

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080114

凌空飛翔的紙蟬

學校名稱：新北市汐止區秀峰國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳昭熙	翁慧娟
小五 洪稚森	蘇修傳
小五 孫琮原	
小五 蘇柏愷	
小五 謝徐家	

關鍵詞：滑翔機、伯努力原理、康達效應

摘要

本研究主要在探討影響圓筒滑翔機飛行距離的因素。我們將影響因素分為環境、操作和本質因素等三方面：為了控制好環境因素，我們選定了室內的多功能教室作為實驗地點。此外，為了避免人為操作的差異，我們以自製的發射器作為實驗工具，以控制發射時的「力道大小」和「發射角度」。針對圓筒滑翔機的本質因素，本研究進行了「內摺次數」、「不同紙質」和「紙張磅數」等實驗。研究結果發現，用影印紙所摺出來的圓筒滑翔機，適合用 200 gw 的力道，並以10度的發射角度進行施放，飛行狀況能較穩定又遠。手邊常見的紙質中，以粉彩紙較適合用來摺圓筒滑翔機。此外，以200磅的西卡紙所摺出來的圓筒滑翔機，其飛行距離會較佳。

壹、研究動機

在上科學社團的活動中，老師給我們看一段影片，片中主角僅以一張紙就能摺出一架圓筒造型且外型像「蟬」的滑翔機，這麼特別的圓筒滑翔機讓我們感到很新奇有趣，我們也很好奇：如何能讓一張簡單的紙，摺出更具飛行力的滑翔機而翱翔於青天呢？充滿興致的我們想要一探究竟，探索藏在圓筒滑翔機裡的秘密。

為了能控制發射圓筒滑翔機的方式，我們先設計一台可以控制力道大小和角度的發射器。其次，圓筒滑翔機飛行的穩定性應該和前端配重有關，到底該內摺幾次最為恰當呢？而手邊常用的紙質中，哪種最適合拿來做圓筒滑翔機呢？為了解開這些問題，我們決定以學習過的知識與經驗進行研究，來了解藏在這種「紙蟬滑翔機」裡的奧秘。

★與課程相關單元：五上第四單元「力與運動」

貳、研究目的

一、研究目的

- (一) 設計發射圓筒滑翔機的裝置。
- (二) 探討「力道大小」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (三) 探討「發射角度」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (四) 探討「內摺次數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (五) 探討「不同紙質」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (六) 探討「紙張磅數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。

二、研究架構

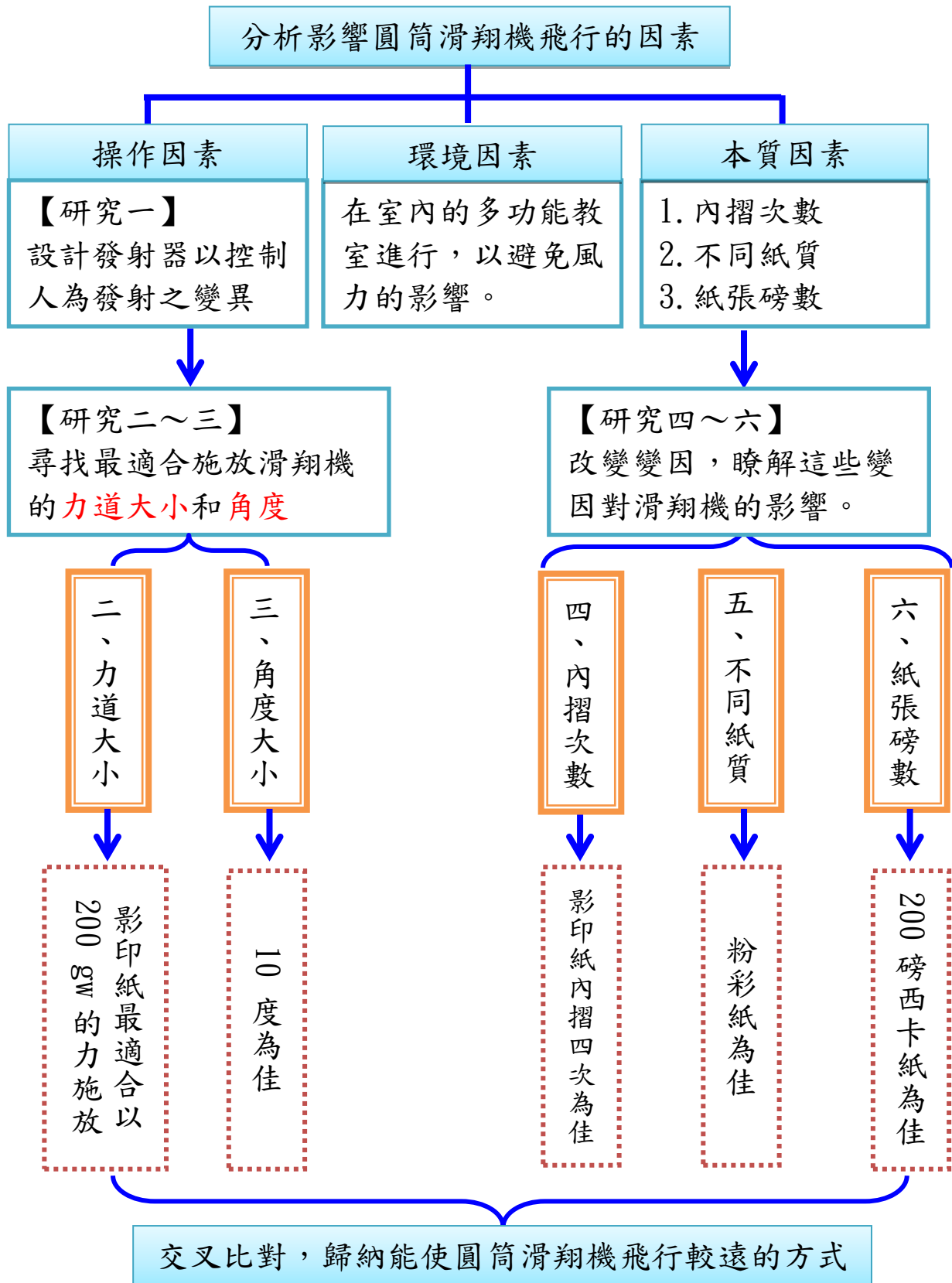


圖 1：研究架構圖

參、研究設備器材

發射器材	自製圓筒滑翔機發射器、量角器、彈簧(4.3 cm 長)、彈簧秤
圓筒滑翔機材料	影印紙、書面紙、粉彩紙、雲彩紙、牛皮紙、西卡紙 (200 磅、250 磅、300 磅)、釘書機、迴紋針、膠帶
記錄用具	相機、皮尺、Tracker 影像軌跡追蹤軟體

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

(一)飛機飛行時的受力情形

飛機能在天空中飛行，主要是受到以下四種力的作用（參見圖 2）：

- 1、**推力**：為了使飛機前進，來自引擎的推力；而紙飛機的推力，則來自人力。
- 2、**阻力**：飛機前進時，空氣與機身所產生的摩擦力，即為空氣阻力。
- 3、**重力**：機身本身所受到的地球引力，即為重力。
- 4、**升力**：飛機於前進時，在主翼上所產生的升力。

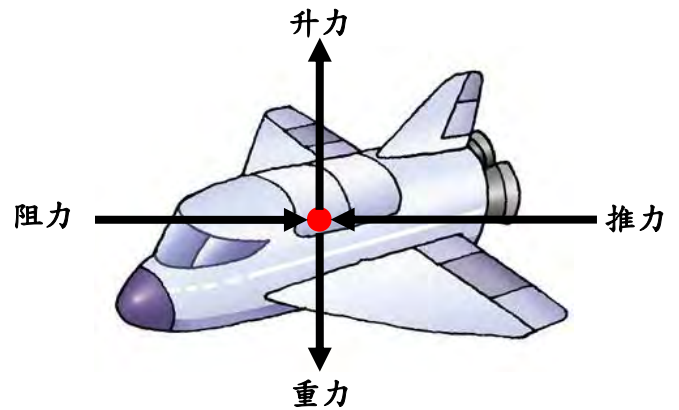


圖 2：飛機受力作用解析圖

綜合以上四種力的交互作用，當飛機的推力大於阻力，且升力大於重力時，飛機即能上升且前進飛行。

(二)飛機升力原理探討

飛機所受到的升力，可以從以下兩種原理來解釋：

- 1、**伯努力原理**：當飛機飛行時，機翼穿越空氣，由於上下機翼的曲面曲率不同，上面較凸，下面較平，因而造成流經機翼上下的氣流速率會有差別，經過上面的氣流速率較快，所以機翼上方的壓力較小，因而產生了升力。（參見圖 3）

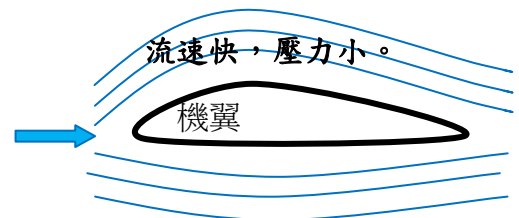


圖 3：機翼之伯努力原理示意圖

2、**康達效應**：飛機的機翼設計除了上下面曲率不同外，機翼前沿也會稍為向上而後沿向下，與水平做成一夾角，這個夾角稱為「衝角」(或稱「攻角」)。(參見圖 4)而流動中的物質，都會有依附接觸面的傾向，這使得上翼的空氣會沿著機翼向下流動，根據牛頓第三運動定律，向下流動的空氣給機翼一股作用力，因此機翼會給空氣一股往上的反作用力，此即為「康達效應」所造成的第二種升力來源。但若衝角過大，反而會使氣流不能再依附機翼表面流動，升力大幅下降，而阻力卻大幅上升，這就會造成「失速」的情況。

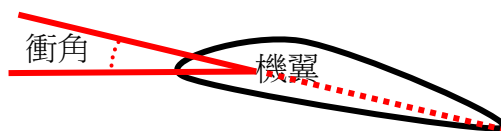




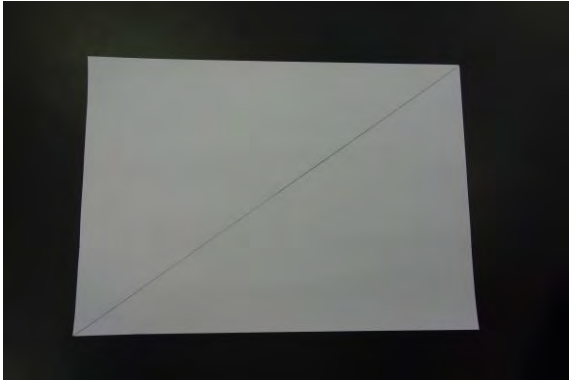
圖 4：機翼之康達效應示意圖

(三)各種圓形飛行器比較

	紙環飛行器	空中騎士	圓筒滑翔機	
				
相同處	1. 皆有中空圓形的外型。 2. 皆是藉由外界的推力（手的推力或發射器的彈力）飛行。			
相異處	外型	1. 僅一個圓環。 2. 尾翼成波浪狀。	1. 僅一個圓環。 2. 尾翼成翅狀。	
	飛行方式	直線前進後滑翔下降， 並不旋轉飛行 。	直線前進後滑翔下降，且 邊旋轉飛行 。	起飛後 會先向上飛行 ，再滑翔下降，且 不旋轉飛行 。
	應用原理	環狀飛行翼提供了下降的阻力，因而延長了滯空時間。	1. 陀螺效應 2. 機翼升力的現象	1. 伯努力原理 2. 康達效應

二、圓筒滑翔機的作法

1.準備一張長方形的紙，畫出一條對角線。



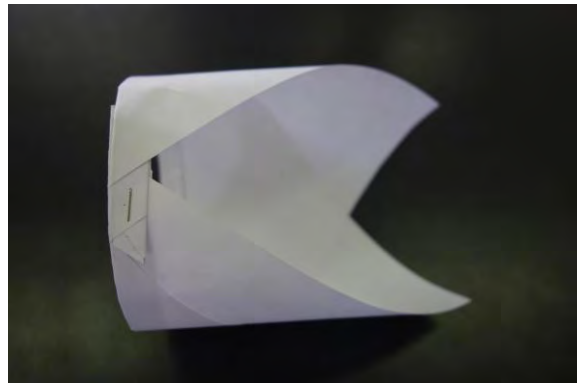
2.沿著對角線對摺。



3.距底邊約一公分處往上摺，重複三次。



4.將底邊的兩端釘起來，調整好形狀即可。



三、研究過程

(一) 設計發射圓筒滑翔機的裝置

首先，我們依網站上影片的介紹製作圓筒滑翔機，並在廣場試射，但因每人的投擲方式和力道大小不一，所以並無法看出如何能讓圓筒滑翔機飛得更遠，因此我們著手設計一台發射器，用以控制發射角度和力道大小。

為了設計這台發射器，我們首先考慮到的是這種圓筒滑翔機的飛行特性，是以機翼在下的方式直線前進的，所以我們發射時需能固定它的前進軌道，且為了減少水管與機身間的摩擦力，最後我們決定用剖半的水管作為軌道，好固定圓筒滑翔機的機身。

其次，發射器所使用的彈力裝置，在我們試過了橡皮筋、加粗的橡皮筋、長彈簧(10 cm)和短彈簧(4.3 cm)後，發現短彈簧的彈性最適合此圓筒滑翔機的飛行，因此我們使用短的彈簧作為發射時的彈力來源。另一方面，利用彈簧秤測試力的大小，在水管上做上記號，以作為發射時力道大小的依據。此外，為了避免彈簧因測試多次而超過其彈性限度，我們在實驗前皆會先檢查彈簧的彈力狀況，若已有彈性疲乏的情形發生，則會換上一條新的彈簧。

接著，為了能讓發射器有固定機身的裝置，所以我們在圓筒滑翔機上別了一個迴紋針，用以扣住發射器的彈簧。以下為發射器的操作流程說明：

1. 為了不受外界環境的風力影響，我們選擇在室內的多功能教室進行實驗。



2. 將水管剖半，作為圓筒滑翔機的軌道，好固定機身的前進方向。



3. 以彈簧秤測試力的大小，在水管上標記刻度，以作為發射時力道大小的依據。



4. 以量角器測量後，在木條上標記角度，以確認發射角度。



5. 將圓筒滑翔機勾在發射器的彈簧上，確認力道大小和角度後，即可發射。



二、圓筒滑翔機實驗流程

為了避免個人摺圓筒滑翔機的技巧而影響整體結果，所以在進行每個研究目的的實驗前，我們全體組員皆摺兩架圓筒滑翔機，篩選過後再進行初始測試，選出兩～三架圓筒滑翔機後，再正式列入實驗紀錄，且為了避免極端值影響結果，所以會去除極端值後，才求取平均數，其實驗流程如下：

