

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

佳作

080804

我的飛機會轉彎～紙飛機迴旋飛行之探究～

學校名稱：雲林縣斗六市斗六國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳柏諺	吳建鋒
小六 黃亮豪	李育城
小六 陳連達	
小六 蘇齊扶	
小六 陳祐瑱	
小六 鍾婷軒	

關鍵詞：紙飛機、迴旋飛行

紙飛機之迴旋飛行

摘要

本研究主要探討紙飛機在投射時，改變其結構時，對飛機迴旋的影響。包括：一、機翼與地面的角度。二、機翼面積、紙質、重心。三、升降翼的厚度、角度大小。四、翼尖帆的厚度、角度大小。希望能從過程中瞭解這些因素對紙飛機迴旋飛行在迴旋半徑以及成功率的影響及關係。

壹、研究動機

在進行社團活動時（紙飛機研究社），老師播放一段有關紙飛機的影片，影片中紙飛機擲出後，神奇地繞了一圈又飛回擲出者手中，令許多同學驚異不已。雖然大家都會摺紙飛機，卻沒人能夠如此神乎其技地讓紙飛機飛回來。因此，老師集合了六位想要探究紙飛機如何迴旋飛行的同學，進行相關實驗，以發現影響紙飛機迴旋飛行的可能因素。

貳、研究問題

根據研究動機，老師與同學共同討論可能影響紙飛機迴旋飛行（能飛回投擲者手中）的因素後，提出以下幾個研究問題：

- 一、飛機結構對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 二、投射時，機翼與地面的角度對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 三、機翼面積對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 四、不同材質的紙所摺出的紙飛機對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 五、改變紙飛機的重心位置對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 六、改變機翼尾端之升降翼大小對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 七、改變機翼尾端之升降翼角度對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 八、改變翼尖帆之大小對紙飛機的迴旋飛行有何影響？
- 九、改變翼尖帆之角度對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

參、紙飛機迴轉飛行相關之科學原理

一、紙飛機各部構造之功能

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



圖 3-1：飛機各部構造名稱示意圖

- 1.機首：主要影響重心的配重。
- 2.機身：真的飛機機身主要功用在於裝載乘員及物品等，而紙飛機的機身是實際飛機的簡化形狀，不完全立體，主要在方便「擲射」。
- 3.機翼：是飛機主要承載重量，產生升力的地方。
- 4.升降翼：幾乎是紙飛機「升降」及「方向」調整、修正的靈魂，是用到最多的結構。
- 5.翼尖帆：又可稱做翼尖小翼、翼端帆，可提高升力，減少阻力，以穩定飛行

二、紙飛機迴旋飛行之力學原理

紙飛機在飛行的過程中至少受到四種力的作用。此外，爲了使飛機產生迴旋的作用，亦需提供紙飛機迴旋飛行所需的向心力。以下將分別進行相關力學的原理探討(卓志賢, 2003)。

(一) 重力

重力除了會將紙飛機往下拉外，它也是紙飛機飛行時的動力來源之一。

(二) 空氣阻力

空氣阻力是指飛機前進時，空氣對飛機所施之力；它是空氣對機身的阻力及摩擦力。爲增進飛行效率，飛機在設計上應儘量接近流線型，以減少不必要阻力的產生。但阻力也不全然都是負面的，像飛機要減速(升起機翼上的擾流板)、提供升力、穩定機身等亦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，爲了使紙飛機前進，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，而是藉著開始投擲紙飛機時，瞬間施於紙飛機上的推力就可以飛行了。因此它亦是使紙飛機飛行的動力來源之一。

(四) 升力--白努力定律

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

若在同一平面上，位能（ mgh ）相等，則若液體流速減少時，壓力便會增加。因爲壓力大小的不同，所以會產生作用力並發生許多現象，如變化球的球路會彎曲，簡單來說就是因爲球在經過空氣時所遭受的作用力不均衡而造成的結果；而飛機之所以能夠飛行，以及控制升降的原理也是如此，以下將更詳細的說明飛機產生升力的原因：

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流過的氣流速度會有差異。當機翼的形狀-上爲凸面，下爲凹面或平面時，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，而上面因爲是凸面，爲了跟下面的空氣量相同，所以上方的流速會比下方快。根據白努力定律，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，也會因爲氣流的衝激而產生升力。當仰角不超過一定限度的時候，仰角越大（產生

的上下氣壓差也會愈大)，升力也越大。應用此原理，只要在紙飛機機翼尾端適當的摺起弧角，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。

（五）迴旋所需的向心力

爲了使飛機能夠迴旋，飛機在飛行時需要一個向心力。這個向心力該如何產生？研究小組在尋找這方面的資料時，並無法找到紙飛機迴旋飛行的相關理論或資料。而根據一般（機械）飛機的迴旋方式，在飛機要轉彎時，主要是藉由調整升降翼的角度來達成。另一方面，根據白努利定律，機翼兩邊若有氣壓差，即會產生力的作用，此力或可做爲飛機迴旋飛行的向心力。因此在投擲紙飛機時，若利用白努利定律，適當地調整投擲角度，或許將可產生飛機迴旋飛行所需的向心力，而使紙飛機迴旋飛行。此外，飛機迴轉的過程中，所承受的阻力，或許亦是使飛行會轉彎的影響因素之一。針對以上討論的內容，研究小組發現，對於影響紙飛機迴旋飛行的相關影響因素，仍需進一步透過實驗來加以探究。

