

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組物理科

080101

臺北縣五股鄉德音國民小學

指導老師姓名

張永康

方士豪

作者姓名

林珈卉

連國甫

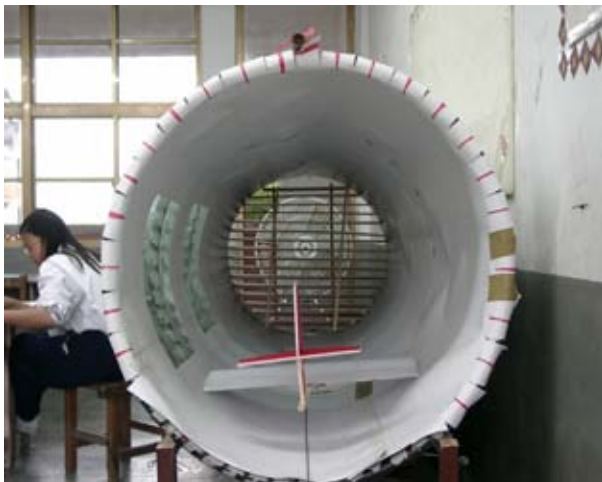
曾容君

王筠善

盧冠霖

王聖元

# 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會 作品說明書



科 別：物理

組 別：國小組

作品名稱：發現--風洞中的柏努力

關 鍵 詞：飛機、柏努力定理、浮力

編 號：

# 作品說明書目錄

一、	摘要.....	3
二、	研究動機.....	4
三、	研究設備與器材.....	5
四、	研究設備與器材.....	5
五、	研究過程與結果.....	6
六、	研究與討論.....	22
七、	結論.....	24
八、	參考資料.....	25

※註：“實驗工作週記”與“實驗數據紀錄”已另外整理成冊。

## 壹、摘要

本科展作品，可說是將科學知識應用在探討飛行的一項研究。在活動研究過程中，我們不但對飛機的浮升能力產生興趣，除了能飛之外，並訂定一個目標，希望能將飛機的飛行距離，藉由適當的浮力（柏努力）設計，達到飛行更遠。

為達到這個目的，我們在許多次的資料收集與實驗討論中，決定從（一）風的來源、風洞的製作、倒流板（穩定風的方向）、風洞的觀察等著手研究；（二）機翼的柏努力曲線：曲線高度、最高點位置、寬度、長度一直發展出最佳的機翼曲線。

在實驗過程中，我們發現，飛機本身就是一個複雜的科學問題，因此我們除了考量上述因素（風洞、穩定風向、機翼曲線）之外，也將飛機的重心、升力中心為實驗操控變因，併入實驗來討論，最後整理出我們的數據與結論。這個作品不僅探討飛機浮升能力的各種變因，也希望能提供給對飛行問題及相關討論有興趣的朋友們一點小小的助益和參考。我們未來也將秉持著飛行的精神，永不退縮，繼續對相關問題做討與研究。

## 貳、研究動機

### 一、動機說明：

四年級下學期（南一書局）我們上風與風箏的課程，學習了放風箏要看風向，風從哪裡來？要用些什麼技巧？放風箏也要看風力，風力的大小又該怎麼知道呢？當我們已經具備了這些能力之後，老師開始教我們怎麼製做風箏，我們邊作邊討論，期望我們的風箏可以飛的最高最遠，這時剛好一架飛機從天空飛過，同學便提到說：「我們的風箏是否可以像飛機一樣飛的這麼高這麼遠呢！」我們七嘴八舌的討論許久，最後去問老師這個問題，而老師回答說：「當然可以，可是需要知道飛機是柏努力的原理，才可以飛的這麼高」。老師的回答讓我們對什麼是「柏努力」，產生了很大的好奇心，於是我們下定決心，必須追根究底的了解柏努力的原理。所以我們開始跟著老師，先收集相關的資料，了解其中的意義是什麼？該如何製作？怎麼測試他的作用？然後一項一項的開始進行實驗，期望了解飛機飛行時，可以飛的這麼高這麼遠的真正意義。

