

嘉義縣第 55 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

組 別：國中組

作品名稱：破解橡皮筋螺旋槳飛機的密碼

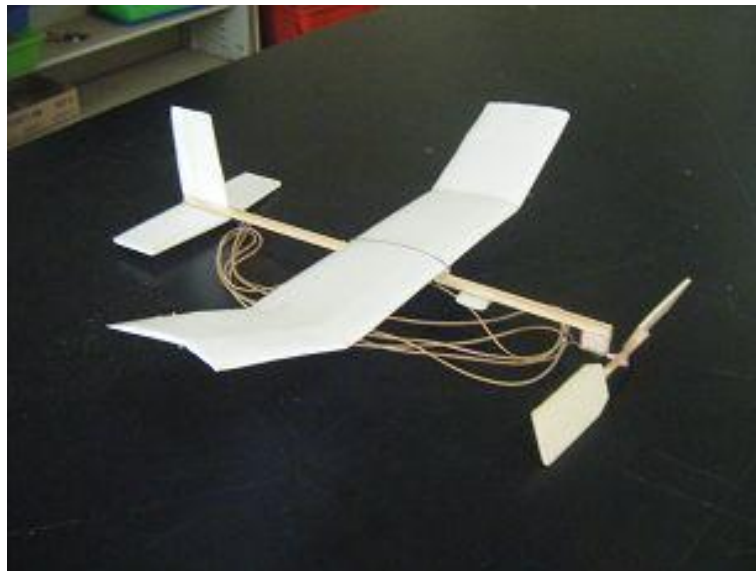
關鍵詞：橡皮筋 螺旋槳

編號：

# 破解橡皮筋螺旋槳飛機的密碼

## 摘要

橡皮筋螺旋槳飛機是具備動力的飛機，但是螺旋槳產生的拉力可能會造成飛機升力過大，使得飛機翻轉或失速墜地，而解決這個問題的秘訣是讓飛機盤旋上升，因為飛機的升力分散出盤旋的力，如此升力會變小。盤旋上升的第一種情況為橡皮筋拉力小於飛機重量時直接調整方向舵右轉，第二種情況為橡皮筋拉力大於飛機重量時調整方向舵右轉和向右傾斜發射，第三種情況為橡皮筋拉力小於飛機重量的  $1/3$  時飛機升力不夠無法飛行。而螺旋槳的葉片傾斜  $20$  度、面積為長  $7$  公分，寬  $3$  公分，旋轉半徑  $8$  公分最好。動力方面可使用一般市面上的橡皮筋飛行效果也不錯，缺點是比專業的橡皮筋容易斷。



## 壹、研究動機

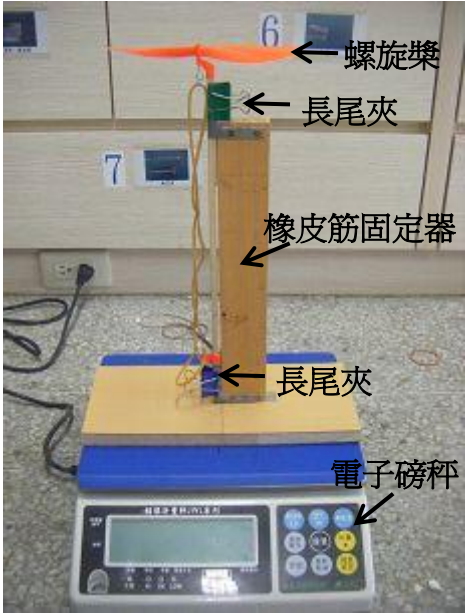
去年學校舉辦參觀高雄科工館的活動，在藝品販賣部看到橡皮筋螺旋槳飛機，看完說明書之後覺得橡皮筋轉一轉就可以飛很新奇，買回家之後組合試飛，發現根本飛不起來。因此上網搜尋有關橡皮筋螺旋槳飛機的資訊，但大部分都是販賣飛機材料包，我希望可以完全自己製作飛機包括螺旋槳，於是與老師、同學們討論後決定以製作橡皮筋螺旋槳飛機為主題進行相關的飛行試驗，探討飛機如何可以簡單製作、如何發射且飛得久，希望未來可以讓同學以簡便的方法製作橡皮筋螺旋槳飛機，體驗不同的飛行樂趣。

## 貳、研究目的

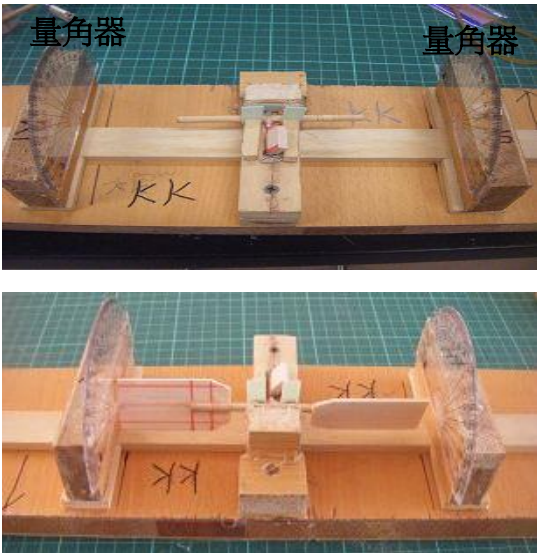
- 一、探討橡皮筋捲繞釋放能量與螺旋槳旋轉產生拉力的關係
- 二、探討自製螺旋槳與其旋轉產生拉力的關係
- 三、探討自製橡皮筋螺旋槳飛機在室內飛行的狀況
- 四、探討自製橡皮筋螺旋槳飛機在室外飛行的狀況

## 究設備及器材

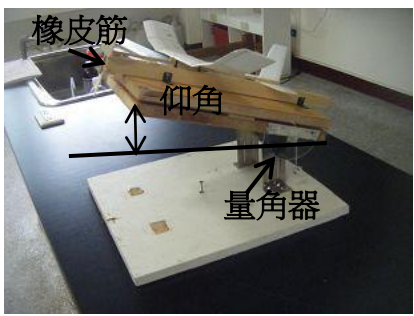

- 一、飛機材料：厚度 3mm 的珍珠板（主翼、水平尾翼、垂直尾翼），厚度 2mm 的巴爾沙木（螺旋槳葉片），厚度 5mm 的巴爾沙木（主翼台，螺旋槳軸與機身黏接），鉛線（螺旋槳軸），原子筆心，塑膠圓珠子，衛生筷，5mmx5mm 的松木（機身），橡皮筋，束緊帶。
- 二、其他工具：切割墊（40x60 公分），SDI 0439C 專業用細工刀(30°角)，鐵尺（30 公分和 60 公分），熱融膠，砂塊，剪刀，平口鉗，斜口鉗，照相機，攝影機，計時器，皮尺，風速計，手搖鑽，威力導演軟體
- 三、自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器

圖示	說明
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、使用市面販售的橡皮筋動力飛機，拆掉主翼和尾翼，剩下機身和螺旋槳。</li> <li>2、使用長尾夾將機身和螺旋槳夾在木頭上。</li> <li>3、最後將整個儀器放在電子磅秤上。</li> <li>4、原理：捲繞橡皮筋釋放時會帶動螺旋槳旋轉，而螺旋槳旋轉會產生向上的升力，進而使電子磅秤的重量減輕，如此可計算出捲繞的橡皮筋釋放時產生的拉力，即是飛機向前飛行的拉力。</li> <li>5、因為電子磅秤的數字很快，肉眼無法看出，因此利用攝影機拍攝電子磅秤的數字變化，再利用威力導演的軟體將影片分格讀出數字的變化。</li> </ol>

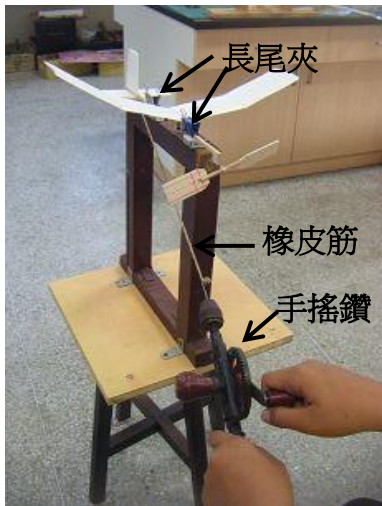
## 四、自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器

圖示	說明
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、此裝置目的是為了讓螺旋槳左右兩邊的葉片傾斜角度相同。</li> <li>2、儀器的兩邊放置量角器，量角器設計可因螺旋槳葉片的長度大小而移動。</li> <li>3、使用方法為先將螺旋槳軸心固定在儀器上，再將螺旋槳葉片依所需的傾斜角對準量角器黏在衛生筷。</li> </ol>

## 五、自製橡皮筋動力飛機發射台

圖示	說明
<p>側面圖</p>  <p>正面圖</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、此裝置目的是為了測量橡皮筋螺旋槳飛機發射的仰角和傾斜角度。</li> <li>2、利用水火箭的發射器製作可調整飛機發射的仰角，儀器旁有量角器可測量發射仰角。</li> <li>3、利用門軸可使發射台產生傾斜，儀器後面有量角器可測量發射傾斜角度。</li> <li>4、發射台前端設置有橡皮筋，可利用橡皮筋發射飛機。</li> </ol>

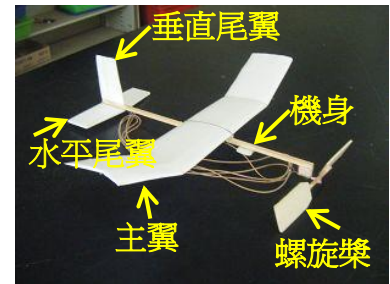
## 六、自製捲繞橡皮筋的儀器

圖示	說明
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、此裝置目的是為了個人可單獨捲繞橡皮筋，不需旁人幫忙握住飛機，甚至可加快捲繞橡皮筋的速度。</li> <li>2、使用方法是利用長尾夾將飛機夾在儀器上，再使用手搖鑽旋轉橡皮筋。</li> <li>3、手搖鑽的大齒輪是 63 齒，小齒輪是 15 齒，故手搖鑽轉動一圈可使橡皮筋轉 4.2 圈，如此可減少轉動橡皮筋的時間。</li> <li>4、手搖鑽的前端加上一段彎曲的鐵線，方便鈎住橡皮筋。</li> </ol>

## 肆、研究過程與方法

### 一、瞭解飛機的構造

- 1、螺旋槳：飛機動力的部分，使飛機產生向前的拉力。
- 2、機身：將飛機的主翼、水平尾翼和垂直尾翼聯結成一個整體的主幹部分。
- 3、主翼：主要功用是產生升力，以支持飛機在空中飛行。
- 4、垂直尾翼：保持飛機飛行時的方向安定。
- 5、水平尾翼：保持飛機飛行時的俯仰安定。



### 二、飛行原理（伯努利定律）

飛機之所以可以升空，是因為飛機的主翼上面向上拱起，造成氣流流過主翼的上面比下面快，由於氣流快壓力小，氣流慢壓力大，因此主翼的下面壓力比上面大，進而產生升力。

### 三、實驗原理

橡皮筋螺旋槳飛機是靠儲存在捲繞的橡皮筋裡的能量釋放，來帶動螺旋槳旋轉，而螺旋槳因旋轉產生向前的拉力促使主翼產生升力作用，飛機開始爬升，當橡皮筋的能量釋放完畢之後，飛機開始進入自由滑翔狀態並慢慢的降落。

