

臺北市第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別： 物理科

組 別： 國小組

作品名稱： 飛吧！紙飛機

關 鍵 詞： 紙飛機、摺法、飛行狀態

編 號：

作品名稱：飛吧！紙飛機

摘要

在網路上看到打破飛行紀錄的紙飛機，引發研究的好奇心。我們用 0 度、30 度、45 度角來發射蘇珊、蘇陽、鳳凰這三種紙飛機，觀察它們的飛行距離、飛行時間與飛行狀態，發現機身形狀與發射角度對飛行有很大的影響。可以藉由不同摺法、不同發射角度來控制紙飛機的飛行距離與滯空時間。總括來說：機翼面積越大，越會受到空氣的影響，也較容易滑翔。機身如果比較單薄，發射時不能太用力。機身堅固扎實的，發射時可以用力一點。飛機機身如果有一些構造來穩定氣流(例如垂直翼)，可以使飛行更持久。如果要飛機飛出它的特色，就要給予適當的施力大小和發射角度。這次研究，讓我們在享受玩紙飛機的樂趣時，還能學習到相關的知識，這是最大的收穫。

壹、前言

動機：

以前常常摺一摺紙飛機，就拿來玩，在網路上也看到很多達人摺出打破飛行紀錄的紙飛機。不知道怎樣的摺法才可以讓紙飛機飛得遠、飛得久，因為這樣的好奇心，讓我們對紙飛機產生興趣。該如何才能讓紙飛機飛得更遠，影響飛行狀況的因素到底是機身的形狀？還是飛行的角度？於是我們透過這次科展的機會，好好來探索這個有趣的問題。

研究目的：

- 一、探討相同發射角度下，不同的摺法對紙飛機飛行狀態的影響。
- 二、比較相同機型，由不同角度射出，對飛行狀態的影響。
- 三、綜合前面研究的結果，分析不同摺法紙飛機最適合的發射方式。
- 四、用手擲方式展現各種摺法飛機的飛行特色。
- 五、機身形狀、飛行角度與飛行狀態的綜合分析。

文獻回顧：

這次我們研究蘇珊、蘇陽、鳳凰三種紙飛機。

蘇珊紙飛機的歷史：這是美國紙飛機大師約翰·柯林斯（John Collins）設計的紙飛機。在 2012 年 2 月 26 日打破由 Stephen Kreiger 保持了 9 年的紀錄——69.14 米，之前的紀錄是由同樣是

美國的紙飛機愛好者史蒂芬·克里奇（Stephen Kreiger）在 2003 年創造的飛行紀錄 63.19 米。John 以自己妻子的名字「蘇珊」（Suzanne）命名該飛機。

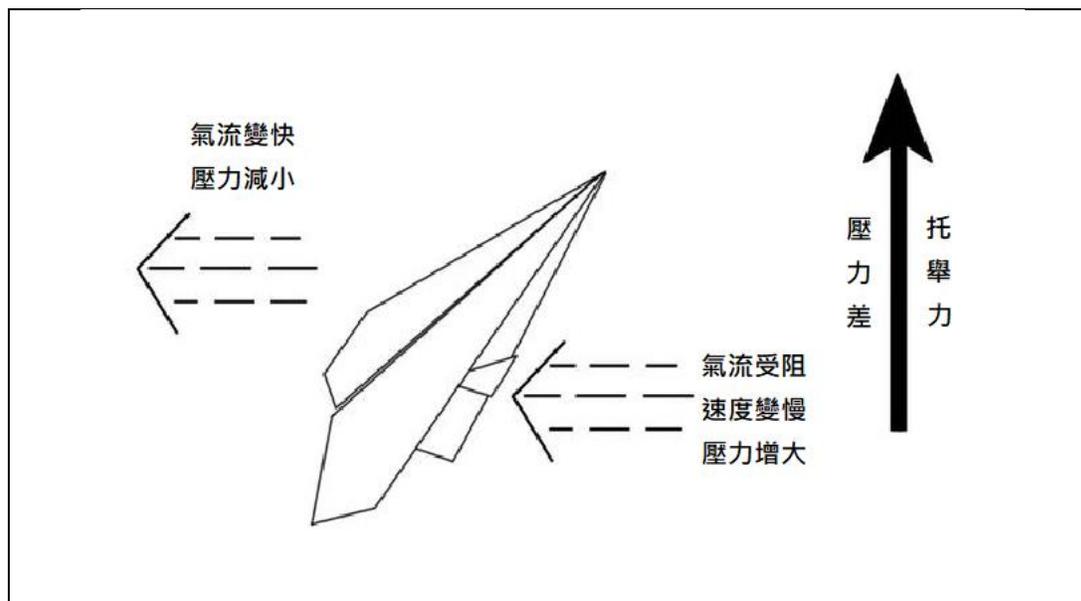
蘇陽紙飛機的歷史：是 Red Bull Paper Wings 2012 台灣代表選手：蘇柏陽先生在 2018 年時在節目：【生活裡的科學】20180914 - 最會飛的紙飛機 中所摺出來的機型，故我們將此款紙飛機取名為：蘇陽紙飛機。

鳳凰紙飛機的歷史：鳳凰紙飛機是由美國紙飛機大師約翰·柯林斯（John Collins）設計的紙飛機，這種紙飛機據說是蘇珊紙飛機的前身（意思是，蘇珊紙飛機是鳳凰紙飛機的改進型），在影片裡說到要先了解蘇珊，必須回頭看鳳凰紙飛機的設計(<https://youtu.be/Ng9GmhrYyqU>)，所以，這次的實驗也是後輩對上前輩的比賽呢。

飛行原理：

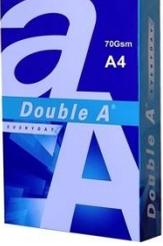
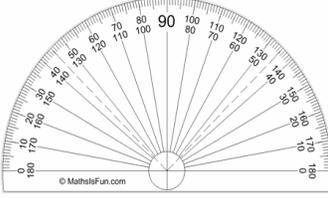
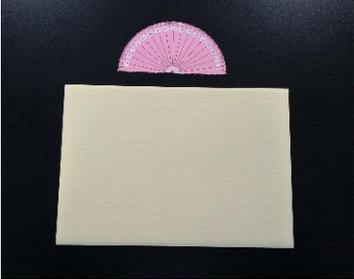
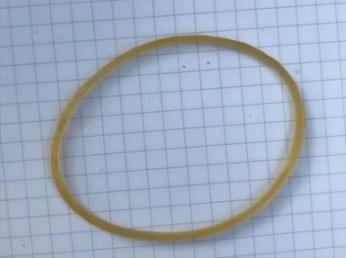
流體力學之父丹尼爾·伯努利在 1738 年發現了「伯努利定律」：當流體在管道中流動時，流速大的地方壓力小，流速小的地方壓力大。我們可以做一個有趣的小實驗：用手並排豎直拿著兩張紙，然後向兩張紙中間快速吹氣，我們會看到兩張紙並沒有分開而是互相貼緊，這個實驗的原理就是伯努利定律。

