

屏東縣第 64 屆國中小學科學展覽會
作品說明書

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：與時推移~水火箭發射推力探討

關鍵詞：水火箭、推力、推力計

編號：A2002

與時推移~水火箭發射推力探討

摘要

本研究利用寶特瓶製作水火箭，主要探究影響水火箭推力大小的因素，運用推力的觀念，找出最佳發射角度及最適當水量搭配之最佳飛行組合。

由試驗過程的觀察以及實驗數據資料，我們發現：

- 一、水火箭發射時有「噴水階段」和「水氣噴發階段」，最大推力數值發生於「水氣噴發階段」。
- 二、在沒有裝水的時候，任何發射角度產生的推力大小差異不大。
- 三、要探究最遠距離的**最佳發射角度**時，應以沒有裝水的水火箭進行探究較佳。
- 四、在水量 700 毫升以下的各測試水量，發射角度為 0 度時，推力大小**沒有**很大的差異。
- 五、在水量 700 毫升以下的各測試水量，發射角度為 **22 度**時，水量越多推力越大；但在發射角度 45 度、67 度及 90 度時，當水量超過 500 毫升其推力即有下降趨勢，甚至在高角度(67 度及 90 度) 當水量超過 350 毫升其推力即有下降趨勢。
- 六、發射角度在 45 度時，水量在 350 毫升、200 毫升及無水時，推力大小與飛行距離都呈現正相關。

壹、 研究動機

在學校「科學探究社團」學習過程中，老師要我們找目標，設定要探究的主題。

因為學校有飛行社團在玩水火箭，我們也玩過和學習過一些有關水火箭的知識，我們幾位同學討論後，就從熟悉的主題來著手探究比較不容易灰心的觀念下，我們就選定以水火箭為主的相關題目來作為探究主軸。

一開始，老師引導我們蒐集和閱讀好多篇以「水火箭」為主題探究科展作品；大部分的探討都圍繞在發射的角度、水量和打氣壓力的變化作為探究方向。在逐篇研讀資料及跟老師討論後，我們認為：發射的角度、水量和打氣壓力的不同，其變化應該會影響一個共同主要影響水火箭飛行的變化量，就是--「推力」。在我們研讀的科展作品中，僅有少數作品提到跟推力有關的用語，且其測試為垂直發射測試載重(水火箭電梯~水火箭載重能力探討)或是衝擊力(你可以再瞄準一點-旋轉火箭)，且測試工具是利用一般的電子磅秤；其實驗的方式我們討論

後認為並無直接測量發射瞬間產生的推力數據，且衝擊力與發射時產生的推力並不相同；所以我們就決定來探究目前還沒的作品(或許是我們沒找到作品資料)—水火箭推力探究。

我們也觀看了一些火箭、噴射引擎的推力試驗影片，都是平放測試，我們的水火箭可以平放來測試推力大小嗎？各種不同發射角度推力會有很大的差異嗎？老師常說的一句話--試看看就知道！

★與課程相關單元：自然與生活科技三上第三單元看不見的空氣(康軒版)

自然與生活科技三下第二單元水的奧秘(康軒版)

自然與生活科技三上單元 3 空氣(南一版)

自然與生活科技三下單元 2 奇妙的水(南一版)

自然與生活科技五下單元 4 力與運動(南一版)

貳、 研究目的

- 一、探討變因：不同水量與推力大小探究。
- 二、探討變因：不同發射角度與推力大小探究。
- 三、探討變因：推力大小與飛行距離相關探究。
- 四、最佳發射角度探究。
- 五、提供後續相關水火箭課題探究參考。

