

# 『紙』『享』飛上天

名次：國小組數理類第一名

學校名稱：新化區新化國小

作者：蔡易廷、林柏佑、劉璣雯

指導教師：林妘蓁

## 摘要

本研究為了解各種紙飛機的表現情形，以不同材質、大小、翼尖帆型態、升降翼型態、機首型態，設計一連串實驗，發現結果如下：

一、材質比較：粉彩紙紙飛機飛最遠；報紙紙飛機飛最久；影印紙紙飛機飛最快。

二、紙張大小比較：A4 紙飛機最遠；B4 紙飛機最久；A4 紙飛機最快。

三、翼尖帆比較：兩側往上的翼尖帆有利飛行，且飛行速度快；兩側往下翼尖帆的紙飛機，飛行表現是最差的。可發現右側比左側高的紙飛機(左無右上、左下右無)多會往右偏飛行；左側比右側高的紙飛機(左上右無、左上右下)多會向左偏飛行。

四、升降翼比較：左上右下的飛行距離最遠，兩側往上升降翼的紙飛機飛行距離最短；兩側往上的飛行時間最久、兩側往下的飛行時間最短；沒有升降翼的紙飛機飛最快，兩側往上升降翼的紙飛機飛得最慢。另發現各種型態有其特殊的飛行軌跡。

五、機首比較：尖頭紙飛機飛比較遠，也較久。平頭紙飛機飛得比較快。

六、飛得最遠/最久/最快型態討論：飛得最遠的—粉彩紙、A4、無翼尖帆、左上右下升降翼、尖頭；飛得最久的—報紙、B4、左無右下翼尖帆、兩側往上升降翼、尖頭；飛得最快的—影印紙、A4、左下右上翼尖帆、兩側沒有升降翼、平頭。

## 壹、研究動機

班上同學們下課時流行玩紙飛機。有一次無意間，有位同學(研究者之一)將紙飛機射到對面教室的一樓洗手台，隔沒多久又將一台紙飛機射了出去，這次越飛越高，而且越飛越遠……，竟然飛出了校外！

因此，我們對紙飛機產生了好奇心，想了解哪種紙飛機能飛的最遠？哪種紙飛機能飛的最久？哪種紙飛機能飛的最快？於是，我們決定展開實驗與調查。

## 貳、研究目的

- 一、了解不同材質紙飛機的飛行時間/距離。
- 二、了解不同大小紙張紙飛機的飛行時間/距離。
- 三、探究翼尖帆如何影響紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡。
- 四、探究升降翼如何影響紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡。
- 五、探究平頭/尖頭的機首如何影響紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡。
- 六、飛行最遠、最久、最快的紙飛機的探討。

## 參、研究問題

- 一、不同材質的紙飛機的飛行時間/距離如何？
- 二、不同大小紙飛機其飛行時間/距離如何？
- 三、不同角度的翼尖帆如何影響紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡？
  - (一)兩側有往上折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (二)兩側沒有翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (三)兩側有往下折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (四)左側有往上折 90 度的翼尖帆而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (五)左側有往上折 90 度的翼尖帆而右側有往下折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (六)左側不折，而右側有往上折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (七)左側不折而右側有往下折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (八)左側有往下折 90 度，而右側有往上折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (九)左側有往下折 90 度的翼尖帆而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
- 四、不同角度的升降翼如何影響紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡？
  - (一)兩側有往上折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (二)兩側沒有升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？
  - (三)兩側有往下折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

(四)左側有往上折 90 度的升降翼而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

(五)左側有往上折 90 度的升降翼而右側有往下折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

(六)左側不折，而右側有往上折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

(七)左側不折而右側有往下折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

(八)左側有往下折 90 度，而右側有往上折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

(九)左側有往下折 90 度的升降翼而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡為何？

五、尖頭/平頭的機首如何影響紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡？

六、飛行最遠、最久、最快的紙飛機的特徵為何？

#### 肆、研究工具

各種紙張、碼錶、剪刀、膠水、膠帶、照相機(可錄影)、捲尺、三角板、筆芯盒(壓平摺痕的工具)、自製發射器(橡皮筋 8 條、紙箱、竹筷子 1 雙、紙張…等)、奇異筆、大型三角板、直尺、裁紙刀。

#### 伍、名詞釋義

一、翼尖帆(又稱方向翼、翼尖小翼。另有報告指為方向舵。)

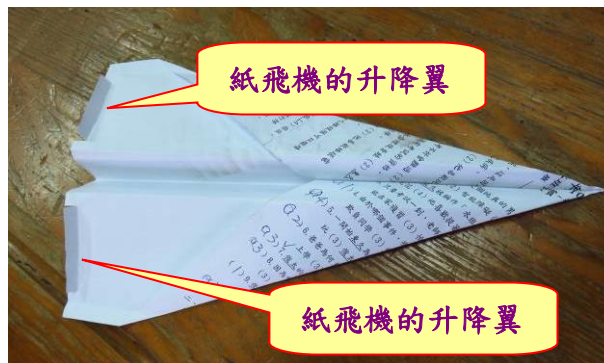
在本研究中皆稱為翼尖帆，在機翼尾端兩側往上折寬度約 1cm，可調整紙飛機轉彎的方向。



圖一 紙飛機翼尖帆示意圖

## 二、升降翼

在機翼尾端左右各留 1cm，往上折寬度約 1cm，可調整紙飛機飛行的高度。



圖二 紙飛機升降翼示意圖

## 三、距離

調查紙飛機飛行落地後，與發射點之間的垂直距離、水平距離與直線距離。

## 陸、文獻探討

### 一、紙飛機各部位對飛行的影響

以下概述紙飛機各部位構造名稱及其功能(李怡慧，2008；維基百科，2011)

部位	功能
機首	影響重心配置。重心位置對紙飛機的飛行有很重要的影響，重心太前面會俯衝而快速降落，重心太後面會因爬升太快阻力增加而墜落。
機身	真的飛機機身主要功用在裝載成員及物品，而紙飛機的機身是實際機身的簡化形狀，不完全立體，主要在方便「擲射」。
機翼	是飛機主要承載重量，產生升力的地方
升降翼	是紙飛機「升降」及「方向」調整、修正的靈魂。
翼尖帆	又稱作翼尖小翼、方向舵。可提高升力，減少阻力，以穩定飛行。

### 二、紙飛機飛行的力學原理

紙飛機在飛行的過程中至少受到四種力的作用。以下將分別進行相關力學的原理探討(卓志賢，2003)。

#### (一) 重力

根據牛頓萬有引力定律，每個物體都受到重力影響，產生方向對地面的力。

#### (二) 空氣阻力

空氣阻力是紙飛機前進時，空氣對飛機所施之力；它是空氣對機身的阻力及摩擦力。為增進飛行效率，飛機在設計上應盡量接近流線型，已漸少部必要阻力的產生。但阻力也不全然是負面的，像飛機要減速(升起機翼上的擾流板)、提供升力、穩定機身等也是空氣阻力的作用之一。

#### (三) 推力

推力就是用手擲出紙飛機時，為了使紙飛機前進，施於紙飛機上的力量。紙飛機與一般的飛機不同在於飛行的時候，並沒有持續的推力(如：螺旋槳、噴

射引擎)，讓紙飛機前進，而是藉由開始投擲紙飛機時，瞬間施於紙飛機上的推力就可以飛行了。因此它也是使紙飛機飛行的動力來源之一。

#### (四) 升力—白努力原理

為什麼飛機會飛呢？我們可以利用「白努力定律」來解釋，這是因為機翼受到氣壓差所造成的浮力。

一般來說機翼的形狀是上面凸、底下凹，飛行的時候從上下兩面留過的氣流速度會有所差異。當機翼的形狀—上為凸面，下為凹面或平面時，本應該是下面流經的空氣量比上面多，但經實驗證實，上、下的空氣量相同，而上面因為是凸面，為了跟下面的空氣量相同，所以上方的流速會比下方快。根據白努力原理，從上面流過的速度快，所以氣壓小，相反地，從下面流過的速度較慢，所以氣壓較大，氣壓大的一方會向氣壓小的一方產生一股推力，這就是機翼的升力。

實際上，飛機機翼通常有一個仰角，而不是水平的，這樣即使機翼本身沒有上下表面的凹凸區別，也會因為氣流的機沖而產生升力。當仰角不超過一定限度的時候，仰角越大(產生的氣壓差也會越大)，升力也越大。應用此原理，只要在紙飛機機翼尾端適當的折起弧角，當紙飛機的機翼與氣流保持某一傾斜角度時，便會產生升力。

### 三、擲射紙飛機的基本要領

每個人的力道和用力方式都不相同，同一架紙飛機到不同人手上，投擲出去的角度就會不同，有時還需要練習和體會，才能讓紙飛機飛得更好。投擲紙飛機需要注意以下幾點：

1. 用拇指和食指夾取紙飛機的重心部位。
2. 「夾取點」大致在紙飛機中心點前面約 1 公分—是最省力，也比較能讓紙飛機固定方向。
3. 投擲前保持紙飛機向前平穩的角度—使紙飛機擲出後確保風的角度。(本研究皆採水平持法投擲)
4. 盡量往正前方或稍微向下(不同的紙飛機會有不同的效果)—紙飛機本身會產生升力，平射出去才能保持直飛。

### 四、小結

由以上相關理論，我們可以整理出影響紙飛機飛行的可能因素包括：飛機結構、材質、升降翼、翼尖帆……等。為了深入探討不同變因對紙飛機飛行的影響，我們將進行一系列實驗，嘗試理出頭緒，讓我們更清楚如何掌握紙飛機。

