

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080107

風的整形大師～探討不同條件對微型風洞氣流
穩定性的影響

學校名稱： 高雄市三民區愛國國民小學

作者：	指導老師：
小四 鍾明諦	陳建良
小四 紀蓬諺	王雅柔
小四 王智瑜	

關鍵詞： 微型風洞、整流、層流

摘 要

風洞是重要的流體觀測設備，生活中許多物件都需要經過「風洞」研究空氣流經物體所產生的氣動效應；但風洞設備體積大又昂貴，小學生難以接觸到，因此，本研究針對微型風洞的製作條件進行探討。

本研究針對微型風洞的風速大小、整流段孔徑大小及長度、收縮段延長長度等變因，進行氣流穩定性觀測，運用水煙及紅色點狀雷射光點輔助氣流的呈現；結果顯示風速及整流段孔徑過大或過小都不利於層流的產生，整流段較長及收縮段適當長度有利於層流的穩定呈現。

研究發現使用孔徑 9mm 大小、長度 20cm 的整流段，組合收縮段延長長度 10cm，搭配風速 1m/s，是自製「微型風洞」較佳的組合條件，可以清楚觀測氣流在微型風洞中層流的產生，適用於中小學生對於流體的觀測應用。

(本研究中除已註記來源外之圖片或照片均由作者自行繪製或拍攝)

壹、前 言

一、研究動機

近日在學校參加專題的討論，聽老師提起「風洞」一詞，我們才知道生活中許多的物件都要經過「風洞」的實驗才能創造出它優秀的應用價值，路上的車子、天上的飛機、建築物及橋樑等，都需要經過「風洞」研究空氣流經物體所產生的氣動效應，才能進一步建造生產。哇！這麼一項重要的科學裝置我們卻沒有機會一探究竟，經過資料的蒐集得知一般的風洞設備都很大且昂貴，於是，激起了我們對「風洞」的好奇心，想要探討能運用在中小學的「微型風洞」設計，讓我們能親身見識「風洞」的奧妙，於是就和幾位同學一起來進行這個研究。

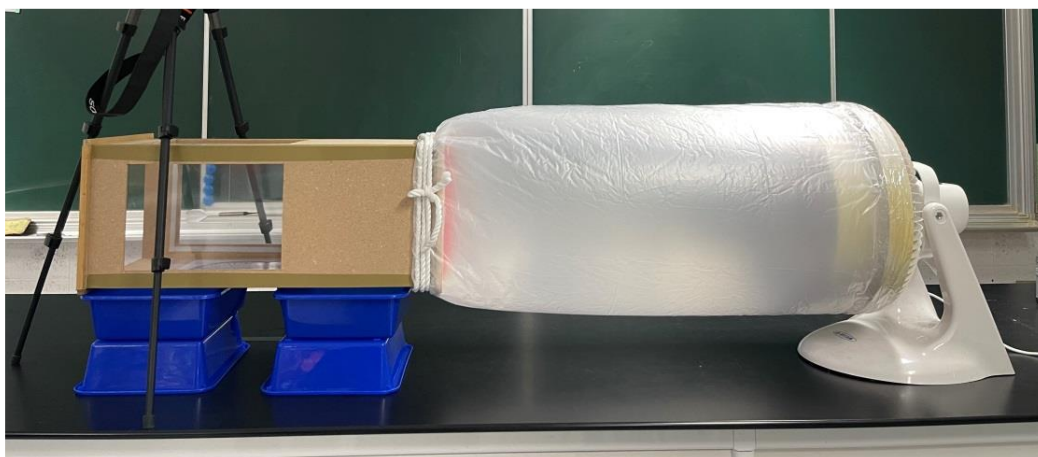
二、研究目的

- (一)探討什麼是風洞。
- (二)探討不同條件對微型風洞氣流穩定性的影響。
- (三)找出製作微型風洞的較佳條件。

三、文獻回顧

(一)研究者針對過去相關之實驗研究，閱讀後整理部份重點摘要如下：

作品名稱	主要探討	研究方法	發現結果
人人善射-自製發射器探究影響飛鏢飛行的因素 中華民國第 62 屆中小學科展國小組作品	1.探討不同條件對飛鏢飛行路徑及水平距離之影響 2.分析不同條件對於飛鏢鏢翼之氣流回復作用 3.調整最佳條件使飛鏢可射中靶心	1.文獻探討 2.自製觀測器材 3.依變因操作實驗探討	1.發現飛鏢相同射出角度且作用力愈大、放鏢位置較早的情況下，飛鏢飛行高度較高；射出角度小且作用力大、放鏢位置較晚、拿鏢位置在重心、鏢翼較小較短或數量較少等情況下，可以得到較大的水平速度 2.鏢翼因回復力矩作用具有使飛鏢保持頭穩定向前的飛行姿態，而太大或太寬長的鏢翼因飛行中回復力矩過大，使飛鏢擺盪幅度較大，不易控制飛鏢落點



圖片來源：參考文獻三-人人善射-自製發射器探究影響飛鏢飛行的因素

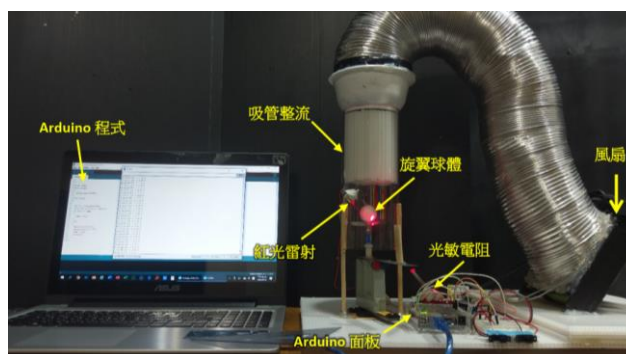
<p>魚你翼鰭飛— 探討飛魚腹鰭 對飛行穩定度 的作用</p> <p>中華民國第 62 屆中小學科展 高中組作品</p>	<p>1.以「運動行為實驗」、「風洞穩定度實驗」探討飛魚胸腹鰭之交互作用對飛行優勢條件的影響</p> <p>2.探討不同條件下飛魚物理量趨勢</p>	<p>1.文獻探討</p> <p>2.自製觀測器材</p> <p>3.依變因操作實驗探討</p>	<p>1.發現在攻角為 35~45 度時，飛魚的穩定度最大。其中以A_5、A_7在外擴角θ_5時，是最適合飛魚飛行的狀態，但又以腹鰭面積A_7(外擴角$\theta_4 \sim \theta_5$、攻角 40 度~70 度)為最佳</p>
--	--	--	--



圖片來源：參考文獻八-魚你翼鰭飛—探討飛魚腹鰭對飛行穩定度的作用

<p>翩翩起舞-旋翼 球體在流體中 旋轉、浮升、擺 盪的現象研究</p>	<p>1.探討影響無翼球體在水中浮升的軌跡和速度的因素</p>	<p>1.理論探討</p> <p>2.自製觀測器材</p> <p>3.依變因操作實驗探討</p>	<p>1.在水中只要二翼球體升速和轉速比值(升轉比)≤ 6.8，六翼球體≤ 8.04，便能垂直穩定浮升，以角動量穩定球體尾流產生的振動。翼玄和翼展愈大，攻角愈小，都能有效降低升轉比</p>
--	---------------------------------	--	--

中華民國第 60 屆中小學科展國中組作品	2.探討不同條件對於球體旋轉浮升的軌跡、升速和轉速的影響 3.找出旋翼球體的實用價值	2.複合水平旋翼和側翼，以側翼破壞維持穩定的角動量，使球體以螺旋軌跡浮升，增加上升時間、改變橫移幅度和轉速 3.在風洞中，展玄增加及攻角減少，也同樣可以提高轉速維持穩定性 4.設計：(1)氣體流速計，可根據振幅，量測 1.5m/s 到 4.0m/s 的風力變化；(2)潛水員定速浮升器，調整旋翼攻角、展玄尺寸和浮球大小來控制升速
----------------------	---	--



圖片來源：參考文獻十一-翩翩起舞-旋翼球體在流體中旋轉、浮升、擺盪的現象研究

蓋世魔球---瓶蓋棒球初探 中華民國第 59 屆中小學科展國中組作品	1.探討風洞原理並製作風洞 2.瓶蓋的運動狀態對其受力狀況及周圍氣流的影響 3. 探討瓶蓋離手時的方位及旋轉速度所造成的各種運動軌跡	1.理論探討 2.自製觀測器材 3.依變因操作實驗探討	1.風洞比例--整流段：壓縮段：實驗段 4：9：3 可使氣流有明顯穩定和增強效果 2.風洞風速不變時，不同轉速瓶蓋所受上升力無太大差異，當瓶蓋轉動及飛行速度越快，瓶蓋所受向左作用力也越大 3.改變風洞風速，不論轉速高低，當瓶蓋飛行速度越快，瓶蓋所承受向上作用力也會變大 4.不論瓶蓋開口朝向為何，風速(球速)越快、轉速越快，力對瓶蓋影響越大，路徑改變也越明顯
---	--	-----------------------------------	--



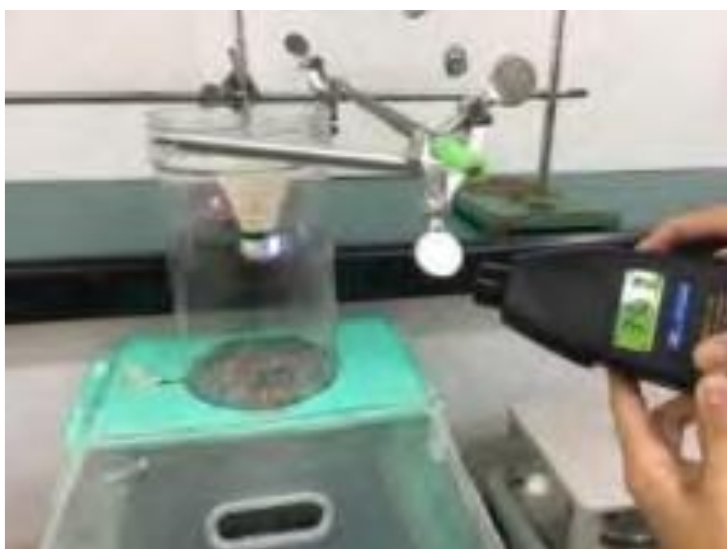
圖片來源：參考文獻七-蓋世魔球---瓶蓋棒球初探

<p>流動「生」力 —平面溝紋對 氣流升力及渦 流形成探討</p> <p>中華民國第 58 屆中小學科展 國中組作品</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.建構抽氣式風洞、平面溝紋設計模組及不同扇葉 2.進行升力效能測試及渦流觀察 3.比較各類垂直式溝紋模組氣體渦流變化與升力變化的相關性 4.探討不同空氣流速下，渦流變化與溝紋扇葉升力的相關 	<ol style="list-style-type: none"> 1.理論探討 2.自製觀測器材 3.依變因操作實驗探討 	<ol style="list-style-type: none"> 1.垂直式溝紋升力較傾斜式佳，渦流造成扇葉上氣流曲度增加 2.相同風速下，若渦流形狀較圓，則上層氣流曲度大，扇葉所受升力也較大 3.相同扇葉在氣流流速快時，渦流較扁長，上層氣流曲度小，升力較大；依附壁效應推測，可能風速快形成曲流的向心力較大 4.風速每秒 2.65m，三溝紋扇葉高度依序為 8，6，4cm；間距依序為 6、4cm 有最佳升力效果
--	--	---	---



圖片來源：參考文獻十七-流動「生」力—平面溝紋對氣流升力及渦流形成探討

<p>斷尾球「生」~ 探討羽球羽毛 對飛行的影響</p> <p>中華民國第 57 屆中小學科展 國中組作品</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.製作垂直風洞及羽球發射裝置 2.探討不同條件對於羽毛球飛行的影響 	<ol style="list-style-type: none"> 1.自製觀測器材 2.依變因操作實驗探討 	<ol style="list-style-type: none"> 1.羽毛只要經過修剪，阻力多會下降 2.修剪外側羽毛，高速下的轉速可大幅提升，但低速時則因受力面積減少導致轉速下降 3.羽尾若破壞程度太大，如：剪成平頭狀，會使得轉動能力下降，甚至低速時無法轉動，飛行距離也明顯提升 4.斷翅實驗發現透過斷去第二根羽毛達到對稱的缺口，可挽救失控的側向力，提升破損羽球的練習價值
---	---	---	---



垂直風洞

圖片來源：參考文獻十-斷尾球「生」~探討羽球羽毛對飛行的影響

<p>「機」來運轉</p> <p>中華民國第 57 屆中小學科展國小組作品</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.探討各種機翼的運轉特性 2.研究機翼結構如何提升運轉效率 3.發電效能與噪音探討 	<ol style="list-style-type: none"> 1.自製觀測器材 2.依變因操作實驗探討 	<ol style="list-style-type: none"> 1.發現機翼漸縮比 6:2、後掠 20 度角機翼運轉圈數最多 2.修改襟翼擺放位置、增加機翼內斜角、用塑膠板遮住空隙增強「康達效應」使機翼運轉圈數再提升 3.發現發電效能受運轉圈數多寡影響，而且相同圈數下三機翼發電效能比雙機翼高 4.發現在運轉的過程中噪音會隨著機翼攻角增加而增加
---	--	---	---



