

# 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

### 最佳團隊合作獎

030808

### 遨遊天空－破解木製飛機的密碼

學校名稱：嘉義縣立民雄國民中學

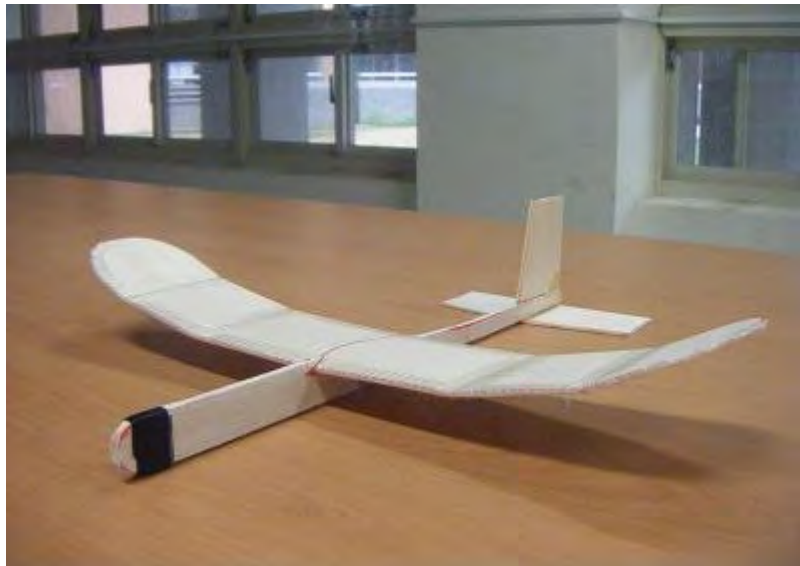
作者：  國一 廖健宏  國一 薛宗騰  國二 薛沛瑩	指導老師：  廖進泉  薛博仁
---	-----------------------------

關鍵詞：手擲機、巴爾沙木

# 遨翔天空--破解木製飛機的密碼

## 摘要

多數的手擲機都是以珍珠板或紙張為材料，鮮少以巴爾沙木製作手擲機。因為木製飛機最大的缺點是易摔壞、製作繁瑣。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。為了探討手擲機如何發射可以直線飛行較遠和滯空飛行較久，我們製作可以調整仰角、旋轉角度的「發射台」，用以測試飛機的飛行路徑。為了研究何種機型是最適合的手擲機，我們改變飛機的大小、機型，甚至改變主翼的形狀、上反角的角度、上反角的切割比例、機頭的長度比例等，探討最適合的手擲機結構比例。最後為了研究手擲機在室外有風時，風向、風速、飛行路徑的關係，我們改變手擲飛機與風向的角度，探討最適合手擲飛機與風向的角度。建議可以應用到教學、運動、科學比賽。



## 壹、研究動機

去年有機會參加國立科學工藝博物館舉辦的 2012 年飛機飛行競賽，競賽規則是以巴爾沙木為材料，在規定的時間內設計及製作出一架能夠同時進行「直線飛行」、「滯空飛行」兩項比賽的飛機。這讓我想起以前老師教我們製作紙飛機以及和同學進行飛行競賽的樂趣。但是以前都是以紙張製作飛機，從來沒看過以巴爾沙木製作飛機，因此上網搜尋有關巴爾沙木製作飛機的方式。雖然找到很多飛機的設計圖，但是製作都相當費時，因此與老師、同學們討論後決定以製作木製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、如何發射可以不容易損毀，而且直線飛得遠、滯空時間久，希望未來可以讓同學以簡便的方法製作木製飛機，體驗不同媒材的飛行樂趣。

## 貳、研究目的

- 一、瞭解飛機各部分構造之功能及飛行原理。
- 二、瞭解飛機如何製作。
- 三、自製發射台探討飛機的飛行路徑對滯空飛行的影響。
- 四、改變「飛機重心位置」探討對飛行路徑的影響。
- 五、改變飛機的機型探討在滯空飛行實驗中最適合發射的角度。
- 六、改變飛機的機型探討在直線飛行實驗中最適合發射的角度。
- 七、改變飛機大小探討何種機型和大小最適合滯空飛行和直線飛行。
- 八、改變機身的高度探討機身的高度與滯空飛行的關係。
- 九、改變主翼上反角的角度探討飛機上反角的角度與滯空飛行的關係。
- 十、改變主翼上反角切割的比例探討主翼上反角切割的比例與滯空飛行的關係。
- 十一、改變主翼形狀探討主翼形狀與滯空飛行的關係。
- 十二、改變機頭長度探討機頭的長度與滯空飛行的關係。
- 十三、改變飛機在發射台仰角(旋轉角度)探討飛機在發射台仰角與滯空飛行的關係。
- 十四、探討飛機盤旋飛行的原因。
- 十五、飛機在室外以發射台發射探討風向與滯空飛行的關係。
- 十六、飛機在室外以人力直接發射探討風向與滯空飛行的關係。

## 參、研究設備及器材

- 一、**木材**：厚度 2mm 的巴爾沙木，厚度 5mm 的巴爾沙木
- 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），AB 膠，大頭釘，鉛片，鉛筆和色筆，長尾夾，雙面膠，砂塊，電器絕緣膠帶，剪刀，平口鉗，斜口鉗，強力纖維膠帶，照相機，攝影機，計時器，皮尺，風速計。
- 三、**自製重心測量器**：以實驗室的儀器，拼裝成重心測量器，如圖3-1。使用時主翼放在重心測量器，飛機前後成平衡時，對應的機身處則為飛機的重心，如圖3-2。



圖3-1 自製重心測量器

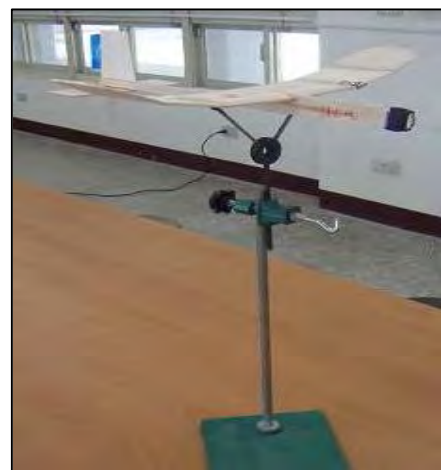
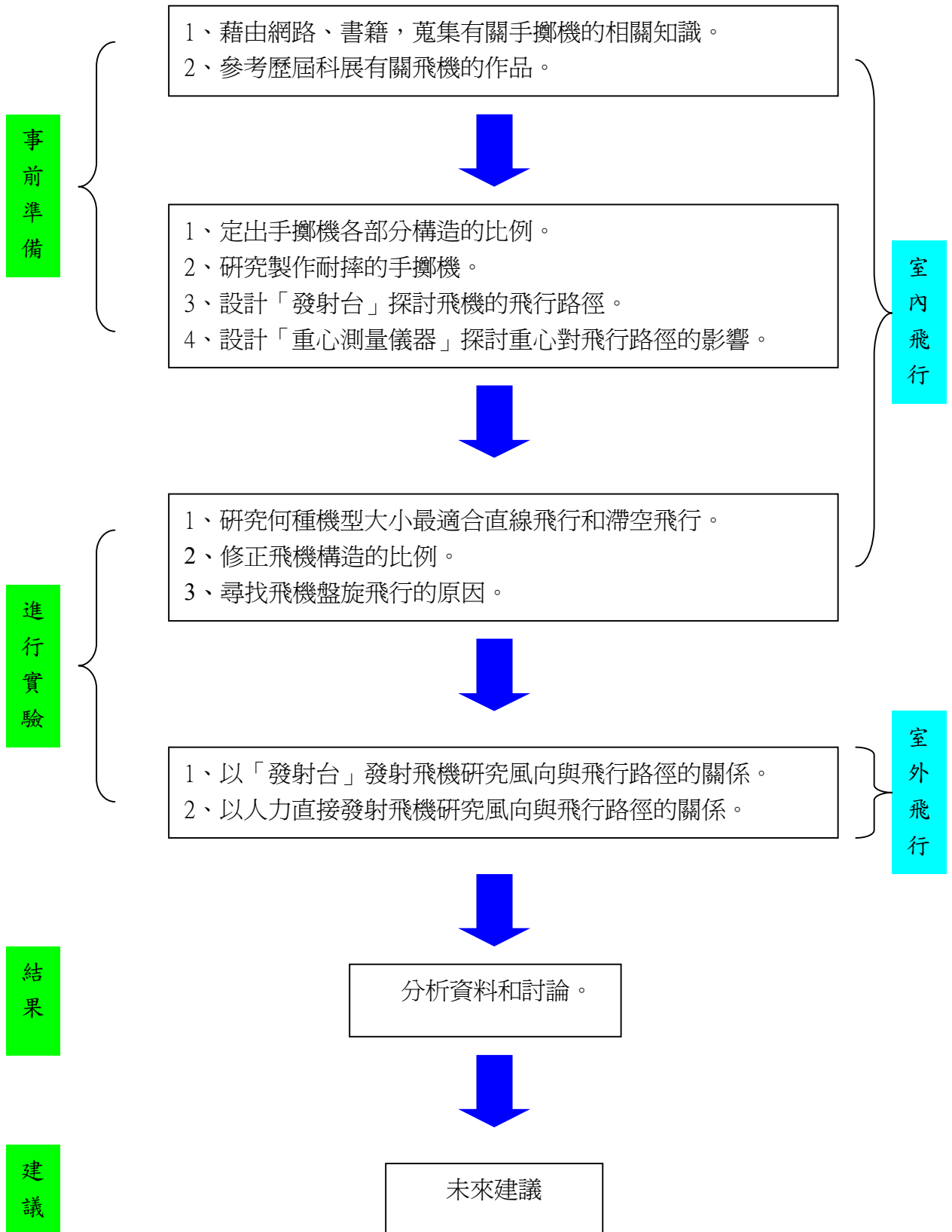


圖3-2 飛機平衡

## 肆、研究過程和結果

### ★研究流程圖



## ★研究一：瞭解飛機各部分構造之功能及飛行原理

### (一) 飛機各部分構造之功能

飛機是以手臂與全身的力量投擲，作為飛機的主要推力，以此推力產生速度，並藉由主翼提供的「升力」，使飛機能夠在空中滑翔，以下為飛機各部分構造的功能介紹，如圖4-1-1。

- 1、機頭：飛機配重的地方。
- 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。

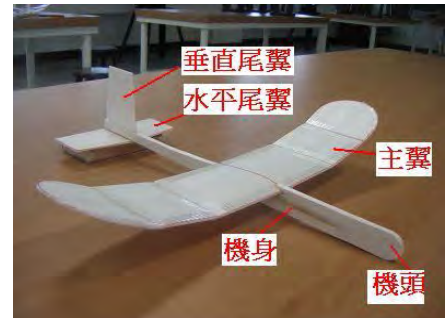


圖4-1-1 飛機構造名稱

### (二) 飛機在飛行時所受到的力

飛機在飛行時通常受到四個力：重力、升力、阻力、推力，如圖4-1-2。因為飛機沒有動力來源，所以沒有推力，以下為重力、升力、阻力的簡單介紹。

- 1、重力：飛機本身的重量。
- 2、升力：當飛機在空中飛行，主翼形成升力。當升力大於飛機的重量時，飛機就飛起來。
- 3、阻力：飛機在飛行時，空氣對飛機所產生的阻礙力量。

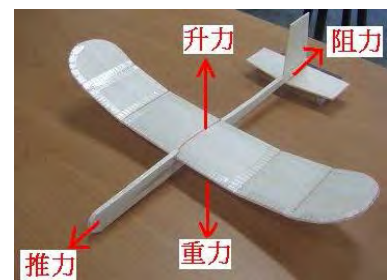


圖4-1-2 飛行所受之力

(三) 伯努利定律：如圖4-1-3，氣流流過主翼的上層時空氣流速會比較快，所以空氣壓力小，反之氣流流過主翼的下層空氣流速慢，壓力也比較大，因此造成一股由下往上推擠的「升力」，而速度愈快，升力也就愈大。

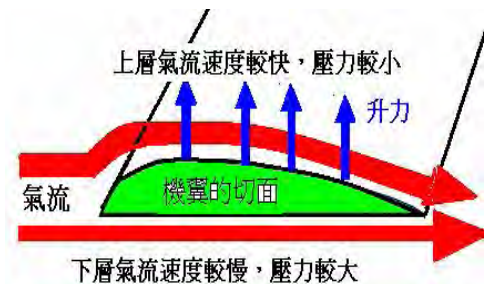


圖 4-1-3 伯努利定律示意圖

### (四) 專有名詞介紹：

- 1、上反角：主翼兩側向上翹高的角度，可將傾斜的飛機自動導正，如圖4-1-4。
- 2、翼展：主翼兩端的長度，如圖4-1-5。
- 3、翼弦：主翼前緣與後緣的長度，如圖4-1-5。
- 4、展弦比：翼展除以翼弦（翼展 / 翼弦）。
- 5、誘導阻力：機翼的翼端因上下壓力差，空氣會從壓力大往壓力小的方向移動，部份空氣不會規規矩矩往後移動，而從旁邊往上翻。
- 6、翼荷載：飛機重量除以主翼面積，單位為g/dm<sup>2</sup>（平方公吋）。
- 7、攻角：飛機飛行時氣流和主翼所形成的角度，攻



