

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理

組 別：國中組

作品名稱：星航計劃 -二段式水火箭飛行

關鍵詞：水火箭、飛行器配重、壓力

編 號：114JA-P009

摘要

水火箭的飛行軌跡和飛行距離會受到配重、水量、壓力等多種因素的影響，本研究針對傳統單節式水火箭的飛行穩定性問題，開發「二段式水火箭」，透過結構改良與參數優化，探討重心位置、壓力控制對飛行性能的影響。在結構設計上，採用水火箭體積的 1/4 作為發射水量 630ml，並進行上下槽水量比例分別進行；尾翼設計則採取 4 片梯形塑膠翼，經火烤定型強化。

首先在水量比例上，採用上下槽水量比 7：3(上槽 441ml、下槽 189ml)，能帶來最穩定飛行。而在施加壓力上，因為在 50psi 時造成瓶身非線性膨脹，為避免瓶身過度膨脹，在採用第二段洩壓後能更穩定飛行，並且讓壓力與飛行距離具有線性關係，達到預測距離和落點的效果，也許在未來可進一步應用於環境監測、急救需用甚至創意娛樂等領域中，具有相當的應用潛力。

壹、研究動機

在傳統的單節水火箭中，高壓發射時容易翻轉偏航，導致飛行距離受限且落點難以預測。為了解決這些問題，我們設計了二段式水火箭。這款水火箭採用了雙槽結構，能在不佳配重的情況下調節、分配重心，以提升穩定性。通過這些改進，雙槽水火箭有望實現更遠的飛行距離和更精確的落點預測，為科學實驗和比賽提供更可靠的表现。

本實驗的動機在於解決傳統單節水火箭在高壓發射時容易翻轉偏航的問題。這種不穩定性不僅限制了水火箭的飛行距離，還使得落點難以預測，影響實驗或比賽的準確性與可靠性。為此，我們設計了二段式水火箭。

貳、文獻探討

著手設計二段式水火箭時，先參考現有水火箭的設計原型及參數進行以下分析：

一、**氣壓**：氣壓是單位面積上所承受的空氣壓力。其公式為 $P = F / A$ ，其中 P 為壓力，表示單位面積上所受的力量； F 為作用力，指施加在物體上的總力量； A 為面積，指物體與空氣接觸的表面面積。

當壓力 (P) 增大時，作用力 (F) 會隨之增大，這是因為壓力是由單位面積的力量決定的，當相同的作用力分布在更小的面積上，會造成更大的壓力。

二、**重心**：重心 (Center of Gravity，簡稱 CG) 與壓力中心 (Center of Pressure，簡稱 CP) 對水火箭的飛行性能具有重大影響。重心 CG 是指物體所有質量的平均位置，它是物體受重力作用的平衡點；而壓力中心 CP 是物體表面上某一點，該點上所受的壓力作用等同於整體物體所受的空氣動力作用。理想的設計是將重心和壓力中心之間保持適當距離，以達到最佳的飛行穩定性。

三、**穩定度**：為確保水火箭的穩定性，重心應位於壓力中心之前，即 CG 應位於 CP 的前方，確保在飛行過程中偏離預定的軌道時，會有空氣動力學力自動產生恢復力矩，將火箭推回穩定的飛行狀態。恢復力矩 (M) 可用公式 $M = F \times d$ 表示，其中： F 為由空氣動力學所產生的側向力，這是作用在火箭上的力量； d 為重心與壓力中心之間的直線距離。這個距離以火箭尾部為參考，通常設計成較長的距離來增強穩定性，從而在飛行中提供必要的恢復力。

四、**水量**：水火箭的最佳水量通常是瓶子容積的 $1/4$ [3]。此比例是基於氣壓作用下，將水噴射出去的原理。當火箭中有適量的水時，水與空氣的互動會創造最大的反作用力，有助於提升火箭的推進效果。若水量過多，會導致過重，推力不足；若水量過少，則會

減少反作用力，進而影響火箭的飛行距離和穩定性。

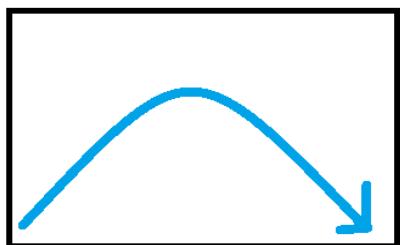
五、**尾翼**：尾翼的設計對於水火箭的飛行穩定性至關重要。四片水平尾翼的配置可以顯著提高飛行的穩定性[4]，因為尾翼能有效地調節氣流穩定壓力中心，避免在產生不必要的擺動，幫助火箭保持平穩飛行。

六、**發射角**：發射角度的範圍通常為 60 至 70 度[5]。選擇最佳的發射角度有助於最大化火箭的飛行效果，可以有效地將火箭的運動軌跡保持在最佳範圍內，避免因發射角過小而使火箭衝向地面，或發射角過大導致火箭飛行阻力增加。