圖片來源：參考文獻六-「機」來運轉

<p>「風」情萬種的模型跑車-模型跑車水平阻力與抬升阻力的探討</p> <p>中華民國第 55 屆中小學科展國小組作品</p>	<p>1.探討在不同條件下，車子受風時所產生的水平空氣阻力與抬升力</p>	<p>1.理論探討 2.自製觀測器材 3.依變因操作實驗探討</p>	<p>1.風速越大，各種車型的上升阻力越強越明顯 2.車體前低後稍高，車體貼近地面，車子受到的水平空氣阻力越小 3.相同風速，不同迎風角度下，以 A1 車角度最大，所以車在行駛中接觸風較多，風在迎風面聚集，阻力較多；A5 車較流線可以將風順利後送，阻力較小 4.珍珠板放在離車 3cm 高的位置較能擾動空氣，克服抬升力，防止氣流回彈，使車子平穩行駛，所以 F1 賽車的擾流板都架得高高的</p>
---	---------------------------------------	--	---



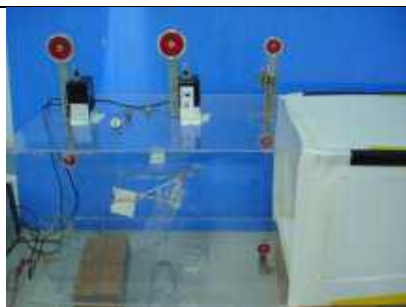
圖片來源：參考文獻九-「風」情萬種的模型跑車-模型跑車水平阻力與抬升阻力的探討

<p>翹首振翼－再次得力</p> <p>中華民國第 48 屆中小學科展國中組作品</p>	<p>1.改良第一代的實驗器材，包含風洞、風速計及機翼 2.探討不同條件對於對機翼升、阻力及失速攻角的影響</p>	<p>1.理論探討 2.自製改良觀測器材 3.依變因操作實驗探討</p>	<p>1.第二代採改良式的風洞，獲得更穩定氣流，改良式測試架，可測出拍動式單組及雙組機翼骨架及形狀對於升、阻力有很大影響，漸縮比 0.5 的機翼有較好的升、阻力 2.發現上反角變大，雖升力下降，但阻力也大幅減小 3.加入振動機翼，並使用兩副機翼，升力大幅提昇，且遠超第一代機翼，若改良成雙翅振動的偵察機，將擁有更卓越的機密性，效果更佳</p>
--	---	--	---

動力段



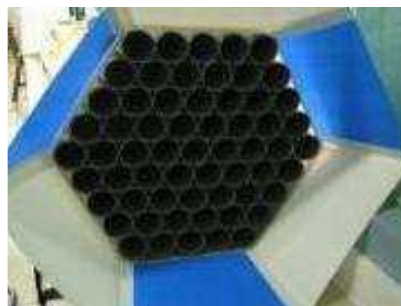
測試段



收縮段



整流段



圖片來源：參考文獻一-翹首振翼－再次得力

談紙神功-紙飛機的滑翔研究

中華民國第 47 屆中小學科展國中組作品

1. 探討如何製作簡易風洞
2. 探討不同條件對於紙飛機滑翔的影響

1. 理論探討
2. 自製觀測器材
3. 依變因操作實驗探討

1. 機翼的風洞測試 50 度有最大的升力、機翼仰角研究的結果在 40.8 度有最遠的飛行距離，這與反作用力的分析結果 45 度有最大的升力相當接近
2. 重心位置對紙飛機的飛行有很重要的影響，重心太前面會俯衝而快速降落，重心太後面會因爬升太快阻力增加而墜落
3. 紙飛機重心最佳位置應在機翼幾何重心之前一點點(大約 1 公分前後)
4. 採用油印紙、影印紙和海報紙折疊幾架寬翼型飛機，並利用貼紙調整紙飛機重心至最佳位置(幾何重心前約 1 公分前後)，都有不錯的表現

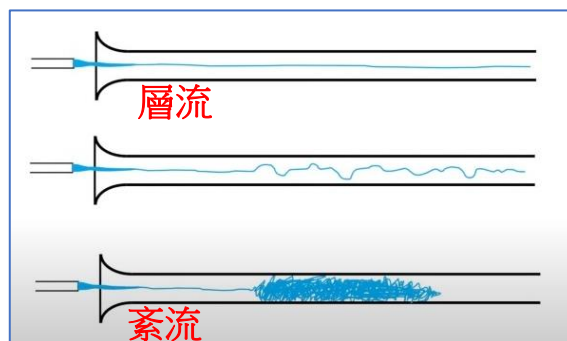


圖片來源：參考文獻十八-談紙神功-紙飛機的滑翔研究

(二)層流與紊流

從維基百科資料查詢中得知：層流(Laminar flow)，是流體中的一種流動狀態，流體在流場中以非常緩慢的速度流動時所產生的現象。當流速很小時，流體會分層流動，互不混合或很少部分混合，流體的流線彼此互相平行稱為層流；當流速逐漸增加，流場中會開始出現擾動及漩渦，流體的流線開始出現波浪狀的擺動，當流速增加到很大時，無法清楚觀測到流線，流場中出現許多小漩渦及渦流，稱為湍流，又稱為紊流(Turbulent flow)。

根據學者吳毓庭(2021)對於層流與紊流的影片說明中提供的示例，過去科學家曾使用染料在管子中進行觀測，在低速的狀態下，染料會保持在穩定的水中，這就是層流，如下圖最上方圖示；隨著速度增加，染料開始來回擺盪，當速度超過某個臨界點時染料開始擴散於水中，這就是紊流，如右圖最下方圖示。



本圖片修改自【參考文獻二-層流與紊流】之影片截圖

根據文獻資料的統整分析，我們發現過去有關風洞的相關研究大都是利用自製「風洞設備」，來輔助實驗進行變因的探討，包括對飛鏢、飛魚、紙飛機、旋翼球體、瓶蓋、羽球、機翼、跑車及溝紋等探討，觀測物體在氣流中的升力或阻力狀況。在研究中穩定的氣流是成敗的關鍵，研究者為使觀測獲得有效的結果，運用生活中常見的吸管等材料進行探討氣流穩定性、孔洞大小或形狀等變因對氣流的影響，但較少討論改變風洞本身的條件。

因此，本研究將直接針對風洞組成的各構造來進行實驗變因探討，包括收縮、整流、測試及擴散段等；並透過 3D 列印自行製作適用於中小學的「微型風洞」結構，來進行探討不同變因對氣流穩定性的影響，以「層流」概念說明氣流之穩定性，希望能找出適用於微型風洞中使氣流更穩定的條件，做為相關應用時參考之依據，也成為我們理想中的「風洞設備」。

貳、研究設備及器材

自製風洞裝置(約 75cm×20cm×20cm)、自製整流器、風扇(110/120V，50/60Hz，13/14W，

8cm×8cm 大小)、控制開關、水氧機、3D 列印機(最大列印規格為 18cm×18cm)、PLA 線材、LED 燈(白光, 12V)、點狀雷射(紅色, 3-5V, 5mw)、風速計、碼錶、電子游標尺、相機。

參、研究過程或方法

研究一、探討什麼是風洞

(一)風洞是什麼

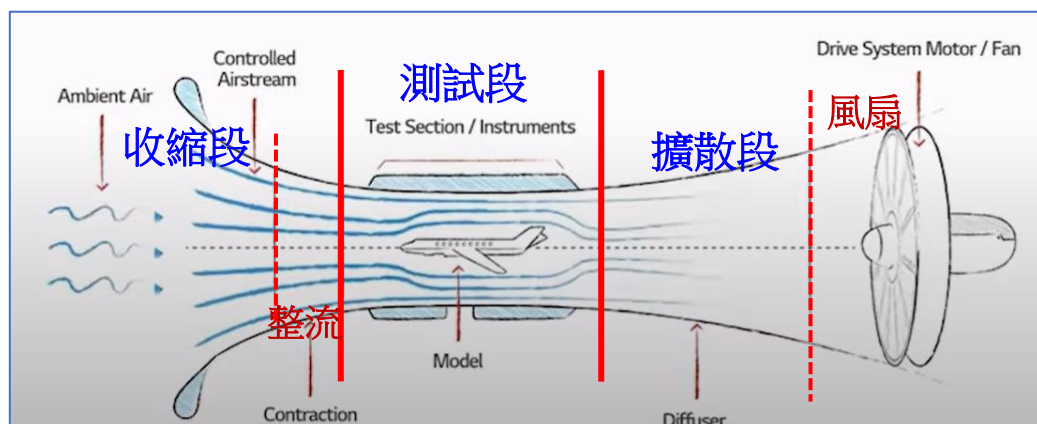
風洞(Wind tunnel)是空氣動力學的研究工具，是一種產生人造氣流的管道，可以產生「人造風」，用來測試物體在氣流中的行為的實驗設備。它透過強力風扇或壓縮空氣產生穩定的氣流，讓研究人員觀察和測量空氣如何影響飛機、汽車、橋樑或高樓等物體的空氣動力特性。

風洞可依據不同效用分類如下：

- 1.低速風洞(亞音速風洞)：氣流速度低於音速(約 343 m/s)，常用於汽車和建築物的風力測試。
- 2.高速風洞(超音速風洞)：氣流速度超過音速，主要用於飛機和導彈的設計測試。
- 3.超高速風洞(極音速風洞)：氣流速度達 5 倍音速以上，用於研究航太飛行器，如太空梭或超高音速飛行器。
- 4.開放式風洞：空氣從環境吸入並排出，適合短時間測試。
- 5.封閉式風洞：內部循環氣流，能保持穩定條件，適合長時間研究。

(二)風洞的結構

經資料的查詢彙整，我們得知風洞的結構組成主要分成收縮段、測試段及擴散段(如下圖示)，另外依不同風洞設備及功能尚包括整流、風扇等多項構造組成，以下分別說明：



本圖片修改自【參考文獻十二-什麼是風洞】之影片截圖

- 1.收縮段：通常是一個呈圓錐形或曲線形的中空管道，管道由大漸漸縮小，可以減少氣流的擾動，使氣流壓縮並加速氣流的速度，以確保氣流平順地進入測試段。
- 2.整流段：通常是由許多小孔組成，可以是整流網格、蜂巢結構、導流葉片等，目的是要讓氣流變得均勻，減少亂流，使氣流更加平穩。
- 3.測試段：是放置測試物體的位置，風洞的核心區域；通常為透明或開放式設計，方便攝影、觀察和測量，研究人員將待測試模型放在此處，搭配觀測儀器進行測試記錄。
- 4.擴散段：結構與收縮段相反，中空管道逐漸擴張，由小變大，目的是要降低經過測試段的氣流速度，並穩定地流向出口或循環系統，避免氣流回流而影響測試段觀測。
- 5.驅動系統：包括風扇、馬達或壓縮機，風扇主要是產生氣流，提供測試段進行觀測；使用壓縮機可以提供高速氣流；有些大型風洞會配備變速控制裝置，以調節風速。
- 6.控制與數據測量系統：包括有壓力感測器、熱線風速儀、激光測速儀、應變儀、攝影與影像分析等配備，作為監控風洞運行狀態，收集實驗數據等資訊。
- 7.循環與排氣系統(適用於封閉式風洞)：包括有轉彎導流葉片、風道等，確保氣流順暢回到收縮段；作為使氣流循環流動，確保氣流持續運行，適合長時間測試。

(三)風洞的用途

風洞除了可用來進行各種與空氣動力學相關的研究外，在日常生活中的應用也有許多，可以包括下列幾項：

1.交通與運輸

- (1)汽車工程：包括車輛外形測試，改善車輛的空氣動力學設計，設計更節能的車輛；研究賽車下壓力、空氣動力套件(如擾流板)效果，提高車輛的抓地力與速度等。
- (2)高速鐵路與地鐵通風：包括車頭形狀的設計改良，減少「音爆」現象，提高搭乘的舒適度；優化地鐵(捷運)與隧道通風系統的空气流動與換氣效率等。
- (3)航空領域：研究飛機機翼形狀、升力、阻力、操控性和穩定性，達到舒適又安全的空中運輸。

2.航太、軍事與國防應用

- (1)火箭與太空飛行器測試，模擬高速飛行環境，研究飛行器如何應對極端氣流。

(2)研究飛彈與砲彈彈道飛行軌跡，確保準確性與穩定性。

(3)測試不同機體戰鬥機與軍用無人機，以提升性能與穩定性。

3.建築、結構工程與城市規劃

(1)高樓抗風設計：模擬強風對高樓的影響，確保高樓結構的安全及穩定性，避免振動或共振現象。

(2)結構工程：可研究橋樑在強風中是否會發生共振或搖晃，評估高樓、橋樑在強風中的穩定性。

(3)城市風場環境研究：分析高樓間的風場分布，優化城市風場，減少強風區域，提高行人舒適度，並減少強風對建築的影響。

4.環境科學

(1)空氣污染與通風：可模擬城市空氣污染的擴散，幫助政府規劃綠化與通風設計，減少霧霾影響；利用風洞來優化室內氣流分布，提高冷氣或新風系統的效率。

(2)風力發電場規劃：科學家能夠評估風力渦輪機的最佳安裝位置，做為風力發電場的規劃依據，讓風力發電更有效率。

5.氣象研究

(1)機場的飛機起降安全，也可透過風洞測試來評估側風影響，確保航班安全。

(2)用來模擬颱風、龍捲風等極端氣候，幫助設計更耐風的建築、橋樑，甚至用於颱風預測與防災研究。

(3)沙塵暴與極端天氣模擬：研究風沙如何影響不同地形與建築物，以設計防沙措施。

6.運動與休閒

(1)人體動力學：研究騎士的姿勢與裝備設計，減少風阻，提高速度。

(2)運動裝備與服飾：優化游泳衣、田徑服、自行車衣、滑雪裝備和頭盔設計等，減少風阻，設計更符合空氣動力學的裝備，提高運動成績表現。

(3)跳傘或空中極限運動：跳傘與翼裝飛行研究，分析人體在自由落體或翼裝飛行時的空氣動力學特性，提高安全性與表現。

綜上所述，我們得知風洞設備因不同目的及效能分成許多種類；主要的結構組成大致可分成收縮段、測試段及擴散段；風洞的用途應用非常廣，包括交通運輸、航太軍事、建築結構、環境、氣象及運動休閒等，對於生活中各層面的應用非常重要。