紙飛機能夠飛行也是因為這個原理，紙飛機前進的動力就來自於我們丟擲或發射紙飛機時給他的力量。



紙飛機斜下方氣流受阻，流速變慢，壓力增大；紙飛機斜上方氣流較快，壓力減小。這個壓力差就形成了一個托舉紙飛機向上飛行的力量。

貳、研究設備及器材

布尺	A4 70 磅的影印紙	計時器
		
量角器	竹筷與長尾夾	彈簧秤
		
PP 瓦楞板與紙製量角器	壓克力小方盒	橡皮筋
		

參、研究過程及方法

一、了解紙飛機飛行原理。

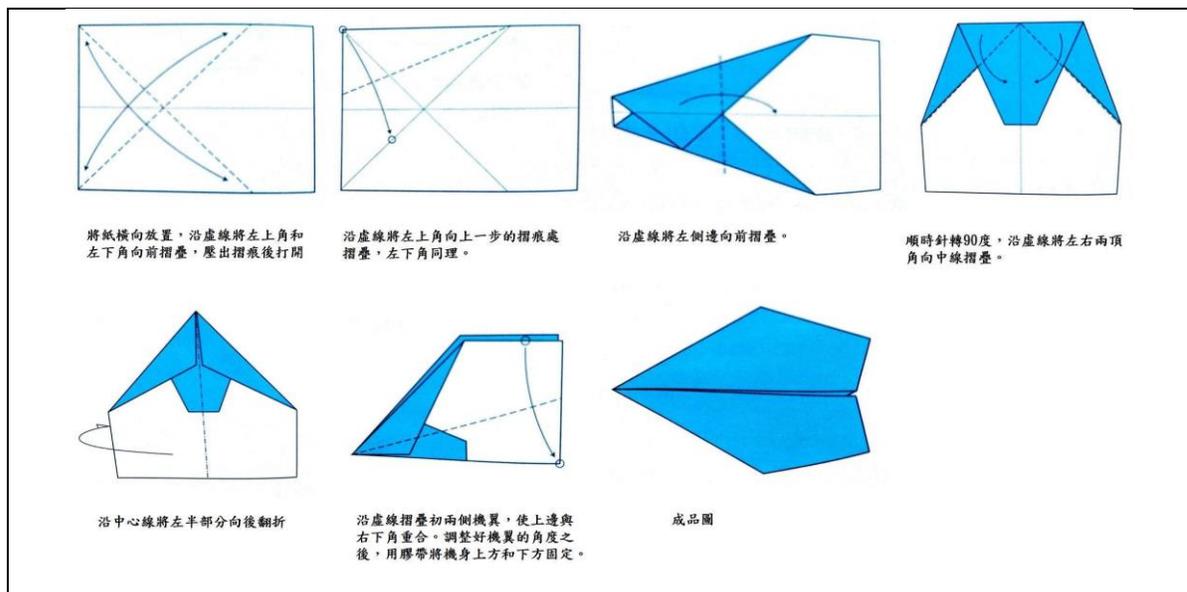
蒐集並研讀有關紙飛機飛行原理與科學運用的資料。

二、初期蘇珊、蘇陽紙飛機，用 0 度、30 度、45 度丟擲的手擲實驗：

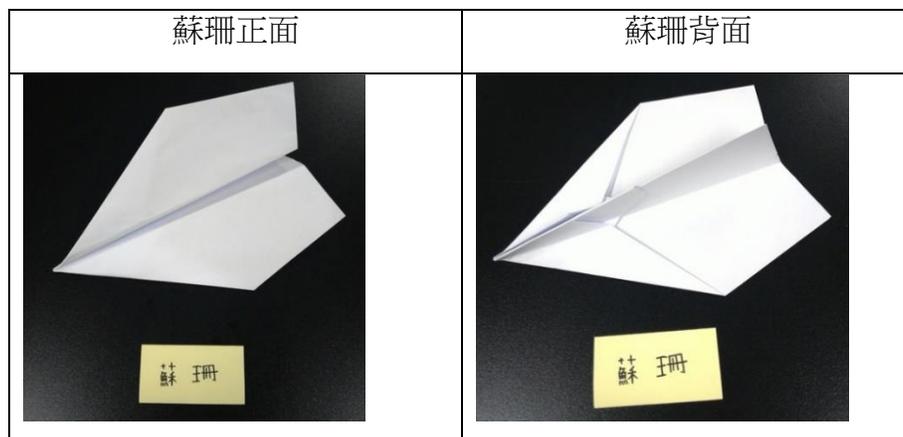
一開始我們注意到蘇珊和蘇陽紙飛機，蒐集有關蘇珊、蘇陽紙飛機製作的資料，摺出紙飛機。

因為紙飛機每次飛完最後都是掉到地上，幾次之後會稍微變形，所以要多摺幾架以便替換。為求每一架同型紙飛機摺出來都一樣精巧，所以每個人專門負責摺某一型紙飛機以減少誤差。

(一)蘇珊紙飛機摺法：



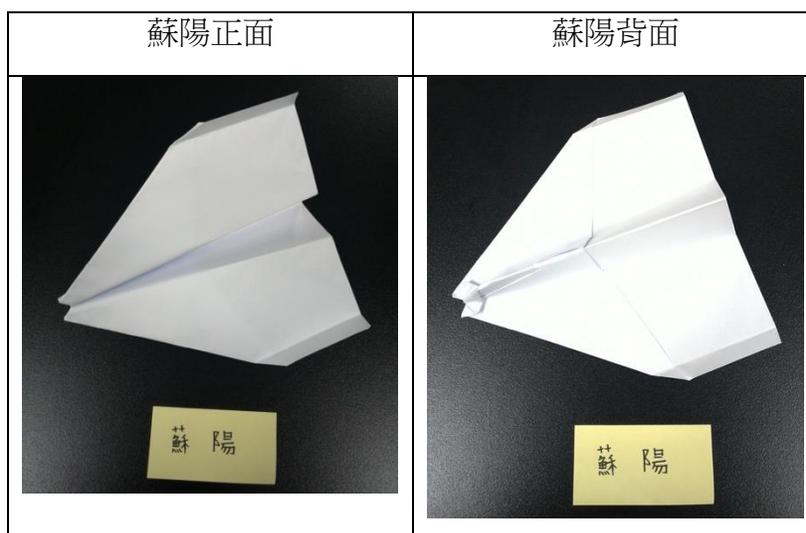
蘇珊紙飛機成品：A4 影印紙摺成，尖頭、平面機翼、機翼寬 14 公分、機身長 20 公分



(二)蘇陽紙飛機摺法：



蘇陽紙飛機成品：A4 影印紙摺成，平頭、平面機翼、機翼寬 13 公分、機身長 17 公分



(三)一開始我們用手擲方式，測量蘇珊紙飛機和蘇陽紙飛機的飛行距離：

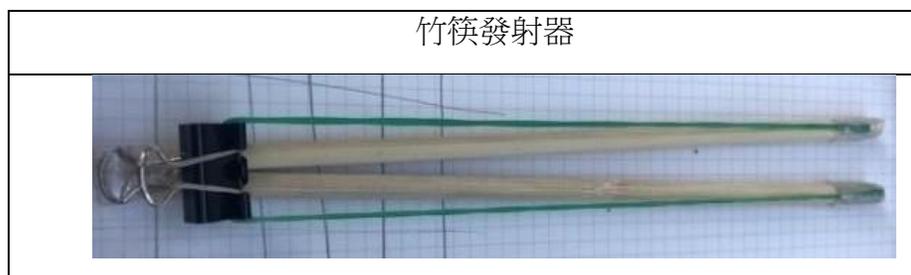
- 1.天氣不錯時，在長走廊進行實驗。
- 2.為減少操作誤差，固定由同一個人用手擲方式射出紙飛機，測量飛行距離。
- 3.角度為 0 度(平飛)、30 度、45 度，用量角器對好角度再投擲。
- 4.重複五次，計算平均。
- 5.紀錄飛行狀態特徵。

找長廊比較沒有風	製作簡易風標， 等無風再發射紙飛機
	

三、後來想到應該也要測量飛行時間，又覺得用手擲方式射出紙飛機時，每次力道不一定相同，決定製作發射器來測量這兩種紙飛機的飛行時間：

(一)製作竹筷發射器：

- 1.將兩支免洗筷的尖端分別用膠帶黏上剪開的橡皮筋兩端。
- 2.將這兩支免洗筷的尾端併在一起，用膠帶將長尾夾黏在竹筷尾端。
- 3.將橡皮筋拉到長尾夾處夾好，就是預備發射的樣子。
- 4.將紙飛機放在兩支免洗筷中間的縫隙中就位，壓下長尾夾尾巴，放開橡皮筋，就會把紙飛機彈出去。



(二)利用竹筷發射器測量紙飛機飛行時間：

- 1.為減少操作誤差，固定由同一個人發射紙飛機，測量飛行時間。
- 2.角度為0度(平飛)、30度、45度，用量角器對好角度再發射。
- 3.重複五次，計算平均。
- 4.紀錄飛行狀態特徵。

四、竹筷發射器使用後覺得軌道太短，用長尾夾控制橡皮筋不太好操作，又製作瓦楞板發射器

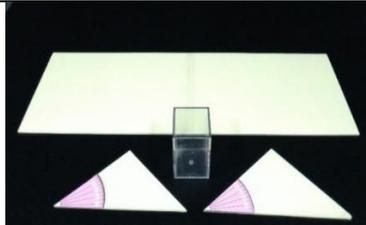
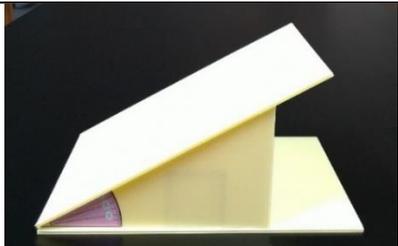
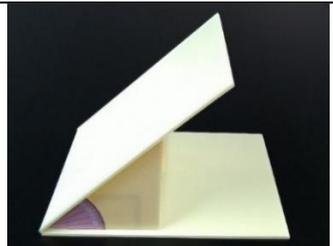
(一)製作瓦楞板發射器：

- 1.裁切 PP 瓦楞板，製作長 43 公分、寬 8 公分，中間有長 35 公分、寬 1 公分凹槽的瓦楞板發射器。
- 2.在離凹槽末端 13 公分處黏貼橡皮筋。
- 3.在發射紙飛機時，用手指勾住橡皮筋拉到凹槽末端，將紙飛機放入凹槽，再放開橡皮筋，我們施給橡皮筋的拉力就會轉成彈力，把紙飛機彈出去。
- 4.用彈簧秤量出將橡皮筋拉到凹槽末端時拉力為 350gw。

