

---

030803

---

--	--

---

# 室內風箏

## 壹、摘要

本研究旨在探討室內風箏的飛行特性以及製作。研究過程是將風箏以一個自製的「風箏飛行器」拉動風箏，並利用 DV 攝影機拍攝飛行過程，再將所得的影片匯入電腦後進行整理及各種分析工作。

我們進行三個研究，分別是**不同材質、不同面積、及尾翼數變化對風箏飛行高度及穩定度的影響**。我們設計了一套實驗方法，即自製「**風箏飛行器**」及 DV 攝影方式讓我們可以將風箏飛行過程由影片轉換為數據資料，依此進行分析與研究工作。**穩定度**係以標準偏差 (Standard Deviation)來表示。

研究結果發現：

- 一、研究一顯示，風箏材料質地要柔軟，容易產生形變包住氣流，穩定度較高。具有透氣性的材質，風箏的穩定度亦較大。而材質質量較小，則風箏可飛得較高。
- 二、研究二顯示，風箏的面積愈小，飛得愈不穩定。而風箏面積大小與飛行高度沒有絕對關係，風箏的面積密度和飛行高度則有絕大部分的影響。
- 三、在研究三中，發現風箏加上尾翼後穩定度會有所提升，但是高度並沒有明顯的改變。

## 貳、研究動機

我們曾經看過室內風箏及小型風箏的報導，引起了我們高度的興趣及好奇心。而且在生活科技的課程中，學習過有關飛行的原理，在課外讀物中也讀過許多有關力學的知識，得知風箏的飛行與力學有很大的關係，因此我們決定利用這次的科展來探討室內風箏的飛行及製作，研究風箏的**力學特性與飛行模式**，並且應用室內風箏的研究結果，**評估未來高空攝影實驗的可行性**。

## 參、研究目的

- 一、研究一：研究不同材質的風箏對風箏飛行高度及穩定度的影響。
- 二、研究二：研究不同面積的風箏對風箏飛行高度及穩定度的影響。
- 三、研究三：研究風箏尾翼數對飛行高度及穩定度的影響。

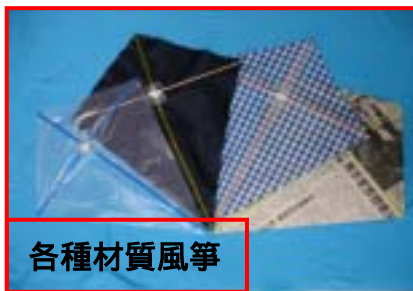
## 肆、研究設備及器材

### 一、材料：

- (一) 風箏：塑膠吸管、棉布、尼龍布、塑膠袋、報紙、日本棉線、超輕質紙黏土、透明膠帶
- (二) 跑道：木板、海綿、絕緣膠帶、木條、L 型鐵架、螺絲、螺絲帽、鐵釘
- (三) 起飛架：木板、伸縮吸管
- (四) 風箏飛行器：木板、漆包線、12V 馬達、梭子、四驅車、塑膠棒、開關、變壓器
- (五) 其他：玻璃注射筒、橡皮筋、3M 泡綿膠、黑布

### 二、設備：電腦、相機、DV 攝影機、DV 光碟片、電子秤、計算機、計時手錶

### 三、工具：剪刀、白膠、筆、電焊棒、焊錫、熱鎔槍、強力膠、美工刀、檔案夾、自黏標籤



各種材質風箏



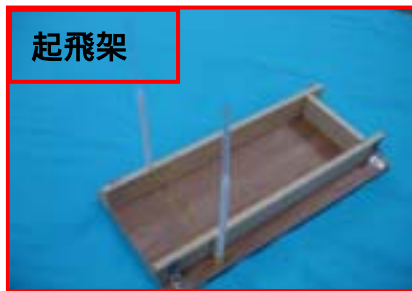
超輕質紙黏土



木條及木板



四驅車底盤



起飛架



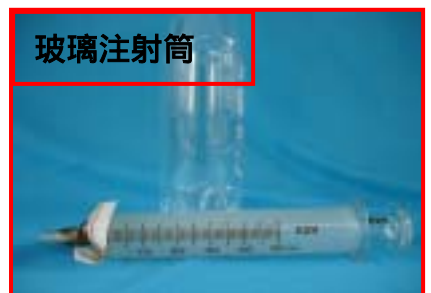
海綿



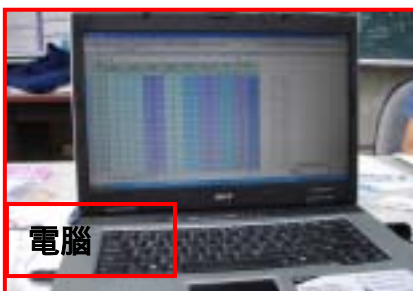
L 型鐵架



12V 馬達、捲線器及開關



玻璃注射筒



電腦



變壓器



DV 攝影機

圖 1 研究設備及器材

## 伍、研究過程及方法

### 一、研究內容

針對研究目的，我們設計了三種實驗，以下說明研究內容如下：

- (一) **研究一**：研究不同材質的風箏對風箏飛行高度及穩定度的影響，我們選擇了塑膠、報紙、棉布、尼龍布等四種不同材質來做風箏，比較不同材質、不同重量風箏的飛行結果有何不同。風箏大小為對角線為 42.50 公分及 35.00 公分大小，以長的塑膠吸管為骨架，並在骨架交叉中心用超輕質紙黏土固定。
- (二) **研究二**：研究不同面積的風箏對風箏飛行高度及穩定度的影響，以研究一風箏尺寸為 100%，另製作對角線長縮小 95%、90%、85%、80% 四種比例風箏，比較它們的飛行結果有何不同。
- (三) **研究三**：研究風箏尾翼數對飛行高度及穩定度的影響，以研究一原比例 100% 大小塑膠風箏及研究二 80% 塑膠風箏兩種分別加上一條、兩條、三條尾翼進行比較，每條尾翼又分為單層及雙層兩種。尾翼長為風箏橫向寬的兩倍。

### 二、研究方法

我們這次研究的主要目的在探討風箏飛行的高度及穩定度，因此如何達到每次都能以相同且穩定的方法放飛風箏及如何觀察、讀取及計算風箏在空間中的飛行位置便成為這次實驗過程中最重要的工作。

為達到上述目標，我們的研究方法經過不斷的改進才完成，以下簡單的以四點說明我們的研究方法：

- (一) 以「風箏飛行器」(包含四驅車、跑道、捲線器)放飛風箏

1. **改裝四驅車(圖 2)** – 風箏載具

利用玩具四驅車底盤，在車上固定一支 20 公分長的塑膠桿，頂端勾繫住風箏。

2. **自製跑道(圖 3)** – 提供直且平坦的跑道面

以薄木板及扁木條裁切製作而成。底板提供平坦的表面，兩側牆則提供側向束制，使車輛沿直線前進。

3. **電動捲線器(圖 3)** – 提供每次都一樣的放飛力量及速度

將小型馬達固定於木板上，將一鐵棒中央裝置一裁縫用捲線軸，再將此鐵棒以兩個 L 型鐵架固定並與馬達轉軸連接，形成捲線器。動力來源為 12V 的整流變壓器，可以提供穩定的動力來源。

最後將一條長棉線兩端各綁在捲線器軸及四驅車上，按下電源開關便可拉動四驅車帶動風箏起飛了！



圖 2 改裝四驅車

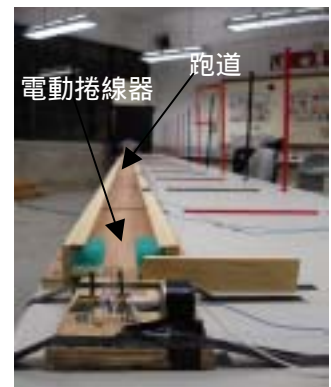


圖 3 跑道及電動捲線器

## (二) 以 DV 攝影機拍攝飛行過程與數據讀取計算

1. 在跑道端點架設 DV 攝影機，全程拍攝風箏飛行過程。
2. 將所有影像匯入電腦進行資料整理及分析，利用 Excel 計算出飛行高度及水平偏移量，再繪製成飛行軌跡圖並進行分析比較。
3. 每次飛行影片均利用 PowerDVD 軟體定格播放功能，沿軌道每 25 公分讀取數據一次，全程共 23 處，讀取及計算方式如下(圖 4):