綜上可知，我們採用水量為 630mL、發射角度為 70 度、四片尾翼，透過不同的水量及氣壓測試二段式水火箭的飛行距離，找出飛行最佳化的設計。



飛行軌跡不穩定,故無法測量



飛行軌跡穩定,且不管弧線多大,多長,形狀幾乎一致.故直接量地面距離即可進行比較

參、研究目的

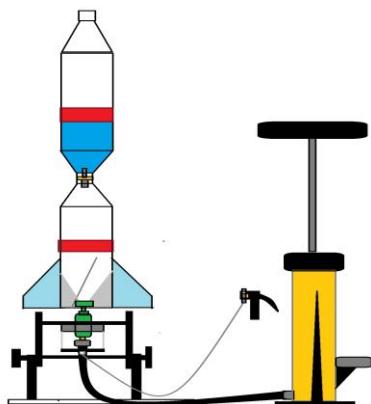
- 一、探討下槽水量對飛行距離的影響。
- 二、藉由雙槽水量位置改變重心，探討對飛行距離的影響
- 三、探討雙槽不同水量比例對飛行距離的影響。

肆、研究設備與器材

一、實驗器材

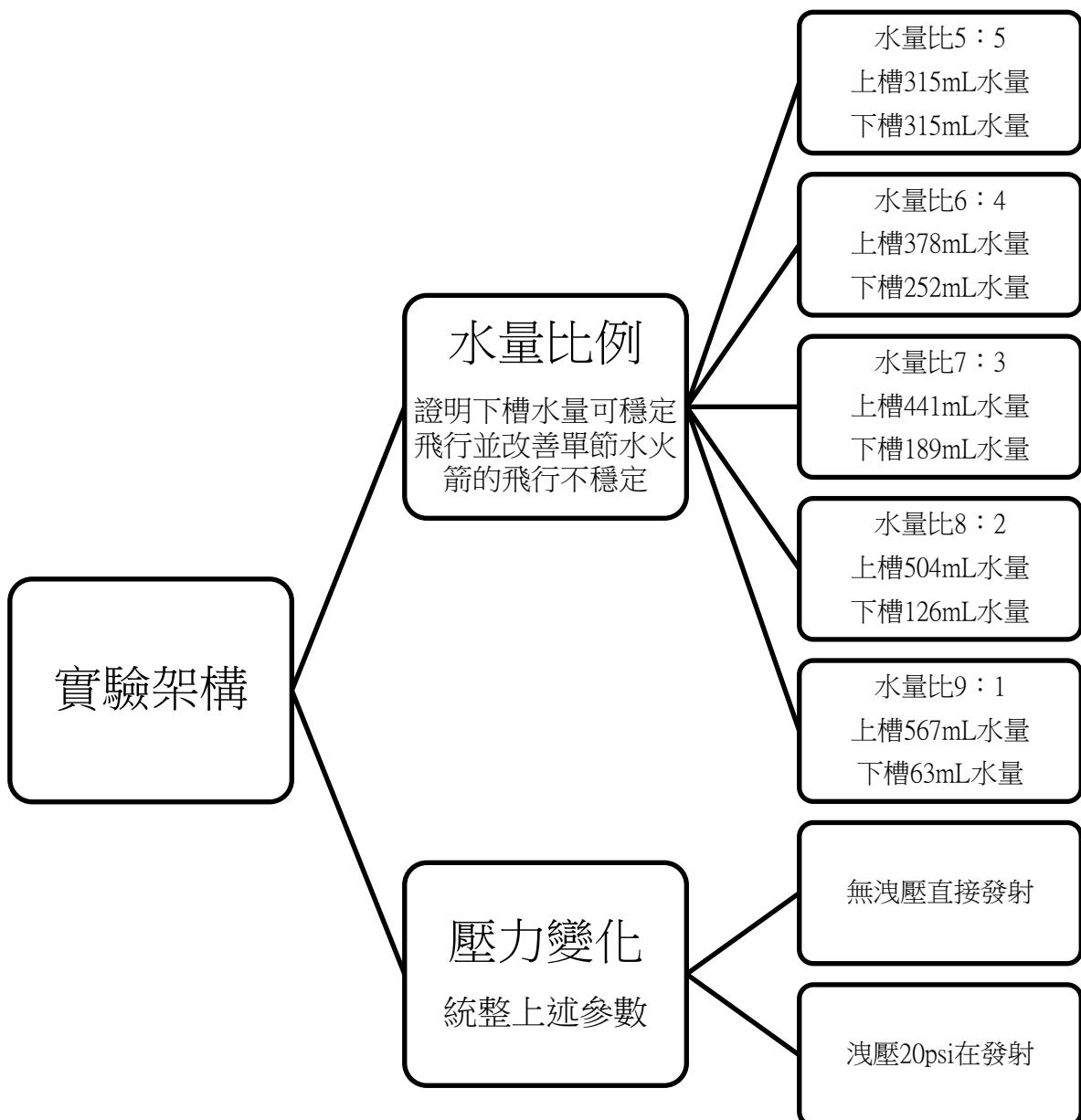
		
1.自製二段式水火箭	2.打氣筒	3.水火箭發射台
		
	4.尾翼	5.噴嘴
		
6.捲尺	7.量角器	8.矽膠與矽膠槍
		9.膠帶台

二、實驗裝置示意圖



伍、研究過程或方法

一、研究架構



二、自製二段式水火箭

1. 水火箭本體:先把兩個寶特瓶平底用 10mm 的鑽頭鑽洞 3 組，螺帽、墊片、墊圈從上往下用快乾膠黏成套組，並利用空心螺絲進行瓶身連接。一邊對鎖，一邊上矽膠確保氣密性。
2. 尾翼設計:將塑膠外殼裁成上底 12cm、下底 6cm、高 6cm 的形狀，並製作用長 12cm、寬 1cm 的固定邊與瓶身相互組合。取另一個保特瓶，裁掉頭尾只留瓶身，並利用火烤將尾翼固定在瓶身上，同時利用絕緣膠加固，防止爆裂。