圖 4-1-4 上反角



圖 4-1-5 翼展和翼弦

角大，飛機升力大，但是攻角太大飛機會失速下墜，如圖4-1-6。

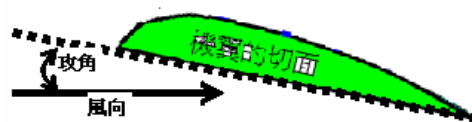


圖 4-1-6 攻角

## ★研究二：瞭解飛機如何製作

### (一)飛機各部分構造之間的比例

本次實驗的飛機各部分構造之間的比例，根據網路搜尋到的資料（請參閱參考資料3），主翼的翼展和翼弦的展弦比定為5.5，機身長度的主翼翼展的0.9倍，主翼的最高厚度與翼弦的厚弦比為6%，垂直尾翼的面積是主翼面積的10%，水平尾翼的面積是主翼面積的22%，主翼的最高點離機翼前緣約1/4，水平尾翼的寬度是主翼翼弦的0.7倍，機翼前緣到水平尾翼的距離等於主翼翼弦的3倍。

	<p>翼展(L)和翼弦(A)的展弦比(L/A)為5.5          機身長度 = <math>0.9 \times L</math>          主翼的最高厚度 = <math>0.06 \times A</math>          主翼面積為S          垂直尾翼的面積 = <math>0.1 \times S</math>          水平尾翼的面積 = <math>0.22 \times S</math>          主翼的最高點離機翼前緣約1/4          水平尾翼的寬度 = <math>0.7 \times A</math>          機翼前緣到水平尾翼的距離(B) = <math>3 \times A</math></p>
--	---

### (二)製作飛機

【說明】1、熟悉飛機的製作流程。

2、瞭解飛機飛行時撞到物品和落地時所受的損壞。

【步驟】

飛機的製作流程	圖 形
<p><b>步驟 1：訂出機型</b> 畫出飛機 1:1 的設計圖</p>	
<p><b>步驟 2：剪下設計圖的飛機構造</b> 將飛機設計圖剪下，機身貼在厚度5mm巴爾沙木，主翼、水平尾翼和垂直尾翼貼在厚度2mm巴爾沙木</p>	
<p><b>步驟 3：切下飛機的構造</b> 使用美工刀將機身、主翼、水平尾翼和垂直尾翼割下，注意木紋方向。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>水平尾翼</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>垂直尾翼</p> </div> </div>	<p style="color: red; text-align: center;">注意紅色線為木頭紋路的方向</p>

<p><b>步驟 4：切下主翼上反角的位置</b> 使用美工刀切割主翼中線左右兩邊畫線的部分</p>	
<p><b>步驟 5：黏上反角</b> 將主翼左右兩邊上反角用 AB 膠黏上，如果會翹起，可用木塊壓住。</p>	
<p><b>步驟 6：尾翼黏上機身</b> 先將水平尾翼的中線對準機身用 AB 膠黏上，再將垂直尾翼用 AB 膠黏上機身，可用木頭固定，垂直尾翼必須與水平尾翼互相垂直。</p>	 <p>木塊釘上大頭釘兩邊固定垂直尾翼</p>
<p><b>步驟 7：主翼黏上機身</b> 主翼的中線對準機身凹下去的部分插進去，將主翼彎曲成弧形再用 AB 膠黏上機身，此時主翼形成弧形，可產生上升力。</p>	 <p>將主翼插入此處向後彎成弧形</p>
<p><b>步驟 8：調整主翼</b> 飛機從後面看時，主翼和水平尾翼需平行，如此飛機左右才可平衡。</p>	 <p>調整兩紅線需平行</p>
<p><b>步驟 9：配重</b> 剪下適當的鉛片，以黑色電器膠帶將鉛片纏繞在機頭前緣，利用自製的重心測量器，在機頭前緣的部分增加或減少重量，調整飛機的重心在主翼下適當處</p>	 <p>以黑色電器膠帶將鉛片纏繞</p>
<p><b>步驟 10：試飛</b> 在室內無風的環境下試飛</p>	

**【討論】**

- 1、木製飛機的主翼都是將5mm巴爾沙木磨成弧形，但是本實驗的飛機是以厚度2mm巴爾沙木插入機身凹入部分，再將厚度2mm巴爾沙木依據機身的弧度彎曲成弧形，如圖4-2-1，如此可製作出有弧形的主翼，符合伯努利定律，而且飛機的重量也可減輕許多，但是要注意機身弧形不可彎曲太大，以免主翼破裂。

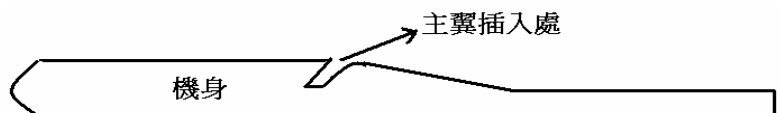


圖4-2-1 飛機的機

- 2、巴爾沙木俗稱飛機木，其密度是水的1/10，密度很小，重量很輕，常用來作為木製飛機的材料，由於主翼是由厚度2mm的巴爾沙木製成，主翼的厚度較薄，試飛的過程中撞倒物體，主翼的前面、主翼黏上機身處皆容易碎裂，如圖4-2-2、4-2-3。所以需要在飛機上做一些防

撞措施。

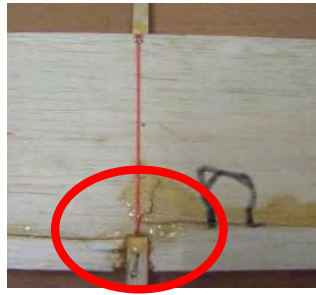


圖 4-2-2 主翼易斷裂處

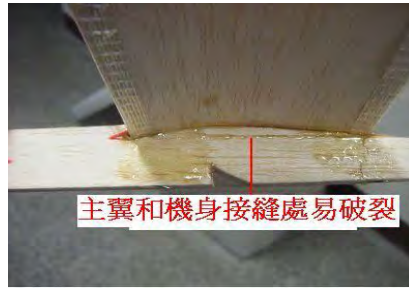


圖 4-2-3 主翼和機身接縫處易破裂

### (三) 飛機製作的第一次修正

【說明】加強飛機的結構，避免飛行時撞倒物體和落地容易碎裂。

【步驟】

- 1、在製作飛機的實驗步驟 6 之後，將主翼的前緣和黏結處貼上強力纖維膠帶，如圖 4-2-4。
- 2、在製作飛機的實驗步驟 7 之後，將主翼黏接機身的部分釘上大頭釘，如圖 4-2-5。

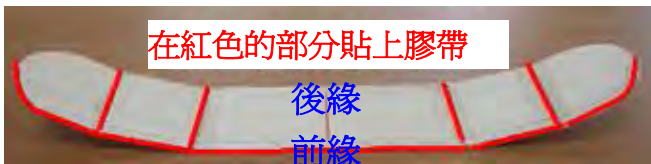


圖 4-2-4 貼上強力纖維膠帶



圖 4-2-5 主翼兩端釘上大頭釘

- 3、其餘飛機製作步驟都相同。
- 4、在室內無風的環境下試飛。

【討論】

- 1、主翼貼上強力纖維膠帶之後，飛行時撞擊物品或落地時，主翼的前緣部分不會有碎裂。
- 2、試飛幾次之後，飛機突然失速墜地，主翼的中間從後面向前面裂開，如圖 4-2-6，所以飛機製作需再修正。



圖 4-2-6 主翼易斷裂處

### (四) 飛機製作的第二次修正

【說明】再加強飛機的結構，避免飛行時撞倒物體和落地容易碎裂

【步驟】

- 1、在製作飛機的實驗步驟 6 之後，將主翼的後緣貼上強力纖維膠帶，如圖 4-2-7。
- 2、其餘飛機製作步驟都相同。
- 3、在室內無風的環境下試飛。

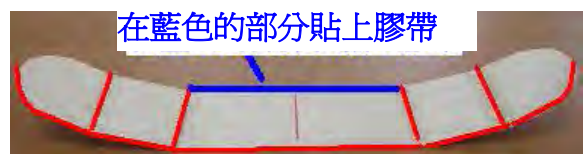


圖 4-2-7 增加在藍色部分貼上強力纖維膠帶

【討論】

- 1、在圖 4-2-7 的主翼畫藍色的部分貼上強力纖維膠帶，試飛 10 次，主翼中間不會斷，最後主翼貼上強力纖維膠帶的位置如圖 4-2-8。



圖 4-2-8 畫紅色線部分貼上強力纖維膠帶



## ★研究三、自製發射台探討飛機的飛行路徑對滯空時間的影響。

### (一) 自製發射台探討飛機的飛行路徑

【說明】以人力發射飛機，每次發射的力量大小、發射角度都無法固定，爲了克服此項人爲誤差，所以自製發射台，此裝置可以控制發射力量和發射角度。

#### 【步驟】

1、以「探討二」的步驟製作主翼長 40 公分的飛機三架，分別爲甲、乙、丙，如圖 4-3-1。



圖 4-3-1 甲、乙、丙三架飛機

2、自製發射台：

- (1)以水火箭發射台的材料，組成飛機發射台，如圖 4-3-2。
- (2)發射台的側面加裝量角器，量角器上綁一條重垂線，可以標示發射台仰角，如圖 4-3-2。
- (3)在發射台的前端裝上橡皮筋，因爲滯空時間要久，飛機的高度要盡量高，所以每次發射都以橡皮筋最大的彈力發射，以彈簧秤測量大約 900 公克，如圖 4-3-2。



圖 4-3-2 發射台

3、將步驟 1 製作的三架飛機以發射台仰角 30 度發射，發射台放在高 95 公分的講桌，如圖 4-3-3。紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)，測量方式如圖 4-3-4。



圖 4-3-3 發射飛機

- (1)飛行高度測量方法：在發射台右邊用竹竿標示高度刻度，人站左邊看台目視飛機，當飛機飛到最高點時，以目視看飛機對到右邊高度的刻度。
- (2)盤旋直徑測量方法：從發射台爲起點在地面標示距離，目視飛機從發射台起飛轉 180 度時的直線距離。
- (3)滯空時間測量方法：飛機發射到落地的間隔時間。

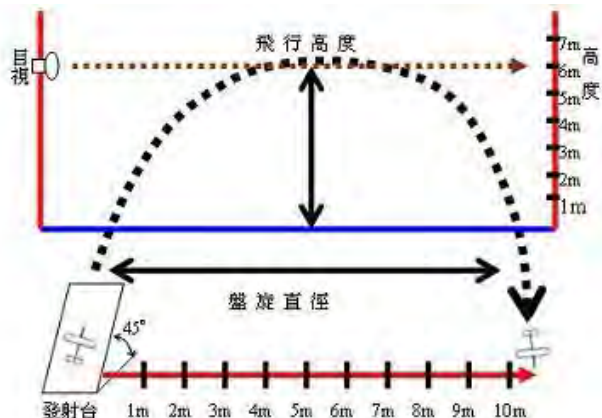


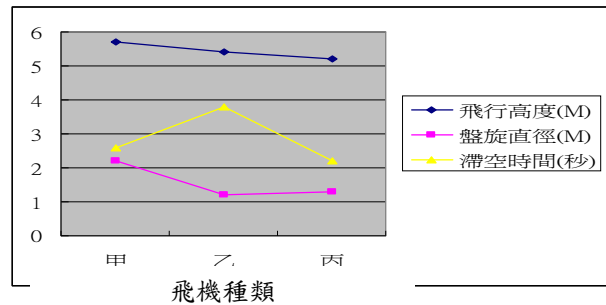
圖 4-3-4 紀錄飛行高度、盤旋直徑示意圖



**【結果】**

飛機種類	甲	乙	丙
飛行高度(M)	5.7	5.4	5.2
盤旋直徑(M)	向右 2.2m	向右 1.2m	向左 1.3m
滯空時間(秒)	2.6	3.8	2.2

圖表 3-1 飛機種類與滯空飛行關係



**【討論】**

1、飛機會向右飛，向左飛，此為人為製作的誤差，造成飛機橫向的不穩定，飛機需再修正。

**(二)修正製作飛機的誤差**

**【說明】** 每台飛機可能因製作過程的誤差而使飛機向左或向右飛，造成橫向的不穩定，此實驗的目的是修正橫向的不穩定。

**【步驟】**

1、將甲、乙、丙三架飛機的機頭加上長尾夾（5.5g，加重），以自製的發射台水平發射，如圖 4-3-5，如果無法直線飛行時，可在主翼上夾長尾夾（1.1g），調整飛機最後是直線飛行。**橫向穩定修正完後機頭上的長尾夾需拿掉，主翼上的長尾夾不可拿掉。**



