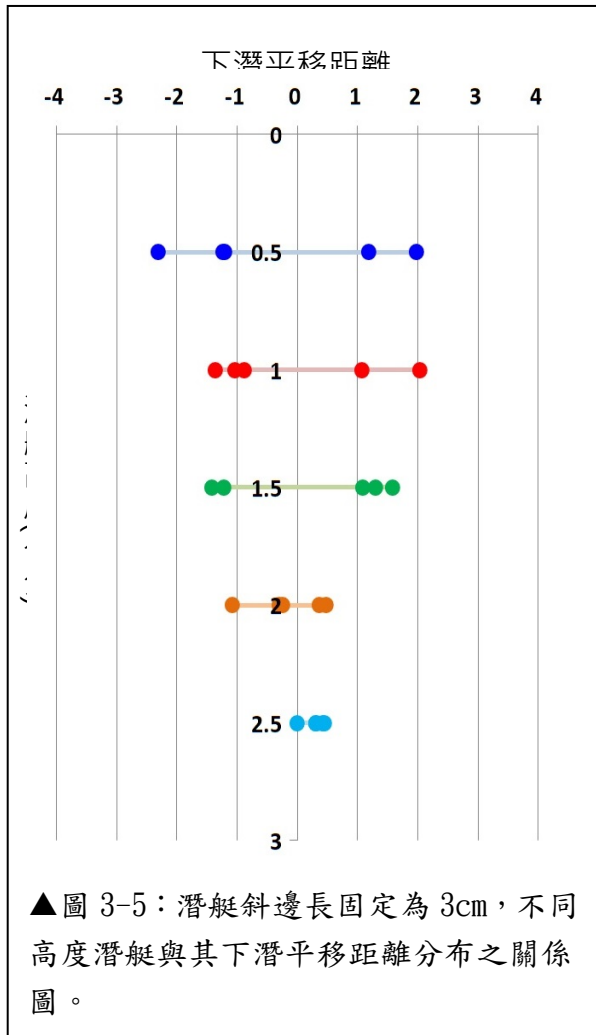
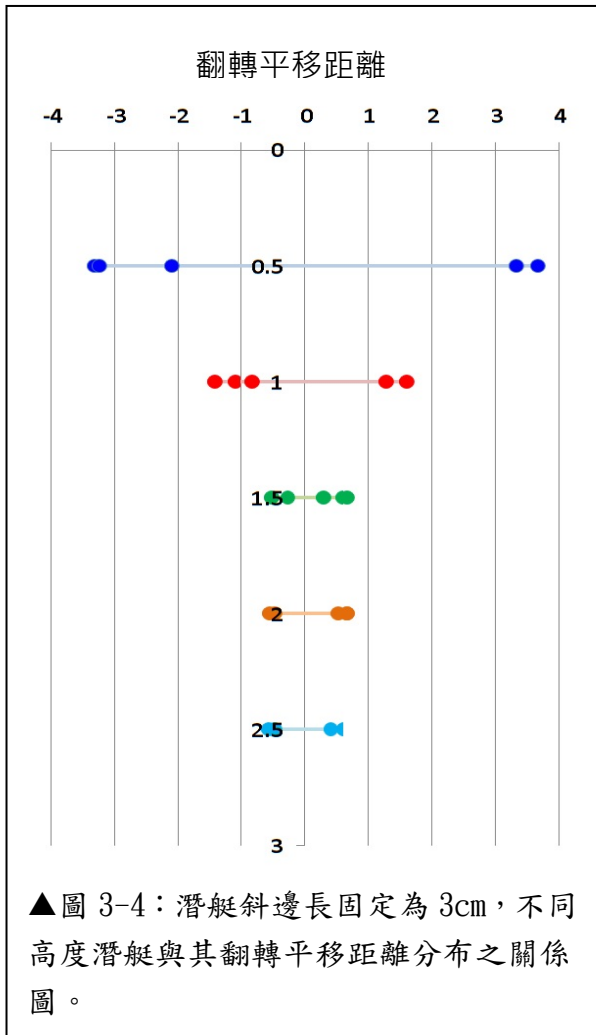
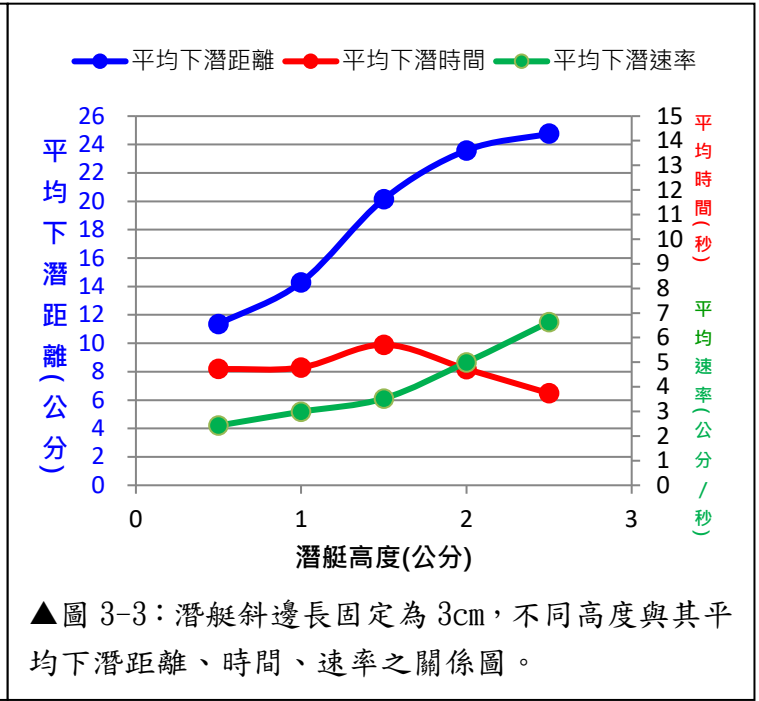
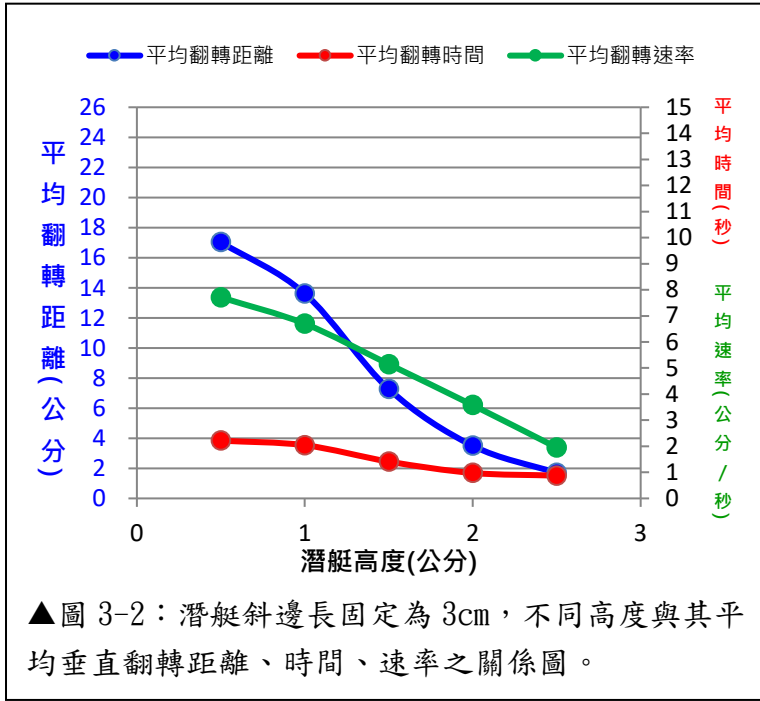
(二)實驗結果

表 3-2：編號 A-E 潛艇(斜邊長固定，不同高度)其垂直翻轉及下潛之距離/時間/速率/水平位移一覽表

潛艇編號	潛艇照片/高度	實驗次數	垂直翻轉				下潛			
			距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)	距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)
A	 潛艇高 0.5cm	1	16.13	2.15	7.50	-2.10	10.67	5.04	2.12	-1.23
		2	16.71	2.00	8.35	-3.31	12.00	5.14	2.34	1.18
		3	16.43	2.14	7.69	3.33	12.43	4.17	2.98	1.97
		4	18.25	2.32	7.87	3.67	10.54	4.90	2.15	-2.31
		5	17.63	2.47	7.14	-3.24	11.16	4.37	2.55	-1.21
		平均	17.03	2.22	7.71	-3.31~3.67	11.36	4.72	2.43	-2.31~1.97
B	 潛艇高 1.0cm	1	14.53	2.07	7.02	-0.84	12.92	4.40	2.93	-0.89
		2	13.05	2.07	6.31	1.59	14.97	5.17	2.89	-1.04
		3	13.12	2.19	5.99	1.28	15.84	4.97	3.19	-1.36
		4	13.03	1.80	7.24	-1.10	14.65	5.14	2.85	1.06
		5	14.34	2.07	6.93	-1.42	13.11	4.25	3.08	2.03
		平均	13.61	2.04	6.70	-1.42~1.59	14.30	4.79	2.99	-1.36~2.03
C	 潛艇高 1.5cm	1	7.79	1.50	5.19	0.59	19.36	5.51	3.52	1.30
		2	6.64	1.32	5.03	0.66	21.42	5.87	3.65	1.09
		3	7.35	1.46	5.03	-0.26	19.81	5.77	3.43	1.58
		4	7.52	1.40	5.37	0.28	19.99	5.67	3.52	-1.42
		5	7.04	1.38	5.10	-0.53	20.19	5.74	3.52	-1.22
		平均	7.27	1.41	5.15	-0.53~0.66	20.15	5.71	3.53	-1.42~1.58
D	 潛艇高 2.0cm	1	3.42	0.98	3.49	0.53	23.20	4.77	4.86	0.37
		2	3.98	1.00	3.97	0.66	23.51	4.67	5.03	-1.08
		3	3.05	0.92	3.32	-0.48	23.39	4.47	5.23	-0.24
		4	3.75	1.02	3.67	0.66	23.96	4.90	4.88	0.48
		5	3.28	0.96	3.42	-0.56	23.88	4.80	4.97	-0.31
		平均	3.50	0.98	3.58	-0.56~0.66	23.59	4.72	4.99	-1.08~0.48
E	 潛艇高 2.5cm	1	1.46	0.95	1.54	0.61	24.57	3.84	6.40	0.42
		2	1.80	0.90	2.00	0.61	25.06	3.87	6.48	0.45
		3	1.76	0.91	1.94	-0.57	25.41	3.77	6.74	0.31
		4	1.80	0.81	2.24	-0.48	25.07	3.74	6.71	0.00
		5	1.63	0.81	2.02	0.42	23.69	3.47	6.83	0.31
		平均	1.69	0.87	1.93	-0.57~0.61	24.76	3.74	6.63	0.00~0.45

(三)實驗發現

將表 3-2 繪製成圖 3-2~3-5 後，發現



1. 在製作潛艇時可以發現，固定斜邊長時，潛艇高度越小，口徑會越大。

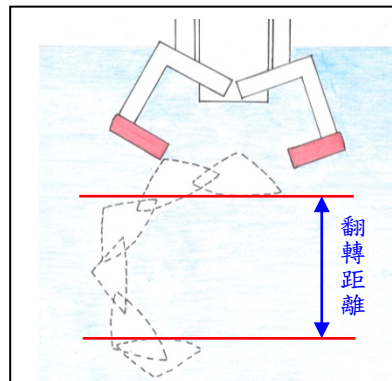
2. 在「垂直翻轉」階段

(1) 潛艇高度越小(口徑越大)，完成180度垂直翻轉所需距離顯著增大(如圖 3-6~3-7)。

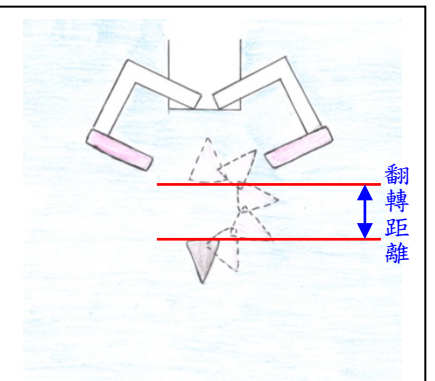
(2) 潛艇高度越大(口徑越小)，完成180度垂直翻轉所需時間略減。

(3) 潛艇高度越大(口徑越小)，完成180度垂直翻轉速率顯著越慢。

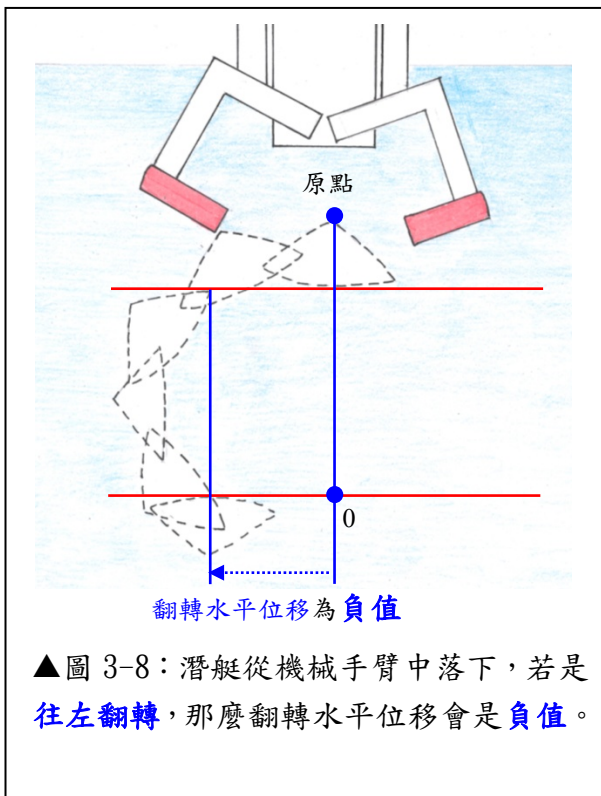
(4) 潛艇從機械手臂中落下，往右或往左翻轉是隨機的。若是往右翻轉，那麼翻轉水平位移會是正值；若是往左翻轉，那麼翻轉水平位移會是負值。(如圖 3-8~3-9)



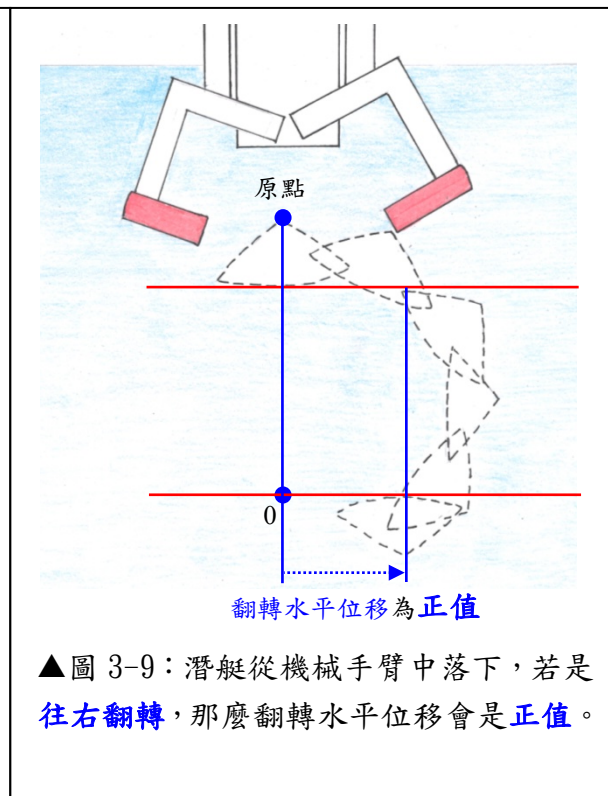
▲圖 3-6：潛艇高度越小(口徑越大)，垂直翻轉所需距離越大，水平位移也越大。(以潛艇高度 0.5cm 為例)



▲圖 3-7：潛艇高度越大(口徑越小)，垂直翻轉所需距離越小，水平位移也越小。(以潛艇高度 2.5cm 為例)



▲圖 3-8：潛艇從機械手臂中落下，若是往左翻轉，那麼翻轉水平位移會是負值。



▲圖 3-9：潛艇從機械手臂中落下，若是往右翻轉，那麼翻轉水平位移會是正值。

(5) 潛艇高度越小(口徑越大)，垂直翻轉後的水平位移差異越大。如潛艇高度 0.5 公分時，垂直翻轉後的水平位移分布範圍最大，介於-3.31cm~3.67cm。

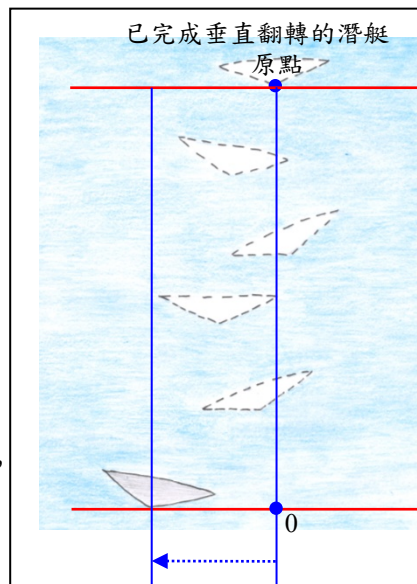
(6) 潛艇高度越大(口徑越小)，垂直翻轉後的水平位移差異越小：

① 如潛艇高度 2.5 公分時，垂直翻轉後水平位移分布範圍最小，介於-0.57cm~0.61cm。

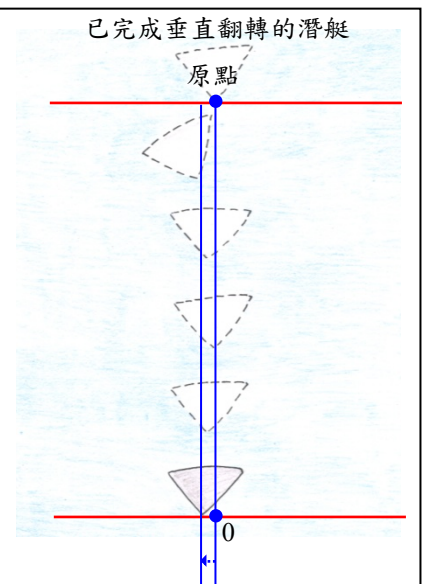
② 潛艇高度 1.5cm、2.0cm、2.5cm 時的垂直翻轉後水平位移分布範圍相當接近。

3. 在「下潛」階段

- (1) 因水箱高度固定，潛艇垂直翻轉距離越大，其下潛空間就越小。
- (2) 潛艇高度越大(口徑越小)，下潛速率顯著增大。
- (3) 潛艇高度越小(口徑越大)，下潛至水箱底的水平位移差異越大。如潛艇高度 0.5 公分時，下潛水平位移分布範圍最大，介於 -2.31~1.97cm，這是因潛艇下潛時，會左右擺動的關係(如圖 3-10)。
- (4) 潛艇高度越大(口徑越小)，下潛至水箱底的水平位移不僅差異越小，且最接近原點。如潛艇高度 2.5 公分時，下潛水平位移分布範圍最小，介於 0.00~0.45cm，這是因潛艇下潛時，幾乎呈鉛直落下的關係(如圖 3-11)。