## 柒、研究方法與步驟

### 一、研究場地

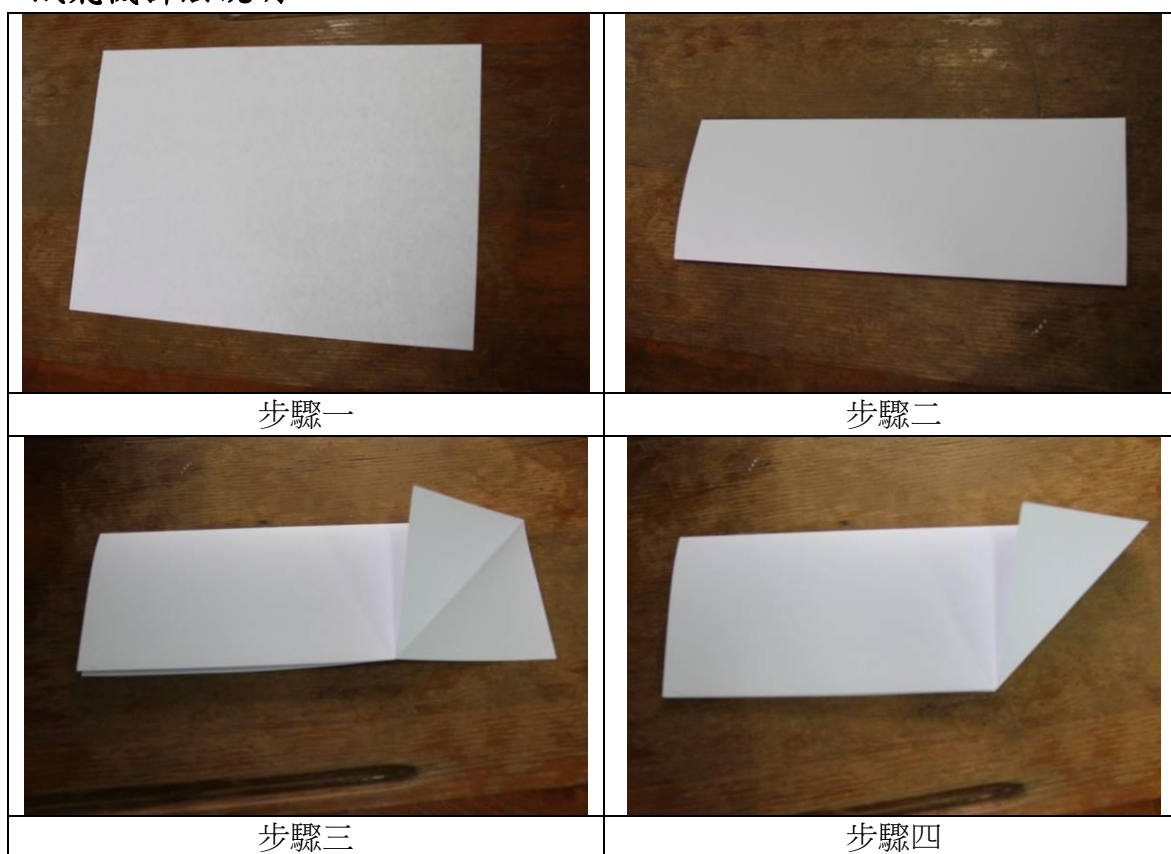
在有風的環境下時，紙飛機因機身很輕，加上本身沒有動力，所以常因「風」的因素，導致飛機亂飛（或是偏離應行的軌道）。因此，想要測出飛機真正的飛行狀況，需盡量選擇在無風的環境下進行。

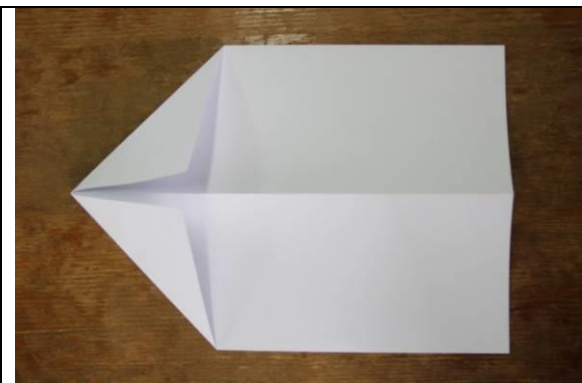
本研究於○○國小資優班教室進行實驗前置準備工作；另於活動中心二樓羽球場進行紙飛機投擲實驗。

### 二、研究者任務分配

職稱	研究者	主要擔任工作
機長	蔡○○	研究小組組長、資料蒐集、紙飛機射手、資料上傳
副機長	林○○	紙飛機製作、資料蒐集、計時員、實驗量測
機組員	劉○○	資料蒐集、實驗量測與紀錄
指導教師	林○○老師	研究指導教學