圖 4-3-5 橫向修正

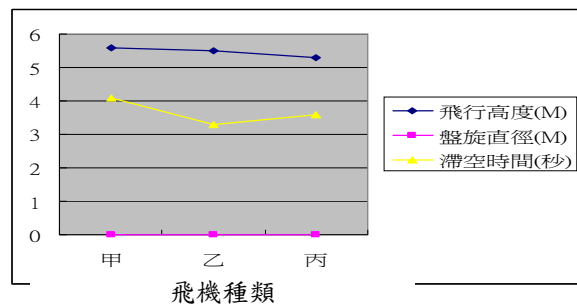
- (1)如果飛機向左飛，右翼加長尾夾。
- (2)如果飛機向右飛，左翼加長尾夾。

2、將步驟 1 修正甲、乙、丙三架飛機以發射台仰角 30 度發射，發射台放在高 95 公分的講桌，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

**【結果】**

飛機種類	甲	乙	丙
飛行高度(M)	5.6	5.5	5.3
盤旋直徑(M)	0	0	0
滯空時間(秒)	4.1	3.3	3.6

圖表 3-2 飛機種類與滯空飛行關係



**【討論】**

1、飛機會垂直翻滾，無法盤旋，滯空時間不久。因為飛機橫向穩定，用力發射飛機造成升力過大，飛機翻滾飛行，無法盤旋飛行，所以飛機的發射台需要再修正。

**(三)修正發射台**

**【說明】** 改善發射台，使飛機飛行到最高點可以機身水平滑翔。

**【步驟】**

1、將發射台的中間鑽洞鎖上螺絲，如圖 4-3-6，發射台可左右旋轉。



圖 4-3-6 發射器修正

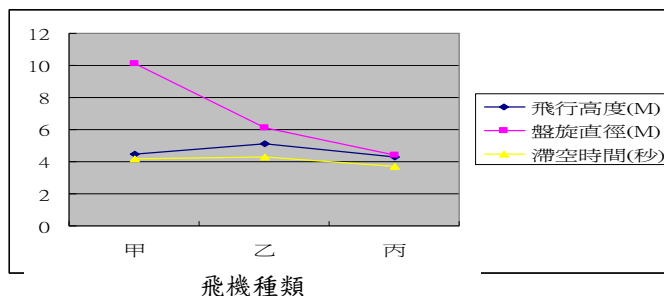
2、將橫向修正過後的甲、乙、丙三架飛機以發射台仰角=30°、發射台旋轉角度=30°發射，發射台放在高95公分的講桌，如圖4-3-7，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射5次，取其平均值)。



圖 4-3-7 發射飛機

【結果】

飛機種類	甲	乙	丙
飛行高度(M)	4.5	5.1	4.3
盤旋直徑(M)	10.1	6.1	4.4
滯空時間(秒)	4.2	4.3	3.7



圖表 3-3 飛機種類與滯空飛行關係

【討論】

- 1、發射台經此修正之後，飛機向右傾斜發射，飛機會向右轉，當飛機飛到最高點時，飛機轉正，機身會水平滑行。
- 2、以下實驗皆以此修正過後的發射台放在高95公分的講桌發射飛機，此發射台可調整發射台仰角、發射台旋轉角度。

★研究四、改變「飛機重心位置」探討對飛行路徑的影響

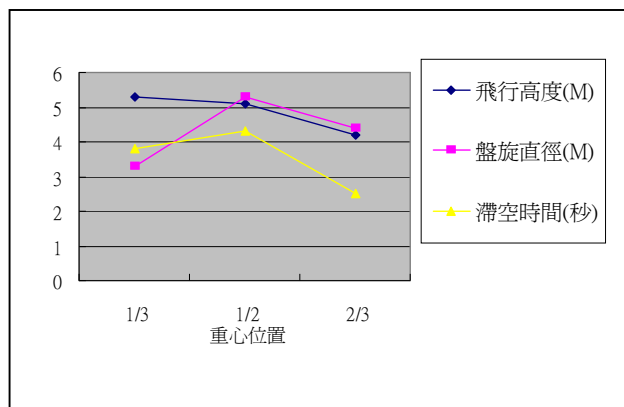
【說明】飛機的機頭配重會造成飛機重心位置的不同，探討飛機重心位置與飛行路徑的關係。

【步驟】

- 1、選擇「探討三」製作的甲飛機，在機頭前緣加上不同長度的鉛片，利用測量重心的儀器測量飛機的重心，實驗以重心離機翼前緣 1/3、1/2、2/3 探討。
- 2、以發射台仰角=30°、發射台旋轉角度=30°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射5次，取其平均值)。

【結果】

重心位置(離機翼前緣)	1/3	1/2	2/3
飛行高度(M)	5.3	5.1	4.2
盤旋直徑(M)	3.3	5.3	4.4
滯空時間(秒)	3.8	4.3	2.5



圖表 4 重心位置與滯空飛行關係

【討論】

- 1、由實驗結果得知飛機的重心位於主翼下離機翼前緣 1/2 處滯空時間最久。
- 2、重心位置離機翼前緣1/3的機頭配重最重，1/2次之，2/3最輕，由實驗資料可知機頭配重較重，飛機飛行高度較高，反之機頭配重較輕，飛機飛行高度明顯較低，所以飛機的機頭需要適當配重，飛機才會飛得高。

3、重心位置離機翼前緣不同時，觀察飛機的飛行路徑發現，飛機滑行到末端會有不同的路徑：

(1)重心位置離機翼前緣1/3：如圖4-4中路徑3，因為機頭太重，飛機下降太快，滯空時間較短。

(2)重心位置離機翼前緣1/2：如圖4-4中路徑2，機頭配重剛好，飛機路徑最好，滯空時間較長。

(3)重心位置離機翼前緣2/3：如圖4-4中路徑1，因為機頭太輕，飛機呈現波浪狀彎曲，在最末端會突然下墜，滯空時間較短。

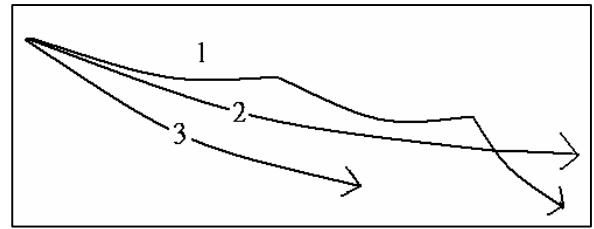






圖 4-4 重心位置與飛行軌跡的關係

### ★研究五、改變「飛機的機型」探討在滯空飛行實驗中最適合發射的角度

【說明】由參考資料發現手擲機最常製作的機型大約四種，本實驗利用發射台探討這四種機型在滯空飛行最適合發射的角度。

#### 【步驟】

1、以「探討二」的步驟製作主翼長 40 公分的四類機型飛機，如下。

名稱	B1(第1類)	B2(第2類)	B3(第3類)	B4(第4類)
				
說明	主翼水平	主翼對切，主翼兩邊做成上反角10度	主翼兩邊切半，做成上反角25度	主翼兩邊1/4、1/2處切下，做成上反角都是15度

2、調整飛機的重心在離機翼前緣 1/2。

3、將四種機型的主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。

4、在室內調整發射台的仰角和旋轉角度發射以上四種機型，探討滯空飛行最適合發射的角度，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)

#### 【結果】

1、B1 飛機(第 1 類)：X 為發射台仰角、Y 為發射台旋轉角度

Y \ X	60°			45°			30°			15°		
	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)	飛行高度(M)	盤旋直徑(M)	滯空時間(秒)
30°	4.0	3.7	2.4	5.1	0	2.5	5.1	4.7	2.3	5.9	2.5	2.1
45°	4.1	6.3	2.6	4.9	4.7	2.4	5.9	4.8	2.5	6.1	2.4	2.3
60°	3.8	8.8	4.5	4.9	8.0	2.5	5.8	5.1	3.1	6.2	2.5	2.4
75°	3.1	11.8	4.1	4.1	8.8	2.2	5.1	7.1	2.4	6.1	2.3	2.5

B1 飛機(第 1 類)：最適合發射台仰角為 60°，最適合發射台旋轉角度為 60°

2、B2 飛機(第 2 類)：X 為發射台仰角、Y 為發射台旋轉角度

Y \ X	60°			45°			30°			15°		
	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)
30°	4.8	0	3.5	5.3	0	3.2	6.1	0	2.8	6.1	0	2.8
45°	4.6	0	4.9	5.1	0	5.9	5.9	0	2.9	5.9	0	2.9
60°	3.1	0	5.1	4.9	0	5.6	5.7	0	4.1	6.1	0	2.3
75°	2.1	0	4.4	3.9	0	4.7	5.1	0	2.8	6.2	0	2.4

B2 飛機(第 2 類)：最適合發射台仰角為 45°，最適合發射台旋轉角度為 45°

3、B3 飛機(第 3 類)：X 為發射台仰角、Y 為發射台旋轉角度

Y \ X	60°			45°			30°			15°		
	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)
30°	4.5	4.9	2.4	5.1	4.7	2.3	5.5	6.5	4.7	5.3	0	4.3
45°	4.1	6.3	1.7	4.6	4.5	2.1	5.1	6.1	4.2	5.4	6.3	4.2
60°	3.1	4.5	1.3	4.1	4.4	1.7	5.1	0	1.7	5.2	0	2.1
75°	1.9	4.5	1.1	4.1	4.5	1.5	4.9	0	1.8	5.1	0	2.2

B3 飛機(第 3 類)：最適合發射台仰角為 30°，最適合發射台旋轉角度為 30°

4、B4 飛機(第 4 類)：X 為發射台仰角、Y 為發射台旋轉角度

Y \ X	60°			45°			30°			15°		
	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)	飛行高度 (M)	盤旋直徑 (M)	滯空時間 (秒)
30°	4.7	11.1	4.6	5.1	11.5	4.6	6.1	6.5	4.6	6.1	0	2.3
45°	4.1	7.2	4.5	5.2	7.1	4.7	5.5	9.3	4.6	6.2	0	2.1
60°	3.2	8.1	2.1	4.3	7.2	2.1	5.2	6.5	2.3	5.5	0	3.9
75°	2.1	7.1	1.5	3.8	7.1	1.6	5.1	0	1.9	6.1	0	2.2

B4 飛機(第 4 類)：最適合發射台仰角為 45°，最適合發射台旋轉角度為 45°

【討論】

1、發射角度不能太大，否則容易失速墜地。大約30~45度發射，讓飛機自然滑行到最高點，機頭保持水平飛行，滯空時間久；假如機頭向下傾斜角度大，則飛機下降變快，滯空時間短。

### ★研究六、改變「飛機的機型」探討在直線飛行實驗中最適合發射的角度

【說明】以「探討五」的機型，利用發射台探討這四種機型在直線飛行最適合發射的角度。

#### 【步驟】

- 1、取「探討五」的機型為實驗機。
- 2、在飛機的機頭加上不同重量的長尾夾，在室內調整發射台的仰角發射以上四種機型，探討直線飛行最適合發射的角度，紀錄飛行距離、發射的角度(每個資料試射5次，取其平均值)。  
註：長尾夾分為1號長尾夾(9.6g)、2號長尾夾(5.5g)、3號長尾夾(2.4g)、4號長尾夾(1.7g)、5號長尾夾(1.1g)

#### 【結果】

- 1、B1 飛機(第1類)：甲為發射台仰角、乙為機頭的加重、單位為公尺

乙 \ 甲	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
1號長尾夾	5.5	7.1	9.5	11.1	11.6	11.4	10.6
2號長尾夾	5.1	6.8	9.8	10.6	11.6	10.9	10.1

B1 飛機(第1類)：最適合發射台仰角為10°

- 2、B2 飛機(第2類)：甲為發射台仰角、乙為機頭的加重、單位為公尺

乙 \ 甲	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
1號長尾夾	7.2	11.1	11.3	13.1	13.6	14.3	12.7
2號長尾夾	7.2	9.7	11.8	12.6	13.1	12.6	11.8

B2 飛機(第2類)：最適合發射台仰角為15°

- 3、B3 飛機(第3類)：甲為發射台仰角、乙為機頭的加重、單位為公尺

乙 \ 甲	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
1號長尾夾	×	×	7.3	10.6	12.1	12.2	12.8	11.6	11.4
2號長尾夾	×	×	12.7	12.9	14.1	13.1	11.3	8.3	8.1
3號長尾夾	×	9.6	9.9	10.1	8.2	7.1	5.7	×	×

B3 飛機(第3類)：最適合發射台仰角為0°

- 4、B4 飛機(第4類)：甲為發射台仰角、乙為機頭的加重、單位為公尺

乙 \ 甲	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
1號長尾夾	×	×	6.1	8.5	10.3	12.1	12.6	12.5	12.3
2號長尾夾	×	×	14.7	16.5	17.1	16.4	15.5	13.5	12.1
3號長尾夾	17.1	18.5	18.6	17.8	16.8	14.1	13.1	×	×

