中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　物理科

第三名

080101

進擊的波妞-蒸氣噗噗船的進化

學校名稱：苗栗縣竹南鎮照南國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳宥任	曾勇鈞
小五 鄧詠丞	張月英
小五 林禹辰	
小五 許以琳	
小四 林軒邑	

關鍵詞：噗噗船、雙體船、蒸氣船

摘要

我們因為「崖上的波妞」這部動畫電影而開始了對「蒸氣噗噗船」的研究，經過資料搜尋後，發現不用昂貴的銅管也可以製作噗噗船，於是開始了我們對「鋁片」噗噗船的一連串研究與改良。經過實驗後，我們成功改良鋁片蒸氣室的製造過程，使我們可以大量製造動力強又穩定的蒸氣室。接著我們也發現「直吸管」引擎設計比絕大部分人的「彎吸管」引擎更優良，搭配大小適中的蒸氣室以及二根細的吸管，可以做出最理想的鋁片蒸氣引擎。此外我們也自行打造了「迷你酒精燈」，提供穩定又強大的火源；最後更進一步把原本極不環保的保麗龍船體，改成資源回收物做成的「雙體船」船體，得到更穩定、阻力更小、結構更簡單的「噗噗雙體船」。

壹、研究動機

某一次老師播放宮崎駿的動畫「崖上的波妞」給我們觀賞，在影片中，波妞把宗介的一艘玩具船變大之後，就真的變成了可以航行的船，這艘船的航行方式也很有趣，要先把水「灌」進去，然後再用蠟燭燒，船就會一邊發出「噗～噗～噗～」的聲音一邊前進，這引起了我們很大的興趣，經過老師講解之後，才了解這是「蒸氣噗噗船」。

我們用「噗噗船」、「pupu boat」和「pop pop boat」三個關鍵字去搜尋之後，發現之前大部分的人都用昂貴的「銅管」製作噗噗船，但是現在有人居然不必用銅管，而是用「鋁罐和吸管」製作噗噗船，我們馬上決定自己也來試試看，並且集合團隊的力量，嘗試改良這種噗噗船，讓它可以更快、更穩定的航行。

貳、研究目的

一、 如何改良用鋁片製作蒸氣室的過程？
二、 如何改良噗噗船的蒸氣室大小與形狀？
三、 連接蒸氣室的吸管可以如何改良？
四、 噗噗船的火源可以如何改良？
五、 如何用資源回收的材料製作更好的船體？
六、 改良後的蒸氣噗噗船變快了多少？

參、研究設備及器材

材料	鋁罐、鋁箔包、廢棄巧拼、珍珠板、AB 膠、塑膠瓦楞板、吸管、膠帶、矽立康、雙面膠、棉線、毛線、娃娃線、小玻璃瓶。
工具	剪刀、小刀、碼表、打火機、滴管。
其他	酒精、防風打火機油、酒精膏、接水管、蠟燭。

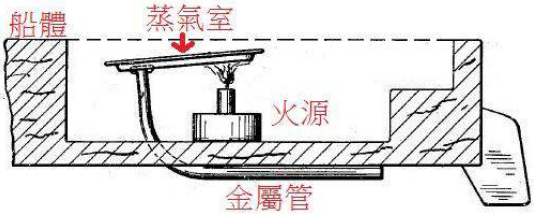
肆、研究過程或方法

一、蒸氣噗噗船介紹：

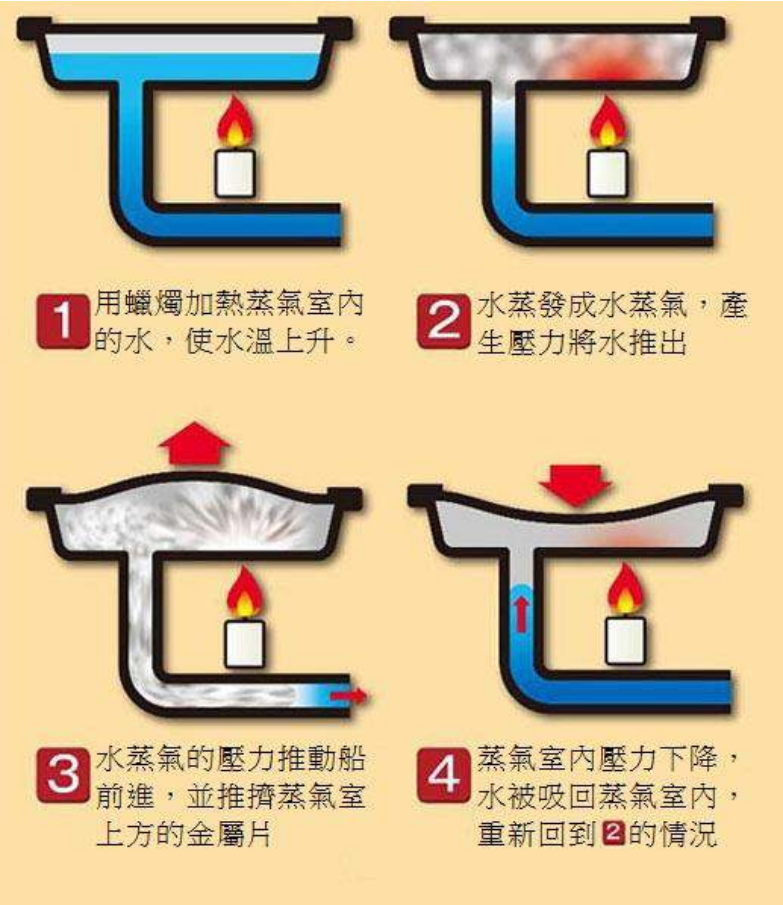
（一） 噗噗船的基本構造與原理：

噗噗船（Pop-Pop Boat）是一種用蒸氣動力推動的船[1]，歷史十分悠久，基本構造如下（圖 1），分成蒸氣室、金屬管、火源與船體四大部份。

噗噗船的運作原理如下（圖 2），將蒸氣室內灌滿水之後加熱（通常是用蠟燭），火焰加熱蒸氣室裡的水，使水蒸發成水蒸氣，由於液態水蒸發成氣態水蒸氣，體積變大超過一千倍[2]，所以會由往金屬管衝出去。而水蒸氣跑出去之後，會使蒸氣室內的壓力變小而將水重新吸進蒸氣室，水受熱再度成為水蒸氣推動噗噗船，如此反覆進行就會使噗噗船前進了[3]。



（圖 1）蒸氣噗噗船基本結構。



（圖 2）噗噗船的蒸氣引擎運作原理。

（二） 常見的蒸氣噗噗船：

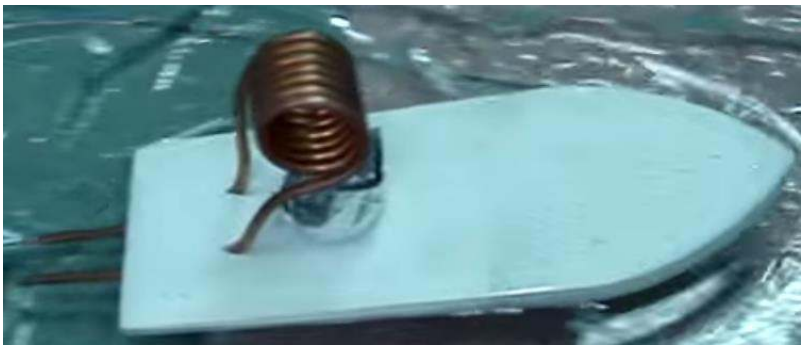
1. 市面上販售的噗噗船[3]：

   這種噗噗船全部都是由金屬打造的，價格十分昂貴，一台將近 600 元新台幣，這種船的構造也是最常見的設計。

（圖 3）市面上販售的全金屬製噗噗船

2. 銅管噗噗船：

   有些噗噗船則沒有蒸氣室，單純用「銅管」彎曲成螺旋管狀，再用蠟燭加熱即可前進[4]。船體則大多使用保麗龍等材質。



（圖 4）銅管噗噗船。

3. 鋁片噗噗船：

   最近幾年，有人研發出不需要昂貴銅管的噗噗船，單純用「鋁片與吸管」就可以製作出噗噗船的引擎，船體則依然是用保麗龍珍珠板或是塑膠瓦楞板製作[5]。

   本次實驗將以此種噗噗船為基礎，針對四大基本構造：蒸氣室、吸管、火源與船體進行研究與改良。

（圖 5）鋁片與吸管製作的噗噗船。

二、蒸氣室製作過程改良：

我們一開始以「臺中教育大學科學教育與應用學系-科學遊戲實驗室」的作法為基礎進行一連串的改良[2]，每次改良之後都會實際測試，找出其優點和缺點，接下來就保留優點，並團隊腦力激盪，想辦法改良缺點；不斷重複的改良與檢討，試圖找出最好的製作過程。