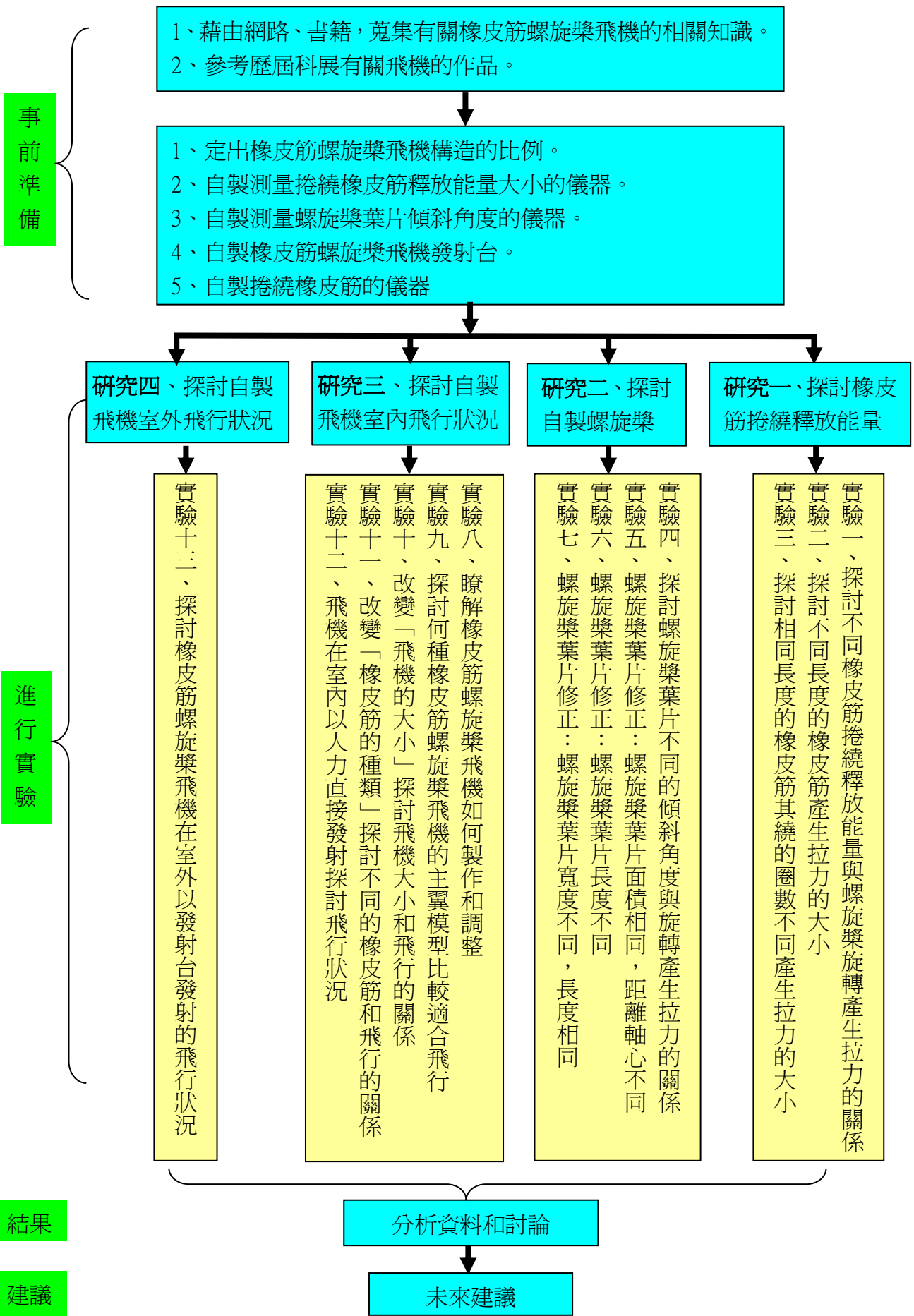
### 四、橡皮筋動力飛機構造的比例

根據網路搜尋到的資料（請參閱參考資料3），制定出本次實驗橡皮筋螺旋槳飛機構造的比例如下表：

	<p>翼展(L)和翼弦(A)的展弦比(L/A)定為6 主翼的翼展=L 主翼的翼弦(A)=L/6 機身長度的=0.8 × L 主翼的最高厚度=0.07 × A 主翼面積為=S 垂直尾翼的面積=0.1 × S 水平尾翼的面積=0.2 × S 水平尾翼的寬度=0.7 × A</p>
--	--



五、實驗流程如下圖：



## 伍、研究結果與討論

### 研究一：探討橡皮筋捲繞釋放能量與螺旋槳旋轉產生拉力的關係

#### ★實驗一、探討不同橡皮筋捲繞釋放能量與螺旋槳旋轉產生拉力的關係

【說明】瞭解不同粗細、種類的橡皮筋捲繞後釋放能量造成螺旋槳旋轉產生拉力有何差異。

【步驟】

(一)市面上常見到的橡皮筋(A1~A5)

- 1、選取市面上常見到的橡皮筋，如圖 1-1，長度不夠時將兩個橡皮筋套在一起，以便符合實驗所需的橡皮筋 30 公分的長度，如圖 1-2。
- 2、使用圖 1-3 的方法將小鐵環套入橡皮筋，將套好鐵環的橡皮筋鉤在螺旋槳飛機的機身中。
- 3、手搖鑽旋轉 25 圈，如圖 1-4，捲繞好的橡皮筋再鉤住機身的另一端，握住螺旋槳不使其轉動。
- 4、將步驟 3 的機身置放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，放開螺旋槳，使用攝影機記錄，如圖 1-5，每個資料重複測試 5 次。
- 5、攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，如圖 1-6，取其 5 次最大拉力的平均值。
- 6、分別使用手搖鑽旋轉 50、75、100、125 圈，重複步驟 4~5。

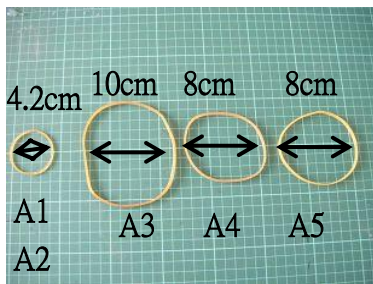


圖 1-1 市面上常見到的橡皮筋

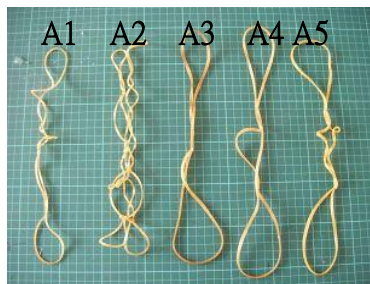


圖 1-2 橡皮筋套在一起



圖 1-3 小鐵環套入橡皮筋



圖 1-4 手搖鑽捲繞橡皮筋



圖 1-5 測量儀器



圖 1-6 威力導演軟體分格播放

(二) 橡皮筋螺旋槳飛機專用的橡皮筋(B1~B4, C1~C4, D1~D2)

- 7、收集網路介紹橡皮筋螺旋槳飛機專用的橡皮筋，如圖 1-7。
- 8、取橡皮筋粗細為 1mm×1mm 的長度分別為 60、120、180、240 公分，分別繞成 1、2、3、4 圈，如圖 1-8(B1~B4)。
- 9、使用圖 1-9 的方法將小鐵環套入圖 1-8 的橡皮筋，重複步驟 3~6。
- 10、取橡皮筋粗細為 2mm×1mm 的長度分別為 60、120、180、240 公分，分別繞成 1、2、3、



