

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160024

參展科別 物理與天文學

作品名稱 「氫」雲直上-影響氫氣火箭飛行的各項因子
探討-Discuss the Factors Affecting the Flight of
the Hydrogen Rockets

得獎獎項

就讀學校 基隆市立中正國民中學

指導教師 石長明、張淑敏

作者姓名 王翔威、詹承恩

關鍵詞 氫氣火箭、飛升高度、電解

作者簡介



我們是詹承恩(右)、王翔威(左)。我們很喜歡物理這科目，尤其是對飛往星空的火箭感到著迷。研究過程中總會產生一些問題，但我們也樂於解決和改善，因為看到一飛沖天的火箭總能讓喜悅蓋掉煩惱。整個實驗所帶來的發現與成果都使我們受益良多，而我們也用我們的研究爭取國際科展的榮譽。最後感謝兩位指導老師不斷的協助，使我們的研究更加完整，也謝謝大會能給我們機會，發表我們的成果。

摘要

本實驗主要在研究各項因子對氫氣火箭的影響，我們查了許多影片和資料，發現許多氫氣火箭實驗都沒有記錄各項因子的數據及比較，在歷屆科展的火箭實驗中，將氫氣作為燃料的作品也寥寥無幾，所以決定嘗試這個題目作為本實驗的研究主題。

我們的研究使用電解製造氫氣與氧氣，進行燃料、造型實驗，並用電腦計算出飛行高度，希望能找出最佳飛行高度因子。我們發現各種因子的飛升高度與質量、質心、燃料與造型有很大的關聯。

希望能藉由這些實驗讓人們更認識氫氣火箭，也能藉由氫氣火箭的飛行實驗讓大家更認識、更熟悉火箭之中的科學原理，讓大家對科學更有興趣。

Abstract

This experiment is mainly about the influence of various factors on hydrogen rockets. We had studied on this topic, while many hydrogen rocket experiments did not compare each factor and record the data. In the rocket experiments of the previous Science Fairs, there were also few works about using hydrogen explosion as the propelling energy, so we decided to attempt this topic as the research theme of the experiment.

In our research, we used electrolysis to produce hydrogen and oxygen, carrying out experiments on fuel and shape of the rockets, and analyzing the flight altitude, in order to find out the factors contributing to the best flight altitude. We found out that the flying heights caused by various factors have great correlations with mass, center of mass, fuel and shape of the rockets.

We hope that through these experiments, people can know more about hydrogen rockets, be more familiar with the scientific theories behind them, and therefore, people may be more interested in science.

壹、前言

一、研究動機

我們喜歡會飛行的事物，想嘗試看看更困難的飛行物，就想到最近美國的公司 SPACE X 發射了第一架由民間製造的火箭，所以我們也想向太空挑戰，希望能以更環保的方式發射火箭。因為現在的模型火箭不夠環保，大多以碳氫化合物作為燃料，為了不要給環境帶來汙染，所以我們將氫氣與氧氣作為燃料進行研究。

二、研究目的

- 1、蒐集有關本科展的相關資料。
- 2、製作相關器具，研究其實驗方法。
- 3、研究各項因子對火箭發射高度及平均速度的影響。
- 4、選出各向飛升高度最佳的因子，再進行直交實驗，以深入研究對火箭最佳的實驗因子。
- 5、進行斜向拋射實驗，找出飛行最遠的最佳因子，並與斜向拋射的理論值比較。
- 6、進行證明實驗:重心測試，以探討出最佳實驗因子的優點。
- 7、進行基準火箭的係數計算，以計算出阻力係數、火箭的原飛升力。

貳、研究過程及方法

一、研究設備及器材

- (一)電解槽:直流電供應器、自製電解器具、氫氧化鈉水溶液、燒杯
- (二)發射、自由落體實驗:自製火箭發射裝置、高度刻度表、保護用捕撈網、自由落體架
- (三)氫氣火箭:火箭主體(滴管頭、膠水罐)、3D 列印機翼、3D 列印鼻錐(材料:PLA)
Tinkercad 3D 列印軟體、3D 列印機
- (四)拍攝及分析:Tracker 軟體、電腦、手機、攝影機、腳架
- (五)其他:筆、鐵尺、捲尺、護目鏡、手套、重心測試架、棉線、google 試算表、小畫家

二、文獻探討

(一)水電解及爆炸

1、電解水

接電源負極還原半反應： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

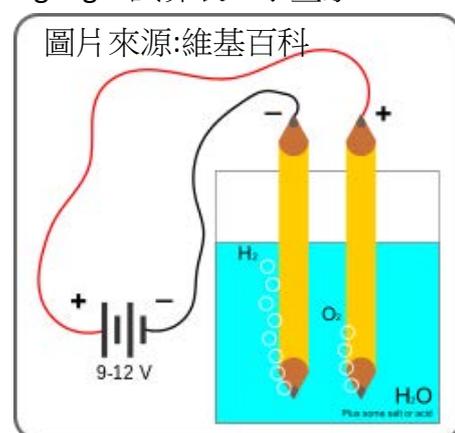
接電源正極氧化半反應： $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

總反應式： $4\text{H}_2\text{O} + 1144\text{kJ} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (公式 1)

2、氫氧燃燒

爆炸反應式： $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 572\text{kJ}$ (286 kJ/mol) (公式 2)

根據電解水的反應式(公式 1)及(圖一)可知:負極會產生氫氣，正極則會產生氧氣，所以我們可以透過電解水產生氫、氧氣(我們也在做實驗過程中發現:在一定範圍內，濃度愈高或兩電極之間的距離越接近，則收集氣體的速度越快)。



根據氫氧燃燒的反應式(公式 2)可知:透過爆炸釋放能量給予火箭發射的動力，並產生爆炸的產物:水，這樣對環境的污染較小。

根據反應式，電解水所產生氫:氧=2:1 若燃燒要使氫氧全消耗完，比例也須為氫:氧=2:1，故推論在填充氣體時，應將比例調為 2:1 才能全部利用到，所以我們把氫氧濃度 2:1 設為基準。

(二)火箭相關力學

1、牛頓第三運動定律

當兩個物體交互作用時，彼此施加於對方的力，其大小相等、方向相反

$$F = -F' \text{ (公式 3)}$$

F:作用力，F':反作用力

2、牛頓第二運動定律

$$F = ma \text{ (公式 4)}$$

從(公式 3 和圖 2)可知氣體和水對地面噴射所產生的力(作用力)越大，其飛升力(反作用力)就越大，所以如果爆炸威力愈大其飛升高度也隨之增加。

F:力(N)，m:質量(kg)，a:加速度($m \cdot s^{-2}$)

從(公式 4)可知:當質量或加速度愈大，所需的力就愈大。

3、重力

有質量的物體之間相互吸引的作用，也是物體重量的來源，在地球表面重力，可以表示為以下公式:

$$F_{\text{重}} = mg \text{ (公式 5) (F:力N，m:質量kg，g:重力常數 } m \cdot s^{-2} \text{ 約為 } 9.78046 \text{ m} \cdot s^{-2} \text{)}$$

從(公式 5 和圖二)可知:當火箭質量愈大，所受重力就愈大，使其上升所消耗的力也隨之增加，所以將火箭本體質量降低就能減少消耗的力。

4、空氣阻力

物體在流體中相對運動所產生與運動方向相反的力，在密度為 ρ 的流體中所受到的阻力，可以用以下式子表示:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \text{ (公式 6)}$$

(F_d :空氣阻力N， ρ :空氣密度 $kg \cdot m^{-3}$ ， v :對空速度 $m \cdot s^{-1}$ ， C_d :阻力係數為無因次量， A :參考面積 m^2)

從(公式 6 和圖 1)可知:，在固定空氣密度時，當火箭對空速度、參考面積、阻力係數愈大，阻力就愈大，使其上升所消耗的力也隨之增加，所以將火箭以上因素降低就能減少消耗的力。

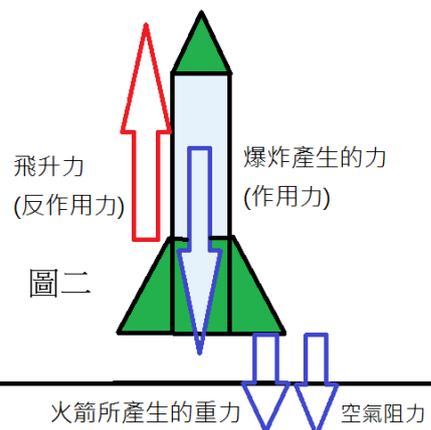
從(公式 4、5、6)及圖二可知:飛升力會與重力、阻力互相作用，上升時，飛升力>重力+阻力，使火箭上升，下降時，因火箭燃料已耗盡，所以飛升力<重力，也可透過公式 4、5 得到:

F:重力($kg \cdot m \cdot s^{-2}$)，m:質量(kg)，g:重力常數($m \cdot s^{-2}$)

$$F_{\text{飛升力}} - F_{\text{重力}} - F_{\text{阻}} = F_{\text{淨升力}}$$

$$F_{\text{飛升力}} = F_{\text{淨升力}} + F_{\text{重力}} + F_{\text{阻}}$$

$$F_{\text{飛升力}} = ma_{\text{淨}} + mg + \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \text{ (m:質量kg，g:重力常數 } m \cdot s^{-2} \text{ 約為 } 9.78046 \text{ m} \cdot s^{-2} \text{) (公式 7)}$$