（一） 第一代蒸氣室：

1. 作法：我們一開始完全按照原始設計，取一空的鋁箔罐，以美工刀將鋁箔罐的頭尾切下來（頭尾約 1.5 公分寬），並將瓶身剪開，成為一片的鋁箔。
   將瓶身鋁箔片對摺，再以剪刀剪為長約 11 公分、寬約 3.5 公分。並將上下寬約 0.5 公分往中央對摺，成為只有一個開口的封閉容器（11 公分 × 2.5 公分），再用木板或鐵鎚將上下兩側壓緊固定（註：以上尺寸可以容許±0.5 公分），然後將摺疊的兩側塗上 AB 膠封閉黏緊。
   取二根可彎曲小吸管，由較短的一邊一起插入，並以 AB 膠填充吸管周圍的縫隙。同時將吸管彎摺約 30 度，並在彎摺處也塗上 AB 膠以固定形狀，靜待半小時乾燥固定即完成如下（圖 6）的蒸氣室。
2. 優點：製作容易，過程簡單。
3. 缺點：蒸氣室內部空間太小，能裝的水太少，且上半部的鋁片完全黏死，變成沒有彈性，影響引擎運作。

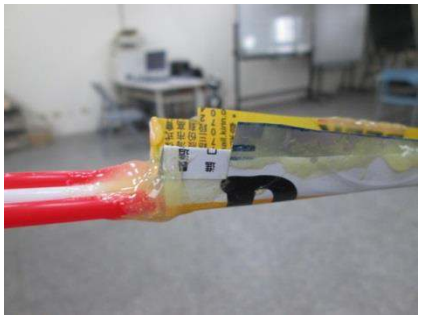
（圖 6）第一代蒸氣室

（二） 不斷地改進，直到第九代：

我們研究了第一代原始設計的缺點之後，就開始著手一連串的改進，經過不斷地嘗試，終於在第九代做出令我們滿意的蒸氣室，下（表 1）為改進的重點提要：

（表 1）蒸氣室的改良過程

	製作重點	改進的缺點	照片與說明
二代	✧ 用筷子撐開黏好的蒸氣室。	✧ 裝水量增加。 ✧ 穩定度增加少許。	
三代	✧ 側邊鋁片減去上半部，只剩單片。	✧ 鋁片彈性少許增加。	 第二、三代蒸氣室，都有用筷子撐開鋁片，而使鋁片變形的缺點。
四代	✧ 先撐開鋁片，再黏上 AB 膠。	✧ 裝水量再次增加。 ✧ 下半部鋁片不再變形，彈性增加。 ✧ 出力增強。 ✧ 穩定度增加。	 第四代蒸氣室，體積較大，但是開口部份呈現橄欖球形，兩邊會有孔洞。
五代	✧ 鋁片不再壓扁，改為兩側上折到 45 度左右。 ✧ AB 膠不再黏在上半部鋁片，改黏在兩側。	✧ 上下鋁片都保有彈性。 ✧ 出力增強。 ✧ 穩定度增加	 第五代蒸氣室，尾端開口部份過大。

六代	✧「下端」開口的鋁片壓扁。	✧開口縮小成橄欖球形，改善漏氣。 ✧穩定度增加。 ✧耐用度增加。	 第六代蒸氣室，尾端開口的鋁片一樣壓扁，開口回到較小的橄欖球形。
七代	✧兩側鋁片上折到90度左右。	✧上下半部鋁片不再彎曲變形，彈性增加。 ✧出力增強。 ✧穩定度增加。	 第七代蒸氣室，鋁片平滑，但是尾端開口過大。
八代	✧下半部開口處縮小，整體變成「倒梯形」的形狀。	✧開口縮小，改善漏氣。 ✧穩定度增加。	 第八代蒸氣室，先用麥克筆畫線，再沿著線折成梯形，縮小尾端開口。
九代	✧在側邊鋁片的下半部，將約1公分長的鋁片「下折」卡住下半部鋁片，形成穩定結構。	✧開口與吸管密合。 ✧穩定度增加。 ✧耐用度增加。 ✧可以「量產」幾乎一模一樣的蒸氣室，方便進行實驗。	 側邊剪約一公分鋁片，往下折，卡住下方鋁片，形成穩定結構。

三、蒸氣室的大小與形狀改良：

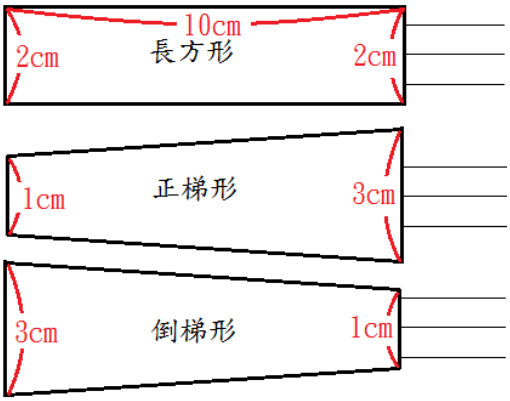
憑藉著適當的蒸氣室作法，我們可以製作出品質相近的蒸氣室，且還可以改變蒸氣室的大小與長寬，於是我們進一步針對蒸氣室的本身提出了兩個變因進行討論與實驗：

（一） 蒸氣室的容量大小：

我們製造出相同寬度但不同長度的三種蒸氣室，分別為大蒸氣室 10cm、中蒸氣室 8cm 與小蒸氣室 6cm，每種大小都各製作二個（共 6 個），再把三種蒸氣室連接上相同的吸管之後，安裝在相同的船體上進行實驗。每一個都進行 10 次的實驗，取數值最接近的 5 次算平均，再把二個相同大小蒸氣室的數據取平均後才得到最終的結果。

（二） 蒸氣室的形狀：

我們討論之後決定做出長方形、正梯形、倒梯形三種不同形狀的蒸氣室，如下（圖 7），並且讓三種形狀的「面積」相同，再搭配相同的開口高度，就可以讓三種不同形狀的蒸氣室中有幾乎相同的水量。我們每種形狀都各做了二個（共 6 個），再把三種蒸氣室連接上相同的吸管之後，安裝在相同的船體上進行實驗。每一個都進行 10 次的實驗，取數值最接近的 5 次算平均，再把二個相同形狀蒸氣室的數據取平均後才得到最終的結果。



（圖 7）三種不同形狀蒸氣室的設計圖，盡量做到體積相同，

四、連接蒸氣室之吸管的改良：

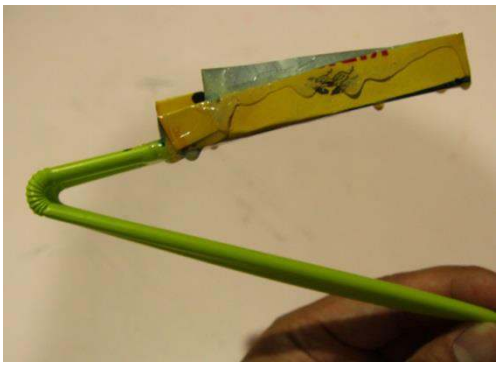
蒸氣室內的蒸氣要轉換成推動船前進的動力，一定要藉由吸管的引導，因此吸管也是我們實驗的重點項目，以下將針對四個變因進行研究。

（一） 吸管的彎或直：

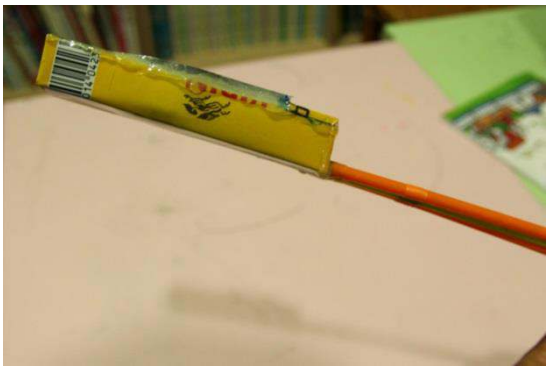
我們最先發現的問題，就是「為什麼吸管要轉彎？」而且幾乎九成以上我們看到的噗噗船都使用彎吸管設計，如下（圖 9）。可是在我們製作的過程中，我們發現要讓吸管彎到適當的角度十分困難，過度的彎曲會讓吸管的可彎部份變形，甚至阻塞水流，但是彎曲度不夠，