4 圈，如圖 1-10(C1~C4)，重複步驟 3~6。

11、取美國進口專業橡皮筋 FAI 的長度分別為 120、180 公分，分別繞成 2、3 圈，如圖 1-11(D1~D2)，重複步驟 3~6。

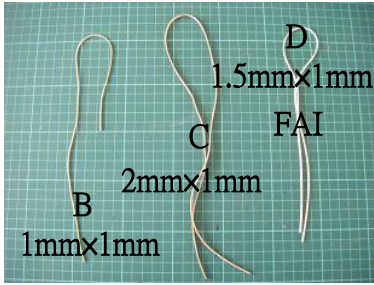


圖 1-7 專用的橡皮筋

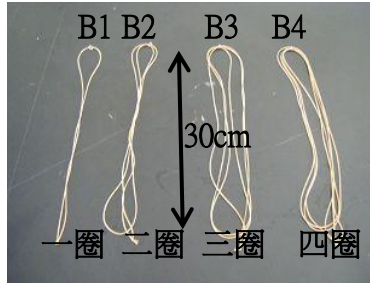


圖 1-8 1mm x 1mm 橡皮筋繞在一起



圖 1-9 小鐵環套入橡皮筋

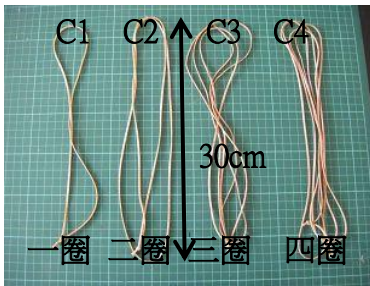


圖 1-10 2mm x 1mm 橡皮筋繞在一起

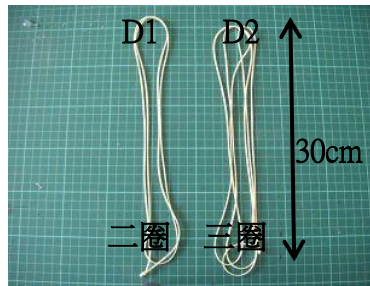
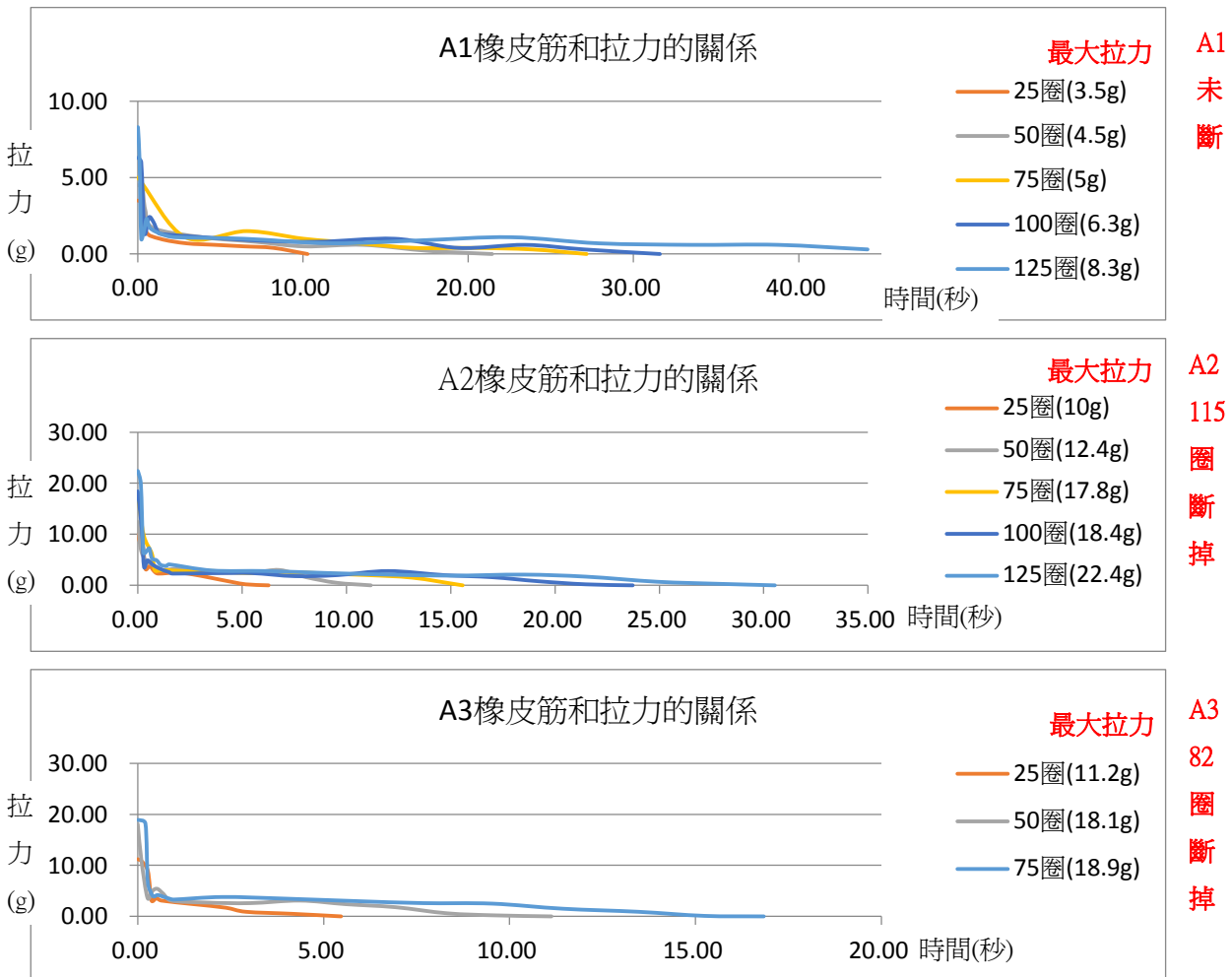
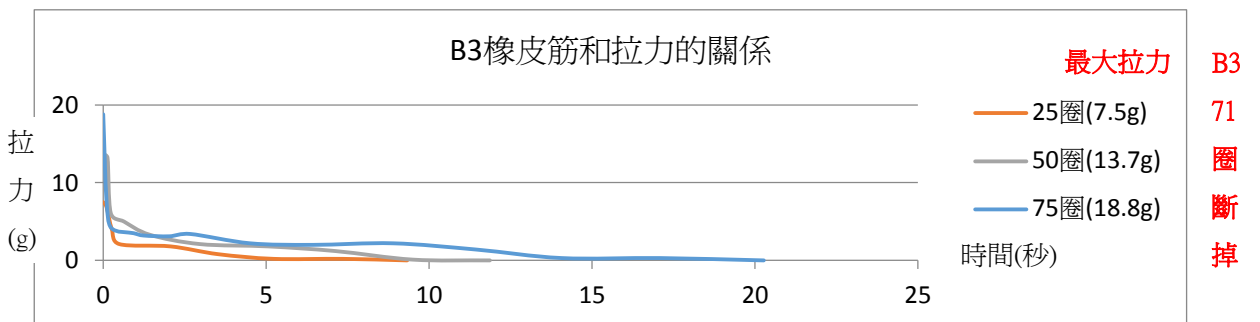
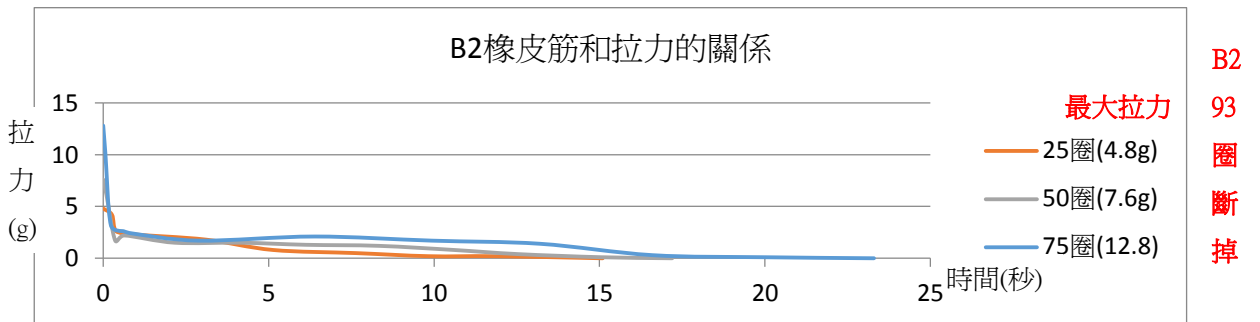
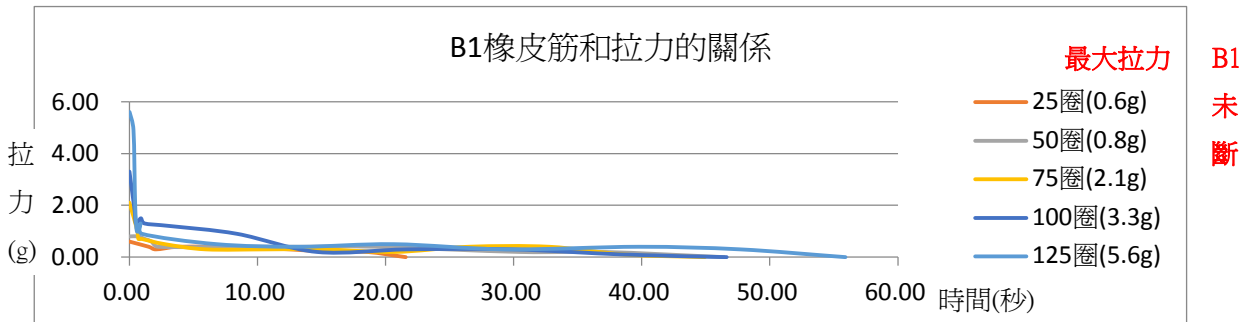
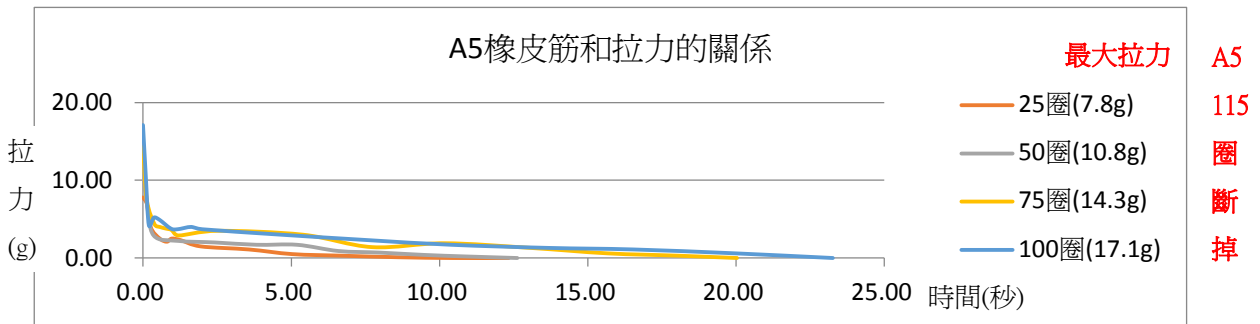
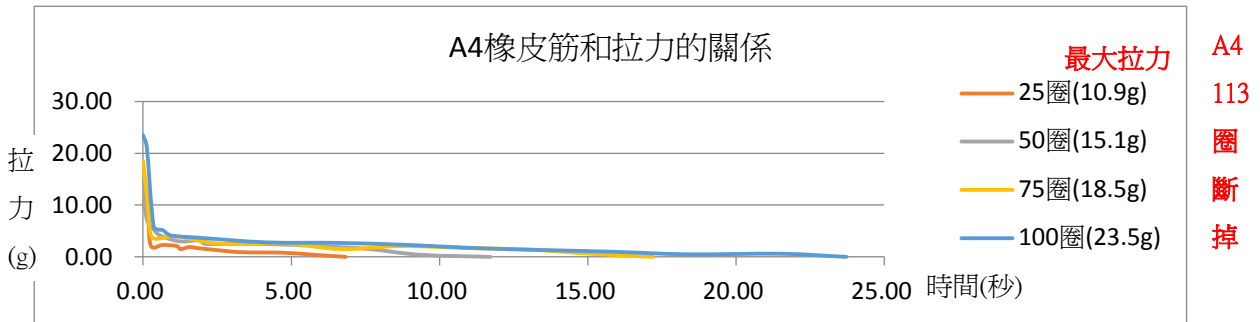
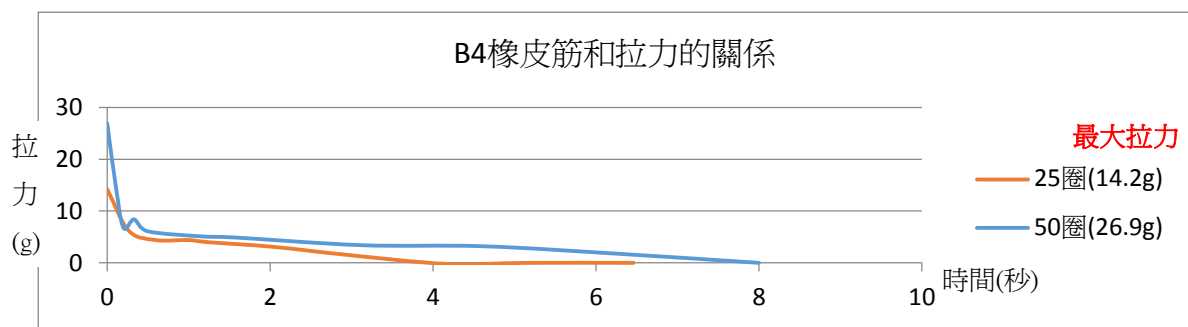


