

屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科別：生活與應用科學(一)

組別：國小組

作品名稱：轉「速」為力、「量」力而為 ~

Tracker 在手擲機投擲訓練的應用

關鍵詞：初速度、重心、反角

編號：A6011

摘要

本研究探討運用 Tracker 影像分析軟體，量化投擲者的投擲數據，透過系統性的觀察與實驗設計，探討不同飛機參數及投擲條件對手擲機直線飛行距離的影響，建立較佳的投擲模式，提供參加手擲機競賽選手參考，以提升投擲飛行表現。

我們以不同彈射力、投擲角度、主翼位置與重心位置對手擲機飛行距離的影響。實驗分別以 1.15 公斤與 1.55 公斤兩種力道，搭配 0 度、15 度與 30 度三種角度進行測試。結果發現，增加力道可以明顯提升飛行距離，要達到飛行 25 公尺距離時，投擲者的投擲力道至少要達 1.35 公斤。投擲角度在多數情況下，平投的表現較優。重心位置以中間位置（3 或 4）較穩定，過前或過後都會影響飛行表現。此外，主翼位置會隨力道與角度改變而影響最佳飛行距離。顯示，飛行距離並非單一因素決定，而是多種條件互相影響的結果。

壹、前言

一、研究動機

五年級時，老師在綜合課帶領我們到操場體驗手擲機投擲活動。當老師投出的手擲機平穩地直線前進、優雅地滯空滑翔時，我們都被那穩定而流暢的飛行深深吸引。然而，當同學們輪流投擲同一架手擲機時，卻出現了明顯差異：有的飛得又遠又直，有的卻很快下墜，甚至偏離原本方向。

我們都飛同一架手擲機，為什麼飛行距離與穩定度會產生如此大的落差？這樣的現象引發我們思考：是否投擲時的力量大小、出手角度、手臂擺動方式或身體姿勢，會影響飛機的初速度與飛行方向，進而影響直線飛行距離與穩定性？

我們也進一步好奇，是否能透過分析與實驗，找出影響飛行距離的關鍵投擲因素，使同一架手擲機在不同操作者手中仍能維持比較穩定的飛行表現。若能建立較佳的投擲方式，不僅能提升飛行距離，也能讓飛行更加穩定。

★與課程相關單元：（南一版）四下-生活中有趣的力

（南一版）五上-力與運動

（南一版）六下-巧妙的施力工具

二、研究目的

本研究目的在探討手擲機的飛行原理、學習製作手擲機並設計不同參數之手擲機比較其飛行姿態，並運用 Tracker 影像分析軟體，量化投擲者的投擲數據，透過系統性的觀察與實驗設計，探討不同飛機參數及投擲條件對手擲機直線飛行距離的影響，建立較佳的投擲模式，提供參加手擲機競賽選手參考，以提升投擲飛行表現

- (一)、了解飛機的飛行基礎原理、學習製作簡易風洞及手擲機彈射器。
- (二)、以各縣市手擲機競賽材料探究學習適合國小生製作手擲機的方法。
- (三)、利用自製簡易風洞探討不同翼型設計(俯視、側邊及反角)之升力比較。
- (四)、利用 Tracker 來測量投擲飛機的初速度，用以推估投擲者的投擲力道。
- (五)、利用自製發射架，探究不同飛機參數及投擲條件對直線飛行影響。

三、文獻回顧與科學原理

由文獻資料中，我們彙整了航空器的基礎飛行原理

(一)、航空器(遙控無人機)的基本四力

- 1. 推力：為了使航空器前進，由動力系統所產生的力。
- 2. 阻力：航空器於前進時，空氣與之相反的力。
- 3. 升力：機翼或旋翼上產生向上的力。
- 4. 重力：航空器的重量，地心引力。(遙控無人機學科測驗指南(參考資料 1))

(二)、流體的連續性：

流體的連續性說明，當流體（包括液體和氣體）連續運動流經一個切面面積變化的管道時，連續性假設認為流體足夠緻密，可以成為一連續體，而非離散的分

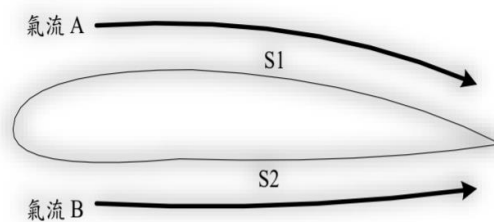
子，因此在同一時間內，流進任一切面的流體質量和從另一切面流出的流體質量是相等的。流體的連續性定理闡述了流體在流動時，（1）流速和管道切面之間的關係：流速和管道切面成反比；（2）流速和壓力之間的關係：流速和壓力成反比。

(遙控無人機學科測驗指南(參考資料三))

(三)、柏努利定律：

柏努利定律指出，無黏性流體的流動速度增加時，流體的壓力能或位能總和將減少；簡單的說，流體在一個管道中流動時，流速和壓力間的關係：流速大的地方

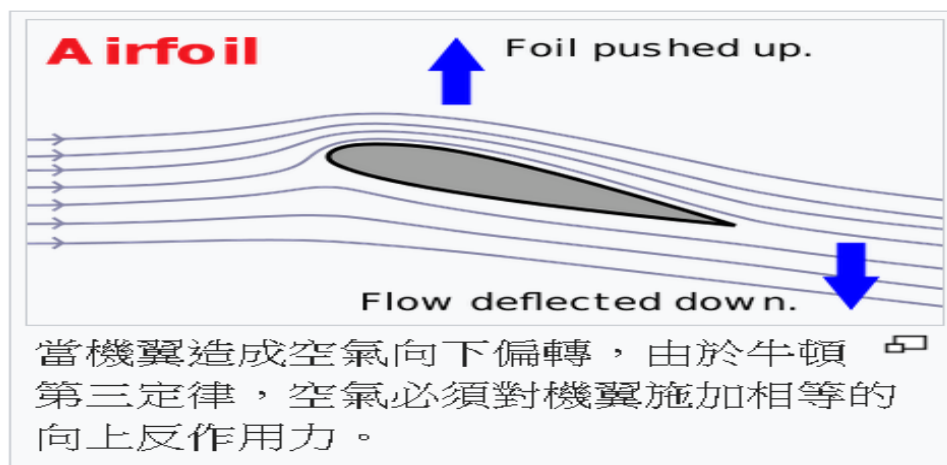
壓力小，流速小的地方壓力大。換句話說，如果流體的速度越快，流體中的壓力就會越小。這就說明了氣流在通過飛機機翼上方表面時的情況。航空器的機翼（或旋翼）是升力產生的地方，當氣流流過機翼時，氣流被機翼前緣分流為上下兩股，分別是上股氣流A和下股氣流B，氣流A沿著機翼上表面S1的路徑流過機翼，氣流B沿著機翼下表面S2的路徑流過機翼，依據柏努利定律，因為S1的路徑距離大於S2，所以沿著S1的氣流A速度較快、壓力較低，而沿著S2的氣流B速度較慢、壓力較高，而此上下兩股氣流的壓力差便產生向上的升力。



