

# 花蓮縣第 62 屆國民中小學科學展覽會

## 作品說明書



科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：探討如何可以讓手擲機的性能最佳化

關 鍵 詞：風洞模型、手擲機

編 號：

## 摘要

我們在暑假時參加了製作手擲飛機的營隊，我們在老師的比賽中想到了許多問題，例如如何讓飛機飛得更遠更久，到底是因為甚麼原因改變飛機的性能呢？所以我們就開始研究這個部分，過程中我們參考別人的風洞模型資料，來設計我們的風洞模型，我們利用瓦楞板及利用吸管做整流區，使氣流經整流後會在測試區內是水平氣流，如何得知是水平氣流就利用煙霧來判斷，並調整風扇高度使最後整出來的氣流是水平的。同時我們進行一連串實驗，發現機翼 45 度角且機頭上揚 10 度角的起飛時間最短。而一般機翼(側邊)加扇形機翼(俯視)的組合是最佳的，因為產生的升力值可以最大。如何得到飛機升力，我們利用自製天平，一端放機翼，一端放彈簧藉由風速產生彈簧長度改變，而計算升力。最後發現，因為飛機機翼形狀(側邊 俯視)不同而改變飛機性能，飛機性能也和丟出去時上揚角度有關，上揚角度越大，起飛時間越短。

## 壹、研究動機

暑假的時候，參加手擲飛機的科學營，自己動手製作手擲飛機，看看誰的手擲飛機可以飛得比較遠，在空中滯留的時間比較久，因此對於這個題目的研究就產生了興趣，怎樣可以做出一架可以直線飛行又可以滯空飛行的木製飛機，而那些變因會影響飛行呢？於是我們就著手開始手擲機的研究。

## 貳、研究目的

- 一、了解飛機的飛行原理
- 二、手擲機製作
- 三、風洞模型製作
- 四、探討不同角度機翼形狀是否會影響飛機起飛時間
- 五、探討機翼形狀(側邊)是否會影響飛機升力
- 六、探討機翼形狀(俯視)是否會影響飛機升力
- 七、探討機翼上反角是否會影響飛機升力

## 參、研究設備及器材

- 一、程式軟體：Microsoft Excel、Google 文件、小畫家。
- 二、實驗器材：如表 1







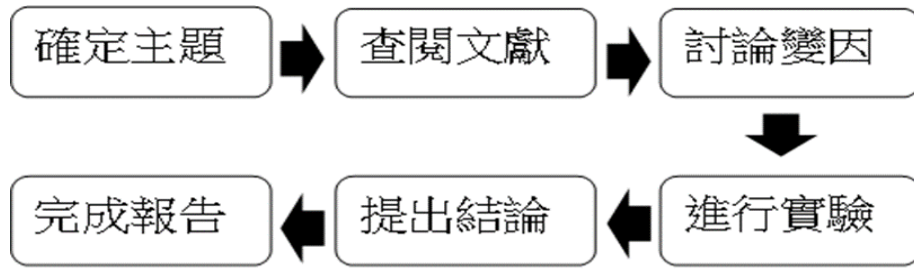
					
強力工業風扇	巴爾莎木	風速計	煙霧產生器	彈簧	壓克力觀查箱

表 1：實驗器材

## 肆、研究過程與方法



### 一、研究過程：

1. 確定主題：延續暑假科學營自製手擲機方法，再改變其他實驗變因，以確定這次的實驗主軸。
2. 查閱文獻：從網路和書籍中尋找資料，了解飛機飛行原理及風洞模型製作方法。
3. 討論變因：討論影響飛機升力因素。
4. 設計實驗：自製不同機翼形狀，及改變機頭上揚角度以及風洞模型設計，並且改變風速大小等變因，來探討飛機升力的情形。
5. 進行實驗：紀錄時間結果。

### 二、手擲機製作過程：

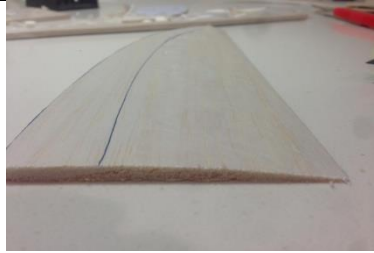

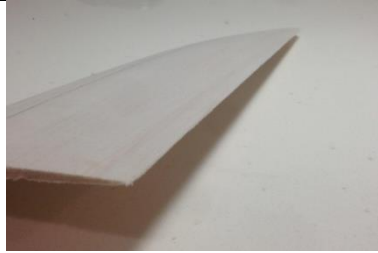
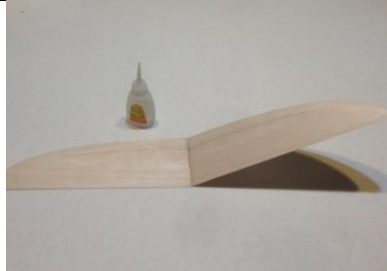


		
在木板描繪機翼形狀	左右機翼	打磨機翼
		
機翼黏合	尾翼製作	手擲機完成

圖 1：手擲機製作過程

### 三、風洞模型製作過程：

		
剪裁瓦楞板	黏貼瓦楞板	黏貼瓦楞板
		
黏貼瓦楞板	風洞模型	風洞模型完成

圖 2：風洞模型製作過程

## 伍、研究原理

### 一、了解飛機飛行原理

#### (一) 飛機各部分構造之功能

手擲機是用手臂與全身的力量投擲，來作為飛機的主要推力，藉此推力使手擲機產生速度，並靠主翼提供的「升力」，使手擲機能夠在空中滑翔，以下是針對手擲機各部分構造作功能介紹(註一)，如圖 3 所示。

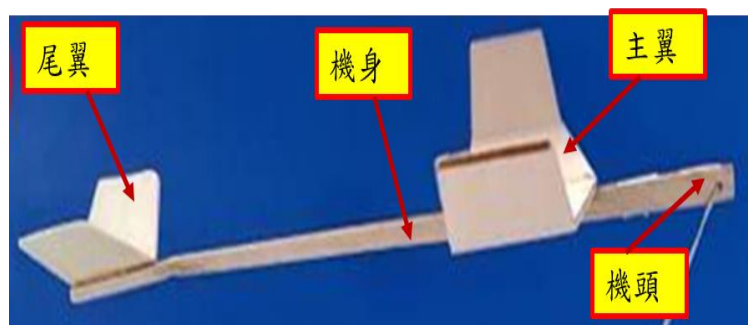


圖 3：手擲機構造說明

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：穩住機身，減少轉圈圈。

## (二) 飛機在飛行時所受到的力

飛機在空中飛行時主要受到四個力的作用：重力、升力、阻力、推力，如圖 4。因為手擲機沒有動力來源，所以沒有推力，以下就重力、升力、阻力做簡單說明。

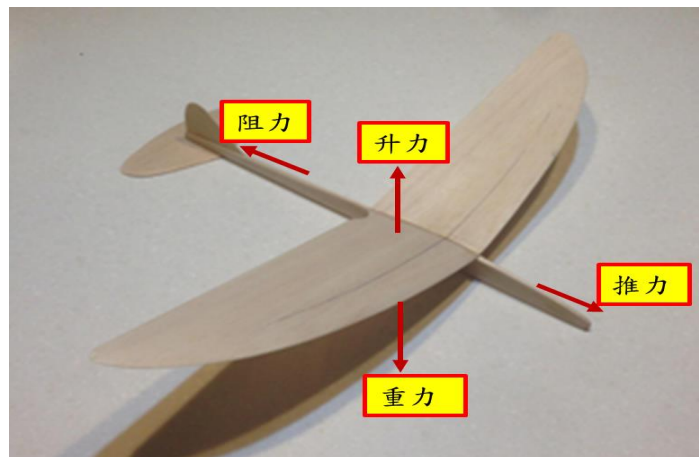


圖 4：飛行所受的力

1. 重力：飛機本身的重量。
2. 升力：當飛機在空中飛行時，主翼會形成升力。當升力大於飛機的重量時，飛機就會飛起來。
3. 阻力：飛機在飛行時，空氣對飛機所產生的阻力。