又會讓蒸氣室不易貼近火源加熱。而我們查閱的資料中都沒有解釋為何一定要使用彎曲吸管而不直接使用直吸管，如下（圖 9）。

因此我們製作了彎曲吸管與直吸管引擎各三個，每一個都進行 10 次的實驗，取數值最接近的 5 次算平均，再把三個相同設計的引擎數據取平均後才得到最終的結果。



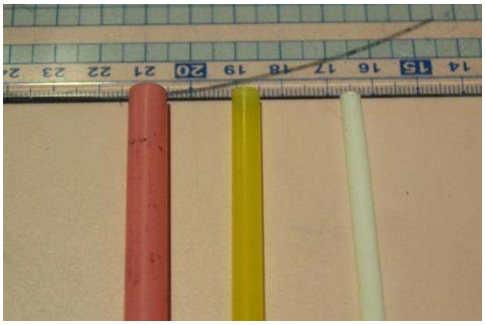
（圖 8）原本的彎吸管引擎。



（圖 9）直吸管引擎。

（二） 吸管的粗細：

我們收集了三種不同粗細的吸管，直徑分別為 0.8mm、0.6mm 和 0.4mm，如下（圖 10）。粗、中、細這三種吸管都分別製作二個引擎，每一個都進行 10 次的實驗，取數值最接近的 5 次算平均，再把二個相同設計的引擎數據取平均後才得到最終的結果。



（圖 10）粗、中、細三種吸管比較。

（三） 吸管的數量：

我們製作了三種不同吸管數量的引擎，為了讓差距明顯一點，因此我們每次都相差兩枝吸管，分別為 6 枝吸管、4 枝吸管和 2 枝吸管。這三種吸管數量都分別製作二個引擎，每一個都進行 10 次的實驗，取數值最接近的 5 次算平均，再把二個相同設計的引擎數據取平均後才得到最終的結果。

（四） 吸管的長短：

因為我們細的吸管本身的長度就沒有很長，所以只能做成長、短兩種不同吸管長度的引擎，兩者相差五公分。這二種吸管長度都分別製作二個引擎，每一個都進行 10 次的實驗，取數值最接近的 5 次算平均，再把二個相同設計的引擎數據取平均後才得到最終的結果。

五、火源的改良：

噗噗船的火源就是動力來源，能夠穩定且大量的提供熱源，才有足夠的蒸氣推動噗噗船前進，原始的設計以及網路上絕大部分的人都是使用蠟燭當作火源，因此我們也從蠟燭開始著手改良。

（一） 蠟燭的改良：

一開始的火源是使用小蠟燭，圓形的蠟燭放在圓形的鋁片之中，高度 1～2 公分左右，燃燒時間非常久，且重量很輕，是很理想的火源，如下（圖 11）。

但是隨著引擎的改良，引擎內的水量增加、引擎強度增強，團隊馬上就發現我們需要更多的熱量來讓水沸騰，除此之外，因為實驗的控制變因必須相同，所以我們也希望每次實驗的火源都能提供相同穩定的熱量。原本的蠟燭溫度不夠高，而且燭芯只要燒一陣子就會變短，火源就會變得非常不穩定，如下（圖 12），所以必需尋求更強更穩定的火源。

一開始的方式是改良蠟燭的燭芯，用牙籤包上衛生紙插入原本的圓形蠟燭當中，雖然可以增強火源，可是強度還是不太夠，穩定度也一樣不夠好，只好作罷。

（圖 11）原本使用的圓形蠟燭。

（圖 12）燭蕊長短不一，造成熱源不穩定。

（二） 改用其他燃料：

在失敗過後的團隊檢討，有人提出不要再用「蠟」當作燃料，改用其他的燃料試試看，於是我們嘗試了酒精、酒精膏、防風打火機油三種材料。

我們將原本放蠟燭的圓形鋁片容器拿來加入三種燃料，然後點火觀察，如下（圖 13），發現酒精和打火機油都熊熊燃燒，尤其打火機油產生很大的黃色火焰，酒精膏則是很穩定的燃燒，但是不會有太明顯的火焰。三者的火力度都很足夠，但是團隊馬上發現這樣的做法太危險，如果只單純將燃料裝在圓形容器中，燃料很容易因為船體的晃動或傾斜而溢出，如下（圖 14），尤其是噗噗船需要將船身整個直立來為引擎裝水，此時燃料一定會整個流出造成危險，若是裝完水再添加燃料既麻煩又容易造成燃料溢出，而且若要重複多次實驗，就必需每次都把燃料倒乾，十分不便。此外火源的溫度會變得「太高」，不只容易損壞引擎，圓形鋁片容器的溫度也會變得非常的高，造成船體的融化以及操作人員的危險。

（圖 13）直接將蠟燭拿出，倒入燃料。

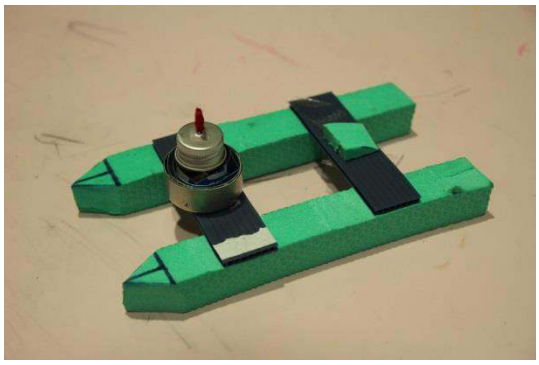
（圖 14）燃料溢出，造成船體燒毀。

（三） 打造迷你酒精燈：

團隊討論之後，決定要做出「酒精燈」類型的火源，讓燃料可以安全的裝在瓶子中，用燈芯吸取燃料燃燒，可以一併解決燃料溢出以及燃燒過於旺盛的問題。

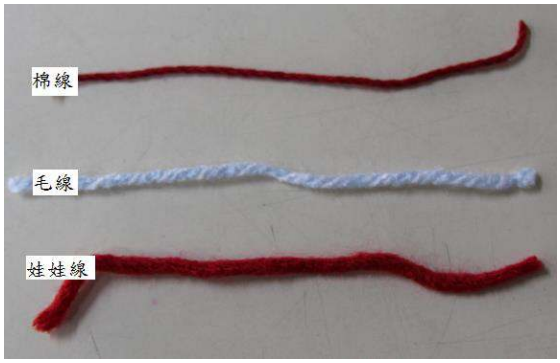
1. 迷你酒精燈的容器：
   在經過多次嘗試以及尋找材料之後，團隊在文具行找到拇指大小的玻璃瓶，還附鋁質的蓋子，這種小瓶子完全符合我們的要求，只要將蓋子打個小洞，穿過一條棉線，就是一個迷你酒精燈，如下（圖 15）。再將這個小酒精燈放入原本的圓形鋁片容器，用其他的鋁片繞成螺旋形協助酒精燈固定就大功告成了，如（圖 16）。這個裝置讓我們可以安全且方便的更換火源，也可以方便調整燈芯長短來取得每次都相同的變因。
2. 迷你酒精燈的燃料：
   因為「酒精膏」很難用棉線吸取，放在迷你酒精燈內會無法使用，所以只好捨棄。我們只用「甲醇（工業酒精）」、「乙醇（藥用酒精）」和「防風打火機油」三種燃料進行比較實驗，如下（圖 17）。在相同燈芯長短下，讓三種燃料加熱相同體積的水，比較哪種燃料能提供較多的熱量。
3. 迷你酒精燈的燈芯：
   一般的酒精燈都是使用棉線，但是我們團隊討論之後，決定試試看其他種類的線，這些線除了要有良好的吸水性之外，也不可以太軟，不然當作燈芯很容易垂下來。最後我們找了棉線、毛線、娃娃線三種材質，如下（圖 18），一樣用加熱相同體積的水來比較哪一種比較適合當作酒精燈的燈芯。
4. 火源效率的測量：
   我們用兩種燃料搭配三種線，總共九種組合進行實驗分別加熱 100ml 的水，時間固定為 3 分鐘，測量並紀錄每一種組合的水溫變化，並重複進行三次實驗，取平均值進行比較。

（圖 15）迷你酒精燈完成品。



（圖 16）將迷你酒精燈固定在船身上。

（圖 17）三種不同的燃料。

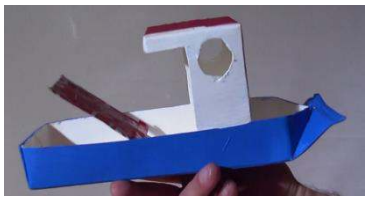


（圖 18）三種不同的燈芯。

六、船體的製作與改良；

經過文獻探討之後，發現前人做的船體主要有三種：金屬船體[3]、牛奶盒船體[6]以及一片珍珠板剪成船的形狀當成船體[2]，如下（圖 19）、（圖 20）、（圖 21）。

（圖 19）金屬船體。



（圖 20）牛奶盒船體。

（圖 21）珍珠板船體。

（一） 船體材質的改良：

團隊經過討論之後，覺得金屬的船體製作太難、太貴也不環保，珍珠板的船體雖然非常容易製作，但是一樣不環保，而且還是萬年不化的保麗龍，此外珍珠板提供的浮力不夠，會出現「沈船」的意外事件，若要增加浮力就要用更多或更大片的珍珠板，這樣對環境危害更大。在大家一致討論之後，最簡單的珍珠板船體就被否決了，我們決定要用可回收的資源垃圾來製作船體。