三、小結

由以上相關的理論探討，我們可以整理出影響紙飛機迴旋飛行的可能因素包括：飛機結構、投射角度、機翼面積、紙飛機質料、飛機的重心位置、升降舵、翼尖帆等。爲了要更清楚了解這些因素對紙飛機的迴旋飛行會造成什麼樣的影響，我們將進行實驗以進一步地探究。

肆、研究器材

一、紙飛機之製作

本研究是以「飛機結構」、「投射時，機翼與地面的角度」、「機翼面積」、「飛機材質」、「飛機重心」、「升降舵大小」、「升降舵角度」、「翼尖帆大小」、「翼尖帆角度」作為進行研究時的變項，因此，針對不同的研究問題及操作變因，將在紙飛機的基本設計上做不同程度的改變，分述如下：

（一）變因一：飛機結構（平頭/尖頭）與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，我們採用「平頭式」及「尖頭式」這二種不同的飛機結構進行實驗和研究，這二種飛機皆以同樣材質及大小的 A4 紙張來製作，其摺法如下圖 4-1，圖 4-2 所示：

平頭飛機：

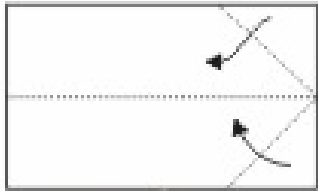
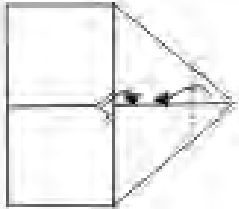
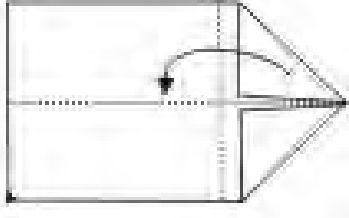
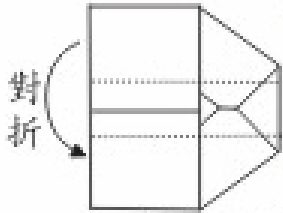
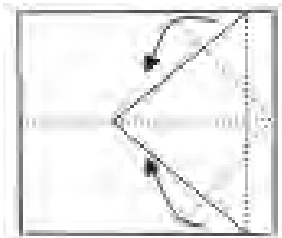
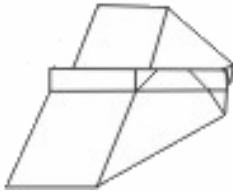
1		4	
2		5	
3		6	

圖 4-1：平頭飛機的製作方式

尖頭飛機：

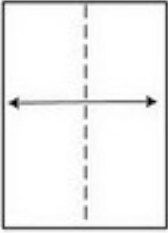
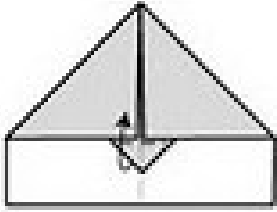
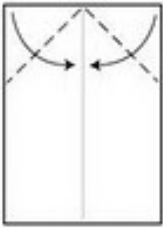
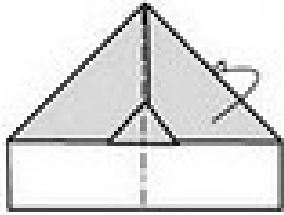
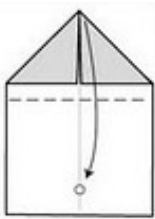

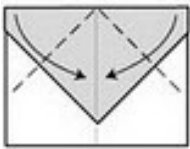

1		5	
2		6	
3		7	
4		8	 完成了！

圖 4-2：尖頭飛機的製作方式

以上二種飛機製作完成後，根據紙飛機迴旋飛行原理，爲了要讓紙飛機能夠迴轉飛回，需要在機翼尾端摺出升降翼。此外，爲提高紙飛機之升力、減少阻力並穩定飛行，在機翼兩側摺出翼尖帆。如圖 4-3



平頭飛機	尖頭飛機
	

圖 4-3：不同飛機結構之紙飛機的製作

(二) 變因二：投射時，機翼與地面的角度（斜角 **20~45 度**、垂直）與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，是使用變因一所摺成的平頭機（在上個實驗中，發現平頭機飛行較尖頭機穩定），以機翼與地面間之不同角度射出，藉以拿來做我們的實驗。如下圖 4-4