(三)伯努利定律：如圖 5 所示，伯努力定律是屬於流體力學的一部分，簡單說明就是流體流速愈快，壓力就愈小，反之，流體流速愈慢，壓力就變大。所以當氣流流過主翼的上層時，空氣流速會比較快，因此空氣壓力小，反之，氣流流過主翼的下層空氣流速慢，壓力也比較大，如此上下壓力差就會造成一股由下往上推擠的「升力」，而速度愈快，升力也就愈大。

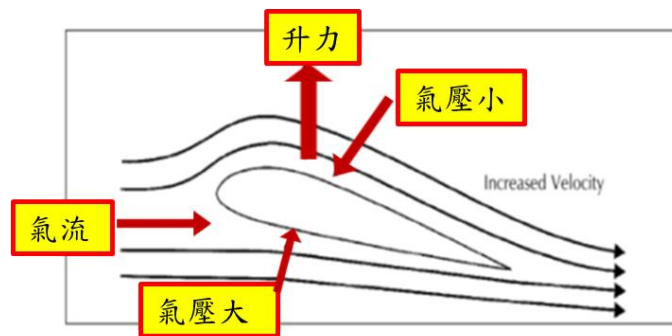


圖5：伯努力定律示意圖

(資料來源：FOS Media Students' Blog (2018) . Fluid Dynamics and A Counter-Intuition. 2019年8月1日，取自<https://fos.cmb.ac.lk/blog/fluid-dynamics-and-a-counter-intuition/>)

#### (四)康達效應：

流體（水流或氣流）有離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動的傾向。當流體與它流過的物體表面之間存在表面摩擦時，只要曲率不大，流體會順著物體表面流動。根據牛頓第三定律，物體施與流體一個偏轉的力，則流體也必定要施與物體一個反向偏轉的力。這種力在輕質物體上體現得非常明顯，如湯勺，但對於大型飛機來說，比重並不是很大。



圖 6：康達效應示意圖

#### (五)牛頓第三運動定律

牛頓第三運動定律表明，當兩個物體交互作用時，彼此施加於對方的力，其大小相等、方向相反。力必會成雙結對地出現：其中一道力稱為「作用力」；而另一道力則稱為「反作用力」；兩道力的大小相等、方向相反。它們之間的分辨，是純然任意的；任何一道力都可以被認為是作用力，作用等於反作用。

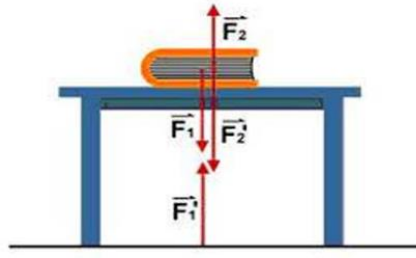


圖 7：作用力與反作用力示意圖

## 二、實驗原理及模型

### (一)虎克定律：

虎克定律是彈性力學理論中的一條基本定律，指固體材料受力後，材料中的應力與變形量成線性關係，滿足此定律的材料稱為線彈性或虎克型材料。而彈簧是日常中常見且符合虎克定律的範例。

定義：在彈性限度內，彈簧伸長量與其所受外力成正比。

公式：外力=彈力係數 X 伸長量

公式： $F = -k \cdot \Delta X$

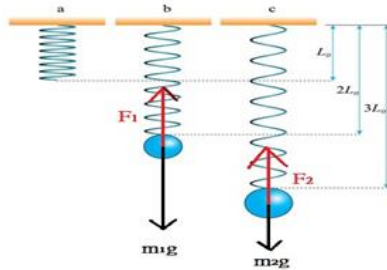


圖 8：彈簧受力示意圖

### (二)風洞模型建立：

風洞是將外界空氣吸入後經由收縮段、整流區、測試段，再由風扇排出，此類風洞中風況均勻且穩定性較佳。



圖 9：風洞模型構造介紹



- 1.收縮區：功用是把空氣集中進入整流區。
- 2.整流區：使用壓克力板中間塞滿吸管，可將紊亂氣流整成直線氣流。
- 3.觀察區：觀察區內可放機翼，同時也是測試區。

