

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

探究精神獎

080116

借風使舵～氣流飛機任我控

學校名稱：臺中市北屯區仁美國民小學

作者： 小五 孫家溱 小五 陳亮勳 小五 紀晴瑤 小五 齊盈浙 小五 張皓珽 小五 廖恆毅	指導老師： 張裕康 劉佩均
---	-------------------------

關鍵詞：氣流飛機、步行滑翔機、掌風飛機

借風使舵~氣流飛機任我控

摘要

空氣的流動會形成風，藉由起風板前進產生的上升氣流，可推動由保麗龍薄片製作的氣流飛機向前飛行。本研究旨在探討影響氣流飛機飛行速度的因素，分別以手持和類風洞裝置來進行實驗，結果我們發現，氣流飛機在起風板上的最佳飛行速度並非單一速度，而是一個區間。不同起風板角度間有共同的安全飛行區間，若飛行速度控制在共同安全區間內，氣流飛機可在所有的起風板角度上安全飛行。另外，氣流飛機在起風板不同位置也會影響飛行的速度，下半部速度最快，正上方成功率最高，本研究建議將氣流飛機操縱在上半部，結合速度和成功率。起風板兩側折角能修正氣流飛機的偏移，讓飛機回正。若將起風板兩側向上折起30度，則可讓氣流飛機飛得更快且更穩定。

壹、研究動機

五年級上學期，我們參加了「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」，發現可以用保麗龍製造出更輕薄的飛機，僅靠板子推動產生氣流就能飛行，我們練習好久、信心滿滿去比賽，卻輸得很慘。回想三、四年級自然課曾學習「空氣流動形成風」的單元，五年級自然課「生活中的熱」單元中，也學習過空氣是有壓力的。所以，我們邀請同儕一起研究，想找出氣流飛機與起風板之間的最佳配對的位置和角度，也想找出能讓氣流飛機飛得更快、更穩的方法，除了希望將來再次參加比賽時，能夠贏回來之外；也希望讓未來想要操控氣流飛機的人，有所依據和參考，讓更多的人喜歡氣流飛機。

貳、研究目的

- 一、以手持方式，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 二、以手持方式，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 三、以手持方式，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 四、以類風洞裝置，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 五、以類風洞裝置，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 六、以類風洞裝置，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 七、實際模擬氣流滑翔飛機繞桿接力競賽，驗證本研究的結論是否確實能使得分增加。

參、研究設備及器材

一、氣流飛機：

保麗龍、電工膠帶、厚紙板、保麗龍切割器、直尺、剪刀、美工刀、透明膠帶

二、起風板：

PP 瓦楞板、珍珠板、塑膠桿、熱熔膠、熱熔膠槍、大型量角器、免釘黏土、透明膠帶

三、測速工具：

Arduino、超音波控制模組、筆記型電腦

四、繪圖工具：

Inkscape 繪圖軟體

五、類風洞裝置：

電風扇、紙箱、吸管、熱熔膠、珍珠板、測風儀、棉線、塑膠管、譜架、月亮觀測器。

肆、文獻回顧

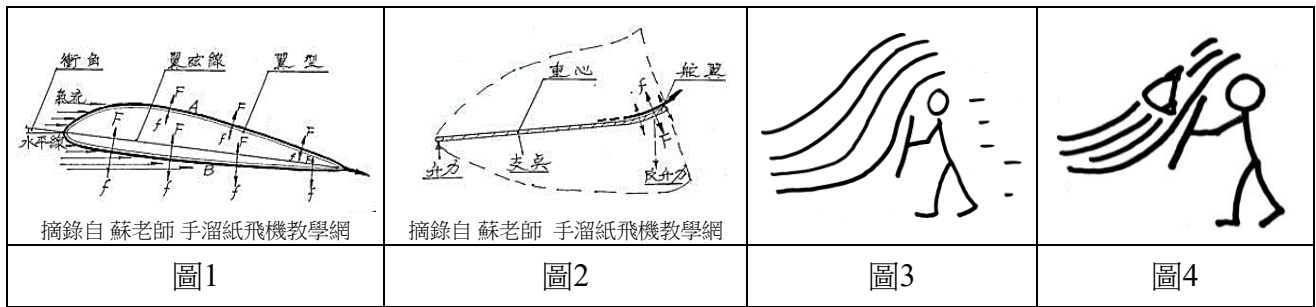
一、氣流飛機(Walkalong Glider)是一種輕型、慢速飛行的模型飛機，材質可能是輕薄的紙片或是保麗龍片，通常會利用紙板、手掌、額頭、身體的前進來產生上升氣流，使氣流飛機在空中飛行。

二、飛行物體在天空中的受力，基本上有重力、升力、阻力、推進力。升力是讓物體可以滯留在空中的力量，方向朝上。重力是地球引力，會把物體往下拉。方向與升力相反。阻力是空氣阻止物體前進的力量。推進力是物體前進的力量。

三、康達效應 (Coandă Effect)：亦稱附壁效應。流體（水流或氣流）離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動之傾向，並使周圍流體逸入此一噴流中。由於流體移動方向改變，使得周圍產生壓力較低的區域，此稱為康達效應，如(圖1)空氣流經上翼曲面(A)及向後傾斜的下翼面(B)時，機翼會產生一作用力「拉及推」向下(f)；因而使空氣對機翼產生反作用力，把機翼「拉及推」向上，產生升力(F)，這種現象稱為康達效應。

四、當氣流飛機在空中平衡飛行時，氣流會依康達效應流至機翼尾部的舵翼，會產生反作用力將機翼推向下，順勢將機頭適當揚起，令機翼與地面幾乎平行的滑行前進。如(圖2)

五、當我們拿著板子向前行走時，空氣會因為康達效應，順著板子向上產生上升氣流(圖3)，為氣流飛機提供升力，若上升氣流的力量大到足以對抗氣流飛機的重力時，氣流飛機就會在空中飛行了(圖4)。



六、「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」競賽規則簡述：

參賽者於規定時間內現場製作完成一架創意氣流滑翔飛機，運用簡易的空氣科學，3人接力操作氣流推板2片(限長 45 公分、寬 45 公分以內)，以無接觸方式控制滑翔飛機，進行接力繞杆賽，限時 3 分鐘，所完成的繞杆接力次數之得分為競賽成績。

七、氣流飛機造型設計：

參閱歷屆中小學科展作品，和本研究相關的有：第 60 屆「I can fly~從穩定性探討物體飛翔的秘密」、第 56 屆「翻轉紙片一大嘴巴飛行器」、第 53 屆「利用上升氣流滑翔的紫斑蝶 1:1 比例模型-揭開紫斑蝶飛行的秘密」。

另外，我們拜訪了蘇老師紙飛機飛行科學教育研究中心網站、研究了「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」前三名的飛機造型、還以 *walkalong glider* 為關鍵字於網站搜尋相關影片和圖片，經分析比較後，我們發現輕型飛行器，要能夠穩定的在空中滑翔，需具有以下特點：

- (一) 以 1mm 厚度或更薄的保麗龍片製成的飛行器，材質輕、不易變形，滑翔效果好。
- (二) 翼面的面積大，飛行會趨於滑行。
- (三) 後掠角較大的翼面，較不容易發生翻滾現象，穩定性較高。
- (四) 一定要搭配翼面配重，翼面配重的重量與位置必須適當，配重位置應該靠近翼前緣效果較好。
- (五) 翼面有上反角能有助於防止飛機滾轉，上反角度最好在 20 度以下，但也不能為 0 度，才能使飛行更趨於穩定。
- (六) 翼面的後方角度應往上翹起，做為氣流飛機的升舵。

伍、實驗裝置設計

一、氣流飛機造型的繪製


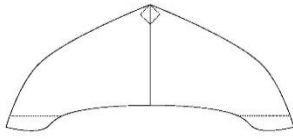


依據文獻探討，本研究小組決定氣流飛機的造型採用後掠翼，上反角設定為10度，升舵上折40度，配重的位置在氣流飛機的前端，不超出邊界。

- (一) 利用 Inkscape 軟體繪製本次實驗的氣流飛機造型(圖 5)。
- (二) 列印出本次實驗用之飛機造型模板(圖 6)。

二、製作氣流飛機

(一) 利用保麗龍切割器將保麗龍切割長20cm、寬10cm、厚度為1mm的薄片(圖 7)。

(二) 利用飛機模板，剪下保麗龍氣流飛機，以1cm²電工膠帶對氣流飛機進行配重(圖 8)。



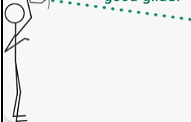
			
圖5 繪製飛機造型	圖6 列印飛機模板	圖7 切割1mm 保麗龍	圖8 對飛機進行配重

三、氣流飛機配重之研究





(一) 依據文獻探討，本研究氣流飛機配重在飛機的機首內緣，不突出機首外。

(二) 測試人員手持氣流飛機輕放，觀察氣流飛機飛行軌跡，若為等速滑翔向下，距離最遠者為佳。依本實驗研究，氣流飛機配重為 4 張邊長為1cm 的黑色電工膠帶為最佳。

表1 氣流飛機配重過程紀錄表

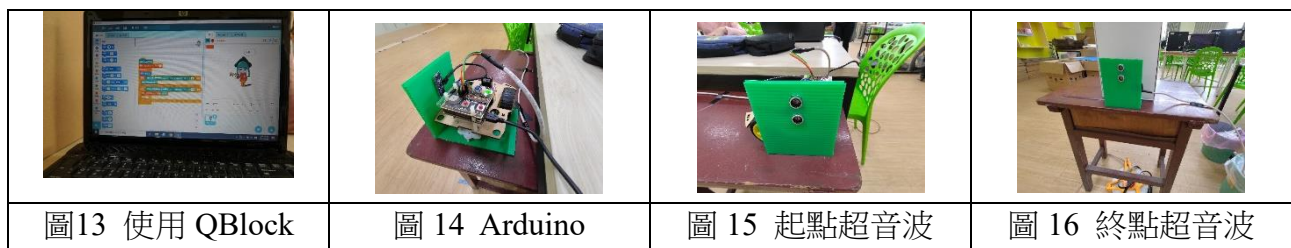
正方形的 電工膠帶 1cm×1cm	配重太輕 	配重太重 	配重完美 	飛行距離			
				<1m	1m ~ 2m	2m ~ 3m	>3m
0 張	✓			✓			
1 張	✓			✓			
2 張	✓				✓		
3 張	✓					✓	
4 張			✓				✓
5 張		✓			✓		
6 張		✓			✓		

三、製作45cm*45cm 起風板，材質為 PP 瓦楞板，共製作 30°、40°、50°、60°、70°、80° 共 6 種角度的起風板，如圖9、10、11、12。

			
圖 9 50°起風板	圖 10 60°起風板	圖 11 70°起風板	圖 12 80°起風板

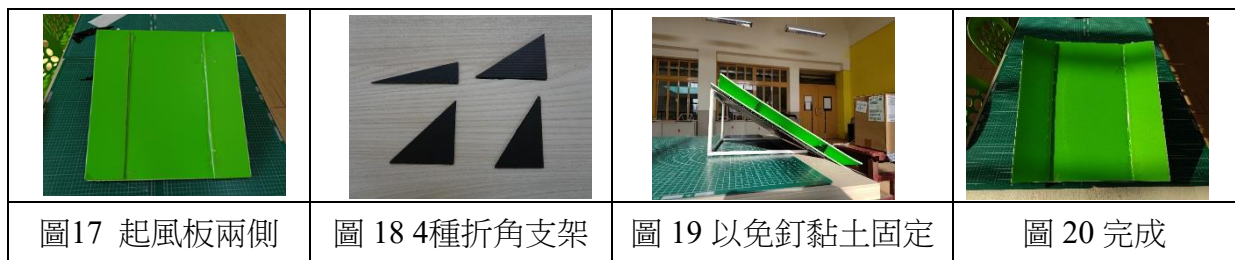
四、測速儀的製作

以 Arduino 結合超音波感測器，用 QBlock 軟體撰寫程式，來測量測試者用手操作氣流飛機，經過2台超音波感測器的時間，行走的距離為4公尺，如：圖13、14、15、16。



五、製作不同折角的起風板

裁切 2 片 45*10 的長方形珍珠板，用膠帶浮貼在與地面夾角為30°、表面貼有珍珠板的起風板兩側(圖17)。本研究共製作 15°、30°、45°、60°夾角的支架各4個(圖18)。起風板兩側折角以免釘黏土固定(圖19、20)方便替換不同支架進行實驗。



六、手持起風板的方式

在手持起風板前進的過程中，垂直支架要全程垂直地面，以直行、平順的等速前進(圖21、22)，不可歪斜。一旦歪斜、忽快忽慢，左右飄移則列入失敗紀錄(圖23、24)



七、實驗場地設計

- (一) 氣流飛機「飛行起點」，位於「計時起點」前約 1 公尺，目的在於排除起飛時的不穩定狀態，使氣流飛機可以從「計時起點」開始穩定飛行，避免造成實驗誤差。
- (二) 測試流程：測試者從「飛行起點」開始，依次通過「計時起點」(起點超音波感測器) → 電腦操作員 → 成績紀錄員 → 終點超音波感測器 → 紀錄成績(圖25)。
- (三)我們在路線的起點、左右兩側及測試者的正前方，共設置 4 位監看者，全程檢視測

試者起風板的垂直支架是否垂直地面，以及氣流飛機的位置是否全程都在起風板的指定位置(正上方、上半部、下半部)，一旦垂直支架未垂直地面、忽快忽慢，左右飄移，或氣流飛機有離開指定位置，則此次的實驗結果列為失敗紀錄。(圖26)

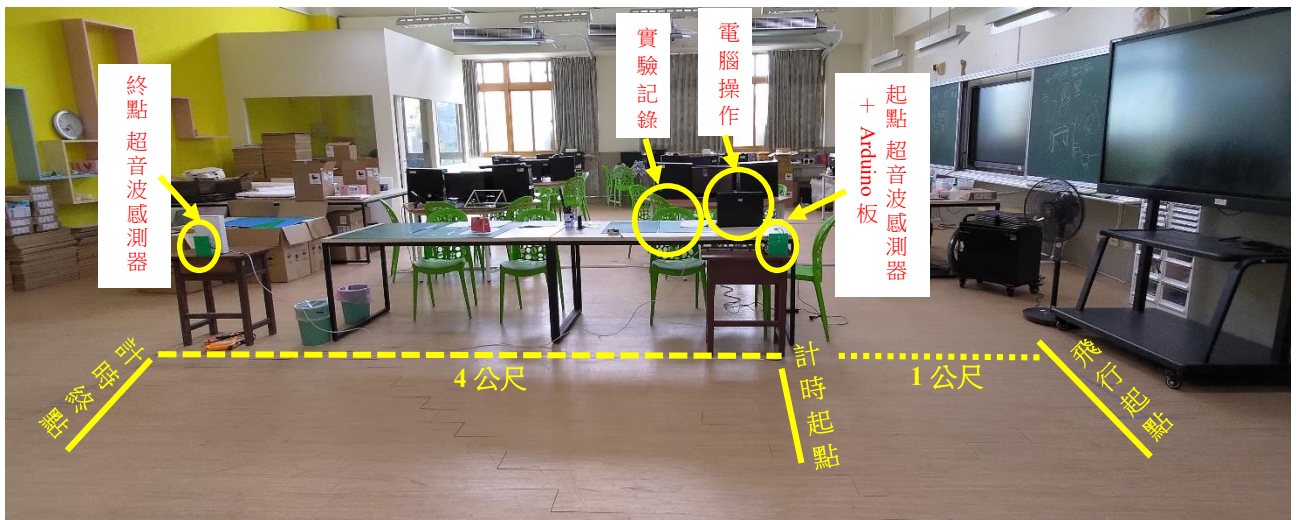


圖25 實驗場地設計



圖26 測試者和 4 位監看者的位置圖

八、類風洞裝置

(一) 設計理念：

本研究小組為了模擬人們手持起風板向前進時，前方空氣因起風板的前進而流動，進而產生上升氣流的狀態，所以設計此類風洞裝置。

(二) 類風洞裝置的製作：

1. 因本實驗的起風板大小為 45cm * 45cm，所以本研究小組用珍珠奶茶的吸管(圖27)，以熱熔膠黏貼，製作出長、寬各為45cm的整流段(圖28)。

2. 將整流段以紙箱包覆，紙箱末端，放入可調轉速的電風扇一台(圖29)。
3. 以譜架做為起風板的支架，使用月亮觀測器，來調整起風板的角度(圖30)。
4. 實驗用氣流飛機，以3條棉線固定，懸浮在起風板前，上方以3之竹籤調整棉線長短，控制氣流飛機的高低平衡(圖31)。
8. 起風板下緣與出風口下緣等高，距離為80cm。
9. 完成類風洞裝置，如圖32。