(1) 讀取螢幕中水平標準尺左右兩端的像素數  $X$ ，已知實際水平標準尺長為 30cm，可得影片中橫向每一像素等於  $30/X$  cm。

(2) 讀取螢幕中垂直標準尺頂底端的像素數  $Y$ ，已知實際垂直標準尺長 50cm，可得影片中垂直向每一像素等於  $50/Y$  cm。

(3) 量測螢幕中四驅車上塑膠桿頂端點的像素數  $(X_1, Y_1)$ ，量測螢幕中風箏十字中心點像素數  $(X_2, Y_2)$ ，計算風箏飛行高度  $H$

$$H = (Y_2 - Y_1) \times 20 / Y$$

計算風箏飛行橫向位移  $S$

$$S = (X_2 - X_1) \times 12 / X$$



風箏中心點 X,Y 像素

416,209

圖 4 數據讀取方式

## (三) 風箏重量測量

以精密電子秤量測風箏重量，每個風箏均量測五次，求取平均值。

## (四) 材質透氣度測量(圖 5)

在研究中我們採用了四種材質，分別是塑膠、報紙、綿布、尼龍布。除了重量之外，我們也想到每種材質的透氣度是否會影響風箏飛行，因此設計了一個小實驗來量測透氣度。

1. 取一醫療用 50ml 玻璃注射筒
2. 分別將四種材質裁剪一  $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  大小，包覆於注射筒出口端(內徑 3mm，面積  $A=7.07\text{mm}^2$ )，並以橡皮筋束緊再外套透明橡皮管，以免漏氣
3. 將推筒拉高至 50ml 刻度處後使之自由落下至底，並記錄所需時間  $t(\text{sec})$
4. 透氣度  $(\text{ml}/\text{cm}^2/\text{sec})$ ：每秒鐘每平方公分面積所透過的氣體體積

$$\text{透氣度} = 50\text{ml} / A(\text{cm}^2) / t(\text{sec})$$



圖 5 透氣度實驗

### 三、研究過程遇到的問題及解決方式

從剛開始動手做實驗到最後完成實驗，我們的實驗方法經歷了不斷的思考、討論、設計、嘗試及改進等過程，經歷過許多的問題與困難，最後才完成目前的實驗方法。

#### (一)研究一遇到的困難

1. 跑道太短，跑道長度為 4.5 公尺，觀測範圍太短，長距離後的飛行狀況無法觀測。
2. 有時候車子在行進過程中車頭會被風箏拉起造成誤差，標準桿會傾斜也會產生誤差。
3. 風箏起飛架為單片木板製的起飛架，每次飛行時會因角度不一致造成初始狀態的不同。
4. 距離較遠的標記點看不清楚。
5. 有時候觀測困難，因為風箏顏色與背景相近。

#### (二)研究二改進的過程(圖 6)

1. 將原長 4.5 尺長的木板跑道加長至 7 公尺，有效跑道為 6.5 公尺，希望能測得更精準的數據，也能夠測量風箏起飛後 4.5 到 6.5 公尺處的飛行狀況。
2. 在跑道兩側牆頂部加裝一長木條，可限制車子不被向上拉起。
3. 改良風箏起飛架，將單片木板改成兩支可伸縮塑膠管，再放一塊小木板在後面，避免造成實驗初始狀態不同。
4. 在車上的塑膠桿頂端黏上紅色絕緣膠帶讓它更明顯，幫助觀察測量。
5. 在跑道頭架設黑色布幕當背景，使觀測更為容易。
6. 改以 30cm 長水平標準尺及 50cm 長垂直標準尺做數據計算時換算用，增加精確度。
7. 跑道加長，觀測距離變遠，因此攝影位置需調高，使可以將軌道完整的拍攝下來，雖然會造成誤差，經計算誤差尚小(最大誤差值約為 3%)，可忽略不計算。
8. 電動捲線器的改良。由於跑道加長，棉線也隨著加長，極易造成卡線，改良後捲線器可避免這個問題，加速實驗進行。



圖 6 研究二改進後情形

## 陸、研究結果

### 一、穩定度定義

風箏飛行的穩定度是我們研究最主要的目標，但用什麼來代表穩定度呢？偏移量嗎？晃動程度嗎？如何表示呢？最後我們採用統計學上常用的**標準偏差(Standard Deviation)**來作為穩定度好壞的判斷標準，我們計算出了每次飛行中距離每隔 25 公分一處的風箏位置數據，標準偏差恰可以代表其穩定度。標準偏差值愈小表示愈穩定，相反的標準偏差值愈大表示愈不穩定。

### 二、研究結果

我們將每次飛行計算所得的風箏位置數據資料利用 Excel 計算出風箏飛行的平均高度及穩定度(標準差)，並繪製成飛行軌跡圖，分為高度及水平兩方向，最後加以比較分析並得出結論。由於數據圖表數量甚多，無法於此一一列出，以下僅將研究結果整理敘述如下：

#### (一)研究一：不同材質的風箏對風箏飛行高度及穩定度的影響

##### 1. 風箏飛行高度與質量關係：

如圖 7 所示為風箏平均飛行高度與質量之關係圖，風箏的平均飛行高度是取最後 2.5 公尺的飛行之平均高度。

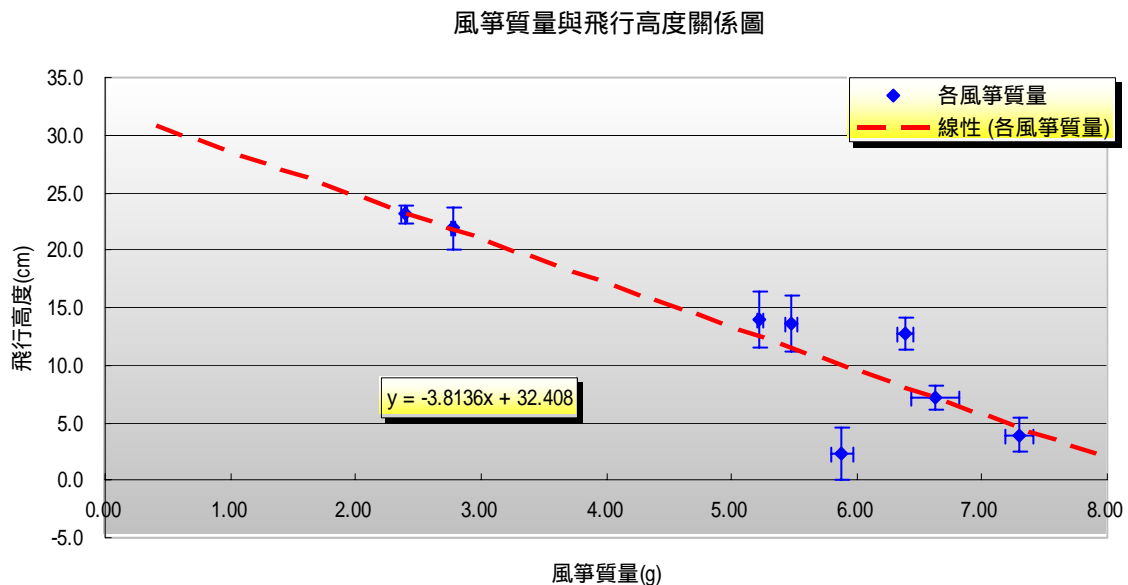


圖 7 風箏質量與飛行高度關係圖

由這個圖中可以發現，隨著風箏質量的增加，風箏的平均飛行高度漸漸減少，利用 Excel 中趨勢線功能，我們發現大致上飛行高度與風箏質量之間為一個線性關係：

$$\text{飛行高度(cm)} = (-3.81) \times \text{風箏質量(g)} + 32.41 \text{ (cm)}$$

由這個經驗公式我們得知，只要做出相同大小形狀的風箏，我們就可以預測出風箏會飛多高，當風箏的質量趨近於零的時候，飛行高度約為 32.41 公分，大致上跟我們所使用

的線長 33.00 公分吻合，意思是說，風箏線與水平面的夾角接近九十度。而在風箏質量 =  $32.41/3.81=8.50$  克的時候，風箏的飛行高度為零，簡單來說，風箏就飛不起來了。這個實驗結果告訴我們一個很重要的訊息 在這樣的設計中，風箏的質量不能超過 8.50 克。