1、準備階段：

(1)五位組員分別摺出兩架圓筒滑翔機。

(2)成員甲和乙負責品管工作：檢查內摺寬度是否一致？成品是否對稱？將篩選合格的圓筒滑翔機統一直徑大小後裝訂成型。

(3)成員丙負責將迴紋針調整好後，固定在圓筒滑翔機上。

2、初始測試：由組員丁和戊分別將篩選後的圓筒滑翔機施放五次後，再選出飛行距離最遠、飛行狀況最穩定的兩~三架圓筒滑翔機作為實驗對象。

3、實驗階段：由組員丁和戊將選出的圓筒滑翔機繼續實驗，直到完成實驗紀錄。

4、統計結果：檢視圓筒滑翔機的飛行結果，選出飛行狀態最穩定的一架(多為直線前進、不轉彎、飛行距離較一致者，選定標準請參見圖5說明)，將其飛行距離最近和最遠的兩次極端值去除後，求其平均，作為該架圓筒滑翔機的平均飛行距離。（實驗流程圖請參見圖6）

說明：以發射器舞台的水平線為基準，左右各 45 度夾角的區塊定義為轉彎區塊，其餘為直線前進區塊（如黃色箭頭處）。

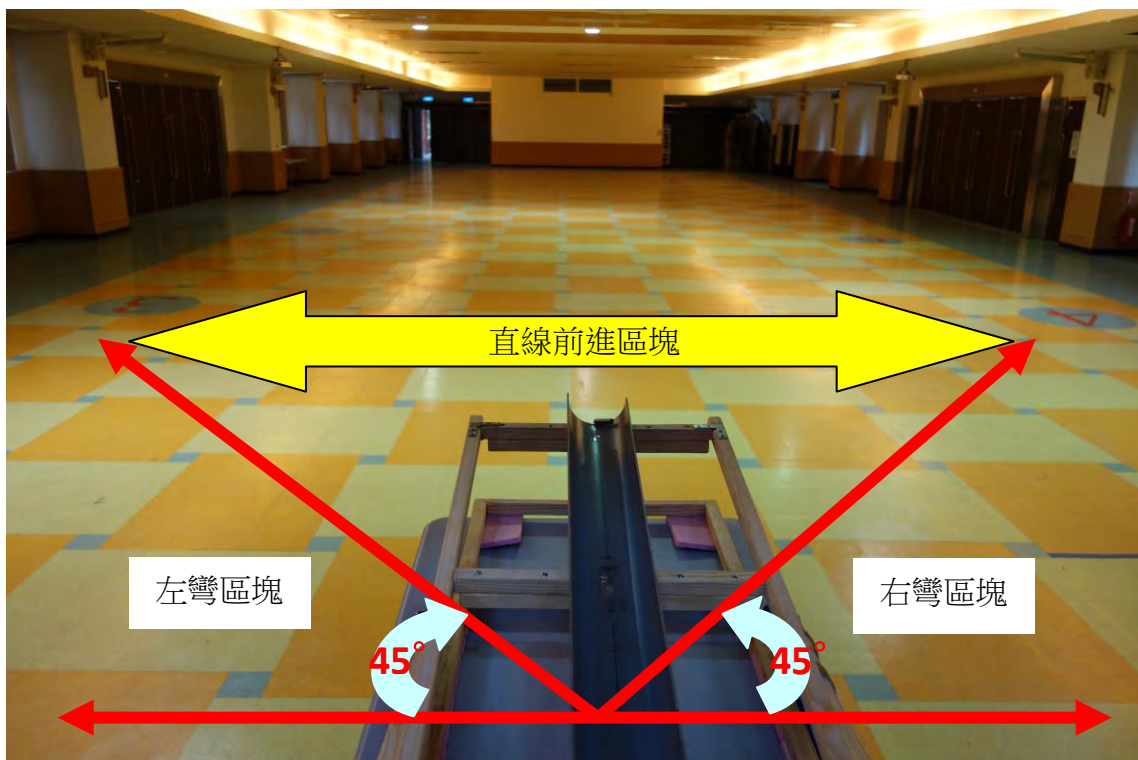


圖 5 飛行方向參照標準示意圖

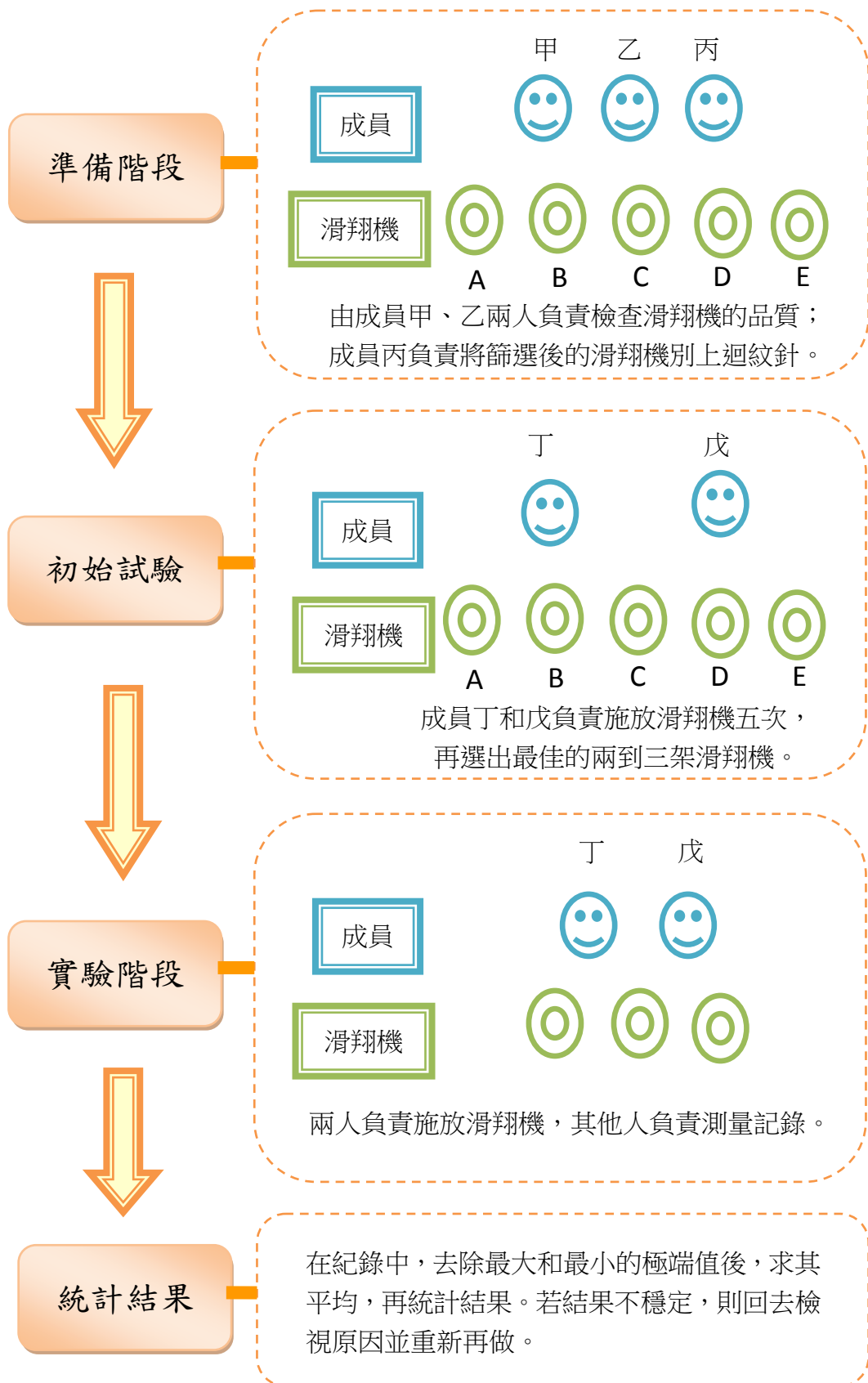
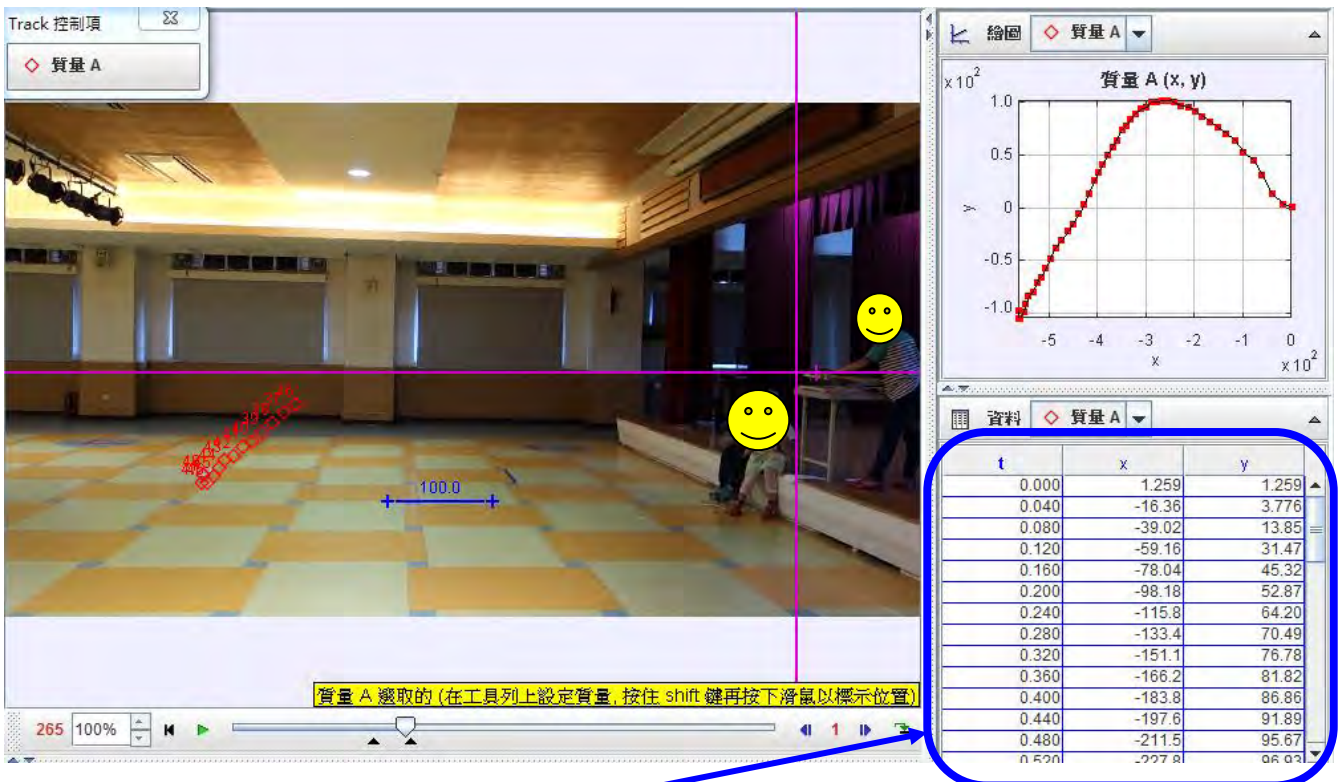


圖 6：實驗流程圖

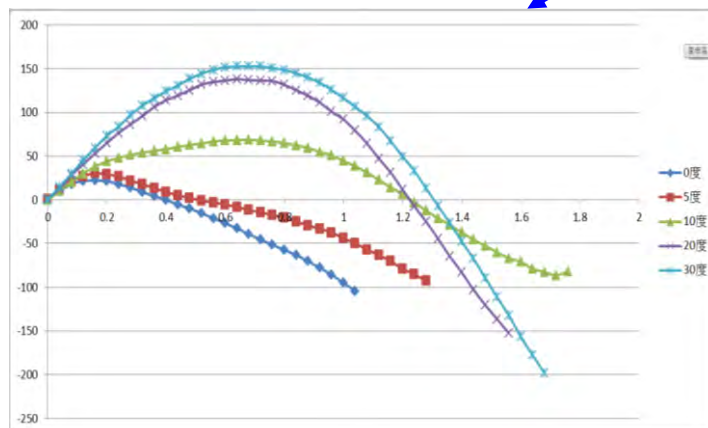
三、軌跡分析：Tracker 影像軌跡追蹤軟體分析

Tracker 軟體是一套使用於物理教學的影像分析軟體。它是由卡布里歐學院 (Cabrillo college) 退休講師 Douglas Brown 所開發設計，可用於追蹤影片中物體的軌跡運動，有助於分析物理實驗問題。

在本研究中，為了瞭解「角度大小」和「內摺次數」等變因對圓筒滑翔機飛行路徑的影響，在此兩項研究目的中，會另外以 Tracker 影像軌跡追蹤軟體分析直線飛行的軌跡，再將圓筒滑翔機的軌跡數據輸入 excel，以比較其間的差異。



將 tracker 軟體所得數據輸入 excel 以比較差異



伍、研究結果與討論

一、探討「力道大小」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一) 實驗控制

為了了解哪種力道大小最適合進行圓筒滑翔機的實驗？我們的實驗控制如下：

操縱變因：施放力道有：100 gw、150 gw、200 gw、250 gw

控制變因：紙質皆為影印紙、同一架圓筒滑翔機、發射角度皆為0度、機頭皆內摺三次、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二) 實驗結果

實驗後的原始數據附於附錄一，而統計結果如下：

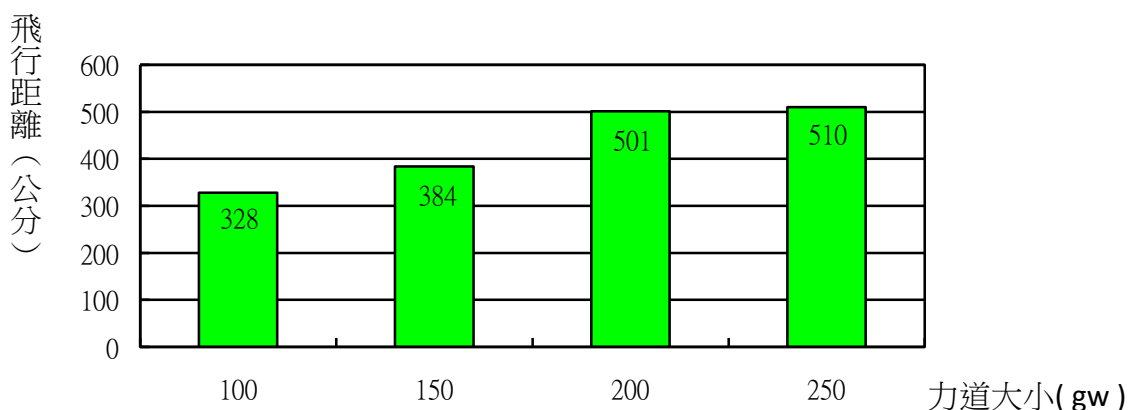


圖 7：力道大小與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

(三) 討論

1. 飛行距離比較：

250 gw (510 公分) > 200 gw (501 公分) > 150 gw (384 公分) > 100 gw (328 公分)

2. 由實驗結果可知，250 gw 的力道可讓圓筒滑翔機飛行得最遠，但參照附錄一的原始數據可發現，在力道 200 gw 之前（含 200 gw），圓筒滑翔機的飛行方向多為前方，但使用 250 gw 的力道時，十次結果有五次是屬於轉彎的狀況，可見較適合讓影印紙做成的圓筒滑翔機穩定飛行的力道是 200 gw，所以接下來我們決定以 200 gw 的力為基準來繼續完成實驗。