			
圖27 黏貼珍奶吸管	圖28 風洞整流段	圖29 可調速電扇	圖 30 調整角度
			
圖31 支架垂直地面	圖32 類風洞裝置 完成圖		

陸、研究過程或方法

一、實驗一：以手持方式，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 起風板角度：

氣流飛機要飛行的主要升力來源就是起風板，起風板角度即為起風板與地面的夾角，考量 0 度夾角無法產生上升氣流，10 度與 20 度的夾角操作不易，90 度的夾角飛行困難，所以經本研究小組討論後決定，將起風板與地面的夾角分成 6 個級距來實驗，分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度。

(二) 氣流飛機在起風板的位置：

本實驗將氣流飛機的飛行位置設定在起風板的「正上方」，符合大多數文獻資料在介紹氣流飛機時，人員操作氣流飛機的位置。(圖33、圖34)

(三) 實驗過程與紀錄：

由6位研究小組成員進行實驗，分別以這6種夾角度數的起風板來驅動氣流飛機，移動距離為4公尺，計算從計時起點到計時終點所花費的時間，每人每種夾角實驗20次，記錄成績，各取前10次最佳成績，計算前10次的平均時間，並計算出個人在每一個夾角所實驗出的平均速度。



二、實驗二：以手持方式，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究動機：

在進行實驗一的過程中，本研究小組發現，我們除了可以將氣流飛機控制在起風板的正上方之外，我們還可以將氣流飛機控制在起風板的上半部及下半部。這讓我們決定研究，若將氣流飛機控制在起風板其他不同的位置(上半部及下半部)，是否會影響氣流飛機飛行的速度。

(二) 上半部與下半部的定義：

1. 本實驗所謂起風板的**上半部**，是指氣流飛機飛行時的位置在起風板**中線以上**，但是並未超過起風板的**上緣邊界**，如圖35，兩條黃線中的紅色區域內。
2. 本實驗所謂起風板的**下半部**，是指氣流飛機飛行時的位置在起風板**中線以下**，但是並未超過起風板的**下緣邊界**，如圖36，兩條黃線中的紅色區域內。

(三) 本實驗分成氣流飛機飛行時在起風板正上方、上半部及下半部3共個部分，起風板與地面的夾角共實驗 6 個級距，分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度

(四) 由於氣流飛機飛行時在起風板正上方的數據已於實驗一完成，本次實驗將針對氣流飛機飛行時在起風板上半部及下半部分別進行實驗。

(五) 實驗過程與紀錄：

本實驗由6位研究小組成員進行實驗，分成氣流飛機飛行時在上半部，與下半部兩個部份，試驗者分別以這6種夾角度的起風板來驅動氣流飛機，移動距離為4公尺，計算從計時起點到計時終點所花費的時間，每人每種夾角實驗20次，記錄成績，各取前10次最佳成績，計算前10次的平均時間，並計算出個人在上半部或是下半部的每一個夾角所試驗出的平均速度。

三、實驗三：以手持方式，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究動機：

起風板的作用是在產生上升氣流，如果將起風板兩側折起，則會產生不同的上升氣流，這是否會讓我們飛行速度更快？操控更靈活呢？這激起我們的興趣，因此我們要來研究起風板上折不同角度時，對飛行速度或是穩定度是否會造成影響。

(二) 製作起風板兩側折角：

起風板及兩側折角的材質接為珍珠板，大小為 45 * 45cm，兩側折角寬為10 cm。

(三) 兩側折角的角度：

經本研究小組討論後決定，將起風板兩側折角設定為15度、30度、45度、60度，共 4 個級距分別進行實驗。

(四) 氣流飛機在起風板的位置：

在進行實驗一及實驗二的過程中，我們發現若將氣流飛機操控在起風板的上半部，可兼顧氣流飛機的速度與穩定性，所以經研究小組討論後決定，本實驗將氣流飛機操控在起風板的上半部。

(五) 起風板的角度：

在進行實驗一及實驗二的過程中，我們發現當將氣流飛機操控在起風板的上半部時，若使用與地面夾角為30度的起風板，在操作上最為穩定且成功率最高，經研究小組討論後決定，將起風板折角安裝在與地面夾角為30度的起風板上。

(六) 實驗過程與紀錄：

本實驗由6位研究小組成員進行實驗，分別以裝有15度、30度、45度、60度，這4種折角的起風板來驅動氣流飛機，移動距離為4公尺，計算從計時起點到計時終點所花費的時間，每人每種折角實驗20次，各取前10次最佳成績，計算前10次的平均時間，並計算出每一種折角所試驗出的平均速度。

四、實驗四：以類風洞裝置，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究動機：

我們從實驗一的結論可以知道：當氣流飛機在起風板上半部時，氣流飛機的飛行速度和起風板的角度關係並不明顯，每個人對於操作氣流飛機的技巧和熟練度不同，但各個角度卻都有人可以測試出最佳成績，甚至同一個人在不同角度也可以測出最佳成績，這是否是因為人為誤差？這個結論讓我們很困惑。

所以我們設計自製類風洞設備，想去除人為操作的變因，以自製類風洞設備來測試「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。看看是不是也有相同的結論，並且試圖找出此現象的原因。

(二) 正上方的定義：

將起風板平分成四等分並做上記號，正上方是以氣流飛機機翼平行地面，置放於起風板上方5公分的位置(圖37)，並將氣流飛機升舵的邊緣垂直對齊起風板的上緣(圖38)。

(三) 起風板的角度：

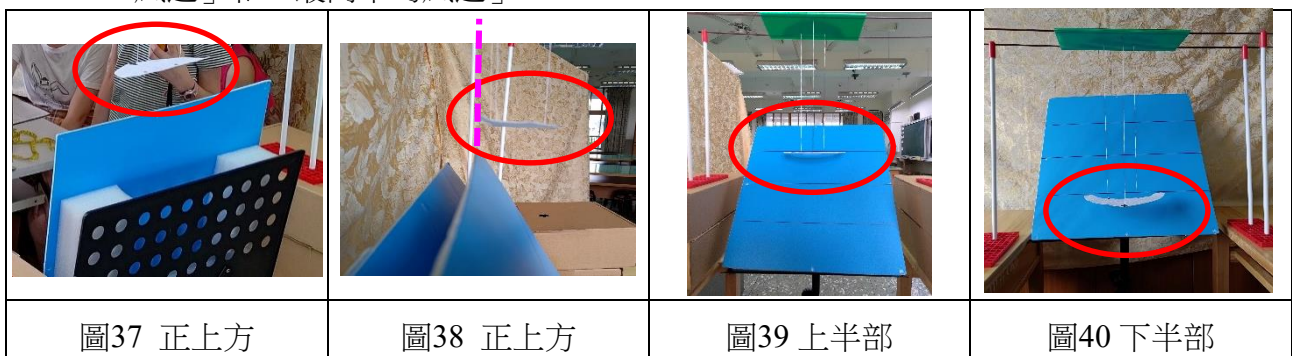
本實驗起風板的角度即起風板與地面的夾角，角度設定與實驗一相同，分成6個級距來實驗，分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度。

(四) 實驗過程與紀錄：

將起風板角度調整至實驗角度，並將氣流飛機位置調整至起風板的正上方。轉動風扇風速調整鈕，將風扇慢慢加速，直到氣流飛機的棉線開始彎曲，氣流飛機開始上浮，使用測風儀測量風扇的風速，紀錄該風速為「最低風速」。

接下來將風速再次加快轉速，直到氣流飛機失控旋轉或是向後噴飛，使用測風儀測量風扇的風速，將風速調降 0.1m/sec，若調降後，氣流飛機能繼續正常飛行，沒有失控旋轉或向後噴飛，則紀錄該風速為「最高風速」。

將最低風速和最高風速各測得3次，取平均，即為該起風板角度的「最低平均風速」和「最高平均風速」。



五、 實驗五：以類風洞裝置，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究動機：

我們在進行實驗二時發現，若將氣流飛機控制在起風板的上半部時，氣流飛機飛行的速度明顯變快，尤其是在實驗下半部時，有許多角度竟然無法以人力的方式測試出來，而且操作的失敗率很高，這激起我們的興趣，想研究如果使用類風洞設備，扣除人們前進時速度體能的限制，實驗結果是否相同，並試圖尋求此現象的原因。

(二) 上半部的定義：

上半部，是指氣流飛機的翼面平行地面，氣流飛機的後緣離起風板平行距離5公分，並將氣流飛機升舵的上緣高度對齊起風板上半部一半的位置(起風板上方四分之

一的線)(圖39)。

(三) 下半部的定義：

下半部，是指氣流飛機的翼面平行地面，氣流飛機的後緣離起風板平行距離5公分，並將氣流飛機升舵的上緣高度對齊起風板下半部一半的位置(起風板下方四分之一的線)(圖40)。

(三) 起風板的角度：

本實驗起風板的角度就是起風板與地面的夾角，角度設定與實驗二相同，分成 6 個級距來實驗，分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度。

(四) 實驗過程與紀錄：

本實驗分別將氣流飛機擺放在起風板的上半部和下半部兩個部份來實驗。兩部分的過程相同。

將起風板角度調整至實驗角度(30度、40度、50度、60度、70度、80度)，並將氣流飛機位置調整至起風板的上半部(或下半部)。轉動風扇風速調整鈕，將風扇慢慢加速，直到氣流飛機的棉線開始彎曲，氣流飛機開始上浮，使用測風儀測量風扇的風速，紀錄該風速為「最低風速」。

接下來將風速轉速再次調快，直到氣流飛機失控旋轉或是向後噴飛，使用測風儀測量風扇的風速，將風速調降 0.1m/sec，若調降後，氣流飛機能繼續飛行，沒有失控旋轉或向後噴飛，則紀錄該風速為「最高風速」。

將最低風速和最高風速各測得3次，取平均，即為該起風板角度的「最低平均風速」和「最高平均風速」。

六、實驗六：以類風洞裝置，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究動機：

從實驗三我們發現，如果將氣流飛機操控在起風板的上半部，並將起風板兩側折起30度角，確實可以增加飛行速度及穩定性。但是，我們實驗三測得的最佳飛行速度真的是極限嗎？我們想藉由自製類風洞裝置，找出在起風板兩側折角為30度，是否真的是氣流飛機飛得最快速、最穩定的兩側折角。

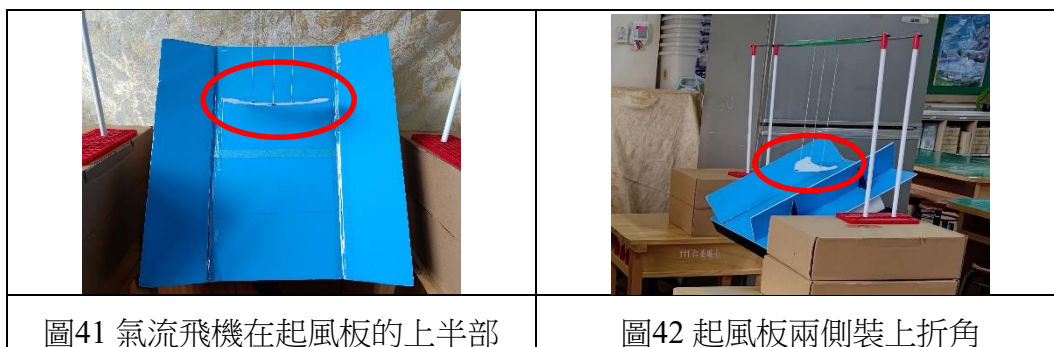
(二) 上半部的定義：

氣流飛機在擺放在起風板的上半部，是指氣流飛機的翼面平行地面，氣流飛機的後緣離起風板平行距離5公分，並將氣流飛機升舵的上緣高度對齊起風板上半部一半的位置(起風板上方四分之一的線)(圖41)。

(三) 起風板的兩側折角：

本實驗起風板的兩側折角，角度設定與實驗三相同，分成 5 個級距來實驗，分別

為 0度、15度、30、45和60度。其中，0度的實驗與實驗五中，起風板角度為30度，將氣流飛機控制在起風板上半部的實驗相同，故沿用實驗五的數據。(圖42)



(四) 本實驗採用的起風板角度和實驗三相同，皆為30度。

(五) 實驗過程與紀錄：

首先，將起風板的兩側折角調整至實驗角度(15度、30、45和60度)，並將氣流飛機位置調整至起風板的上半部。轉動風扇風速調整鈕，將風扇慢慢加速，直到氣流飛機的棉線開始彎曲，氣流飛機開始上浮，使用測風儀測量風扇的風速，紀錄該風速為「最低風速」。

接下來將轉速加快，直到氣流飛機失控旋轉或是向後噴飛，使用測風儀測量風扇的風速，將風速調降 0.1m/sec，若調降後，氣流飛機能繼續飛行，沒有失控旋轉或向後噴飛，則紀錄該風速為「最高風速」。

將最低風速和最高風速各測得3次，取平均，即為該起風板兩側折角的「最低平均風速」和「最高平均風速」。

七、 實驗七：實際模擬氣流滑翔飛機繞桿接力競賽，驗證本研究的結論是否確實能使得分增加。

(一) 實驗目的：

依「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」規則，將本次研究之結果，進行實際演練，測試本研究結果是否確實可以提升氣流飛機的飛行速度及穩定度，並在原有競賽成績中，競賽名次是否能提升。

(二) 實驗器材：

依據實驗二、五的結果，將氣流飛機操控在起風板的上半部。並依據實驗三、六的結果，將氣流飛機的兩側折角上折30度，進行實驗。

(三) 將此次演練成績，與原始比賽成績進行比較，若是能順利提升競賽成績，則可驗證本實驗之結果。

柒、研究結果與討論

一、實驗一：以手持方式，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

1. 不同「起風板角度」對氣流飛機平均「飛行速度」之研究，實驗結果如表 2。

表 2 測試者在不同「起風板角度」下與「飛行速度」實驗結果紀錄表

測試者 \ 速度 (m/sec)	角度					
	30度	40度	50度	60度	70度	80度
A	1.29	1.16	1.02	1.16	1.08	1.16
B	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	0.91
C	1.02	1.02	1.11	1.02	1.02	1.14
D	1.02	1.02	1.02	1.00	1.16	1.02
E	1.14	1.15	1.15	1.12	1.16	1.10
F	0.91	1.02	1.02	1.02	0.89	1.02