3. 外觀結構：在機頭纏上膠帶，減緩磨損；在瓶身貼膠帶，標記加水位置。



三、[實驗一]上下槽水量設定與飛行

1. 參數設定：壓力設定均為 50psi，飛行仰角設定 70 度，每組參數發射 3 次，測量飛行距離與偏移角度，其中偏移角度以向左為正、向右為負。
2. 對照組：總水量 630ml，採用上下槽水量比 0：10 作為對照組，即上槽水火箭加入 0ml 的水，下槽則加入 630ml 的水。
3. 實驗組：本別採用上下槽水量比 5：5、6：4、7：3、8：2、9：1 作為實驗組。

四、[實驗二]分段洩壓力設定與飛行距離

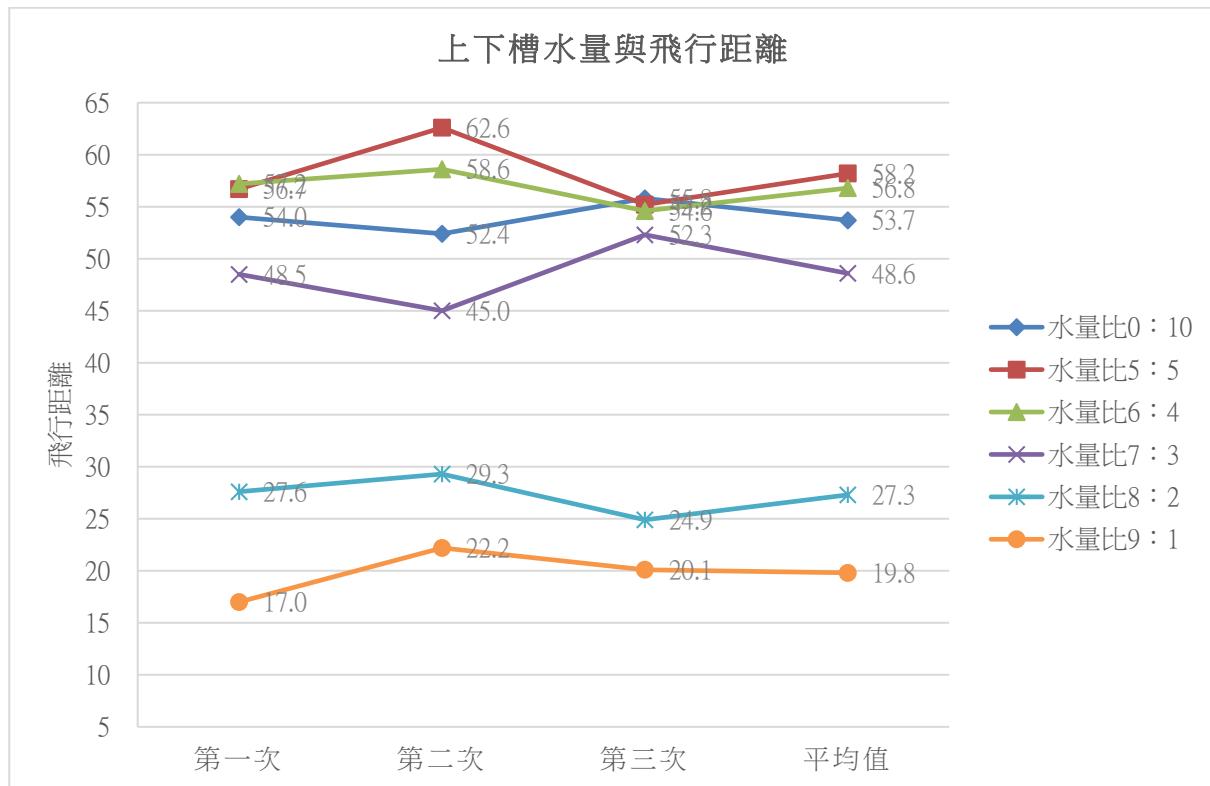
1. 參數設定：水量設定為 630ml，飛行仰角設定 70 度，每組參數發射 3 次，測量飛行距離。
2. 對照組：施加壓力分別為 60psi、50psi、40psi、30psi，不洩壓直接發射。
3. 實驗組：均採用第二段洩壓 20psi，再進行發射。操作如下：施加壓力至 80psi 後再洩壓至 60psi、施加壓力至 70psi 後再洩壓至 50psi、施加壓力至 60psi 後再洩壓至 40psi、施加壓力至 50psi 後再洩壓至 30psi。

