

水火箭之製作、發射、探討影響飛得遠近因素

摘要

同學們，你們有看過火箭發射的英姿嗎？你知道火箭發射背後的科學原理嗎？想不想自己嘗試看看發射火箭的快感呢？讓我們一起動手來作水火箭，實際體驗一下火箭發射的情況並探究如何才能讓火箭射得又高又遠。因為已是小學四年級的學生了，較懂得安全觀念，製作與試射水火箭過程中，相較於平常靜態之課程活動，頗能引起學生的動機與熱情，看著自己做的水火箭發射升空，學生們心情興奮高興，溢於言表。

壹、研究動機

為了培養學生鍥而不捨，努力探究之精神，所以選定「水火箭」製作和探究。在四年級上學期自然課第四單元裡，為何後來的噴射飛機可以靠引擎推動而飛行？據說是物理界先賢牛頓提出的力學原理，便以水火箭來親身體驗作用力與反作用力的情形。

貳、研究目的

- 一、瞭解水火箭升空所需的相關原理，歸納出最好的比例及大小和材質。
- 二、經由親自動手製作，來發現問題，進而嘗試解決問題。
- 三、探討角度、水量、氣壓對水火箭射程的影響。
- 四、找出可以使水火箭飛得最遠的原因，並加以討論。
- 五、統計歸納讓水火箭飛得最遠的數據(水量、氣壓、角度)。

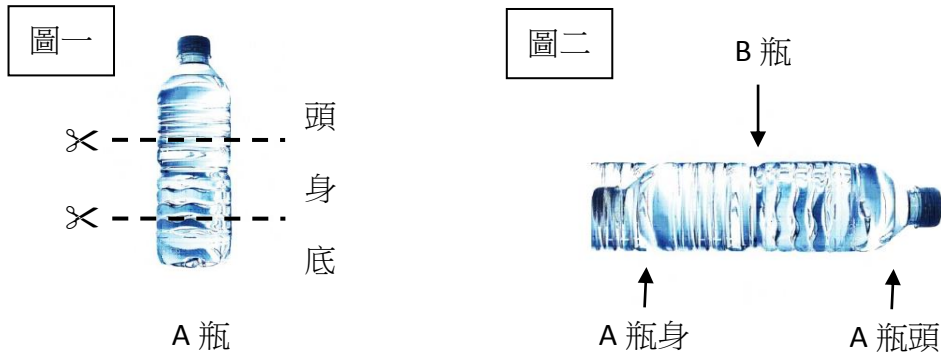
參、研究器材與設備

- 一、水火箭製作的材料：汽水保特瓶 2 支(650c. c. 蘋果西打)、透明片 2 張、厚紙板 1 張、電工膠帶 1 卷、雙面膠帶 1 卷。
- 二、水火箭發射架一組
- 三、打氣筒(有壓力計)一個
- 四、其它發射水火箭相關器材：量杯、捲尺、漏斗、大水桶(能裝 10 公升)、量角器

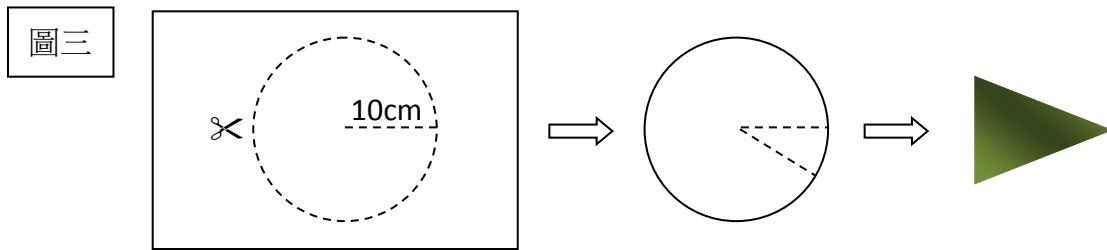
肆、研究過程和方法

(一)水火箭的製作方法和過程

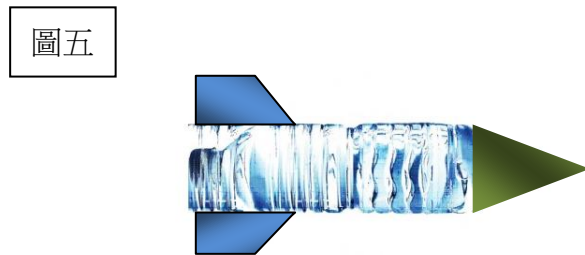
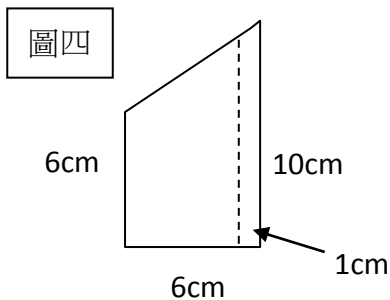
1. 先確認噴嘴能栓蓋於選定的寶特瓶後，除去寶特瓶外包裝，洗淨瓶身待用，並分為 A、B 二瓶。
2. 將 A 瓶裁切分為頭、身、底三部分如下圖一。



3. 使用透明膠帶，將剛剛裁切下來的 A 瓶頭部及中身黏貼於 B 瓶，黏貼方式如上圖二，完成箭身。
4. 於厚紙板上畫出半徑 10 公分的圓如下圖三，裁切並割去截角一塊如下圖，作為火箭箭頭。