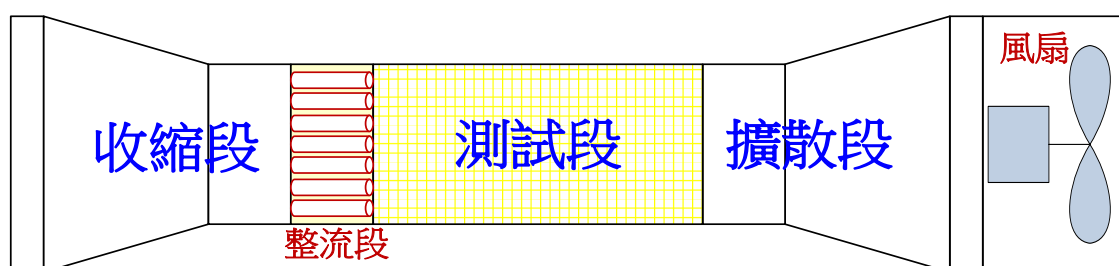
然而，實驗室的風洞設備通常體積龐大、造價高昂，不是我們一般研究者容易親近觀察操作的；而環境中無所不在的氣流也隨時影響著我們的生活，如果能透過具體的流體觀察將有助於我們對於流體的認知。因此，本研究擬針對可適用於中小學「教與學」活動的「微型風洞」進行設計探討，根據不同的結構組成條件，進行各項變因的比較，除了透過設計觀察氣流的存在外，也希望找出使「微型風洞」氣流穩定較佳的條件。

研究二、探討不同條件對微型風洞氣流穩定性的影響

本研究從資料蒐集中發現不同的風洞設計，在結構上有一些不同的組合方式；經資料彙整並討論後本研究決定採用「開放式風洞」，以「收縮段」、「測試段」及「擴散段」作為主要的結構組成，再加入「整流段」及「風扇」形成完整的風洞結構，並以此結構作為研究探討依據；再針對風速大小、整流段孔徑大小、整流段長度及收縮段延長長度等變因進行實驗探討。

(一)風洞結構設計及配置說明

本研究以「收縮段」、「整流段」、「測試段」、「擴散段」及「風扇」作為實驗中風洞的主要結構組成，設計如下圖示；



「微型風洞」結構設計圖

為了使「微型風洞」更具實用性及實驗操作的準確性，本研究利用 3D 列印自製實驗器材，包括收縮段、整流段、測試段及擴散段 4 個部份，採組合方式，因應不同實驗變因，更換組別。「微型風洞」實體完成組裝如下圖：



「微型風洞」實體組裝圖(標準組)

(二)風扇、給風方式及風速控制

- 1.風扇：使用 110V 小型風扇 4 個，每個規格 8cm×8cm 大小，採並聯方式安裝固定於 16cm 內徑方盒中，利用可調速開關做為風速之控制。

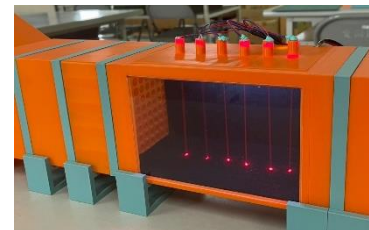
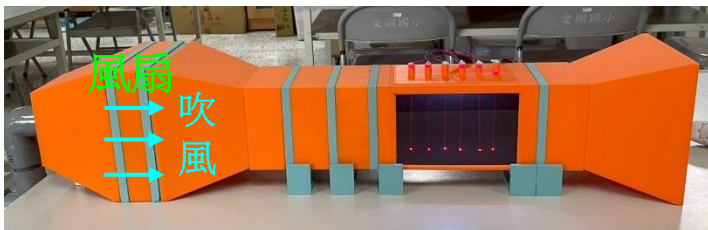


固定 4 個 8cm×8cm 風扇

2.給風方式測試

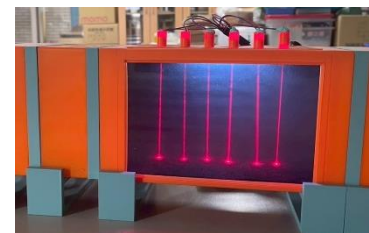
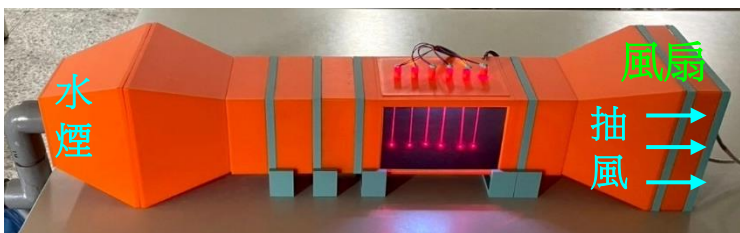
根據文獻得知進入風洞中的風有吹入式及抽吸式兩種，經測試如下：

- (1)吹風：水煙及風扇均於器材配置左側，採吹風方式將風及水煙吹入收縮段內



結果：吹入之水煙進入測試段後快速消散，不易觀察到層流現象。

- (2)抽風：水煙在器材配置左側，風扇於右側，採抽風方式將水煙及風排出擴散段外

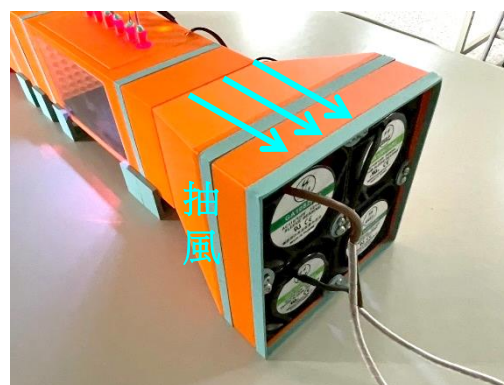


結果：抽風方式之水煙進入測試段後可以清楚觀察到層流現象。

經過測試，討論決議於本研究中採取抽風方式進行後續實驗。

3.風速控制

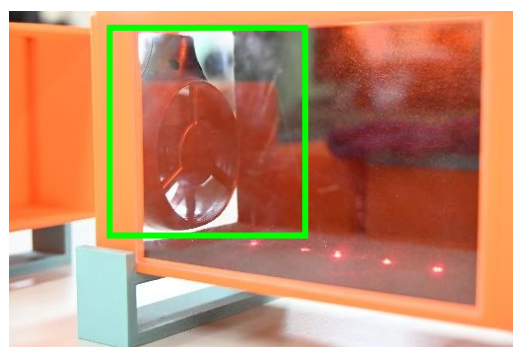
採抽風方式，於「測試段」左側靠近整流段位置以風速計實測風速，分別設定控制開關風速為 0.5m/s 、 1m/s 、 1.5m/s 、 2m/s 、 2.5m/s 及 3m/s ，作為本研究之風速變因組別。



風扇組實際安裝於風洞結構中



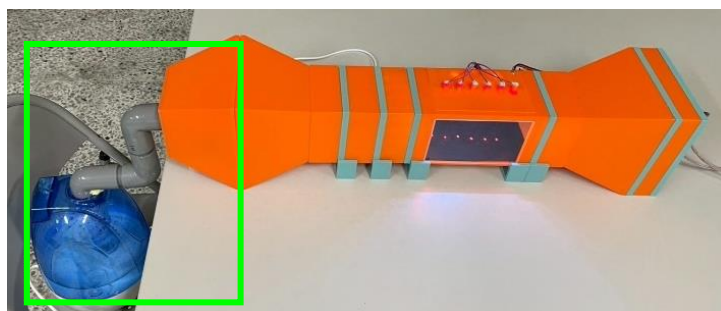
於測試段左側進行風速測量



風速計測風速

(三)水煙裝置

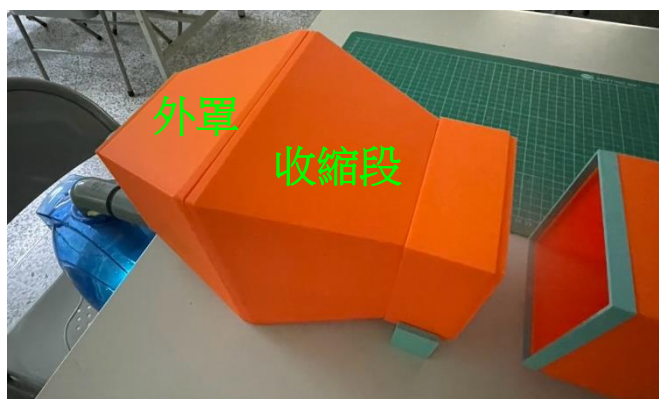
由於環境中的氣流沒有顏色不易觀察，因此在本研究中利用水氧機霧化過程產生水煙，透過自製管路及外罩將產生的水煙導引至風洞中的收縮段內，作為氣流進入風洞結構內氣流流動情形的觀測，並結合風扇抽風及整流段使水煙氣流更加穩定。



水煙裝置於微型風洞左側



水氧機-製造水煙



自製外罩-導引水煙進入收縮段

1.水煙流量-實測步驟

- (1)準備一個長 57cm、寬 38cm、高 30cm 的方形透明容器，於底部均勻分布畫上紅色十字記號共 24 個，再於盒子側面挖一圓孔與水煙裝置之導管組裝密合。
- (2)關閉盒蓋製造密閉空間，再開啟水煙裝置，當水煙產出進入盒內立即按下碼錶計時。
- (3)觀察水煙在盒內的流動情形，當發現已看不到全部的紅色十字記號，表示水煙已充滿容器，立即按下碼錶，記錄下所花費的時間。
- (4)重複步驟(1)-(3)，實驗操作 5 次，觀測並記錄水煙充滿盒子所需的時間，記錄如下表：

次數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
秒數	33.75 秒	34.21 秒	34.47 秒	34.82 秒	33.41 秒	34.13 秒

※結果與討論

經實驗觀測，水煙流量平均 34.13 秒可裝滿容積約為 64980cm^3 的容器，計算後發現水煙每秒的流量約為 1903.785mL (約 1.904L)。



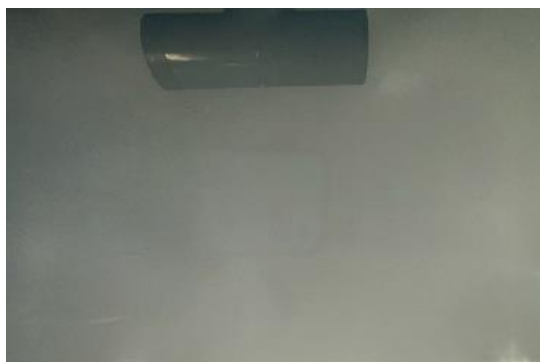
底部紅色十字記號-24 個



水煙與透明盒組裝



水煙充滿中-尚可見紅色記號



看不到紅色記號-表示水煙已充滿容器

2.水煙流速-實測

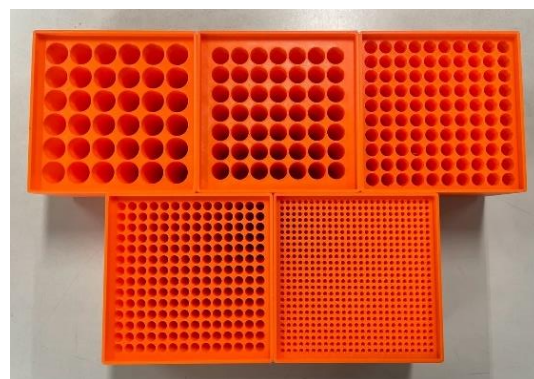
將水氧機開啟至最大量，出口置入 1 個口徑 4cm 的透明圓管內，測量水煙氣流前進 100cm 長度所花的時間，來說明水煙的流速，經實測發現水煙氣流前進 100cm 花費約 3.5 秒，如下圖示。



(四)實驗變因觀測記錄說明

1.整流裝置：目的是希望環境氣流進入風洞內能趨於均勻後流入測試區；本研究經討論依變因組別以 3D 列印方式分別製作不同孔徑大小的整流段，每一組整流段為邊長 10 公分正方形，整流段立起時的長度 5cm，孔徑分別為 3、6、9、12 及 15mm，並以 9mm 組別作為標準組，進行實驗觀測。每組整流段不同孔徑大小、孔洞數及圓孔總面積如下：

孔徑大小	3mm	6mm	9mm	12mm	15mm
孔洞數量	625	196	100	49	36
圓孔總面積(cm^2)	44.16	55.39	63.59	55.39	63.59



不同孔徑大小整流段
每組邊長 10cm 正方形，長 5cm

2.測試段說明

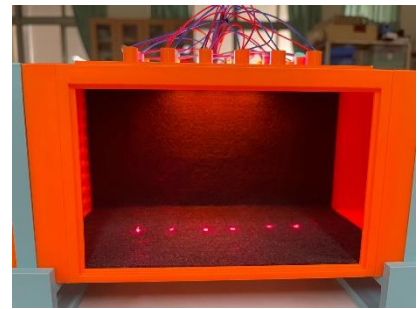
本研究之風洞結構「測試段」尺寸設計為邊長 10cm 正方形，長 20cm，作為主要觀測區；為使氣流清楚呈現在觀測區內，經討論設計在頂部投射 6 個紅色點狀雷射光點、白色 LED 燈光及內部背景黏貼黑色布面，正面再加上透明壓克力片使形成密閉狀態，有助於清楚呈現氣流之流動情形，方便觀測記錄。