## 陸、研究結果與討論

### 【實驗一】自製風洞模型

第一代：沒有壓克力外罩的收縮區風洞模型

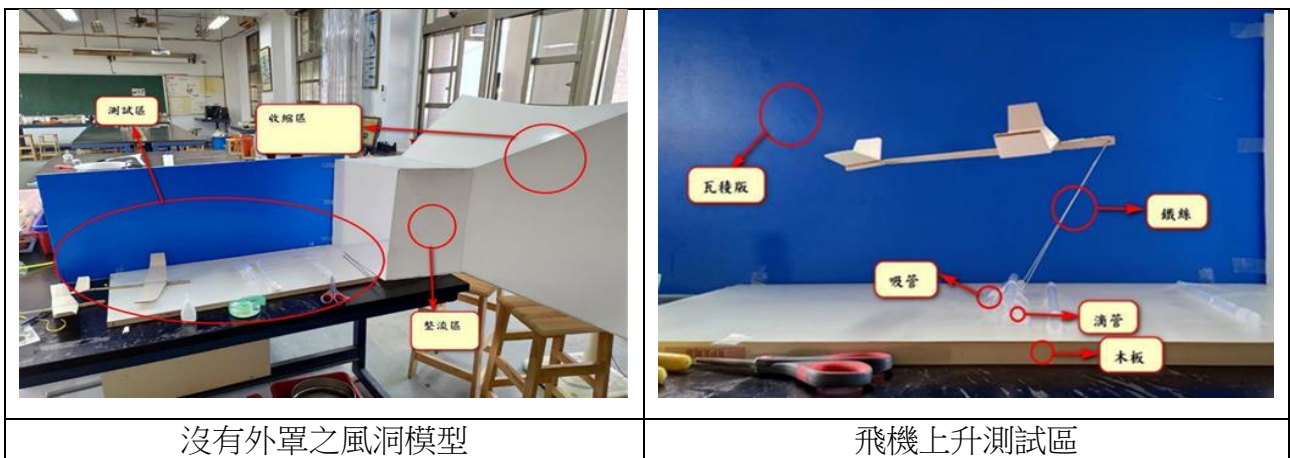


圖 10：第一代風洞模型

第二代：有壓克力外罩的收縮區風洞模型，彈簧斜擺固定於壓克力上

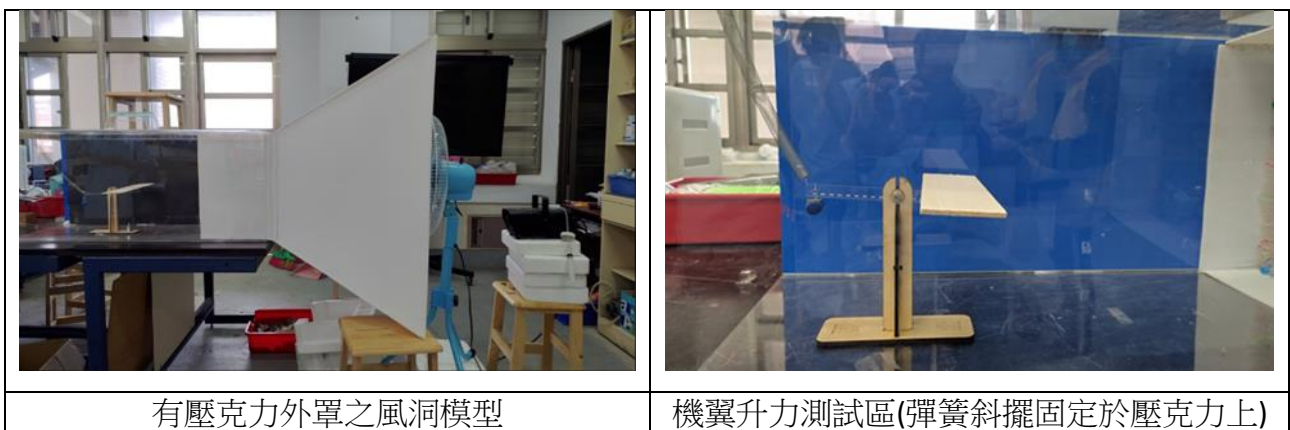


圖 11：第二代風洞模型

第三代：有壓克力外罩的收縮區風洞模型，彈簧垂直擺固定於壓克力上

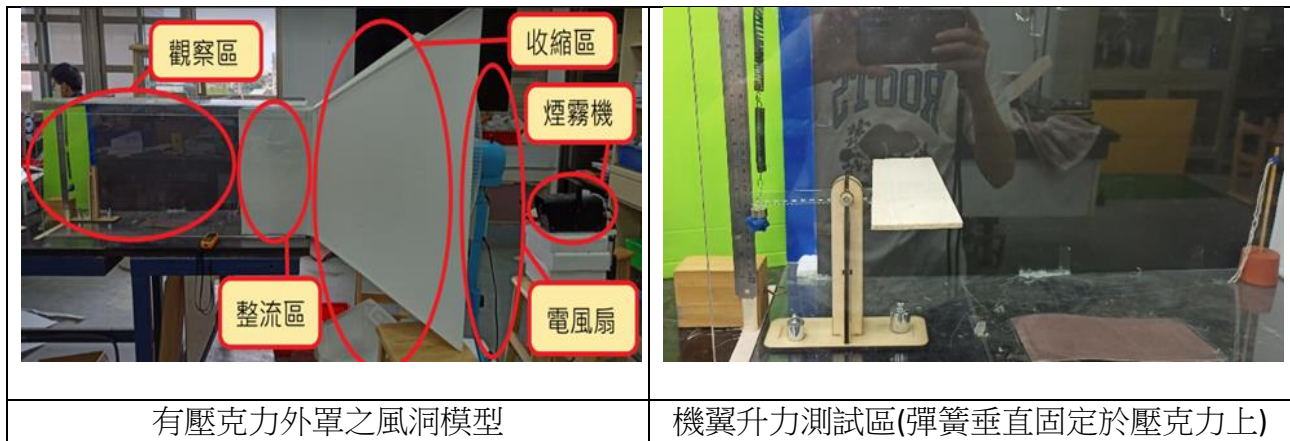


圖 12：第三代風洞模型

**【實驗二】探討不同角度機翼形狀是否會影響飛機起飛時間**

步驟：

1. 利用巴爾莎木製作 90 度、75 度及 45 度三種不同角度的機翼。
2. 將不同角度的機翼利用鐵絲將機頭輕固定於自製的風洞模型中。
3. 記錄在不同風速中，機頭上揚角度不同，則不同角度的機翼所需起飛的時間
4. 利用工業用風扇的強(3.5m/s)、中(3.3m/s)、弱(2.3m/s)來改變風速，使用風速計記錄風速大小。
5. 藉著風洞模型中的吸管整流區來當作實驗的風速



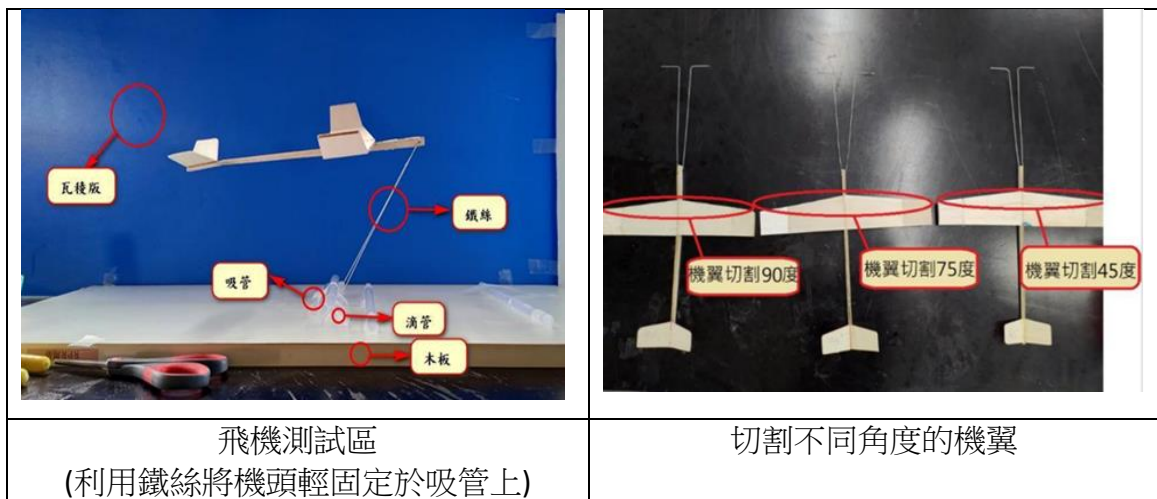


圖 13：第一代實驗裝置圖

**A：在相同機翼角度中，機頭不同上揚角度所需起飛時間之比較**

工業風扇強風(3.5m/s)、中風(3.3m/s)、弱風(2.3m/s)。

風洞模型是沒有外罩，所以測試區會有周圍氣流干擾。

機翼角度 90 度，紀錄起飛所需時間(秒)			
上揚角度	5 度	7 度	10 度
強風	3.4 秒	2.2 秒	1.6 秒
中風	4.2 秒	3.1 秒	2.3 秒
弱風	失敗	失敗	10.3 秒

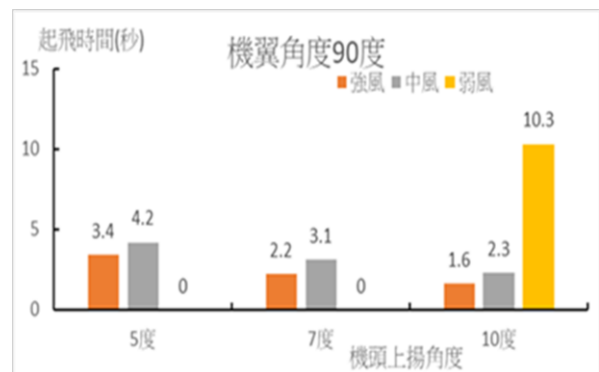


圖 14：機翼 90 度，起飛所需時間

機翼角度 75 度，紀錄起飛所需時間(秒)			
上揚角度	5 度	7 度	10 度
強風	2.5 秒	1.34 秒	0.8 秒
中風	3 秒	2 秒	1.2 秒
弱風	8.72 秒	6.14 秒	4 秒

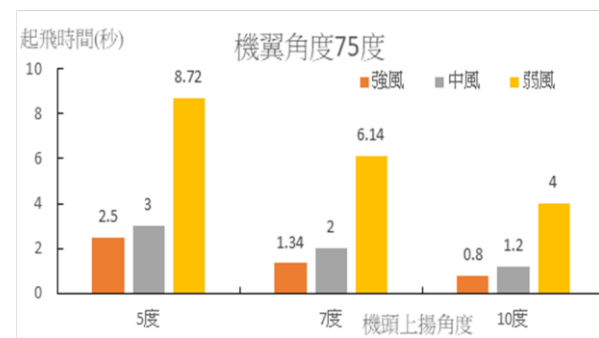


圖 15：機翼 75 度，起飛所需時間

機翼角度 45 度，紀錄起飛所需時間(秒)			
上揚角度	5 度	7 度	10 度
強風	1.23 秒	0.9 秒	0.2 秒
中風	2.36 秒	1.5 秒	0.5 秒
弱風	4.3 秒	1.8 秒	1.1 秒