陸、研究結果

一、[實驗一]上下槽水量與飛行

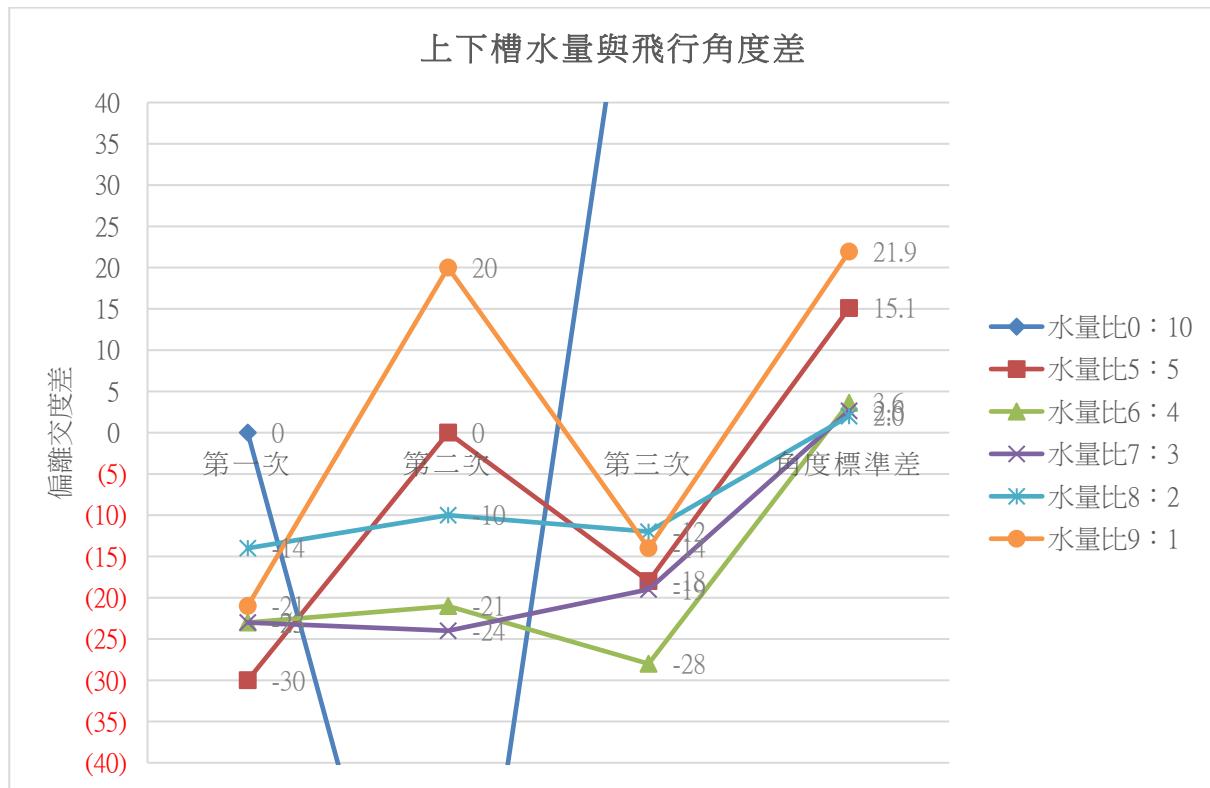
(1) 上下槽水量與飛行距離

上下槽水量比	飛行距離	第一次	第二次	第三次	飛行距離 平均值
水量比 0 : 10 上槽 0ml : 下槽 630ml	54.0	52.4	55.8	53.7	
水量比 5 : 5 上槽 315ml : 下槽 315ml	56.7	62.6	55.2	58.2	
水量比 6 : 4 上槽 378ml : 下槽 252ml	57.2	58.6	54.6	56.8	
水量比 7 : 3 上槽 441ml : 下槽 189ml	48.5	45.0	52.3	48.6	
水量比 8 : 2 上槽 504ml : 下槽 126ml	27.6	29.3	24.9	27.3	
水量比 9 : 1 上槽 567ml : 下槽 63ml	17.0	22.2	20.1	19.8	



(2) 上下槽水量與飛行偏離角度(向右偏為正、向左偏為負)