### 三、紙飛機折法說明

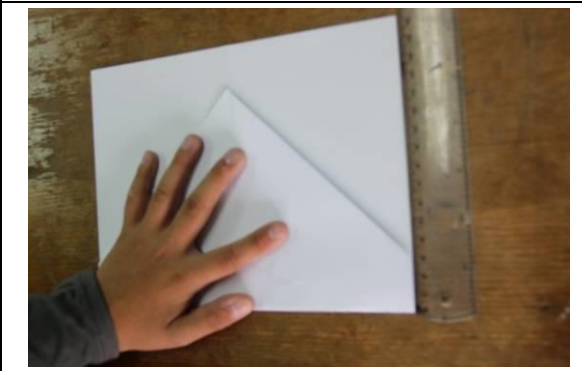




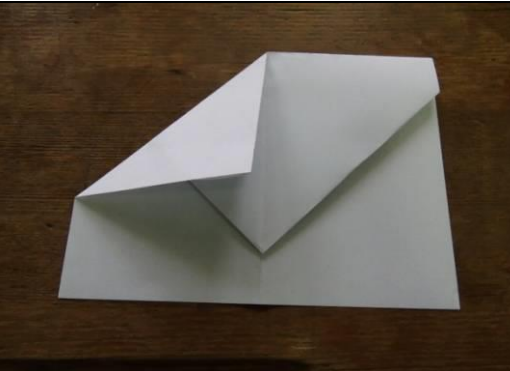
步驟五



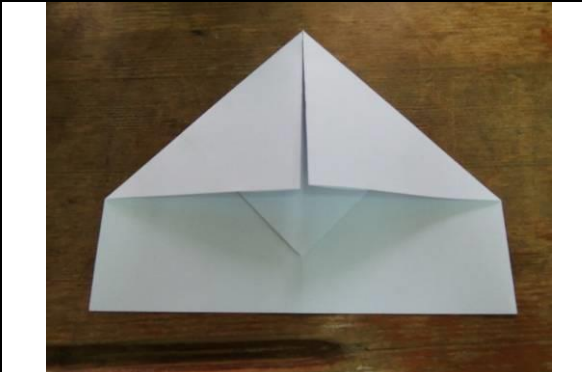
步驟六



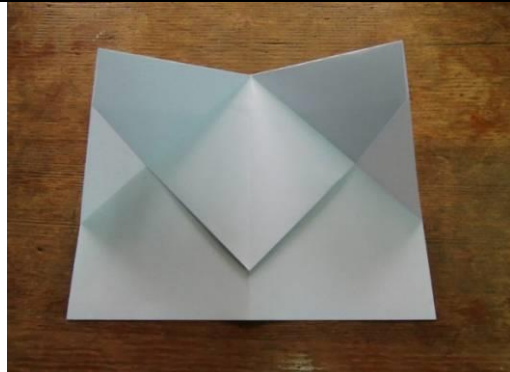
步驟七



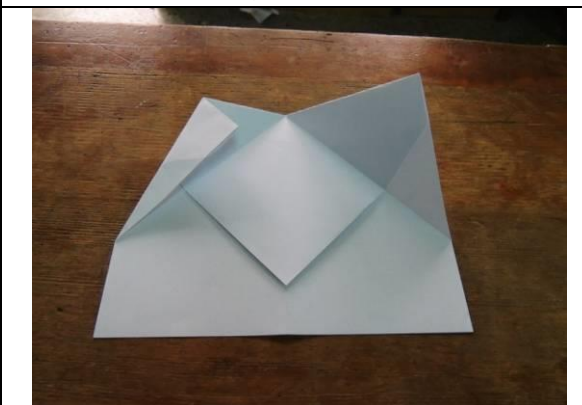
步驟八



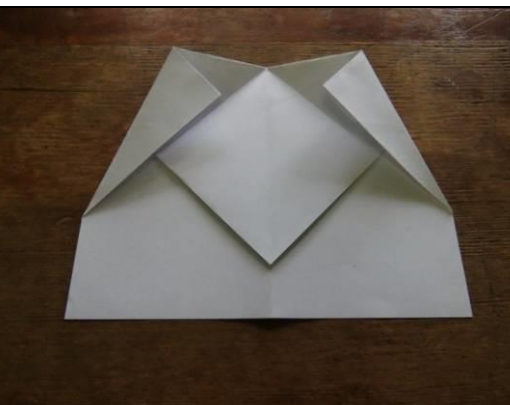
步驟九



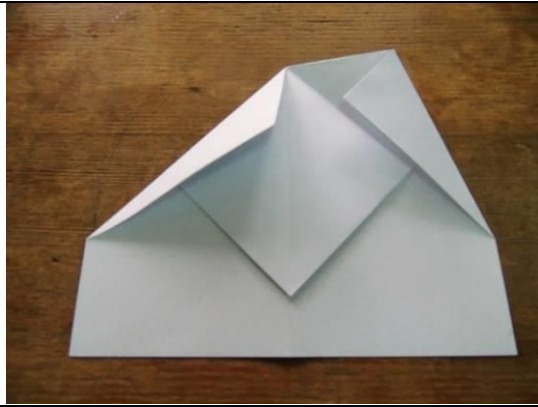
步驟十



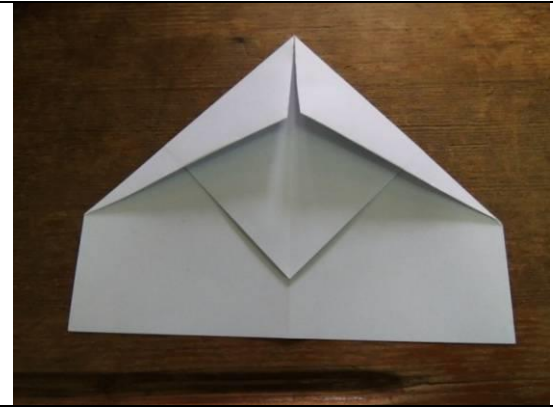
步驟十一



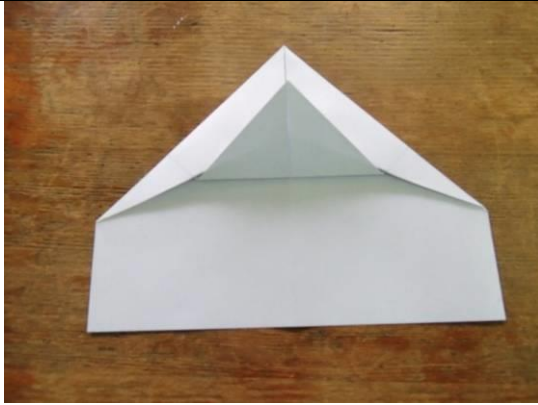
步驟十二



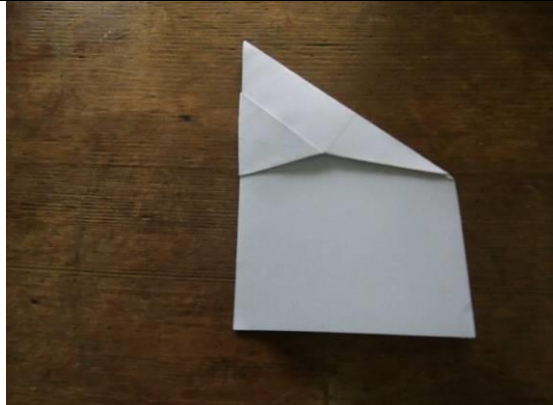
步驟十三



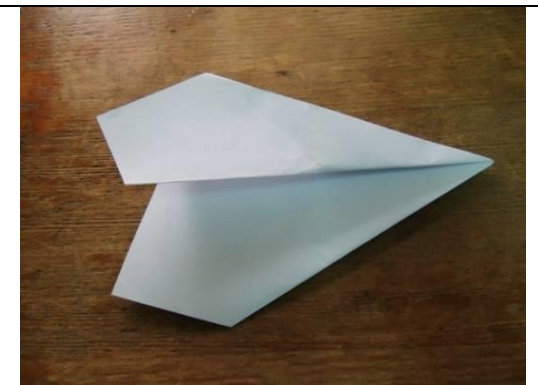
步驟十四



步驟十五



步驟十六



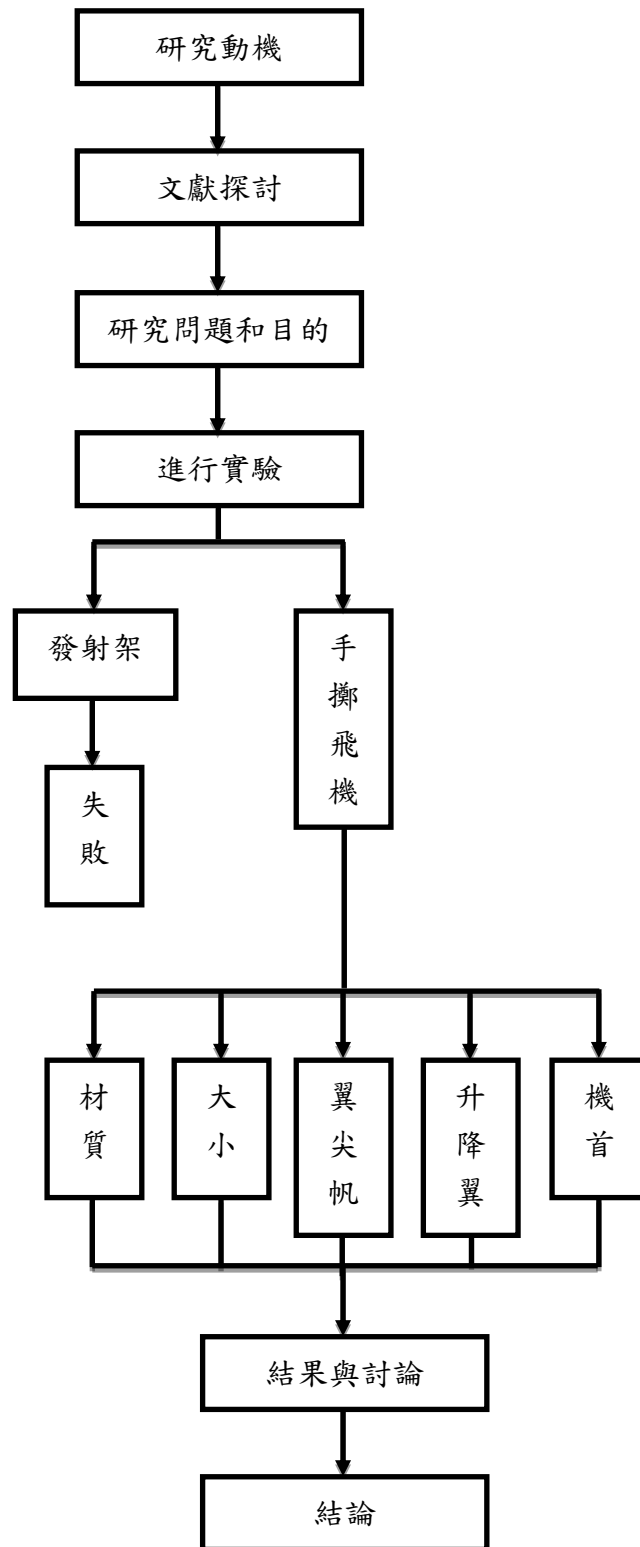
步驟十七



步驟十八



#### 四、研究步驟



## 捌、結果與討論

### 實驗一：不同材質的紙飛機的飛行時間/距離

\*實驗器材：報紙、廣告紙、牛皮紙、影印紙、粉彩紙、碼表、捲尺、大型三角板、30cm 直尺。

\*實驗結果：將各種紙張分別測試 7 次，將實驗結果記錄分列如下。

#### (一) 報紙

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	699	2.44	286.48	127	694	左邊
2	778	2.03	383.25	279	728	右邊
3	540	2.37	227.85	290	464	左邊
4	553	1.58	350	235	504	左邊
5	892	2.94	303.40	70	890	左邊
6	524	1.44	363.89	59	425	右邊
7	625	2.59	241.31	100	608	左邊
平均	658.71	2.20	299.61	165.71	616.14	左邊 5 次 右邊 2 次

#### (二) 廣告紙

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	813	1.90	427.90	147	802	左邊
2	924	1.74	531.03	146	916	左邊
3	675	1.65	409.09	71	671	左邊
4	316	1.03	306.80	166	275	右邊
5	323	1.18	273.73	33	303	右邊
6	724	1.47	492.52	16	723	右邊
7	300	0.87	344.83	34	296	左邊
平均	582.14	1.41	414.13	87.57	569.43	左邊 4 次 右邊 3 次

#### (三) 牛皮紙

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	564	1.21	466.12	97	554	右邊
2	587	1.53	383.66	130	586	右邊
3	635	1.52	417.76	31	634	左邊
4	546	1.78	306.74	25	545	右邊
5	627	1.26	497.62	49	626	右邊
6	599	1.47	407.49	24	596	左邊
7	625	1.15	543.48	101	621	右邊
平均	597.57	1.42	421.67	65.29	594.57	左邊 2 次 右邊 5 次

#### (四)影印紙

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	673	1.70	395.88	231	630	左邊
2	483	1.50	322	123	467	右邊
3	583	1.07	544.86	20	581	右邊
4	680	1.04	653.85	9	678	右邊
5	585	1.17	500	28	582	左邊
6	712	1.16	613.79	29	709	左邊
7	942	1.34	702.99	190	920	右邊
平均	665.43	1.28	518.71	90	652.43	左邊3次 右邊4次

#### (五)粉彩紙

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	865	1.93	448.19	109	860	左邊
2	935	1.62	577.16	259	905	左邊
3	858	2.07	414.49	208	848	左邊
4	837	2.02	414.36	64	832	左邊
5	1054	1.51	698.01	75	1053	左邊
6	828	2.00	414	118	820	左邊
7	1018	2.01	506.47	339	960	左邊
平均	913.57	1.88	485.94	167.43	896.86	左邊7次 右邊0次

#### \* 實驗發現與討論：

將上列各種紙類紙飛機的實驗平均結果摘要如下：

紙張類別	距離		飛行時間		飛行速率	
	公分	排序	秒	排序	公分/秒	排序
(一)報紙	658.71	3	2.20	1	299.61	5
(二)廣告紙	582.14	5	1.41	4	414.13	4
(三)牛皮紙	597.57	4	1.42	3	421.67	3
(四)影印紙	665.43	2	1.28	5	518.71	1
(五)粉彩紙	913.57	1	1.88	2	485.94	2