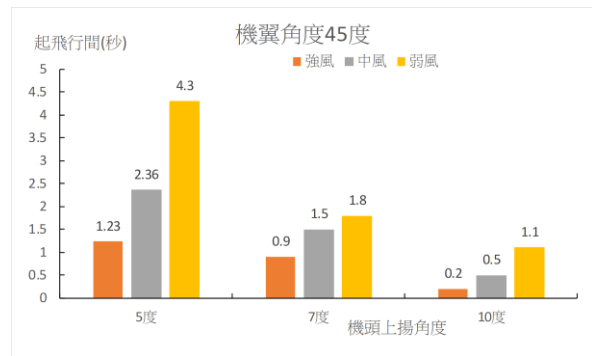


圖 16：機翼 45 度，起飛所需時間

【討論】比較強風下，機翼 90 度中，機頭上揚 10 度所需起飛時間 1.6 秒，比機頭上揚 5 度角需花 3.4 秒才能起飛，快了 1.8 秒。

在機翼 75 度中，機頭上揚角度 10 度起飛僅需 0.8 秒，比機頭上揚 5 度起飛需 2.5 秒，快了 1.7 秒。

在機翼 45 度中，機頭上揚 10 度角起飛需 0.2 秒，比機頭上揚角度 5 度起飛需 1.23 秒快了 1.03 秒。

發現，在機翼 90 度時，風速每秒 2.3 公尺下，吹向機頭，至少要在機頭上揚 10 度左右，飛機才有機會起飛。

#### B：在不同機翼角度中，相同機頭上揚角度所需起飛時間之比較

工業風扇強風(3.5m/s)、中風(3.3m/s)、弱風(2.3m/s)代表風力大小。

風洞模型是沒有外罩，所以測試區會有周圍氣流干擾。

機頭上揚 5 度角，紀錄起飛所需時間(秒)			
機翼角度	90 度	75 度	45 度
強風	3.4 秒	2.5 秒	1.23 秒
中風	4.2 秒	3 秒	2.36 秒
弱風	失敗	8.72 秒	4.3 秒

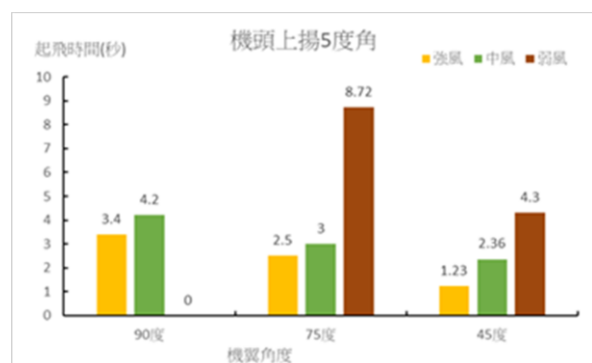


圖 17：機頭上揚 5 度角，起飛所需時間

機頭上揚 7 度角，紀錄起飛所需時間(秒)			
機翼角度	90 度	75 度	45 度
強風	2.2 秒	1.3 秒	0.9 秒
中風	3.1 秒	2 秒	1.5 秒
弱風	失敗	6.1 秒	1.8 秒

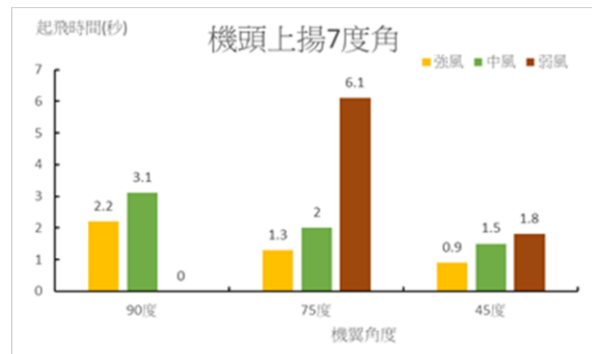


圖 18：機頭上揚 7 度角，起飛所需時間

機頭上揚 10 度角，紀錄起飛所需時間(秒)			
機翼角度	90 度	75 度	45 度
強風	11.6 秒	0.8 秒	0.2 秒
中風	2.3 秒	1.2 秒	0.5 秒
弱風	10.3	4 秒	1.1 秒

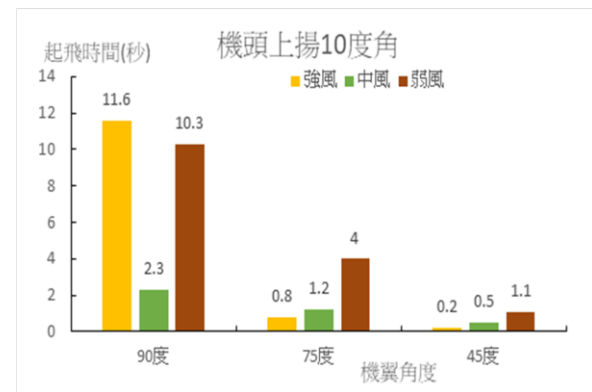


圖 19：機頭上揚 10 度角，起飛所需時間

【討論】在這個實驗中，我們固定機頭上揚角度，比較機翼角度，發現機翼角度 45 度，在機頭上揚角度 5 度起飛需 1.23 秒，上揚角度 7 度起飛需 0.9 秒，而上揚角度 10 度起飛需 0.2 秒，表示機翼角度 45 度，機頭上揚角度 10 度是最佳組合，所需起飛時間是最短的。

### 【實驗三】探討機翼形狀(側邊)是否會影響飛機升力

步驟：

1. 利用巴爾莎木製作不同形狀的機翼
2. 將不同形狀的機翼放入我們自製的風洞模型中
3. 記錄不同形狀的機翼在不同風速中所產生的彈簧伸長量
4. 利用虎克定律得到銀色彈簧的彈性係數並計算升力
5. 利用工業用風扇的強(3.5/m)，中(3.3/m)，弱(2.3/m)來改變風速
6. 在風洞模型中用吸管做整流區來當作實驗的風速



有透明壓克力外罩，避免周圍亂流干擾實驗之風洞模型

機翼升力測試區  
(銀色彈簧斜擺固定於壓克力上)

機翼形狀 (側面圖)	
方形	
一般機翼	
一般機翼(反)	
雙圓弧	
前機翼45度	
前機翼45度(反)	

機翼形狀 (側面圖)

圖 20：第二代實驗裝置圖

在探討機翼形狀(側邊)是否會影響飛機升力實驗中，我們重新調整過我們的風洞模型，將測試區用透明壓克力當作外罩，除了方便觀察實驗結果外，同時可以避免周圍氣流影響實驗結果。而氣流經整流區後會是水平氣流嗎？於是我們必須先進行氣流風向及整流測試。

在這個實驗中，因無法直接觀察氣流風向是否為水平氣流，於是利用煙霧器產生煙霧比較好觀察氣流方向，結果發現氣流經整流後非水平風向，解決方式是改變風扇高度，再利用煙霧來調整氣流為水平風向，如圖 21 所示。

風向不正

正常風洞風向

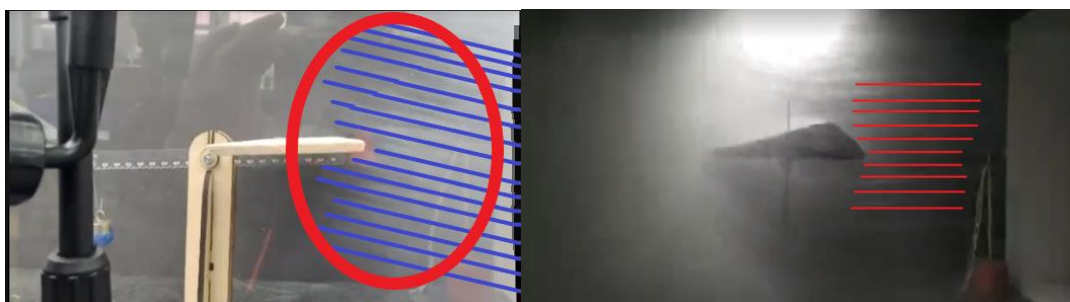


圖 21：氣流風向測試圖

在探討機翼形狀(側邊)是否會影響飛機升力實驗中，我們利用自製天平，將一端放置機翼，一端掛置彈簧及用黏土當作重錘，調整位置，使三者達到平衡。因為要利用彈簧伸長量計算飛機升力，於是我們利用虎克定律計算所使用銀色彈簧的彈力係數。

**A：利用虎克定律計算彈簧的彈性係數**

銀色彈簧彈力係數 k 值測量			
砝碼重(gw)	彈簧總長度(L)	彈簧伸長量( $\Delta L$ )	$k=mg/\Delta L$
0 gw	5	0	
20gw	21	16	1.25
40gw	37	32	1.25
60gw	53	48	1.25