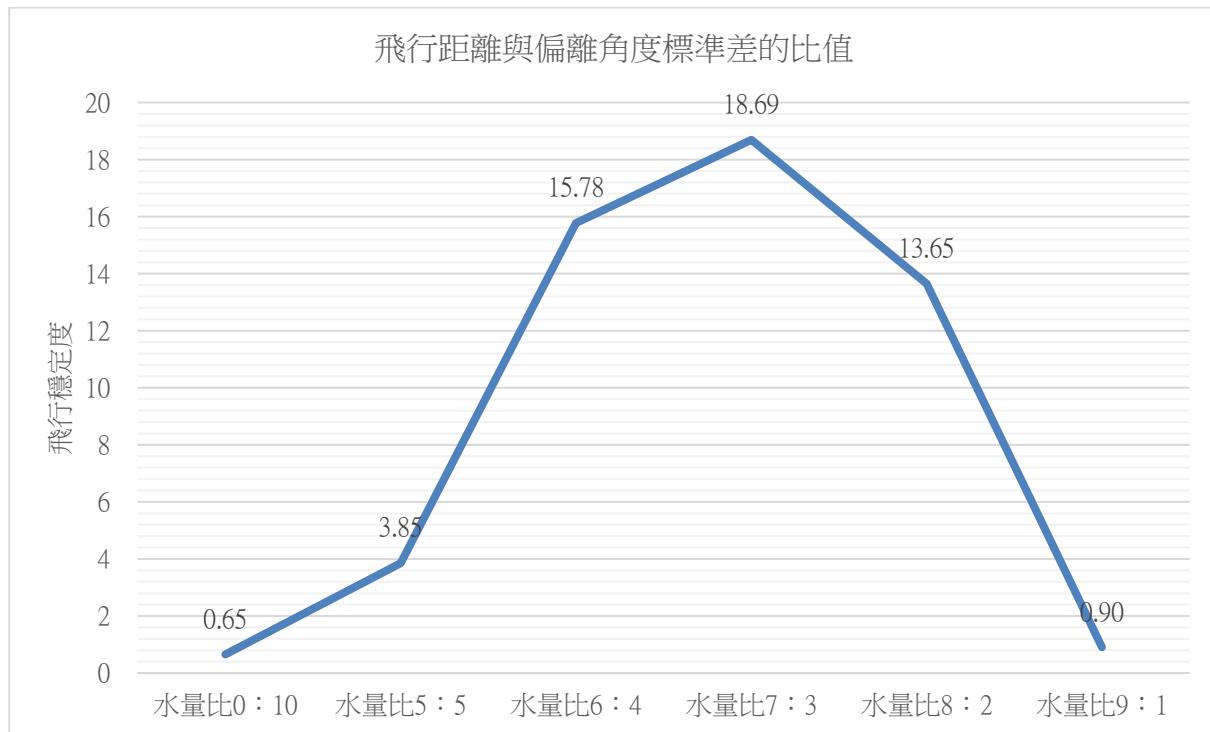
偏離角度 上下槽水量比	第一次	第二次	第三次	偏離角度 標準差
水量比 0 : 10 上槽 0ml : 下槽 630ml	0	-89	75	82.1
水量比 5 : 5 上槽 315ml : 下槽 315ml	-30	0	-18	15.1
水量比 6 : 4 上槽 378ml : 下槽 252ml	-23	-21	-28	3.6
水量比 7 : 3 上槽 441ml : 下槽 189ml	-23	-24	-19	2.6
水量比 8 : 2 上槽 504ml : 下槽 126ml	-14	-10	-12	2.0
水量比 9 : 1 上槽 567ml : 下槽 63ml	-21	20	-14	21.9



註：因(水量比 0 : 10)數據差距過大，座標軸採用最清楚呈現方式。

(3) 飛行距離與偏離角度數據整理

上下槽水量比	數據	偏離角度 標準差	飛行距離 平均值	比值
水量比 0 : 10 上槽 0ml : 下槽 630ml		82.1	53.7	0.65
水量比 5 : 5 上槽 315ml : 下槽 315ml		15.1	58.2	3.85
水量比 6 : 4 上槽 378ml : 下槽 252ml		3.6	56.8	15.78
水量比 7 : 3 上槽 441ml : 下槽 189ml		2.6	48.6	18.69
水量比 8 : 2 上槽 504ml : 下槽 126ml		2.0	27.3	13.65
水量比 9 : 1 上槽 567ml : 下槽 63ml		21.9	19.8	0.90

