

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

082802

潛水艇的潛水功能之設計與探討

學校名稱：花蓮縣花蓮市中華國民小學

| | |
|---|------------------|
| 作者： 小五 黃永承 小五 潘哲安 小五 艾靖傑 小五 莊詠喆 | 指導老師： 楊淳翔 |
|---|------------------|

關鍵詞：潛水艇、沉浮裝置、密度操控

作品名稱：潛水艇的潛水功能之設計與探討

摘要

國造潛水艇正緊鑼密鼓的進行中，我們藉由很多國家的協助才有辦法建造，我們想透過實作來了解潛水艇設計上的困難。我們的目標就是想做出一台可以透過遙控的方式，讓潛水艇可以從水面潛到水面下，再從水底浮出水面的裝置。經過文獻查找，這是利用改變機器的密度來控制的，其中有分成改變重量或改變體積。當決定方向後，從選用適當的外盒，一直到實驗過程中發現有一些一開始我們沒有想到的問題。在改變密度的過程中，有彈性的容器很容易因為操作的方式改變了它的體積，變成很難操控它的密度。最後，我們還是成功的製作出可以透過遙控而讓機器沉與浮的裝置。藉由這次的體驗，更進一步的了解到為什麼做一台潛水艇是一件難度很高的事情。

壹、 研究動機

最近國家正在如火如荼的設計潛水艇並製造出來，常提到需要很多複雜的技術而需要很多國家的支援。我們開始越來越好奇它是如何控制浮出海面和潛進海裡的。潛水艇是我們平常看不到的機器，而且它多半時間都躲在水裡，對於它的機器運作原理我們也不太清楚。潛水艇最重要的功能就是潛進水裡面躲起來，必要時再浮出水面，這讓我們回想到三年級下學期的自然內容，在有關於水的浮力的單元。

我們想探討一些有關潛水艇在設計上需要的知識與技術，透過實作來了解它在設計上的困難。

貳、 研究目的

我們想透過目前所學的知識，試著去製作一台可以潛入水裡跟浮出水面的機器，進一步了解一艘潛水艇在設計上會遇到的困難。由於是第一次製作，我們想聚焦在潛水艇最重要的功能，那就是潛入水裡跟浮出水面的功能。

根據我們在三年級的自然課中，體驗過水中的物體在不進水的情況下，只要增加重量就可以沉下去，減輕重量就可以浮出水面。為了要讓潛水艇在我們的操控下達到潛進水裡和浮出水面，潛水艇必須可以在我們的控制下自己增加或減少重量，而不是透過我們額外增加物體讓它潛入水裡。

因此我們預計這次的研究中，做出一台可以透過手機用藍牙控制的潛水艇，並且讓它可以在水裡自行浮出水面與潛入水裡。

參、研究設備及器材

設備：電子秤、電腦、大型置物箱、創想 CR8 3D 列印機、量筒 500mL、簽字筆、熱熔膠槍、焊槍、有藍芽功能的智慧型手機

材料：天廚長型保鮮盒 218X154X56mm、天廚長型保鮮盒 260X182X102mm、3D 列印材料 PETG 1.75mm、長螺絲 M3 180mm、長螺絲 M3 150mm、螺帽 M3、船型螺帽、電線、18650 兩串電池盒、170 孔麵包板、Arduino Nano V3、藍芽模組 HC-05、5V 繼電器兩個、杜邦接頭、熱縮套、減速馬達 ZGA2560RPM、聯軸器 M4 轉 M3、塑膠束帶、矽膠管 3mm X 5mm、T 型接頭 3mm、鉛塊 1 公斤、鉛塊 3 公斤、碎石頭、1 號夾鏈袋、熱熔膠、針筒 20mL、針筒 60mL。

肆、 研究過程或方法

一、 文獻回顧

潛水艇的種類有很多種，用途也都不大一樣。有的是研究用的，有的是軍事用途，設計潛水能力的目的也不同；但是它們都有一個共通的特點，那就是可以潛入水面下跟浮出水面。第一台潛水艇竟然是使用人力去驅動讓它可以前進的，到了 1863 年第一艘非人力驅動的潛艇才被實現。讓我們特別注意到的潛水艇是在 1898 年建造出來的一角鯨號，它的外殼是雙層的，船殼之間可以儲存水，這樣的設計可以增加浮力。這說明了早期的潛水艇就已經是透過外面的水來讓潛艇變重而下沉。在中華民國第四十五屆中小學科學展覽會的作品-海底蛟龍進一步提到潛水艇會有一個特殊的空間可以用來調節浮力，如果

充滿空氣，會讓潛艇上浮，充滿水時潛艇的重量會超過浮力而潛入水裡。

物體在水中，因為水的上下壓力不同，會讓物體受到一個向上的力，我們稱之為浮力；浮力的大小會等於物體排開的水的重量。如果物體的重量大於浮力，就會下沉；如果物體的重量小於浮力，就會上浮。水的密度(重量/體積)是水的重量除以體積，物體的密度是物體的重量除以體積；所以只要在物體裡面保存大量密度比水還小的物質就會有機會浮起來，或是浮在水面的物體塞入密度比水來大的物質就會有機會沉下去。根據潛水艇的原理，就是在潛水艇裡面的空間加水，就會增加潛水艇的密度，就可以下沉，反之就是浮出水面。

三年級時，課本上面寫把物體放進水裡時，物體會受到一個向上的力，稱為水的浮力。在水中佔有體積越大，黏土船就可以載運越多的彈珠。於是老師讓我們作一個實驗，把膠泥做成各種形狀，然後放進水裡，看哪一些形狀會浮在水面上、哪一些形狀會沉入水底，結果我們得知船型、碗狀或容器形狀的膠泥會浮在水面上。接下來老師又讓我們比賽，每一組要做一艘膠泥船，然後老師會到每一組去放彈珠，看哪一組能載的彈珠最多，就獲勝了。

為了要讓潛水艇在我們的操控下達到潛進水裡和浮出水面的功能，潛水艇必須可以自己增加或減少重量。依據質量守恆，潛水艇沒辦法自己無緣無故增加重量，又根據前人的研究以及現在潛水艇的控制方式，不外乎就是把外面的水吸進來。而水裡面最多的就是水，所以在潛水艇的設計上，我們仍然是靠把水吸進潛水艇裡面來達到潛水的功效。

二、實驗過程總覽

我們一開始進行實驗前，使用曼陀羅法找出我們對於可能可以讓潛水艇控制沉浮的關鍵要素(如圖一)。

其實我們都沒做過有外殼的機器，更不用說在水裡面持續運作的機器，第一個想到的就是防水、密封功能的容器。原本是想用在 Tinkercad 設計機殼然後 3D 列印出來直接使用，可是老師認為第一次製作機器，要用透明外殼，比較好方便觀察裡面的狀況，所以我們使用五金行比較好進行加工而且具有密封特性的容器-保鮮盒。再來根據計畫，我

們先將買來的保鮮盒加重物，觀察它需要被額外加裝多少重量才可以超過浮力而沉進水裡。

在回顧文獻的過程中，發現如果要讓無線沉浮裝置沉入水裡或浮出水面，需要控制它的密度。而以沉入水中的過程，需要增加盒子的總重量或是減少它的排水體積。以浮出水面的過程，需要減少盒子的總重量或是增加它的排水體積。控制體積的方式有兩種，在機器外加裝可以打氣或洩氣的氣球，但是目前我們不容易買到微型的氣體壓縮機；另一種方式則是為保鮮盒做一個伸縮機構，但是在空氣與水中的活動零件要做到可以防水，真的有很大的困難度。再來最後的方案是控制重量，我們只能從外面把物體傳送進機器裡面增加或減少重量，而在水中環境就是水最容易控制，所以我們選用針筒控制水來設計這個機器。

| | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| 1.使用具有密封效果的保鮮盒。 | 2.找出讓保鮮盒重量接近浮力的範圍。 | 3.設計出可以吸水跟排水的裝置。 |
| 8.找出最佳的重量，讓沉浮控制裝置可以充分吸水及排水。 | 潛水艇潛水功能 | 4.吸水的量要越大越好。 |
| 7.浮出水面的能力要讓潛水艇可以自己從水底浮起來。 | 6.潛水的能力要讓潛水艇整台潛進水裡。 | 5.這個吸水控制裝置要可以被遙控。 |

圖一、針對潛水艇潛水及浮出水面控制裝置進行的曼陀羅分析結果。

當確定保鮮盒的浮力大小之後，再來是製作出在盒子裡面可以進行吸水的裝置，並且透過手機來進行遙控，期望以後潛艇可以在沒有線路連接的情況下來操控它。此外，我

們預測水裡的摩擦力可能會讓潛水的重量與上浮的重量會有一段差距，所以設計出來的沉浮控制裝置可以吸納的水量要越大越好，同時也可以照顧到機器及壓艙石重量的誤差。再來就是找出壓艙石的最佳重量，讓停滯在水中的水量範圍剛好落在沉浮控制裝置水量的中間，以提高沉浮裝置的控制能力。再來我們想要推估這個沉浮控制裝置大約可以載運多少重量的貨物以及這個裝置是否可以在海水裡面使用。