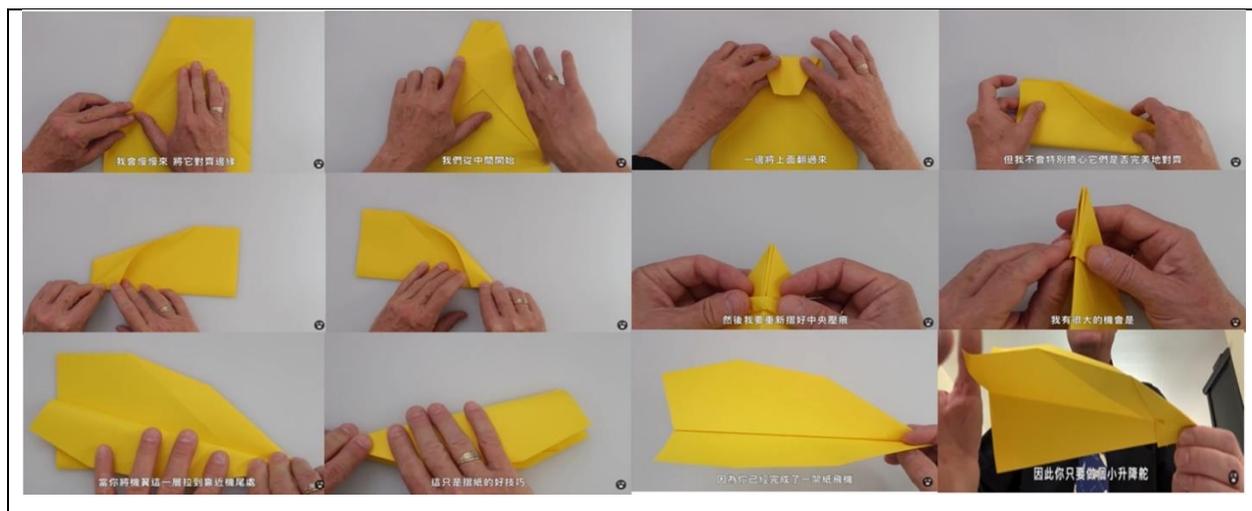
PP 瓦楞板發射器	拉力為 350gw (發射紙飛機時會轉成彈力)
	

(二)製作發射器發射架：

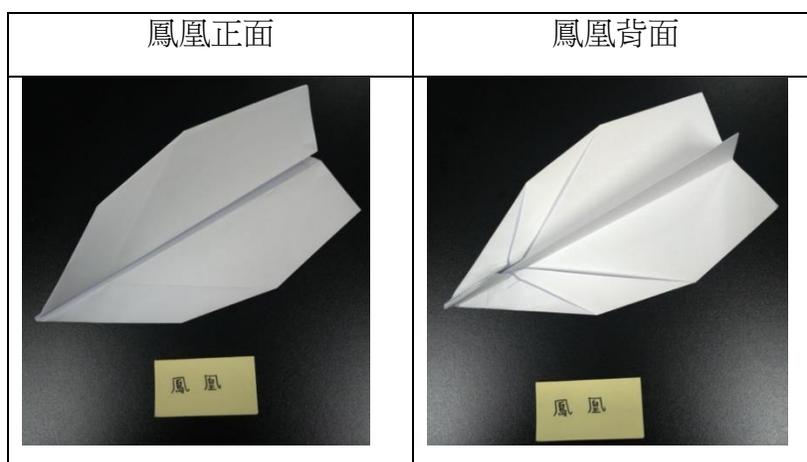
- 1.在瓦楞板上黏貼自然課本附件用過的紙製量角器，裁切兩個 30 度角的三角瓦楞板。
- 2.將這兩個 30 度角的三角瓦楞板黏貼在壓克力小方盒上，夾在兩片黏合的 A4 PP 瓦楞板中，就成了 30 度發射架。
- 3.用同樣做法製作 45 度發射架。

兩個 30 度三角瓦楞版和小方盒貼好	45 度三角瓦楞版、小方盒和 PP 瓦楞板
	
<p>完成的 30 度發射架</p>	<p>完成的 45 度發射架</p>
	

五、研究過程中偶然機會注意到鳳凰紙飛機，決定把鳳凰機型加入研究，所以又製作鳳凰紙飛機：



鳳凰紙飛機成品：以 A4 影印紙摺成，尖頭、平面機翼、機翼長 13.5 公分、機身長 24.1 公分



六、蘇珊、蘇陽、鳳凰三種紙飛機使用瓦楞板發射器飛行實驗

- (一)為了減少自然風的干擾，我們借長 11 公尺的大教室，在室內進行實驗。
- (二)為了減少操作誤差，固定由同一個人發射紙飛機。
- (三)利用瓦楞板發射器來發射紙飛機，每次發射的橡皮筋彈力固定為 350gw。
- (四)測試蘇珊、蘇陽、鳳凰紙飛機的飛行距離 (起點到落地點的直線距離) 和飛行時間。
- (五)分別測試 0 度、30 度、45 度發射的飛行狀況。
- (六)重複五次，計算平均。
- (七)紀錄飛行狀態特徵。

發射架固定高度 (底面離地 84 公分)	瓦楞板發射器可以準確固定角度
	

七、分析比較在**相同發射角度**時，**不同摺法**會如何影響紙飛機的飛行距離與飛行時間。

八、觀察**相同機型**在**不同發射角度**的飛行狀況，了解每一種機型的飛行特性。

九、我們覺得玩飛機其實還是用手直接丟擲才好玩，前面的發射器發射實驗了解各種機型的飛行特性之後，我們**綜合出適合展現各種機型最佳狀態的發射角度、力道**，再做一次手擲紙飛機的實驗，讓每一種機型飛出它的特色：

(一)手擲紙飛機的飛行距離比較遠，在大教室飛會撞牆，所以借活動中心進行實驗。

(二)為減少操作誤差，固定由同一個人投擲紙飛機。

(三)適合蘇珊紙飛機的投擲原則：角度大約 20 ~ 30 度，力度適中、穩定。

(四)適合蘇陽紙飛機的投擲原則：角度高一點(40~50 度)，因為蘇陽機身扎實堅固，可以用力丟。

(五)適合鳳凰紙飛機的投擲原則：角度不超過 15 度，穩定射出，不能太用力，以免機身被扭曲。

(六)每種機型投擲十次，紀錄飛行距離(起點到落地點的直線距離)、飛行時間和飛行狀態特徵。

肆、研究結果

一、初期蘇珊、蘇陽紙飛機實驗：

(一) 用 0 度、30 度、45 度手擲紙飛機，測量飛行距離

「飛行距離」的定義：起點到落地點的直線距離。

因為紙飛機在飛行時，路線大致上是拋物線，但有的紙飛機可能會左右飄移、迴旋、甚至折返，空中移動的部份我們很難測量，所以「飛行距離」測量的是起點到落地點的直線距離，另外再記錄飛行狀態特徵。

水平投擲(0 度)	蘇珊紙飛機(公尺)	蘇陽紙飛機(公尺)
第一次	5.63	5.04
第二次	6.61	2.70
第三次	6.06	2.95
第四次	6.70	2.80
第五次	5.08	2.72
平均	6.01	3.64
飛行狀態特徵	筆直的飛，最後落地	在空中保持直線的飄，最後落地
比較結果	蘇珊型飛比較遠	

30 度投擲	蘇珊紙飛機(公尺)	蘇陽紙飛機(公尺)
第一次	5.93	2.74
第二次	6.37	2.42
第三次	6.80	2.44
第四次	5.41	2.37
第五次	5.95	2.06
平均	6.09	2.40
飛行狀態特徵	筆直的飛，最後落地	在空中保持直線，最後落地
比較結果	蘇珊型飛比較遠	

45 度投擲	蘇珊紙飛機(公尺)	蘇陽紙飛機(公尺)
第一次	4.42	1.77
第二次	4.92	1.00
第三次	6.11	1.70
第四次	5.73	1.25
第五次	5.07	2.08
平均	5.25	1.56
飛行狀態特徵	筆直的飛，最後落地	在空中保持直線的飄，最後落地
比較結果	蘇珊型飛比較遠	

(二)用竹筷發射器發射紙飛機，測量飛行時間

竹筷發射器 0 度	蘇珊紙飛機(秒)	蘇陽紙飛機(秒)
第一次	0.64	1.71
第二次	0.85	1.58
第三次	1.60	1.62
第四次	2.35	1.42
第五次	0.73	1.41
平均	1.23	1.55
飛行狀態特徵	直線飛	有一點左右飄
比較結果		蘇陽飛行時間較久