B4 飛機(第4類)：最適合發射台仰角為-10°

#### 【討論】

- 1、直線飛行與滯空飛行不同的是直線飛行的機頭必須適當加重，否則用力發射，飛機會垂直翻滾。

2、如果機頭加太重，飛機下降太快，直線飛行不遠；如果機頭加的不夠重，飛機會向上飛再墜地，直線飛行不遠；如果機頭加了適當重量，飛機用力稍微向下發射，飛機會呈現水平滑行，直線飛行最遠。

### ★研究七、改變「飛機大小」探討何種機型和大小最適合滯空飛行和直線飛行

【說明】改變飛機的大小，在室內使用發射台，根據「探討五」和「探討六」最適合滯空飛行和直線飛行的角度發射飛機，探討何種機型和大小最適合滯空飛行和直線飛行。

#### 【步驟】

1、以「探討二」的步驟製作第1類、第2類、第3類、第4類的四類機型飛機，各類手擲機的主翼再分成44、40、35、30、25、20公分，總共製作24架飛機，飛機資料如附件一，如圖4-7-1、4-7-2、4-7-3、4-7-4的飛機。

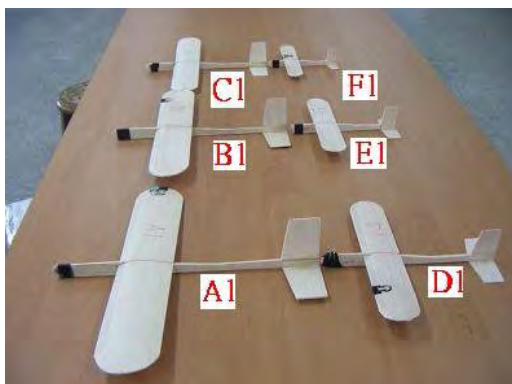


圖 4-7-1 第 1 類飛機

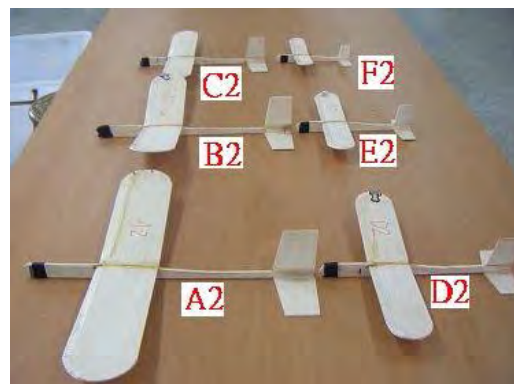


圖 4-7-2 第 2 類飛機

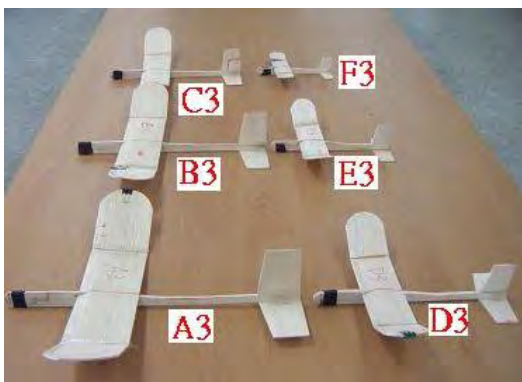


圖 4-7-3 第 3 類飛機

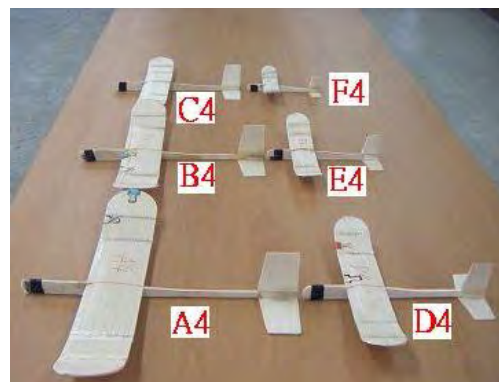


圖 4-7-4 第 4 類飛機

2、調整飛機的重心在離機翼前緣 1/2。

3、每台飛機的主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。

4、以「探討五」四類機型最適合滯空飛行的角度發射以上 24 架飛機，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間 (每個資料試射 5 次，取平均值)。

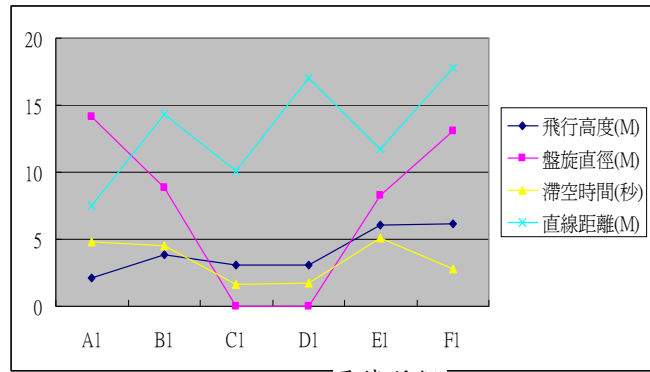
5、以「探討六」四類機型最適合直線飛行的角度發射以上 24 架飛機，紀錄直線飛行距離(每個資料試射 5 次，取平均值)。

#### 【結果】

1、第 1 類機型：滯空飛行：發射台仰角=60°、發射台旋轉角度=60°  
直線飛行：發射台仰角=10°、發射台旋轉角度=0°

種類	A1	B1	C1	D1	E1	F1
飛行高度(M)	2.1	3.8	3.1	3.1	6.1	6.2
盤旋直徑(M)	14.1	8.8	0	0	8.3	13.1
滯空時間(秒)	4.8	4.5	1.6	1.7	5.1	2.8
直線距離(M)	7.5	14.3	10.1	17	11.7	17.8

圖表 7-1 第 1 類機型與滯空、直線飛行關係

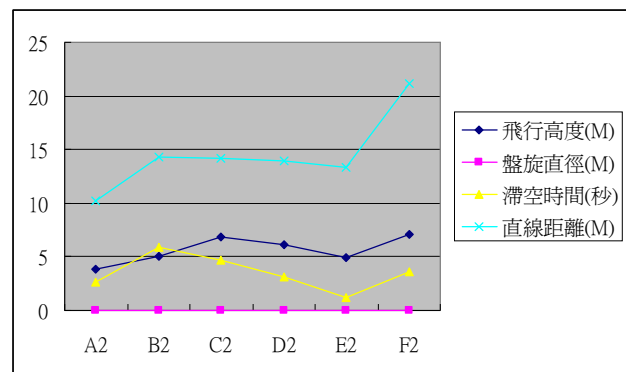


2、第 2 類機型：滯空飛行：發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°

直線飛行：發射台仰角=15°、發射台旋轉角度=0°

種類	A2	B2	C2	D2	E2	F2
飛行高度(M)	3.8	5.1	6.8	6.1	4.9	7.1
盤旋直徑(M)	0	0	0	0	0	0
滯空時間(秒)	2.7	5.9	4.7	3.1	1.2	3.6
直線距離(M)	10.2	14.3	14.2	13.9	13.3	21.2

圖表 7-2 第 2 類機型與滯空、直線飛行關係

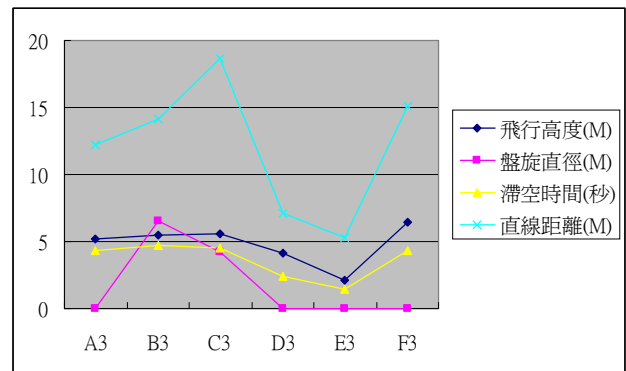


3、第 3 類機型：滯空飛行：發射台仰角=30°、發射台旋轉角度=30°

直線飛行：發射台仰角=0°、發射台旋轉角度=0°

種類	A3	B3	C3	D3	E3	F3
飛行高度(M)	5.2	5.5	5.6	4.1	2.1	6.4
盤旋直徑(M)	0	6.5	4.2	0	0	0
滯空時間(秒)	4.3	4.7	4.5	2.4	1.4	4.3
直線距離(M)	12.2	14.1	18.7	7.1	5.3	15.1

圖表 7-3 第 3 類機型與滯空、直線飛行關係

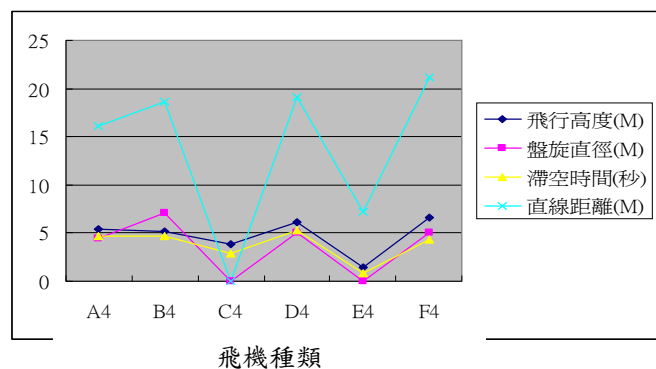


4、第 4 類機型：滯空飛行：發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°

直線飛行：發射台仰角=-10°、發射台旋轉角度=0°

種類	A4	B4	C4	D4	E4	F4
飛行高度(M)	5.4	5.2	3.9	6.1	1.5	6.6
盤旋直徑(M)	4.5	7.1	0	5.1	0	5.1
滯空時間(秒)	4.7	4.7	2.9	5.3	0.8	4.3
直線距離(M)	16.1	18.6	16.1	19.1	7.2	21.1

圖表 7-4 第 4 類機型與滯空、直線飛行關係



【討論】



- 1、第 1 類機型(水平翼機型)：製作簡單快速，但是機型較大的飛行高度很低，可能是飛機較大造成空氣的阻力較大而無法飛高。飛機飛到最高點時，機頭幾乎是水平滑翔。缺點是直線飛行方向容易偏，必須在機頭加重較多，所以飛機較重直線飛行的距離也變短。
- 2、第 2 類機型(主翼切半做成上反角)：主翼要彎成弧形非常容易破，但是滯空飛行相當好，直線飛行的方向也較固定，不太會偏，缺點是直線飛行的距離不太遠。
- 3、第 3 類機型(距離翼端 1/2 處切斷做成上反角)：滯空飛行發射角度大約 30 度左右，滑翔效果普通，缺點是直線飛行方向容易偏，直線飛行的距離也普通。
- 4、第 4 類機型(距離翼端 1/4、1/2 處切斷做成上反角)：滯空飛行成功發射角度範圍較大，滯空時間相當好，而直線飛行角度需在水平面以下 10 度左右，利用滑翔可相當的遠。
- 5、主翼愈大，翼荷載愈高，滑翔愈好，但是木製飛機必須考慮巴爾沙木所能承受的力，做的太大飛機容易摔毀。飛機的構造部位比例不對，飛機也會直接墜地。
- 6、對滯空飛行和直線飛行而言，第 4 類機型滯空飛行成功發射角度範圍較大，飛機較容易成功飛行，直線飛行的距離也較遠，所以第 4 類機型最適合作為本實驗的原型機，而第 4 類機型中以 B4 和 D4 滯空和直線距離最好，但是 D4 機型較小較輕，不容易用手發射，而且易被風吹走而失速掉下來，所以本實驗以 B4 飛機為基礎來討論。

### ★研究八、改變「機身的高度」探討機身的高度與滯空飛行的關係

【說明】為了加強機身的強度，探討機身的高度與滯空飛行的關係。

#### 【步驟】

- 1、以 B4 的飛機為基礎，製作機身加高 2 公分，如圖 4-8。
- 2、調整飛機的重心在離機翼前緣 1/2。
- 3、主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。
- 4、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。
- 5、機身的高度每次減少 0.5 公分，重複步驟 2~4。

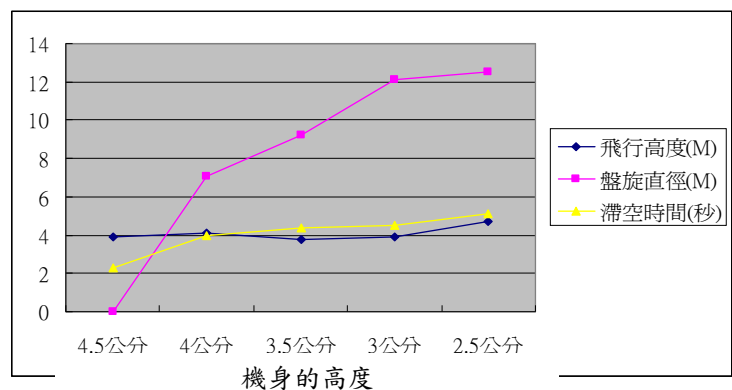


圖4-8 機身的高度

#### 【結果】

機身高度	4.5 公分	4 公分	3.5 公分	3 公分	2.5 公分
飛行高度(M)	3.9	4.1	3.8	3.9	4.7
盤旋直徑(M)	0	7.1	9.2	12.1	12.5
滯空時間(秒)	2.3	4.0	4.4	4.5	5.1