5、斜向拋射理論

斜向拋射理論：

水平初速 $v_{0x} = v_0 \cos \theta$

鉛直初速 $v_{0y} = v_0 \sin \theta - gt$

水平位移 $x = (v_0 \cos \theta) \cdot t$

可以得到： $t = x / v_0 \cos \theta$

鉛直初速 $y = (v_0 \sin \theta) \cdot t - 1/2gt^2$

$$= -(g/2 v_0^2 \cos^2 \theta) \cdot x^2 + \tan \theta \cdot x$$

$y = ax^2 + bx$ ，得 $a = -g/2 v_0^2 \cos^2 \theta$ 、 $b = \tan \theta$

可知其為拋物線，在 $x = -b/2a = v_0^2 \sin 2\theta / 2g$ 時，

為最高點或極大值，也可知：

$$R = -b/a$$

$$= v_0^2 \sin 2\theta / g$$

$$H_{\text{最高點}} = -b^2/4a$$

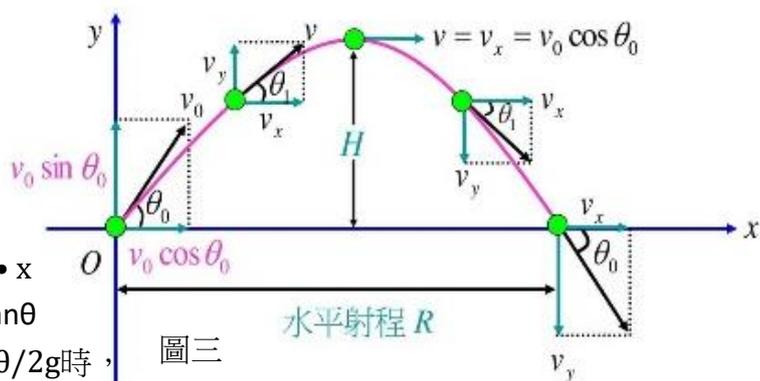
$$= v_0^2 \sin^2 \theta / 2g$$

最高點時， $v_y = 0 = v_{0y} - gt_{\text{最高點}}$ ，可知：

$$t_{\text{最高點}} = v_{0y} / g = v_0 \sin \theta / g$$

$$T_{\text{總}} = 2t = 2v_0 \sin \theta / g$$

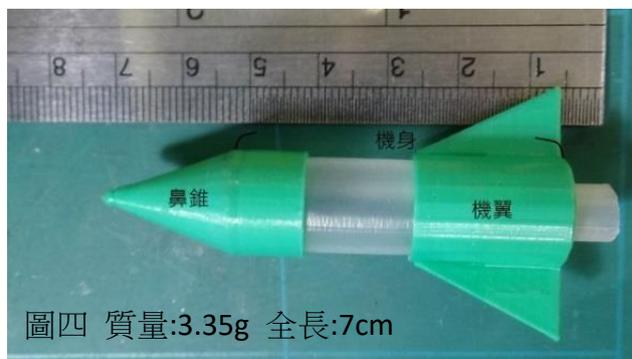
註： R 為水平射程、 H 為飛行高度、 T 滯空時間



圖三

圖片來源：

https://www.phyworld.idv.tw/BA_PHY_2B/S2_2B_1/2-3_projection_01.htm



圖四 質量:3.35g 全長:7cm

三、自製實驗器材及研究其實驗方法

(一)實驗器材製作

1、滴管頭火箭：

(1)3D 列印鼻錐

(2)3D 列印機翼

(3)滴管頭火箭

2、電解槽：

(1)碳棒x2

(2)電線x2

(3)3D 列印電極座

(4)直流電供應器

(5)燒杯

(6)氫氧化鈉水溶液

(7)3D 列印集氣管

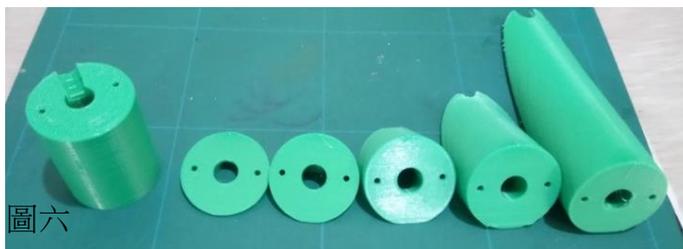


圖五

3、攝影裝置：

(1)攝影機

(2)腳架



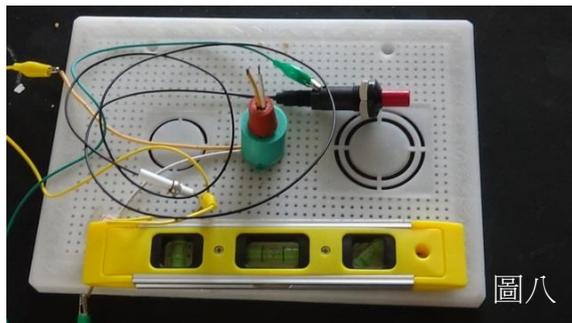
圖六



圖七

4、發射裝置:

- (1)3D 列印發射座
- (2)壓電素子
- (3)發射台(原水火箭用)
- (4)電線
- (5)鱷魚夾
- (6)鐵絲
- (7)水平儀
- (8)橡皮塞



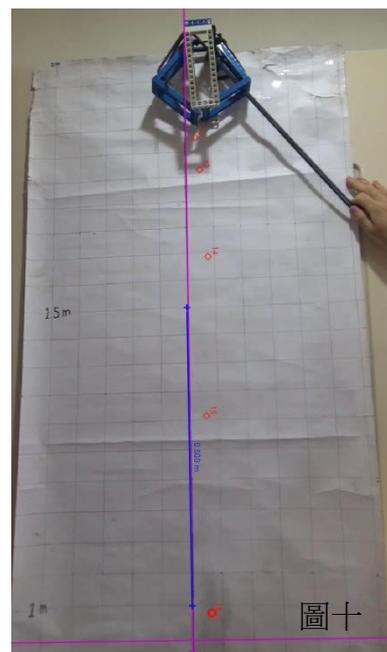
圖八



圖九

5、質心實驗器材

- (1)質心測試架。
- (2)棉線。



圖十

6、自由落體實驗器材

- (1)實驗火箭自由落體放置架
- (2)網子
- (3)方格紙

(二)實驗方法

1、一般垂直發射型 (滴管頭、膠水罐火箭)

- (1) 高度刻度紙及牆壁:用來當作背景的功能，標記紙也作為 Tracker 的比例尺，並用於分析本實驗的數據。
- (2)發射裝置:用來發射本實驗的火箭，利用壓電素子點火，使混和氣體(氫、氧)爆炸，產生上升的力量，使火箭上升。
- (3)捕撈網:為了減少火箭落地後的損傷，落地前用捕撈網接住。
- (4)在發射裝置前會有攝影機進行拍攝，並利用 Tracker 軟體進行分析。
- (5)在實驗過程中戴上護目鏡，避免火箭發射出去後，造成眼部受傷。



圖十一

2、斜向拋射型(滴管頭斜拋)

用一般垂直發射方法，僅用不同角度的發射座，利用 3D 列印製造不同的發射座，並將角度較低的發射座進行架高，以固定發射位置高度。



(三)制定出基準

燃料因子 項目	氫氧比例	燃料容積	點火位置 (距火箭底端)			
基準	氫氣 67%	燃料 80%	3cm			
造型因子 項目	鼻錐:機身 比例	機翼數量	機翼比例 (長:寬)	機翼位置	滴管頭 (長:寬)	機翼 前、後掠
基準	2:5	2	2:1	下	5:1	後掠 1 公分

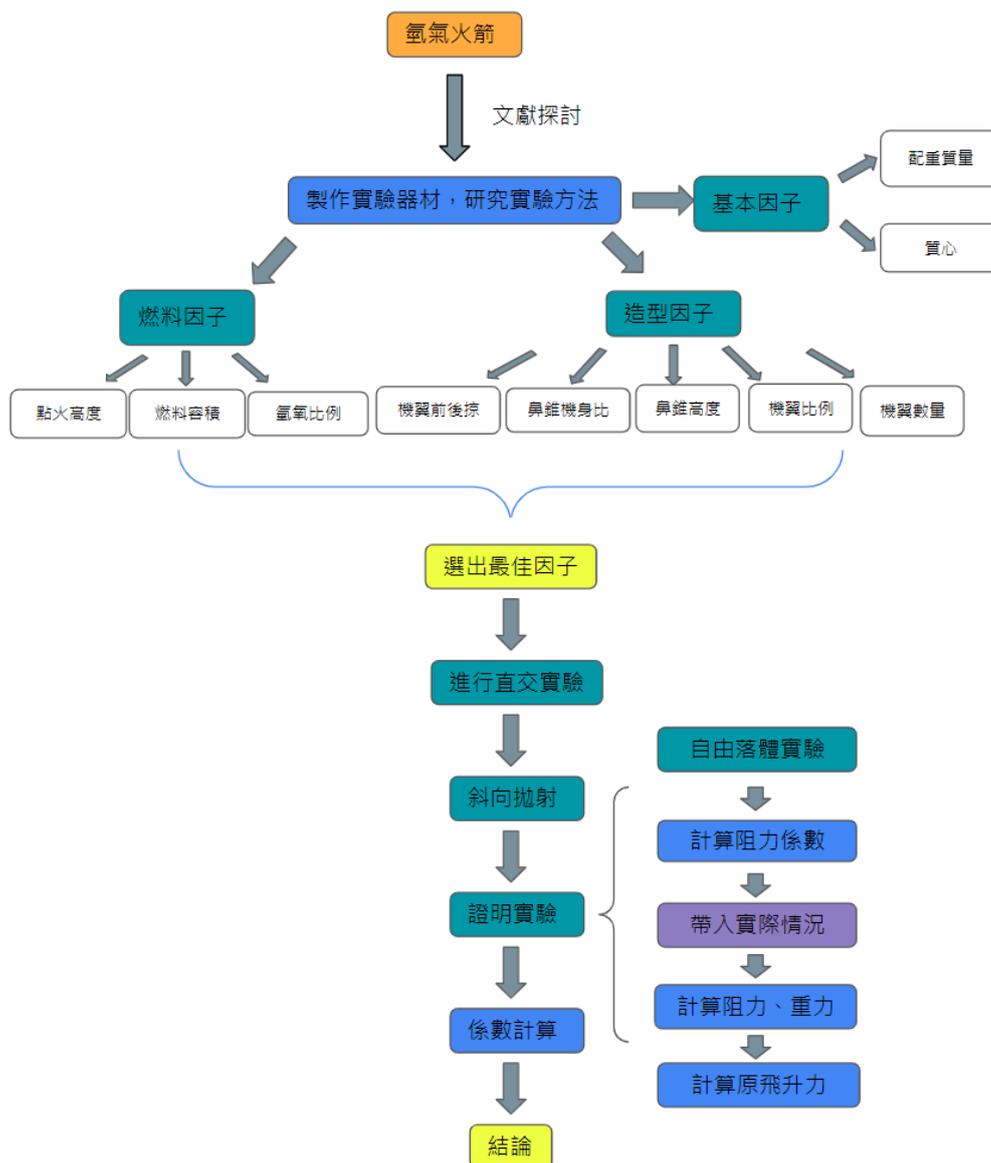
表一

我們決定將以上定為發射的控制變因，做為本實驗所研究的因子，並更改各項因子，進行本實驗，最後選出最佳因子，進行直交實驗。

(四) 尋找實驗方法

實驗過程流程圖:

我們利用以下程序進行氫氣火箭的各項因子實驗



圖十三

(五)研究可能影響氫氣火箭飛升高度的各項因子

(一)基礎因子

實驗一:火箭配重質量

- 1、1.00g (火箭總質量 3.20g)
- 2、1.15g (火箭總質量 3.35g)
- 3、1.30g (火箭總質量 3.50g)

實驗二:火箭質心(距火箭底端)

- 1、3.40cm
- 2、3.60cm
- 3、3.80cm

(二)燃料因子

實驗一:氫氧比例

- 1、氫氣 100%
- 2、氫氣 84%
- 3、氫氣 66%(基準)
- 4、氫氣 50%
- 5、氫氣 16%

實驗二:燃料容積

- 1、100%
- 2、90%
- 3、80%(基準)
- 4、70%
- 5、60%

實驗三:點火位置(距火箭底端)

- 1、2cm
- 2、3cm(基準)
- 3、4cm

(三)造型因子

實驗一:鼻錐:機身比例

- 1、1:5
- 2、2:5(基準)
- 3、3:5

實驗二:機翼數量

- 1、1
- 2、2(基準)
- 3、3
- 4、4

實驗三:機翼比例

- 1、25:8
- 2、2:1(基準)
- 3、1:2
- 4、8:25

實驗四:火箭前、後掠

- 1、前略 1cm
- 2、無前、後略
- 3、後略 1cm(基準)

實驗五:機翼位置

- 1、上
- 2、中
- 3、下(基準)

(四)直交實驗

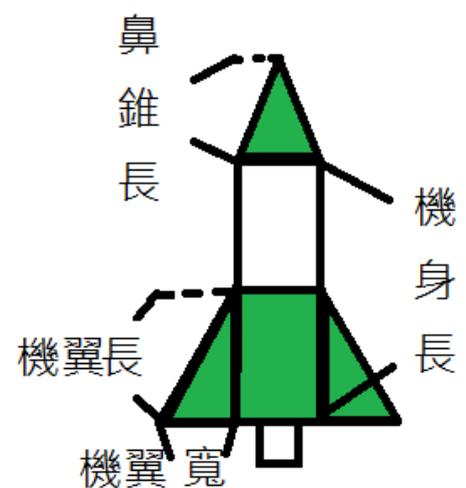
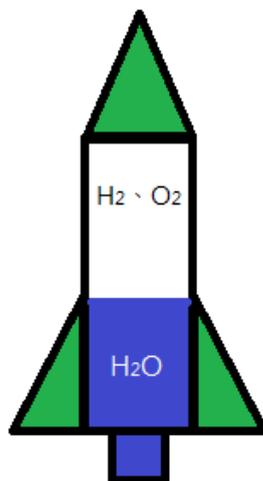
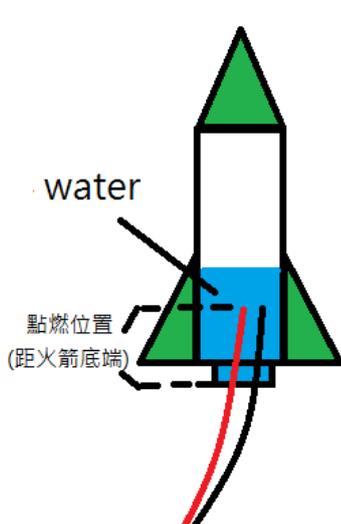
- 長:寬 25:8 氫 50%
- 長:寬 25:8 燃料 70%
- 氫 50%燃料 70%
- 長:寬 25:8 鼻錐 1:5
- 氫 50%鼻錐 1:5
- 燃料 70%鼻錐 1:5