所以我們接下來的實驗中，會依序探討以下問題：

1. 全密封的保鮮盒的浮力為多少？
2. 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒重量的控制效果？
3. 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒潛水的效果？
4. 通氣式保鮮盒的浮力為多少？
5. 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒潛水的效果？
6. 無線沉浮控制裝置對保鮮盒潛水控制的效果？
7. 對於貨物乘載量的估算方式？
8. 對於進入海水之後沉浮裝置的效果估算？

三、實驗一：全密封的保鮮盒的浮力測試：

(一) 目的：

如果物體的重量大於浮力，就會下沉；如果物體的重量小於浮力，就會上浮。為了讓裝置在比較輕鬆的狀態下控制沉浮，所以我們得先把裝置的重量控制在接近浮力的範圍。

(二) 實驗操作方式：

1. 我們分成兩種保鮮盒，分別是小保鮮盒(天廚長型保鮮盒 218 X 154 X 56mm)、大保鮮盒(天廚長型保鮮盒 260 X 182 X 102mm)。
2. 首先測量空盒重量、把空盒子加滿水的總重量、小石頭裝滿的總重量。
3. 把裝滿石頭的保鮮盒放進水裡。先把保鮮盒停留在水面下，盒頂平貼著水面，再輕輕放開雙手，觀察是否仍會沉入水裡。

4. 在保鮮盒可以沉到水裡的前提下，慢慢地移出裡面的石頭。每移出約 5 公克再確認是否仍會沉入水中。
5. 紀錄最後不再沉下去的重量三次，並求出平均值。

四、實驗二：手動式沉浮控制裝置對保鮮盒重量的控制效果：

(一) 目的：

利用六年級下學期流體傳送動力的實驗，選擇用注射針筒把水打入保鮮盒內的注射針筒，以增加保鮮盒的重量。確認這樣的操作是否真的可以增加保鮮盒的總重量。

(二) 觀察及提問：

藉由兩個針筒互相用矽膠管連接的情況下，可以從第一個針筒的按壓而把液體壓到另一個針筒上。在保鮮盒密封的情況下，是否仍然可以壓進保鮮盒裡的針筒之中。

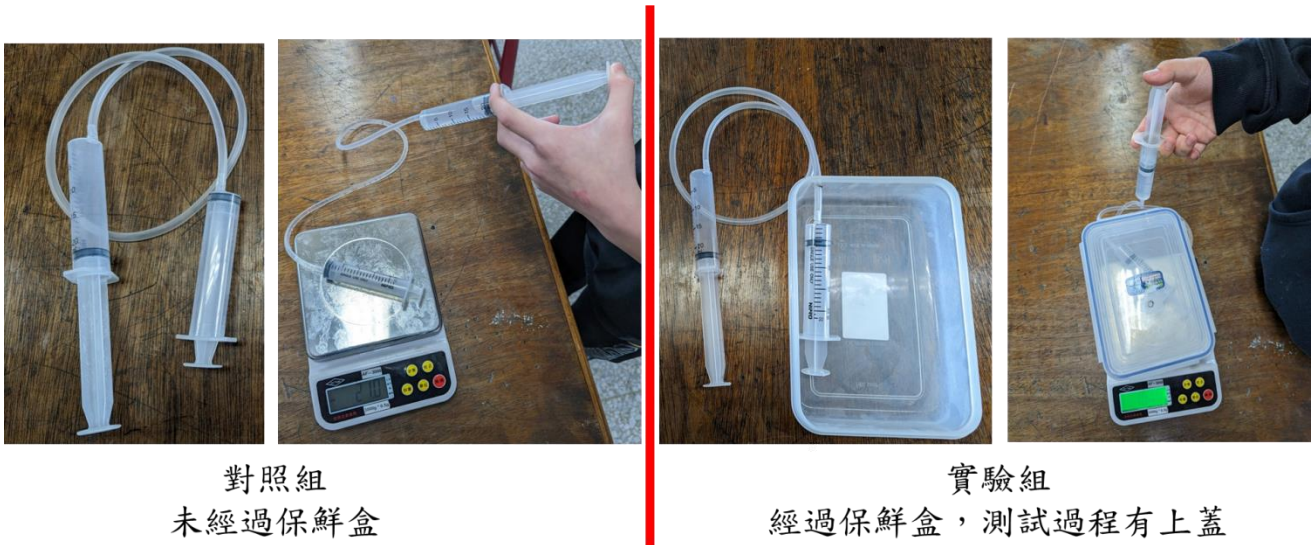
(三) 假設：

在保鮮盒密封的情況下，仍然可以透過另一個注射針筒把液體傳到保鮮盒裡面。

(四) 設計：

1. 操縱變因：其中一個針筒有沒有在保鮮盒裡面。
2. 實驗組為其中一個針筒放在保鮮盒內。對照組為沒有裝在保鮮盒內。
3. 實驗操作方式：
 - (1) 準備兩個 20mL 針筒。兩段 40cm 的矽膠管。
 - (2) 在保鮮盒側邊鑽一個 5mm 的小洞。其中一條矽膠管穿過保鮮盒，並用熱溶膠黏合。
 - (3) 實驗組：兩個針筒分別接上穿過保鮮盒的矽膠管兩端，一個放在保鮮盒外，一個放在保鮮盒內，保鮮盒外的針筒裝 20mL 水，保鮮盒內的針筒完全擠壓。每按壓 5mL 的水進入保鮮盒內的針筒，紀錄重量變化。
 - (4) 對照組：兩個針筒分別接上沒有經過保鮮盒的矽膠管兩端，其中一端針筒裝

20mL 水，另一端完全擠壓。每按壓 5mL 的水進入保鮮盒內的針筒，紀錄重量變化。並進行比較(圖二)。



圖二、測試全密封沉浮控制裝置的重量控制效果之裝置。

五、實驗三：手動式沉浮控制裝置對保鮮盒沉浮的控制效果：

(一) 目的：

確認保鮮盒重量加石頭調整到接近浮力時，是否可以透過針筒的手動抽壓的情況下，調整沉浮狀態，以確定裝配無線沉浮控制裝置下可以讓保鮮盒作出沉浮的反應。



圖三、手動式沉浮控制裝置對保鮮盒沉浮的控制測試狀況。

(二) 觀察方法：

1. 先將實驗二的保鮮盒放入石頭，直到接近沉浮重量偏向微漂浮狀態，並放入水槽中(圖三)。

2. 保鮮盒內的針筒不裝水也不裝氣體。
3. 保鮮盒外的針筒裝滿水。
4. 把保鮮盒外的針筒的水漸漸打入保鮮盒內的針筒。
5. 一直到保鮮盒沉沒後，紀錄打入的水量。

六、實驗四：封閉式保鮮盒浮力穩定性測試與通氣式保鮮盒的浮力測試

(一) 目的：

在製作無線沉浮控制裝置之前，需要一個浮力穩定的裝置外殼。解決這個問題才能完整的估計無線沉浮裝置的設計需求。

(二) 觀察及提問：

在進行實驗三的過程中，發現在這個實驗進行時，打入液體讓沉浮裝置潛入水中的實驗結果不如預期的想法，需要打入超過估算值的重量(超過約 15mL)。後來把保鮮盒拿出水面觀察，發現打入液體時，保鮮盒的上蓋會跟著膨脹。於是我們猜想，水被打入保鮮盒時，這些水佔有的體積也會讓保鮮盒上蓋凸起，同時也增加了保鮮盒的體積，浮力也就跟著增加了。如果我們幫它增加一個通氣孔，讓它排掉多餘的壓力，應該就可以讓它的浮力變得有規律。

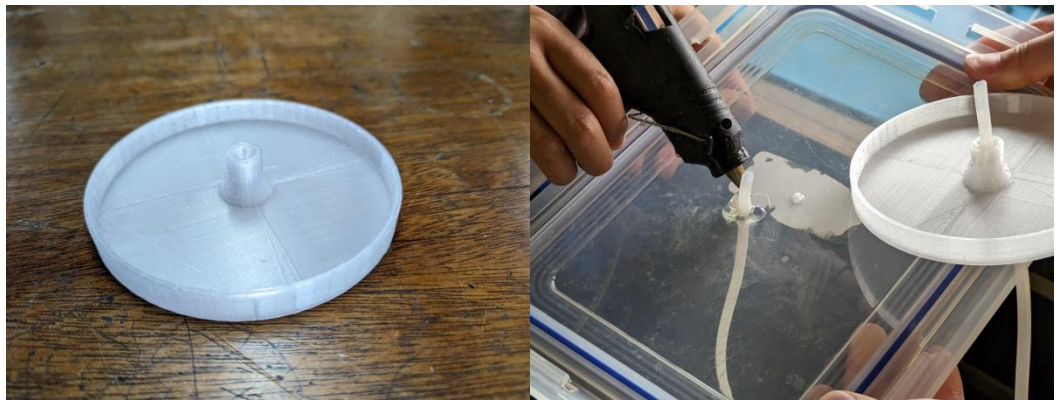
(三) 假設：

經過通氣設計的採用，沉浮裝置的保鮮盒浮力變得有規律。

(四) 設計：

1. 裝置設計：

- (1) 在保鮮盒上蓋鑽一個 5mm 的孔洞，連接 3 X 5mm 的矽膠管，除了用束帶固定以外，並用熱熔膠進行封合。
- (2) 在矽膠管的另一端加裝一個浮船，確保通氣孔一直在水面上(圖四)。



