

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小乙組

作品名稱：

向上飛吧！優秀的「飛行員」

關 鍵 詞：直升機、機翼、扭力

編 號：

目錄

摘要	01
壹、前言	02
一、研究動機	02
二、研究目的	02
三、文獻回顧與科學原理	02
貳、研究設備及器材	05
參、研究過程與結果	07
一、製作出直升機樣板	07
二、橡皮筋的選擇	08
三、槳骨的攻角	12
四、機翼的形狀	13
五、機翼的數量	18
肆、討論	24
伍、結論	26
陸、參考文獻資料	27
附錄--參與科展心得	28

向上飛吧！優秀的「飛行員」

摘要

此篇研究在探究直升機可以飛高的奧妙，我們依據文獻報告製作一台以橡皮筋彈力為動力可飛高的直升機後，再依序深入探究橡皮筋的品質及扭轉圈數、槳骨的攻角設計、機翼形狀及數量對直升機飛行的影響性。我們發現橡皮筋的扭轉圈數需與機身長度、軸心材質、橡皮筋品質相配合，攻角的裁定須與槳骨的尺寸相配合。我們也探討三款機翼形狀對飛行的影響，發現直角三角形有較高的飛行高度，但長方形的飛行速率最快；在機翼數量上，若能控制直升機總重量在6.0克以下，上、下機翼數量一樣多，飛行高度可達600公分。機翼形狀也會帶出不同的飛行軌跡，機翼長度越長，迴圈的軌跡越明顯，能增長飛行時間，且間接影響飛行速率，若在戶外有風的影響下，建議選擇可直線飛行且飛行速率較快的長方形機翼。

壹、前言

一、研究動機

同學因為爸爸是機長，因此對氣壓的改變能讓飛機飛翔相當著迷，我們找到一部有關手做直升機的影片，並依照影片的說明試做了直升機，無奈就是飛不起來或飛不高，且飛行軌跡東偏西轉都不直立，讓我們有點懷疑影片的真實性。當我們後續上網找了些資料，發現飛行理論很多，但實作出會飛的直升機並不多，其中動力來源是一大問題，直升機運用到橡皮筋的彈力、空氣動力學、作用力與反作用力及簡單機械中的斜面原理，連我們初製的直升機更是無法達到如影片美好的狀況，因此想深入探討是否有其他因子可以讓直升機飛得高又久，於是設計一連串的實驗來最佳化直升機的飛行狀況。

二、研究目的

本研究的目的在探討直升機運作原理及影響它飛行高度和時間之因素，我們設計各項變因，來探究如何讓直升機能飛的越高越久。

- (一)、依參考報告及影片製造出可飛高的直升機。
- (二)、尋找哪一種橡皮筋適合當動力來源。
- (三)、探究橡皮筋扭轉圈數與直升機飛行的關係。
- (四)、探究機翼的形狀與直升機飛行的關係。
- (五)、探究機翼的數量與直升機飛行的關係。

三、文獻回顧與科學原理

從國內文獻中，我們彙整了直升機可以飛行的原理。

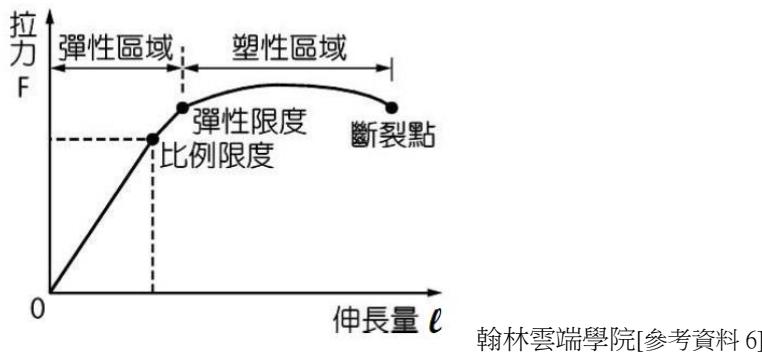
(一)、彈力-虎克定律

在彈簧實驗中，當砝碼掛在彈簧上時，掛上越重的砝碼（越重的砝碼給予彈簧越大的力），彈簧的伸長量越大。



LIS 情境科學教材[參考資料 5]

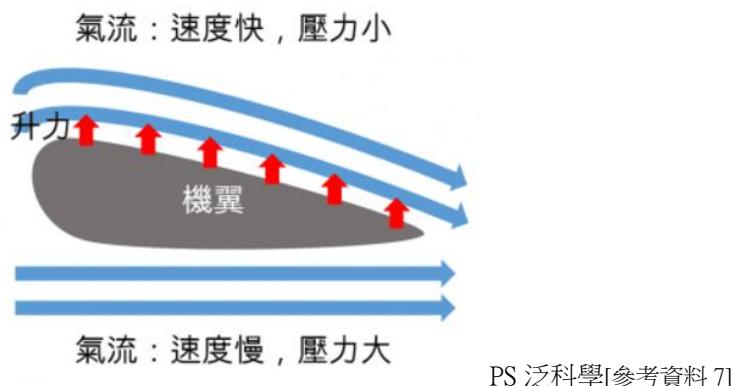
且在彈簧的彈性限度內，彈簧的形變量($\Delta\ell$)與彈力(F)成正比， $F=k\Delta\ell$ ，k 為常數。
下圖為虎克定律示意圖。



翰林雲端學院[參考資料 6]

(二)、升力-伯努力原理

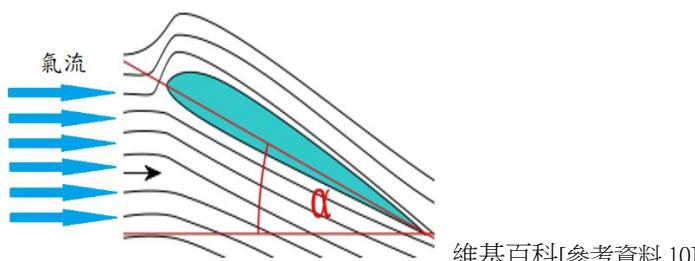
伯努力定律是指氣流或者流體，在流速不同的時候，它會產生壓力上的變化，流速越高它的壓力會變得越小。由於機翼上方弧度比下方大(上方氣體流動的距離比較長)，造成上方氣流較快，壓力較小，而壓力差使得機翼產生上升的升力，如下圖。



PS 泛科學[參考資料 7]

(三)、空氣阻力

空氣動力阻力 (Aerodynamic Drag) 為物體與大氣相對運動時受到空氣之阻擋而速度變慢的現象，簡稱為風阻。空氣水平方向流動，若機翼有攻角 α (機軸與相對風流的夾角) 的存在，造成空氣被往下推動。



維基百科[參考資料 10]

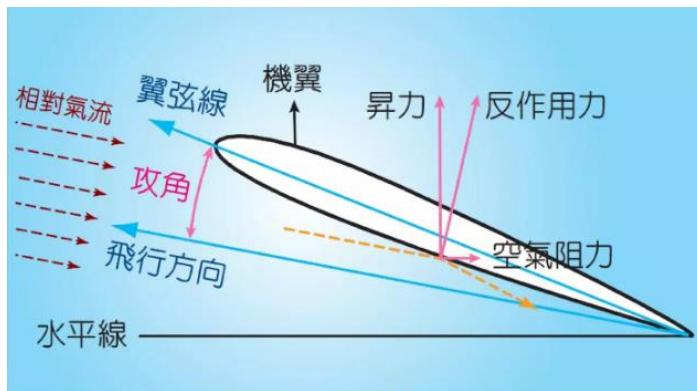
(四)、作用力與反作用力-牛頓第三定律

施一作用力必同時產生反作用力，兩者量值相等、方向相反，作用在同一直線上，但作用在不同物體上，為牛頓第三運動定律。



翰林雲端學院

總和上述作用在機翼的合力(反作用力)，若機翼可以上升的反作用力比直升機的重力大，則直升機可以往上飛行。



slideshare[參考資料 11]

貳、研究設備及器材

一、測量器材：

電子秤（最小單位 0.01 g）、平板（拍照）、皮尺、量角器。

二、製作工具：

剪刀、美工刀、尺、雙面膠、鋸子、砂紙、簽字筆、大頭針、熱熔槍、尖嘴鉗。

三、裝置及實驗器材：

材料	珍珠板	粗吸管	飛機木	橡皮筋	亮片	鐵絲	塑膠珠子
個數	1 片	1 根	1 片	1 條	2 個	1 條	1 個
尺寸 (公分)	厚度 0.2	直徑 1.1	厚度 0.5	長 12	直徑 1.3	直徑 0.07	直徑 0.5

(一)、製作步驟

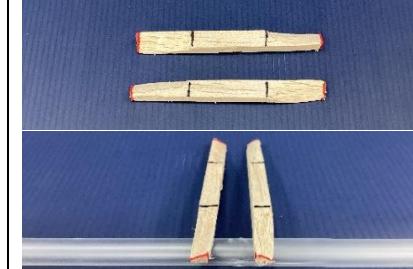
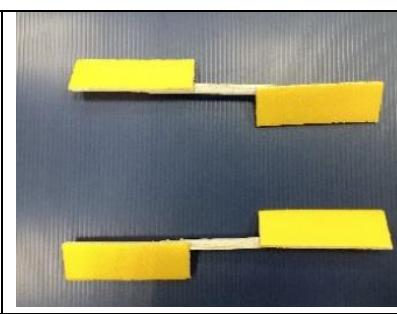
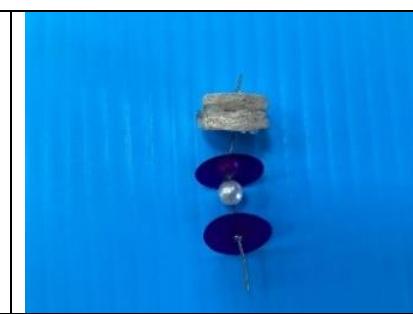
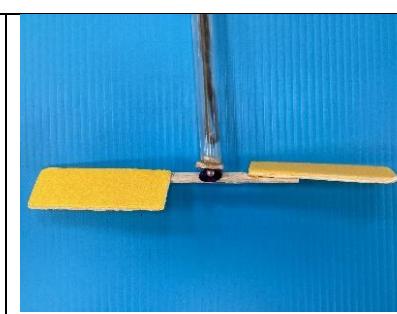
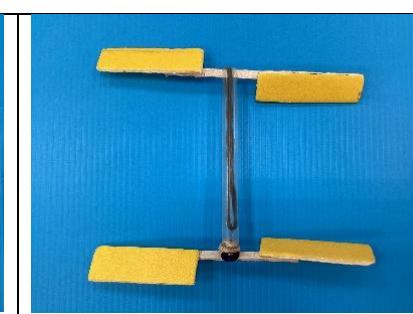
1. 裁切：