## 參、研究目的

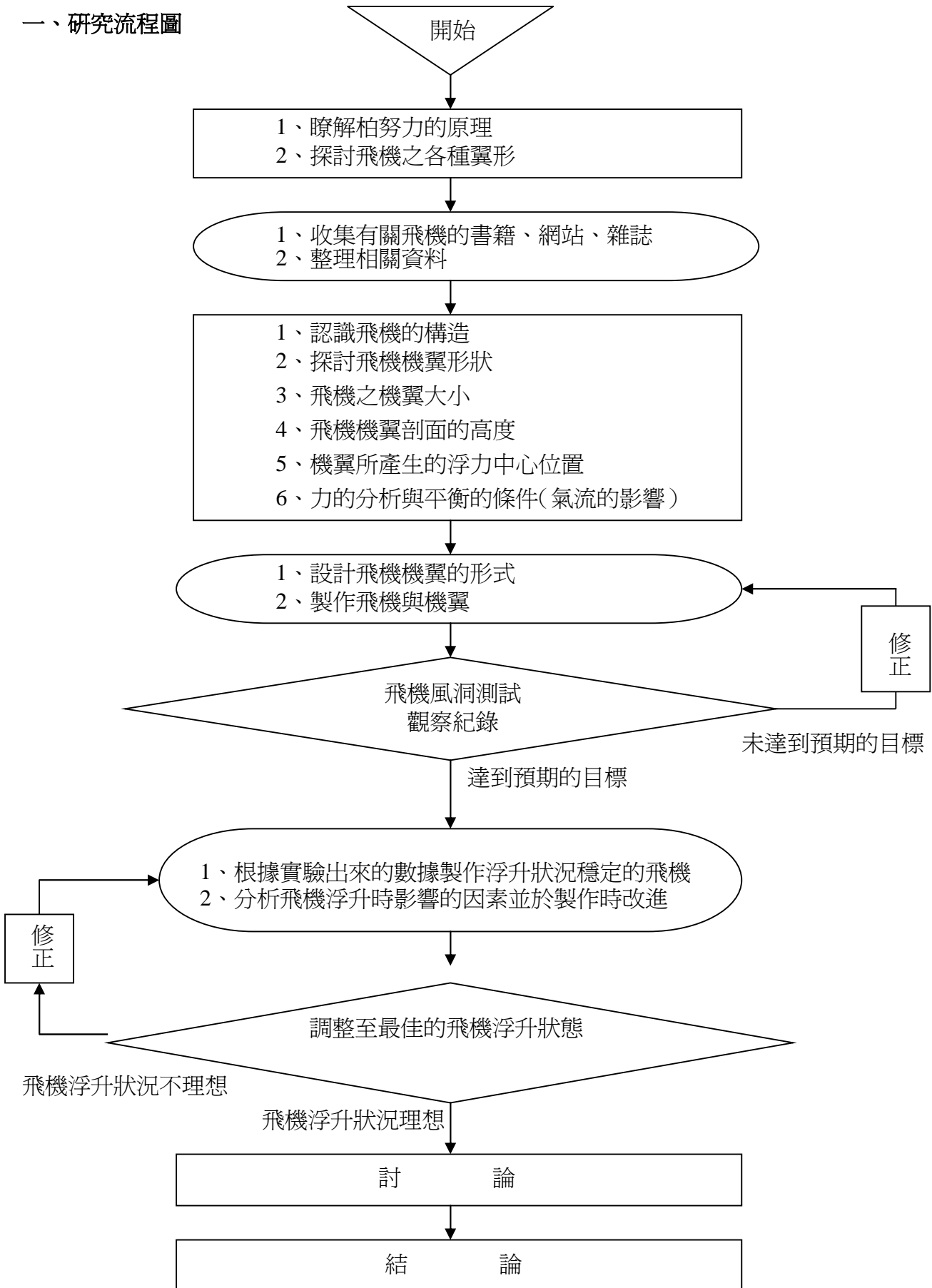
- 一、瞭解柏努力定理的作用。
- 二、探討影響飛機飛行的因素。
- 三、瞭解柏努力定理機翼設計方法。
- 四、學習參照柏努力定理製作機翼。
- 五、探討飛機飛行時，如何控制飛機重心與平穩。

## 肆、研究設備及器材

風洞設計	設備	筆、電腦、計算機、尺、圓規、三角板、量角器、橡皮擦、分規
	器材	紙、膠帶、
風洞製作	設備	鋸子、鐵鎚、鐵剪、捲尺、
	器材	呼拉圈、竹子、繩子、厚紙板、桌子、透明塑膠墊、樹指、白膠、鐵丁、鐵絲
飛機機翼設計	設備	筆、電腦、計算機、尺、圓規、三角板、量角器、橡皮擦、分規
	器材	紙、膠帶
飛機製作	設備	美工刀、鋼尺、剪刀、筆
	器材	厚紙板、黏合樹脂、木條、保利龍、膠帶
實驗觀察與紀錄	設備	筆、壓克力資料夾板、數位相機、攝影機、腳架、電池
	器材	學習單
資料整理	設備	數位相機、攝影機、USB 線、電腦、磁碟片、隨身碟、光碟片、印表機、影印機
	器材	碳粉、電池

# 伍、研究過程與結果

## 一、研究流程圖



## 二、研究設計：

我們本次的研究，目的在於探討柏努力定理當中，翼剖面翼型的探討。在理論當中，『流體的速度越快，產生的壓力也就越小』。利用這種壓力差的原理，來得到抵抗重力的浮升力量，使得飛機得以飛行。那麼要怎麼得到這個壓力差呢？就是由翼型來著手。

如右圖 5-1，這是一張流體流經過機翼的示意圖。機翼如同刀子一般切過了空氣(這裡是指空氣)，因此，無論是上方或是下方，空氣由機翼的最左端流到機翼的最右端，所花的時間是相同的。然而，機翼上方微微隆起，造成上方的空氣必須以較快的速度流過上方這較長的距離。根據柏努力的理論，這時候，機翼上方的壓力就會比下方來的小，也因此，機翼得到了浮升的力量。