圖四、給沉浮控制裝置通氣用的浮船。

| | 未壓縮封蓋 | 壓縮封蓋 |
|-----|---|---|
| 封閉式 |  |  |
| 通氣式 |  |  |

圖五、封閉式保鮮盒浮力穩定性測試與通氣式保鮮盒的浮力測試外觀圖。

2. 實驗操作方式：

- (1) 密閉式的沉浮裝置保鮮盒負壓狀態的浮力測試，在封蓋的時候故意往內擠壓再封上，讓保鮮盒內呈現微負壓。並測量它的浮力(圖五)。
- (2) 密閉式的沉浮裝置保鮮盒正常壓力狀態的浮力測試，在封蓋的時候以不擠壓到上蓋的方式扣好，並測量它的浮力。
- (3) 通氣式的沉浮裝置保鮮盒擠壓封蓋測試，在封蓋時故意往內擠壓再封上，並測量它的浮力。
- (4) 通氣式的沉浮裝置保鮮盒不擠壓的封蓋測試，在封蓋時以不擠壓的方式把上蓋扣上，並測量它的浮力。
- (5) 針對這四種數據進行探討。

七、實驗五：手動式沉浮控制裝置對通氣式保鮮盒的潛水效果

(一) 目的：

在加裝無線沉浮控制裝置之前，需要再確認一次手動式操控浮力是否可以正常運作。並且預估該裝置需要的重量範圍，以減少事後還要一直微調的麻煩。

(二) 觀察及提問：

經過通氣式的改裝之後，是否已經提高了沉浮控制的效果跟穩定？

(三) 實驗操作方式：

1. 在矽膠管的兩端加上注射針筒，保鮮盒內的針筒擠壓到底，保鮮盒外的針筒裝滿水 20mL。
2. 把實驗四的通氣式沉浮裝置放入石頭，讓沉浮裝置的重量接近浮力，並且保持輕微漂浮(短少 5 公克)。
3. 把水打入保鮮盒內針筒中，直到沉浮裝置沉沒，紀錄打入的水量。

八、實驗六：無線沉浮控制裝置的設計、製作與測試

(一) 目的：

在製作潛水艇之前，我們想要先打造可以達到沉浮效果的無線沉浮控制裝置，並且測試效能。作為接下來打造各種沉浮裝置的基礎技術與知識。

(二) 裝置設計：

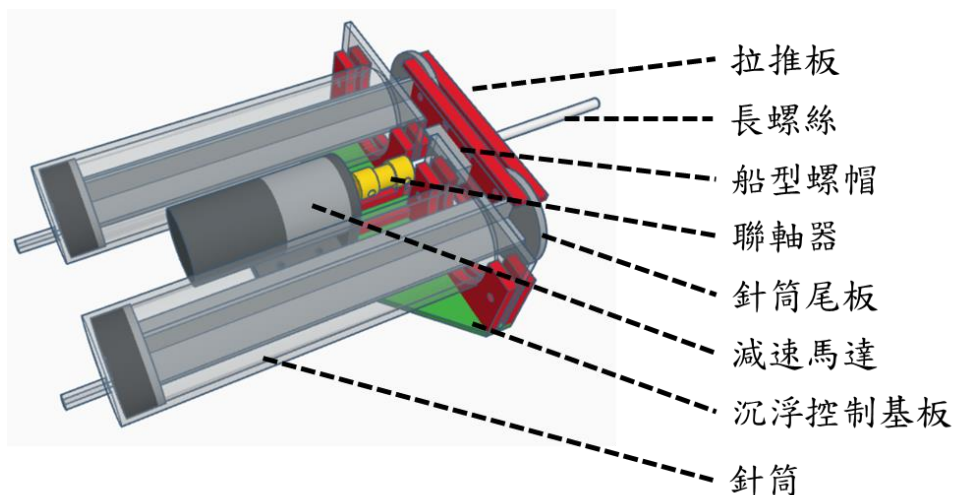
在實驗五發現小保鮮盒太過狹小，透過 Tinkercad 測試擺放方式，發現放入無線沉浮控制裝置之後就很難在保鮮盒裡面放重物加重了。所以我們作了很大的改進，包括裝置體積放大，注射針筒 60mL 變成兩支、增加重量的石頭改用鉛塊。所以沿用原本的沉浮控制裝置的裝設原理以外，改用 260 X 182 X 102 mm 的大型保鮮盒、使用將近三公克的鉛塊再加少量石頭微調、試著設計出兩管式 60mL 針筒的無線控制裝置。

動力部分，使用兩個串聯式 18650 鋰電池電源，採用 ZGA25 60RPM 的減速馬達，並且使用 Arduino Nano 連接藍芽模組進行控制。

(三) 設計：

1. 針筒控制含動力模組設計：

- (1) 先用 Tinkercad 繪製各種我們會用到的零件。
- (2) 透過 Tinkercad 的模擬來進行針筒控制模組的組裝，確認其可行性(圖六)。



圖六、針筒控制含動力模組設計之 Tinkercad 模擬圖。

2. 沉浮控制裝置總配置的組裝過程：

- (1) 使用斜口鉗把針筒拉尾剪去 2 X 10mm，這是為了要扣上拉推板用的。



(2) 在針筒的尾板鑽洞，用來接下來要跟拉推板固定在一起。



(3) 在推拉板上鑽孔，用來固定針筒尾板用。



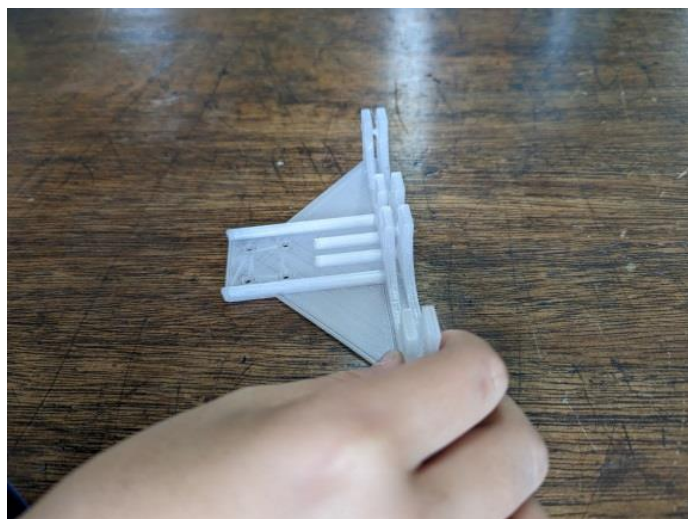
(4) 針筒尾板扣在推拉板上，並且用螺絲進行固定。



- (5) 用塑膠束帶把船型螺帽固定住。我們將利用固定在推拉板上的船型螺帽上的螺紋，讓旋轉的長型螺絲把它依照我們控制的方向移動。



- (6) 拿出列印好的沉浮控制基板。



- (7) 把鎖好聯軸器的減速馬達用束帶綁在沉浮控制基板上。



- (8) 用學生鋸弓把超過保鮮盒的的螺絲裁短。原 60mL 的注射針筒只能移動 50mL。



- (9) 把長型螺絲鎖定在聯軸器上。



(10)用塑膠束帶把針筒固定在沉浮控制基板。



(11)把 3 X 5 mm 矽膠管套在針筒上。僅留 3 cm 在針筒上。



(12)裝上 T 形接頭把針筒連接起來。



(13)在保鮮盒壁上鑽約 5mm 小孔，把矽膠管穿過去。並用熱熔膠進行黏合。



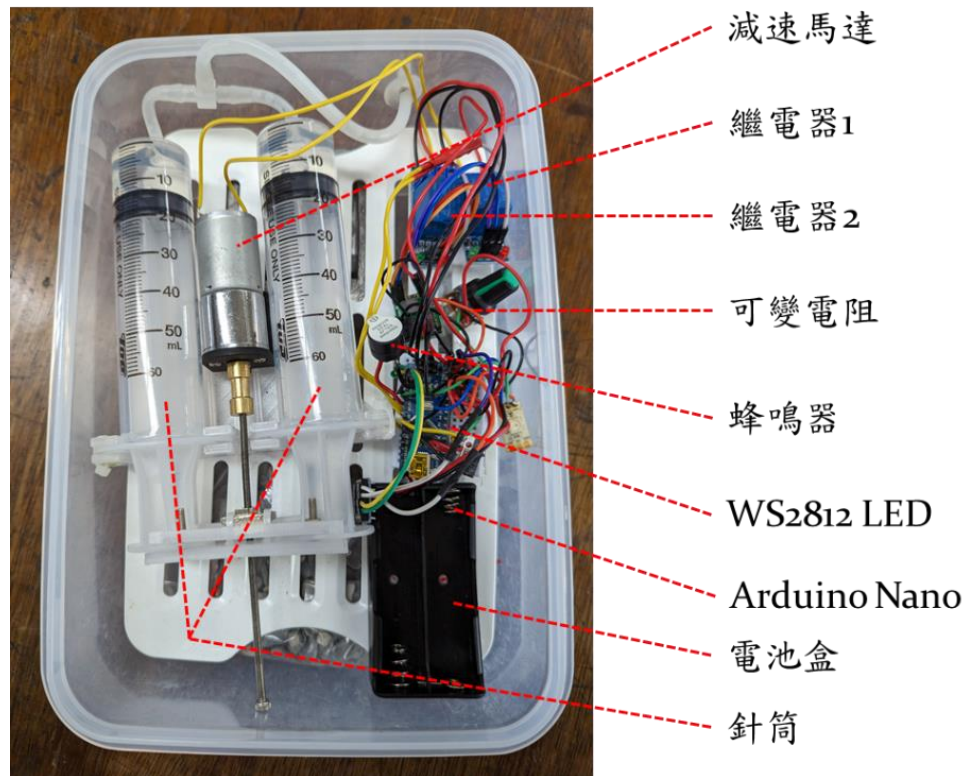
(14)把鉛塊及石頭放入潛水艇底部，並且使用熱熔膠把它黏起來。



(15)把無線沉浮裝置放入水中，確定沒有漏水之後，再裝上電池。按下 APP 的前進，無線沉浮裝置會開始透過針筒把水吸進保鮮盒內的針筒中。按倒退則會把保鮮盒內的水擠出去。