- (1)把粗吸管上方互為對面處，各切 1 個 0.5 公分*0.6 公分的長方形缺口。
- (2)將珍珠板裁切 4 個 2.5 公分*8 公分的長方形，成為上、下機翼。
- (3)將飛機木裁切 2 個長 10 公分*寬 0.6 公分*高 0.5 公分的長方體，成為上、下槳骨。
- (4)在上、下槳骨的「長」邊，依序標上 3 公分、4 公分、3 公分的數線點。
- (5)在上、下槳骨兩端各 3 公分處，削成有角度(35 度)的斜面，並用砂紙修整平滑。
- (6)將飛機木裁切與粗吸管管徑一樣大及比粗吸管管徑大的圓片各一，當作木塞。

2. 組裝：

- (1)將 2 片機翼黏在槳骨兩端 3 公分的數線點，成為旋翼。
- (2)將兩個木塞黏在一起，成為塞子。
- (3)上旋翼架在粗吸管的缺口上，將粗吸管內的橡皮筋套在旋翼的槳骨上。
- (4)一根鐵絲穿越下旋翼的槳骨中間並固定，鐵絲的另一端由下而上，依序放上亮片、珠子、亮片、木塞，並勾住粗吸管內的橡皮筋，完成組裝。

(二)、直升機製作過程的圖解說明

		
將珍珠板裁成 2.5 公分 *8 公分成為機翼	將飛機木裁成 10 公分*0.6 公分成為槳骨	槳骨兩端磨成斜面
		
粗吸管上方切 2 個 0.5 公分*0.6 公分的缺口	組合機翼與槳骨成旋翼	下方吸管內部的組成物
		
上方旋翼的組裝方式	下方旋翼的組裝方式	完成品

參、研究過程與結果

本研究的目的在探討影響直升機飛行高度的因素，研究可分為兩階段。第一階段，我們先以參考資料做出會飛高的直升機，收集所遇到的問題，並予以解決；在第二階段中，我們改變第一階段的實驗變因，來完成實驗目的，圖 3-1 為本研究的流程圖。

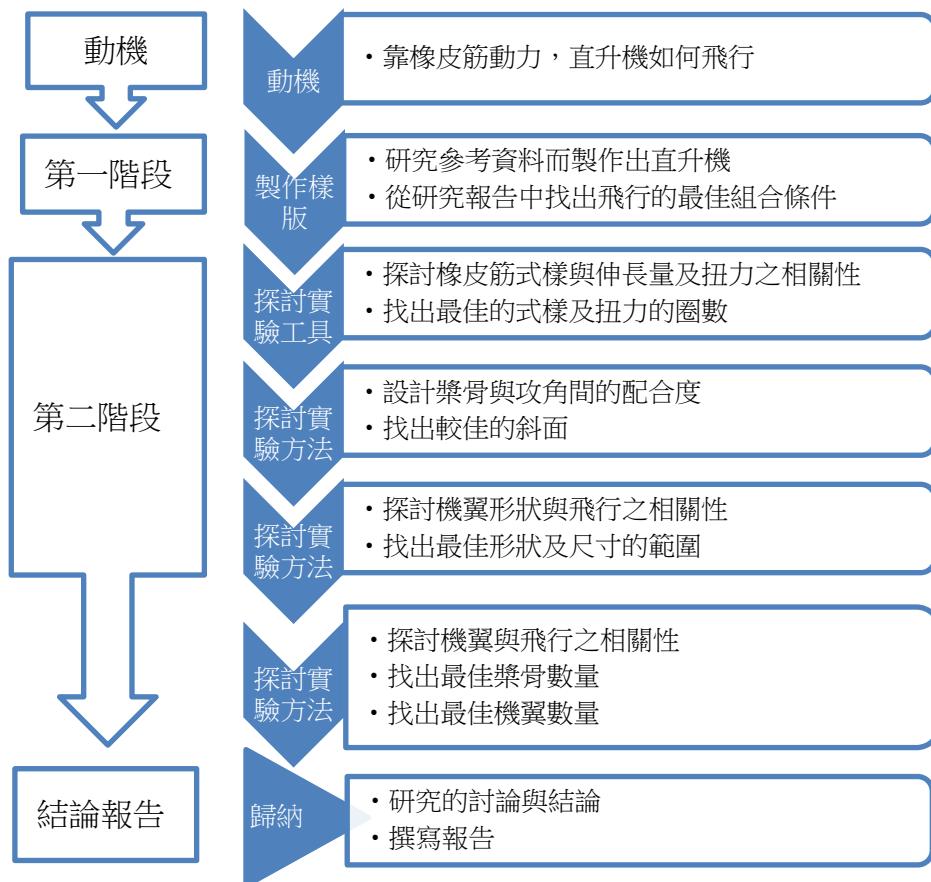


圖 3-1 研究流程圖

一、製作出直升機樣板

在所蒐集的參考文獻及影片中我們彙集「李彥霆、劉上猷、林恆、吳肇祐(2007)哆啦 A 夢的時光機-雙翼反轉直升機。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會 作品說明書，國小組 自然科」及「高中物理 橡筋動力直升機 <https://www.youtube.com/watch?v=4Jb4F0iKQtE>」的資訊，修正一些資料來製作直升機，並以此為樣版，開創一連串的探究之旅。

彙整兩方所提供的訊息，可以讓直升機可以起飛是我們最主要的目標，我們製作的直升機的型式約略如圖 3-2，且考量材料取得的便利性，槳骨、墊片、滾珠、鐵絲、橡皮筋的材料與圖 3-2 有差異，不過光讓直升機起飛，我們就遭遇不少困難。

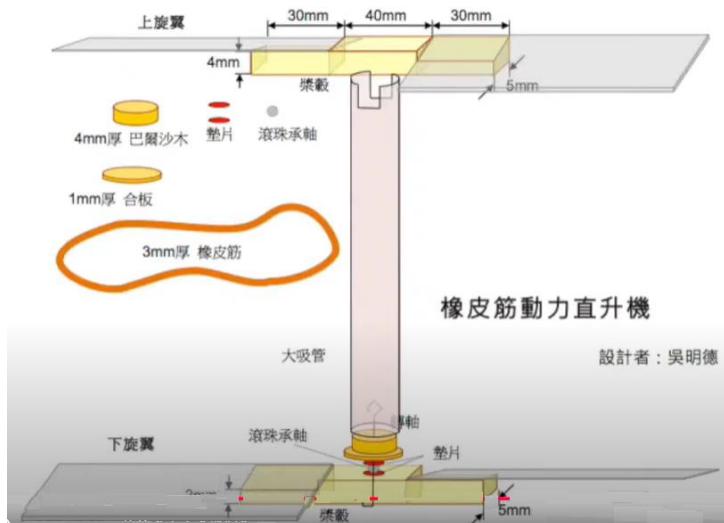


圖 3-2 高中物理 橡筋動力直升機[參考資料 13]

下表彙整出我們在製作的過程中所遭遇的困難及改進的方法：

樣版-長方形機翼(8 公分*2.5 公分)

材料：珍珠板、粗吸管、飛機木、亮片、橡皮筋、鐵絲、塑膠珠子

排序	發現問題	解決方法
1	直升機無法起飛	下機翼黏在骨架下方的位置，需黏在骨架上方(人為疏失)
2	直升機橫著飛	上、下機翼左右位置需錯開，不能同邊
3	飛行的時候會左右搖晃，飛不穩	吸管上方的缺口盡量與上骨架寬度吻合
4	上旋翼無法轉動	鐵絲穿過木塞的洞太緊
5	下旋翼會傾斜無法水平	鐵絲穿過木塞的洞太鬆
6	直升機無法飛高	吸管長度由 20 公分剪短至 13 公分，可增加橡皮筋迴轉的圈數
7	橡皮筋迴轉時會卡住，使橡皮筋的圈數無法迴轉完全	下旋翼的鐵絲回勾不能太長
8	完成一次飛行後，機翼易脫離骨架	機翼由雙面膠改用熱熔膠黏上骨架
9	直升機無法直飛	先讓下旋翼轉動，再放開直升機
10	橡皮筋易斷裂	減少橡皮筋扭轉的圈數至不超過 130 圈

二、橡皮筋的選擇

橡皮筋的動力是直升機可以升高飛行的很大因素，那橡皮筋型式的選擇及扭轉圈數對於飛行是否有很大的影響？我們做了以下的探究。

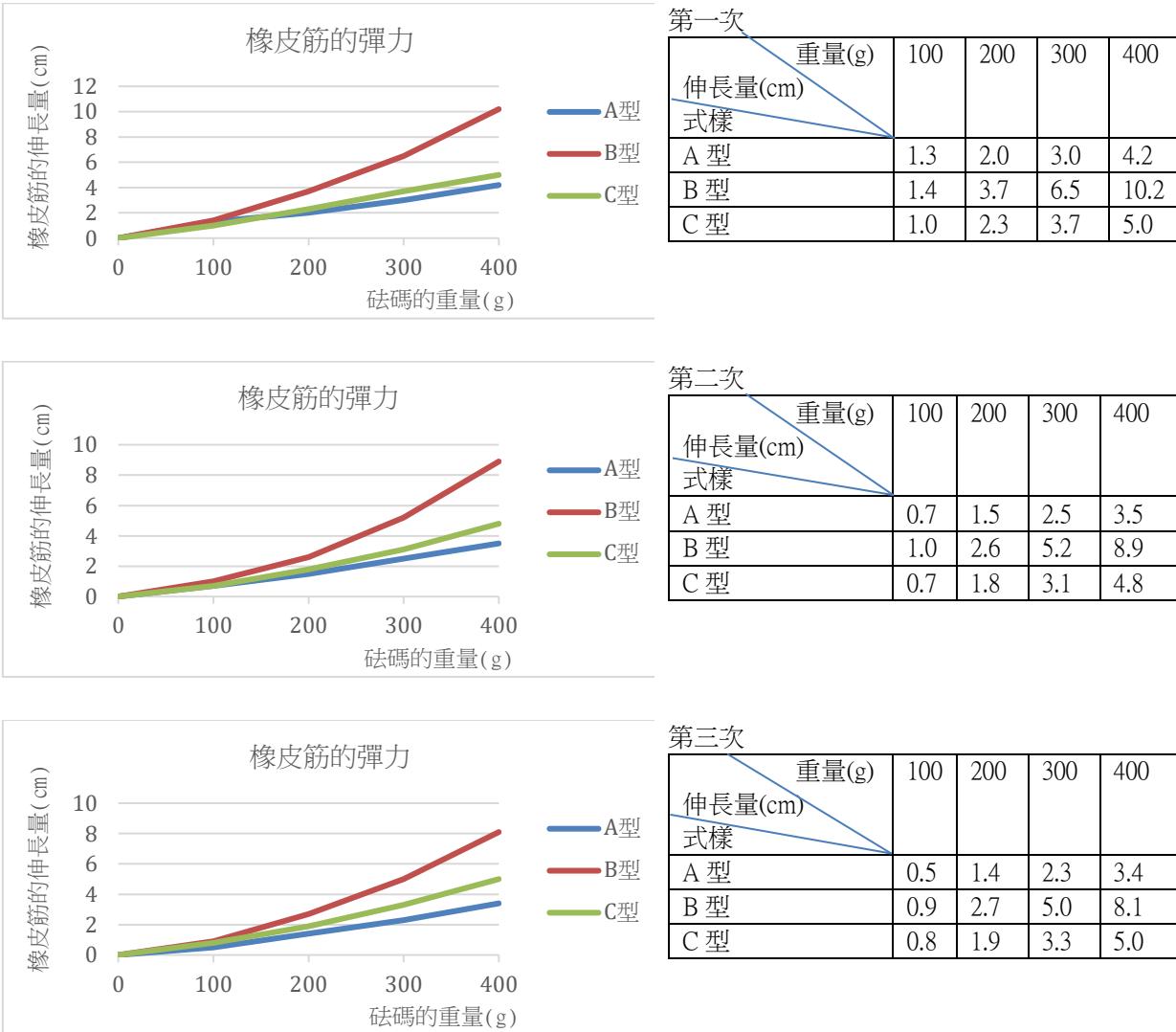
(一)、橡皮筋式樣的選擇

橡皮筋的伸長量與施力的變化若能符合虎克定律，表示它的變化有規律性，適合拿來當測量的工具，用於直升機的製作會讓飛行穩定。我們找出市面上可取得的三款橡皮筋，在橡皮筋下方掛上砝碼(每顆 20/克)，做了橡皮筋的彈力實驗，以下為實驗資料：