(五)斜拋實驗

- 1、15 度斜向拋射
- 2、30 度斜向拋射
- 3、45 度斜向拋射
- 4、60 度斜向拋射
- 5、75 度斜向拋射

(六)證明實驗-重心測試

- 1、鼻錐機身比實驗用火箭
- 2、機翼比例實驗用火箭
- 3、機翼位置實驗用火箭
- 4、機翼前、後掠實驗用火箭



註:火箭配重為鼻錐、機翼加總之質量

圖十四

參、研究結果、討論

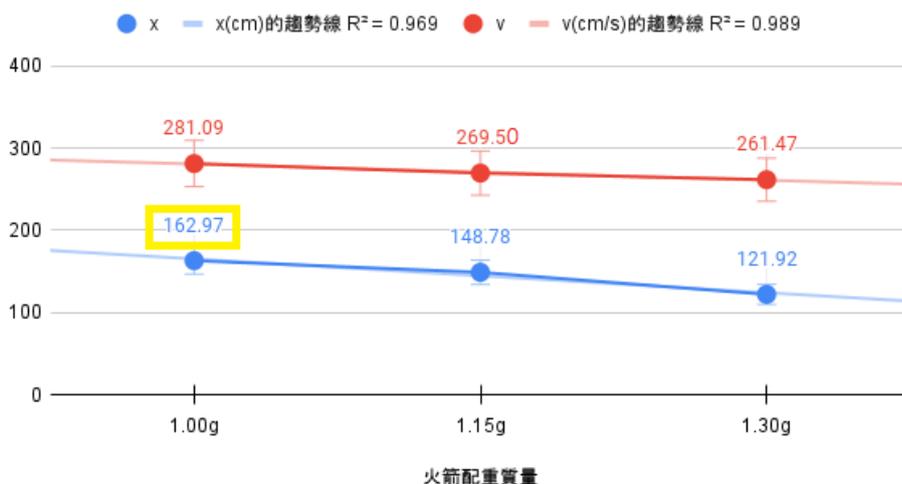
一、基礎因子

(實驗一)火箭配重質量

火箭配重質量		1.00g	1.15g	1.30g
第 1 次	x	103.57	140.54	107.95
	t	0.500	0.533	0.401
第 2 次	x	152.10	165.64	114.31
	t	0.533	0.567	0.500
第 3 次	x	216.89	134.02	111.69
	t	0.666	0.533	0.400
第 4 次	x	173.06	108.55	139.17
	t	0.567	0.467	0.467
第 5 次	x	169.24	195.13	82.18
	t	0.600	0.634	0.334
平均	x	162.97	148.78	121.92
	t	0.573	0.547	0.440
	v	281.09	269.50	261.47

表二

火箭配重質量



圖十五

從(實驗一)的實驗數據中發現:配重質量越大,飛行高度、飛行平均速度越低,反之,質量越小則越高,且發現此曲線十分近似於直線方程式

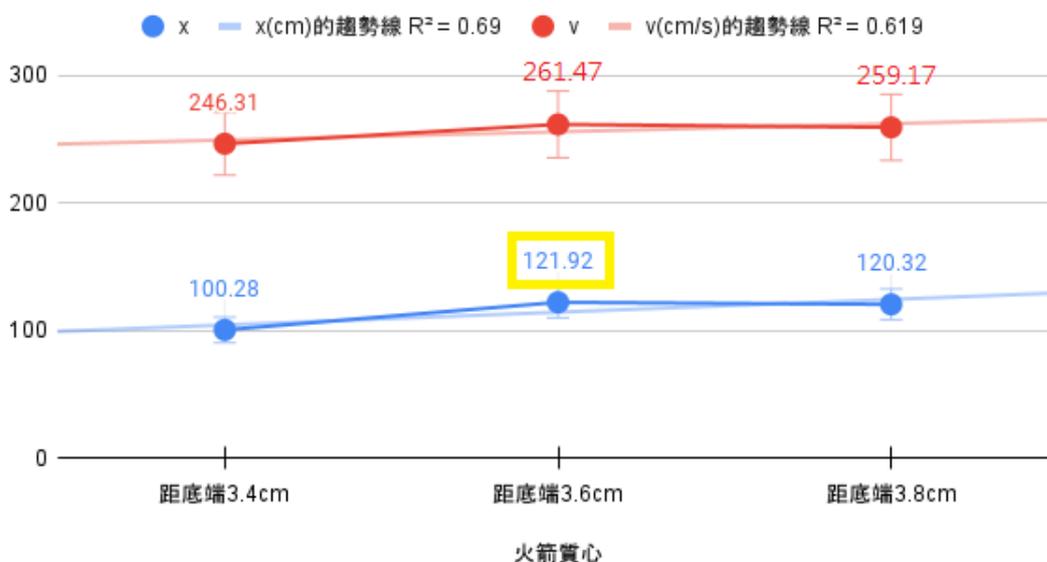
註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗二)火箭質心(距火箭底端)

火箭配重質量		3.40cm	3.60cm	3.80cm
第 1 次	x	133.94	104.96	80.05
	t	0.534	0.401	0.367
第 2 次	x	86.10	115.14	125.80
	t	0.434	0.500	0.434
第 3 次	x	82.71	108.58	110.97
	t	0.367	0.400	0.467
第 4 次	x	78.71	139.10	155.89
	t	0.400	0.467	0.533
第 5 次	x	119.94	141.80	128.89
	t	0.333	0.434	0.500
平均	x	100.28	121.92	120.32
	t	0.414	0.440	0.460
	v	246.31	261.47	259.17

表三

火箭質心



圖十六

從(實驗二)的實驗數據中發現:質心位置在 3.6cm 的時候飛行高度、飛行平均速度最佳，3.8cm 只略小於 3.6cm，3.4cm 則是小於 3.6cm、3.8cm 比較多，因此發現上升到一定的程度，飛升高度、平均速度就不會變化太大。

註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

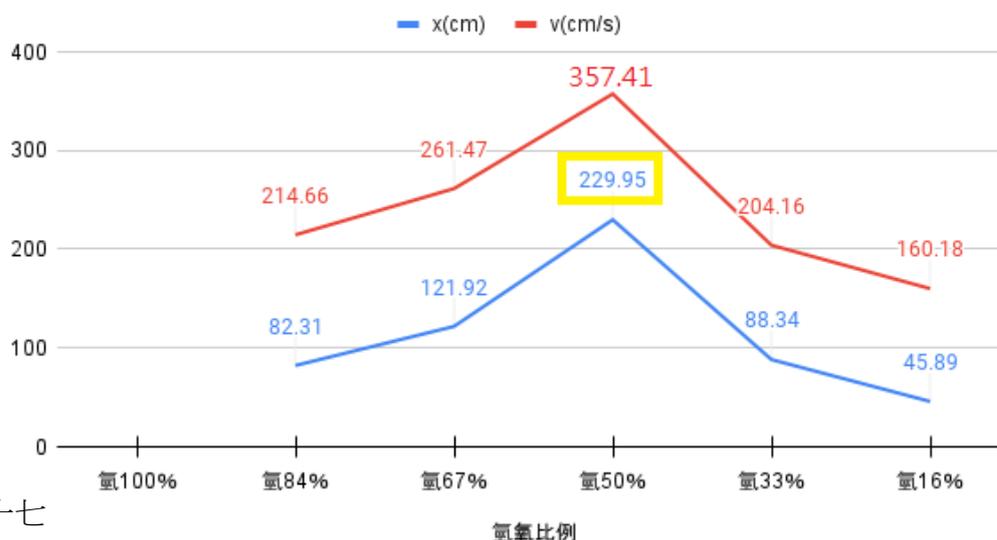
二、燃料因子

(實驗一)氫氧比例

氫氧比例		氫氣 100%	氫氣 84%	氫氣 66% 基準	氫氣 50%	氫氣 33%	氫氣 16%
第 1 次	x		84.89	104.96	190.25	148.71	35.00
	t		0.400	0.401	0.600	0.534	0.267
第 2 次	x		136.37	115.14	223.11	80.37	63.03
	t		0.434	0.500	0.634	0.400	0.267
第 3 次	x		58.90	108.58	208.49	90.25	10.85
	t		0.334	0.400	0.600	0.434	0.134
第 4 次	x		80.41	139.10	289.10	47.12	62.44
	t		0.401	0.467	0.734	0.300	0.301
第 5 次	x		51.00	141.80	238.82	75.25	58.14
	t		0.300	0.434	0.634	0.367	0.400
平均	x		82.31	121.92	229.95	88.34	45.89
	t		0.374	0.440	0.640	0.407	0.274
	v		214.66	261.47	357.41	204.16	160.18
備註		沒有爆炸					

表四

氫氧比例



圖十七

從(實驗一)的實驗數據中發現:氫氣 100%只有爆炸但沒有發射升空。我們發現氫 50%為最佳因子,在氫氣 50%時氫氣濃度上升或下降,飛升高度及平均速度都會降低。氫 50%的飛升高度及平均速度能超過基準燃料容積,所以會將氫 50%做之後的直交實驗。

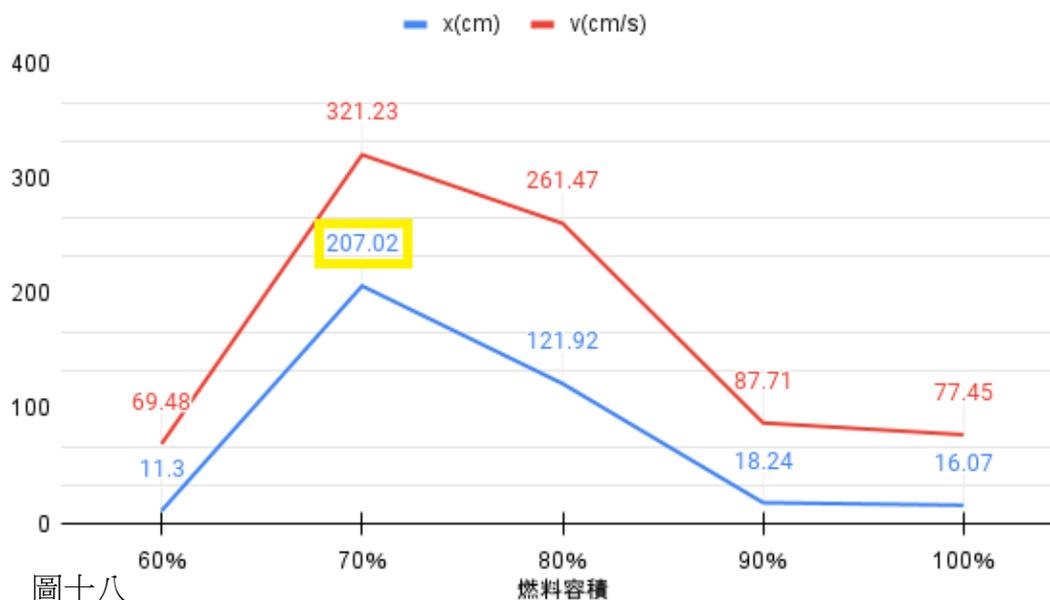
註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗二)燃料容積

燃料容積		60%	70%	80% 基準	90%	100%
第 1 次	x	12.18	265.35	104.96	18.56	34.38
	t	0.167	0.734	0.401	0.234	0.333
第 2 次	x	10.02	173.08	115.14	18.49	16.58
	t	0.167	0.600	0.500	0.200	0.200
第 3 次	x	8.37	166.18	108.58	13.77	10.24
	t	0.133	0.534	0.400	0.167	0.133
第 4 次	x	16.71	201.90	139.10	16.06	11.29
	t	0.203	0.668	0.467	0.201	0.133
第 5 次	x	9.21	228.61	141.80	24.34	7.85
	t	0.133	0.667	0.434	0.233	0.200
平均	x	11.30	207.02	121.92	18.24	16.07
	t	0.161	0.641	0.440	0.207	0.200
	v	69.48	321.23	261.47	87.71	77.45

表五

燃料容積



圖十八

從(實驗二)的實驗數據中發現:在本實驗中,燃料容積 70%為最佳因子,與氫氧比例相似,都有一個最佳因子,飛行高度及速率會隨著其容積改變而遞減,也發現基準燃料容積 80%並非最佳因子。燃料容積 70%的飛升高度及平均速度能超過基準燃料容積,所以會將燃料容積 70%做之後的直交實驗。