2. 繪製測試者在不同「起風板角度」下與「飛行速度」的關係圖，如圖 43。

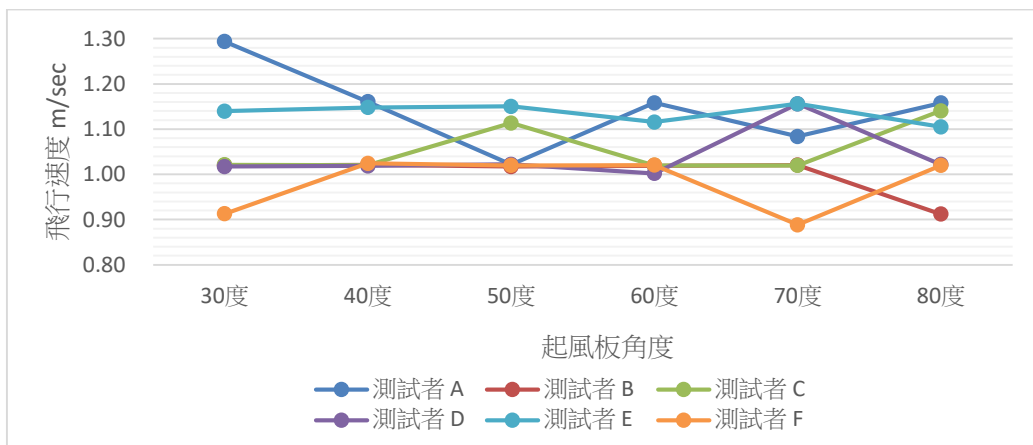


圖 43 不同「起風板角度」下與「飛行速度」關係圖

(二) 討論：

1. 實驗中，每位測試者測試出最佳飛行速度的起風板角度皆不相同，值得注意的是，測試者 B 及測試者 F 在有多個起風板角度都可以測試出最佳成績，如下表 3：

表 3 測試者飛行速度最快的起風板角度統計表

測試者	A	B	C	D	E	F
速度最快角度	30度	30~70度	80度	70度	70度	40~60度、80度

2. 每位測試者分別在測試的 6 個角度中，有多次平均飛行速度相同的情形，如下表 4：

表 4 測試者6次個角度中飛行速度相同統計表

測試者	A	B	C	D	E	F
相同速度 m/sec	1.16	1.02	1.02	1.02	1.15	1.02
相同速度次數	3	5	4	4	2	4
相同速度角度	30、60、 80度	30~70度	30、40、 60、70度	30、40、 50、80度	40、50度	40、50、 60、80度

3. 多位測試者在 6 個角度中，有多次平均飛行速度皆為 1.02 m/sec 的情形，如下表 5：

表5 所有測試中平均飛行速度為1.02 m/sec 統計表

測試者	A	B	C	D	E	F
次數	1	5	4	4	0	4
速度為1.02m/sec 角度	30、60、 80度	30~70度	30、40、 60、70度	30、40、 50、80度	-	40、50、 60、80度

4. 各角度都可以測試出最佳飛行速度，如下表 6：

表 6 各角度可以測試出最佳飛行速度的人數統計表：

角度	30度	40度	50度	60度	70度	80度
最佳飛行速度人數	2	2	2	2	3	2
測試者	A、B	B、F	B、F	B、F	B、D、E	C、F

5. 由上可知，不同的起風板與地面的夾角，都有測試者可以測試出最佳速度，所以經本研究小組推論，當氣流飛機飛行的位置在起風板的「正上方」時，起風板的角度和氣流飛機飛行速度的「關聯性並不明顯」。

二、實驗二：以手持方式，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

1. 各別測試者在氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」影響之實驗，結果如下。

(1) 測試者 A 的實驗結果：

① 實驗結果以及統計圖表如表7及圖44：

②在起風板角度為30度及40度時，氣流飛機飛行速度的快慢為：

下半部 > 上半部 > 正上方。

③在起風板角度為50度到80度間，測試者 A 在20次的試驗中，皆無法使氣流飛機正常飛行，以致於無法登記成績，所以此階段氣流飛機飛行速度的快慢為：

上半部 > 正上方。

表7 A 在不同角度之飛行速度統計表

測試者 A			
角度	位置		
	正上方	上半部	下半部
30度	1.29	1.35	1.49
40度	1.16	1.56	2.10
50度	1.02	2.48	-
60度	1.16	2.46	-
70度	1.08	1.49	-
80度	1.16	1.41	-

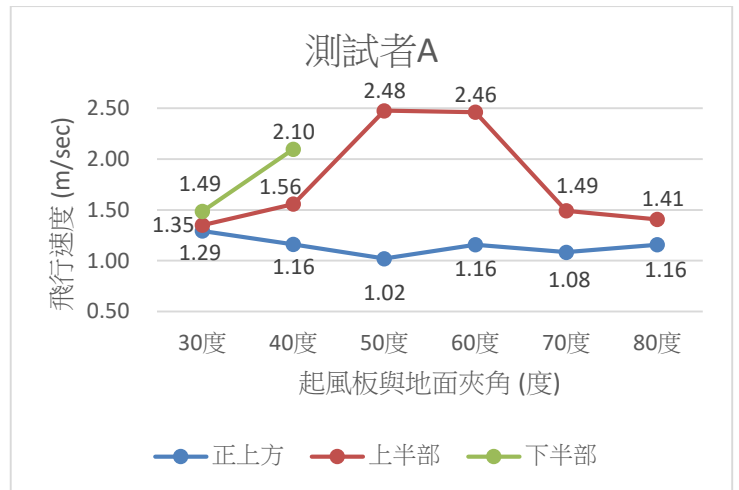


圖44 A 在不同角度之飛行速度統計圖

(2)測試者 B 的實驗結果：

①實驗結果以及統計圖表如表8及圖45：

表8 B 在不同角度之飛行速度統計表

測試者 B			
角度	位置		
	正上方	上半部	下半部
30度	1.02	1.19	1.56
40度	1.02	1.16	-
50度	1.02	1.23	-
60度	1.02	1.50	-
70度	1.02	1.50	-
80度	0.91	1.58	-

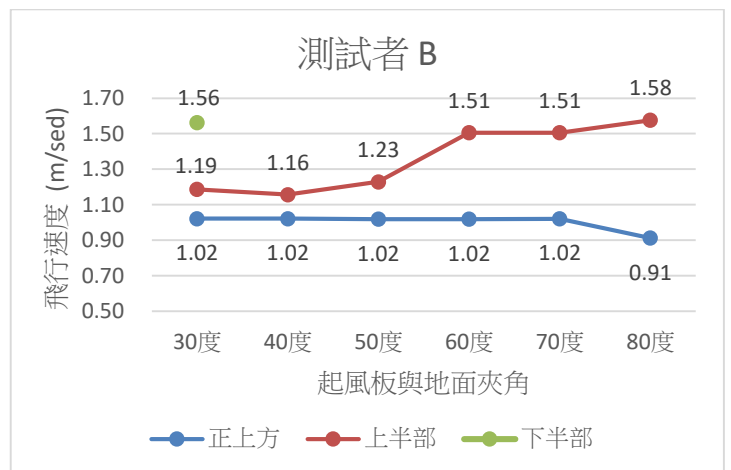


圖45 B 在不同角度之飛行速度統計圖

②起風板角度為30度時，氣流飛機飛行速度的快慢為：下半部 > 上半部 > 正上方。

③在起風板角度為40度到80度間，測試者 B 在20次的試驗中，皆無法使氣流飛機正常飛行，以致於無法登記成績，所以此階段氣流飛機飛行速度的快慢為：
上半部 > 正上方。

(3)測試者 C 的實驗結果：

①實驗結果以及統計圖表如表9及圖46：

②在起風板角度為30度到50度時，氣流飛機飛行速度的快慢為：

下半部 > 上半部 > 正上方。

③在起風板角度為60度到80度間，測試者 C 在20次的試驗中，皆無法使氣流飛機正

常飛行，以致於無法登記成績，所以此階段氣流飛機飛行速度的快慢為：
上半部 > 正上方。

表9 C 在不同角度之飛行速度統計表

測試者 C				
角度	位置	正上方	上半部	下半部
	速度			
30度		1.02	1.55	1.58
40度		1.02	1.25	1.54
50度		1.11	1.57	2.01
60度		1.02	1.58	-
70度		1.02	1.51	-
80度		1.14	1.49	-

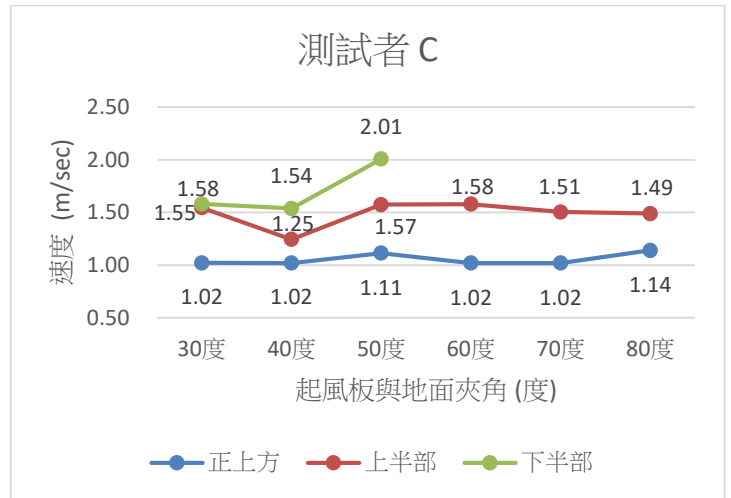


圖46 C 在不同角度之飛行速度統計圖

(4) 測試者 D 的實驗結果：

① 實驗結果以及統計圖表如表10及圖47：

表10 D 在不同角度之飛行速度統計表

測試者 D				
角度	位置	正上方	上半部	下半部
	速度			
30度		1.02	1.22	1.57
40度		1.02	1.54	1.62
50度		1.02	1.61	-
60度		1.00	1.33	-
70度		1.00	1.58	-
80度		1.02	1.65	-

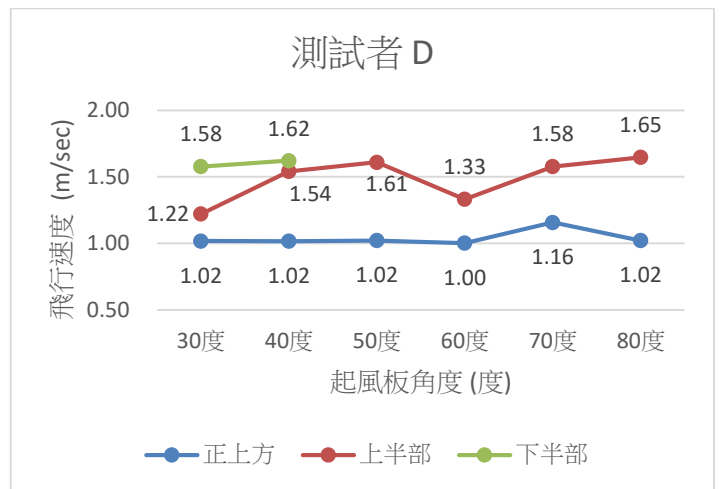


圖47 D 在不同角度之飛行速度統計圖

② 在起風板角度為30度到40度時，氣流飛機飛行速度的快慢為：

下半部 > 上半部 > 正上方。

③ 在起風板角度為50度到80度間，測試者 D 在20次的試驗中，皆無法使氣流飛機正常飛行，以致於無法登記成績，所以此階段氣流飛機飛行速度的快慢為：

上半部 > 正上方。

(5) 測試者 E 的實驗結果：

① 實驗結果以及統計圖表如表11及圖48：

②在起風板角度為30度到40度時，氣流飛機飛行速度的快慢為：

下半部 > 上半部 > 正上方。

表11 E 在不同角度之飛行速度統計表

測試者 E				
角度	位置	正上方	上半部	下半部
	速度			
30度		1.14	1.22	1.37
40度		1.15	1.45	1.57
50度		1.15	1.58	-
60度		1.12	1.37	-
70度		1.12	2.12	-
80度		1.10	1.45	-

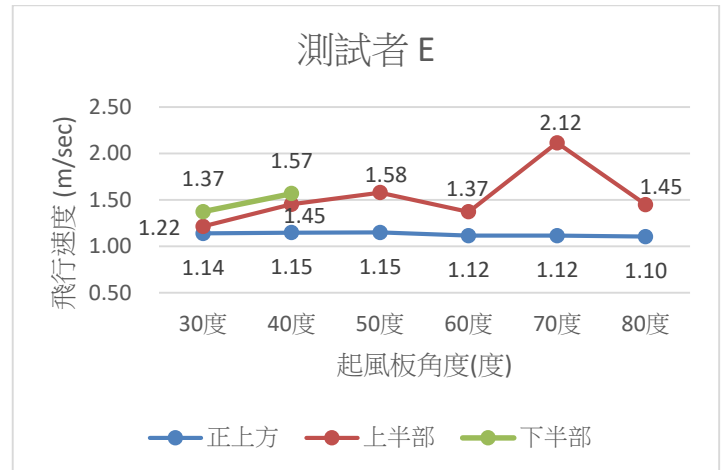


圖48 E 在不同角度之飛行速度統計圖

③在起風板角度為50度到80度間，測試者 E 在20次的試驗中，皆無法使氣流飛機正常飛行，以致於無法登記成績，所以此階段氣流飛機飛行速度的快慢為：
上半部 > 正上方。

(6)測試者 F 的實驗結果：

①實驗結果以及統計圖表如表12及圖49：

表12 F 在不同角度之飛行速度統計表

測試者 F				
角度	位置	正上方	上半部	下半部
	速度			
30度		0.91	1.04	1.34
40度		1.02	1.43	1.52
50度		1.02	1.54	-
60度		1.02	1.53	-
70度		1.02	1.51	-
80度		1.02	1.65	-

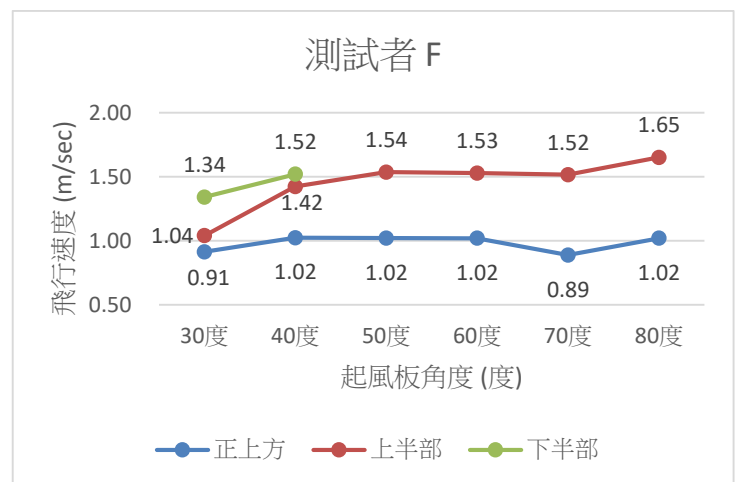


圖49 F 在不同角度之飛行速度統計圖

②在起風板角度為30度到40度時，氣流飛機飛行速度的快慢為：

下半部 > 上半部 > 正上方。

③在起風板角度為50度到80度間，測試者 E 在20次的試驗中，皆無法使氣流飛機正常飛行，以致於無法登記成績，所以此階段氣流飛機飛行速度的快慢為：
上半部 > 正上方。