## 2. 飛行穩定度分析：

飛行的穩定度我們利用計算最後 3 公尺的飛行中，飛行高度及水平位置的標準差大小來評估，標準差越大，表示飛行得越不穩定；標準差越小，表示飛行得越穩定。我們利用 Excel 裡面的 Stdev() 函數來做計算，結果發現穩定度與風箏質量之間的關係不大，如圖 8 所示：

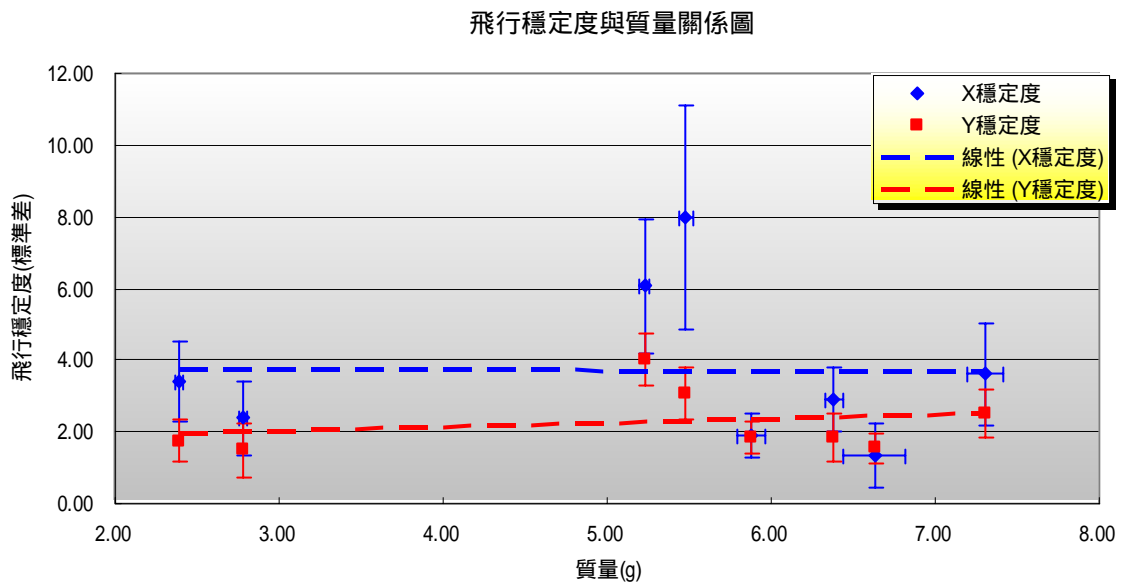


圖 8 風箏質量與飛行穩定度關係圖

我們認為穩定度與材質有比較大的關係，風箏受風面的質地要柔軟，較柔軟者容易產生形變包住氣流，穩定度較大；又若透氣性佳的材質製作的風箏，其穩定度也較大。表 1 是各個材質的穩定度比較：

表 1 不同材質風箏飛行穩定度比較表

風箏材質	柔軟度	透氣度 (ml/cm <sup>2</sup> /sec)	X 穩定度	標準差	Y 穩定度	標準差
報紙	不佳	11.77	6.06	1.88	4.03	0.73
塑膠	佳	不透氣	3.39	1.10	1.74	0.58
棉布	佳	998.46	1.34	0.88	1.55	0.42
尼龍	佳	68.69	1.90	0.63	1.84	0.45
報紙+3 尾翼	不佳	11.77	7.97	3.13	3.08	0.72
塑膠+3 尾翼	佳	不透氣	2.37	1.03	1.48	0.75
棉布+3 尾翼	佳	998.46	3.61	1.42	2.53	0.66
尼龍+3 尾翼	佳	68.69	2.93	0.89	1.86	0.67

報紙的穩定度最差，最好的是棉布。由計算出來的穩定度得到的結論為：

報紙 < 塑膠 < 尼龍 < 棉布

利用肉眼判斷我們所紀錄的影片也可以得到相同的結論。加上尾翼之後，結果並沒有如我們預期的使穩定度大幅提升，有些結果反而變差，檢討原因可能是因為尾翼的長度不夠長(研究一使用 30 公分)，或者是尾翼裝設的位置不夠精確，造成質量不平均影響穩定度，針對這點我們在研究三加以改進並有更深入的研究。