原有測試段-無背景



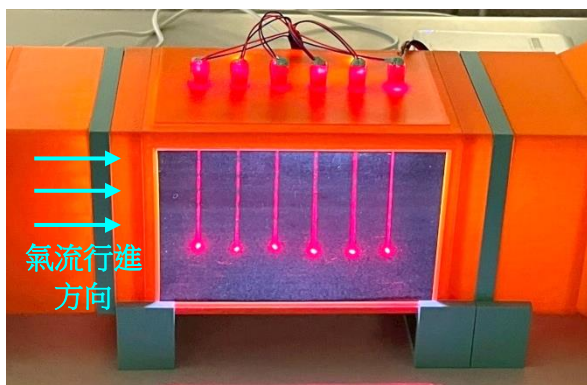
黑色背景-有助氣流觀察



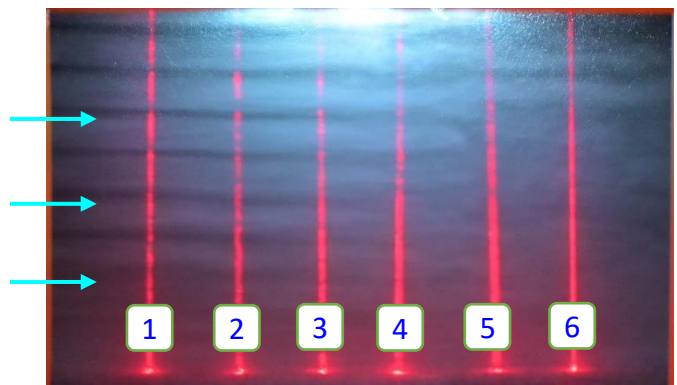
投射 6 個紅色點狀雷射

3. 觀測記錄方式

本研究之風洞氣流觀測因為不易測得實際數據，因此主要採用高速錄影(畫素為 1920×1080 ；每秒影像數 $30p \times 4$)正常播放的方式，及現場觀察輔助進行實驗記錄，在實驗後回播影像共同討論決議結果，進行記錄。觀測記錄之要項包括：氣流進入測試段內、氣流之穩定程度、氣流流動是否出現層流、層流流動可至第幾個紅色雷射光點位置等。



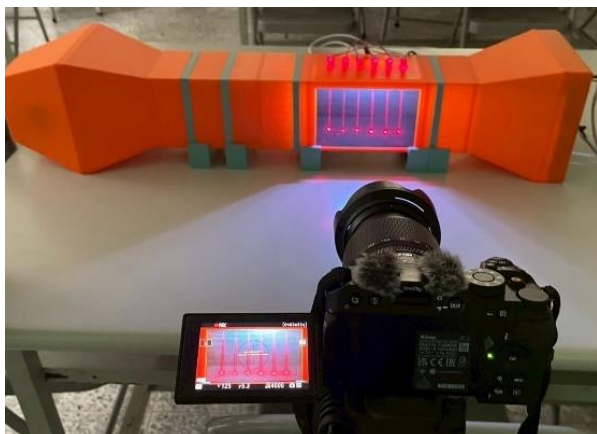
有氣流經過的地方會呈現紅色「線狀」



清楚呈現氣流流動-層流現象

註：1.觀測區中可看見紅色雷射線段表示有氣流經過，氣流是由左側經整流進入觀測區

2.觀測時以「層流」可達到第幾段紅色雷射線段做為記錄之標準

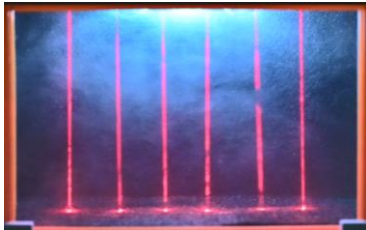
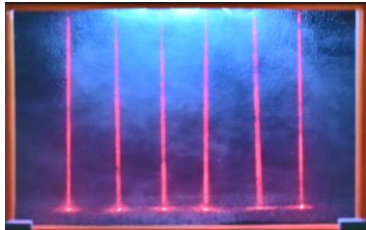

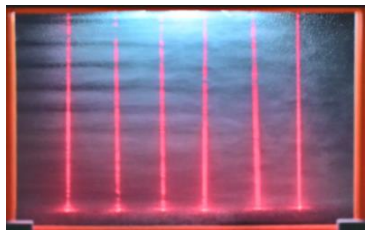


錄影觀測

(五)對照組與標準組說明

研究中為了證明整流段存在的必要性，因此，實驗一開始便設計將整流段做成中空，定義為對照組，進行實驗的對照比較，條件如下：

- 1.對照組條件：風速 1m/s、長度 5cm 的無整流段(中空)、收縮段延長 5cm
- 2.標準組條件：風速 1m/s、整流段長度 5cm(孔徑 9mm 大小)、收縮段延長 5cm


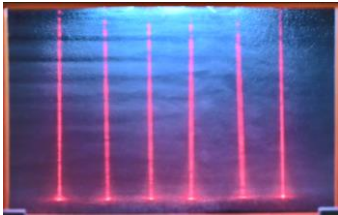
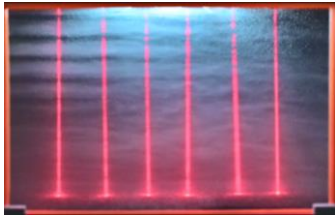


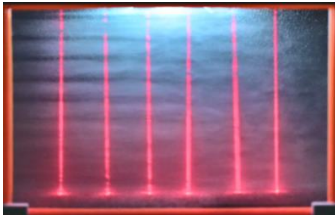

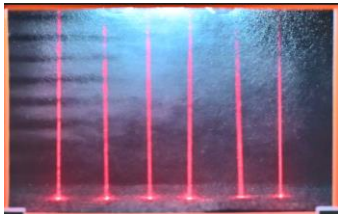
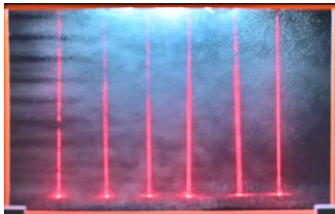

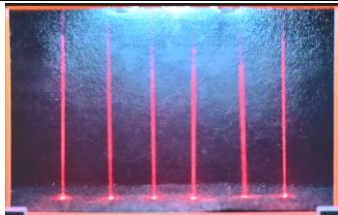
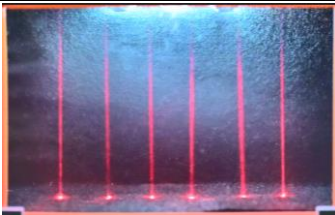

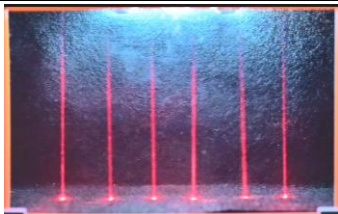
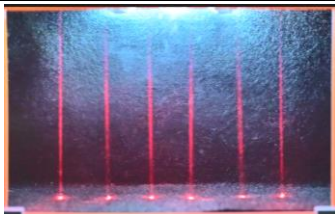

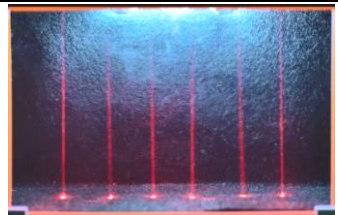
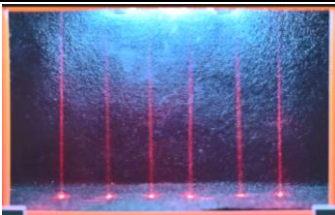
組別 \ 次數	第 1 次觀測影像截圖	第 2 次觀測影像截圖
對照組 無整流段(中空)		
標準組 孔徑 9mm 大小整流段		

※結果與討論：

- 1.發現沒有裝設整流段的對照組，水煙進入到測試段後，不會有層流的現象，只觀察到混亂的紊流；而有裝設整流段的標準組，水煙進入到測試段後，可以清晰看到有層流的現象出現。
- 2.裝設整流段可以使外在環境氣流進入到風洞的測試段時，氣流趨於穩定流動，如此才能符合風洞設備設置的目的，因此，本研究後續實驗將以裝設整流段進行實驗探究。

實驗(一)不同的風速大小對微型風洞氣流穩定性的影響

- 步驟：1.依風洞結構設計，使用孔徑 9mm 大小的整流段長度 5cm 組別，及收縮段延長長度 5cm，進行組裝，同時固定水煙管路及風扇裝置。
- 2.連接水煙、風扇、LED 燈、點狀雷射之電源，啟動位於測試段上方的 LED 燈及 6 個紅色點狀雷射，關上側面透明壓克力板，架設錄影設備拍攝觀測區並關閉環境光源。
- 3.調整控制開關成 0.5m/s 之風速，開啟水氧機，使產生水煙，同時啟動風扇抽風；以高速錄影 20 秒及現場觀察輔助，重複進行實驗記錄 2 次。
- 4.依序改變不同風速大小，重複步驟 1-3，進行錄影觀測及記錄。

風速 \ 次數	第 1 次觀測影像截圖	第 2 次觀測影像截圖
0.5m/s 		
1m/s 		
1.5m/s 		
2m/s 		
2.5m/s 		
3m/s 		

※結果與討論：

- 1.在風速 0.5m/s 的條件下發現，當水煙經過整流段進入測試段後會有明顯層流產生，並且可持續至第 4-5 段雷射光點位置，但是到了第 3-4 段的雷射光點位置後，層流的現象會變模糊而且會變形，可能是因為風力不足導致。
- 2.在風速 1m/s 的條件下發現，當水煙經過整流段進入測試段後有明顯的層流產生，並且持續至第 3-4 段雷射光點的位置。在風速 1.5m/s 的條件下發現，雖然進入測試段後有明顯的

層流產生，但層流僅持續至第 1-2 段的雷射光位置。

3.發現當風速大於 2m/s 的組別，測試段幾乎無明顯層流產生，隨著風速增加，流入測試段的水煙雖然仍存在煙量，且可清楚看到紅色線條，但濃度不足使層流現象已經不明顯。

4.經過實驗發現風速越高的條件下，水煙會快速被風扇抽出，使測試段內的煙量濃度不足，目視可見的煙量就越少，不易清楚看到層流的形成。

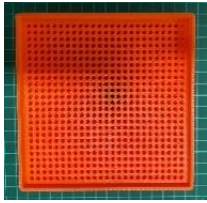
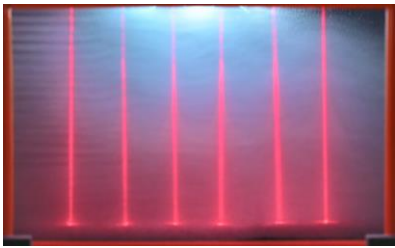
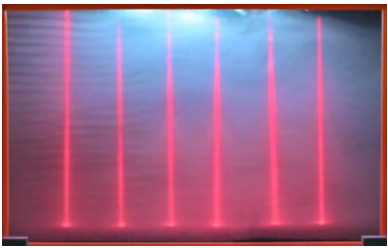
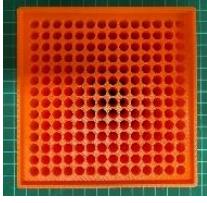
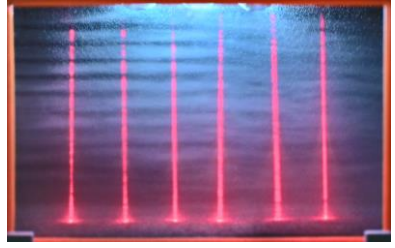
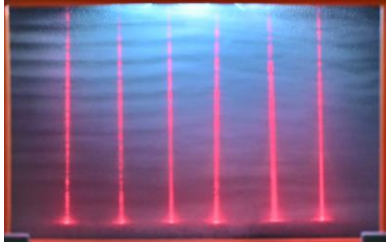
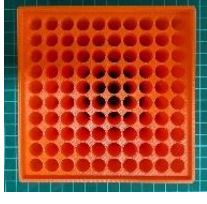
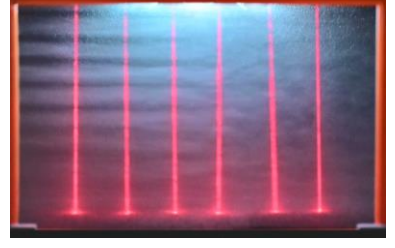
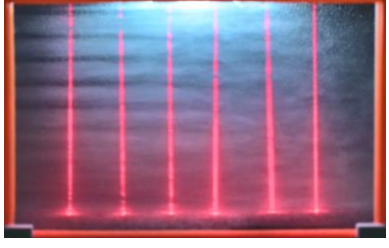
實驗(二)不同的整流段孔徑大小對微型風洞氣流穩定性的影響

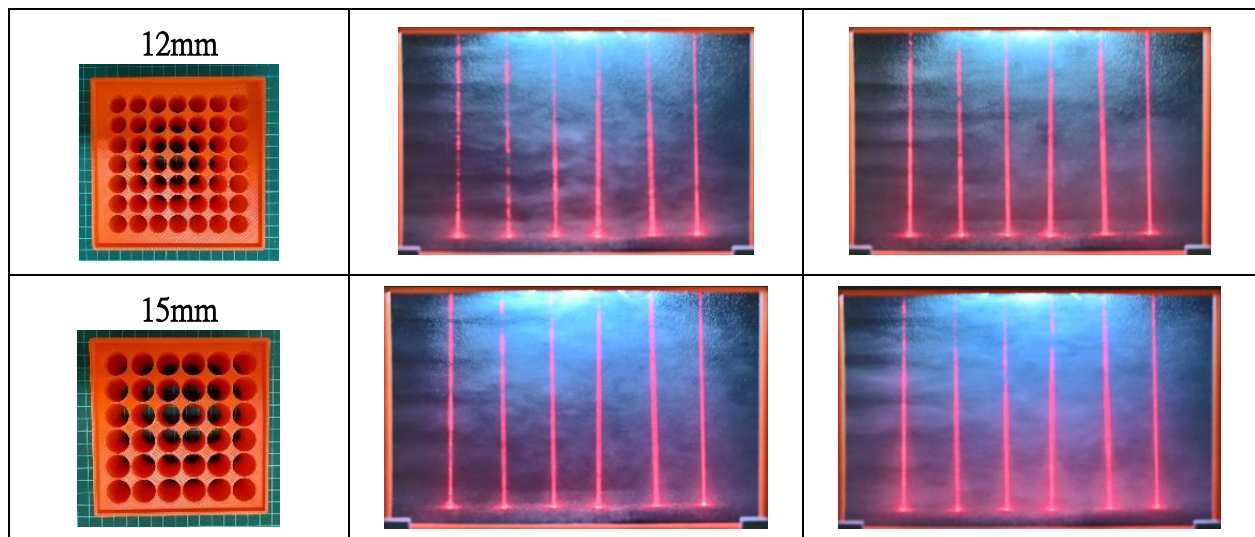
步驟：1.依風洞結構設計，使用孔徑 3mm 大小的整流段長度 5cm 組別，及收縮段延長長度 5cm，進行組裝，同時固定水煙管路及風扇裝置。