操縱變因

橡皮筋款式(寬*長 cm)	表面特色	延展性
A 型-0.6*12.2	有紋路	好
B 型-0.3*12.2	平滑	最優
C 型-0.3*12.0	有紋路	優

做了三次實驗，以下為實驗數據及分析圖。



觀察與討論：

三款不同橡皮筋的伸長量與拉力的 3 次測試數據中，B 型在施力超過 200 克時，會超出它的彈性限度而使其變形，而 A、C 型的伸長量與施力的變化有規律性，符合虎克定律。在伸長量 2 公分以上時，若 A 型與 C 型伸長量要一樣時，A 型的拉力是 C 型的 1.5 倍，放入直升機實作中，橡皮筋轉 n 圈後需拉到與機身同長，由於 A 型需較大的拉力，會扯斷與它相連接的鐵絲，而讓直升機解體，若改用較粗的鐵絲，會增加直升機整體的重量，所以考量直升機整體的重量及耐用性，我們選擇 C 型的橡皮筋。

(二)、橡皮筋圈數的選擇

由於橡皮筋扭轉後釋放，對槳骨產生推力，帶動機翼轉動，飛行原理運用了解力定律、牛頓第三運動定律，克服地心引力的重力而讓直升機往上飛行。我們以樣版直升機為測試機型，分別將橡皮筋扭轉 70、100、130 圈後，紀錄直升機的飛行高度與時間，來探討扭轉圈數對飛行的影響。

橡皮筋原長 12 公分，經扭轉圈數後，會縮短長度，釋放過程中，會恢復原長，若上下槳骨的間距小於 12 公分，釋放圈數的過程中，橡皮筋會擠壓而讓迴轉不順，導致失去動力而墜落，而上下槳骨的間距若大於 12 公分，橡皮筋易彈性疲乏。圖 3-3 為橡皮筋不同圈數扭轉後的樣貌。



圖 3-3 橡皮筋扭轉 n 圈後拉長 13 公分的形狀。
圈數越多橡皮筋扭曲越密集，線條也越不平整。

我們將 3 種圈數扭轉完後，依序拉長 12、13、14、15 公分間距後，用鐵釘固定於泡棉上，這時鐵釘會因橡皮筋的拉力而傾斜，用彈簧秤測量將鐵釘垂直於地面，所需花費的拉力，紀錄於下表：

圈數	間距(cm)	12	13	14	15
平均拉力(g)					
70		230	295	310	340
100		310	380	440	540
130		410	500	600	795

而將輔助的鐵釘垂直於地面所需花費的拉力如圖 3-4。

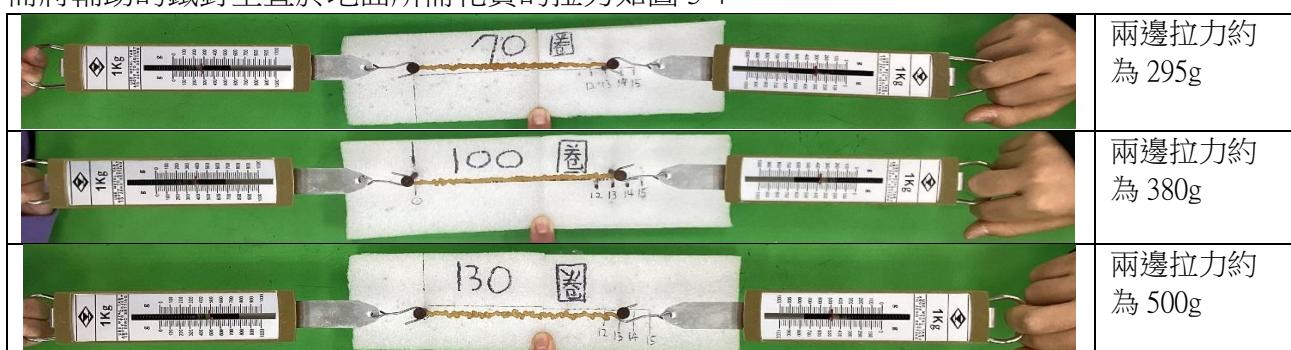


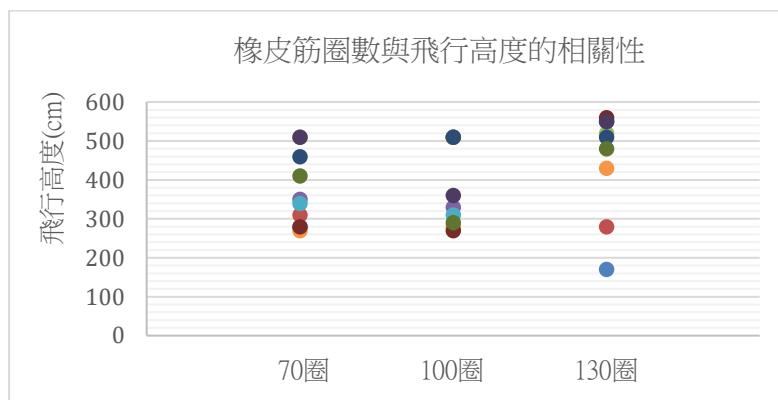
圖 3-4 橡皮筋橡皮筋扭轉 n 圈後拉長 13 公分所需的拉力。圈數越多，拉力越大才能達到平衡。

經直升機實測飛行後，我們發現 13 公分的機身可以讓橡皮筋在迴圈時較平順，不易卡在吸管內而瞬間失去動力，本來在自然教室試飛(樓層高度 330 公分)，發現直升機會撞擊天花板，因此改至禮堂(樓層高度 600 公分)試飛。以下是直升機飛行實驗 10 次後的數據及分析圖：

操縱變因	橡皮筋的圈數 70、100、130 圈
控制變因	製作方式、製作材料、試飛者、飛行環境
應變變因	飛行高度及時間

橡皮筋扭轉圈數與飛行高度紀錄表：

次數 距離(cm) 圈數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
70	280	310	510	350	340	270	460	280	410	510
100	510	510	510	330	310	280	510	270	290	360
130	170	280	520	550	550	430	510	560	480	550

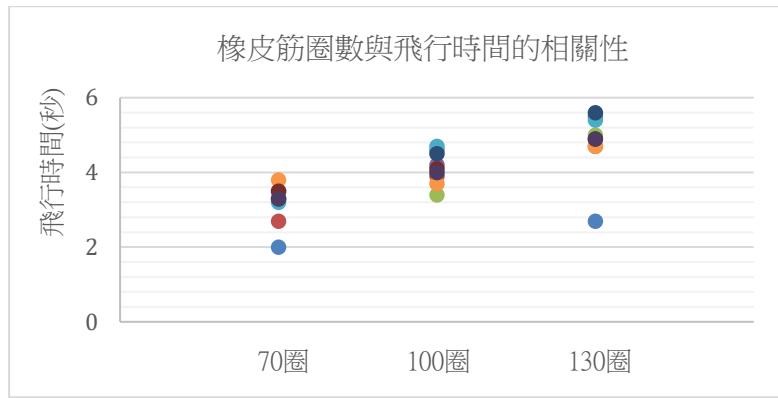


觀察與討論：

我們發現橡皮筋的圈數越多，飛行高度增加。雖 130 圈的飛行高度最高，但從數據的離散性的分配可知，飛行高度變動大、不穩定，70 圈飛行高度的離散性也高，100 圈雖飛行高度較低但飛行高度穩定。試飛時也發現 130 圈在飛行 3 次後橡皮筋有疲乏的狀況。

橡皮筋扭轉圈數與飛行時間紀錄表：

次數 時間(秒) 圈數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
70	2.0	2.7	3.3	3.5	3.2	3.8	3.3	3.5	3.7	3.3
100	4.6	3.9	3.4	4.2	4.7	3.7	4.5	4.1	3.1	4.0
130	2.7	4.7	5.0	5.5	5.4	4.7	5.6	4.9	6.3	4.9



觀察與討論：

我們發現橡皮圈的圈數越多，飛行時間增加。雖 130 圈的飛行時間最久，但從數據的離散性的分配可知，飛行時間變動大、不穩定，70 圈飛行時間的離散性比 100 圈多一些。也發現 130 圈飛行 3 至 4 次後易斷裂。綜合飛行高度與時間的數據分析，我們樣版之後用於實驗的直升機採用 100 圈，且飛行 5 次後更換橡皮筋。

三、槳骨的攻角

我們從「哆啦 A 夢的時光機-雙翼反轉直升機」[參考資料 12]的報告中，發現 35 度的攻角有最佳的推力，因此我們修正槳骨兩側的形狀，製作出如圖 3-5 的斜面，讓攻角 α 接近 35 度。

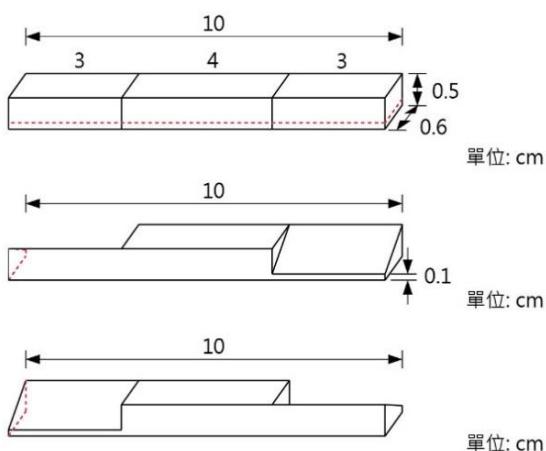
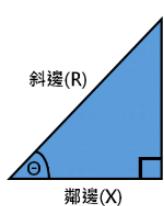


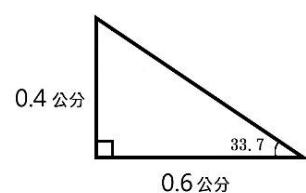
圖 3-5 的上圖是原型槳骨。
中圖是上槳骨的完成圖。
下圖是下槳骨的完成圖。

利用反三角函數的運算，得出 $\arccos(6/4)=33.7^\circ$ ，我們的攻角為 33.7° 。



$$\begin{aligned}
 \sin \theta &= \frac{Y}{R} & \csc \theta &= \frac{R}{Y} \\
 \cos \theta &= \frac{X}{R} & \sec \theta &= \frac{R}{X} \\
 \tan \theta &= \frac{Y}{X} & \cot \theta &= \frac{X}{Y}
 \end{aligned}$$

lazyorangelife[參考資料 12]