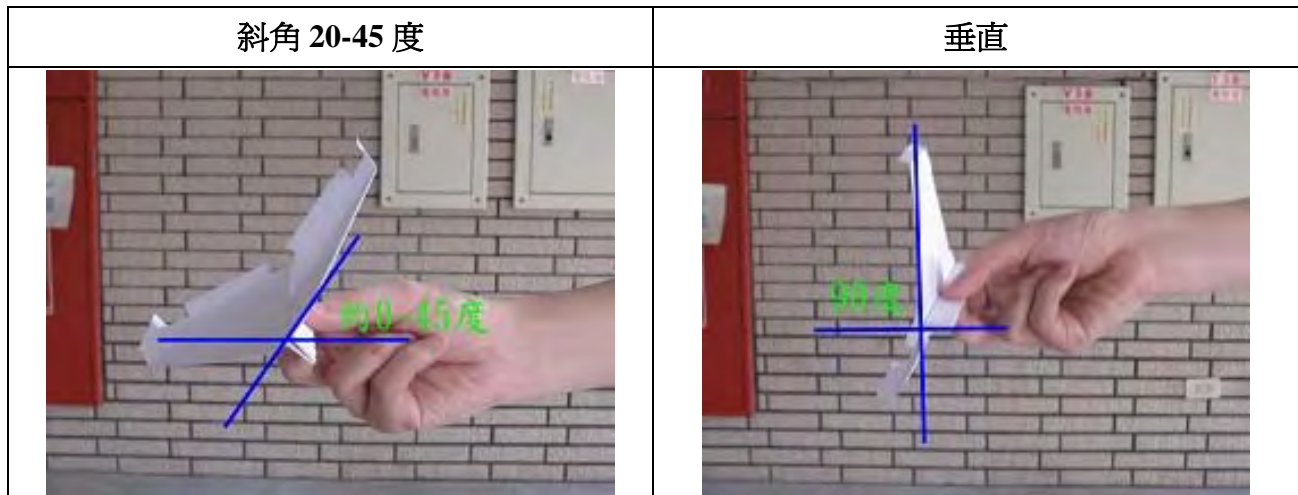


圖 4-4：機翼與地面間不同之射出角度

(三) 變因三：機翼面積與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，爲了製作不同機翼面積的紙飛機，採用變因一平頭機的摺法，在步驟六摺出機翼時，分別摺出機翼寬度爲 7 公分、8 公分公分的平頭機，藉以拿來做這一個實驗。如下圖 4-5

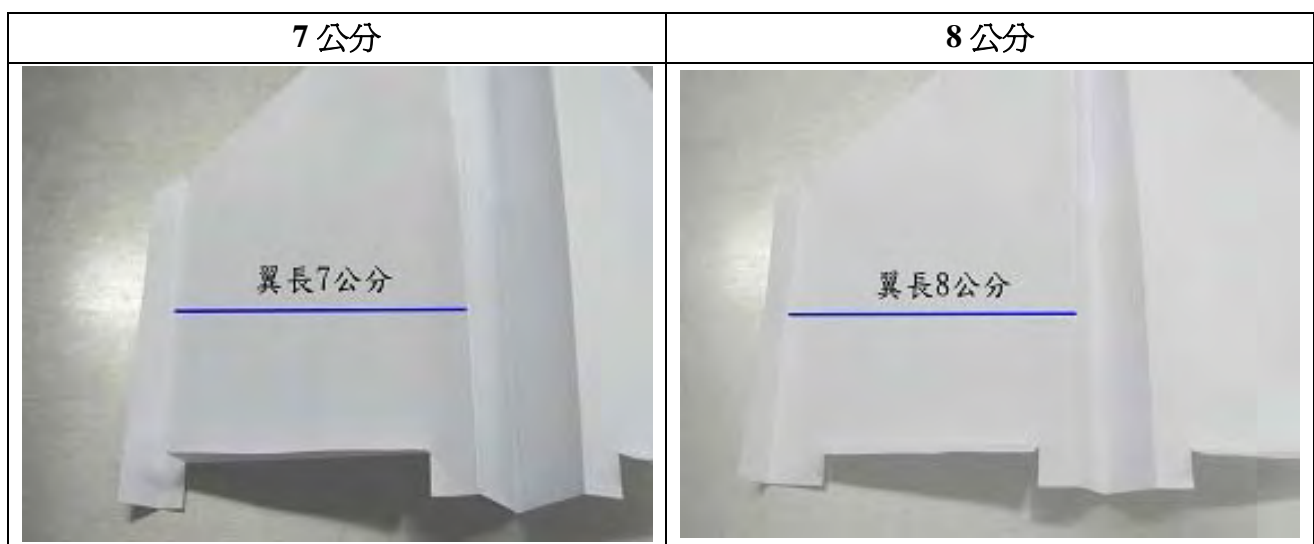


圖 4-5：不同機翼面積之紙飛機的製作

（四）變因四：紙飛機的材質與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，採用兩種不同特性的紙來製作變因一的平頭機，藉以拿來做這個實驗。這二種材質的紙具有不同的特性，說明如下圖 4-6



名稱	星幻紙	影印紙
特性	光滑、硬	薄、軟
圖片		

表 4-6：兩種紙的特性與不同材質之紙飛機的製作

（五）變因五：紙飛機的重心與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，爲了製作不同重心的紙飛機，採用變因一平頭機的摺法，在步驟四摺出機頭時，分別摺出 1 公分、2 公分、3 公分等不同程度的機頭，以改變飛機的重心位置，藉以拿來做這個實驗。如下圖 4-7