2.連接水煙、風扇、LED 燈、點狀雷射之電源，啟動位於測試段上方的 LED 燈及 6 個紅色點狀雷射，關上側面透明壓克力板，架設錄影設備拍攝觀測區並關閉環境光源。

3.調整控制開關成 1m/s 之風速，開啟水氧機，使產生水煙，同時啟動風扇抽風；以高速錄影 20 秒及現場觀察輔助，重複進行實驗記錄 2 次。

4.依序改變不同孔徑大小之整流段，重複步驟 1-3，進行錄影觀測及記錄。

孔徑大小 \ 次數	次數	
	第 1 次觀測影像截圖	第 2 次觀測影像截圖
3mm 		
6mm 		
9mm 		

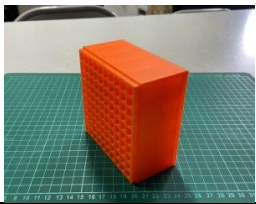

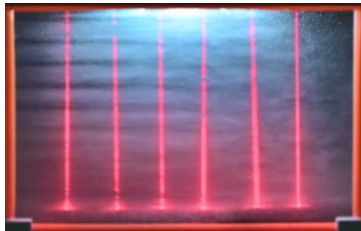

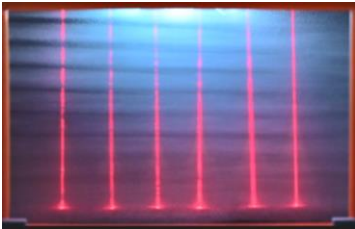
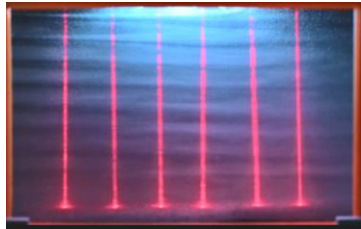
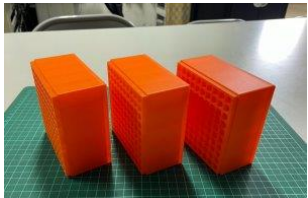
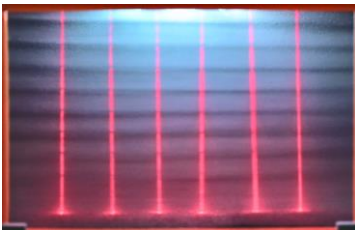
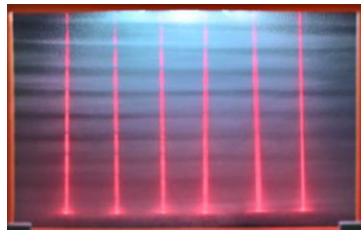
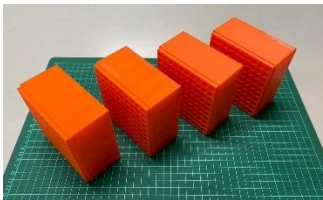
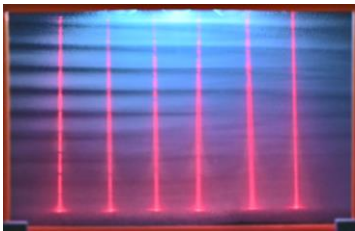
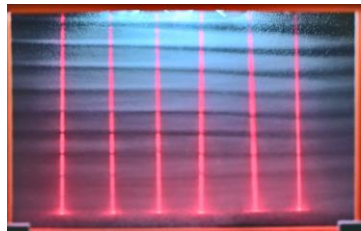
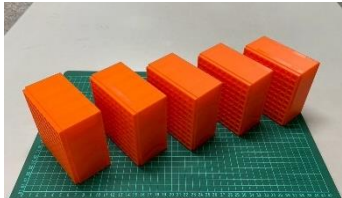
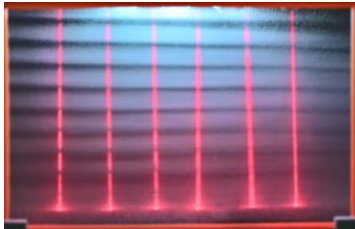
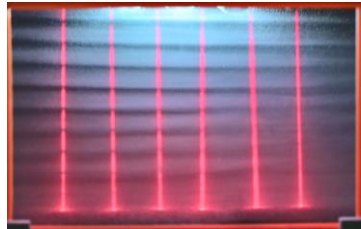
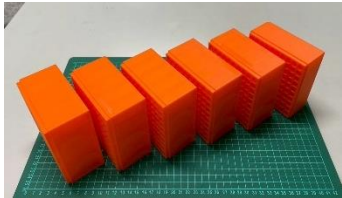
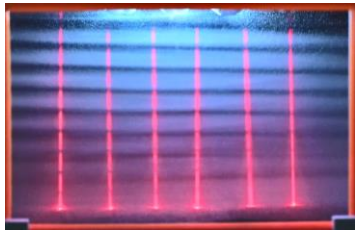
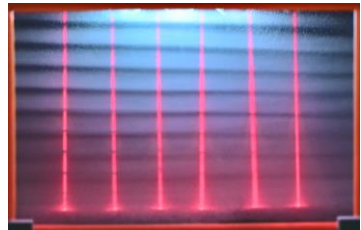


※結果與討論：

- 1.在整流段孔徑 3mm 大小的條件下，發現氣流在進入測試段會有明顯層流產生，但僅至第 2-3 段雷射光點位置，之後開始出現變形成波浪狀，原先之層流消散。
- 2.在孔徑 6mm 及 9mm 大小的條件下，氣流在進入測試段會有明顯層流產生，而且層流持續至第 3-4 段的雷射光點位置，相較於 3mm 有更明顯穩定的層流出現；其中 6mm 組別會有變形及模糊情形，而以 9mm 組別層流的清晰度較佳。
- 3.在孔徑 12mm 及 15mm 大小的組別中發現，氣流雖然進入測試段後會有層流產生，但僅至第 1-2 段的雷射光點位置，後續水煙擴散開來，就無明顯層流。
- 4.從本實驗中發現整流段的孔徑過大或過小都沒有較穩定氣流的特性，推測可能是孔徑過小時氣流經過整流後，水煙流速或流量改變使層流效果不明顯；而孔徑過大導致整流的效果不佳，氣流快速消散，使層流不明顯。

實驗(三)不同的整流段長度對微型風洞氣流穩定性的影響

- 步驟：1.依風洞結構設計，使用孔徑 9mm 大小的整流段長度 5cm 組別，及收縮段延長長度 5cm，進行組裝，同時固定水煙管路及風扇裝置。
- 2.連接水煙、風扇、LED 燈、點狀雷射之電源，啟動位於測試段上方的 LED 燈及 6 個紅色點狀雷射，關上側面透明壓克力板，架設錄影設備拍攝觀測區並關閉環境光源。
- 3.調整控制開關成 1m/s 之風速，開啟水氧機，使產生水煙，同時啟動風扇抽風；以高速錄影 20 秒及現場觀察輔助，重複進行實驗記錄 2 次。
- 4.依序改變整流段長度，重複步驟 1-3，進行錄影觀測及記錄。

次數 整流段長度	第 1 次觀測影像截圖	第 2 次觀測影像截圖
5cm 		
10cm 		
15cm 		
20cm 		
25cm 		
30cm 		

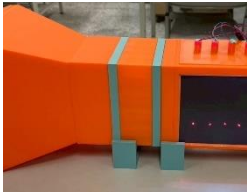
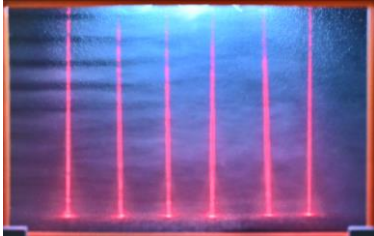
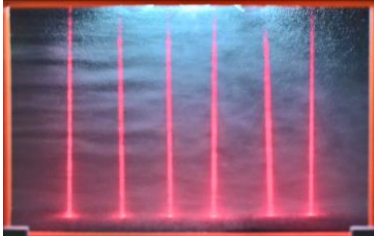


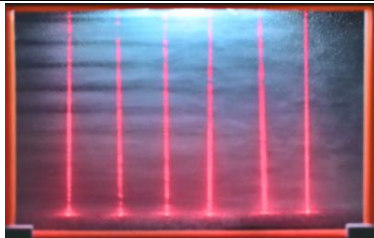

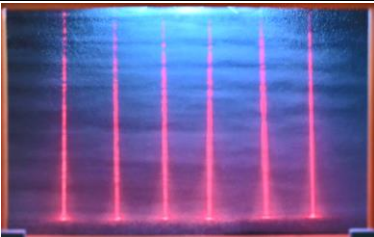
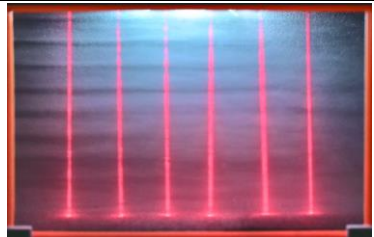

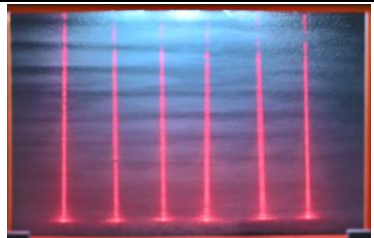
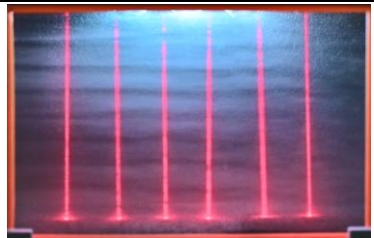
※結果與討論：

- 1.發現在整流長度 5cm 的條件下，進入測試段有明顯層流產生，層流持續至第 3-4 段的雷射光點位置；在整流長度 10cm 的條件下，層流相較於 5cm 組別更為明顯，會持續至第 5-6 段的雷射光點位置。

- 2.發現整流長度 15cm、20cm、25cm、30cm 的條件層流現象都很明顯，已超過第 6 段的雷射光點位置，之後都還有明顯層流出現。
- 3.經過這個實驗發現，整流段長度越長有較明顯穩定氣流的作用，推測可能是流體經過較長的整流時，會使流體進入測試段中更為穩定。

實驗(四)不同的收縮段延長長度對微型風洞氣流穩定性的影響

- 步驟：1.依風洞結構設計，使用孔徑 9mm 大小的整流段長度 5cm 組別，及收縮段延長長度 0cm，進行組裝，同時固定水煙管路及風扇裝置。
- 2.連接水煙、風扇、LED 燈、點狀雷射之電源，啟動位於測試段上方的 LED 燈及 6 個紅色點狀雷射，關上側面透明壓克力板，架設錄影設備拍攝觀測區並關閉環境光源。
- 3.調整控制開關成 1m/s 之風速，開啟水氧機，使產生水煙，同時啟動風扇抽風；以高速錄影 20 秒及現場觀察輔助，重複進行實驗記錄 2 次。
- 4.依序改變收縮段延長長度，重複步驟 1-3，進行錄影觀測及記錄。

次數 延長長度	次數	
	第 1 次觀測影像截圖	第 2 次觀測影像截圖
0cm 		
5cm 		
10cm 		
15cm 		

※結果與討論：

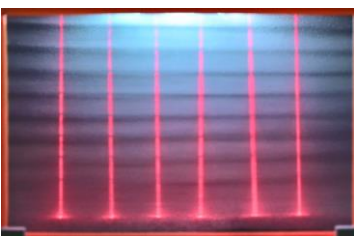
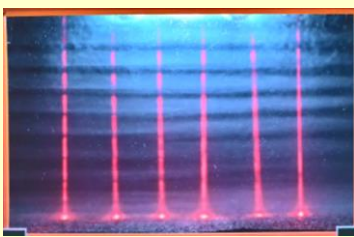
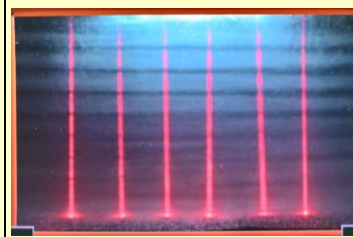
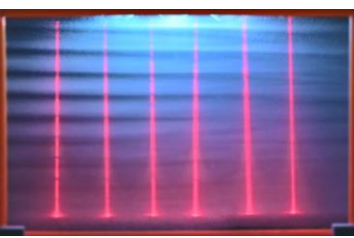
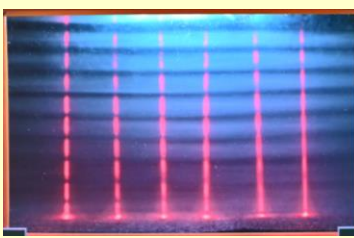
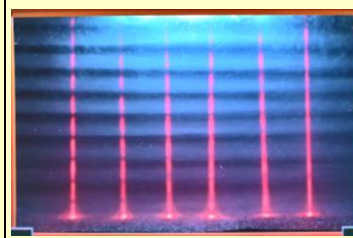
- 1.發現在沒有延長段(0cm 組別)的條件下，水煙進入測試段有層流產生，層流持續至第 2-3 段的雷射光點位置；收縮段延長長度 5cm 的條件下，進入測試段有明顯層流產生，層流持續至第 3-4 段的雷射光點位置。
- 2.在收縮段延長長度 10cm 及 15cm 的條件下，層流相較於 5cm 組別更為明顯，都會持續至第 5-6 段的雷射光點位置。
- 3.從這個實驗中發現收縮段延長長度增長，可以增加氣流的穩定性，使層流持續較久，所以推論適度延長收縮段長度對於氣流穩定性也有一定程度的影響。