四、機翼的形狀

我們彙整會飛的動物翅膀的形狀，發現約可分為三類，如圖 3-6。

四邊形			
	林鵠	鶲鵠	貓頭鷹
三角形			
	杜鵑鳥	蜂鳥	小雨燕
拋物線形			
	鴿子	蜻蜓	金剛鸚鵡

圖 3-6 動物翅膀的幾何形狀的分類

我們依據形狀分類後，在同形狀下比較不同尺寸的飛行狀況，圖 3-7 是此次所要探討的機翼類型及尺寸。

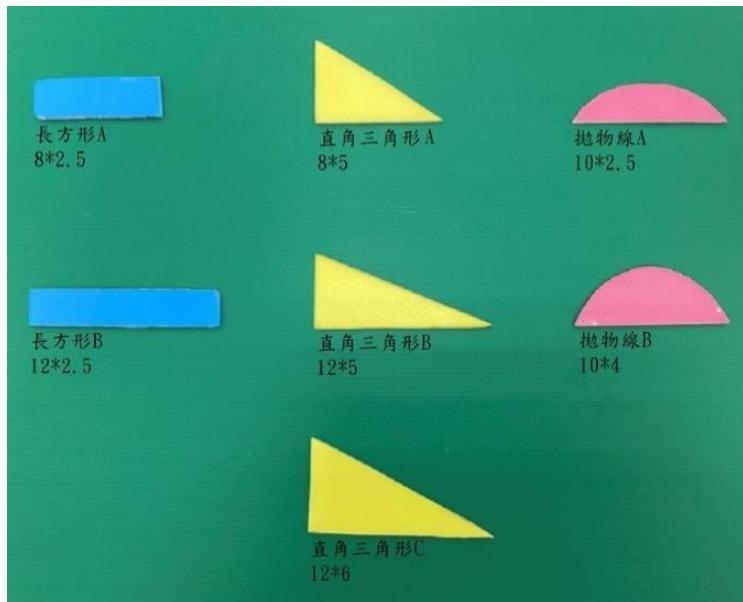


圖 3-7 機翼的形狀類別

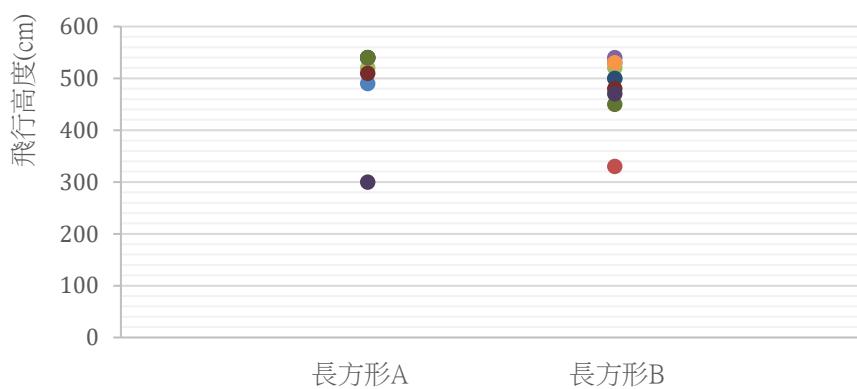
實驗地點為學校的禮堂內，室內高度約 600 公分，窗戶關閉只開放大門，室內風力流動可視為極微小，直升機飛行時若撞到物品墜落造成沒有完成飛行，則此次數據不列入考量，樣皮筋使用五次後也更換。飛行 10 次後的數據及分析圖如下：

操縱變因	機翼的形狀
控制變因	製作方式、製作材料、試飛者、飛行環境
應變變因	飛行高度及時間

機翼的形狀與尺寸及相關紀錄如下表：

排序	機翼形狀	尺寸(cm)	機翼 總重量(g)	直升機 重量(g)	飛行高度(cm)	飛行時間(秒)
1	長方形 A	8*2.5	1.0	5.9	490/540/520/540/540 540/540/510/540/300	3.8/4.1/4.2/4.5/4.2 4.7/4.5/4.3/3.5/2.9
2	長方形 B	12*2.5	1.7	6.5	530/330/520/540/500 530/500/480/450/470	7.7/7.6/7.5/7.5/7.8 6.9/7.2/6.9/6.8/7.4
3	直角 \angle A	8*5	1.1	5.9	520/500/540/490/360 410/460/560/510/520	5.5/5.5/6.0/5.6/5.9 5.5/5.4/6.0/5.8/6.2
4	直角 \angle B	12*5	2.1	6.8	550/550/530/520/260 230/230/160/250/430	5.3/6.7/7.0/7.5/4.7 4.0/6.7/4.3/7.5/7.8
5	直角 \angle C	12*6	2.2	6.9	480/510/460/500/530 300/310/310/340/250	6.6/6.5/6.2/7.2/6.8 6.4/5.8/7.3/7.1/6.5
7	拋物線形 A	10*2.5	1.3	6.1	210/420/310/280/420 360/530/260/190/240	4.1/5.3/4.8/3.8/4.9 3.0/4.1/4.5/3.6/4.8
8	拋物線形 B	10*4	1.6	6.3	330/510/500/510/310 430/380/460/310/310	4.8/5.3/5.7/5.6/5.6 5.4/6.3/6.4/5.5/5.5

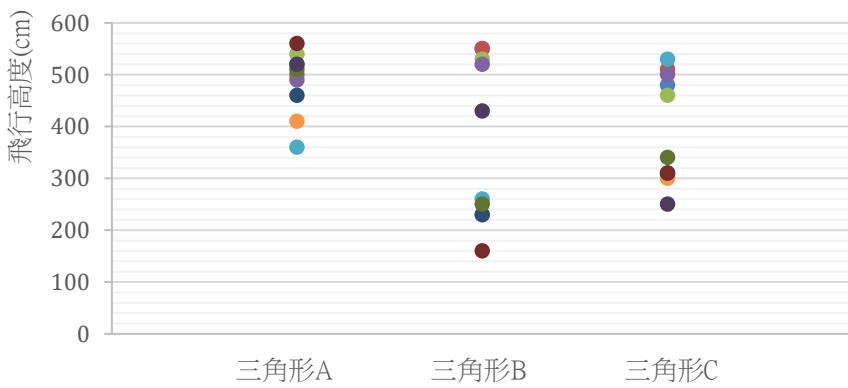
長方形機翼與飛行高度之關係圖



討論：

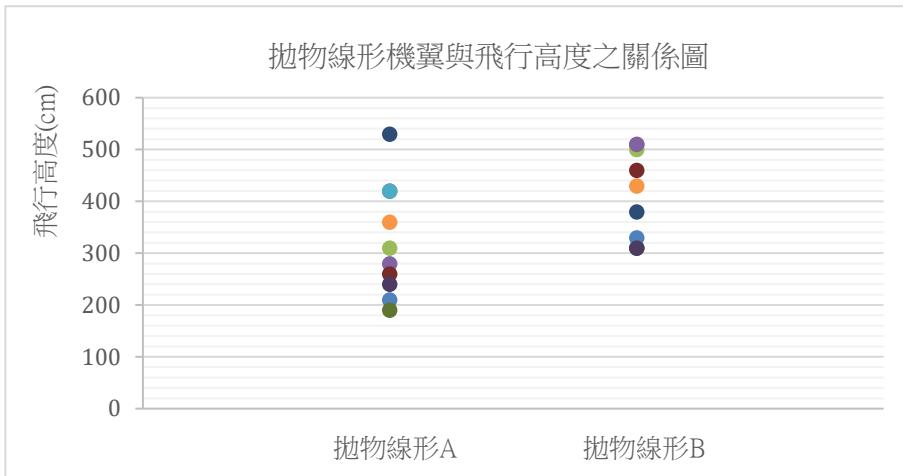
1. 長方形 A 飛行較穩定且高度較集中。
2. 長方形 A 平均飛行高度較高。

直角三角形機翼與飛行高度之關係圖



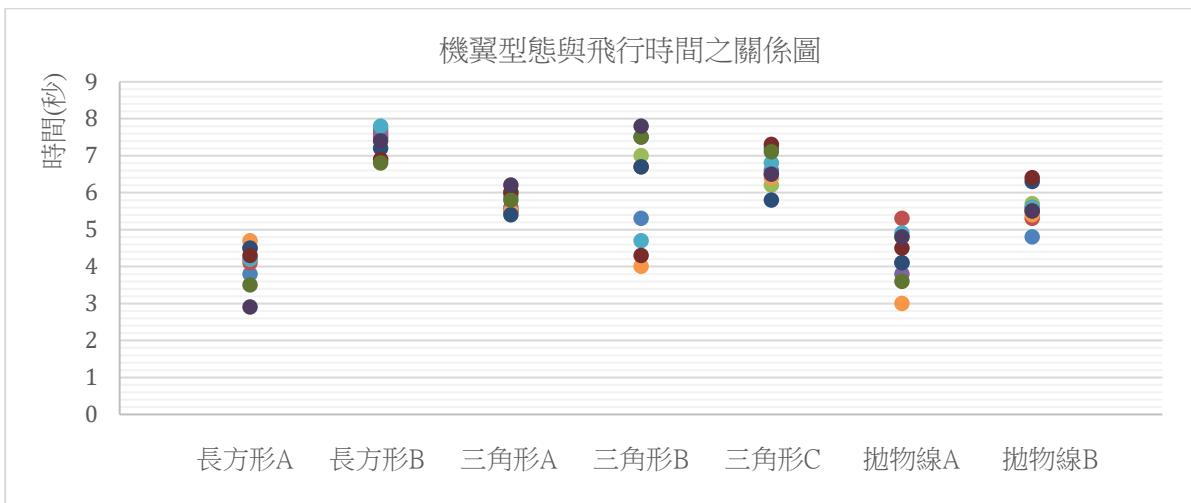
討論：

1. 三角形 A 飛行較穩定且高度較集中。
2. 三角形 A 的平均飛行高度比其他二者高。



討論：

1. 拋物線形 B 飛行較穩定且高度較集中。
2. 拋物線形 B 平均飛行高度較高。

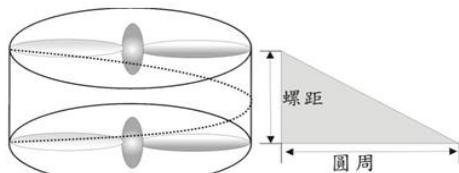


討論：

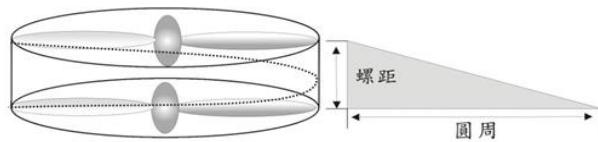
1. 長方形機翼的飛行時間差異最大。機翼短小的飛行軌跡是直線上升及下降，機翼較大有迴旋上升的軌跡，有時在最高點會平飛一段時間，但無動力後是直線下墜，所以飛行時間會拉長。
2. 三角形的飛行軌跡是弧線且在上空會定高盤旋，下降時有明顯的迴旋軌跡，且機翼越大的迴旋半徑越小。三角形 B 飛行時間較不穩定。
3. 拋物形 A 飛出即以拋物線軌跡飛行來降落，機翼較大者還有返回式的大迴圈軌跡。
4. 飛行時間長不代表飛行速度快，若只探討時間長短，長方形 B 的飛行時間最長且穩定。
5. 以此三類機翼形狀比較，拋物線形的飛行時間整體來說較短。