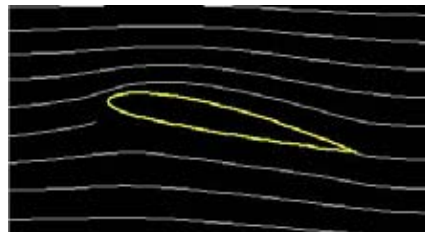


圖 5-1 柏努力定理示意圖

然而，我們想到的是，機翼上方的隆起，是影響飛機浮升的重要因素。那麼，如果說，隆起的形狀、位置不同時，會怎樣改變浮升力量的大小？

經過老師和學生的討論之後，我們決定從機翼不同的隆起高度，以及隆起處離機翼前端的距離差異等方面來進行研究。

接下來我們再增加一項實驗，就是從前兩項的實驗數據中，選出浮升狀況最理想的機翼型，並製作一部沒有翼剖面機翼的飛機，兩者相互比較差異，以證明浮升力量的存在。

最後一項是要在證明浮升力量存在之後，再去尋找飛機升力與在不同位置的飛機重心，所產生的浮升力量的差異。

研究內容設計流程如下：

### (一)風洞的製作：

由於需要進行柏努力的測試，所以必須建造一個專用的風洞。但是在學校裡面，能找到相關的材料並不容易。首先，我們找來了一部工業用的大電風扇如圖 5-2，來當作風力的來源。



圖 5-2 風力的來源-工業用大風扇



再來，風洞要怎麼做呢?我們想到找來了體育器材室裡頭的大呼拉圈，將他一個個直立在利用客桌椅作成的放置架上，然後用厚紙板黏成一大片之後圍住呼拉圈內部，並加以固定，就形成簡易的風洞如圖 5-3。



圖 5-3 實驗用風洞側面全貌

我們所製作出來的風洞，在風扇上綁著細長線，並經過試吹之後發現，風扇所吹出來的風，並不是又直又平的，而是會旋的，所以那條長線在風扇啟動的狀況下會一直任意擺動，極不穩定。我們忽略了風流穩定性這個因素了。由於擔心這樣會造成飛機在進行柏努力測試時，極度的不穩，因此我們就想出了一些方法來改善風流的穩定度。



圖 5-4 風洞口的穩流葉片

我們所想出的解決辦法是，利用木板製作穩流葉片如圖 5-4，然後，再將風扇離風洞口的距離稍微拉遠至一公尺左右如圖 5-5，而非原來是將風扇直接置於風洞口。



圖 5-5 風扇距離風洞口約一公尺

經過調整之後，再度將風扇前方綁上細長線，試吹的結果發現，長線之前大幅擺動的狀況已經改善非常多，這表示風流的狀況也是相對穩定很多，這樣一來，才可以再繼續進行其他的實驗項目。

最後必須要註明，風洞的直徑約 90 公分，長度約 3.5 公尺。風扇是採用 1 馬力的工業用扇。

## (二) 飛機與機翼的製作

有了風洞，爲了要進行實驗，模型飛機自然是不能少的。經過研究之後，我們決定將實驗用的飛機盡量輕量化，簡單化，原因很簡單，我們怕太重的飛機會讓浮升效果不佳，而太複雜太精細的飛機又耗時太多，且製作不易，很容易作出失敗的飛機，影響實驗的結果。

製作飛機的材料主要是採用保麗龍作爲機翼，再切出想要的機翼型，最後用厚紙板黏貼外層，以增加機翼強度，機身採用細木條如圖 5-6，而尾翼是採用珍珠板所製作如圖 5-7，目的在於讓飛機進行實驗時，能飛的比較平穩。

飛機的尺寸方面，機翼尺寸是長方形 60x20 公分如圖 5-9，機身長約 60 公分，尾翼高度爲 25 公分，寬 30 公分如圖 5-8。翼剖面差異會在後面實驗項目當中說明。



圖 5-6 學生利用細木條固定機身與機翼



圖 5-7 尾翼的製作



圖 5-8 飛機完成圖



圖 5-9 製作機翼的情形

### 三、實驗內容與結果：

#### (一)實驗一：機翼剖面的高度

第一項實驗的重點在於機翼上端隆起高度不同，所造成浮升力量大小的差異。之所以第一個實驗進行翼剖面高度，原因在於，希望能求得最佳的曲度。當然，還要進行第二次的最高點距離前端之實驗完成後，才能確定。在本項實驗當中，我們所設定機翼隆起處距離前端的距離約 3-4 公分。

#### 1、 實驗步驟:

- (1)、製作各種不同高度的機翼
- (2)、將機翼與機身結合,作成柏努力機翼飛機模型
- (3)、將飛機一一放到風洞內,進行風洞測試
- (4)、觀察浮升狀態並作紀錄

#### 2、各種不同剖面的高度的照片



圖 5-10 剖面高度 1.5 公分



圖 5-11 剖面高度 2 公分



圖 5-12 剖面高度 3.5 公分



圖 5-13 剖面高度 5 公分

### 3、飛機放入風洞中實驗的情形



圖 5-14 將飛機放入風洞中準備測試



圖 5-15 觀察紀錄飛機浮升狀況

4、各種剖面高度機翼實驗結果紀錄表

	平均浮升高度	其他狀況
剖面高度 1.5 公分	15 公分	浮升狀態不佳,且上下震動
剖面高度 2 公分	25 公分	浮升現象增強,但機身會震動搖晃
剖面高度 3.5 公分	45 公分	浮升能力佳,但機身會左右搖晃
剖面高度 5 公分	10 公分	浮升狀態不明顯,無法顯示升力效果