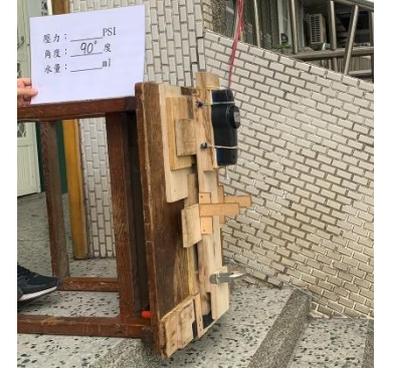
參、 研究設備及器材

一、水火箭推力測試工具：

1250cc 寶特瓶、數字型推拉力計、噴嘴、自製發射角度控制架、手持式水火箭發射器、打氣空壓機、磅秤、角度測量 APP 手機。

二、水火箭發射器材：

水火箭、水火箭發射架、打氣筒、水桶、量杯、漏斗、手機角度測量 APP。

		
<p>1250cc 寶特瓶</p>	<p>數字型推拉力計</p>	<p>噴嘴</p>
 <p>壓力：____ PSI 角度：0° 度 水量：____ ml</p>	 <p>壓力：____ PSI 角度：22° 度 水量：____ ml</p>	 <p>壓力：____ PSI 角度：45° 度 水量：____ ml</p>
<p>自製可調角度發射控制架</p>	<p>可調 22 度發射架</p>	<p>可調 45 度發射架</p>
 <p>壓力：____ PSI 角度：67° 度 水量：____ ml</p>	 <p>壓力：____ PSI 角度：90° 度 水量：____ ml</p>	
<p>可調 67 度發射架</p>	<p>可調 90 度發射架</p>	<p>手持式水火箭發射器</p>
		
<p>打氣空壓機</p>	<p>水火箭</p>	<p>手機角度測量 APP</p>

		
水火箭發射架	打氣筒	量杯、磅秤
		
數字型壓力計	氣密試驗	

肆、 研究過程或方法

一、文獻蒐集及研讀：

在我們決定以水火箭為探究主題之後，我們進入「國立臺灣科學教育館科展資訊管理系統全國中小學科學展覽會歷屆參展資料」網頁及使用 Google 網頁輸入「水火箭」關鍵字搜尋有關水火箭的作品，蒐集相關作品後開始進行研讀、老師講解及討論。

我們用了將近一學期的時間來進行資料蒐集、研讀及討論每一篇作品探究的目的、探究方法以及成果；我們發現所蒐集到的十餘篇作品大部分是都是探究注入水量、發射角度還有打氣壓力和飛行距離的關聯性。對於成果探討的結論大都提出不外乎打氣壓力越大飛行距離越遠、水量大約在 250~350 毫升之間飛行效果較佳、最佳發射角度在 45 度~60 度之間的概念。我們運用閱讀、討論的過程來增進對水火箭相關問題的深入了解，並確立要探究水火箭發射產生推力相關影響進行假設的推論，設定後續要進行探究的方法及步驟；確立方法後找尋適當的探究工具。

二、探究工具選定：

「探究工具」影響探究的可行性與成果的準確性。

我們要探究的主題是「推力」的測量，在所研讀的作品中所提到的都是一般電子磅秤；我們討論後認為一般電子磅秤無法達到我們所要測量的需求；而且一般水火箭發射架這麼大，要如何方便和量測的工具結合使用……這方面的工具在所研讀的資料中都沒有我們認為可以搭配使用的適合工具。老師引導我們上網路搜尋關鍵字「推力計」，購物網站就出現好多類型的推力計，還可以鎖定最大值，非常符合我們實驗需求，測量推力大小問題解決。

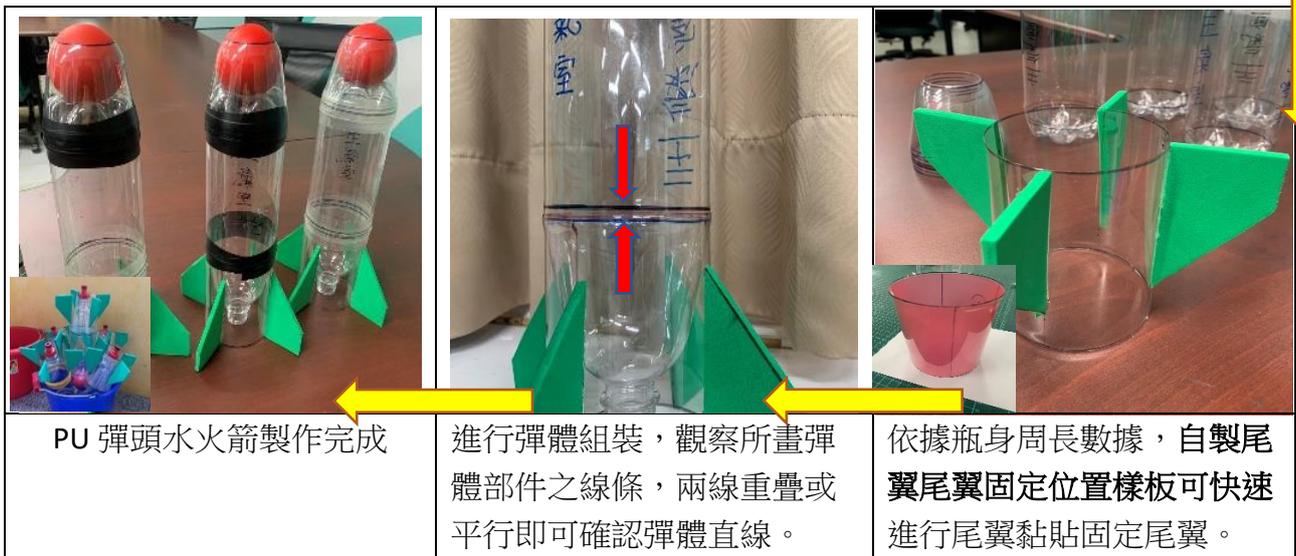
再來就是發射器。發射器需要小巧，找尋市面上是否有外觀形式適合我們實驗設備搭配使用，找了好多購物網站才在境外的購物網站找到適合的「手持式水火箭發射器」。我們終於深切知道，要完成一個實驗還真是要考慮好多層面。