二、探討「發射角度」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一) 實驗控制

為了了解哪種發射角度最適合進行圓筒滑翔機的實驗？我們的實驗控制如下：

操縱變因：發射角度有：0度、10度、20度、30度

控制變因：紙質皆為影印紙、同一架圓筒滑翔機、力道大小皆為 200gw、機頭皆內摺三次、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二) 實驗結果

實驗後的原始數據附於附錄二，而統計結果如下：

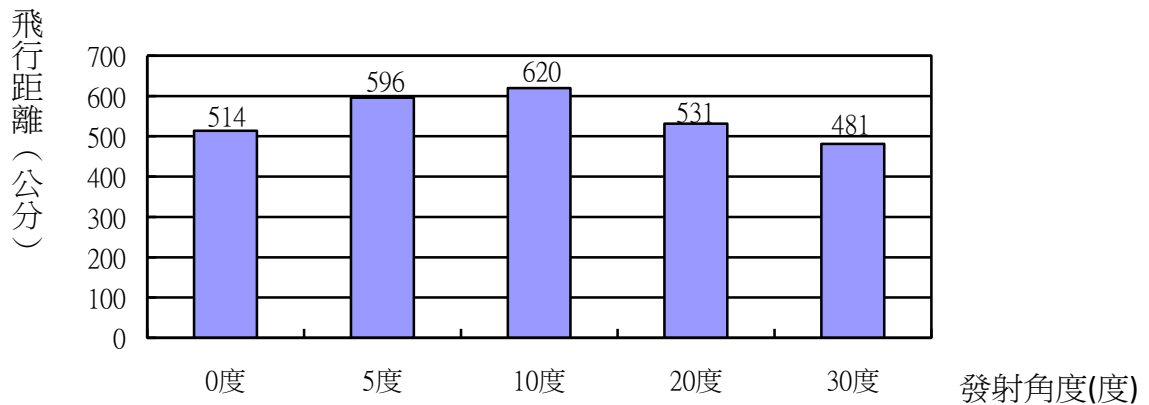


圖 8：發射角度與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

為了比較「角度大小」對其飛行高度的影響，進一步將直線前進的實驗影像以 **Tracker** 影像軌跡追蹤軟體分析軌跡，再將數據輸入 excel，其結果如下圖：

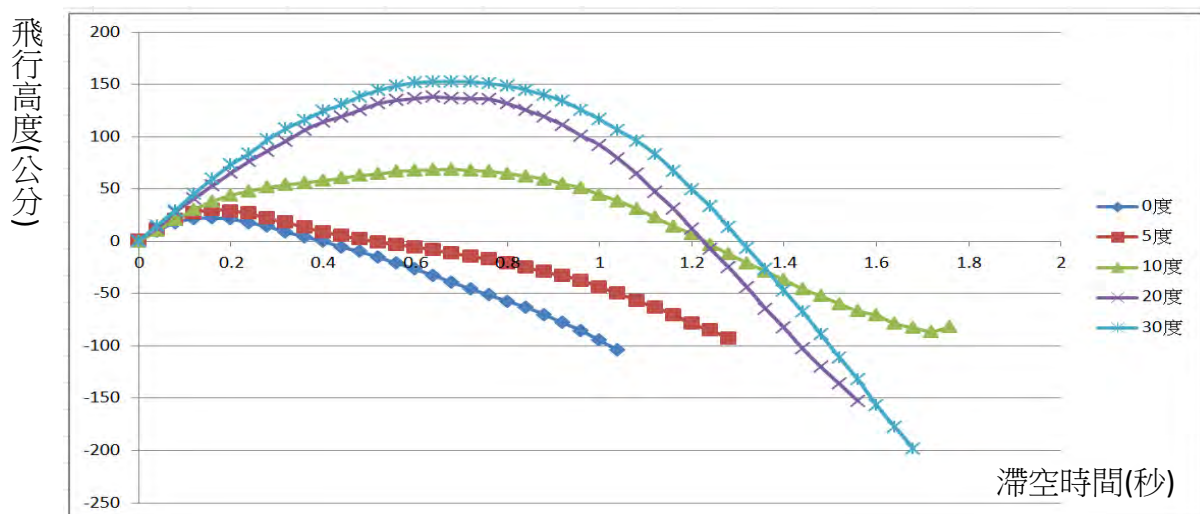


圖 9：發射角度與圓筒滑翔機飛行高度關係圖

(三) 討論

- 1.參照「發射角度與圓筒滑翔機飛行距離關係圖」(圖8)，其飛行距離比較：10度(620公分)
>5度(596公分)>20度(531公分)>0度(514公分)>30度(481公分)
- 2.參見附錄二可知，當發射角度為30度時，10次中有5次會轉彎為最多；其次是20度的發射角，10次中有4次；而10度的發射角，10次中有1次轉彎，其餘發射角度皆未轉彎。
- 3.參照「發射角度與圓筒滑翔機飛行高度關係圖」(圖9)，其滯空時間比較：10度>30度>20度>5度>0度，由此可以發現，發射角度越小，其滯空時間越短，但10度發射角的滯空時間最長，超過10度後，其滯空時間又變短。此外，發射角度越大，圓筒滑翔機的飛行高度則越大。
- 4.分析圓筒滑翔機的飛行路徑有「先上揚再往下滑翔」的趨勢，因此在發射角度為30度時，由於角度較大，反而造成圓筒滑翔機上揚的飛行高度過大而無法飛得較遠，推論是由於康達效應中，若因衝角過大，反而會使氣流不能再依附機翼表面流動，升力大幅下降，而阻力卻大幅上升，而造成「失速」的情況，所以飛行距離反而較近。
- 5.綜合以上結果，由於10度的平均飛行距離最遠、飛行方向較不易轉彎，且滯空時間較久，所以接下來我們決定以10度為發射角度來繼續完成實驗。

三、探討「內摺次數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

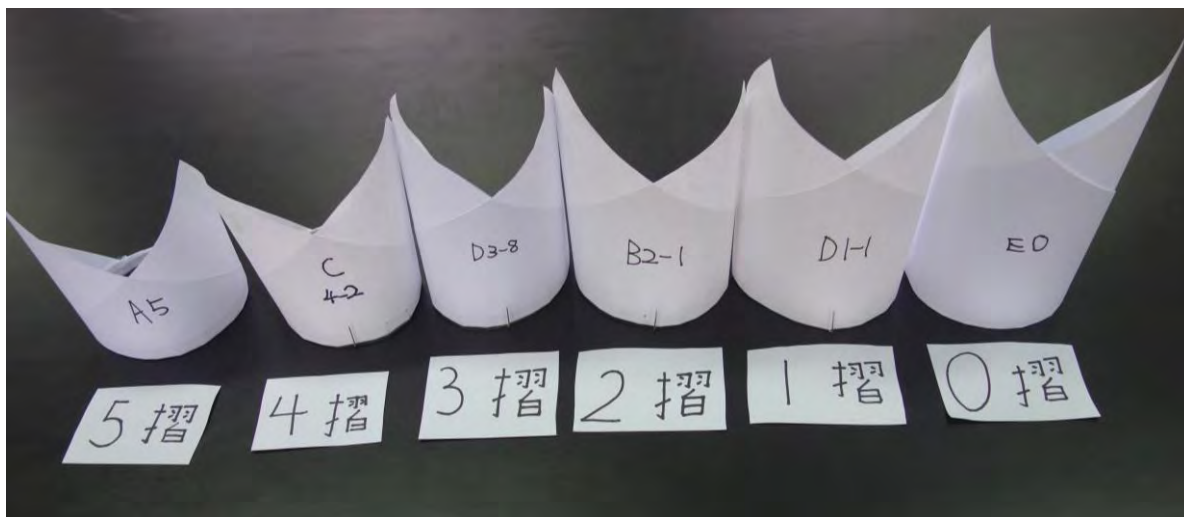
(一) 實驗控制

由於網路影片的內摺次數與我們所查到的書面資料有所不同，因此，我們想了解哪種內摺次數最適合圓筒滑翔機？我們的實驗控制如下：

操縱變因：0摺、1摺、2摺、3摺、4摺、5摺

控制變因：紙質皆為影印紙、力道大小皆為200gw、發射角度皆為10度、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

內摺後的圓筒滑翔機成品如下：



(二) 實驗結果

實驗後的原始數據附於附錄三，而統計結果如下：

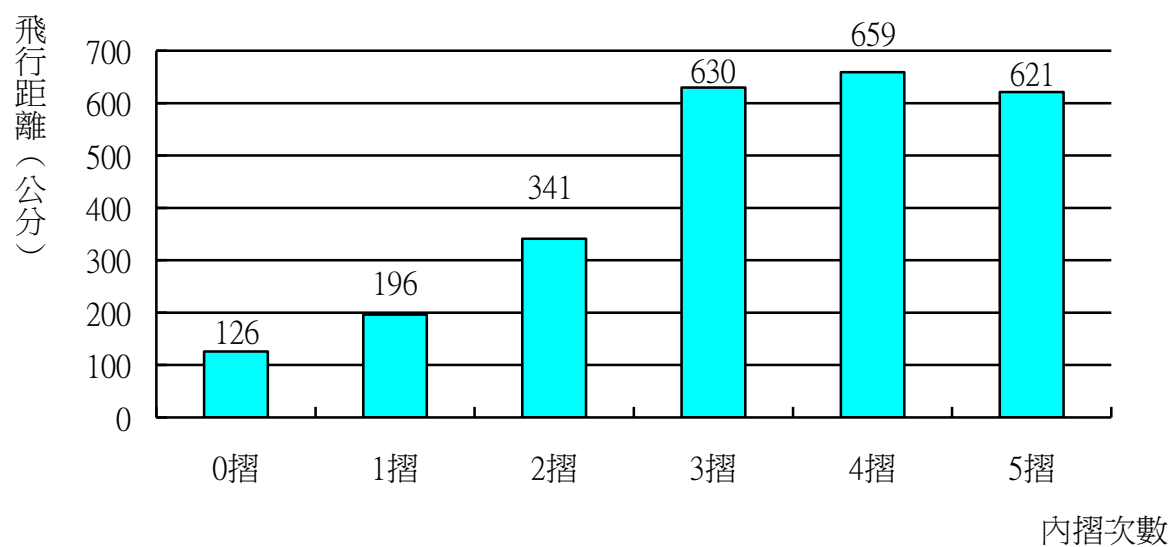


圖 10：內摺次數與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

為了比較「內摺次數」對其飛行高度的影響，進一步將直線前進的實驗影像以 Tracker 影像軌跡追蹤軟體分析軌跡，再將數據輸入 excel，其結果如下圖：

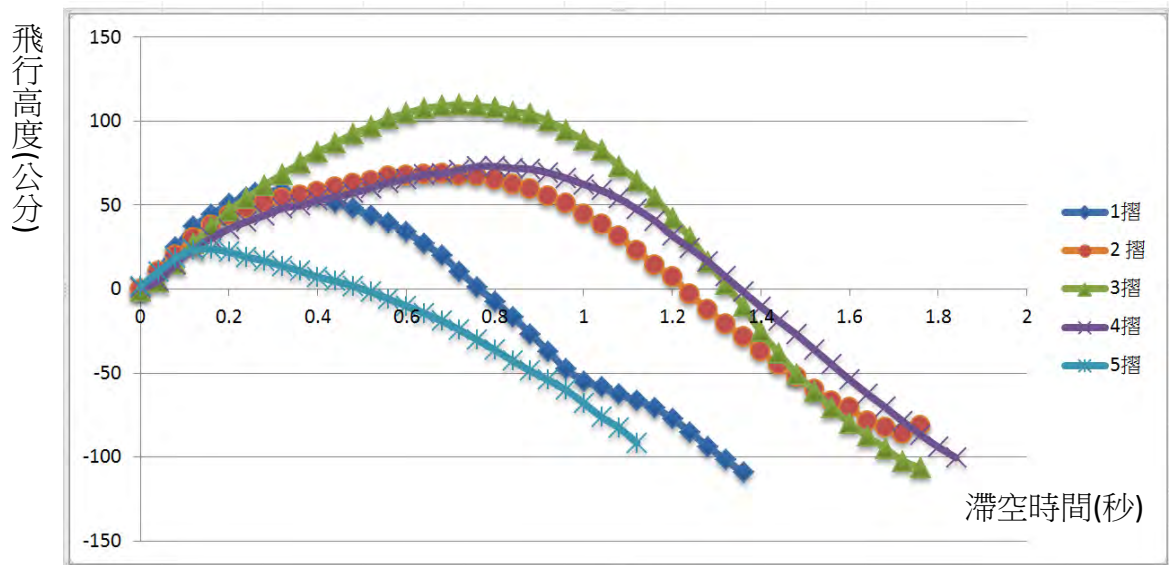


圖 11：內摺次數與圓筒滑翔機飛行高度關係圖

由於在 0 摺、1 摺和 2 摺的實驗中，其飛行狀況皆因前端太輕，重試了好幾次才取得目前的數據。為了瞭解前端配重影響飛行的狀況，因此進一步將 1 摺和 2 摺的圓筒滑翔機加上迴紋針進行測試，考量每次飛行對圓筒滑翔機本身都會有所磨損，因而每種迴紋針數僅進行三次試驗，以免因磨損而影響結果。

內摺一次外加迴紋針的測試結果如下表（單位：公分）：

內摺 1 次 外加迴紋針數	0	加 1 個	加 3 個	加下半 部 4 個	加上半部 4 個	加 7 個
示意圖						
1	186	176	178	197	272	322
2	167	165	163	迴轉	237	338
3	175	182	174	30	262	365
平均	176	174	171	113	257	341

內摺兩次外加迴紋針的測試結果如下表（單位：公分）：

內摺 2 次 外加迴紋針數	0	加 1 個	加 3 個	加下半 部 4 個	加上半部 4 個	加 7 個
示意圖						
1	329	322	329	99	406	485
2	357	361	371	迴轉	392	507
3	318	326	355	迴轉	390	479
平均	335	336	352	99	396	490

（三）討論

1.參照「內摺次數與圓筒滑翔機飛行距離關係圖」（圖10），其飛行距離比較：

4摺（659 公分）> 3摺（630 公分）> 5摺（621 公分）> 2摺（341 公分）> 1摺（196 公分）> 0摺（126 公分）

2.參照「內摺次數與圓筒滑翔機飛行高度關係圖」（圖11），其2摺、3摺和4摺的滯空時間較1摺和5摺長，而2摺、3摺和4摺的飛行高度也較1摺和5摺高。

3.從「內摺一次與內摺兩次外加迴紋針」的實驗中有以下發現：

（1）外加1個或3個迴紋針時，對其飛行距離並無明顯的幫助。

（2）外加4個迴紋針在下半部時，反而因重心在下半部，而使圓筒滑翔機飛回發射器後方，形成「迴轉」的狀態；外加4個迴紋針在上半部時，則使飛行距離有明顯的增加。

（3）當外加到7個迴紋針時，不論是「內摺一次」或是「內摺兩次」的圓筒滑翔機，其飛行距離皆有明顯的增加。

4.綜合以上結果我們發現：當內摺次數不足時，會造成機頭太輕而無法抵抗空氣阻力，此時若在機頭對稱處再別上7個迴紋針的話，可有相當於多一次內摺的效果；而當內摺次數過多時，則因機頭較重且翅狀的機翼面積較小，也無法延長飛行距離，所以最適合影印紙所摺成的圓筒滑翔機的內摺次數為4摺。