2. 各別測試者在「起風板不同位置」與不同起風板角度下，飛行成功率統計結果，如下表13-1、13-2、13-3。

表13-1 正上方 測試者 成功率統計表

正上方 測試者 成功率 %							
位置 成功率 角度 %	A	B	C	D	E	F	平均
30度	100	100	100	100	100	95	99
40度	95	90	100	100	100	90	96
50度	90	95	100	100	100	90	96
60度	95	100	90	90	100	95	95
70度	90	90	80	80	95	90	88
80度	95	95	95	95	95	95	95

表13-2 上半部 測試者 成功率統計表

上半部 測試者 成功率 %							
位置 成功率 角度 %	A	B	C	D	E	F	平均
30度	85	70	80	65	80	70	75
40度	65	55	65	55	75	60	63
50度	60	50	55	50	70	50	56
60度	60	50	60	55	70	50	58
70度	45	40	50	40	70	45	48
80度	40	35	40	45	55	35	42

表13-3 下半部 測試者 成功率統計表

下半部 測試者 成功率 %							
位置 成功率 角度 %	A	B	C	D	E	F	平均
30度	35	20	60	25	30	25	33
40度	20	0	35	15	20	20	19
50度	0	0	20	0	0	0	3
60度	0	0	0	0	0	0	0
70度	0	0	0	0	0	0	0
80度	0	0	0	0	0	0	0

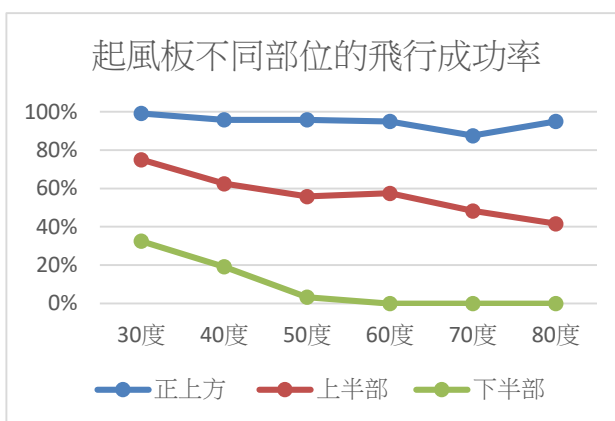


圖50 起風板不同部位之平均飛行成功率

(1) 由表13-1、13-2、13-3及圖50中，我們可知，氣流飛機在起風板不同部位的成功率以正上方最高，其次是上半部，下半部的成功率最低，甚至有成功率為0的情形發生。

(二) 討論：

1. 根據實驗結果，氣流飛機飛行時，若位於起風板的下半部，則飛行的速度將會比上半部及正上方還要快速。
2. 氣流飛機在飛行時，要將氣流飛機控制在起風板的下半部，是一件不容易的事，有1位研究小組成員，可將氣流飛機控制在30度，4位可以控制在40度以下，僅1位可以將氣流飛機控制在50度以下，超過50度，都沒有人能順利控制。

3. 經本研究小組討論，氣流飛機飛行的主要動力來源為推行起風板所產生的上升氣流，若是氣流飛機在起風板的下方，則無法產生足夠的上升氣流，讓飛機飛行，唯有加快測試者的前進速度，以增加上升氣流，讓飛機能繼續飛行。然而，若是這個速度超過測試者的體能負荷，則飛機將自行掉落，無法控制。
4. 文獻指出，一般成人的步行平均速率為1.5 m/sec，兒童行走的速率平均約為1.1~1.3m/secs。根據本實驗的結果，上半部及下半部有多個角度測試出的平均風速已經超過兒童行走的平均速度，代表此時測試者要開始以小跑步的狀態操作氣流飛機，這會讓氣流飛機變得更難控制，所以這些角度的失敗率也會變高。
5. 綜合上述，我們得出結論：
 - (1) 氣流飛機的飛行速度，以氣流飛機在起風板的下半部最快，其次是上半部，最慢是正上方。如果氣流飛機的飛行速度超過操作者行走的速度，飛行的失敗率會提高。
 - (2) 氣流飛機飛行的成功率，以氣流飛機在起風板的正上方最高，其次是上半部，最低的是正下方。
 - (3) 本研究小組建議將氣流飛機控制在起風板的上半部，這樣既能將氣流飛機的速度變快，也可以維持氣流飛機飛行時的穩定度，提高成功率。

三、實驗三：以手持方式，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

1. 「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之實驗，結果如表14。

表14 測試者在不同「起風板兩側折角」對「飛行速度」研究結果紀錄表

兩側折度 速度 測試者 (m/sec)	上折0度	上折15度	上折30度	上折45度	上折60度
	A	1.35	1.18	1.39	1.28
B	1.19	1.26	1.32	1.18	1.06
C	1.54	1.34	1.56	1.40	1.27
D	1.22	1.37	1.40	1.22	1.14
E	1.22	1.20	1.26	1.23	1.17
F	1.04	1.37	1.39	1.35	1.36

2. 依據實驗結果，繪製不同「起風板兩側折角」對「飛行速度」的關係圖，如圖51。

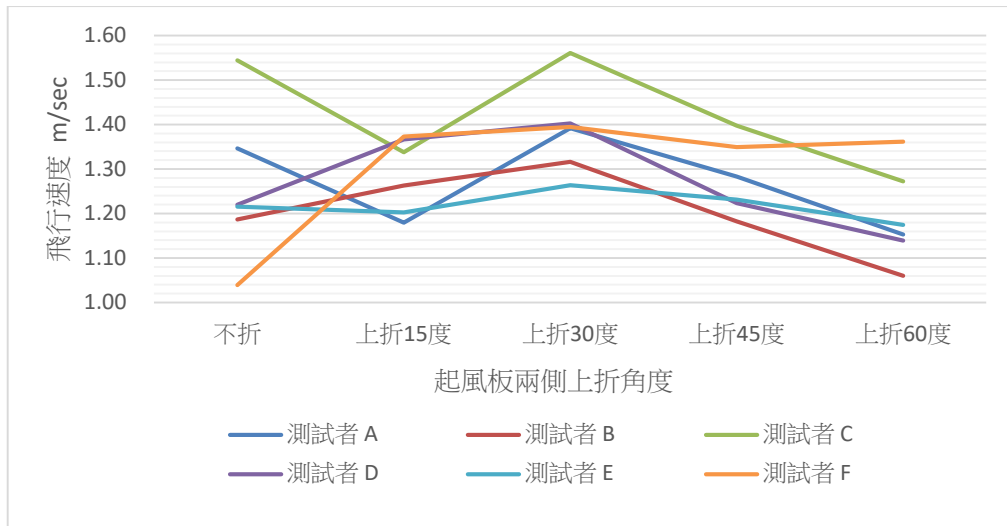


圖 51 不同「起風板兩側折角」對「飛行速度」關係圖

3. 不同測試者，不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」統計表，如表15：

表15 測試者在不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」研究統計表

兩側折角 成功率 測試者	上折 0 度	上折 15 度	上折 30 度	上折 45 度	上折 60 度
A	85%	55%	95%	45%	35%
B	70%	85%	90%	75%	10%
C	80%	90%	100%	85%	80%
D	65%	75%	85%	15%	10%
E	80%	90%	100%	85%	50%
F	70%	65%	80%	70%	45%

4. 繪製不同測試者，在不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」的關係，如圖52：

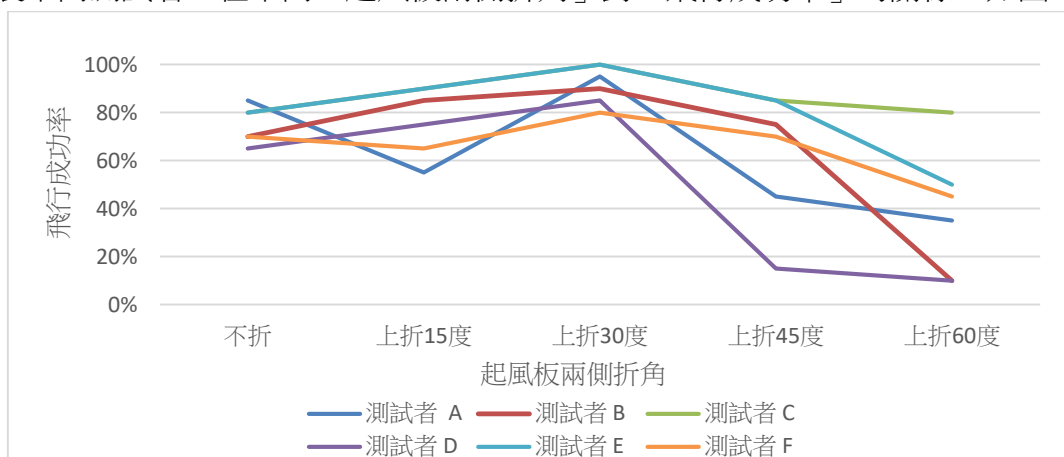


圖52 不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」關係圖

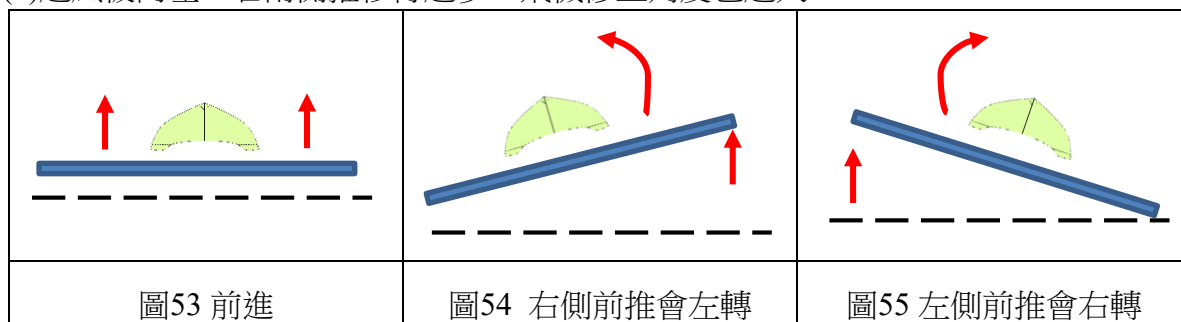
5. 在不同「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」實驗中，6 位測試者在兩側上折 30 度時，飛行速度分別為 1.39 m/sec、1.32 m/sec、1.56 m/sec、1.4 m/sec、1.26 m/sec

及1.39 m/sec，所得到的速度都是所有上折角度中最快的，實驗結果具有一致性。

6. 在不同「起風板兩側折角」對氣流飛機飛行成功率驗中，6位測試者在兩側上折30度時，分別為95%、90%、100%、85%、100%及80%，所得到的飛行成功率也是最高的，實驗結果具有一致性。

(二) 討論：

1. 根據實驗結果，若氣流飛機飛行位置在起風板的上半部，氣流飛機在起風板兩側折角為30度時，飛行速度最快，飛行成功率也最高，最穩定。
2. 氣流飛機在起風板兩側折角為30度時，飛行速度比平面無折角的起風板還要快，表示，兩側折角30度時，確實可以增加飛行的速度。
3. 氣流飛機操控的方法：
 - (1)當氣流飛機要直線前進時，操作者要將起風板沿著前進方向直線推動，如圖53。
 - (2)若是操作者右手將起風板向左側推移(左側不動，右側向前推)，這時，起風板上會產生一個向左偏轉的氣流，讓氣流飛機左轉，如圖54。
 - (3)若是操作者左手將起風板向右側推移(左側向前推，右側不動)，這時，起風板上會產生一個向右偏轉的氣流，讓氣流飛機右轉，如圖55。
 - (4)起風板向左、右兩側推移得越多，飛機修正角度也越大。



4. 當起風板的兩側往上折角時，氣流飛機若是從起風板垂直中線向右偏行，則會受到右側折起所產生的氣流，將氣流飛機向左修正到起風板的垂直中線的位置。
5. 氣流飛機若是從起風板垂直中線向左偏行，則會受到左側折起所產生的氣流，將氣流飛機向右修正到起風板的垂直中線的位置。
6. 若是起風板兩側折角太小，則修正的力道不夠，操作氣流飛機的人，還是要將起風板進行左右向前推移，才能讓氣流飛機修正到起風板的垂直中線的位置，因此會降低飛行速度。
7. 若是起風板兩側折角太大，則修正的力道太大，氣流飛機若是離開起風板的垂直中線的位置，就會受到兩邊強烈修正的氣流干擾，反而變得不好操控，降低飛行速度。
8. 起風板的兩側如果加上折角，將有效阻擋來自左右兩側的亂流，讓氣流飛機比較不會

受到側風的干擾，順利前行。

9. 經本研究實驗後證實：

起風板兩側的折角確實會影響氣流飛機的速度及穩定度，若將氣流飛機控制在起風板上半部時，兩側折角為 30 度的起風板，可以讓氣流飛機飛行的速度變得最快，穩定性也最佳。

四、實驗四：以類風洞設備，研究氣流飛機在起風板正上方時，「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

1. 根據實驗結果，我們發現，氣流飛機在起風板上飛行的風速為一個區間，並非單一風速，也就是在某個風速時(以下簡稱「最低風速」)，氣流飛機可以開始在起風板上飛行。若繼續加速到達另一個較高的風速時，氣流飛機將因失速，從起風板上失控傾倒或向後噴飛，將此一風速調降0.1m/sec，若此時氣流飛機能順利飛行，我們稱這個風速為「最高風速」。
2. 本實驗每個起風板角度的最高風速及最低風速各紀錄3次，並取其平均值，繪製圖表，實驗結果如表16-1，16-2。

表 16-1 氣流飛機飛行的最低風速

起風板角度	次數	第1次	第2次	第3次	最低平均風速
	風速 m/sec				
30 度		0.9	0.8	0.8	0.83
40 度		0.8	0.8	0.8	0.80
50 度		0.7	0.8	0.7	0.73
60 度		0.9	0.8	0.8	0.83
70 度		0.8	0.8	0.9	0.83
80 度		0.8	0.8	0.7	0.77

表 16-2 氣流飛機飛行的最高風速

起風板角度	次數	第1次	第2次	第3次	最高平均風速
	風速 m/sec				
30 度		1.3	1.3	1.2	1.27
40 度		1.2	1.2	1.3	1.23
50 度		1.2	1.2	1.2	1.20
60 度		1.2	1.3	1.2	1.23
70 度		1.3	1.2	1.2	1.23
80 度		1.1	1.2	1.1	1.13