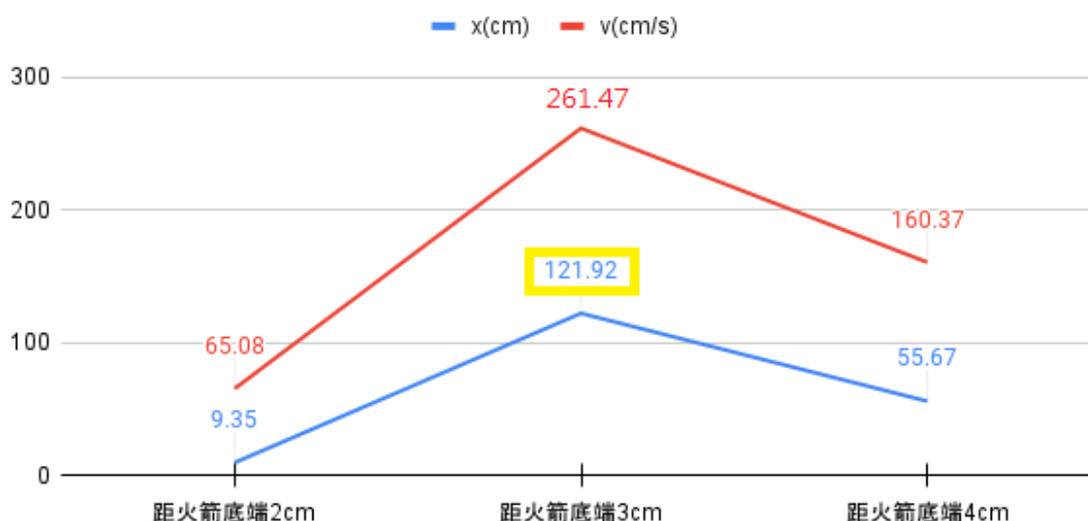
註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗三)點火位置

點火位置		2cm	3m	4m
第 1 次	x	13.18	104.96	62.52
	t	0.167	0.401	0.367
第 2 次	x	13.50	115.14	59.75
	t	0.167	0.500	0.334
第 3 次	x	4.68	108.58	55.58
	t	0.133	0.400	0.334
第 4 次	x	9.48	139.10	45.91
	t	0.133	0.467	0.334
第 5 次	x	5.92	141.80	54.59
	t	0.100	0.434	0.367
平均	x	9.35	121.92	55.67
	t	0.140	0.440	0.347
	v	65.08	261.47	160.37

表六

點火位置



圖十九

從(實驗三)的實驗數據中發現:在本實驗中的最佳點火位置為 3cm，其飛升高度及速率皆遠大於 2cm、4cm。在 2cm 的部分，幾乎每次都不是第一次就成功讓火箭發射，而是要經過多次的點燃才會成功。而在 4cm 的部分，雖然可以在第一次點燃時就成功將火箭發射出去，但飛升高度還是遠遠不及點火位置 3cm。而基準(3cm)已為最佳因子，所以無需再進行直交實驗。

註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

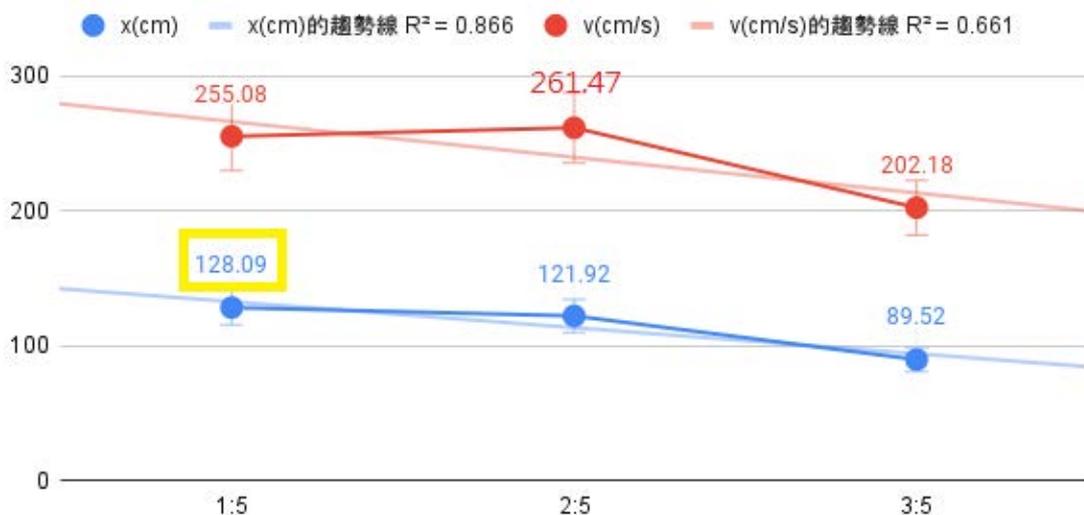
三、造型因子

(實驗一)鼻錐:機身比例

鼻錐:機身比例		1:5	2:5 基準	3:5
第 1 次	x	163.81	104.96	125.35
	t	0.568	0.401	0.601
第 2 次	x	123.36	115.14	97.24
	t	0.533	0.500	0.434
第 3 次	x	104.96	108.58	83.85
	t	0.434	0.400	0.433
第 4 次	x	123.97	139.10	62.52
	t	0.467	0.467	0.367
第 5 次	x	124.37	141.80	78.62
	t	0.501	0.434	0.367
平均	x	128.09	121.92	89.52
	t	0.501	0.440	0.440
	v	255.08	261.47	202.18

表七

鼻錐:機身比例



圖二十

鼻錐:機身比例

從(實驗一)的實驗數據中發現:飛升高度是鼻錐機身比 1:5>2:5>3:5, 推論是因質心位置改變, 而產生火箭傾倒或逆向飛行, 導致飛行時受風面增加且不穩定, 因此飛行高度減少, 但發現平均速度是鼻錐機身比 1:5<2:5, 推論是鼻錐機身比 1:5 的滯空時間造成的。之後會進行不同鼻錐機身比的質心測試, 以研究質心對火箭飛行的影響。

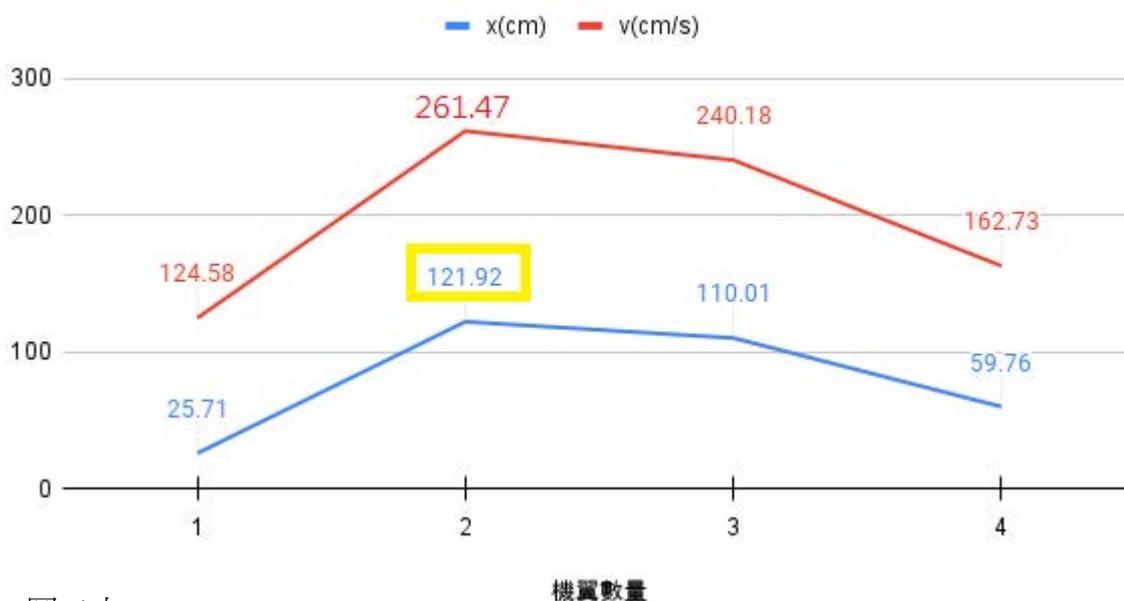
註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗二)機翼數量

機翼數量		機翼數量 1	機翼數量 2 基準	機翼數量 3	機翼數量 4
第 1 次	x	23.55	104.96	154.22	52.45
	t	0.134	0.401	0.500	0.334
第 2 次	x	33.24	115.14	116.76	56.16
	t	0.200	0.500	0.501	0.301
第 3 次	x	29.30	108.58	106.60	88.39
	t	0.266	0.400	0.467	0.467
第 4 次	x	20.64	139.10	85.45	21.53
	t	0.266	0.467	0.400	0.267
第 5 次	x	21.81	141.80	87.01	80.26
	t	0.234	0.434	0.400	0.401
平均	x	25.71	121.92	110.01	59.76
	t	0.220	0.440	0.454	0.354
	v	124.58	261.47	240.18	162.73

表八

機翼數量



圖二十一

從(實驗二)的實驗數據中發現:當機翼數量為 1, 飛升高度明顯較機翼數量 2、3、4 低, 我們也發現飛行軌跡也會朝向有機翼的方向偏離, 機翼數量 1 飛行的高度也較其他機翼數量低。飛行高度、平均速度皆為 2>3>4, 推論與接觸空氣的面積有關。

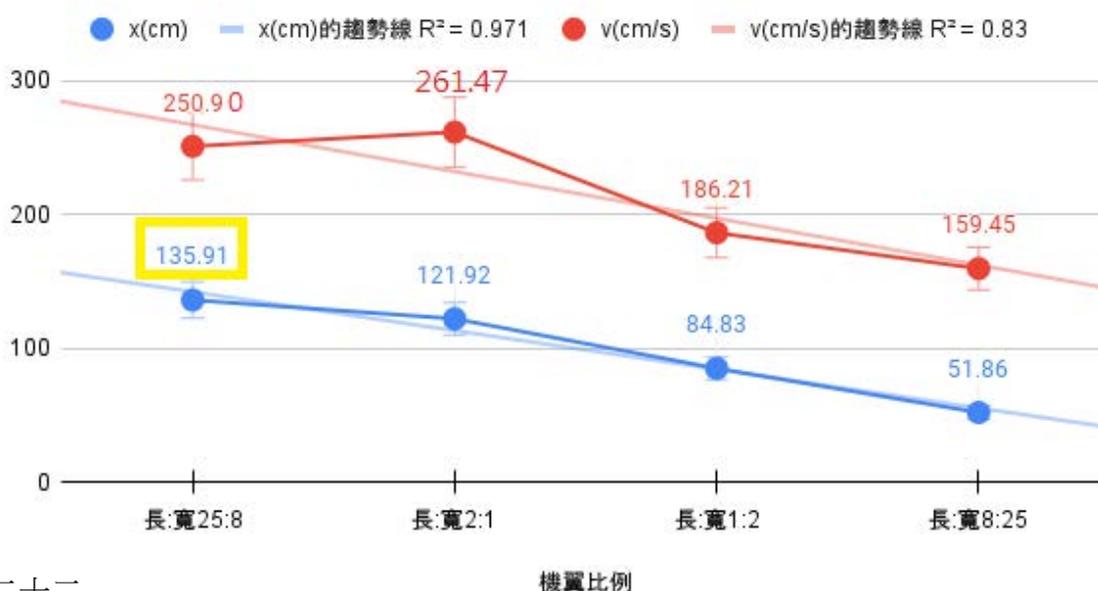
註:x 為最高發射高度(單位:cm) 、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗三)機翼比例

機翼比例		長:寬 25:8	長:寬 2:1 基準	長:寬 1:2	長:寬 8:25
第 1 次	x	129.69	104.96	74.83	33.89
	t	0.500	0.401	0.434	0.267
第 2 次	x	189.47	115.14	68.73	48.61
	t	0.634	0.500	0.401	0.300
第 3 次	x	155.59	108.58	104.69	78.24
	t	0.567	0.400	0.533	0.367
第 4 次	x	118.05	139.10	88.85	45.36
	t	0.500	0.467	0.467	0.334
第 5 次	x	86.76	141.80	87.05	53.21
	t	0.467	0.434	0.434	0.334
平均	x	135.91	121.92	84.83	51.86
	t	0.534	0.440	0.454	0.320
	v	250.90	261.47	186.21	159.45