四、探討「不同紙質」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

由於所選用的常見紙質（約 8~9.6 gw）較影印紙（5.7 gw）重，測試過後三摺效果比四摺佳，所以本實驗統一採用內摺三次的方式進行實驗，其控制如下：

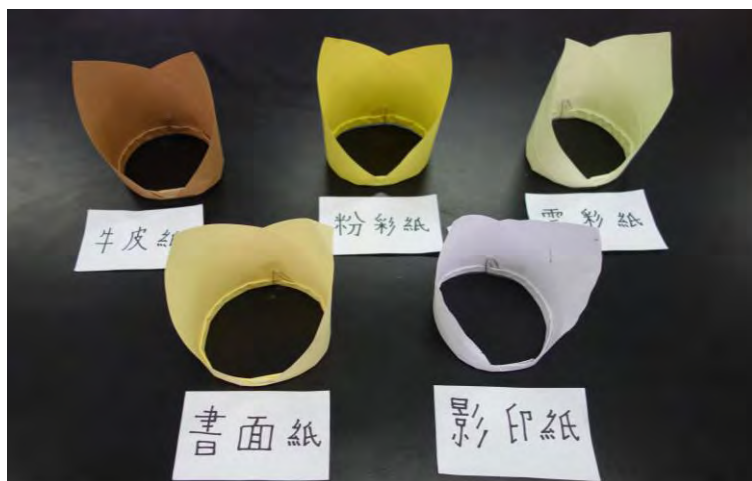
（一）實驗控制

操縱變因：影印紙、書面紙、粉彩紙、雲彩紙、牛皮紙

控制變因：力道大小皆為 200gw、發射角度皆為 10 度、機頭皆內摺三次、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

（二）實驗結果

實驗後的原始數據附於附錄四，而統計結果如下：



各種紙質的成品

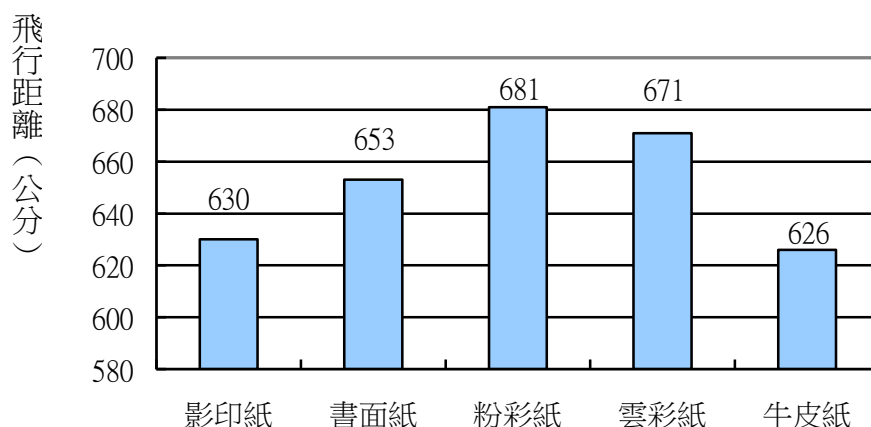


圖 12：不同紙質與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

（三）討論

1. 飛行距離比較：

粉彩紙（681 公分）>雲彩紙（671 公分）>書面紙（653 公分）>影印紙（630 公分）>牛皮紙（626 公分）

2. 觀察實驗結果可以發現，粉彩紙的質地較硬挺，所以飛行距離較遠，而材質與粉彩紙接近的雲彩紙效果其實也不錯。

五、探討「紙張磅數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一) 實驗控制

為了了解「紙張磅數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響，本實驗的控制如下：

操縱變因：200 磅、250 磅、300 磅西卡紙

控制變因：紙質皆為西卡紙、發射角度皆為 10 度、機頭皆內摺三次、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二) 實驗結果

實驗後的原始數據附於附錄五，而統計結果如下：

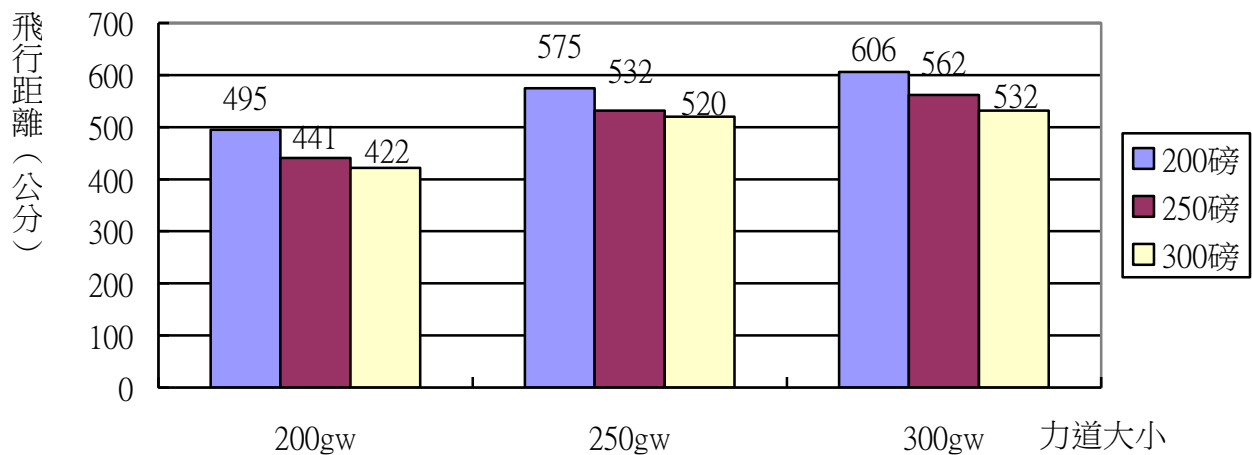


圖 13：紙張磅數與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

(三) 討論

- 1.比較其飛行距離可以發現，無論是用 200 gw、250 gw或 300 gw的力道大小時，都是200磅西卡紙的圓筒滑翔機所飛行的距離較遠。
- 2.由於西卡紙所做成的圓筒滑翔機重量皆在 12 gw 以上（200 磅的圓筒滑翔機約 12 gw、250 磅的圓筒滑翔機約 15 gw、300 磅的圓筒滑翔機約 18 gw），而之前定義較適合的 200 gw 力是以較輕的影印紙（5.7 gw）所做的結果，在本實驗中又進一步嘗試用 250 gw 和 300 gw 的發射力道來進行測試。結果發現，西卡紙的圓筒滑翔機發射力道若越大，其飛行距離則越遠，但由於 300 gw 的實驗結果差異性較大（如附錄五的藍色字體），數值較不一致，因此西卡紙較建議以 250 gw 的力道來發射。此外，由於超過 300 gw 的力已經超過本實驗中所使用的彈簧的彈性限度，所以在本研究中並未進一步測試超過 300 gw 的結果。

陸、結論

一、力道大小對圓筒滑翔機飛行距離的影響

從研究結果得知，就影印紙所摺出來的圓筒滑翔機而言，以 200 gw 的力道來施放，其平均飛行距離較遠。當所施力道超過 200 gw 時，容易讓圓筒滑翔機飛行不穩，而有轉彎的情形發生。

二、發射角度對圓筒滑翔機飛行距離的影響

以 10 度為最適合的發射角度。角度過大時，反而造成圓筒滑翔機過度上揚而無法飛得較遠，推論是由於康達效應中，若因衝角過大，反而使氣流不能再依附機翼表面流動，造成阻力卻大幅上升，而有「失速」的情況。

三、內摺次數對圓筒滑翔機飛行距離的影響

在製作圓筒滑翔機時，影印紙以內摺四次的次數較為合適；但若是其他較重的紙質如：粉彩紙、雲彩紙等，則以內摺三次較為合適。若內摺次數不足，機頭太輕，無法對抗空氣阻力，所以無法順利飛行，此時可以外加一圈迴紋針來延長飛行距離；若內摺次數過多，造成機頭較重，且因翅狀的機翼面積較小，也無法延長飛行距離。

四、不同紙質對圓筒滑翔機飛行距離的影響

在常見的紙質中，以粉彩紙的質地較硬挺，所以飛行距離較遠，而材質與粉彩紙接近的雲彩紙效果其實也不錯。

五、紙張磅數對圓筒滑翔機飛行距離的影響

200 磅西卡紙的圓筒滑翔機，其所飛行的距離較遠。此外，以重量較重的西卡紙所製成的圓筒滑翔機，則以 250 gw 的發射力道較為適合。

六、圓筒滑翔機飛行原理探討

圓筒滑翔機飛行時會先向上揚起，再往前滑行（如圖 14）的原理，可分兩方面說明：



圖 14：圓筒滑翔機飛行路徑示意圖

（一）伯努力原理：就機身上半部和下半部而言，由於通過上半部的空氣所受到的機身阻力較小，流速較快，壓力小；下半部的機翼提供了下降的阻力，流速較慢，壓力大，因而產生一股向上的升力。（如圖 15）

(二) **康達效應**：就整體機身而言，通過機身上面的氣流，會順著機身往下方流，因而產生一股向下的力，根據牛頓第三運動定律，機身本身會因而產生一股向上的升力來抗衡。
(如圖 16)

綜合以上兩種現象，造成**圓筒滑翔機**在起飛後會先向上揚起，之後又**因翅狀的機翼**提供了下降的阻力，因而延長了滯空時間，使得圓筒滑翔機會繼續往前滑翔。

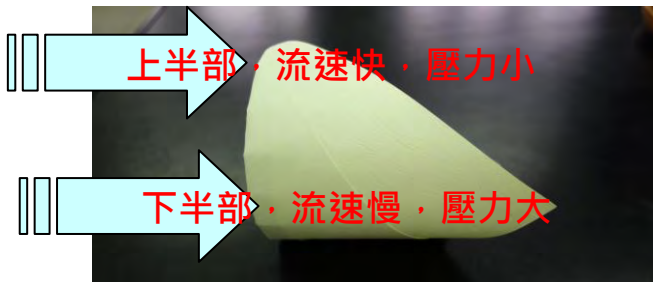


圖 15：伯努力原理示意圖

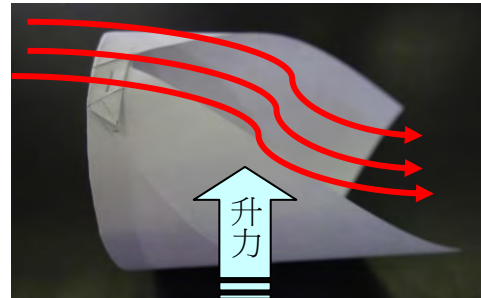


圖 16：康達效應示意圖

柒、研究省思

(一) **圓筒滑翔機在過程中的耗損**：由於在本研究中，圓筒滑翔機是用紙做成的，所以每次飛行後的落地撞擊，多少都會對滑翔機本體造成磨損，即使我們在發射前會再次確認外型是否對稱？但同一架圓筒滑翔機的數據有時仍會有不夠一致的問題。

(二) **軌跡分析軟體的限制**：在瞭解「角度大小」和「內摺次數」等變因對圓筒滑翔機飛行路徑的影響時，由於我們所利用的 Tracker 影像軌跡追蹤軟體只能分析直線飛行的路徑，轉彎路徑不容易追蹤，所以我們僅能比較「時間」與「飛行高度」的相對關係，而無法比較「飛行距離」和「飛行高度」的軌跡變化。

捌、參考資料

- 一、滑翔機作法 (YouTube)。2017 年 5 月 31 日，取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=GJ56O7mogWA>
- 二、圓筒機摺製步驟。2017 年 5 月 31 日，取自：
<http://163.30.173.15/msb/dyna/data/user/characteristic/files/201404181201410.pdf>
- 三、飛機飛行原理 (香港教育城)。2017 年 5 月 31 日，取自：
http://www.hkedcity.net/iworld/feature/view.phtml?iworld_id=38&category=¤t_page=1&feature_id=1765&page=1
- 四、吳本韓、蘇若望 (2004 年 4 月)。「飛行」和「紙飛機」的教學活動。亞太科學教育論壇，第五期，第一冊，文章八。2017 年 5 月 31 日，取自：
https://www.ied.edu.hk/apfslt/v5_issue1/ngph/ngph2c.htm#twoc
- 五、怪怪飛行器 (NTCU 科學遊戲實驗室)。2017 年 5 月 31 日，取自：
<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-006.html>
- 六、空中騎士 (NTCU 科學遊戲實驗室)。2017 年 5 月 31 日，取自：
<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-021.html>
- 七、陳昱超等 (2005)。尋找紙環飛行器的黃金比例。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 八、余皓維、洪彥文 (2013)。圓走高飛。中華民國第五十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 九、黃子育等 (2016)。筒中求翼—研究飛行筒投射條件對於飛行狀態的影響並探討其飛行原理。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十、鄭禹潔等 (2016)。翻滾吧！飛輪。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十一、楊仲準 (2012/2)。生活中的物理 (下)：錄影好好玩—由影像追蹤學物理，科學研習月刊，No. 51-2。

附錄一

研究目的二、探討「力道大小」對飛行器飛行距離的影響（單位：公分）

力道大小	100gw	150gw	200gw	250gw
1	349	375	508	508
2	293	428	425	542
3	342	331	512	<u>485</u>
4	292	342	<u>532</u>	<u>479</u>
5	306	336	465	511
6	369	342	481	<u>553</u>
7	331	421	472	503
8	314	372	497	<u>470</u>
9	328	438	<u>554</u>	<u>541</u>
10	356	458	559	504
平均	328	384	501	510
轉彎次數	0	0	2	5

說明：加底線的藍字數據表示飛行狀況會轉彎者。

附錄二

研究目的三、探討「角度大小」對飛行器飛行距離的影響（單位：公分）

角度大小	0 度	5 度	10 度	20 度	30 度
1	524	612	644	<u>511</u>	513
2	542	600	<u>589</u>	<u>491</u>	575
3	537	590	618	578	<u>478</u>
4	549	656	622	<u>481</u>	<u>426</u>
5	476	577	656	523	510
6	473	547	597	489	<u>325</u>
7	547	587	608	532	580
8	478	616	614	577	<u>398</u>
9	489	575	616	<u>599</u>	<u>473</u>
10	526	599	633	532	533
平均	514	596	620	531	481
轉彎次數	0	0	1	4	5

說明：加底線的藍字數據表示飛行狀況會轉彎者。

附錄三

研究目的四、探討「內摺次數」對飛行器飛行距離的影響（單位：公分）

內摺 次數	0 摺	1 摺	2 摺	3 摺	4 摺	5 摺
1	84	208	329	631	641	620
2	175	184	384	627	633	610
3	120	190	320	652	667	621
4		183	341	643	673	630
5		216	343	628	674	616
6			290	629	667	609
7			370	623	658	627
8			387	640	680	622
9			314	625	651	618
10			330	606	648	632
平均	126	196	341	630	659	621

