

嘉義縣第 53 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：強力水火箭—175 公尺的最佳紀錄

關鍵詞：水火箭 水平射程能力 噴嘴

編號：

強力水火箭—175 公尺的最佳記錄

摘要

我們從過去水火箭的研究過程中，發現水火箭的許多知識，升上國中後我們一直想看看能不能造出飛行距離更遠的水火箭。

在國小我們的最佳成績在 80~90 公尺左右，那時候我們所能打入的氣體壓力極限為 80psi，上國中後我們的力氣變大，再加上有一位體育好手加入我們的團隊，我們更有信心在國中創造出更遠的距離記錄。

我們也試著從箭頭的配重、尾翼的數目以及噴嘴的改良等等方面，來尋求更佳成績。再經過一連串的實驗與許多次假日時光，我們終於以 175 公尺刷新了我們自己在水火箭研究的新記錄，但是距離第四屆全國飛行造物大賽國中組的 284 公尺的成績¹，仍有一段距離，這也告訴我們學無止盡，學海無涯的道理。

壹、研究動機

升到國中後，得知科展比賽的訊息，對科學探究的精神又再度被引發，於是找了好朋友再次投入過去水火箭的研究，想突破過去自己的成績！過去在研究過程中，我們最遠的距離只到 86 公尺，這次我們希望突破這個距離的限制，改造出進化的水火箭！

在老師的指導協助下，我們利用週六、日課餘時間來進行實驗，也利用時間和老師討論相關的知識及改造的方法，期望能在研究的領域再往前跨一步。

貳、研究目的

- 一、 探討水火箭的結構，找出可進行改造之處
- 二、 在壓力固定下，尋求最大推力解決方法
- 三、 培養獨立研究與團隊合作的精神

參、研究設備及器材



200ml 塑膠燒杯

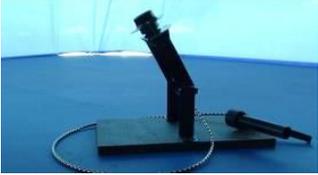


漏斗



皮尺(50 公尺)

¹ 捷克火箭工作室資料：全國第四屆飛行造物大賽由成功大學航太系舉辦，國中組由福和國中廖于嫻 284m 奪下第二名。(第一名已不可考)

 <p>立式打氣筒</p>	 <p>磅秤</p>	 <p>市售噴嘴</p>
 <p>風速計</p>	 <p>市售噴嘴發射架</p>	 <p>水管式噴嘴發射架</p>
 <p>砝碼組</p>	 <p>水桶</p>	 <p>油土</p>

肆、研究過程或方法

一、假設階段

首先我們先思考，水火箭的構造包含：火箭頭、瓶身、尾翼、噴嘴，改造也必須從這幾個地方著手，於是我們假設以下幾個情形：

- (一)、 水火箭頭的配重，是否會影響射程？
- (二)、 尾翼的數量是否影響射程？
- (三)、 噴嘴是否能改造更大面積的噴嘴口？

二、水火箭頭配重與射程的關係：

(一)、 實驗設計

1. 我們把操縱變因設定成火箭頭中油土的重量，從 20g 開始，每次增加 20g，直到 100g 為止。
2. 控制變因包含：
 - (1) 打氣壓力：設定為 80psi²
 - (2) 水量控制於 210ml³
 - (3) 尾翼數量為 4 片

² PSI 為英制壓力單位，為手壓式打氣筒上常見壓力單位。psi = lb/in² 表示每英吋承受多少英鎊的正向力，1psi=0.07031 kg/cm²。由於我們使用的打氣筒以 psi 為單位，所以我們就直接紀錄，不再另行換算單位。

³ 本結果取自過去我們做過的科展結果，嘉義縣第 51 屆科學展覽國小組物理科：一飛沖天~挑戰水火箭飛行距離。以 1250ml 容量的寶特瓶身，裝水 210ml，在 80psi 的壓力下最佳飛行距離為 86m。

(4) 水火箭本身的樣式(包含重量、造型、外觀……)

(5) 風速(最佳狀態應在室內無風處進行較為準確，卻找不到合適場地，只好記錄風向與風速做為參考)

3. 為了要減少誤差，我們在每個條件下進行三次實驗，取其平均

三、水火箭尾翼數目與飛行距離的關係

(一)、實驗設計：

1. 操縱變因：尾翼數以 2、3、4 片做分組 (5 片因空間關係，無法完成)