▲圖 3-10：潛艇高度越小，垂直翻轉後的下潛階段，會一邊左右擺動，一邊落下，因此下潛速率慢，水平位移大。(以高度 0.5cm 為例)

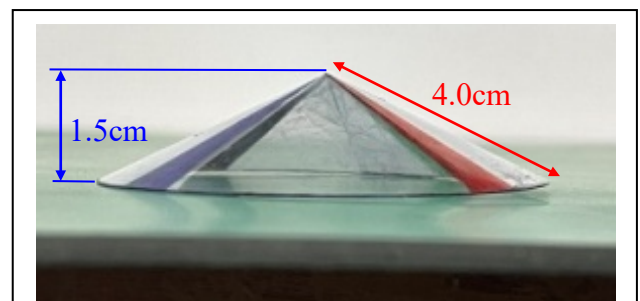


▲圖 3-11：潛艇高度越大，垂直翻轉後的下潛階段，會直直地落下，因此下潛速率快，水平位移小。(以高度 2.5cm 為例)

實驗四：「圓錐型潛艇」的高度相同，斜邊長/口徑不同時，將如何影響其在水中的沉降現象？

(一) 實驗方法

1. 固定「圓錐型潛艇」的高度為 1.5cm，依序改變其斜邊長為 2.0cm、2.5cm、3.0cm、3.5cm、4.0cm(如圖 4-1)，並量測其不同斜邊長潛艇之重量及口徑大小(如表 4-1)。



▲圖 4-1：固定「圓錐型潛艇」的高度為 1.5cm，改變斜邊長度。(圖中的潛艇斜邊長為 4.0cm)



表 4-1：編號 A-E 潛艇其高度、斜邊長、口徑、重量之一覽表

編號	A	B	C	D	E
照片					
高度(cm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
斜邊長(cm)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
口徑(cm)	3.0	4.0	5.5	6.6	7.6
重量(g)	0.85	0.94	1.28	1.58	2.16

- 利用「液壓手臂降落器」使其在水中沉降。以攝影機錄下「圓錐型潛艇」降落至水中的完整過程，再以 tracker 軟體量測並計算其在水中的垂直翻轉距離/時間/速率/水平位移，以及下潛距離/時間/速率/水平位移。
- 每種不同斜邊長的「圓錐型潛艇」各重複實驗 5 次，求出各數值之平均值。

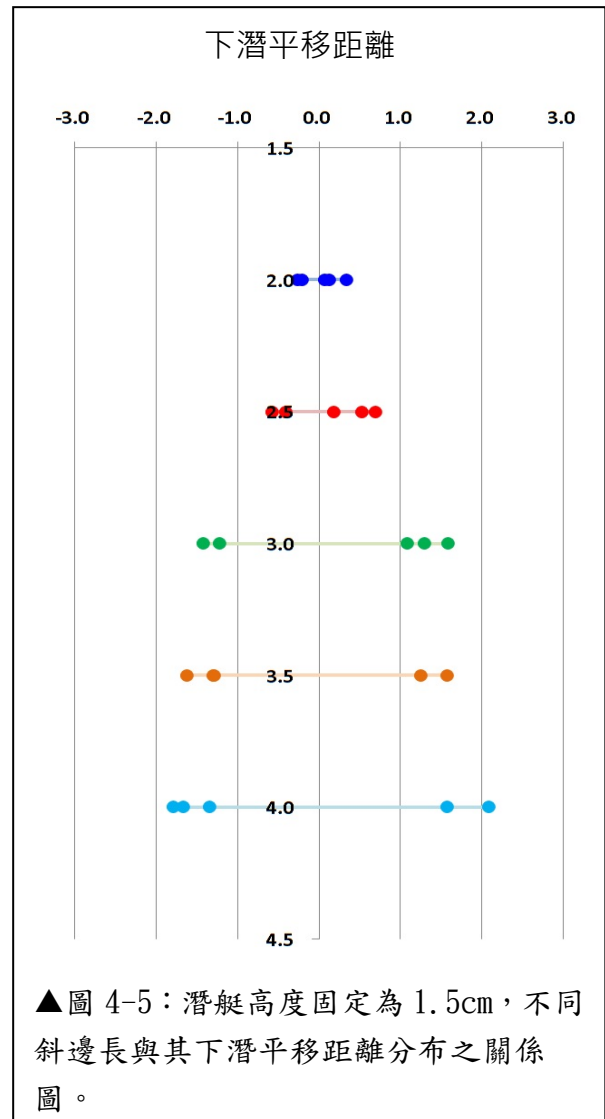
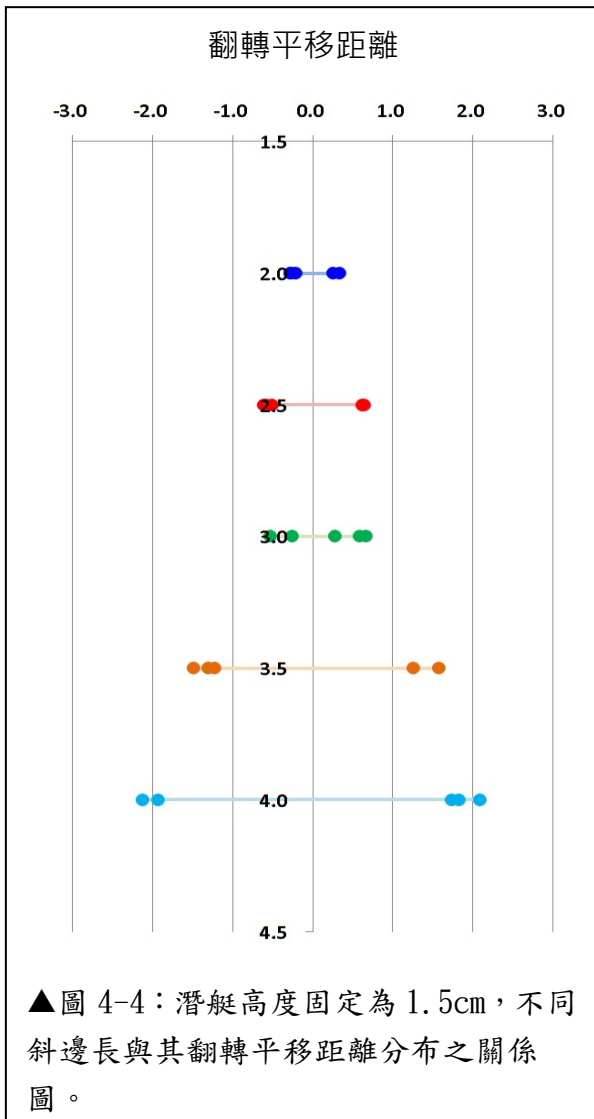
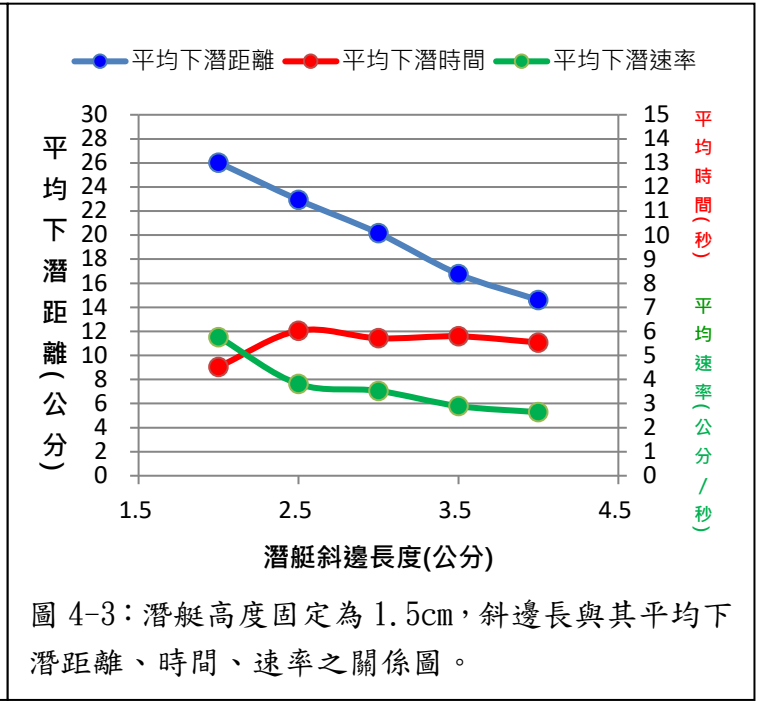
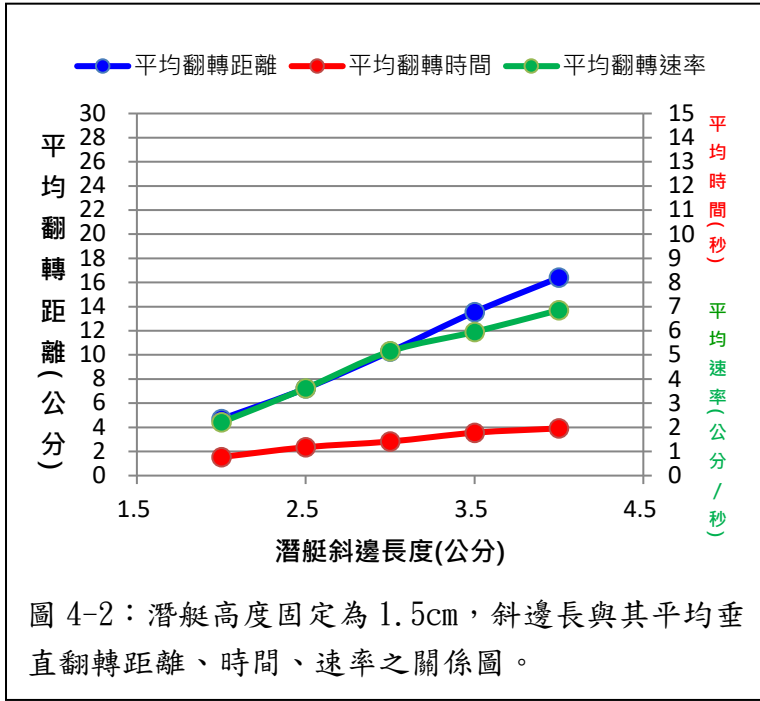
(二)實驗結果

表 4-2：編號 A-E 潛艇(高度固定，不同斜邊長)其垂直翻轉及下潛之距離/時間/速率/水平位移一覽表

潛艇編號	潛艇照片/ 斜邊長	實驗次數	垂直翻轉				下潛			
			距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)	距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)
A	 斜邊長 2.0cm 口徑 3.0cm	1	1.41	0.77	1.84	-0.27	25.64	4.53	5.66	-0.27
		2	1.80	0.80	2.25	-0.21	26.39	4.30	6.13	-0.21
		3	1.54	0.83	1.85	-0.28	26.03	4.34	6.00	0.07
		4	1.95	0.70	2.79	0.33	25.87	4.61	5.62	0.33
		5	1.70	0.73	2.31	0.25	26.21	4.85	5.40	0.13
		平均	1.68	0.77	2.21	-0.28~0.33	26.03	4.53	5.76	-0.27~0.33
B	 斜邊長 2.5cm 口徑 4.0cm	1	4.13	1.27	3.26	-0.57	23.50	5.91	3.98	-0.57
		2	3.99	1.17	3.42	0.62	22.82	5.97	3.82	0.70
		3	4.67	1.10	4.24	0.64	22.87	5.87	3.90	0.53
		4	4.06	1.07	3.80	-0.51	22.38	5.72	3.91	-0.41
		5	4.26	1.27	3.36	-0.61	23.06	6.67	3.46	0.18
		平均	4.22	1.17	3.61	-0.61~0.64	22.93	6.03	3.81	-0.57~0.70
C	 斜邊長 3.0cm 口徑 5.5cm	1	7.79	1.50	5.19	0.59	19.36	5.51	3.52	1.30
		2	6.64	1.32	5.03	0.66	21.42	5.87	3.65	1.09
		3	7.35	1.46	5.03	-0.26	19.81	5.77	3.43	1.58
		4	7.52	1.40	5.37	0.28	19.99	5.67	3.52	-1.42
		5	7.04	1.38	5.10	-0.53	20.19	5.74	3.52	-1.22
		平均	7.27	1.41	5.15	-0.53~0.66	20.15	5.71	3.53	-1.42~1.58
D	 斜邊長 3.5cm 口徑 6.6cm	1	9.72	1.77	5.50	-1.30	16.91	5.51	3.07	-1.30
		2	11.26	1.69	6.66	1.58	16.18	5.81	2.79	1.58
		3	11.99	1.78	6.73	1.25	15.24	5.84	2.61	-1.62
		4	10.17	1.81	5.62	-1.23	17.03	5.94	2.87	1.25
		5	9.62	1.83	5.25	-1.49	18.45	5.87	3.14	-1.29
		平均	10.55	1.78	5.95	-1.49~1.58	16.76	5.79	2.90	-1.62~1.58
E	 斜邊長 4.0cm 口徑 7.6cm	1	13.34	2.03	6.57	-2.12	15.40	5.57	2.76	-1.34
		2	14.59	2.07	7.05	-1.93	13.77	5.21	2.65	-1.79
		3	14.21	1.90	7.47	2.09	13.19	5.74	2.30	2.09
		4	12.55	1.94	6.48	1.74	15.09	5.31	2.84	1.57
		5	12.30	1.84	6.70	1.83	15.57	5.87	2.65	-1.66
		平均	13.40	1.95	6.85	-2.12~2.09	14.60	5.54	2.64	-1.79~2.09

(三)實驗發現

將表 4-2 繪製成圖 4-2~4-5 後，發現



1. 在製作潛艇時可以發現，固定高度時，斜邊長越大，口徑也會越大，整體重量略增。

2. 在「垂直翻轉」階段

- (1) 潛艇斜邊長度越大(口徑越大)，完成 180 度垂直翻轉所需距離顯著增大。
- (2) 潛艇斜邊長度越大(口徑越大)，完成 180 度垂直翻轉所需時間微幅上升。
- (3) 潛艇斜邊長度越大(口徑越大)，完成 180 度垂直翻轉的速率顯著越快。
- (4) 與子題四實驗發現相同，潛艇從機械手臂中落下，往右或往左翻轉是隨機的。若是往右翻轉，那麼翻轉水平位移會是正值；若是往左翻轉，那麼翻轉水平位移會是負值。
- (5) 潛艇斜邊長度越大(口徑越大)，垂直翻轉後的水平位移差異越大。如潛艇斜邊長度為 4.0 公分時，垂直翻轉後水平位移分布範圍最大，介於-2.12~2.09cm。
- (6) 潛艇斜邊長度越小(口徑越小)，垂直翻轉後的水平位移差異越小。如潛艇高度 2.0 公分時，垂直翻轉後水平位移分布範圍最小，介於-0.28~0.33cm。

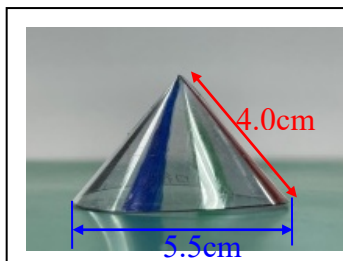
3. 在「下潛」階段

- (1) 因水箱高度固定，潛艇垂直翻轉距離越大，其下潛空間就越小。
- (2) 潛艇斜邊長度越大(口徑越大)，下潛速率顯著減慢。
- (3) 潛艇斜邊長度越大(口徑越大)，下潛至水箱底的水平位移差異越大。如潛艇高度 4.0 公分時，下潛水平位移分布範圍最大，介於-1.79~2.09cm，這是因潛艇下潛時，會左右擺動的關係。
- (4) 潛艇斜邊長度越小(口徑越小)，下潛至水箱底的水平位移不僅差異越小，且最接近原點。如潛艇高度 2.0 公分時，下潛水平位移分布範圍差異最小，介於-0.27~0.33cm，這是因潛艇下潛時，幾乎呈鉛直落下的關係。

實驗五：「圓錐型潛艇」口徑相同，斜邊長/高度不同時，將如何影響其在水中的沉降現象？

(一) 實驗方法

1. 固定「圓錐型潛艇」的口徑固定為 5.5cm，依序改變其斜邊長為 3.0cm、3.5cm、4.0cm、4.5cm、5.0cm(如圖 5-1)，並量測其不同斜邊長潛艇之高度及重量(如表 5-1)。



◀圖 5-1：固定「圓錐型潛艇」的口徑為 5.5cm，改變斜邊長度。(圖中的潛艇斜邊長為 4.0cm)

表 5-1：編號 A-E 潛艇其口徑、斜邊長、高度、重量一覽表

編號	A	B	C	D	E
照片					
口徑(cm)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
斜邊長(cm)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
高度(cm)	1.5	2.6	3.3	3.9	4.3
重量(g)	1.28	1.76	2.02	2.62	3.30

2. 利用「液壓手臂降落器」使其在水中沉降。以攝影機錄下「圓錐型潛艇」降落至水中的完整過程，再以 tracker 軟體量測並計算其在水中的垂直翻轉距離/時間/速率/水平位移，以及下潛距離/時間/速率/水平位移。
3. 每種不同斜邊長的「圓錐型潛艇」各重複實驗 5 次，求出各數值之平均值。