1. 由飛行距離來看，可發現距離由長而短依序為：粉彩紙、影印紙、報紙、牛皮紙、廣告紙。紙飛機要飛得遠，在材質上，需要選擇較硬挺的，紙張若太單薄，在距離上的表現不佳。
2. 由飛行時間來看，可發現飛行時間由長而短依序為：報紙、粉彩紙、牛皮紙、廣告紙、影印紙。
3. 由飛行速度來看，可發現飛行速率由快而遠依序為：影印紙、粉彩紙、牛皮紙、廣告紙、報紙。

## 二、不同大小的紙飛機的飛行時間/距離

\*實驗器材：影印紙(A3、B4、A4、B5、A3 各一張)、碼表、捲尺、大型三角板、30cm 直尺。

\*實驗結果：將各種大小紙飛機分別測試 7 次，將實驗結果記錄分列如下。

### (一)A3

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	469	1.97	238.07	12	473	右
2	903	2.20	410.45	0	903	中
3	435	2.90	150	48	433	左
4	946	2.59	365.25	9	946	右
5	678	2.54	266.93	150	675	右
6	1180	2.74	430.66	71	1177	左
7	1034	2.74	377.37	40	1030	右
平均	806.43	2.53	319.82	47.14	805.29	左邊 2 次 右邊 4 次 中間 1 次

### (二)B4

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	714	1.62	440.74	243	676	左
2	781	2.45	318.78	281	734	左
3	830	2.64	314.40	168	820	左
4	1179	3.94	299.24	351	1133	左
5	1171	3.63	322.59	630	995	右
6	1247	4.36	286.01	260	1222	左
7	459	3.4	135	150	419	左
平均	911.57	3.15	302.39	297.57	857	左邊 6 次 右邊 1 次

### (三)A4

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	970	2.86	339.16	33	967	右
2	870	2.54	342.52	40	869	右
3	842	2.54	331.50	46	841	右
4	893	2.86	312.24	233	864	右
5	925	2.14	432.24	213	901	右
6	1107	2.48	446.37	286	1083	右
7	913	2.34	390.17	17	910	左
平均	931.43	2.54	370.60	124	919.29	左邊 1 次 右邊 6 次

(四)B5

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	913	3.32	275	586	715	左
2	1175	3.6	326.39	550	1069	左
3	839	2.46	341.06	90	830	左
4	620	2.33	266.09	274	667	左
5	827	2.97	278.45	445	699	左
6	826	2.44	338.52	252	793	左
7	647	1.9	340.53	30	645	左
平均	835.29	2.72	309.43	318.14	774	左邊7次 右邊0次

(五)A5

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向
1	560	2.59	216.22	17	526	左
2	874	2.51	348.21	64	872	左
3	777	2.51	309.56	77	773	左
4	858	2.7	317.78	40	856	左
5	920	2.59	355.21	28	918	左
6	799	2.6	307.31	96	779	左
7	505	2.7	187.04	48	502	左
平均	756.14	2.6	291.62	52.86	746.57	左邊7次 右邊0次

\* 實驗發現與討論：

將上列各種紙張大小紙飛機的實驗平均結果摘要如下：

紙張大小	距離		飛行時間		飛行速率	
	公分	排序	秒	排序	公分/秒	排序
(一) A3	806.43	4	2.53	5	319.82	2
(二) B4	911.57	2	3.15	1	302.39	4
(三) A4	931.43	1	2.54	4	370.60	1
(四) B5	835.29	3	2.72	2	309.43	3
(五) A5	756.14	5	2.60	3	291.62	5

1. 由飛行距離來看，可發現距離由長而短依序為：A4、B4、B5、A3、A5。
  2. 由飛行時間來看，可發現飛行時間由長而短依序為：B4、B5、A5、A4、A3。
  3. 由飛行速度來看，可發現飛行速率由快而慢依序為：A4、A3、B5、B4、A5。
- 可歸納：紙張太大(A3)或太小(A5)都不適合拿來做紙飛機，以飛行距離與飛行速度來看，A4為最佳選擇。

### 三、不同翼尖帆紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡分析

\*實驗器材：A4 影印紙 9 張、碼表、捲尺、大型三角板、30cm 直尺。

\*實驗結果：將不同翼尖帆紙飛機分別測試 7 次，將實驗結果記錄分列如下。

#### (一)兩側有往上折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	194	1.51	128.48	71	77	右	飛行較平穩、較高。
2	595	1.62	367.28	416	425	右	
3	612	1.37	446.72	336	512	右	
4	656	1.62	404.94	379	536	右	
5	608	1.22	498.36	387	471	右	
6	514	1.72	298.84	485	164	右	
7	517	1.47	351.70	459	216	右	
平均	528	1.50	356.62	361.86	343	左邊 0 次 右邊 7 次	

#### (二)兩側沒有翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	1056	3.00	352	195	1039	右	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。
2	733	2.71	270.48	395	614	右	
3	840	2.84	295.77	461	696	右	
4	1028	3.11	330.55	316	988	右	
5	1403	3.39	413.86	502	1317	右	
6	1525	4.21	362.23	404	1479	右	
7	1180	2.71	435.42	363	1123	右	
平均	1109.29	3.14	351.47	376.57	1036.57	左邊 0 次 右邊 7 次	

#### (三)兩側有往下折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	200	1.51	132.45	0	200	中	直接往下墜，或者有時會在接近地面滑行後停止。
2	325	1.47	221.09	204	257	左	
3	218	1.3	167.69	44	213	左	
4	177	0.94	188.30	30	174	左	
5	211	0.63	334.92	52	202	左	
6	173	1.04	166.35	29	171	左	
7	193	1.15	167.83	121	147	左	
平均	213.86	1.15	196.95	68.57	194.86	左邊 6 次 右邊 0 次 中間 1 次	

(四)左側有往上折 90 度的翼尖帆而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	937	1.96	478.06	191	914	左	飛行方向 會偏左，能 飛很高，會 在空中翻 轉繼續飛 行。
2	838	2.72	308.09	267	782	左	
3	607	2.71	223.99	80	601	左	
4	916	2.09	438.28	338	855	左	
5	880	2.44	360.66	246	848	左	
6	1030	2.17	474.65	213	1011	左	
7	753	1.57	479.62	27	740	左	
平均	851.57	2.24	394.76	194.57	821.57	左邊 7 次 右邊 0 次	

(五)左側有往上折 90 度的翼尖帆而右側有往下折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	496	2.1	236.19	44	494	左	機身往左 翻轉，不久 便能側立 飛行，偶會 連續翻 轉。能飛很 遠，多往左 方飛行。
2	480	2.82	170.22	332	220	左	
3	772	2.92	264.38	215	741	左	
4	861	2.86	301.05	378	777	左	
5	900	2.83	318.02	394	811	左	
6	638	2.67	238.95	392	507	左	
7	567	2.31	245.45	248	515	左	
平均	673.43	2.64	253.47	286.14	580.71	左邊 7 次 右邊 0 次	

(六)左側不折，而右側有往上折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	644	2.69	239.41	55	641	右	飛行方向 會偏右，能 飛很高，會 在空中翻 轉繼續飛 行。
2	477	3.27	145.87	499	66	右	
3	341	4.07	83.78	82	120	右	
4	231	4.02	57.46	177	150	右	
5	389	2.9	134.14	52	384	左	
6	341	3.43	99.42	182	284	右	
7	449	4.15	108.19	311	313	右	
平均	644	2.69	239.41	55	641	左邊 1 次 右邊 6 次	

(七) 左側不折，而右側有往下折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	647	2.46	263.01	197	619	右	飛行時會 往左翻 轉，會往下 飛或滑行。
2	717	2.57	278.99	17	696	右	
3	760	2.3	330.43	126	752	右	
4	734	1.87	392.51	112	724	右	
5	824	2.37	347.68	12	823	右	
6	282	9.7	29.07	112	260	左	
7	762	2.08	366.35	116	756	左	
平均	675.14	3.34	286.86	98.86	661.43	左邊 2 次 右邊 5 次	

(八) 左側有往下折 90 度的翼尖帆，而右側有往上折 90 度的翼尖帆，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	820	2.27	361.23	36	819	左	機身往右 翻轉，不久 便能側立 飛行，偶會 連續翻 轉。能飛很 遠，多往左 方飛行。
2	777	1.57	494.90	20	774	左	
3	785	1.99	394.47	46	782	左	
4	890	2	445	37	888	右	
5	690	2.25	306.67	135	680	左	
6	899	1.95	461.03	0	899	中	
7	812	1.92	422.92	49	810	右	
平均	810.43	1.99	412.32	46.14	807.43	左邊 4 次 右邊 2 次 中間 1 次	

(九) 左側有往下折 90 度的翼尖帆而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	808	1.74	464.37	177	791	右	飛行時會 往右翻 轉，會往下 飛或滑行。
2	787	1.68	468.45	118	776	右	
3	430	1.71	251.46	110	418	右	
4	862	2.66	324.06	21	861	右	
5	737	2.49	295.98	177	213	左	
6	815	2.62	311.07	319	750	右	
7	626	2.13	293.90	50	623	右	
平均	723.57	2.15	344.18	138.86	633.14	左邊 1 次 右邊 6 次	