(16) 整個無線沉浮裝置內部配置。



3. 程式：

(1) 我們使用蔡佳倫老師設計的 bDesigner 平台的 C Blockly 模組進行程式的設計。

(2) 程式碼設計：

A. 手機的 APP 直接使用 Google Play 的 Bluetooth RC Controller。無線沉浮控制裝置預計要透過藍芽接收資料，機器分成三種模式：1, 0, -1，分別為上浮、暫停、下潛。連動的藍芽訊息分別是字元 F、B、S。接收到 F 就會啟動潛水，時間為可變電阻類比讀取值的 10 倍作為機器每次接收到訊號的動作時間，目前都是設定 1000 毫秒。

B. 程式積木如下：

(a) 先設定三個變數：StopCall、Modle、A0Read，分別用途是管制暫停模式的蜂鳴器叫聲，運作一開始會把 StopCall 轉成 1，運作轉回暫停時，蜂鳴器叫聲才會被啟動一次，啟動完會把 StopCall 轉回 0；Modle 為運

作模式設定，用來管制機器的潛水、上浮、暫停；A0Read 為讀取 A0 的類比值之後，把它轉換成每次動作的間隔時間長度。

- (b) 機器剛上電之後，會先跑啟動區，讓 WS2812 的燈啟動，並呈現藍色。然後暫停 100 毫秒。再來就進入無限循環區域。
- (c) 無限循環中，先讀取放在 A0 腳位的可變電阻的類比值並且乘以 10 以後就儲存在變數 A0Read 中，範圍會是 0-10240。再來是進到 logic 的函數中。
- (d) 先讀取序列埠確認是否有訊息，有的話就把字元訊息儲存在 Word 變數中。如果 Word 為 F，則 Modle 設定為-1；如果為 B，就設定為 1；如果為 S，就設定為 0。
- (e) 當 Modle 為-1，就啟動 down 函式，down 函式是先把 StopCall 設定為 1，WS2812 的燈換成藍燈，數位腳 4 設定為 1、數位腳 5 設定為 0，以此打開第一個繼電器，關閉第二個繼電器，針筒往後推 1 秒，並把 Modle 設為 0。
- (f) 當 Modle 為 1，就啟動 up 函式，up 函式是先把 StopCall 設定為 1，WS2812 的燈換成綠燈，數位腳 4 設定為 0、數位腳 5 設定為 1，以此打開第二個繼電器，關閉第一個繼電器，針筒往前推 1 秒，並把 Modle 設為 0。
- (g) 當 Modle 為 0，就啟動 stop 函式，stop 函式是先進行 WS2812 的燈換成紅燈，數位腳 4 設定為 0、數位腳 5 設定為 0，以此關閉所有的繼電器，針筒剎車。如果 StopCall 等於 1，蜂鳴器會叫，然後停下來後便把 StopCall 設定為 0。

```

    宣告 int 變數 StopCall 為 0
    宣告 int 變數 Modle 為 0
    宣告 int 變數 A0Read 為 0
    啟動
    設定WS2812的腳位為 2 層泡數量為 1
    設定WS2812的亮度為 50
    WS2812顏色設定 LED 0 紅色 0 綠色 0 藍色 255
    顯示WS2812所有的燈
    延遲 100 毫秒
    stop
    無限循環
    變數 A0Read 設為 讀取類比腳位 14
    輸出序列數據 "A0Read="
    輸出序列數據 A0Read
    變數 A0Read 設為 A0Read * 10
    輸出序列數據 "delayTime="
    輸出帶有換行序列數據 A0Read
    logic

    函式名稱 up
    變數 StopCall 設為 1
    WS2812顏色設定 LED 0 紅色 0 綠色 255 藍色 0
    顯示WS2812所有的燈
    設定數位腳位 4 為(0-1) 0
    設定數位腳位 5 為(0-1) 1
    beep
    延遲 A0Read 毫秒
    變數 Modle 設為 0

    函式名稱 down
    變數 StopCall 設為 1
    WS2812顏色設定 LED 0 紅色 0 綠色 0 藍色 255
    顯示WS2812所有的燈
    設定數位腳位 4 為(0-1) 1
    設定數位腳位 5 為(0-1) 0
    beep
    beep
    beep
    延遲 A0Read 毫秒
    變數 Modle 設為 0

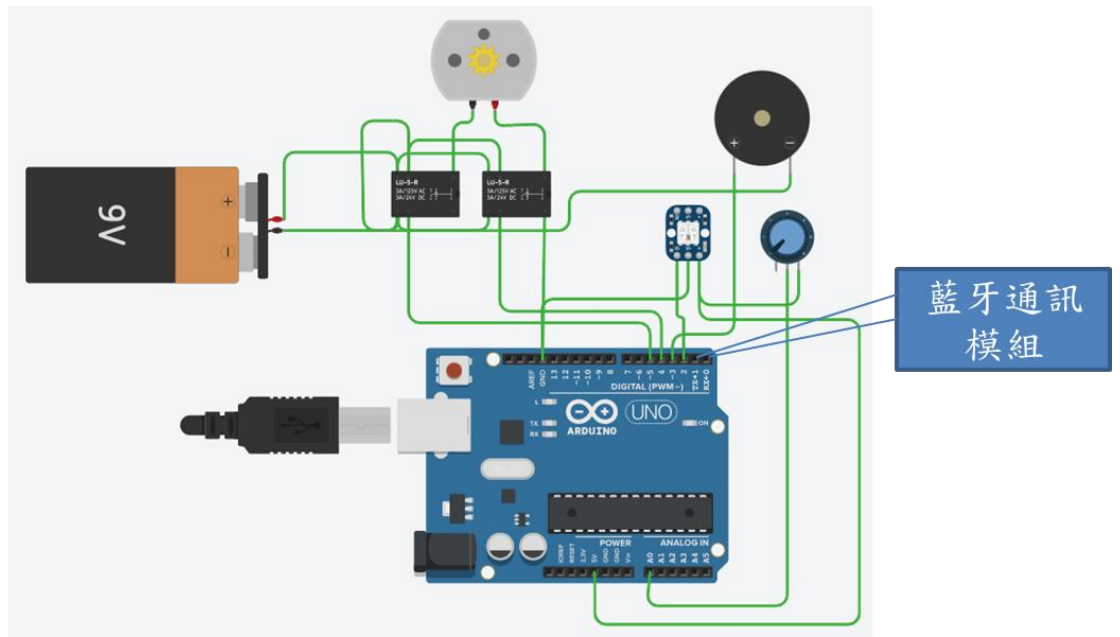
    函式名稱 stop
    WS2812顏色設定 LED 0 紅色 255 綠色 0 藍色 0
    設定數位腳位 4 為(0-1) 0
    設定數位腳位 5 為(0-1) 0
    顯示WS2812所有的燈
    如果 StopCall = 1 執行
    beep
    延遲 200 毫秒
    beep
    變數 StopCall 設為 0

    函式名稱 beep
    設定數位腳位 3 為(0-1) 1
    延遲 100 毫秒
    設定數位腳位 3 為(0-1) 0

    函式名稱 logic
    如果 序列是否有資料 執行
    宣告 char 變數 Word 為 讀取序列字元
    輸出帶有換行序列數據 Word
    如果 Word = F 執行
    變數 Modle 設為 -1
    +
    如果 Word = B 執行
    變數 Modle 設為 1
    +
    如果 Word = S 執行
    變數 Modle 設為 0
    +
    如果 Modle = 0 執行
    stop
    +
    如果 Modle = 1 執行
    up
    +
    如果 Modle = -1 執行
    down
    +
  
```

圖七、無線沉浮控制裝置的程式碼。

4. 無線沉浮控制裝置電路圖(Tinkercad 模擬圖)：



5. 隨後，我們進行無線沉浮裝置效能測試：

- (1) 測試無線沉浮裝置最多可以吸入的水量。
- (2) 測試潛入水中以及浮出水面之間的水量差異。
- (3) 評估無線沉浮裝置最多可以承載多少重量的貨物。
- (4) 評估無線沉浮裝置需要如何修改以適應淡水與海水環境。