表九

機翼比例



圖二十二

從(實驗三)的實驗數據中發現:機翼長寬比例的飛升高度為 25:8>2:1>1:2>8:25，推論是與質心或整體形狀有關。但平均速度卻是 2:1>25:8，推論像鼻錐機身比實驗一樣，都是因為機翼比例 25:8 滯空時間而影響平均速度。之後會進行不同機翼比例的質心測試，以研究重心對火箭飛行的影響。

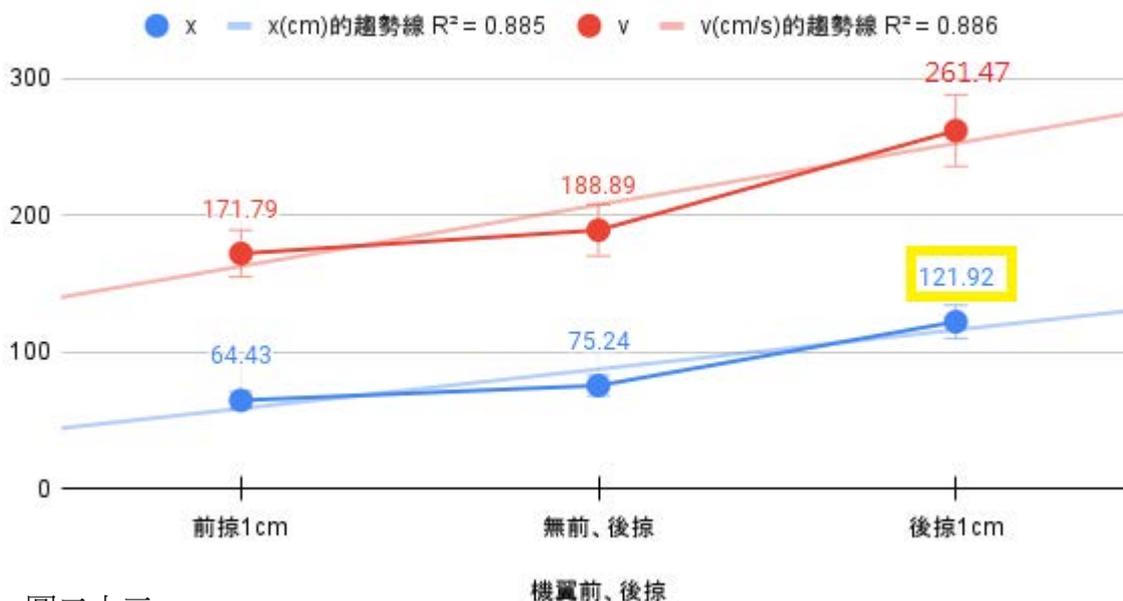
註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗四)機翼前、後掠

機翼位置		前掠 1cm	無前、後掠	後掠 1cm 基準
第 1 次	x	59.11	87.35	104.96
	t	0.367	0.400	0.401
第 2 次	x	32.67	57.63	115.14
	t	0.267	0.366	0.500
第 3 次	x	61.53	128.64	108.58
	t	0.400	0.467	0.400
第 4 次	x	93.06	51.86	139.10
	t	0.400	0.367	0.467
第 5 次	x	75.81	50.72	141.80
	t	0.401	0.334	0.434
平均	x	64.43	75.24	121.92
	t	0.367	0.387	0.440
	v	171.79	188.89	261.47

表十

機翼前、後掠



圖二十三

從(實驗四)的實驗數據中發現:飛升高度、平均速度皆為前掠 1cm<無前、後掠<後掠 1cm，推論像鼻錐:機身比例實驗一樣，都是因為質心或是整體形狀所造成的。之後也會測量不同機翼前、後掠的質心。

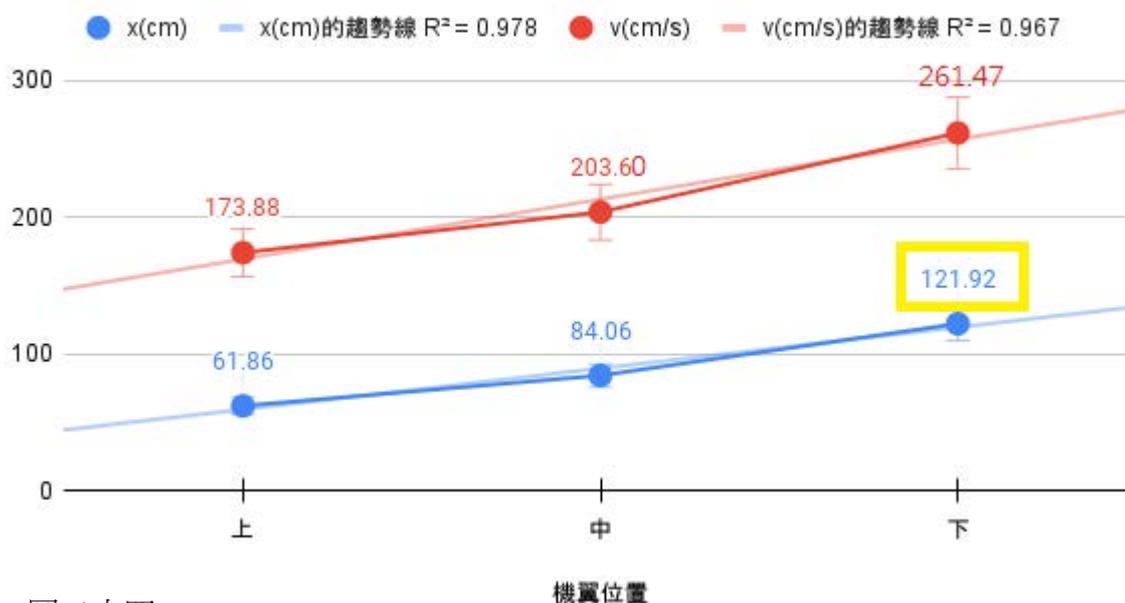
註:x 為最高發射高度(單位:cm)、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

(實驗五)機翼位置

機翼位置		上	中	下 基準
第 1 次	x	53.65	43.86	104.96
	t	0.234	0.267	0.401
第 2 次	x	123.32	118.76	115.14
	t	0.501	0.467	0.500
第 3 次	x	77.58	38.85	108.58
	t	0.401	0.266	0.400
第 4 次	x	10.83	111.46	139.10
	t	0.200	0.467	0.467
第 5 次	x	43.92	107.37	141.80
	t	0.300	0.500	0.434
平均	x	61.86	84.06	121.92
	t	0.327	0.393	0.440
	v	173.88	203.60	261.47

表十一

機翼位置



圖二十四

從(實驗五)的實驗數據中發現:不同機翼位置的平均速度、飛升高度都是下>中>上,推論像鼻錐:機身比例、機翼前、後略實驗一樣,都是因為質心或是整體形狀所造成的。之後也會測量不同機翼位置的質心。

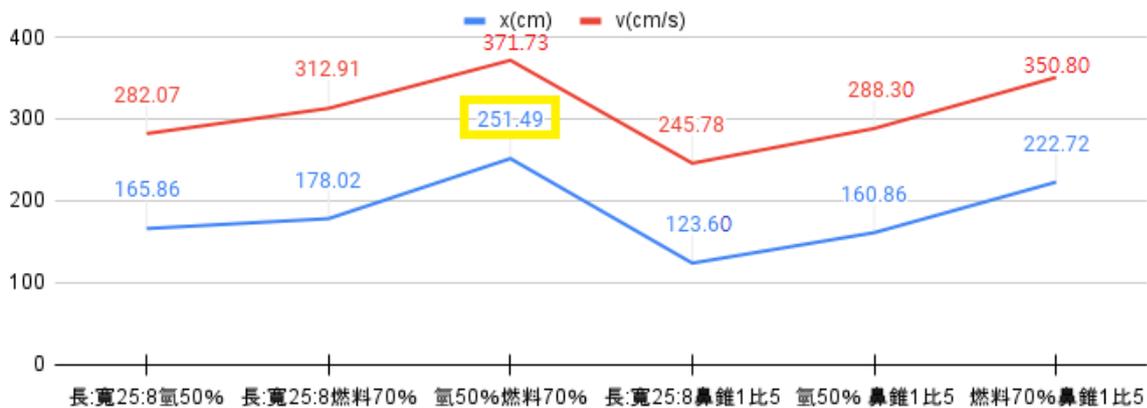
註:x 為最高發射高度(單位:cm) 、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

四、直交實驗

直交實驗		長:寬 25:8 氫 50%	長:寬 25:8 燃料 70%	氫 50% 燃料 70%	長:寬 25:8 鼻錐 1:5	氫 50% 鼻錐 1:5	燃料 70% 鼻錐 1:5
第 1 次	x	216.37	216.95	215.72	97.88	151.91	209.20
	t	0.634	0.600	0.601	0.433	0.567	0.601
第 2 次	x	97.32	140.76	308.12	134.73	138.66	261.08
	t	0.467	0.533	0.667	0.500	0.466	0.700
第 3 次	x	234.48	196.74	224.77	98.69	165.50	203.85
	t	0.701	0.634	0.634	0.434	0.534	0.634
第 4 次	x	150.59	143.66	266.33	163.66	120.98	238.80
	t	0.567	0.534	0.700	0.567	0.500	0.668
第 5 次	x	130.55	192.00	242.50	123.03	227.23	200.68
	t	0.501	0.534	0.801	0.566	0.701	0.567
平均	x	165.86	178.02	251.49	123.60	160.86	222.72
	t	0.574	0.567	0.681	0.500	0.554	0.634
	v	282.07	312.91	371.73	245.78	288.30	350.80

表十二

直交



圖二十五

直交實驗

從本實驗中可知，因子的影響為:

單看燃料 70%的實驗:氫 50%>鼻錐 1:5>長:寬 25:8

單看氫 50%的實驗:燃料 70%>長:寬 25:8>鼻錐 1:5

單看長:寬 25:8 的實驗:燃料 70%>氫 50%>鼻錐 1:5

單看鼻錐 1:5 的實驗:燃料 70%>氫 50%>長:寬 25:8

各最佳因子的正向影響為:燃料 70%>氫 50%>長:寬 25:8≡鼻錐 1:5

註:x 為最高發射高度(單位:cm) 、t 為發射到最高點的時間(單位:s)、v 為平均速度(單位:cm/s)

五、斜向拋射實驗

我們先進行斜向拋射實驗中的理論推導與計算，最後再與斜向拋射實驗進行比較

(1)理論推導與計算

因為本實驗中的發射位置並非從地面(離地 0cm)進行斜向拋射，而是從離地 10 cm 的位置進行發射，所以離地 10 cm 的理論發射距離會比從地面發射的理論距離長，所以我們進行以下推導:

$$v_0 \sin\theta \cdot t - 1/2gt^2 = -10$$

$$1/2gt^2 - v_0 \sin\theta \cdot t - 10 = 0$$

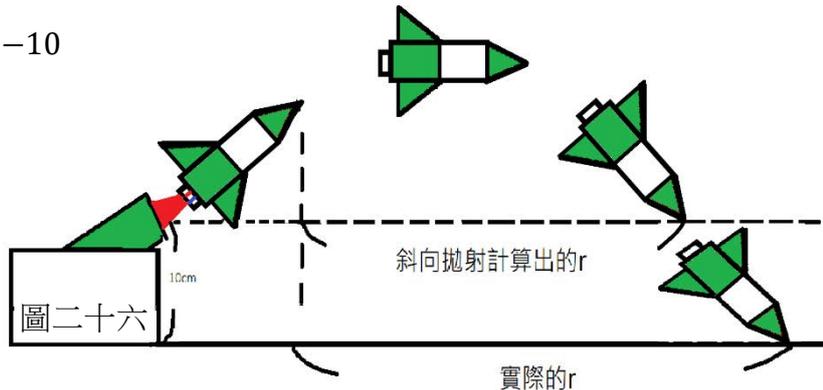
$$a = 1/2gt^2 \quad b = -v_0 \sin\theta \quad c = -10$$