圖 1-11 FAI 橡皮筋繞在一起

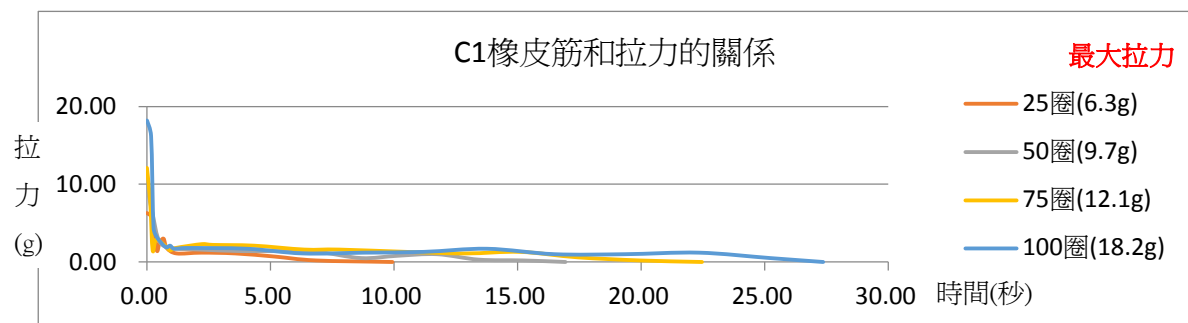
【結果】



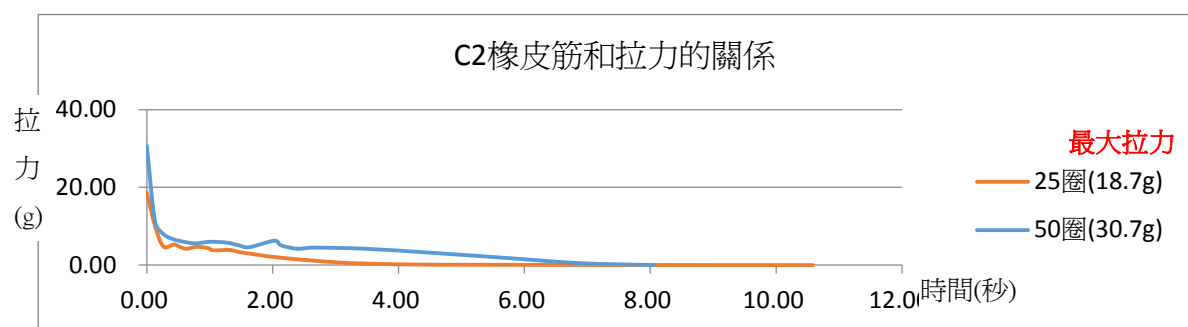




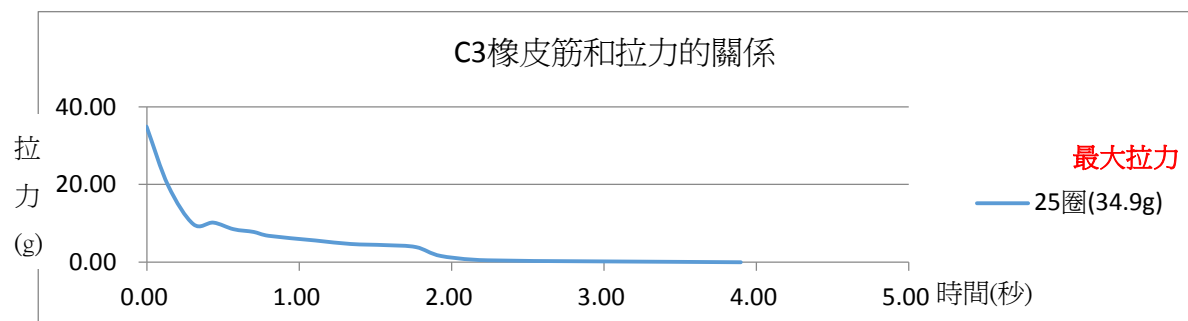
B4  
62  
圈  
斷  
掉



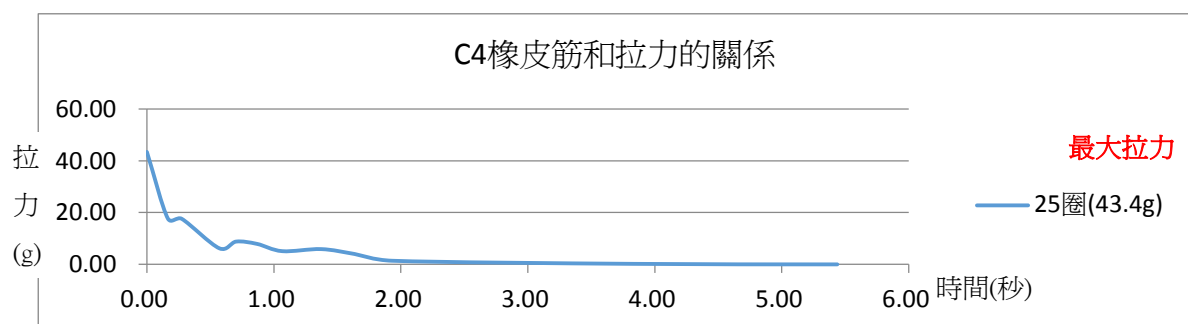
C1  
115  
圈  
斷  
掉



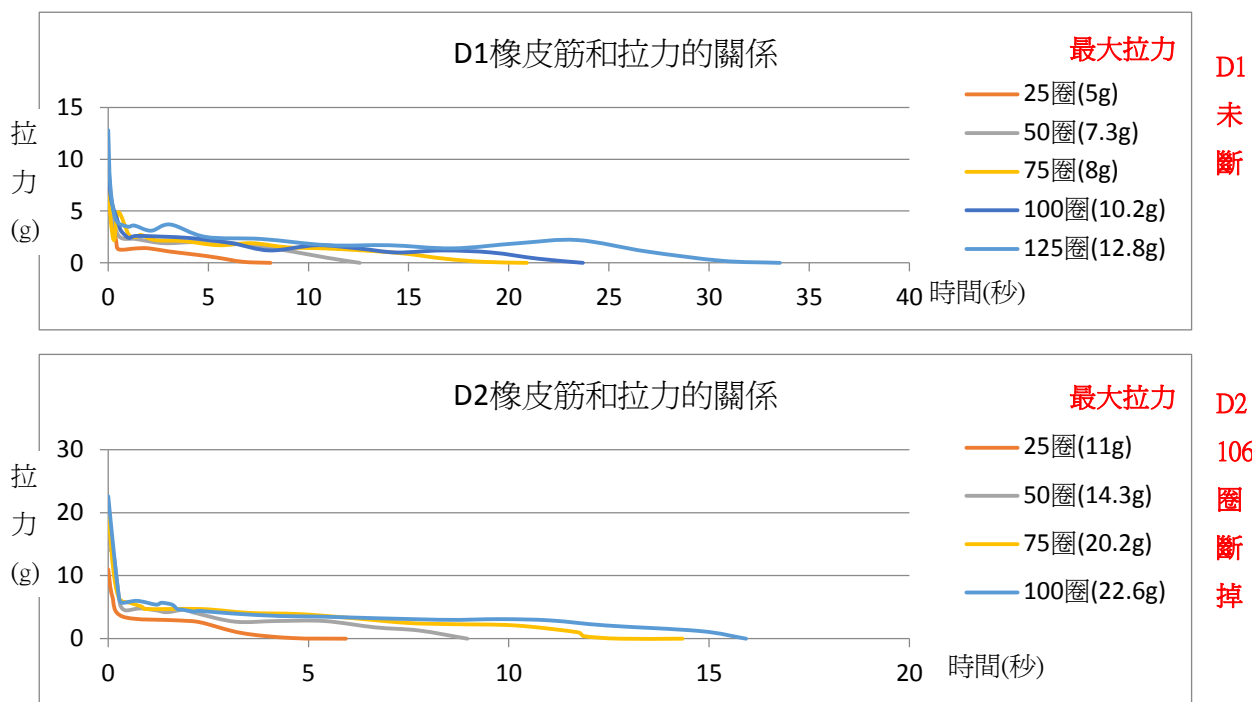
C2  
61  
圈  
斷  
掉



C3  
41  
圈  
斷  
掉



C4  
33  
圈  
斷  
掉



D1  
未  
斷

D2  
106  
圈  
斷  
掉

### 【討論】

- 橡皮筋套上小鐵環的目的是方便橡皮筋套上螺旋槳的鈎環，如圖 1-12。
- 電子磅秤非常靈敏，風吹磅秤數字會變化，所以必須在無風的環境下使用，而且攝影機不可直接面對螢幕拍攝，因會反光，所以必須關燈並從側面拍攝。
- 為了讓螺旋槳產生的拉力更準確，我們使用市面上販售的塑膠螺旋槳，因為螺旋槳兩邊較對稱誤差較小。
- 由實驗結果得到以下結論，可作為後續實驗參考。
  - 捲繞橡皮筋愈多圈，產生的拉力愈大，時間也愈久，但是捲繞愈多圈橡皮筋容易斷，可作為後續實驗捲繞橡皮筋的圈數限制。
  - 愈多條橡皮筋疊在一起拉力愈大，但是容易斷，所以可捲繞的圈數會愈少，產生拉力的時間也會愈短。
  - 市面上常見的橡皮筋可捲繞次數較少容易斷，但便宜；螺旋槳飛機專用的橡皮筋可捲繞次數較多不容易斷，但較貴。



圖 1-12 橡皮筋和鐵環

### ★實驗二、探討不同長度的橡皮筋產生拉力的大小

【說明】探討粗細相同、長度不同的橡皮筋，捲繞後釋放能量與螺旋槳旋轉產生拉力大小

#### 【步驟】

- 取橡皮筋粗細為 1mm×1mm 的長度為 120，繞成 3 圈，將小鐵環套入橡皮筋，如圖 2-1。
- 手搖鑽旋轉 50 圈，捲繞好的橡皮筋再鈎住機身的另一端。
- 將步驟 2 的機身置放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，放開螺旋槳，使用攝影機記錄，每個資料重複測試 5 次。

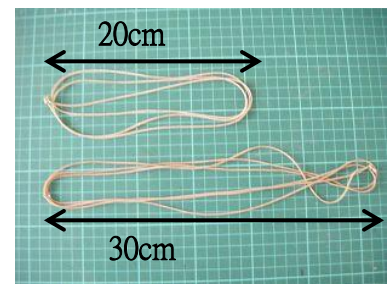


圖 2-1 橡皮筋的長度

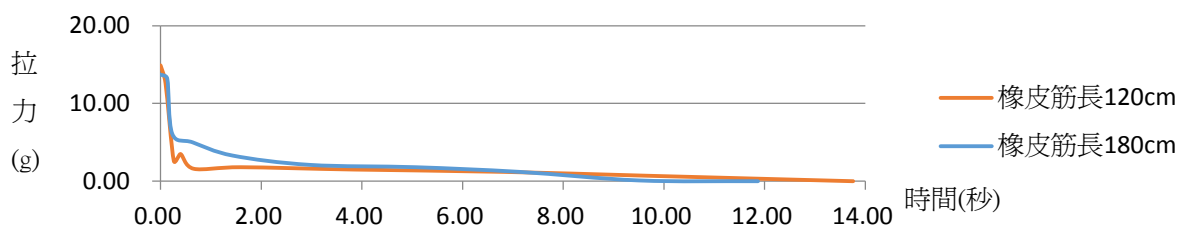
- 攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的

關係，取其 5 次最大拉力的平均值。

- 取橡皮筋粗細為 1mm×1mm 的長度為 180，繞成 3 圈，將小鐵環套入橡皮筋，如圖 2-1，重複步驟 2~4。

### 【結果】

不同長度的橡皮筋和拉力的關係



橡皮筋長度	120 公分	180 公分
最大拉力( 公克)	14.9 公克	13.7 公克

### 【討論】

- 由實驗可知，同樣是 6 條橡皮筋疊在一起，長度 20 公分的拉力是 14.9 公克比 30 公分的 13.7 公克大，但是長度 20 公分的拉力也會很快降下來。
- 總之相同條數的橡皮筋疊在一起，短的橡皮筋產生的拉力較大，但釋放的能量較快，拉力很快降下來。

### ★實驗三、探討相同長度的橡皮筋其繞的圈數不同產生拉力的大小

【說明】探討粗細相同、長度相同、繞的圈數不同的橡皮筋，捲繞後釋放能量與螺旋槳旋轉產生拉力大小

### 【步驟】

- 取橡皮筋粗細為 1mm×1mm 的長度為 180，繞成 3 圈，將小鐵環套入橡皮筋，如圖 3-1。
- 手搖鑽旋轉 50 圈，捲繞好的橡皮筋再鉤住機身的另一端。
- 將步驟 3 的機身置放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，放開螺旋槳，使用攝影機記錄，每個資料重複測試 5 次。
- 攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，取其 5 次最大拉力的平均值。
- 取橡皮筋粗細為 1mm×1mm 的長度為 180，繞成 4 圈，將小鐵環套入橡皮筋，如圖 3-1，重複步驟 2~4。

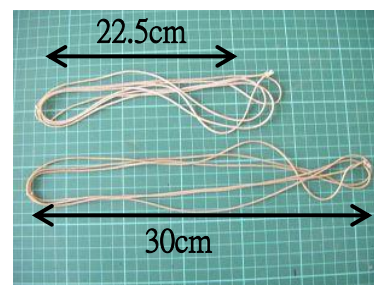
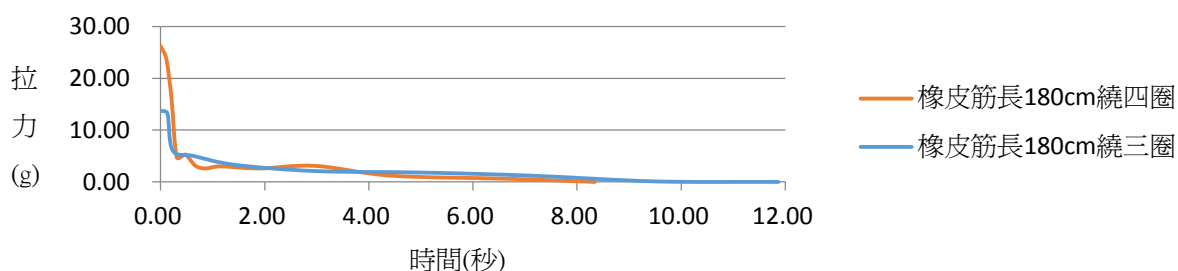


圖 3-1 橡皮筋的長度

### 【結果】

橡皮筋相同長度、繞的圈數不同和拉力的關係





橡皮筋繞的圈數	四圈	三圈
最大拉力(公克)	26.2 公克	13.7 公克

【討論】

- 1、總長度都是 180 公分的橡皮筋，繞成四圈的拉力 26.2 公克比三圈的 13.7 公克大，而且差異很大，但是繞成 5 圈，使用手搖鑽在約 40 圈就斷掉無法測試。
- 2、總長度相同的橡皮筋，繞成圈數多的拉力較大。
- 3、因為 B3 橡皮筋是螺旋槳專用橡皮筋，耐用不易斷，價格適中，釋放力量不會太大，很適合螺旋槳飛機測試使用，所以後面實驗皆使用 30 公分的 B3 橡皮筋。

研究二：探討自製螺旋槳與其旋轉產生拉力的關係

★實驗四、探討螺旋槳葉片不同的傾斜角度與旋轉產生拉力的關係

【說明】研究何種螺旋槳葉片的傾斜角度產生的拉力最大。

【步驟】

- 1、使用厚度 2mm 的巴爾沙木製作寬 3 公分、長 8 公分的螺旋槳葉片，如圖 4-1。
- 2、製作可轉動的螺旋槳葉片裝置，方法如下：

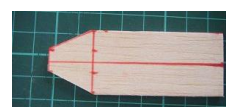

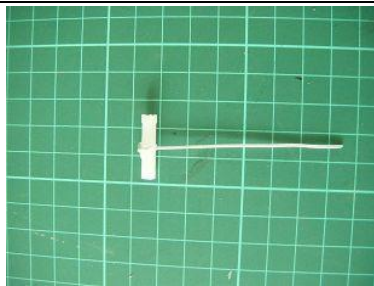
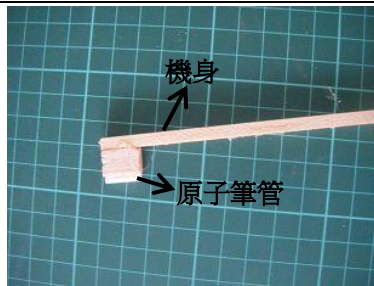
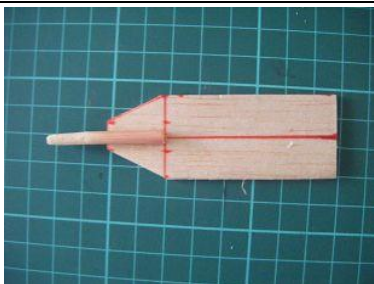