遙控無人機學科測驗指南(參考資料三)

(四)、牛頓第三定律

氣流經過機翼時，機翼會對空氣施加向下的力，根據牛頓第三定律，空氣必須對機翼施加大小相等、方向相反的反作用力，也就是方向朝上的升力。



維基百科-升力(參考資料四)

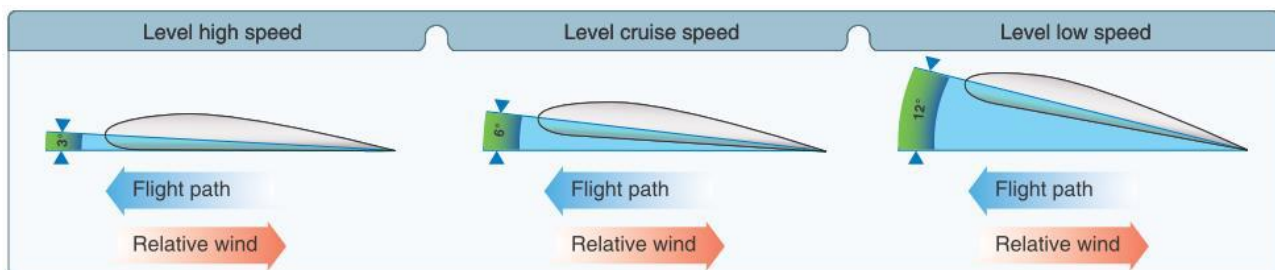
(五)、攻角對升力和阻力的影響

機翼翼弦與相對氣流方向所夾的角度叫攻角（Angle of Attack, AOA）。在飛行速度（空速）等其它條件相同的情況下，得到最大升力的攻角，叫做臨界攻角。在小於臨界攻角的情形下增大攻角，升力增大；但是如果超過臨界攻角後，再增大攻

角，因機翼的上表面氣流流速過快而產生剝離造成紊流，使得升力反而減小，阻力急劇增大。(如圖 1-1)

圖 1-1

不同速度時攻角改變的程度



遙控無人機學科測驗指南(參考資料三)

(六)、歷屆作品整理

表 1

歷屆作品研究焦點彙整表

題目	研究焦點
遨翔天空--破解木製飛機的密碼	本實驗研究目的是在尋找如何製作簡單且不易摔壞的木製手擲機。探討手擲機如何發射可以直線飛行較遠和滯空飛行較久，利用「發射台」，用以測試飛機的飛行路徑。研究何種機型是最適合的手擲機，探討最適合的手擲機結構比例。可以應用到教學、運動、科學比賽。
探討如何可以讓手擲機的性能最佳化	利用簡易風洞，探討不同翼型的升力

在歷屆科展作品，有關使用巴爾莎木製作手擲機探究作品非常少，在參考取得的 2 作品的操作變因後，我們發現，在手擲機競賽評分表中，直線飛行要達到滿分標準是 25 公尺以上；在相關作品的數據並未呈現達到目標 25 公尺的資料，且使用「發射台」所發射的力量，是我的力量嗎？