（二） 雙體船的製作：

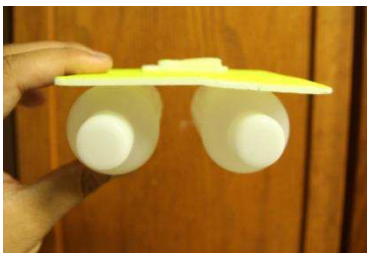
牛奶盒的船體十分理想，可是我們想要嘗試更簡單製作、阻力更小，更節省材料的船體。於是團隊再次分工合作進行資料蒐集與文獻探討，經過兩週的努力之後，我們發現現在許多的船都是使用「雙體船」的船體設計[7]，如下（圖 22）。雙體船有著穩定、水阻少、較輕、不易翻船等優點[8][9]，因此我們就決定製作「雙體船」的船體。

（圖 22）在台灣常見到使用「雙體船」設計的船舶。（圖為「綠島之星」客輪）

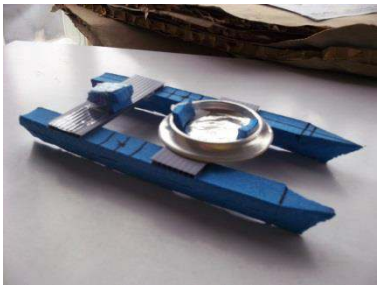
我們也馬上找出幾種方便又省材料的作法：

1. 第一種就是直接將一個鋁箔包對半剪開用膠帶將吸管孔以及接縫處貼好之後，再用少許瓦楞板固定與連接兩個船體。優點是浮力大、阻力小，缺點是比較難固定兩個船身，如下（圖 23）。
2. 第二種是拿兩個小的藥水瓶，用瓦楞板連接固定即可。優點是製作方便，缺點就是阻力比較大，如下（圖 24）。
3. 第三種則是用廢棄的巧拼邊條，剪去鋸尺狀的部分即可得到兩個泡綿長條，再將長條的一端剪尖，用少許塑膠瓦楞板連接兩個長條，即可做出雙體船，而且此種雙體船跟最原始的雙體船（用小木條連接兩個樹幹）最像，除了有浮力足夠、阻力很小的優點之外，也容易配合各種不同的引擎進行船體的調整與改裝，如下（圖 25）。所以我們最後決定使用第三種的船體進行一連串的實驗。

（圖 23）鋁箔包雙體船。



（圖 24）藥水瓶雙體船。

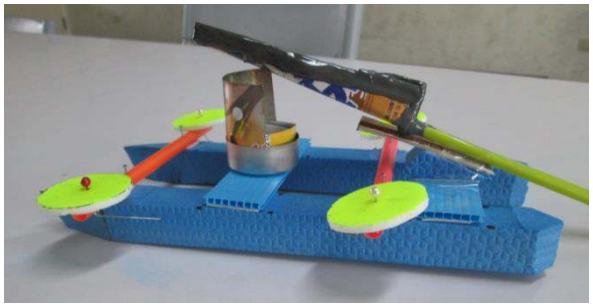


（圖 25）廢巧拼雙體船。

（三） 雙體船的改良：

實際進行實驗之後，馬上又遇到一個問題，因為我們的水道截面不是「長方形」而是「半圓形」，在船靠近水道邊緣的時候，很容易會「擱淺」。

1. 防撞桿製作：
   為了避免擱淺，我們在船頭、船尾的兩側加上了「防撞桿」，就是用削尖且剪去一半的吸管來當作緩衝，讓船不會靠近牆壁，避免擱淺。
2. 導輪製作：
   防撞桿效果不錯，可是碰壁時會明顯讓船有「頓挫」的情況，也就是因為防撞桿摩擦力大，會減慢船的速度。
   為了解決這問題，我們把防撞桿換成「導輪」裝置，這個靈感來自四驅車，用珍珠板剪成圓形，再用大頭針固定在吸管上，就是效果很好的導輪。



（圖 26）雙體船完成品，前、後的側邊都有導輪。

七、航行水道製作與船速測量：

我們團隊討論的結果，決定要製作直線的水道，並在水道上先量好一定的距離，讓噗噗船直線從起點跑道終點之後，再用碼表測量所花的時間，就可以用「距離÷時間＝速率」的公式算出船的速度，進而比較不同噗噗船的優劣。

八、改良前後以及與其他噗噗船的比較：

我們最後會將改良完成與未改良的噗噗船進行比較，測量改良前後速度的差異。此外也研究網路上噗噗船的影片，測量出影片中噗噗船的速度[6][10][11]，再與我們的船比較。

伍、研究結果

一、改良鋁片蒸氣室的製作：

經過改良以後的鋁片蒸氣室製作過程，製作出來的蒸氣室可以保有很好的彈性，蒸氣室內部的水量也從一開始的 2ml 增加到 10ml，水量增多，配合足夠的火源，就可以在運作時提供更多的蒸氣，產生更大的動力。此外可以依照同樣的步驟、準確的測量，大量製造長度、寬度、容量與重量都幾乎一樣的引擎，方便進行各項實驗。

蒸氣室開口與吸管接合的部份，也因為鋁片折法的改良，可以更緊密的與吸管黏合，大幅減少漏氣或吸管歪斜的情況產生，也可以配合吸管的粗細與數量，自由調整開口大小，對於要製作不同的引擎來說真的很方便。

二、改良噗噗船的蒸氣室：

實驗所取得的原始數據如下（表 2）：

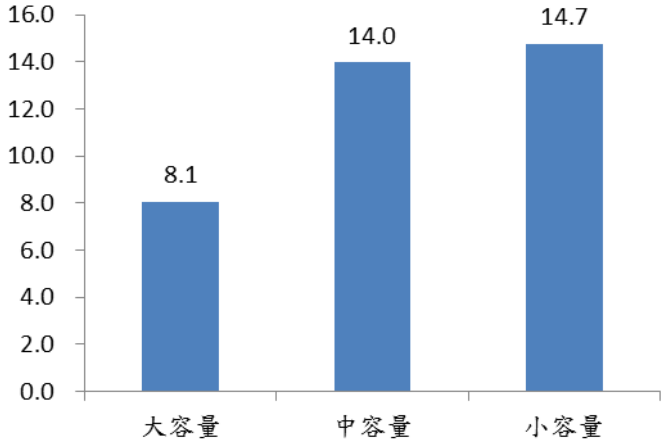
（表 2）不同蒸氣室的噗噗船航行 100 公分所需時間。（單位：秒）

	1	2	3	4	5	平均（秒）
大容量 A	11.86	11.54	11.30	11.43	11.37	11.50
大容量 B	13.17	13.14	13.41	14.29	12.58	13.32
中容量 A	5.74	5.58	6.76	5.34	5.71	5.83
中容量 B	8.47	8.09	8.54	8.74	8.64	8.50
小容量 A	8.15	8.16	8.29	7.20	6.87	7.73
小容量 B	5.77	6.38	5.34	5.76	5.95	5.84
長方形 A	16.23	16.91	17.23	18.51	17.44	17.26
長方形 B	11.54	11.66	11.65	11.13	11.80	11.56
正梯形 A	11.70	11.99	12.10	12.61	11.68	12.02
正梯形 B	15.30	14.76	15.83	15.75	15.21	15.37
倒梯形 A	11.33	10.75	11.51	11.55	12.37	11.50
倒梯形 B	15.59	15.49	15.09	15.74	15.14	15.41