### 3. X 方向與 Y 方向穩定度的關係：

比較研究一中實驗數據 X 方向(水平)穩定度與 Y 方向(高度)穩定度的關係，研究結果如下：

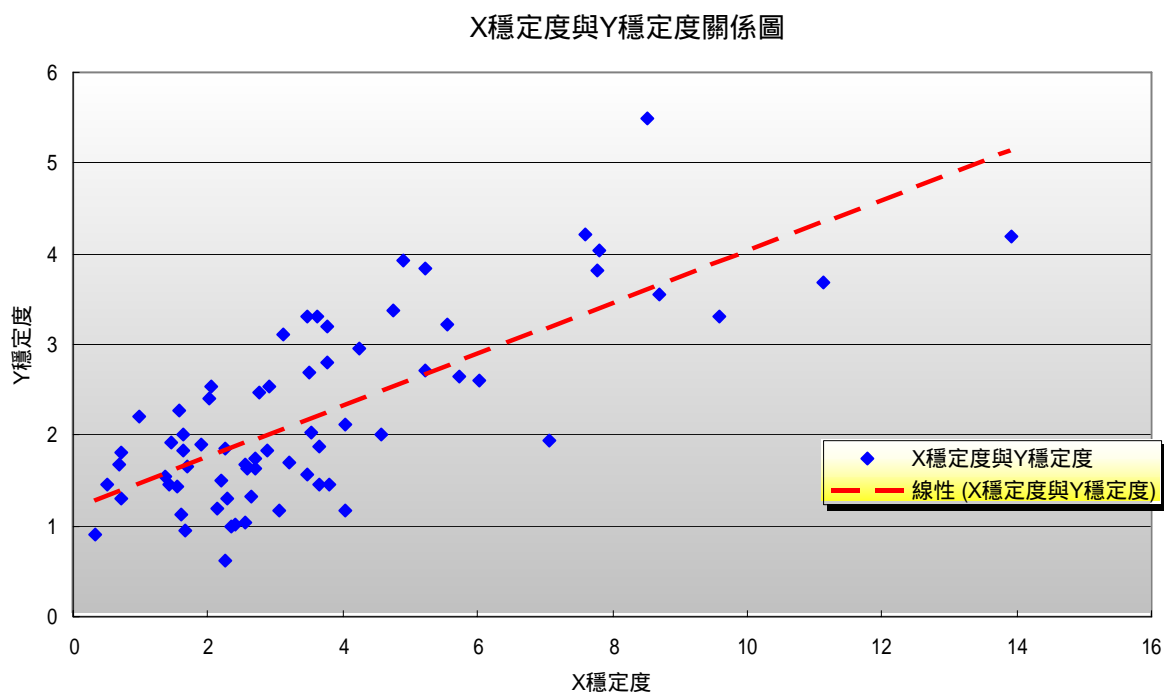


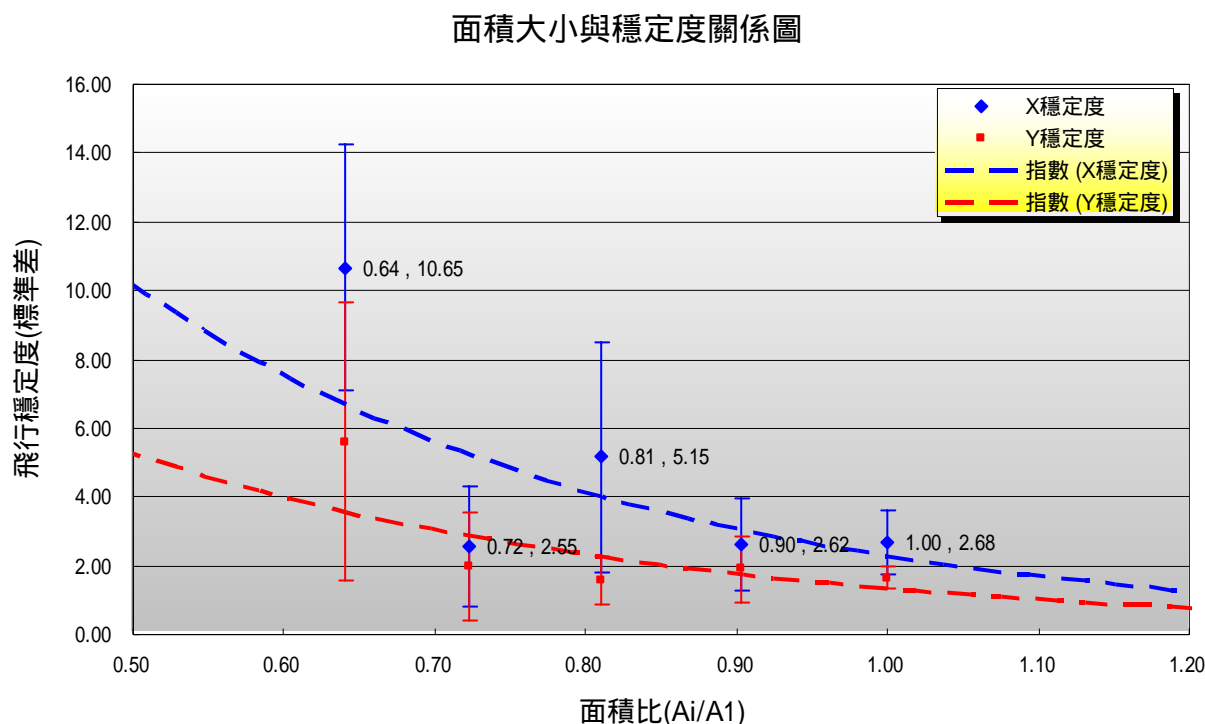
圖 9 X 向穩定度與 Y 向穩定度關係圖

X 軸穩定度與 Y 軸的穩定度有很大的關係，Y 軸不穩定的時候，X 軸也不穩定；相反的 X 軸穩定時，Y 軸(高度)也會比較穩定。我們認為是因為風箏線的長度是固定的，所以当風箏不穩定左右晃動時，風箏會以線的長度為半徑畫弧，因此造成 Y 穩定度亦跟著不穩定。

比較有尾翼與無尾翼的風箏之穩定性大小差別，我們發現加上尾翼以後，因為質量變重一些，所以飛行高度會變低，但是穩定性似乎沒有很顯著的進步，可能是尾翼太短

(二) **研究二**：不同面積大小對風箏飛行高度及穩定度的影響 (圖 10 中面積比為風箏面積與原尺寸之比值)

1. 飛行穩定度分析：



**圖 10 面積大小與飛行穩定度關係**

根據圖 10 所表現的結果，我們發現面積大小明顯地影響穩定度：當風箏面積愈來愈大時，它在飛行時的穩定度會愈來愈高；相反的面積縮小時，穩定度就會跟著減少，也就是越不穩定。

圖中趨勢線為指數趨勢線，使用指數線( $Ae^{-Bx}$ )是基於指數並不會產生負數，根據穩定度的定義並不會有負值產生，因此我們使用指數線來觀察穩定度的走勢。由圖中的測量結果我們也可以看出，當風箏的面積愈縮愈小時，它的穩定度下降得越快。

2. 飛行高度分析：

(1) 面積大小與高度關係

本次實驗所顯示的結果(圖 11)我們可以看出風箏面積大小和飛行高度沒有絕對關係。風箏面積縮放時會造成質量變化，依照研究一所得的資訊我們知道風箏飛行高度會隨質量增加而減少。因此我們原本推測，原尺寸風箏較其他經縮小後的風箏來說，質量比較大，應該會飛的較低。而實驗後的結果卻顯示出一條幾乎水平的線性方程式。

經過討論之後，我們發現：其實，當面積縮小時，有改變的並不只有質量而已，風箏的受風面亦有變化。風箏面積大時，雖然質量較大(質量=面積密度×面積)，但它的受風面也比較大(受力=風壓×面積)，因此風給風箏較多的力使其飛的比我們預料中的要高；反之較小的風箏因為受力較小而飛得較低。質量的大小與風箏面積都是影響風箏飛行高度的重要因素。我們了解到事實上比較不同面積密度之風箏的飛行高度或許是更佳的選擇。

面積大小與飛行高度關係圖

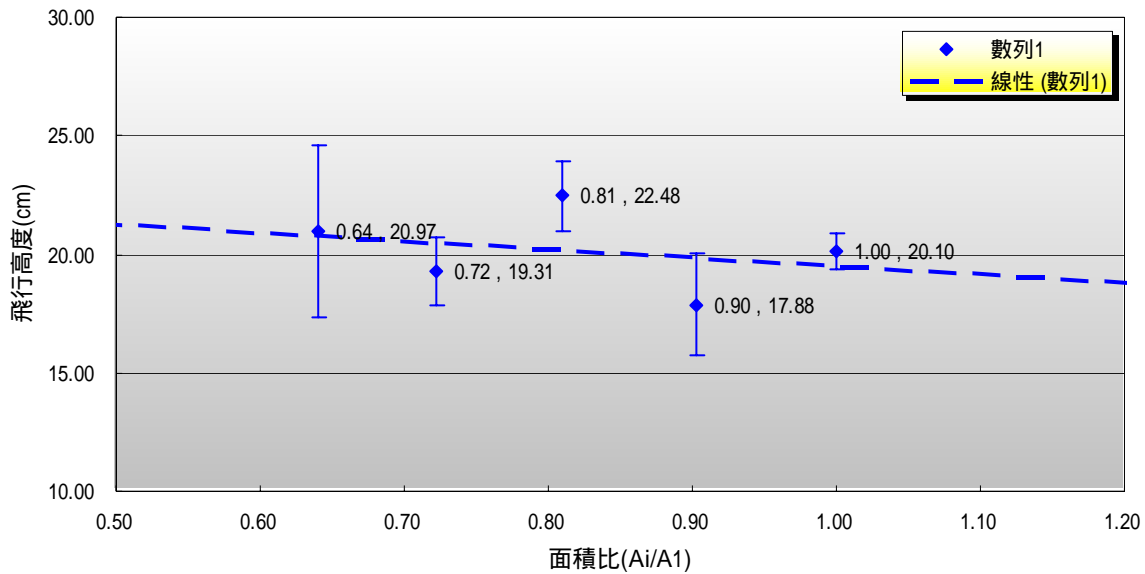


圖 11 面積大小與飛行高度關係圖

## (2) 面積密度與高度關係

由前面的討論，我們決定研究風箏密度與高度的關係圖(其中面積密度的定義為質量/風箏面積)，綜合研究一以及研究二的數據我們得到圖 12 的結果。圖中紅色的點為有尾翼風箏，藍色的點為無尾翼風箏。利用 Excel 所得到的線性方程式，我們得到以下的關係：

$$\text{飛行高度(cm)} = (-2528.0) \times \text{面積密度(g/cm}^2\text{)} + 30.5 \text{ (cm)}$$

當面積密度趨近於零的時候，我們得到高度 = 30.5 公分，與我們所使用的風箏線長十分接近，而我們也可以得到當面積密度 =  $30.5 / 2528 = 0.121(\text{g/cm}^2)$ 時，風箏的飛行高度為零，也就是說風箏就飛不起來了！

這個重要的結果讓我們較研究一時又進了一步，我們得到的這個實驗經驗公式，不僅可以用在預測研究一的結果，也能用在預測不同大小的風箏，其飛行的狀況會如何，甚至**不同大小的風箏，其可能的載質量為多少**，在研究討論中我們有較詳細的探討。