整合飛行高度與時間的分析，我們觀察出以下的現象：

1. 以飛行高度來看機翼形狀的選擇：三角形最好、拋物線形最差。
2. 機翼越大迴圈越明顯，迴圈越多，高度難提升，此現象符合斜面螺旋原理，如圖 3-8。
3. 三角形 A 的飛行高度雖優於長方形 A，但整體的飛行高度不穩定，且測試環境是在室內，無風力干擾，若二者同時遇到相同風力條件的干擾，以力的方向特性來分析，長方形 A 屬於直線飛行，長方形 A 的高度影響會較小。
4. 三角形 A 的飛行時間比長方形 A 長，三角形 A 的飛行速率比長方形 A 慢，若二者同時遇到相同風力條件的干擾，以力的大小特性來分析，兩機型的重量相當，長方形 A 的高度影響會較小。
5. 整合觀察結果，飛行速率較快的是長方形 A。



直徑較短的螺旋槳像陡斜坡，費力省時。



直徑較長的螺旋槳像平緩斜坡，省力費時。

圖 3-8 機翼長度與迴圈的關係[參考資料 4]
機翼長度越長，迴圈越密集。

用拍攝方式記錄直升機的飛行軌跡：

(一)、長方形機翼的飛行軌跡：直線上升或小迴旋上升、直線下降



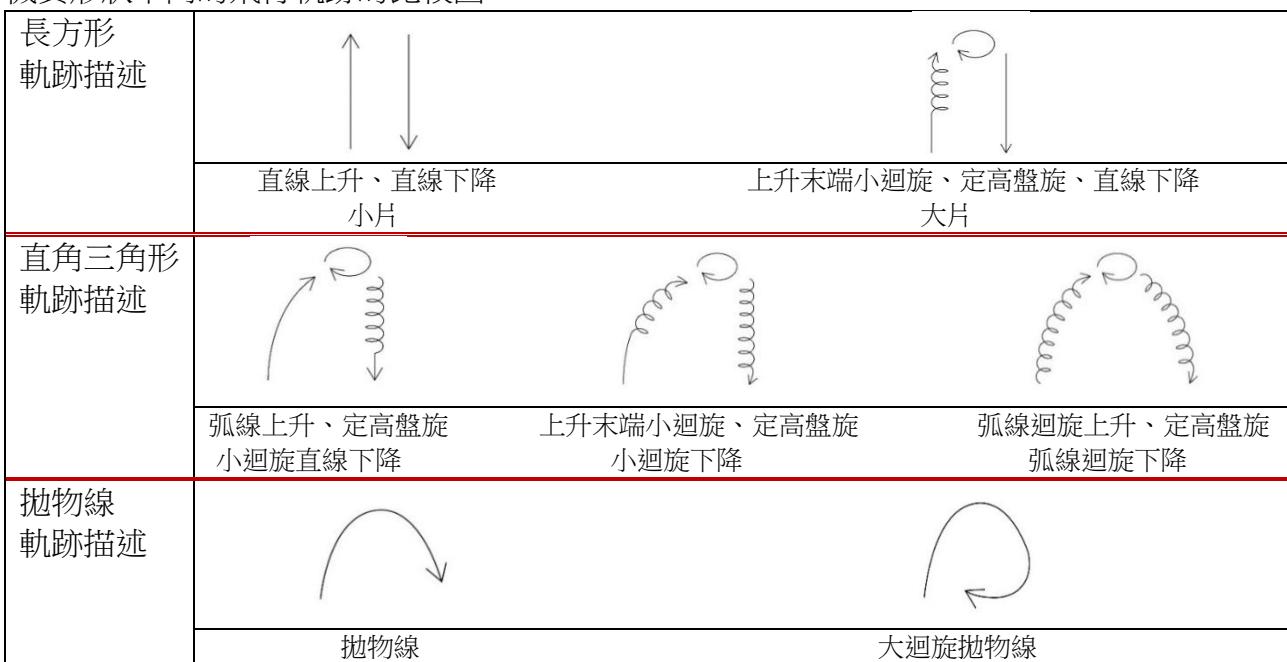
(二)、直角三角形機翼的飛行軌跡：弧線上升、迴旋下降



(三)、拋物線機翼的飛行軌跡：拋物線加上大迴旋的上升及下降



機翼形狀不同的飛行軌跡的比較圖：



五、機翼的數量

現行的直升機及無人機的機翼都為多數，因此我們想探討機翼的數量，看直升機的飛行有何改變。根據機翼形狀及尺寸的探究後，我們採用可直線飛行，且轉速較快的長方形 A 來製作。

(一)、槳骨數量改變

由於增加槳骨的數量會增加直升機的重量，直升機重量若接近 7 克，直升機飛高的機率降低，我們找到巴爾沙木，它的密度比飛機木小且較軟，但切割時易斷，槳骨原本的設計是 10 公分*0.6 公分*0.5 公分(長*寬*高)，但在切割寬時，槳骨斷了很多次，因此寬改為 1.0 公分，且發現若是順著木頭紋路切割，與紋路垂直的邊會因順紋的關係而斷裂，因此我們將槳骨十字型旋轉 45 度畫在飛機木上，避開在切割時因順紋斷裂的現象；為了符合攻角是 35 度，也將槳骨斜面的設計修改，側面圖 3-9 如下：

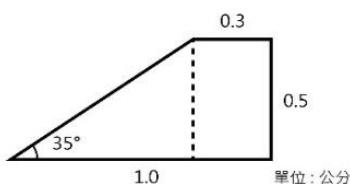
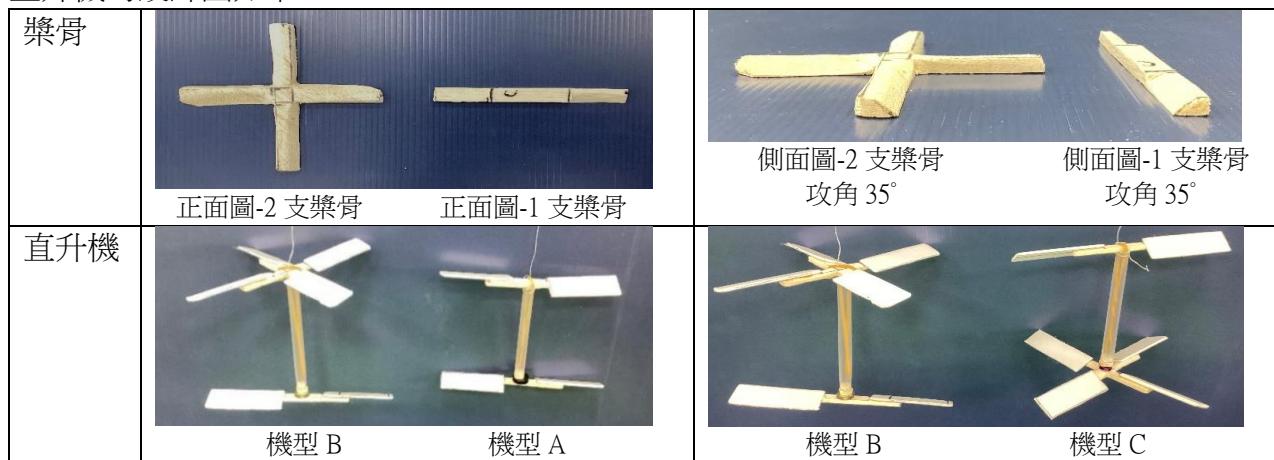


圖 3-9 槳骨的側面圖

直升機的設計圖如下：

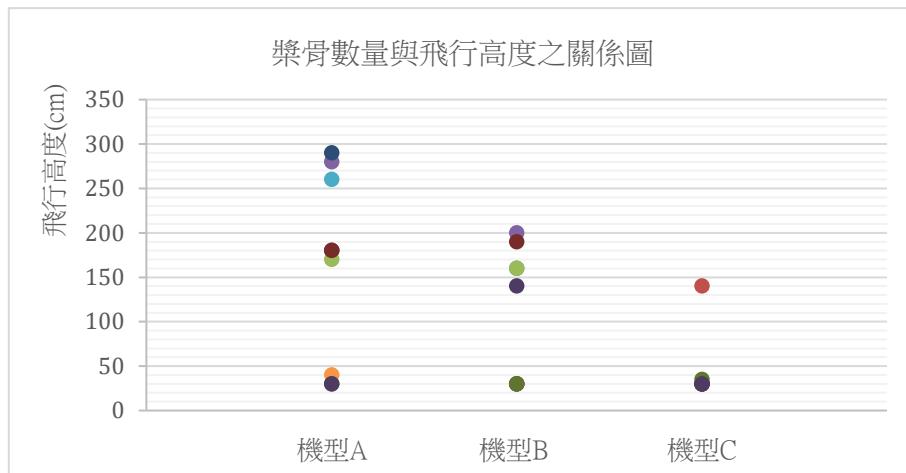


飛行 10 次，中途不需更換橡皮筋，其數據及分析圖如下：

操縱變因	槳骨的數量
控制變因	製作方式、製作材料、試飛者、飛行環境
應變變因	飛行高度及時間

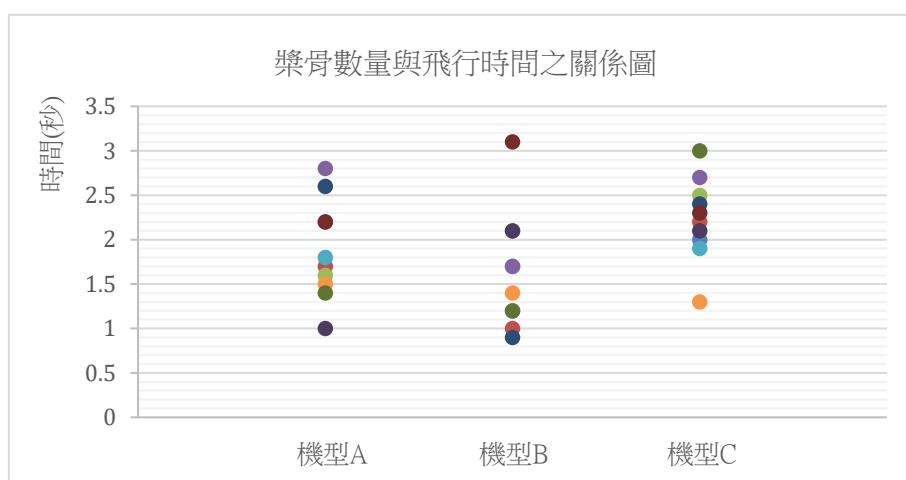
槳骨的數量與尺寸及相關紀錄如下表：

排序	槳骨數量	機翼尺寸(cm)	總重量(g)	飛行高度(cm)	飛行時間(秒)
機型 A	上槳骨 1	8*2.5	5.6	180/180/170/280/260	2.2/1.7/1.6/2.8/1.8
	下槳骨 1			40/290/180/30/30	1.5/2.6/2.2/1.4/1.0
機型 B	上槳骨 2	8*2.5	6.8	160/30/160/200/30	1.7/1.0/2.1/1.7/1.2
	下槳骨 1			30/30/190/30/140	1.4/0.9/3.1/1.2/2.1
機型 C	上槳骨 1	8*2.5	6.8	30/140/30/30/30	2.0/2.2/2.5/2.7/1.9
	下槳骨 2			30/30/30/35/30	1.3/2.4/2.3/3.0/2.1