（一） 蒸氣室的容量大小：

我們將大、中、小三種不同的蒸氣室經過實驗之後，將蒸氣船行走 100 公分所需的秒數換成速度結果如下（表 3）：

（表 3）不同容量蒸氣室的噗噗船航行速度。（單位： 公分／秒）

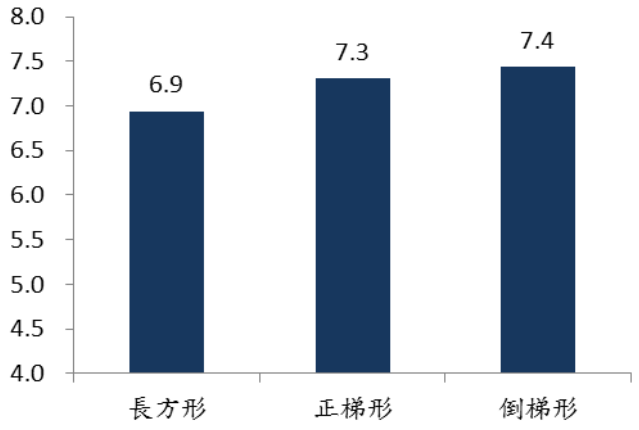


由實驗結果發現小容量的蒸氣室，可以提供較大的動力，讓船有較快的速度。

（二） 蒸氣室的形狀：

我們將長方形、正梯形、倒梯形三種不同的蒸氣室經過實驗之後，將蒸氣船行走 100 公分所需的秒數換成速度結果如下（表 4）：

（表 4）不同形狀蒸氣室的噗噗船航行速度（單位：公分／秒）



由實驗結果我們發現倒梯形的蒸氣室速度較快，但是三種形狀之間的差距並沒有很大。

三、改良連接蒸氣室的吸管：

實驗所取得的原始數據如下（表 5）：

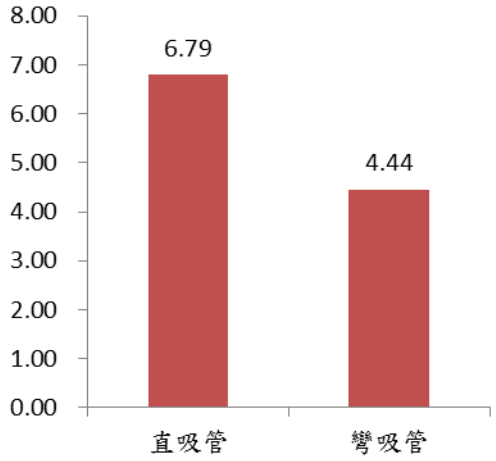
（表 5）不同吸管的噗噗船航行 100 公分所需時間。（單位：秒）

	1	2	3	4	5	平均（秒）
直吸管 A	13.45	14.83	13.72	14.24	14.30	14.11
直吸管 B	15.19	15.89	15.12	15.43	15.17	15.36
直吸管 C	13.84	13.95	13.73	13.12	13.73	13.67
彎吸管 A	22.51	23.14	22.89	23.20	22.71	22.89
彎吸管 B	21.45	21.94	22.24	21.96	23.24	22.17
彎吸管 C	22.54	24.43	22.61	22.54	22.70	22.96
粗吸管 A	41.15	38.58	37.49	39.17	40.72	39.42
粗吸管 B	38.84	38.81	37.90	38.25	40.14	38.79
中吸管 A	11.55	10.98	10.69	11.59	10.65	11.09
中吸管 B	13.87	12.92	11.96	10.87	12.27	12.38
細吸管 A	9.53	9.97	9.84	9.88	10.83	10.01
細吸管 B	10.55	9.58	10.81	9.37	9.94	10.05
六吸管 A	14.31	14.25	14.67	13.89	13.90	14.20
六吸管 B	14.65	14.22	13.98	14.10	13.87	14.16
四吸管 A	12.77	12.33	12.40	13.63	12.78	12.78
四吸管 B	12.51	13.77	13.85	13.01	13.44	13.32
二吸管 A	11.54	10.58	10.84	11.37	11.26	11.12
二吸管 B	11.20	11.89	12.10	11.17	11.90	11.65
長吸管 A	12.54	11.98	12.61	12.24	12.35	12.34
長吸管 B	13.11	13.25	12.88	12.67	13.02	12.99
短吸管 A	12.98	13.02	12.84	12.73	13.15	12.94
短吸管 B	13.13	12.69	12.72	13.05	12.81	12.88

（一） 吸管的彎或直：

我們將彎吸管、直吸管二種引擎，各做出三個以後進行實驗。先將行駛 100 公分所需的時間求平均，再換算成船的速度，結果如下（表 6）：

（表 6）彎、直兩種吸管的噗噗船航行速度。（單位：公分／秒）

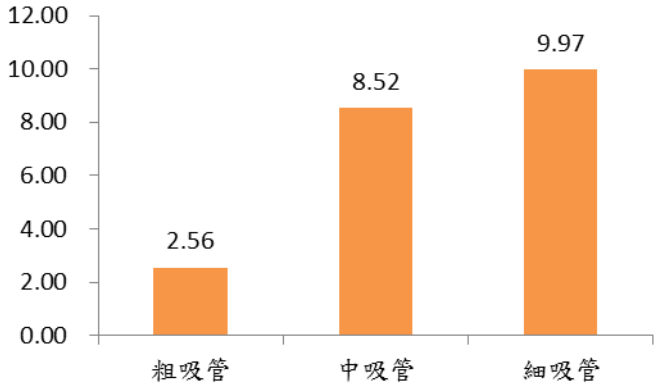


由實驗結果發現，直吸管的蒸氣引擎速度較彎吸管的快。

（二） 吸管的粗細：

我們將粗、中、細三種吸管所作成的引擎進行實驗，將行駛 100 公分所需的秒數求平均，再換算成船的速度，結果如下（表 7）：

（表 7）不同粗細吸管的噗噗船航行速度。（單位：公分／秒）

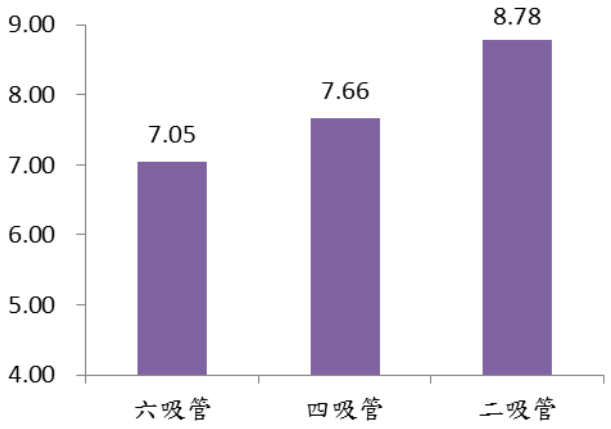


由實驗結果發現，較細的吸管所做的蒸氣引擎，速度較快。

（三） 吸管的數量：

我們將六支、四支、二支三種不同數量吸管所作成的引擎進行實驗，行駛 100 公分所需的秒數求平均，再換算成船的速度，結果如下表：

（表 8）不同吸管數量的噗噗船航行速度。（單位：公分／秒）

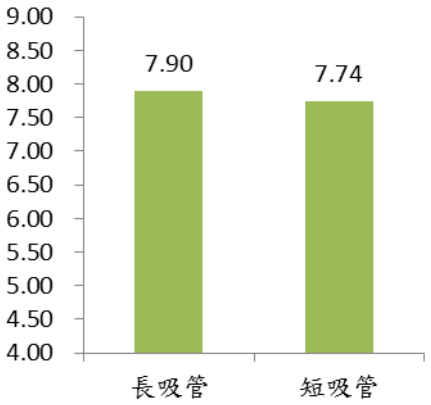


由實驗結果發現，吸管數量較少的蒸氣引擎，速度較快。

（四） 吸管的長短：

我們將長、短兩種不同吸管所作成的引擎進行實驗，將行駛 100 公分所需的秒數求平均，再換算成船的速度，結果如下（表 9）：

（表 9）不同長短吸管的噗噗船航行速度。（單位：公分／秒）



由實驗結果發現，長、短兩種吸管的引擎並沒有很大的差異，速度幾乎差不多。

四、火源的改良：

原始水溫為 28℃，容量 100ml 的水，加熱三分鐘之後的溫度紀錄如下（表 10）：

（表 10）不同燃料搭配不同燈芯，加熱後水的溫度。

	甲醇	乙醇	防風打火機油
毛線	38 ℃	47 ℃	43 ℃
棉線	37 ℃	46 ℃	38 ℃
娃娃線	42 ℃	48 ℃	62 ℃

我們發現「娃娃線」的效果比棉線、毛線都還要好，而「防風打火機油」燃燒所提供的熱量雖然最多，可是燃燒過程中會產生大量黑煙和臭味，不符合我們「環保」的訴求。所以

我們最後就決定使用乙醇當作燃料，娃娃線當作燈芯。

每次實驗時，先將乙醇加到半滿，鎖緊蓋子，將燈芯長度調整至 1 公分，就可以順利取得穩定又足夠的火源。

五、船體的改良：

用廢棄巧拼墊做成的雙體船效果十分良好，重量輕、阻力小、耐用又堅固。而且因為構造簡單，只是兩條海綿條加上二、三片塑膠瓦楞板，所以製造、維修和改裝都十分方便迅速。

船身側邊的導輪效果也很好，而且我們發現導輪半徑大一點效果更好，讓船可以一直保持直線前進，即使碰觸岸邊，也會不會讓船速變慢。

六、航行水道製作與船速測量：

直線水道的製作方式是去五金行買「接水管」，他的形狀是一根大水管「剖半」的形狀，只要兩端再用矽立康把蓋子黏合，就是很好用的水道，如下（圖 27）。

接著我們在一端預留約 150 公分的「預熱區」，讓噗噗船的引擎可以充分加熱以後再開始起跑，剩餘的部分用麥克筆在水道上每 50 公分做一個標記，就完成了水道的製作。