三、水火箭製作建議流程(安全泡棉板快乾固定法)：

水火箭彈體直線性、尾翼組裝位置是否對稱影響水火箭的直線飛行性能，是水火箭製作最重要的部分。我們改良去年學校團隊水火箭的製作方法，變更尾翼的材料，用泡棉板裁切尾翼式樣，並使用快乾來固定，讓製作更方便快速並且更穩定。

水火箭製作流程及注意事項：





四、自製可調角度推力測試架製作：

推力計、測試寶特瓶和手持發射架要如何安裝是一開始遇到要解決的問題，我們利用學校老舊的課桌當發射介面，一開始我們利用階梯斜面還有磚塊、木板來調整所要測試的角度(如照片一)，並使用一般打氣筒來打氣。



照片一、原始版推力測試架

開始進行各角度是否可以進行測試後，我們發現 0 度、22 度還有 45 度都可以順利進行測試，但是 75 度和 90 度的固定就無法調整及穩固。我們在討論可以怎樣處理時，老師拿一支數學課用的大圓規放在桌上引導我們思考，終於討論出可以用木板支撐來架高發射架。在老師的引領下，我們練習使用木鋸、使用鐵鎚等各種工具來製作，並測試使用性後，完成只要更換支撐木板就可以完成各角度的「自製可調角度推力測試架」(如照片二~照片六)。並使用空壓機加速實驗進行，使用數字型壓力計來減少誤差。



照片二、自製可調角度推力測試架(0 度)



照片三、自製可調角度推力測試架(22 度)



照片四、自製可調角度推力測試架(45 度)



照片五、自製可調角度推力測試架(67 度)



照片六、自製可調角度推力測試架(90 度)

五、氣密式驗：

因為水火箭手持式發射器需由國外購買，為了不因設備故障影響試驗順利進行，我們購買了 10 組水火箭手持式發射器，使用前先行編號(如照片七)，然後對所有發射器連接寶特瓶打氣後進行氣密式驗(如照片八)，汰除有漏氣的發射器。



照片七、編號後水火箭手持式發射器



照片八、進行水密試驗

六、探討：

在研讀相關作品後，我們確立要探究方向就是推力探究，因應推力計之推力上限為 5 公斤(5000 公克)；經測試後，我們探究打氣壓力設定在 50PSI 時水火箭在不同角度、不同水量發射時，產生的推力大小變化情形；並驗證推力大小和飛行距離相關性探討。

流程步驟：

(一)、設計實驗數據紀錄表，方便紀錄及後續資料整理，並可明確了解實驗進度。

50PSI	0 度	22 度	45 度	67 度	90 度
0cc	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.
200cc	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.
350cc	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.
500cc	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.
700cc	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5.