圖表 8 機身高度與滯空飛行關係



#### 【討論】

- 1、機身高度增加，機頭的配重也必須加重，如此整個飛機都變重，翼荷載變小，飛機滑翔能力變差，滯空時間也變短，所以機身仍然照原機型不改變。

## ★研究九、改變「主翼上反角的角度」探討飛機上反角的角度與滯空飛行關係

【說明】改變主翼上反角的角度，探討飛機上反角的角度與滯空飛行的關係

【步驟】

- 1、以 B4 的飛機為基礎，製作主翼的第一次上反角的角度分別為 15°、20°、25°、30°的飛機，如圖 4-9。

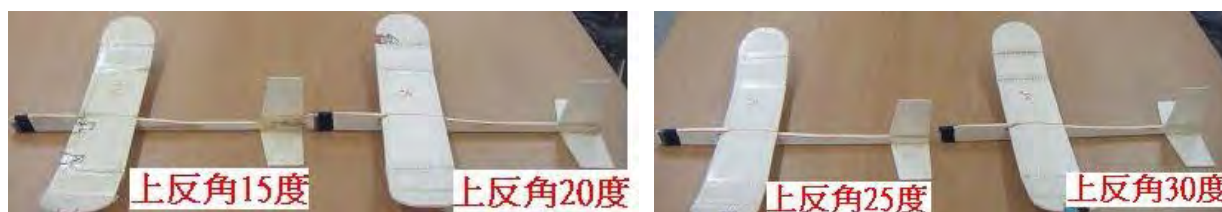
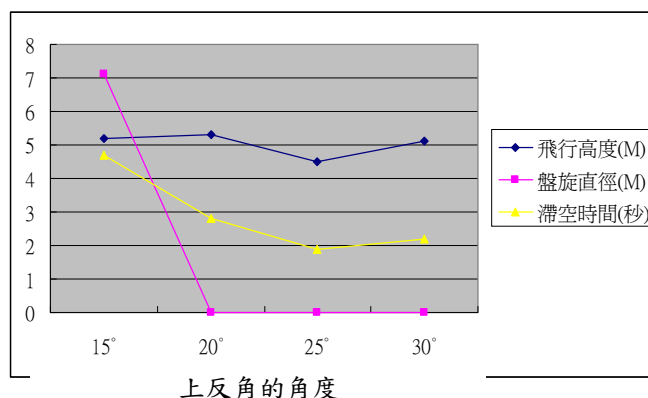


圖 4-9 上反角的角度

- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、將步驟 1 的飛機主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。
- 4、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

【結果】

第一節上反角的角度	15°	20°	25°	30°
飛行高度(M)	5.2	5.3	4.5	5.1
盤旋直徑(M)	7.1	0	0	0
滯空時間(秒)	4.7	2.8	1.9	2.2



圖表 9 上反角角度與滯空飛行關係

【討論】

- 1、主翼上反角的角度以 15°最好。
- 2、主翼上反角的角度愈大，飛機不容易盤旋轉正飛行，造成飛機下降較快，滯空時間愈短。
- 3、主翼上反角的角度愈大，主翼翼展面積會變小，飛機的滑翔能力會變差，所以上反角的角度以 15 度，飛機即有導正的效果。

## ★研究十、改變「主翼上反角比例」探討主翼上反角切割比例與滯空飛行關係

【說明】改變主翼上反角切割的比例，探討主翼上反角切割的比例與滯空飛行的關係

【步驟】

- 1、以「探討九」最適合主翼上反角角度的飛機為基礎，製作主翼切割比例如圖 4-10-1 中甲：乙：丙=2：1：1 和 1：1：1，如圖 4-10-2。



圖 4-10-1 主翼上反角切割的比例



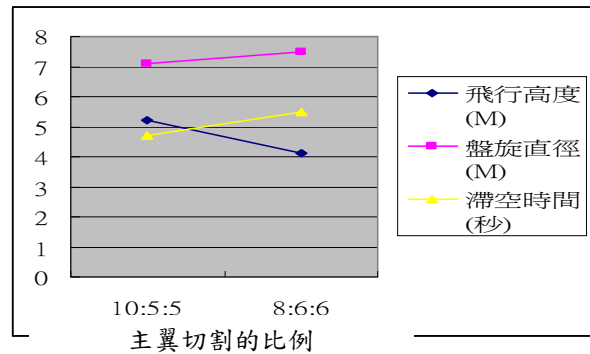
圖 4-10-2 主翼上切割的比例不同

- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、將步驟 1 的飛機主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。
- 4、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

【結果】

甲：乙：丙	10：5：5	8：6：6
飛行高度(M)	5.2	4.1
盤旋直徑(M)	7.1	7.5
滯空時間(秒)	4.7	5.5

圖表 10 上反角切割比例與滯空飛行關係



【討論】

- 1、主翼切割比例接近 1：1：1，飛機在高空傾斜轉正效果愈好，滯空效果愈好，因為手擲機如果傾斜，無法導正，下降速度會變快，滯空時間會變短。

★研究十一、改變「主翼形狀」探討主翼形狀與滯空飛行的關係

【說明】改變主翼形狀，探討主翼形狀與滯空飛行的關係

【步驟】

- 1、以「探討十」最適合主翼上反角切割比例的飛機為基礎，製作主翼形狀為方形翼、方形翼（圓）、錐形翼、錐形翼（圓）、橢圓翼的飛機，如圖 4-11。

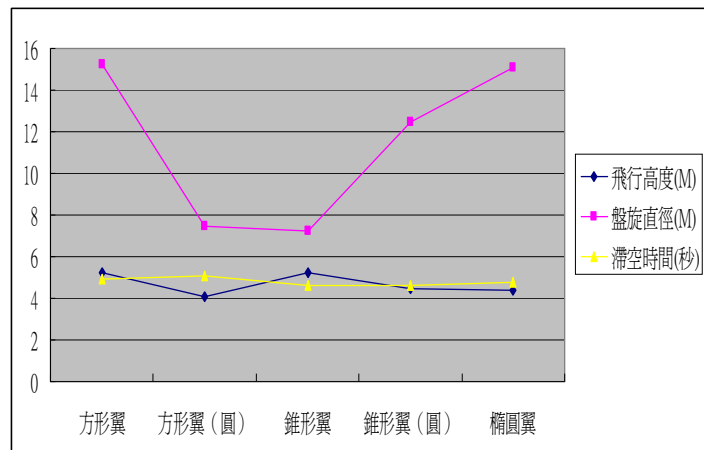


圖 4-11 主翼形狀

- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、將步驟 1 飛機的主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。
- 4、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

【結果】

主翼形狀	方形翼	方形翼(圓)	錐形翼	錐形翼(圓)	橢圓翼
飛行高度(M)	5.2	4.1	5.2	4.5	4.4
盤旋直徑(M)	15.2	7.5	7.2	12.5	15.1
滯空時間(秒)	4.9	5.1	4.6	4.6	4.8



【討論】圖表 11 主翼形狀與滯空飛行關係

- 1、主翼是方形，主翼的翼端是圓形，滯空效果愈好。
- 2、因為飛機主翼左右要對稱，而橢圓翼要製作成主翼左右兩邊對稱不容易。但是方形翼最容易製作成主翼左右對稱，主翼的面積也最大，並且翼端切割成半圓形，更可以減少誘導阻力。

## ★研究十二、改變「機頭長度」探討機頭的長度與滯空飛行的關係

【說明】改變機頭長度，探討機頭的長度與滯空飛行的關係

【步驟】

- 1、以「探討十一」最適合主翼形狀的飛機為基礎，製作機頭的長度為 9、10、11、12、13 公分的飛機，如圖 4-12。



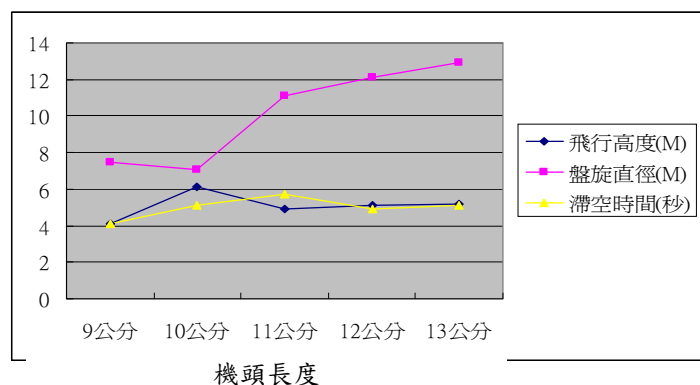
圖 4-12 機頭的長度

- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、將步驟 1 的飛機主翼加上長尾夾修正橫向的不穩定。
- 4、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

【結果】

主翼距離機頭前緣	9 公分	10 公分	11 公分	12 公分	13 公分
飛行高度(M)	4.1	6.1	4.9	5.1	5.2
盤旋直徑(M)	7.5	7.1	11.1	12.1	12.9
滯空時間(秒)	5.1	5.1	5.7	4.9	5.1

圖表 12 機頭長度與滯空飛行關係



### 【討論】

- 1、實驗結果以機頭 11 公分滯空最好。
- 2、機頭長度變長，盤旋直徑愈大，盤旋的角度大約 180 度，如果在室內發射需注意避免撞到周圍物體。

## ★研究十三、改變「發射台仰角」探討飛機在發射台仰角與滯空飛行關係

【說明】當飛機在發射台仰角不同時，探討飛機的飛行路徑。

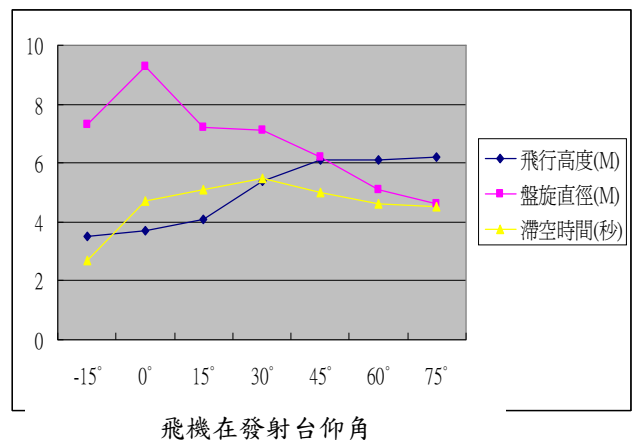
### 【步驟】

- 1、以「探討十二」的飛機為實驗機。
- 2、在室內以發射台仰角 = 45°、改變發射台旋轉角度發射飛機，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

### 【結果】

飛機在發射台仰角	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°
飛行高度(M)	3.5	3.7	4.1	5.4	6.1	6.1	6.2
盤旋直徑(M)	7.3	9.3	7.2	7.1	6.2	5.1	4.6
滯空時間(秒)	2.7	4.7	5.1	5.2	5.5	4.6	4.5

圖表 13 發射台仰角與滯空飛行關係



### 【討論】

- 1、飛機在發射台仰角 45°附近滯空時間最好。
- 2、飛機在發射台仰角愈低，盤旋直徑較大，高度較低，機身接近水平滑翔，滑翔軌跡相當漂亮。
- 3、即使向水平面以下發射，只要不撞倒地面，機頭接近水平滑翔，滑翔軌跡相當漂亮。
- 4、飛機在發射台仰角愈高，盤旋直徑較小，飛行高度較高，但是機頭朝下角度過大，下降較快。所以高度愈高，滯空時間並不見得愈久。因為飛機飛行最好的軌跡是當飛機滑到最高點時，主翼轉正，機頭水平滑翔。

## ★研究十四、探討飛機盤旋飛行的原因

【說明】改變主翼的傾斜、水平尾翼傾斜、垂直尾翼加裝方向舵、垂直尾翼左偏、減少右邊主翼的面積、右邊主翼加重，探討飛機盤旋飛行的路徑。

### (一)主翼向右傾斜

#### 【步驟】

- 1、以「探討十二」的飛機為基礎，製作主翼右邊向下傾斜(左翼高、右翼低) 5 度、15 度的飛機，如圖 4-14-1。
- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。