2. 控制變因包含：

(1) 打氣壓力：80psi

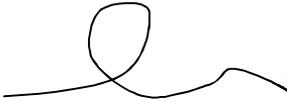
(2) 水量控制於 210ml

(3) 水火箭本身的樣式(包含重量、造型、外觀……)

(4) 風速(最佳狀態應在室內無風處進行較為準確，卻找不到合適場地，只好記錄風向與風速做為參考)

3. 為求準確性，我們仍採取進行 3 次實驗後取平均的方式

4. 由於有的水火箭亂飛，所以我們決定先界定飛行成功的判定：

飛行成功	飛行失敗，重做	飛行失敗，重做
		

5. 由於尾翼片數為兩片時，失敗率極高，所以我們決定順便記錄下成功的比率做為參考，結果 3 片與 4 片的成功率都還不錯，惟 4 片的穩定性高點。

四、改造噴嘴

(一)、思考過程：

1. 市售的噴嘴口過小，無法有效產生巨大的推力，而噴嘴口又與發射架息息相關，這著實令我們傷痛腦筋，於是我們上網尋找一些靈感。

2. 我們在網路上找到一個專門研究水火箭的工作室，這個工作室的噴嘴是用水管做成的，而水管的孔徑略小於保特瓶的瓶口，於是我們從網路上買了相關的材料回來進行研究。

3. 組裝好的水管噴嘴，連接瓶身看起來彷彿砲彈般，不禁令我們躍躍欲試，想好好測試它的威力，但是沒想到以 210ml 的水量，搭配 80psi 的壓力，水火箭就射出校園，所幸沒有造成別人受傷，否則就不好了。

4. 於是我們必須尋覓一個安全且空曠的場地來進行，最後我們挑選中正大學附近的住宅區旁的空曠草地來進行實驗，該場地符合我們的要求：人少、車少、空曠。

五、水管式噴嘴水火箭與市售噴嘴在飛行距離的差異研究

(一)、實驗設計

1. 操縱變因：市售噴嘴(半徑=0.2cm)、水管式噴嘴(半徑=1cm)
2. 控制變因：
 - (1) 打氣壓力：80ps
 - (2) 水量控制於 210ml
 - (3) 油土重量 40g
 - (4) 瓶身容量採用 1250ml 的汽水瓶
 - (5) 風速(最佳狀態應在室內無風處進行較為準確，卻找不到合適場地，只好記錄風向與風速做為參考)
 - (6) 由於此組實驗因射程遠，較易因風速產生差異，所以這組實驗我們進行 5 次再取平均，以減少誤差。

六、水管式噴嘴極限飛行距離探討

(一)、這個水管式的噴嘴大大拓展我們對水火箭的認識，於是我們更想了解它的最佳射程與性能。

(二)、實驗設計：

1. 水火箭噴頭配重 40g
2. 裝水容量 210ml
3. 尾翼數量 4 片
4. 噴嘴採用水管式噴嘴
5. 過去實驗⁴我們知道壓力越大，飛行距離越遠，於是我們將以壓力做為操縱變因進行測試
6. 我們決定以打入壓力 80psi 開始，以 20psi 為間距，一直測量到我們的力量極限。雖然打氣筒壓力最大指數到 140psi，但是我們依照壓力表前面的壓力增加幅度都有固定的比例，所以我們以相同比例推估到 160psi 的壓力。

伍、研究結果

一、水火箭頭配重與射程的關係

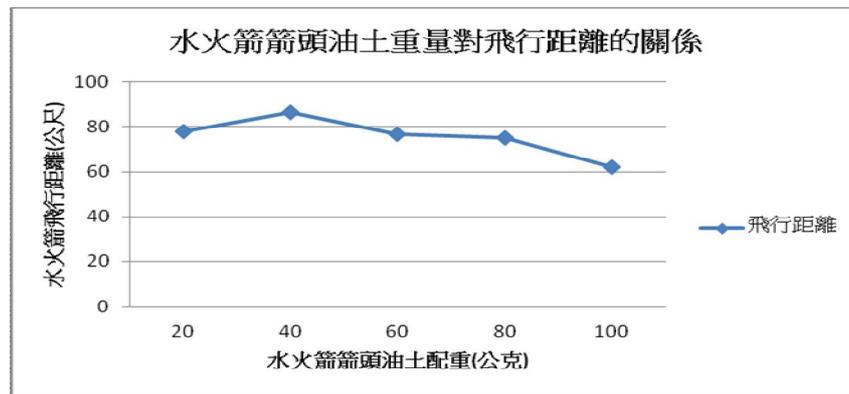
(一)、實驗結果：

水火箭發射方向為東方朝向西方發射

編號	箭頭 油土 重量 (g)	第 1 次		第 2 次		第 3 次		平均 射程 (m)
		射程 (m)	風向 風速 (km/h)	射程 (m)	風向 風速 (km/h)	射程 (m)	風向 風速 (km/h)	
1	20	76.5	南 2.3	78.4	西南 5	78.6	南 3	77.83
2	40	84.7	南 3.2	86.2	南 4.5	88.6	西南 2.2	86.5
3	60	78.6	西南 4.5	77.3	西南 4.5	74.2	南 4	76.7