表 5-1

5、各種剖面高度機翼長條圖

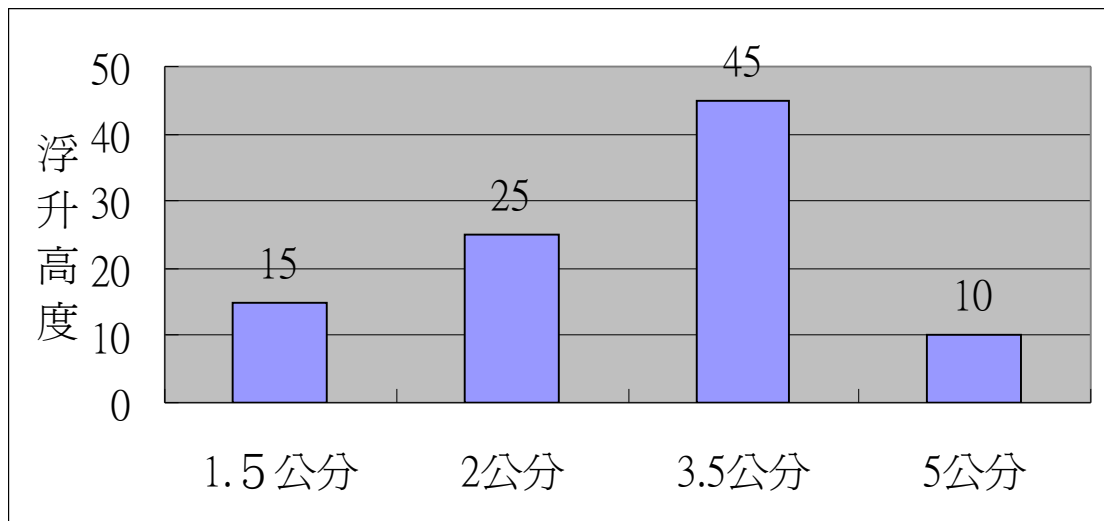


表 5-2

## 6、實驗結果：

- (1)、剖面的高度小，則流過機翼下面的風速與機翼上面的風速相差不大，所造成的壓力差也不夠明顯，以致於效果不佳。
- (2)、剖面的高度太大，則流過機翼上面的風，到了後半段時便造成亂流，無法形成上下兩面的壓力差，於是造成飛機失速的情況。
- (3)、剖面高度大約在 3.5 公分時，恰好是形成上下壓力差的最大值，超過了便造成亂流，比他小結果就不明顯而效果不好。



圖 5-16 機翼高度在 3.5 公分時,浮升高度最高,約 45 公分

## (二)實驗二：柏努力機翼剖面最高點位置實驗

我們針對上一個實驗，選擇出來浮升狀態最佳的剖面高度（長度 60 公分，寬度 20 公分，剖面高度 3.5 公分），進一步設定最高點的位置於機翼寬度上前的距離。距離分別為 3、4、5、6、7 公分進行實驗。求得結果之後，和第一項結果結合，我們便可以得到有最佳浮升效果的翼剖面。

### 1、實驗步驟:

- (1)、製作各種不同剖面高度位置的機翼
- (2)、將機翼與機身結合,作成柏努力機翼飛機模型
- (3)、將飛機一一放到風洞內,進行風洞測試
- (4)、觀察浮升狀態並作紀錄

### 2、各種剖面最高點位置的圖片



圖 5-17 最高位置距離前端是 3 公分處



圖 5-18 最高位置距離前端是 4 公分處



圖 5-19 則最高位置距離前端是 5 公分處



圖 5-20 最高位置距離前端是 6 公分處



圖 5-21  
最高位置距離前端是 7 公分處

### 3、各種剖面最高點位置的紀錄表

	平均浮升高度	其他
機翼最高點位置距離飛機最前端 3 公分	5 公分	無明顯浮升狀態
機翼最高點位置距離飛機最前端 4 公分	25 公分	浮升現象不穩,且上下震盪
機翼最高點位置距離飛機最前端 5 公分	35 公分	有較明顯浮升現象,但浮升高度不高有時會往下墜
機翼最高點位置距離飛機最前端 6 公分	70 公分	浮升效果佳,但機身會左右搖蕩
機翼最高點位置距離飛機最前端 7 公分	40 公分	浮升現象明顯,但機身極不穩,容易向左右傾斜