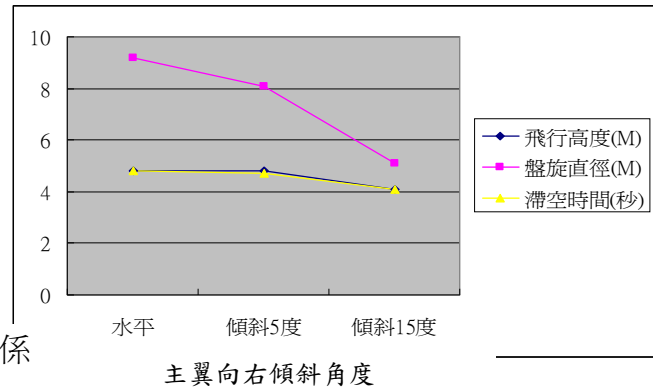


圖 4-14-1 主翼向右傾斜

3、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

**【結果】**

主翼向右傾斜	主翼水平	主翼向右傾斜 5 度	主翼向右傾斜 15 度
飛行高度(M)	4.8	4.8	4.1
盤旋直徑(M)	9.2	8.1	5.1
滯空時間(秒)	4.8	4.7	4.1



圖表 14-1 主翼向右傾斜角度與滯空飛行關係

**【討論】**

- 1、主翼向右傾斜愈大，盤旋直徑變小，右翼傾斜角度從 0 度、5 度、15 度變化，則飛機轉彎角度從 180 度，變成 270 度、360 度，轉彎角度有變大。
- 2、飛機轉彎角度變大，但是飛機下降速度變快，滯空時間變短，所以此種方法可增加轉彎角度，但無法增加滯空時間。

**(二) 水平尾翼傾斜**

**【步驟】**

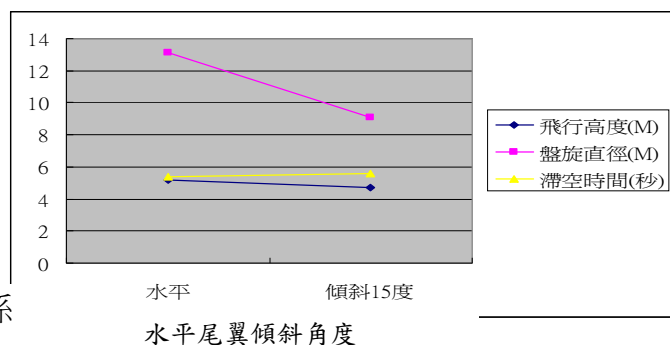
- 1、以「探討十二」的飛機為基礎，製作水平尾翼與主翼非平行，而是右邊高，左邊低，如圖 4-14-2。
- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。



圖 4-14-2 水平尾翼向左傾斜

**【結果】**

水平尾翼傾斜	水平尾翼水平	水平尾翼傾斜 15 度
飛行高度(M)	5.2	4.7
盤旋直徑(M)	13.1	9.1
滯空時間(秒)	5.4	5.6



圖表 14-2 水平尾翼傾斜角度與滯空飛行關係

**【討論】**

- 1、水平尾翼向左傾斜，飛機向右轉，反之飛機向左轉。
- 2、觀察飛行時，水平尾翼是平的，主翼是向右傾斜，但是飛機下降速度與水平尾翼不傾斜的差不多，而且轉彎角度多了 180 度，飛機轉彎效果更好，滯空時間更好。此種手擲機可拿到室外試飛。

**(三) 垂直尾翼加裝方向舵**

**【步驟】**

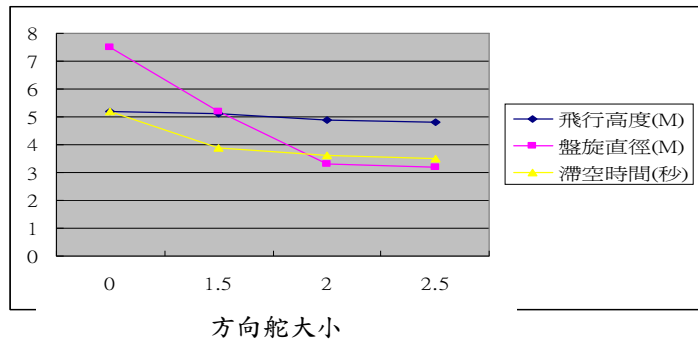


圖 4-14-3 垂直尾翼加裝方向舵

- 1、以「探討十二」的飛機為基礎，在垂直尾翼加上塑膠的方向舵，如圖 4-14-3。
- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

**【結果】**

方向舵大小	0	1.5	2	2.5
	公分	公分	公分	公分
飛行高度(M)	5.2	5.1	4.9	4.8
盤旋直徑(M)	7.5	5.2	3.3	3.2
滯空時間(秒)	5.2	3.9	3.6	3.5



圖表 14-3 方向舵大小與滯空飛行關係

**【討論】**

- 1、垂直尾翼加了方向舵，飛機轉彎的效果愈好，但是方向舵彎曲的角度太大，或方向舵面積太大，都會造成飛機轉彎太大，飛機翻落地面，所以方向舵的面積不宜過大，而且角度必須小於 5 度。
- 2、因為飛機盤旋直徑變小，很容易回到手中，所以此種飛機可做類似迴旋機，非常好玩，但是滯空時間不久。

**(四)垂直尾翼左偏：**

**【步驟】**

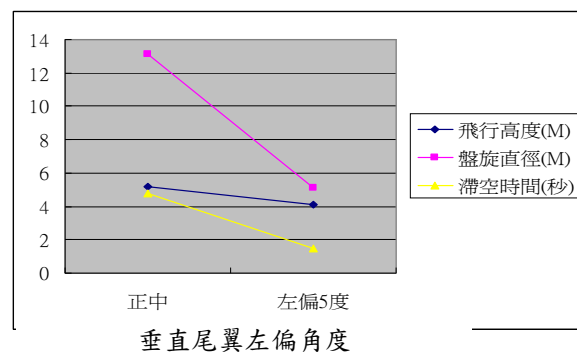
- 1、以「探討十二」的飛機為基礎，製作垂直尾翼向左偏，如圖 4-14-4。
- 2、將步驟 1 的飛機重心調整在離機翼前緣 1/2。
- 3、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。



圖 4-14-4 垂直尾翼左偏

**【結果】**

垂直尾翼左偏角度	垂直尾翼正中	垂直尾翼左偏 5 度
飛行高度(M)	5.2	4.1
盤旋直徑(M)	13.1	5.1
滯空時間(秒)	4.8	1.5



圖表 14-4 垂直尾翼左偏角度與滯空飛行關係

**【討論】**

- 1、垂直尾翼左偏 5 度，飛機會向右轉，但是飛機翻轉過大，飛機翻落墜地，所以滯空時間很短。可見飛機的垂直尾翼必須與整個飛機是垂直，否則後果可能會翻轉過大而墜地。在此建議垂直尾翼與機身的黏法可參考圖 4-14-5，此種黏法機身和垂直尾翼必定一致。

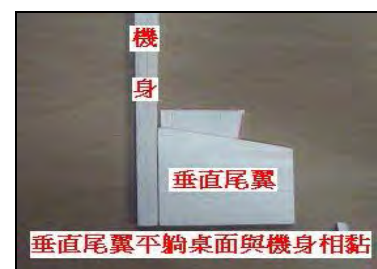


圖4-14-5 垂直尾翼的黏法

**(五)減少右邊主翼的面積：**

**【步驟】**

- 1、以「探討十二」的飛機為基礎，將右邊主翼每次剪去寬 1 公分，如圖 4-14-6。
- 2、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。

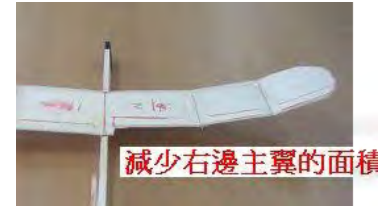
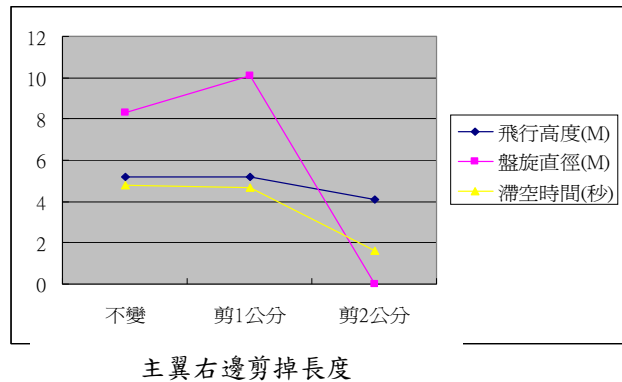


圖 4-14-6 減少右邊主翼的面積

**【結果】**

主翼的面積	主翼面積不變	主翼寬剪 1 公分	主翼寬剪 2 公分
飛行高度(M)	5.2	5.2	4.1
盤旋直徑(M)	8.3	10.1	0
滯空時間(秒)	4.8	4.7	1.6



圖表 14-5 主翼右邊剪掉長度與滯空飛行關係

**【討論】**

- 1、減少主翼右邊的面積，造成主翼右邊升力變小，左翼不變，則飛機會向右偏。但是從實驗來看轉彎效果不好，滯空時間差不多，甚至剪掉 2 公分的主翼，飛機翻轉過大而失速墜地。

**(六)右邊主翼加重：**

**【步驟】**

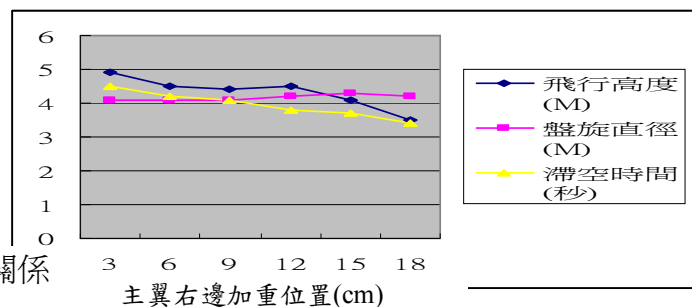
- 1、以「探討十二」的飛機為基礎，在右邊主翼的適當位置加上 5 號長尾夾(1.1g)，如圖 4-14-7。
- 2、在室內以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°發射，紀錄飛行高度、盤旋直徑、滯空時間(每個資料試射 5 次，取其平均值)。



圖 4-14-7 右邊主翼加重

**【結果】**

距離機身(cm)	3	6	9	12	15	18
飛行高度(M)	4.9	4.5	4.4	4.5	4.1	3.5
盤旋直徑(M)	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2
滯空時間(秒)	4.5	4.2	4.1	3.8	3.7	3.4



圖表 14-6 主翼右邊加重位置與滯空飛行關係

**【討論】**

- 1、右邊主翼夾上 5 號長尾夾(1.1g)，製造右翼變重，使右翼向右傾斜，飛機向右轉，但是夾上長尾夾的位置需要注意，因為夾上長尾夾的位置離機身每增加 3 公分，轉彎角度雖然增加約 45 度，但是飛機下降變快，滯空時間變短。
- 2、如果夾上長尾夾的位置太接近右翼端，右翼下垂太大，飛機下降愈快，滯空時間愈短，所以主翼夾上長尾夾的位置在離機身不超過 6 公分最好，此種方法可用來控制飛機盤旋的角



度。

## ★研究十五、飛機在室外以發射台發射探討風向與滯空飛行的關係

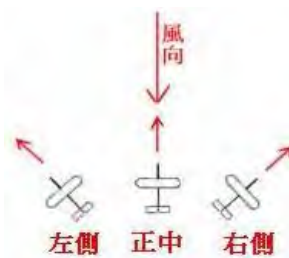
【說明】在室外有風時以發射台發射飛機探討風向與滯空飛行的關係

【步驟】

- 1、以「探討十二」的飛機為實驗機。
- 2、在室外有風時以發射台仰角=45°、發射台旋轉角度=45°，朝向逆風左側、正對逆風、逆風右側發射，如圖 4-15-1、4-15-2，紀錄風速、飛行高度、盤旋直徑、滯空時間。



圖 4-15-1 室外發射台發射飛機



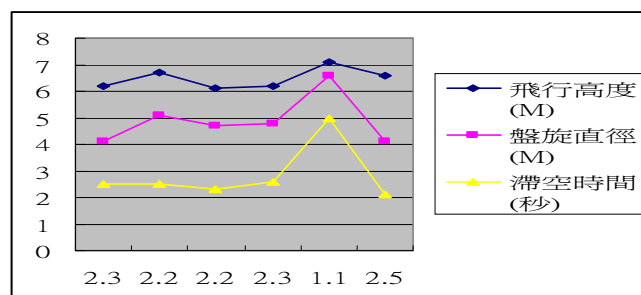
4-15-2 飛機發射與風向的關係

【結果】

- 1、逆風左側發射：

風速(m/s)	2.3	2.2	2.2	2.3	1.1	2.5
飛行高度(M)	6.2	6.7	6.1	6.2	7.1	6.6
盤旋直徑(M)	4.1	5.1	4.7	4.8	6.6	4.1
滯空時間(秒)	2.5	2.5	2.3	2.6	5.0	2.1