依據二次方公式:

$$t_{\text{真實理論值}} = \frac{v_0 \sin\theta + \sqrt{v_0^2 \sin^2\theta + 20g}}{g}$$

$$r_{\text{真實理論值}} = t_{\text{真實理論值}} \cdot v_0 \cos\theta$$

$$t_{\text{實際理論值}} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{v_0 \sin\theta \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2\theta + 20g}}{g} \text{ (負不合)}$$



(2)斜向拋射實驗

(實驗一)15 度斜向拋射

15 度 次數	v_0	h	r	t	落地後位移
第 1 次	234.50	0.25	48.51	0.234	62.42
第 2 次	409.70	6.78	94.92	0.333	132.70
第 3 次	377.80	3.16	62.50	0.233	87.55
第 4 次	306.20	3.69	52.82	0.233	35.56
第 5 次	454.10	5.71	82.99	0.233	129.29
平均	356.46	3.92	68.35	0.250	89.50
理論值	356.46	4.35	91.46	0.266	

表十三

(實驗二)30 度斜向拋射

30 度 次數	v_0	h	r	t	落地後位移
第 1 次	518.40	49.51	165.58	0.668	38.00
第 2 次	298.80	39.00	135.30	0.634	43.50
第 3 次	465.50	54.31	193.42	0.701	179.80
第 4 次	339.00	35.27	126.85	0.567	47.60
第 5 次	436.80	35.21	157.16	0.568	58.80
平均	411.70	42.66	155.66	0.628	73.54
理論值	411.70	21.66	165.77	0.465	

表十四

(實驗三)45 度斜向拋射

45 度 次數	v_0	h	r	t	落地後位移
第 1 次	411.30	39.49	182.05	0.601	98.00
第 2 次	474.60	40.35	179.54	0.600	85.90
第 3 次	415.30	36.63	172.54	0.601	88.30
第 4 次	359.80	28.07	116.29	0.501	78.00
第 5 次	418.80	33.70	165.37	0.567	100.10
平均	415.96	35.65	163.16	0.574	90.06
理論值	415.96	44.23	186.40	0.634	

表十五

(實驗四)60 度斜向拋射

60 度 次數	v_0	h	r	t	落地後位移
第 1 次	398.00	63.86	174.08	0.733	76.7
第 2 次	311.20	37.33	126.59	0.600	67.7
第 3 次	552.60	71.63	251.92	0.766	130.7
第 4 次	577.90	65.43	178.78	0.667	63.1
第 5 次	452.00	61.51	181.77	0.767	72.7
平均	458.34	59.95	182.63	0.707	82.18
理論值	458.34	80.55	191.62	0.836	

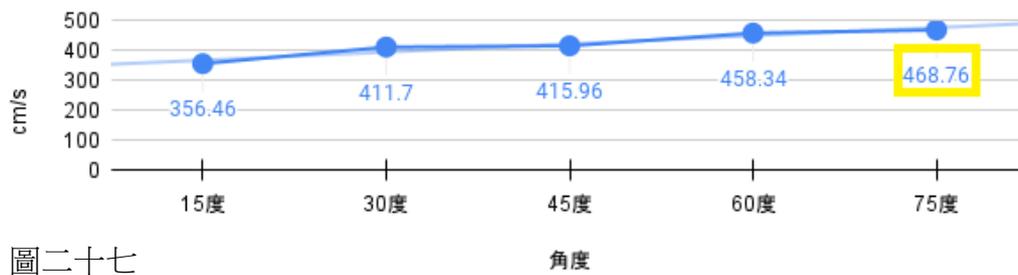
表十六

(實驗五)75 度斜向拋射

75 度 次數	v_0	h	r	t	落地後位移
第 1 次	420.40	168.63	122.55	1.168	8.90
第 2 次	595.40	156.94	86.17	1.068	57.09
第 3 次	495.10	137.94	90.24	1.101	0.18
第 4 次	462.20	163.07	129.20	1.167	37.50
第 5 次	370.70	127.76	107.00	1.034	52.20
平均	468.76	150.87	107.03	1.108	31.17
理論值	468.76	209.62	114.95	0.947	

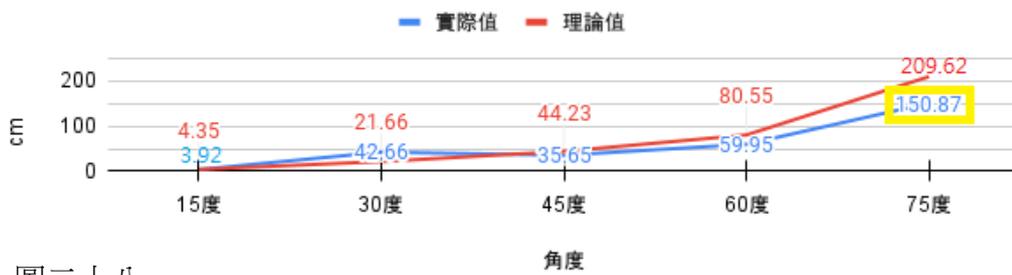
表十七

斜向拋射 v0



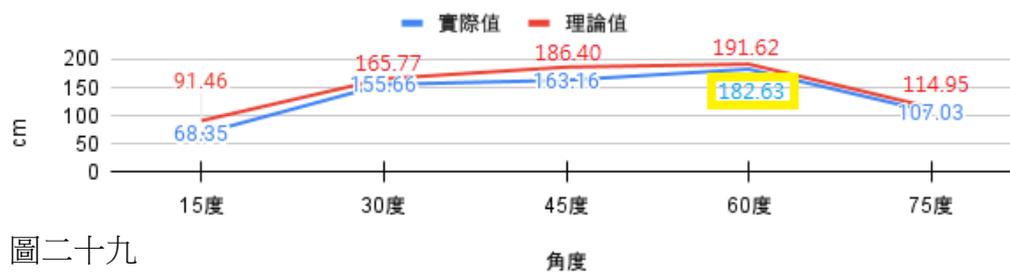
圖二十七

斜向拋射 h



圖二十八

斜向拋射 r



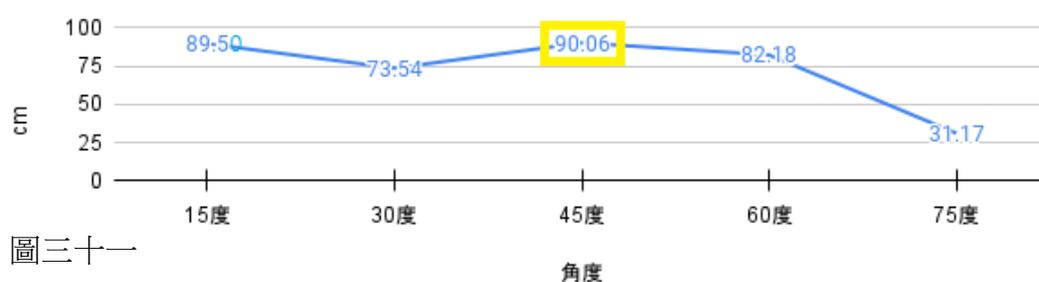
圖二十九

斜向拋射 t



圖三十

斜向拋射 落地後位移



圖三十一

從斜向拋射的實驗中可知:

斜向拋射在各角度的影響:

15 到 75 時，初速呈現遞增。

角度越大，h 和 t 值越高

r 的數值在 30 到 60 度時十分接近，15、75 度特別低

落地後位移:15 度以及 45 度的落地後位移特別高 45 度之後呈現遞減

理論值與實際值的差異:

h、r、t 的理論值與實際值的趨勢大致相同，r 是理論值大於實際值，t 實際值和理論值互相交錯，且 h 會在角度較大時，實際值與理論值相差較大。

註:平均和理論值都會有差異，這是因為理論值不包括其他因素，例如:風阻、重心等

註: v_0 為瞬時速度(單位:cm/s)、h 為飛行的最高高度(單位:cm)、r 為飛行的最遠距離(單位:cm)、t 為時間(單位:s)、落地後位移為火箭落地後向前的位移值(單位:cm)、理論值為依照斜向拋射公式所計算出來的值。

六、重心測試實驗

為了證明鼻錐機身比、機翼比例、機翼位置、機翼前、後掠四項因子的飛升高度改變都是因為重心所引起的，我們進行了重心測試實驗。

(一)重心測試方法:

1、用重心測試器測出其重心位置

2、用麥克筆畫出重心位置

3、將結果用尺測出，並進行數值紀錄

4、將重心位置的結果用攝影機拍攝

(二)重心結果

1、鼻錐機身比實驗用火箭

鼻錐機身比重心	鼻錐機身比 1:5	鼻錐機身比 2:5 基準	鼻錐機身比 3:5
重心情形			
與鼻錐底端距離: 火箭總長	11:15	18:35	37:80

表十八

註:僅鼻錐機身比實驗會進行計算鼻錐底端距離:火箭總長，因其全長並非 7cm，而是有三種不

同的長度，所以使用比例作紀錄。

2、機翼比例實驗用火箭

機翼比例 重心	機翼比例 25:8	機翼比例 2:1 基準	機翼比例 1:2	機翼比例 8:25
重心情形				
與鼻錐 底端距離	3.65cm	3.60cm	3.50cm	3.25cm

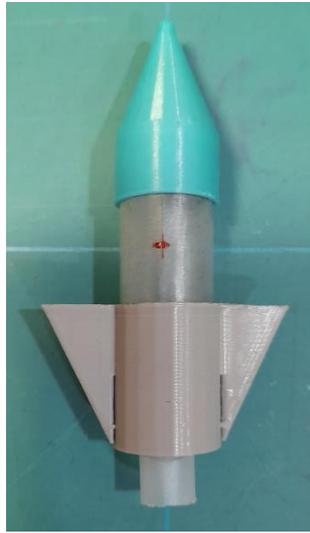
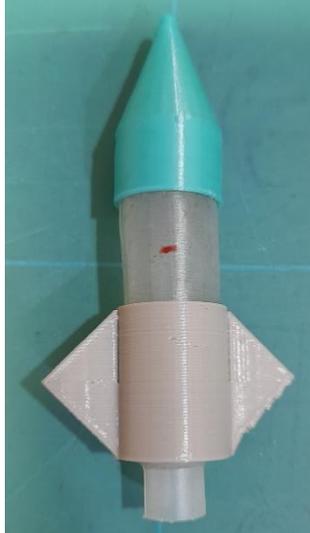
表十九

3、機翼位置實驗用火箭

機翼位置重心	機翼位置上	機翼位置中	機翼位置下(基準)
重心情形			
與鼻錐底端距離	4.00cm	3.80cm	3.60cm

表二十

4、機翼前、後掠實驗用火箭

機翼前、後掠重心	前掠 1cm	無前、後掠	後掠 1cm(基準)
重心情形			
表二十一			
與鼻錐底端距離	3.70cm	3.65cm	3.60cm

從(實驗一)的結果發現:

- 1、重心與鼻錐底端距離:火箭總長為鼻錐機身比 1:5>2:5>3:5,可知鼻錐機身比值較小質心較高。
- 2、機翼比例實驗的火箭重心與鼻錐底端距離則是機翼比例 25:8>2:1>1:2>8:25,可知機翼比例比值越大質心越高。
- 3、機翼位置實驗火箭的質心,則是機翼位置上>中>下,機翼位置越低重心越低。
- 4、機翼前、後掠實驗火箭的質心,是機翼前略 1cm>無前、後掠>後掠 1cm

七、係數計算

為了得知力在火箭上的作用,我們經由公式得出各項係數並推知各項力在火箭上的作用

(一)進行火箭自由落體實驗,以計

	基準	算法 $m \cdot (g-a)$	
次數	a	$F_{阻}$	自由落體對空速度
第 1 次	9.626	0.517	2.063
第 2 次	9.591	0.635	1.585
第 3 次	9.503	0.929	2.005
第 4 次	9.616	0.551	2.200
第 5 次	9.592	0.631	1.938
第 6 次	9.704	0.256	2.309
第 7 次	9.702	0.263	2.335
第 8 次	9.729	0.172	2.135
第 9 次	9.567	0.715	1.873
第 10 次	9.487	0.983	2.751
平均	9.612	0.565	2.119

經由 $F_d = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$, 且已知 $F_{阻}$ 、 ρ 、 v 、 A

可知:

$F_{阻}$	0.56535
空氣密度	1225.00000
參考面積	0.06166
對空速度	2.11940
C_d	0.00333

算在自由落體中,火箭的所受到的阻力及並推算其係數 C_d

註:m 為火箭質量(3.35g)