我們比較想了解的是：我的投擲力量到底是多少，用我的力量要如何調整飛機參數及投擲角度才能獲得我的個人最佳成績；要達到滿分 25 公尺我還要進行那些練習！

貳、 研究設備及器材

		
巴爾莎木、白楊木材料	刀鋸切割工具	切割工具及防割手套
		
主翼反角控制工具	主翼研磨控制工具	簡易風洞設備
		
自製彈射器	電子磅秤	Trackert 軟體

		
50 米捲尺	拉力計	風速計
		
飛行測試飛機	風洞試驗主翼 1	風洞試驗主翼 2

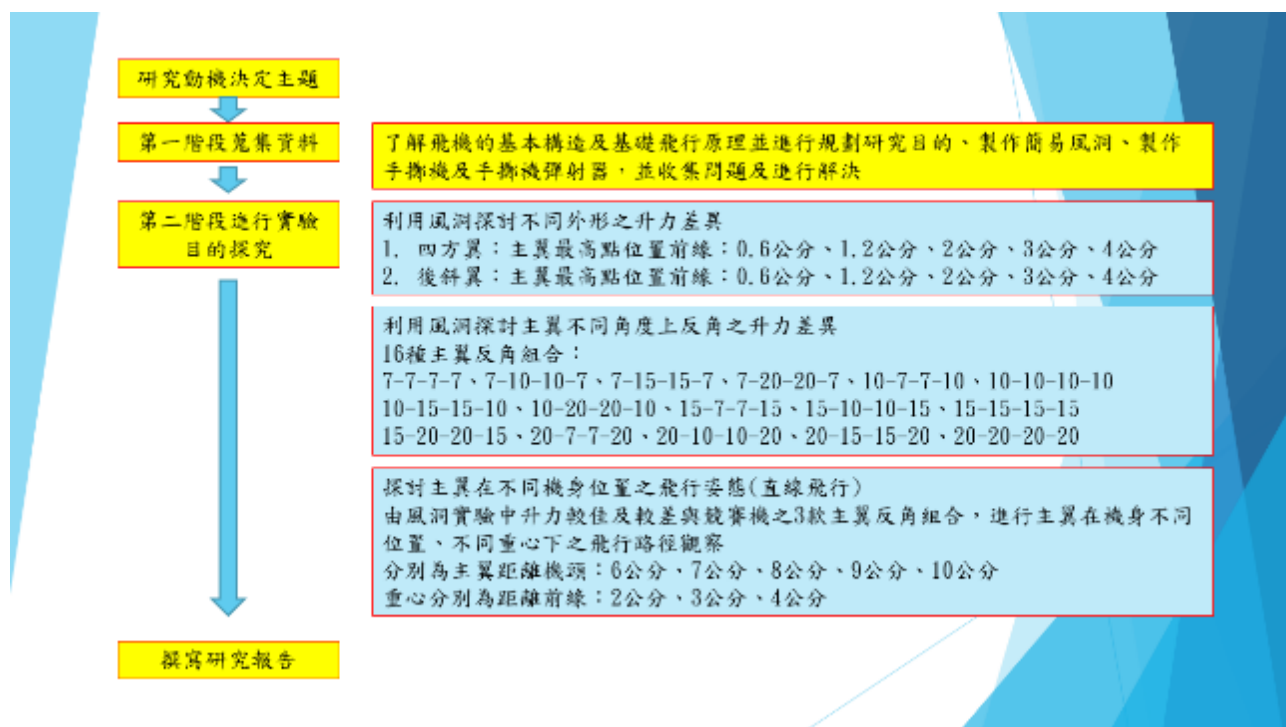
參、 研究過程與結果

本研究的目的，首先在學習如何製作巴爾莎木手擲機來進行相關探究，運用簡易風洞探討不同主翼設計的升力、為了以客觀數據分析飛行過程，我們運用影像分析軟體 Tracker 記錄飛行軌跡，擷取位移與速度資料，探討投擲力量、投擲角度與飛機參數之間的交互關係，建立飛行距離預測模型。期望研究成果能應用於手擲機競賽之科學化訓練，協助選手調整投擲策略與飛機配置，使飛行表現更具穩定性。

研究過程分為二階段：第一階段我們先蒐集資料，初步了解飛機的構造及飛行原理並進行規劃研究目的、製作簡易風洞、製作手擲機及手擲機彈射器，並收集問題及進行解決。第二階段開始進行探究完成實驗目的，圖 3-1 為本研究流程圖。

圖 3-1

研究流程圖



一、資料蒐集與學習

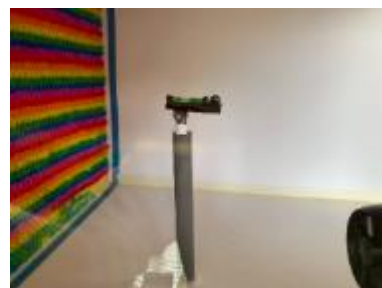
(一)、製作簡易風洞



剪裁大吸管 10 公分



進行整流段排列



水平儀檢測並量測攻角 6 度



進行升力測試 1



進行升力測試 2



紀錄

(二)、製作彈射器：利用水火箭發射器當作可調整角度之發射架進行組裝製作，並利用滑輪輔助減少轉折處之摩擦力，用椅子墊高至適當高度，以符合投擲高度。



(三)、 線上學習 Tracker 軟體並重複練習操作。



(四)、 手擲機製作程序

規劃手擲機造型後進行主翼、機身、垂直尾翼、水平尾翼畫線，準備進行切割。



各部件切割：運用迷你鋸(機身、主翼)、滾輪刀(機身)、美工刀(尾翼)，配戴防割手套



各部件切割完



主翼研磨：運用研磨控制板，有效控制主翼研磨厚度一致性，減少誤差。	
主翼組裝：運用角度控制板控制組裝角度，減少製作誤差。並調整主翼平衡性	
全機組裝：注意主翼、尾翼之平行性。	