5. 使用透明膠帶，固定箭頭呈適當大小的圓錐狀，並於內部置入適量黏土穩定飛行用，並以舊報紙填平。
6. 合併前先在箭身及箭頭以麥克筆標記，確認黏貼位置避免黏歪。
7. 將處理完成後的箭頭，以透明膠帶初步黏貼固定於箭身上，再以電工膠帶黏繞 1 圈，強化黏貼部位，完成合併。
8. 以塑膠瓦楞板製作尾翼（擾流板），確認紋路方向後，裁切 4 片尾翼如下圖四。



9. 將剛剛裁切好的尾翼做進一步處理，將尾翼中分 1 cm（虛線區域），製作黏貼部位並攤開。
10. 將處理完成後的尾翼，以透明膠帶初步黏貼固定於箭身上，再以電工膠帶黏貼 1 層如圖，強化黏貼部位，完成合併如圖五。
11. 於箭身倒入約 100ml 的水後安裝噴嘴，置於發射台上。
12. 以打氣筒加壓至 50~70 psi，準備發射！
13. 按下開關，能閃多遠就多遠，不然被水濺濕就得換衣服囉~:P

(二)水火箭的發射原理

水火箭原理說明：

施放程序	說 明	物理名詞
加水	利用空氣施壓瓶內水使水瞬間向外噴出，產生反作用力推進水火箭飛高與飛遠快。	動量守恆 與反作用力
打氣	利用水火箭內、外空氣壓力差，產生作用力迫使水被噴出。	氣壓
發射	利用噴出的水和氣體，產生反作用力，推動火箭。	作用與反作用力
飛行	因地球引力作用，使水火箭產生彈道飛行	地心引力、彈道飛行
	飛行時，空氣阻力將使水火箭減速、停止	空氣阻力

一、加水→動量守恆

動量為物體質量和其運動速度的乘積。動量守恆為一系統之總動量為此系統中各物體之動量和。

因為保持瓶容納的空氣有限，在噴氣嘴打開的瞬間，空氣會瞬間衝出來了，產生的作用力很小。加入水後，因為水不會被壓縮，壓縮空氣將水向外推，當水流高速向外衝出時，增加反作用力，也就能推動水火箭向上升空。

二、打氣→氣壓

單位面積中所受的空氣壓力。

$$P = F/A \quad ; \quad P : \text{大氣壓力} \quad F : \text{作用力} \quad A : \text{面積}$$

壓力愈大，所產生的作用力也愈大。

三、發射→作用力與反作用力

牛頓第三運動定律：如果以一力推（拉）一物體時，該物體會以相等大小的力推（拉）施力者。

水火箭升空的原理和把氣球放氣的道理一樣。

四、飛行→地心引力、彈道飛行、空氣阻力

地心引力	使物體落回地面的力。兩物體間重力大小取決於它們之間的距離，也取決於物體的質量。距離愈大，所受的引力就愈小。物體的質量愈大，所受的地心引力就愈大。
彈道飛行	物體以一起始力向一仰角方向作用，物體受到空氣阻力的影響，呈一拋物線方式飛行。此拋物線即為彈道。
空氣阻力	物體移動穿過空氣時，物體擦撞空氣分子產生摩擦力，此種摩擦力稱之為空氣阻力。

水火箭升空後，會靠著本身的慣性力量繼續飛行，可是受到空氣阻力的影響，使得速度愈來愈慢，最後呈拋物線掉落地面。

五、尾翼的作用

尾翼的作用在於維持水火箭前進的方向，但是尾翼通常不會很大。

水火箭施放程序說明：

1. 在寶特瓶裡加入三分之一的水(寶特瓶容量的三分之一)，然後把噴嘴鎖上(切記要鎖緊)。
2. 把噴嘴裝進發射閥(務必要裝緊，否則打氣打到一半就會自動發射出去)，再把水火箭架設在發射架上，然後調整方向。
3. 把打氣筒接到發射閥，利用打氣筒，把空氣打進到寶特瓶裡(務必注意壓力槽是否有刮痕，否則會爆裂，氣也不要打太多，否則也會爆裂)。
4. 一切都用好了以後，調整好方向和狀態，手握發射閥，用食指與拇指扣住外環套往下拉，水火箭就會自動發射出去。
5. 發射前，要注意前方有沒有人，也不可對著人發射。發射時若為逆風，請等風停或順風才發射，否則水火箭會亂飛。

(三)實驗操作試射記錄

實驗操作記錄表(依發射角度、注入水量、打入氣體氣壓做測量與統計)

實驗(一)當角度 40 度時的距離(橫項是水量 縱項是壓力值)

	50 毫升	100 毫升	200 號毫升
45 磅	1. 10.57m 2. 9.25m 3. 7.45m 平均 9.09m	1. 12.25m 2. 6.48m 3. 8.75m 平均 9.16m	1. 15.28m 2. 12.35m 3. 10.85m 平均 12.82m
55 磅	1. 10.28m 2. 10.45m 3. 12.65m 平均 11.13m	1. 9.10m 2. 7.55m 3. 12.54m 平均 9.73m	1. 16.75m 2. 14.25m 3. 10.35m 平均 13.78m
65 磅	1. 8.65m 2. 13.55m 3. 10.78m 平均 10.99m	1. 11.75m 2. 14.85m 3. 16.55m 平均 14.38m	1. 17.55m 2. 15.85m 3. 19.75m 平均 17.72m