(二)、練習水量量測、注入、上架裝填、打氣控制、推力計操作等各步驟，熟悉動作後再開始進行測試實驗。

(三)、依據紀錄表填寫實測數據。

(四)、整理數據。

伍、 研究結果

依據實驗數據紀錄，彙整完整記錄表(如表一)。

表一、水量與發射角度產生推力紀錄表

單位：公克

	0度	22度	45度	67度	90度
0cc	1100	980	1210	1210	1230
	950	1270	1010	1160	1370
	860	760	1230	1180	1050
	1330	1021	1130	1080	1030
	1360	1340	1220	1010	1250
	1120	1074	1160	1128	1186
200cc	1090	1180	1770	2480	2490
	1290	1550	1630	2570	2590
	990	1500	1160	2540	2420
	1030	1220	1810	2530	2580
	1360	1430	2060	2480	2620
	1152	1376	2108	2520	2540
350cc	1110	2370	2580	2010	2800
	1180	2210	2660	2110	2720
	940	1610	1940	2630	2510
	980	1800	2530	2780	2430
		1350	2200	2630	2560
	1053	1868	2382	2432	2604
500cc	1080	2360	2790	2460	2270
	1510	2320	2800	2230	2760
	1530	2770	2710	2640	2240
	990	2840	2820	2520	2140
	850	2430	2790	2160	2420
	1192	2544	2782	2402	2366
700cc	1640	2560	2130	2220	2220
	1490	2580	2320	1900	2440
	1590	2510	2310	2120	1960
	950	2670	2210	2470	2070
	920	2590	2530	1910	2430
	1318	2582	2300	2124	2224

將表一資料之平均值數據彙整為表二俾利進行後續綜合探究。

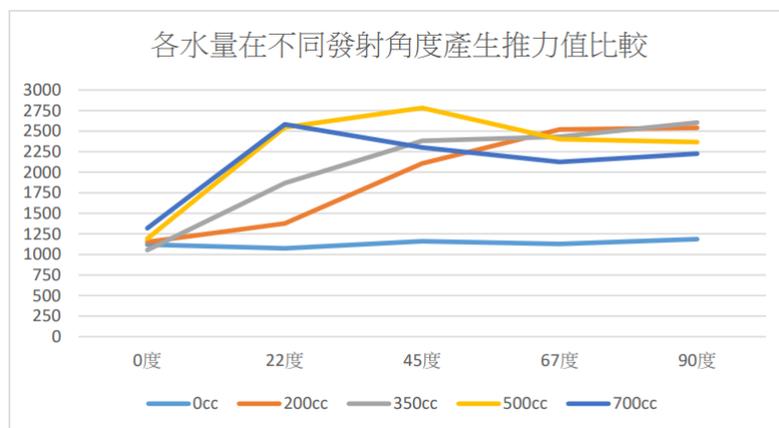
表二、水量與發射角度之推力值

單位：公克

	0度	22度	45度	67度	90度
0cc	1120	1074	1160	1128	1186
200cc	1152	1376	2108	2520	2540
350cc	1053	1868	2382	2432	2604
500cc	1192	2544	2782	2402	2366
700cc	1318	2582	2300	2124	2224

綜合探究：

- 一、由表二資料轉換成圖一進行綜合觀察比較，在 50PSI 時，最大推力數值發生於 45 度時 500cc(黃色)曲線上，最低推力數值發生於各角度 0cc(淡藍)曲線，且曲線平緩。



圖一、各水量在不同發射角度推力值比較

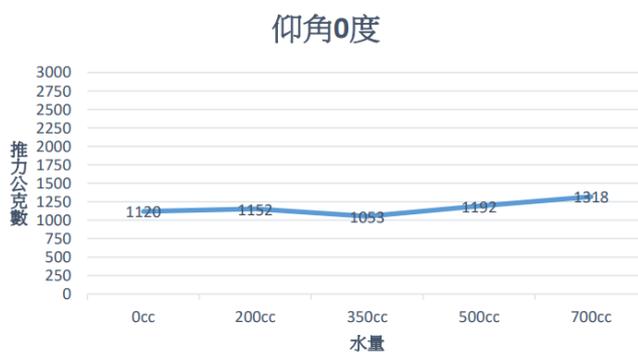
二、在沒有裝水時(0cc)，由曲線圖可以發現，曲線平緩，在各角度推力值無明顯的不同。