二、實驗目的探究：

實驗一、利用風洞探討不同外形之升力差異。

比較不同造型之主翼，進行風洞試驗，比較各種不同翼型之升力。

平翼四方翼：主翼最高點位置前緣：0.6 公分、1.2 公分、2 公分、3 公分、4 公分

平翼後斜翼：主翼最高點位置前緣：0.6 公分、1.2 公分、2 公分、3 公分、4 公分

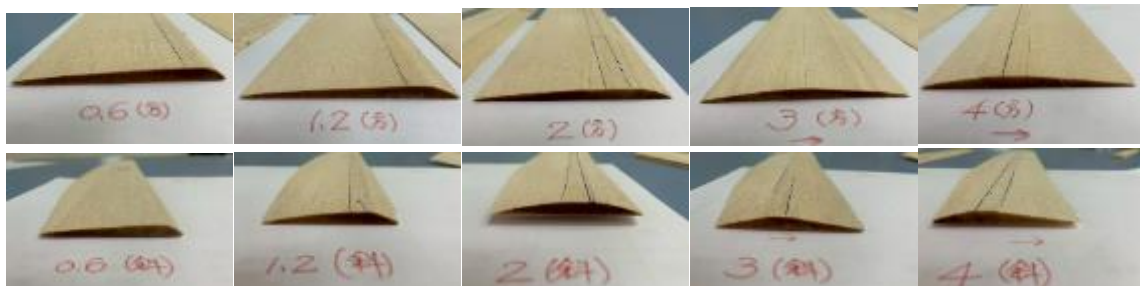


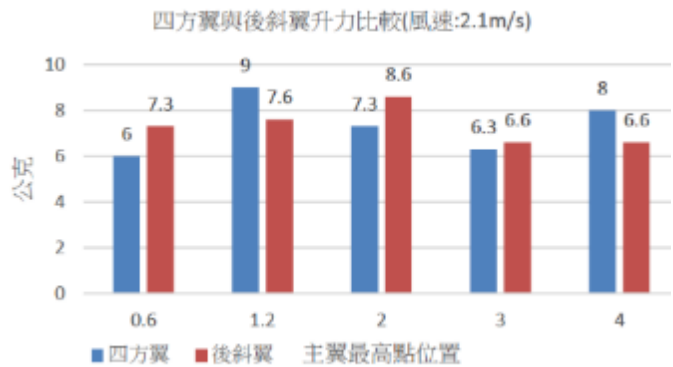
圖 3-2

主翼示意圖

4. 實驗結果

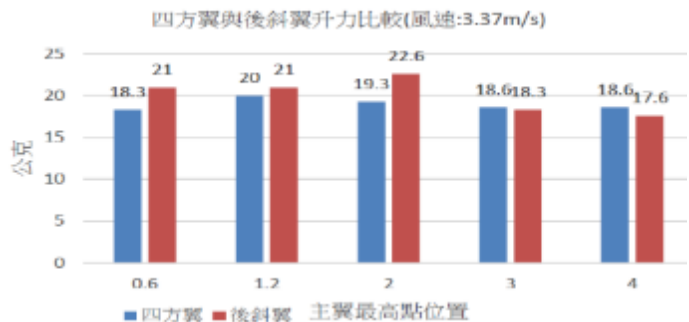
風速：2.1m/s

最高點 翼型 升力 g	0.6	1.2	2	3	4
四方翼	6	9	7.3	6.3	8
後斜翼	7.3	7.6	8.6	6.6	6.6



風速：3.37m/s

最高點 翼型 升力 g	0.6	1.2	2	3	4
四方翼	18.3	20	19.3	18.6	18.6
後斜翼	21	21	22.6	18.3	17.6



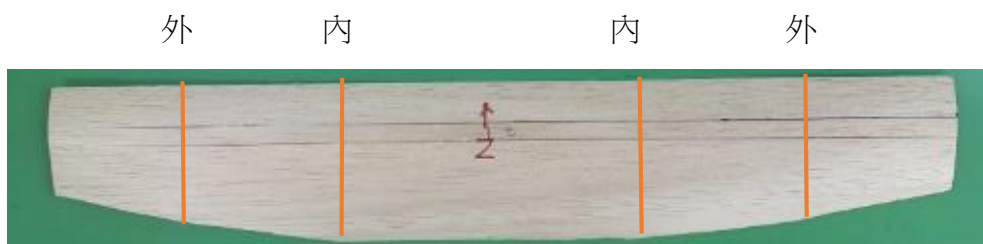
由結果資料顯示，風速越大，升力越佳；在低風速下，四方翼最高點在 1.2 公分的翼型有較佳之升力表現；但是在高風速下，後斜翼在最高點於 2 公分的翼型有較佳之升力表現。在製作上，可以選擇後斜翼 2 公分的翼型。另外，不論風速如何，四方翼的最佳升力皆是 1.2 公分之翼型；後斜翼的最佳升力皆是 2 公分之翼型。主翼最佳最高點位置受翼型影響。

5. 討論

我們在選擇製作手擲機的翼型，依結果分析，可以選擇後斜翼且主翼最高點在 2 公分的翼型，可以獲得較佳之升力表現。

實驗二、利用風洞探討主翼不同角度上反角之升力差異

以後斜翼最高點位置在 1.2 公分之翼型為實驗標的，設計 16 種主翼反角組合：



7-7-7-7、7-10-10-7、7-15-15-7、7-20-20-7、10-7-7-10、10-10-10-10、10-15-15-10、
10-20-20-10、15-7-7-15、15-10-10-15、15-15-15-15、15-20-20-15、20-7-7-20、
20-10-10-20、20-15-15-20、20-20-20-20

1. 實驗方法：製作 16 種主翼反角組合，置於簡易風洞中進行升力測試，觀測 3 次紀錄。
2. 變因控制：

操縱變因	控制變因	應變變因
16 種主翼反角組合	風扇：使用同一電風扇並測量風速。 磅秤：同一磅秤 室內：無其他干擾 攻角：+6 度	升力

3. 實驗結果

反角角值	7-7-7	7-10-7	7-15-7	7-20-7	10-7-10	10-10-10	10-15-10	10-20-10	15-7-15	15-10-15	15-15-15	15-20-15	20-7-20	20-10-20	20-15-20	20-20-20	
1	22	20	23	21	19	21	21	21	1	21	21	20	23	18	21	19	21
2	21	21	23	20	21	20	22	20	2	22	22	19	20	20	22	22	19
3	22	21	21	24	19	15	19	20	3	21	17	20	20	18	21	21	25
平均	21.6	20.6	22.3	22.3	19.6	18.6	20.6	20.3	平均	21.3	20	19.6	21	18.6	21.3	20.6	21.6

4. 討論

由實驗一我們得知，同翼型平翼無反角之主翼升力為 21 克，由實驗二結果發現，升力超過或等於 21 克的組合分別為：7-7-7-7、7-15-15-7、7-20-20-7、15-7-7-15、15-20-20-15、20-10-10-20 及 20-20-20-20 等 7 種組合；其中 20-10-10-20 之翼型為參加全國手擲機競賽之常勝機款，在簡易風洞實驗中升力值 21.3 克，也有不錯表現；我們依據風洞實驗的結果，採用升力值最佳的 7-20-20-7 升力值 22.3 克、比賽機款 20-10-10-20 之翼型及升力值較低的 20-7-7-20 升力值 18.6 克三款主翼翼型來製作飛機主翼反角參數，進行飛機直線飛行測試，比較其飛行距離是否有差異。

實驗三、不同彈射力與飛行速度相關性，並量測學生投擲初速度，用以推估學生投擲力道。

1. 假設：彈射拉力越大，飛行初速度越大。
2. 實驗方法：使用彈射器投擲手擲機，用 Tracker 軟體分析，取得初速度。

3. 變因控制：

操縱變因	控制變因	應變變因
彈射公斤數 1.15 公斤、1.35 公斤 1.55 公斤、1.76 公斤	發射架：使用同一發射架 飛機：適用同一架飛機 室內：無風狀態 發射角度：平射	飛行速度

4. 實驗結果



圖 3-2

1.15 公斤彈射速度資料截圖

t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	-9.652E-4	1.154E-3	
0.033	6.047E-2	1.948E-2	1.908
0.067	0.121	3.724E-2	1.887
0.100	0.182	5.350E-2	1.872
0.133	0.241	7.051E-2	1.863
0.167	0.301	8.686E-2	1.868
0.200	0.362	0.103	1.458
0.233	0.396	0.110	1.445

圖 3-3

1.35 公斤彈射速度資料截圖

t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	-2.814E-4	4.832E-4	
0.033	0.156	4.427E-2	3.621
0.067	0.232	6.705E-2	2.855
0.100	0.265	7.354E-2	2.254
0.133	0.378	0.102	2.860
0.167	0.450	0.119	2.222
0.200	0.522	0.138	2.232
0.233	0.595	0.155	2.298

圖 3-4

1.55 公斤彈射速度資料截圖

t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	-2.969E-4	2.969E-4	
0.033	7.999E-2	2.235E-2	5.019
0.067	0.323	8.679E-2	5.732
0.100	0.449	0.120	3.713
0.133	0.562	0.149	3.664
0.167	0.686	0.180	3.622
0.200	0.797	0.207	3.615
0.233	0.920	0.237	2.576

圖 3-5

1.76 公斤彈射速度資料截圖

t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	1.776E-4	-8.885E-5	
0.033	0.187	5.473E-2	5.074
0.067	0.325	9.474E-2	4.188
0.100	0.455	0.131	4.274
0.133	0.600	0.170	4.269
0.167	0.730	0.206	4.218
0.200	0.871	0.243	3.586
0.233	0.961	0.267	1.982