面積密度和飛行高度關係圖

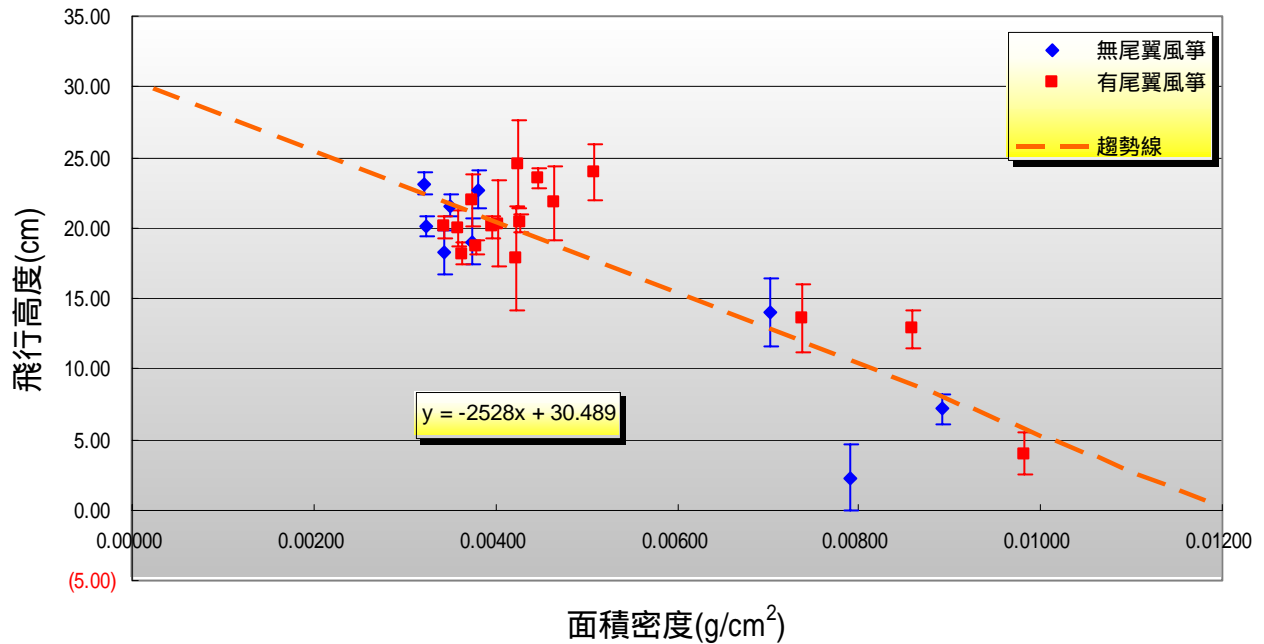


圖 12 面積密度與飛行高度關係圖

### 3. 研究二結果

- (1) 面積越大，穩定度越高；面積越小，穩定度越低。
- (2) 面積與飛行高度沒有絕對關係。
- (3) 面積密度與飛行高度息息相關，我們所得到的經驗公式為

$$\text{飛行高度(cm)} = (-2528.0) \times \text{面積密度(g/cm}^2\text{)} + 30.5 \text{ (cm)}$$

### (三)研究三：不同尾翼數對風箏飛行高度及穩定度的影響

我們將單層尾翼和雙層尾翼的風箏分開分析，以利觀察唯一一個變因所產生的變化

#### 1. 單層尾翼風箏穩定度

由圖 13~圖 14 中我們得知：100%大小之風箏的穩定度在加上尾翼後有改善，我們可以看出不管在高低以及水平方向的穩定度都有進步，而且尾翼數目愈多，風箏穩定度越好。然而在 64%大小之風箏的數據卻看不出很明顯的趨勢。

我們認為原因是因為 64%風箏測量出的穩定度誤差較大，依照統計學的觀念來解釋，數據偏移一個誤差的機率不小，加上尾翼後改善穩定度的效果有限，因此除非我們能夠減少穩定度誤差的大小，否則很難在圖中看出穩定度改變的趨勢。

X向穩定度與尾翼數(單層)關係圖

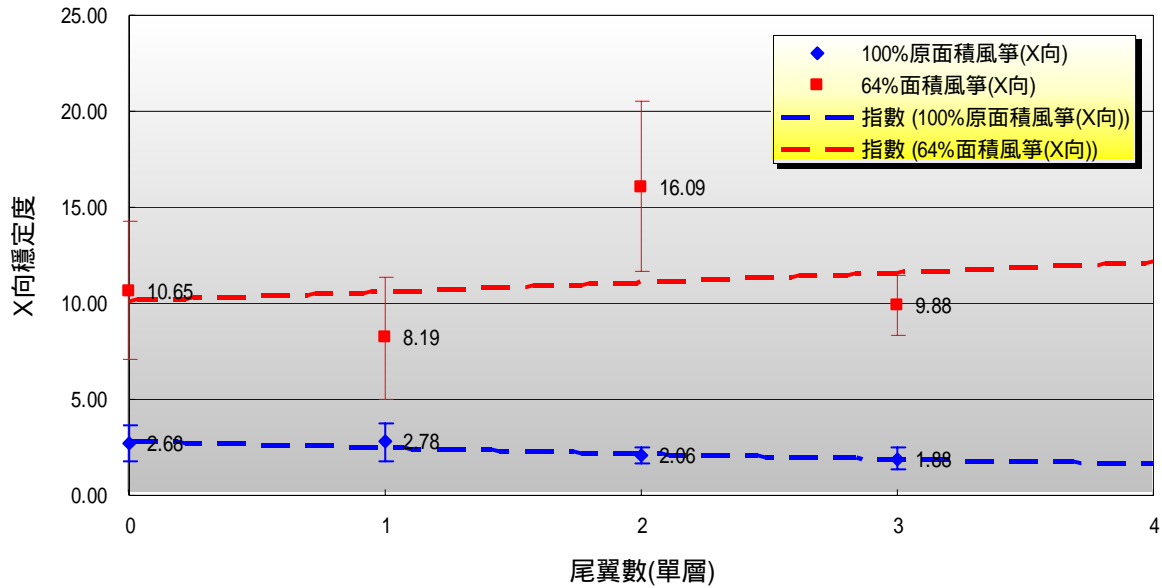


圖 13 X 向穩定度與尾翼數(單層)關係圖

Y向穩定度與尾翼數(單層)關係圖

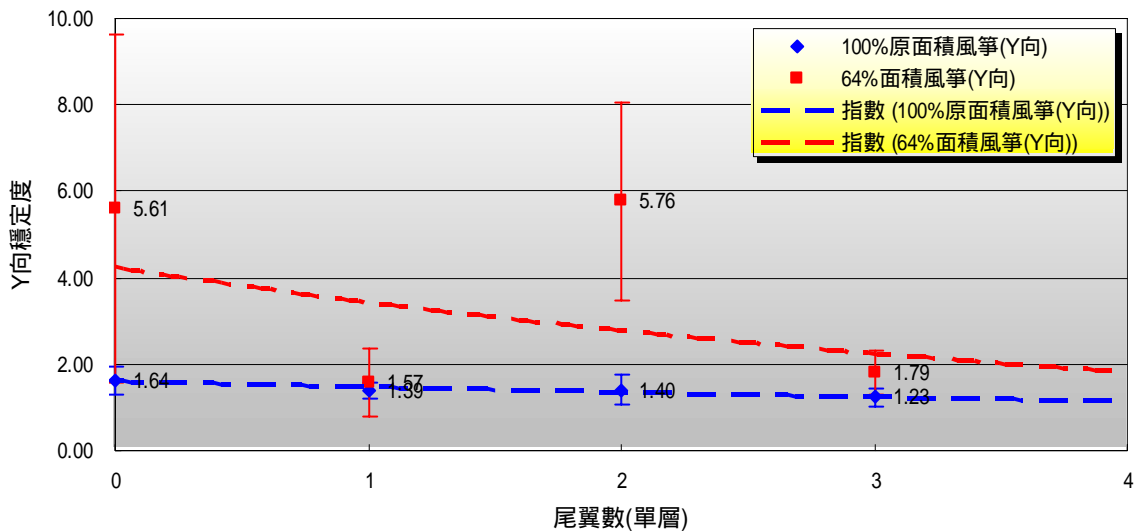


圖 14 Y 向穩定度與尾翼數(單層)關係

1. 單層尾翼風箏高度

我們又將本次實驗風箏加上尾翼後的高度變化製作成圖 15，圖 15 中趨勢線告訴我們，我們所採用的大小兩種風箏有不一樣的走勢，100%的風箏逐漸增加尾翼數目時，飛行時的高度逐漸下降；而 64%的風箏加上的尾翼數目越多，飛行高度會越高。但詳細檢查後發現，其實 64%的風箏誤差很大，再統計時若稍有偏移可能造成嚴重的不同，所以並不能完全精準地分析實際情形，也就是說可能因為統計跳動而改變線性