討論：

1. 機型 A 的飛行軌跡是高拋物線。
2. 機型 B 的機頭較重，直升機一放手，無法直飛，飛行軌跡是低拋物線。
3. 機型 C 的總重量快接近 7.0 克，飛行軌跡是低空盤旋。
4. 槳骨數量少可飛行的高度較高。



討論：

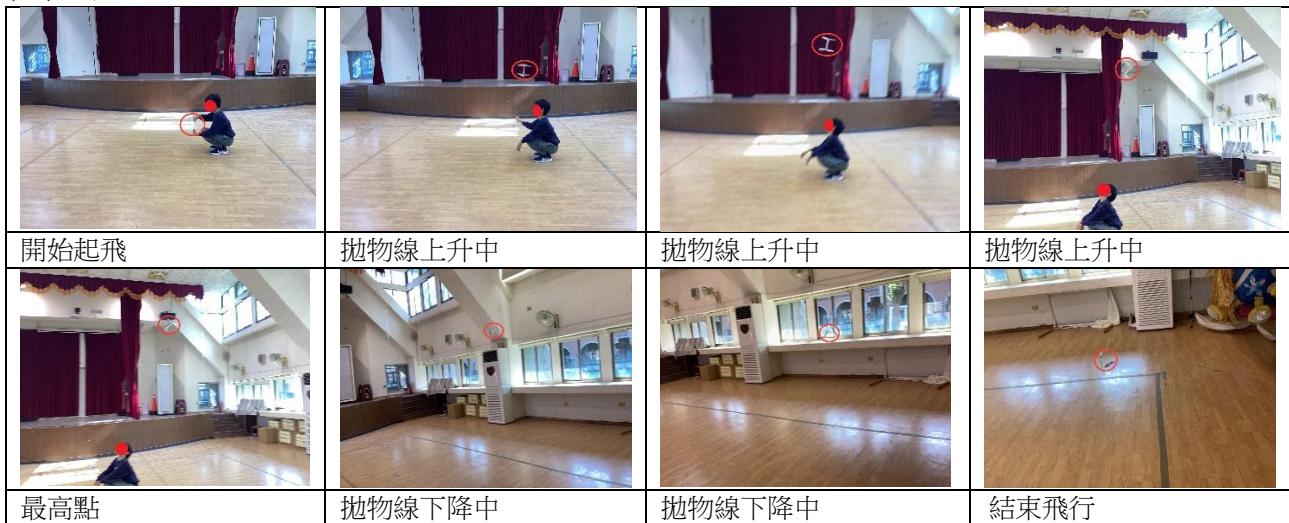
1. 三種機型所花的時間離散性很高，表示不穩定。
2. 機型 B 飛行時間短，是因直升機無法飛高，墜落至地面後仍有動力。
3. 機型 C 雖飛行時間長，但幾乎是花在低空盤旋上。

整合飛行高度與時間的分析，我們觀察出以下的現象：

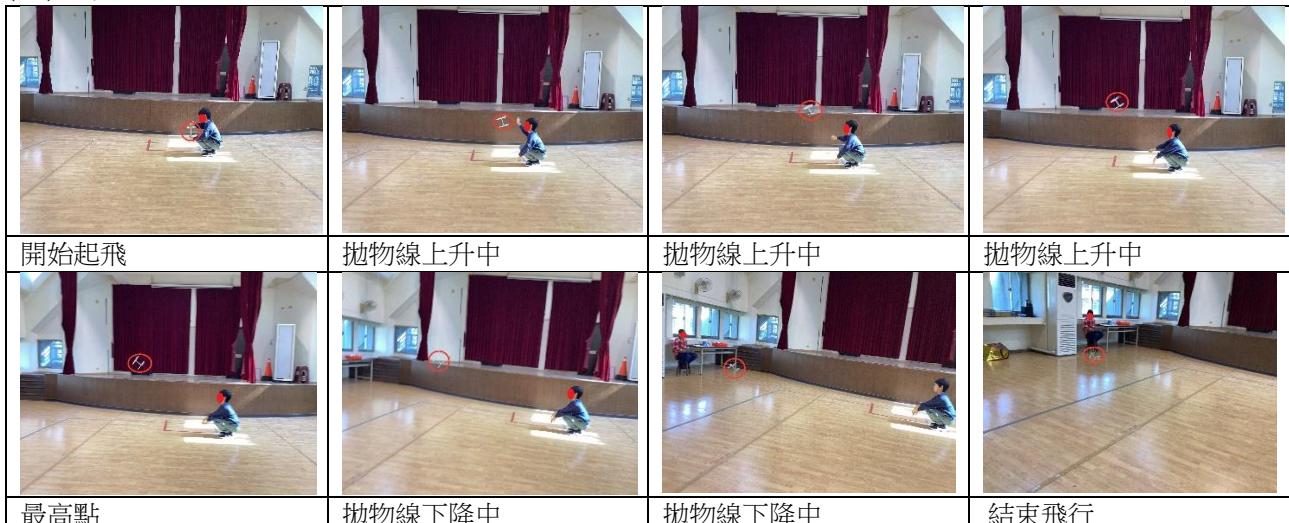
1. 以飛行高度來看槳骨數量的選擇：上、下都 1 支 2 翼較優。
2. 由於槳骨的寬度變大，使槳骨與吸管的連接方式改變，原本是吸管剪凹槽，讓槳骨卡住，寬度變大後，採用吸管開花黏住槳骨，這樣橡皮筋迴圈時，易帶動槳骨滑動，使飛行軌跡無法直線而成拋物線，且飛行動力會損耗在橡皮筋與吸管間的摩擦力，而使飛行高度降低。
3. 上和下是 2、4 翼組合的直升機總重量接近 7.0 克，推力無法遠大於重力，因此飛行高度不高。

用拍攝方式記錄直升機的飛行軌跡：

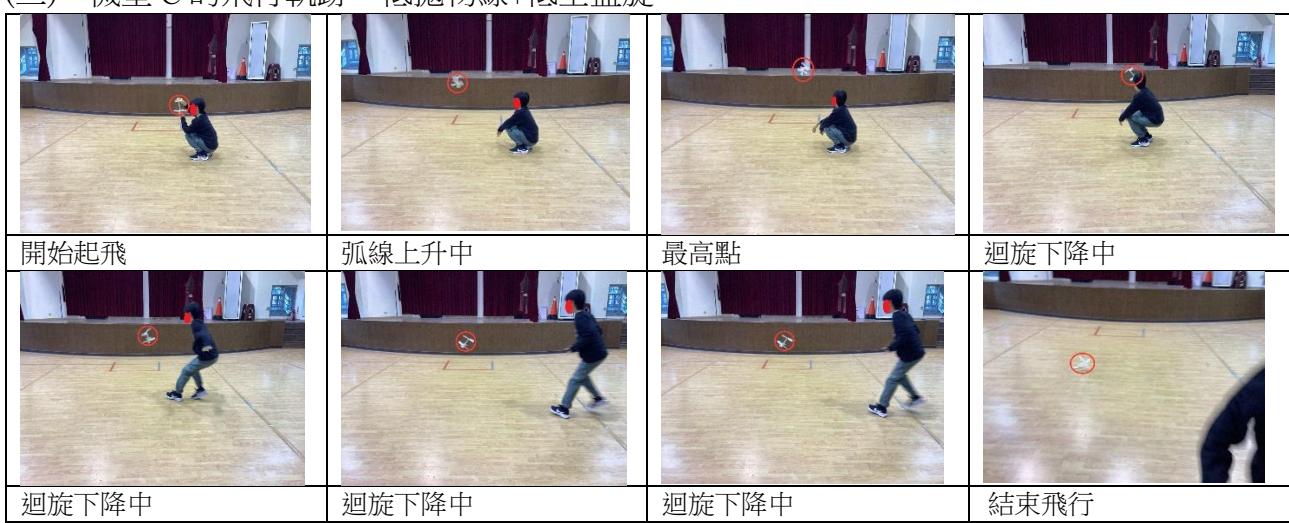
(一)、機型 A 的飛行軌跡：高拋物線



(二)、機型 B 的飛行軌跡：低拋物線

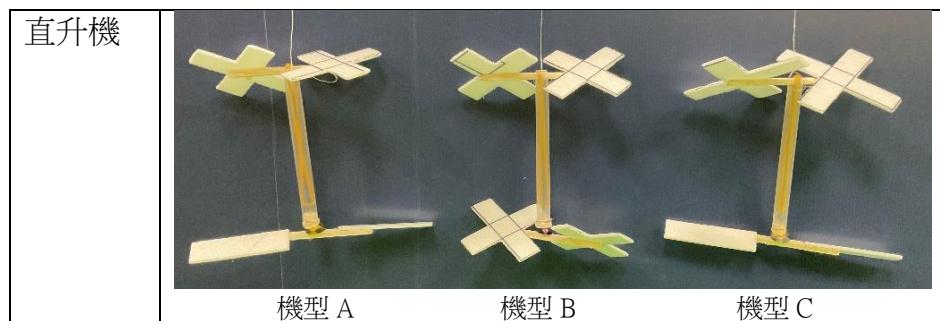


(三)、機型 C 的飛行軌跡：低拋物線+低空盤旋



(二)、機翼數量改變

由於增加槳骨的數量會導致直升機總重量增加，而使飛行高度不高，所以我們改採用增加機翼數量，2 個機翼整合成十字形，2 個十字形視為 4 個機翼，與槳骨(巴爾沙木)為 45 度角黏合，攻角約 35 度，機翼設計圖如下：