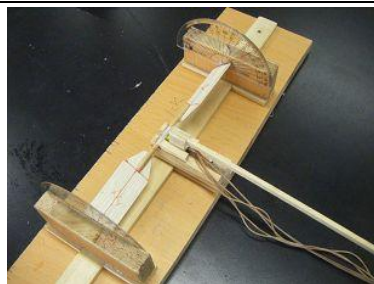


圖 4-1 螺旋槳葉片

1 取自動原子筆的塑膠管，中間挖洞。	2 塑膠管中間插入鐵線，並上膠固定	3 用厚度 5mm 的巴爾沙木製作 1cmx1.5cm 木塊，底下黏住原子筆管，並黏在機頭
		
4 製作可插入塑膠管的 4 公分衛生筷，並黏住螺旋槳葉片	5 螺旋槳葉片插入塑膠管，鐵線穿過筆管，並彎成勾狀	6 將螺旋槳放在自製儀器中測量葉片傾斜角，兩邊要相等
		

- 3、利用自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器調整螺旋槳葉片傾斜 10 度。
- 4、使用 B3 橡皮筋，手搖鑽旋轉 75 圈，再將螺旋槳機身放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，使用攝影機記錄，如圖 4-2，每個資料重複測試 5 次。
- 5、攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，取其 5 次最大拉力的

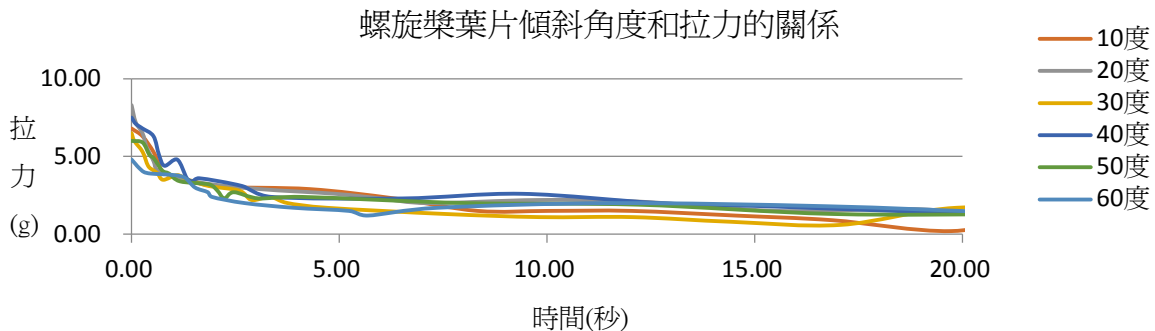


圖 4-2 測量螺旋槳拉力儀器

平均值。

- 利用自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器分別調整螺旋槳葉片傾斜 20、30、40、50、60 度，重複步驟 4~5。

### 【結果】



螺旋槳葉片傾斜角度	10 度	20 度	30 度	40 度	50 度	60 度
最大拉力( 公克)	6.8	8.3	6.5	7.5	6	4.8

### 【討論】

- 由實驗可知螺旋槳葉片傾斜角度在 20 度時產生的拉力最大，故自製的螺旋槳葉片傾斜角度都訂為 20 度

### 實驗五、螺旋槳葉片修正：螺旋槳葉片面積相同，距離軸心不同

【說明】研究螺旋槳葉片面積相同，距離軸心何種長度產生的拉力最大。

### 【步驟】

- 使用厚度 2mm 的巴爾沙木製作寬 3 公分、長 8 公分的螺旋槳葉片六片。
- 螺旋槳葉片分別黏上 4 公分的衛生筷，使其成為總長度 11、10、9 公分各兩片，如圖 5-1。
- 利用自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器調整螺旋槳葉片傾斜 20 度。
- 使用 B3 橡皮筋，手搖鑽旋轉 75 圈，再將螺旋槳機身放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，使用攝影機記錄，每個資料重複測試 5 次。
- 攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，取其 5 次最大拉力的平均值。

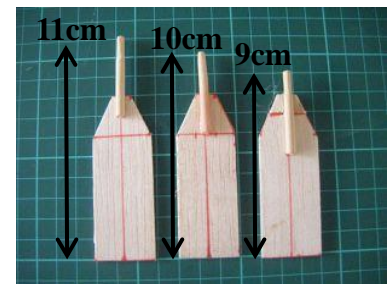
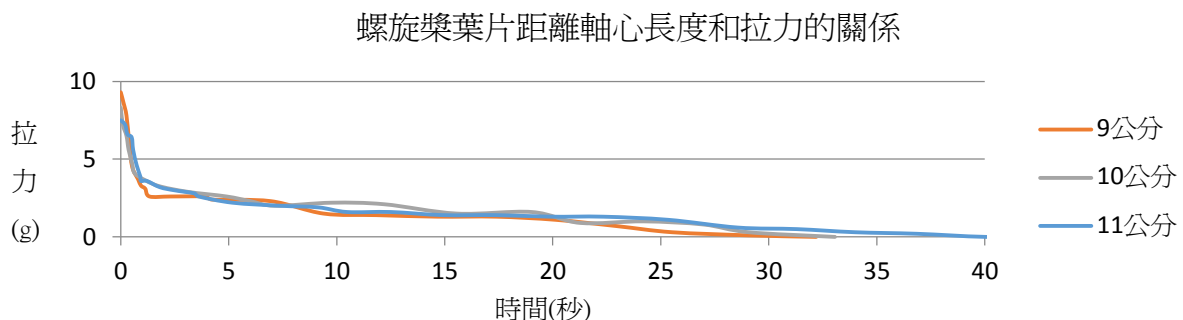


圖 5-1 螺旋槳葉片

### 【結果】



螺旋槳葉片距離軸心長度	9 公分	10 公分	11 公分
最大拉力( 公克)	9.3 公克	8.3 公克	7.5 公克

【討論】

- 1、螺旋面積相同時，旋轉半徑 9 公分比 11 公分的拉力大。
- 2、拉力大表示螺旋槳旋轉的速度快，氣流流過螺旋槳葉片兩側速度差愈大，產生的升力愈大（拉力）。
- 3、螺旋槳旋轉半徑愈小，表示螺旋槳旋轉的速度愈快，產生的拉力愈大，彷彿冰上芭蕾舞者旋轉時手縮回比伸展開速度快，可見螺旋槳的旋轉半徑不需要太大。

實驗六、螺旋槳葉片修正：螺旋槳葉片長度不同

【說明】研究螺旋槳葉片何種長度產生的拉力最大

【步驟】

- 1、使用厚度 2mm 的巴爾沙木製作寬 3 公分、長 6 公分的螺旋槳葉片，螺旋槳葉片黏上 4 公分的衛生筷，如圖 6-1。
- 2、利用自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器調整螺旋槳葉片傾斜 20 度。
- 3、使用 B3 橡皮筋，手搖鑽旋轉 75 圈，再將螺旋槳機身放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，使用攝影機記錄，每個資料重複測試 5 次。
- 4、攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，取其 5 次最大拉力的平均值。
- 5、使用厚度 2mm 的巴爾沙木分別製作寬 3 公分、長 7、8、9、10 公分的螺旋槳葉片，螺旋槳葉片黏上 4 公分的衛生筷，如圖 6-1，重複步驟 2~4。

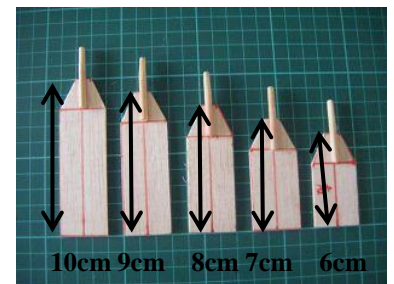
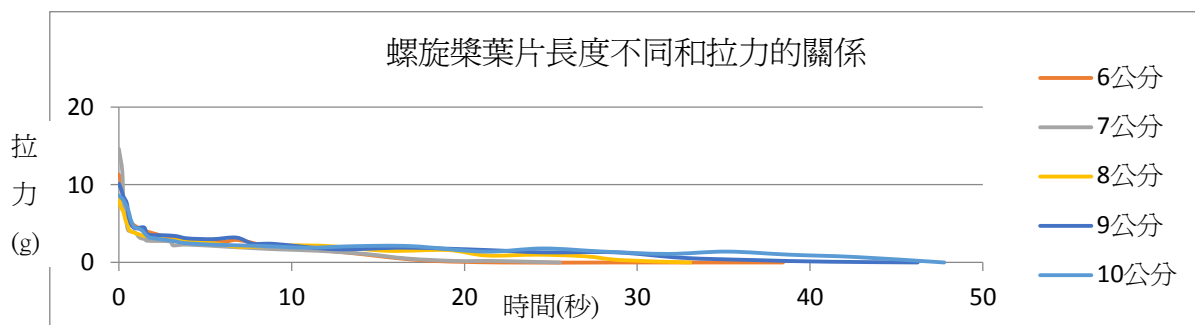


圖 6-1 螺旋槳葉片

【結果】



螺旋槳葉片長度	6 公分	7 公分	8 公分	9 公分	10 公分
最大拉力( 公克)	11.3 公克	14.6 公克	8.3 公克	10.1 公克	8.6 公克

【討論】

- 1、螺旋槳的葉片長度為 7 公分產生的拉力為 14.6 公克是最大。
- 2、螺旋槳葉片面積愈大產生的升力（拉力）也會愈大，同飛機的主翼相同，但是螺旋槳葉片面積太大相對阻力也會愈大，螺旋槳的旋轉速度會變慢，升力（拉力）也會變小，可見不是螺旋槳葉片面積愈大產生的拉力會愈大。

## 實驗七、螺旋槳葉片修正：螺旋槳葉片寬度不同，長度相同

【說明】研究螺旋槳葉片何種寬度產生的拉力最大

【步驟】

- 1、使用厚度 2mm 的巴爾沙木製作寬 2 公分、長 8 公分的螺旋槳葉片，螺旋槳葉片黏上 4 公分的衛生筷，如圖 7-1。
- 2、利用自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器調整螺旋槳葉片傾斜 20 度。
- 3、使用 B3 橡皮筋，手搖鑽旋轉 75 圈，再將螺旋槳機身放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，使用攝影機記錄，每個資料重複測試 5 次。
- 4、攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，取其 5 次最大拉力的平均值。
- 5、使用厚度 2mm 的巴爾沙木分別製作寬 3、4 公分、長 8 公分的螺旋槳葉片，螺旋槳葉片黏上 4 公分的衛生筷，如圖 7-1，重複步驟 2~4。

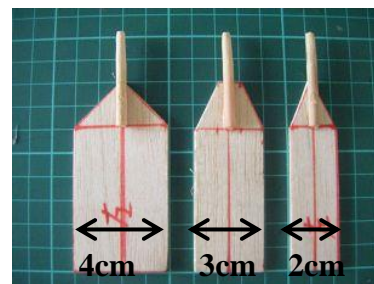
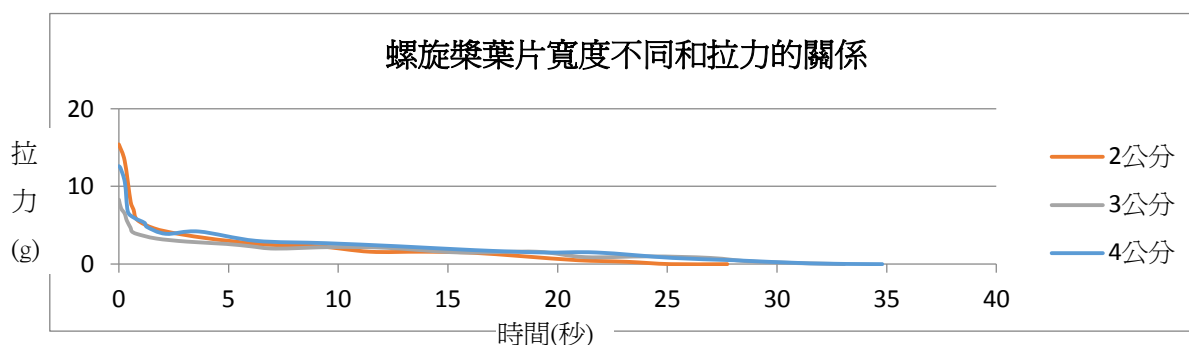


圖 7-1 螺旋槳葉片

【結果】



螺旋槳葉片寬度	2 公分	3 公分	4 公分
最大拉力(g)	15.4 公克	8.3 公克	12.6 公克

【討論】

- 1、螺旋槳葉片寬兩公分產生了拉力最大，可見螺旋槳葉片太大阻力也愈大，旋轉速度也變慢。
- 2、由實驗六螺旋槳葉片長 7 公分、寬 3 公分產生的最大拉力為 14.6 公克，實驗七螺旋槳葉片長 8 公分、寬 2 公分產生的最大拉力為 15.4 公克，雖然後者產生的拉力較大，但是比前者只多 0.8 公克，考慮螺旋槳葉片寬度大時放入自製測量螺旋槳葉片傾斜角度的儀器中比較能對準角度，所以本實驗使用螺旋槳葉片為長 7 公分，寬 3 公分，旋轉半徑是 8 公分。