分析的結果；相反的 100%的風箏誤差範圍較小，所以製作出來的數據和分析會比較貼近真實情形。因此，若 64%三尾翼風箏的數據向飛行高度較低處移動一個誤差，那麼它的趨勢將有可能有較大的改變。

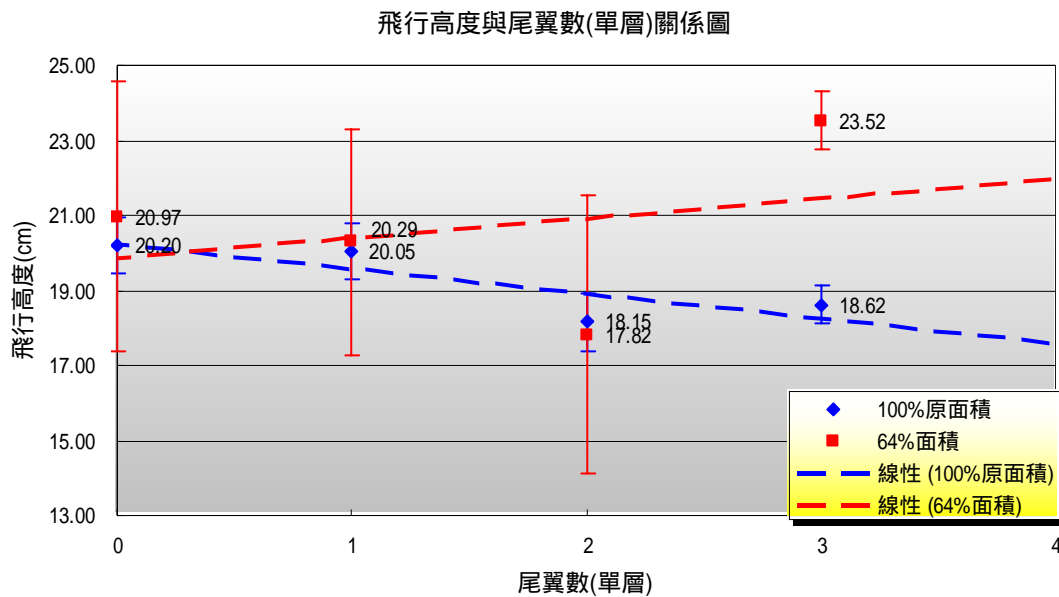


圖 15 飛行高度與尾翼數(單層)關係圖

## 2. 雙層尾翼風箏穩定度

為了研究不同尾翼型式對風箏的影響，我們也將風箏尾翼由單層改成雙層。與單層尾翼的結果相比較，顯示雙層尾翼對風箏的穩定度似乎有較大且較明顯的改善。圖 16~圖 17。

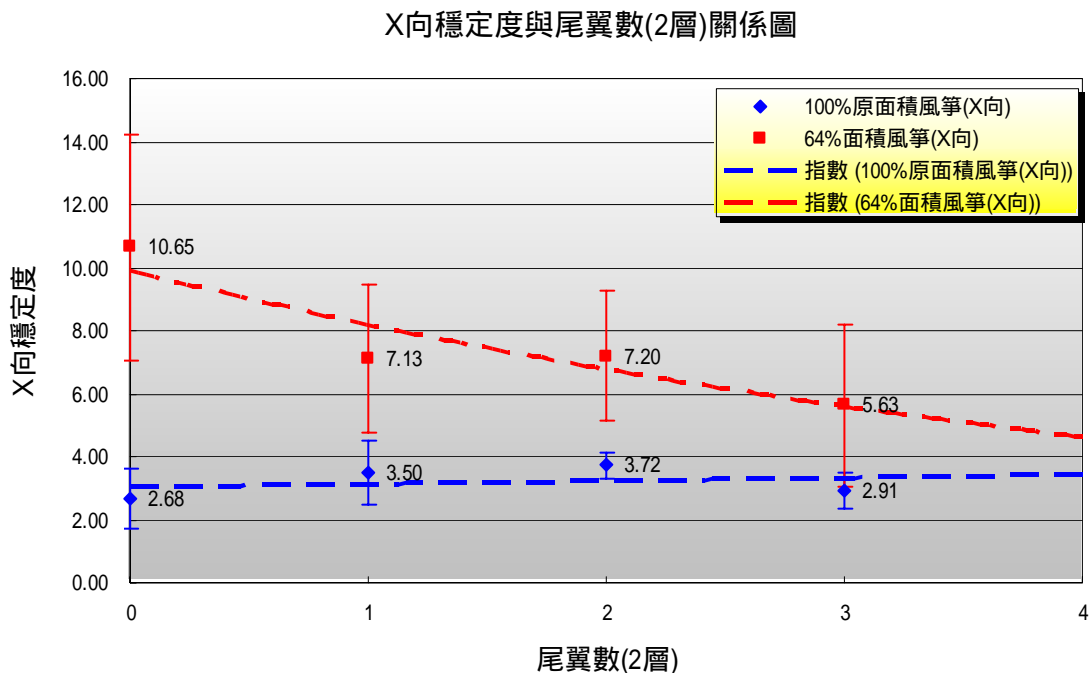


圖 16 X 向穩定度與尾翼數(2 層)關係圖

Y向穩定度與尾翼數(2層)關係圖

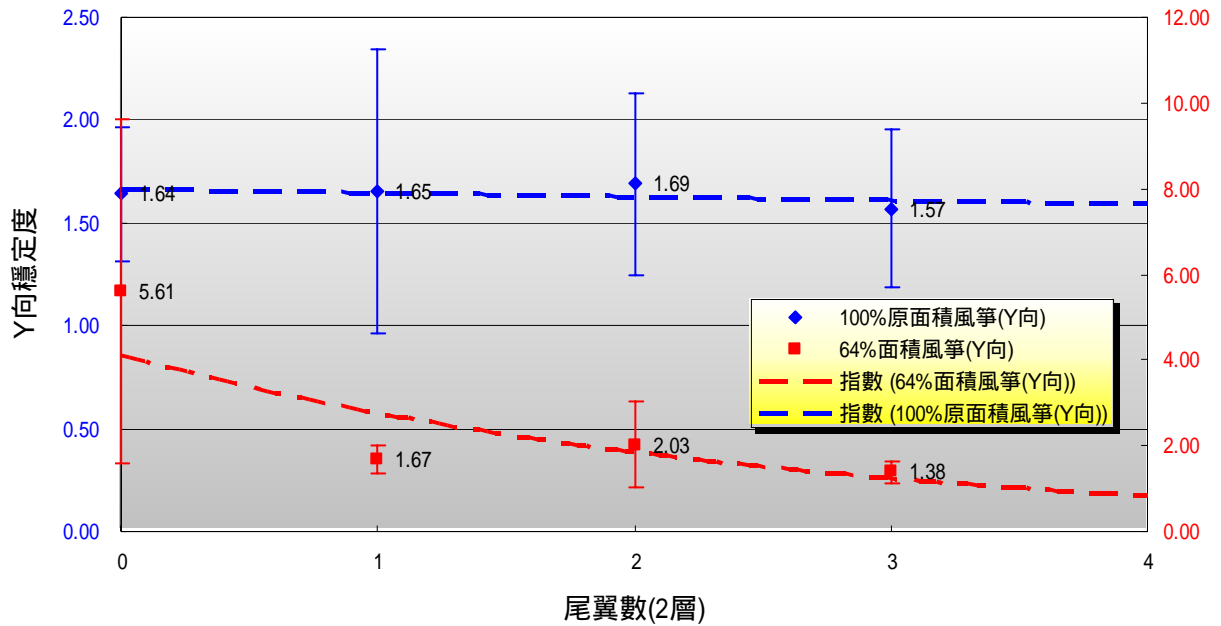


圖 17 Y 向穩定度與尾翼數(2 層)關係圖

### 3. 雙層尾翼風箏高度

雙層尾翼對高度的影響並非像單層尾翼那樣的明顯。初步推測，可能是因為雙層尾翼明顯的改善了風箏的穩定度所造成的。風箏在飛行時，若是水平的穩定度不穩定，則會因為受限於線的長度無法改變這個原因，而使高度明顯變化，如圖 18 所示。