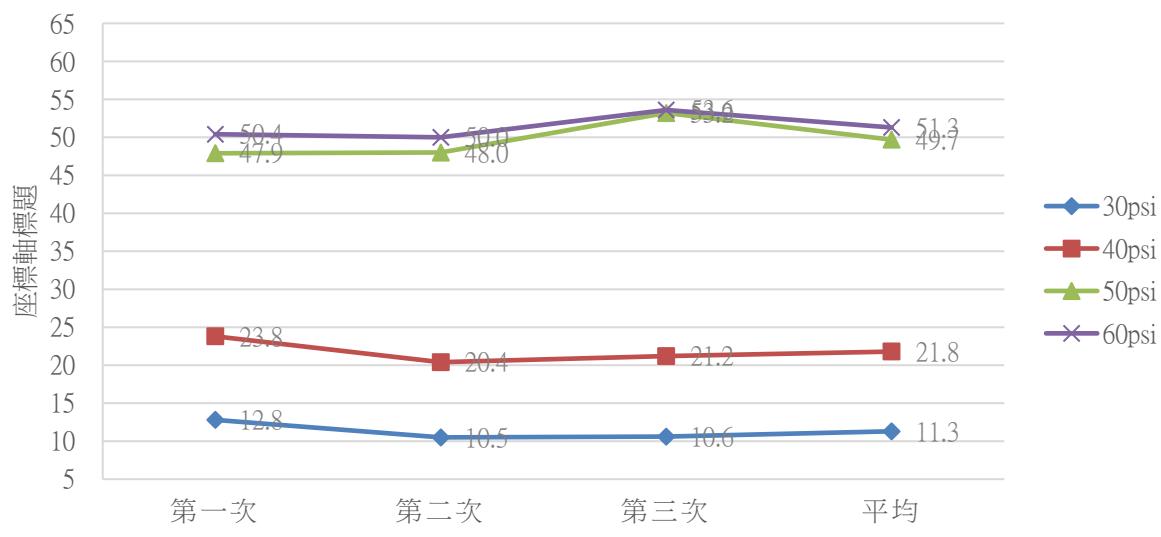


二、[實驗二]分段洩壓力設定

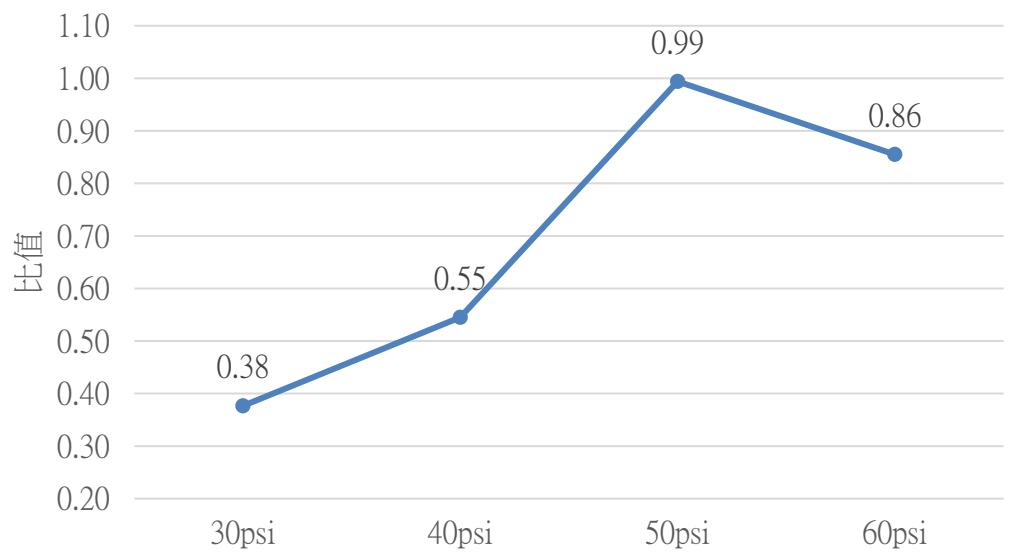
(4) 施加壓力直接發射

飛行距離 發射壓力	第一次	第二次	第三次	平均	距離與壓力 比值
30psi	12.8	10.5	10.6	11.3	0.38
40psi	23.8	20.4	21.2	21.8	0.55
50psi	47.9	48	53.2	49.7	0.99
60psi	50.4	50	53.6	51.3	0.86

