

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

080103

搞什麼飛機

學校名稱：雲林縣古坑鄉東和國民小學

作者： 小五 鐘聖涵 小五 李典諭 小五 蔡承洋	指導老師： 黃豐仁 塗淑珠
---	-----------------------------

關鍵詞：滑翔機、飄落迴旋、滑降比

作品名稱：搞什麼飛機

摘要

- 一、A4紙張折成的滑翔機要能滑行得遠必需要平順的滑行，除了滑翔機的材質(質輕但堅固)及對稱等條件外、主要和重心位置、側翼、水平翼面積、發射速度及角度有關。不同的滑翔機條件，只要用對發射方法，也可以獲得良好的滑行距離。
- 二、從實驗的結果，我們獲得了如何依據滑翔機的滑行軌跡來調整滑翔機及發射方法使它能更平順的滑行，獲得較佳的滑行距離。

滑翔機射出後的軌跡	造成原因	調整方法
上翻後失速不平順	1.滑行速度太快 2.重心太後	1.減低發射速度 2.重心前移(增加前緣折疊數)
下翻	1.滑行速度太慢 2.重心太前	1.增加發射速度 2.重心後移(減少前緣折疊數)

- 三、最佳發射角度和速度要能產生適合的升力使滑翔機射出後能平順的滑翔，和重心位置有關，重心越前，發射角度和速度都有增加的趨勢(角度為向下增加)。
- 四、最佳的滑翔機為重心位置可以使機身以穩定的速度平順的滑行。

壹、研究動機

學校仿照公視電視台-遠哲科學競賽，辦了一項飛天神龍--翼手龍的比賽，是用 A4 的紙張做滑翔機，比賽射遠，規則是站在桌上後，伸長手臂達 2.5 公尺高發射飛機，飛機前端不得超過橫竿發射。我們幾位同學也參加比賽了，但成績不太理想，因此我們想要研究怎樣的滑翔機，用什麼方法發射才能使滑翔機飛得最遠，得到比賽的冠軍。

貳、研究目的

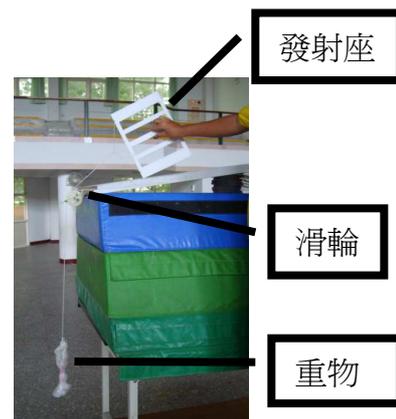
本研究的對象是以A4紙張做成的無動力滑翔機，所以本研究的目的是有：

- 一、了解A4紙張自由飄落時的運動方式(發射初速為0的滑翔機)
 - (一) 角度對飄落運動的影響
 - (二) 重心位置對飄落運動的影響
- 二、找出可以飛得最遠的滑翔機所需具備的條件
 - (一) 翼要寬 (增加下方空氣阻力)--翼面積由垂直側翼及機身前緣折疊數決定
 - (二) 機身要平、要堅固 (減少前方的空氣阻力)、重量要輕--材質
 - (三) 要平衡 (左右水平旋轉)—垂直側翼的條件
 - (四) 要平衡 (前後上下翻滾)—重心的理想位置
- 三、找出可以使滑翔機飛得最遠的發射方法
 - (一) 發射速度
 - (二) 發射角度
- 四、用上述的方法找出滑翔機滑行的最遠距離

參、研究設備及器材

器材：A4 的紙張(20.5g、9g、4.5g)、透明膠帶、磁鐵、回收的3號電池(重物)、針、細線、天平、磅秤。

設備：自製發射滑翔機裝置(如右圖)、攝影機、數位相機、碼錶。

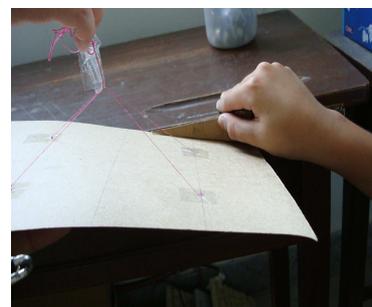


肆、研究過程

實驗一：不同角度自由落下的A4紙張的運動方式(重複做5次實驗，取其平均值)

- (一) 控制變因：以相同的A4紙張(20.5g)在2公尺的高度，重心在中心點。
- (二) 操縱變因：以不同的角度自由落下，紙張水平為0度，垂直向下為90度，每次增加15度。(將A4紙張分成4份，以4條細繩繫於其中心點，用來控制落下的角度，(如右圖))
- (三) 應變變因：觀察紙張飛行的重心軌跡、轉動情形(紙張初始運動方向前端上翻旋轉角度記為U，反向旋轉記為D，落地時與地面夾角記為F)、落下的時間、飄移距離(自由落下時的正下方至飄落停止時的距離)。