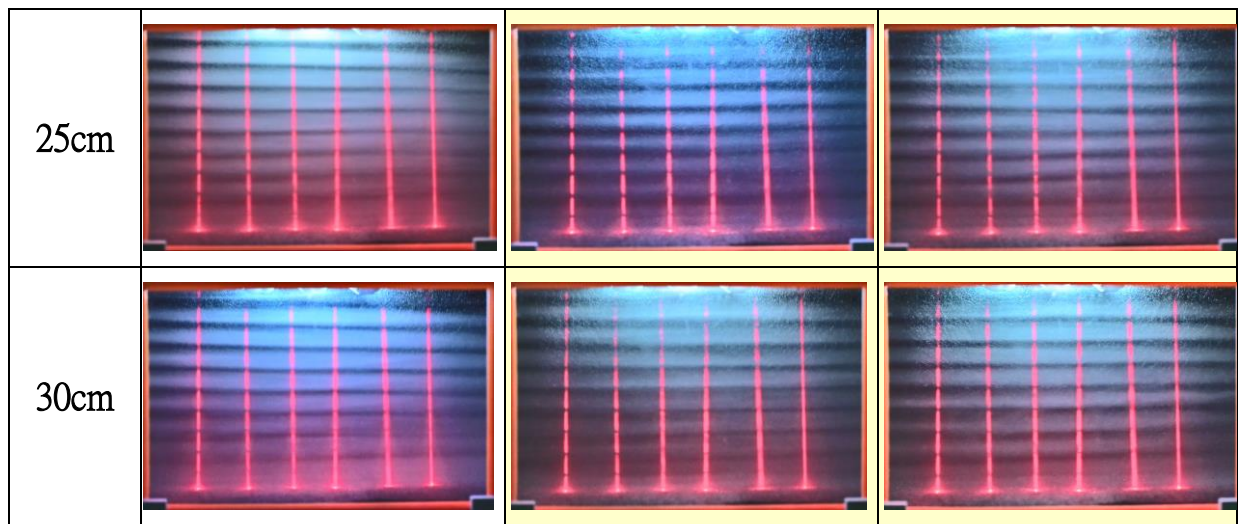
研究三、找出製作微型風洞的較佳條件

(一)經過研究二不同風速、整流段孔徑大小、整流段長度及收縮段延長長度對微型風洞氣流穩定性的影響探討後，我們發現有一些條件能使氣流在風洞內的穩定表現較佳，綜合上述各實驗結果中較佳的條件為：風速 1m/s、整流段孔徑 9mm、整流段長 15cm 以上、搭配收縮段延長長度 10cm 或 15cm。

(二)根據觀測結果討論後決議：

- 1.較佳組別基本條件：風速 1m/s、整流段孔徑 9mm；因收縮段延長長度 10cm 及 15cm 組別差異不大，所以選用收縮段延長長度 10cm 作為第 3 個條件。
- 2.與實驗(三)整流段長度 15cm、20cm、25cm、30cm 組別分別進行實測比較，記錄如下：

組別 整流 段長度	對照組 收縮段延長長度 5cm	實驗組 收縮段延長長度 10cm	
		第 1 次	第 2 次
15cm			
20cm			

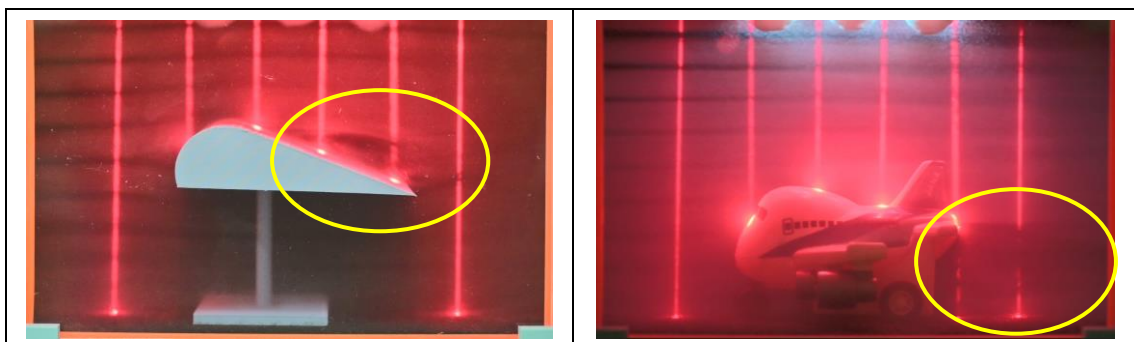


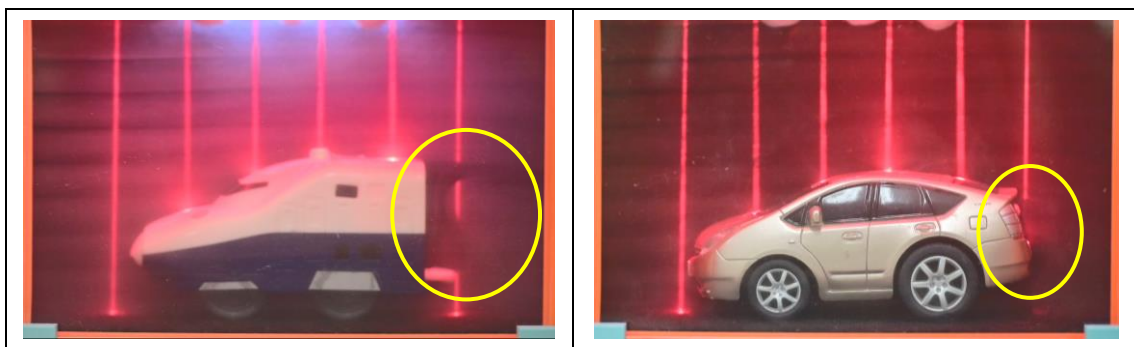
※結果與討論：

- 1.實驗觀測比較，發現收縮段延長長度 10cm 及整流段長度 15cm 以上的條件組合都可以明顯觀察到層流現象，而且氣流都可以穩定超過第 6 段雷射光點位置，顯示「較長的整流段長度」能使氣流較為穩定；其中以 20cm 組別清晰度佳又可較節省材料是我們認為較佳的條件。
- 2.實驗結果發現整流段長度 15cm 以上的組別層流都很清楚，但差異不大，推論是因為觀測區長度只有 20 公分，組合的條件已經可以使層流布滿觀測區，未來如果可以再加長觀測區，或許可以再進一步進行觀測異同。
- 3.根據實驗觀測及討論，歸納出使用孔徑 9mm 大小、長度 20cm 的整流段、組合收縮段延長 10cm 長度，搭配風速大小 1m/s，此條件為本研究所觀測到氣流在微型風洞中最穩定清晰的組合，適合做為自製微型風洞時的重要控制條件。

※進一步延伸觀測-實際應用於小物件的氣流觀測

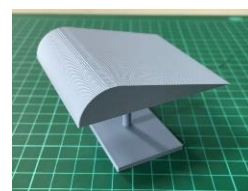
(一)我們利用自製機翼及飛機、火車、小汽車模型放到微型風洞中，實際應用觀測如下：





※觀測結果：可清楚觀察到模型的前端及周邊都有層流出現，模型的中後端開始會有不同程度的紊流出現，實際呈現出氣流流經物體後的流動狀態。

(二)為了更仔細觀測氣流經相同物件不同規格的流動情形，我們以「機翼模型」做為觀測物，設計3種相同長寬不同弧度(高度)之模型，觀測結果如下：



機翼模型規格 \ 次數	第 1 次觀測影像截圖	第 2 次觀測影像截圖

※觀測結果：在自製「微型風洞」中，氣流分別流經3種相同長寬而不同弧度(高度)之機翼模型，都可以清楚觀察到層流的出現，機翼的弧度(高度)較小的5mm組別，層流現象最為明顯，可以一直持續到尾端；另外也可觀察到機翼中後端有不同程度的紊流，機翼的弧度(高度)較高的15mm組別紊流現象最為明顯。

肆、討 論

- 一、研究二中發現，未裝設整流段的對照組及裝設整流段的標準組進行實驗觀測比較，明顯可見有裝設整流段的組別，水煙氣流進入測試段後會出現層流現象，因此，我們在後續實驗以裝設整流段進行各項變因實驗，才能達到本研究製作微型風洞穩定氣流的功效。
- 二、在實驗(一)不同風速大小實驗中，發現風速越大水煙氣流會快速被風扇抽出，使測試段內的煙量濃度不足，目視可見的煙量就越少，不易清楚看到層流的形成；而當風速較低時，層流現象在第 3-4 段紅色線條後，會變模糊而且會變形，可能是因為風力不足導致。
- 三、在實驗(二)不同整流段孔徑大小實驗中，發現整流段的孔徑過大或過小時，氣流呈現都較不穩定，推測可能是氣流經過小孔徑整流後，水煙流速或流量改變使層流效果不明顯；而孔徑過大導致整流效果不佳，水煙經整流段後就擴散開了，使層流不明顯。
- 四、在實驗(三)不同整流段長度實驗中，發現整流段長度越長有更明顯穩定氣流的作用，推測流體經過較長整流，進入測試段時能更為穩定，顯示整流段的長度條件是風洞結構中較重要的影響因素。
- 五、在實驗(四)不同收縮段延長長度實驗中，發現延長長度增加，可以增加氣流的穩定性，使層流持續較久，所以推論適度延長收縮段長度對於氣流穩定性也有一定程度的影響。
- 六、根據研究二的各個實驗發現，除了整流段長度越長可以使層流更明顯外，其他實驗皆沒有隨著長度、風速或孔徑增加而有層流更明顯或是不明顯的趨勢，推測層流產生的條件會受到風洞規格大小、流體流量等因素影響，因此，風洞組成的較佳條件也會依實驗場域大小而有所不同。
- 七、根據研究三的實驗比較，發現收縮段延長長度 10cm 及整流段長度 15cm 以上的條件組合都可以明顯觀察到層流現象，而且氣流都可以穩定超過第 6 段雷射光點位置，顯示「較長的整流段長度」能使氣流較為穩定；其中以整流段長度 20cm 組別清晰度較佳又可較節省材料，因此經討論認為是本研究中微型風洞組成的較佳條件。
- 八、利用研究自製的「微型風洞」，實測機翼及飛機、火車、小汽車模型，都可清楚觀察到物件前端及周邊都有清楚的層流出現，後端會有不同程度的紊流出現，很容易觀測到氣流流經物體後的情況。
- 九、本研究自製的「微型風洞」，目前主要運用於氣流流動情形的觀測，尚未應用於升力或風壓的實測，未來可以進一步再深入探討「微型風洞」運用在升力及風壓的觀測。

伍、結 論

- 一、從資料蒐集及文獻分析，了解風洞的構造主要分為收縮段、整流段、測試段及擴散段。操作時需藉由風扇導入環境氣流，氣流流經整流段時會使氣流更加穩定，才可以進一步針對要進行風洞測試的物體進行實驗。而透過實驗得知風洞的構造會隨著風速大小、整流段孔徑大小、整流段長度及收縮段延長長度等因素影響氣流的穩定性。
- 二、在自製的微型風洞結構中，在測試段左側測得的風速條件過小($\leq 0.5\text{m/s}$)及過大($\geq 1.5\text{m/s}$)時，都會導致測試段無明顯的層流現象，本研究中以風速 1m/s 為較佳的風洞組成條件。
- 三、研究發現：整流段的孔徑過大或過小都不利於氣流的整流，本研究以孔徑 6mm 及 9mm 的條件都有較明顯的層流出現，其中又以 9mm 組別的層流穩定性較佳。
- 四、研究發現：有整流段的組別，都會有層流的現象產生；整流段長度越長，層流持續的距離越長且越明顯，尤其在整流段長度為 15cm 以上時，層流都可以持續超過第 6 段雷射光點位置，是本研究中較佳的風洞組別；而收縮段延長長度以 10cm 組別為較佳。
- 五、根據研究三綜合比較，發現在收縮段延長長度 10cm 的條件下，雖然整流段長度 15cm 以上的組別層流現象都非常明顯，但其中以 20cm 組別清晰度較佳又可較節省材料，因此，本研究中微型風洞的組成，較佳的整流段長度是 20cm 組別。
- 六、本研究所觀測到氣流在自製微型風洞中層流明顯、穩定性較佳，適合做為微型風洞的重要控制條件如下：使用孔徑 9mm 大小、長度 20cm 的整流段，組合收縮段延長 10cm 長度，再搭配風速大小 1m/s 。
- 七、本研究自製的「微型風洞」，可以方便觀測小型物件(機翼及小汽車模型等)在風洞中受風後氣流流動的狀況，讓我們對於流體有更多的認識，是一項應用價值高的教具與學具。