本來我們想要讓船跑 300 公分，但是後來實際實驗之後發現這樣時間太長，而且跑的距離越遠，誤差會越大，所以我們就決定改成只跑 100 公分，用碼表測量時間之後，換算成速度再進行比較。

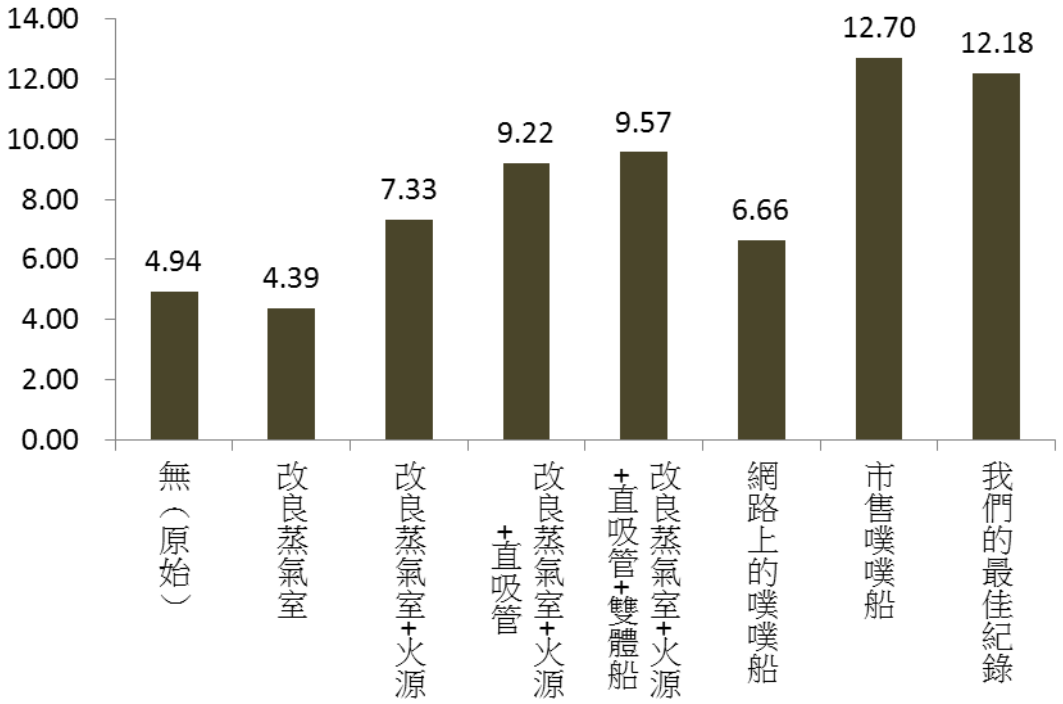
（圖 27）用接水管製作的直線水道。

七、改良前後以及與其他噗噗船的比較：

（表 11）逐個變項依序改良的噗噗船航行 100 公分所需時間。（單位：秒）

	1	2	3	4	5	平均（秒）
無（原始）	20.67	19.65	19.43	20.47	21.03	20.25
改良蒸氣室	23.55	22.1	22.24	22.89	23.22	22.80
改良蒸氣室+火源	14.01	13.51	13.53	13.62	13.58	13.65
改良蒸氣室+火源+直吸管	10.73	11.24	10.41	10.95	10.91	10.85
改良蒸氣室+火源+直吸管+雙體船	10.44	10.2	10.35	10.57	10.68	10.45
網路上的噗噗船	15.12	14.74	15.51	14.87	14.87	15.02
市售噗噗船	7.83	7.90	7.86	7.85	7.92	7.87
我們的最佳紀錄	8.17	8.23	8.19	8.20	8.25	8.21

（表 12）逐個變項依序改良的噗噗船航行速度。（單位：公分／秒）



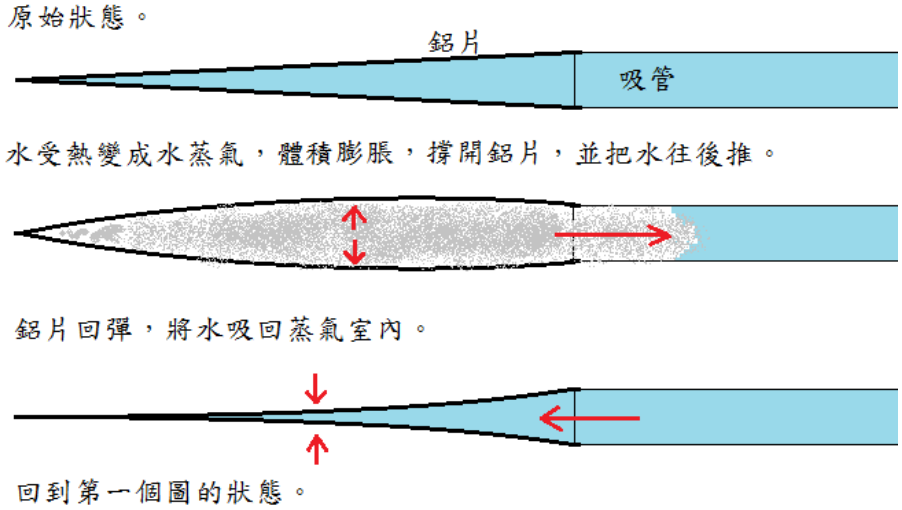
由（表 11）和（表 12）可以看出，一開始只改裝蒸氣室，速度反而下降，但是我們最後的成品比原始的設計，每秒快了 4.63 公分，最佳紀錄則比原始設計每秒快了 7.24 公分，速度增加了 146%。

陸、討論

一、鋁片蒸氣室：

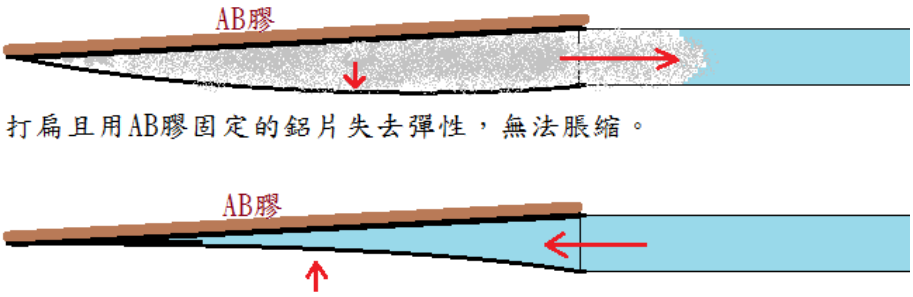
（一） 蒸氣室的製作：

蒸氣室製作過程的改良，是這次實驗中我們滿意的成果之一，鋁片蒸氣室運作的原理如下（圖 28）：



（圖 28）鋁片噗噗船蒸氣室的運作原理。

因為要將水「吸回」蒸氣室內的動力，是依靠鋁片的彈性，所以彈性越好，引擎運作就會越順暢越有力。可是前人的作法都是將鋁片打扁之後整個黏住，這樣會有兩大問題：第一就是上了膠的鋁片失去彈性，無法順利運作，如下（圖 29）；第二就是打扁的鋁片在接縫處很容易斷裂。

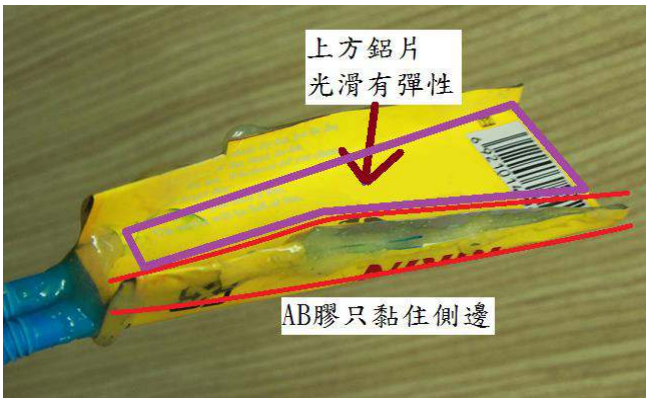


（圖 29）原始設計，用 AB 膠將上半部鋁片整個黏住，失去彈性。

所以我們改良蒸氣室的首要目標，就是要保持鋁片的「彈性」。經過我們團隊不斷腦力激盪，終於製作出如下（圖 30）的成品，改良過後的製作過程有三大優點：

1. 同時保留了上、下鋁片的彈性，另一方面也大幅減少需要將鋁片折扁的部份，減少鋁片斷裂或漏洞的情況。
2. 內部空間增大，能容納的水量增多，只要配合適當的火源，就可以產生比之前多很多的蒸氣，讓船可以快速前進。