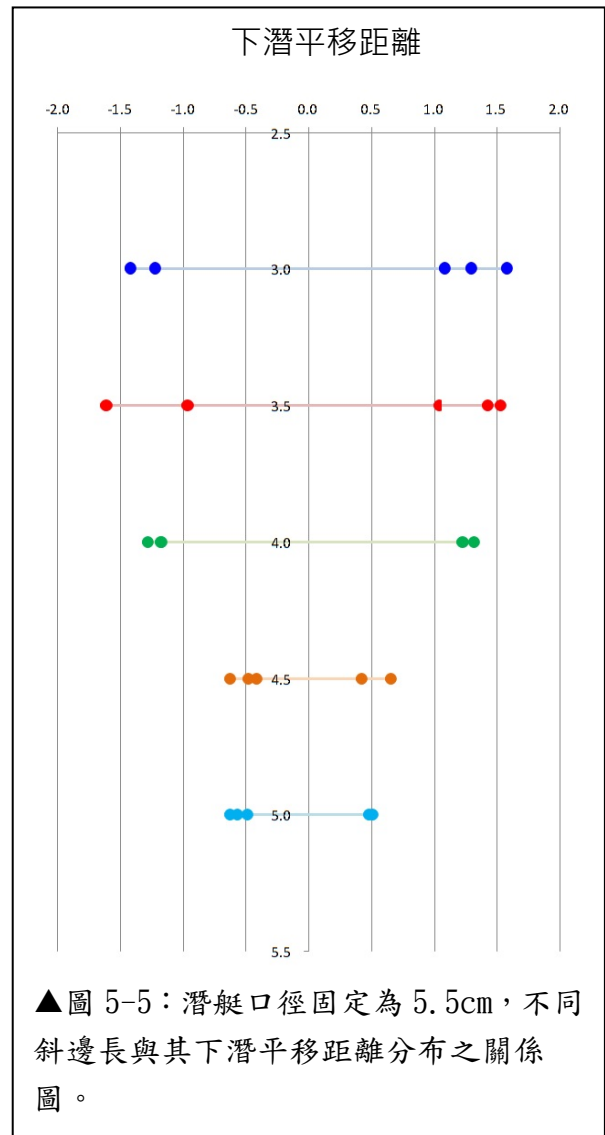
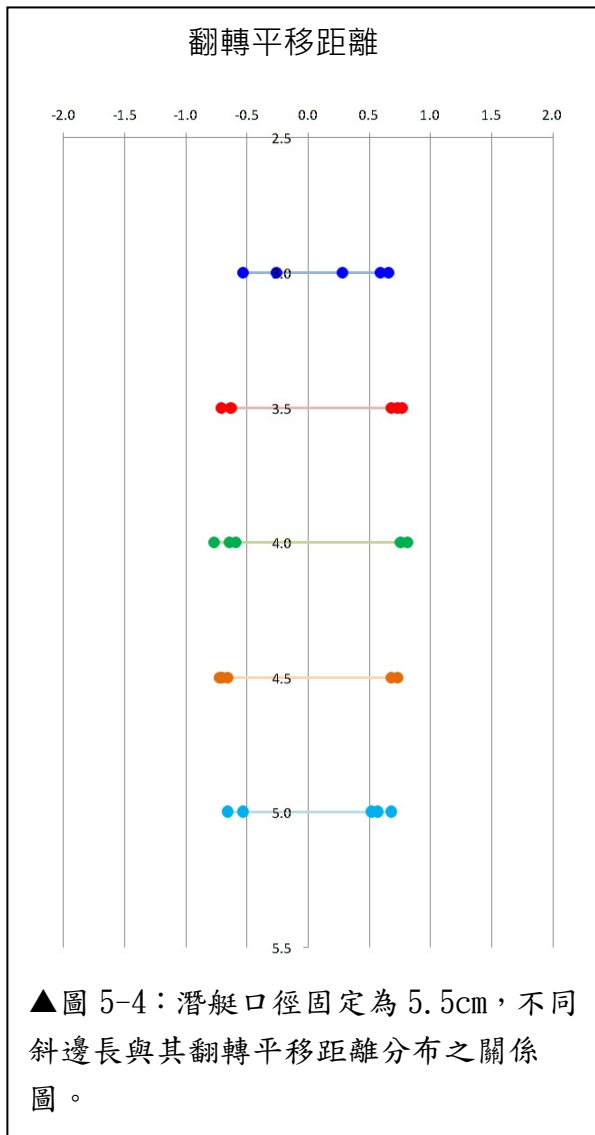
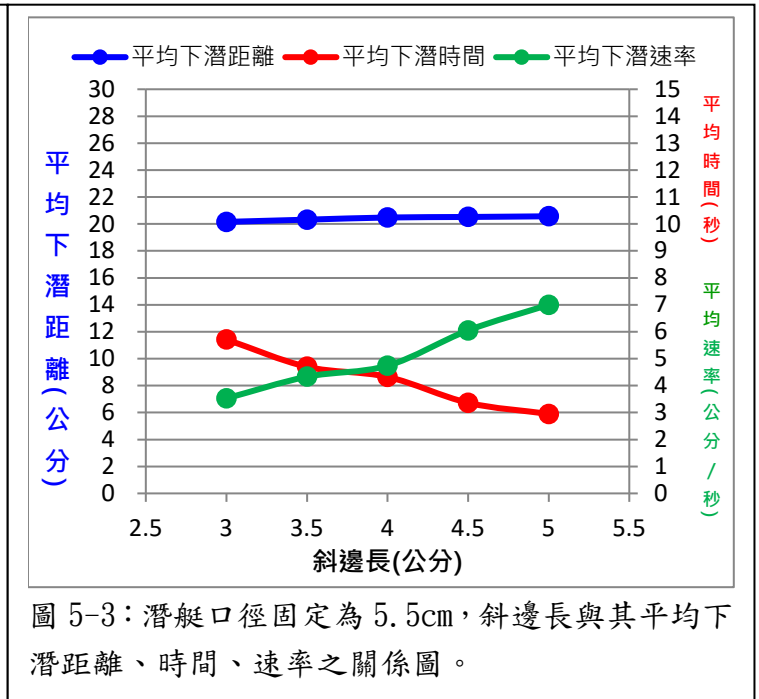
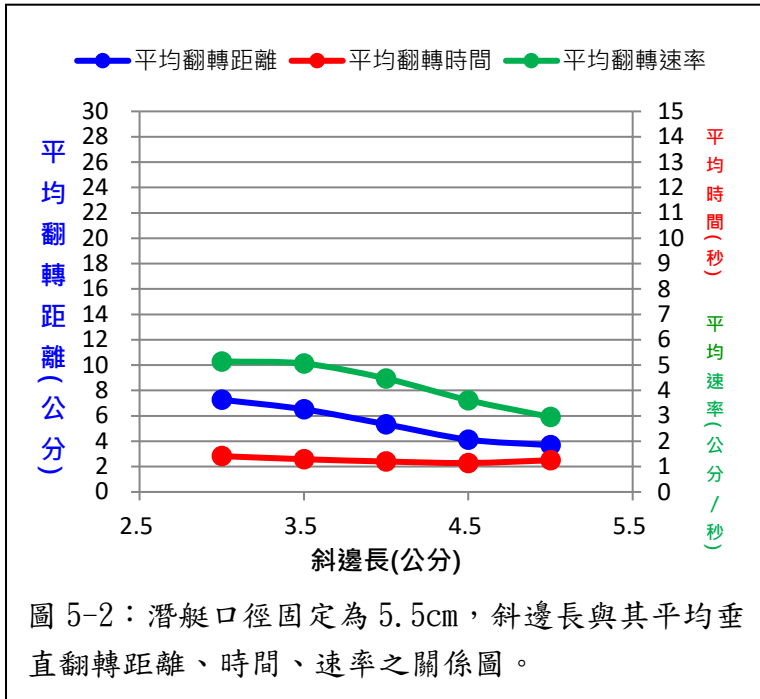
(二)實驗結果

表 5-2：編號 A-E 潛艇(不同斜邊長/高度)垂直翻轉及下潛之距離/時間/速率/水平位移一覽表

潛艇 編號	潛艇照片/ 斜邊長/高度	實驗 次數	垂直翻轉				下潛			
			距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)	距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)
A	 斜邊長 3.0cm 高度 1.5cm	1	7.79	1.50	5.19	0.59	19.36	5.51	3.52	1.30
		2	6.64	1.32	5.03	0.66	21.42	5.87	3.65	1.09
		3	7.35	1.46	5.03	-0.26	19.81	5.77	3.43	1.58
		4	7.52	1.40	5.37	0.28	19.99	5.67	3.52	-1.42
		5	7.04	1.38	5.10	-0.53	20.19	5.74	3.52	-1.22
		平均	7.27	1.41	5.15	-0.53~0.66	20.15	5.71	3.53	-1.42~1.58
B	 斜邊長 3.5cm 高度 2.6cm	1	6.48	1.32	4.91	0.68	20.12	5.04	3.99	-1.53
		2	6.62	1.29	5.13	-0.64	20.48	4.77	4.29	-0.97
		3	6.55	1.26	5.20	-0.71	20.57	4.67	4.40	-1.62
		4	6.42	1.21	5.31	0.73	20.66	4.54	4.55	1.04
		5	6.50	1.36	4.78	0.77	19.78	4.47	4.42	1.43
		平均	6.51	1.29	5.06	-0.71~0.77	20.32	4.70	4.33	-1.62~1.43
C	 斜邊長 4.0cm 高度 3.3cm	1	5.33	1.18	4.52	-0.64	20.48	4.47	4.58	1.32
		2	5.25	1.23	4.27	-0.59	20.18	4.24	4.76	-1.17
		3	4.96	1.25	3.97	-0.77	20.52	4.37	4.69	-1.18
		4	5.60	1.12	5.00	0.75	20.35	4.30	4.73	1.22
		5	5.13	1.20	4.28	0.81	20.88	4.24	4.93	-1.28
		平均	5.25	1.20	4.41	-0.77~0.81	20.48	4.32	4.74	-1.28~1.32
D	 斜邊長 4.5cm 高度 3.9cm	1	4.12	1.13	3.63	-0.66	20.24	3.50	5.78	-0.42
		2	4.36	1.20	3.63	-0.71	20.35	3.29	5.92	0.42
		3	3.95	1.13	3.48	-0.73	20.74	3.34	6.22	-0.48
		4	4.26	1.10	3.87	0.68	20.21	3.25	6.22	0.66
		5	3.94	1.13	3.47	0.73	21.05	3.44	6.13	-0.63
		平均	4.13	1.14	3.62	-0.73~0.73	20.52	3.36	6.05	-0.63~0.66
E	 斜邊長 5.0cm 高度 4.3cm	1	3.72	1.24	3.02	-0.53	20.06	2.94	6.83	-0.57
		2	3.59	1.27	2.83	-0.66	21.18	2.70	7.84	0.51
		3	3.46	1.24	2.80	0.52	20.22	2.87	7.05	-0.63
		4	4.08	1.27	3.22	0.57	20.18	3.10	6.50	-0.49
		5	3.59	1.24	2.91	0.68	21.22	3.14	6.76	0.48
		平均	3.69	1.25	2.95	-0.66~0.68	20.57	2.95	7.00	-0.63~0.51

(三)實驗發現

將表 5-2 繪製成圖 5-2~5-5 後，發現



1. 在製作潛艇時可以發現，固定口徑時，斜邊長越大，高度也會越大，整體重量亦隨之增加。

2. 在「垂直翻轉」階段

- (1) 潛艇斜邊長度越大(高度越大)，完成 180 度垂直翻轉所需距離略為減少。
- (2) 潛艇斜邊長度越大(高度越大)，完成 180 度垂直翻轉所需時間差異不大。
- (3) 潛艇斜邊長度越大(高度越大)，完成 180 度垂直翻轉的速率變小。
- (4) 與子題四實驗發現相同，潛艇從機械手臂中落下，往右或往左翻轉是隨機的。若是往右翻轉，那麼翻轉水平位移會是正值；若是往左翻轉，那麼翻轉水平位移會是負值。
- (5) 潛艇口徑固定，改變斜邊長度時，其垂直翻轉後的水平位移差異極為接近。換句話說，當潛艇口徑固定時，垂直翻轉後的水平位移情形幾乎不受斜邊長度的影響。

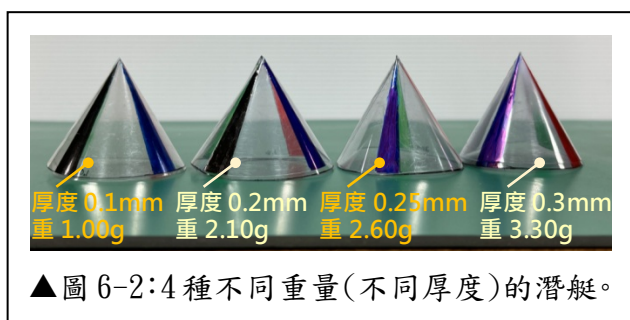
3. 在「下潛」階段

- (1) 因水箱高度固定，潛艇垂直翻轉距離越大，其下潛空間就越小。
- (2) 潛艇斜邊長度越大(高度越大)，下潛速率顯著增大。
- (3) 潛艇斜邊長度越小(高度越小)，下潛至水箱底水平位移差異較大。如潛艇斜邊長 3.0~3.5 公分時，下潛水平位移分布範圍較大，介於-1.62~1.58cm，這是因潛艇下潛時，會左右擺動的關係。
- (4) 潛艇斜邊長度越大(高度越大)，下潛至水箱底的水平位移不僅差異越小，且最接近原點。如潛艇斜邊長 5.0 公分時，下潛水平位移分布範圍差異最小，介於-0.63~0.51cm，這是因潛艇下潛時，幾乎呈鉛直落下的關係。

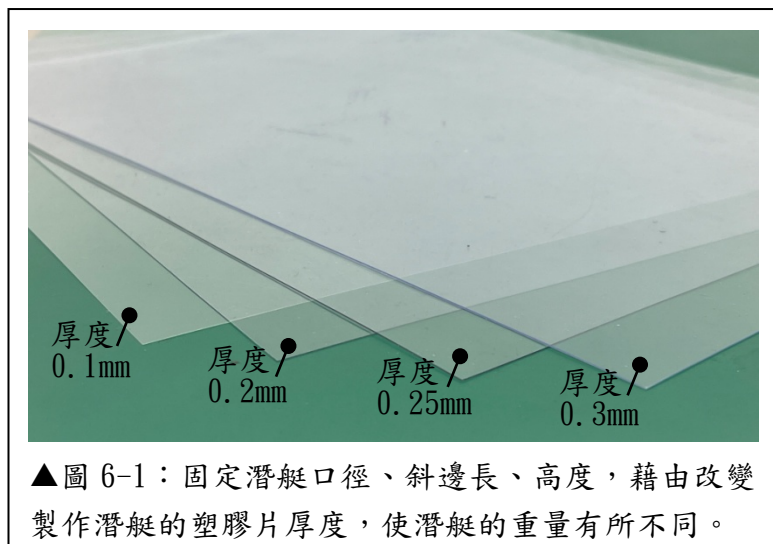
實驗六：「圓錐型潛艇」口徑/斜邊長/高度相同時，重量將如何影響其在水中的沉降現象？

(一) 實驗方法

1. 固定「圓錐型潛艇」的口徑固定為 5.5cm，斜邊長固定為 5cm，高度固定為 4.3cm，改變製作潛艇的塑膠片厚度為 0.1mm、0.20mm、0.25mm、0.30mm(如圖 6-1)，使潛艇重量不同(如圖 6-2)，分別為 1.00g、2.10g、2.60g、3.30g。(如表 6-1)。



▲圖 6-2: 4 種不同重量(不同厚度)的潛艇。



▲圖 6-1: 固定潛艇口徑、斜邊長、高度，藉由改變製作潛艇的塑膠片厚度，使潛艇的重量有所不同。

表 6-1: 編號 A-D 潛艇其口徑、斜邊長、高度、材質厚度、重量一覽表

編號	A	B	C	D
口徑(cm)	5.5	5.5	5.5	5.5
斜邊長(cm)	5.0	5.0	5.0	5.0
高度(cm)	4.3	4.3	4.3	4.3
材質厚度(mm)	0.10mm	0.20mm	0.25mm	0.30mm
重量(g)	1.00	2.10	2.60	3.30

2. 利用「液壓手臂降落器」使其在水中沉降。以攝影機錄下「圓錐型潛艇」降落至箱底的完整過程，再以 tracker 軟體量測並計算其在水中的垂直翻轉距離/時間/速率/水平位移，以及下潛距離/時間/速率/水平位移。
3. 每種不同重量的「圓錐型潛艇」各重複實驗 5 次，求出各數值之平均值。

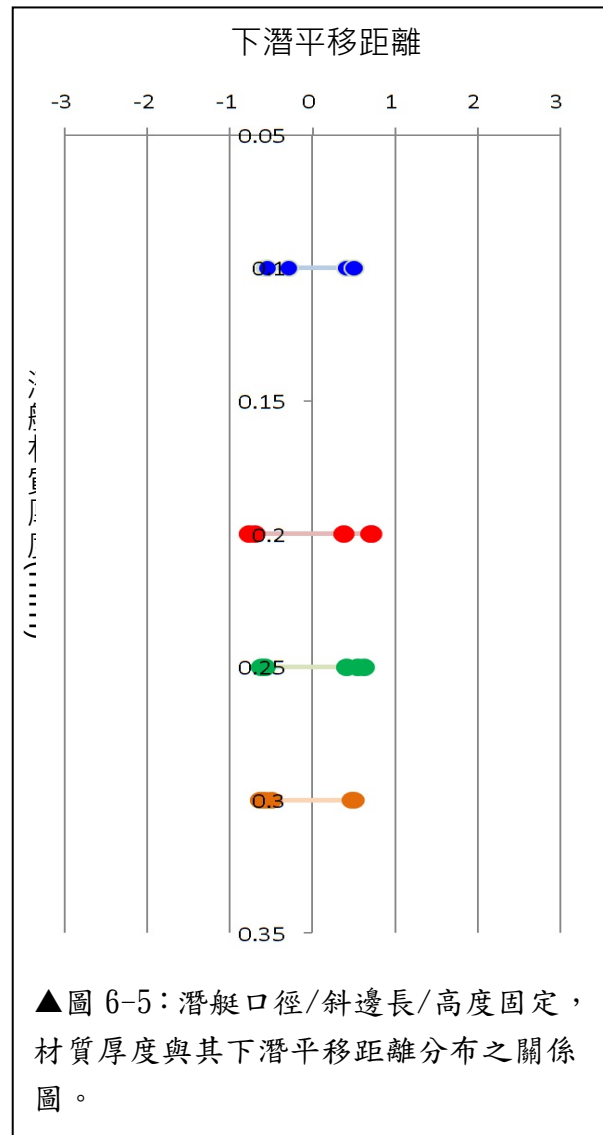
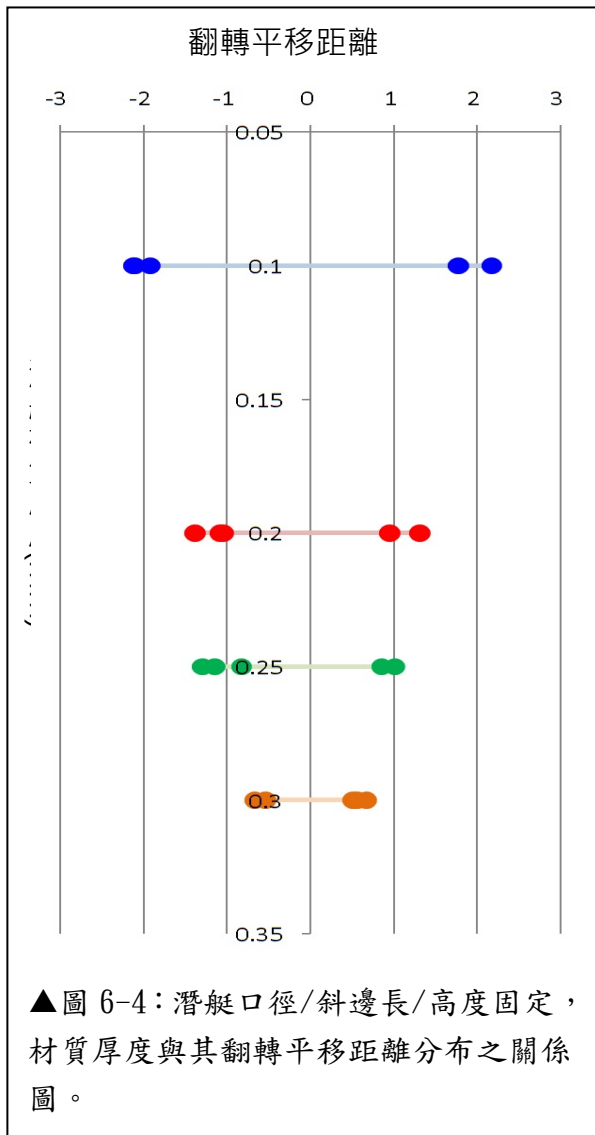
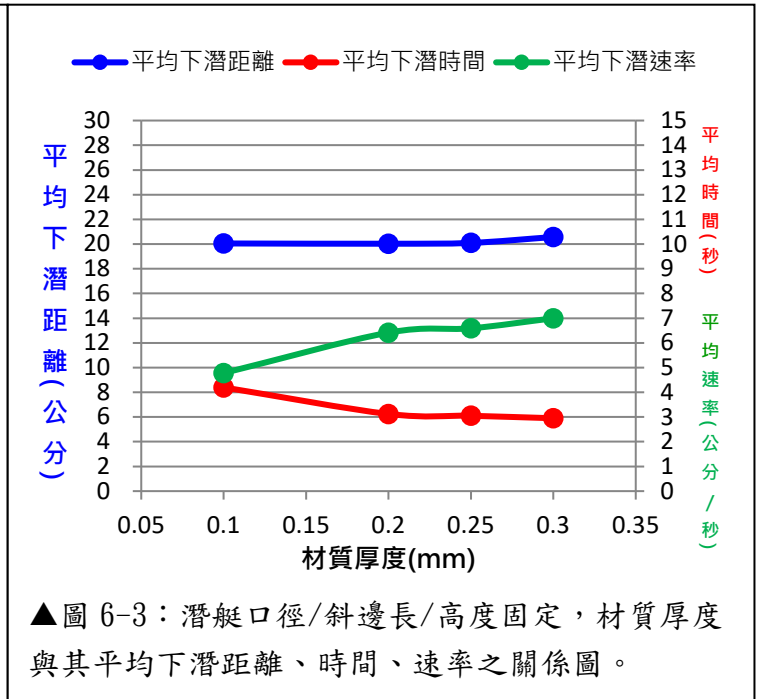
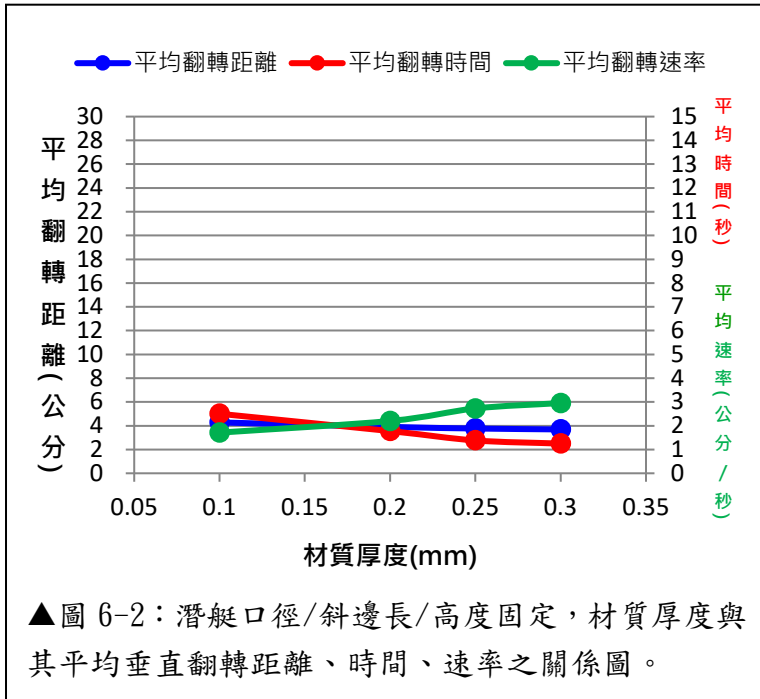
(二) 實驗結果