表 5-3



#### 4、各種剖面最高點位置長條圖

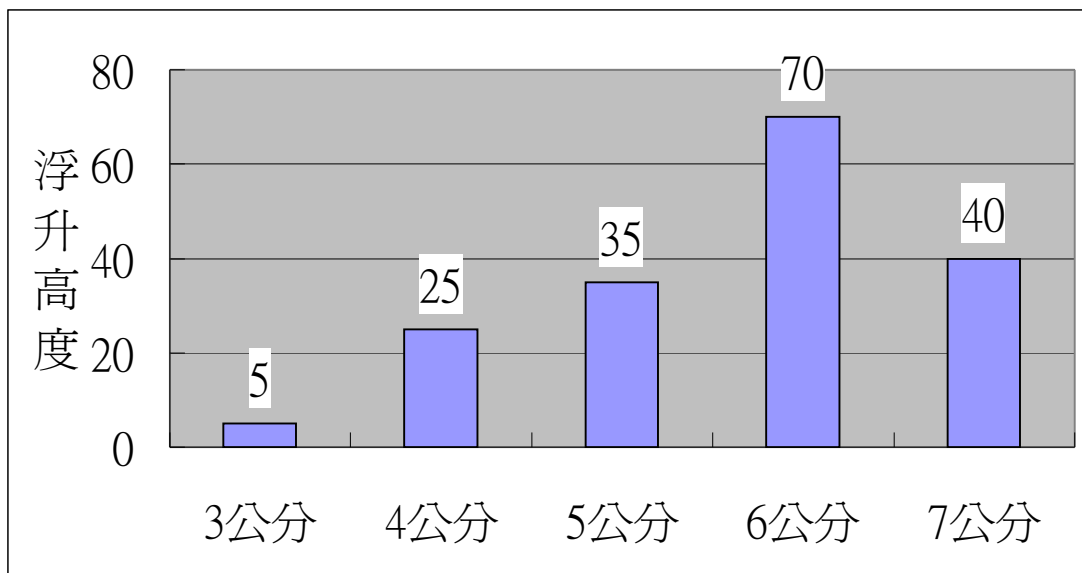


圖 5-22

#### 5、實驗結果說明

- (1)、最佳的最高點位置，經過我們於風洞中實驗後，得到的結果是在距離前端 6 公分處為最理想，最能產生浮力。
- (2)、最高點位置如果太前面，會造成風無法順利流動而造成風的阻礙現象。
- (3)、最高點位置如果太後面，會造成重心向後移動，飛機較不平穩的現象。

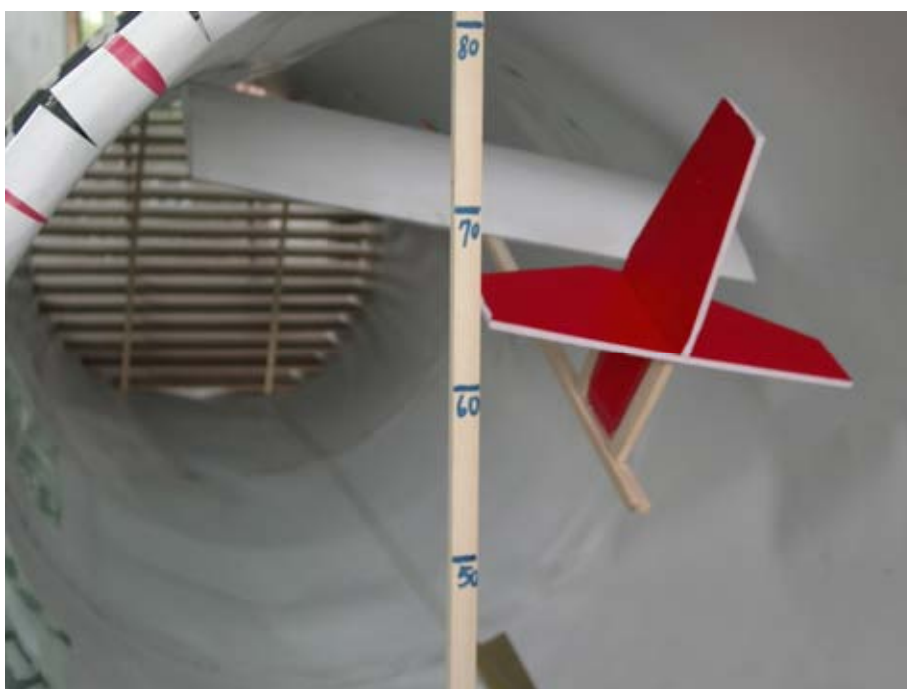


圖 5-23 最高點離前端為 6 公分時,飛機浮升的情形

### (三)實驗三：柏努力的機翼與沒有柏努力的機翼比較

在這邊是將兩種不同機翼的飛機模型分別放至風洞中觀察，比較兩者的飛行情形，並且用實驗來證明有柏努力的機翼具有一定的浮升力量。在這邊，我們使用的翼剖面飛機，將是由前兩項實驗數據當中，所找出的浮升效果最佳的飛機。另外非翼剖面的飛機，是另外利用珍珠板，製作一架大小相同重量相當的飛機模型。

實驗的方式是我們先將柏努力的曲面向上測試，將其結果紀錄下來。再來我們將柏努力的曲面向下測試，觀察其結果。而沒有柏努力的機翼，也做同樣的測試，將其結果紀錄，再比較兩者是否有無浮升現象製作產生而造成差異出現。