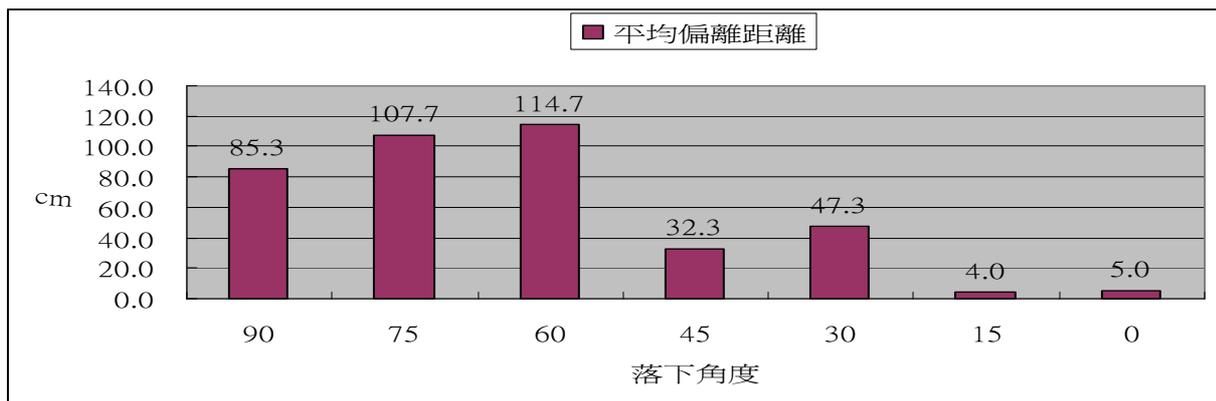
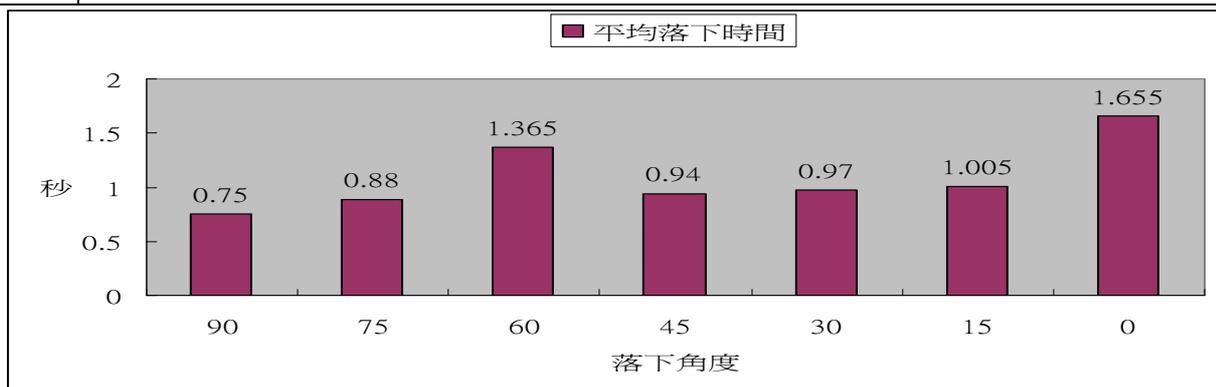
利用數位攝影機紀錄影像，再以慢動作觀察記錄運動軌跡及估計其轉動角度。



研究結果與分析：

(一)

落下角度	90	75	60	45	30	15	0
重心軌跡							
轉動	U80	U360 F75	U360 F60	U40 D220 F45	U100 D205 F45	U40 D70 U45 F0	0
說明	紙張初始運動方向前端上翻旋轉角度記為 U，反向旋轉記為 D，落地時與地面夾角記為 F，例 U80 即為上翻 80 度						



(二)紙張落下的角度越大(90度)，落下至地面的時間越短，推論其原因為落下時水平的截面積越小，所受空氣的阻力越小，因此落下的速度快；反之，當紙張水平落下時，所受空氣的阻力最大，因此落下至地面的時間最長。所以製作滑翔機時，水平的翼面積要大，要水平滑翔，延長滑翔機滯空的時間。

(三)紙張水平落下及垂直落下的前段，幾乎不產生水平位移及轉動，當紙張具角度落下時，則會呈現水平位移與轉動，且位移與轉動有相互關連。

(四)紙張具角度落下時，皆先向上轉動，之後有兩種可能，當轉動的加速够快時則持續同方向轉動，否則會反向旋轉，如此反覆下去，因而形成各種運動軌跡，有些像是轉個圈，有些

則呈之字形，有些則是這兩種的組合。

(五)平均偏離距離和運動的軌跡有密切的關係，如果沒有反向轉動的軌跡，它的偏離距離較遠；反之如果有反向轉動產生之字形運動，則偏離距離較近。

實驗二：不同重心位置自由落下的A4紙張的運動方式(重複做5次實驗，取其平均值)