表 6-2：編號 A-D 潛艇，不同重量其垂直翻轉及下潛之距離/時間/速率/水平位移一覽表

潛艇編號	材質厚度/重量	實驗次數	垂直翻轉				下潛			
			距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)	距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)
A	厚度 0.10mm 重量 1.00g	1	4.68	2.67	1.75	-2.12	19.83	4.17	4.75	-0.56
		2	4.01	2.47	1.62	-1.92	20.15	4.21	4.79	-0.28
		3	4.18	2.37	1.77	2.18	19.78	3.97	4.98	0.42
		4	4.27	2.50	1.71	1.78	20.17	4.27	4.72	0.51
		5	4.26	2.50	1.70	-2.10	20.32	4.37	4.65	-0.54
		平均	4.28	2.50	1.71	-2.12~2.18	20.05	4.20	4.78	-0.56~0.51
B	厚度 0.20mm 重量 2.10g	1	3.68	1.77	2.08	-1.04	20.33	3.10	6.55	-0.77
		2	3.55	1.80	1.97	-1.08	20.41	3.24	6.31	0.39
		3	4.12	1.70	2.42	0.96	19.28	3.10	6.21	-0.69
		4	4.29	1.84	2.34	1.32	19.86	3.00	6.61	0.71
		5	3.88	1.77	2.19	-1.38	20.26	3.17	6.39	0.72
		平均	3.90	1.78	2.20	-1.38~1.32	20.03	3.12	6.41	-0.77~0.72
C	厚度 0.25mm 重量 2.60g	1	3.54	1.37	2.59	1.02	20.73	3.07	6.75	-0.57
		2	3.93	1.40	2.81	0.86	20.27	3.07	6.60	-0.62
		3	3.79	1.37	2.77	-0.82	20.05	3.00	6.68	0.55
		4	3.87	1.37	2.83	-1.29	19.66	3.00	6.55	0.63
		5	3.70	1.40	2.64	-1.14	19.77	3.10	6.37	0.42
		平均	3.77	1.38	2.73	-1.29~1.02	20.10	3.05	6.59	-0.62~0.63
D	厚度 0.3mm 重量 3.30g	1	3.72	1.24	3.02	-0.53	20.06	2.94	6.83	-0.57
		2	3.59	1.27	2.83	-0.66	21.18	2.70	7.84	0.51
		3	3.46	1.24	2.80	0.52	20.22	2.87	7.05	-0.63
		4	4.08	1.27	3.22	0.57	20.18	3.10	6.50	-0.49
		5	3.59	1.24	2.91	0.68	21.22	3.14	6.76	0.48
		平均	3.69	1.25	2.95	-0.66~0.68	20.57	2.95	7.00	-0.63~0.51

(三)實驗發現

將表 6-2 繪製成圖 6-2~6-5 後，發現



1. 在製作潛艇時可以發現，固定口徑/斜邊長/高度時，材質越厚，整體重量亦隨之增加。

2. 在「垂直翻轉」階段

(1) 潛艇重量越重，完成 180 度垂直翻轉所需距離差異不大。

(2) 潛艇重量越重，完成 180 度垂直翻轉所需時間略為減少。

(3) 潛艇重量越重，完成 180 度垂直翻轉的速率增加。

(4) 與子題三實驗發現相同，潛艇從機械手臂中落下，往右或往左翻轉是隨機的。若是往右翻轉，那麼翻轉水平位移會是正值；若是往左翻轉，那麼翻轉水平位移會是負值。

(5) 潛艇重量越重，其垂直翻轉後的水平位移差異越小。

3. 在「下潛」階段

(1) 因水箱高度固定，潛艇垂直翻轉距離越大，其下潛空間就越小。

(2) 潛艇重量越重，下潛速率顯著增大。

(3) 潛艇口徑/斜邊長/高度固定，改變重量時，其下潛的水平位移差異極為接近。換句話說，當潛艇口徑/斜邊長/高度固定時，下潛水平位移情形幾乎不受重量的影響。

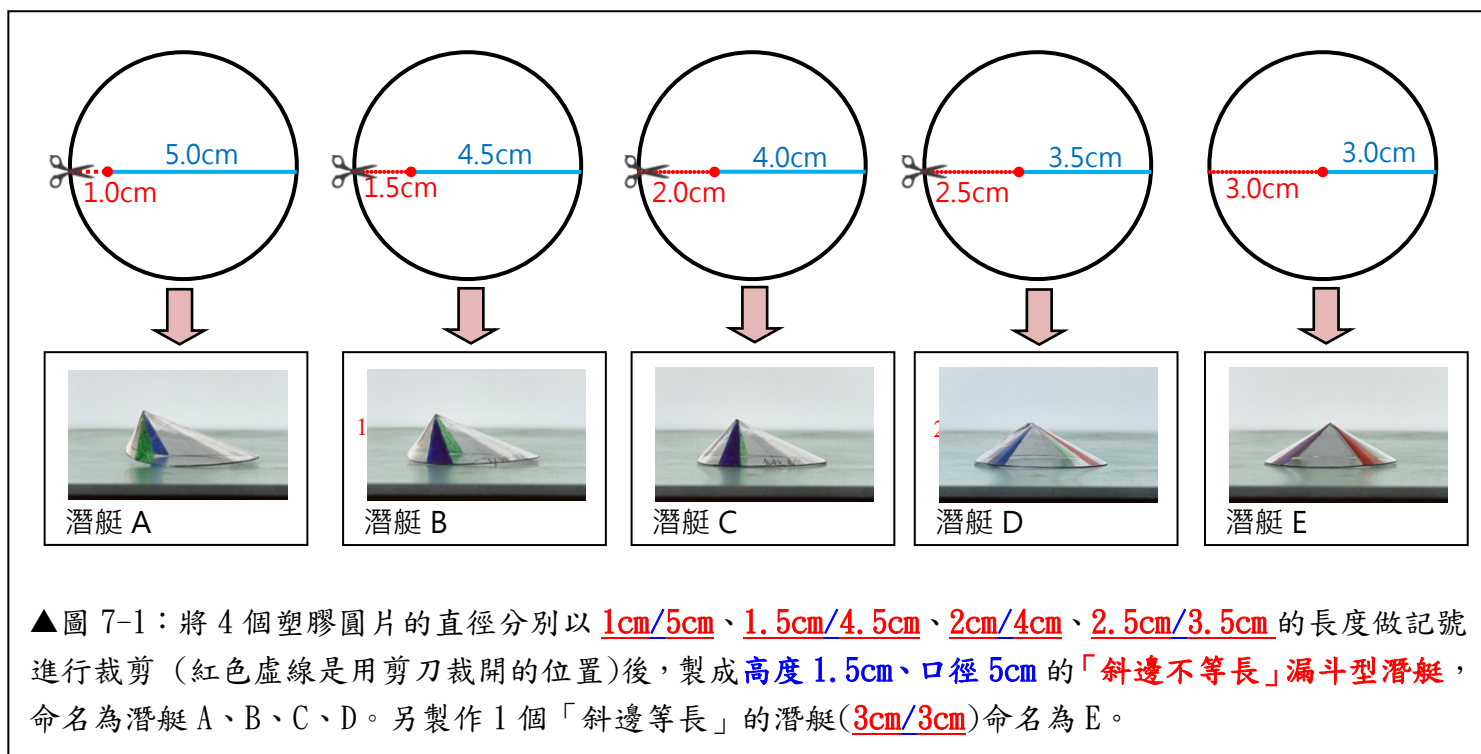
實驗七：「圓錐型潛艇」斜邊不等長時，將如何影響其在水中的沉降現象？

(一) 實驗方法

1. 製作斜邊不等長的「圓錐型潛艇」

(1) 採用厚 0.3mm 塑膠透明片，以圓規刀輔助裁切出 4 個直徑 6cm 的完美塑膠圓片。

(2) 將上述 4 個塑膠圓片直徑分別以 1.0cm/5.0cm、1.5cm/4.5cm、2cm/4cm、2.5cm/3.5cm 長度做記號進行裁剪，同子題一方法製成高度 1.5cm、口徑 5.0cm、重量 1.2g 的「斜邊不等長」潛艇，命名為潛艇 A、B、C、D(如圖 7-1)。另製作 1 個「斜邊等長」的潛艇(3cm/3cm)命名為 E。

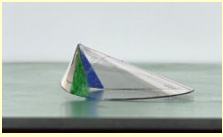




2. 利用「液壓手臂降落器」使其在水中沉降。以攝影機錄下「圓錐型潛艇」降落至箱底的完整過程，再以 tracker 軟體量測並計算其在水中的垂直翻轉距離/時間/速率/水平位移，以及下潛距離/時間/速率/水平位移。

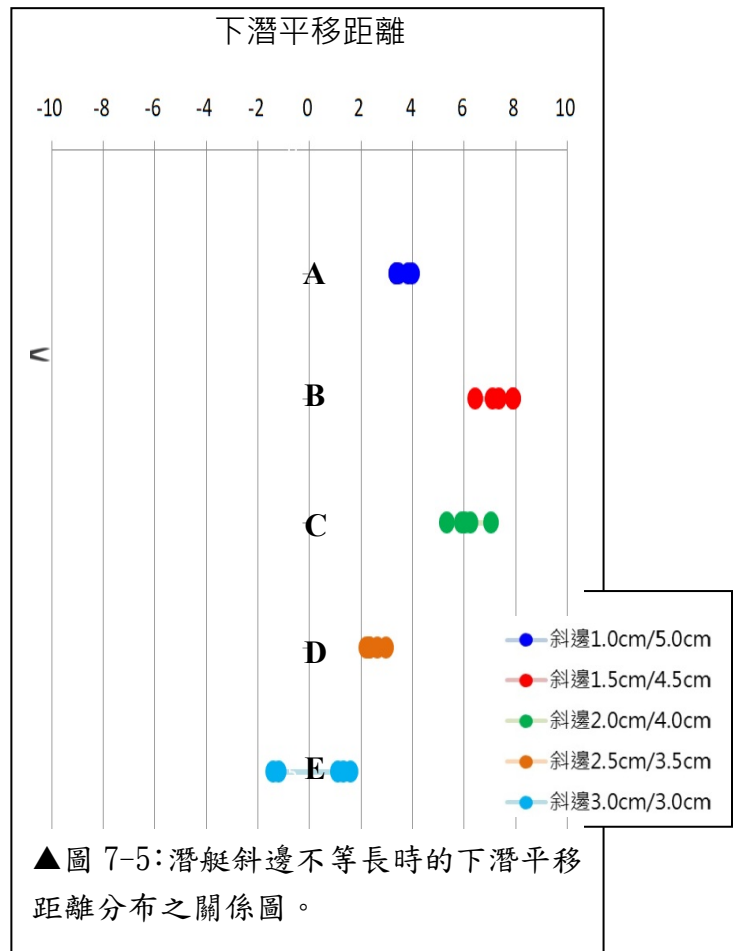
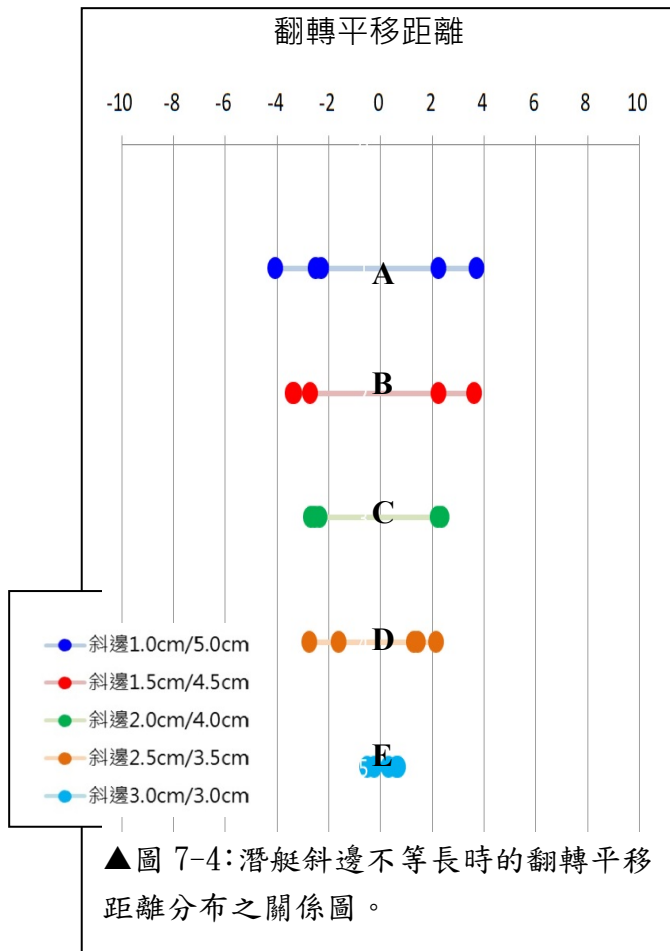
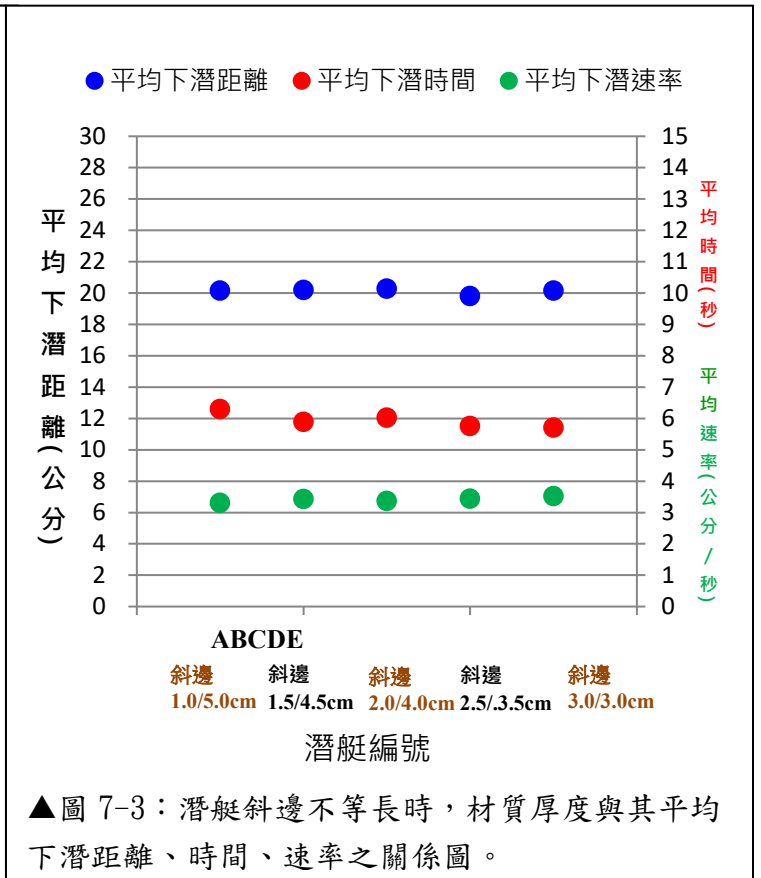
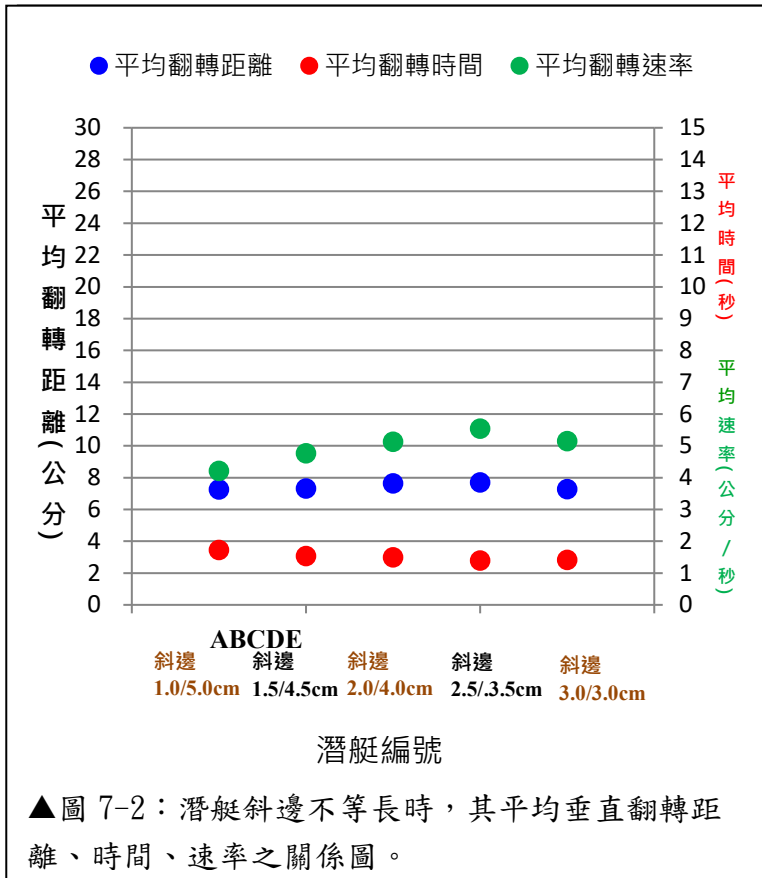
3. 每種不同斜邊長的「圓錐型潛艇」各重複實驗 5 次，求出各數值之平均值。