說明：0 摺和 1 摺的圓筒滑翔機皆無法測出該有的次數，所以部分數據為空白欄。

附錄四

研究目的五、探討「不同紙質」對飛行器飛行距離的影響（單位：公分）

紙質	影印紙	書面紙	粉彩紙	雲彩紙	牛皮紙
重量	5.7gw	8gw	9.5gw	9.6gw	9.4gw
1	631	646	686	678	618
2	627	675	673	690	655
3	652	635	678	659	608
4	643	669	662	676	627
5	628	658	683	673	602
6	629	676	706	648	604
7	623	642	693	657	633
8	640	634	691	676	640
9	625	642	684	681	633
10	606	651	658	675	643
平均	630	653	681	671	626

附錄五

研究目的六、探討「紙張磅數」對飛行器飛行距離的影響（單位：公分）

力道	200 克的力			250 克的力			300 克的力		
	200 磅	250 磅	300 磅	200 磅	250 磅	300 磅	200 磅	250 磅	300 磅
磅數	200 磅	250 磅	300 磅	200 磅	250 磅	300 磅	200 磅	250 磅	300 磅
重量	12.1gw	15.3gw	17.9gw	12.1gw	15.3gw	17.9gw	12.1gw	15.3gw	17.9gw
1	506	431	403	592	544	550	<u>679</u>	528	543
2	523	455	406	555	495	546	682	581	560
3	490	444	416	541	563	542	<u>699</u>	<u>625</u>	<u>433</u>
4	472	475	421	560	507	558	603	556	544
5	512	434	432	559	519	470	<u>677</u>	577	<u>594</u>
6	468	422	435	574	551	538	588	<u>493</u>	572
7	539	479	427	577	553	481	<u>537</u>	550	509
8	497	417	422	615	538	525	571	613	<u>464</u>
9	478	437	414	609	557	503	568	560	525
10	462	418	441	571	524	487	<u>458</u>	537	574
平均	495	441	422	575	535	520	606	562	532

說明：藍色字體表示與平均差異在 50 公分以上的數值

【評語】 080114

這個工作討論了圓筒滑翔機研究。自製發射器控制施力與角度探討配重摺法、紙質與磅數等變因對飛行影響。整體上這個實驗進行了不同力道，不同角度以及一些幾何形狀對於飛行具的影響。整體上數字上的呈現豐富。這個工作具科學研究性，如果能在變因考量及控制比對上更加擴充，整體成果的呈現會更有完整的結論和討論。

作品海報

摘要

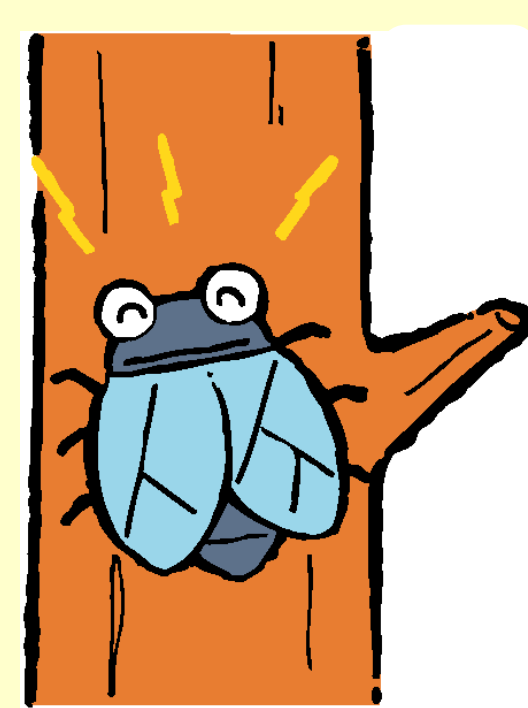
本研究主要在探討影響圓筒滑翔機飛行距離的因素。我們將影響因素分為環境、操作和本質因素等三方面：為了控制好環境因素，我們選定了室內的多功能教室作為實驗地點。此外，為了避免人為操作的差異，我們以自製的發射器作為實驗工具，以控制發射時的「力道大小」和「發射角度」。針對圓筒滑翔機的本質因素，本研究進行了「內摺次數」、「不同紙質」和「紙張磅數」等實驗。研究結果發現，用影印紙所摺出來的圓筒滑翔機，適合用 200 gw 的力道，並以10度的發射角度進行施放，飛行狀況能較穩定又遠。手邊常見的紙質中，以粉彩紙較適合用來摺圓筒滑翔機。此外，以200磅的西卡紙所摺出來的圓筒滑翔機，其飛行距離會較佳。



壹、研究動機

在上科學社團的活動中，老師給我們看一段影片，片中主角僅以一張紙就能摺出一架圓筒造型且外型像「蟬」的滑翔機，這麼特別的圓筒滑翔機讓我們感到很新奇有趣，我們也很好奇：如何能讓一張簡單的紙，摺出更具飛行力的滑翔機而翱翔於青天呢？充滿興致的我們，想要一探究竟，探索藏在圓筒滑翔機裡的秘密。

為了能控制發射圓筒滑翔機的方式，所以我們先設計一台可以控制力道大小和角度的發射器。其次，圓筒滑翔機飛行的穩定性應該和前端配重有關，到底該內摺幾次最為恰當呢？而手邊常見的紙，哪種最適合拿來做圓筒滑翔機呢？為了解開這些問題，我們決定以學習過的知識與經驗進行研究，了解藏在這種「紙蟬滑翔機」裡的奧秘。



貳、研究目的

一、研究目的

- (一) 設計發射圓筒滑翔機的裝置。
- (二) 探討「力道大小」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (三) 探討「發射角度」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (四) 探討「內摺次數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (五) 探討「不同紙質」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。
- (六) 探討「紙張磅數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響。

二、研究架構

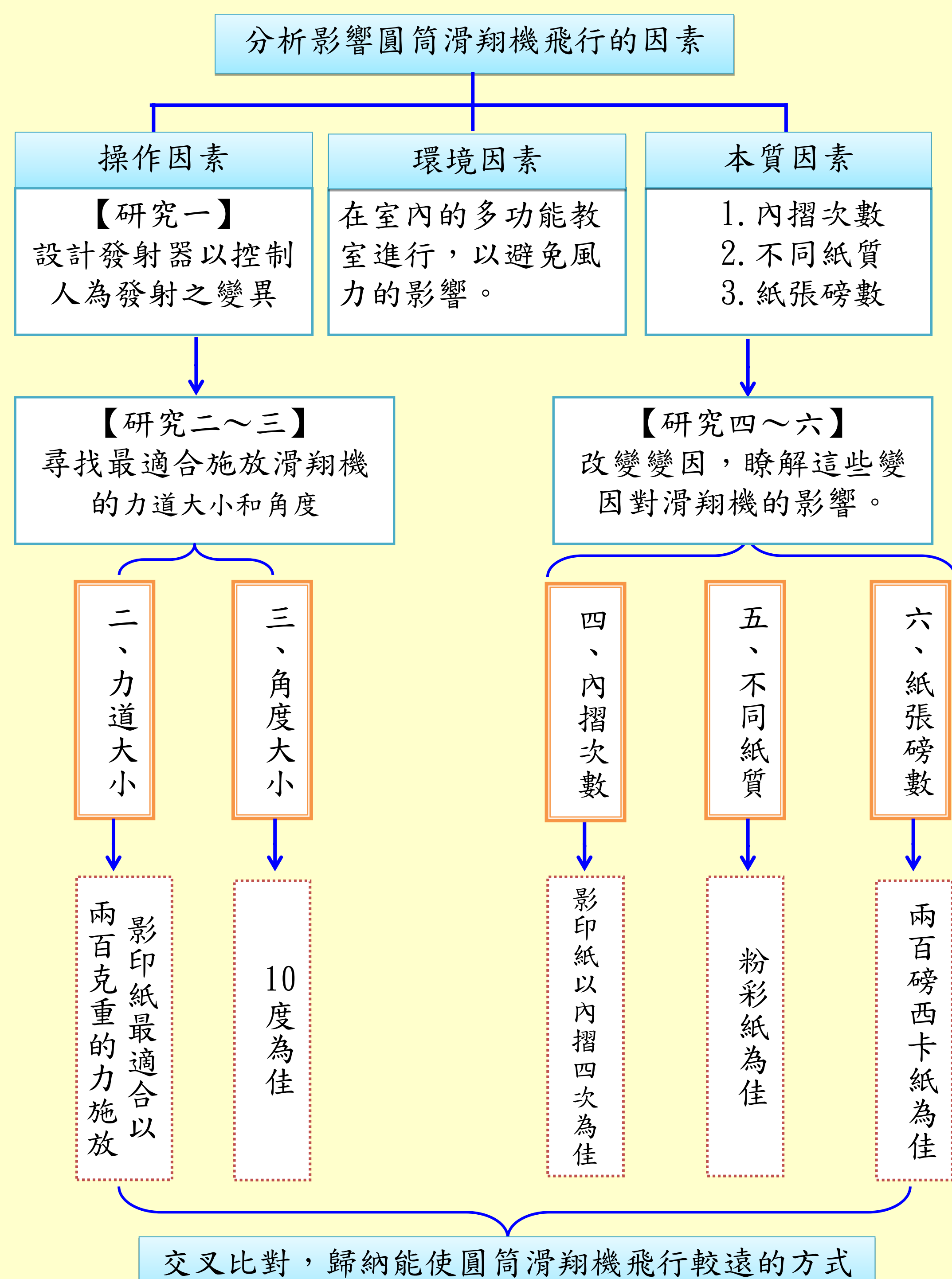


圖1：研究架構圖



參、研究設備器材

發射器材	自製圓筒滑翔機發射器、量角器、彈簧(4.3 cm長)、彈簧秤
圓筒滑翔機材料	影印紙、書面紙、粉彩紙、雲彩紙、牛皮紙、西卡紙(200磅、250磅、300磅)、釘書機、迴紋針、膠帶
記錄用具	相機、皮尺、Tracker影像軌跡追蹤軟體

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

(一)飛機飛行時的受力情形

飛機能在天空中飛行，主要是受到以下四種力的作用(參見圖2)：

- 1、**推力**：為了使飛機前進，來自引擎的推力；而紙飛機的推力，則來自人力。
- 2、**阻力**：飛機前進時，空氣與機身所產生的摩擦力，即為空氣阻力。
- 3、**重力**：機身本身所受到的地球引力，即為重力。
- 4、**升力**：飛機於前進時，在主翼上所產生的升力。

綜合以上四種力的交互作用，當飛機的推力大於阻力，且升力大於重力時，飛機即能上升且前進飛行。

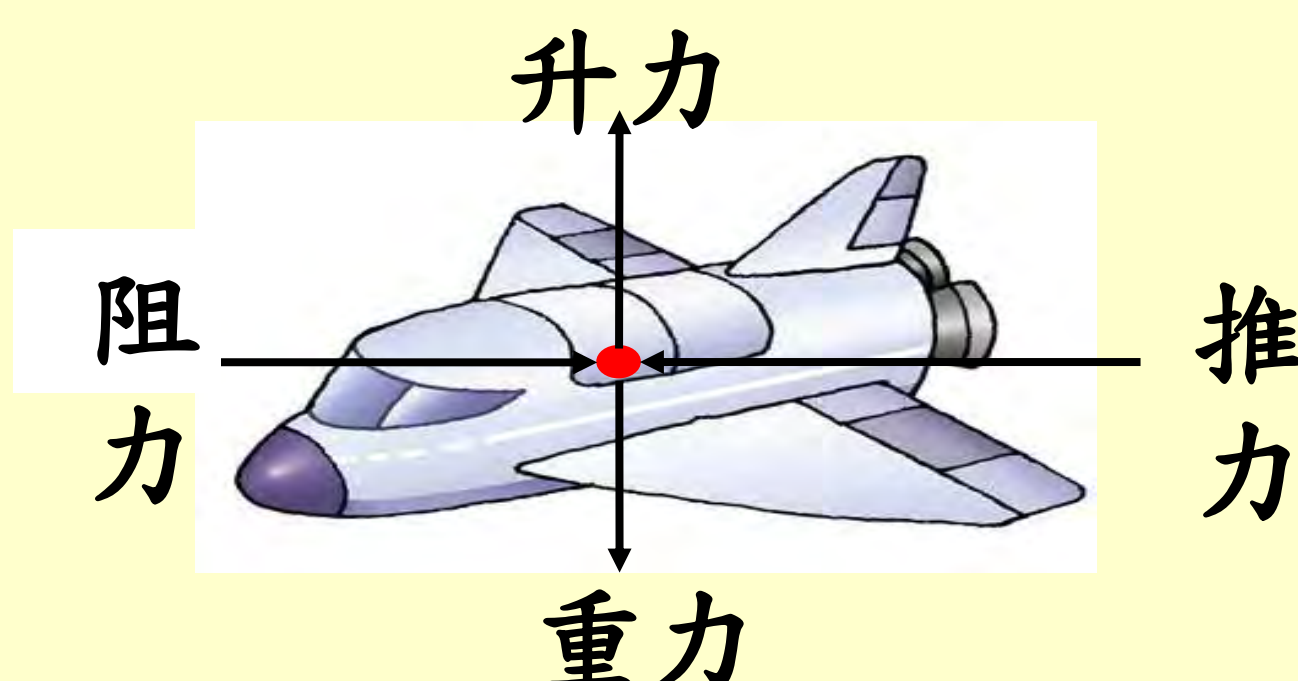


圖2：飛機受力作用解析圖

(二)飛機升力原理探討

- 1、**伯努力原理**：當飛機飛行時，機翼穿越空氣，由於上下機翼的曲面曲率不同，上面較凸，下面較平，因而造成流經機翼上下的氣流速率會有差別，經過上面的氣流速率較快，所以機翼上方的壓力較小，因而產生了升力。(參見圖3)

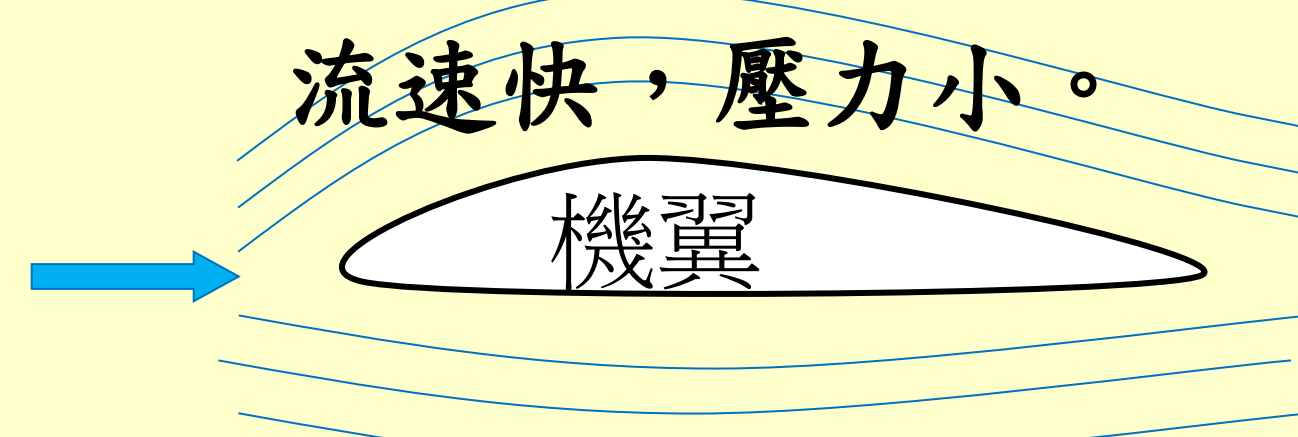


圖3：伯努力原理示意圖

- 2、**康達效應**：飛機的機翼設計除了上下面曲率不同外，機翼前沿也會稍微向上而後沿向下，與水平做成一夾角，這個夾角稱為「衝角」或「攻角」。(圖4)而流動中的物質，都會有依附接觸面的傾向，這使得上翼的空氣會沿著機翼向下流動，根據牛頓第三運動定律，向下流動的空氣給機翼一股作用力，因此機翼會給空氣一股往上的反作用力，此即為「康達效應」所造成的第二種升力來源。但若衝角過大，反而會使氣流不能再依附機翼表面流動，升力大幅下降，而阻力卻大幅上升，這就會造成「失速」的情況。