伍、 研究結果

為了可以製作出無線控制的沉浮控制裝置，我們需要一步步慢慢地進行各種確認。而在這過程中，有一些出乎意料之外的發現，導致為了達到目標，我們還是做了一些妥協。我們先證實使用增加重量的方式可以增加保鮮盒的重量，並且讓它沉入水裡。確認可以在密封情況下依然可以使用針筒注射的方式讓水進到保鮮盒內增加重量。

一、實驗一：全密封的保鮮盒的浮力測試

為了要先瞭解讓保鮮盒沉入水中所需要的重量，所以我們需要檢測出保鮮盒的浮力，才有辦法設計出沉浮控制裝置。經過文獻指出物體排開液體的重量就會是浮力的大小。所以我們除了要測出浮力以外以及確認使用石頭能不能讓保鮮盒沉入水裡。

表一、全密封的保鮮盒的浮力測試(大保鮮盒 260X182X102mm; 小保鮮盒 218 X 154 X 56mm)。

| | 空盒重 | 加滿石頭總重 | 加滿石頭是否能沉入水中 | 剛好浮出水面總重 (接近浮力) |
|------|--------|---------|-------------|--------------------|
| 大保鮮盒 | 303g | 5688g | 可 | 平均：3909g |
| 小保鮮盒 | 178.5g | 1783.5g | 可 | 平均：1379g |

根據測試結果(表一)，發現小保鮮盒浮力約 1379g，裝滿石頭可以沉入水中，但是接近浮力時，我們觀察到裡面的空間所剩不多，僅夠約 5 支 20mL 的針筒放在裡面。大保鮮盒浮力約 3909 g，裝滿石頭可以讓保鮮盒沉入水中，接近浮力時，約還剩下約 200mL 的空間可以使用。在設計機器上，我們需要想辦法減少體積或是找更沉重的配重。

在這實驗中，初步得到兩個狀況，一個是為了要讓大保鮮盒沉入水中，需要讓它重達 3909 公克左右，可能會產生大量的成本以及控制能力需求。但是小保鮮盒的狀況是空間狹小，需要使用密度更高的配重來讓小保鮮盒騰出空間塞入控制系統。因此接下來的實驗會暫時以小保鮮盒的測試為優先。

二、實驗二：手動式沉浮控制裝置對保鮮盒重量的控制效果

表二、手動式沉浮控制裝置對保鮮盒重量的控制效果。

| 保鮮盒外注射 針筒水量 | 20mL | 15mL | 10mL | 5mL | 0mL |
|----------------|------|------|-------|-------|-------|
| 未經過保鮮盒 | 0mL | 5mL | 10mL | 15mL | 20mL |
| | 0g | 4.5g | 10.0g | 14.5g | 19.5g |
| 經過保鮮盒 | 0mL | 5mL | 10mL | 15mL | 20mL |
| | 0g | 5.0g | 9.5g | 14.5g | 19.5g |

為了確保在密封中的保鮮盒中的針筒仍然可以像在開放空間一樣，是否可以隨著外面針筒打水而增加內部針筒的水並增加重量。這樣才能確認密閉空間中可以用

注射針筒來幫沉浮裝置增加重量。

經過實驗(表二)，確認在密閉的保鮮盒中可以把水打入裡面的注射針筒當中，我們初步使用手感，並沒有感覺到太大的阻力。

三、實驗三：手動式沉浮控制裝置對保鮮盒沉浮的控制效果

在裝設無線沉浮控制裝置前，必須先確認可以透過小小的針筒吸水，並且讓重量增加，然後可以下沉，否則我們會不清楚這個控制裝置需要做到多大，也不清楚到底在有限的空間中讓它沉入水中的難度會不會很高，以及進一步的要知道，透過注射針筒讓它沉下水裡後，能不能把水抽出來讓它再次浮起來。

表三、手動式沉浮控制裝置對保鮮盒沉浮的控制效果。

| 次數 | 調整重量 g | 放入水中 | 打入 20mL 水 | 再浮起 | 發現 |
|----|--------|------|-----------|-----|---------------------------------|
| 1 | 1400 | 浮 | 浮 | | 注入水比較迅速時，盒子會稍微冒泡，並且好像有看到它稍微飄起來。 |
| 2 | 1420 | 浮 | 浮 | | |
| 3 | 1440 | 浮 | 浮 | | |
| 4 | 1460 | 浮 | 浮 | | |
| 5 | 1465 | 浮 | 浮 | | |
| 6 | 1470 | 浮 | 浮 | | |
| 7 | 1475 | 浮 | 浮 | | |
| 8 | 1480 | 浮 | 浮 | | |
| 9 | 1485 | 浮 | 沉 | 不浮 | |
| 10 | 1482 | 沉 | | | |

在進行實驗過程中，這是整理後的資料，我們發現數據的改變與我們預期的反應有嚴重的落差。我們發現隨著重量增加，確實有看到保鮮盒越來越貼近水面，最後測量到 1485g 是可以讓它沉下去的重量，卻浮不起來(表三)。而且我們還注意到

它的最大浮力跟我們上次測量的不一樣。後來看到在打入水時，它竟然會稍微飄起來，沉在水裡時還會看到它慢慢的冒泡。我們發現這個容器可能沒有很適合做這樣的實驗。但是這個容器是出了什麼問題導致反應跟上次測量的狀況預測是不同的呢？

經過實驗三的失敗，我們後來觀察到保鮮盒被打水的瞬間，上蓋竟然膨脹起來，然後慢慢消氣。這讓我們發現在打入水的瞬間，它的體積會變大，而且還有漏氣的問題。如此一來就可以解釋為什麼它的浮力跟我們上次測量的結果不一樣，而且注入水時，它會先稍微浮起來，再來就是沉下去後就沒辦法透過抽掉裡面的水讓它浮起來。原來這個保鮮盒的彈性跟密封性，讓我們在每次扣住保鮮盒時，其實體積都會有點不同；打入水的瞬間，它的體積變大，浮力也跟著變大，後來漏氣以後，再把水抽回來卻浮不起來，因為漏氣跟抽水造成它的體積變小。

四、實驗四：封閉式保鮮盒浮力穩定性測試與通氣式保鮮盒的浮力測試

為了確認是否因為封盒過程，因為它的彈性以及氣密問題導致每次保鮮盒的重量都不一樣，所以我們進行了這個實驗，確認是否會因為人為因素改變了它的浮力。再來，因為保鮮盒的彈性是難以改變的，但是我們可以解決氣密的問題，所以另外在加做了通氣的方式看能不能改變浮力的穩定性。

表四、封閉式保鮮盒浮力穩定性測試與通氣式保鮮盒的浮力測試

| | 未壓縮封蓋的浮力 | 壓縮封蓋浮力 |
|-----|----------|--------|
| 封閉式 | 1480 g | 1441 g |
| 通氣式 | 1474 g | 1474 g |

經過測試發現，封閉式的保鮮盒，在人為用力或不出力時，會側到不同的浮力，達到 39g，這個變動已經超過我們使用的注射針筒了(表四)。通氣式的保鮮盒，不管是人為或刻意不出力的情況下，會發現它的浮力變化不大，至少在我們的磅秤上看

不到它的差異。所以我們初步可以確認如果必須還要繼續使用這個保鮮盒，通氣是最快的方案了。也由於我們花了一周還未找到合適的新容器，要沒有彈性，而且氣密性優良的容器，所以只是採用通氣方式繼續進行實驗。

五、實驗五：手動式沉浮控制裝置對通氣式保鮮盒的潛水效果

在此實驗中，我們使用通氣的方法，再一次進行了實驗三的方法(表五)。

表五、手動式沉浮控制裝置對通氣式保鮮盒的潛水效果。

| 次數 | 調整重量 g | 放入水中 | 打入 20mL 水 | 再把水抽走 |
|----|--------|------|-----------|-------|
| 1 | 1450 | 浮 | 浮 | 浮 |
| 2 | 1460 | 浮 | 沉 | 浮 |
| 3 | 1470 | 浮 | 沉 | 浮 |
| 4 | 1480 | 沉 | | |
| 5 | 1490 | 沉 | | |

在這個實驗中，我們確定通氣式的保鮮盒，可以獲得穩定的浮力改變，而且變得可以預測。但是因為我們使用的是 20mL 的針筒進行測試，而且這個實驗發現我們可以使用的重量很有限，沉浮控制裝置的重量只能在 1460-1470g 之間。所以，我們決定要改用 60mL 的針筒，而且一次用兩支，所以我們重新設計了原本的沉浮控制裝置，並且改用大的保鮮盒，同時為了爭取更多的控制空間，我們買了潛水用的配重塊來做為壓艙石。

六、實驗六：無線沉浮控制裝置的設計、製作與測試

經過大保鮮盒的選用，新的無線沉浮控制裝置的重新設計。我們的無線沉浮控制裝置變成重量落在 3865 公克的巨型潛水艇，而且重量的控制可以再吸水 50mL X 2 = 100 mL，如果水的密度剛好是 1g/ mL，則在藍牙的無線控制之下可以增加 100