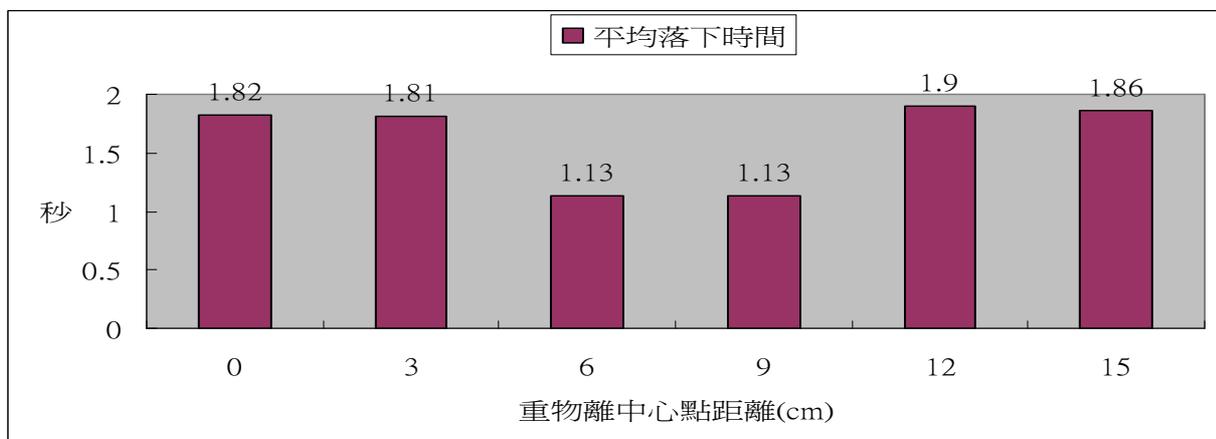
- (一) 控制變因：以相同的A4紙張在2公尺的高度，水平自由落下。
- (二) 操縱變因：以外加重物(兩個圓形磁鐵約5g)來改變重心位置，由中心(0)到一端，每次移動3公分。
- (三) 應變變因：觀察紙張飛行的重心軌跡、轉動情形(紙張運動方向前端上翻旋轉記為U，反向旋轉記為D)、落下的時間、飄移距離(自由落下時的正下方至飄落停止時的距離)。

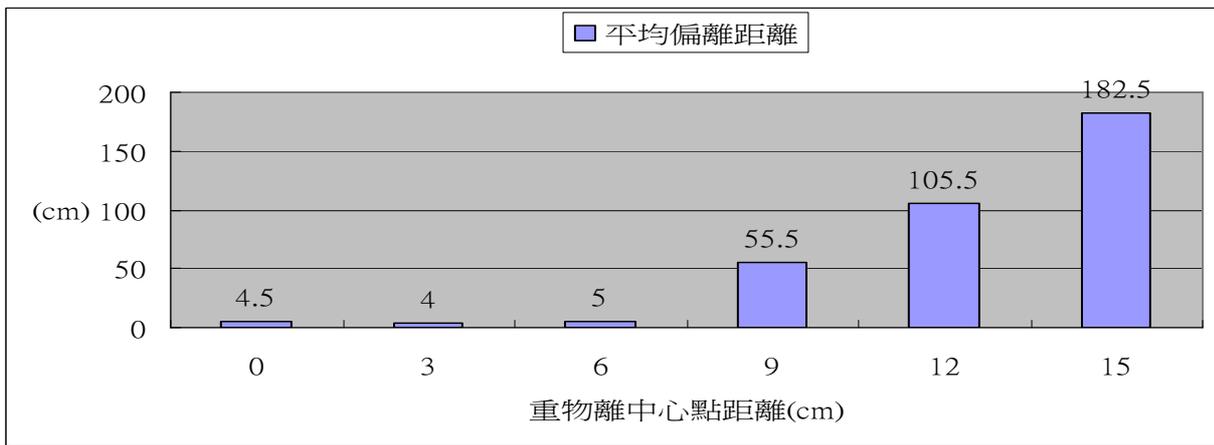


研究結果與分析：

(一)

重心位置	0	3	6	9	12	15
重心軌跡						
轉動	0	0	D5 U10 D25 U5 F15	D10 u5 f0	D20 U65 D10 F35	D30 U115 D5 F80
說明	紙張初始運動方向前端上翻旋轉角度記為U，反向旋轉記為D，落地時與地面夾角記為F，例 D5 即為下翻 5 度					





- (二)水平自由落下時，重物所在的地方會有先向下轉的趨勢，而且隨著重物向外移動，這個趨勢越強，重物會將紙張往下帶轉，當轉動角度加大時，向下滑動的速度也加快，這時紙張會向上翻轉。
- (三)落下的時間和其運動的方式有關，水平不轉動落下及偏轉後向外滑行較長的距離，其落下的時間較長。
- (四)重物越往外移時，先向下轉的角度較大，會使紙張向外滑行較長的距離，因為落下產生的速度造成紙張向上翻轉的速度較慢，因此水平折回的距離很短，使飄離的距離較長。

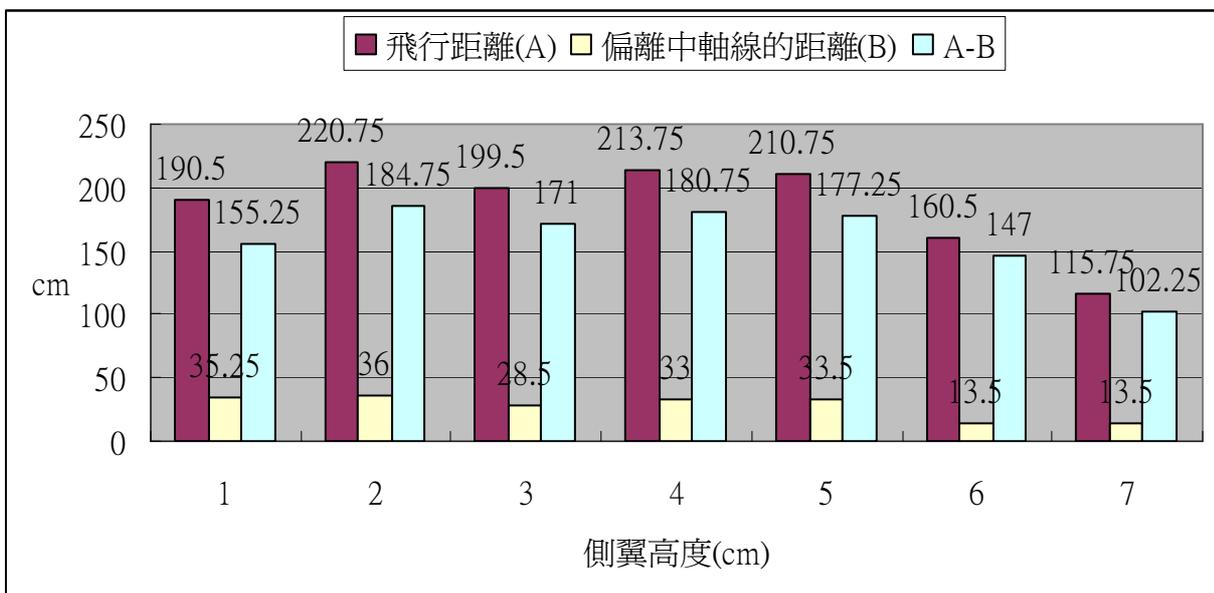
實驗三：找出最佳垂直側翼高度(滑翔機滑行距離遠，並且不水平偏轉)(重複做10次實驗，取其平均值)