竹筷發射器 30 度	蘇珊紙飛機(秒)	蘇陽紙飛機(秒)
第一次	1.05	1.25
第二次	1.51	3.48
第三次	1.05	1.96

第四次	1.15	2.43
第五次	0.83	1.35
平均	1.12	2.09
飛行狀態特徵	朝上飛再往下掉	朝上飛再往下掉
比較結果		蘇陽飛行時間較久

竹筷發射器 45 度	蘇珊紙飛機(秒)	蘇陽紙飛機(秒)
第一次	0.85	2.28
第二次	1.46	1.37
第三次	1.23	2.01
第四次	1.05	2.58
第五次	1.34	1.60
平均	1.19	1.97
飛行狀態特徵	朝上飛再往下掉	朝上飛再往下掉
比較結果		蘇陽飛行時間較久

二、蘇珊、蘇陽、鳳凰三種紙飛機使用瓦楞板發射器飛行實驗，同時記錄距離與時間

(一) 瓦楞板發射器 0 度飛行狀況

0 度	蘇珊	蘇陽	鳳凰	蘇珊	蘇陽	鳳凰
	起點到落地點的直線距離(公尺)			飛行時間(秒)		
第一次	2.57	2.47	6.50	1.38	0.55	1.45
第二次	3.05	4.74	8.43	1.39	0.97	2.85
第三次	2.09	3.87	7.70	1.19	0.72	2.59
第四次	2.99	3.03	7.51	1.19	0.79	1.60
第五次	2.98	2.37	7.78	1.41	0.79	2.11
平均	2.74	3.30	7.58	1.312	0.764	2.12

比較結果	最近		最遠		時間最短	時間最久
------	----	--	----	--	------	------

瓦楞板發射器 0 度	蘇珊	蘇陽	鳳凰
飛行狀態特徵	筆直的飛，最後落地	向前快速飛行，因為飛機頭比較重，導致急墜	平順地飛翔，優雅地落地

(二) 瓦楞板發射器 30 度飛行狀況

30 度	蘇珊	蘇陽	鳳凰	蘇珊	蘇陽	鳳凰
	起點到落地點的直線距離(公尺)			飛行時間(秒)		
第一次	5.21	3.20	0.31 &	1.96	1.02	1.40
第二次	4.96	1.58	1.41	1.68	1.23	1.62
第三次	6.65	3.02	0.95 &	1.61	1.26	1.64
第四次	4.60	2.00	3.42 &	1.73	1.32	2.17
第五次	5.92	3.21	3.38 &	2.39	1.51	1.84
平均	5.47	2.60	1.89	1.874	1.268	1.734
比較結果	最遠		最近	時間最久	時間最短	

註：& 表示在空中迴旋甚至折返

瓦楞板發射器 30 度	蘇珊	蘇陽	鳳凰
飛行狀態特徵	筆直的飛，最後落地	向前飛時因為機頭比較重，會轉彎，所以直線距離不長	路線飄移，五次中有四次繞圈、迴旋後折返(飛回來)，所以最後移動距離很短(其實在空中的盤旋距離蠻長的)。

(三) 瓦楞板發射器 45 度飛行狀況

45 度	蘇珊	蘇陽	鳳凰	蘇珊	蘇陽	鳳凰
	起點到落地點的直線距離(公尺)			飛行時間(秒)		
第一次	2.32	3.46	0.05 &	1.51	1.06	1.61
第二次	3.47	4.49	0.46 &	1.73	1.65	1.43
第三次	3.25	3.01	0.69 &	1.23	0.91	1.85
第四次	4.18	4.67	0.99 &	1.56	1.51	1.83
第五次	3.84	4.88	0.91 &	1.83	1.21	1.56
平均	3.41	4.10	0.62	1.572	1.268	1.656
比較結果		最遠	最近		時間最短	時間最久

註：& 表示在空中迴旋甚至折返

瓦楞板發射器 45 度	蘇珊	蘇陽	鳳凰
飛行狀態特徵	朝上飛，因重力而下降，最後落地	被朝上拋射，拋物線使它的飛行距離很遠	五次路線都飄移、迴旋後折返飛回來，所以最後移動的直線距離很短(其實在空中盤旋的距離應該很長)。

三、探討不同摺法紙飛機的飛行特性，用手擲方式展現各種摺法飛機的飛行特色。

	蘇珊	蘇陽	鳳凰	蘇珊	蘇陽	鳳凰
	飛行距離(公尺) (起點到落地點的直線距離)			飛行時間(秒)		
第一次	6.86	13.72	8.39	1.6	1.8	1.05
第二次	5.92	6.92	4.46	1.23	3.38	3.14
第三次	10.94	12.30	2.92 &	2.73	2.09	2.26
第四次	10.48	11.30	3.77 &	2.76	2.02	3.21
第五次	11.58	6.08	4.58	2.51	1.85	2.23
第六次	7.38	8.45	6.20	1.13	1.87	1.81
第七次	6.28	10.29	2.57 &	2.08	2.04	2.28
第八次	5.42	11.19	8.30	1.16	2.52	2.64
第九次	6.61	8.07	4.73 &	0.85	2.95	3.96
第十次	8.33	9.20	8.10	1.32	3.85	4.19
平均	7.98	9.75	5.40	1.737	2.437	2.677
比較結果		最遠	最近	時間最短		時間最久

註：& 表示在空中迴旋甚至折返

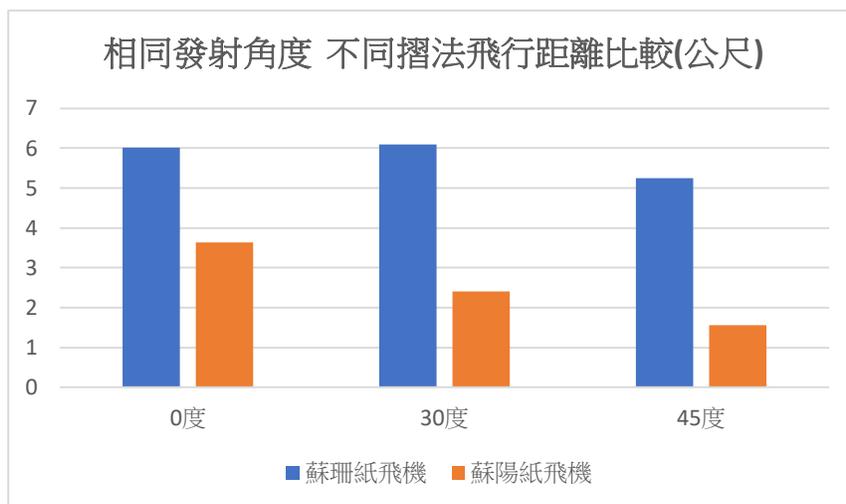
手擲展現特色	蘇珊	蘇陽	鳳凰
飛行狀態特徵	造型最流線型， 平順地向前飛	發射者用力往斜上方射出(大約 40~50 度)，蘇陽會一邊旋轉一邊快速向前竄飛	路線飄移，十次中有四次繞圈、迴旋後折返飛回來，所以最後直線移動距離較短(但可以由飛行時間最久，推測其實在空中的盤旋的距離應該很長)。

伍、討論

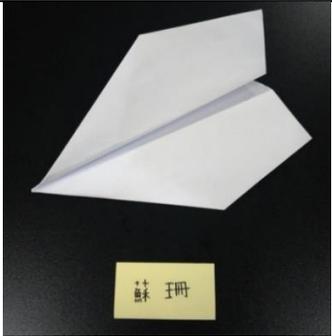
一、探討相同發射角度下，不同的摺法對紙飛機飛行狀態的影響。

(一) 初期蘇珊、蘇陽紙飛機，用手丟擲實驗：

在飛行距離方面：



蘇珊飛機在0度、30度、45度都比蘇陽飛機飛行距離長，這兩種機型都是一張同品牌的A4影印紙摺成的，重量都相同，所以飛行狀態不同是因為摺法不同，飛機結構形狀不同所致：