⁴嘉義縣第 51 屆科學展覽國小組物理科：一飛沖天~挑戰水火箭飛行距離。本實驗中，我們用市售水火箭進行測試，發現壓力越大飛行距離越遠的關係。

4	80	72.4	西南 2	75.2	西南 6	77.4	南 2	75
5	100	64.3	南 6.3	62.2	南 6.3	60.2	南 4	62.2



(二)、實驗討論：

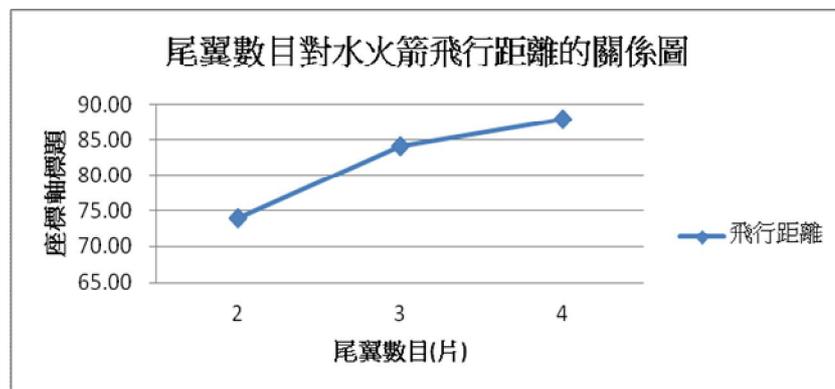
1. 以瓶身 1250ml 的水火箭而言，最佳的箭頭配重為 40g。
2. 我們發現過輕時，類似用手丟紙球或棒球的感覺一樣，紙球重量過輕，且受力後慣性不大，飛行距離不遠；而棒球本身具一定重量，受力後產生的慣性也較大。
3. 超過 40g 後，可能因本身重量過重，導致飛行距離降低。

二、尾翼的數量會造成穩定性與飛行成功率⁵的差異。

(一)、實驗結果

水火箭發射方向為東方朝向西方發射

編號	尾翼數目	第 1 次		第 2 次		第 3 次		平均射程 (m)
		射程 (m)	風向 風速 (km/h)	射程 (m)	風向 風速 (km/h)	射程 (m)	風向 風速 (km/h)	
1	2	75.6	西南 4.3	74.2	南 6	72.3	西南 2	74.03
2	3	85.6	西南 5.6	82.3	西南 4.3	84.3	西南 3	84.3
3	4	86.8	西南 2.3	88.4	西南 5	88.8	西南 2.4	88.8



⁵ 關於飛行成功率的判定，詳見本實驗肆-三-(一)-4.的判定法則

(二)、 實驗討論

1. 雖然感覺上尾翼 4 片的射程比 2 片、3 片還遠，但是我們覺得是因為 4 片尾翼的水火箭飛形比較穩定，火箭本身較不易旋轉所造成的結果。
2. 2 片尾翼的失敗率很高，必須試幾次才有一次的成功飛行，3 片雖然成功率高，但是水火箭本身容易旋轉、晃動，所以射程略遜 4 片尾翼的水火箭。
3. 尾翼數目對穩定性與飛行成功率的關係整理如下：

	尾翼 2 片	尾翼 3 片	尾翼 4 片
穩定性	極差。火箭本身會亂轉、亂晃。	普通。火箭本身偶而會搖晃	極佳，幾乎發射後健身能保持穩定
飛行成功率	30% (3/10)	75% (3/4)	100% (3/3)