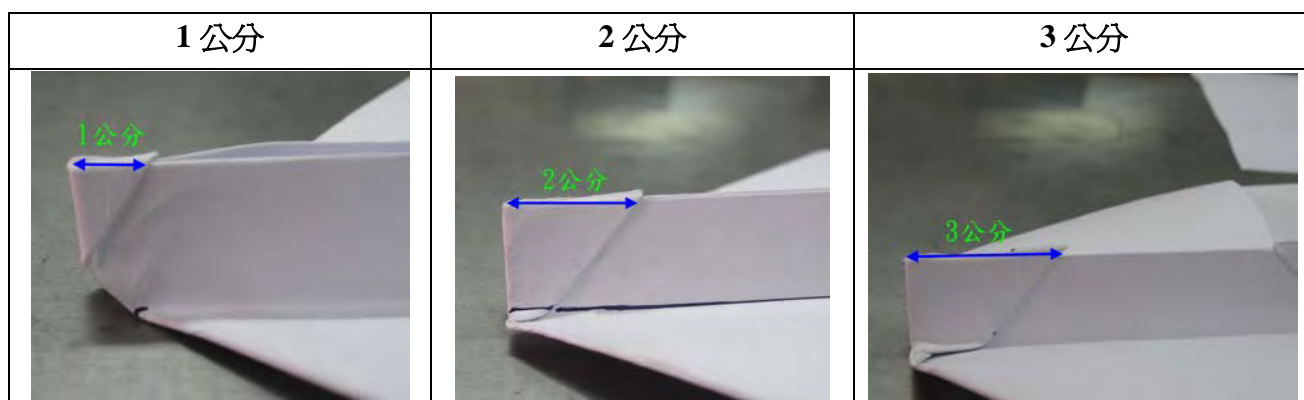


圖 4-7：不同重心之紙飛機的製作

(六) 變因六：升降翼大小與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，是使用變因一所摺成的平頭機，並調整升降翼的大小，藉以拿來做這個實驗。如下圖 4-8

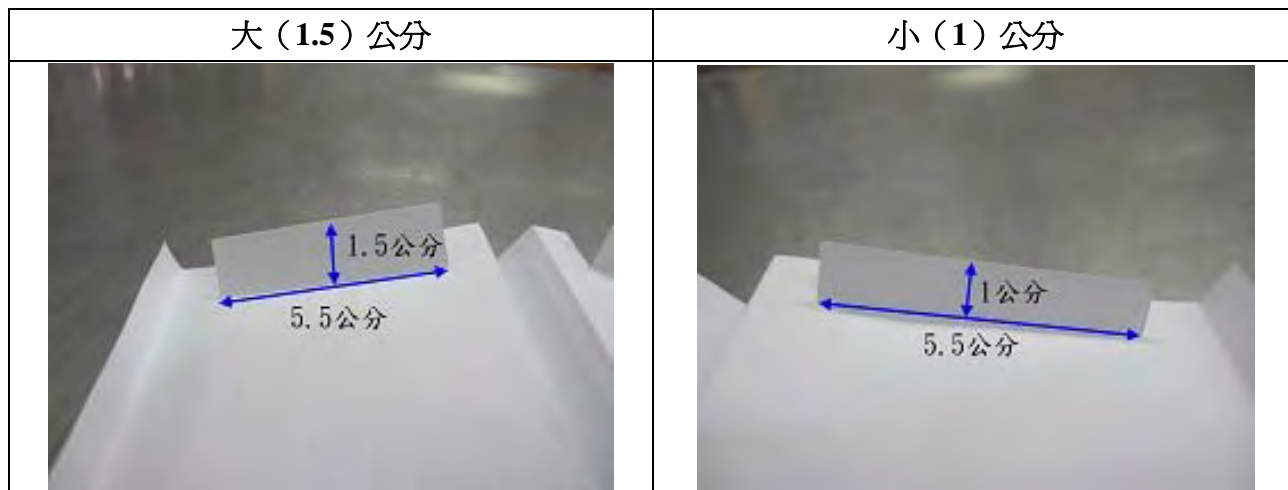


圖 4-8：升降翼大小之紙飛機的製作

(七) 變因七：升降翼角度與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，是使用變因一所摺成的平頭機，並調整升降翼的角度，藉以拿來做這個實驗。如下圖 4-9

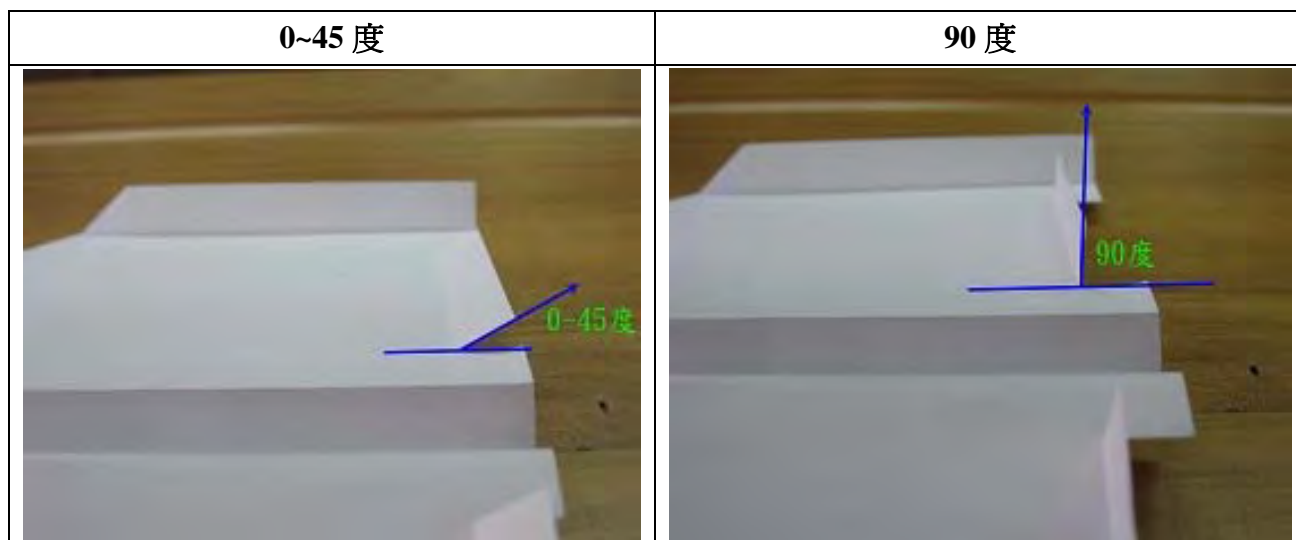


圖 4-9：升降翼角度不同之紙飛機的製作

（八）變因八：翼尖帆大小與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，是使用變因一所摺成的平頭機，並調整翼尖帆的大小，藉以拿來做這個實驗。如下圖 4-10