(二)經由實驗所得數據，算出在基準實驗中的所受阻力、重力

藉由此公式 $F_{\text{飛升力}} = ma_{\text{淨}} + mg + \frac{1}{2} \rho AC_d v^2$

經由公式我們得到:

公式	$F_d = \frac{1}{2} \rho AC_d v^2$	公式	$F_{\text{重}} = mg$	公式	$F_{\text{飛升力}} = F_{\text{淨升力}} + F_{\text{重力}} + F_{\text{阻}}$
空氣密度	1225.00000	g	9.78046	$F_{\text{阻}}$	3.2296
參考面積	0.06166	m	3.35000	$F_{\text{重}}$	32.7645
C_d	0.00333	$F_{\text{重}}$	32.76454	a 基準	24.8760
對空速度	5.06560			$F_{\text{實際}} (a_{\text{基準}} \cdot m)$	83.3346
$F_{\text{阻}}$	3.22961			$F_{\text{飛升力}}$	119.3288

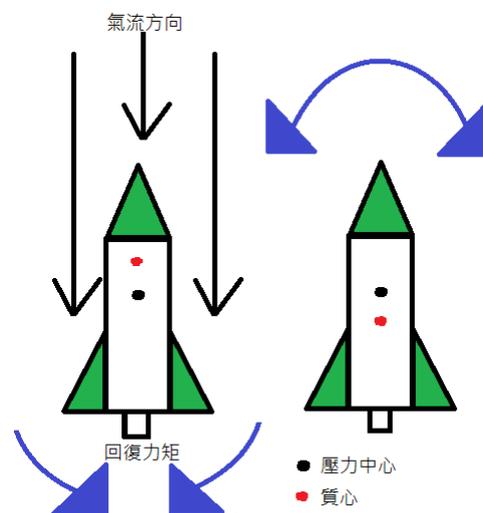
表二十四

八、討論

(一)基本因子

1、在質量實驗中發現:質量越大，飛升高度、平均速度越低，推論是因為，在火箭推進力固定的情況下，質量越大，火箭所能產生的加速度越低，加速度越低飛行高度、平均速度也會越低。

2、在火箭質心位置的實驗中發現:質心越高飛行高度也會越高，但會在一定的位置就停止上升了，推論是因為此時質心高過壓力中心的位置，因產生回復力矩，使火箭比較不產生影響火箭鼻錐的轉動，而偏離飛行方向，可以再更進一步做更多種質心位置實驗證明所做的推論。



圖三十二

(二)燃料因子

1、在氫氧比例實驗中，氫 84% 產生了飛升，但氫氣性質是只有在氫 4% 到 75% 之間可燃燒，推論是因為在火箭內氧氣會產生沉澱，所以使氧濃度上升，引起火箭內底部氧濃度上升，所以就算是氫 84% 也可以引燃。氫氣 50% 飛升較好則推論是因為部分氧氣作為引起燃燒用氧化劑，所以氧氣含量需要比較高，才能讓氫氣完全反應，另一種可能是因為氫氣浮在火箭上方，而氧氣則會沉澱，使上方的氫氣無法全部反應，所以氫氣 50% 飛升高度較基準氫氣 67% 高。

2、燃料與水的多寡都會影響火箭的飛升，燃料提供一定的動力，並將能量傳遞給水，利用水對地面的作用力來給予足夠的反作用力，使火箭飛升，所以燃料容積對火箭飛升很重要。燃料容積 70% 的氫氧與水的分量皆剛好，因此可以飛得比其他因子飛升的高。

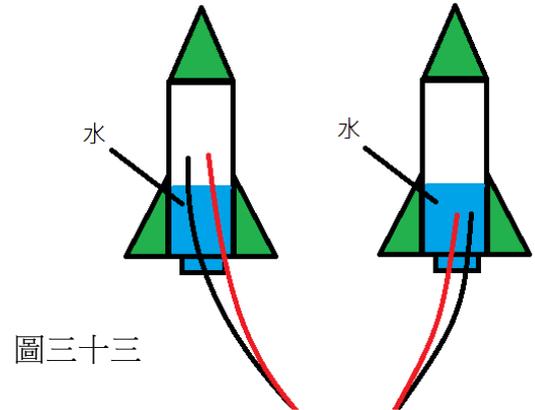
3、從點燃位置實驗中發現，點燃位置距火箭底端 2cm 和 4cm 較點燃位置距火箭底端 3cm 低，2cm 推論是因為點燃位置浸泡在水(推進介質)中，使火箭無法藉由壓電素子所產生的熱點燃火箭，4cm 則推論是因為點燃位置過高，使部分燃料被推進出火箭之外，而無法完全利用全

部燃料進行發射，所以點燃位置 2cm、4cm 都無法，飛升高度較 3cm 高。(圖三十三)

4、燃料因子的實驗都發現:基準並非本實驗中的飛行高度及平均速度的最佳值，推論這些最佳因子是因為比例剛好在最佳點上，其他的數值則是因為其中一項比例過多，導致另一項所占較小，使飛行高度降低。

(三)造型因子

1、鼻錐機身比的飛升高度是 1:5>2:5>3:5，與鼻錐底端距離:火箭總長的比例分別為:11:15、18:35、37:80，推論質心較偏上，因回復力矩的作用，飛行時比較不容易產生逆向飛行或在飛行過程中旋轉的情形，旋轉會使飛行時參考面積增加且不穩定，因此飛行高度減少，雖然以阻力來說，鼻錐機身比值越小，阻力越大，推論此時是因回復力矩的正向影響程度大於阻力的影響程度。



圖三十三

2、當機翼數量為 1，飛升高度明顯較機翼數量 2、3、4 低，也發現飛行軌跡也會朝向有機翼的方向偏離，推論是受到因為質心偏離中心的影響使火箭軌跡偏離。飛行高度、平均速度皆為 2>3>4，推論是因為機翼數量較多，阻力係數也比較大，阻力因此上升。

3、機翼比例實驗中，長寬 25:8 為最佳因子，推論是因為其阻力係數比另外兩者小，而且質心位置偏上，使飛行路徑較穩定，因此飛升的高度較高，此時是阻力、回復力矩同時有正向的作用。

4、機翼前後掠實驗中發現，飛升高度、平均速度皆為後掠>無前、後掠>前掠，推論是因為此時阻力的影響力大於回復力矩的影響力。

5、機翼位置在下為最佳因子，推測是整體形狀所致，因機翼位置偏上，阻力係數較高，導致其飛升較低，雖然以質心情況來說，因其質心偏上，此質心情況較好，但此時情況跟鼻錐機身比相反，此時是回復力矩正向影響程度小於阻力的影響程度。

6、鼻錐機身比和機翼比例中，有飛升高度及飛升時間較長，平均速度卻較低的對照組，目前推論是因為滯空時間而影響平均速度，至於滯空時間加長的原因可能與其他因素的增加有關。但也有可能是因為誤差而引起的，因為本實驗所使用的分析軟體 Tracker 每 1/30 秒才確認一次火箭位置。

(四)因子比較及影響力

1、從這三個實驗中，我們推測造型因子對飛升高度的影響力比重心的影響力還要大，因為機翼位置的飛升高度的曲線斜率大於鼻錐機身比的飛升高度的曲線斜率。

2、除了各因子的正向影響外，我們發現到各種力量也對火箭有很大的影響，其大小為:燃料氫氧所產生劇烈燃燒的力>水的作用力與反作用力>阻力係數=重心。

(五)直交實驗

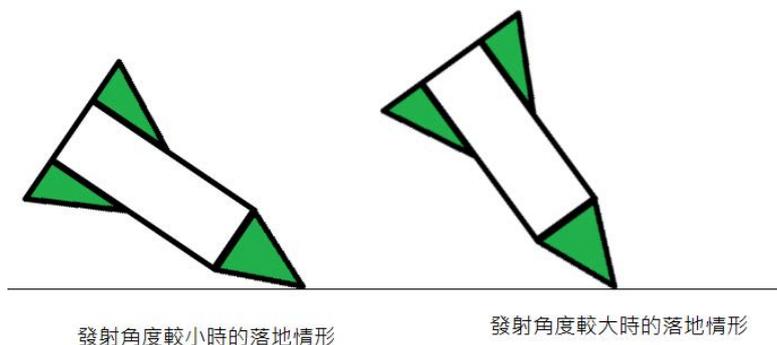
1、直交實驗的最佳雙向因子為氫氣 50%加燃料容積 70%，最差的因子則是鼻錐機身比 1:5 加機翼長寬比 25:8，推論是與因子的正向影響大小有關，兩個影響值大的因子配在一起，其高

度就大，反之，兩個影響值小的因子配在一起，高度則小。因此可從各最佳因子的正向影響(燃料 70%>氫 50%>長:寬 25:8=鼻錐 1:5)推測出其高度的排行(燃料 70%加氫 50%>燃料 70%加鼻錐 1:5>燃料 70%加長:寬 25:8>長:寬 25:8 加氫 50%>氫 50%加鼻錐 1:5>鼻錐 1:5 加長:寬 25:8)。

2、發現燃料因子的影響大於造型因子的影響，推論是因為燃料是主要推進的因素，如果推進能量降低，推進效率將產生大幅度的降低。

(六)斜向拋射

從斜向拋射發現 15 度到 75 度時初速逐漸上升，推論是因為本實驗用的受到重力影響，導致其火箭箭首向下俯仰，因而導致點火位置偏斜，初速也會因此下降，進而影響火箭飛行，且發現角度越小，影響越明顯，因此角度 60 度斜向拋射發射出去後，角度會趨近於 45 度、受到重力影響點燃位置也最小。也發現角度在 30 到 60 度 r 值十分接近，但 60 度時最高，推論是受到的初速影響，h 和 t 值隨角度越來越高，推論是因角度較大，其垂直速度分量也較大，所以垂直距離分量(h)、至最高點所需時間(t)也比較大。落地後位移則推論與火箭落下時與地面的角度有關。



圖三十四

(七)係數計算

從係數計算我們發現得出阻力係數，並得知重力對火箭的影響會大於阻力，但我們目前沒有計算到轉動對火箭所產生的影響，所以可能需要某種方式以計算壓力中心，以更進一步計算轉動的影響。

(八)其他

1、本實驗在電解時會在水中加入氫氧化鈉，以增加電解效率，但我們發現氫氧化鈉的濃度對電解的效率影響非常大。在每次的集氣中，本實驗使用的是排水集氣法，故燒杯中的氫氧化鈉水溶液會因為火箭本體排出的水使濃度愈來愈低，電解效率就會變慢，因此，在每次的實驗之前，都會再加入氫氧化鈉，以免降低電解效率。而本實驗的電極:碳棒，因為長期浸泡在氫氧化鈉水溶液中，所以溶液中常常會有碳粉碎屑在水中，可能會影響電解，所以在做實驗前會過濾，也要定期更換碳棒，避免影響電解效率。

2、因為本實驗發射是用手將火箭架設於發射台上，所以發射方向會有傾斜的可能性造成當次實驗的產生誤差，所以我們在發射架上增加設置水平儀，以減輕火箭發射方向所產生的誤差，確保發射方向為垂直發射。我們也發現若火箭在無水的情況下發射威力會大幅減弱，因為水被推出的反作用力比空氣大，而且空氣將因此進入，所以我們利用橡皮塞阻止水漏完。

3、本實驗中的滴管頭火箭，可能因質心偏低使飛升時壓力中心較質心高，而導致火箭逆向飛行或空中旋轉，這也影響了飛行高度的數據。

肆、結論與應用

一、結論

(一)基本因子中，質量越輕，飛行高度越高，質心位置在距底端 3.6cm 的時候飛行高度、飛行平均速度最佳。

(二)燃料因子的實驗中，最佳因子為氫氣 50%與燃料容積 70%，飛行高度會隨著其容積與比例上升、下降遞減，點燃位置則為距底端 3cm 飛升最高，而氫氣 100%無飛升。

(三)造型因子的實驗中，最佳的鼻錐機身比為 1:5，最佳的機翼比例為 25:8，而機翼數量、機翼長度、機翼前、後略、機翼位置皆以基準為最佳因子。

(四)直交實驗中，各最佳因子的正向影響為:燃料 70%>氫 50%>長:寬 25:8 \div 鼻錐 1:5，而最佳直交因子為氫氣 50%加燃料容積 70%。

(五)斜向拋射的實驗中，15 度到 75 度時，初速呈現遞增。角度越大，h 和 t 值越高。r 的數值在 30 到 60 度比較高，其中 60 度最高。落地後位移:15 度以及 45 度的落地後位移特別高。