公克的重量。

表六、無線沉浮控制裝置測試。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均 |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 沉(刻度) | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 |
| 總吸水量 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 浮(刻度) | 6 | 6 | 5 | 4 | 6 | 5.2 |
| 總吸水量 | 12 | 12 | 10 | 8 | 12 | 10.4 |

經過幾次的實驗證明，確定這個裝置已經達到我們期待的表現。而且表現上很穩定。後來為了讓它的調控可以中間的範圍，可以在刻度 25 達到浮起來的效果，刻度 6 到刻度 25 之間共差了 19 度，也就是 38mL 的水量，約 38g。我們又減少了 38g 的石頭，後來也確定起來的刻度變成在 25 了。

陸、 討論

我們為了可以做出一台潛水艇，在這次聚焦在沉浮裝置的設計與實作，最後想要做出一台可以進行藍牙操控的無線沉浮控制裝置，以作為以後潛水艇沉浮控制裝置的技術模組。在文獻探討的過程中，發現兩個跟浮力有關的重點，一個是物體排開水的體積的重量就是這個物體在這個液體中的浮力；另一個是當物體漂浮在水面時，浮力會等於它的重量，要是物體的重量大於最大浮力，就會沉入水裡。

在這過程中，有一些出乎意料的發現，導致我們為了達到目標，還是做了一些妥協。因為保鮮盒的彈性造成實驗的變數是我們一開始沒有發現的，只有注意到為什麼在進行浮力的量測時，失敗率很高。到後來，在實驗三時，我們無法成功地找到控制沉浮的條件，也無意間發現它的體積會改變，才發現彈性的問題。後來改用通氣的方式解決了彈性與氣密之間造成的問題，並且確定這個裝置是可以運作的。

在這個嘗試的過程中，我們發現原來設計一台潛水艇其實難度蠻高的。尤其是一台裡面

可以任意裝載物品，重量會改變的情況下，更顯得困難。以我們的機器為例，雖然可以操控達到 100mL 的水量，可是整台機器就已經達到 3865~3965g 的重量，在這裏面，密度的操控能力也只有 $100 / 3915 \times 100\% = 2.6\%$ 的控制能力。比較安全的載重也是低於 50g，再重的話可能會導致沉下去卻浮不起來。再來就是海水的密度約 1.03 g/mL，用潛艇的重量 3872 推估回去原本的體積，從淡水開進海水裡面，浮力差達到 116.16g，這個浮力，即使我們裝置的控制能力換算成海水重量為 103g，其實已經超過我們機器可以控制的範圍了。

下一步，我們希望接下來有機會先找到更有效果的密度改變方式，不論是控制重量或體積，可以擁有更強大的浮出水面的能力，更大範圍的控制能力，以適應海水跟淡水之間的密度變化。就表示我們距離作出一台全遙控的潛水艇的距離就越來越近了。

柒、 結論

在這個研究中，我們確認用水注入或吸回可以控制裝置的重量改變。在一系列的設計實驗、確認設備的動作狀況之後，在實驗三發現手動式沉浮控制裝置沒辦法像我們預測的一樣進行潛水或浮出水面。後來發現保鮮盒的彈性引發了這個實驗失敗，原因是因為當把水打入或吸回時，因為內部的壓力改變，保鮮盒出現體積改變的現象。當我們把保鮮盒重量調整到非常接近最大浮力時，用水打入保鮮盒內，理論上應該可以馬上看到它沉入水裡，我們發現打入水後，保鮮盒的體積跟著變大，導致浮力也跟著增加，最後雖然重量增加了，卻跟變大的浮力形成抵銷。後來把裝置改成可以通氣之後，透過手動式沉浮控制才確定解決了體積會跟著改變的問題。

在設計無線沉浮控制裝置的過程中，意識到小保鮮盒的空間不足、重量改變的幅度也太小，後來改成使用大保鮮盒、把針筒容量加大三倍，並且使用兩支針筒同時控制吸水或排水，並且確認成功。在實驗六進行最後功能確認時，發現讓潛水艇浮起來的重量與讓潛水艇潛水的操控水量差距達到 16.6mL，這很可能是因為保鮮盒的彈性在通氣之後，當浮出水面時，水壓減少，導致體積增加，需要更多的重量才能潛水；沉入水裡，水壓增加，體積減少，因此需要排掉更多的水才能浮出來。也就是說在沉浮的過程中，保鮮盒的體積可能改變了接近 16 cm³。不過這個實驗得等我們下次找到適合的密封硬殼才能繼續進行了。在這體驗過程中，

我們注意到潛水艇可以裝載的貨物重量其實受到很多限制，所以這個潛水裝置需要繼續修改，讓它可以有更多的吸水能力以寬限潛水艇的重量管制範圍。也因為沉浮的控制能力頂多只有 100 公克，而這個保鮮盒在海水跟淡水之間，浮力變動可以達到 116.16 公克，已經超過沉浮的控制能力範圍。也就是說如果我們是在淡水裡面調整出適合的控制範圍時，這個裝置就沒辦法直接改換到海水裡面操作，會沉不下去，反之則浮不起來。

雖然我們這次有達到目標，仍需繼續修改無線沉浮控制裝置，找到防水硬殼及設計出更大範圍的浮出水面的能力是我們接下來的方向。

捌、 參考文獻資料

劉澐方, 邱麗安, 王昱中, 徐御宸, 吳家榕(2005 年)。海底蛟龍。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/elementary/0808/080832.pdf>

李品慧, 洪連輝(2009 年 6 月 26 日)。浮力。科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1533>

潛艇(2023 年 4 月 1 日)。維基百科，自由的百科全書。取自

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%BD%9B%E8%89%87>

康軒文教事業(2022)。自然與生活科技 第五冊。臺北市：康軒文教事業股份有限公司。

【評語】 082802

透過改變密度的概念，以重量與體積分別作為變因來探討，設計利用針筒吸收與排出水量，完成潛水浮沉的功能。無線沉浮控制裝置電路設計具有創意與實用性。若能改善設計提升潛水深度，並加入水壓的探討，將能提升實際應用的廣度。建議歸納各實驗的數據以圖表表示，在做分析討論及建議。

作品海報

摘要

1. 國造潛水艇需藉由很多國家的協助才有辦法建造。
2. 想透過實作了解潛水艇設計上的困難。
3. 目標是想做出一台可以透過遙控的潛水艇，可以從水面下沉到水底，再從水底浮出水面的裝置。改變機器的密度來控制的，可以改變重量或改變體積。
4. 先選用適當的外盒，一直到實驗過程中發現有一些我們沒有想到的問題。在改變密度的過程中，有彈性的容器很容易因為操作的方式改變了它的體積，變成很難操控它的密度。
5. 最後還是成功的製作出可以透過遙控而讓機器沉與浮的裝置。藉由這次的體驗，更進一步的了解到為什麼做一台潛水艇是一件難度很高的事情。

動機

1. 最近國家正在如火如荼的設計潛水艇並製造出來，常提到需要很多複雜的技術而需要很多國家的支援。好奇它是如何控制浮出海面和潛進海裡的。
2. 潛水艇多半時間都躲在水裡，對於它的機器運作原理我們也不太清楚。潛水艇最重要的功能就是潛進水裡面躲起來，必要時再浮出水面，想運用國小學過的浮力來設計。

目的

製作可以潛水跟浮出水面的機器，進一步了解一艘潛水艇在設計上會遇到的困難。想聚焦在潛水艇最重要的功能，那就是潛水跟浮出水面的功能。

文獻回顧

1. 潛水艇的種類有很多種，都有一個共通的特點，那就是可以潛水跟浮出水面。
2. 特別注意到的潛水艇是在1898建造出來的一角鯨號，它的外殼是雙層的，船殼之間可以儲存水，這樣的設計可以增加浮力。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會的作品-海底蛟龍進一步提到潛水艇會有一個特殊的空間可以用來調節浮力，如果充滿空氣，會讓潛艇上浮，充滿水時潛艇的重量會超過浮力而下降。
3. 浮力的大小會等於物體排開的水的重量。如果物體的重量大於浮力，就會下沉；如果物體的重量小於浮力，就會上浮。
4. 水的密度(重量/體積)是水的重量除以體積，物體的密度是物體的重量除以體積。根據潛水艇的原理，是在潛水艇裡面的空間加水，就會增加潛水艇的密度，就可以下沉，反之就是浮出水面。
5. 為了讓潛水艇在操控下潛進水裡和浮出水面，潛水艇必須可以自己增加或減少重量。依據質量守恆，潛水艇沒辦法自己產生重量，主要是把外面的水吸進來。所以在潛水艇的設計上，我們仍然是靠把水吸進潛水艇裡面來達到潛水的功效。