實驗統計：當發射仰角是 40 度時，打氣壓力 65 磅，注入水量 200ml，射程距離 17.72m 為最遠。

實驗(二)當角度 50 度時的距離(橫項是水量 縱項是壓力值)

	50 毫升	100 毫升	200 號毫升
45 磅	1. 6.65m 2. 8.58m 3. 12.75m 平均 9.33m	1. 14.75m 2. 13.55m 3. 17.05m 平均 15.12m	1. 18.65m 2. 20.75m 3. 22.85m 平均 20.75m
55 磅	1. 14.25m 2. 13.58m 3. 16.75m 平均 14.86m	1. 20.45m 2. 22.65m 3. 18.65m 平均 20.58m	1. 17.88m 2. 24.65m 3. 20.15m 平均 20.89m
65 磅	1. 15.58m 2. 18.95m 3. 22.85m 平均 19.13m	1. 21.55m 2. 16.45m 3. 18.85m 平均 18.95m	1. 23.75m 2. 20.85m 3. 25.15m 平均 23.25m

實驗統計：當發射仰角是 50 度時，打氣壓力 65 磅，注入水量 200ml，射程距離 23.25m 為最遠。

實驗(三)當角度 60 度時的距離(橫項是水量 縱項是壓力值)

	50 毫升	100 毫升	200 號毫升
45 磅	1. 11.25m 2. 14.65m 3. 15.58m 平均 13.83m	1. 18.78m 2. 21.25m 3. 23.75m 平均 21.26m	1. 20.25m 2. 16.85m 3. 23.35m 平均 20.15m
55 磅	1. 7.75m 2. 14.55m 3. 21.75m 平均 14.68m	1. 22.75m 2. 20.45m 3. 25.58m 平均 22.93m	1. 23.55m 2. 24.68m 3. 26.75m 平均 24.99m
65 磅	1. 18.95m 2. 25.85m 3. 27.75m 平均 24.18m	1. 24.45m 2. 25.58m 3. 26.65m 平均 25.56m	1. 15.55m 2. 28.65m 3. 27.55m 平均 23.92m

實驗統計：當發射仰角是 60 度時，打氣壓力 55 磅，注入水量 200ml，射程距離 24.99m 為最遠。

(四)整理數據做假設性高度推算

假設發射出測得的距離之一半和高度與發射角度形成一個直角三角形，所以查三角函數值表可以推算出各發射後之高度。

實驗(一)

角度 40 度(長度/2*0.8391)		
距離 9.09m 高度 3.82m	距離 9.16m 高度 3.84m	距離 12.82m 高度 5.38m
距離 11.13m 高度 4.67m	距離 9.73m 高度 4.08m	距離 13.78m 高度 5.78m
距離 10.99m 高度 4.61m	距離 14.38m 高度 6.03m	距離 17.72m 高度 7.43m

實驗(二)

角度 50 度(長度/2*1.1918)		
距離 9.33m 高度 5.56m	距離 15.12m 高度 9.01m	距離 20.75m 高度 12.36m
距離 14.86m 高度 8.86m	距離 20.58m 高度 12.26m	距離 20.89m 高度 12.45m
距離 19.13m 高度 11.40m	距離 18.95m 高度 11.29m	距離 23.25m 高度 13.85m

實驗(三)

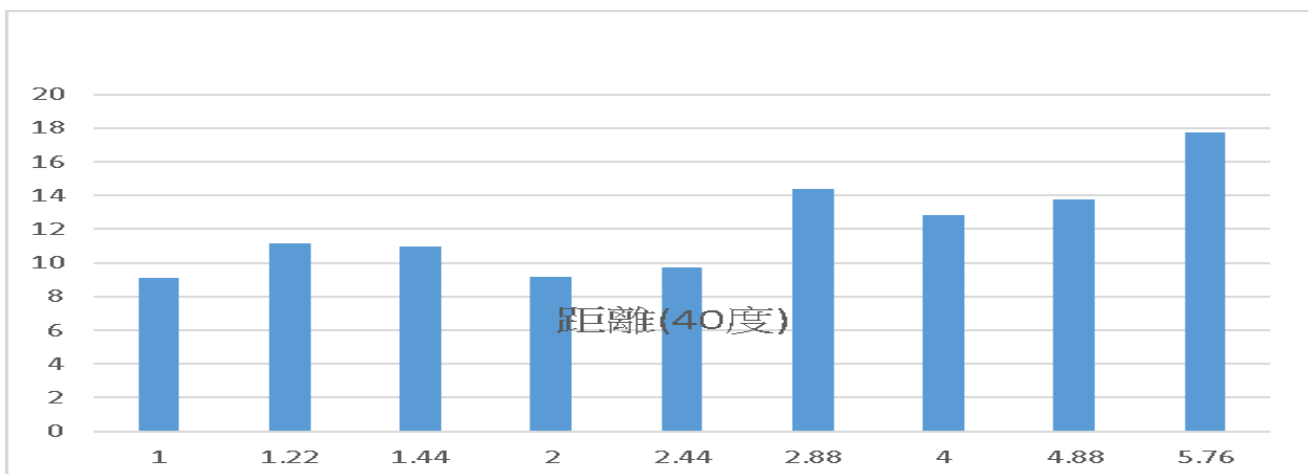
角度 60 度(長度/2*1.7319)		
距離 13.83m 高度 11.98m	距離 21.26m 高度 18.41m	距離 20.15m 高度 17.45m
距離 14.68m 高度 12.71m	距離 22.93m 高度 19.86m	距離 24.99m 高度 21.64m
距離 24.18m 高度 20.94m	距離 25.56m 高度 22.13m	距離 23.92m 高度 20.71m