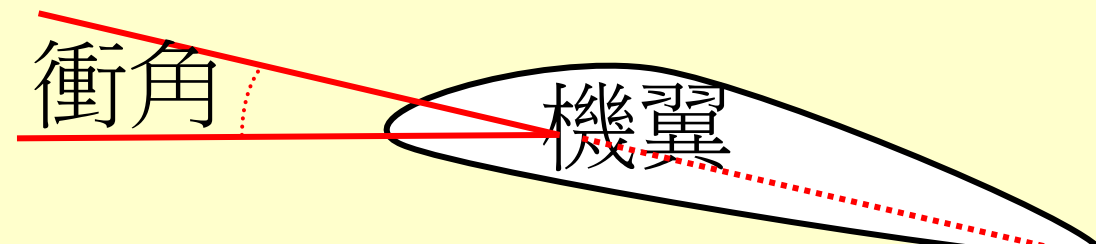


圖4：康達效應示意圖

(三)各種圓形飛行器比較

	紙環飛行器	空中騎士	圓筒滑翔機
相同處	1. 皆有中空圓形的外型。 2. 皆是藉由外界的推力飛行（手的推力或發射器的彈力）。		
相異處	外型	1. 有兩個圓環。 2. 無尾翼造型。	1. 僅一個圓環。 2. 尾翼波浪狀。
	飛行方式	直線前進後滑翔下降，並不旋轉飛行。	直線前進後滑翔下降，且邊旋轉飛行。
	應用原理	環狀飛行翼提供下降阻力，因而延長滯空時間。	1. 陀螺效應 2. 機翼升力的現象

二、研究過程

(一)設計發射圓筒滑翔機的裝置

我們以剖半的水管作為軌道，好固定圓筒滑翔機的機身。接著，我們以彈簧作為發射時的彈力來源，並用鐵棒控制發射時的角度。（如圖5）最後，我們在圓筒滑翔機上別了迴紋針，用以扣住發射器的彈簧。（如圖6）



圖5：圓筒滑翔機發射器

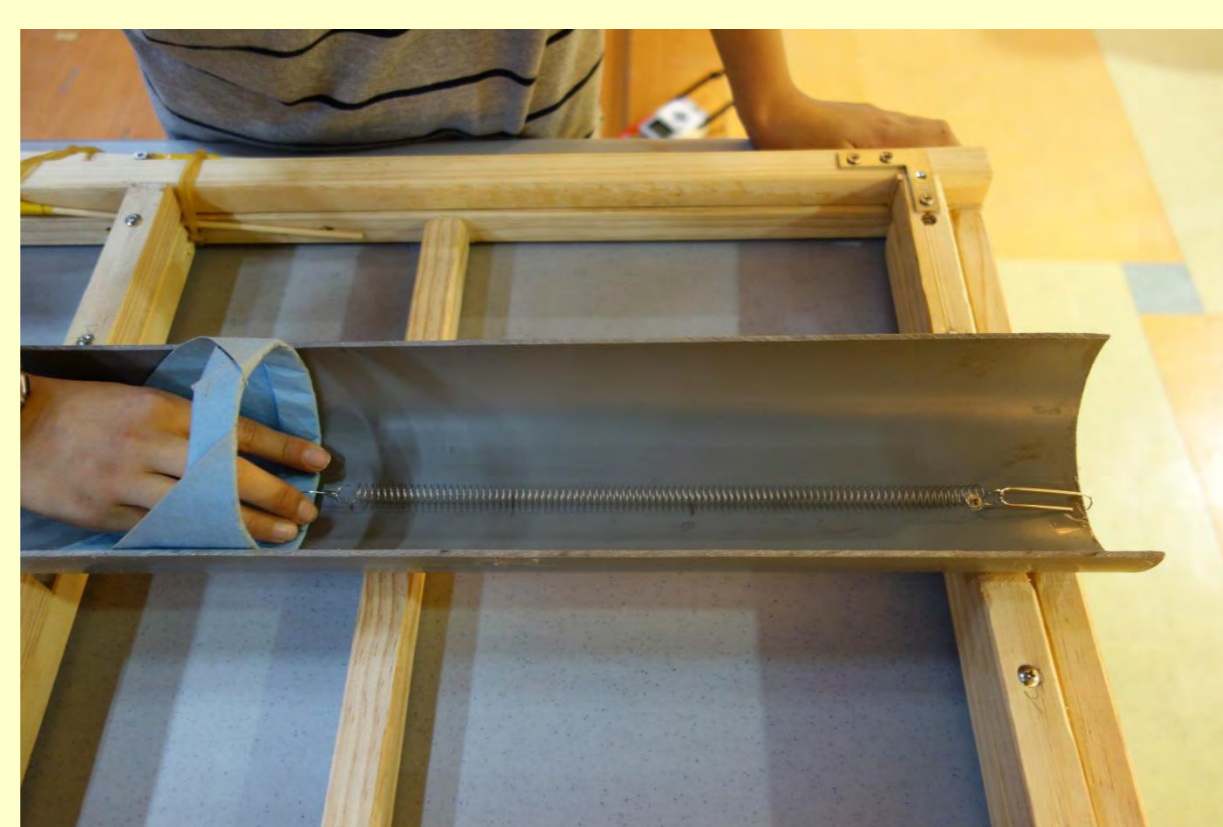


圖6：圓筒滑翔機固定方式

(二)圓筒滑翔機實驗流程

為了避免摺圓筒滑翔機的技巧影響結果，所以在實驗前，每人先摺兩架圓筒滑翔機，篩選後再進行初始測試，之後選兩到三架圓筒滑翔機列入實驗紀錄，且去除極端值後，才求取平均數。

(三)軌跡分析：Tracker影像軌跡追蹤軟體分析

為了瞭解「角度大小」和「內摺次數」等變因對圓筒滑翔機飛行路徑的影響，在此兩項研究目的中，會另外以Tracker影像軌跡追蹤軟體分析直線飛行的軌跡，再將圓筒滑翔機的軌跡數據輸入excel，以比較其間的差異。

伍、研究結果

一、探討「力道大小」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一)實驗控制

為了了解哪種力道大小最適合進行圓筒滑翔機的實驗？我們的實驗控制如下：

操縱變因：施放力道有：100gw、150gw、200gw、250gw

控制變因：紙質皆為影印紙、同一架圓筒滑翔機、發射角度皆為0度、機頭皆內摺三次、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二)實驗結果

實驗後的統計結果如下：

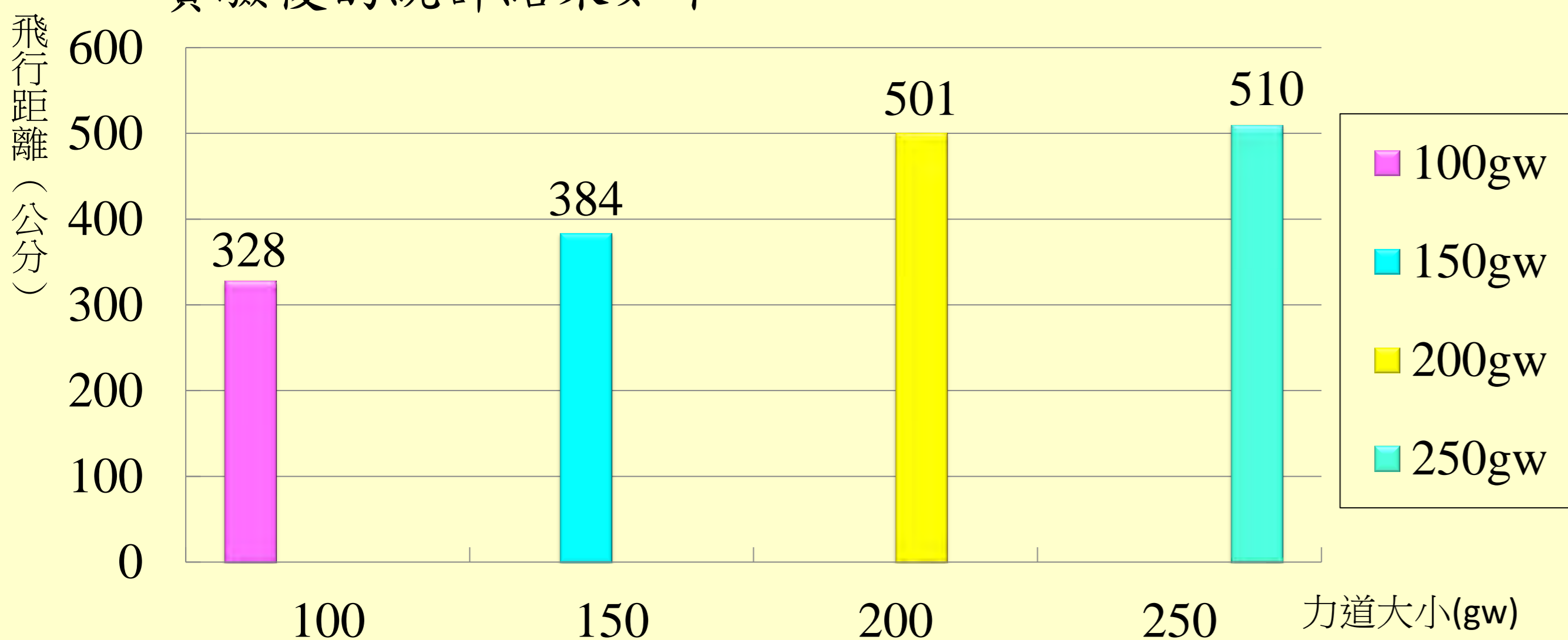


圖7：力道大小與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

(三)討論

- 飛行距離比較：250 gw > 200 gw > 150 gw > 100 gw。
- 由實驗結果可知，250 gw的力道可讓圓筒滑翔機飛行得最遠，但參照原始數據可發現，在力道200 gw之前（含200 gw），圓筒滑翔機的飛行方向多為前方，但使用250 gw的力道時，十次結果有五次是屬於轉彎的狀況，可見較適合讓影印紙做成的圓筒滑翔機穩定飛行的力道是200 gw，所以接下來我們決定以200 gw的力為基準來繼續完成實驗。