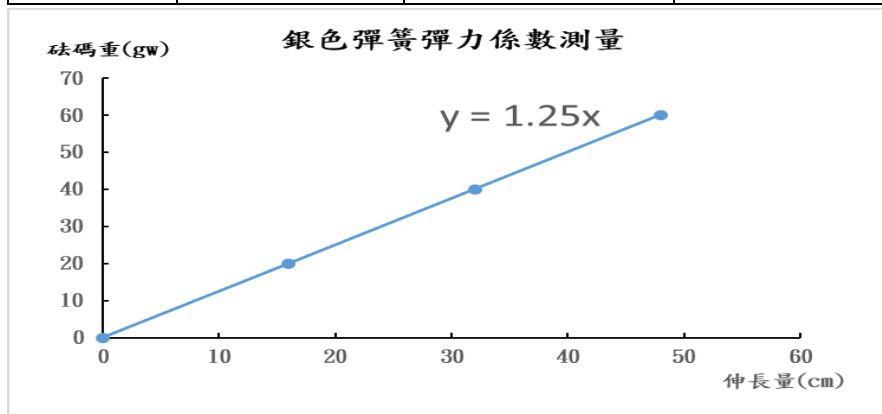


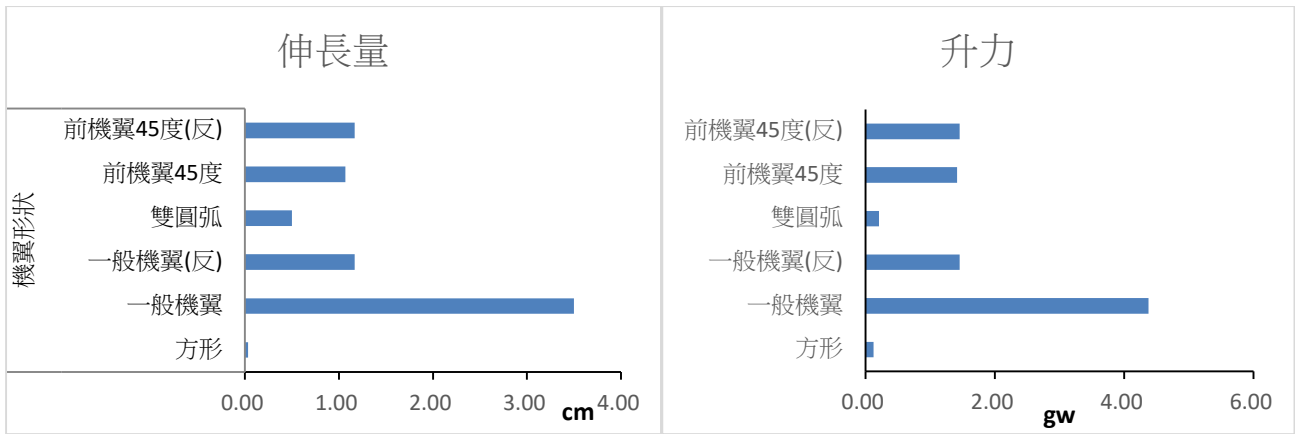
圖 21：銀色彈簧彈力係數圖

**B：探討機翼形狀(側邊)是否會影響飛機升力(數據均採三次實驗平均值)**

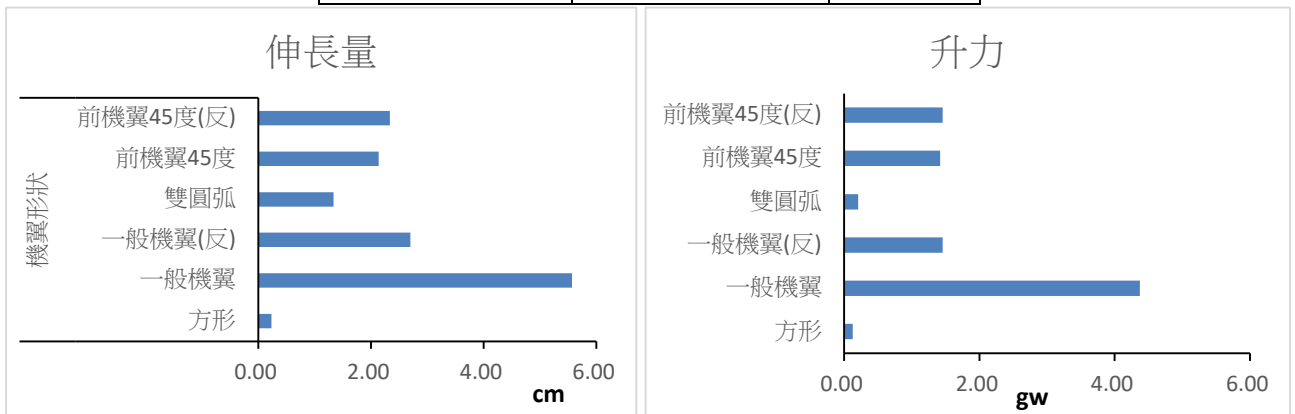
強(3.5m/s)，中(3.3m/s)，弱(2.3m/s)代表風力大小

風洞模型有外罩，所以測試區不會有周圍氣流干擾。

風速弱 (2.3m/s)		
機翼形狀	受力大小(gw)	伸長量
	$F=1.25 * \Delta L$	$\Delta L(\text{cm})$
方形	0.13	0.03
一般機翼	4.38	3.50
一般機翼(反)	1.46	1.17
雙圓弧	0.21	0.50
前機翼 45 度	1.42	1.07
前機翼 45 度(反)	1.46	1.17

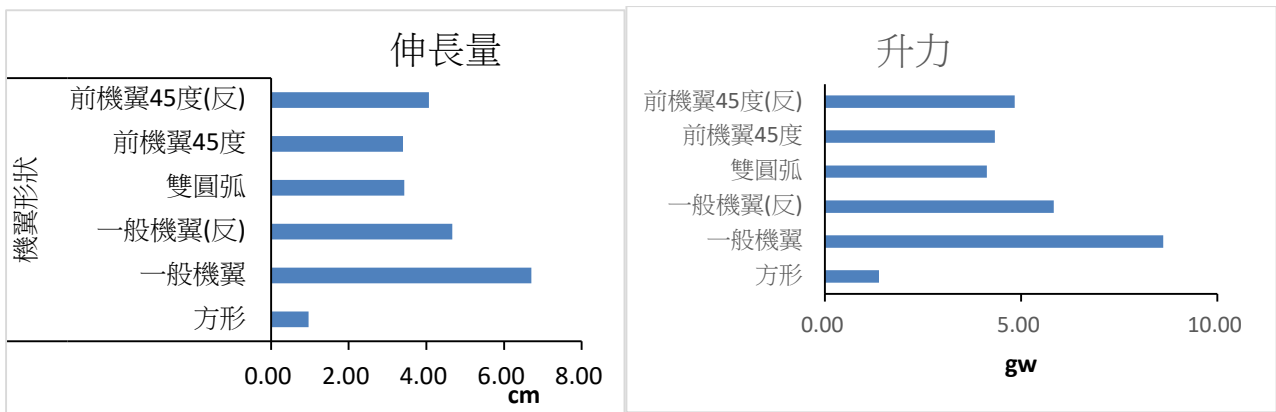


風速中(3.3m/s)		
機翼形狀	受力大小(gw)	伸長量 Δ L(cm)
	$F=1.25 * \Delta L$	
方形	0.29	0.23
一般機翼	6.96	5.57
一般機翼(反)	3.38	2.70
雙圓弧	1.67	1.33
前機翼 45 度	2.67	2.13
前機翼 45 度(反)	2.92	2.33



風速強(3.5m/s)		
機翼形狀	受力大小(gw)	伸長量 Δ L(cm)
	$F=1.25 * \Delta L$	
方形	1.38	0.97
一般機翼	8.63	6.70
一般機翼(反)	5.83	4.67
雙圓弧	4.13	3.43
前機翼 45 度	4.33	3.40
前機翼 45 度(反)	4.83	4.07