	0cc
0度	1120
22度	1074
45度	1160
67度	1128
90度	1186



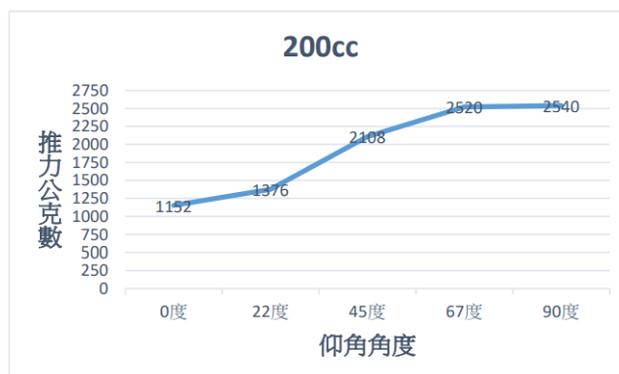
三、在發射角度為 0 度水平放置時，我們觀到有裝水的氣瓶，在發射時有些微水氣噴出，水量越多噴出水氣越多，推力值變化以 700cc 較高。應是因為液面接近噴嘴口，噴發時帶出水氣較多使推力較大些。

	0度
0cc	1120
200cc	1152
350cc	1053
500cc	1192
700cc	1318



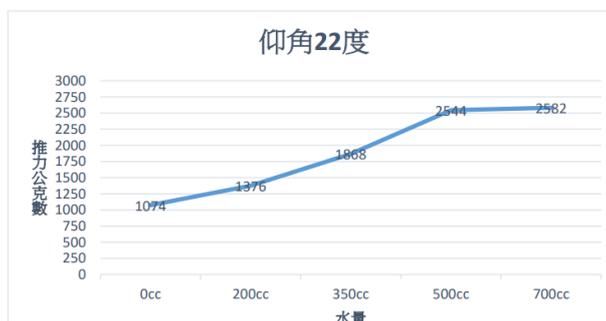
四、在水量為 200cc 時，由曲線圖中可觀察出，角度越大時，推力值越高，但在 67 度與 90 度時變化量不大。