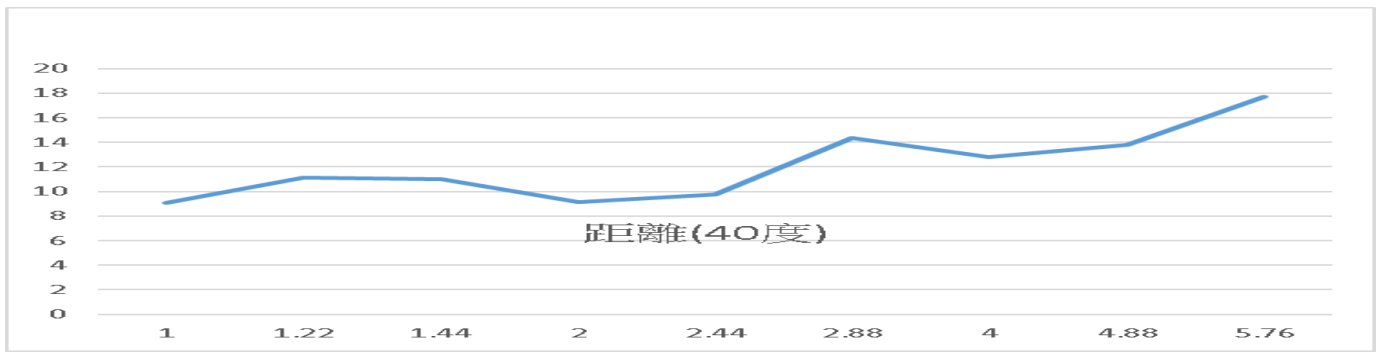
(五)整理數據做圖表並觀察變化推論關係

1. 因為推動水火箭發射動力以水量和氣壓為主，若將第一水量 50 毫升與第一氣壓量 45 磅當基準期它與其做比率轉換，如下(50 毫升為 1，100 毫升為 2，200 毫升為 4；45 磅為 1，55 磅為 1.22，65 磅為 1.44)，再將水量與氣壓比率值做乘積與距離做表格統計如下

1-1 實驗一(發射仰角 40 度時):水量&氣壓比率相乘與測得距離(正比例相關性分析)

水量與氣壓比率乘積	1	1.22	1.44	2	2.44	2.88	4	4.88	5.76
距離	9.09	11.13	10.99	9.16	9.73	14.38	12.82	13.78	17.72

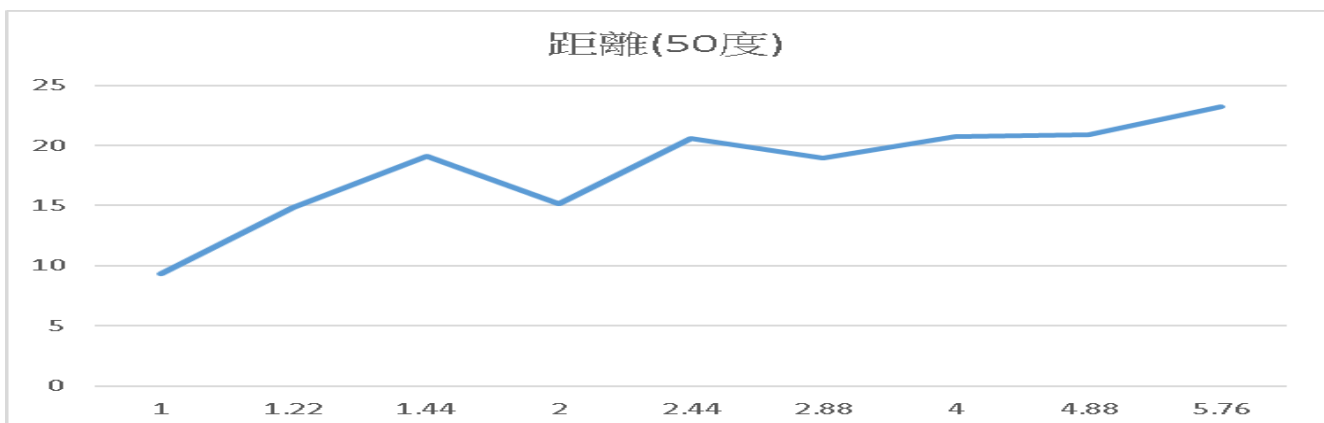
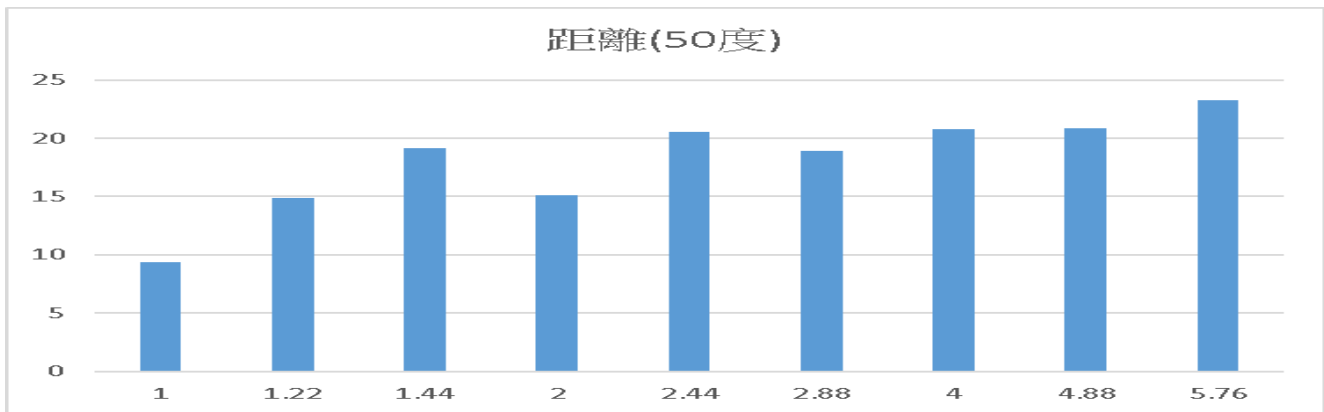