二、探討「發射角度」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一)實驗控制

為了了解哪種發射角度最適合進行圓筒滑翔機的實驗？我們的實驗控制如下：

操縱變因：發射角度有：0度、10度、20度、30度

控制變因：紙質皆為影印紙、同一架圓筒滑翔機、力道大小皆為200gw、機頭皆內摺三次、相同的操作者、皆在多功能教室施放。

(二)實驗結果

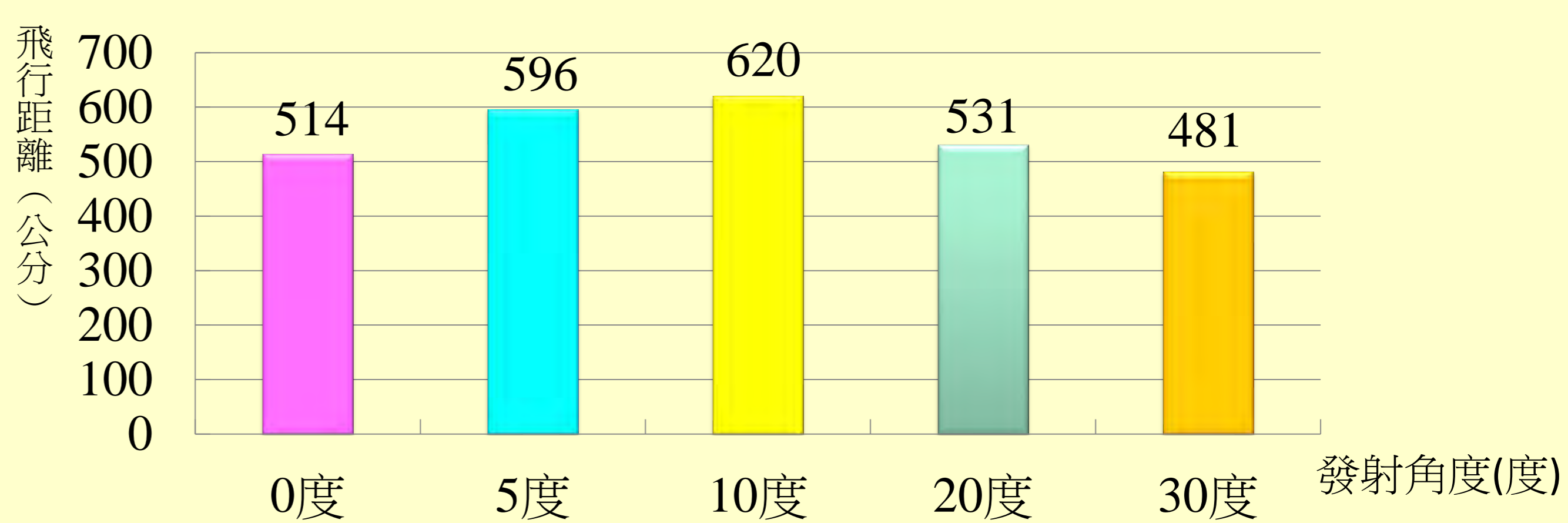


圖8：發射角度與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

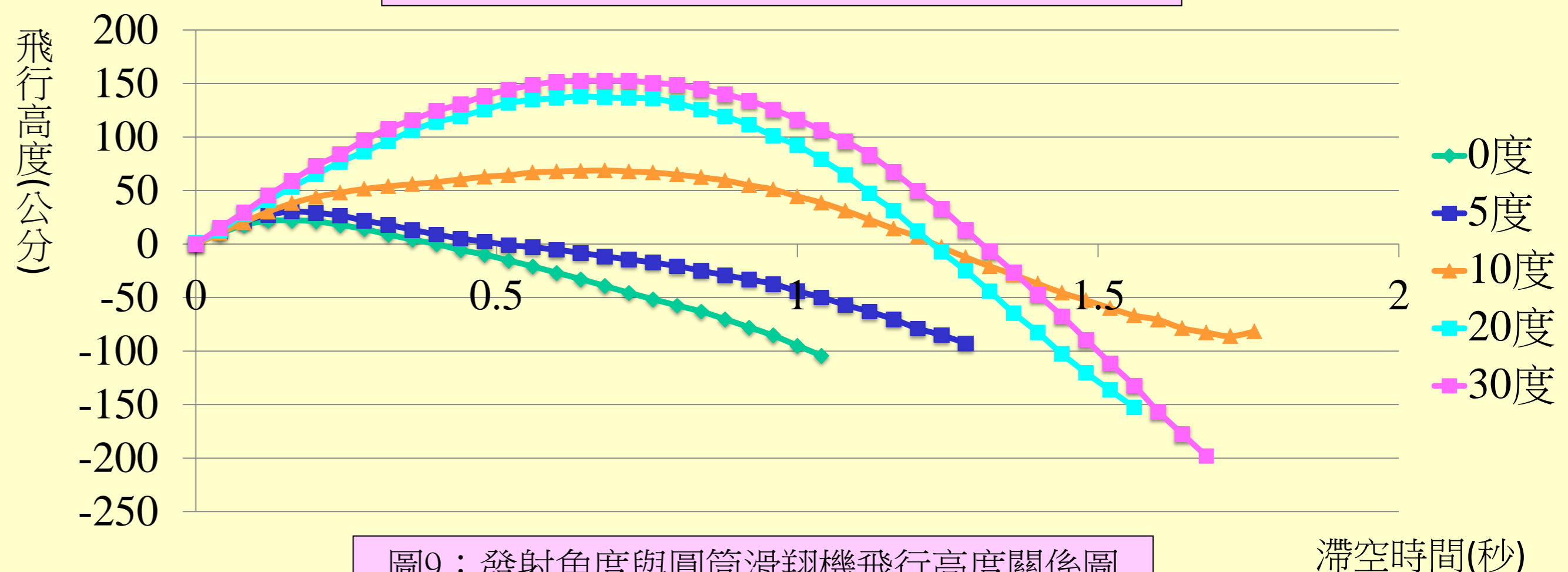


圖9：發射角度與圓筒滑翔機飛行高度關係圖

(三)討論

- 飛行距離比較：10度 > 5度 > 20度 > 0度 > 30度。
- 當發射角度為30度時，轉彎次數為最多；其次是20度的發射角；而10度有1次轉彎，其餘發射角度皆未轉彎。
- 發射角度越小其滯空時間越短，但10度的滯空時間最長，超過10度後其滯空時間又變短。此外，發射角度越大，圓筒滑翔機的飛行高度則越大。
- 分析飛行路徑有「先上揚再往下滑翔」的趨勢，但在30度時，反而造成圓筒滑翔機上揚的高度過大而無法飛得較遠，推論是由於康達效應中，若因衝角過大，反而會使氣流不能再依附機翼表面流動，而造成「失速」的情況，所以飛行距離反而較近。
- 綜合以上結果，由於10度的平均飛行距離最遠、飛行方向較不易轉彎，且滯空時間較久，所以接下來我們決定以10度為發射角度來繼續完成實驗。

三、探討「內摺次數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一)實驗控制

操縱變因：0摺、1摺、2摺、3摺、4摺

控制變因：紙質皆為影印紙、力道大小皆為200gw、發射角度皆為10度、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二)實驗結果

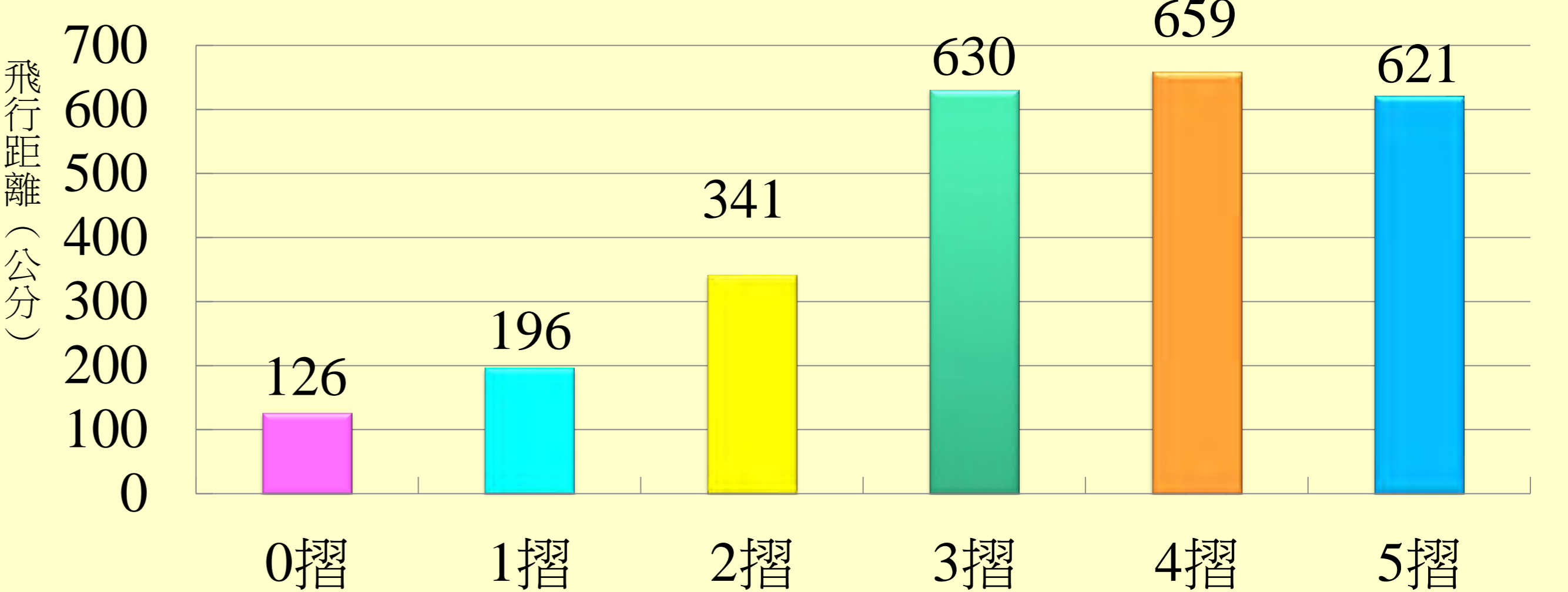


圖10：內摺次數與圓筒滑翔機飛行距離關係圖

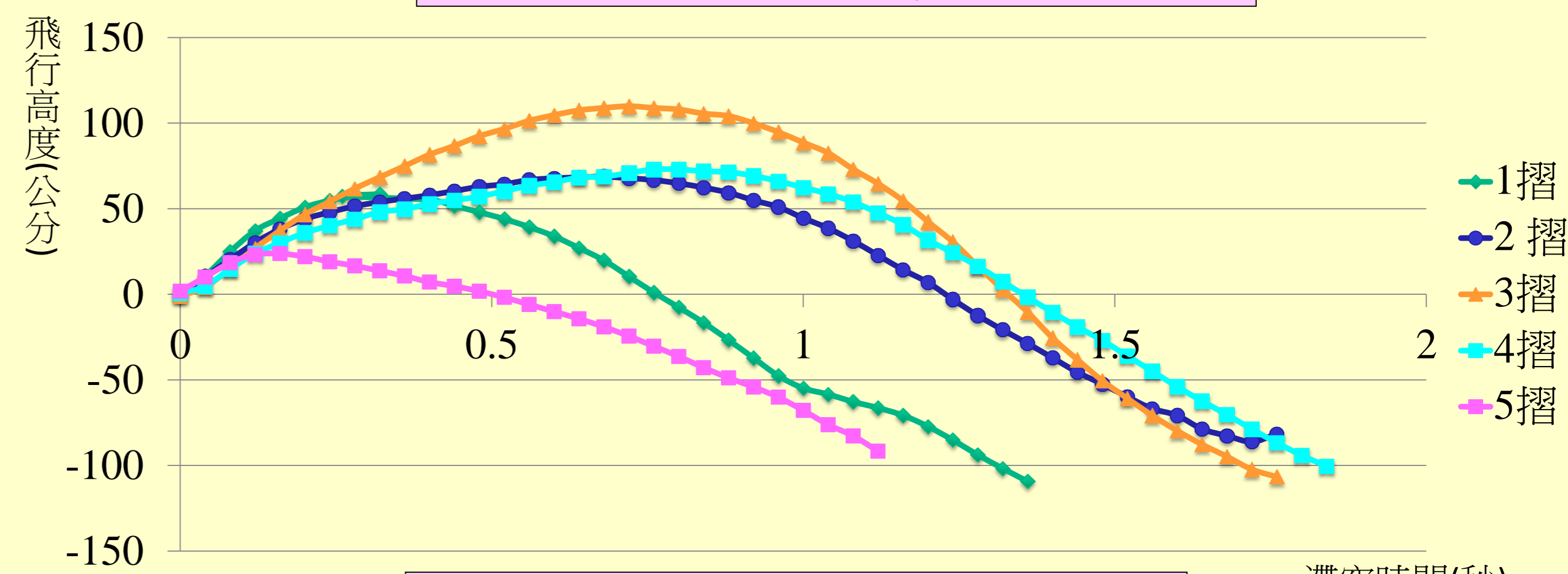


圖11：內摺次數與圓筒滑翔機飛行高度關係圖

為了瞭解前端配重影響飛行的狀況，因此進一步將1摺和2摺的圓筒滑翔機加上迴紋針進行實驗，如下表所示：

外加迴紋針數	0	加1個	加3個	加下半部4個	加上半部4個	加7個
圖示						
內摺1摺平均距離	176	174	171	113	257	341
內摺2摺平均距離	335	336	352	99	396	490

(三) 討論

1. 飛行距離比較：4摺 > 3摺 > 5摺 > 2摺 > 1摺 > 0摺
2. 2摺、3摺和4摺的滯空時間較1摺和5摺長，而2摺、3摺和4摺的飛行高度也較1摺和5摺高。
3. 從「外加迴紋針」的實驗中有以下發現：
 - (1) 外加1個或3個迴紋針時，其飛行距離並無明顯幫助。
 - (2) 外加4個迴紋針在下半部時，反而因重心在下半部，而易使圓筒滑翔機飛回發射器後方；外加4個迴紋針在上半部時，則使飛行距離有明顯的增加。
 - (3) 外加到7個迴紋針時，其飛行距離皆有明顯的增加。
4. 綜合以上結果發現：當內摺次數不足時，會造成機頭太輕而無法抵抗空氣阻力，若再別上7個迴紋針可有相當於多一次內摺的效果；而當內摺次數過多時，則因機頭較重且翅狀的機翼面積較小，也無法延長飛行距離，所以最適合影印紙所摺成的圓筒滑翔機的內摺次數為4摺。

四、探討「不同紙質」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

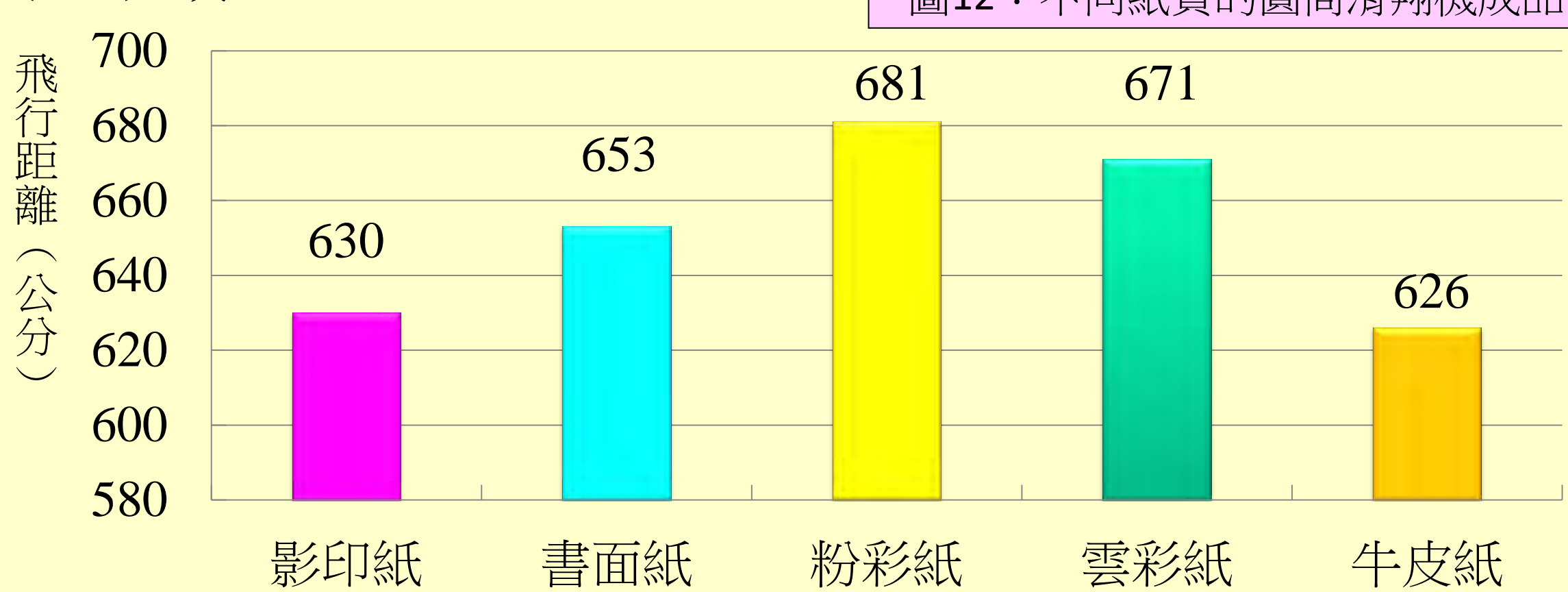
由於所選用的常見紙質（約8~9.6 gw）較影印紙（5.7 gw）重，測試過後三摺效果比四摺佳，所以本實驗統一採用內摺三次的方式進行實驗，其控制如下

(一) 實驗控制

操縱變因：影印紙、書面紙、粉彩紙、雲彩紙、牛皮紙

控制變因：力道皆為200gw、發射角度皆為10度、機頭皆內摺三摺、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二) 實驗結果



(三) 討論

1. 飛行距離比較：粉彩紙 > 雲彩紙 > 書面紙 > 影印紙 > 牛皮紙
2. 觀察結果可以發現，粉彩紙的質地較硬挺，所以飛行距離較遠，而材質與粉彩紙接近的雲彩紙效果其實也不錯。

陸、結論

一、力道大小對圓筒滑翔機飛行距離的影響

從研究結果得知，就影印紙所摺出來的圓筒滑翔機而言，以200gw的力道來施放，其平均飛行距離最遠。當所施力道超過200gw時，容易讓圓筒滑翔機飛行不穩，而有轉彎的情形發生。

二、發射角度對圓筒滑翔機飛行距離的影響

以10度為最適合的發射角度。角度過大時，反而造成圓筒滑翔機過度上揚而無法飛得較遠，推論是由於康達效應中，若因衝角過大，反而使氣流不能再依附機翼表面流動，造成阻力卻大幅上升，而有「失速」的情況。