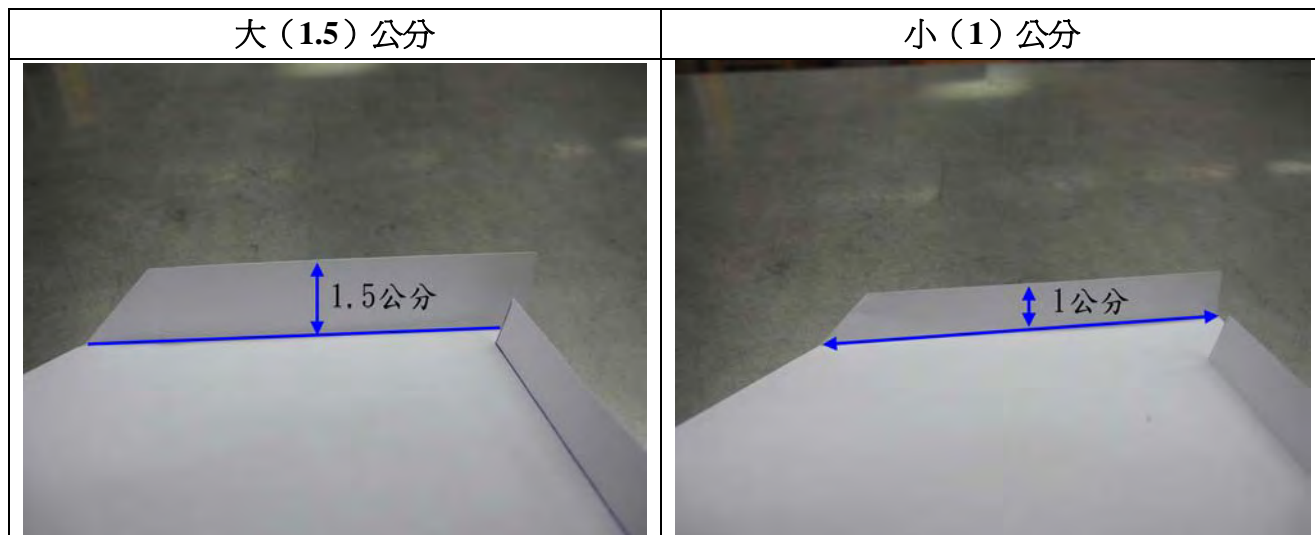


圖 4-10：翼尖帆大小之紙飛機的製作

（九）變因九：翼尖帆角度與紙飛機迴旋飛行的關係

本實驗進行時，是使用變因一所摺成的平頭機，並調整翼尖帆的角度，藉以拿來做這個實驗。如下圖 4-11

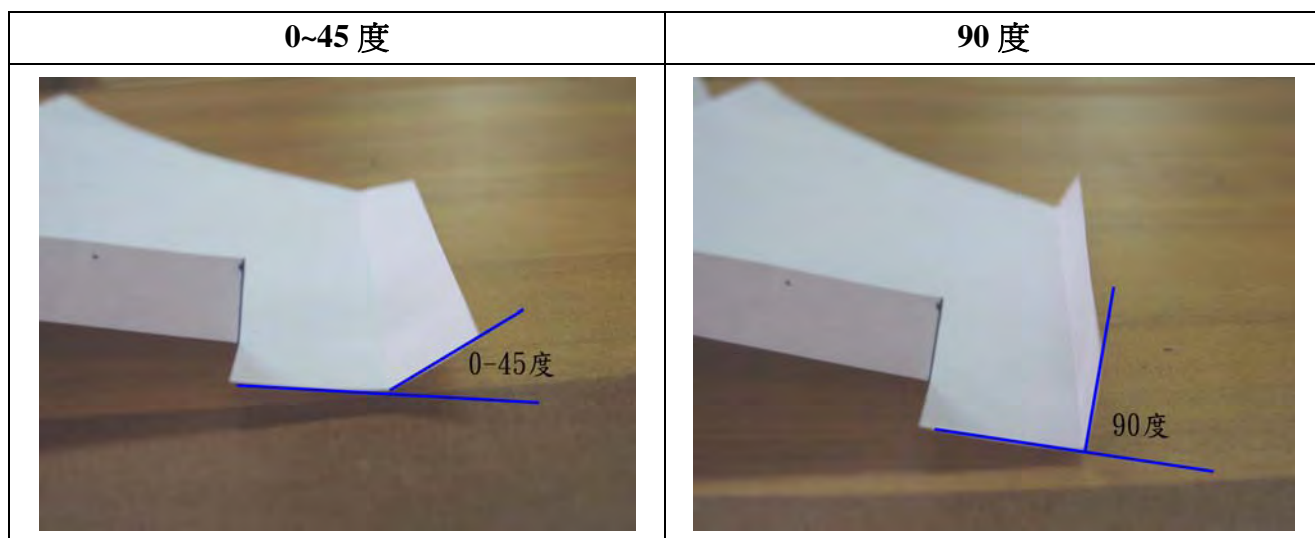


圖 4-11：翼尖帆角度不同之紙飛機的製作

伍、研究方法與步驟

一、研究場地

斗六國小六年 1 班教室、六年 2 班教室、斗六國小第一穿堂廣場、斗六國小活動中心。

二、研究者擔任的工作

職稱	研究者	主要擔任工作
機長	陳○○	研究小組組長、資料搜集、文書處理
副機長	黃○○	研究小組副組長、資料搜集、飛機射手
飛行員 1	陳○○	紙飛機製作、文書處理、會議紀錄
飛行員 2	蘇○○	實驗測量記錄、文書處理、會議紀錄
飛行員 3	陳○○	資料搜集、實驗測量記錄、會議紀錄
飛行員 4	鍾○○	紙飛機製作、飛機射手、會議紀錄
指導教師 1	吳○○老師	研究指導教學
指導教師 2	李○○老師	研究指導教學

表 5-1：工作分配表

三、研究步驟

（一）實驗一：飛機結構對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 1-1 平頭機之機翼與地面呈 45 度，水平射出。

實驗 1-2 尖頭機之機翼與地面呈 45 度，水平射出。

（二）實驗二：投射時，機翼與地面的角度對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 2-1 機翼與地面呈 20-45 度，水平射出。

實驗 2-2 機翼與地面呈 90 度，水平射出。

（三）實驗三：機翼面積對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 3-1 寬 7 公分的機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 3-2 寬 8 公分的機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

(四) 實驗四：不同材質的紙所摺出的紙飛機對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 4-1 影印紙製作之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 4-2 星幻紙製作之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

(五) 實驗五：改變紙飛機的重心對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 5-1 機頭摺 1cm 之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 5-2 機頭摺 2cm 之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 5-3 機頭摺 3cm 之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

(六) 實驗六：改變機翼尾端之升降翼大小對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 6-1 長 5.5 公分，寬 1.5 公分的升降舵之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 6-2 長 5.5 公分，寬 1 公分的升降舵之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

(七) 實驗七：改變機翼尾端之升降翼角度對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 7-1 升降舵角度 0-45 度之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 7-2 升降舵角度 90 度之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

(八) 實驗八：改變翼尖帆之大小對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 8-1 寬 1 公分的翼尖帆之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 8-2 寬 1.5 公分的翼尖帆之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

(九) 實驗九：改變翼尖帆之角度對紙飛機的迴旋飛行有何影響？

實驗 9-1 翼尖帆角度 0-45 度之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

實驗 9-2 翼尖帆角度 90 度之平頭機，機翼與地面呈度 45 度，水平射出。