經觀察得知，距離與推力比值乘積無正比例相關。

1-2 實驗二(發射仰角 50 度時):水量&氣壓比率相乘與測得距離(正比例相關性分析)

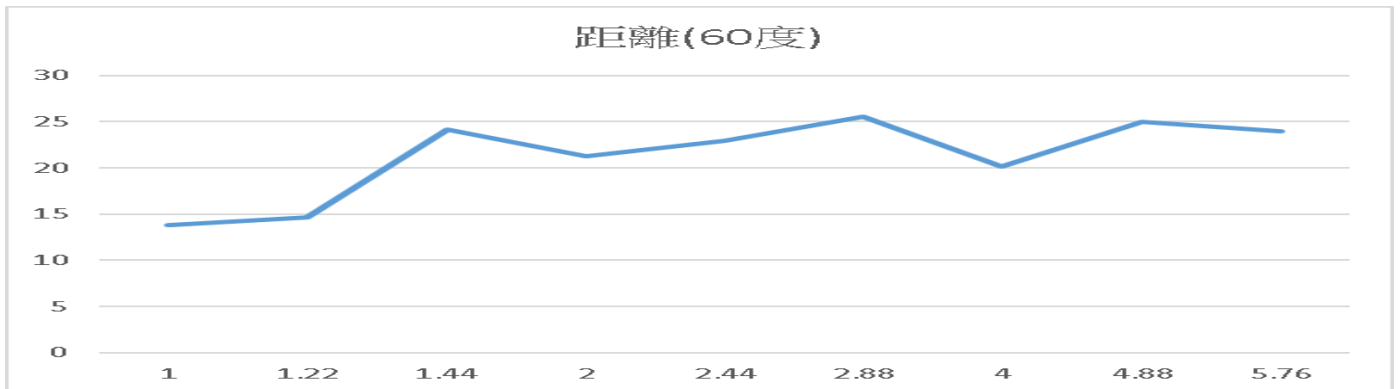
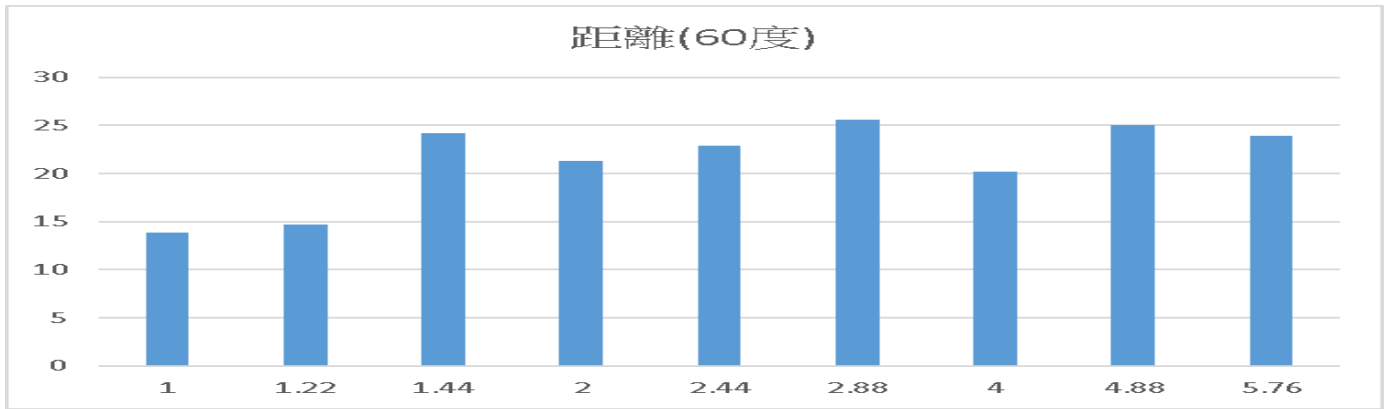
水量與氣壓比率乘積	1	1.22	1.44	2	2.44	2.88	4	4.88	5.76
距離	9.33	14.86	19.13	15.12	20.58	18.95	20.75	20.89	23.25