(二)實驗結果

表 7-1：編號 A-E 斜邊不等長的潛艇其垂直翻轉及下潛之距離/時間/速率/水平位移一覽表

潛艇 編號	潛艇照片/ 短斜邊/長斜邊	實驗 次數	垂直翻轉				下潛			
			距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)	距離 (cm)	時間 (s)	速率 (cm/s)	水平位移 (cm)
A	 1.0cm/5.0cm	1	7.41	1.73	4.28	-2.30	21.40	6.37	3.36	3.44
		2	7.22	1.67	4.33	-2.54	20.75	6.18	3.36	3.82
		3	6.83	1.65	4.14	-4.08	21.07	6.37	3.31	3.36
		4	7.47	1.90	3.93	2.24	20.54	6.37	3.22	3.36
		5	7.29	1.67	4.37	3.69	20.58	6.23	3.30	3.97
		平均	7.24	1.72	4.21	-4.08~3.69	20.87	6.31	3.31	3.36~3.97
B	 1.5cm/4.5cm	1	7.41	1.50	4.93	2.21	20.44	5.89	3.47	6.41
		2	7.07	1.60	4.41	3.60	19.68	5.82	3.38	7.34
		3	7.35	1.50	4.89	-3.42	20.48	6.05	3.39	7.09
		4	7.51	1.50	5.00	-3.35	20.29	5.74	3.53	7.89
		5	7.19	1.57	4.59	-2.73	20.12	5.96	3.38	7.89
		平均	7.31	1.54	4.76	-3.42~3.60	20.20	5.89	3.43	6.41~7.89
C	 2.0cm/4.0cm	1	7.36	1.54	4.79	2.35	20.81	6.01	3.46	6.25
		2	7.70	1.44	5.37	-2.37	19.94	6.12	3.26	5.32
		3	7.47	1.44	5.21	-2.69	20.55	5.89	3.49	7.03
		4	7.80	1.54	5.08	2.19	19.72	6.03	3.27	5.91
		5	7.80	1.50	5.19	-2.56	20.45	6.07	3.37	6.01
		平均	7.63	1.49	5.13	-2.69~2.35	20.29	6.02	3.37	5.32~7.03
D	 2.5cm/3.5cm	1	7.79	1.44	5.43	-1.62	20.25	5.86	3.46	2.19
		2	7.59	1.32	5.75	2.13	19.93	5.71	3.49	2.95
		3	7.82	1.46	5.36	-2.75	19.29	5.74	3.36	2.61
		4	7.82	1.44	5.43	1.26	19.53	5.68	3.44	2.31
		5	7.43	1.30	5.72	1.42	20.12	5.81	3.47	2.31
		平均	7.69	1.39	5.54	-2.75~2.13	19.82	5.76	3.44	2.19~2.95
E	 3.0cm/3.0cm	1	7.79	1.50	5.19	0.59	19.36	5.51	3.52	1.30
		2	6.64	1.32	5.03	0.66	21.42	5.87	3.65	1.09
		3	7.35	1.46	5.03	-0.26	19.81	5.77	3.43	1.58
		4	7.52	1.40	5.37	0.28	19.99	5.67	3.52	-1.42
		5	7.04	1.38	5.10	-0.53	20.19	5.74	3.52	-1.22
		平均	7.27	1.41	5.15	-0.53~0.66	20.15	5.71	3.53	-1.42~1.58

(三)實驗發現



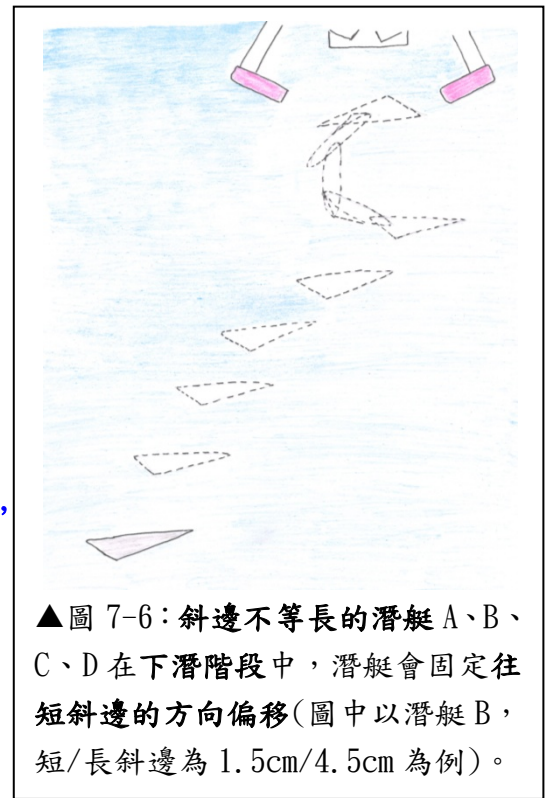
將表 7-1 繪製成圖 7-2~7-5 後，發現：

1. 在「垂直翻轉」階段

- (1) 潛艇 A、B、C、D、E 的口徑、重量皆相同的情形下，不論【短斜邊÷長斜邊】的比值為何，其翻轉距離、翻轉時間、翻轉速率差異極小。此實驗中，翻轉距離最大值、最小值分別為 7.69cm、7.24cm，兩者只有相差 0.45cm；翻轉時間最大值、最小值分別為 1.72 秒、1.39 秒，兩者只有相差 0.33 秒；翻轉速率最大值、最小值分別為 5.54cm/s、4.21cm/s，兩者只有相差 1.33cm/s。
- (2) 潛艇 A、B、C、D、E 的口徑、重量皆相同的情形下，潛艇【短斜邊÷長斜邊】的比值越小(長短斜邊的長度差異越大)，翻轉平移距離的分布範圍越大。如潛艇【短斜邊 1cm/長斜邊 5cm】的比值最小，其翻轉平移距離的分布範圍最大為 -4.08~3.69cm；潛艇【短斜邊 3cm/長斜邊 3cm】的比值最大(比值 1)，其翻轉平移距離的分布範圍最小為 -0.53~0.66cm。

2. 在「下潛」階段

- (1) 潛艇 A、B、C、D、E 的口徑、重量皆相同的情形下，不論【短斜邊÷長斜邊】的比值為何，其下潛距離、下潛時間、下潛速率幾乎相同。此實驗中，下潛速率最大值、最小值分別為 3.53cm/s、3.31cm/s，兩者只有相差 0.22cm/s。
- (2) 斜邊不等長的潛艇 A、B、C、D 在下潛階段中，潛艇會固定往短斜邊的方向偏移(如圖 7-6)，因此在此子題中，潛艇 A、B、C、D 的「下潛平移距離」則一律記為正值；斜邊等長的潛艇 E 則會隨機的往右或往左偏移，若往右其「下潛平移距離」則記為正值，若往左其「下潛平移距離」則記為負值。
- (3) 承(2)，潛艇 B、C、D、E 中，【短斜邊÷長斜邊】的比值越小(長短斜邊的長度差異越大)，下潛平移距離越大。但潛艇 A(斜邊長 1cm/5cm)除外，推測是因為長斜邊過長，重心會大大偏向長斜邊處移，導致其下潛平移距離變短。



▲圖 7-6：斜邊不等長的潛艇 A、B、C、D 在下潛階段中，潛艇會固定往短斜邊的方向偏移(圖中以潛艇 B，短/長斜邊為 1.5cm/4.5cm 為例)。



「圓錐型潛艇」在翻轉階段的「翻轉力道」有多大呢？

上述實驗三~七，「圓錐型潛艇」皆以「頂點朝上」的方式放置，從機械手臂脫離後在水中的沉降過程會經歷『垂直翻轉階段』及『下潛階段』。且改變「圓錐型潛艇」的各種變因，會使其在水中的翻轉距離也有所不同，因此我們很好奇，潛艇在不同翻轉距離下的「翻轉力道」到底有多大呢？

而在子題二中亦可得知，「圓錐型潛艇」若以「頂點朝下」的方式從機械手臂脫離後在水中的沉降過程只存有『下潛階段』，因此我們想在子題九中利用潛艇「頂點朝上/朝下」而「有/無」翻轉現象的此特點來設計一款能測量潛艇「翻轉力道」的儀器。

因為在子題三、四、五中，我們分別固定潛艇的斜邊長、高度、口徑來探究其翻轉距離的變化，因此下個子題將以子題三、四、五的潛艇系列為主角，進行量測翻轉力道的實驗。

實驗八：利用自創器材量測「圓錐型潛艇」在水中的翻轉力道。

(一) 實驗方法

1. 為了量測圓錐型潛艇在水中翻轉階段所產生的翻轉力道，我們經過多次的設計、測試，最後利用木條、定滑輪、棉線、長尾夾、砝碼、電子秤等材料及工具自創了一套【翻轉力道量測儀】(如圖 8-1)。
2. 【翻轉力道量測儀】的操作方式
 - (1) 將「圓錐型潛艇」以「頂點朝下」方式，透過【翻轉力道量測儀】棉線及長尾夾的固定沒入水中，一個 10g 砝碼繫於棉線另一端，置於電子秤上。此時電子秤所秤得數值為 W_1 (如圖 8-2)，那麼 $(10g - W_1)$ 則為在水中「頂點朝下」的「圓錐型潛艇」的(重力+浮力)之總合。

圓錐型潛艇的「頂點朝下」時：

$$10g - W_1 = \text{重力} + \text{浮力}$$

- (2) 再將同一個「圓錐型潛艇」以「頂點朝上」方式，透過【翻轉力道量測儀】棉線及長尾夾的固定沒入水中，一個 10g 砝碼繫於棉線另一端，置於電子秤上。此時電子秤所秤得數值為 W_2 (如圖 8-3)，那麼 $(10g - W_2)$ 則為在水中「頂點朝上」的「圓錐型潛艇」的(重力+浮力+翻轉力道)之總合。

圓錐型潛艇的「頂點朝上」時：

$$10g - W_2 = \text{重力} + \text{浮力} + \text{翻轉力道}$$

- (3) 將兩者相減即可得出「翻轉力道」。

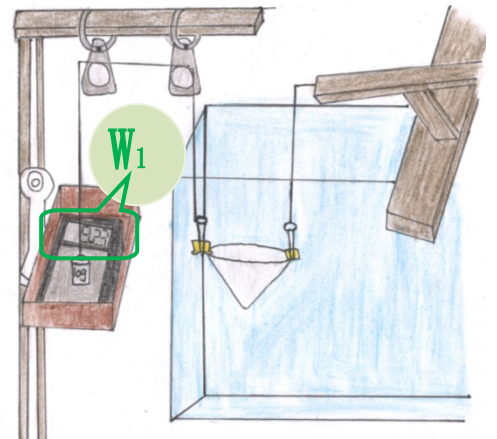
$$\begin{aligned} \text{翻轉力道} &= (10g - W_2) - (10g - W_1) \\ &= W_1 - W_2 \end{aligned}$$

3. 分別固定潛艇的斜邊長、高度、口徑，依序將子題三、四、五的實驗潛艇，依上述操作方式進行實驗，透過計算取得翻轉力道值。
4. 每個潛艇都進行 10 次實驗，取得平均值進行分析。

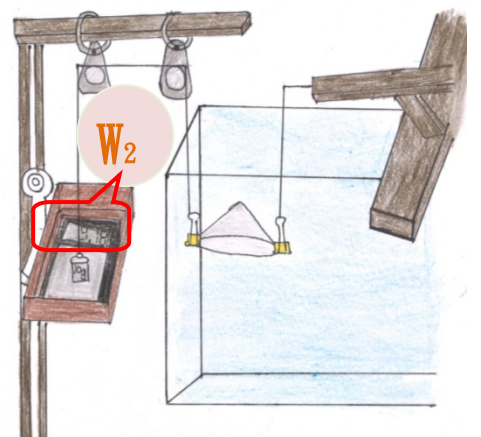
(二) 實驗結果



▲圖 8-1：使用【翻轉力道量測儀】進行實驗。



▲圖 8-2：將潛艇以「頂點朝下」方式放置，透過【翻轉力道量測儀】取得電子秤上的數值 W_1 。



▲圖 8-3：將潛艇以「頂點朝上」方式放置，透過【翻轉力道量測儀】取得電子秤上的數值 W_2 。

表 8-1：潛艇斜邊長固定為 3cm，不同高度下其翻轉力道一覽表


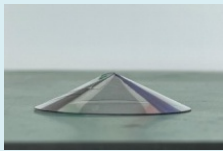



潛艇編號		A		B		C		D		E	
潛艇照片											
高度(cm)		0.5 cm		1.0 cm		1.5 cm		2.0 cm		2.5 cm	
口徑(cm)		5.9 cm		5.7 cm		5.5 cm		4.6 cm		3.4 cm	
重量(g)		W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2
實驗次數	1	9.20	9.00	9.21	9.04	9.23	9.13	9.24	9.19	9.23	9.21
	2	9.20	9.00	9.22	9.05	9.21	9.10	9.24	9.18	9.25	9.22
	3	9.23	9.01	9.23	9.09	9.20	9.11	9.22	9.16	9.22	9.22
	4	9.21	9.00	9.20	9.08	9.22	9.11	9.21	9.19	9.24	9.21
	5	9.21	8.99	9.22	9.03	9.21	9.13	9.23	9.20	9.23	9.20
	6	9.20	9.03	9.22	9.08	9.23	9.10	9.22	9.20	9.23	9.23
	7	9.21	8.93	9.22	9.07	9.24	9.11	9.21	9.16	9.25	9.23
	8	9.22	8.97	9.23	9.05	9.23	9.10	9.23	9.19	9.22	9.23
	9	9.22	8.99	9.22	9.09	9.22	9.11	9.23	9.18	9.25	9.22
	10	9.23	9.01	9.20	9.04	9.24	9.13	9.24	9.17	9.24	9.21
	平均	9.21	8.99	9.22	9.06	9.22	9.11	9.23	9.18	9.24	9.22
翻轉力道(g) $W_1 - W_2$		0.22		0.16		0.11		0.05		0.02	

表 8-2：潛艇高度固定為 1.5cm，不同斜邊長下其翻轉力道一覽表

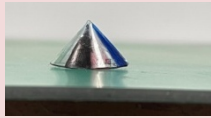
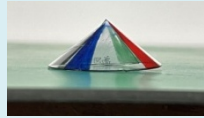
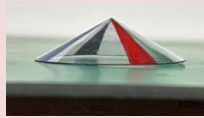
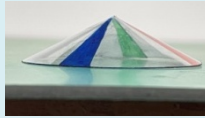

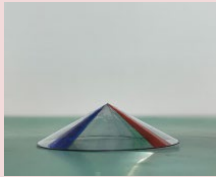
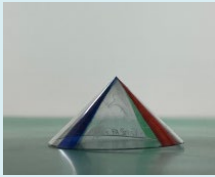
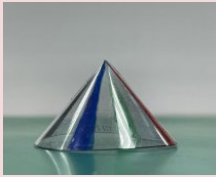
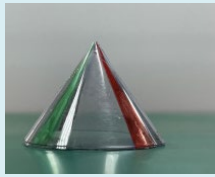
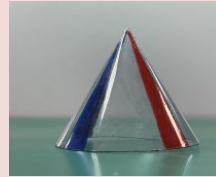
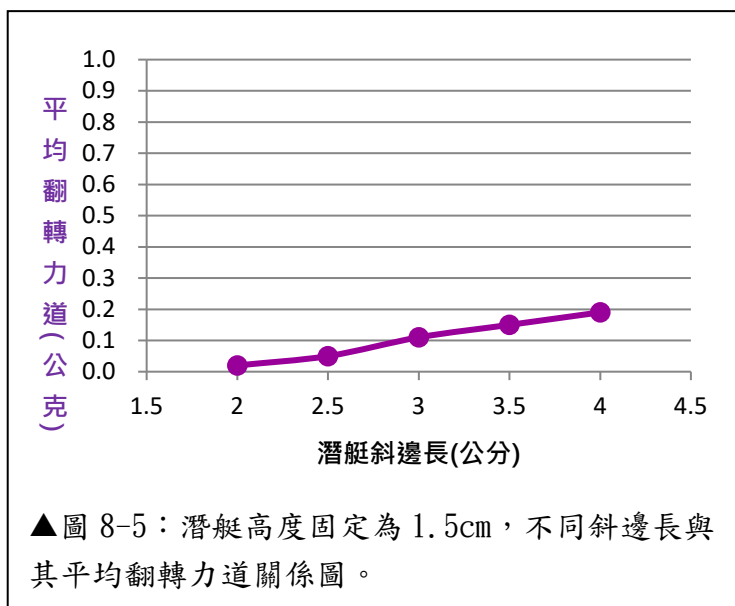
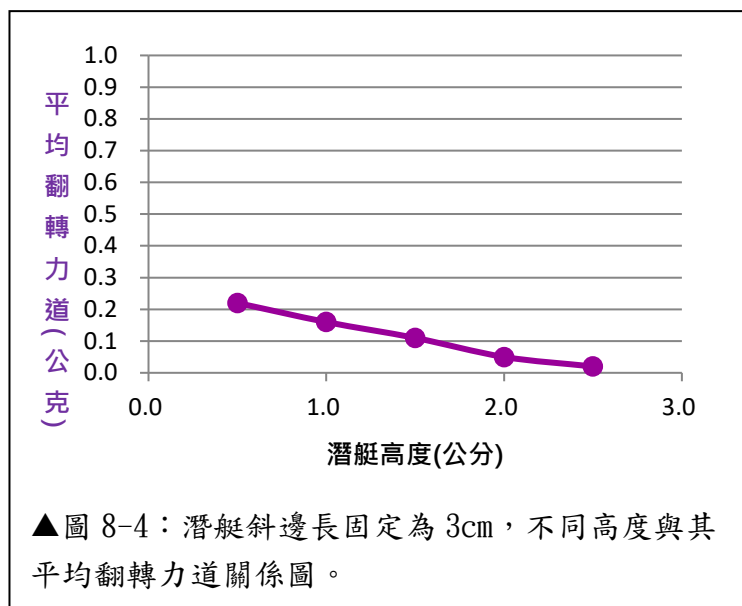
潛艇編號		A		B		C		D		E	
潛艇照片											
斜邊長(cm)		2.0 cm		2.5 cm		3.0 cm		3.5 cm		4.0 cm	
口徑(cm)		3.0 cm		4.0 cm		5.5 cm		6.6 cm		7.6 cm	
重量(g)		W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2
實驗次數	1	9.21	9.20	9.20	9.16	9.23	9.13	9.24	9.11	9.27	9.07
	2	9.23	9.19	9.20	9.15	9.21	9.10	9.24	9.09	9.28	9.08
	3	9.20	9.19	9.20	9.16	9.20	9.11	9.25	9.12	9.27	9.08
	4	9.21	9.20	9.19	9.15	9.22	9.11	9.26	9.11	9.26	9.09
	5	9.20	9.20	9.19	9.17	9.21	9.13	9.24	9.1	9.25	9.07
	6	9.22	9.18	9.19	9.14	9.23	9.10	9.25	9.11	9.28	9.09
	7	9.20	9.20	9.20	9.15	9.24	9.11	9.23	9.1	9.25	9.08
	8	9.22	9.20	9.19	9.16	9.23	9.10	9.25	9.1	9.28	9.08
	9	9.20	9.19	9.21	9.15	9.22	9.11	9.26	9.09	9.26	9.09
	10	9.20	9.19	9.20	9.15	9.24	9.13	9.25	9.09	9.28	9.07
	平均	9.21	9.19	9.20	9.15	9.22	9.11	9.25	9.10	9.27	9.08
翻轉力道(g) $W_1 - W_2$		0.02		0.05		0.11		0.15		0.19	