#### 1、實驗步驟:

- (1)、製作一個沒有柏努力翼型的飛機模型
- (2)、將兩種機翼分別置於風洞中實驗
- (3)、比較兩者的浮升情形的差異

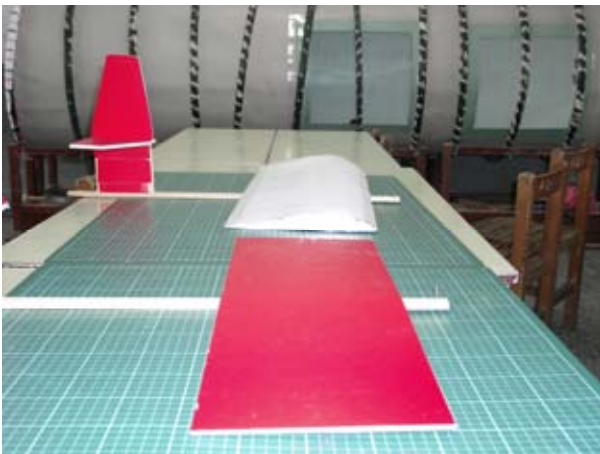


圖 5-24 有含有翼剖面的飛機

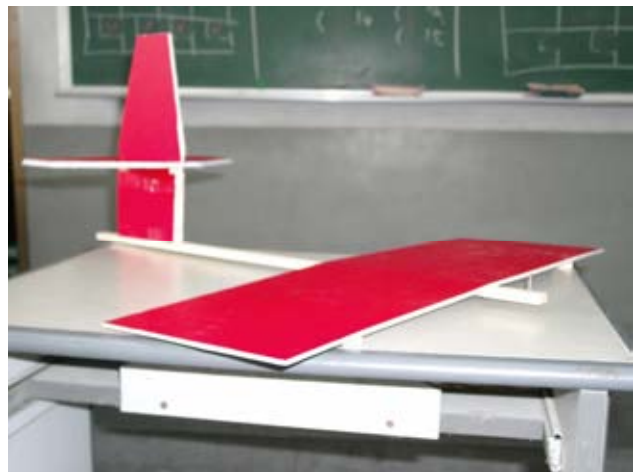


圖 5-25 不具有翼剖面的飛機

#### 2、柏努力的機翼與沒有柏努力的機翼的紀錄表

	正面向上	正面向下
柏努力的機翼	飛機向上浮起來	飛機向下沉
沒有柏努力的機翼	飛機向上浮起來	飛機向上浮起來

表 5-4

### 3、實驗結果說明

(1)、由實驗的結果我們很清楚的看到，具有柏努力曲面的機翼，正面向上時，飛機會往上升起來（圖 5-26），而正面向下時，飛機往下沉而無法起來（圖 5-27），由此可以證明具有柏努力曲面的一邊會產生力量，而使飛機向上或向下。



圖 5-26 柏努力的機翼正面向上時，飛機浮起來。



圖 5-27 柏努力的機翼正面向下時飛往下沉。

(2)、沒有柏努力曲面的機翼，不管是正面向上或正面向下，飛機都會往上升起來（圖 5-28、5-29），而不會因為正面向下而飛機向下沉，這與柏努力曲面機翼兩相比較，即可證明柏努力的作用了。



圖 5-28 沒有柏努力曲面的機翼正面向上時，飛機往上升起來。



圖 5-29 沒有柏努力曲面的機翼正面向下時，飛機往上升起來。

#### (四)實驗四：浮力中心與飛機重心位置的實驗

最後一項實驗，將利用加螺絲讓飛機加重的方法，來改變飛機的重心，並測量出重心位置不同的飛機，在一樣的浮升力量作用之下，會有怎樣的結果產生。

##### 1、實驗步驟

- (1)、每一次實驗進行之前，先測量飛機的重心位置(以重心離機身最前端之距離來紀錄)，並標示出來。
- (2)、放入風洞中觀察其浮升情形。
- (3)、依照觀察後的情形重新調整重心位置。
- (4)、重複上面三個步驟，實驗出最佳的升力中心與重心的位置。



圖 5-30 測出飛機重心位置



圖 5-31 在機身上標示初飛機重心位置



圖 5-32 利用螺絲增加重量改變飛機重心位置

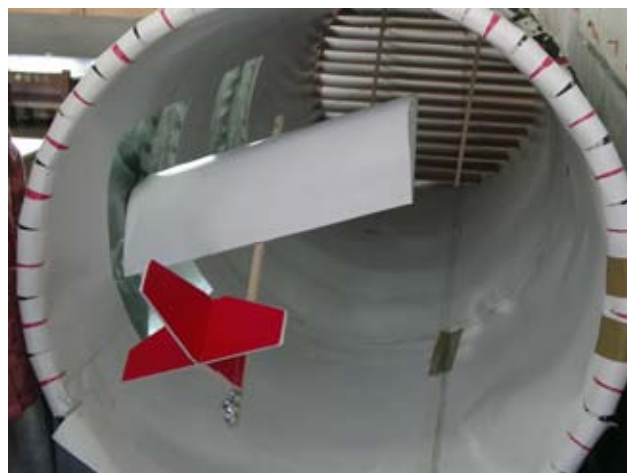


圖 5-33 在風洞中實驗的狀況

## 2、各種浮力中心與飛機重心位置的紀錄表

重心位置 (公分)	15	20	25	30
飛行情況	飛機頭部重量太重,以致浮升現不明顯	飛機重心位置接近升力中心,浮升效果明顯	浮升效果佳,但機尾較重,會往下垂	重心太後面,飛機機頭向上,機尾明顯朝下,浮升效果不佳
<p>註 1、所量取的重心位置，是距離飛機最前端的距離。</p> <p>2、機翼寬 20 公分，柏努力最高位置於 6 公分處，柏努力高 3.5 公分，飛機總長度為 60 公分，總重量為 300 公克。</p>				

表 5-5

## 3、實驗結果

- (1)、由實驗的紀錄我們可以觀察到，只有重心位置與升力中心大約一致的時候，飛機才會穩定飛行。
- (2)、如果重心在升力中心之前，則飛機產生機頭向下轉的效果。
- (3)、如果重心在升力中心之後，則飛機產生向上爬升失速的作用。