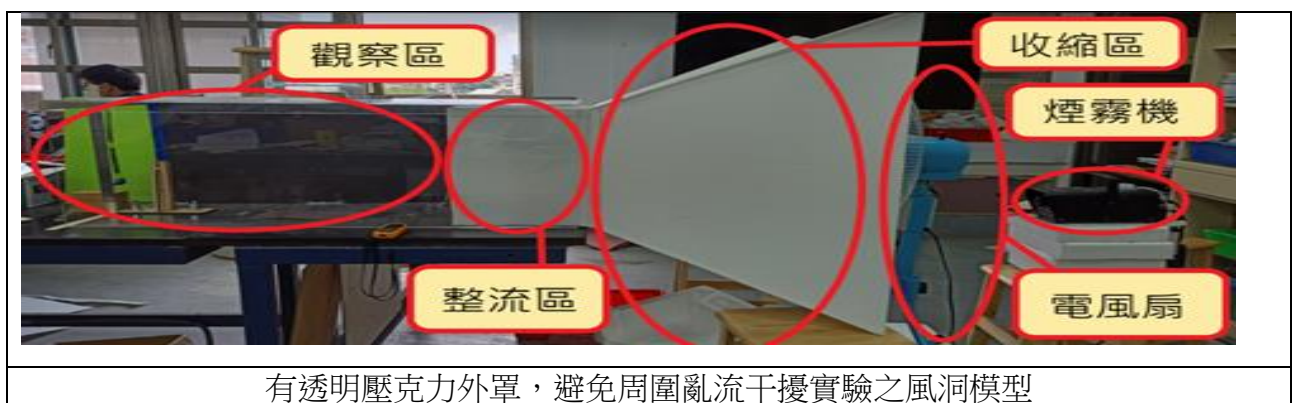
【結論】在這次實驗中我們發現，風速越強，不管是什麼機翼形狀，其產生上升的力量也越大，而在每秒 3.5 公尺強風中，一般機翼所產生的升力有 8.63gw。而方形的機翼其所產生的升力則只有 1.38gw。即使在中、弱風中，方形機翼與雙圓弧形的機翼所產生的升力量也是最小，幾乎無升力。

#### 【實驗四】探討機翼形狀(俯視)是否會影響飛機升力

因我們在實驗二中發現一般機翼的升力是最佳的，於是我們使用它來做後續的實驗。

步驟：

- 1.利用巴爾莎木製作不同形狀的機翼
- 2.將不同形狀的機翼放入我們自製的風洞模型中
- 3.記錄不同形狀的機翼在不同風速中所產生的彈簧伸長量
- 4.利用虎克定律得到黑色彈簧的彈性係數並計算升力
- 5.利用工業用風扇的強(3.5/m)，中(3.3/m)，弱(2.3/m)來改變風速
- 6.藉著風洞模型中的吸管整流區來當作實驗的風速



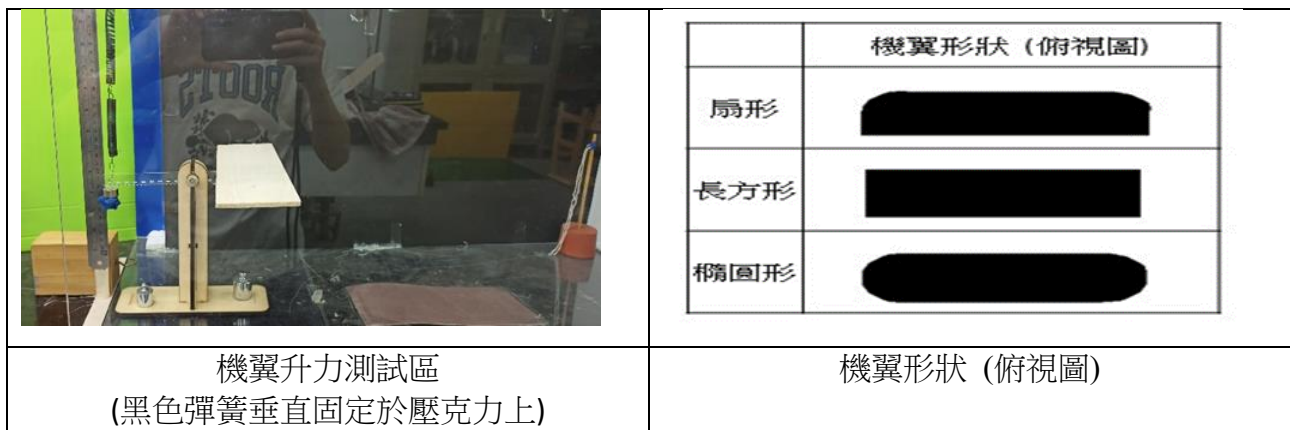


圖 22：第三代實驗裝置圖

在探討機翼形狀(俯視)是否會影響飛機升力實驗中，我們利用自製天平，將一端放置機翼，一端掛置彈簧及用黏土當作重錘，調整位置，使三者達到平衡。這一次我們改換不同彈力係數的彈簧，同時我們也在彈簧擺放位置上，做了調整，我們將彈簧一端固定在壓克力上方，一端垂直掛於自製天平上。

#### A：利用虎克定律計算彈簧的彈性係數

黑色彈簧係數測量			
砝碼重 F(gw)	彈簧總長度 L(cm)	彈簧伸長量 $\Delta L$ (cm)	$k=F/\Delta L$ (gw)
0 gw	15		
20gw	20	5	4
40gw	25	10	4
60gw	30	15	4