	蘇珊紙飛機外型	蘇揚紙飛機外型
正面		
背面		

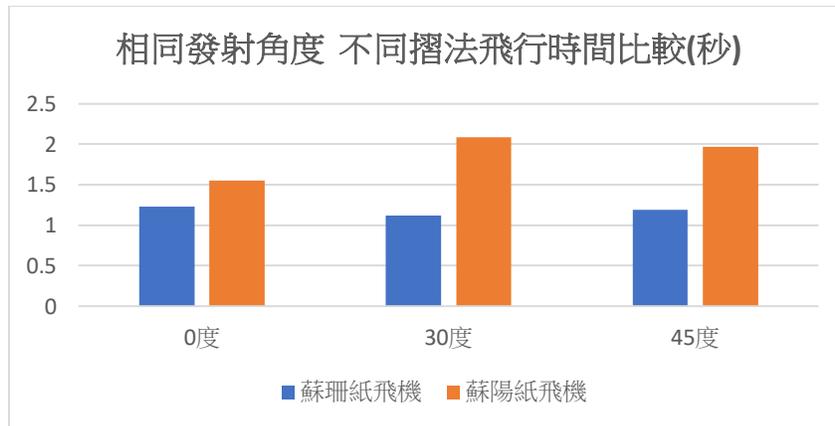
因為蘇珊紙飛機的機翼翼面呈現流線型，所以蘇珊紙飛機會飛得相當平穩。

蘇陽紙飛機會在飛行中飄移，原因是因為蘇陽紙飛機的機翼面積較大，比較容易受到風向的影響，所以實驗結果證明蘇珊紙飛機的摺法適合飛遠，蘇陽紙飛機的摺法不適合飛遠。

推測如果測量飛行時間的話，蘇陽紙飛機應該會比蘇珊紙飛機飛得還要久，所以我們再增加一組實驗，測量飛行時間來驗證是否如此。

也就是說蘇珊可以平穩地向前飛，所以起點到落地點的直線距離飛得遠。蘇陽會飄移，所以起點到落地點的直線距離比蘇珊短。

在飛行時間方面：



如我們之前預測的，蘇陽紙飛機在三種不同角度的飛行時間，都比蘇珊紙飛機的飛行時間來的久，證明了機翼面積較大的設計，雖然比較容易受到氣流阻力影響而在飛行中飄移或旋轉，但因其所受托舉力較大亦可延長其在空中的滯留，而增加飛行時間。其中發現蘇陽紙飛機在發射角度較高(30 度、45 度) 時的飛行時間比較久。

(二)初期實驗後的檢討：

1.風的干擾：

實驗一開始天氣不錯，我們是在戶外做實驗。陽光很好，在校園、公園玩紙飛機做實驗真的很快樂，但難免會有風干擾實驗。雖然我們製作了風標，都有等風停了才發射飛機，但要實驗數據準確的話，實在要在室內操作才好，所以後來我們找室內進行實驗。

2.每次飛行的距離和時間都應該測量：

一開始蘇珊、蘇陽的手擲實驗時，只有測量飛行距離，後來想到應該也要測量時間。也想到用手擲的方式丟擲紙飛機雖然好玩，但是不容易控制每次的力道完全都一樣，所以製作了竹筷發射器來測量飛行時間。結果實驗時太興奮了，只顧著測時間，忘記量距離……又覺得竹筷發射器也不太好用，所以想要改良發射器再進行後面的實驗。

3.發射器的改良：

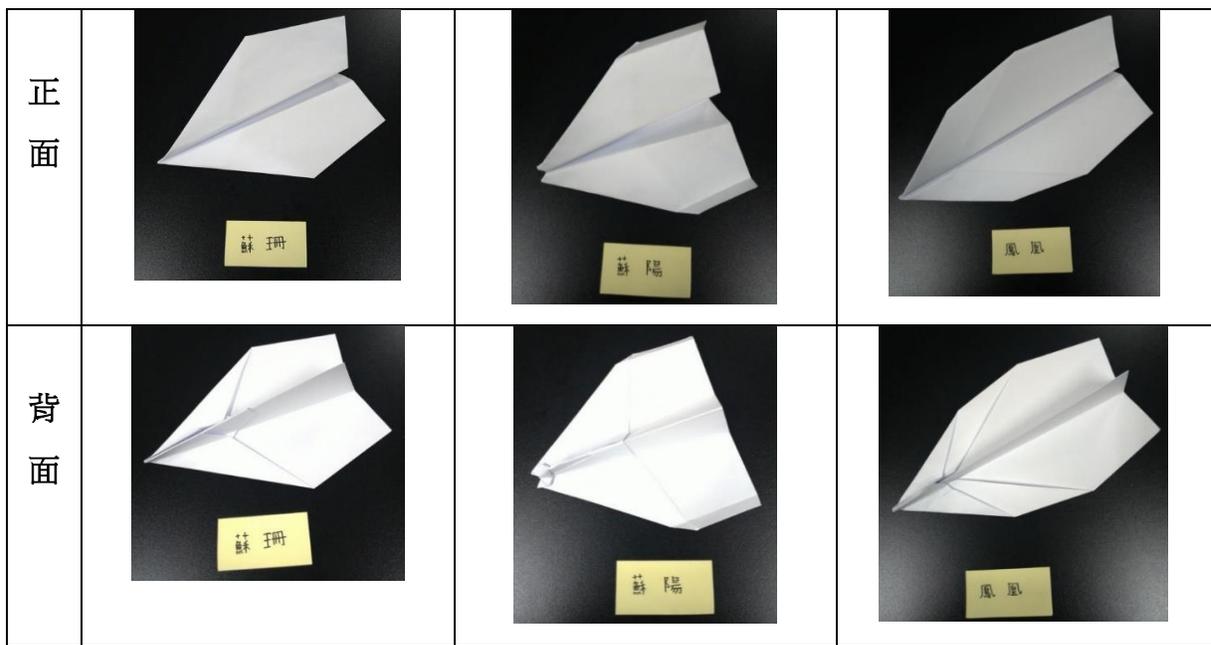
覺得竹筷發射器的軌道有點短(竹筷是用免洗筷)，我們後面又想加入鳳凰紙飛機的研究，鳳凰紙飛機機身長有 24.1 公分，免洗筷的長度實在不足。而且可能是因為竹筷和金屬製長尾夾質地比較硬，放開長尾夾彈射橡皮筋時，橡皮筋對紙飛機尾端的結構傷害頗大。我們後來改用 PP 瓦楞板製作發射器。PP 瓦楞板比較有彈性，發射器的軌道也可以做得比較長，發射方式是用手指頭勾住橡皮筋，手指放開，就把紙飛機彈出，控制上比較靈巧。

後面三種紙飛機的實驗就用瓦楞板射器發射，橡皮筋彈力定為 350gw

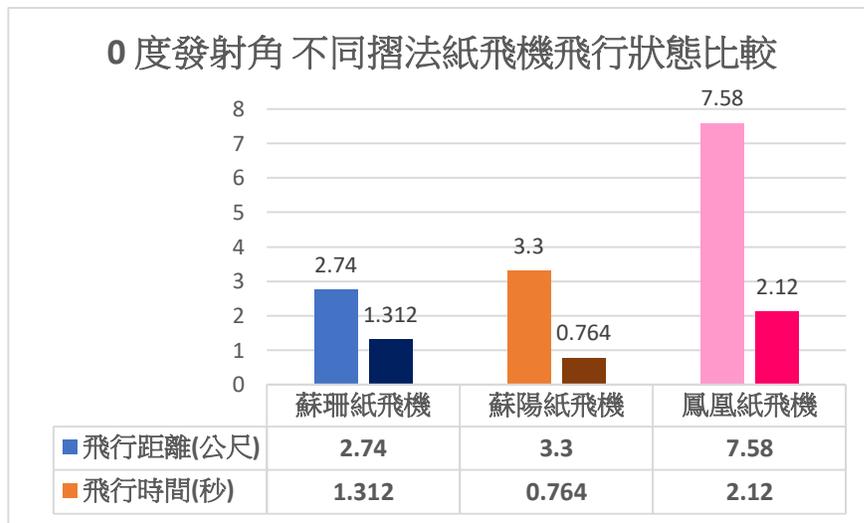
每次飛行都測量距離與時間

(三) 用瓦楞板發射器發射，比較相同發射角度下，蘇珊、蘇陽、鳳凰三種紙飛機的飛行狀況

	蘇珊紙飛機	蘇陽紙飛機	鳳凰紙飛機
飛機結構比較	尖頭、平面機翼 機翼寬 14公分、 機身長 20公分 總重相同(一張A4影印紙) 流線型 飛機頭有點重 重心比較靠中間	平頭、平面機翼、 機翼寬 13公分、 機身長 17公分 總重相同(一張A4影印紙) 機身和機翼寬度都最短， 結構最扎實，飛機頭最重 重心是這三種紙飛機裡最靠近前端的 兩側有垂直翼可以穩定氣流	尖頭、平面機翼、 機翼寬 13.5公分、 機身長 24.1公分 總重相同(一張A4影印紙) 機翼最寬大，機身最長 可以被最多空氣承托起來 整架飛機重量較平均