我們取飛機離架後第 3~5 格之速度平均，作為初速度的近似值，以降低單格測量誤差，使數據更穩定。

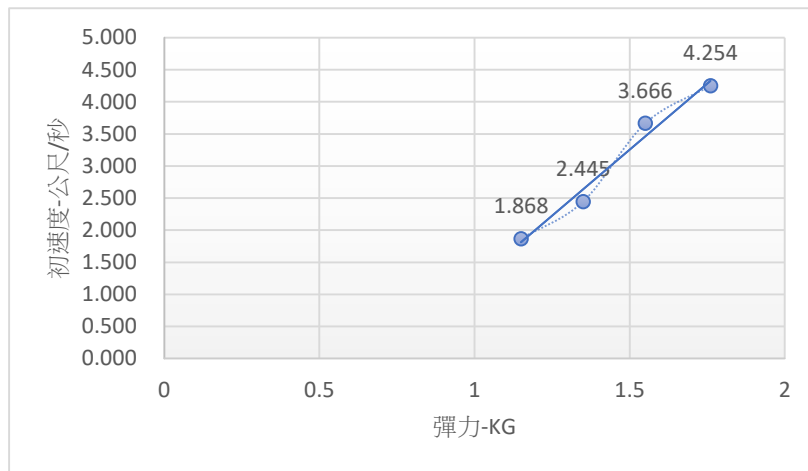
表 3-1

彈射器投擲手擲機初速度資料表

速度 m/s 彈力 Kg	速度 1	速度 2	速度 3	平均
1.15	1.872	1.863	1.868	1.868
1.35	2.254	2.86	2.222	2.445
1.55	3.713	3.664	3.622	3.666
1.76	4.274	4.269	4.218	4.254

圖 3-6

彈力-初速度曲線圖



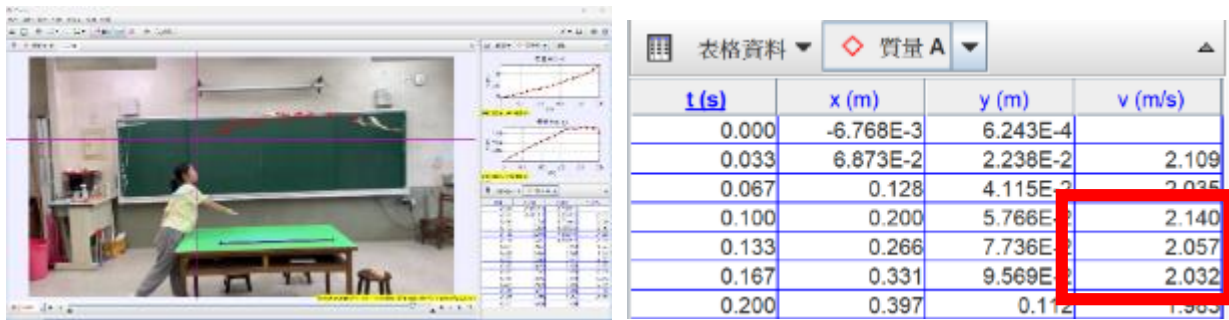
表格資料 ▼ 質量 A ▼			
t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	-1.950E-4	3.092E-4	
0.033	5.166E-2	1.055E-2	1.575
0.067	0.103	1.936E-2	1.585
0.100	0.156	2.654E-2	1.599
0.133	0.209	3.217E-2	1.584
0.167	0.261	3.626E-2	1.267
0.200	0.293	3.763E-2	1.567



表格資料 ▼ 質量 A ▼			
t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	-1.149E-2	8.881E-3	
0.033	4.525E-2	2.453E-2	1.736
0.067	0.100	3.918E-2	1.727
0.100	0.157	5.352E-2	1.724
0.133	0.211	6.871E-2	1.300
0.167	0.240	7.658E-2	1.725
0.200	0.323	9.757E-2	2.141



表格資料 ▼ 質量 A ▼			
t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)
0.000	-1.342E-4	2.945E-4	
0.033	8.938E-2	1.300E-2	1.925
0.067	0.127	1.661E-2	2.689
0.100	0.267	3.957E-2	3.571
0.133	0.362	5.592E-2	2.737
0.167	0.445	7.840E-2	2.601
0.200	0.529	0.101	2.750



依據彈射器投擲手擲機初速度資料表，對照學生投擲平均速度，運用比例關係換算對應投擲力道，相關資訊如表 3-2。

表 3-2

學生投擲初速度資料及對應投擲力道表

學生 \ 速度	速度 1	速度 2	速度 3	平均	對應投擲力道
同學甲	1.599	1.584	1.267	1.483	不足 1.15 公斤
同學乙	1.724	1.3	1.725	1.583	不足 1.15 公斤
同學丙	3.571	2.737	2.601	2.970	大約 1.436 公斤
同學丁	2.14	2.057	2.032	2.076	大約 1.22 公斤

5. 討論：

由學生投擲初速度資料及對應投擲力道表中，我們獲得投擲力道最大的是「同學丙」，介於 1.35 公斤~1.55 公斤間，並且我們在投擲練習的結果，飛行距離與對照表呈現一致結果，只有「同學丙」直線投擲超過 25 公尺，「同學丁」接近 25 公尺；投擲力道與飛行距離有關，力道越大越遠，與我們預期的結果一致。

實驗四、利用自製彈射器，探討不同飛機款式與飛機參數及投擲角度之飛行姿態(直線飛行)

由風洞實驗中升力較佳及較差與競賽機之 3 款主翼反角組合，進行主翼在機身不同位置之飛機款式、在不同重心下之飛行路徑觀察。分別為主翼距離機頭：6 公分、7 公分、8 公分、9 公分、10 公分等 5 種飛機款式；共計 15 款式飛機。調整飛機參數，重心分別為距離前緣：2 公分、3 公分、4 公分進行不同彈射角度(平射、15 度角、30 度角)飛行觀測。

期望找出最佳的飛機參數與投擲角度及需要多少投擲力道才能達到直線滿分的目標。

1. 實驗方法：避免人為投擲產生的誤差，利用自製彈射器有效控制彈射力道、彈射角度；

每項參數架次進行 2 次投擲，紀錄飛行距離，如飛行距離落差大，再進行第三次投擲確認飛行穩定性，並利用 Tracker 進行飛行軌跡追蹤，以了解飛機的飛行路線及姿態。