(六)重心測試實驗中，我們得知質心的高低，並因此推論質心可能與火箭的發射高度有關。

(七)係數計算實驗中發現重力的影響力大於空氣阻力，並求得火箭的原飛升力、阻力係數。

二、本研究之創見性及其未來應用與展望

(一)創建性

- 1、詳細研究燃料、造型對火箭的影響，討論飛行狀況良好的因子為何能飛行高度能夠增加。
- 2、利用簡單的方法計算阻力係數、找出質心位置。
- 3、利用 Tracker 軟體測量火箭飛升高度、計算飛升時間。
- 4、利用 Tinkercad 3D 列印軟體、3D 列印機製作火箭機翼、鼻錐，利用簡單的滴管頭做為火箭燃料室。
- 5、將各項因子的最佳因子進行直交實驗，以 2 項因子嘗試合成出最佳因子。
- 6、做出許多種不同的火箭，並繪製趨勢線，以簡單預測更多火箭的飛行狀況。

(二)未來應用與展望

- 1、可以氫氧火箭取代目前民間的化學燃料模型火箭，讓民間的火箭發射更環保。
- 2、可以將氫氧火箭運用在短程的探空火箭，以簡單的方式深入研究氣象。
- 3、增加各種實驗火箭的自由落體以計算出其他非基準的阻力係數、並計算轉動對火箭的影響以找出更多可能影響火箭飛升的原因。
- 4、希望用其他方式點燃燃料，以研究最佳引爆燃料的方式。
- 5、希望能進行三項或更多項因子的直交實驗，以找到的最佳因子的火箭
- 6、希望能研究火箭尺寸的種類及大小，以了解尺寸對火箭飛升情形的影響。
- 7、使用更精準的儀器測量並填充燃料，以確保每次的比例都相同，並使實驗數據及結果的誤差值更少。
- 8、希望未來能使用其他種類的燃料，並與氫氧火箭進行比較，例如:烷類燃料、固態燃料等。

伍、參考文獻及其他

一、氫氣火箭

<https://www.youtube.com/watch?v=V6VPJA2jg7s>

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=74036>

[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/106\(396-405\)/399-PDF/24-27_106014-%E6%B0%AB%E6%B0%A7%E7%87%83%E6%96%99%E6%B0%B4%E7%81%AB%E7%AE%AD\(%E6%9C%88%E5%88%8A\).pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/106(396-405)/399-PDF/24-27_106014-%E6%B0%AB%E6%B0%A7%E7%87%83%E6%96%99%E6%B0%B4%E7%81%AB%E7%AE%AD(%E6%9C%88%E5%88%8A).pdf)

參考至:「氫」雲直上－影響氫氣火箭飛行的各項因子探討(以前年度之研究)

二、其他火箭

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-030105.pdf?384>

<http://cyjesf.eduweb.tw/cyjesf37/Upfile/final/%E3%80%8C%E7%AE%AD%E3%80%8D%E6%AD%A5%E5%A6%82%E9%A3%9B%E7%9A%84%E9%8A%80%E8%89%B2%E5%AD%90%E5%BD%88.pdf>

http://www.jkes.tp.edu.tw/blog-science/attachments/month_1208/x201282192123.pdf

參考至:實驗火箭的設計及製作 景得鑫等著 科學月刊雜誌社出版

三、流體力學

https://hwplan.weebly.com/uploads/6/2/6/0/62603241/ch2_%E6%B5%81%E9%AB%94%E9%9D%9C%E5%8A%9B%E5%AD%B8.pdf

參考至:飛機力學超入門:讓飛機飛上天的航空基礎工程學 中村寬治等著 晨星出版

四、壓電

參考至:壓電震動能量擷取系統介紹 連益慶、舒貽忠著 工業材料雜誌 263 期

五、電解

<http://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=62&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=3505>

[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/93\(266-275\)/270/04.pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/93(266-275)/270/04.pdf)

參考至:國中自然與生活科技第五冊 林英智等著 康軒出版

六、斜向拋射

<https://slidesplayer.com/slide/11702696/>

http://www.phyworld.idv.tw/BA_PHY_2B/S2_2B_1/2-3_projection_01.htm

參考至:基礎物理(二)B 上冊 姚珩等著 翰林出版

七、原理

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9D%99%E5%8A%9B%E5%AD%A6>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E7%AC%AC%E4%B8%89%E8%BF%90%E5%8A%A8%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BC%95%E5%8A%9B>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A3%93%E9%9B%BB%E6%95%88%E6%87%89>

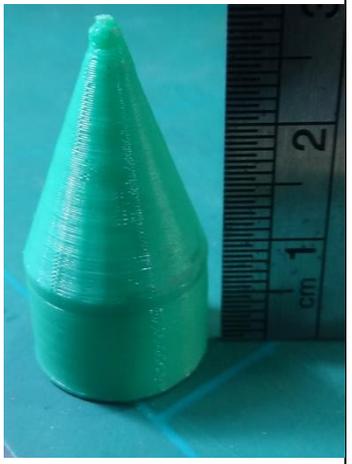
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E8%A7%A3%E6%B1%A0>

http://163.28.10.78/content/senior/chemistry/tp_sc/content1/number1/4/4-5.htm

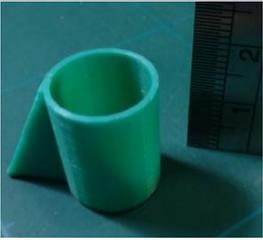
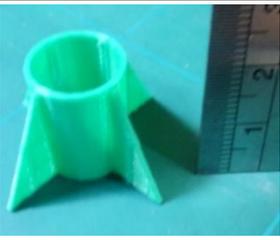
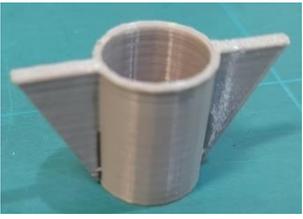
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%81%E4%BD%93%E5%8A%9B%E5%AD%A6>

八、其他

(一)鼻錐附圖

鼻錐機身比例	鼻錐機身比例 1:5	鼻錐機身比例 2:5(基準)	鼻錐機身比例 3:5
圖片			
表二十五			

(二)機翼附圖

機翼數量	機翼數量 1	機翼數量 2(基準)	機翼數量 3	機翼數量 4
圖片				
機翼比例	長:寬 2.5:0.8	長:寬 2:1(基準)	長:寬 1:2	長:寬 0.8:2.5
機翼前、後掠	前略 1cm	無前、後掠	後略 1cm	
表二十六				

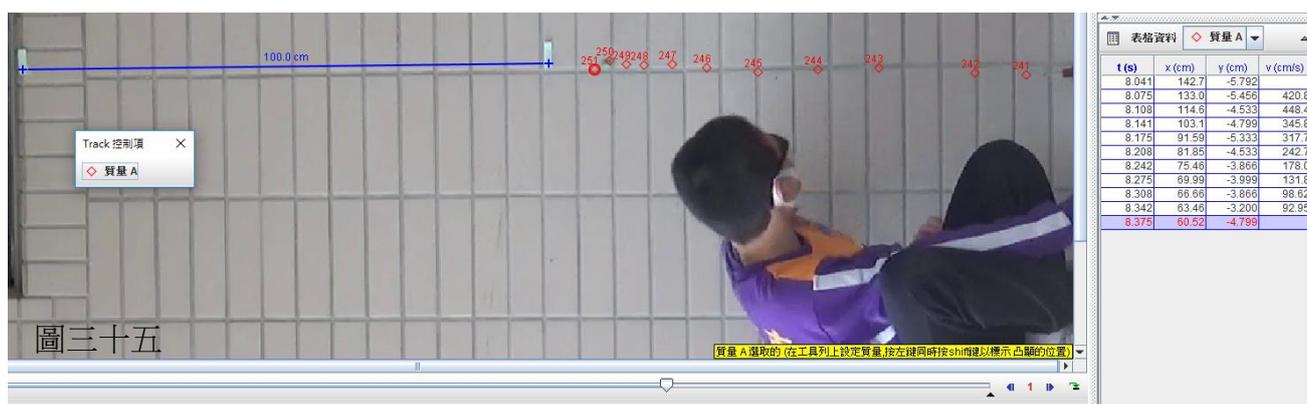
附錄、軟體使用方法

一、Tracker 使用方法

(一)新增校正桿，校正、定義 1 公尺的距離

(二)從發射點逐漸標出每一個質點

(三)用表格資料的內容計算出垂直距離分量(x)，再計算出飛升到最高點所需時間(t)，自由落體則計算出加速度(a)、對空速度(v)，斜向拋射算出 v_0 、 r 、 h 、 t 、落地後位移



圖三十五

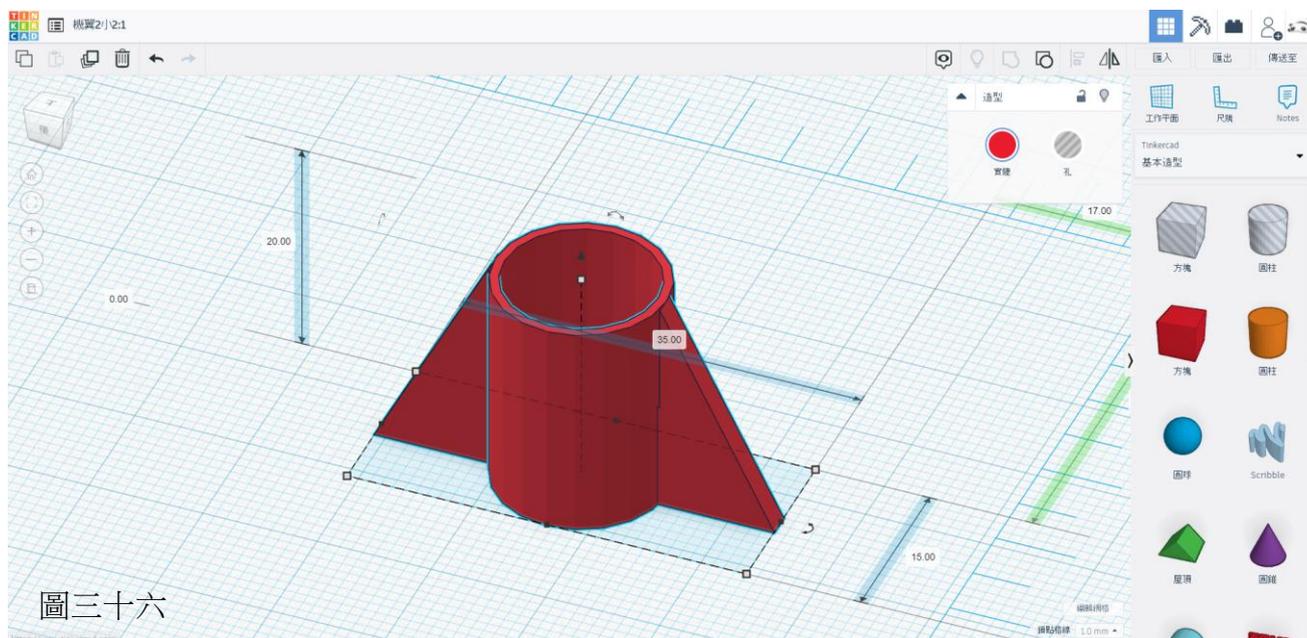
二、Tinkercad 使用方法

(一)將元件拖曳進工作台

(二)設定其尺寸

(三)將元件組裝、合成，製造出所需零件

(四)下載成 stl.檔，再進行 3D 列印



圖三十六

【評語】 160024

本作品探討影響氫氣火箭飛行的各項因子，研究主題清楚且聚焦，可用科學方法檢驗。控因及變因清楚、適當。有系統地收集數據，變因豐富完整，部分與理論相符。成果不錯，但以電解氫氣發射動力，無新穎構思。以變更機翼位置、機翼比列、機翼昂角、拋射角度等，探討飛行路徑，未見新穎設計，或新穎現象。數據分析在不確定度評估上，值得商榷。製圖方式及排版，尚有改進空間。