**\* 實驗發現與討論：**

研究者將以上研究結果的平均值，彙整如下表：

翼尖帆	距離		飛行時間		飛行速率		飛行軌跡簡述
	公分	排序	秒	排序	公分/秒	排序	
(一) 兩側往上	528	8	1.50	8	356.62	3	飛行平穩且高。
(二) 兩側沒有	1109.29	1	3.14	2	351.47	4	往下墜或平穩飛行。
(三) 兩側往下	213.86	9	1.15	9	196.95	9	直接下墜，或在接近地面滑行後停止
(四) 左上右無	851.57	2	2.24	5	394.76	2	飛行方向會偏左，能飛很高，會在空中翻轉繼續飛行。
(五) 左上右下	673.43	6	2.64	4	253.47	7	機身往左翻轉，不久便能側立或翻轉飛行，偶會連續翻轉。能飛很遠，多往左方飛行。
(六) 左無右上	644	7	2.69	3	239.41	8	飛行方向會偏右，能飛很高，會在空中翻轉繼續飛行。
(七) 左無右下	675.14	5	3.34	1	286.86	6	飛行時會往左翻轉，會往下飛或滑行。
(八) 左下右上	810.43	3	1.99	7	412.32	1	機身往右翻轉，不久便能側立或翻轉飛行，偶會連續翻轉。能飛很遠，多往左方飛行。
(九) 左下右無	723.57	4	2.15	6	344.18	5	飛行時會往右翻轉，往下飛或滑行。

綜觀上表可發現飛行軌跡的模式有以下四種：平穩、偏左、偏右、下墜，與其對應的翼尖帆型式歸納整理如下表：

飛行軌跡	平穩	下墜	偏左	偏右
翼尖帆型式	(一) 兩側往上 (二) 兩側沒有	(三) 兩側往下	(四) 左上右無 (五) 左上右下 (七) 左無右下 (八) 左下右上	(六) 左無右上 (九) 左下右無

翼尖帆主要功能為：可提高升力，減少阻力，以穩定飛行。在本研究中發現：兩側往上的翼尖帆確實有利穩定飛行，且飛行速度頗快(356.62cm/s)；而有兩側往下翼尖帆的紙飛機，飛行表現卻相當不理想，不論在距離、時間和速度上，都是最差的，反而不利飛行，飛行軌跡往往在投擲飛行後沒多久便立即下墜。

此外，而在軌跡偏右的翼尖帆型式中，可發現右側比左側高的紙飛機(左無右上、左下右無)都會往右偏飛行。在軌跡偏左的翼尖帆型式中，可發現多數左側比右側高的紙飛機(左上右無、左上右下、左無右下)都會向左偏飛行，比較特殊的是左下右上翼尖帆的紙飛機，也是偏左，此發現仍待努力去解釋其原因。

#### 四、不同升降翼紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡分析

\*實驗器材：A4 影印紙 9 張、碼表、捲尺、大型三角板、30cm 直尺。

\*實驗結果：將不同升降翼紙飛機分別測試 7 次，將實驗結果記錄分列如下。

(一)兩側有往上折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	322	3.18	101.26	200	252	左	能快速上升到很高的位置，隨即下降飛行許久才停止。
2	285	2.97	95.96	124	258	左	
3	231	2.3	100.44	86	215	右	
4	270	2.8	96.43	34	267	左	
5	318	3.16	100.63	225	223	左	
6	475	3.02	157.28	471	120	左	
7	349	3.15	110.80	28	208	左	
平均	321.43	2.94	108.97	166.86	220.43	左邊 6 次 右邊 1 次	

(二)兩側沒有升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	705	1.12	629.46	38	703	右	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。
2	599	1.36	440.44	175	584	右	
3	774	1.37	564.96	112	769	左	
4	483	1.29	374.42	75	479	右	
5	472	0.94	502.13	77	468	右	
6	469	2.05	228.78	166	750	右	
7	708	1.42	498.59	313	627	右	
平均	601.43	1.36	462.69	136.57	625.71	左邊 1 次 右邊 6 次	

(三)兩側有往下折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	304	1.5	202.67	161	258	左	直直往前飛，不久便直接向下內彎翻轉，被面朝上繼續飛行至停止。
2	283	0.77	367.53	10	281	中	
3	267	1.07	249.53	51	264	中	
4	419	0.91	460.44	22	418	右	
5	282	1.65	170.91	73	274	右	
6	449	0.7	641.43	89	440	右	
7	329	0.5	658	28	328	右	
平均	333.29	1.01	392.93	62	323.29	左邊 1 次 右邊 4 次 中間 2 次	

(四)左側有往上折 90 度的升降翼而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	565	2.32	243.53	543	153	左	往上飛行 之後，會往 左飛行。若 無障礙 物，能轉彎 飛回。
2	553	3.57	154.90	133	537	左	
3	483	2.12	227.83	255	408	右	
4	1051	4.05	259.51	441	957	右	
5	450	1.97	228.43	399	209	右	
6	518	3.45	150.14	385	342	左	
7	275	2.06	133.50	280	63	左	
平均	556.43	2.79	199.69	348	381.29	左邊 4 次 右邊 3 次	

(五)左側有往上折 90 度的升降翼而右側有往下折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	724	2.27	318.94	52	721	右	會往左側 連續翻轉 飛行，至遠 方再停止。
2	796	2.25	353.78	54	770	左	
3	606	1.85	327.57	44	603	右	
4	750	1.84	407.61	78	748	右	
5	666	1.97	338.07	53	664	左	
6	828	2.15	385.12	34	823	左	
7	745	1.85	402.70	106	738	左	
平均	730.71	2.03	361.97	60.14	723.86	左邊 4 次 右邊 3 次	

(六)左側不折而右側有往上折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	605	2.72	222.43	291	526	右	往上飛行 之後，會往 右飛行。若 無障礙 物，能轉彎 飛回。
2	595	2.86	208.04	124	583	右	
3	437	3.47	125.94	435	9	右	
4	560	3.01	186.05	548	178	右	
5	185	2.86	64.69	131	135	右	
6	700	1.98	353.54	337	611	右	
7	777	2.99	259.87	466	611	右	
平均	551.29	2.84	202.93	333.14	379	左邊 0 次 右邊 7 次	

(七) 左側不折，而右側有往下折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	489	1.55	315.48	15	488	右	飛往高處 之後便往 右下翻轉 飛行。
2	553	1.59	347.80	0	553	中	
3	511	2.09	244.50	0	511	中	
4	724	2.14	338.32	244	688	右	
5	575	1.84	312.5	56	568	左	
6	574	1.38	415.94	55	567	左	
7	826	1.67	494.61	14	825	右	
平均	607.43	1.75	352.74	54.86	600	左邊 2 次 右邊 3 次	

(八) 左側有往下折 90 度的升降翼，而右側有往上折 90 度的升降翼，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	713	2.04	349.51	250	668	左	會往右側 連續翻轉 飛行，至遠 方再停止。
2	734	2.24	327.68	250	669	左	
3	660	2.27	290.75	315	580	左	
4	754	2.28	330.70	291	696	左	
5	428	1.47	291.16	101	416	左	
6	550	1.93	284.97	319	461	左	
7	750	2.07	362.32	304	685	左	
平均	655.57	2.04	319.58	261.43	596.43	左邊 7 次 右邊 0 次	

(九) 左側有往下折 90 度的升降翼而右側不折，紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	459	2.04	225	170	417	左	飛往高處 之後便往 左下翻轉 飛行。
2	475	2	237.5	242	410	左	
3	391	2.55	153.33	170	354	左	
4	405	1.83	221.31	170	368	左	
5	375	1.79	209.50	290	240	左	
6	450	1.87	240.64	343	297	左	
7	406	2.12	191.51	205	352	左	
平均	423	2.03	211.26	227.14	348.29	左邊 7 次 右邊 0 次	

**\*實驗發現與討論：**

研究者將以上研究結果的平均值，彙整如下表：

升降翼	距離		飛行時間		飛行速率		飛行軌跡簡述
	公分	排序	秒	排序	公分/秒	排序	
(一) 兩側往上	321.43	9	2.94	1	108.97	9	快速上升到很高的位置，隨即下降飛行許久才停止。
(二) 兩側沒有	601.43	4	1.36	8	462.69	1	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。
(三) 兩側往下	333.29	8	1.01	9	392.93	2	直直往前飛，不久便直接向下內彎翻轉，背面朝上繼續飛行至停止。
(四) 左上右無	556.43	5	2.79	3	199.69	8	往上飛行之後，會往左飛行。若無障礙物，能轉彎飛回。
(五) 左上右下	730.71	1	2.03	5	361.97	3	會往左側連續翻轉飛行，至遠方再停止。
(六) 左無右上	551.29	6	2.84	2	202.93	7	往上飛行之後，會往右飛行。若無障礙物，能轉彎飛回。
(七) 左無右下	607.43	3	1.75	7	352.74	4	飛往高處之後便往右下翻轉飛行。
(八) 左下右上	655.57	2	2.04	4	319.58	5	會往右側連續翻轉飛行，至遠方再停止。
(九) 左下右無	423	7	2.03	5	211.26	6	飛往高處之後便往左下翻轉飛行。

升降翼是是紙飛機「升降」及「方向」調整、修正的靈魂。我們綜觀上表可發現飛行軌跡的模式各自有其特殊性，分別就距離、時間、速度與飛行軌跡，分項探討：

- (一) 以距離論—左上右下(730.71cm/s)、右上左下(655.57cm/s)的飛行距離最遠；而有兩側往上升降翼的紙飛機飛行距離最短(321.43cm)、次為兩側往下升降翼的紙飛機(333.29cm)。
- (二) 以時間論—兩側往上的飛行時間最久(2.94s)、兩側往下的飛行時間最短(1.01s)。
- (三) 以速度論—沒有升降翼的紙飛機飛最快(462.69cm/s)，次為有兩側往下升降翼的紙飛機(392.93cm/s)；而有兩側往上升降翼的紙飛機飛得最慢，只有108.97cm/s。

(四) 以飛行軌跡論—簡述如下表。

飛行軌跡	<u>左連翻</u>	快上	<u>右連翻</u>
升降翼型式	(五) 左上右下	(一) 兩側往上	(八) 左下右上
飛行軌跡	左	平穩	右
升降翼型式	(四) <u>左上右無</u>	(二) 兩側沒有	(六) <u>左無右上</u>
飛行軌跡	左下翻轉	反轉	右下翻轉
升降翼型式	(九) <u>左下右無</u>	(三) 兩側往下	(七) <u>左無右下</u>