2. 變因控制：

操縱變因：5 款飛機樣式(機頭長度 6、7、8、9、10 公分)、彈射角度(平射、15 度角、30 度角)、重心位置(前緣：2 公分、3 公分、4 公分、5 公分)

控制變因：使用同一發射架、室內、主翼翼型(反角 20-10-10-20)

應變變因：飛行距離

3. 實驗結果

首先進行投擲力道 1.15 公斤，以手擲機競賽常勝軍之主翼式樣，在不同的飛機參數條件，進行平投、15 度角、30 度角等 3 種不同投擲角度進行，希望能獲得最佳的投擲角度與飛機參數。

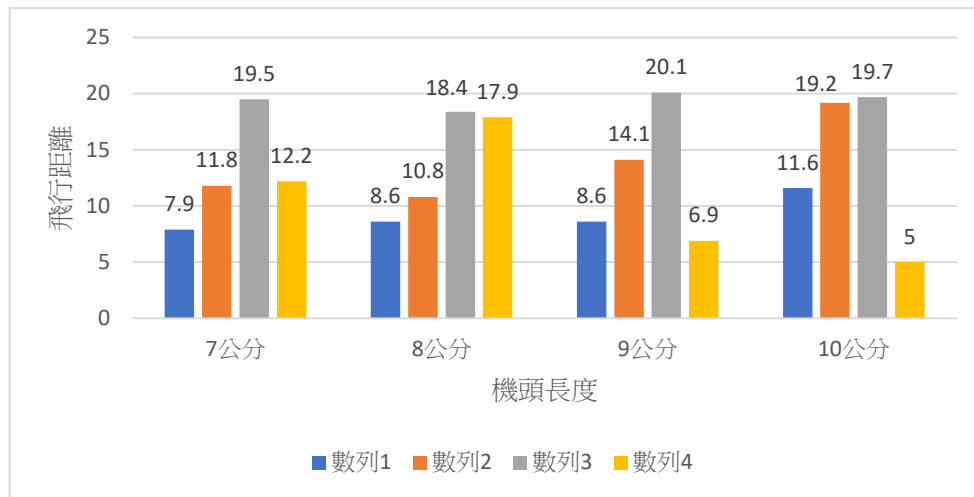
實驗結果紀錄總表如下

		投擲力道 1.15 公斤 主翼資料: 20 10 10 20				
投擲參數	主翼位置	6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
	距離(m)					
平投	重心位置 2	7.3	7.9	8.6	8.6	11.6
	重心位置 3	9.1	11.8	10.8	14.1	19.2
	重心位置 4	21.9	19.5	18.4	20.1	19.7
	重心位置 5	10.6	12.2	17.9	6.9	5
15 度	重心位置 2	9.3	10.2	12.9	11.5	13.9
	重心位置 3	13.6	13.9	16	16.7	17.6
	重心位置 4	15.1	14.8	17.9	14.9	14.9
	重心位置 5	8.2	8.5	13.5	5.9	4.4
30 度	重心位置 2	10.1	10.7	12.6	11.7	12.4
	重心位置 3	12.1	11.9	13.1	12.9	12.3
	重心位置 4	11.8	12.9	13.7	9.5	9.8
	重心位置 5	5.9	5.1	8	3.7	3

由前項測試結果，我們發現：

3-1 投擲角度平投的情況下：

		投擲力道 1.15 公斤 主翼資料: 20 10 10 20				
投擲參數	主翼位置	6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
	距離(m)					
平投	重心位置 2	7.3	7.9	8.6	8.6	11.6
	重心位置 3	9.1	11.8	10.8	14.1	19.2
	重心位置 4	21.9	19.5	18.4	20.1	19.7
	重心位置 5	10.6	12.2	17.9	6.9	5

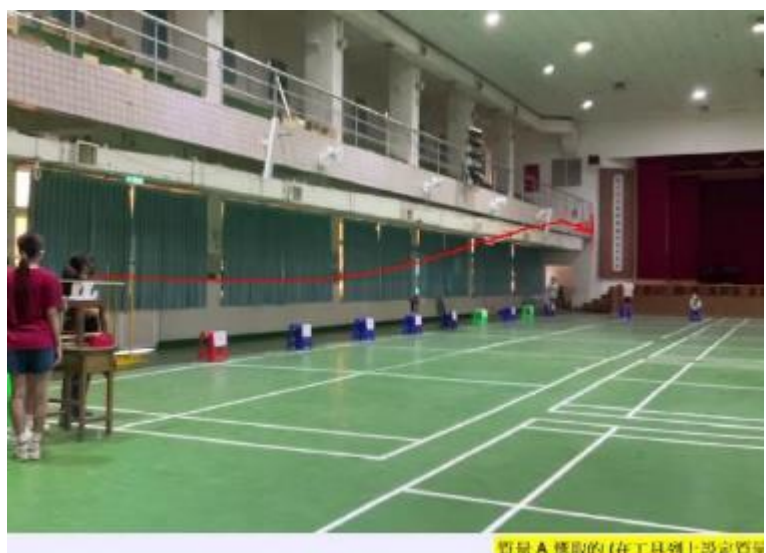


擲力道 1.15 公斤主翼樣式(20-10-10-20)，機頭長度不同各種機型，在重心距離前緣 4 公分的配重下有最佳的飛行距離，可以達到 22 公尺左右。機頭長度 6 公分的表現最佳。重心過前會導致飛行距離明顯縮短，重心過後會造成飛行不穩定，飛行距離差異變大。重心在前緣 2 公分的飛行距離大約 7~12 公尺，飛行軌跡平往下，如圖所示。



重心在前緣 3 公分的飛行距離表現比 2 公分略佳些，飛行距離大約 8~20 公尺；且重心 2 公分和 3 公分配重的飛機都是以機頭長度 10 公分的最佳，並依機頭長度越長越佳的趨勢；除了飛機可能因為配重增加產生差異外，我們也發現飛行過程中，機頭長度越長越容易產生上揚的現象，致使飛行距離較長。

但重心在 4 公分的參數下，反而機頭 6 公分的配重多飛行狀況更佳，再檢視飛行影片後我們發現，在重心 4 公分的情況下，機頭 6 公分的飛行軌跡在中段後有上揚趨勢，且平順下滑，增加滑行距離，如圖。