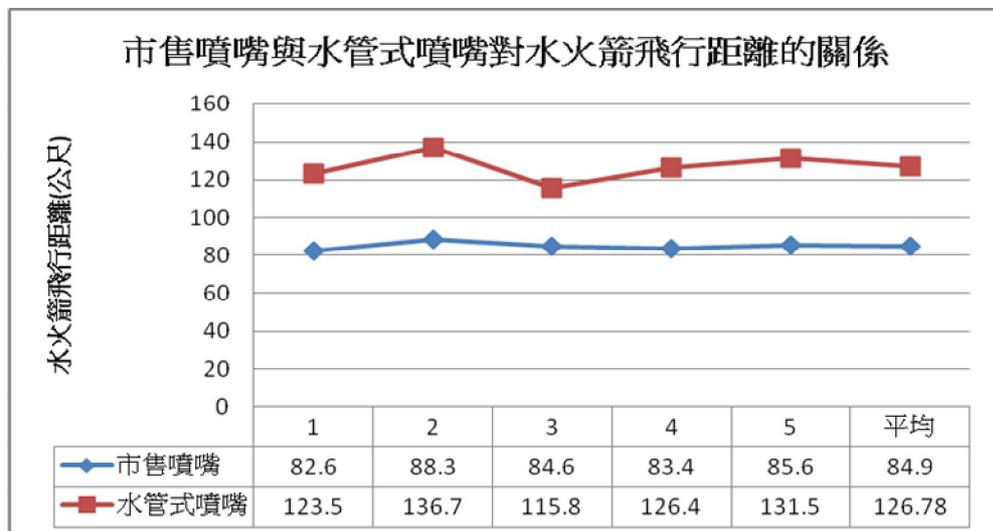
4. 我們後來上網查一些飛彈的圖片，發現尾翼數目在 3~4 片皆有，只要彼此間隔比例一樣，3 片以 120 度相隔，4 片則以 90 度相隔，都可以達到一個良好的穩定性。
5. 可見我們製作的 3 片尾翼，顯然仍未做到完全的等比例，這些微的誤差就造成水火箭升空後晃動的原因。

三、水管式噴嘴水火箭與市售噴嘴在飛行距離的差異研究

(一)、 實驗結果

水火箭由南向北發射

噴嘴 次數	市售噴嘴		水管式噴嘴	
	飛行距離(m)	風向、風速(km/h)	飛行距離(m)	風向、風速(km/h)
第 1 次	82.6	西南 3.5	123.5	西 3.5
第 2 次	88.3	西南 8.6	136.7	西南 8.6
第 3 次	84.6	西 4.1	115.8	西 6.5
第 4 次	83.4	西 5.2	126.4	西 2.4
第 5 次	85.6	西南 3.2	131.5	西南 6.4
平均	84.9		126.78	



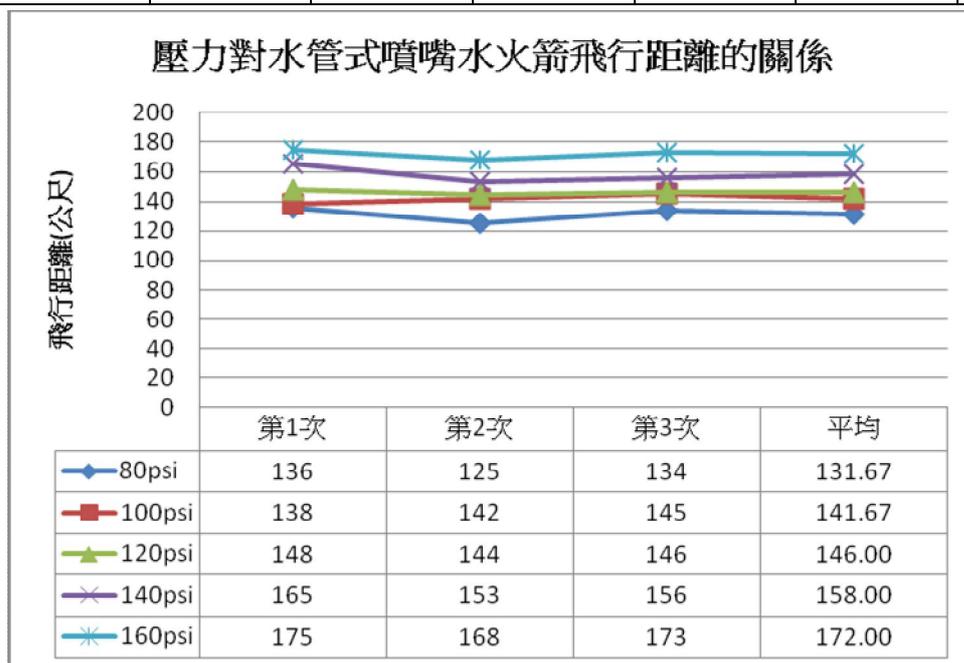
(二)、 實驗討論

1. 我們可以發現，噴嘴孔越大，火箭飛行的距離也越遠。
2. 噴嘴孔大的水火箭，發射後產生巨響後，便會以驚人的初速度發射出去，通常只能在高空中速度慢下來時才能捕抓它的身影。我們曾嘗試用攝影要捕抓它發射的畫面來計算初速度，卻因為速度過快導致畫面難以捕抓甚至畫面模糊不清無法判斷而作罷。