經觀察得知，距離與推力比值乘積無正比例相關。

1-3 實驗三(發射仰角 60 度時):水量&氣壓比率相乘與測得距離(正比例相關性分析)

水量與氣壓比率乘積	1	1.22	1.44	2	2.44	2.88	4	4.88	5.76
距離	13.83	14.68	24.18	21.26	22.93	25.56	20.15	24.99	23.92

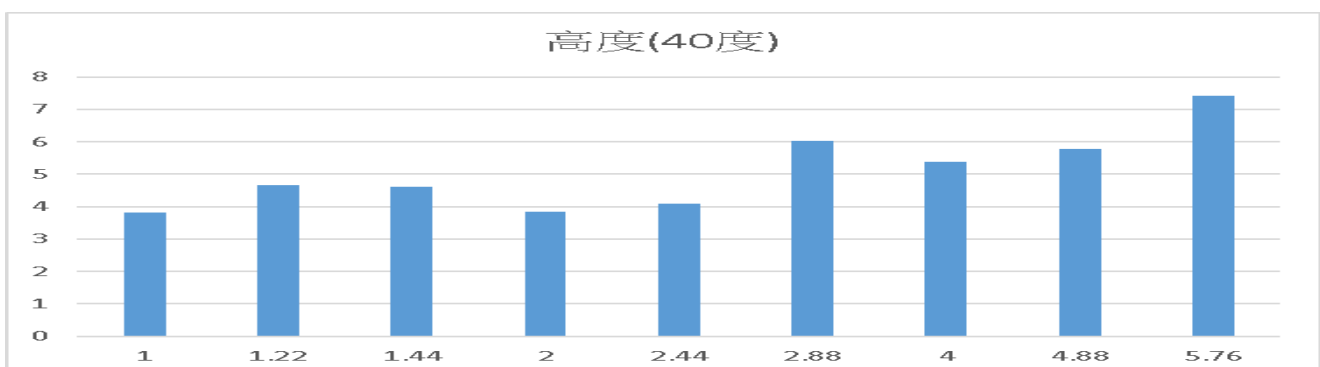


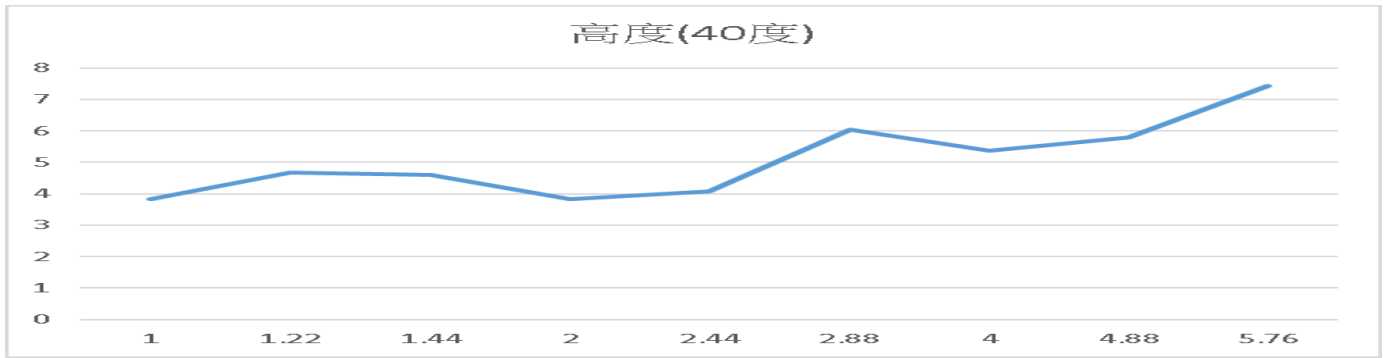
經觀察得知，距離與推力比值乘積無正比例相關。

2. 因為推動水火箭發射動力以水量和氣壓為主，若將第一水量 50 毫升與第一氣壓量 45 磅當基準期它與其做比率轉換，如下(50 毫升為 1，100 毫升為 2，200 毫升為 4；45 磅為 1，55 磅為 1.22，65 磅為 1.44)，再將水量與氣壓比率值做乘積與推估的高度做表格統計如下

2-1 實驗一(發射仰角 40 度時):水量&氣壓比率相乘與估得高度(正比例相關性分析)

水量與氣壓比率乘積	1	1.22	1.44	2	2.44	2.88	4	4.88	5.76
距離	3.82	4.67	4.61	3.84	4.08	6.03	5.38	5.78	7.43