3. 依據實驗結果，繪製不同起風板角度與最高、最低平均風速之關係圖(圖56)。

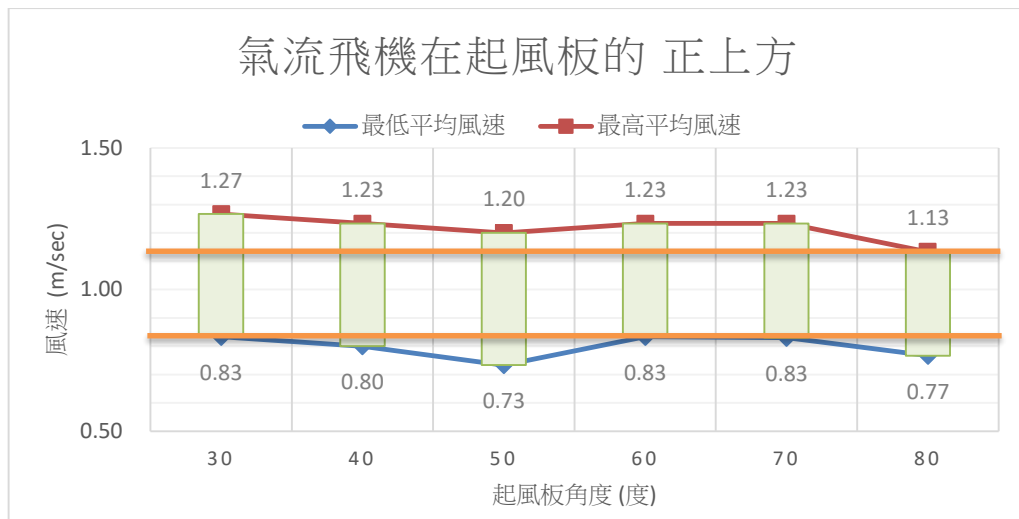


圖56 不同起風板角度與最高、最低平均風速之關係圖

(二) 討論：

- 根據實驗結果，我們發現，氣流飛機在起風板上飛行時的風速是一個區間，風速達到最低風速時，氣流飛機開始可以在起風板上平穩的飛行，直到風速超過最高風速，氣流飛機將會因失速，開始失控傾倒或向後噴飛。
- 圖56內的綠色區域，為氣流飛機在該起風板角度飛行的安全風速區間，也就是將氣流飛機操控在這個風速區間內，皆可以平穩的飛行。
- 觀察表15-1，15-2 之原始數據，不管起風板角度為何，氣流飛機飛行的最低風速為 0.8m/sec 加減 0.1m/sec。氣流飛機飛行的最高風速為 1.2m/sec 加減 0.1m/sec。
- 若此時，若將風速控制在最低平均風速的最大值(0.83 m/sec) 到 最高平均風速的最小值 (1.13 m/sec)之間的安全風速區間之內，如圖56中2條橘色線範圍內的區間，不管起風板的角度為何，都可以將氣流飛機平穩的控制起在起風板的正上方。
- 根據本實驗結果可知，氣流飛機在各個角度的起風板上，有重疊的安全飛行速度區域 (0.83 m/sec 到 1.13 m/sec 之間)，此結果，剛好可以呼應並解釋實驗一的實驗結果。
 - 每位測試者測試出最佳飛行速度的起風板角度皆不相同(如表3)。
 - 每位測試者在測試的 6 個角度中，有多次平均飛行速度成績相同的情形(如表4)。
 - 多位測試者在 6 個角度中，有多次平均飛行速度皆為 1.02 m/sec 的情形(如表5)。
 - 各角度都可以測試出最佳飛行速度(如表6)。
 - 每位測試者測試出最佳飛行速度的起風板角度皆不相同。
- 由類風洞設備實驗我們知道，當氣流飛機飛行的位置在起風板的正上方時：
 - 氣流飛機在各個角度的起風板上，有重疊的安全風速區域，只要將氣流飛機控制這個重疊的安全風速區間之內(0.83 m/sec ~ 1.13 m/sec 間)，不管起風板的角度為何，都可以將氣流飛機平穩的控制起在起風板的正上方。
 - 起風板角度和氣流飛機飛行的速度的無明顯關聯。

五、實驗五：以類風洞設備，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

1. 當氣流飛機控制在起風板的「上半部」時，我們記錄氣流飛機在起風板各個角度的最高風速及最低風速，紀錄3次，並取其平均值，實驗結果如表17-1，17-2。

表17-1 氣流飛機在「上半部」飛行的最低風速

起風板角度 \ 次數 風速 m/sec	第1次	第2次	第3次	平均最低風速
30度	0.9	0.9	0.9	0.90
40度	1.1	1.0	1.0	1.03
50度	0.8	0.9	0.9	0.87
60度	1.0	1.0	0.9	0.97
70度	1.0	1.0	1.2	1.07
80度	1.2	1.2	1.2	1.20

表 17-2 氣流飛機在「上半部」飛行的最低風速

起風板角度 \ 次數 風速 m/sec	第1次	第2次	第3次	平均最高風速
30度	1.4	1.5	1.4	1.43
40度	1.5	1.6	1.5	1.53
50度	1.7	1.6	1.6	1.63
60度	1.6	1.6	1.5	1.57
70度	1.7	1.6	1.6	1.63
80度	1.9	1.9	2.0	1.93

2. 當氣流飛機控制在起風板的「下半部」時，我們記錄氣流飛機在起風板各個角度的最高風速及最低風速，紀錄3次，並取其平均值，實驗結果如表18-1，18-2。

表18-1 氣流飛機在「下半部」飛行的最低風速

起風板角度 \ 次數 風速 m/sec	第1次	第2次	第3次	平均最低風速
30度	1.1	1.1	1.0	1.07
40度	1.2	1.1	1.1	1.13
50度	1.3	1.2	1.4	1.30
60度	1.4	1.5	1.3	1.40
70度	1.6	1.6	1.6	1.60
80度	1.7	1.6	1.7	1.67

表 18-2 氣流飛機在「下半部」飛行的最低風速

起風板角度 \ 次數 風速 m/sec	第1次	第2次	第3次	平均最高風速
30度	1.5	1.5	1.6	1.53
40度	1.7	1.7	1.7	1.70
50度	1.9	1.9	1.9	1.90
60度	2.0	1.9	2.0	1.97
70度	2.2	2.1	2.2	2.17
80度	2.3	2.3	2.2	2.27

3. 彙整表16-1，16-2，17-1，17-2，18-1，18-2的平均最低風速於表19-1，並繪製氣流飛機在不同位置時，在不同起風板角度所測得的「平均最低風速」關係圖，如圖57。

表19-1 平均最低風速

起風板角度	位置		
	正上方	上半部	下半部
30度	0.83	0.90	1.07
40度	0.80	1.03	1.13
50度	0.73	0.87	1.30
60度	0.83	0.97	1.40
70度	0.83	1.07	1.60
80度	0.77	1.20	1.67

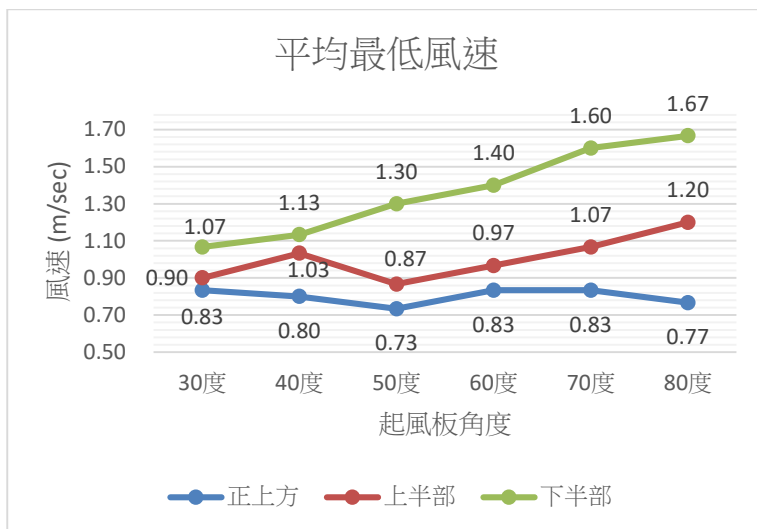


圖57 氣流飛機在不同位置時，不同起風板所測得的「平均最低風速」關係圖

4. 彙整表16-1，16-2，17-1，17-2，18-1，18-2的平均最高風速於表19-2，並繪製氣流飛機在不同位置時，在不同起風板所測得的「平均最高風速」關係圖，如圖58。

表19-2 平均最高風速

起風板角度	位置		
	正上方	上半部	下半部
30度	1.27	1.43	1.53
40度	1.23	1.53	1.70
50度	1.20	1.63	1.90
60度	1.23	1.57	1.97
70度	1.23	1.63	2.17
80度	1.13	1.93	2.27

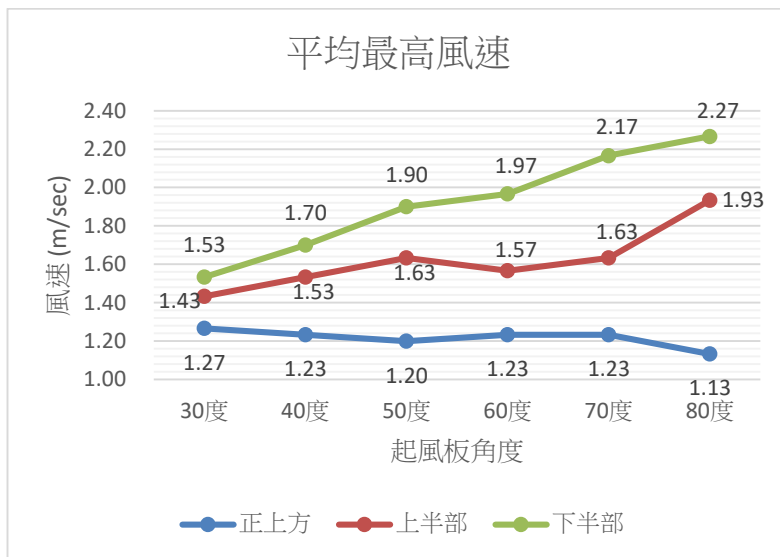


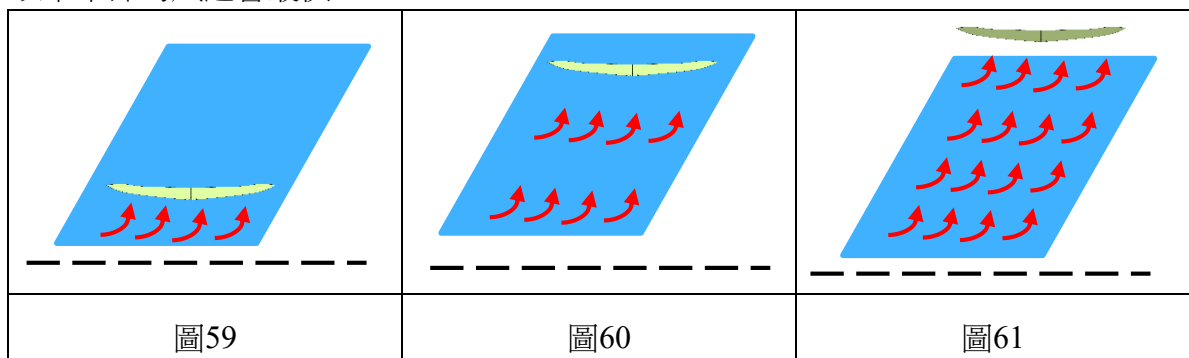
圖58 氣流飛機在不同位置時，不同起風板所測得的「平均最高風速」關係圖

5. 由表19-1及圖57中，我們知道，起風板的角分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度時，氣流飛機的「平均最低風速」皆是在起風板的下半部最快，其次是上半部，最慢的是正上方。

6. 也就是說不管起風板的角度為何，氣流飛機飛行的「平均最低風速」大小快慢為：
起風板的下半部 > 上半部 > 正上方。
7. 由表19-2及圖58中，我們知道，起風板的角度分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度時，氣流飛機的「平均最高風速」皆是在起風板的下半部最快，其次是上半部，最慢的是正上方。
6. 也就是說不管起風板的角度為何，氣流飛機飛行的「平均最高風速」大小快慢為：
起風板的下半部 > 上半部 > 正上方。

(二) 討論：

1. 在本實驗中，空氣分子由自製的類風洞裝置發出後，經過起風板，產生上升氣流，當上升氣流大過氣流飛機的重力時，此時上升氣流就成為氣流飛機飛行的動力。故上升氣流的多寡，自然會影響氣流飛機的飛行。
2. 當氣流飛機置放於起風板的下半部時，氣流飛機只得到來自起風板下半部的上升氣流，也就是來自於氣流飛機翼面的下方到起風板的下緣所產生的上升氣流(如圖59)，這個部分的上升氣流比較少。但是要維持氣流飛機飛行需要一定的上升氣流，在可用的起風面積有限之下，唯有增加風速，才能產生足夠的上升氣流使氣流飛機飛行，所以下半部的風速會最快。



3. 當氣流飛機置放於起風板的上半部時，氣流飛機可以得到來自起風板上半部到最下緣所產生的上升氣流(如圖60)，此時的上升氣流比下半部多。在可用的起風面積略大之下，所需風速較下半部少，就能產生足夠的上升氣流使氣流飛機飛行，所以上半部的風速要比下半部慢。
4. 當氣流飛機置放於起風板的正上方時，氣流飛機可以得到來自整個起風板所產生的上升氣流(如圖61)，此時的上升氣流最多。在起風面積最大的情形，在較小的風速下，就能產生足夠的上升氣流使氣流飛機飛行，所以正上方的風速會最小。
5. 在本實驗研究中，氣流飛機的平均最低風速及平均最高風速，在起風板的下半部都是

最快的，其次是上半部，最慢的是正上方，實驗結果具有一致性。

6. 在氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之研究中，以自製的類風洞設備進行實驗的結果，和實驗二以手持方式進行實驗的結果相同，實驗結果具有一致性。在起風板上，氣流飛機飛行的速度皆為：下半部 > 上半部 > 正上方。

六、實驗六：以類風洞裝置，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

1. 我們經由測風儀測得，氣流飛機在各個兩側折角飛行時的最低飛行速度及最高飛行速度，各紀錄3次，並求取平均值。如表20-1、表20-2。

表20-1不同「起風板兩側折角」對氣流飛機
「最低飛行速度」紀錄表

次數 風速 m/sec 兩側 角度	第1次	第2次	第3次	平均最 低風速
上折0度	0.9	0.9	0.9	0.90
上折15度	0.9	0.9	1.0	0.93
上折30度	1.0	0.9	1.0	0.97
上折45度	0.8	0.8	0.9	0.83
上折60度	0.8	0.8	0.8	0.80

表20-2不同「起風板兩側折角」對氣流飛機
「最高飛行速度」紀錄表

次數 風速 m/sec 兩側 角度	第1次	第2次	第3次	平均最 高風速
上折0度	1.4	1.5	1.4	1.43
上折15度	1.5	1.6	1.4	1.50
上折30度	1.5	1.5	1.6	1.53
上折45度	1.4	1.5	1.5	1.47
上折60度	1.5	1.4	1.4	1.43