## 五、尖頭/平頭紙飛機的飛行時間/距離/飛行軌跡分析

### (一) 尖頭紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	613	2.34	261.97	467	405	右	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。
2	917	2.94	311.90	358	850	右	
3	932	3.15	295.87	703	617	左	
4	855	3.59	238.16	728	453	左	
5	1035	3.14	329.62	469	936	右	
6	804	2.49	322.90	109	796	右	
7	594	3.04	195.39	580	136	右	
平均	821.43	2.96	279.40	487.71	599	左邊 2 次 右邊 5 次	

### (二) 平頭紙飛機的飛行時間/距離

發射次數	直線距離 (cm)	飛行時間 (s)	速率 (cm/s)	水平距離 (cm)	垂直距離 (cm)	方向	飛行軌跡 描述
1	454	1.14	398.25	51	452	右	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。
2	465	1.51	307.95	115	452	右	
3	444	1.03	431.07	78	437	右	
4	453	1.5	302	81	450	右	
5	538	1.4	384.29	165	515	右	
6	386	1.18	327.12	76	374	左	
7	497	1.24	400.81	10	496	右	
平均	462.43	1.29	364.50	82.29	453.71	左邊 1 次 右邊 6 次	

### \* 實驗發現與討論：

機首類型	距離		飛行時間		飛行速率		飛行軌跡描述
	公分	排序	秒	排序	公分/秒	排序	
尖頭	821.43	1	2.96	1	279.40	2	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。
平頭	462.43	2	1.29	2	364.50	1	平穩往前飛。向前投擲後沒多久便立即往下墜或平穩飛行至停止。

發現尖頭紙飛機飛比較遠，飛行時間較久。在速度的表現上是平頭紙飛機比較好。

## 六、飛行之最—紙飛機模組探討

根據以上研究，可歸納出飛得最遠/最久/最快的紙飛機，其條件分述如下：

- (一) 飛得最遠的紙飛機：粉彩紙、A4、無翼尖帆、左上右下升降翼、尖頭；
- (二) 飛得最久的紙飛機：報紙、B4、左無右下翼尖帆、兩側往上升降翼、尖頭；
- (三) 飛得最快的紙飛機：影印紙、A4、左下右上翼尖帆、兩側沒有升降翼、平頭。

### 捌、結論與建議

以下將依本研究之研究問題及研究結果歸納出結論並提出建議，分述如下。

#### 一、結論

##### (一)不同材質紙飛機比較

1. 由飛行距離來看，距離由長而短依序為：粉彩紙、影印紙、報紙、牛皮紙、廣告紙。
2. 由飛行時間來看，可發現飛行時間由長而短依序為：報紙、粉彩紙、牛皮紙、廣告紙、影印紙。
3. 由飛行速度來看，由快而慢依序為：影印紙、粉彩紙、牛皮紙、廣告紙、報紙。

##### (二)不同紙張大小紙飛機比較

1. 由飛行距離來看，距離由長而短依序為：A4、B4、B5、A3、A5。
2. 由飛行時間來看，時間由長而短依序為：B4、B5、A5、A4、A3。
3. 由飛行速度來看，飛行速率由快而慢依序為：A4、A3、B5、B4、A5。

##### (三)不同翼尖帆紙飛機比較

兩側往上的翼尖帆確實有利穩定飛行，且飛行速度頗快(356.62cm/s)；而有兩側往下翼尖帆的紙飛機，飛行表現卻相當不理想，不論在距離、時間和速度上，都是最差的，兩側往下的翼尖帆不利飛行，往往在投擲飛行後沒多久便立即下墜。

軌跡偏右的翼尖帆型式中，可發現右側比左側高的紙飛機(左無右上、左下右無)都會往右偏飛行。在軌跡偏左的翼尖帆型式中，可發現多數左側比右側高的紙飛機(左上右無、左上右下、左無右下)都會向左偏飛行。

##### (四)不同升降翼紙飛機比較

1. 以距離論—左上右下(730.71cm/s)的飛行距離最遠；而有兩側往上升降翼的紙飛機飛行距離最短(321.43cm)。
2. 以時間論—兩側往上的飛行時間最久(2.94s)、兩側往下的飛行時間最短(1.01s)。
3. 以速度論—沒有升降翼的紙飛機飛最快(462.69cm/s)；而有兩側往上升降翼的紙飛機飛得最慢，只有108.97cm/s。
4. 以飛行軌跡論—將飛行軌跡與各種升降翼型式簡述如下表。



<u>左連翻</u> (五) 左上右下	<u>快上</u> (一) 兩側往上	<u>右連翻</u> (八) 左下右上
<u>左</u> (四) 左上右無	<u>平穩</u> (二) 兩側沒有	<u>右</u> (六) 左無右上
<u>左下翻轉</u> (九) 左下右無	<u>反轉</u> (三) 兩側往下	<u>右下翻轉</u> (七) 左無右下

### (五)不同機首紙飛機比較

發現尖頭紙飛機飛得比較遠，飛行時間也較久。在速度的表現上是平頭紙飛機比較好。

### (六)飛得最遠/最久/最快紙飛機型態討論

飛得最遠的紙飛機：粉彩紙、A4、無翼尖帆、左上右下升降翼、尖頭；飛得最久的紙飛機：報紙、B4、左無右下翼尖帆、兩側往上升降翼、尖頭；飛得最快的紙飛機：影印紙、A4、左下右上翼尖帆、兩側沒有升降翼、平頭。

## 二、限制

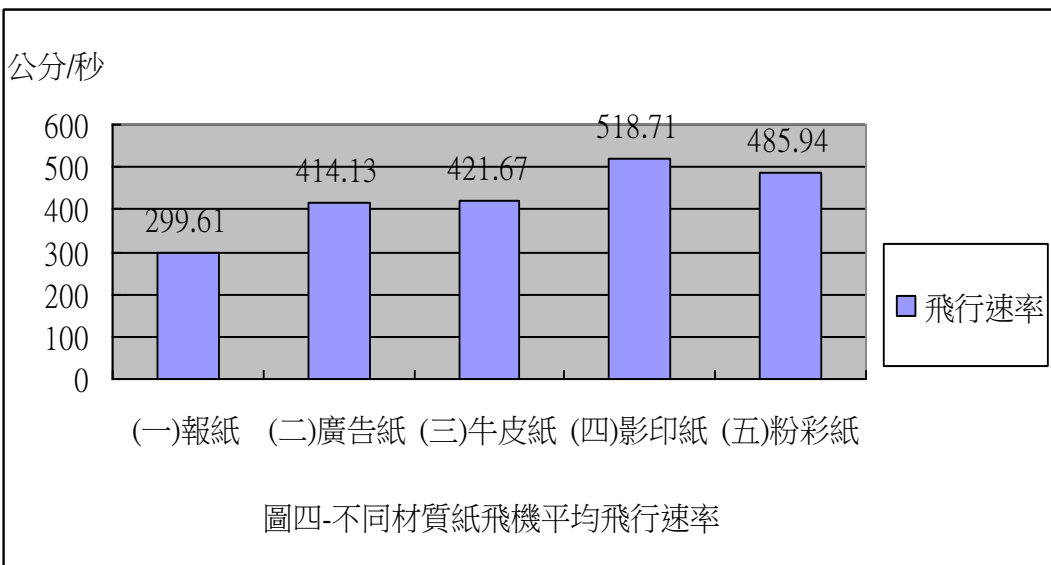
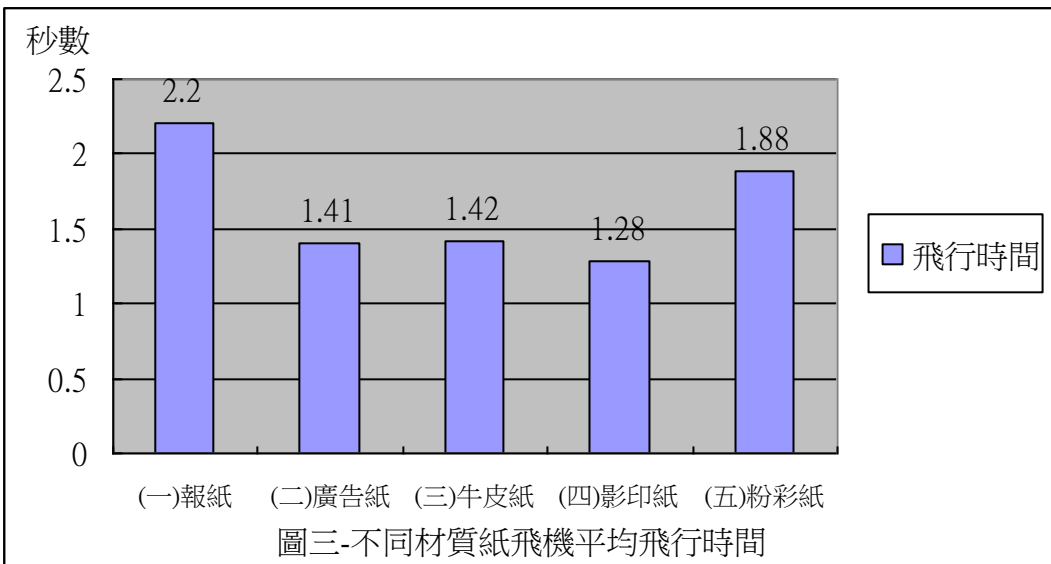
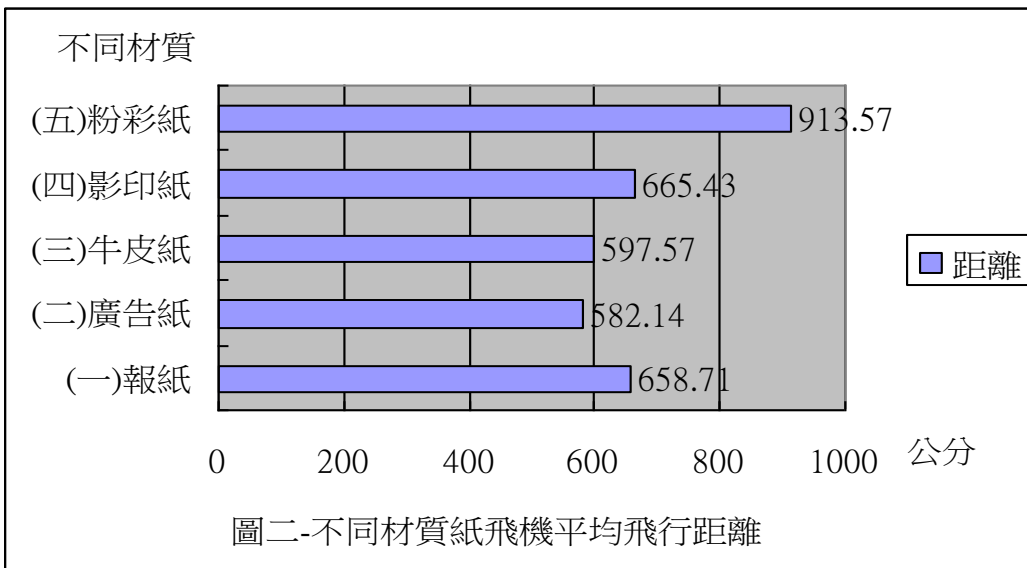
在實驗過程中，礙於紙飛機發射器無法發揮預期效果，故由研究人員手射紙飛機。雖然在研究過程中，固定由同一指定人員採同一方式、水平握機投擲，但難保每次投擲的力量都一致，人對紙飛機所施的力量在本實驗中未能科學化計量，難免出現人為誤差，此為本研究限制。