- (一) 控制變因：以相同條件的滑翔機(重量9克的A4紙張，垂直側翼為4公分，重心位置：加7.5克的重物於機首，使滑翔機不向上翻轉)，在143公分的高度，以700g的重物自由落下15公分的速度，以水平角度發射。(地面標示滑行中軸線)
- (二) 操縱變因：改變垂直側翼高度，每次增加1公分(水平翼面面積減少42平方公分)。
- (三) 應變變因：記錄飛行距離、機身前緣中點偏離中軸線的距離



研究結果與分析：

(一)



(二)隨著側翼高度的增加，偏離中軸線的距離會減少，但在5公分以內不明顯。

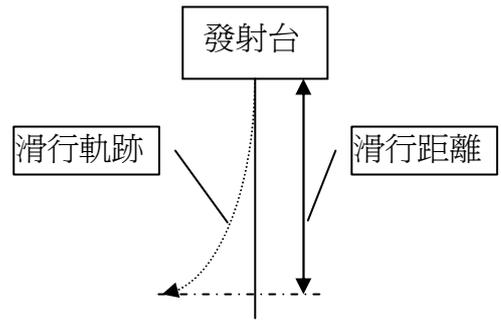
(三)隨著側翼高度的增加，滑行的距離會減少，可能原因為當水平翼面積減少時，滑翔機落下時所受的阻力也會減少，使滑翔機較快落地，滑翔機較快落地也會減少偏離中軸線的距離。

(四)偏離中軸線的情況也會影響滑行的穩定性及減短滑行距離。

(五)簡單的將兩項數據相減，得到較佳的側翼高度應為4公分。

(六)垂直側翼的高度會影響滑翔機的穩定度，垂直側翼短，則垂直側翼較穩固，不易變形，但此時水平翼面則較不穩固；反之當垂直側翼變長時，則垂直側翼較不穩固，水平翼面則較穩固，如果能兼顧兩者，則能使滑翔機較穩定的滑行。

(七)垂直側翼要盡量平直，如果不平直會使滑翔機偏離中軸線滑行，其影響有如船的方向舵，如右圖。



垂直側翼俯視圖	滑行軌跡俯視圖

實驗四：找出最佳重心位置(滑翔機滑行軌跡平順，不向上或向下偏轉、滑行距離遠)

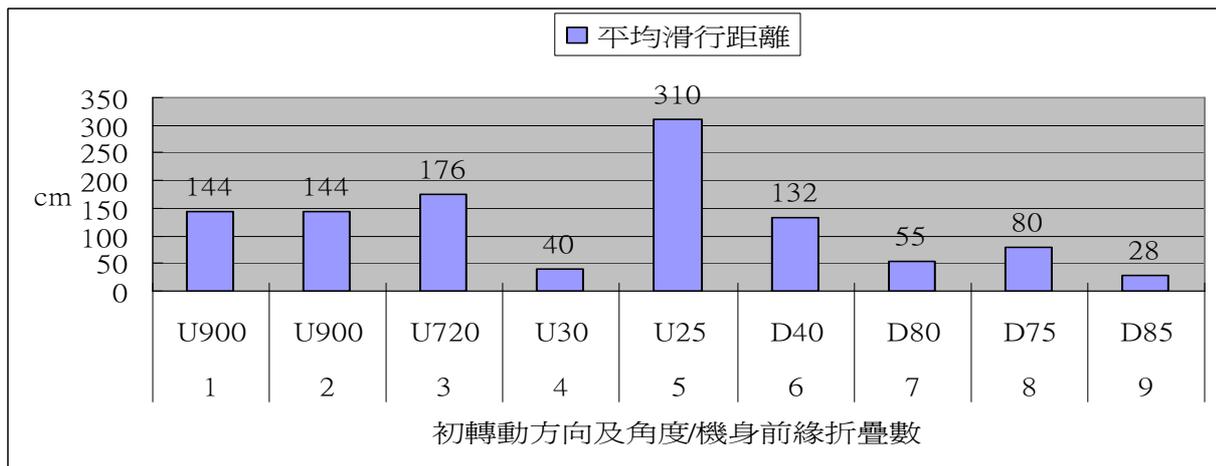
(一) 控制變因：以相同條件的滑翔機(重量9克的A4紙張，垂直側翼為4公分)，由發射裝置在143公分的高度以水平的角度，由重物700g自由落下15公分的初速射出。