研究設備與器材

1. 設備：電子秤、電腦、大型置物箱、創想CR8 3D列印機、量筒500mL、簽字筆、熱熔膠槍、焊槍、有藍芽功能的智慧型手機。
2. 材料：天廚長型保鮮盒218X154X56mm、天廚長型保鮮盒260X182X102mm、3D列印材料PETG 1.75mm、長螺絲M3 180mm、長螺絲 M3 150mm、螺帽 M3、船型螺帽、電線、18650兩串電池盒、170孔麵包板、Arduino Nano V3、藍芽模組 HC-05、5V繼電器兩個、杜邦接頭、熱縮套、減速馬達ZGA2560RPM、聯軸器M4轉M3、塑膠束帶、矽膠管3mm X 5mm、T型接頭3mm、鉛塊1公斤、鉛塊3公斤、碎石頭、1號夾鏈袋、熱熔膠、針筒20mL、針筒60mL。

研究過程

1. 全密封的保鮮盒的浮力為多少？
2. 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒重量的控制效果？
3. 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒潛水的效果？
4. 通氣式保鮮盒的浮力為多少？
5. 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒潛水的效果？
6. 無線沉浮控制裝置對保鮮盒潛水控制的效果？
7. 對於貨物乘載量的估算方式？
8. 對於進入海水之後沉浮裝置的效果估算？

| | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| 1.使用具有密封效果的保鮮盒。 | 2.找出讓保鮮盒重量接近浮力的範圍。 | 3.設計出可以吸水跟排水的裝置。 |
| 8.找出最佳的重量，讓沉浮控制裝置可以充分吸水及排水。 | 潛水艇潛水功能 | 4.吸水的量要越大越好。 |
| 7.浮出水面的能力要讓潛水艇可自自己從水底浮起來。 | 6.潛水的能力要讓潛水艇整台潛進水裡。 | 5.這個吸水控制裝置要可以被遙控。 |

表一、全密封的保鮮盒的浮力測試。

研究方法及結果

實驗一 全密封的保鮮盒的浮力測試

目的：為了讓裝置容易控制沉浮，所以我們得先把裝置的重量控制在接近浮力的範圍。

觀察及提問：沉水狀態，重量低於最大浮力，保鮮盒會浮出水面，這個時候的重量最接近最大浮力。

方法：

1. 我們分成兩種保鮮盒。首先測量空盒重量、把空盒子加滿水的總重量、小石頭裝滿的總重量。
2. 把裝滿石頭的保鮮盒放進水裡。先把保鮮盒停留水面下，盒頂平貼水面，再輕輕放開雙手，觀察是否仍會沉入水裡。
3. 保鮮盒沉到水裡的前提下，慢慢地移出裡面的石頭。每移出5公克再確認是否仍會沉入水中。紀錄最後不再沉下去的重量三次，並求平均(表一)。

結果：

1. 小保鮮盒浮力約1379g，容器裡面的空間僅約100mL。大保鮮盒浮力約3909g，約剩下約200mL的空間可以使用。設計機器，需想辦法減少體積或是找更沉重的配重。
2. 小保鮮盒空間狹小，需要使用密度更高的配重來讓小保鮮盒騰出空間塞控制系統；大保鮮盒沉入水中，最大浮力3909公克，會產生大量的成本以及設備的控制能力需求。初步發展會有不確定因素及技術困難，接下來的實驗會暫時以小保鮮盒的測試為優先。

| | 空盒重 | 加滿石頭總重 | 加滿石頭是否能沉入水中 | 剛好浮出水面總重(接近浮力) |
|------|--------|---------|-------------|----------------|
| 大保鮮盒 | 303g | 5688g | 可 | 平均：3909g |
| 小保鮮盒 | 178.5g | 1783.5g | 可 | 平均：1379g |

實驗二 手動式沉浮控制裝置對保鮮盒沉浮的控制效果

目的：確認保鮮盒重量接近最大浮力時，是否可以透過針筒的手動抽壓調整沉浮狀態，以確定裝配無線沉浮控制裝置下可以讓保鮮盒作出沉浮的反應。

方法：

1. 先將實驗二的保鮮盒放入石塊，直到接近沉浮重量偏向微漂浮狀態(少5公克)。並放入水槽中(圖一)。
2. 保鮮盒內的針筒不裝水也不裝氣體。
3. 保鮮盒外的針筒裝滿水。
4. 把保鮮盒外的針筒的水漸漸打入保鮮盒內的針筒。
5. 一直到保鮮盒沉沒後，紀錄打入的水量。

結果：

1. 結果沒有規律性，調整重量、再浮起實驗均不在預測範圍內。
2. 隨著重量增加，保鮮盒慢慢貼近水面，最後到1485g會沉下去，卻浮不起來(表二)。它的浮力極限也跟我們上次測量的不一樣。水打入潛艇時，竟然盒子會膨脹起來，稍微漂浮起來，不是沉下去。還會慢慢消氣，沉在水裡會看到它冒泡。
3. 打入水的瞬間，體積變大，而且漏氣。
4. 這個保鮮盒的彈性跟密封性，讓我們在每次扣住保鮮盒時，其實體積都會有點不同；打入水的瞬間，體積變大，浮力也跟著變大，後來漏氣以後，再把水抽回來卻浮不起來，漏氣跟抽水造成它體積比原本小。

實驗三 封閉式、通氣式保鮮盒浮力穩定性測試與浮力測試

目的：在製作無線沉浮控制裝置之前，需要一個浮力穩定的裝置外殼。解決這個問題才能完整的估計無線沉浮裝置的設計需求。

觀察及提問：水被打入沉浮裝置時，這些水增加的體積讓保鮮盒上蓋隆起，增加了體積，浮力也會增加。如果增加一個空氣孔，讓它排掉多餘的壓力，應該可以讓它的浮力測試變得更穩定。

方法：

1. 在保鮮盒上蓋鑽一個5mm的孔洞，連接3X5mm的矽膠管，除了用束帶固定以外，並用熱熔膠進行封合。在矽膠管的另一端加裝一個浮船，確保空氣孔一直在水面上(圖二)。
2. 密閉式沉浮裝置保鮮盒負壓狀態的浮力測試，在封蓋的時候故意擠壓封上，讓保鮮盒內呈現負壓。並測量它的浮力(圖三)。
3. 密閉式的沉浮裝置保鮮盒正常壓力狀態的浮力測試，在封蓋的時候以不擠壓到上蓋的方式扣好，並測量它的浮力。
4. 通氣式沉浮裝置保鮮盒擠壓封蓋測試，在封蓋時往內擠壓再封上並測量它的浮力。
5. 通氣式沉浮裝置保鮮盒不擠壓的封蓋測試，在封蓋時以不擠壓的方式把上蓋扣上，並測量它的浮力進行探討。

結果：

1. 封閉式的保鮮盒，會測到不同的浮力，誤差達到39g，這個誤差已經超過我們注射針筒的容量了(表三)。通氣式的保鮮盒，不管是人為或刻意不出力的情況下，會發現它的浮力變化不大，至少在我們的磅秤上看不到它的差異。
2. 初步可以確認如果還要使用這個保鮮盒，通氣是最快的方案了。也由於我們花了一周還未找到合適的新容器，要沒有彈性、而且氣密性優良的容器，所以只是採用通氣方式繼續進行實驗。

實驗四 手動式沉浮控制裝置對通氣式保鮮盒的潛水效果

目的：在加裝無線沉浮控制裝置之前，需要再確認通氣式手動控制是否可以運作及穩定。並且預估該裝置浮力範圍，以減少事後還要一直微調的麻煩。

觀察及提問：經過通氣改裝，是否提高了沉浮控制的效果跟穩定？

方法：

1. 在矽膠管的兩端加上注射針筒，保鮮盒內的針筒擠壓到底，保鮮盒外的針筒裝滿水20mL。把實驗三的通氣式沉浮裝置調整重量，讓沉浮裝置的重量接近浮力，並且保持輕微漂浮。
2. 水打入保鮮盒內針筒中，直到裝置沉沒，紀錄打入的水量。

結果：

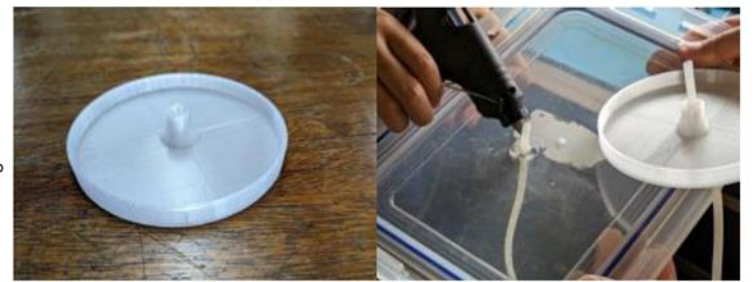
1. 通氣式的保鮮盒，可以穩測預測(表四)。20mL針筒太小，控制重量範圍有限，裝置重量只能在1460-1470g之間。
2. 我們決定要改用兩支更大的針筒各60mL，並重新設計沉浮控制裝置，改用大的保鮮盒，為了爭取更多的控制空間，我們買了潛水用的配重塊來做為壓艙石。接下來的裝置設置如圖四、圖五、圖六、圖七。



圖一、實驗二手動式沉浮控制裝置測試。

| 調整重量 g | 放入水中 | 打入 20mL 水 | 再浮起 | 發現 |
|--------|------|-----------|-----|---------------|
| 1490 | 浮 | 浮 | / | 注入水比較迅速時，盒子會稍 |
| 1480 | 浮 | 浮 | / | |
| 1485 | 浮 | 沉 | 不浮 | 微冒泡，並且好像有看到它稍 |
| 1482 | 沉 | / | / | 微飄起來。 |