## 玖、參考文獻

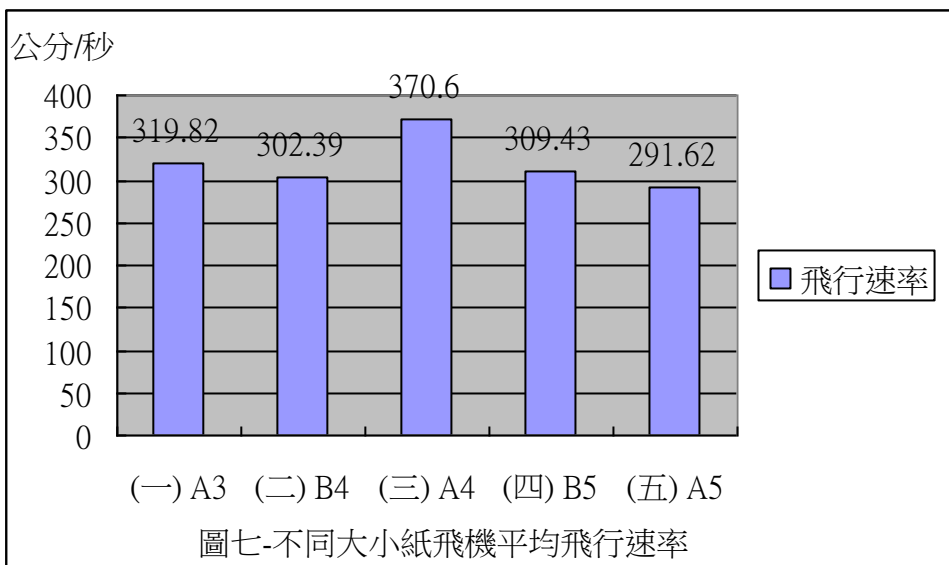
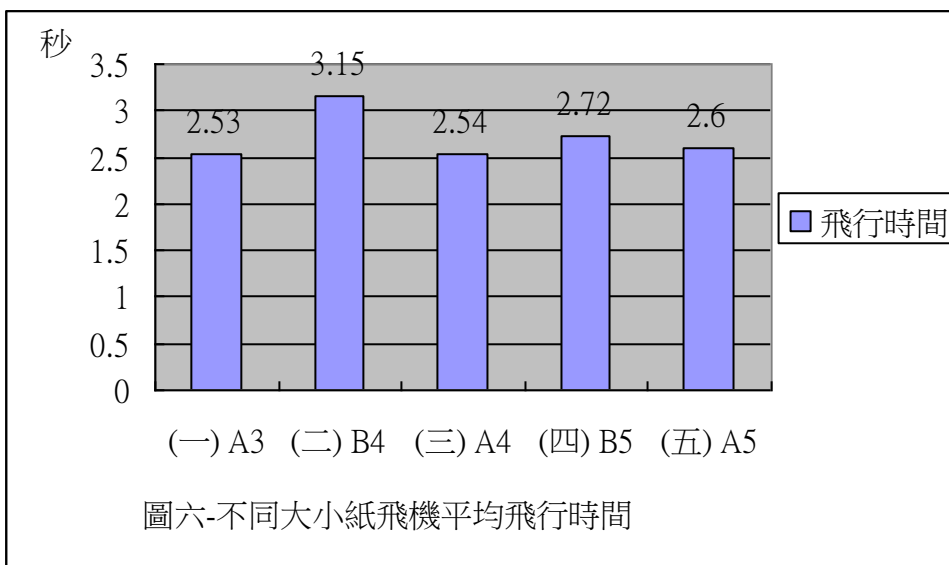
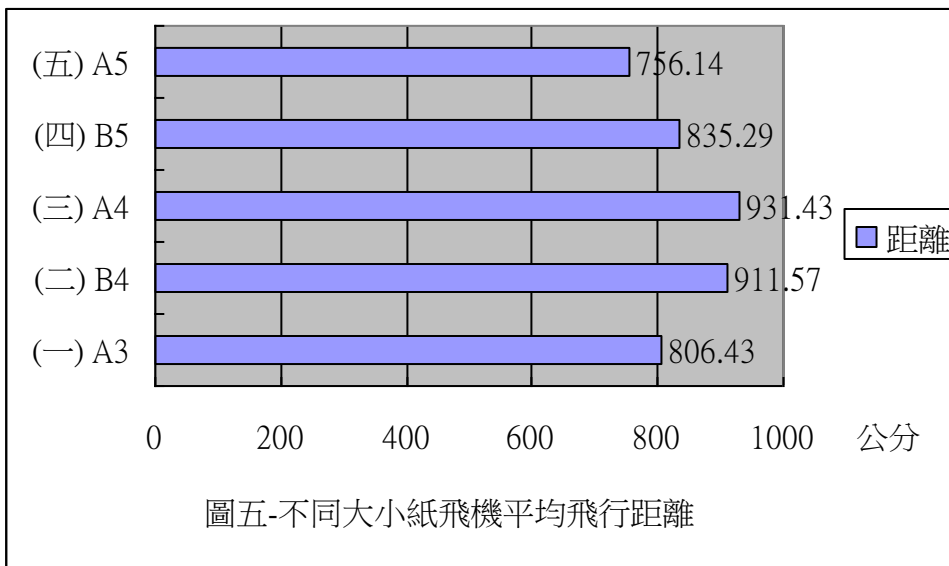
- 王懷柱(2009)：《揭開飛行的奧秘(第四版)》。新北市。全華科技圖書股份有限公司。
- 李怡慧(2008)：製造科技課程活動—製作紙飛機及發射器。《生活科技教育月刊》，41(4)。
- 卓志賢(2003)：紙飛機工廠。臺北市；聯經出版社。
- 多爾頓 (Stephen Dalton) 著，蔡承志譯(2006)：飛行的奧秘。初版，臺北市。貓頭鷹出版社。
- 一張紙的飛行世界-紙飛機 網址：<http://blog.xuite.net/scarelett901/clsu>
- 五分鐘了解白努力定律；網址：  
<http://aero-lifel23.blogspot.com/2011/08/5.html>
- 維基百科；翼尖小翼；2011；網址：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BF%BC%E5%B0%96%E5%B0%8F%E7%BF%BC>