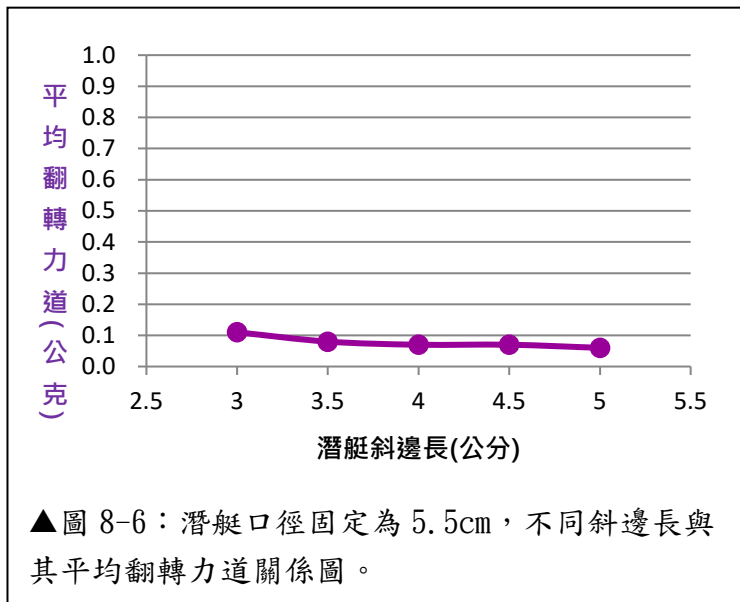
表 8-3：潛艇口徑固定為 5.5cm，不同斜邊長下其翻轉力道一覽表

潛艇編號	A		B		C		D		E		
潛艇照片											
斜邊長(cm)	3.0 cm		3.5 cm		4.0 cm		4.5 cm		5.5 cm		
高度(cm)	1.5 cm		2.6 cm		3.3 cm		3.9 cm		4.3 cm		
重量(g)	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2	
實驗次數	1	9.23	9.13	9.24	9.16	9.24	9.17	9.27	9.23	9.30	9.24
	2	9.21	9.10	9.24	9.14	9.24	9.16	9.29	9.21	9.31	9.22
	3	9.20	9.11	9.25	9.15	9.23	9.17	9.29	9.21	9.29	9.22
	4	9.22	9.11	9.23	9.17	9.25	9.17	9.27	9.23	9.30	9.25
	5	9.21	9.13	9.23	9.14	9.24	9.19	9.30	9.20	9.31	9.24
	6	9.23	9.10	9.25	9.16	9.25	9.19	9.29	9.23	9.31	9.23
	7	9.24	9.11	9.24	9.18	9.24	9.17	9.29	9.19	9.30	9.22
	8	9.23	9.10	9.23	9.17	9.25	9.20	9.30	9.23	9.32	9.25
	9	9.22	9.11	9.25	9.18	9.26	9.18	9.30	9.23	9.31	9.24
	10	9.24	9.13	9.26	9.16	9.26	9.17	9.31	9.22	9.29	9.24
	平均	9.22	9.11	9.24	9.16	9.25	9.18	9.29	9.22	9.30	9.24
翻轉力道(g) $W_1 - W_2$	0.11		0.08		0.07		0.07		0.06		

(三)實驗發現

將表 8-1~表 8-3 繪製成圖 8-4~圖 8-6，發現





- 將子題三、四、五、八綜合分析時可發現，當潛艇翻轉力道大時，其翻轉階段的翻轉距離也會增加。
- 在圖 8-4 中可得知，當潛艇斜邊長固定為 3cm 時，高度越小(口徑越大)，其翻轉力道也大幅增加。但令我們困惑的是，是「潛艇高度」還是「潛艇口徑」對翻轉力道的影響較大呢？因此我們接續進行「固定高度」(子題四潛艇)與「固定口徑」(子題五潛艇)的潛艇來量測其翻轉力道。
- 承 2，在圖 8-5 中可得知，當潛艇高度固定為 1.5cm 時，斜邊長越大(口徑越大)，其翻轉力道也大幅增加；在圖 8-6 中可得知，當潛艇口徑固定為 5.5cm 時，斜邊長越大(高度越大)，其翻轉力道則略為減小。
- 綜合上述分析，可說明影響翻轉力道的主要是潛艇口徑的大小，其次是潛艇的高度多寡。
- 承 4，此發現與子題三~五的「影響翻轉距離的主要是潛艇口徑的大小，其次是潛艇的高度多寡」的發現不謀而合。



我們想讓潛艇在「下潛階段」時邊旋轉邊沉降！

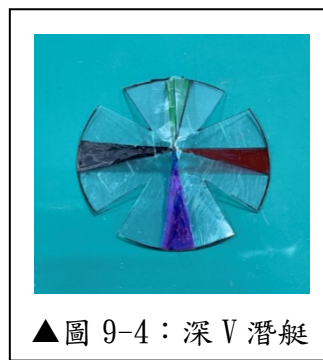
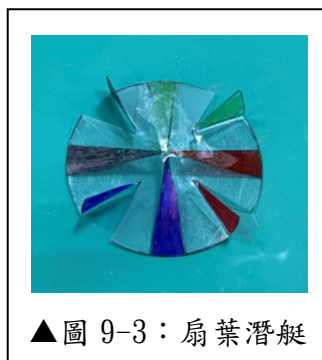
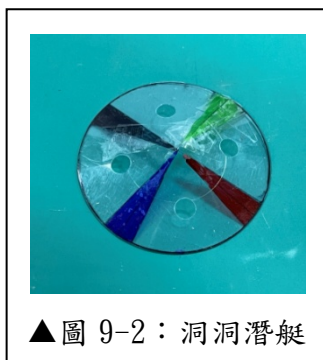
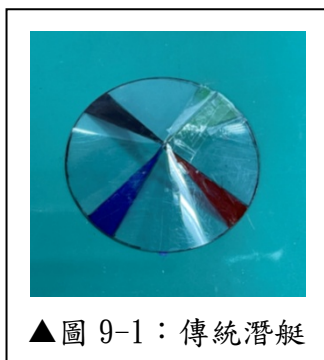
實驗中，「圓錐型潛艇」在下潛階段時多以『左右搖擺』或『垂直』的姿態沉降至水箱底部，我們將在下個子題中設法在潛艇本體上進行各種型式的開孔，使潛艇在下潛階段時能以「旋轉」之姿沉降而下。

實驗九：潛艇本體上的開孔型式如何影響其下潛姿態？

(一)開孔型式如何影響潛艇的下潛姿態？

1. 實驗方法

- (1)製作 4 個斜邊長為 3cm、高度為 0.5cm 的「圓錐型潛艇」。
- (2)分別在潛艇的透明片進行以下變化：維持原樣、以打洞器打洞、剪出扇葉、裁剪出 V 型等變化，分別命名為傳統潛艇、洞洞潛艇、扇葉潛艇、深 V 潛艇(如圖 9-1~9-4)。



- (3)為增加下潛距離，利用「液壓手臂降落器」使潛艇以「頂點朝下」方式在水中沉降。錄下「圓錐型潛艇」降落至箱底的完整過程，再以威力導演軟體計算各式潛艇在水中的旋轉圈數。

(4) 每種潛艇各重複實驗 5 次，求出各數值之平均。

2. 實驗結果

表 9-1：不同開孔型式的圓錐型潛艇，其下潛過程中旋轉圈數一覽表

潛艇名稱	傳統潛艇	洞洞潛艇	扇葉潛艇	深 V 潛艇	
旋轉圈數	1	0	0	1.00	0.13
	2	0	0	1.00	0.13
	3	0	0	0.88	0.13
	4	0	0	1.00	0.13
	5	0	0	0.88	0.13
	平均	0	0	0.95	0.13

3. 實驗發現

(1) 不同開孔型式的圓錐型潛艇中，只有「扇葉潛艇」及「深 V 潛艇」能在下潛時成功地邊旋轉邊沉降！

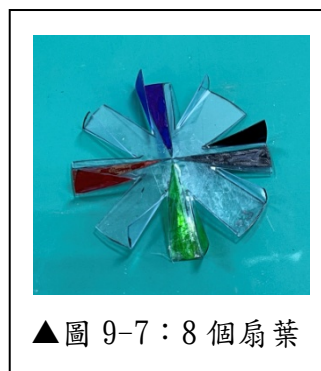
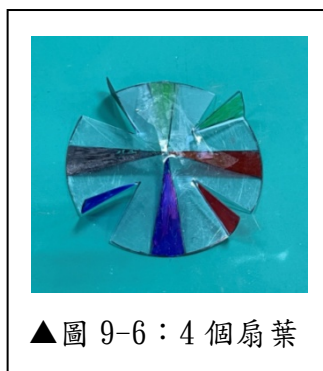
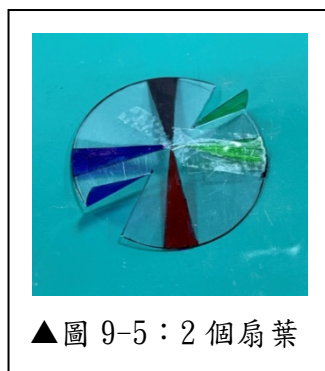
(2) 在固定的下潛距離中，旋轉圈數：「扇葉潛艇」>「深 V 潛艇」。因此下個實驗將以「扇葉潛艇」的型式為主，探究扇葉個數如何影響潛艇的旋轉圈數。

(二) 扇葉個數如何影響潛艇的旋轉圈數？

1. 實驗方法

(1) 製作 4 個斜邊長為 3cm、高度為 0.5cm 的「圓錐型潛艇」。

(2) 分別在潛艇的透明片上裁剪出 2、4、8、12 個扇葉(如圖 9-5~9-8)。



(3) 為增加下潛距離，利用「液壓手臂降落器」使潛艇以「頂點朝下」方式在水中沉降。錄下「圓錐型潛艇」降落至箱底的完整過程，再以威力導演軟體計算各式潛艇在水中的旋轉圈數。

(4) 每種潛艇各重複實驗 5 次，求出各數值之平均。

2. 實驗結果

表 9-2：不同扇葉數的圓錐型潛艇，其下潛過程中旋轉圈數一覽表

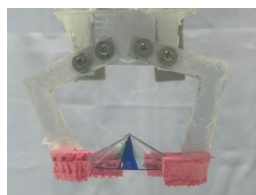
扇葉個數	2 個	4 個	8 個	12 個	
旋轉圈數	1	0.75	1.00	1.13	1.63
	2	0.75	1.00	1.13	1.63
	3	0.75	0.88	1.13	1.63
	4	0.75	1.00	1.13	1.63
	5	0.75	0.88	1.13	1.63
	平均	0.75	0.95	1.13	1.63

3. 實驗發現：圓錐型潛艇高度固定時，潛艇透明片上的扇葉數越多，旋轉的圈數越多。

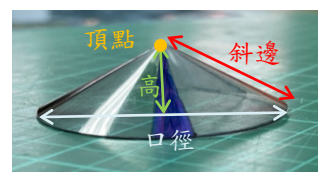
伍、結 論

一、研發「液壓手臂降落器」進行圓錐型潛艇的沉降實驗，以減少人為操作所造成的實驗誤差。

子題一中，我們經過許多次的設計、測試，經由分析其優缺點，最後決定使用堅固耐用的「液壓手臂降落器」(如圖 9-9)進行實驗，操作液壓裝置控制機械手臂的開闔，使「圓錐型潛艇」(如圖 9-10)平穩的在水中落下。機械手臂兩爪夾不僅可穩穩地夾住潛艇口徑，還能同步開啟，使潛艇每次實驗的初始沉降狀態很固定，可大大提高實驗穩定性。



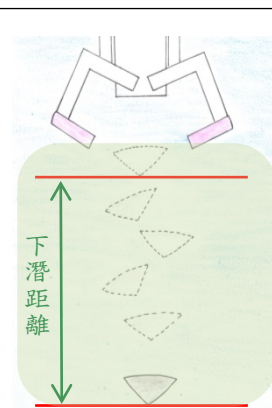
▲圖 9-9：研發「液壓手臂降落器」進行圓錐型潛艇的沉降實驗。



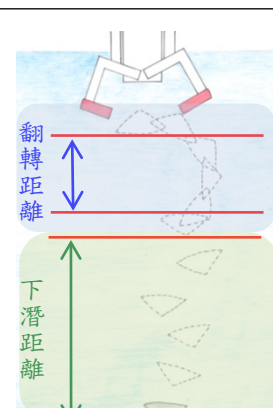
▲圖 9-10：「圓錐型潛艇」各部位名稱。

二、圓錐型潛艇以「頂點朝下」或「頂點朝上」的方式放置，其沉降至底部的姿態大不相同。

- (一)在子題二中得知若將「圓錐型潛艇」以「頂點朝下」方式置放，自降落器落下，只會下潛至水箱底部。(圖 9-11)
- (二)若將「圓錐型潛艇」以「頂點朝上」方式置放，自降落器落下，會一邊沉降，一邊進行 180 度垂直翻轉，再緩慢左右搖擺下潛至箱底，沉降路線猶如一個「?-大問號(如圖 9-12)，非常有趣！
- (三)本研究將使「圓錐型潛艇」以「頂點朝上」方式，自降落器落下，探究若改變「圓錐型潛艇」的斜邊長、高度、口徑大小、重量、對稱與否將如何影響其沉降現象，對「問號」裡所隱藏的奧秘追根究柢！



▲圖 9-11：潛艇以「頂點朝下」方式置放，沉降型態只存有「下潛階段」。



▲圖 9-12：潛艇以「頂點朝上」方式置放，沉降型態可分為「垂直翻轉階段」、「下潛階段」。

三、改變圓錐型潛艇的斜邊長、高度、口徑、重量、對稱性都會影響其在水中的沉降現象。

將子題三~子題七的控制變因、操縱變因、應變變因整理成表 9-3，可以清楚地分析出變因間的關聯性。

表 9-3：子題三~子題七變因間關聯性一覽表

子題	控制變因	操縱變因 (連帶牽動)	應 變 變 因				
			翻轉距離	翻轉速率	翻轉 水平位移	下潛速率	下潛 水平位移
三	固定斜邊長 3cm	高度越大 (口徑越小)	顯著減少	顯著減慢	差異顯著 越小	顯著增快	差異越小
四	固定高度 1.5cm	斜邊長越小 (口徑越小)	顯著減少	顯著減慢	差異顯著 越小	顯著增快	差異越小
五	固定口徑 5.5cm	斜邊長越大 (高度越大)	略微減少	略微減慢	無關	顯著增快	差異越小
六	固定 口徑/斜邊長/高度	重量越大	無關	略為增快	差異顯著 越小	增快	無關
七	固定 口徑/重量/高度	【短斜邊÷長斜邊】 比值越大	無關	無關	差異顯著 越小	無關	往短斜邊 移動

(一)影響圓錐型潛艇翻轉距離、平均翻轉速率的主要因素是口徑的大小，次要因素是高度的多寡。

1. 子題三得知固定潛的斜邊長，高度越大(口徑越小)，翻轉距離及平均翻轉速率會顯著變小。不過卻無法得知主要影響翻轉距離及平均翻轉速率的是「潛艇高度」抑或「潛艇口徑」呢?因此分別在子題四中固定潛艇高度，發現斜邊長越小(口徑越小)，翻轉距離及平均翻轉速率會顯著變小;在子題五中固定潛艇口徑，斜邊長越大(高度越大)，翻轉距離及翻轉速率只有略為減少。
2. 子題六潛艇口徑/斜邊長/高度固定時，重量越大，翻轉速率會稍微增快，但不影響翻轉距離。
3. 子題七，潛艇口徑/斜邊長/高度固定時，【短斜邊÷長斜邊】比值不影響翻轉距離及翻轉速率。
4. 綜合分析子題三~七可得知**潛艇口徑越大，其翻轉距離及翻轉速率會顯著增大;高度越大，其翻轉距離及翻轉速率會略為增大。**

(二)潛艇翻轉後的水平位移主要受到口徑、重量、【短斜邊÷長斜邊】比值的影響。

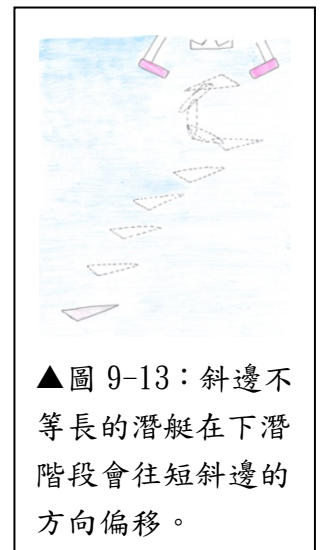
1. 綜合分析子題三~七可得知**潛艇的口徑越小、重量越重、【短斜邊÷長斜邊】比值越大(短/長斜邊的差距越小)，其翻轉後的水平位移範圍越小。**
2. 子題五，潛艇口徑固定，斜邊長及高度對翻轉後水平位移幾乎沒有影響。

(三)潛艇的平均下潛速率主要受到斜邊長、高度、口徑、重量的影響。

1. 綜合分析子題三~六可得知**潛艇的斜邊長越長、高度越大、口徑越小、重量越重，其下潛速率也越快。**
2. 子題七中，潛艇【短斜邊÷長斜邊】比值為何，對於潛艇的下潛速率幾乎沒有影響。