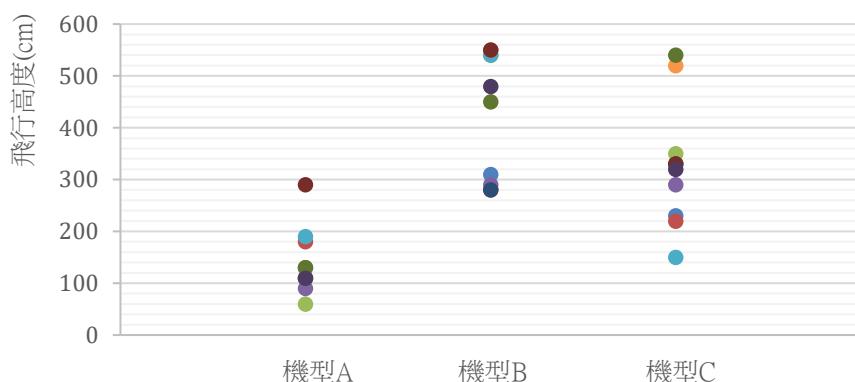
飛行 10 次，飛行 5 次後更換橡皮筋，其數據及分析圖如下：

操縱變因	機翼的數量
控制變因	製作方式、製作材料、試飛者、飛行環境
應變變因	飛行高度及時間

機翼的數量與尺寸及相關紀錄如下表：

排序	機翼數量	機翼尺寸(cm)	總重量(g)	飛行高度(cm)	飛行時間(秒)
機型 A	上機翼 4	8*2	5.3	130/180/60/90/190	2.7/2.6/2.2/2.1/2.5
	下機翼 2			110/110/290/130/110	2.2/2.5/4.0/2.8/2.9
機型 B	上機翼 4	8*2	5.8	310/280/540/290/540	3.4/2.6/3.7/3.2/3.5
	下機翼 4			550/280/550/450/480	3.7/3.7/3.8/4.1/3.6
機型 C	上機翼 4	上 10*2 下 8*2	5.8	230/220/350/290/150	4.0/3.9/4.1/3.6/3.7
	下機翼 2			520/330/330/540/320	5.0/4.6/4.1/4.9/4.5

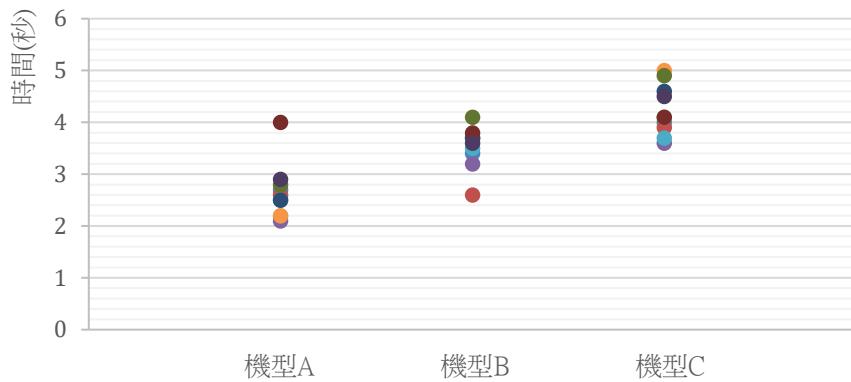
機翼數量與飛行高度之關係圖



討論：

- 機型 A 的飛行高度最低，且是拋物線軌跡，墜落至地面後仍有動力。
- 機型 B 的飛行高度最高，衝力大且斜拋線上升。
- 機型 C 的飛行軌跡是弧線出發，中途會迴旋上升。

機翼數量與飛行時間之關係圖



討論：

1. 機型 A 飛行動力沒有用完，所以所花的時間最短。
2. 機型 B 和 C 都有完整飛行，型 C 的飛行軌跡有迴圈，所以花的時間較長。

整合飛行高度與時間的分析，我們觀察出以下的現象：

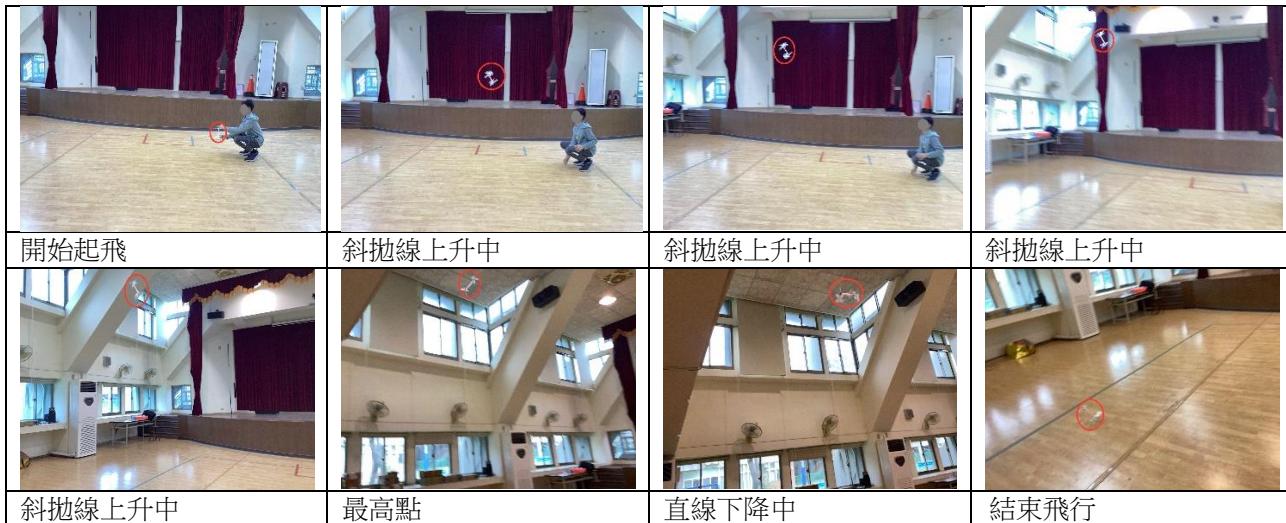
1. 以飛行高度來看機翼數量的選擇：上、下都 4 翼較優。
2. 上 4 機翼的型 C(10 公分)比型 A(8 公分)的飛行高度高，不過也展現出機翼長度越長，迴旋軌跡越明顯。
3. 上和下是 4 機翼的飛行高度高，斜拋線上升的軌跡且時間短(平均 3.5 秒)，飛行速率快、衝力大。
4. 我們驚訝的是機型 C 的飛行軌跡，竟然可以在弧線的最高點再轉迴旋向上飛行。

用拍攝方式記錄直升機的飛行軌跡：

(一)、機型 A 的飛行軌跡：拋物線



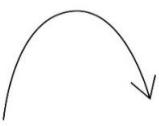
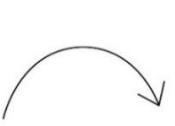
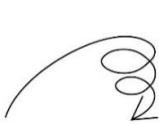
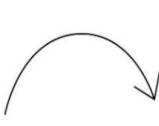
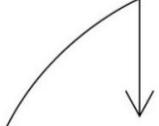
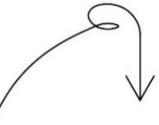
(二)、機型 B 的飛行軌跡：斜拋線上升、直線下降



(三)、機型 C 的飛行軌跡：弧線+迴旋上升、直線下降



機翼數量不同的飛行軌跡比較圖：

機型 槳骨數	A 上1、下1	B 上2、下1	C 上1、下2
槳骨數不同 軌跡描述			
	高拋物線	低拋物線	低空盤旋
機翼數	A 上4、下2	B 上4、下4	C 上4、下2
機翼數不同 軌跡描述			
	低拋物線	斜拋線上升、直線下降	弧線+迴旋上升、直線下降

肆、討論

一、我們依據參考資料粗略做出可飛高的直升機，在過程中發現不少問題，經由團隊的討論，解決一些製作方法及操作上的問題，透過深入探討一些操縱變因，想讓直升機可飛行的狀態標準化，以下是實作後的討論：

(一)、橡皮筋式樣的選擇

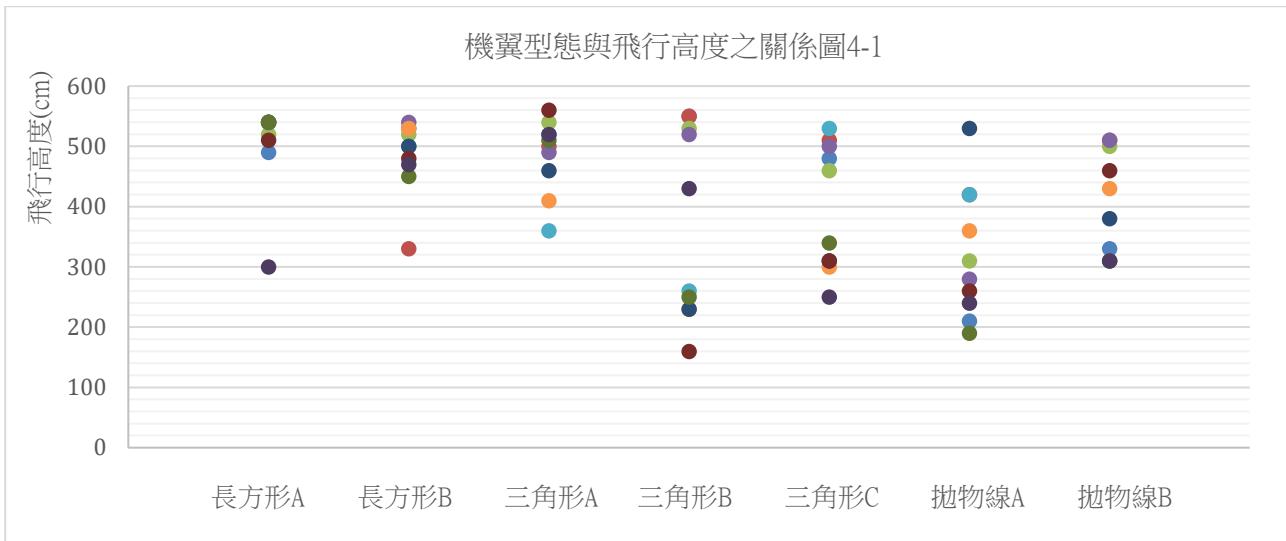
- 1.市面上可選擇的橡皮筋不少，但不是延展性較佳的最好，還是經過彈力測試找出符合虎克定律的為優。
- 2.在網路上有找到多條橡皮筋為動力的直升機報告，與我們的預測結果相同，因此在此報告中沒深入探究。

(二)、橡皮筋圈數的選擇

- 1.圈數並非越多越好，需考慮轉圈後橡皮筋會縮減長度，且需拉至與機身同長度，經多次飛行後，會加速橡皮筋的彈性疲乏。
- 2.圈數越多釋放後的迴旋空間須越大，所以機身的管徑會影響釋放後的迴旋空間，若迴旋不順讓橡皮筋卡住，直升機會失去動力而直接下墜。
- 3.以長 12 公分的橡皮筋為例，在粗吸管直徑 1.1 公分，機身的長度為 13-14 公分為佳。

(三)、機翼形狀與尺寸的選擇

- 1.飛行高度和時間較穩定的是長方形機翼。直角三角形機翼有最高的飛行高度，但不穩定，如圖 4-1。
- 2.機翼長度以 8 公分較佳，機翼越長，除了讓直升機越重外，不易飛高且飛行高度不穩定，發現機身總重接近 7.0 克，飛行高度會大幅降低。
- 3.機翼越長飛行軌跡迴旋的現象越明顯，其中三角形有很明顯的迴圈軌跡，會增加飛行時間，使飛行速率變慢。
- 4.飛行速率最快的是長方形且機翼尺寸為 8 公分*2.5 公分。
- 5.在室外有風的影響下，建議飛行軌跡是直線上升且速率較快的長方形機翼為佳。