《附錄》實驗數據圖示彙編

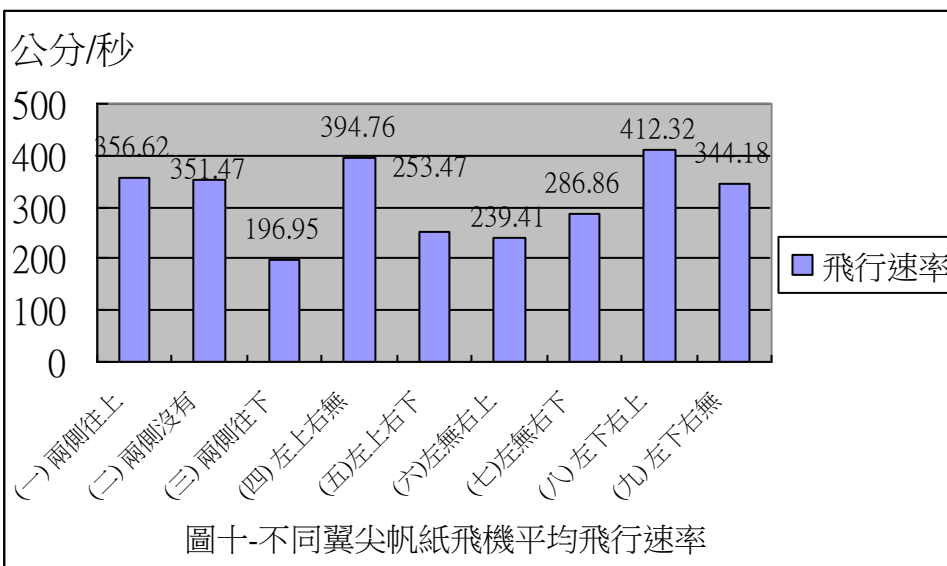
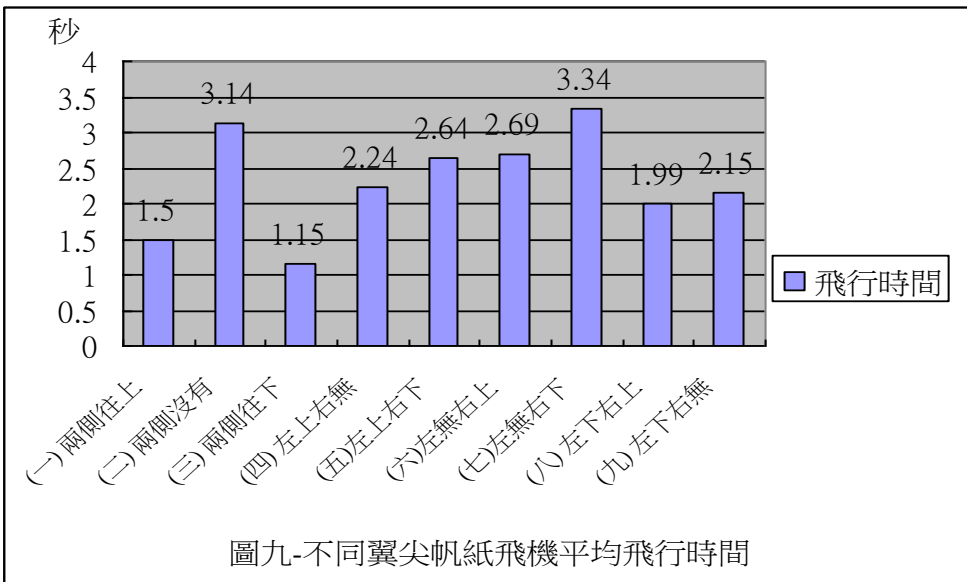
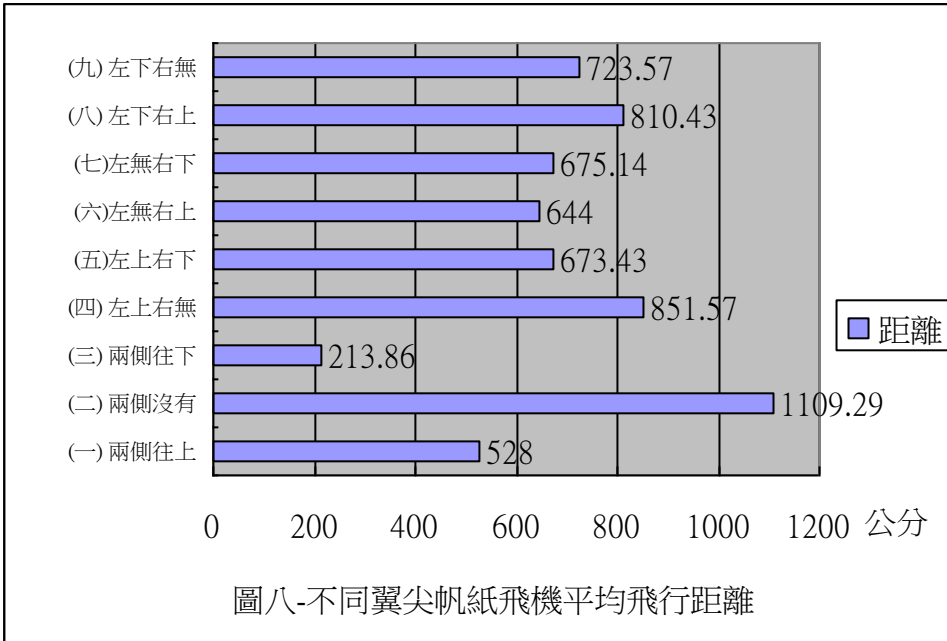
一、不同材質紙飛機的數據圖示



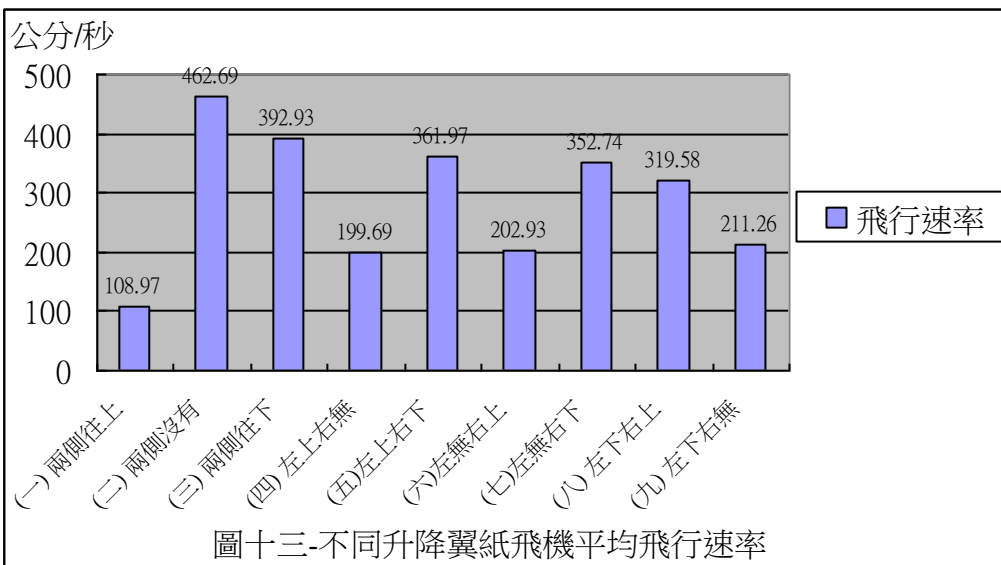
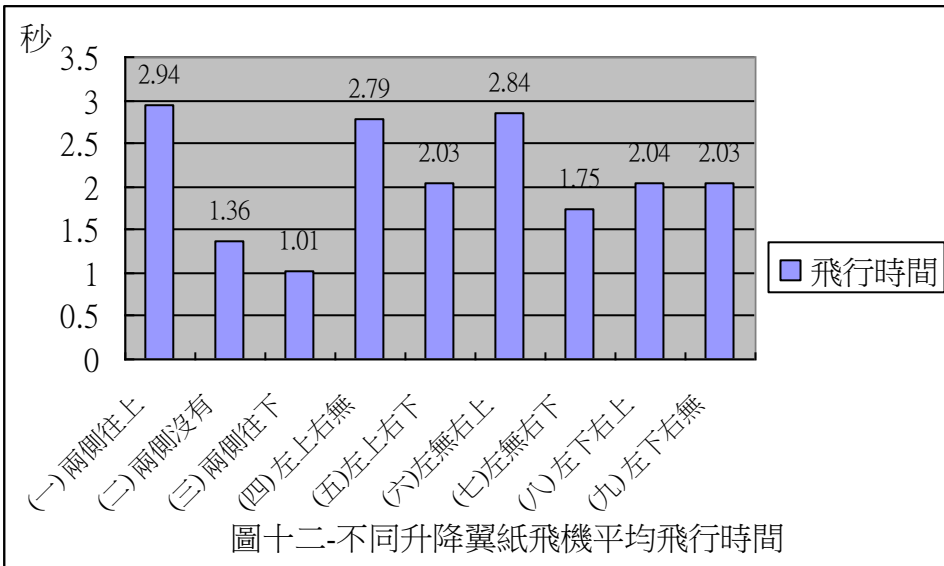
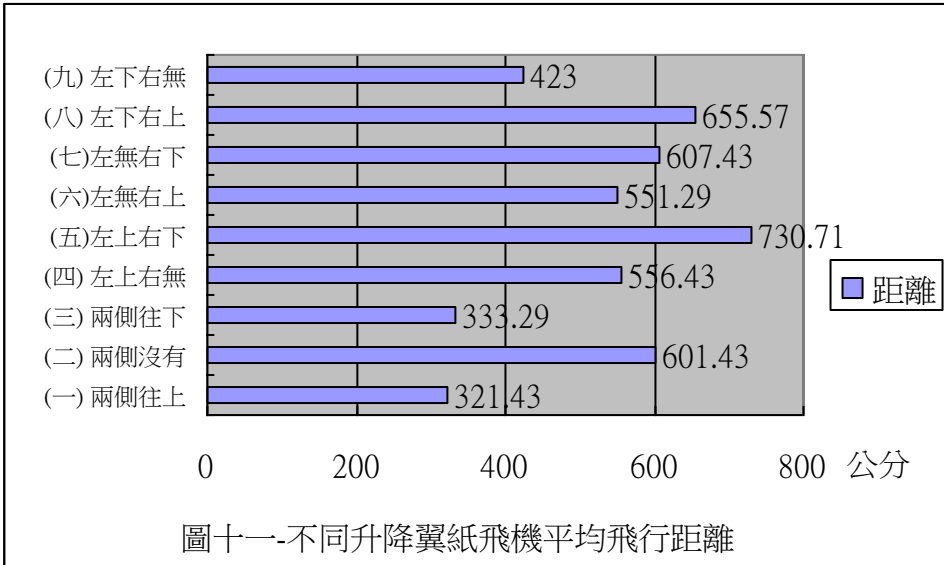
二、不同紙張大小紙飛機的數據圖示



三、不同翼尖帆紙飛機的數據圖示



四、不同升降翼紙飛機實驗數據圖示



五、不同機首紙飛機實驗數據圖示