陸、研究過程與結果

一、飛機結構（平頭/尖頭）與紙飛機迴旋飛行的關係

根據圖 4-1 與圖 4-2 的摺法，請兩班 52 位同學分別摺出平頭機與尖頭機，並且至第一穿堂前廣場，每一架飛機分別試射 10 次，並且選出 10 次裡有 8 次以上水平迴旋的飛機。最後發現，在決選的 7 架飛機裡，有 5 架是屬於平頭飛機；有 2 架是屬於尖頭飛機（實驗過程如下圖 4-3）。由此結果可知，平頭機比尖頭機容易進行迴旋飛行，這可能是由於平頭機的重心比尖頭機要來的前面，因此飛行較穩定，且平頭機所承受的阻力比尖頭機大，而這阻力提供給平頭機迴旋飛行更大之向心力的緣故。



圖 6-1：飛機試射與過程

由於平頭機較易進行迴旋飛行，因此接下來的實驗將以平頭機作為實驗機型。

二、投射時，機翼與地面的角度與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-1 的實驗結果顯示，飛機以斜角 20-45 度和垂直兩種角度射出，在迴旋半徑基本上並無太大差異。但是，當飛機以垂直角度射出時，成功率會比斜角 20-45 度射出較高。

表 6-1：變因二、投射時，機翼與地面的角度與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因二	20~45 度	垂直
第一次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m
第二次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m
第三次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m
第四次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.9m
第五次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.9m
第六次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m
第七次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第八次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m
第九次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m
第十次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
迴旋飛行成功率	70%（7 次）	100%（10 次）
迴旋飛行半徑平均	1.65m	1.74m

三、機翼面積與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-2 的實驗結果顯示，飛機機翼面積以翼寬 7 公分及 8 公分進行比較時，翼寬 7 公分的飛機飛行半徑較小，但是成功率相當穩定。而翼寬 8 公分的飛機相較下，飛行半徑雖然較大，但是成功率卻不太穩定。

表 6-2：變因三、機翼面積與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因三	翼寬 7cm	翼寬 8cm
第一次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第二次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第三次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第四次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第五次試射結果	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第六次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m
第七次試射結果	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m
第八次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第九次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m
第十次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
迴旋飛行成功率	80%（8 次）	50%（5 次）
迴旋飛行半徑平均	1.1m	1.64m

四、紙飛機的材質與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-3 的實驗結果顯示，飛機以材質（星幻紙、影印紙）進行比較時，星幻紙的飛行成功率非常高，而且飛行半徑高達 2 公尺；而影印紙相較之下迴旋半徑介於 1.5 公尺左右，成功率略低於星幻紙。