(二) 操縱變因：以連續折疊機身前緣來改變重心位置，每次翻折1公分，從1折起到9折。

(三) 應變變因：觀察滑翔機滑行軌跡(只記錄平順(0)或翻轉，翻轉只記錄射出後第一個翻轉方向及角度，上翻記為U，下翻記為D)、飛行距離。

研究結果與分析：

(一)



(二)重心的位置為影響飛機飛行時的轉動，機身前緣折疊數越大，則重心越靠機首，射出時初轉動會向下翻，而且重心越前，下翻情形越強烈；反之，當重心較後、離機首較遠時(折疊數少)，射出時初動會向上翻，而且重心越後，上翻情形越強烈。

(三)由上可獲得調整滑翔機重心位置的原則：射出時初轉動向上翻，則將重心前移，反之則後移。

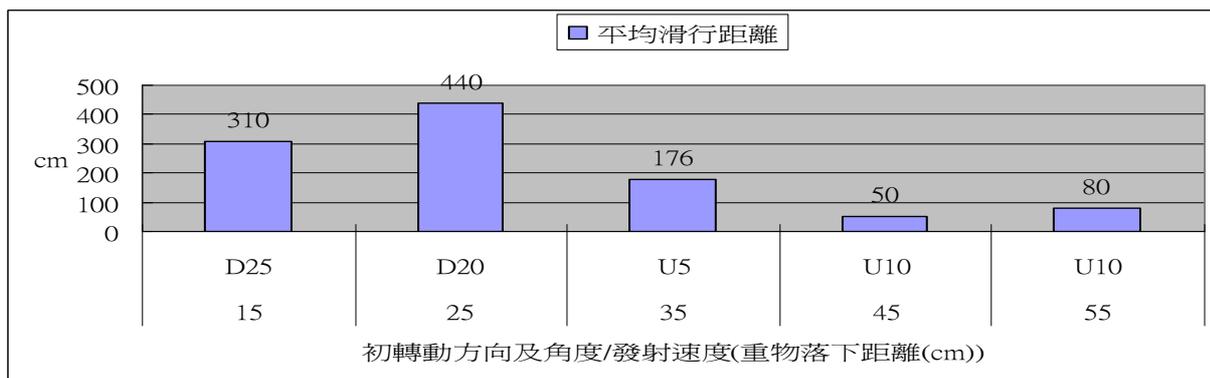
(四)當重心位置能使滑翔機平順滑行時，可以得到較遠的滑行距離。

實驗五：找出最佳發射速度

- (一) 控制變因：以相同條件的滑翔機(重量9克的A4紙張，重心位置：折疊5次，垂直側翼為4公分)，由發射裝置在143公分的高度，水平射出。
- (二) 操縱變因：改變發射速度，以700g的重物自由落下15公分的速度開始，每次增加下落加速的距離10公分到55公分。(重物落下距離(s)與發射初速(v)對照表，如附件一)
- (三) 應變變因：觀察飛機飛行軌跡(只記錄平順(0)或翻轉，翻轉只記錄射出後第一個翻轉方向及角度，上翻記為U，下翻記為D)、飛行距離。

研究結果與分析：

(一)



- (二) 增加發射速度時，初轉動會由向下翻轉漸改變為向上翻轉。
- (三) 以速度15及25射出後呈小波浪的軌跡向前平順滑行，故滑行距離較遠。
- (四) 發射速度在35以後的滑行軌跡會先向上翻，速度稍停之後有失速下墜的現象，因此滑行距離不遠。
- (五) 最佳的發射速度應為能使滑翔機平順滑行的速度，如果滑翔的速度不要忽快忽慢，配合重心位置使滑翔機不上翻或下翻的平順滑行，應可獲得最佳的滑行距離。
- (六) 由上可獲得調整發射速度的原則：初轉動上翻則減低發射速度，反之則增加。

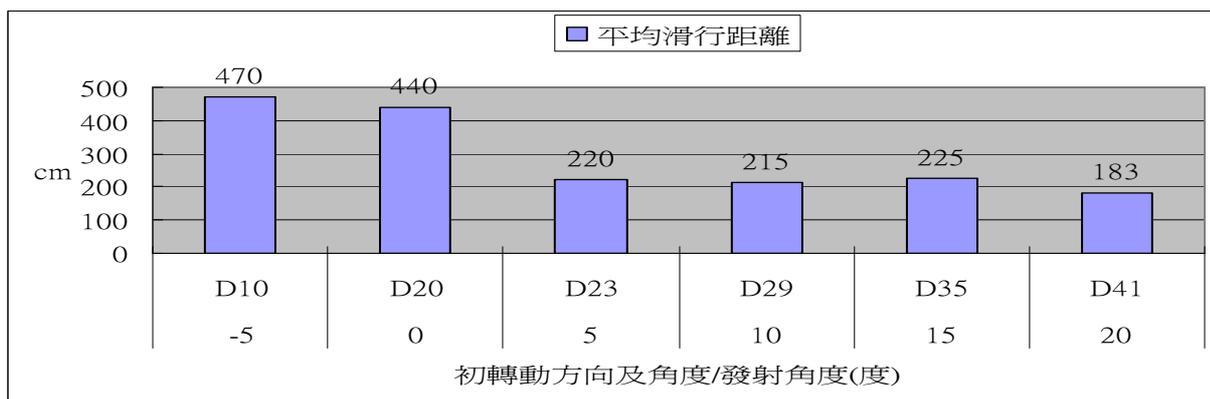
實驗六：找出最佳發射角度

- (一) 控制變因：以相同條件的滑翔機(重量9克的A4紙張，重心位置：折疊5次，垂直側翼為4公分)，由發射裝置在143公分的高度，由重物700g自由落下25公分的初速射出。
- (二) 操縱變因：改變發射角度，由-5度開始，每次增加5度到45度。
- (三) 應變變因：觀察記錄飛機飛行軌跡、機身的轉動情形、飛行距離