飛行高度與尾翼數(2層)關係圖

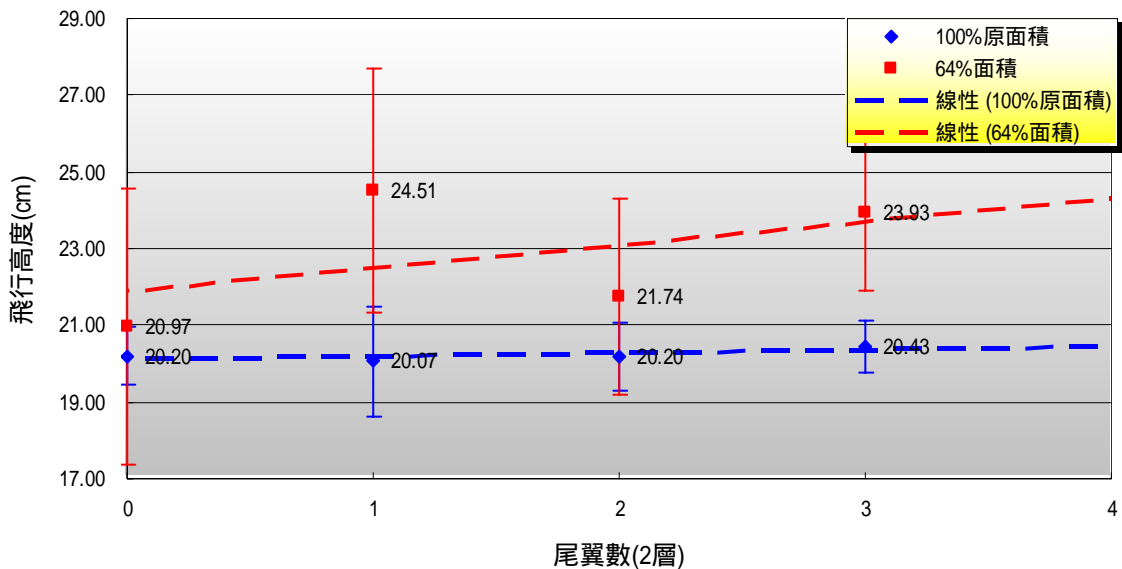


圖 18 飛行高度與尾翼數(2 層)關係圖

#### 4. 研究三結果

- (1) 風箏加上尾翼，穩定度會有所提升。100%面積大小風箏穩定度結果如下：  
三尾翼 > 二尾翼 > 一尾翼 > 無尾翼  
(但有時效果沒有想像中的顯著)
- (2) 尾翼數量增加並飛行高度改變並不明顯。

## 柒、討論

一、在研究一中我們對風箏的材質做探討，針對各種不同材質做實驗後，我們知道紙類等柔軟度不夠的材質，是不適合做風箏的，就算勉強做出風箏，其穩定度也不佳。另外我們由實驗中也了解到穩定度與風箏的質量沒有明顯的關係，而且加上尾翼之後，結果並沒有如我們預期的使穩定度大幅提升，有些結果反而變差，檢討原因可能是因為尾翼的長度不夠長，或者是尾翼裝設的位置不夠精確，造成質量不平均影響穩定度，針對這點我們在研究三中予以改進並進行更深入的研究。

表 2 不同材質風箏飛行穩定度比較表

風箏材質	X 穩定度	標準差	Y 穩定度	標準差
報紙	6.06	1.88	4.03	0.73
塑膠	3.39	1.10	1.74	0.58
棉布	1.34	0.88	1.55	0.42
尼龍	1.90	0.63	1.84	0.45
報紙+3 尾翼	7.97	3.13	3.08	0.72
塑膠+3 尾翼	2.37	1.03	1.48	0.75
棉布+3 尾翼	3.61	1.42	2.53	0.66
尼龍+3 尾翼	2.93	0.89	1.86	0.67

二、在研究三中我們改進尾翼的裝設位置，測試 1/2/3 尾翼風箏的飛行狀況，並測試雙層尾翼風箏，我們發現當尾翼增長增量後，對於風箏的穩定度有所幫助，原因是因為尾翼數量/長度增加後，會使風箏的轉動慣量增加，使得風箏比較不容易翻轉，而使穩定度增加，不過在 64% 的小風箏數據中因為誤差較大，不容易看出穩定度改進的狀況。

三、由研究一至三的數據中我們得到一個重要的公式

$$\text{飛行高度(cm)} = (-2528.0) \times \text{面積密度(g/cm}^2) + 30.5 \text{ (cm)}$$

由計算可以發現在實驗中的風速下，風箏可以飛起的臨界密度為  $0.0121(\text{g/cm}^2)$ ，到底這個臨界密度有何意義呢？經過討論我們發現可以利用這個臨界密度，計算出各種不同材質製作的風箏其可能的載重大小！

$$\text{風箏可載重} = (\text{臨界密度} - \text{材質密度}) \times \text{風箏面積}$$

表 3 不同密度材質風箏最大載重表

風箏材質	密度 g/cm <sup>2</sup>	面積(100%) cm <sup>2</sup>	風箏質量(g)	最大載質量(g)
報紙	0.00703	743.75	5.23	3.77
塑膠	0.00322	743.75	2.39	6.61
棉布	0.00892	743.75	6.63	2.37
尼龍	0.00791	743.75	5.88	3.12

由表 3 中我們可以發現風箏材質的密度越低，載質量越大，塑膠製的風箏在最大載重的表現上最好，而棉布與尼龍布的最大載質量表現較差。

四、利用這項生活科技研究進行以下的應用

(一)室內廣告看板

室內風箏可以應用在室內空間廣場上作為廣告看板，在風箏面上或拖曳的尾翼上寫上廣告，藉由不斷來回移動的風箏吸引人們的眼光，達到廣告的效果。由於風箏路徑可能不再侷限於直線跑道，因此我們也製作了一台圓形軌道飛形器，如圖 19，看看風箏在圓形軌道上飛行的情況，結果情形非常良好，風箏可以穩定的繞著圓形軌道飛行，這也顯示運用於室內廣告看板的基本構想是可行的。



圖 19 圓形軌道飛形器

## (二)延伸應用

由我們的研究結果，讓我們想到雖然我們的研究是室內風箏，但未來似乎可以將我們的研究範圍擴大到室外。透過網路，我們查到風箏可以應用在高空氣溫測量及空中攝影，以下是我們依據這次研究的結果，預測風箏應用於上述功能時所需要的面積大小，未來若有機會，我們也可以進行後續實驗來驗證我們的研究結果。

### 1. 高空氣溫測量

利用風箏我們可以讓電子溫度計飛上空中，若能隔一段時間就自動紀錄溫度，這樣的實驗設計可以讓我們進行空中溫度變化的研究。由網路上的資料顯示通常一個電子溫度計的質量約為 15 克，我們可以計算需要多大的風箏才能完成這項實驗

$$15 \text{ (g)} = (\text{臨界密度} - \text{材質密度}) \times \text{風箏面積}$$

表 4 高空氣溫測量所需最小面積表

風箏材質	密度 (g/cm <sup>2</sup> )	目標載重 (g)	(臨界密度-密度) g/cm <sup>2</sup>	風箏最小面積(cm <sup>2</sup> )	風箏尺寸 (長,cm)	風箏尺寸 (寬,cm)
報紙	0.00703	15.0	0.00507	2959	84.8	69.8
塑膠	0.00322	15.0	0.00888	1689	64.0	52.7
棉布	0.00892	15.0	0.00318	4717	107.0	88.1
尼龍	0.00791	15.0	0.00419	3580	93.2	76.8