表二、實驗二手動式沉浮控制裝置對保鮮盒沉浮的控制效果。



圖二、給沉浮控制裝置通氣用的浮船。

| | 未壓縮封蓋 | 壓縮封蓋 |
|-----|-------|------|
| 封閉式 | | |
| 通氣式 | | |

圖三、封閉式保鮮盒、通氣式保鮮盒的浮力測試外觀圖。

| | 未壓縮封蓋的浮力 | 壓縮封蓋浮力 |
|-----|----------|--------|
| 封閉式 | 1480 g | 1441 g |
| 通氣式 | 1474 g | 1474 g |

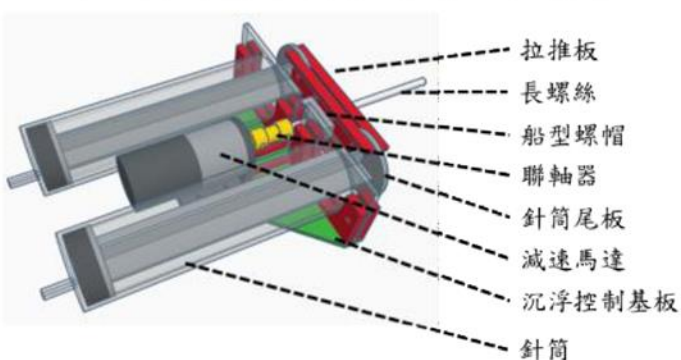
表三、封閉式保鮮盒、通氣式保鮮盒的浮力測試結果。

至少在我們的磅秤上看不到它的差異。

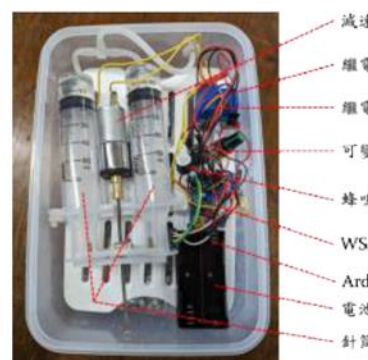
也由於我們花了一周還未找到合適的新容器，

| 次數 | 調整重量 g | 放入水中 | 打入 20mL 水 | 再把水抽走 |
|----|--------|------|-----------|-------|
| 1 | 1450 | 浮 | 浮 | 浮 |
| 2 | 1460 | 浮 | 沉 | 浮 |
| 3 | 1470 | 浮 | 沉 | 浮 |
| 4 | 1480 | 沉 | / | / |
| 5 | 1490 | 沉 | / | / |

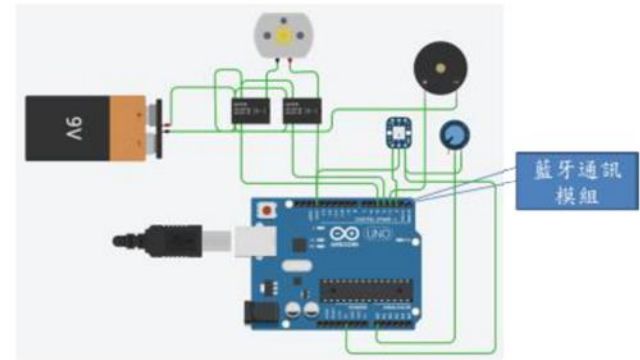
表四、手動式沉浮控制裝置對通氣式保鮮盒的潛水效果。



圖四、沉浮控制裝置設計Tinkercad設計。



圖五、控制裝置內部配置。



圖六、線路模擬圖Tinkercad設計。

實驗五 遙控式沉浮控制裝置對通氣式保鮮盒的潛水效果

目的：先打造可以達到沉浮效果的無線沉浮控制裝置、測試效能。累積沉浮裝置的基礎技術與知識。

設計及製造：在實驗四發現小保鮮盒空間不足，改用大保鮮盒，兩支注射針筒60mL、石頭改用鉛塊。沿用沉浮控制裝置的裝設原理，用260 X 182 X 102 mm的大型保鮮盒、使用近三公斤鉛塊再加少量石頭微調，設計出兩管式60mL針筒的無線控制裝置。動力採用兩個18650鋰電池串聯，用ZGA25 60RPM的減速馬達，並且使用Arduino Nano連接藍芽模組進行控制。用Bdesigner平台編寫程式。無線沉浮控制模組及電路設計皆透過Tinkercad設計模擬後再3D列印及組裝。

實驗方法：

1. 測試無線沉浮裝置最多可以吸入的水量。
2. 測試潛入水中以及浮出水面之間的水量差異。
3. 評估無線沉浮裝置最多可以承載多少重量。
4. 評估無線沉浮裝置適應淡水與海水環境能力。

結果：

1. 為了讓它的調控可以中間的範圍，在刻度25浮起來，刻度6到刻度25之間，差了19度，也就是38mL的水量，約38g。我們又減少了38g的石頭，後來也確定起來的刻度變成在25了。
2. 無線沉浮控制裝置重3865公克，重量控制可以再吸水 50mL X 2 = 100 mL，如果水的密度是1g/mL，在藍牙的無線控制之下可以增加100公克。
3. 可以操控100mL的水量，可是機器已經達到3865~3965g，重量的操控能力只有100 / 3915 X 100% = 2.6%。載重也是低於50g，再重的話可能會導致沉下去卻浮不起來。
4. 海水密度約1.03 g/mL，用潛艇的重量3872推估回去原本的體積，從淡水開進海水裡面，浮力差達到116.16g，裝置的控制能力換算成海水重量為103g，超過機器可以控制的範圍了。

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均 |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 沉(刻度) | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 |
| 總吸水量 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 浮(刻度) | 6 | 6 | 5 | 4 | 6 | 5.2 |
| 總吸水量 | 12 | 12 | 10 | 8 | 12 | 10.4 |

表五、無線沉浮控制裝置測試。

討論

1. 聚焦在沉浮裝置的設計與實作，做出一台可以進行藍牙操控的無線沉浮控制裝置，作為潛水艇沉浮控制裝置的技術模組。
2. 在文獻探討，發現兩個跟浮力有關的重點，一個是物體排開水的體積的重量就是這個物體在該液體中的浮力；物體漂浮在水面時，浮力等於物體重量；如果重量大於最大浮力，就會沉入水裡。
3. 保鮮盒的彈性造成在進行浮力的量測時，失敗率很高。在實驗二，無法成功地找到控制沉浮的條件，發現它因為彈性而體積會改變的問題。改用通氣方式解決了彈性與氣密之間造成的問題。
4. 該裝置可以操控100mL的水量，可是整台機器重3865g，重量的操控能力僅100 / 3915 X 100% = 2.6%。比較安全的載重也低於50g，再重的話可能會導致沉下去卻浮不起來。
5. 海水的密度約1.03 g/mL，用潛艇的重量3872推估回去原本的體積，從淡水開進海水裡面，浮力差達到116.16 g，即使我們裝置的控制能力換算成海水重量為103g，已經超過可以控制的範圍了。



圖七、使用Bdesigner設計的程式。

結論

1. 透過文獻，我們確認用水注入或吸回可以控制裝置的重量改變。
2. 在實驗二發現保鮮盒的彈性造成實驗失敗，原因是把水打入盒內或吸回時，內部氣壓改變造成保鮮盒體積跟著改變。用水打入保鮮盒內，保鮮盒的體積跟著變大，導致浮力跟著增加，最後雖然重量增加了，卻跟變大的浮力形成抵銷。改成通氣之後，才能在實驗四到實驗五順利控制。
3. 設計無線沉浮控制裝置，因小保鮮盒空間不足，改成大保鮮盒、針筒容量提高到三倍，使用兩支針筒吸水或排水。在實驗六進行最後功能確認時，發現讓潛水艇浮起來的重量與讓潛水艇潛水的操控水量差距達到16.6mL，可能是因為保鮮盒的彈性在通氣之後，當浮出水面時，水壓減少，導致保鮮盒體積增加，需要更多的重量才能潛水；沉入水裡，水壓增加，體積減少，因此需要排掉更多的水才能浮出來。也就是說在沉浮的過程中(深度約40公分)，保鮮盒的體積改變了接近16.6 cm³。
4. 過程中，我們注意到潛水艇可以裝載的貨物重量其實受到很多限制，為了放寬限制，必須提高這個裝置控制吸水及排水的體積。
5. 接下來我們將繼續修改無線沉浮控制裝置，找到防水硬殼及設計出更大範圍的浮出水面能力。

參考文獻

- 劉濤方, 邱麗安, 王昱中, 徐御宸, 吳家榕(2005年)。海底蛟龍。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。取自<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/elementary/0808/080832.pdf>
- 李品慧, 洪連輝(2009年6月26日)。浮力。科學Online高瞻自然科學教學資源平台。取自<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1533>
- 潛艇(2023年4月1日)。維基百科，自由的百科全書。取自<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%BD%9B%E8%89%87>
- 康軒文教事業(2022)。自然與生活科技 第五冊。臺北市：康軒文教事業股份有限公司。