研究結果與分析：

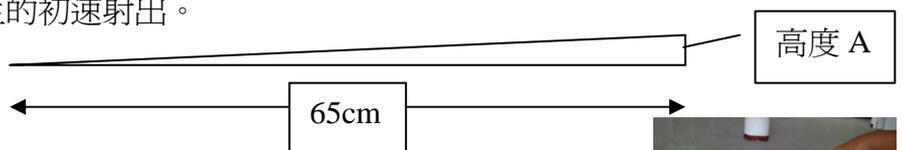
(一)



- (二)原本假設增加小角度的發射仰角，可以使滑翔機呈拋物線飛行，延長停留在空中的時間，增加飛行的距離，然而實驗結果卻不是這樣，反而是向下-5度的發射角度得到較好的滑翔距離。
- (三)向上發射時，因本項實驗的發射速度與重心位置本來就會使滑翔機下翻，而向上發射時，滑翔機向上爬升會減速，向下轉的角度也隨之增大，滑翔變得較不穩定。而向下發射時獲得較大的加速，使滑行的速度更接近平順滑行的速度，因而獲得較佳的滑翔距離。
- (四)如果滑翔機射出時有先向下墜，加速後再向上翻，表示發射的速度不够，或向下發射的角度不够，由紙張的自由落下實驗得知，紙張落下時會獲得加速使機首上翻，所以可以調整發射角度向下來獲得較大的滑翔加速，以增加滑行的穩定性。
- (五)向下發射的角度也不能太大，因為雖然能平順滑行，但會很快落地，所以滑翔距離也會因此變短。
- (六)發射速度固定時，如射出後上翻則減少向下角度(A)、射出後下墜則增加向下角度。
- (七)本實驗發射器的發射角決定滑翔機射出刹那的軌跡與攻角(氣流方向與機身的夾角)，軌跡為發射坡面的延伸，而攻角在發射座上時為零，發射後重力、空氣浮升力及阻力等的作用，會使產生攻角，攻角為滑翔機升力的來源。

實驗七：找出最佳的翼手龍滑翔距離

(一) 控制變因：以重量4.5克的A4紙張製作滑翔機，垂直側翼4公分，由發射裝置在200公分的高度，重物700g自由落下產生的初速射出。



(二) 操縱變因：

- 1.決定重心位置(機身前緣折疊數)，由1折開始到滑翔距離低於500公分。
- 2.決定速度S(加速距離)，由S10公分開始，每次增加5公分到80公分
- 3.決定角度 A(將發射板後端下方墊高以決定向下發射的角度，如上圖， $A_2=0.7\text{cm}$)，由 A_0 開始，每次增加 5，到滑翔距離明顯減少。(墊高物高度(A)與發射角度對照表，如附件二)