表 6-3：變因四、紙飛機的材質與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因四	星幻紙（光滑、硬）	影印紙（薄、軟）
第一次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.1m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第二次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.9m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第三次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.0m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第四次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.0m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第五次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.9m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第六次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.0m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第七次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.0m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第八次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.9m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第九次試射結果	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第十次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.1m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
迴旋飛行成功率	90%（9 次）	60%（6 次）
迴旋飛行半徑平均	1.98m	1.55m

五、紙飛機的重心與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-4 的實驗結果顯示，飛機以距離機頭尖端反摺 1 公分、2 公分、3 公分進行比較。以距離機頭尖端反折 3 公分的飛機飛行半徑較為大，並且成功率較高；而距離機頭尖端反摺 1 公分的飛機飛行半徑較小，而且成功率也較小。

表 6-4：變因五、紙飛機的重心與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因五	距前端 1cm	距前端 2cm	距前端 3cm
第一次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第二次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第三次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.7m
第四次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第五次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第六次試射 結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第七次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第八次試射 結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第九次試射 結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第十次試射 結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.8m
迴旋飛行成 功率	30%（3 次）	80%（8 次）	90%（9 次）
迴旋飛行半 徑平均	1.26m	1.48m	1.62m

六、升降翼大小與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-5 的實驗結果顯示，飛機以升降翼厚度 1.5 公分及 1 公分進行比較。以升降翼厚度 1 公分飛行半徑較大，而且成功率較高；相反的，升降翼厚度 1.5 公分的飛機飛行半徑較小，失敗率也較高。

表 6-5：變因六、升降舵大小與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因六	大 (1.5) 公分	小 (1) 公分
第一次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第二次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第三次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第四次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第五次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第六次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第七次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.3m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第八次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第九次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第十次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
迴旋飛行成功率	50% (5 次)	80% (8 次)
迴旋飛行半徑平均	1.24m	1.5m

七、升降翼角度與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-6 的實驗結果顯示，以升降翼 0-45 度以及 90 度進行試射，發現升降翼 0-45 度的飛機迴旋半徑較大。而在成功率方面則無太大差異。

表 6-6：變因七、升降舵角度與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因七	0~45 度	90 度
第一次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.3m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m
第二次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第三次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第四次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.3m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第五次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m
第六次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：
第七次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第八次試射結果	□迴旋 ■不迴旋 迴旋飛行半徑：	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第九次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第十次試射結果	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：2.4m	■迴旋 □不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
迴旋飛行成功率	90%（9 次）	90%（9 次）
迴旋飛行半徑平均	2.38m	1.51m

八、翼尖帆大小與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-7 的實驗結果顯示，以翼尖帆寬度 1.5 公分及 1 公分進行比較，發現翼尖帆寬度 1.5 公分的飛機飛行半徑較小、成功率較高；而翼尖帆寬度 1 公分的飛機飛行半徑較大，但是相較之下成功率較低。

表 6-7：變因八、翼尖帆大小與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因八	1.5 公分	1 公分
第一次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第二次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.1m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m
第三次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m
第四次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第五次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第六次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第七次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.2m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第八次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第九次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.1m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
第十次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
迴旋飛行成功率	90%（9 次）	50%（5 次）
迴旋飛行半徑平均	1.07m	1.46m

九、翼尖帆角度與紙飛機迴旋飛行的關係

根據下表 6-8 的實驗結果顯示，以翼尖帆 0-45 度以及 90 度進行試射，發現翼尖帆 0-45 度的飛機失敗率較高，但是迴旋半徑則大致相同。

表 6-8：變因九、翼尖帆角度與紙飛機迴旋飛行的關係

試射次數 / 變因九	0~45 度	90 度
第一次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第二次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第三次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第四次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第五次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m
第六次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第七次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.4m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第八次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m
第九次試射結果	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.6m
第十次試射結果	<input checked="" type="checkbox"/> 迴旋 <input type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：1.5m	<input type="checkbox"/> 迴旋 <input checked="" type="checkbox"/> 不迴旋 迴旋飛行半徑：
迴旋飛行成功率	50%（5 次）	90%（9 次）
迴旋飛行半徑平均	1.46m	1.51m

柒、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

本研究旨在探討影響紙飛機迴旋飛行之相關因素，以了解「飛機結構」、「投射角度」、「機翼面積」、「紙飛機質料」、「紙飛機的重心位置」、「升降舵大小及角度」、「翼尖帆大小及角度」等因素對飛機迴旋飛行之影響，主要研究結論如下：