3. 將鋁片配合吸管大小，畫線之後再折成倒梯形的作法，大幅減少接合處的空隙，使我們可以用更少的 AB 膠就將吸管黏好，黏好的吸管也較不易歪斜或漏氣。



（圖 30）改良過後的蒸氣室，AB 膠不會黏住上下鋁片，保留了鋁片彈性。

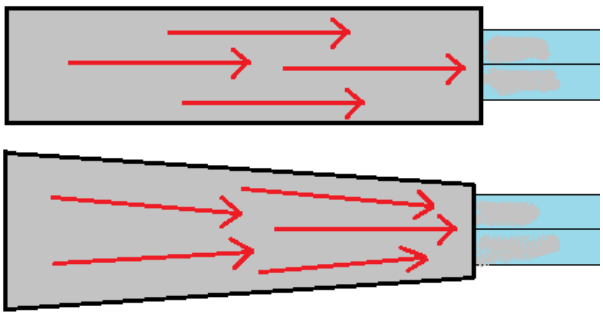
（二） 蒸氣室的大小：

除了鋁片蒸氣室製作過程的改良之外，我們也研究了蒸氣室的大小，結果發現大的蒸氣室效果較差，我們討論之後推測可能原因有下列三點：

1. 較小的蒸氣室受熱較均勻，水可以均勻受熱；大蒸氣室會受熱不均勻，造成有些部份水熱，有些部份水冷的情況。
2. 大蒸氣室中過多的水會阻礙蒸氣噴出，使引擎出力下降。
3. 大的蒸氣室空間較大，在相同火源之下，每次產生的蒸氣量應該相同，所以空間越大，壓力越小；相反的，相同體積的蒸氣在小的蒸氣室裡面就可以產生較大的壓力，推動船身前進。

（三） 蒸氣室的形狀：

我們從實驗結果發現三種形狀的蒸氣室速度差異不大，但是倒梯形的效果稍微好一點。我們推測是：倒梯形前端接觸火源的地方較大較寬，尾端與吸管連接的地方較窄，從火源處產生的蒸氣會從寬的地方往窄的地方噴出，這樣就像把水管壓扁一樣的原理，可以使蒸氣以較快的速度噴出，推動船身前進，如下（圖 31）。

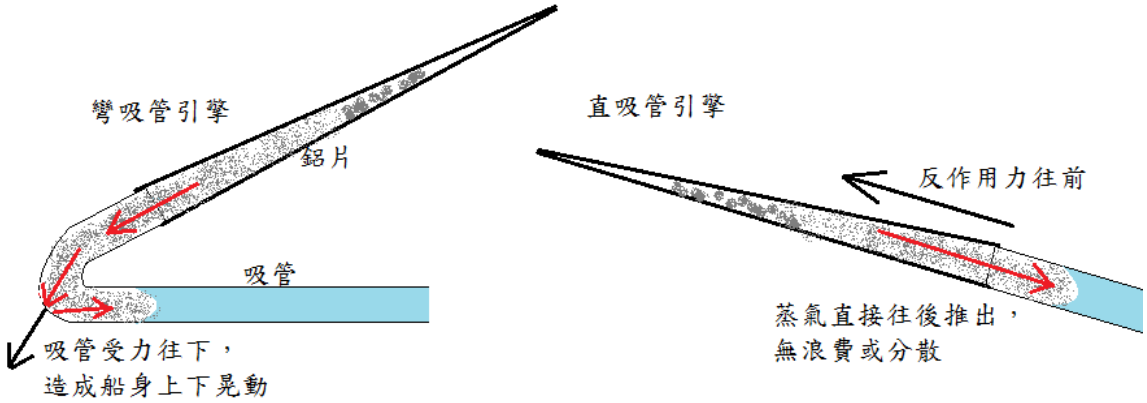


（圖 31）長方形與倒梯形蒸氣室的比較。

二、連接蒸氣室的吸管：

（一） 彎吸管與直吸管：

將前人「彎吸管」的作法改成「直吸管」的作法，是另一個令我們滿意的部份。實驗中我們發現，彎吸管引擎的蒸氣，從蒸氣室中噴出，來到轉彎的部份時，會「撞上」彎曲的吸管，不只造成力量的分散浪費，還會造成船體「上下晃動」，而且上下晃動的幅度在雙體船上特別明顯，我們推測是因為前人都是使用整片的珍珠板製作船體，船身不容易上下晃動，因此沒有發現此一現象；而我們是用雙體船結構，阻力較小，才發現彎吸管引擎有這樣的缺點存在，如下（圖 32）。

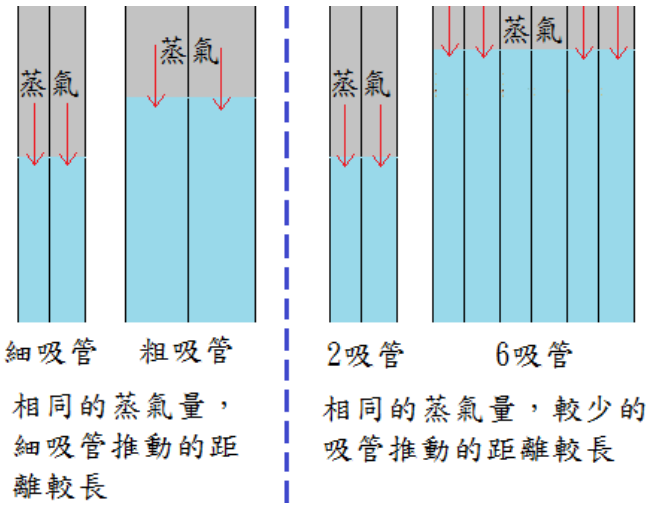


（圖 32）彎吸管與直吸管引擎運作比較。

此外，實驗結果也證明直吸管的引擎較彎吸管引擎速度快，加上結構簡單、組裝方便、維修容易，我們推薦之後想要做噗噗船的人，都製作直吸管結構的引擎。至於前人為何要將吸管作成彎曲設計，我們會再進一步探究

（二） 吸管的粗細、數量與長度：

實驗過後，我們發現較粗、較多的吸管都會使引擎的力量下降，我們研究討論之後，推測應該是因為蒸氣的體積固定，吸管中的空間如果越大，蒸氣「推動的距離」就越短，就如同兩個相同體積的圓柱體，底面積較小的圓柱體高度較高，反之則高度較低；所以在相同蒸氣體積之下，較細與較少的吸管，會使蒸氣「推動」較長一段距離，也使船前進較長一段距離，如下（圖 33）。



（圖 33）吸管數量與粗細的比較。

而吸管的長度則沒有明顯的影響，我們討論後推測可能是我們吸管長度不夠，無法做出「足夠的差距」，所以實驗結果沒有明顯差別。我們礙於船體結構的問題，無法將吸管剪得太短，這樣會無法加熱或是無法將吸管保持在水中，所以只能做小幅度的修剪。日後的延伸研究可以針對這一部份再進行加強，使用較軟較長的塑膠軟管來進行實驗；本次實驗是以吸管製作，就暫時不將塑膠軟管列入考慮。

三、火源：

我們自己打造的迷你酒精燈效果十分良好，燈芯可以方便調整長度，不像蠟燭的燭蕊長度難以控制還會越來越短，只要讓燈芯保持一公分的長度，我們就可以在每個實驗都得到穩定的火源。

迷你酒精燈能提供的熱量也比蠟燭充足很多，在改良蒸氣室之後，蒸氣室內的水量增多，蠟燭所提供的熱量明顯不夠，常常無法讓蒸氣穩定的產生。換成迷你酒精燈之後就改善很多，充足的熱源讓蒸氣穩定且大量的產生，使實驗可以順利進行。而且迷你酒精燈的體積與重量也與原來的圓形蠟燭差不多，不會因為重量過重造成船體的負擔。

酒精燈的蓋子也可以防止船在行駛當中，酒精因為搖晃而溢出；要重複實驗時也只要將酒精燈拿出，等船裝好水之後再放回即可，不用擔心燃料因為搬動而溢出，不管是安全性或是方便性都令人滿意。

我們也曾經嘗試過再進一步使用更強的火源，或是同時使用兩個迷你酒精燈，但是我們發現太強的火源，反而容易損壞引擎，可能會造成引擎內的吸管融化塞住，或是黏合的 AB 膠無法承受高熱裂開…等問題，如果要把火源增強數倍，引擎的體積也要跟著增加，而且要尋找更耐熱的黏膠也是十分不容易，加上吸管也不是耐熱的材料，因此這種使用回收材料所製作的鋁片噗噗船，並不適合使用太大太強的火源。

四、船體：

這次我們總共有 34 個不同的蒸氣引擎要裝在同一個船體上，每次都要將船體針對不同的引擎進行微調。前人所做的噗噗船都是將引擎「黏死」在船體上，不但要浪費材料製作大量

的船體，一旦引擎或是船體出了問題，就很難維修，甚至只能棄置。

而我們是「直吸管」與「雙體船」的搭配，船體構造簡單，維修十分方便。引擎形狀是直線型，只需要用一個小三角形的海綿固定角度，再以輔助支架支撐，就可以非常穩固，而且這樣的構造拆卸十分方便迅速，在引擎出問題時可以立刻將引擎單獨拆下檢修，不必因為引擎與船體黏死而苦惱。