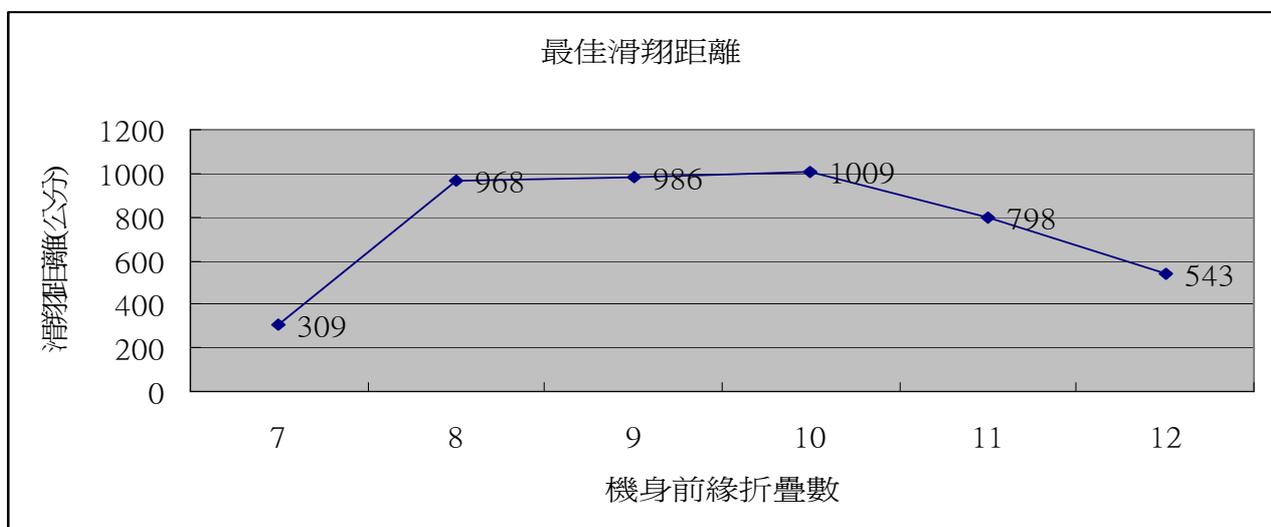


(三) 應變變因：滑翔距離 D

取發射軌跡相同，最遠的前三次，求平均值為實驗的數據

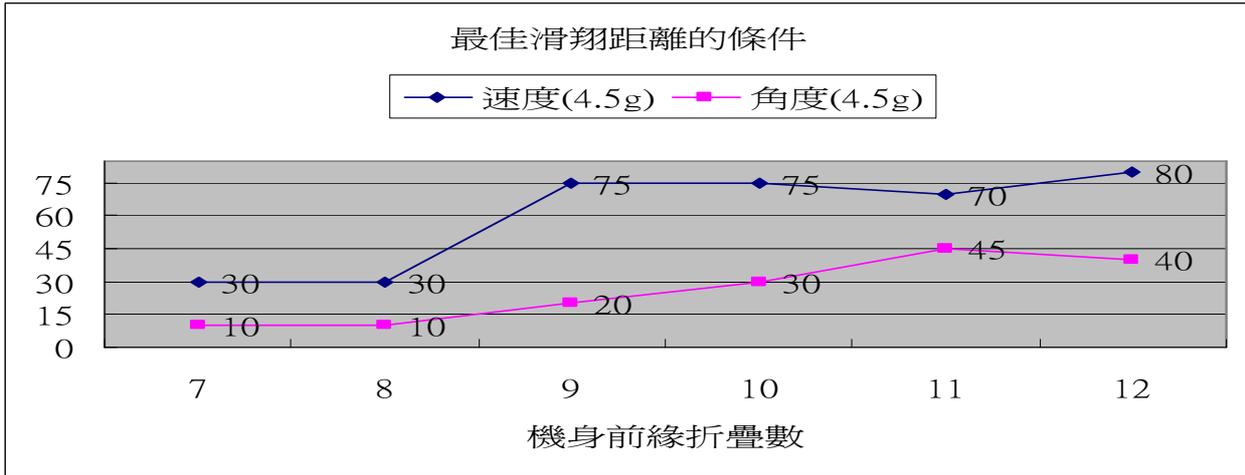
研究結果與分析：

(一)



機身前緣折疊數8、9、10都有不錯的滑翔距離，其中重心位置10折、發射速度為重物落下75公分的加速、發射角度為A30時所得的1009公分為最佳，滑降比(滑翔距離/發射高度)為5.045。

(二)



隨著滑翔機重心的前移，要得到最佳的滑翔距離，則發射的速度及向下的角度都有增加的趨勢，其原因應為當重心前移時，機首向下翻的趨勢會增大，又水平翼面積隨著機身前緣折疊數增加而減少，此時需要較大的滑行速度及攻角來產生較大的升力使滑翔機平順的滑行。

(三)

機身前緣折疊數	7	8	9	10	11	12
最佳滑翔距離滑翔軌跡	平下上翻滾	平順中有2小波折	上升後稍降然後平順	上升後後平順	上升後平順	稍上升後平順的快速下降
發射方向						

(四)重心位置越前(折數越多)，射出後越不容易上翻及產生波浪狀的滑行。

(五)原本假設最佳的發射速度為接近全程平順滑行的速度，然而在試射的過程中，當重心漸向前移，我們在射出平順後將速度再增加，發現滑翔機會上升(發射的動能轉換成位能)之後平順的滑翔(慢慢將位能轉換成前移的動能)，在重心的前轉帶引下，平順的向前滑行，因此只要上升之後，不達到失速而影響隱定滑翔就可以得到很好的滑行距離。

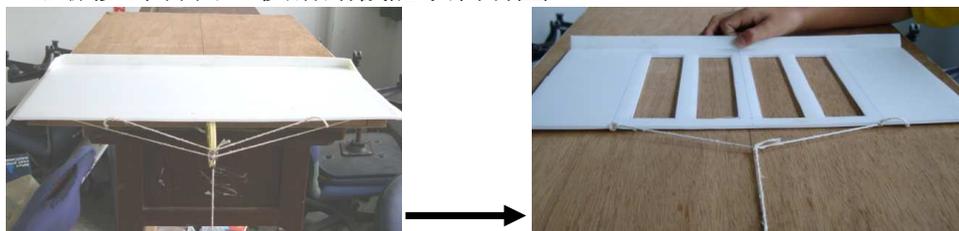
(六)原本假設最佳的發射角度為滑翔機全程平穩的滑行的角度，因為射出時如果把滑翔機加速到其平順滑行的狀態，應可使其平順滑行，然而試射時卻發現當滑翔機在發射座上加速滑行時，它的重量由發射座承受，機身的滑行方向和風向平行，沒有攻角，滑翔機不會浮升及翻轉，但是當它一射出時，在重力的作用下，攻角產生了，空氣的浮升力及阻力也產生了，所以發射角應低於平穩的滑行的角度。

伍、討論

一、進行實驗之前，我們從公視電視台-遠哲科學競賽的網頁中得知滑翔機滑行距離要遠的條件為：(一)翼要寬--翼面積由垂直側翼及機身前緣折疊數決定；(二)機身要平、要堅固、重量要輕--由材質決定；(三)要平衡--由垂直側翼的高度及重心的位置決定，於是我們將側翼高度及重心位置列為研究的對象。

二、我們選用了三種紙來做實驗，做自由飄落實驗時，選用最堅固的紙(20.5g，希望紙張不要在飄落的過程中變形，增加變數。做找出最佳條件的滑翔機及最佳發射方法時，則不能用太重的紙張，太重不易滑行，太輕也是較不穩定，所以用選用了9g的紙張。至於找出最佳滑行距離的實驗時，則選用了4.5g的紙張。