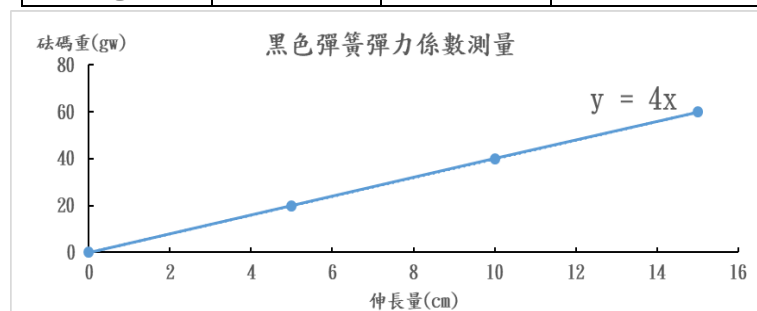


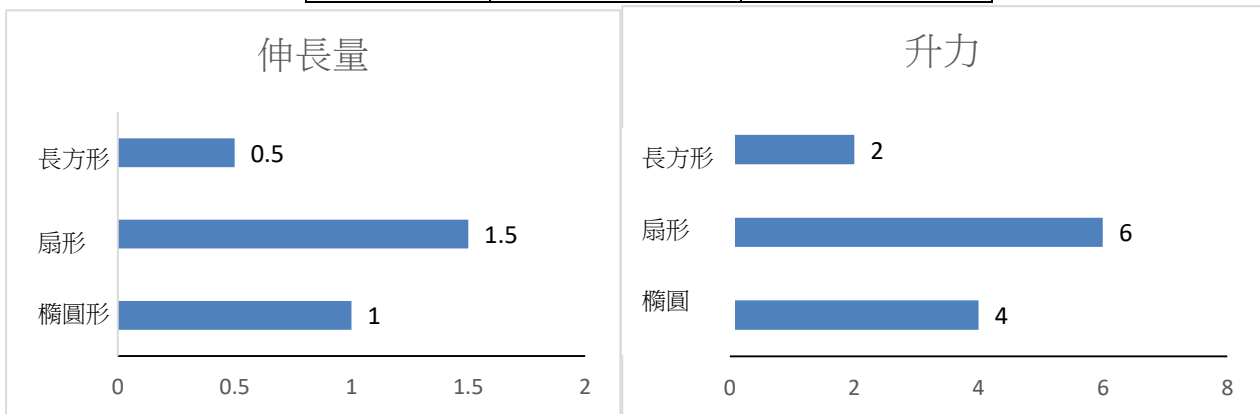
圖 23：黑色彈簧彈力係數圖

**B：探討機翼形狀(俯視)是否會影響飛機升力**

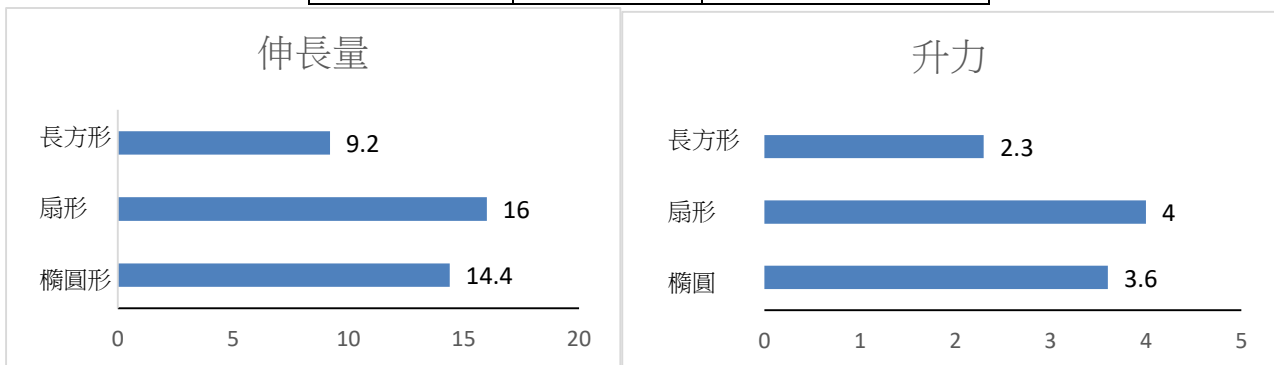
強(3.5m/s)，中(3.3m/s)，弱(2.3m/s)代表風力大小

風洞模型有外罩，所以測試區不會有周圍氣流干擾。

風速弱(2.3m/s)		
機翼形狀	伸長量 $\Delta L(\text{cm})$	升力 $F=4*\Delta L$
橢圓形	1	4
扇形	1.5	6
長方形	0.5	2

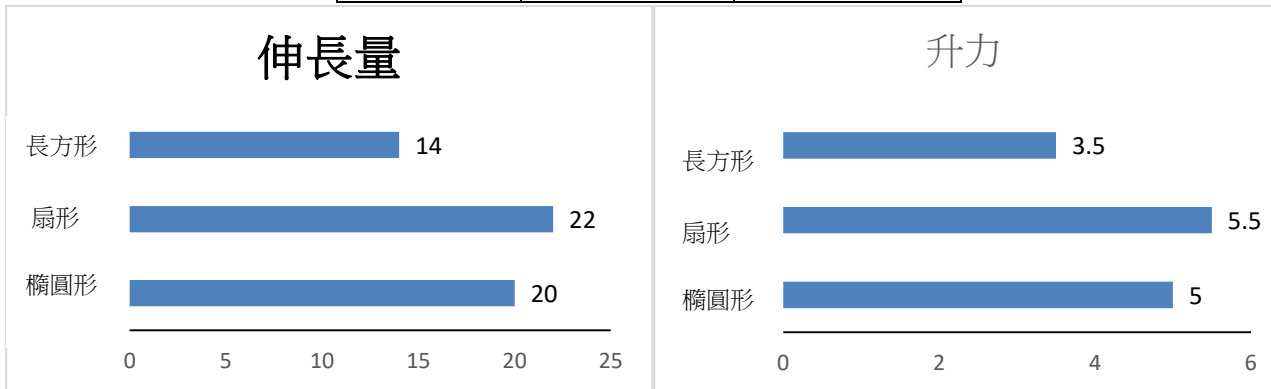


風速中(3.3m/s)		
機翼形狀	伸長量 $\Delta L(\text{cm})$	升力
		$F=4*\Delta L$
橢圓形	14.4	3.6
扇形	16	4
長方形	9.2	2.3



長方形

風速強(3.5m/s)		
機翼形狀	伸長量 $\Delta L(\text{cm})$	升力
		$F=4*\Delta L$
橢圓形	20	5
扇形	22	5.5
長方形	14	3.5



**【結論】** 這次實驗中我們發現，風速越強，不管是什麼機翼形狀，其產生上升的力量也越大，而在每秒 3.5 公尺強風中，扇形機翼所產生的升力有 5.5gw。而長方形的機翼其所產生的升力則也有 3.5gw。我們也發現扇形和橢圓形機翼不管在何種風速中，所產生的升力都差距不大，而長方形機翼所產生的升力最小。

### 【實驗五】探討機翼上反角是否會影響飛機升力

在實驗三和實四中發現一般機翼(側面)+扇形(俯視)的機翼組合所得到的升力值是最佳的，於是我們使用它來做後續的實驗。

步驟：

1. 利用巴爾莎木製作不同形狀的機翼
2. 將不同形狀的機翼放入我們自製的風洞模型中
3. 記錄不同的機翼上反角在不同風速中所造成的彈簧伸長量
4. 利用虎克定律得到彈簧的彈性係數並計算升力
5. 利用工業用風扇的強(3.5m/s)，中(3.3m/s)，弱(2.3m/s)來改變風速
6. 藉著風洞模型中的吸管整流區來當作實驗的風速

#### A：探討機翼上反角是否會影響飛機升力

在這次實驗中，我們想要探討上反角是否會影響升力，因此要先說明何謂上反角。

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。飛行時因氣流干擾使飛行方向受擾亂時，具有復原飛行路線之功用。若無上反角，則機體受到橫風時，將會往側風方向偏行，且傾斜程度將越來越大。