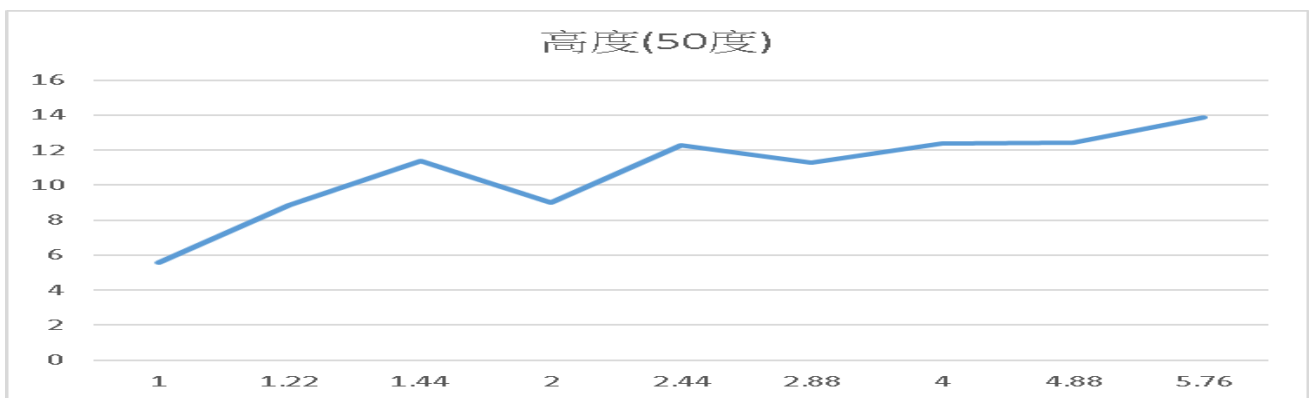
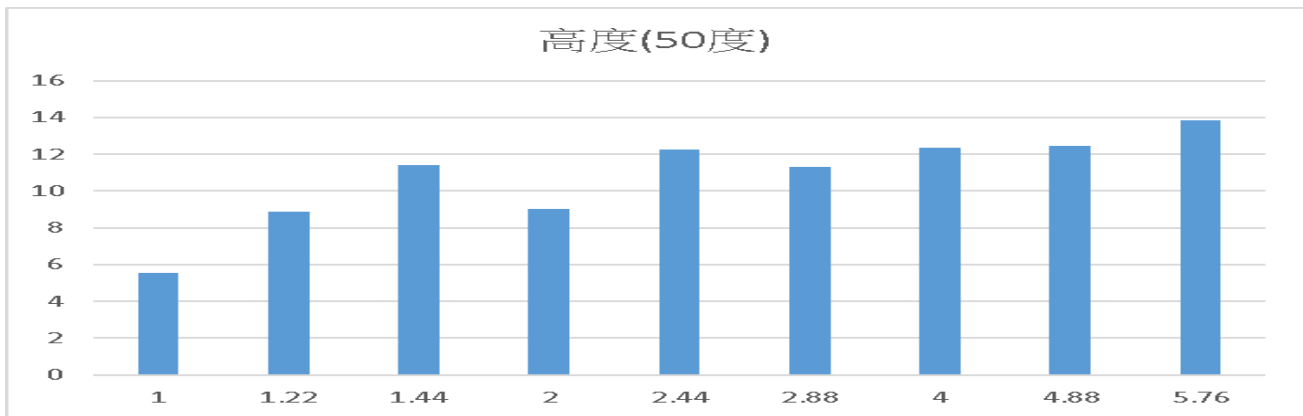




經觀察得知，高度與推力比值乘積無正比例相關。

2-2 實驗二(發射仰角 50 度時):水量&氣壓比率相乘與估得高度(正比例相關性分析)

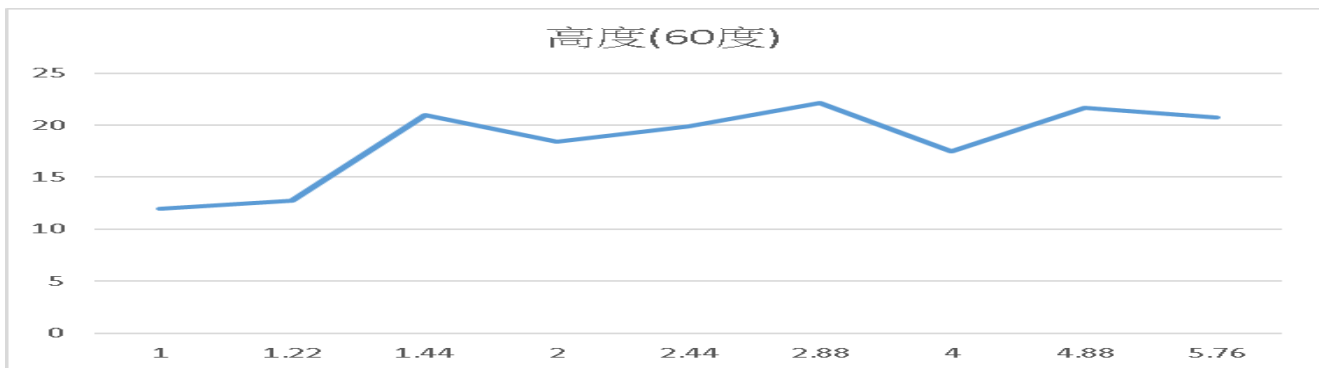
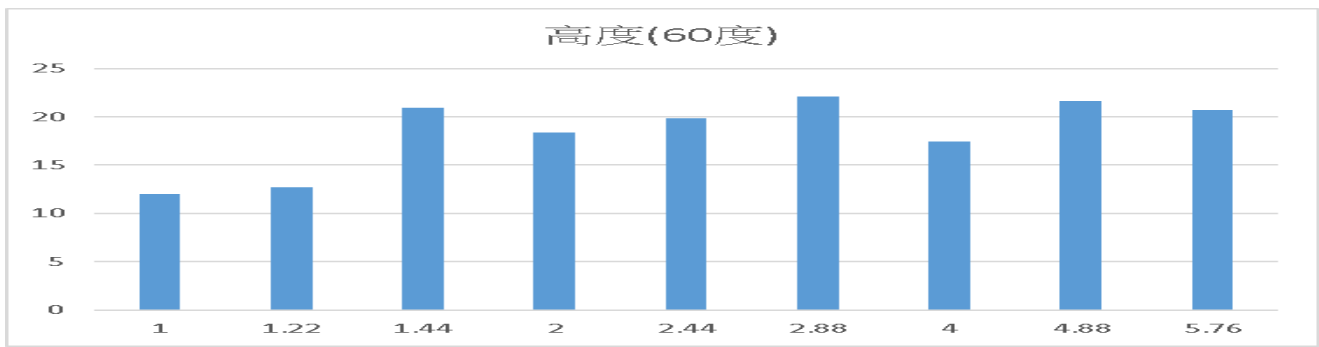
水量與氣壓比率乘積	1	1.22	1.44	2	2.44	2.88	4	4.88	5.76
距離	5.56	8.86	11.40	9.01	12.26	11.29	12.36	12.45	13.85