3. 彙整表20-1、表20-2之平均最低風速及平均最高風速，繪製起風板兩側折角與飛行速度關係圖，如圖62。

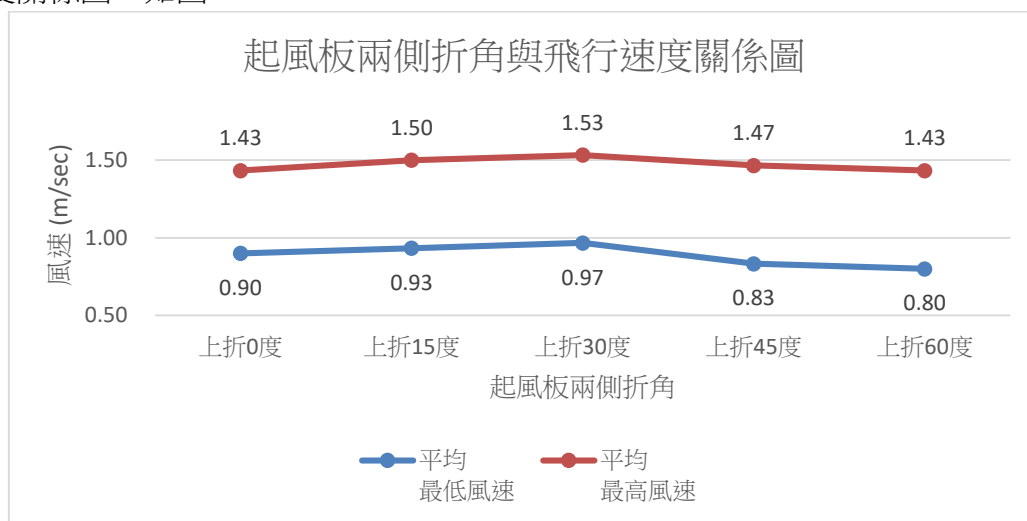


圖62 起風板兩側折角與飛行速度關係圖

4. 由表13-1及圖43中，我們可以知道，從起風板兩側折角為0度開始，平均最低風速由

0.90 m/sec 開始增加，一直到起風板兩側者角上折30度時，平均最低風速達到最高，達 0.97 m/sec，之後平均最低風速開始下降，一直到起風板兩側折角為60度時，平均最低風速最小，為 0.80 m/sec，

5. 由表13-2及圖43中，我們可以知道，從起風板兩側折角為0度開始，平均最高風速由 1.43 m/sec 開始增加，一直到起風板兩側者角上折30度時，平均最高風速達到最高，達 1.53 m/sec，之後平均最低風速開始下降，一直到起風板兩側折角為60度時，平均最低風速最小，為 1.43 m/sec。
6. 歸納第4點及第5點，我們以與地面夾角為30度的起風板為實驗對象，當氣流飛機控制在起風板的上半部時，起風板兩側折角為30度時，氣流飛機飛行時的風速最快。

(二) 討論：

1. 由本實驗的過程中，我們觀察到，當起風板兩側折角為0時，氣流飛機飛行的軌跡平穩，除了上浮之外，會以較慢的速度左右擺動。
2. 當起風板的兩側折角從15度、30度、45度，最後到60度時，我們也觀察到，當兩側折角越大來越大時，氣流飛機飛行軌跡除了正常的上浮之外，左右擺動的範圍越來越小，擺動的頻率也越來越快。
3. 從實驗三中，我們得知，若是將起風板向左傾斜，則氣流飛機會向左飛行，若是將起風板向右傾斜，氣流飛機會向右飛行，也就是起風板的左右傾斜會產生不同的上升氣流，影響氣流飛機的轉向。左右傾斜的程度越大，氣流飛機轉向的角度也會越大。
4. 若氣流飛機被上升氣流吹向起風板的右側，起風板右側的折角會產生向左修正的氣流，使飛機向左飛回起風板的垂直中線。若氣流飛機被上升氣流吹向起風板的左側，起風板左側的折角會產生向右修正的氣流，使得氣流飛機向右飛回起風板的垂直中線。
5. 當起風板兩側折角開始變大時，氣流飛機在起風板上受到左右修正的力道也越強，氣流飛機在起風板上會自動修正飛行軌跡，使得飛行會更穩定，所以氣流飛機飛行的速度可以加快。以起風板兩側折角為30度時，飛行速度最快，飛行的穩定性最高。
6. 當起風板的兩側折角超過30度時，所產生修正的力道太大時，造成左右偏移的範圍明顯變小，集中在起風板的垂直中線兩側，左右偏移的頻率明顯增加。此時，氣流飛機在起風板上屬於快速左右移動的不穩定狀態，在相同風速下，氣流飛機反而容易失控，為了使氣流飛機不失控，飛行的速度就要自動降低。
7. 由本實驗得知：
 - (1) 起風板兩側裝上折角，能自動修正氣流飛機的左右偏移，讓飛機回正。
 - (2) 將起風板兩側裝上折角，確實會影響氣流飛機飛行的速度。以兩側折角為30度時，氣流飛機飛行的速度會最快，飛行的穩定性會最高。

七、實驗七：實際模擬氣流滑翔飛機繞桿接力競賽，驗證本研究結論是否確實能使得分增加。

我們以「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」的競賽規則為主。將本研究小組所設計完成的氣流飛機與起風板，直接進行8字形繞桿接力賽，限時3分鐘，桿與桿的距離為6公尺，所完成的得分紀錄如下表21。

表21 模擬「夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」得分紀錄

次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均得分
得分	67	70	76	69	76	72	75	84	78	83	75

(一) 在短暫練習雙人接力的技巧後進行實地測試，結果平均成績可以達到75分，根據當時的成績紀錄，可以得到第三名。我們的得分從原本的8分進步到75分，進步9.37倍

(二) 經本實驗可知，若採用本研究結果：將氣流飛機控制在起風板的上半部、並將起風板左右兩側上折 30 度角，確實可以提升氣流飛機的飛行速度及穩定度，增加比賽成績。

捌、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下結論：

- 一、在操作氣流飛機時，氣流飛機在起風板上的最佳飛行速度不是單一速度，是一個區間。不同起風板的角具有共同的安全飛行區間，如果將氣流飛機的飛行速度控制在這個共同安全飛行區間內，氣流飛機在所有起風板角度，都可以順利飛行，所以，起風板的角並不是影響氣流飛機飛行速度的主要因素。
- 二、起風板的角對氣流飛機飛行速度之影響，因人而異，每個人有不同的最佳起風板角，有些人可以在多個不同夾角的起風板上，創造出相同的最佳成績。不同人也可以在不同夾角的起風板上創造出相同的飛行成績。
- 三、在操作氣流飛機時，若將氣流飛機控制在起風板的正上方，此時飛機飛行速度較慢，飛行穩定，成功率最高。若控制在正下方時，飛機飛行速度太快，失敗率最高。
- 四、在操作氣流飛機時，若將氣流飛機控制在起風板的上半部，此時飛機飛行速度較快，飛行較穩定，成功率也較高。若此時使用30度夾角的起風板，飛行速度最快，飛行最穩定。
- 五、在起風板兩側加上折角，確實會影響氣流飛機的飛行，兩側折角能自動修正飛機的左右偏移，讓飛機返回起風板的垂直中軸線。起風板兩側折角以 30 度為最佳，既可以增加氣流飛機飛行的速度，也可以增加飛行的穩定度。
- 六、經本研究證實，若採用本研究結果：將氣流飛機控制在起風板的上半部、並將起風板左右兩側上折 30 度角，確實可以提升氣流飛機飛行的速度及穩定度，提升比賽成績。

玖、參考文獻資料

1. SciencetoyMaker(2022) 。 Make the Baby Bug Walkalong Glider (formerly called Mosquito) 。 取自 <https://sciencetoymaker.org/walkalong-glider-airsurf-air-surfing/make-your-own-gliders/baby-bug/> 。
2. SciencetoyMaker (2022) 。 About Front Weight. Why You Need Front Weight on "Flying Wing" Gliders, and What to Use 。 2022年11月16日 。 取自 <https://sciencetoymaker.org/walkalong-glider-airsurf-air-surfing/make-your-own-gliders/about-front-weight/>
3. Thomas-Buchwald(2022) 。 WALKALONG GLIDER 。 2022年11月16日 。 取自 <https://sciencetoymaker.org/wp-content/uploads/2017/11/Thomas-Buchwald-PDF.pdf>
4. 丁竣翊、莊英宥、林沛然、曾繁軒、宋昀真(2022) 。 I can fly~從穩定性探討物體飛翔的秘密 。 中華民國第60屆全國中小學科展物理科國小組 。 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-080104.pdf>
5. 王靜慈、吳雋哲、葉芹言、莊松樺(2016) 。 翻轉紙片一大嘴巴飛行器 。 中華民國第56屆全國中小學科展物理科國小組 。 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080111.pdf>
6. 方富民、鍾政洋 。 中興大學土木系風洞實驗室 。 2023年4月15日 。 取自 <http://www.wind.org.tw/epaper/vj-attachment/2013/04/attach19.pdf>
7. 陳紀帆、馬以禮(2013) 。 利用上升氣流滑翔的紫斑蝶 1：1 比例模型－揭開紫斑蝶飛行的秘密 。 中華民國第53屆全國中小學科展物理科國小組 。 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/080305.pdf>
8. 黃國平、陳佩君，2007，社區安全通學環境之規劃設計與檢討-以東明里為例，「健康城市學刊」，5：70-78。
9. 維基百科(2022) 。 Walkalong glider 。 2022年11月15日 。 取自 https://en.wikipedia.org/wiki/Walkalong_glider
10. 富春國小自造中心(2022) 。 110學年度飛行科技教育競賽實施計畫 -夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽 競賽辦法 。 2022年11月20日 。 取自 <https://www.facebook.com/Taichung.FCPS.Maker.Center/posts/512599674218415>
11. 富春國小自造中心(2022) 。 110學年度飛行科技教育競賽成績及得獎作品 。 2022年12月30日 。 取自 <https://www.facebook.com/Taichung.FCPS.Maker.Center>
12. 蘇老師-紙飛機 飛行科學教育研究中心 。 微氣流神奇-手溜紙飛機 教學網 。 2022年11月20日 。 取自 <https://blog.xuite.net/scarelett901/Tchservice/65097356>

【評語】 080116

實驗動機非常有趣，目標也很明確，最後實驗結果也可以呼應原本設定想要解決的問題，這點很好。對於實驗的設計及相關道具的設計方式，可以做清楚地闡述。但無動力(氣流)飛機一直是科展的熱門主題，所以本作品與其他作品之間的特殊性可以再試著更清楚的呈現，以凸顯本作品的重要性。實驗方法、數據做圖與數據解讀可以更精煉，統計不同測試者操控氣流飛機的飛行速度，比較不容易獲得較科學性的量化結果。

作品海報

摘要

空氣的流動會形成風，藉由起風板前進產生的上升氣流，可推動由保麗龍薄片製作的氣流飛機向前飛行。本研究旨在探討影響氣流飛機飛行速度的因素，分別以手持和類風洞裝置的方式來進行實驗，結果我們發現，氣流飛機在起風板上最佳飛行速度並非單一速度，而是一個區間，不同的起風板角度間有共同的安全飛行區間，若飛行速度控制在共同安全區間內，氣流飛機可在所有的起風板角度上安全飛行。另外，氣流飛機在起風板的不同位置也會影響其飛行的速度，下半部度最快，正上方成功率高，本研究建議將氣流飛機操控在上半部，結合速度和成功率。起風板兩側折角能修正氣流飛機的偏移，讓飛機自動回正。若將起風板兩側向上折起30度，則可以讓氣流飛機飛行得更快、更穩定且成功率更高。

壹、研究動機

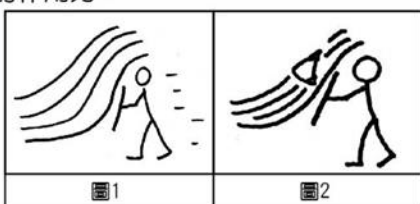
五年級上學期，我們參加了「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」，發現可以用保麗龍製造出更輕薄的飛機，僅靠板子推動產生氣流就能飛行，我們練習好久、信心滿滿去比賽，卻輸得很慘。回想三、四年級自然課曾學習「空氣流動形成風」的單元，五年級自然課「生活中的熱」單元中，也學習過空氣是有壓力的。所以，我們邀請同儕一起研究，想找出氣流飛機與起風板之間的最佳配對的位置和角度，也想找出能讓飛機飛得更快、更穩的方法，除了希望若將來有機會再次參加比賽時，能夠贏回來之外；也希望讓未來想要操控氣流飛機的人，有所依據和參考，讓更多的人喜歡氣流飛機。

貳、研究目的

- 一、以手持方式，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 二、以手持方式，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 三、以手持方式，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 四、以類風洞裝置，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 五、以類風洞裝置，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 六、以類風洞裝置，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。
- 七、實際模擬氣流滑翔飛機繞桿計時競賽，驗證本研究結論是否確實使得分增加。

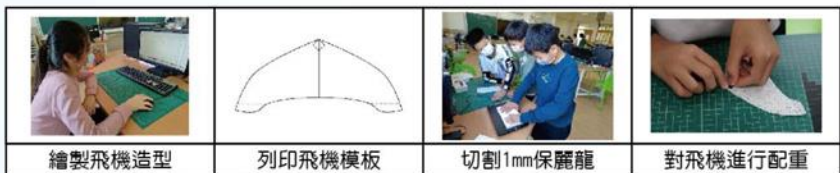
參、文獻探討

- 一、氣流飛機(Walkalong Glider)是一種輕型、慢速飛行的模型飛機，材質是輕薄如保麗龍片，通常利用板子、手掌、額頭的前進，產生上升氣流，使氣流飛機在空中飛行。
- 二、飛行物體在天空中的受力，基本上有重力、升力、阻力、推進力。
- 三、康達效應(Coandă Effect)：亦稱附壁效應。流體遇到障礙物，會沿著障礙物曲面流動的現象，並產生推往流體方向的作用力。
- 四、依康達效應當我們拿著板子向前行走時，空氣會因為康達效應，順著板子向上產生上升氣流(圖1)，若上升氣流的力量大到足以對抗氣流飛機的重力時，氣流飛機就會在空中飛行了(圖2)。
- 五、氣流飛機造型設計：
 - 參閱歷屆和本研究相關的科展作品、競賽得名造型、網站的影片和圖片，經分析比較後，我們發現輕型飛行器，要能夠穩定的在空中滑翔，需具有以下特點：
 - (一)以1mm厚度或更薄的保麗龍片製成的飛行器，材質輕、不易變形，滑翔效果好。
 - (二)翼面的面積大，飛行會趨於滑翔。
 - (三)後掠角較大的翼面，較不容易發生翻滾現象，穩定性較高。
 - (四)一定要搭配翼面配重，翼面配重的重量與位置必須適當，配重位置應該靠近翼前緣效果較好。
 - (五)翼面上反角能有助於防止飛機滾轉，上反角度最好在20度以下，但也不能為0度，才能使飛行更趨於穩定。
 - (六)翼面的後方角度應往上翹起，做為氣流飛機的升舵。



肆、實驗裝置設計

- 一、氣流飛機造型繪製與製作
 - 依據文獻探討，本研究小組決定將氣流飛機的造型採用後掠翼。上反角設定為10度，升舵上折40度，配重的位置在氣流飛機的前端，不超出邊界。
 - (一)利用Inkscape軟體繪製並列印出本次實驗的氣流飛機造型。
 - (二)製作氣流飛機
 - 1.利用保麗龍切割器將保麗龍切割長20cm、寬10cm、厚度為1mm的薄片。
 - 2.利用飛機模板，剪下保麗龍氣流飛機，以1cm2電工膠帶對氣流飛機進行配重。



- 三、氣流飛機配重之研究
 - (一)依據文獻探討，本研究氣流飛機配重在飛機的機首內緣，不突出機首外。
 - (二)測試人員手持氣流飛機輕放，觀察氣流飛機飛行軌跡，決定最佳配重。