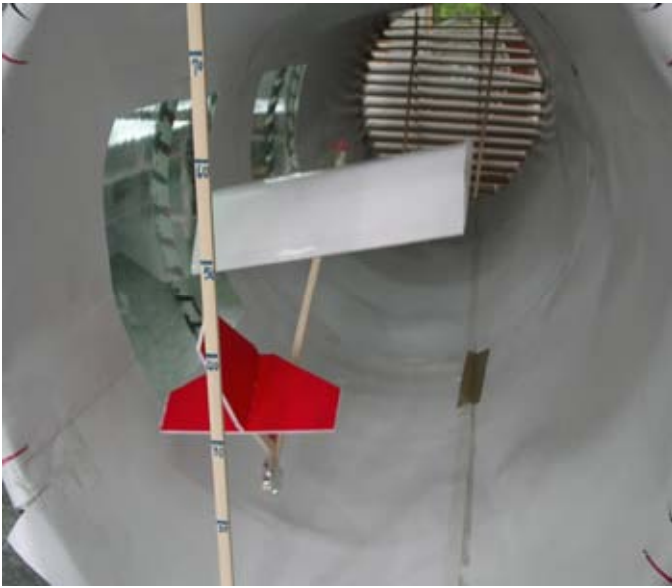


圖 5-34 重心位在 30 公分處時,機尾太重,以致浮升時機頭朝上,機尾明顯向下

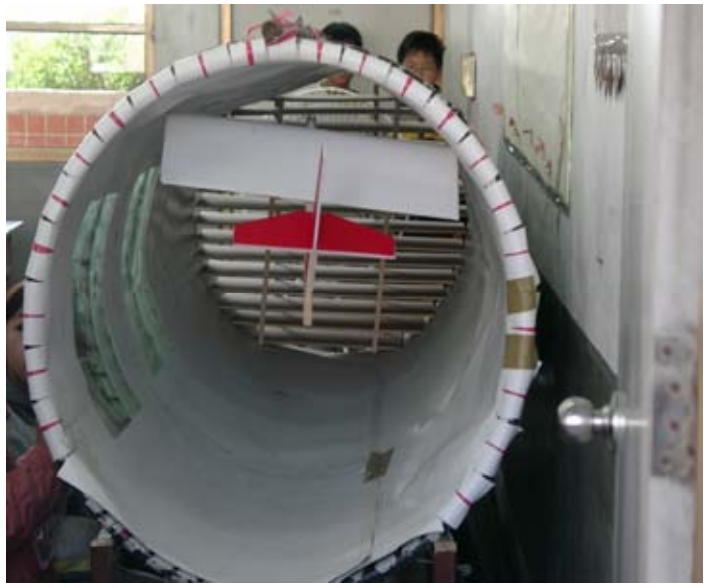


圖 5-35 重心在 20 公分處時接近浮力中心,浮升效果佳

#### 4、實驗討論

當飛機在飛行時，柏努力機翼具有浮力，這個浮力的中心點就是升力中心，而升力中心的位置與飛機重心的位置，有相當大的關係；因為重心位於升力中心之前，對飛機可能產生機頭向下轉的效果（如圖 5-36）。重心位於升力中心之後，可能出現不同的效果，即是飛機會向上高飛，使飛機有向上爬升失速的作用(如圖 5-37)。