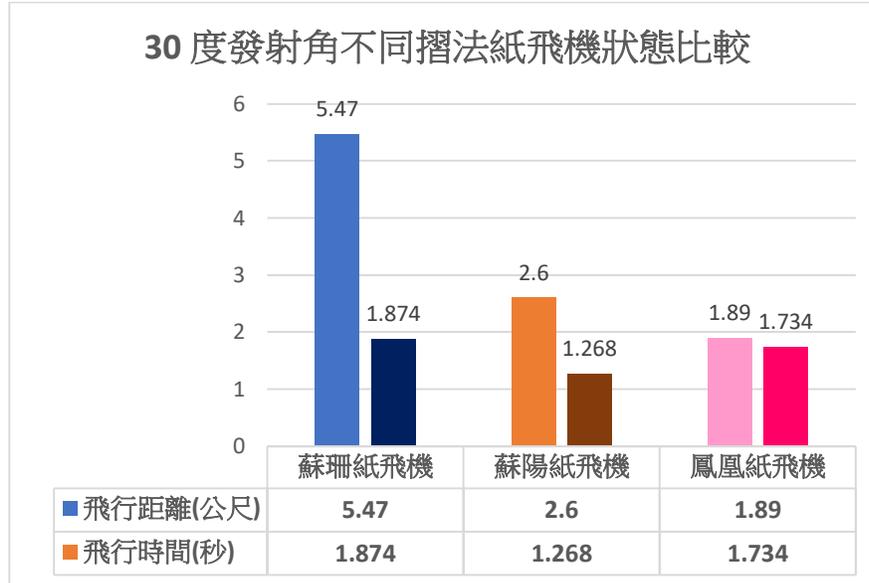


1. 瓦楞板發射器 0 度



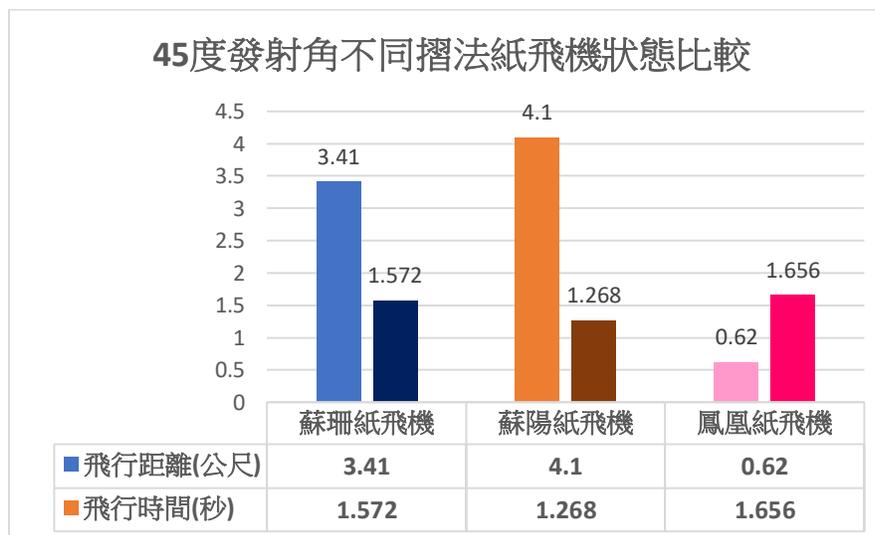
用瓦楞板發射器 0 度發射飛行時，鳳凰紙飛機飛得最平順優雅，距離最遠、時間最久。蘇珊飛的距離最短。蘇陽機頭比較重，容易被投射出去，飛得比蘇珊遠。我們認為是因為鳳凰的機翼面積最大，可以滑翔得最好，所以可以飛最遠。

2. 瓦楞板發射器 30 度



30 度時蘇珊飛得比較遠，飛行時間也最久。蘇陽 30 度飛得不好，很快就掉下來。鳳凰因為機翼面積最大，斜向上射出時會受到空氣阻力影響而轉彎，導致往回飛。所以五次 30 度射出時有四次盤旋飛行，雖然在柱狀圖中鳳凰的飛行距離(起點到落地點的直線距離)最短，但它在空中盤旋的飛行長度應該蠻長的，也可由它飛行時間是第二久的推測出來。

3. 瓦楞板發射器 45 度



45 度時蘇陽紙飛機因為機頭很重，發射後被快速投射出去，時間最短但距離最遠，感覺蘇陽適合高角度發射飛行。鳳凰機翼面積最大，斜向上射出時受到空氣阻力

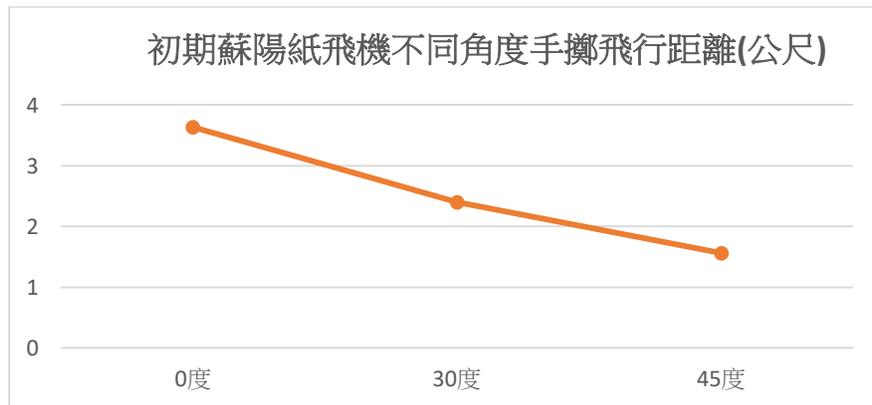
影響而迴旋，五次都往回飛，飛行時間最久，雖然落地點和起點的直線距離最短，但在空中盤旋的長度應該很長。

二、探討**相同機型**，由**不同角度**射出，對飛行狀態的影響。

(一) 初期蘇珊、蘇陽紙飛機，用 0 度、30 度、45 度丟擲的手擲實驗：

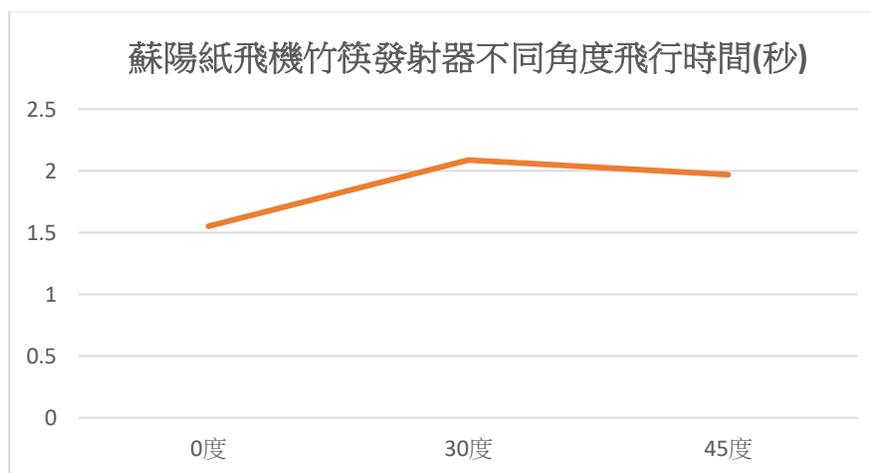
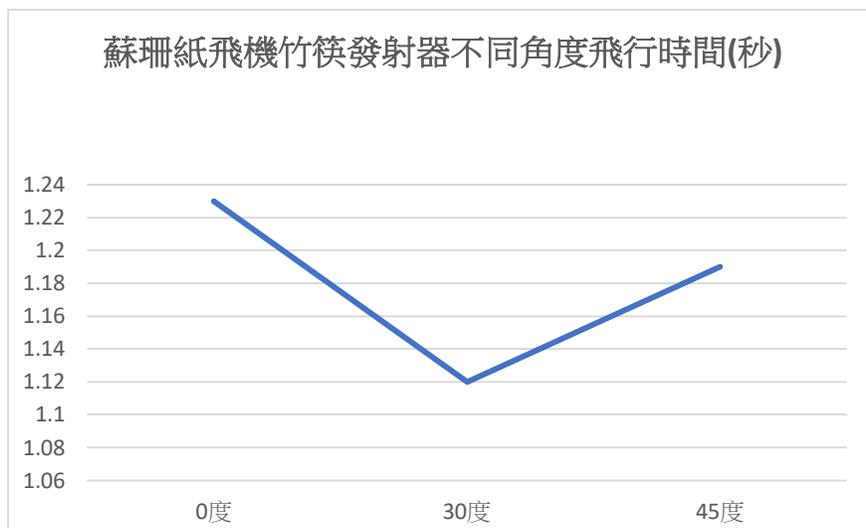
一開始，我們只做了蘇珊和蘇陽紙飛機，直接用手丟擲紙飛機。

在飛行距離方面：



- 1.蘇珊紙飛機在 30 度仰角的飛行距離最遠，但由於在做實驗的時候會有實驗誤差，而且實驗結果裡，30 度和 0 度的差距只有 8 公分，所以蘇珊紙飛機在 0 度和 30 度時飛行距離差距不大。
- 2.蘇陽紙飛機則在 0 度仰角飛行距離最遠，因為蘇陽紙飛機的機翼面積較大，又只封住機頭，大機翼遇到氣流就會亂飄，所以當仰角越大時，被氣流帶走的可能性就越大，我們是在室外進行實驗，也可能有些微風速干擾。