施加壓力直接發射與飛行距離

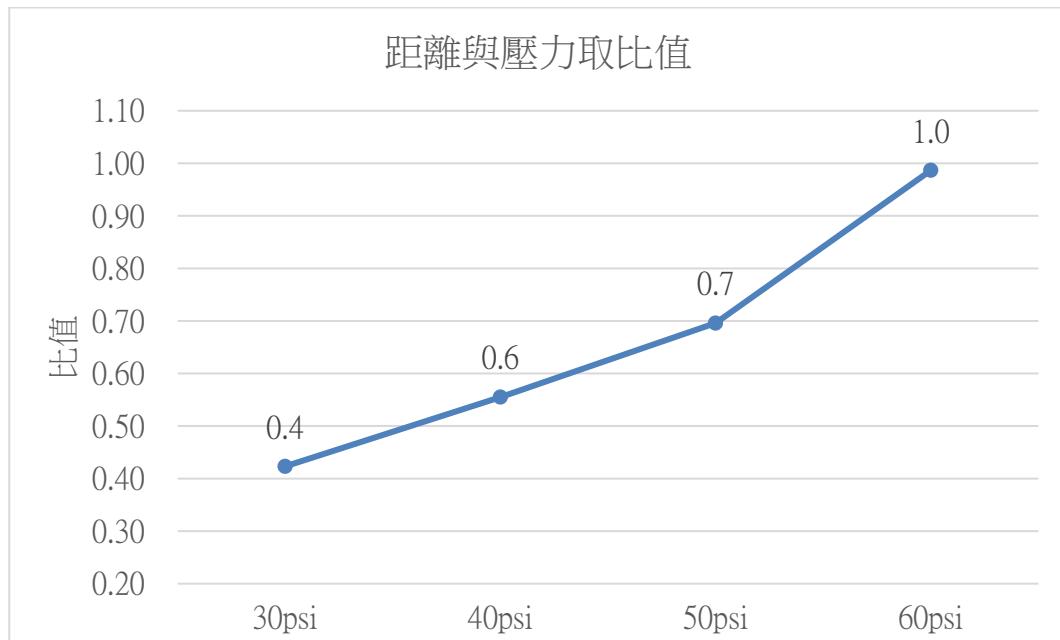
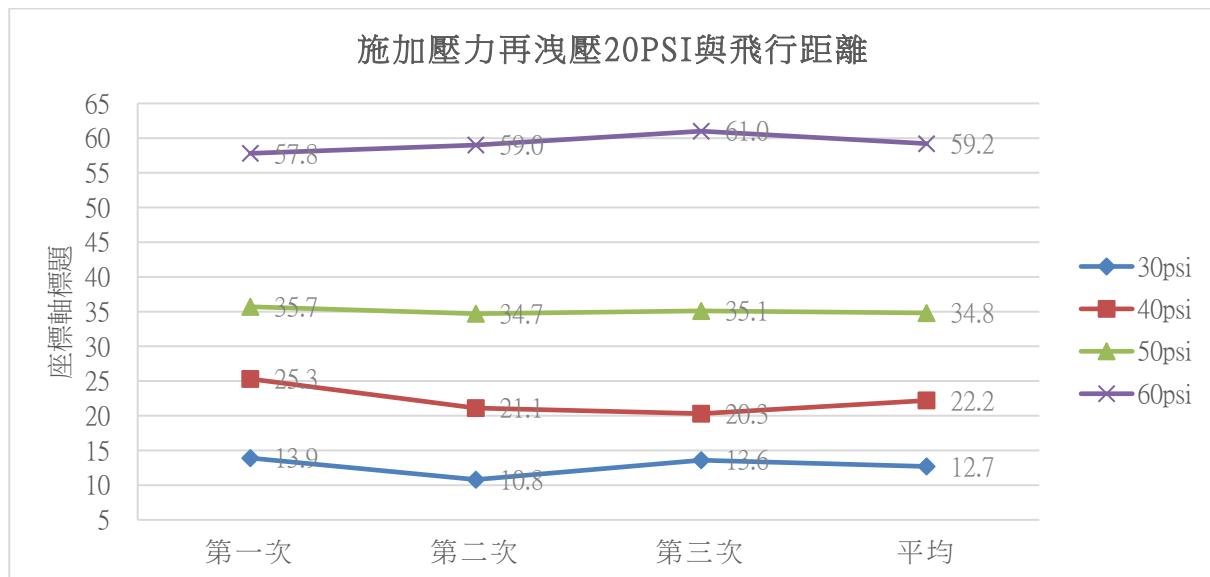


距離與壓力取比值



(5) 施加壓力後洩壓 20psi 再發射

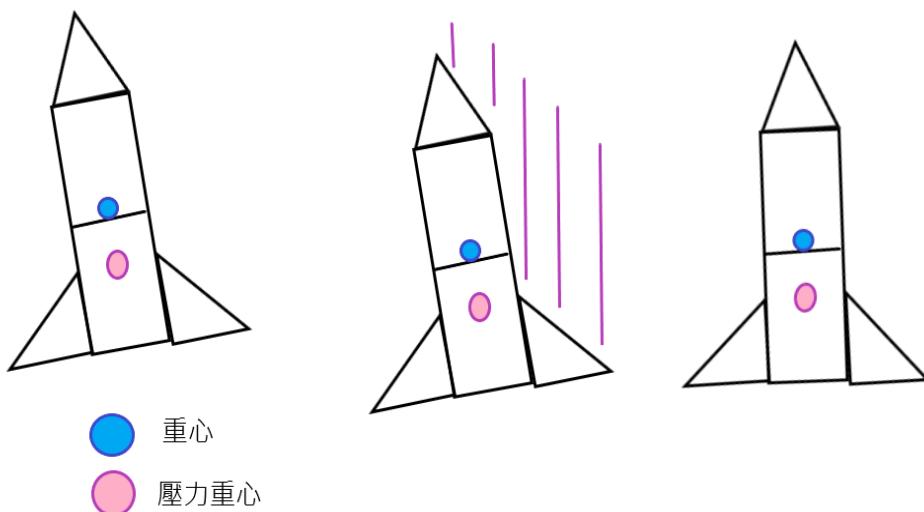
發射壓力 飛行距離	第一次	第二次	第三次	平均	距離與壓力 比值
30psi	13.9	10.8	13.6	12.7	0.42
40psi	25.3	21.1	20.3	22.2	0.56
50psi	35.7	34.7	35.1	34.8	0.70
60psi	57.8	59.0	61.0	59.2	0.99