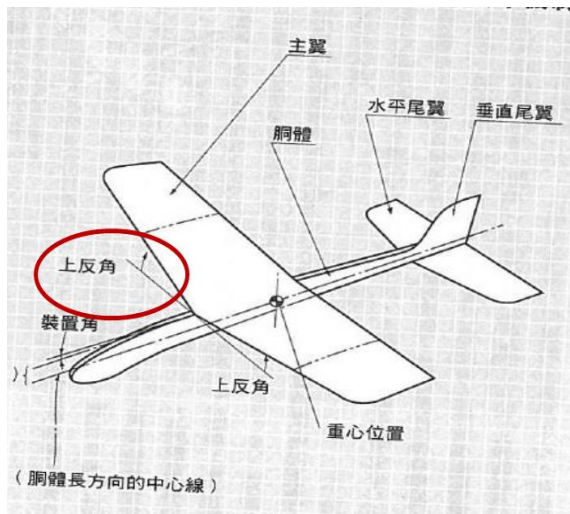


圖 24：翼面示意圖（小林昭夫，2003）

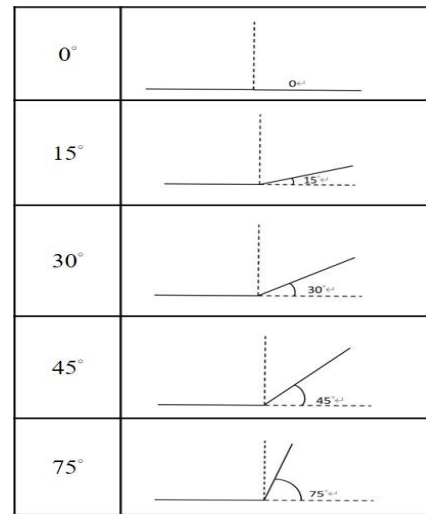
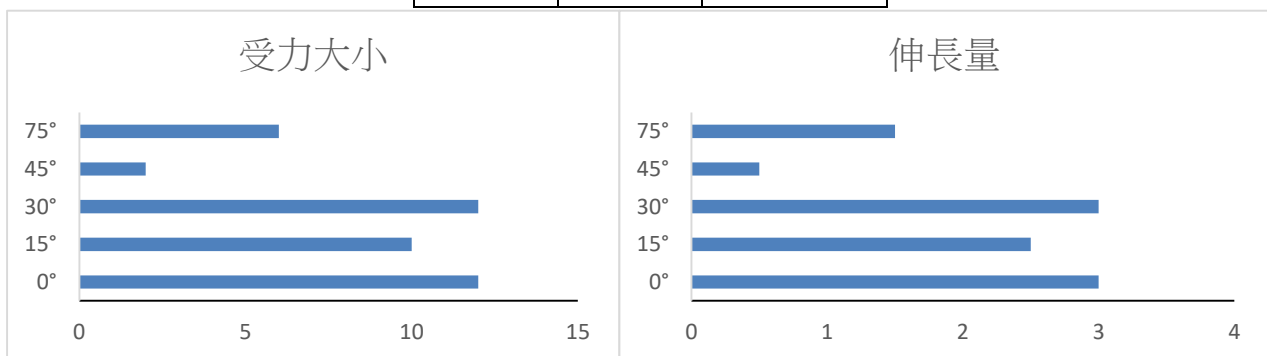
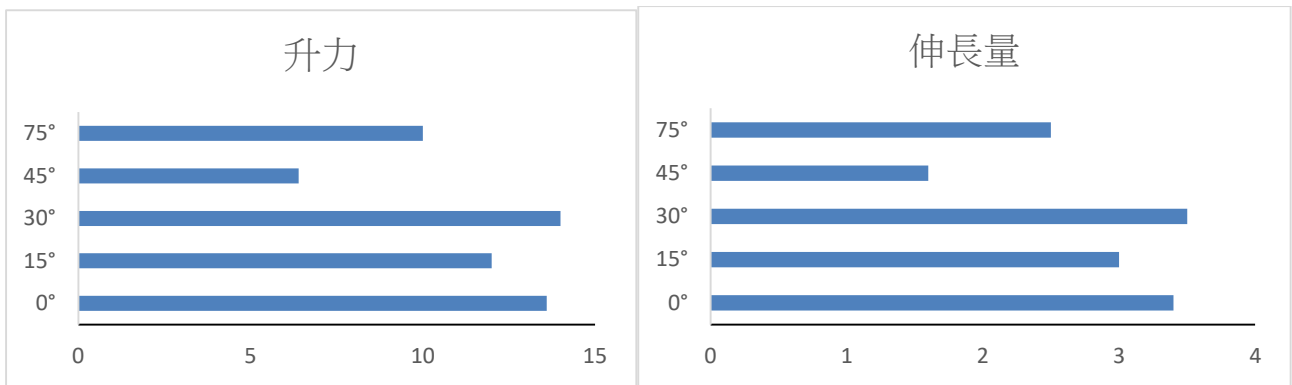


圖 25：機翼各種上反角度示意圖

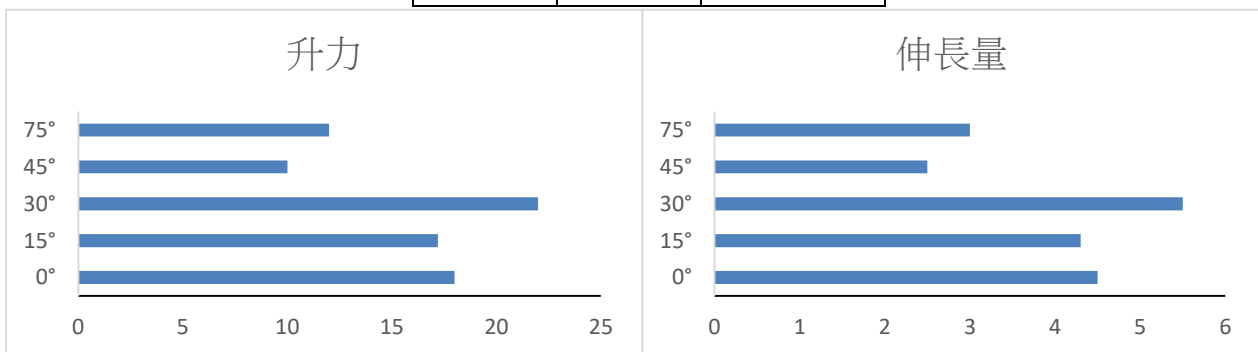
風速弱(2.3m/s)		
上反角	升力(gw)	伸長量(cm)
0°	12	3
15°	10	2.5
30°	12	3
45°	2	0.5
75°	6	1.5



風速中(3.3m/s)		
上反角	升力(gw)	伸長量(cm)
0°	13.6	3.4
15°	12	3
30°	14	3.5
45°	6.4	1.6
75°	10	2.5



風速強(3.5m/s)		
上反角	升力(gw)	伸長量(cm)
0°	18	4.5
15°	17.2	4.3
30°	22	5.5
45°	10	2.5
75°	12	3



**【討論】**經過這次的實驗我們發現，風速越強，機翼所產生上升的力量越大，反之，則弱。我們也發現在強風中，上反角 30°機翼產生的升力 22gw 是最大的，而上反角 75°機翼產生的升力 12gw 是最小的，因此可以得出，一般機翼(側面)+扇形(俯視)的機翼組合及上反角 30 度的機翼是可以產生最大升力值的組合。

## 柒、結論

### 一、實驗二，相同機翼角度中，機頭不同上揚角度所需起飛時間之比較：

我們使用工業風扇強風(3.5m/s)、中風(3.3m/s)、弱風(2.3m/s)作為風速來源。我們將飛機置放在沒有外罩的自製風洞模型中，因為沒有外罩，所以測試時盡量避免周圍氣流干擾。實驗結果顯示，風速越強，飛機所需起飛時間越短，而在機翼角度 45 度，機頭上揚 10 度角是最佳組合，所需起飛時間是最短的僅 0.2 秒。

### 二、實驗三，探討機翼形狀(側邊)是否會影響飛機升力：

經過第一次實驗發現，沒有外罩風洞模型，在實驗時仍會受周圍氣流所影響，因此我們改良成有壓克力外罩的第二代風洞模型，並且進行氣流經吸管所組成的整流區是否會呈水平氣流的測試，利用煙霧機產生煙霧來調整風扇高度使氣流經整流後呈水平氣流。

我們也利用自製天平，將一端放置機翼，一端掛置彈簧及用黏土當作重錘，調整位置，使三者達到平衡，利用不同風速產生彈簧伸長量不同而得到不同機翼形狀的升力。

在這次實驗中我們發現，風速越強，不管是什麼機翼形狀，其產生的升力也越大，而在每秒 3.5 公尺強風中，一般機翼所產生的升力有 8.63gw，是最佳的機翼形狀。而方形的機翼其所產生的升力則只有 1.38gw，即使在中、弱風中，方形機翼與雙圓弧形的機翼產生的升力量也是最小，幾乎無升力。

### 三、實驗四，探討機翼形狀(俯視)是否會影響飛機升力

我們改良了彈簧放置的方式，我們將彈簧一端固定在壓克力上方，一端垂直掛於自製天平上，並且利用黏土當作重錘，調整天平的平衡。利用不同風速使彈簧伸長量改變而得到飛機的升力。我們使用一般機翼，改變不同機翼形狀(俯視)有橢圓形、扇形及長方形三種機翼。發現風速越強，不管是什麼機翼形狀，其產生上升的力量也越大，而在每秒 3.5 公尺強風中，扇形機翼所產生的升力有 5.5gw。而長方形的機翼其所產生的升力則也有 3.5gw。我們也發現扇形和橢圓形機翼不管在何種風速中，所產生的升力都差距不大，而長方形機翼所產生的升力最小。

#### 四、實驗五，探討機翼上反角是否會影響飛機升力

在實驗三和實驗四中發現一般機翼(側面)+扇形(俯視)的機翼組合所得到的升力值是最佳的，於是我們使用它來做後續的實驗。經過這次的實驗我們發現，風速越強，機翼所產生上升的力量越大，反之，則弱。我們也發現在強風中，上反角 30°機翼產生的升力 22gw 是最大的，而上反角 75°機翼產生的升力 12gw 是最小的，因此可以得出，一般機翼(側面)+扇形(俯視)的機翼組合及上反角 30 度的機翼是可以產生最大升力值的組合。

### 捌、參考資料及其他

註一：遨遊天空－破解木製飛機的密碼第 53 屆中小學科學展覽會

一、中興大學土木系風洞實驗室

<http://www.wind.org.tw/epaper/vj-attachment/2013/04/attach19.pdf>

二、維基百科虎克定律

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%83%A1%E5%85%8B%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

三、維基百科康達效應

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AF%AC%E5%BE%B7%E6%95%88%E6%87%89>

四、維基百科牛頓第三運動定律

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

五、手擲機的構造與飛行原理之探究 簡佑任 彰化縣私立大慶高級商工職業學校

六、手擲機飛行研究 林昱圻等 國立北農農工