表1 氣流飛機配重過程紀錄表

正方形的電工膠帶 1cm×1cm	配重			飛行距離		
	太輕	太重	完美	<1m	1m~2m	>3m
0張	✓			✓		
1張	✓			✓		
2張	✓				✓	
3張	✓					✓
4張			✓			✓
5張		✓			✓	
6張		✓			✓	

- 四、製作45cm*45cm起風板，材質為PP瓦楞板。
 - 50°起風板
 - 60°起風板
 - 70°起風板
 - 80°起風板

- 五、測速儀的製作
 - 以QBlock軟體撰寫程式，用Arduino結合2台超音波感測器，測得行走距離為4公尺所需時間，再算出速度。



- 六、製作不同折角的起風板
 - 裁切2片45*45cm的長方形珍珠板，用膠帶浮貼在與「地面夾角為30°、表面貼有珍珠板的起風板」兩側。製作15°、30°、45°、60°夾角的支架各4個。起風板兩側折角以免釘黏土固定方便替換不同支架進行實驗。



- 七、手持起風板的方式
 - 在手持起風板前進的過程中，垂直支架要全程垂直地面，以直行、平順的等速前進，不可歪斜，一但歪斜、忽快忽慢，左右飄移則列入失敗紀錄。



- 八、實驗場地設計



- 九、類風洞裝置設計
 - (一)設計理念：
 - 本研究小組為了模擬人們手持起風板向前進時，前方空氣因起風板的前進而流動，進而產生上升氣流的狀態，所以設計此類風洞裝置。
 - (二)類風洞裝置的製作：
 - 1.黏貼珍奶吸管
 - 2.45cm * 45cm 風洞整流段
 - 3.後方放入可調速電扇
 - 4.以月亮觀測器調整起風板角度
 - 5.用棉線調整飛機高度及平衡
 - 6.完成製作類風洞設備



伍、研究過程或方法



二、自製類風洞裝置實驗

將起風板角度調整至實驗角度，並將氣流飛機位置調整至起風板的正上方。轉動風扇風速調整鈕，將風扇慢慢加速，直到氣流飛機的棉線開始彎曲，氣流飛機開始上浮，使用測風儀測量風扇的風速，紀錄該風速為「最低風速」。

接下來將風速再次加快轉速，直到氣流飛機失控旋轉或向後噴飛，使用測風儀測量風扇的風速，將風速調降 0.1m/sec，若調降後，氣流飛機能繼續正常飛行，沒有失控旋轉或向後噴飛，則紀錄該風速為「最高風速」。

將最低風速和最高風速各測得3次，取平均，即為該起風板角度的「最低平均風速」和「最高平均風速」。

以「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞樑接力競賽」規則，將本研究之結果，進行實際演練，測試本研究結果是否確實可以提升氣流飛機的飛行速度及穩定度，並在原有競賽成績中，競賽名次是否能提升。

驗證

陸、研究結果與討論

一、實驗一：以手持方式，研究「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一)研究結果：

1. 不同「起風板角度」對氣流飛機平均「飛行速度」之研究，結果如表2。

表2 測試者在不同「起風板角度」下與「飛行速度」實驗結果紀錄表

Table with 7 columns: 測試者, 角度, 30度, 40度, 50度, 60度, 70度, 80度. Rows A-F and average.

2. 繪製測試者在不同「起風板角度」下與「飛行速度」的關係圖，如圖43。

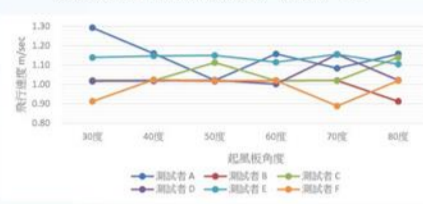


圖43 不同「起風板角度」下與「飛行速度」關係圖

(二)討論：

1. 實驗中，每位測試者測試出最佳飛行速度的起風板角度皆不相同，值得注意的是，測試者B及測試者F在有多個起風板角度都可以測試出最佳成績，如下表3：

表3 測試者飛行速度最快的起風板角度統計表

Table with 7 columns: 測試者, A, B, C, D, E, F. Rows for fastest angle and speed range.

3. 多位測試者在6個角度中，有多次平均飛行速度皆為 1.02 m/sec 的情形，如下表5：

表5 所有測試中平均飛行速度為 1.02 m/sec 統計表

Table with 7 columns: 測試者, A, B, C, D, E, F. Rows for number of times and angle ranges.

5. 不同的起風板與地面的夾角下，都有測試者可以測試出最佳速度，所以經本小組推論，當氣流飛機飛行的位置在起風板的「正上方」時，起風板角度和氣流飛機的速度的「關聯性並不明顯」。

2. 繪製測試者在不同「起風板角度」下與「飛行成功率」的關係圖，如圖44。

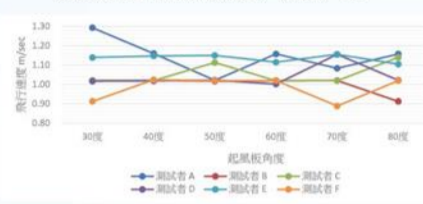


圖44 不同「起風板角度」下與「飛行成功率」關係圖

2. 每位測試者分別在測試的6個角度中，有多次平均飛行速度相同的情形，如下表4：

表4 測試者6次測試中飛行速度相同統計表

Table with 7 columns: 測試者, A, B, C, D, E, F. Rows for same speed, number of times, and angle ranges.

4. 各角度都可以測試出最佳飛行速度，如下表6：

表6 各角度可以測試出最佳飛行速度的人數統計表

Table with 7 columns: 角度, 30度, 40度, 50度, 60度, 70度, 80度. Rows for best speed count and test subject combinations.

5. 綜合上述，我們得出結論：

- (1) 氣流飛機的飛行速度，以氣流飛機在起風板的下半部最快，其次是上半部，最慢是正上方。
(2) 氣流飛機飛行的成功率，以氣流飛機在起風板的正上方最高，其次是上半部，最低的是正下方。
(3) 本研究小組建議將氣流飛機控制在起風板的上半部，這樣既能將氣流飛機的速度變快，也可以維持氣流飛機飛行時的穩定度。

三、實驗三：以手持方式，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一)研究結果：

1. 「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之實驗，結果如表14。

表14 測試者在不同「起風板兩側折角」對「飛行速度」研究結果紀錄表

Table with 6 columns: 測試者, 兩側折角, 上折0度, 上折15度, 上折30度, 上折45度, 上折60度. Rows A-F and average.

2. 依據實驗結果，繪製不同「起風板兩側折角」對「飛行速度」的關係圖，如圖51。

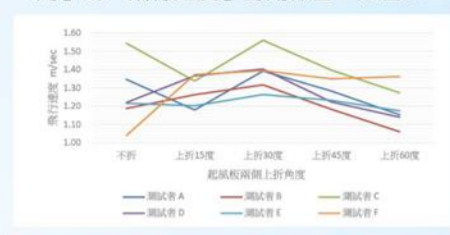


圖51 不同「起風板兩側折角」對「飛行速度」關係圖

3. 不同測試者，不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」統計表，如表15：

表15 測試者在不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」研究統計表

Table with 6 columns: 測試者, 兩側折角, 上折0度, 上折15度, 上折30度, 上折45度, 上折60度. Rows A-F and average.

4. 不同測試者，不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」的關係，如圖52：



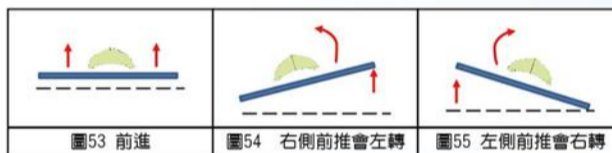
圖52 不同「起風板兩側折角」對「飛行成功率」關係圖

5. 在不同「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」實驗中，6位測試者在兩側上折30度時，分別為 1.39 m/sec、1.32 m/sec、1.56 m/sec、1.4 m/sec、1.26 m/sec及 1.39 m/sec，所得到的速度都是所有上折角度中最快的，實驗結果具有一致性。

6. 在不同「起風板兩側折角」對氣流飛機飛行成功率實驗中，6位測試者在兩側上折30度時，分別為 95%、90%、100%、85%、100%及80%，所得到的飛行成功率也是最高的，實驗結果具有一致。

(二)討論：

- 1. 根據實驗結果，若氣流飛機飛行位置在起風板的上半部，氣流飛機在起風板兩側折角為30度時，飛行速度最快，飛行成功率也最高，最穩定。
2. 氣流飛機在起風板兩側折角為30度的平均飛行速度為1.13m/sec，比平面無折角的起風板的平均速度1.26m/sec還要快了10%，表示，兩側折角30度時，確實可以增加飛行的速度。
3. 氣流飛機在起風板兩側折角為30度的平均成功率為92%，比平面無折角的起風板的平均成功率75%還要快了17%，表示，兩側折角30度時，確實可以增加飛行的成功率。
4. 氣流飛機操控的方法：
(1) 當氣流飛機要直線前進時，操作者要將起風板沿著前進方向直線推動，如圖53。
(2) 若是操作者右手將起風板向左側推移(左側不動，右側向前推)，這時，起風板上會產生一個向左偏轉的氣流，讓氣流飛機左轉，如圖54。
(3) 若是操作者左手將起風板向右側推移(左側向前推，右側不動)，這時，起風板上會產生一個向右偏轉的氣流，讓氣流飛機右轉，如圖55。
(4) 起風板向左、右兩側推移得越多，飛機修正角度也越大。



- 5. 當起風板的兩側往上折角時，氣流飛機若是從起風板垂直中線向右偏行，則會受到右側折起所產生的氣流，將氣流飛機向左修正到起風板的垂直中線的位置。
6. 氣流飛機若是從起風板垂直中線向左偏行，則會受到左側折起所產生的氣流，將氣流飛機向右修正到起風板的垂直中線的位置。
7. 因此，若是起風板兩側折角太小，則修正的力道不夠，操作氣流飛機的人，還是要將起風板進行左右向前推移，才能讓氣流飛機修正到起風板的垂直中線的位置，會降低飛行速度。
8. 若是起風板兩側折角太大，則修正的力道太大，氣流飛機若是離開起風板的垂直中線的位置，就會受到兩邊強烈修正的氣流干擾，反而變得不好操控，降低飛行速度。
9. 起風板的兩側如果加上折角，將有效阻擋來自左右兩側的亂流，讓氣流飛機比較不會受到側風的干擾，順利前行。
10. 經本研究實驗後證實：起風板兩側的折角確實會影響氣流飛機的速度及成功率。若將氣流飛機控制在起風板上半部時，兩側折角為30度的起風板，可以讓氣流飛機飛行的速度變得最快，成功率最高。

二、實驗二：以手持方式，研究「氣流飛機飛行時在起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一)研究結果：

1. 個別測試者在氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」影響之實驗，結果如下。



圖46 C在不同角度之飛行速度統計表

Tables for test subjects A, B, C, D, E, F showing flight speed at different positions and angles.

2. 各別測試者在氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之成功率，結果如下表13-1、13-2、13-3。

表13-1 正上方 測試者 成功率統計表

Table with 7 columns: 位置, 角度, A, B, C, D, E, F, 平均. Rows for 30, 40, 50, 60, 70, 80 degrees.

表13-2 上半部 測試者 成功率統計表

Table with 7 columns: 位置, 角度, A, B, C, D, E, F, 平均. Rows for 30, 40, 50, 60, 70, 80 degrees.

表13-3 下半部 測試者 成功率統計表

Table with 7 columns: 位置, 角度, A, B, C, D, E, F, 平均. Rows for 30, 40, 50, 60, 70, 80 degrees.

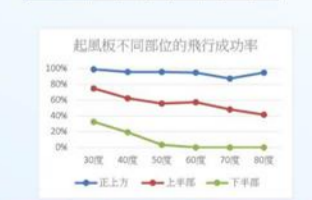


圖50 測試者在不同部位之飛行成功率

(1) 由表13-1、13-2、13-3及圖50中，我們可知，氣流飛機在起風板不同部位的成功率以正上方最高，其次是上半部，下半部的成功率最低，甚至有0成功率的情形發生。

(二)討論：

- 1. 根據實驗結果，氣流飛機飛行時，若位於起風板的下半部，則飛行的速度將會比上半部及正上方還要快速。
2. 氣流飛機在飛行時，要將氣流飛機控制在起風板的下半部，是一件不容易的事，有1位研究小組成員，可將氣流飛機控制在30度，4位可以控制在40度以下，僅1位可以將氣流飛機控制在50度以下，超過50度，都沒有人能順利控制。
3. 經本研究小組討論，氣流飛機飛行的主要動力來源為推行起風板所產生的上升氣流，若是氣流飛機在起風板的下方，則無法產生足夠的上升氣流，讓飛機飛行，唯有加快測試者的前進速度，以增加上升氣流，讓飛機能繼續飛行。然而，若是這個速度超過測試者的體能負荷，則飛機將自行掉落，無法控制。
4. 依據文獻，一般成人的步行平均速率為1.5 m/sec，兒童行走的速率平均約為1.1~1.3m/sec，根據本實驗的結果，上半部及下半部有多個角度測試出的平均風速已經超過兒童行走的平均速度，這會讓氣流飛機變得更難控制，所以這些角度的失敗率也會變高。

四、實驗四：以自製類風洞設備，研究氣流飛機在起風板正上方時，「起風板角度」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一)研究結果：

- 1. 根據實驗結果，我們發現，氣流飛機在起風板上飛行的風速為一個區間，並非單一風速，也就是在某個風速時(以下簡稱「最低風速」)，氣流飛機可以開始在起風板上飛行。若繼續加速到達另一個較高的風速時，氣流飛機將因失速，從起風板上失控傾倒或向後噴飛，將此一風速調降0.1m/sec，若此時氣流飛機能順利飛行，我們稱這個風速為「最高風速」。
2. 本實驗每個起風板角度的最高風速及最低風速各紀錄3次，並取其平均值，繪製圖表，實驗結果如表16-1、16-2。

表16-1 氣流飛機飛行的最低風速

Table with 5 columns: 起風板角度, 次數, 第1次, 第2次, 第3次, 最低平均風速. Rows for 30, 40, 50, 60, 70, 80 degrees.

表16-2 氣流飛機飛行的最高風速

Table with 5 columns: 起風板角度, 次數, 第1次, 第2次, 第3次, 最高平均風速. Rows for 30, 40, 50, 60, 70, 80 degrees.