表 4 為我們的計算結果，以塑膠材質為例，我們需要設計一個大小大於 64.0 cm × 52.7 cm 的風箏才能讓風箏飛起進行高空氣溫測量。

### 2. 空中攝影

空中攝影除了利用飛機實施外，我們也可以利用風箏來搭載數位照相機(攝影機)來進行高空攝影，可以節省時間與經費。目前市面上銷售的數位照相機大約為 110 克-200 克，以下為最小所需面積計算的結果

表 5 空中攝影所需最小面積表

風箏材質	密度 (g/cm <sup>2</sup> )	目標載重 (g)	(臨界密度-密度) g/cm <sup>2</sup>	風箏最小面積(cm <sup>2</sup> )	風箏尺寸 (長,cm)	風箏尺寸 (寬,cm)
報紙	0.00703	110.0	0.00507	21696	229.5	189.0
報紙	0.00703	150.0	0.00507	29586	268.1	220.7
報紙	0.00703	200.0	0.00507	39448	309.5	254.9
塑膠	0.00322	110.0	0.00888	12387	173.4	142.8
塑膠	0.00322	150.0	0.00888	16892	202.5	166.8
塑膠	0.00322	200.0	0.00888	22523	233.9	192.6

風箏材質	密度 (g/cm <sup>2</sup> )	目標載重 (g)	(臨界密度-密度) g/cm <sup>2</sup>	風箏最小面積(cm <sup>2</sup> )	風箏尺寸 (長,cm)	風箏尺寸 (寬,cm)
棉布	0.00892	110.0	0.00318	34591	289.8	238.7
棉布	0.00892	150.0	0.00318	47170	338.5	278.7
棉布	0.00892	200.0	0.00318	62893	390.8	321.9
尼龍	0.00791	110.0	0.00419	26253	252.5	207.9
尼龍	0.00791	150.0	0.00419	35800	294.9	242.8
尼龍	0.00791	200.0	0.00419	47733	340.5	280.4

由表 5 的結果可以知道如果要讓數位相機飛起來，我們所需要的風箏尺寸約為 **1.7 公尺至 3.9 公尺**(依材質而異)，使用塑膠製作的風箏最小，而尼龍製作的風箏最大。我們的結果可以提供高空數位拍攝的研究人員作為參考。而我們在網站上面所查到的資料，用於高空數位攝影的風箏約為 2.0-2.5 公尺大，與我們的研究成果十分接近。圖 20 為不同載重與所需風箏長軸大小關係圖。

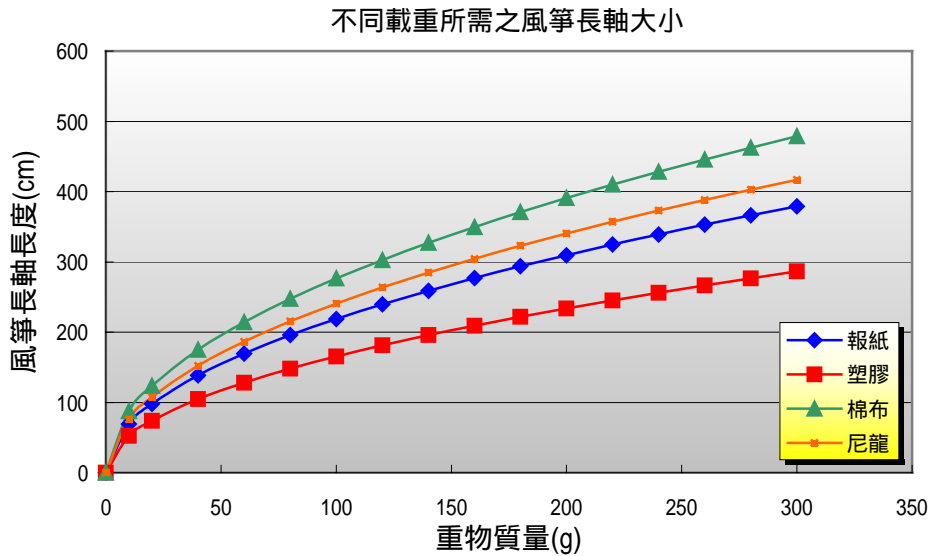


圖 20 不同載重與所需之風箏長軸大小關係圖

## 捌、結論

### 一、研究一：研究不同材質的風箏(塑膠、報紙、棉布、尼龍布)對風箏飛行高度及穩定度的影響

(一)穩定度與風箏質量之間的關係不大。

(二)材質較柔軟者，容易產生形變包住氣流，穩定度較佳；材質透氣性佳者，其穩定度也較好。

穩定度：棉布 > 尼龍 > 塑膠 > 報紙

(三)X 向(水平向)穩定則 Y 向(高度方向)亦穩定；反之，X 向(水平向)不穩定則 Y 向(高度方向)亦不穩定。

(四)風箏質量與飛行高度二者間，我們得到的經驗公式為

$$\text{飛行高度(cm)} = (-3.81) \times \text{風箏質量(g)} + 32.41(\text{cm})$$

(註：此公式僅適用於與研究一相同面積的風箏)

### 二、研究二：研究不同面積的風箏對風箏飛行高度及穩定度的影響

(一)面積越大，穩定度越高；面積越小，穩定度越低。

(二)面積與飛行高度沒有絕對關係。

(三)面積密度與飛行高度息息相關，我們所得到的經驗公式為

$$\text{飛行高度(cm)} = (-2528.00) \times \text{面積密度(g/cm}^2\text{)} + 30.50(\text{cm})$$

(註：改進研究一公式的限制，使其與面積無關，擴大公式適用性)

### 三、研究三：研究風箏尾翼數對飛行高度及穩定度的影響

(一)風箏加上尾翼，穩定度會有所提升。100%面積大小風箏穩定度結果如下：

三尾翼 > 二尾翼 > 一尾翼 > 無尾翼

(但有時效果沒有想像中的顯著)

(二)尾翼數量增加飛行高度改變並不明顯。

## 玖、參考資料及其他

- 一、陳世賢（民 91）。Fun 風箏。台北縣，木馬文化事業有限公司。
- 二、張文炳（民 66）。風箏設計製作。臺北市，中華色研。
- 三、黃景楨（民 90）。風箏：夢之翼 Wings of dream : the stories of kites。臺北市，時報文化
- 四、中華文化天地—風箏的介紹。（無日期）。取自：  
[http://edu.ocac.gov.tw/culture/chinese/culturechinese/vod08html/vod08\\_02.htm](http://edu.ocac.gov.tw/culture/chinese/culturechinese/vod08html/vod08_02.htm)
- 五、中國的藝術—風箏。（無日期）。取自：<http://content.edu.tw/local/tainan/kunhwa/kites.htm/>  
中國風箏
- 六、阿富仔的風箏屋。（無日期）。取自：<http://tainfoo.myweb.hinet.net/view.htm>
- 七、風箏 DIY（初級篇）。（無日期）。取自：<http://www.tses.ilc.edu.tw/flybird/flybird.htm>
- 八、風箏製作 DIY。（無日期）。取自 <http://www.taconet.com.tw/carolpig>
- 九、風箏的昇空原理與製作。（無日期）。取自：  
<http://www.socialwork.com.hk/sport/kite/theory.htm>
- 十、美國航空及太空總署(NASA)。（無日期）。取自：  
<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/kitefor.html>
- 十一、新潮室內風箏網。（無日期）。取自：  
<http://c.yam.com/srh/dbl/r.c?http://home.kimo.com.tw/indoorkite/>
- 十二、舞動風情的精靈。（無日期）。取自：<http://www.ncpes.edu.tw>

030803

( )