1. 在飛機結構因素方面，平頭機比尖頭機容易進行迴旋飛行。
2. 在紙飛機投射角度因素方面，當飛機之機翼與地面呈 90 度射出時，紙飛機迴旋飛行的成功率會比機翼與地面呈 20-45 度射出較高，但迴旋半徑並無太大差異。
3. 在機翼面積的因素方面，飛機機翼面積以翼寬 7 公分及 8 公分進行比較時，翼寬 7 公分的飛機其飛行半徑較翼寬 8 公分為小，但是成功率相對穩定。
4. 在紙飛機的材質方面，以星幻紙（光滑、硬）製作之紙飛機，其迴旋飛行之成功率及迴旋飛行半徑均較影印紙（薄、軟）製作之紙飛機來得大。
5. 在紙飛機的重心方面，飛機以距離機頭尖端反摺 1 公分、2 公分、3 公分進行比較時，以距離機頭尖端反摺 3 公分的飛機，其迴旋飛行之成功率及迴旋飛行半徑均較其他二者為大。
6. 在升降翼的大小方面，升降翼厚度 1 公分的飛機，其迴旋飛行之成功率及迴旋飛行半徑均較升降翼厚度 1.5 公分之紙飛機來得大。
7. 在升降翼的角度方面，升降翼 0-45 度的飛機，其迴旋半徑較升降翼 90 度大，而在成功率方面則無太大差異。
8. 在翼尖帆的大小方面，翼尖帆寬度 1.5 公分的飛機，其迴旋飛行半徑較翼尖帆寬度 1 公分的飛機為小、但迴旋飛行的成功率較高。
9. 在翼尖帆的角度方面，翼尖帆 90 度的飛機，其迴旋飛行的成功率比 0-45 度的飛機高，但迴旋半徑並無太大差異。

由以上結論可知，影響紙飛機迴旋飛行之因素不少，除不同因素間會相互影響外，如即使採機頭尖端反摺 3 公分之迴旋飛行較穩定的設計，若機翼太大，迴旋飛行可能也會變得不穩定；而同一因素對迴旋飛行之成功率及迴旋飛行半徑的影響也不盡相同，如以加大翼尖帆來提升迴旋飛行的成功率，則迴旋飛行半徑也會受到影響而縮小；又如採用星幻紙等較硬且光滑的材質來製作紙飛機，其迴旋飛行之成功率及迴旋飛行半徑都會變大。

由於影響紙飛機迴旋飛行之因素眾多，關係又很複雜，研究人員在紙飛機的實驗過程中又發現，即使使用了相同紙張，採用相同的設計及摺法，同一個人摺出的紙飛機，採相同的射法，其進行迴旋飛行時，飛行的軌跡也不盡相同。因此我們發現若要提升紙飛機迴旋飛行的成功率並同時加大其飛行的迴轉半徑，紙飛機在製作時除了要有一個基本的型式外，亦需做實際飛行的修正，按其飛行狀況做調整。研究人員利用本研究之結論及發現，歸納出如下表 7-1 的設計及調整方式以提升紙飛機迴旋飛行成功率並加大其迴轉半徑。

表 7-1 提升紙飛機迴旋飛行成功率並加大其迴轉半徑之基本設計與調整

相關因素	基本設計	調整
飛機結構	採平頭機之設計。	
投射角度	以飛機之機翼與地面呈 90 度射出。	
機翼面積	採翼寬 7 公分之設計。	若要加大迴旋飛行半徑，可視情況，在可接受迴旋飛行之成功率下，逐步加大機翼面積。
飛機材質	以星幻紙等質地較光滑、硬度較高的紙來設計。	
飛機重心	採距離機頭尖端反摺 3 公分之設計。	若要加大迴旋飛行半徑及成功率，可視情況，逐步加大反摺長度。
升降翼大小	採厚度 1 公分之設計	若要加大迴旋飛行半徑及成功率，可視情況，逐步減少升降翼之厚度。
升降翼角度	採 0-45 度之設計	若要加大迴旋飛行半徑，可視情況，逐步減少升降翼角度。
翼尖帆大小	採寬度 1.5 公分之設計	若要加大迴旋飛行半徑，可視情況，在可接受迴旋飛行之成功率下，逐步減少翼尖帆寬度。
翼尖帆角度	採翼尖帆 90 度之設計	

二、建議

最後，本研究在進行過程中，研究人員發現若干研究限制及研究可改進之處，列舉如下：

1. 如下圖 7-1，在實驗過程中，礙於紙飛機發射器難以設計，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及力量射紙飛機，但難免出現人為誤差。



固定由同一指定人員採同一方式及力量射紙飛機

圖 7-1

2. 如下圖 7-2，測量飛機旋轉半徑時，研究人員僅能站在一旁根據地上的布尺目測紙飛機迴旋的最遠點，因此，測量出來的迴旋半徑距離只是個目測值。期待日後可以針對此部分設計出更精準的測量方式。



圖 7-2

捌、參考資料

- 一張紙的飛行世界-紙飛機 網址：<http://blog.xuite.net/scarelett901/clsu>
- 小林昭夫著，王政友譯；飛機的構造與原理；初版；新北市；世茂出版社；2003.
- 五分鐘了解白努力定律；網址：<http://aero-life123.blogspot.com/2011/08/5.html>
- 王懷柱；揭開飛行的奧祕；第四版；新北市；全華科技圖書股份有限公司；2009.
- 多爾頓（Stephen Dalton）著，蔡承志譯；飛行的奧祕；初版；臺北市；貓頭鷹出版社；2006.
- 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；紙飛機工廠；初版；臺北市；聯經出版社；2003.
- 國家紙飛機全集製作組編製；紙飛機製作全集；初版；臺北市；國家出版社；1997.
- 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>
- 劉軒好等；2007；台中縣第 47 屆科學展覽會國小物理組作品-紙飛機向前衝；台中縣東園國民小學.
- Robson,Pam；空氣：風力與飛行；初版；臺北市；文庫出版事業股份有限公司；1995.

【評語】 080804

1. 工作的分工很適當。
2. 解說清楚有條理。
3. 有創意，又容易實現。
4. 實驗步驟嚴謹。
5. 有改進的討論與困難解釋，實為難得。