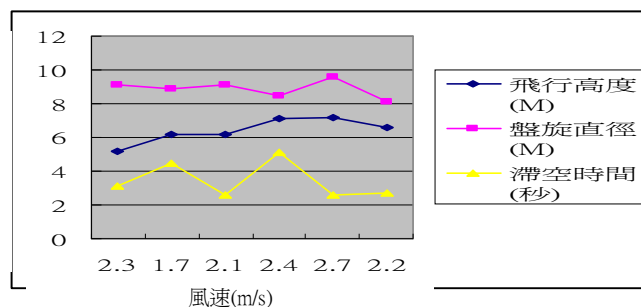
圖表 15-1 風速與滯空飛行關係



- 2、正對逆風發射：

風速(m/s)	2.3	1.7	2.1	2.4	2.7	2.2
飛行高度(M)	5.2	6.2	6.2	7.1	7.2	6.6
盤旋直徑(M)	9.1	8.9	9.1	8.5	9.6	8.1
滯空時間(秒)	3.1	4.5	2.6	5.1	2.6	2.7

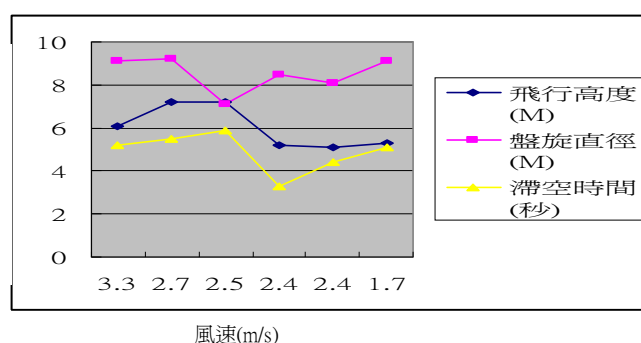
圖表 15-2 風速與滯空飛行關係



- 3、逆風右側發射：

風速(m/s)	3.3	2.7	2.5	2.4	2.4	1.7
飛行高度(M)	6.1	7.2	7.2	5.2	5.1	5.3
盤旋直徑(M)	9.1	9.2	7.1	8.5	8.1	9.1
滯空時間(秒)	5.2	5.5	5.9	3.3	4.4	5.1

圖表 15-3 風速與滯空飛行關係



## 【討論】

- 1、在室外以發射台發射飛機，因為有風，則必須考慮風的影響。
- 2、飛機能上升必須主翼上下產生速度差，假如飛機順風發射，手擲飛機產生的速度必須比風速快，飛機才會上升，因此順風發射飛機升力很小。所以大部分發射飛機都是逆風發射，飛機升力較大。但是升力過大，容易造成飛機失速下墜。所以飛機逆風發射仰角大約 45 度最好，飛機升力不會太大，可讓飛機滑上最高點轉正順風滑行。
- 2、在室外，面向逆風左側和正對逆風發射飛機時，由於飛機是傾斜發射，機腹面向強風，更容易因風吹翻轉太大而墜落，所以成功機率較低。實驗結果是在面向逆風右側發射飛機成功機率較高，所以手擲飛機探討以在逆風右側發射為主。

## ★研究十六、飛機在室外以人力直接發射探討風向與滯空飛行的關係

### (一) 飛機在室外以人力仰角 45°發射探討風速與滯空飛行的關係

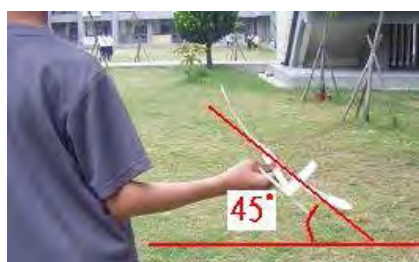
【說明】探討在室外有風時以人力仰角 45°發射飛機與滯空飛行的關係

#### 【步驟】

- 1、以「探討十二」的飛機為實驗機。
- 2、手拿飛機的方式為食指和大拇指扣住飛機，機身傾斜 45°，如圖 4-16-1、4-16-2。
- 3、在室外有風時，以步驟 2 仰角 45°朝向逆風右側 45°、逆風右側 90°、逆風右側 135°發射，如圖 4-16-3，紀錄風速、飛行高度、盤旋直徑、滯空時間。



食指和大拇指扣住飛機



45°



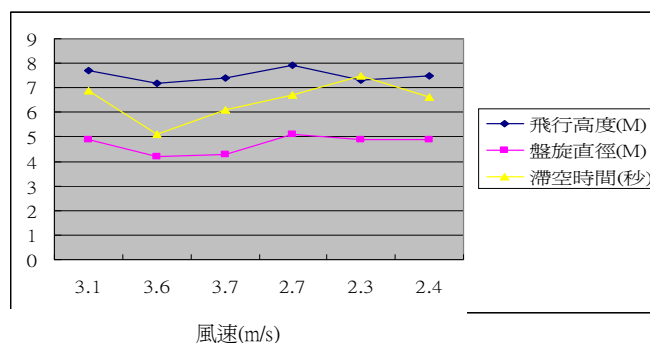
圖 4-16-1 手握住飛機的方式 圖 4-16-2 飛機傾斜 45°發射 圖 4-16-3 機頭仰角 45 度發射

#### 【結果】

- 1、逆風右側 45 度發射(仰角 45 度)

風速(m/s)	3.1	3.6	3.7	2.7	2.3	2.4
飛行高度(M)	7.7	7.2	7.4	7.9	7.3	7.5
盤旋直徑(M)	4.9	4.2	4.3	5.1	4.9	4.9
滯空時間(秒)	6.9	5.1	6.1	6.7	7.5	6.6

圖表 16-1 風速與滯空飛行關係



- 2、逆風右側 90 度發射(仰角 45 度)

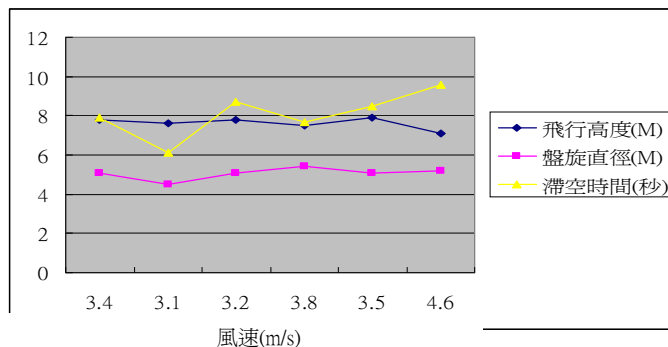
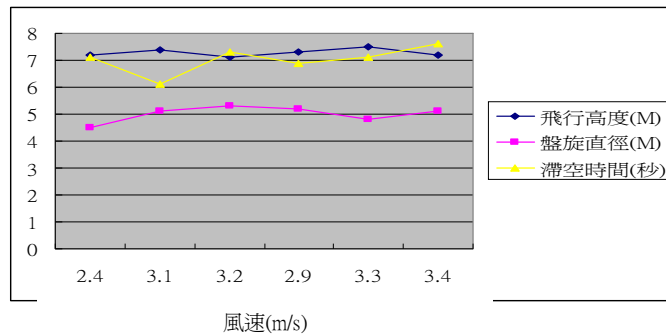
風速(m/s)	2.4	3.1	3.2	2.9	3.3	3.4
飛行高度(M)	7.2	7.4	7.1	7.3	7.5	7.2
盤旋直徑(M)	4.5	5.1	5.3	5.2	4.8	5.1
滯空時間(秒)	7.1	6.1	7.3	6.9	7.1	7.6

圖表 16-2 風速與滯空飛行關係

### 3、逆風右側 135 度發射(仰角 45 度)

風速(m/s)	3.4	3.1	3.2	3.8	3.5	4.6
飛行高度(M)	7.8	7.6	7.8	7.5	7.9	7.1
盤旋直徑(M)	5.1	4.5	5.1	5.4	5.1	5.2
滯空時間(秒)	7.9	6.1	8.7	7.7	8.5	9.6

圖表 16-3 風速與滯空飛行關係



#### 【討論】

- 1、逆風右側 45 度發射：此種角度發射飛機很容易在盤旋之後，機頭逆風，造成飛機停在空中，一旦風速變弱，飛機就直接掉下來，滯空時間大約 6 秒，如圖 4-16-4。因為飛機傾斜手擲發射，所造成的盤旋角度大約 225 度，約 3/5 圈，因此飛機盤旋之後很容易機頭逆風。
- 2、逆風右側 90 度發射：此種角度發射飛機在盤旋之後，機頭與風向有夾角，如果風強一點，飛機容易轉向，順著風飛行，滯空時間會較長，至少 7 秒以上，如圖 4-16-5。
- 3、逆風右側 135 度發射：此種角度發射飛機在盤旋之後，機頭與風向有夾角，如果風強一點，飛機比逆風右側 90 度發射更容易轉向，順著風飛行，滯空時間會較長，至少 8 秒以上，如圖 4-16-6。

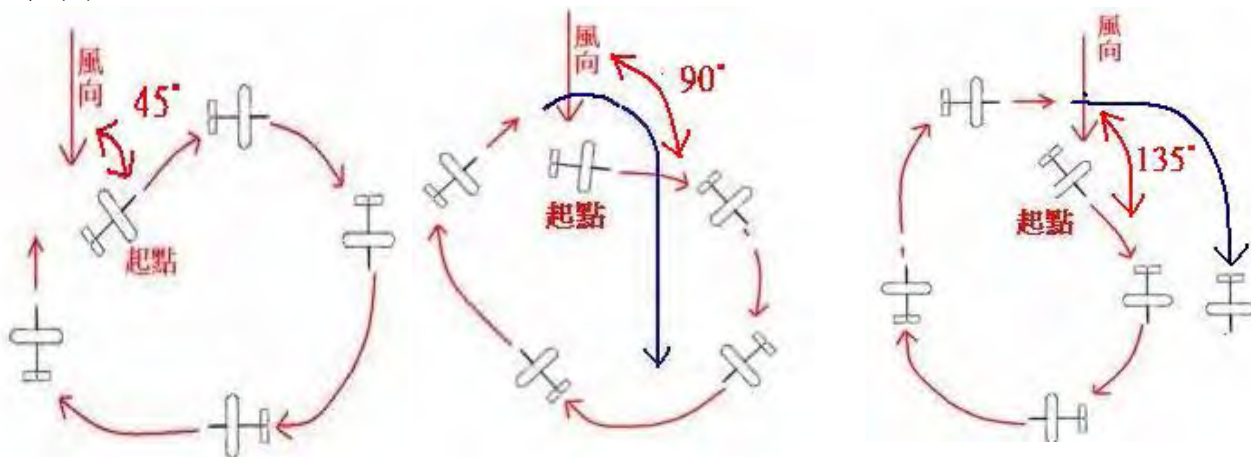


圖 4-16-4 逆風右側 45 度發射 圖 4-16-5 逆風右側 90 度發射 圖 4-16-6 逆風右側 135 度發射

## (二) 飛機在室外以人力水平發射探討風速與滯空飛行的關係

【說明】 探討在室外有風時以人力水平發射飛機與滯空飛行的關係

### 【步驟】

- 1、以「探討十二」的飛機為實驗機。
- 2、在室外有風時，手拿飛機的方式為食指和大拇指扣住飛機，機身傾斜 45°水平朝向逆風右側 135 度發射，如圖 4-16-7，紀錄風速、飛行高度、盤旋直徑、滯空時間。

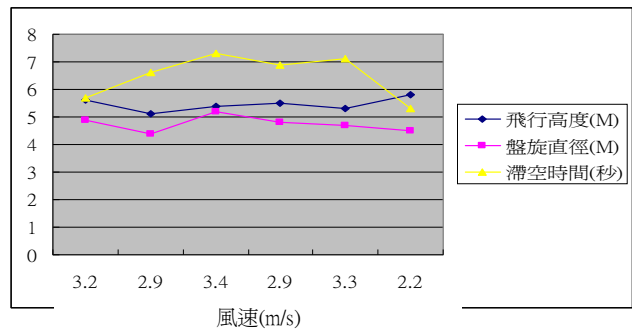


圖 4-16-7 機頭大約水平傾斜發射

### 【結果】

風速(m/s)	3.2	2.9	3.4	2.9	3.3	2.2
飛行高度(M)	5.6	5.1	5.4	5.5	5.3	5.8
盤旋直徑(M)	4.9	4.4	5.2	4.8	4.7	4.5
滯空時間(秒)	5.7	6.6	7.3	6.9	7.1	5.3

圖表 16-4 風速與滯空飛行關係





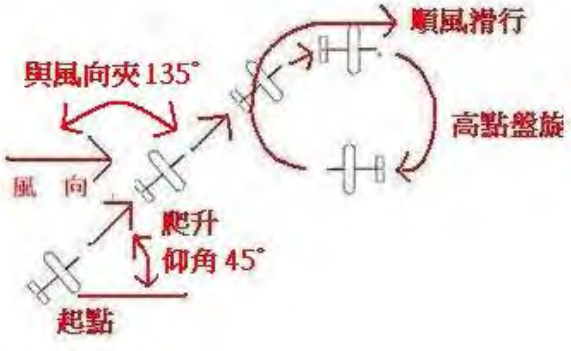
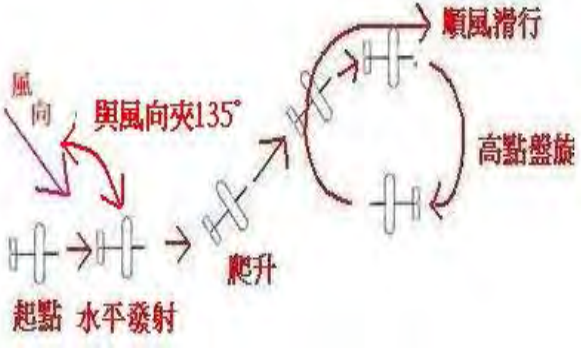
### 【討論】