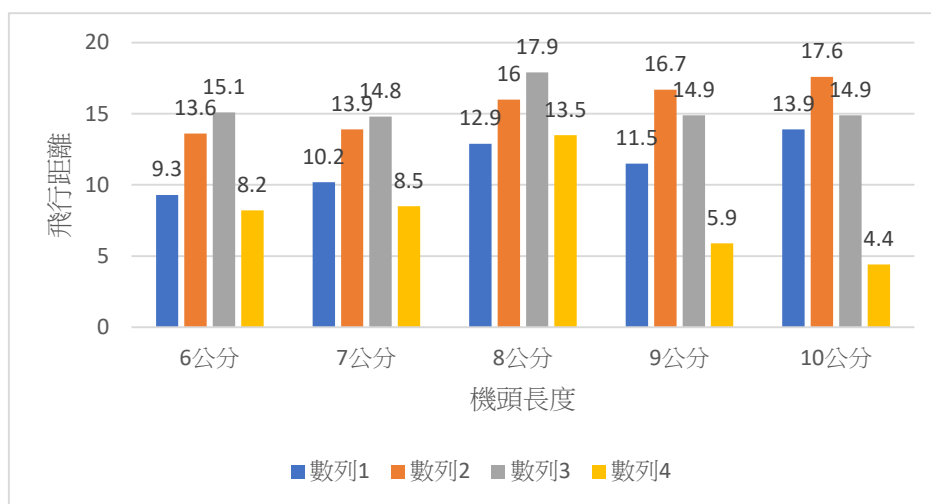
在機頭長度 9 公分和 10 公分的參數下，飛行中段拉升過高而產生失速現象，而減少飛行距離，如圖



重心位置 5 的配重在機頭長度 8 公分的飛行較佳，但其他機型飛行過程容易仰角過大失速甚至翻滾，為不穩定飛行參數。

3-2 投擲角度 15 度的情況下：

		投擲力道 1.15 公斤 主翼資料: 20 10 10 20				
投擲參數	主翼位置 距離(m)	6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
	15 度					
	重心位置 2	9.3	10.2	12.9	11.5	13.9
	重心位置 3	13.6	13.9	16	16.7	17.6
	重心位置 4	15.1	14.8	17.9	14.9	14.9
	重心位置 5	8.2	8.5	13.5	5.9	4.4



擲力道 1.15 公斤主翼樣式(20-10-10-20)，在投擲角度 15 度時，重心 2 公分、3 公分和 4 公分參數下，飛行表現以重心 3 的參數，機頭長度 6 公分~9 公分的飛行距離達到 13~18 公尺左右；但機頭長度 10 公分的機型重心在 3 公分的參數以平投的方式可獲得較佳(約 19 公尺)的飛行表現，15 度投擲僅約 17 公尺。重心 4 飛行仍穩定，但不如平投表現優異!重心 5 仍然不穩定，明顯失速區。

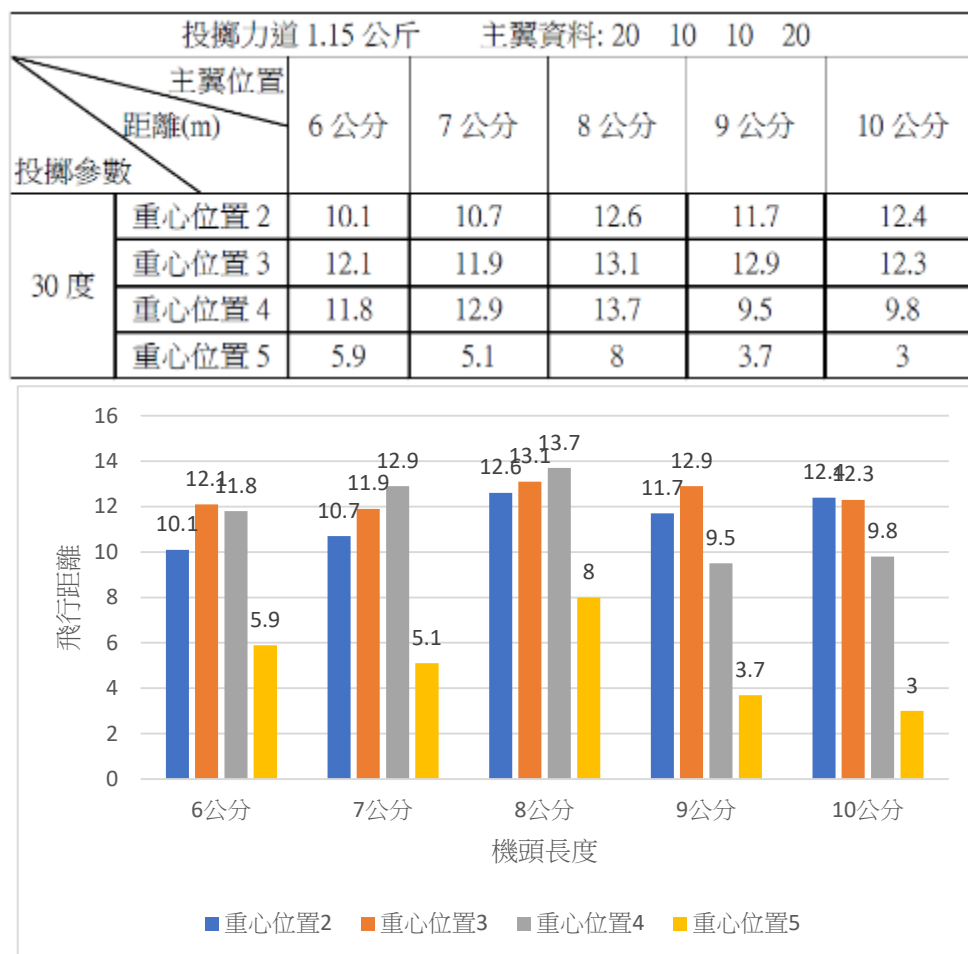
投擲角度 15 度，重心 2 飛行路徑



投擲角度 15 度，重心 3 飛行路徑



3-3 投擲角度 30 度的情況下：



擲力道 1.15 公斤主翼樣式(20-10-10-20)，在投擲角度 30 度時，最大值組合為機頭 8 公分及重心 4 公分；但在 30 度投擲角度下，飛行路徑皆明顯上揚，越容易失速。