## 研究三：探討自製橡皮筋螺旋槳飛機在室內飛行的狀況





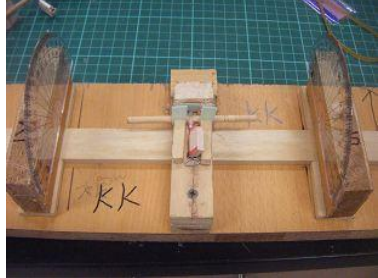
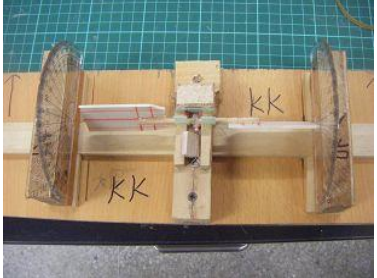
### 實驗八、瞭解橡皮筋螺旋槳飛機如何製作和調整

【說明】介紹橡皮筋螺旋槳飛機的製作流程和試飛如何調整

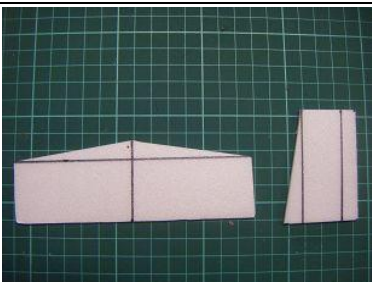

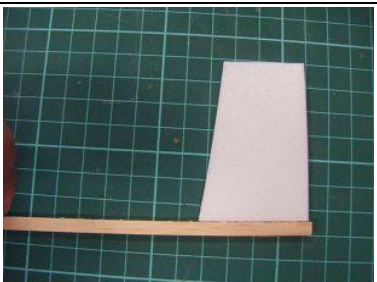
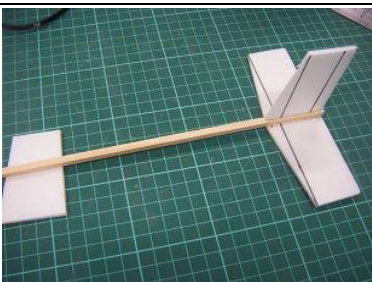
【步驟】

- 1、製作如 [附件一] 所列的乙種螺旋槳飛機模型比例，主翼長 40 公分，飛機製作過程如下。
  - (1) 螺旋槳



1 衛生筷切割出 8.2cm，中間鑽洞	2 鐵線穿過竹子，兩端各有一個塑膠珠，再用熱融膠黏上	3 用厚度 5mm 的巴爾沙木製作 1cm×1.5cm 木塊，底下黏住原子筆管
		
4 將塑膠珠、木塊套入鐵線，鐵線末端彎成三角形	5 將螺旋槳本體放入測量葉片角度儀器中固定	6 將螺旋槳葉片調整傾斜度為 20 度，黏上衛生筷，完成。
		

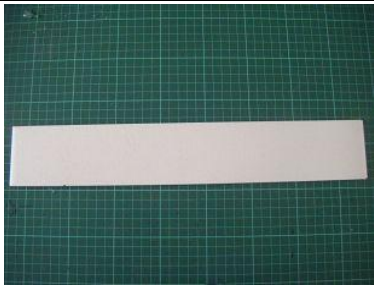

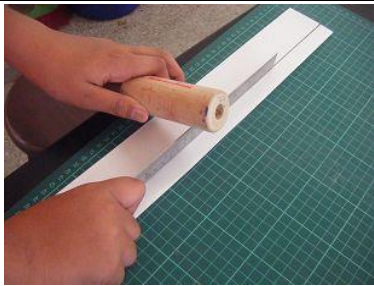
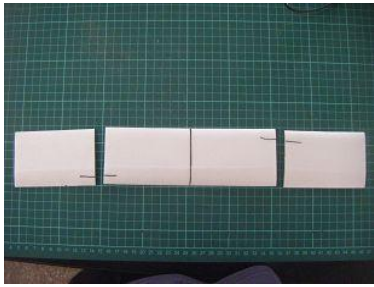
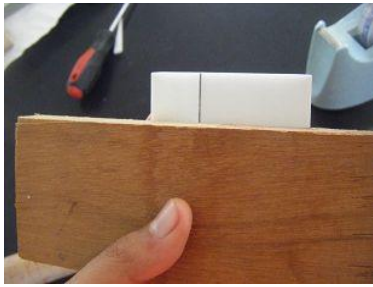
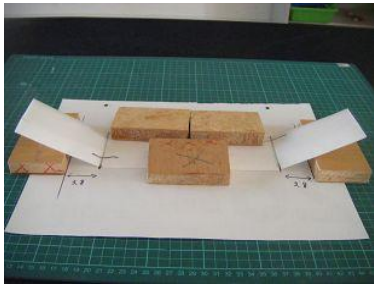

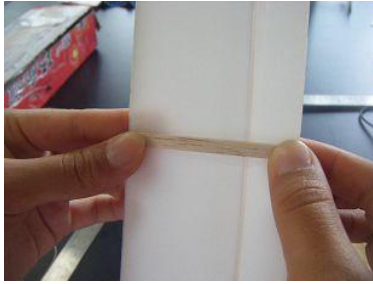
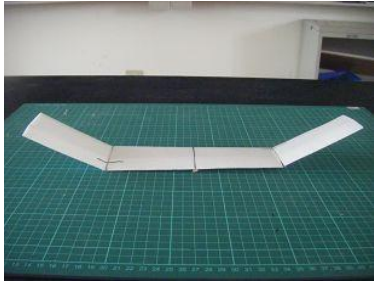
### (2) 尾翼和機身

1 使用厚 3mm 珍珠板，切割出水平尾翼和垂直尾翼	2 使用 5mm×5mm 的松木，切割出 32 公分的機身	3 機身和垂直尾翼以平躺的方式互相黏住
		
4 機身對準水平尾翼中線互相黏住		
		


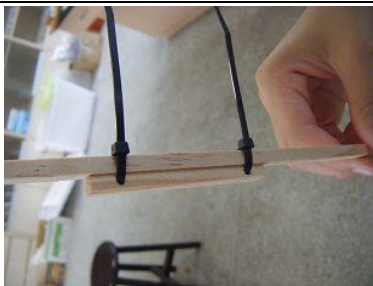

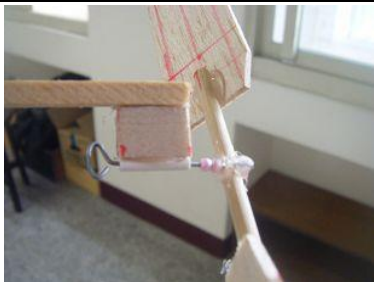

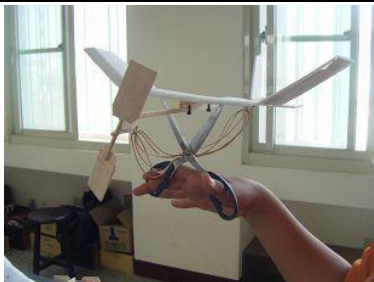
### (3) 主翼

1 使用厚 3mm 珍珠板，切割出 40cm×6.7cm 的主翼	2 使用桿麵棍將主翼的前後緣壓平	3 距離主翼前緣 2cm 處，使用鐵尺壓出凹痕
----------------------------------	------------------	-------------------------



		
4 切割主翼和畫出中線	5 利用圖中裝置將主翼折出高 5mm 彎度，並用膠帶固定	6 利用圖中的方法製作主翼 25 度的上反角
		
7 使用厚 5mm 巴爾沙木製作與主翼的弧度相同的木塊	8 將步驟 7 的木塊黏在主翼的中線	9 完成
		

(4)組合飛機

1 切割出 6.7 公分的松木，並鑽兩個洞	2 將 6.7 公分的松木利用束緊帶綁在機身上	3 將主翼黏在機身
		
4 螺旋槳與機身相黏	5 在尾翼附近鑽洞，黏上鐵勾，以便鈎住橡皮筋	6 套上橡皮筋，調整重心在主翼的中心，完成
		

2、室內無風試飛和調整，使用 B3橡皮筋：

(1) 手搖鑽旋轉 20 圈，如圖 8-1，在自製發射台水平發射飛機，如圖 8-2，觀察飛機飛行路徑是否水平滑翔，如果不是水平滑翔，可前後調整主翼的位置。

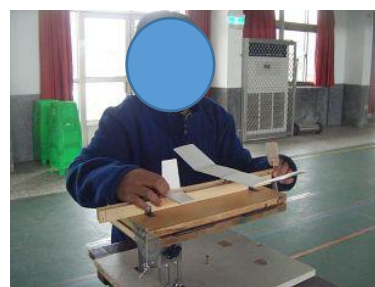
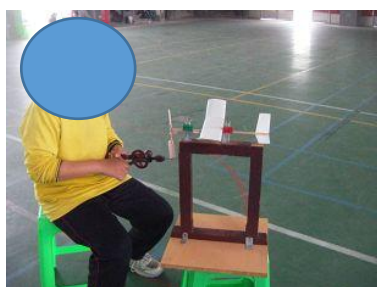
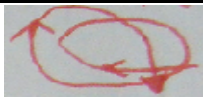


圖 8-1 手搖鑽捲繞橡皮筋 圖 8-2 發射台發射飛機

(2) 調整飛機的方向舵向右，手搖鑽旋轉 40 圈，在自製發射台水平發射飛機，觀察飛機飛行路徑是否右轉，如果右轉不順利，可再調整方向舵，直到飛機右轉水平滑翔。

(3) 手搖鑽旋轉 60 圈，在自製發射台水平發射飛機，觀察飛機飛行路徑，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間，每個資料重複測試 5 次，取滯空時間最大值。

**【結果】**

飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行路徑
3	5	7.51	

**【討論】**

- 為了確定垂直尾翼是否垂直黏上機身，方法為垂直尾翼使用平躺的方式黏上機身，如尾翼製作步驟 3。
- 主翼必須有弧度才會產生升力，本實驗將珍珠板彎成所需的弧度，主翼的前後緣用桿麵棍壓成 1mm 的厚度，但是珍珠板直接彎曲會破裂，所以先用鐵尺壓出凹痕再彎曲，再使用透明膠固定主翼彎曲的弧度。
- 主翼兩邊上反角的角度需固定，方法為兩邊置放木塊，木塊距離黏的部分需相等，如主翼製作步驟 6。
- 為了確定主翼是否與水平尾翼平行，方法如圖 8-3，左手握住機身，右手握住主翼黏住機身，目光俯視飛機，左右調整主翼和水平尾翼平行。
- 為了確定螺旋槳軸心是否與機身平行，方法如圖 8-4，左手握住機身，右手握住螺旋槳主體，目光俯視飛機，調整螺旋槳主體和機身成一直線。
- 主翼和機身連接的部分使用束緊帶只是為了方便主翼的前後移動，以便調整飛機重心，目的是讓飛機在飛行時可以水平滑翔，因為重心位置不同，飛機滑翔狀態也不同。
- 檢視飛機製作是否正確：
  - 正視方向：如圖 8-5，檢查主翼兩邊上反角的角度是否相等，主翼有無扭曲，主翼和水平尾翼是否平行，垂直尾翼和水平尾翼是否垂直。
  - 側視方向：檢查螺旋槳轉軸是否彎曲，螺旋槳和轉軸是否垂直，機身有無上下彎曲。
  - 俯視方向：檢查垂直尾翼和水平尾翼有無歪斜，機身有無左右彎曲。