- 1、水平發射飛機，飛機會爬升到最高點，機身轉正，飛機呈現水平滑翔，但是飛行高度較低，所以滯空時間普通。
- 2、由於飛行高度較低，只要施力適當，飛機可以繞一圈回到手中，類似迴旋機。

## 伍、討論

- 1、本研究在製作飛機的部分經過多次的修正，終於找到如何製作木製手擲機可以簡單製作、不容易損毀，秘訣是在主翼的重要部分貼上特殊膠帶。
- 2、爲了研究如何用手發射飛機，我們自製「發射台」，目的是爲了克服每次發射飛機力量和角度的不同，最後再用手模擬「發射台」發射飛機的角度，總之**成功的發射飛機是飛機爬升到最高點時飛機轉正，機身順風水平滑翔。**
- 3、經過多次的試驗當飛機爬升到最高點時飛機轉正、機身水平滑翔的方法爲飛機發射離手時需傾斜 45 度角，右撇子向右盤旋上升，左撇子向左盤旋上升。
- 4、木製飛機好玩是在於用手丟擲，而且爲了避免撞到物品，需要在外面空曠地方丟擲。而學校的操場是最好的選擇，但是手擲機飛得好的變因很多，不只要考慮風速、風向、手擲的力量，而且面對風向角度、手擲技巧更是重要。
- 5、飛機滯空時間要久，飛機丟的更高更好，但是飛機爬升太快，可能會造成失速墜地，所以在手擲技巧方面，分爲垂直發射法、水平發射法來討論：

方法	垂直發射法	水平發射法
解釋	飛機機頭仰角大約 45 度角傾斜發射	飛機機頭大約水平傾斜發射

圖示		
優點	<p>1、配合逆風右側 135 度發射，飛機的高度可以比較高，大約在 8 公尺左右，飛機在此高度自動轉正。</p> <p>2、飛機轉正之後機身幾乎水平滑行，而且飛機盤旋約 3/5 圈後，飛機會順著風飛行，如果氣流適合，飛機還會爬升，如此滯空時間相當可觀。</p>	<p>1、配合逆風右側 135 度發射，飛行高度較低，大約 5~6 公尺，飛機在高點自動轉正時，機身容易呈現水平順風滑行。</p> <p>2、此種方法攻角很小，飛機不易失速墜地，所以成功機率較高，比較適合初學者。</p> <p>3、假如朝水平面以下 10 度左右發射，飛機還會像迴旋機回到手中。</p>
缺點	<p>1、由於向上發射，發射角度太大容易造成攻角過大，飛機失速墜地，或者飛機在高點轉正之後機頭朝下角度太大，滯空時間變短</p> <p>2、因機腹面向風向，可能會被強風吹翻墜地，所以此種方法成功機率較低，比較適合經驗豐富者，不適合初學者。</p>	<p>飛機的飛行高度較低，大約 5~6 公尺，滯空時間普通。</p>
軌跡		

6、在「探討十四、探討飛機盤旋飛行的原因」中最簡單控制飛機盤旋的方法為主翼夾長尾夾，實際試飛過程中，假如飛機無法轉彎可在主翼夾長尾夾，效果非常好。因為本實驗的手擲技巧是飛機傾斜 45 度發射，飛機一定向右轉，假如無法右轉，必定是飛機製作過程的誤差造成橫向不穩定，修正方法為在主翼右邊夾長尾夾；假如向右轉太大，飛機翻落地面，可在主翼左邊夾長尾夾。

## 陸、結論

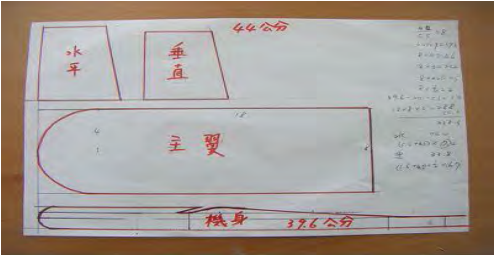
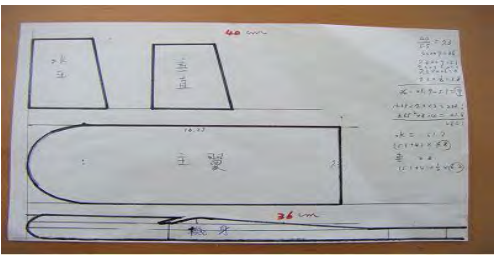
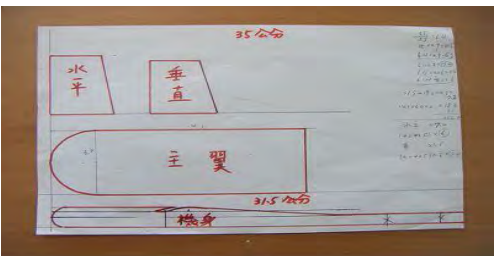
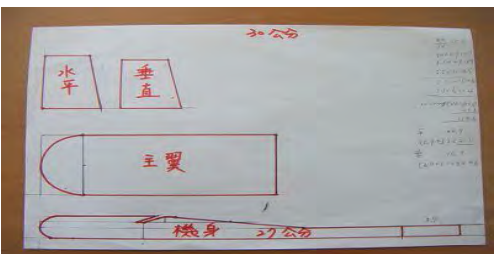
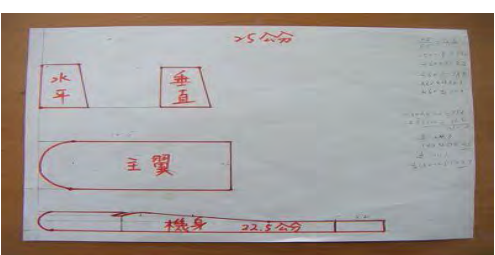
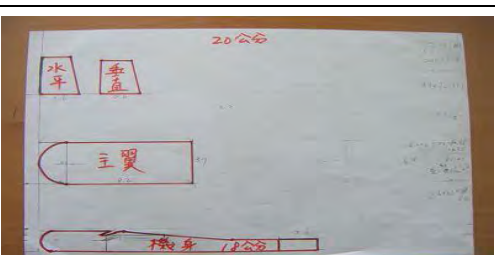
- 一、木製飛機如何製作才會耐摔，附上製作流程電子檔。
  - 1、在主翼的前緣、後緣、翼端、割斷的部分貼上強力纖維膠帶。
  - 2、主翼黏接機身的部分釘上大頭釘。

- 3、水平尾翼的木頭紋路與主翼的翼展方向平行，垂直尾翼的木頭紋路與機身方向垂直。
- 二、飛機的重心如何配置：重心的位置大約在主翼的中間附近最適合。
- 1、重心在主翼中間的後面：機頭太輕，飛機呈現波浪狀彎曲，機頭要加重。
  - 2、重心在主翼中間：飛機路徑剛好。
  - 3、重心在主翼中間的前面：機頭太重，飛機下降太快，機頭要減重。
- 三、何種機型最適合木製手擲機：以 B4 飛機(主翼兩邊 1/4、1/2 處切下，做成上反角都是 15 度)為基礎機型修正，最後飛機如下：
- 1、主翼是方形、翼端是圓形
  - 2、主翼有兩節上反角，上反角的角度 15 度，上反角切割的比例接近 1：1：1
  - 3、機頭 11 公分。
- 四、飛機如何發射可以直線飛行的遠：
- 1、需調整飛機是直線飛行，如果飛機向左飛，右翼加長尾夾；飛機向右飛，左翼加長尾夾。
  - 2、本實驗最後是以 B4 飛機的機頭前緣夾上 3 號長尾夾(2.4g)，用力向下 10 度發射，飛機稍微向下呈現水平滑行，直線飛行的效果最好。
- 五、飛機如何發射可以滯空飛行的久：
- 1、垂直發射法：飛機機頭仰角大約 45 度角傾斜，配合逆風右側 135 度發射，飛機在最高點自動轉正，機身幾乎水平順風滑行，如果氣流適合，飛機還會爬升，此種方法飛行高度較高，滯空時間較久，但是成功機率較低，比較適合經驗豐富者，不適合初學者。
  - 2、水平發射法：飛機機頭大約水平傾斜，配合逆風右側 135 度發射，飛機滑到最高點自動轉正時，機身容易呈現水平順風滑行，此種方法飛行高度較低，滯空時間較短，但是成功機率較高，比較適合初學者。假如朝水平面以下 10 度左右發射，飛機還會像迴旋機回到手中。
- 六、本實驗的特色：已克服木製飛機易摔破、製作繁瑣的缺點，只要能夠參照本實驗的製作流程、發射方法，飛機一定可以滑行的非常漂亮，我們可以大聲說：「大家一起來玩手擲機」。
- 七、未來展望：未來可以融入學校的課程中，介紹飛行原理和實際製作飛行器的教材，甚至是辦理飛行比賽的項目之一。

## 柒、參考資料及其他

- 1、國家紙飛機全集製作組 1997，【紙飛機 DIY】，國家出版社。
- 2、猴子的天空，網址：<http://ckfcaa.tw/index.htm>
- 3、航模組校本教材\_\_文登市侯家中學，<http://www.wdhjzx.com/a/jiaoshipindao/xbzy/2012/0508/7054.html>
- 4、吳建鋒、李育城，2012，我的飛機會轉彎～紙飛機迴旋飛行之探究～，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品。
- 5、巴爾紗木飛機製作教學 @ 姜猴子痞客邦 PIXNET，網址：<http://gogol120.pixnet.net/blog>

附件一

	設計圖	說明
A		<p>主翼的翼展=44公分            主翼的翼弦=44 / 5.5=8公分            機身長=0.9 × 44=39.6公分            主翼的最高厚度=0.06 × 8=0.48公分            主翼面積=338.3平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 338.3=33.8平方公分            水平尾翼的面積=0.22 × 338.3=74.4平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 5.6=公分            機翼前緣到水平尾翼的距離=3 × 8=24公分</p>
B		<p>主翼的翼展=40公分            主翼的翼弦=40 / 5.5=7.3公分            機身長=0.9 × 44=36公分            主翼的最高厚度=0.06 × 7.3=0.44公分            主翼面積=280.5平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 280.5=28平方公分            水平尾翼的面積=0.22 × 280.5=61.7平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 7.3=5.1公分            機翼前緣到水平尾翼的距離=3 × 7.3=21.9公分</p>
C		<p>主翼的翼展=35公分            主翼的翼弦=35 / 5.5=6.4公分            機身長=0.9 × 35=31.5公分            主翼的最高厚度=0.06 × 6.4=0.38公分            主翼面積=215.2平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 215.2=21.5平方公分            水平尾翼的面積=0.22 × 215.2=47.4平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 6.4=4.5公分            機翼前緣到水平尾翼的距離=3 × 6.4=19.2公分</p>
D		<p>主翼的翼展=30公分            主翼的翼弦=30 / 5.5=5.5公分            機身長=0.9 × 27=公分            主翼的最高厚度=0.06 × 5.5 =0.33公分            主翼面積=158.6平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 158.6=15.9平方公分            水平尾翼的面積=0.22 × 158.6=34.9平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 5.5=3.9公分            機翼前緣到水平尾翼的距離=3 × 5.5=16.5公分</p>
E		<p>主翼的翼展=25公分            主翼的翼弦=25 / 5.5=4.6公分            機身長=0.9 × 25=22.5公分            主翼的最高厚度=0.06 × 4.6=0.28公分            主翼面積=110.4平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 110.4=11.1平方公分            水平尾翼的面積=0.22 × 110.4=24.3平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 4.6=3.2公分            機翼前緣到水平尾翼的距離=3 × 4.6=13.8公分</p>
F		<p>主翼的翼展=20公分            主翼的翼弦=20 / 5.5=3.7公分            機身長=0.9 × 20=18公分            主翼的最高厚度=0.06 × 3.7=0.22公分            主翼面積=71.4平方公分            垂直尾翼的面積=0.1 × 71.4=0.71平方公分            水平尾翼的面積=0.22 × 71.4=15.7平方公分            水平尾翼的寬度=0.7 × 3.7=2.6公分            機翼前緣到水平尾翼的距離=3 × 3.7=11.1公分</p>

## 【評語】 030808

1. 本作品實驗後提出一系列參數來改善木製手擲飛機的製作，使其飛行高度、距離和滯空時間均明顯更優。
2. 本作品具有製作簡單、耐摔，並利用發射台來測試而完成如何發射的方法，適合於教學和比賽。