	200cc
0度	1152
22度	1376
45度	2108
67度	2520
90度	2540

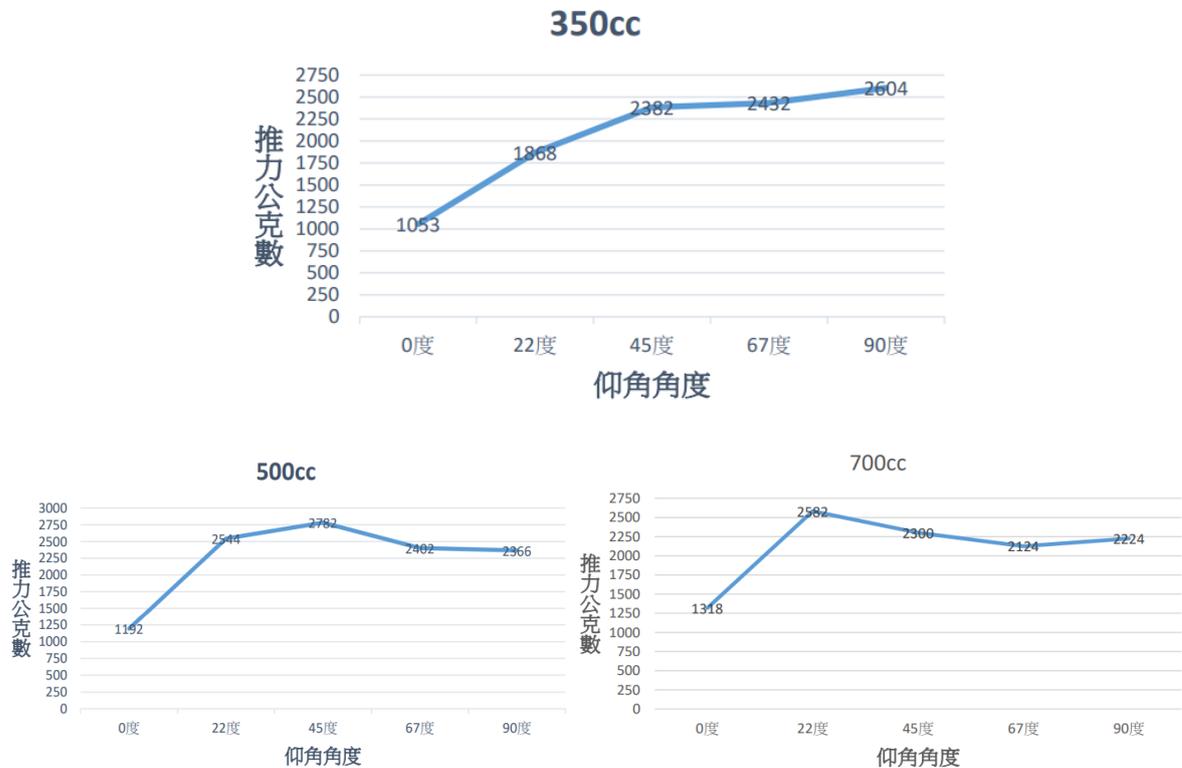


五、在發射角度為 22 度時，水量越多，推力值越高，但在 500cc 與 700cc 時變化量不大。在此角度發射後觀察到水量並未完全噴發完畢，都還有殘留。

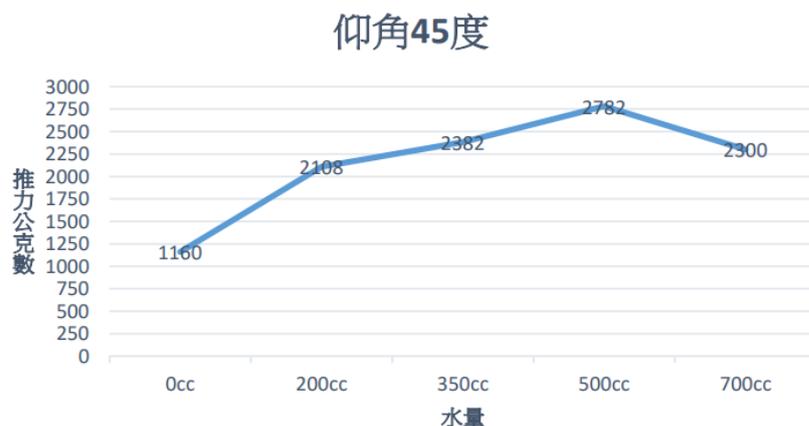
	22度
0cc	1074
200cc	1376
350cc	1868
500cc	2544
700cc	2582

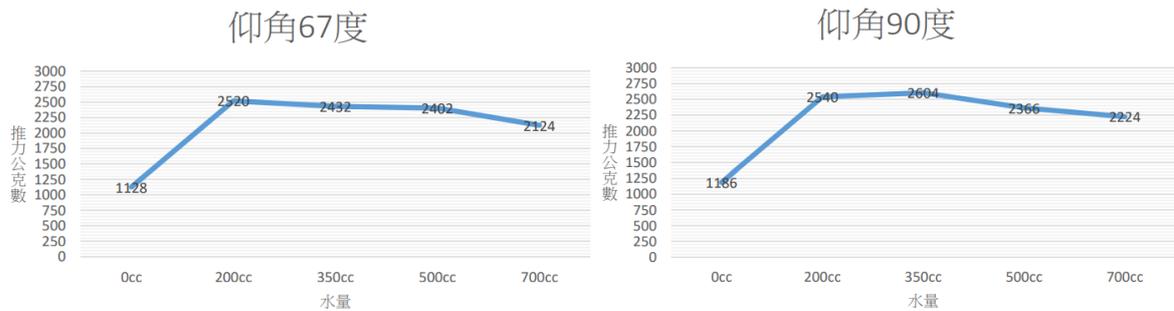


六、在水量為 350cc 時，由曲線圖中可觀察出，角度越大時，推力值越高，曲線行為與 200cc 水量時類似，推力隨角度增加而產生向上趨勢；但在綜合觀察 500cc 及 700cc 各角度之推力值表現時發現，500cc 水量在角度 67 度及 90 度時以及水量 700cc 甚至在 45 度時推力即下降趨勢，推論應該是水量多重量大，導致推力減少。