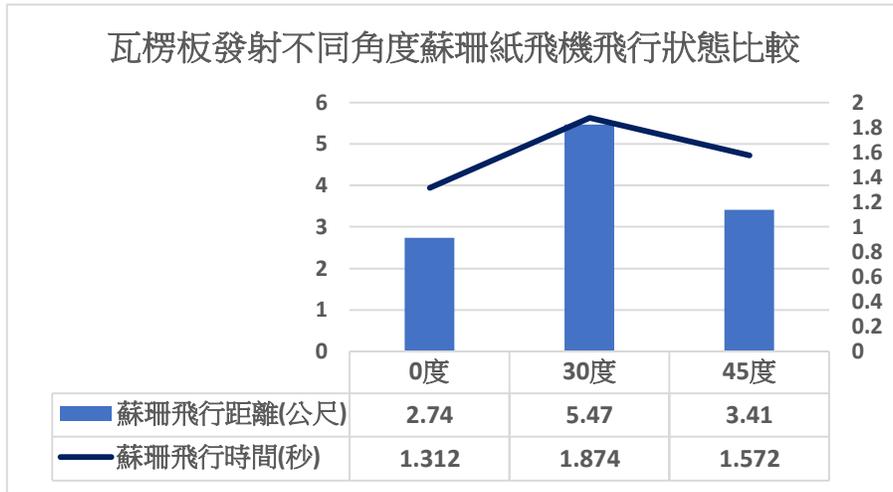
竹筷發射器發射，在飛行時間方面：



竹筷發射器發射蘇珊紙飛機的數據怪怪的，可能是竹筷發射器給予紙飛機的彈力太大，傷害紙飛機的結構，所以我們後來改良了發射器。蘇陽紙飛機角度越高飛得越久，看起來蘇揚較適合高角度發射。

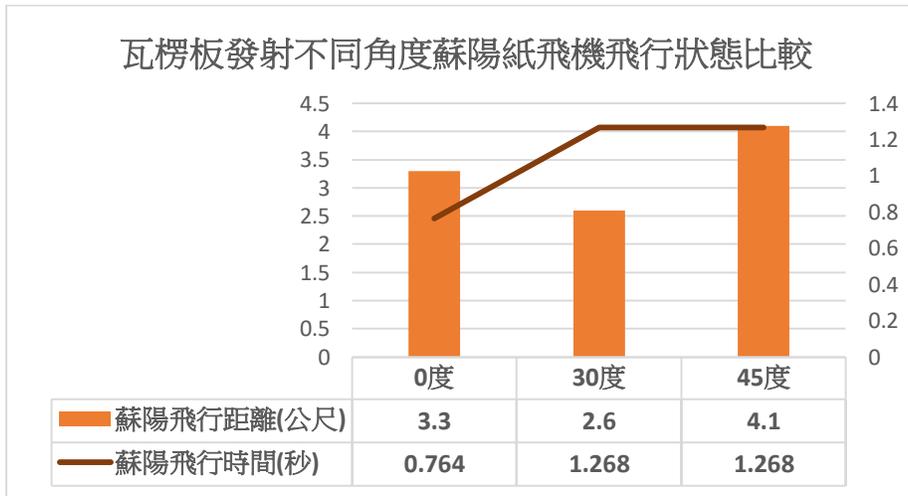
(二) 蘇珊、蘇陽、鳳凰三種紙飛機使用瓦楞板發射器飛行實驗

1. 蘇珊紙飛機不同角度飛行狀態比較



蘇珊紙飛機比較適合稍微有一點角度飛行，0 度、30 度、45 度裡，蘇珊在 0 度距離最近，30 度飛得最遠。可見有一點仰角，可以讓蘇珊多一點向上的力量，避免很快就掉到地面，但蘇珊的機身並不是最堅固的，45 度會讓它不夠穩定，失速墜落(雖然還是比 0 度飛得遠)。

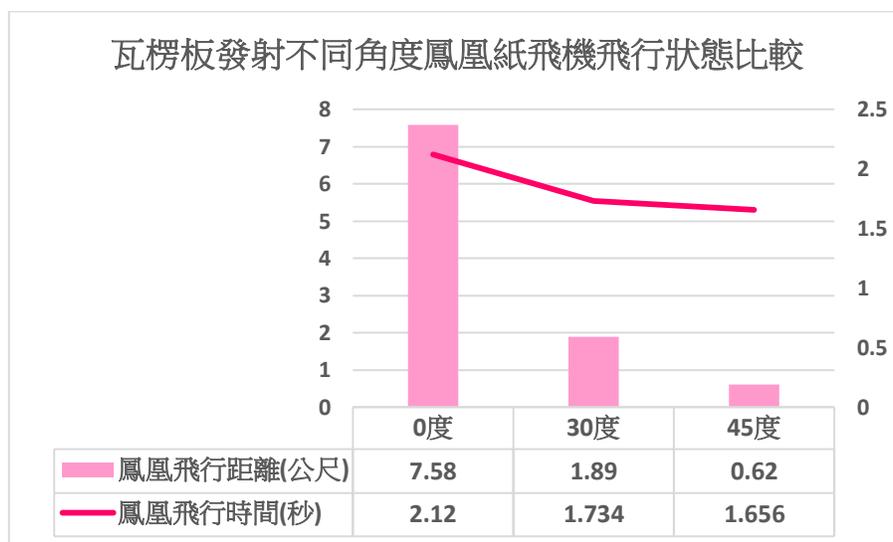
2. 蘇陽紙飛機不同角度飛行狀態比較



蘇陽紙飛機 0 度時比較快墜地，感覺飛機頭真的很重的樣子。30 度和 45 度的五次飛行平均時間一樣，都比 0 度久。30 度時飛行路線有轉彎，所以起點到落地點的距離比較短，45 度則是飛得又直又遠又久，可見蘇陽紙飛機真的比較適合高角度發射。我們推測它在 45 度發射出去時，飛機斜下方氣流受阻，流速慢而壓力增大，同時

飛機斜上方氣流較快，壓力變小，所以可以造成抬升力，蘇珊紙飛機機身扎實又有垂直翼穩定氣流，所以飛得遠。

3. 鳳凰紙飛機不同角度飛行狀態比較



鳳凰紙飛機 0 度發射飛的時間最久，飛行距離也最遠，優雅的滑翔出去，安穩的徐徐降落。鳳凰紙飛機在 30 度和 45 度發射時，會盤旋甚至折返飛回來，所以統計圖上雖然鳳凰紙飛機的起點到落地點的直線距離很短，但其實飛行時間都蠻久的，所以鳳凰紙飛機在空中的飛行距離應該算是長的。

鳳凰紙飛機的因為機翼面積最大，0 度發射可以平穩飛行，但角度升高後，它的大機翼受到空氣阻力的影響，會让它開始盤旋，所以鳳凰紙飛機低角度飛行會比較平穩地向前直飛。

三、綜合前面研究的討論，分析這三種紙飛機摺法與適合的發射方法：

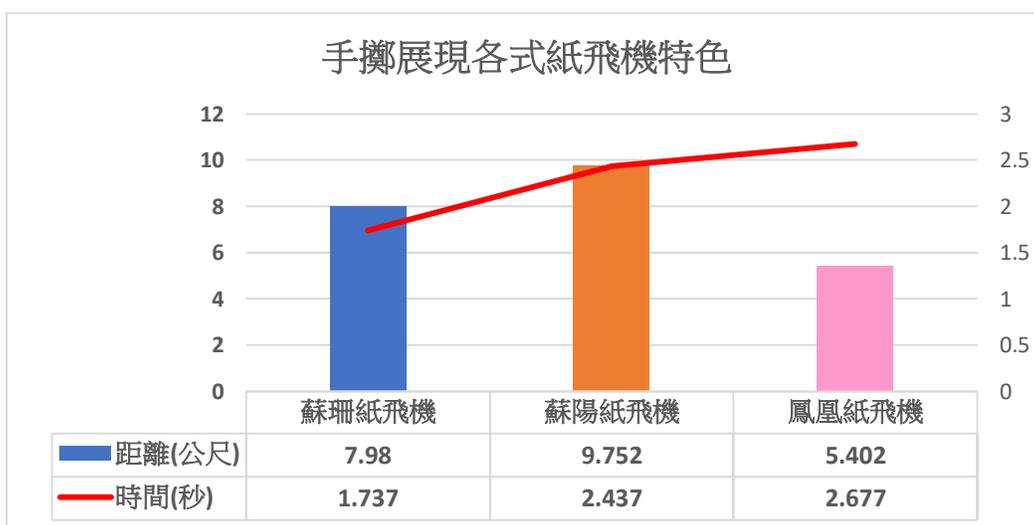
蘇珊紙飛機：蘇珊紙飛機的機身呈現流線型，發射時要平穩的施力將它送出，稍微有一點仰角可以讓它飛得更遠。