4. 討論

本實驗使用 1.15 公斤彈射力，分別以 0 度、15 度與 30 度三種投擲角度，測試不同主翼位置與重心位置對飛行距離的影響。實驗結果發現，0 度平投的飛行距離最遠，最遠可達 21.9 公尺；15 度次之，最遠為 17.9 公尺；30 度最短，最遠為 13.7 公尺。這表示飛機和一般拋物線運動不同，角度越大不一定飛得越遠。

在重心方面，重心位置 4 大多數情況下表現最好；重心太前會快速下墜，重心太後則容易抬頭過高而失速，造成距離變短。主翼位置也會影響結果，當投擲角度增加時，主翼需稍微後移，飛行較穩定。綜合來看，適當的重心、主翼位置與投擲角度互相配合，才能讓飛機飛得最遠。

3-4：比較不同主翼反角參數及不同機頭長度之最佳款式飛機

由風洞實驗中升力較佳(7-20-20-7)及較差(20-7-7-20)與競賽機(20-10-10-20)之 3 款主翼反角組合，進行主翼在機身不同位置之飛機款式、在不同重心下之飛行路徑觀察。

由前實驗發現，重心 3 公分與 4 公分之飛機參數具有較佳之飛行表現，所以我們採用較大的投擲彈力 1.55 公斤條件下以平投 0 度及投擲角度 15 度進行各機款之飛行測試，進行比較，可以作為改良飛機的作法。

操縱變因：15 款飛機樣式(主翼反角 7-20-20-7、20-7-7-20、20-10-10-20 之 3 款主翼反角機頭長度 6、7、8、9、10 公分)、重心位置(3 公分、4 公分)、彈射角度(平射、15 度角)。

控制變因：使用同一發射架、室內。

應變變因：飛行距離

3-4-1：投擲角度 0 度平投的情況下：

主翼位置 距離(m) 投擲參數		投擲力道 1.55 公斤 投擲角度：平投				
		6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
20-7-7-20	重心位置 3	19.8	17.4	15.9	19.8	17.7
	重心位置 4	25.5	25.1	22.3	14.9	21.9
7-20-20-7	重心位置 3	16.2	8.9	12.6	23.3	25.2
	重心位置 4	26.7	12.7	22.9	18.7	13.3
20-10-10-20	重心位置 3	20.8	16.8	12.6	21.4	25.5
	重心位置 4	25.2	18.1	22.8	27.4	21.3

在投擲力道 1.55 公斤平投情況下，主翼反角參數 20-7-7-20 在風洞測試觀察中，升力較差，但在全機表現卻最為亮眼，在重心 4 公分的設定下，機頭 6 公分及 7 公分的參數皆可達成 25 公尺的飛行表現；風洞測試中升力最佳的主翼反角參數 7-20-20-7，僅機頭 6 公分重心 4 的組合達成目標，飛達 26.7 公尺。競賽機款反角參數 20-10-10-20 表現亦很優異，機頭長度 6 公分及 9 公分條件都達 25 公尺目標，且達到 27.4 公尺，為直線飛行最佳成績。顯示力道增加確實能讓飛機飛得更遠。

3-4-2：投擲角度 15 度平投的情況下：

		投擲力道 1.55 公斤 投擲角度：15 度				
投擲參數	主翼位置 距離(m)	6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
	重心位置 3	22.4	23.2	22.9	18.2	22.6
20-7-7-20	重心位置 4	20.3	20.4	15.2	11.4	12.2
7-20-20-7	重心位置 3	22.2	19.7	18.6	19.2	20.1
	重心位置 4	21.3	21	18.4	17.4	10.1
20-10-10-20	重心位置 3	21.7	21.1	20	21.5	21.5
	重心位置 4	20.7	15.5	24.9	22.9	15.5

在投擲力道 1.55 公斤 15 度角投擲情況下，飛行距離皆未達 25 公尺目標，當力道增加且投擲角度為 15 度時，飛機的最佳平衡位置會改變，適當參數調整才能保持穩定且非得遠。

3-5：找出達成目標 25 公尺所需最小投擲力道：

我們目前可以得知，任何投擲力道，投擲角度以平投且飛機參數重心 4 為最佳投擲選擇，我們以主翼反角 20-7-7-20 來進行 1.35 公斤力道投擲，看是否能達成 25 公尺目標，用以找出最小力量大約多少，以有效來進行所需訓練或進行飛機調整。

實測飛行數據如下表，資料顯示 1.35 公斤投擲力道在機頭長度 6 公分條件時，可以達到 24.8 公尺，已經非常接近目標。我們可以推論，最小投擲力道應該要大於 1.35 公斤。

		投擲力道 1.35 公斤 主翼資料: 20-7-7-20				
投擲參數	主翼位置 距離(m)	6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
平投	重心位置 4	24.8	24	20.9	10.1	22.2

肆、 討論

- 一、力道影響：彈射力增加時，飛機初速度變快，因此飛行距離變遠。但若重心或主翼配置不佳，飛機可能因不穩定而影響表現。
- 二、重心影響：重心偏前（位置 3）較穩定，飛行距離落差較小；重心偏後（位置 4）雖偶有最遠距離，但容易上下震盪，穩定度較低，例如機頭長度 6 公分與 10 公分機型對照時。
- 三、主翼位置影響：主翼位置 6 公分時，升力與平衡較佳，距離較遠。表示主翼與重心之間需保持適當比例，飛機才能維持平穩滑翔。
- 四、參數交互影響：力道改變時，最佳的重心與主翼位置也會改變，代表飛行參數之間存在互相影響的關係。

伍、 結論

- 一、增加彈射力可有效提升飛行距離。
- 二、投擲力道大時，重心偏中、前有助於飛行穩定。
- 三、主翼與重心需搭配調整，才能達到最佳飛行效果。
- 四、飛行表現是多種因素共同影響的結果。
- 五、要達成投擲 25 公尺最小投擲力道需 1.35 公斤。

陸、 參考資料

- 一、廖健宏、薛宗騰、薛沛瑩。遨遊天空－破解木製飛機的密碼。中華民國第53 屆中小學科學展覽會作品說明書，國中組 生活與應用科學科。
- 二、探討如何可以讓手擲機的性能最佳化。花蓮縣第62屆國民中小學科學展覽會作品說明書，國中組 物理科。
- 三、遙控無人機學科測驗指南 <https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=3718&lang=1>
- 四、維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8D%87%E5%8A%9B>