(四)潛艇的下潛水平位移主要受到斜邊長、高度、口徑、【短斜邊÷長斜邊】比值的影響。

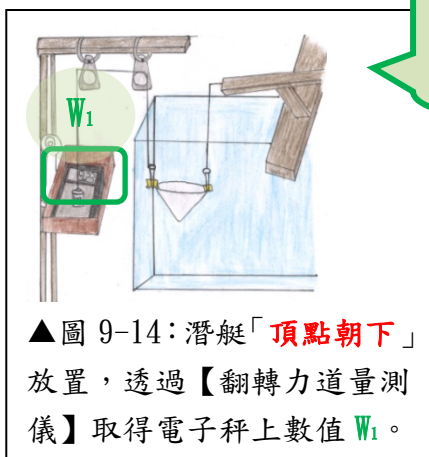
1. 綜合分析子題三~五可得知**潛艇的斜邊長越長、高度越大、口徑越小，其下潛水平位移範圍越小。**
2. 子題七中，**斜邊不等長的潛艇在下潛階段中，潛艇會固定往短斜邊的方向偏移(如圖 9-13);斜邊等長的潛艇則會隨機的往右或往左偏移。**
3. 潛艇【短斜邊÷長斜邊】比值越小(長短斜邊的長度差異越大)，下潛平移距離越大。但潛艇斜邊長 $1\text{cm}/5\text{cm}$ 除外，推測是因長斜邊過長，重心會大大偏向長斜邊處，導致其下潛平移距離變短。



▲圖 9-13：斜邊不等長的潛艇在下潛階段會往短斜邊的方向偏移。

四、利用潛艇「頂點朝上/朝下」而「有/無」翻轉現象的此特點來設計一款能測量潛艇『翻轉力道』的【翻轉力道量測儀】，其所量得的翻轉力道與子題三~五的結果相互呼應。

(一)在子題八中利用潛艇「頂點朝上/朝下」而「有/無」翻轉現象的此特點來設計一款能測量潛艇『翻轉力道』的儀器

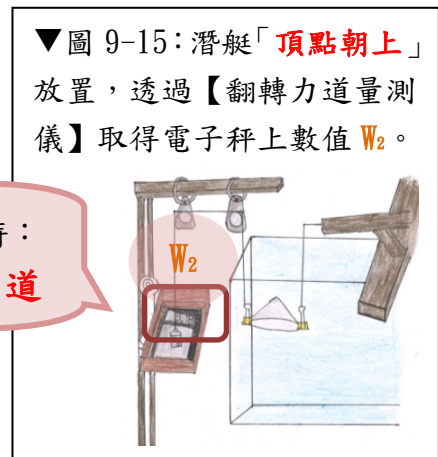


▲圖 9-14：潛艇「頂點朝下」放置，透過【翻轉力道量測儀】取得電子秤上數值 W_1 。

圓錐型潛艇的「頂點朝下」時：
 $10g - W_1 = \text{重力} + \text{浮力}$

圓錐型潛艇的「頂點朝上」時：
 $10g - W_2 = \text{重力} + \text{浮力} + \text{翻轉力道}$

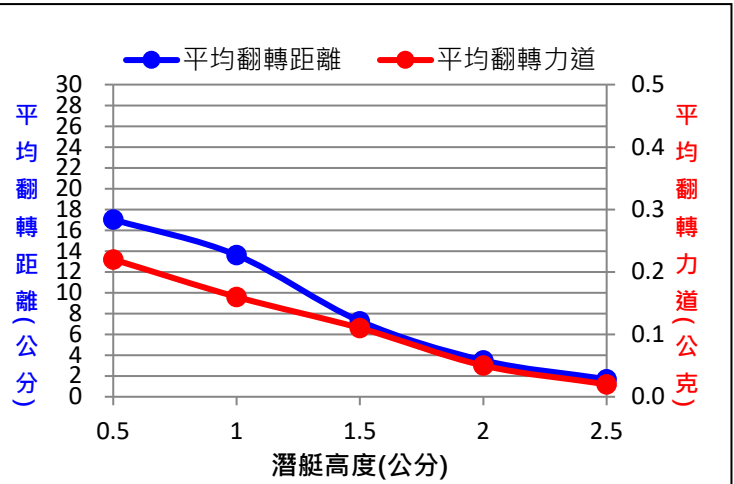
$$\begin{aligned} \text{翻轉力道} &= (10g - W_2) - (10g - W_1) \\ &= W_1 - W_2 \end{aligned}$$



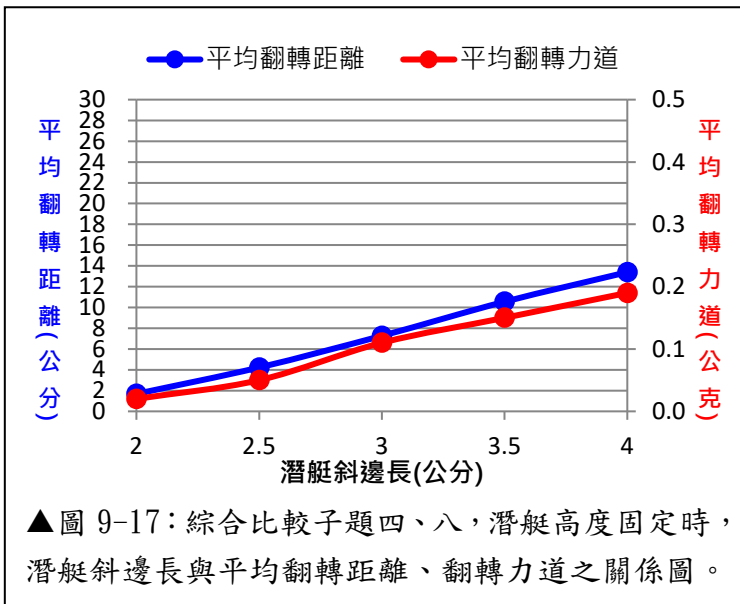
▼圖 9-15：潛艇「頂點朝上」放置，透過【翻轉力道量測儀】取得電子秤上數值 W_2 。

(二)交叉檢視子題三、四、五、八的實驗結果可發現，當潛艇翻轉力道大時，其翻轉階段的翻轉距離也會增加。(如圖 9-16~9-17)

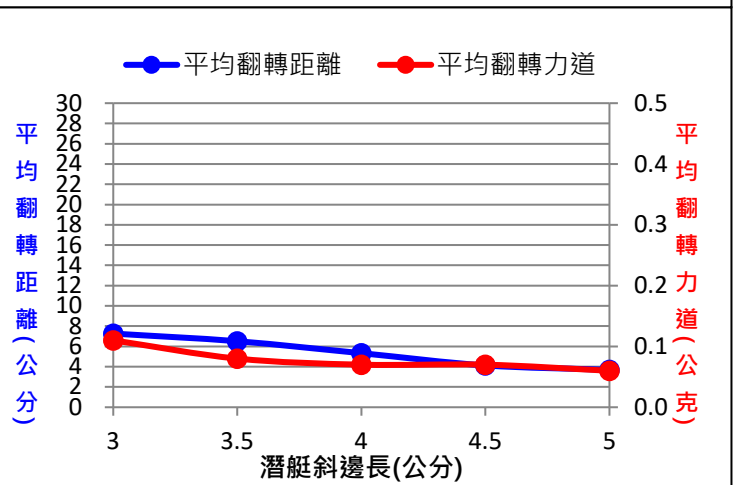
(三)承 2，使用【翻轉力道量測儀】依序量「斜邊長相同，不同高度」的潛艇、「高度相同，不同斜邊長」的潛艇、「口徑相同，不同高度」的潛艇，可發現影響翻轉力道的主要是潛艇口徑的大小，其次是潛艇的高度多寡。此發現與子題三~五的『影響翻轉距離的主要是潛艇口徑的大小，其次是潛艇的高度多寡』的發現不謀而合。(如圖 9-16~9-17)



▲圖 9-16：綜合比較子題三、八，潛艇斜邊長固定時，潛艇高度與平均翻轉距離、翻轉力道之關係圖。



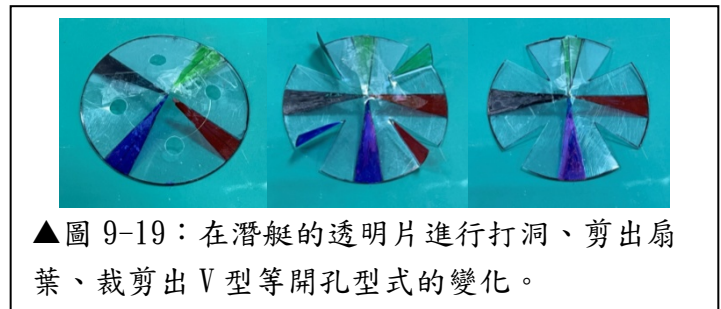
▲圖 9-17：綜合比較子題四、八，潛艇高度固定時，潛艇斜邊長與平均翻轉距離、翻轉力道之關係圖。



▲圖 9-18：綜合比較子題五、八，潛艇口徑固定時，潛艇斜邊長與平均翻轉距離、翻轉力道之關係圖。

五、在圓錐型潛艇上裁剪出 V 型、扇葉等變化，潛艇可在下潛過程中邊旋轉邊沉降!

(一)「圓錐型潛艇」在下潛階段時多以『左右搖擺』或『垂直』的姿態沉降至水箱底部。在子題九中，在潛艇的透明片進行打洞、剪出扇葉、裁剪出 V 型等開孔型式的變化時，只有「扇葉潛艇」及「深 V 潛艇」能在下潛時成功地邊旋轉邊沉降!其中「扇葉型潛艇」旋轉的圈數比「深 V 潛艇」旋轉的圈數多。



▲圖 9-19：在潛艇的透明片進行打洞、剪出扇葉、裁剪出 V 型等開孔型式的變化。

(二)子題九中得知，當圓錐型潛艇高度固定時，潛艇透明片上的扇葉數越多，旋轉的圈數也越多。

六、圓錐型潛艇的沉降特徵可依使用需求進行改變，並實際應用於生活中。

圓錐型潛艇在水中的沉降過程有「翻轉」及「下潛」兩階段，可改變潛艇的斜邊長、口徑、高度、重量、對稱性，依所需應用於水中撈物、水中探測等用途;亦可在潛艇內填裝液體(如水質改善劑)，加開扇葉，利用其水中螺旋沉降之特性將液體均勻發散在水中。

陸、參考資料

- 一、張之傑主編 (2013)。科學大家談。台北市：台灣商務。
- 二、全國第 50 屆科展國小組生物科作品~池塘裡的不倒翁。
- 三、全國第 52 屆科展國中組物理科作品~翻滾吧!蓮霧。

【評語】 080120

本作品觀察並探究圓錐型潛艇在水中沉降的各種現象，並且自創儀器量測圓錐型潛艇在水中的翻轉力道。實驗發現影響翻轉力道的主要是潛艇口徑的大小，其次是潛艇的高度。

本作品控制變因考慮得非常周全，現象觀察記錄得非常仔細，由於流體實驗非常難控制實驗的重覆性，造成本作品定題與科學嚴謹度有待加強，但是本作品尚能有部分定量的分析，實屬難能可貴。

尤其變因的選擇符合邏輯推論，充分契合探究本作品的錐形物沉降現象，達到客觀一致的實驗效果，是相當不錯的佳作。

作品簡報

中華民國第**61**屆中小學科學展覽會



國小組 物理科 作品編號：**080120**

「錐」根究柢

↓進行

文獻探究

實驗環境布置

↓設計

圓錐型潛艇

降落器

↓觀察

「圓錐型潛艇」沉降現象

←研發

↓進行實驗

改變高度
固定斜邊長

改變斜邊長
固定高度

改變斜邊長
固定口徑

改變重量

改變斜邊對稱性

改變開孔型式

↕驗證

「翻轉力道」測量

翻轉力道量測儀

↓進行

找出影響「圓錐型潛艇」水中沉降現象的各種因素

應用

無動力 水中自轉發散器



在潛艇內填裝水質改善劑，使液體均勻發散在水中。

綠能翻轉發電機



將潛艇翻轉力道轉換成綠色能源

無動力多功能 水中探測器



↓微型攝影機

潛艇上裝設微型攝影機，無動力在水中進行監測。

水中翻轉撈物器



↓水中圾拉

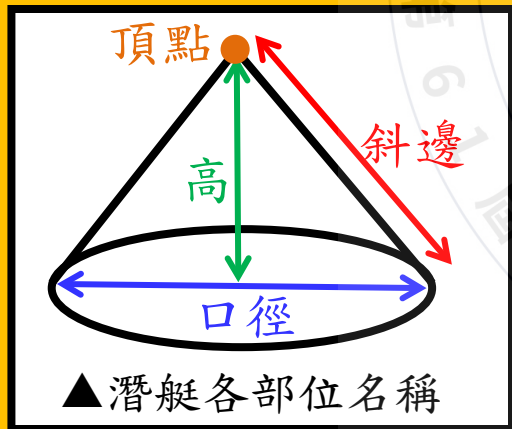
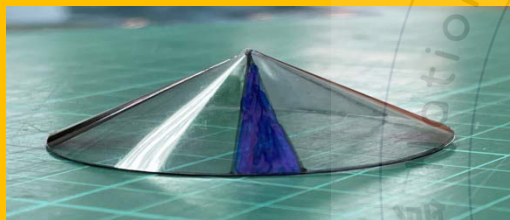
利用翻轉特性在水中打撈物品。

參考資料

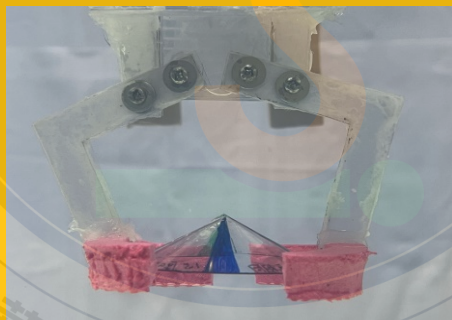
- ▶張之傑主編 (2013)。科學大家談。台北市：台灣商務。
- ▶全國第50屆科展國小組生物科作品~池塘裡的不倒翁。
- ▶全國第52屆科展國中組物理科作品~翻滾吧！蓮霧。

實驗一 圓錐型潛艇、降落器、實驗環境的設計

圓錐型潛艇 設計 & 命名



液壓手臂 降落器



▲操作液壓裝置控制
機械手臂的開闔

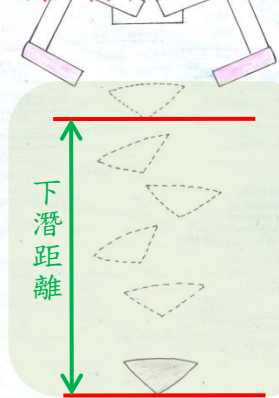
實驗環境



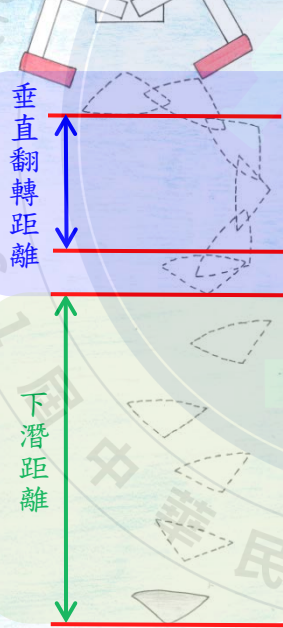
實驗二 觀察「圓錐型潛艇」在水中的**沉降現象** 並定義所量測數值之意涵。

潛艇 **頂點朝下/朝上** 沉降姿態不同

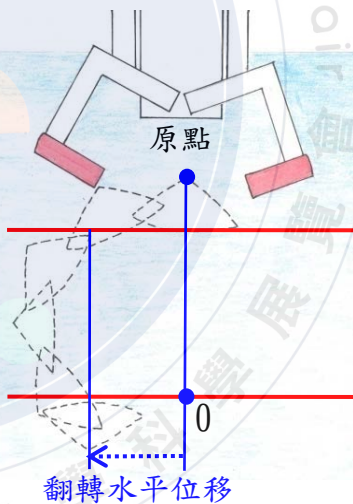
■ **頂點朝下**



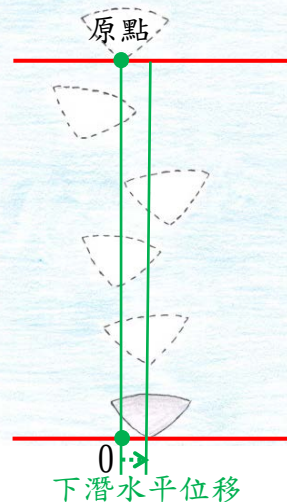
■ **頂點朝上**



量測數值之意涵



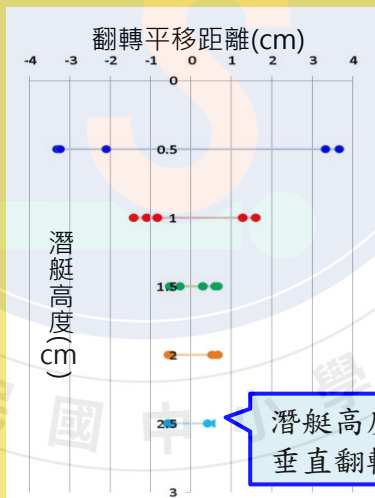
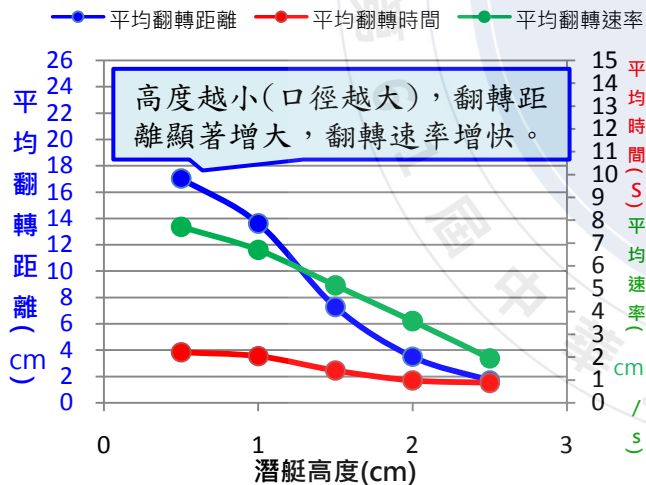
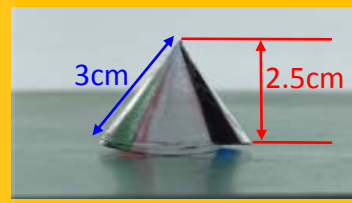
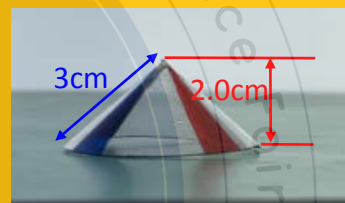
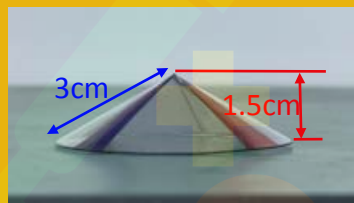
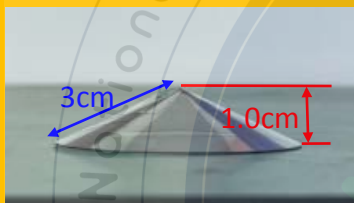
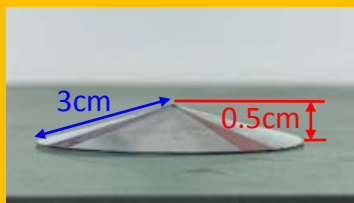
已完成垂直翻轉的潛艇