蘇陽紙飛機：蘇陽是這三種裡面機身最短、翼寬最窄的，飛機頭很厚實，所以重心是三者中最靠近前端的。機翼兩側有垂直翼可以穩定氣流，適合拉高角度讓它乘風飛起，因為機身結構扎實，可以承受較大的投射力量，可以用力一點拋擲它。

鳳凰紙飛機：機身又寬又長，機身重量大致平均分配，大面積容易受到空氣影響。0 度平飛時可以優雅持久的向前飛，落地前路線稍微有點微彎、穩穩地慢慢降落。

因為鳳凰紙飛機面積大，機身單薄，所以發射時不能太用力，以免讓機身變形扭曲，妨礙飛行。鳳凰如果將角度拉高的話，容易因為大面積受到空氣阻力而轉圈、盤旋甚至往回飛，滯空時間也長，動作依然優美，只是又飛回來了！

四、探討不同摺法紙飛機的飛行特性，用手擲方式展現各種摺法飛機的飛行特色。



飛行距離分析：

手擲給予飛機的力量都比用橡皮筋發射來得大，所以手擲紙飛機可以飛得比較遠。在用橡皮筋發射紙飛機時，理論上雖然是用越大彈力可以將飛機「彈」得越遠，但實際上如果橡皮筋的彈力太大，會使紙飛機機尾變形、受損，反而飛不好，所以橡皮筋彈力不能太大。

蘇陽紙飛機在這次的手擲實驗中的飛的距離最遠，推測是因為我們在發射時用了非常大的力，且用高角度(大約 40~50 度)去丟紙飛機，導致蘇陽紙飛機的實驗數據才會脫穎而出，也讓我們發現，蘇陽紙飛機扎實的機身可以更用力來拋射，以達到飛遠和飛久的目的。

我們在實驗的過程中發現，蘇珊紙飛機不適合非常用力的丟，推測是因為蘇珊紙飛機比較著重在機頭的重量上，重心稍微太偏前面了，所以當你將紙飛機發射出去時，蘇珊紙飛機就會因為頭太重、機翼面積太小，導致整架飛機向下俯衝，最後墜落在地上。

而鳳凰紙飛機在這次實驗中從起點到落地點的距離最短，推測是因為鳳凰紙飛機的整體結構比較鬆散，只有簡單的加重機頭，讓飛機的後半段比較單薄，非常的容易扭曲，在我們用手擲的時候，會因為翼面太大，機頭重量不夠，導致整架飛機在空中會亂飄，但是，

我們發現，鳳凰紙飛機會在空中繞過來，繞過去，最後再不疾不徐地以優雅的英姿完美落地，如果比優雅的程度的話，它絕對不會輸給任何紙飛機！

飛行時間分析：

鳳凰紙飛機在這次手擲實驗中的飛行時間最久，推測是因為鳳凰紙飛機的機身面積最大，單位面積的重量最輕，機翼翼面大，適合滯空盤旋。也讓我們發現，機翼翼面積較大，整體機身較薄的紙飛機，適合飛久，而且，這種紙飛機還會在空中繞來繞去，也是讓飛行時間提升的關鍵。

在這次實驗中，蘇陽紙飛機在飛行時間是第二久，同樣是 2 秒多，蘇陽紙飛機的機頭相較鳳凰紙飛機來說，是比較重的，所以，在飛久時，蘇陽紙飛機會因為機頭較重的關係，導致蘇陽紙飛機會往下墜，讓蘇陽比鳳凰飛行時間短，

而蘇珊紙飛機在這次飛行實驗中的數據沒有蘇陽和鳳凰那麼好，推測是因為蘇珊紙飛機在飛行時會因為機頭太重而導致飛機下墜，最後墜落在地上，所以，鳳凰紙飛機適合飛久，蘇珊紙飛機不適合飛久。

五、機身形狀、飛行角度與飛行狀態的綜合分析。

由前面的研究可以知道，機身的形狀和飛行的角度都會影響飛機飛行的狀況。不同造型和不同的質地(厚、薄、面積大小、形狀是否有轉折、彎曲……)都會影響飛機的飛行。如果要飛機飛出它的特色，就要給予適當的施力大小和的發射角度。

大致上可以說：面積越大，受到空氣的影響就越多。機身如果比較單薄，發射時不能太用力；機身堅固扎實的，發射時可以用力一點。飛機機翼可以有一些構造來穩定氣流(例如垂直翼)，如果尾部有一點點彎折，會有一些方向舵的效果。

陸、結論

一、探討相同發射角度下，不同的摺法對紙飛機飛行狀態的影響。

(一) 0 度時，鳳凰紙飛機的最遠也最久，我們認為是因為鳳凰的機翼翼面積最大，可以滑翔得最好，所以可以飛最遠。

(二) 30 度時，蘇珊紙飛機飛得最遠，它的流線型機身讓他可以平穩飛行，稍微向上的角度可以讓蘇珊飛得更久也更遠。

(三) 45 度則是蘇陽紙飛機表現最好，我們認為蘇陽的飛機頭最重、機身最扎實、兩側又有垂直翼可以穩定氣流，所以高角度發射出去時，空氣阻力增加了它的抬升力，讓它可以一飛衝天，往前竄出。

二、比較相同機型，由不同角度射出，對飛行狀態的影響。

總體來說，發射角度越高，紙飛機越不穩定，容易失速墜落，要有穩定氣流的構造，才能用高角度飛行。各機型分析總結如下：

- (一) 蘇珊紙飛機 30 度會飛得比較久也比較遠，45 度時距離和時間都變少了，但還是比 0 度時好。蘇珊機身是流線型，有一點角度可以讓蘇珊爭取多一點在空中飛行的距離。
- (二) 蘇陽紙飛機的機身堅固扎實，飛機頭又重，加上兩側有垂直翼可以穩定氣流，所以仰角 45 度飛行可以有最大抬升力而飛得最久也最遠。
- (三) 鳳凰紙飛機的因為機翼面積最大，0 度發射可以平穩飛行，但角度升為 30 或 45 度後，它的大機翼受到空氣阻力的影響，會讓它開始盤旋，雖然在空中盤旋繞行的距離也頗長，但無法「往前直飛」。所以鳳凰紙飛機低角度飛行會比較平穩。

三、綜合前面研究的結果，分析不同摺法紙飛機最適合的發射方式。

以 0 度、30 度、45 度來比較的話：

- (一) 蘇珊紙飛機最適合 30 度發射，不可以太用力。
- (二) 蘇陽紙飛機適合 45 度用力一點發射(因為蘇陽機身扎實，又有垂直翼穩定氣流)。
- (三) 鳳凰紙飛機機翼面積大，機身較單薄纖弱，適合 0 度輕輕發射，絕對不可以用力丟。

四、用手擲方式展現各種摺法飛機的飛行特色。

- (一) 手擲紙飛機時給予紙飛機的力量比橡皮筋大，所以手擲紙飛機飛得比較遠。
- (二) 蘇珊飛機用 20 ~ 30 度，平穩的力道送出，飛行時，流線型機身微微上揚，很有冠軍相。
- (三) 我們用最大力氣和 40 ~ 50 的高角度去拋擲蘇陽紙飛機，利用蘇陽有堅固的機身可承受較大施力，和兩側有垂直翼可以穩定氣流的特性，讓蘇陽紙飛機可以一邊旋轉一邊向前竄，飛行的直線距離最遠。

(四)鳳凰紙飛機的機翼面積最大，機身比較單薄，角度太高會盤旋，也不適合太用力，所以輕輕地平飛送出，鳳凰會姿態優雅的向前飛、在空中不疾不徐的轉彎、盤旋，慢慢滑翔，飛行時間最久。

五、機身形狀、飛行角度與飛行狀態的綜合分析。

機身的形狀和飛行的角度都會影響飛機飛行的狀況。不同造型和不同的質地都會影響飛機的飛行：面積越大，受到空氣的影響就越多。機身如果比較單薄，發射時不能太用力；機身堅固扎實的，發射時可以用力一點。飛機機翼可以有一些構造來穩定氣流(例如垂直翼)。如果要飛機飛出它的特色，就要給予適當的施力大小和的發射角度。

柒、參考文獻資料

一、紙飛機「蘇珊」——金氏世界紀錄 69.14 米(2016 年 3 月 10 日)。取自：

<https://kknews.cc/zh-tw/astrology/va4k92a.html>

二、「生活裡的科學」20180914-最會飛的紙飛機（2018 年 9 月 14 日）。取自：

<https://youtu.be/2IcCrIKKTmQ>

三、想怎麼飛就怎麼調！世界紀錄保持人教你摺出「鳳凰型」紙飛機。科普長知識 | GQ Taiwan(2020 年 10 月 22 日)。取自：

https://youtu.be/GmjKVNN_m50

四、被金氏世界紀錄收錄為「飛的最久的紙飛機」的折法及原理。取自：

<https://kknews.cc/military/3q93ym3.html>