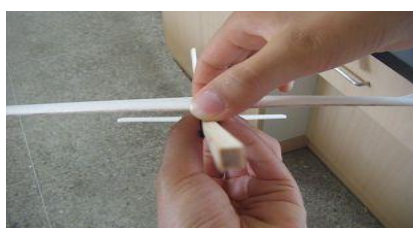


圖 8-3 主翼黏上機身的方法

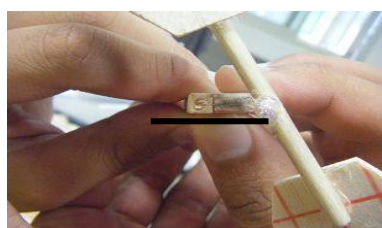


圖 8-4 檢查螺旋槳軸心

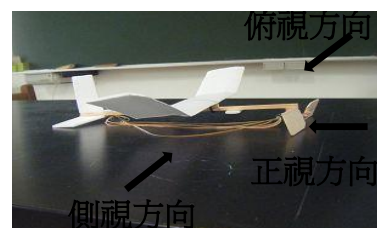


圖 8-5 檢視飛機的方向



8、飛機發射台前端需要放置橡皮筋，如圖 8-6，不同力量發射的滯空時間如下，發射力量由彈簧秤量測。

發射力量	0kg	0.2kg	0.5kg	0.8kg	1kg
滯空時間(秒)	直接下墜	1.1 秒 下墜撞地	4.03 秒 盤旋 1 圈	6.31 秒 盤旋 1.25 圈	7.38 秒 盤旋 1.75 圈

(1) 雖然橡皮筋螺旋槳飛機本身有動力，但是發射飛機仍然需要施力，因為捲繞橡皮筋釋放能量時，並非馬上達到最到拉力，所以飛機升力不夠，飛機會往下掉，甚至會撞倒地板。

(2) 發射飛機需要施力，只是會了彌補螺旋槳開始轉動時的拉力不足，如何判斷施力大小：

A、施力太小：飛機剛開始時會下墜一些，等到螺旋槳拉力足夠時，飛機才開始爬升，但是最後爬升的高度較低，滯空時間明顯變短。

B、施力太大：飛機速度太快，升力過大會造成飛機失速下墜。

C、施力恰當：可增加飛機的速度，增加升力，最後爬升的高度較高，滯空時間較長。

(3)由以上的結論，以後實驗全部都用 1kg 的力量發射飛機，所以手擲飛機也需施力。

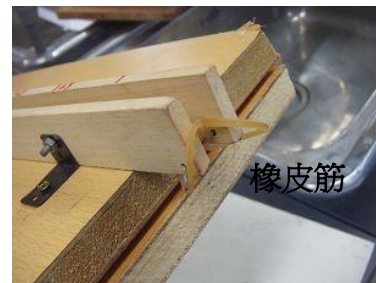


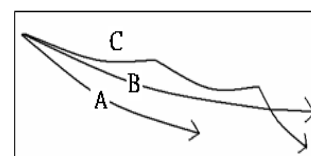
圖 8-6 發射台的橡皮筋

9、飛機試飛時如果直接以大動力飛行，飛機可能會撞壞，因為飛機未調整好，飛行路徑不穩定，所以飛機必須調整好才可飛行，避免一開始就大動力飛行。

10、橡皮筋螺旋槳飛機因為是具備動力飛行，所以飛機爬升的速度過大，產生的升力會超過飛機的重量，飛機可能會翻轉或者機頭仰角過大而失速墜地，解決方法是飛機盤旋上升。因為飛機的升力分散出盤旋的力，如此升力會變小，飛機翻轉或者機頭仰角過大而失速墜地的情況就會改善。

11 飛機試飛和調整：

(1)小動力（手搖鑽旋轉 20 圈）發射飛機：目的是為了觀察是否水平滑行，如右圖 B 路徑，重心剛好；如果下墜太快，如 A 路徑，表示機頭太重，需要將主翼向前移動；如果飛機翻滾或波浪狀飛行，如 C 路徑，表示機頭太輕，需要將主翼向後移動。



(2)中動力（手搖鑽旋轉 40 圈）發射飛機：此時調整飛機的方向舵向右，目的是觀察飛機右轉彎效果，討論如下：

A、右轉彎急速下墜：表示右彎太多，方向舵調回一點，直到飛機右轉緩緩爬升。

B、右轉彎機頭仰角過大直接下墜：表示右彎太少，方向舵向右再調一點，直到飛機右轉緩緩爬升。

C、飛機右轉彎緩緩爬升：正確的飛行路徑。

(3)大動力（手搖鑽旋轉 60 圈）發射飛機：觀察和調整與中動力飛行相同。

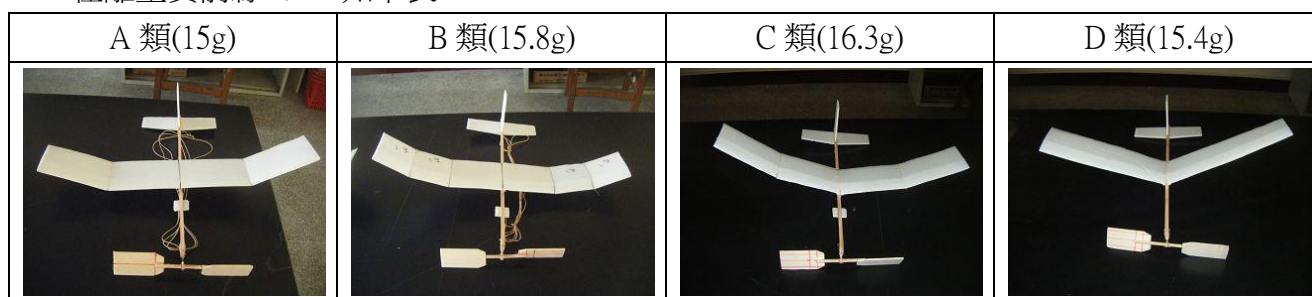
12、每次飛機落地時，一般都是前端的螺旋槳會先碰到地面，如此螺旋槳容易歪斜，所以每次發射飛機之後都要檢查飛機是否有變形，尤其是螺旋槳的部分需要特別注意。

### 實驗九、探討何種橡皮筋螺旋槳飛機的主翼模型比較適合飛行

【說明】在室內無風的環境下，研究何種橡皮筋螺旋槳飛機的主翼模型比較適合飛行。

【步驟】

1、參考[附件一] 所列的乙種飛機模型比例，製作以下四種不同主翼的模型，調整飛機的重心在離主翼前緣 1/2，如下表。



2、使用 B3 橡皮筋，手搖鑽旋轉 60 圈，在室內調整發射台的仰角發射以上四種機型，觀察飛機飛行路徑，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間，每個資料重複測試 5 次，取其滯空時間最大值。

【結果】

種類	發射台仰角	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)
A 類	10	3.2	5.1	7.1
	20	3.5	4	8
	30	4	4.5	7.25
	40	4.2	3.5	4.72
B 類	10	1.1	11.2	6.51
	20	1.2	10	7.21
	30	3.7	6.5	9.06
	40	3.9	6	5.03
C 類	10	0.3	0	6.32
	20	2.6	10.5	8.65
	30	4	6.5	4.09
D 類	發射失敗，直接墜地，製作比例有問題			

【討論】

- 1、由實驗結果可知，此類型飛機發射的仰角在 20~30 度之間最好。
- 2、雖然 B 類飛行滯空時間最久，但是 A 類主翼只有一次上反角，而 B、C 類有兩次上反角，所以在製作過程中 B、C 類的主翼兩邊容易不對稱，可見 A 類製作最簡單，所以本實驗選擇 A 類作為測試機種。
- 3、飛機發射仰角愈高，飛行高度愈高，但是升力過大，飛機在最高點時無法轉成水平飛行，滯空時間不長，甚至會直接下墜。
- 4、滯空時間的長短決定於飛機在最高點狀況。
  - (1) 機身水平：水平飛行，下降速度慢，滯空時間長。
  - (2) 機身朝下：傾斜飛行，下降速度快，滯空時間短。

## 實驗十、改變「飛機的大小」探討飛機大小和飛行的關係

【說明】使用相同動力的螺旋槳和橡皮筋，研究何種飛機大小較適合飛行。

### 【步驟】

1、製作如 [附件一] 所列的甲 (19.1g)、乙(15g)、丙(11.5g)三種飛機模型比例製作 A 類的橡皮筋螺旋槳動力飛機，使用相同大小的螺旋槳，如圖 10-1。

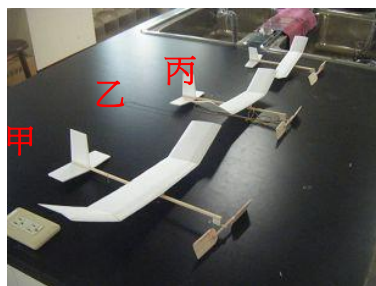


圖 10-1 甲乙丙三種飛機



圖 10-2 發射飛機

2、使用 B3 的橡皮筋，手搖鑽旋轉的圈數為 60 圈，在室內調整發射台的仰角 20 度發射以上三種機型，如圖 10-2，觀察飛機飛行路徑，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間，每個資料重複測試 5 次，取其滯空時間最大值。

觀察飛機飛行路徑，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間，每個資料重複測試 5 次，取其滯空時間最大值。

### 【結果】

種類	橡皮筋	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行路徑
甲	B3	1.9	3.8	6.19	
乙	B3	3.5	4	8	
丙	B3	0.3	1.5	2.79	

### 【討論】

- 1、甲種飛機主翼太大，相對阻力也會變大，所以滯空時間較短。
- 2、丙種飛機太小，使用相同螺旋槳，飛行相當不穩定。
- 3、由以上實驗可知，乙種飛機是此次實驗最適合的飛機比例大小。

## 實驗十一、改變「橡皮筋的種類」探討不同的橡皮筋和飛行的關係

【說明】使用不同種類的橡皮筋，研究飛機因橡皮筋不同（動力來源）如何調整飛機，使其適合飛行。

### 【步驟】

1、使用實驗一的橡皮筋，如圖 11-1，因為由實驗一的結果，每種橡皮筋捲繞會斷掉的圈數都不同，故選擇手搖鑽旋轉的圈數如下表，目的是避免橡皮筋斷掉。

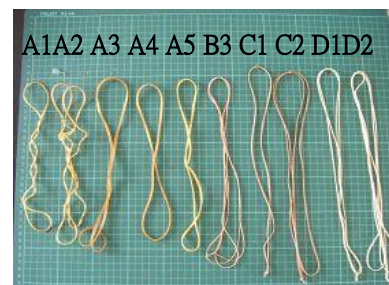


圖 11-1 橡皮筋的種類

橡皮筋	A1	A2	A3	A4	A5	B3	C1	C2	D1	D2
圈數	100	90	60	90	80	60	100	50	100	90
重量	1.6g	3g	3.6g	2.5g	2.6g	2.2g	1.6g	3.1g	2.1g	3.1g

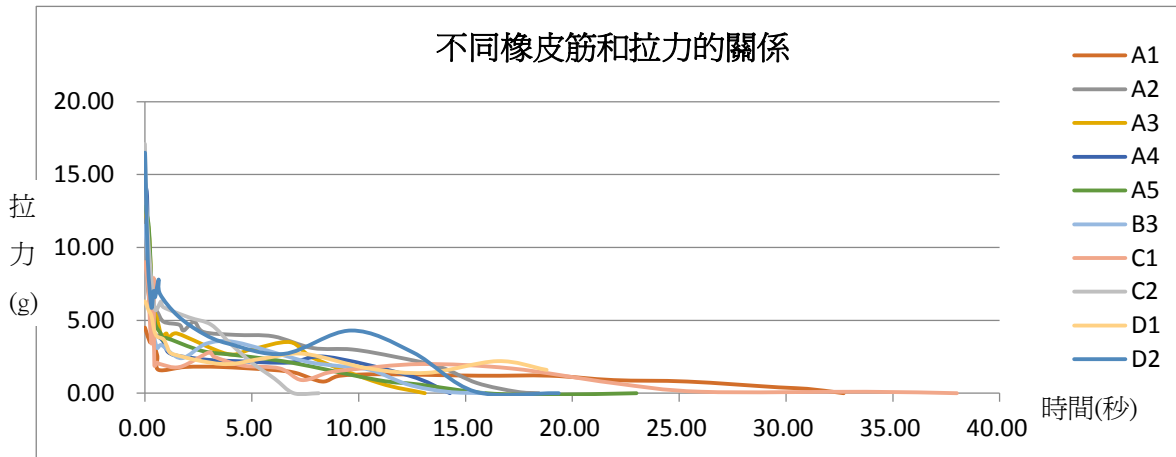
2、使用實驗八的飛機模型，只留機身和螺旋槳，分別套上步驟 1 的橡皮筋，手搖鑽旋轉的圈數如步驟 1，將飛機放在自製測量捲繞橡皮筋釋放能量大小的儀器中，放開螺旋槳，使用攝影機記錄，每個資料重複測試 5 次。