- 三、有了一台良好的滑翔機還要將它發射出去才行，發射的技巧應該也是影響滑行距離的重要因素，於是我們將發射的速度、角度也列為研究對象。
- 四、要進行發射技巧的實驗時，我們思考如何用較科學的方式來取代以手發射，參考前人的做法是以橡皮筋製作發射裝置來發射有堅固機身的飛機，無法直接用來發射紙滑翔機，於是我們改以自由落下的重物作為較穩定的發射力源，使之帶動發射座來發射紙滑翔機。
- 五、發射座原為一面塑膠瓦楞板，將滑翔機置於其上發射時，摩擦力很大，所以我們將瓦楞板鏤空，以減少摩擦力，使滑翔機能順利射出。



- 六、我們的發射器在加速距離80公分以上時，就會不穩定，這是我們需要再研究改進的。
- 七、以橡皮筋製作發射裝置來發射其加速度時間很短，用自由落下的重物來發射則相對加速較緩和，這兩種發射方式會對滑翔機的滑行造成什麼影響呢？我們很想知道，但以我們目前實驗的精確度，要來探討這個問題是有困難的，有待以後想到好方法的時候再來研究了。
- 八、在進行發射速度的實驗時，我們發現機身前緣折越多折，機翼面積越來越小，雖然滑行的能力小，但前進時所受的阻力及干擾也變少，所以發射速度越快，滑翔機也會射得更遠，但非靠本身的滑行能力，像是射紙飛鏢一樣，主要是依賴外力的推進，這部份不是本實驗所要探討的重點。
- 九、雖然我們已盡力減少影響實驗結果的因素、如使用自製發射裝置取代手射，在無風的環境下操作實驗，相同的操作盡量一樣，但在試射滑翔機時，仍有許多的誤差。相同的滑翔機，以相同的發射方式，它的滑行的狀態還是會有不小的差異，於是我們只能增加實驗的次數，然後以落點最接近，最遠的三次，取平均值來得到實驗的結果。
- 十、從紙張的自由落下中發現，紙張由高處落下，落下的距離越大，速度越快，從能量的角度來看，紙張從高處落下是把位能轉換成動能；平順的滑行也就是不浪費能量的滑行方式，把發射對滑翔機所做的功及高度的位能能不浪費的轉換成橫向的動能，就可以得到最遠的滑行距離。

陸、結論

- 一、A4紙張折成的滑翔機要能滑行得遠必需要平順的滑行，除了滑翔機的材質(質輕但堅固)及對稱等條件外、主要和重心位置、側翼、水平翼面積、發射速度及角度有關。不同的滑翔機條件，只要用對發射方法，也可以獲得良好的滑行距離。
- 二、從實驗的結果，我們獲得了如何依據滑翔機的滑行軌跡來調整滑翔機及發射方法使它能更平順的滑行，獲得較佳的滑行距離。

滑翔機射出後的軌跡	造成原因	調整方法
上翻後失速不平順	1. 滑行速度太快 2. 重心太後	1. 減低發射速度 2. 重心前移(增加前緣折疊數)
下翻	1. 滑行速度太慢 2. 重心太前	1. 增加發射速度 2. 重心後移(減少前緣折疊數)

- 三、最佳發射角度要能產生適合的升力使滑翔機射出後能平順的滑翔，和重心位置有關，重心越前，發射角度有向下增加的趨勢。
- 四、最佳的發射速度和重心位置有關，重心越前所需的發射速度越大；相同的重心位置，只

要射出後能平順的滑行，就可以得到很好的滑翔距離。

五、最佳的滑翔機為重心位置可以使機身以穩定的速度平順的滑行。

柒、參考資料及其他

一、公視電視台-遠哲科學競賽 <http://www.pts.org.tw/~web02/science2/p3.htm>

二、鄭詠馨、鄭楷諭、洪子芹、簡子翔。翼手龍的飛舞。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科(編號：080121)。

三、莊絜閔、王格、李國豪、陳怡芊。凡飛過必留下玄機-珍珠板飛機的飛行奧秘。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書，國中組物理科(編號：031608)。

四、蕭舜鴻、吳冠賢、林坤霈。談紙神功-紙飛機的滑翔研究。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書。國中組理化科 (編號：031616)

附件一

重物落下距離(s)與發射初速($v=\sqrt{2gs}$, $g=9.8\text{m/sec}^2$)對照表(理論值)

s:重物落下距離(cm)	v:發射初速(m/sec)	s:重物落下距離(cm)	v:發射初速(m/sec)
10	1.4	50	3.1
15	1.7	55	3.3
20	2.0	60	3.4
25	2.2	65	3.6
30	2.4	70	3.7
35	2.6	75	3.8
40	2.8	80	4.0

附件二

墊高物數量(A)與發射角($\theta = \text{SIN}^{-1}(A*0.35/65)$)對照表

A(墊高物數量)	θ	A(墊高物數量)	θ
0	0.0	30	9.3
5	1.5	35	10.9
10	3.1	40	12.4
15	4.6	45	14.0
20	6.2	50	15.6
25	7.7	55	17.2

【評語】 080103

- 1.透過實驗器材設計探究飛機飛行原理，建議增加實驗數據的收集與控制。
- 2.作品說明書應改進。
- 3.傳達能力可以再加強些。
- 4.圖表展示可以再加強些。