四、 水管式噴嘴極限飛行距離探討

(一)、 實驗結果

	第 1 次		第 2 次		第 3 次		平均
	飛行距離(m)	風向、風速(km/h)	飛行距離(m)	風向、風速(km/h)	飛行距離(m)	風向、風速(km/h)	
80psi	136	西南 3.2	125	西南 4.2	134	西南 5.3	131.67
100psi	138	西南 3.4	142	西 2.2	145	西南 2.1	141.67
120psi	148	西 2.8	144	西南 4.6	146	西南 3.5	146
140psi	165	西南 4.5	153	西南 3.1	156	西南 2	158
160psi	175	西 3.5	168	西南 3.2	173	西 5	172



(二)、 實驗討論

1. 水火箭壓力越大，所能飛行的距離也越遠。
2. 以我們體運好手同學的力量，也只能硬壓到 140psi，後面的硬撐到 160psi 是五我們三人合力用身體的力去打氣才能將壓力增進到 160psi，我們從詢問過老師，老師說參加飛行造物比賽的壓力並不是看壓力表的數值，而是一直拚命打，直接數打了幾次氣體的。
3. 以我們目前的力量，或許只能止步於 160psi，但我們相信未來有一天我們會找到方法克服，挑戰更強大的壓力。

陸、討論

一、水火箭的壓力與飛行的關係：

- (一)、壓力的來源，在一個固定的體積中，打入越多的空氣，因為空氣分子彼此會互相運動與碰撞，空氣越多造成內部的氣體壓力越大，這就是會什麼當我們利用打氣筒將氣體打入水火箭中時，壓力表的數值便會上升。
- (二)、做水火箭的箭身必須抗壓力，所以要使用汽水類的保特瓶原因也在於此，只有汽水類的保特瓶經過抗壓力的設計，若採用礦泉水或茶類的保特瓶，將因為無法承受過大的壓力而炸破水火箭身。
- (三)、根據壓力公式：壓力(P)= $\frac{\text{力量(F)}}{\text{接觸面積(A)}}$ ，可得到力量(F)=壓力(P)×接觸面積(A)的結果。當壓力固定時，力量(推力)會和接觸面積成正比，所以水管式噴嘴因為出水口比較大的關係，產生的推力也比較大。
- (四)、當我們使用固定的水管式噴嘴時，我們也可以油壓力公式得知力量(推力)會和壓力成正比，所以壓力越大推力也越大。目前我們的力量最大可以打到 160psi (目前我們購得的直立式打氣筒最大的顯示壓力值為 140psi，160psi 為我們利用等比例推估得來)。
- (五)、水火箭發射推力的來源：當瓶身的壓力將瓶內的水推積而出時，水也會給瓶身一個反作用力，這就是有名的「牛頓第三運動定運：作用理與反作用力」，作用理與反作用力存在以下關係：
 1. 同時出現，同時消失
 2. 作用於同一直線上，卻方向相反
 3. 大小相等，卻因為作用於不同物體上，無法抵消
 4. 水噴發的力量其反作用力就是水火箭前進的動力，且力量相等。

柒、結論

- 一、我們在實驗過後，得到以 1250ml 的汽水瓶身，配上火箭箭頭 40g 的重量，搭以 4 片尾翼，填入 210ml 的水量後打入 160psi 的壓力，能得到平均飛行 172 公尺的成績。
- 二、未來若打氣設備能更進階，或我們的力氣能更大(機械動力?)，我們應該可以將水火箭的極限記錄再往前推進好幾公尺。
- 三、在完成作品前，我們後來又想到箭頭的造型與輔助翼⁶的設計，也許可以再讓本作品的極限記錄再往前推進，不過這都得留待下次再繼續研究了。

捌、參考資料及其他

- 一、自然科學圖解百科~能量與物理(I) 泛亞文化 2006 年 2 月 P.4-P.22
- 二、維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
- 三、捷克火箭工作室 <http://www.jackrocket.com/>

⁶ 我們參考過砲彈的造型，發現砲彈並不知識只有尾翼而已，而是在箭身也有較小的輔助翼，來穩定飛行。這或許可以做為日後改造的參考。