三、內摺次數對圓筒滑翔機飛行距離的影響

在製作圓筒滑翔機時，影印紙以內摺四次的次數較為合適；但若是其他較重的紙質如：粉彩紙、雲彩紙等，則以內摺三次較為合適。若內摺次數不足，機頭太輕，無法對抗空氣阻力，所以無法順利飛行，此時可以外加一圈迴紋針來延長飛行距離；若內摺次數過多，造成機頭較重，且因翅狀的機翼面積較小，也無法延長飛行距離。

四、不同紙質對圓筒滑翔機飛行距離的影響

常見的紙質中，以粉彩紙的質地較硬挺，所以飛行距離較遠，而材質與粉彩紙接近的雲彩紙效果也不錯。

五、紙張磅數對圓筒滑翔機飛行距離的影響

200磅西卡紙的圓筒滑翔機，其所飛行的距離較遠。此外，以重量較重的西卡紙所製成的圓筒滑翔機，則以250 gw的發射力道較為適合。

六、圓筒滑翔機飛行原理探討

圓筒滑翔機飛行時會先向上揚起，再往前滑行（如圖15）的原理，可分兩方面說明：

- (一)伯努力原理：就機身上半部和下半部而言，由於通過上半部的空氣所受到的機身阻力較小，流速較快，壓力小；下半部的機翼提供了下降的阻力，流速較慢，壓力大，因而產生一股向上的升力。（如圖16）
- (二)康達效應：就機身整體而言，通過機身上面的氣流，會順著機身往下方流，因而產生一股向下的力，根據牛頓第三運動定律，機身本身也會因而產生一股向上的升力來抗衡。（如圖17）

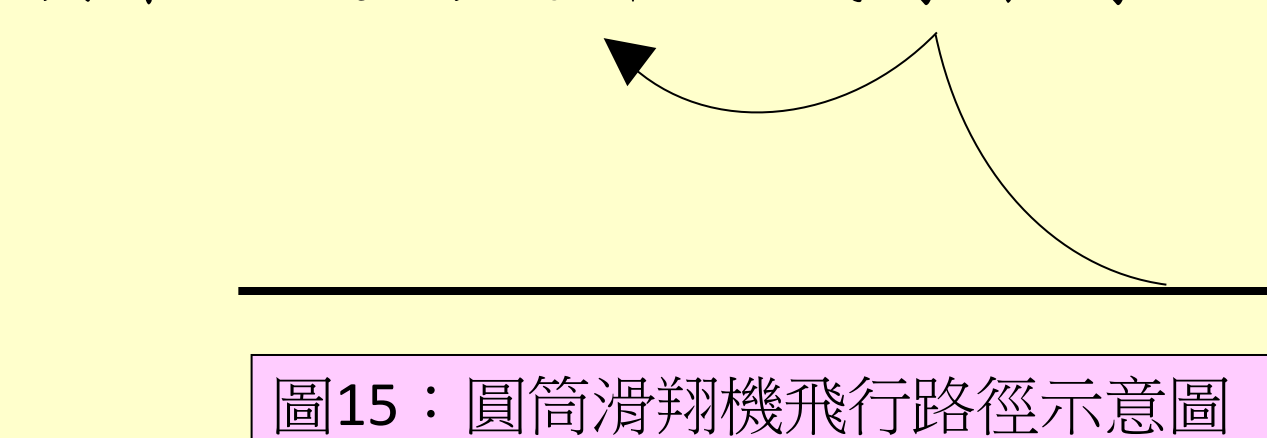


圖15：圓筒滑翔機飛行路徑示意圖

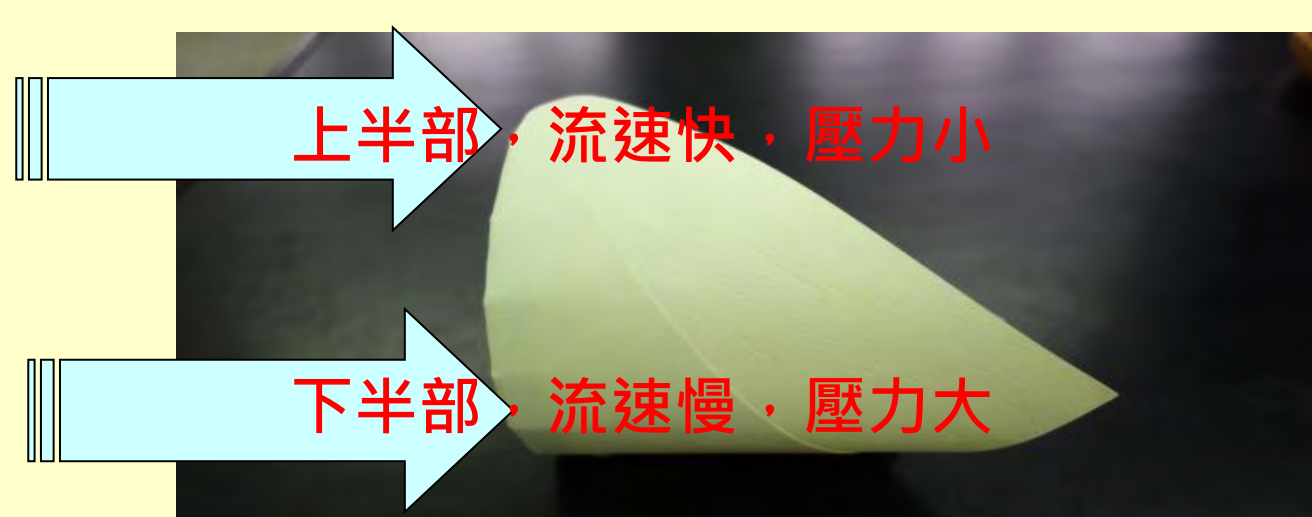


圖16：伯努力原理示意圖

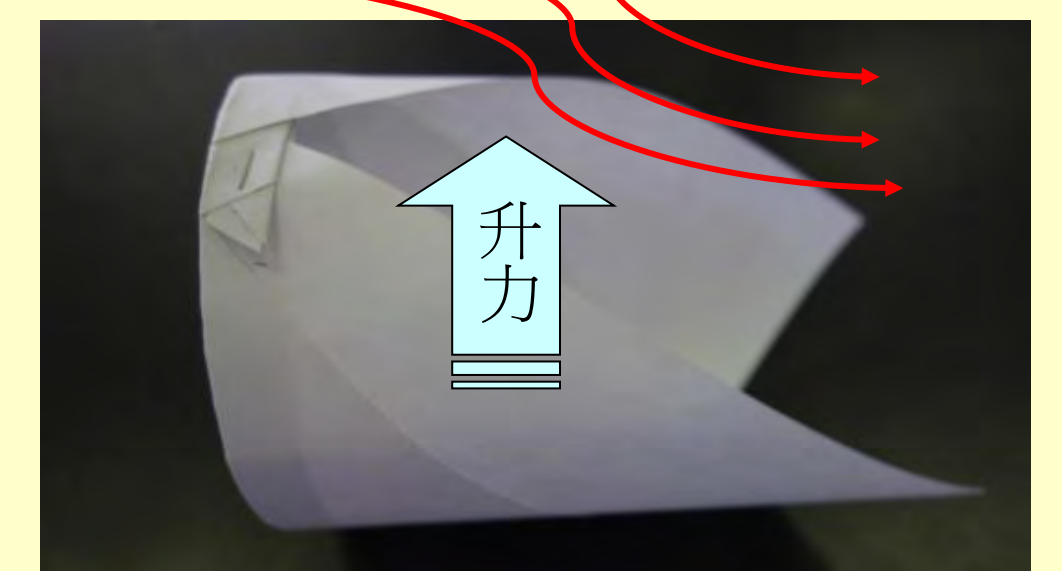
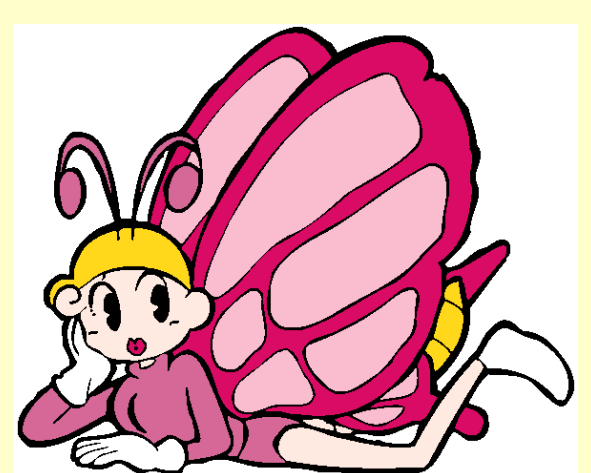


圖17：康達效應示意圖

柒、參考資料

- 一、滑翔機作法 (YouTube)。2017年5月31日，取自：<https://www.youtube.com/watch?v=GJ5607mogWA>
- 二、圓筒機摺製步驟。2017年5月31日，取自：<http://163.30.173.15/msb/dyna/data/user/characteristic/files/201404181201410.pdf>
- 三、飛機飛行原理 (香港教育城)。2017年5月31日，取自：http://www.hkedcity.net/iworld/feature/view.phtml?iworld_id=38&category=¤t_page=1&feature_id=1765&page=1
- 四、吳本韓、蘇若望 (2004年4月)。「飛行」和「紙飛機」的教學活動。亞太科學教育論壇，第五期，第一冊，文章八。2017年5月31日，取自：https://www.ied.edu.hk/apfs1t/v5_issuel/ngph/ngph2c.htm#twoc
- 五、怪怪飛行器 (NTCU科學遊戲實驗室)。2017年5月31日，取自：<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-006.html>
- 六、空中騎士 (NTCU科學遊戲實驗室)。2017年5月31日，取自：<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-021.html>
- 七、陳昱超等 (2005)。尋找紙環飛行器的黃金比例。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 八、余皓維、洪彥文 (2013)。圓走高飛。中華民國第五十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 九、黃子育等 (2016)。筒中求翼——研究飛行筒發射條件對於飛行狀態的影響並探討其飛行原理。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十、鄭禹潔等 (2016)。翻滾吧！飛輪。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十一、楊仲準 (2012/2)。生活中的物理 (下)：錄影好好玩—由影像追蹤學物理，科學研習月刊，No. 51-2。



五、探討「紙張磅數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響

(一) 實驗控制

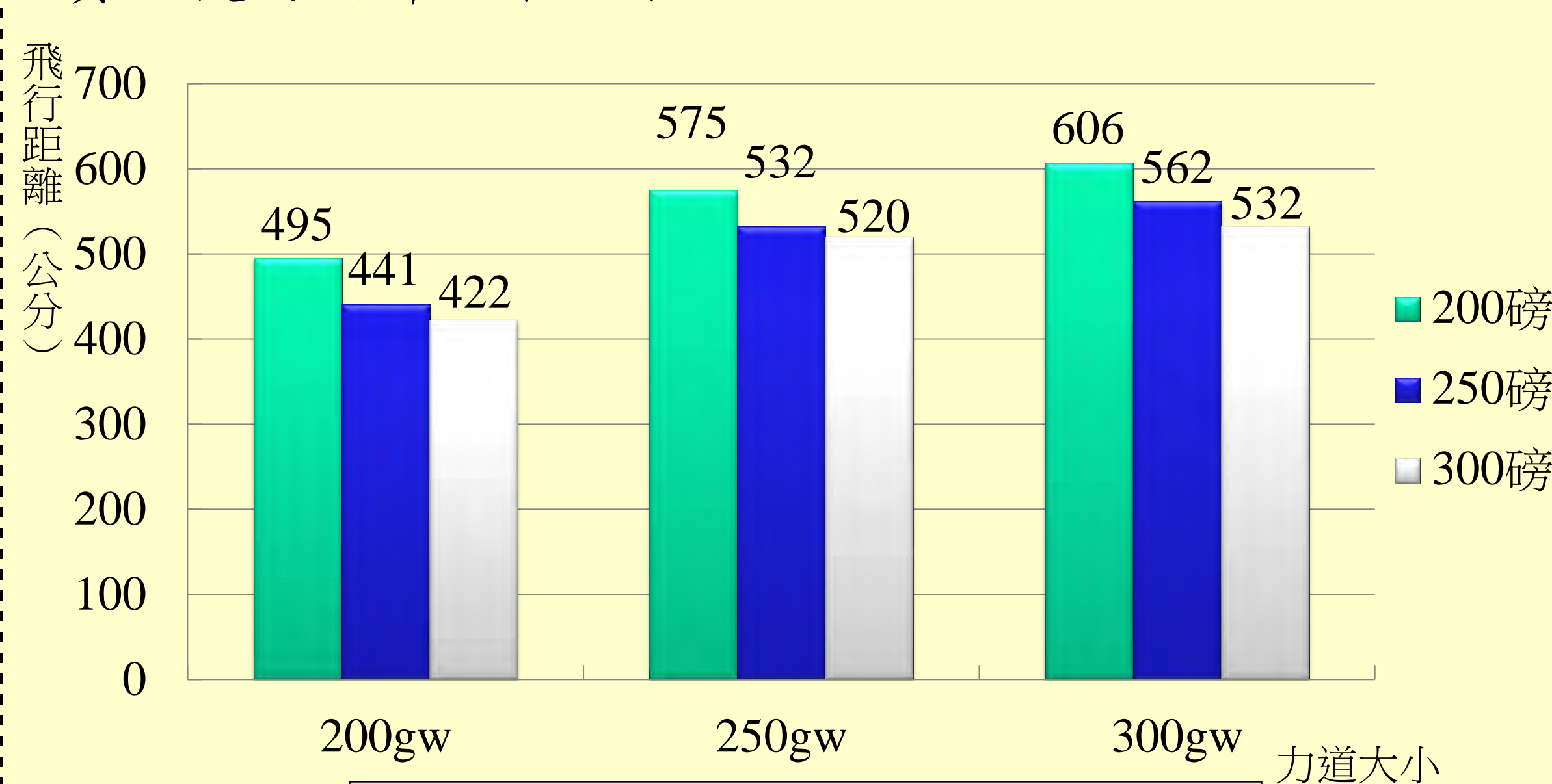
為了了解「紙張磅數」對圓筒滑翔機飛行距離的影響，本實驗的控制如下：

操縱變因：200磅、250磅、300磅西卡紙

控制變因：紙質皆為西卡紙、發射角度皆為10度、機頭皆內摺三摺、相同的操作者、施放場所皆為多功能教室。

(二) 實驗結果

實驗後的統計結果如下：



(三) 討論

1. 比較其飛行距離可以發現，無論是用 200 gw、250 gw或 300 gw的力道大小時，都是200磅西卡紙的圓筒滑翔機所飛行的距離較遠。
2. 由於西卡紙所做成的圓筒滑翔機重量皆在12 gw以上，而之前定義較適合的200 gw力是以較輕的影印紙 (5.7 gw) 所做的結果，所以在本實驗中又進一步嘗試用250 gw和300 gw的發射力道來進行測試。結果發現，西卡紙的圓筒滑翔機發射力道若越大，其飛行距離則越遠，但由於300 gw的實驗結果差異性較大，數值較不一致，因此西卡紙較建議以250 gw的力道來發射。此外，由於超過300 gw的力已經超過本實驗中所使用的彈簧的彈性限度，所以在本研究中並未進一步測試超過300 gw的結果。