- ▶ 行徑路線像「？」-大問號！
- ▶ 本研究將對「問號」裡的奧秘追根究柢！

實驗三 潛艇斜邊長相同，高度/口徑不同時，將如何影響其在水中的沉降現象？

斜邊長固定為3cm，改變高度為0.5cm、1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm



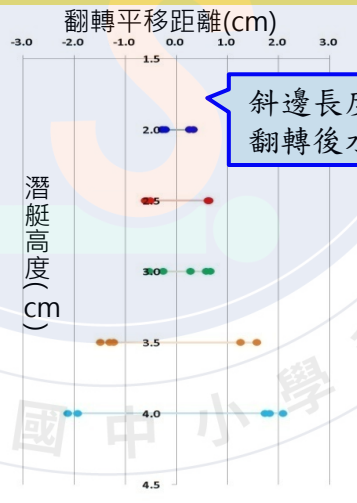
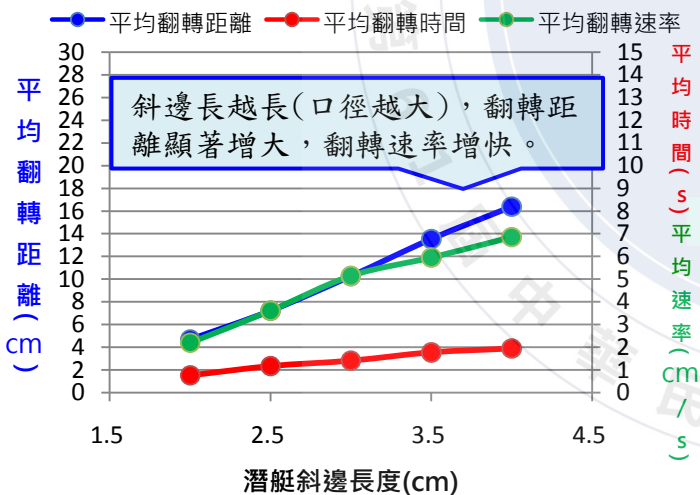
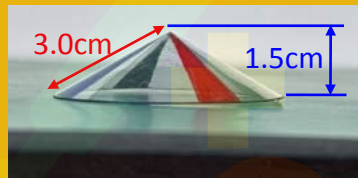
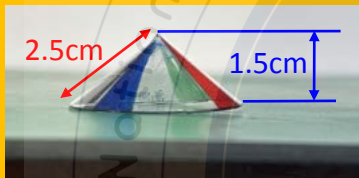
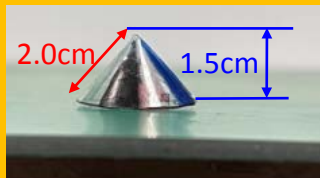
◎下潛階段

1. 潛艇高度越大(口徑越小)，下潛速率顯著增大。
2. 潛艇高度越大(口徑越小)，下潛至水箱底的水平位移不僅差異越小，且最接近原點。

潛艇高度越大(口徑越小)，垂直翻轉後水平位移差異越小。

實驗四 潛艇高度相同，斜邊長/口徑不同時，將如何影響其在水中的沉降現象？

高度固定為1.5cm，改變斜邊長為2.0cm、2.5cm、3.0cm、3.5cm、4.0cm



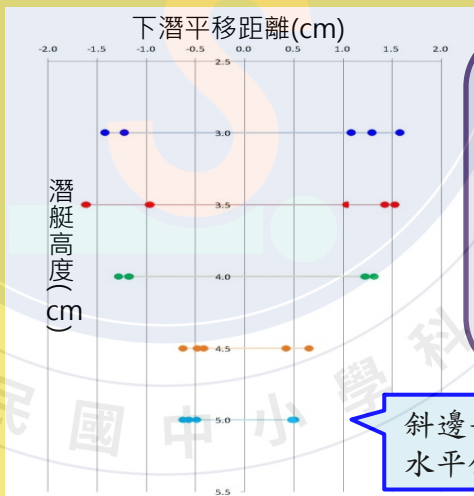
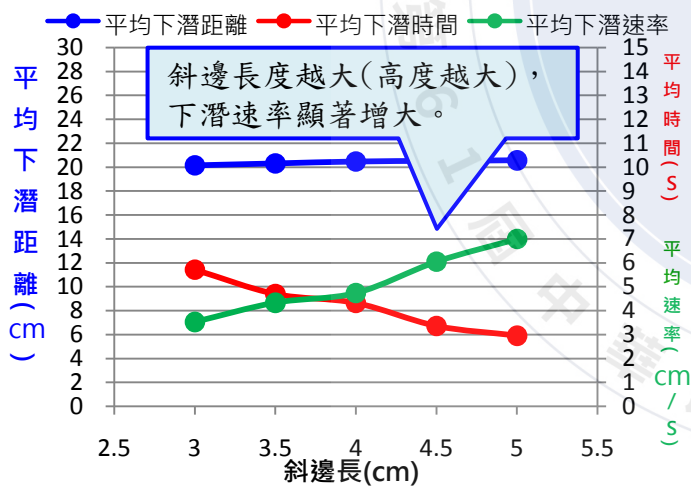
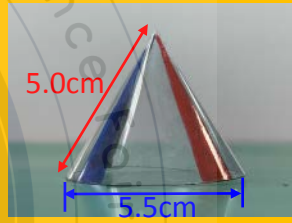
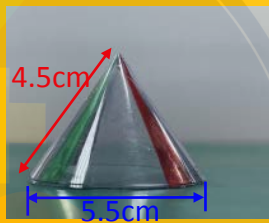
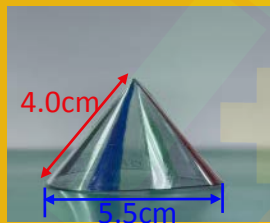
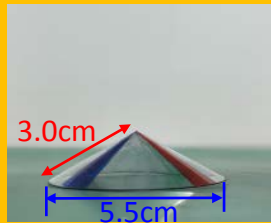
斜邊長度越小(口徑越小)，翻轉後水平位移差異越小。

◎ 下潛階段

1. 斜邊長度越大(口徑越大)，下潛速率顯著減慢。
2. 斜邊長度越小(口徑越小)，下潛至水箱底的水平位移不僅差異越小，且最接近原點。

實驗五 潛艇口徑相同，斜邊長/高度不同時，將如何影響其在水中的沉降現象？

口徑固定為5.5cm，改變斜邊長為3.0cm、3.5cm、4.0cm、4.5cm、5.0cm



◎翻轉階段

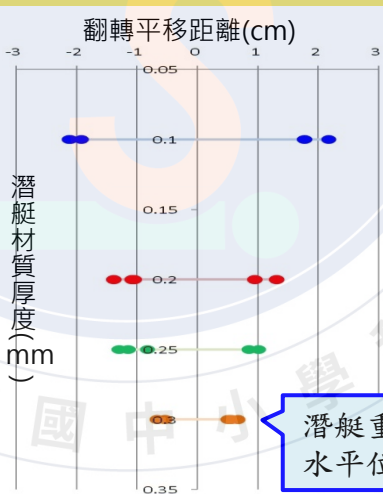
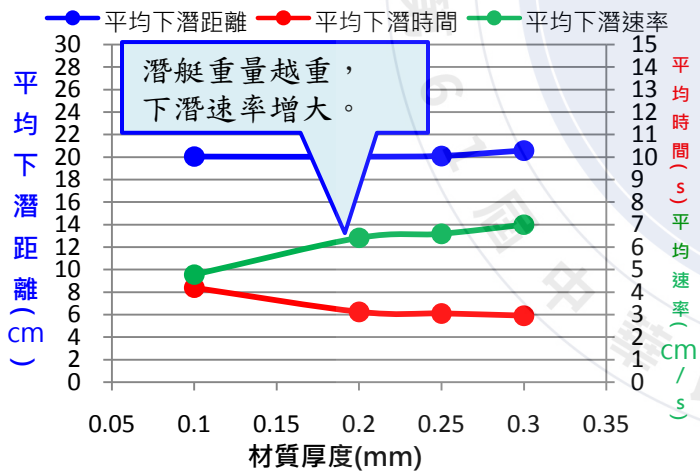
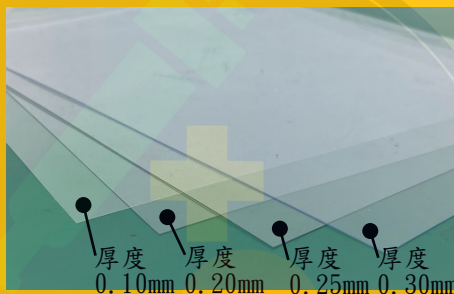
- 潛艇斜邊長度越大(高度越大)，翻轉距離、速率略為變小。
- 潛艇口徑固定，改變斜邊長度時，其垂直翻轉後的水平位移差異極為接近。

斜邊長度越大(高度越大)，下潛至水箱底的水平位移不僅差異越小，且最接近原點。

實驗六 潛艇口徑/斜邊長/高度相同,重量不同時,將如何影響其在水中的沉降現象?

■ 固定口徑 5.5cm
 ■ 固定斜邊長 5.0cm
 ■ 固定高度 4.3cm,

■ 改變製作潛艇的塑膠片厚度



◎翻轉階段

翻轉距離及翻轉水平位移幾乎不受重量的影響。

◎下潛階段

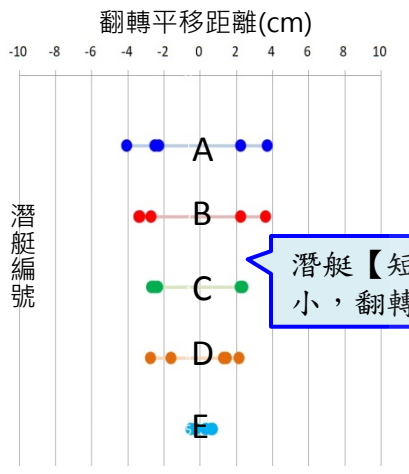
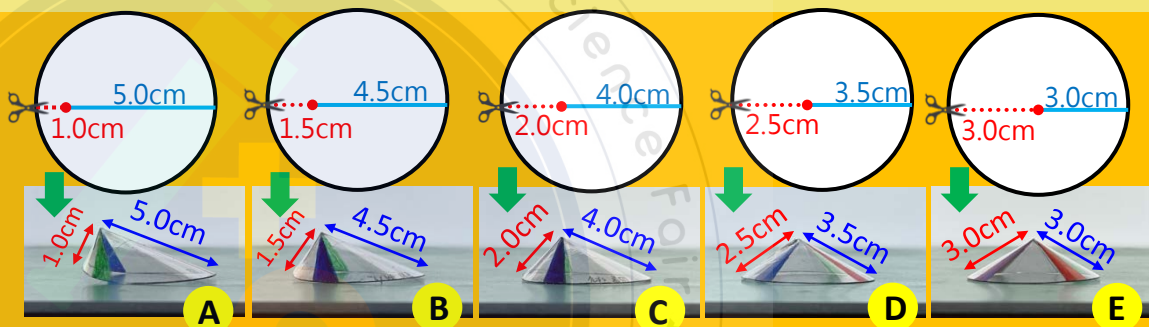
下潛水平位移情形幾乎不受重量的影響。

潛艇重量越重, 翻轉後的水平位移差異越小。

實驗七 潛艇斜邊不等長時， 將如何影響其在水中的沉降現象？

■ 固定高度1.5cm、口徑5.5cm
的4種「斜邊不等長」潛艇。

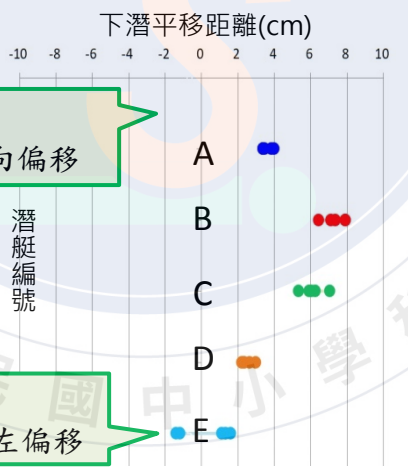
■ 另製作1個「斜邊等長」潛艇
作為實驗對照。



斜邊不等長潛艇A-D
固定往短斜邊的方向偏移

潛艇【短斜邊÷長斜邊】比值越
小，翻轉平移距離差異越大。

斜邊等長潛艇E
隨機的往右或往左偏移



◎翻轉階段

翻轉距離/時間/速率差異極小。

◎下潛階段

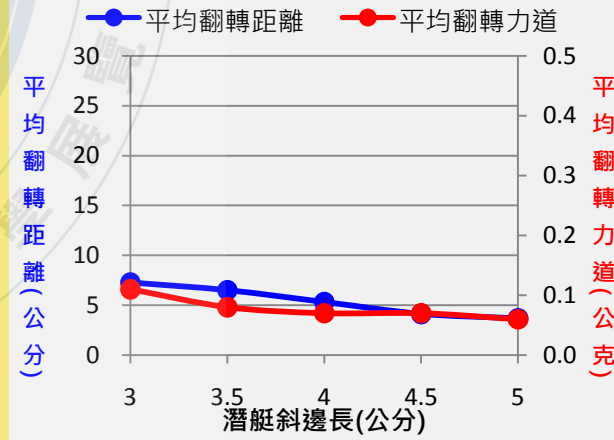
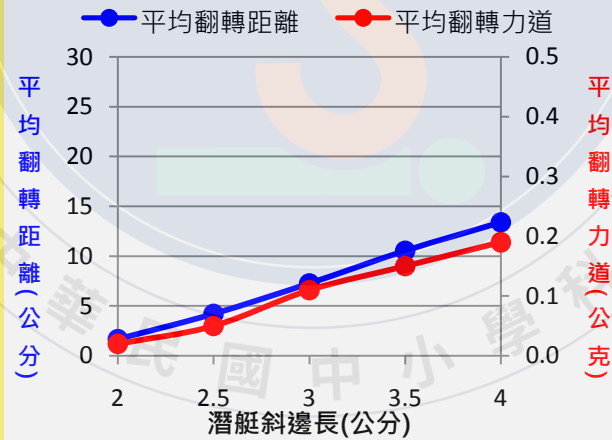
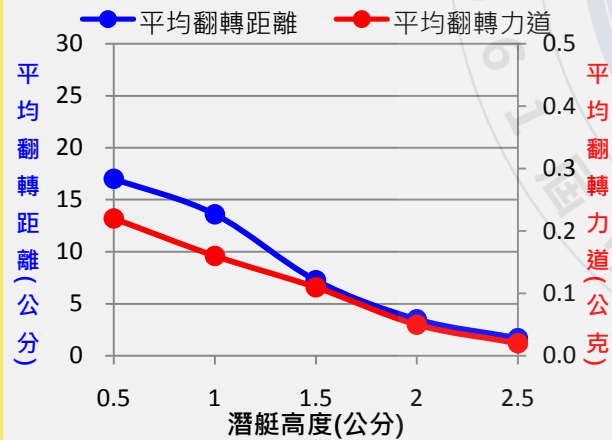
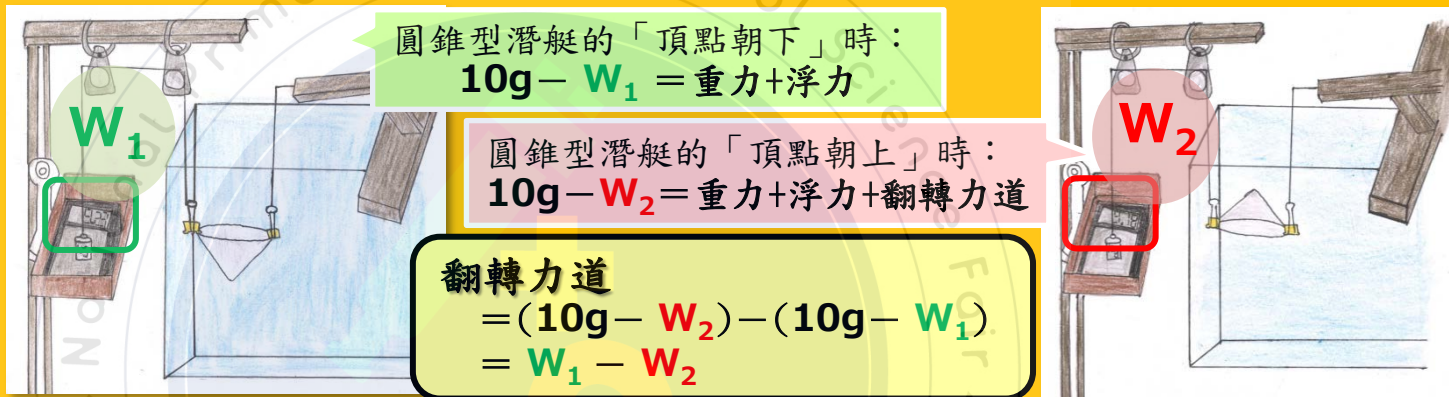
下潛距離/時間/速率幾乎相同。

實驗八 自創器材量測潛艇在水中的翻轉力道。

■ 利用潛艇

頂點朝下 → 無翻轉
頂點朝上 → 有翻轉

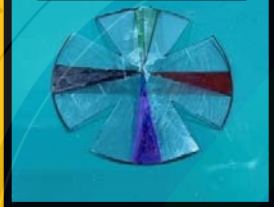
量測其在水中的
翻轉力道



實驗九 潛艇本體上開孔型式如何影響其下潛姿態?

開孔型式

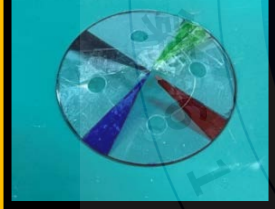
深V潛艇



傳統潛艇



洞洞潛艇



扇葉潛艇

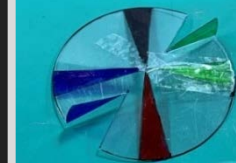


▶ 只有「扇葉潛艇」及「深V潛艇」能在下潛時成功地邊旋轉邊沉降!

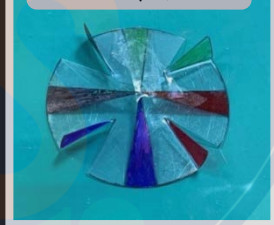
▶ 旋轉圈數：「扇葉潛艇」 > 「深V潛艇」

扇葉個數

2個



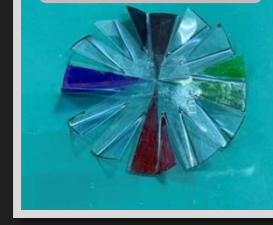
4個



8個



12個



▶ 潛艇透明片上的扇葉數越多，旋轉的圈數越多。



結論

1

研發「液壓手臂降落器」進行圓錐型潛艇的沉降實驗，以減少人為操作所造成的實驗誤差。

2

圓錐型潛艇以「頂點朝下」或「頂點朝上」的方式放置，其沉降至底部的姿態大不相同。

3

改變潛艇斜邊長/高度/口徑/重量/對稱性會影響其在水中的沉降現象。

4

利用潛艇「頂點朝上/朝下」而「有/無」翻轉現象特點設計【翻轉力道量測儀】，所量得的翻轉力道與子題三~五的結果相互呼應。

5

在潛艇上裁剪出V型、扇葉等變化，潛艇可在下潛過程中邊旋轉邊沉降！

6

圓錐型潛艇的沉降特徵可依使用需求進行改變，並實際應用於生活中。