經觀察得知，高度與推力比值乘積無正比例相關。

2-3 實驗三(發射仰角 60 度時):水量&氣壓比率相乘與估得高度(正比例相關性分析)

水量與氣壓比率乘積	1	1.22	1.44	2	2.44	2.88	4	4.88	5.76
距離	11.98	12.71	20.94	18.41	19.86	22.13	17.45	21.64	20.71



經觀察得知，高度與推力比值乘積無正比例相關。

(五) 觀察發射後路縣與圖表分析結果討論

1. 經發射後觀察飛行，當水火箭瞬間噴發到最高點時，因動力沒有後便會呈現不規則的導彈路線做下降，而使後半的路線無規律性，常受當時風力影響而使測得距離與推力比值乘積做圖表分析時，看不出該有之比例關係。
2. 選擇觀測數據時，盡量排除飛行路徑不理想的數據，路線以拋物線(升起與落下)為理想路徑；為此如何將瓶身設計較好的飛行翼和前頭流線型降低風阻與風切變得格外重要。

伍、 研究結果

- 一、當注入 200ml 的水量加上仰角 60 度和 55 磅的氣壓可以讓水火箭飛的最遠。(24.99m)
- 二、當注入水量是 200ml 均能使水火箭飛的距離較遠。
- 三、發射水火箭的理想角度是 50~60 度之間。

陸、 討論與結論

- 一、水火箭的飛行路徑、位置距離和一般預期之拋射路線常相差甚遠與變化很多。因為彈開瞬間未能百分之百控制它的氣流與水流和箭頭與箭身被反推而發射能否在固定一筆直方向間彼此作用力，所以路徑常有變化。
- 二、在此三次實驗試射後，發現注入 200ml 的水量加上仰角 60 度和 55 磅的氣壓可以讓水火箭飛的最遠。(24.99m)。

柒、 參考資料

1. 水火箭製作: <http://www.iaa.ncku.edu.tw/~aeroclub/teach/warocket.htm>
2. 水火箭發射原理: <http://cdl.edb.hkedcity.net/cd/science/aerospace/guide.htm>

3. 水火箭的世界：

<https://sites.google.com/a/mail.rpjhs.tyc.edu.tw/tao-yuan-xian-rui-ping-guo-zhong-yong-xu-xiao-yuan-wang-zhan/shui-huo-jian-zhi-zuo>

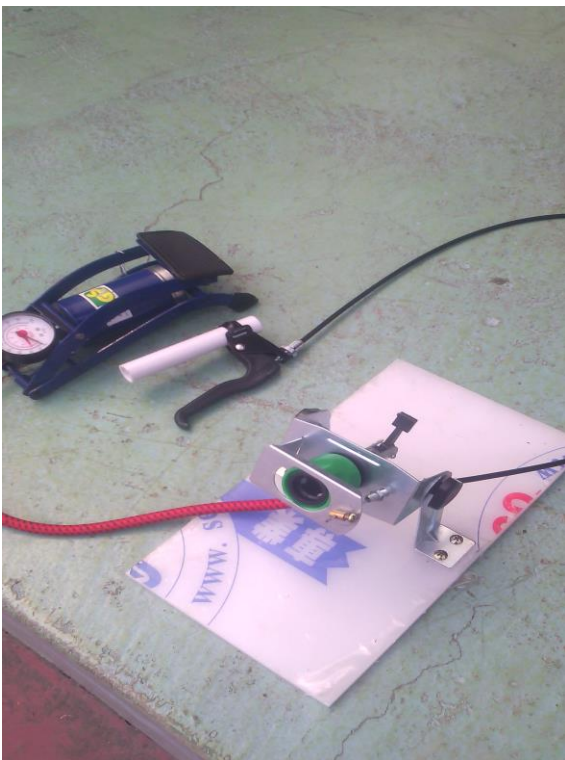
附錄：實驗操作與製程之照片記錄

器材與設備

a. 完成之水火箭



b. 發射基臺與打氣機



c. 噴嘴



d. 測量距離之捲尺





發射前

附錄牛頓第三運動定律：

第三定律：

作用力(Action)與反作用力(reaction)是(數值)相等且(方向)相反。

公式：如 $F_{AB}=A$ 作用在 B 上的力(作用力)，及
 $F_{BA}=B$ 作用在 A 上的力 (反作用力)，

那麼 $F_{AB}=-F_{BA}$