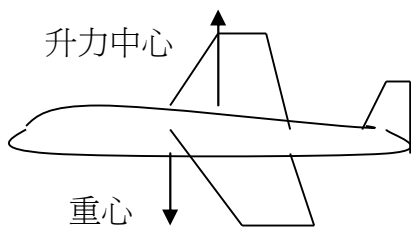


圖 5-36 重心再升力中心之前

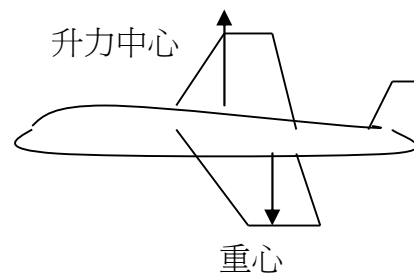


圖 5-37 重心再升力中心之後

# 陸、研究與討論

## 一、飛機飛行之力學分析：

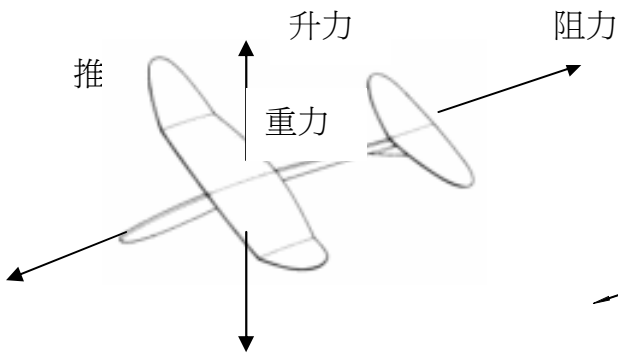


圖 6-1

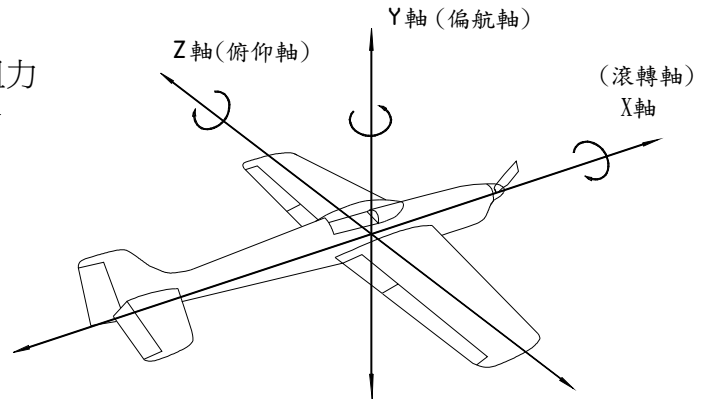


圖 6-2

老師曾教過我們關於飛機飛行時的力學分析，基本上，飛機所受的力可分成重力、升力、推力和阻力（如圖 6-1）。推力是由引擎賦予飛機向前推進的力量；阻力則是飛行時，空氣對飛機所產生的阻礙力量，方向剛好和推力相反；而重力的來源是地心引力造成的，會讓飛機向下墜落；升力則是飛機受推力向前時，機翼的角度與翼形的特性所產生的一種向上的力量，使飛機克服重力而能在天空飛翔。

### （一）．如何決定機翼剖面的高度？

在實驗中，我們以各種不同的曲面高度進行實驗，所呈現出來的是浮升高度之狀況，也是達成研究目的的主要表現；而左右搖晃、上下震動、向一邊傾斜的狀況為參考指標，偏離越遠或震動越大，則越無法達成我們的目標。

綜合整理實驗的結果，我們可由研究結果的數據(表 5-1)中發現：最穩定的剖面高度是 3.5 公分的曲面，並以此為基礎，繼續之後的研究工作。

### （二）如何設計最佳的剖面高度之適當位置？

實驗紀錄的部分，我們還是以浮升高度加上左右搖晃、上下震動、向一邊傾斜的狀況來進行評估。而我們也就每一種的試飛狀況，進行修正，例如，造成上下震動狀況不理想；或飛機向一邊傾斜亦或搖晃震動等因素。於是有第一種高度位置、第二種高度位置、第三種高度位置...等的衍生，而從研究結果中可發現，第四種高度位置已修正不少缺點，有最佳飛機順利浮起來的情況(表 5-3)。

### (三) 翼剖面機翼與沒有翼剖面機翼的比較？

從實驗數據中，可發現具有柏努力曲面的機翼，正面向上時，飛機會往上升起來(圖 5-26)而正面向下時，飛機往下沉而無法起來(圖 5-27)，由此可以證明具有柏努力曲面的一邊會產生上推力量，而使飛機向上或向下。

沒有柏努力曲面的機翼，不管是正面向上或正面向下，飛機都會往上升起來(圖 5-28,5-29)，而不會因為正面向下而飛機向下沉，這與柏努力曲面機翼兩相比較，即可證明柏努力的作用了。



## 柒、結論

「柏努力原理」，原本是個陌生的名詞，但卻在老師和同學們的努力之下，以科學的精神，實事求是的態度，逐步的藉由各種實驗測試而瞭解。

在這次的研究中，我們得到的結論是：

- 1、一架飛機好幾噸的重量但依然還可以飛行，主要的原因是機翼的設計。
- 2、一架飛機的大小配合適當的寬度，設計一個曲面，這個曲面的高度有一定的比例。
- 3、曲面的設計除了要考慮最高的限制以外，還要考慮到最高點的位置才能達到最好的效果。
- 4、在進行沒有柏努力機翼的實驗時，正反兩面飛機都可以浮起來，那是因為機翼與水平線有一個夾角(攻角)所產生的浮力；而具有柏努力機翼的飛機，正面向下時，飛機往下沉，是因為柏努力曲線的作用力克服了風的浮力而往下沉。
- 5、柏努力曲面的機翼，在飛行時，會有一個升力中心；飛機的重心一定要與升力中心大約在同一直線上或是升力中心在重心位置前面一些些，這樣可以讓飛機跟風之間的產生更好的浮力。

## 捌、參考資料

### 書籍、期刊資料部分

1. PAPER AIR PLANE 戶田拓夫 臺灣日販股份有限公司 1997.9.1
2. 親子摺紙遊戲 西北出版社編輯部 西北出版社 1999.1
3. 圖解摺紙遊戲 西北出版社編輯部 西北出版社 1999.1
4. 飛機飛行之原理 Frederick K. Teichmann 編 歐陽績譯 臺北市：徐氏基金會 民 68
5. 飛機飛行學 黃雨順編著 臺北市：全華 民 80

### 網站部分

1. Tony.S 2000 資訊工作室 <http://home.pchome.com.tw/togo/tonys999/>
2. 我的飛行世界 <http://home.kimo.com.tw/shpao5824/flight.htm>
3. 模型飛機的空氣動力學 <http://home.kimo.com.tw/hsudonghorng/>
4. 中華民國航天技術研發會 <http://www.wjj.idv.tw/rc/>

## 評語

080101 國小組物理科

發現-風洞中的柏努力

1. 風洞製作方法佳。
2. 昇力量測方式可改進。
3. 加強實驗資料之分析。
4. 增加內容深度與廣度。