(四)、機翼數量的選擇

A. 漿骨數量改變：

1. 直升機上方的漿骨數越多，導致前方機頭越重，飛行軌跡為拋物線，常動力未使用完卻已完成飛行(掉落地面)。
2. 直升機的下方漿骨數越多，飛行無法拉高且軌跡有低空盤旋的現象。
3. 增加漿骨數主要影響機身的重量，除非增加推力來源，不然飛行高度無法增加。
4. 以目前的資源，設計上、下的漿骨數以一支為優。

B. 機翼數量改變：

1. 由於機翼的材質是質地輕的珍珠板，配合密度小的巴爾沙木，既使是多機翼，整體重量仍在 6.0 克內。
2. 上、下機翼數量一樣多，飛行軌跡較趨近直線，且飛行時間短，有較快的飛行速率和較大的衝力。
3. 上機翼數量多於下機翼，飛行軌跡為拋物線或弧線，難拉高飛行高度。

(五)、試飛者的標準作業流程

1. 機身(吸管)與漿骨和地面都需保持垂直。
2. 扭轉橡皮筋圈數時，橡皮筋不能纏到鐵絲，以免直升機失去動力。
3. 飛機起飛處需離地面一段距離，譬如 30 公分。
4. 機翼開始旋轉時，握下旋翼的手需先放，上旋翼需手持起飛。
5. 身體與直升機需有段距離以避免機翼打到身體。

伍、結論

- 一、直升機的動力是靠橡皮筋扭力的釋放，彈力曲線除了符合虎克定律外，也需注意彈性疲乏的情況，才能降低直升機動力的耗損。
- 二、橡皮筋扭轉圈數太多會影響扭力運作的平順，需考慮圈數迴圈的空間及機身的長度，若扭力不平順會失去動力而墜機，因此動力增加可以考慮多條橡皮筋的使用。
- 三、直角三角形機翼的飛行軌跡迴旋有很明顯的迴旋現象，且機翼越長迴圈半徑越小，在飛行的最高點有盤旋趨勢，會增加飛行的時間，使飛行速率變慢。
- 四、直角三角形機翼二邊長 8 公分*5 公分，最高的飛行高度達到 600 公分以上，但飛行速率比同長邊的長方形慢，若在有風的情況下，建議採用可直線上升飛行的長方形機翼。
- 五、拋物線形機翼的飛行軌跡是拋物線，機翼越大有大迴旋下降的現象，且整體的飛行高度是最低的。
- 六、任何形狀的機翼越大(10 公分以上)，並無法提高飛行高度，因機身總重量是很大的考量，不過飛行有明顯的迴圈軌跡，可延長飛行時間。
- 七、若整體直升機的重量在 6.0 克以內，機翼可為多數，不過建議上、下機翼數量一樣，飛行軌跡可為直線，且速率快、衝力大。
- 八、若需有穩定飛行高度和時間，建議長方形機翼，長 8 至 10 公分，寬 2.5 至 3 公分，直升機總重量小於 6.5 克，一條橡皮筋扭轉 100 圈，可飛高 550 至 600 公分。

陸、參考文獻資料

1. 李彥霆、劉上猷、林恆、吳肇祐(2007)。哆啦 A 夢的時光機-雙翼反轉直升機。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會 作品說明書，國小組 自然科。
2. 彭勇誠、林昱勳、謝竣宇(2012)。平步蜻雲。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書，國中組 物理科。
3. 海蒂.奧林傑(Heidi Olinger)(2020)。天才達文西的科學教室:向科學家一樣，發明、創造和製作 STEAM 科展作品。新北市:快樂文化出版。
4. 陳介宇、廖琬柔、簡資蓉、陳建宏(2010)。搶救地球±2°C—風動全球。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會 作品說明書，高中組 生活與應用科學科。
5. LIS 情境科學教材。虎克定律影片—虎克如何觀察彈簧並提出虎克定律？2024 年 12 月 8 日，取自:<https://lis.org.tw/posts/110>
6. 翰林雲端學院。高中物理 - 虎克定律。2024 年 12 月 8 日，取自：<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E9%AB%98%E4%B8%AD/%E7%89%A9%E7%90%86/%E8%99%8E%E5%85%8B%E5%AE%9A%E5%BE%8B.html>
7. PS 泛科學 (2015)。飛機，白努力定律。2024 年 12 月 8 日，取自：<https://pansci.asia/archives/86419/airplane>
8. 飛行薯仔的航空筆記(2020)。空氣動力學超入門#7。2024 年 12 月 8 日，取自:<https://flying609.wordpress.com/2020/12/28/%E7%A9%BA%E5%8B%95%E8%B6%85%E5%85%A5%E9%96%807-%E5%8D%87%E5%8A%9B%E7%9A%84%E7%94%A2%E7%94%9F%E5%8E%9F%E7%90%86lift-theories/>
9. 飛行薯仔的航空筆記(2021)。空氣動力學超入門#8。2024 年 12 月 8 日，取自:<https://flying609.wordpress.com/2021/01/12/%E7%A9%BA%E5%8B%95%E8%B6%85%E5%85%A5%E9%96%808-%E6%A9%9F%E7%BF%BC%E7%9A%84%E6%A9%AB%E5%88%87%E9%9D%A2-%E7%BF%BC%E5%BD%A2airfoil/>
10. 維基百科。攻角。2024 年 12 月 8 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%94%BB%E8%A7%92>
11. slideshare(2013)。空中運輸與飛行原理。2024 年 12 月 8 日，取自：<https://www.slideshare.net/slideshow/ss-27360071/27360071>
12. lazyorangelife 文章(2021)。反三角函數計算器【輸入數值自動計算】。2024 年 12 月 8 日，取自: <https://lazyorangelife.com/inverse-trigonometric/>
13. 高中物理 橡筋動力直升機。2024 年 12 月 8 日，取自:<https://www.youtube.com/watch?v=4Jb4F0iKQtE>

附錄、研究心得

甲同學：

在實驗的過程中常遇到各種問題，而我印象最深刻的是割四旋翼槳骨的時候，原本我們用鋸子鋸槳骨的寬，但換了不同的飛機木(巴爾沙木)後，在鋸的過程中，槳骨常在不經意中「啪」就斷了，我們小心再小心還是斷了，換用小刀將飛機木一小段一小段的割，還是斷了，因飛機木的質地很輕，密度較小，遇到逆紋切割時，雖刀子沒有割到做記號的地方，但鋸痕會沿著紋路延伸而讓槳骨斷掉，我們不死心試了又試，每次都期盼奇蹟出現，但…就是沒有。最後老師說要不要試試將寬度加大到 1.0 公分?我們還是不敢用鋸子切割(用鋸子較省力且快完成)，只用刀子一步一腳印慢慢做，但還是折損了兩名大將，到第三位夥伴才讓四旋翼槳骨完成一片，完成那時，看到大家眼中閃爍的光芒(不知是淚水還是驚訝的光彩)，真的是太感動了，我們做到了，不過還有打磨的工作，我們還不能放鬆，工作還是要繼續……。

我發現團隊合作很重要，如果少了一位組員，實驗就不容易完成。在製作的過程中會遇到一些問題，每位組員都想付出自己的所長和力量，會義不容辭地挺身幫忙，讓我們可以順利的完成科展活動，雖其中有人控制變因沒掌控好，而讓我們假日來補班，但藉由討論、實作，不斷的深入研究且挖掘可行的研究方向，讓我透徹的了解流體動力學的原理，我好喜歡這次的科展(這是第二次參加)，希望以後也可以應用在生活中上。

乙同學：

原本我只認識團隊中一人，但在這裡有人搞笑讓人開心、有人被捉弄讓人生氣、有實作失敗讓人沮喪，喜怒哀樂各種心情都有，現在彼此都非常了解，連對吃的東西好惡都瞭若指掌。

我們的第一道難題是決定主題，有人堅持研究空氣動力，剛開始我們分兩組製作直升機，但我這組不是飛不起來就是往下飛，一直往增加橡皮筋圈數是否可飛起來的方向著手，但屢屢讓我洩氣，經由另一組的提點，他們發現我們這組的槳骨上下邊擺錯了，才解決了困境。這讓我了解到遇到困難的事時，可以找人幫忙，不要單打獨鬥，要懂得合作。在探究的方向也是透過大家的集思廣益，才有這麼多的發現，且做事要多方面思考，不能死板板的做無謂的思考，要懂得轉彎，問題才有可能解開。

丙同學：

我們做出的直升機本在教室實驗，因為有些直升機的飛行高度會打到教室的天花板，無法完整測出那台直升機的最高飛行高度，因此我們將實驗地點改在兩層樓高的禮堂，且樓上與樓下各有一位夥伴看飛行高度，讓高度的數據有公正性，超開心我們做的直升機可以飛的那麼高。我們也因一個疏忽：控制變因沒有一致性-「直升機主體的吸管長度不一」，影響整體直升機的重量，而讓第一階段的數據全部重做，連假日都來學校趕工。

一個團隊中如果要事情做得快，要懂得工作分配，我們這次在製作第一階段實驗時，因為要重做很多台直升機，機翼、槳骨、機身各有負責的人，大家認養自己擅長的事情，所以效率非常高，我非常喜歡這樣的分工。不過缺點是負責工作的人若請假，大家需要能馬上接手他的工作，所以我們也養成十八般武藝都要會。

在做四旋翼槳骨時，一直割斷槳骨，讓我戰鬥力不斷下降，嚴重打擊我的士氣，還好有夥伴接續的支援，才讓槳骨好不容易的誕生。整個實驗過程中我感受到一件事情要成功不是只要一種狀況吻合，還需多方條件的配合，這打破我以往的認知，讓我的收穫一次比一次多(這是我第二次參加科展)。

丁同學：

團隊中有三位六年級的學長，我原本以為我們不能打成一片，結果沒想到現在竟然變成會互相吐嘲的朋友，我非常珍惜這段友誼。

在製作橡皮筋動力直升機時，我們遇到很多問題，但靠著夥伴彼此的合作，一一克服了。製作第一階段時，橡皮筋常在扭力迴圈時，扭斷鐵絲，我們試了好幾款的鐵絲粗度，也調整吸管長度，還發現需下旋翼的鐵絲回勾不能太長，才降低直升機的損耗。在四旋翼槳骨要與吸管結合時又遇到問題，槳骨太大無法與吸管密合，造成橡皮筋的扭力無法帶動槳骨旋轉，大家又集思廣益，想啊想…，才又解決問題。這讓我發現團隊合作很重要，因夥伴們能支援你很多不太會的地方，當共同完成一件事，大家會超開心的。

我還發現對事情的瞭解不能只看現在就做決定，像在選擇哪一種機翼形狀較適合飛行時，除了分析數據外，還需看飛行的環境，才能找出最佳的狀況。在團隊中，老師還會刺激我們思考，提出好多問題，害我們一直找資料、討論、試做，讓一件事情的思考方向發展出多樣性，這是我在這裡感受最深的想法：一件事情不一定只能這樣做，還有其他的可能！