我們 34 個引擎都是使用同一個雙體船進行實驗，換裝引擎只需將固定的膠帶撕開即可，節省了很多材料和時間，是這次實驗中我們引以為傲的項目。我們也希望可以將「直吸管」與「雙體船」的搭配推廣出去，讓之後有興趣製作噗噗船的人都可以不必再因為黏死的船體與引擎而苦惱，可以輕鬆方便的製作各種不同的船體與引擎。

六、航行水道製作與船速測量：

我們這次的水道唯一的缺點就是截面為「半圓形」，這樣比較容易造成船身「擱淺在岸邊」，但是這個問題可以用加裝船身的導輪解決，所以並不是很嚴重的問題。而導輪的材質、大小、製作方式等等，也是將來可以進一部探討的問題。

測量的方面，用按碼表的方式測量可能多少還是有誤差，所以以後也許可以多找幾人同時測量取平均，或是用光電計時器之類的裝置輔助測量。

七、改良前後的比較：

一開始只改裝蒸氣室，速度反而下降，我們推測是因為蠟燭的熱度不夠，所以水量變多的情況下，蒸氣量反而變少了。所以接下來改良火源之後，改良過的蒸氣室加上足夠的火源，速度就明顯上升。接著把彎吸管的設定改成直吸管之後，速度又再往上提昇。

不過將珍珠板船體改成雙體船，速度就提昇一點點，我們推測可能是因為兩種船體的體積都很小，接觸水面的面積都不大，所以差異不明顯，如果把船體放大，應該就會有比較明顯的差異。每個項目改裝後的速度提昇百分比比較如下（表 13），我們團隊最佳的紀錄是速度提昇了 146%。

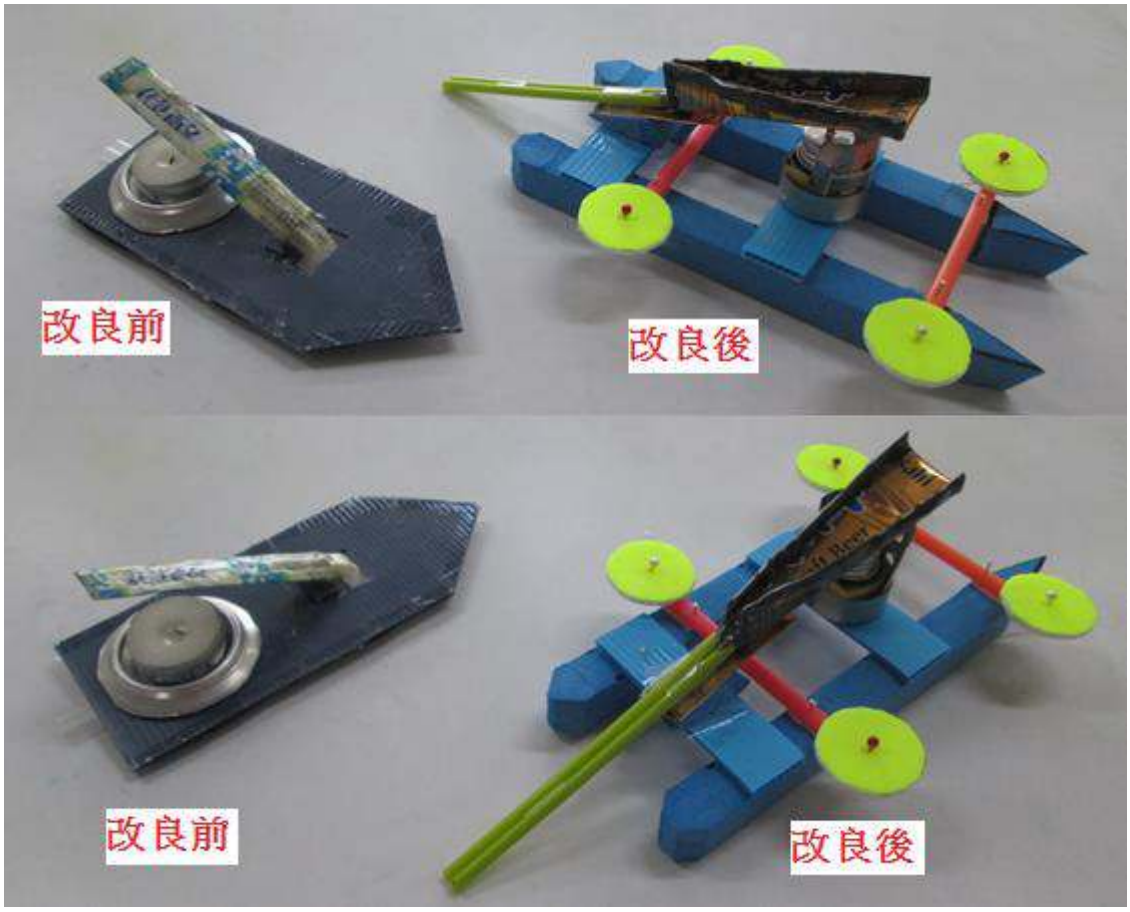
（表 13）各項目改裝後速度提昇百分比比較。

改裝項目	無（原始）	改良蒸氣室	改良蒸氣室+火源	改良蒸氣室+火源+直吸管	改良蒸氣室+火源+直吸管+雙體船	最佳紀錄
速度（cm/s）	4.94	4.39	7.33	9.22	9.57	12.18
百分比比較	100%	89%	148%	187%	194%	246%

柒、結論

經過實驗之後，我們發現鋁片蒸氣噗噗船可以有以下幾點改良的方向：

1. 製作鋁片蒸氣室，兩側的鋁片不用反折壓扁，只需上折到 90 度垂直，再把尾端剪一小端（約一公分）下折固定即可。折鋁片之前建議尾端先配合吸管大小作記號，再畫線使蒸氣室呈倒梯形再折。用耐熱型 AB 膠固定兩側與接合吸管，保留上下端鋁片的彈性。
2. 蒸氣室的大小不宜太大，過多的水量以及受熱不均都會影響引擎的輸出。
3. 吸管用較細的吸管效果較好，數量以 2 根較好，不適合只用 1 根吸管，是因為氣壓會使水無法順利灌入引擎。
4. 火源要充足穩定，但是不可以用太強烈的火源，容易造成引擎損壞。我們製作的迷你酒精燈效果十分好，值得參考。
5. 船體建議使用「雙體船」。一方面結構簡單製作容易，另一方面穩定性也很夠，也不像一般的船需要特別去平衡配重，是十分理想的船體。
6. 最後改良完成的作品，速度增加 146%，成果令人滿意，雖然還是比市售的全金屬噗噗船速度略慢一點，但是我們能用環保的材料做到如此地步，已經非常開心了。當然也希望未來能夠再進一步提昇速度至三倍以上，做出更好的噗噗船。



（圖 34）進化完成的噗噗船照片。

捌、參考資料及其他

1. pop pop boat-維基百科
   http://en.wikipedia.org/wiki/Pop_pop_boat
2. 國立臺中教育大學科學教育與應用學系科學遊戲實驗室-噗噗船
   http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-018.html
3. 市售噗噗船-賽先生科學玩具購物網
   http://www.mr-sai.com/product.php?id=CNY110263
4. 科學蔡正立老師的蒸氣船
   https://www.youtube.com/watch?v=xAQ_YHyladM
5. Pop Pop Boat Gallery
   http://www.sciencetoymaker.org/boat/boatGallery.html
6. 如何製作 pop pop boat 的影片
   https://www.youtube.com/watch?v=0ki9Kta8g14
7. 蘭嶼高速客輪
   http://www.280226.com.tw/
8. 雙體船-維基百科
   http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%99%E9%AB%94%E8%88%B9
9. 雙體船-國立海洋科技博物館
   http://ship.nmmst.gov.tw/ship/content/131/523
10. 噗噗船＆有趣玩具
    http://www.poppopboats.net/
11. MAKE A PONYO PUTT PUTT (POP POP) BOAT
    http://www.sciencetoymaker.org/boat/
12. 李偉光等人。1997 年。狂風巨浪我不怕——船的研究。中華民國第三十七屆高小組應用科學科科展。
13. 徐鼎昀等人。2003 年。我把呆呆船變聰明了。中華民國第四十三屆國小組物理科科展。
14. 吳鈺嫻等人。2005 年。水中四腳獸—探討船體與槳及船速的關係。中華民國第四時五屆國小組生活與應用科學科科展。
15. 林奕安等人。2007 年。是誰讓我心“帆”—魔法船。中華民國第四十七屆國中組理化科科展。

【評語】080101

有用科學方法逐次改變一個變因探討最佳化。