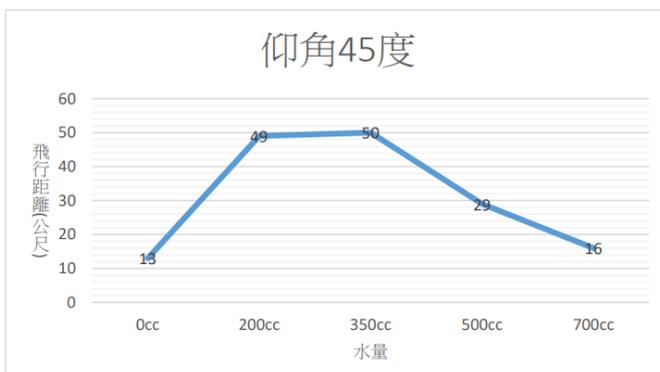
七、在發射角度為 45 度時，水量和推力曲線變化和 22 度時水量多推力大之情形，開始產生明顯曲線變化。由曲線圖可以明顯發現，發射角度 45 度時，推力值最大值在 500cc 時；但是發射角度在 67 度及 90 度時明顯出現最大值在 200cc 或是 300cc 附近，並非水量多時產生的推力就大。在高角度時推力反而因水量多而減少，推力要支撐本身的水重量導致推力減少。





八、我們以 45 度發射角度進行飛行距離與推力值是否為正相關探究發現，在水量為 350cc 以下時，推力值越大飛行距離越遠；但 45 度發射角度推力值最大是發生在 500cc 水量時，其飛行距離與推力值並不相對應，推論應是重量過重且因水量不同，改變水火箭的重心位置，進而影響飛行表現。由下曲線圖可以發現飛行距離與推力值曲線型態並不一致。

45度	飛行距離	推力值
0cc	13	1160
200cc	49	2108
350cc	50	2382
500cc	29	2782
700cc	16	2300



陸、 討論

- 一、在將氣瓶裝上發射架與推力計接合時，務必緊貼減少空隙，避免發射後測量到的是「衝擊力」而不是「推力」。
- 二、水的量測建議不要使用量杯，可使用磅秤量重量，減少量杯觀察產生的誤差及錯誤。
- 三、發射角度試驗可在增加量測 45 度至 67 度間的角度 2 組，如 50 度及 60 度，來補足可射遠距離角度的探索。