柒、實驗討論

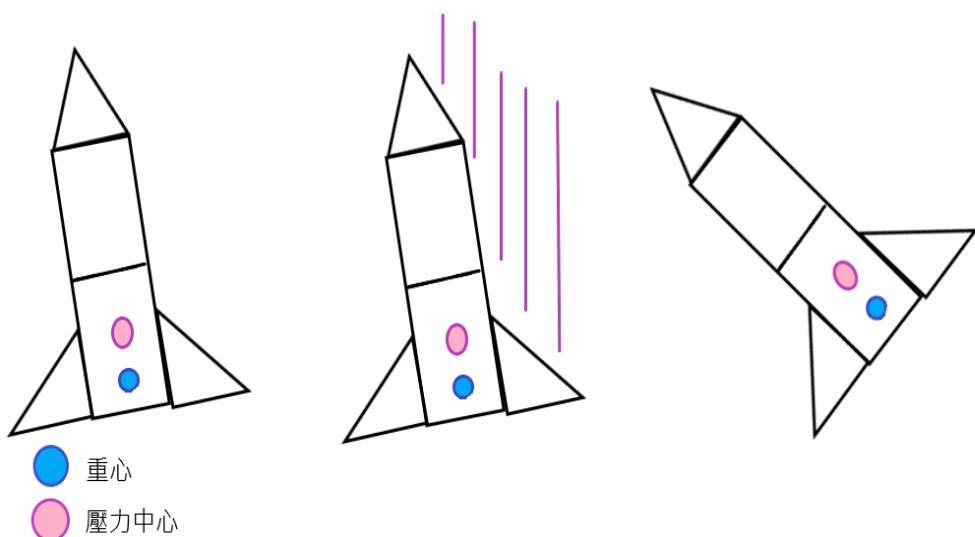
- 一、從[實驗一]中，在上下槽水量比為 8：2 及 9：1 時，飛行距離明顯較短。推測可能原因是噴發瞬間的水量不足，使得反作用力較小，再加上重心偏高所帶來的力矩，大多呈現較靠近地面的飛行。而在上下槽水量比為 5：5 時，雖然能帶來較充足的反作用力，但動力輸出太快反而造成偏離角度過大，造成飛行偏離角度差異大，落點分散。
- 二、從[實驗一]可得知，在下槽裝水發射時，重心與單節水火箭相似，但由於本設計為加長的水火箭，因為壓力重心(CP)較重心(CG)偏低，造成飛行時較容易受到空氣阻力而產生力矩，進而造成方向偏差更加明顯。雖然在上槽裝水可能造成施加壓力的過程中造成些微水量往下漏，但漏下速度慢且水量也少，雖不可控但可忽略。

因各種因素影響而偏移航道 受到來自空氣的側向力 壓力中心沿著重心旋轉而回歸航道



因受各種因素影響而偏離航道

受到來自空氣的側向力 壓力中心沿著重心旋轉而完全偏移航道



- 三、進一步將[實驗一]數據進行討論，將偏離角度的數據取標準差，再和飛行距離取比值，表示為飛行穩定性。若比值越大，表示距離越遠且偏離角度越小，反之則越近或是偏離大。作圖後可得知，在上下槽水量比 7：3 時，上槽水量可使整體水火箭的重心較置中，在飛行初期穩定瓶身方向，同時也能有效運用下槽水量的反作用力，讓整體飛行的距離較遠且偏離角度較小，提高飛行穩定性。
- 四、從[實驗一]上下槽水量比為 9：1 可得知，在發射過程中若壓力過快釋放，容易導致火箭的重心位置不穩定，造成飛行偏離或是不可預測。所以在[實驗二]便採取先洩壓在發射的操作，讓瓶內壓力穩定後平穩釋放，以減少發射瞬間的震動及方向偏移，帶來更穩定的飛行。比較直接發射與洩壓後發射的飛行距離，雖然洩壓後發射的飛行距離有所縮短，但卻趨近線性關係。
- 五、承第四點討論，在較低壓的 30psi 及 40psi，直接發射及洩壓再發射的差異不大，但在較高壓的 50psi 及 60psi 却有顯著變遠，特別是在 50psi。推測可能原因是瓶身在 50psi 時產生非線性膨脹，能儲存更多壓力，但若先加壓到 70 psi 再洩壓到 50psi 時，先消除了瓶身的非線性膨脹帶來的瞬間壓力，雖然飛行距離變短，但對於卻能增加飛行時的穩定性，而且壓力與距離趨近線性關係，可作為預測飛行距離



捌、實驗結論

- 一、 將水裝上槽可調整水火箭重心，同時分配下槽的水量提供適當的反作用力，讓發射瞬間的飛行偏離角度小，更能有效率的運用反作用力達到穩定飛行。建議上下槽水量比以 7：3(上槽 441ml、下槽 189ml)能有最穩定飛行。
- 二、 水火箭承受的壓力與距離穩定成正相關，且在 50psi 時造成瓶身非線性膨脹，若施加更多壓力將無法帶來更好的飛行效率。在避免瓶身過度膨脹，最高施加壓力為 50psi，而且採用第二段洩壓能更有效率的飛行。
- 三、 透過上下槽水量比及洩壓操作，可以讓壓力與飛行距離呈線性關係，而且也能達到穩定飛行，將能透過參數設定預測距離和落點。
- 四、 由於本設計具有飛行穩定及可預測性，未來可進一步應用於環境監測、急救需用甚至創意娛樂等領域中，具有相當的應用潛力。

玖、參考資料及網站

- [1]國立台灣科學教育館
- [2]壓力與密度之間的關係
- [3]飛準不可-以 2022 全國水火箭大賽為驗證之探究
- [4]阿波羅計畫-水火箭
- [5]蓄勢待發水火箭~探究水火箭的射程、偏離角度之影響因素