陸、參考資料

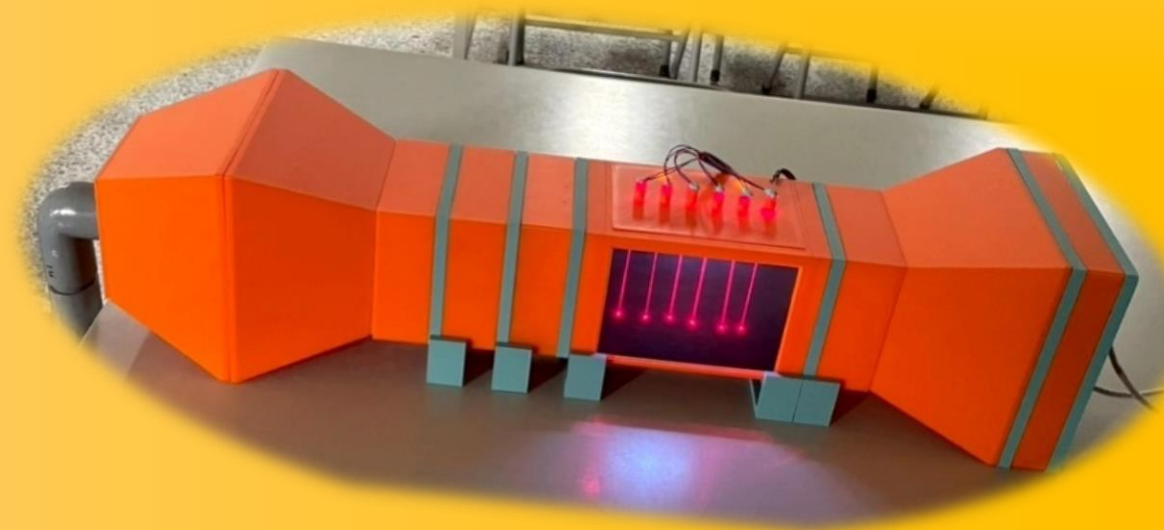
- 一、尹浚翰、李季勳、黃振宇、黃致豪(2008)。翹首振翼—再次得力。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/031610.pdf>
- 二、吳毓庭(2021 年 12 月 3 日)。能源教育資源總中心。【動手玩流力-原理】層流與紊流。<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&caid=9&id=280>
- 三、洪以捷、朱柏綦、韓以潔、蔡聿甯(2022)。人人善射-自製發射器探究影響飛鏢飛行的因素。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-080101.pdf>
- 四、風工程研究中心-風洞實驗介紹。<http://www.wind.tku.edu.tw/Support2.php>

- 五、風洞(2025 年 1 月 8 日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/風洞>
- 六、莊旻澄、吳承澤、柯卓希(2017)。「機」來運轉。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080101.pdf>
- 七、莊龍翔、周子言、林季妃(2019)。蓋世魔球---瓶蓋棒球初探。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-030104.pdf>
- 八、莊濟謙、張立欣、劉翊丞(2022)。魚你翼鰭飛—探討飛魚腹鰭對飛行穩定度的作用。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-051816.pdf>
- 九、許家維、陳顥之、黃楷評(2015)。「風」情萬種的模型跑車-模型跑車水平阻力與抬升阻力的探討。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/55/pdf/080121.pdf>
- 十、陳品文、邱健紘、宋品孝(2017)。斷尾球「生」~探討羽球羽毛對飛行的影響。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030123.pdf>
- 十一、陳頤、陳聖翔(2020)。翩翩起舞—旋翼球體在流體中旋轉、浮升、擺盪的現象研究。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-030112.pdf>
- 十二、葉思沂(2021 年 11 月 30 日)。能源教育資源總中心。【動手玩流力-原理】什麼是風洞。<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&caid=9&id=276>
- 十三、葉思沂(2021 年 11 月 30 日)。能源教育資源總中心。【動手玩流力-實驗】3D 列印做風洞。<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&caid=9&id=275>
- 十四、葉祥海、周華榮、朱佳仁、任森柯、陳朝陽、楊富傑(2004)。風洞實驗館係統整合測試暨風洞性能驗證研究(2)。內政部建築研究所協同研究報告。
<https://ws.moi.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9VcGxvYWQvT2xkRmlsZV9BYnJpX0dvdj9yZlNlYXJjaC82NTUvMTQ0NzkyOTgzMzEuZGRm&n=Y29tcGxldGUucGRm>
- 十五、層流(2024 年 11 月 28 日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/層流>
- 十六、湍流(2024 年 12 月 17 日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/湍流>
- 十七、蔡旻岑、陳嘉馨(2018)。流動「生」力—平面溝紋對氣流升力及渦流形成探討。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030116.pdf>
- 十八、蕭舜鴻、吳冠賢、林坤霏(2007)。談紙神功-紙飛機的滑翔研究。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/high/031616.pdf>

【評語】 080107

本研究的實驗採用了開放式風洞的設計，並針對風速大小、整流段孔徑大小、整流段長度及收縮段延長長度等變因進行探討。雖然風洞是常見的科展作品題目，但用層流可明顯達到第幾段紅色雷射線段區域來當作判斷氣流穩定的標準，這種可視化的評估方式，是本研究中一個重要的核心亮點。雖然定量分析略顯不足，但作為概念教具的原型已具有可參考的價值，值得肯定。

作品海報



風的整形大師～



探討不同條件對微型風洞氣流穩定性的影響

壹、前言

一、研究動機

近日聽老師提起風洞一詞，才知道原來生活中有許多東西都需要風洞的實驗來創造它的優秀價值，路上的車子、天上的飛機、建築物及橋梁等，都需要經過風洞的實驗分析，才能進一步生產；但經過資料查詢，才得知一般的風洞都很巨大而且昂貴，我們很難見識到。於是，激起了我們的好奇心，想要探討適用於中小學可觀測的微型風洞，讓我們親身見識風洞的奧妙，於是就和幾位同學一起進行這個研究。

二、研究目的

- (一) 探討什麼是風洞。
- (二) 探討不同條件對微型風洞氣流穩定性的影響。
- (三) 找出製作微型風洞的較佳條件。

三、文獻回顧

根據文獻資料的統整分析，我們發現過去有關風洞的相關研究大都是利用自製「風洞設備」，來輔助實驗進行變因的探討，包括對飛鏢、紙飛機、旋翼球體、羽球、機翼、跑車等探討，觀測物體在氣流中的升力或阻力狀況；為了使實驗可以提供穩定的氣流，研究者都會自製「風洞設備」，但較少針對風洞本身的條件改變進行探討。

另外，「層流」是指流體在流場中以非常緩慢的速度流動時所產生的現象；當流速很小時，流體會分層流動，互不混合或很少部分混合，流體的流線彼此互相平行稱為「層流」。

貳、研究設備及器材

自製風洞裝置(約75cm×20cm×20cm)、自製整流器、風扇、控制開關、水氧機、3D列印機(最大18cm×18cm)、PLA線材、LED燈、點狀雷射(紅色，3-5V，5mw)、風速計、碼錶、電子游標尺、相機。

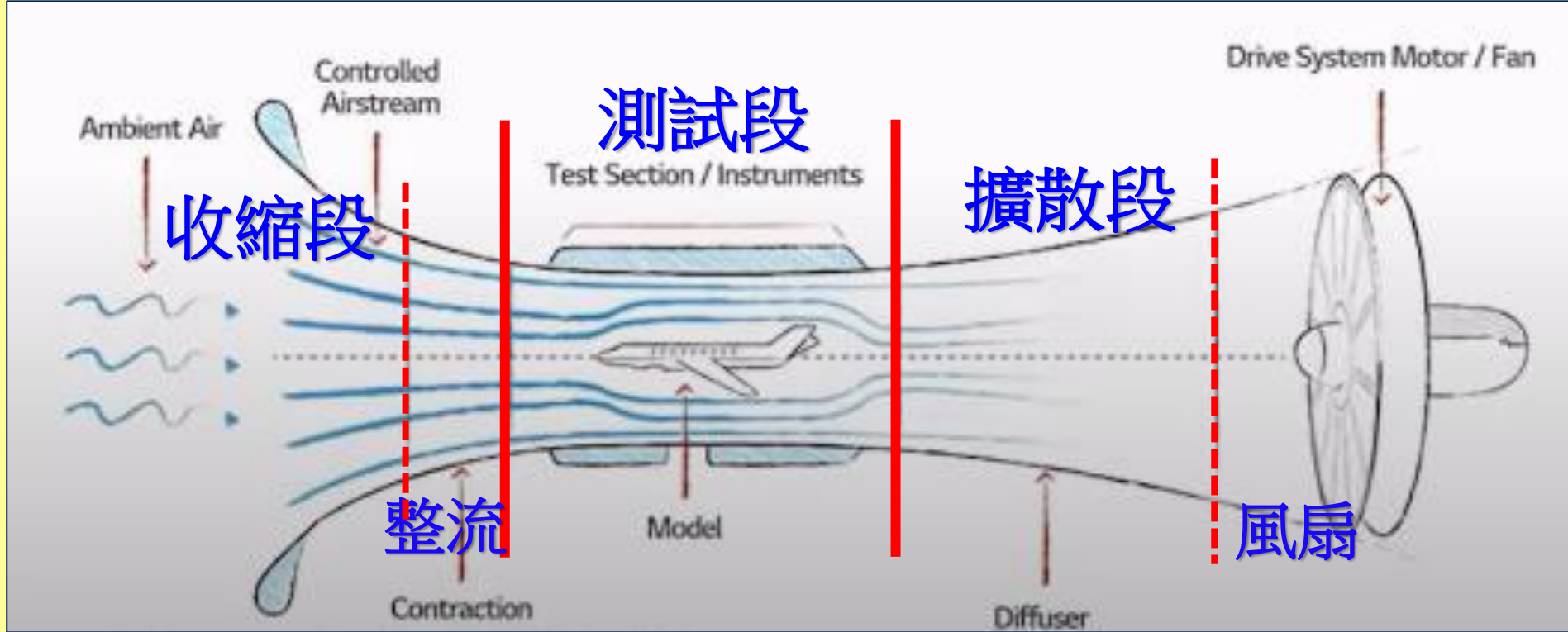
參、研究過程或方法

研究一、探討什麼是風洞

在我們的生活環境中，空氣無所不在，氣流也隨時影響著我們的生活，如果能透過具體的流體觀察將有助於我們對於流體的認識。

從蒐集的資料中了解到：風洞設備因不同目的及效能分成許多種類；主要的結構組成大致可分成收縮段、測試段及擴散段；風洞的用途應用非常廣，包括交通運輸、航太軍事、建築結構及運動休閒等，對於生活中的應用非常重要。但是，實驗室的風洞設備通常體積龐大、造價高昂，不是我們一般研究者容易親近觀察的。

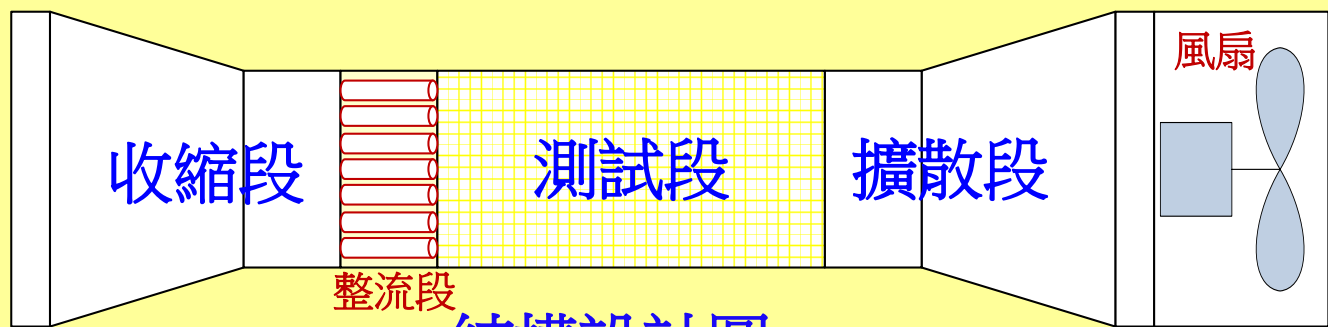
因此，本研究擬針對適用於中小學學習的「微型風洞」設計探討，透過3D列印自行製作不同的結構組成條件，來進行探討不同變因對氣流穩定性的影響；除了透過設計觀察氣流的存在外，也希望找出適用於微型風洞中使氣流更穩定的條件，做為相關應用時可提供參考之依據，成為我們理想中的「微型風洞設備」。



本圖片修改自【作品說明書之參考文獻十二-什麼是風洞】之影片截圖

研究二、探討不同條件對微型風洞氣流穩定性的影響

(一) 風洞結構設計及配置



結構設計圖

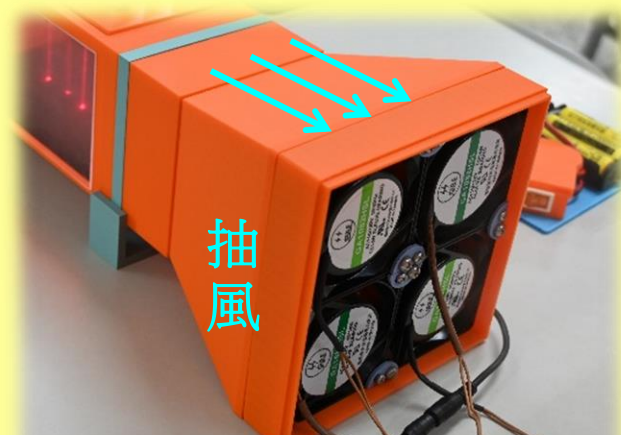


實體組裝圖(標準組)