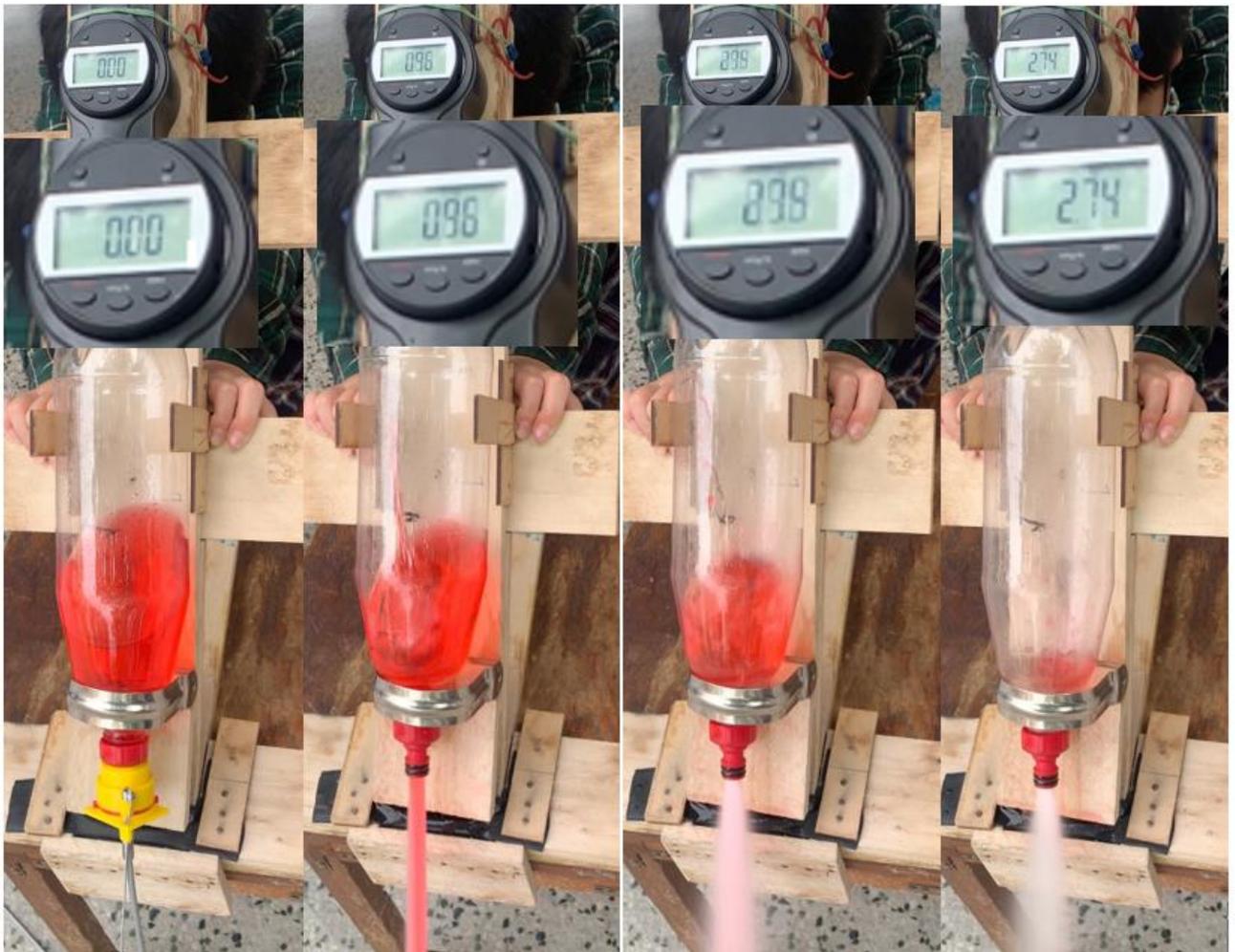
四、推力計可購買測量上限值高的機種，方可測量更高打氣壓力時產生的推力。

五、熟練操作過程對於實驗成果有很大的影響，並且可以提高效率。

柒、 結論

一、由實驗數據顯示，水火箭在沒有水的情況下，發射產生的推力並不受發射角度的影響而有明顯的變化，所以我們建議要找出最佳發射角度應以不加水的情況下進行探究。

二、由觀察錄影影片我們發現，水火箭發射後會有兩階段，即「噴水段」及「水氣噴發段」，最大推力發生時機為「水氣噴發段」(如照片所示)。我們用紅墨水染色方便觀察，在「噴水段」時推力值為 960 公克，在「水氣噴發段」時推力值為 2740 公克。



三、發射角度在 45 度時，水量在 350 毫升、200 毫升及無水時，推力大小與飛行距離都呈現正相關。

四、在水量 700 毫升以下的各測試水量，發射角度為 22 度時，水量越多推力越大；但在發

射角度 45 度、67 度及 90 度時，當水量超過 500 毫升其推力即有下降趨勢，甚至在高角度(67 度及 90 度) 當水量超過 350 毫升其推力即有下降趨勢。

五、以 45 度發射角度進行飛行距離與推力值是否為正相關探究發現，在水量為 350cc 以下時，推力值越大飛行距離越遠；但 45 度發射角度推力值最大是發生在 500cc 水量時，其飛行距離與推力值並不相對應，推論應是重量過重且因水量不同，改變水火箭的重心位置，進而影響飛行表現。

捌、 參考資料

- 一、王梓倫(2005)•水火箭推進段氣水流量與推力之分析及驗證(已出版的碩士論文)•台中：逢甲大學航太與系統工程學系。
- 二、SOS 救命火箭 GO!環保水火箭製作與實用性研究•金門地區第 61 屆中小學科學展覽會。
- 三、麵粉火箭飛多遠•屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會。
- 四、你可以再瞄準一點-旋轉火箭•中華民國第 60 屆中小學科學展覽會。
- 五、看誰最神「氣」？—探討影響水火箭拋射距離之研究•中華民國第 60 屆中小學科學展覽會。
- 六、水男人夢想的小老婆~探討水火箭車發射動力之研究•中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。
- 七、火箭電梯~水火箭載重能力探討•嘉義縣第 52 屆國民中小學科學展覽會。
- 八、強力水火箭-175 公尺的最佳紀錄•嘉義縣第 53 屆國民中小學科學展覽會。
- 九、疾風飛馳，衝！衝！衝！~探討陸海空「氣壓水 箭」的射遠動力之分析研究•中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。
- 十、水火箭•新北市立重慶國民中學 102 學年度科學展覽。
- 十一、 飛向宇宙，浩瀚無垠!-水火箭發射、製作。