3. 依據實驗結果，繪製不同起風板角度與最高、最低平均風速之關係圖(圖56)。

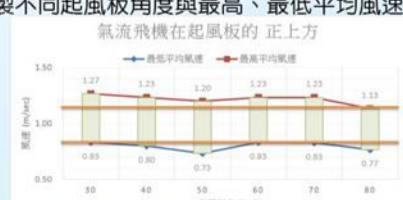


圖56 不同起風板角度與最高、最低平均風速之關係圖

(二)討論：

- 1. 根據實驗結果，我們發現，氣流飛機在起風板上飛行時的風速是一個區間，風速達到最低風速時，氣流飛機開始可以在起風板上平穩的飛行，直到風速超過最高風速，氣流飛機將會因失速，開始失控傾倒或向後噴飛。
2. 圖64內的綠色區域，為氣流飛機在該起風板角度飛行的安全風速區間，也就是將氣流飛機操控在這個風速區間內，皆可以平穩的飛行。

- 觀察表15-1、15-2 之原始數據，不管起風板角度為何，氣流飛機飛行的最低風速為0.8m/sec加減0.1m/sec。氣流飛機飛行的最高風速為1.2m/sec加減0.1m/sec。
- 若此時，若將風速控制在最低平均風速的最大值(0.83 m/sec)到最高平均風速的最小值(1.13 m/sec)之間的安全風速區間之內，如圖55中，2條橘色線範圍內的區間，不管起風板的的角度為何，都可以將氣流飛機平穩的控制起風板的正上方。
- 根據本實驗結果可知，氣流飛機在各個角度的起風板上，有重疊的安全風速區域(0.83 m/sec到1.13 m/sec之間)，此結果，剛好可以呼應並解釋實驗一的實驗結果。
 - (1) 每位測試者測試出最佳飛行速度的起風板角度皆不相同(如表3)。
 - (2) 每位測試者在測試的 6 個角度中，有多次平均飛行速度成績相同的情形(如表4)。
 - (3) 多位測試者在6個角度中，有多次平均飛行速度皆為 1.02 m/sec 的情形(如表5)。
 - (4) 各角度都可以測試出最佳飛行速度(如表6)。
 - (5) 每位測試者測試出最佳飛行速度的起風板角度皆不相同。
- 由類風洞裝置實驗我們知道，當氣流飛機飛行的位置在起風板的正上方時：
 - (1) 氣流飛機在起風板上飛行時的最佳風速是一個區間，不是單一風速。
 - (2) 氣流飛機在各個角度的起風板上，有重疊的安全風速區域，只要將氣流飛機控制在這個重疊的安全風速區間之內(0.83 m/sec ~ 1.13 m/sec間)，不管起風板的的角度為何，都可以將氣流飛機平穩的控制起風板的正上方。
 - (3) 起風板角度和氣流飛機的速度無明顯關聯。

五、實驗五：以自製類風洞裝置，研究氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

- 當氣流飛機控制在起風板的「上半部」時，我們記錄氣流飛機在起風板各個角度的最高風速及最低風速，紀錄3次，並取其平均值，實驗結果如表17-1、17-2。

表17-1 氣流飛機在「上半部」飛行的最低風速

起風板角度	次數			
	風速 m/sec	第1次	第2次	第3次
30度	0.9	0.9	0.9	0.90
40度	1.1	1.0	1.0	1.03
50度	0.8	0.9	0.9	0.87
60度	1.0	1.0	0.9	0.97
70度	1.0	1.0	1.2	1.07
80度	1.2	1.2	1.2	1.20

表17-2 氣流飛機在「上半部」飛行的最高風速

起風板角度	次數			
	風速 m/sec	第1次	第2次	第3次
30度	1.4	1.5	1.4	1.43
40度	1.5	1.6	1.5	1.53
50度	1.7	1.6	1.6	1.63
60度	1.6	1.6	1.5	1.57
70度	1.7	1.6	1.6	1.63
80度	1.9	1.9	2.0	1.93

- 當氣流飛機控制在起風板的「下半部」時，我們記錄氣流飛機在起風板各個角度的最高風速及最低風速，紀錄3次，並取其平均值，實驗結果如表18-1、18-2。

表18-1 氣流飛機在「下半部」飛行的最低風速

起風板角度	次數			
	風速 m/sec	第1次	第2次	第3次
30度	1.1	1.1	1.0	1.07
40度	1.2	1.1	1.1	1.13
50度	1.3	1.2	1.4	1.30
60度	1.4	1.5	1.3	1.40
70度	1.6	1.6	1.6	1.60
80度	1.7	1.6	1.7	1.67

表18-2 氣流飛機在「下半部」飛行的最高風速

起風板角度	次數			
	風速 m/sec	第1次	第2次	第3次
30度	1.5	1.5	1.6	1.53
40度	1.7	1.7	1.7	1.70
50度	1.9	1.9	1.9	1.90
60度	2.0	1.9	2.0	1.97
70度	2.2	2.1	2.2	2.17
80度	2.3	2.3	2.2	2.27

- 彙整表15-1、15-2、16-1、16-2、17-1、17-2、18-1、18-2的平均最低風速於表19-1，並繪製氣流飛機在不同位置時，在不同起風板角度所測得的「平均最低風速」關係圖，如圖57。

表19-1 平均最低風速

起風板角度	位置		
	正上方	上半部	下半部
30度	0.83	0.90	1.07
40度	0.80	1.03	1.13
50度	0.73	0.87	1.30
60度	0.83	0.97	1.40
70度	0.83	1.07	1.60
80度	0.77	1.20	1.67



圖57 氣流飛機在不同位置時，不同起風板所測得的「平均最低風速」關係圖

- 彙整表16-1、16-2、17-1、17-2、18-1、18-2的平均最高風速於表19-2，並繪製氣流飛機在不同位置時，在不同起風板所測得的「平均最高風速」關係圖，如圖58。

表19-2 平均最高風速

起風板角度	位置		
	正上方	上半部	下半部
30度	1.27	1.43	1.53
40度	1.23	1.53	1.70
50度	1.20	1.63	1.90
60度	1.23	1.57	1.97
70度	1.23	1.63	2.17
80度	1.13	1.93	2.27

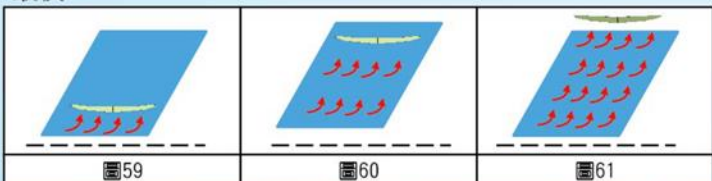


圖58 氣流飛機在不同位置時，不同起風板所測得的「平均最高風速」關係圖

- 由表12-1及圖41中，我們知道，起風板的的角度分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度時，氣流飛機的「平均最低風速」皆是在起風板的下半部最快，其次是上半部，最慢的是正上方。
- 由表12-2及圖42中，我們知道，起風板的的角度分別為30度、40度、50度、60度、70度、80度時，氣流飛機的「平均最高風速」皆是在起風板的下半部最快，其次是上半部，最慢的是正上方。
- 也就是說不管起風板的的角度為何，氣流飛機飛行在起風板不同位置的「平均最低風速」和「平均最高風速」大小快慢順序相同，皆為：
起風板的下半部 > 上半部 > 正上方。

(二) 討論：

- 在本實驗中，空氣分子由自製的類風洞裝置發出後，經過起風板，產生上升氣流，當上升氣流大過氣流飛機的重力時，此時上升氣流就成為氣流飛機飛行的動力。故上升氣流的多寡，自然會影響氣流飛機的飛行。
- 當氣流飛機置放於起風板的下半部時，氣流飛機只得到來自起風板下半部的上升氣流，也就是來自於氣流飛機翼面的下方到起風板的下緣所產生的上升氣流(如圖59)，這個部分的上升氣流比較少。但是要維持氣流飛機飛行需要一定的上升氣流，在可用的起風面積有限之下，唯有增加風速，才能產生足夠的上升氣流使氣流飛機飛行，所以下半部的風速會最快。



- 當氣流飛機置放於起風板的下半部時，氣流飛機可以得到來自起風板下半部到最下緣所產生的上升氣流(如圖60)，此時的上升氣流比下半部多。在可用的起風面積略大之下，所需風速較下半部少，就能產生足夠的上升氣流使氣流飛機飛行，所以上半部的風速要比下半部慢。
- 當氣流飛機置放於起風板的正上方時，氣流飛機可以得到來自整個起風板所產生的上升氣流(如圖61)，此時的上升氣流最多。在起風面積最大的情形，在較小的風速下，就能產生足夠的上升氣流使氣流飛機飛行，

所以正上方的風速會最小。

- 在本實驗研究中，氣流飛機的平均最低風速及平均最高風速，在起風板的下半部都是最快的，其次是上半部，最慢的是正上方，實驗結果具有一致性。
- 在氣流飛機飛行時在「起風板不同位置」對氣流飛機「飛行速度」之研究中，以自製的類風洞設備進行實驗的結果，和實驗二以手持方式進行實驗的結果相同，實驗結果具有一致性。在起風板上，氣流飛機飛行的速度皆為：
下半部 > 上半部 > 正上方。

六、實驗六：以自製類風洞裝置，研究「起風板兩側折角」對氣流飛機「飛行速度」之影響。

(一) 研究結果：

- 我們經由測風儀測得，氣流飛機在各個兩側折角飛行時的最低飛行速度及最高飛行速度，各紀錄3次，並求取平均值。如表20-1、表20-2。
- 彙整表13-1、表13-2之最低飛行速度及最高飛行速度，繪製起風板兩側折角與飛行速度關係圖，如圖62。

兩側折角	表20-1 不同「起風板兩側折角」對氣流飛機「最低飛行速度」紀錄表				表20-2 不同「起風板兩側折角」對氣流飛機「最高飛行速度」紀錄表				
	風速 m/sec	第1次	第2次	第3次	平均最低風速	風速 m/sec	第1次	第2次	第3次
上折0度	0.9	0.9	0.9	0.90	1.4	1.5	1.4	1.43	
上折15度	0.9	0.9	1.0	0.93	1.5	1.6	1.4	1.50	
上折30度	1.0	0.9	1.0	0.97	1.5	1.5	1.6	1.53	
上折45度	0.8	0.8	0.9	0.83	1.4	1.5	1.5	1.47	
上折60度	0.8	0.8	0.8	0.80	1.5	1.4	1.4	1.43	

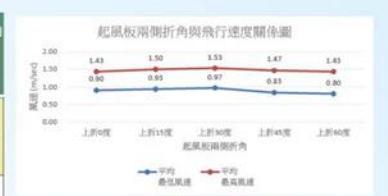


圖62 起風板兩側折角與飛行速度關係圖

- 由表20-1及圖62中，我們可以知道，從起風板兩側折角為0度開始，平均最低風速由0.90 m/sec開始增加，一直到起風板兩側折角上折30度時，平均最低風速達到最高，達 0.97 m/sec，之後平均最低風速開始下降，一直到起風板兩側折角為60度時，平均最低風速最小，為 0.80 m/sec。
- 由表20-2及圖62中，我們可以知道，從起風板兩側折角為0度開始，平均最高風速由1.43 m/sec開始增加，一直到起風板兩側折角上折30度時，平均最高風速達到最高，達 1.53 m/sec，之後平均最低風速開始下降，一直到起風板兩側折角為60度時，平均最低風速最小，為 1.43 m/sec。
- 歸納第4點及第5點，我們以與地面夾角為30度的起風板為實驗對象，當氣流飛機控制在起風板的上半部時，起風板兩側折角為30度時，氣流飛機飛行時的風速最快。

(二) 討論：

- 由本實驗的過程中，我們觀察到，當起風板兩側折角為0時，氣流飛機飛行的軌跡平穩，除了上浮之外，以較慢的速度左右擺動。
- 當起風板的兩側折角從15度、30度、45度，最後到60度時，我們也觀察到，當兩側折角越來越大時，氣流飛機飛行軌跡除了正常的上浮之外，左右擺動的範圍越來越小，擺動的頻率也越來越快。
- 從實驗三中，我們得知，若是將起風板向左傾斜，則氣流飛機會向左飛行，若是將起風板向右傾斜，氣流飛機會向右飛行，也就是起風板的左右傾斜會產生不同的上升氣流，影響氣流飛機的轉向。左右傾斜的程度越大，氣流飛機轉向的角度也會越大。
- 若氣流飛機被上升氣流吹向起風板的右側，起風板右側的折角會產生向左修正的氣流，使飛機向左飛回起風板的垂直中線。若氣流飛機被上升氣流吹向起風板的左側，起風板左側的折角會產生向右修正的氣流，使得氣流飛機向右飛回起風板的垂直中線。
- 當起風板兩側折角變大時，氣流飛機在起風板上受到左右修正的力道也越強，氣流飛機在起風板上會自動修正飛行軌跡，使得飛行會更穩定，所以氣流飛機飛行的速度可以加快。以起風板兩側折角為30度時，飛行速度最快，飛行的穩定性最高。
- 當起風板的兩側折角超過30度時，所產生修正的力道太大時，造成左右偏移的範圍明顯變小，集中在起風板的垂直中線兩側，左右偏移的頻率明顯增加。此時，氣流飛機在起風板上屬於快速左右移動的不穩定狀態，在相同風速下，氣流飛機反而容易失控，為了使氣流飛機不失控，飛行的速度就要自動降低。
- 由本實驗得知：

將起風板兩側裝上折角，確實會影響氣流飛機飛行的速度，並且能修正氣流飛機的偏移，讓飛機自動回正。以兩側折角為30度時，氣流飛機飛行的速度會最快，飛行的穩定性會最高。

七、實驗七：實際模擬氣流滑翔飛機繞桿計時競賽，驗證本研究結論是否確實能使得分增加。

我們以「2022夢想起飛-氣流滑翔飛機繞桿接力競賽」競賽規則為主。將本研究小組所設計完成的氣流飛機與起風板，直接進行8字形接力繞桿賽，限時3分鐘，桿與桿的距離為6公尺，所完成的得分紀錄如下表21。

表21 模擬「夢想起飛-氣流滑翔飛機」競賽規則之得分紀錄

次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均得分
得分	67	70	76	69	76	72	75	84	78	83	75

- 在短暫停練習雙人接力的技巧後進行實地測試10次，結果平均成績可以達到75分，根據當時的成績紀錄，可以得到第三名。我們的得分從原本的8分進步到75分，進步了9.37倍。
- 經本實驗可知，若採用本研究結果：將氣流飛機控制在起風板的上半部、並將起風板左右兩側上折 30 度角，確實可以提升氣流飛機的飛行速度及穩定度，增加比賽成績。

柒、結論

綜合以上實驗，我們可以得到以下之結論：

- 在操作氣流飛機時，氣流飛機的飛行速度不是單一的速度，是一個區間。不同起風板的的角度具有共同的安全飛行區間，如果將氣流飛機的飛行速度控制在這個共同安全區間內，氣流飛機在所有起風板角度，都可以順利飛行，所以，起風板的的角度並不是影響氣流飛機飛行速度的主要因素。
- 起風板的的角度即起風板與地面之夾角，對於氣流飛機飛行速度之影響，因人而異，每個人有不同的最佳起風板角度，有些人可以在多個不同夾角的起風板上，創造出相同的最佳成績。不同人也可以在不同夾角的起風板上創造出相同的飛行成績。
- 在操作氣流飛機時，若將氣流飛機控制在起風板的正上方，此時飛機飛行速度較慢，飛行穩定，成功率最高。若控制在正下方時，飛機飛行速度太快，失敗率最高。
- 在操作氣流飛機時，若將氣流飛機控制在起風板的上半部，此時飛機飛行速度較快，飛行穩定，成功率也很高。若使用30度夾角的起風板，飛行速度最快，飛行最穩定。
- 在起風板兩側加上折角，確實會影響氣流飛機的飛行並且能修正氣流飛機的偏移，讓飛機自動回正。其中，以兩側折角為 30 度時最佳，可以增加氣流飛行的速度、穩定度及成功率。
- 經實證，本研究的實驗結果，確實可以在實際比賽中，增加氣流飛機的飛行速度和穩定性，提升比賽成績。

捌、參考文獻資料

詳如作品說明書。