- 攝影機記錄下來的影片，在威力導演軟體中逐一分格播放，紀錄電子磅秤的讀數和時間的關係，取其 5 次最大拉力的平均值。
- 使用實驗八的飛機模型，分別使用步驟一的橡皮筋，在室內調整發射台的仰角和傾斜角度發射飛機，觀察飛機的飛行路徑，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間，每個資料重複測試 5 次，取其滯空時間最大值。

**【結果】**



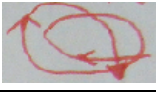






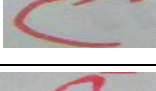
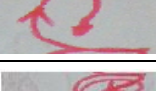

1、不同橡皮筋的拉力



橡皮筋	A1	A2	A3	A4	A5	B3	C1	C2	D1	D2
最大拉力	4.5g	13.7g	12.4g	14.5g	12.8g	11.5g	9g	17.1g	6.3g	16.5g

2、飛機使用不同橡皮筋的飛行情況

種類	發射台仰角	發射台傾斜角	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行路徑	說明
A1	0	0	0.7	0	4.84		升力太小，掉下來
	20	0	0.9	0	3.85		增加發射仰角，仍然升力太小，掉下來，這種橡皮筋不能用
A2	0	0	3.1	6	16.81		盤旋上升，再水平滑翔
	20	0	4	右轉 90 度	6.9		轉彎效果不好而撞到牆壁
	20	0	4.2	15	14.69		將方向舵向右彎一點，飛機可轉彎更多，飛行順利
A3	0	0	2.4	4.5	11.72		盤旋上升再水平滑翔
	20	0	1.8	4.5	9.69		增加發射仰角，飛行效果沒有更好
A4	0	0	0.6	6	4.19		飛行高度很低，飛行效果不好

A5	0	0	1.4	7.5	13.06		飛行高度不高，但飛機水平滑翔效果很好
	20	0	2.2	9.5	9.72		飛行高度不高，但飛機水平滑翔效果很好
B3	0	0	3	5	7.51		飛行效果還不錯
	20	0	3.5	4	8		增加發射仰角，滯空時間變長
C1	0	0	1.7	9	10.37		飛行高度不高，但飛機水平滑翔效果很好
	20	0	0.7	0	3.44		增加發射仰角，造成升力過大，掉下來，所以水平發射即可
C2	0	0	7.4	4.5	8.75		盤旋上升太快，到了最高點機頭朝下，下墜太快，飛機撞壞
	0	20	3.6	7.5	9.5		向右傾斜 20 度，增加右轉彎，可減少升力，到了最高點可水平滑翔
D1	0	0	0.8	10	9.75		飛行高度很低，但水平滑翔效果很好
	20	0	1.6	14	6.19		高度增加，但下墜太快，水平發射即可
D2	0	0	4.2	4.5	6.62		飛機轉彎之後機頭朝上，表示升力過大而掉下來，需減少升力
	0	20	8.1	5.5	20.31		向右傾斜 20 度，增加右轉彎，減少升力，飛機盤旋上升再水平滑翔

### 【討論】

- 1、市面上的橡皮筋(A1~A5)，A1 產生的拉力太小，飛機升力不夠會掉下來；A4 的飛行效果也不好，其餘都可以使用，飛行效果也不錯。
- 2、A2 是包便當的橡皮筋，四條橡皮筋套在一起，套成一組是 A1，兩組疊在一起是 A2，價格便宜，產生的拉力也不錯，但是不耐用，很容易斷掉。而大陸橡皮筋飛機專用 (C1~C2) 很耐用，不易斷。
- 3、飛機重量約 15g，D2 和 C2 橡皮筋最大拉力分別為 16.5g、17.1g，產生的升力過大，可將發射台向右傾斜發射減少升力，飛機的盤旋效果更好，而 A1 的最大拉力為 4.5g 無法飛行，所以歸納機盤旋上升的條件如下：
  - (1) 橡皮筋拉力小於飛機重量：直接調整方向舵右轉。
  - (2) 橡皮筋拉力大於飛機重量：調整方向舵右轉和向右傾斜發射。
  - (3) 橡皮筋拉力小於飛機重量的 1/3：飛機升力不夠無法飛行。

## 實驗十二、飛機在室內以人力直接發射探討飛行情況

【說明】瞭解飛機在室內無風的環境下，以人力直接發射的飛行狀況。


### 【步驟】

- 1、使用實驗八的飛機模型和 B3 的橡皮筋，手搖鑽旋轉的圈數為 60 圈，在室內手持飛機仰角約 20 度以人力發射，如圖 12-1，觀察飛機飛行路徑，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間。
- 2、步驟一重複 5 次。



圖 12-1 手擲飛機發射

### 【結果】

次數	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行路徑
1	4.1	5.1	8.22	
2	3.2	6.5	4.32	
3	6.1	5.3	10.78	
4	3.3	5.5	5.56	
5	5.7	10.5	10.93	

### 【討論】

- 1、從實驗九可知，相同 A 類的飛機從發射台發射的最高點大約 3.5 公尺，而手持飛機發射的最高點大約 6 公尺，所以飛機滑翔的時間也較久。
- 2、因為發射台的高度只有 90 公分，所以手持飛機發射比發射台發射的起始點高，故手持飛機發射的飛機也爬升較高，相對滯空時間也較長，由此可知身高與飛機的爬升高度有關，**身高愈高的人占優勢**。
- 3、手持飛機出手的力量太大會造成飛機升力過大，機頭會朝下飛行，促使飛機下降太快，滯空時間變短；反之出手力量太小，飛機會先下降再爬升，則飛機爬升的高度不高，滯空時間也會變短，所以飛機出手的力量大小可經由平常多練習熟悉
- 4、手持飛機出手的仰角也可經由平常多練習熟悉，仰角太大飛機可能會失速下墜，仰角太小飛機爬升高度不夠。

## 研究四、探討自製橡皮筋螺旋槳飛機在室外飛行的狀況

### 實驗十三、探討橡皮筋螺旋槳飛機在室外環境下以發射台發射的飛行狀況

【說明】研究飛機在室外有風時以發射台發射，探討風速、風向與飛機的飛行狀況

### 【步驟】

- 1、使用實驗八的飛機模型和 B3 的橡皮筋，手搖鑽旋轉的圈數為 60 圈，在室外有風時調整發射台的仰角 20 度發射飛機，如圖 13-1，觀察飛機飛行路徑，紀錄風速、飛行高度、盤



圖 13-1 室外發射飛機

旋直徑、滯空時間、發射方向和風向的關係。

### 【結果】

發射方向	風速	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)
逆風	3.3	2.3	2.5	3.28
逆風右側 45°	2.1	2.6	3	3.47
逆風右側 90°	2	2.9	1.5	2.71
逆風右側 135°	2.5	1.8	2.5	1.75
逆風左側 45°	2	1.6	3	4.56
逆風左側 135°	2.2	4.1	2.5	3.41

### 【討論】

- 1、室外飛行風速大，飛機幾乎都被吹翻了，甚至有些飛機轉彎後逆風停住再掉下來，所以**本實驗的機型不適合室外有風的環境飛行。**

## 陸、結論

### 一、橡皮筋的研究

- 1、捲繞橡皮筋愈多圈，產生的拉力愈大，時間也愈久，但是捲繞愈多圈橡皮筋容易斷。
- 2、愈多條橡皮筋疊在一起（愈粗）拉力愈大，但是容易斷，可捲繞的圈數愈少。
- 3、相同條數的橡皮筋疊在一起，短的橡皮筋產生的拉力較大，釋放的能量較快。
- 4、總長度相同的橡皮筋，繞成圈數多的拉力較大。
- 5、市面上的橡皮筋(A2、A3、A5)飛行效果很好，價格便宜，但是不耐用，很容易斷掉。
- 6、飛機專用橡皮筋中 D2 和 C2 升力過大，水平加上右傾斜發射可減少飛機升力，飛機盤旋上升效果很好。

### 二、螺旋槳研究

- 1、螺旋槳葉片傾斜角度在 20 度時產生的拉力最大。
- 2、螺旋槳旋轉半徑愈小，螺旋槳旋轉的速度愈快，產生的拉力愈大
- 3、螺旋槳葉片面積愈大產生的升力（拉力）不一定愈大。
- 4、本實驗使用螺旋槳葉片長度為 7 公分，寬 3 公分，旋轉半徑是 8 公分

### 三、檢查飛機

- 1、正視方向：檢查主翼兩邊的上反角的角度是否相等，主翼有無扭曲，主翼和水平尾翼是否平行，垂直尾翼和水平尾翼是否垂直。
- 2、側視方向：檢查螺旋槳轉軸是否彎曲，螺旋槳和轉軸是否垂直，機身有無上下彎曲。
- 3、俯視方向：檢查垂直尾翼和水平尾翼有無歪斜，機身有無左右彎曲。

### 四、發射飛機和力量關係：本實驗用 1kg 的力量發射飛機，所以手擲飛機也是需要施力。

- 1、施力太小：飛機剛開始時會下墜一些，爬升的高度較低，滯空時間明顯變短。
- 2、施力太大：飛機速度太快，升力過大會造成飛機失速下墜。
- 3、施力恰當：增加升力，最後爬升的高度較高，滯空時間較長。

### 五、橡皮筋動力飛機利用盤旋上升解決升力過大的問題，避免飛機翻轉或失速墜地，而飛機盤旋上升的條件如下：

- 1、橡皮筋的拉力小於飛機重量，直接調整方向舵右轉
- 2、橡皮筋的拉力大於飛機重量，調整方向舵右轉和向右傾斜發射

3、橡皮筋拉力小於飛機重量的 1/3，飛機升力不夠無法飛行

六、飛機試飛和調整：

1、小動力（手搖鑽旋轉 20 圈）發射飛機：目的是爲了觀察是否水平滑翔

2、中動力（手搖鑽旋轉 40 圈）發射飛機：調整飛機的方向舵向右，觀察飛機右轉彎效果，討論如下：

(1)右轉彎急速下墜：右彎太多，方向舵調回一點，直到飛機緩緩爬升。

(2)右轉彎機頭仰角過大直接下墜：右彎太少，方向舵向右再調一點。

(3)飛機右轉彎緩緩爬升：正確的飛行路徑。

3、大動力（手搖鑽旋轉 60 圈）發射飛機：觀察和調整與中動力飛行相同

七、飛機發射仰角會影響飛行高度，但是仰角太大升力會過大，所以本實驗的飛機發射的仰角在 20~30 度之間最好。

八、本實驗最適合的飛機大小爲乙種飛機，主翼長 40 公分，機身長 32 公分，主翼形狀爲 A 類製作最簡單。

九、室外飛行風速大飛機容易被吹翻，所以本實驗的機型不適合室外有風的環境飛行。

十、未來展望：希望可以成爲學校介紹飛行原理和製作橡皮筋螺旋槳飛機的教材。

## 柒、參考資料及其他

一、廖健宏 薛宗騰 薛沛瑩，中華民國第五十三屆中小學科學展覽會 國中組 生活與應用科學科：遨翔天空--破解木製手擲機的密碼

二、橡皮筋動力飛機製作教學 @ 姜猴子痞客邦 PIXNET

網址：<http://gogo1120.pixnet.net/blog/post/37764530>

三、航模組校本教材\_文登市侯家中學

網址：<http://www.wdhjzx.com/a/jiaoshipindao/xbzy/2012/0508/7054.html>

四、橡皮筋動力飛機，編者高橋矩彥，譯者林麗秀，三悅文化圖書事業有限公司



# 附件一

	設計圖	說明
甲		<p>主翼的翼展=50公分            主翼的翼弦=50 / 6 = 8.3公分            機身長=0.8 × 50=40公分            主翼的最高厚度=0.07 × 8.3=0.6公分            主翼面積=415平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 415=41.5平方公分            水平尾翼的面積=0.2 × 415=83平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 8.3=5.8公分</p>
乙		<p>主翼的翼展=40公分            主翼的翼弦=40 / 6=6.7公分            機身長=0.8 × 40=32公分            主翼的最高厚度=0.07 × 6.7=0.47公分            主翼面積=268平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 268=26.8平方公分            水平尾翼的面積=0.2 × 268=53.6平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 6.7=4.7公分</p>
丙		<p>主翼的翼展=30公分            主翼的翼弦=30 / 6=5公分            機身長=0.8 × 30=24公分            主翼的最高厚度=0.07 × 5=0.35公分            主翼面積=150平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 150=15平方公分            水平尾翼的面積=0.2 × 150=30平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 5=3.5公分</p>