(二) 風扇及水煙裝置



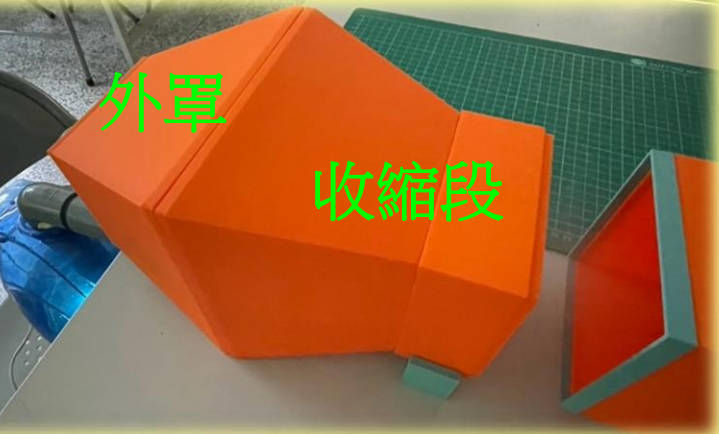
固定4個8cm×8cm風扇



風扇組實際安裝於風洞結構中



水氧機-製造水煙

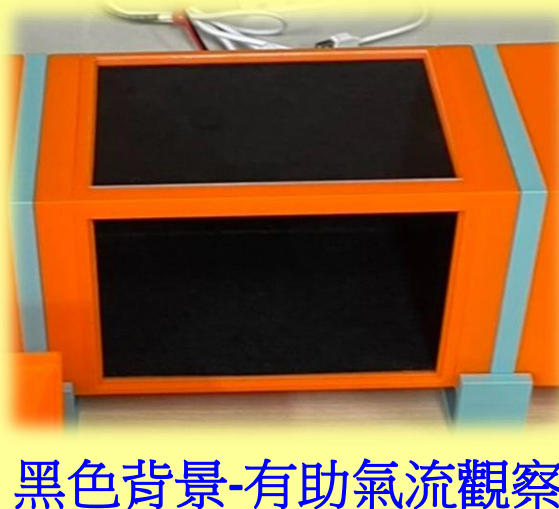
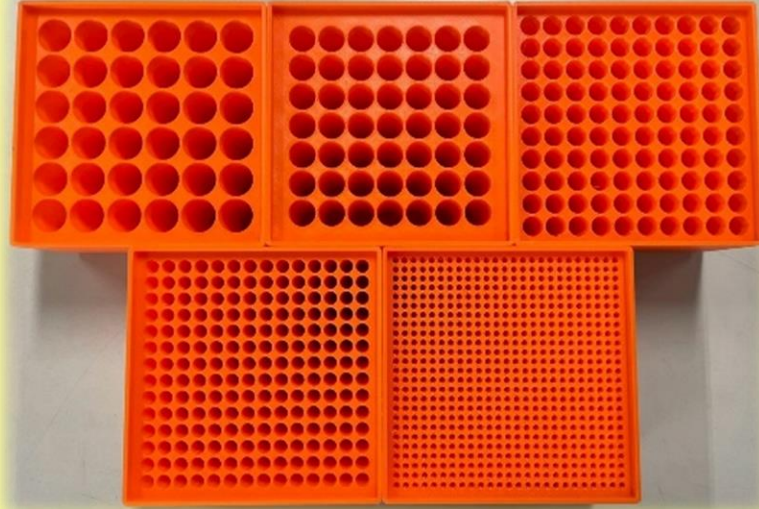


自製外罩-導引水煙進入收縮段

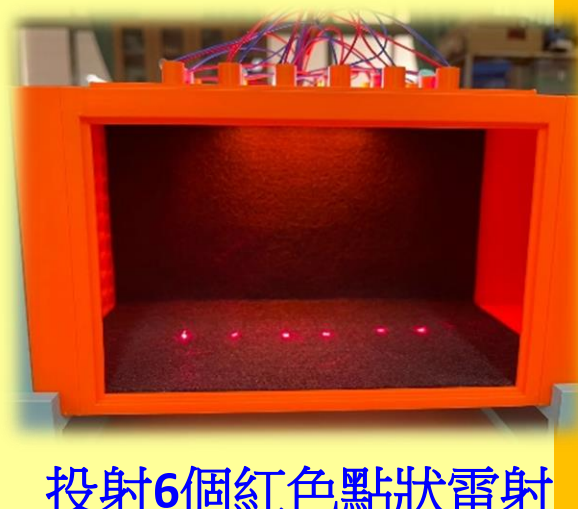
(三) 整流段及實驗觀測記錄

孔徑大小	3mm	6mm	9mm	12mm	15mm
孔洞數	625	196	100	49	36
圓孔總面積(cm ²)	44.16	55.39	63.59	55.39	63.59

整流段不同孔徑大小及孔洞數



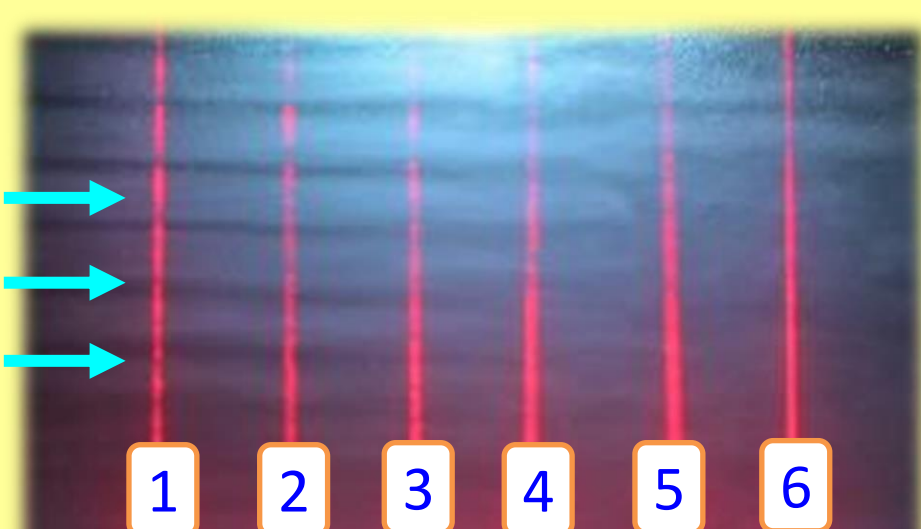
黑色背景-有助氣流觀察



投射6個紅色點狀雷射



氣流經過地方會呈現紅色「線狀」



清楚呈現氣流流動-層流現象



錄影觀測

(四) 對照組與標準組觀測

次數 組別	第一次觀測	第二次觀測
對照組 無整流段 (中空)		
標準組 孔徑9mm 大小整流 段		

※結果：

發現沒有裝設整流段的對照組，水煙進入測試段後，不會有層流現象，只觀察到混亂的紊流；而裝設整流段的標準組，水煙進入測試段後，就可以清晰看到有層流的現象。

實驗(一) 不同的風速大小對微型風洞氣流穩定性的影響

風速 \ 次數	第一次觀測 影像截圖	第二次觀測 影像截圖
0.5m/s		
1m/s		
1.5m/s		
2m/s		
2.5m/s		
3m/s		

※結果與討論：

發現在風速 1m/s 的條件下，水煙經過整流段進入測試段後有明顯的層流產生，並且可以持續一段距離。也發現風速過高時，水煙會快速被抽出，導致濃度不足，不易看到層流現象；風速過低時，層流會變模糊。

實驗(三) 不同的整流段長度對微型風洞氣流穩定性的影響

長度 \ 次數	第一次觀測 影像截圖	第二次觀測 影像截圖
5cm		
10cm		
15cm		
20cm		
25cm		
30cm		

※結果與討論：

發現整流段越長，氣流的穩定性越好，層流現象也越明顯且持續距離更長。整流段長度15cm以上的組別，層流現象都較為明顯，也可以持續到較遠的位置。

研究三、找出製作微型風洞的較佳條件

- 綜合上述各實驗結果中較佳的條件，經討論決議進行交互實測：
- 較佳組別條件：風速1m/s、整流段孔徑9mm；因收縮段延長長度10cm及15cm組別差異不大，所以選用10cm作為第3個條件。
 - 結合上述3個條件，分別與實驗(三) 整流段長度15cm、20cm、25cm、30cm的較佳組別，進行實測比較。

※結果與討論：

- 發現整流段長度15cm以上的條件組合都可以明顯觀察到層流現象，而且氣流都可以穩定超過第6段雷射光點位置；其中以20cm組別清晰度較佳又可節省材料是我們認為較佳的條件。
- 經討論後歸納出本研究所觀測到氣流在微型風洞中最穩定而清晰的組合：使用孔徑9mm大小、長度20cm的整流段、組合收縮段延長長度10cm，搭配風速大小1m/s，是做為自製微型風洞時的重要控制條件。

實驗(二) 不同的整流段孔徑大小對微型風洞氣流穩定性的影響

孔徑大小 \ 次數	第一次觀測 影像截圖	第二次觀測 影像截圖
3mm		
6mm		
9mm		
12mm		
15mm		

※結果與討論：

發現孔徑過大或過小都不利於層流的產生。當孔徑為 6mm 及 9mm 時，都可以觀察到較明顯的層流，其中又以 9mm 組別的層流清晰度較佳。我們推測，流速過慢可能導致小孔徑層流不明顯，而大孔徑則整流效果不佳，也使層流不明顯。

實驗(四) 不同的收縮段延長長度對微型風洞氣流穩定性的影響

長度 \ 次數	第一次觀測 影像截圖	第二次觀測 影像截圖
0cm		
5cm		
10cm		
15cm		

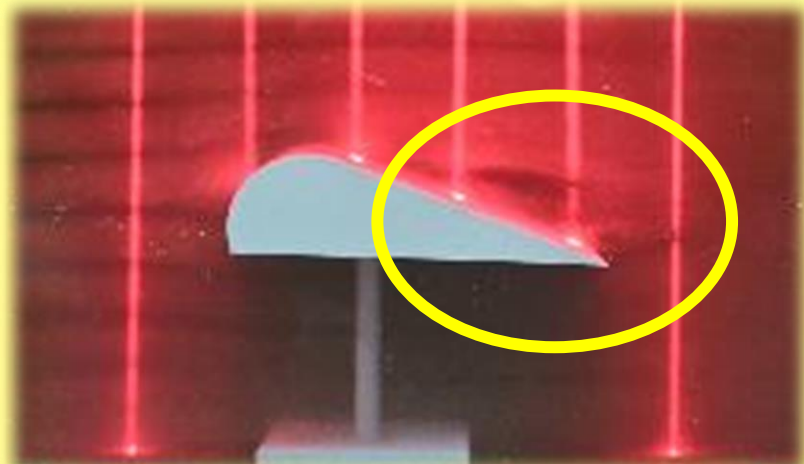
※結果與討論：

發現在收縮段沒有延長時，層流會較快消失；而收縮段延長長度增長，可以增加氣流的穩定性，使層流持續較久，以長度10cm及15cm的條件層流較明顯，氣流穩定性較佳。

組別 \ 整流段長度	對照組 收縮段延長 長度5cm	實驗組 收縮段延長長度10cm	
		第 1 次	第 2 次
15cm			
20cm			
25cm			
30cm			

※進一步延伸觀測：實際應用於小物件的氣流觀測

(一) 利用自製機翼及飛機、火車、小汽車模型放到微型風洞中，實際觀測如下圖所示：



自製機翼模型實測



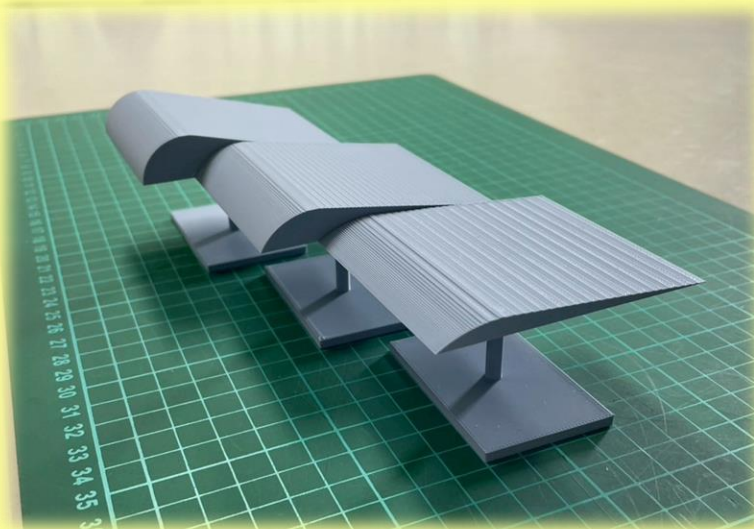
飛機模型置入測試段中



火車頭-可見層流與紊流



小汽車模型-層流與紊流



相同長寬不同弧度(高度)之自製機翼模型

※結果：可清楚觀察模型前端及周邊都有層流出現，中後端開始會有不同程度的紊流，實際呈現出氣流流經物體後的流動狀態。

(二) 以「機翼模型」做為觀測物，設計3種相同長寬不同弧度(高度)之模型，觀測結果如右圖表所示：

※結果：發現都可以清楚觀察到層流出現，機翼弧度(高度)較小的5mm組別，層流現象最為明顯，可以一直持續到尾端；也可觀察到機翼中後端有不同程度的紊流，機翼的弧度(高度)較高的15mm組別紊流現象較為明顯。

次數 機翼模型規格	第一次觀測 影像截圖	第二次觀測 影像截圖

肆、討論(部份略)

- 一、根據研究二的各實驗發現，除了整流段長度越長可以使層流更明顯外，其他實驗皆沒有隨著長度、風速或孔徑增加而有層流更明顯或是不明顯的趨勢，推測層流產生的條件會受到風洞規格大小、流體流量等因素影響，因此，風洞組成的較佳條件也會依實驗場域大小而有所不同。
- 二、根據研究三實驗比較，發現收縮段延長長度10cm及整流段長度15cm以上的條件組合都可明顯觀察到層流現象，而且氣流都可穩定超過第6段雷射光點位置，顯示「較長的整流段長度」能使氣流較為穩定；其中以整流段長度20cm組別清晰度較佳又可較節省材料。
- 三、利用研究自製的「微型風洞」，實測機翼及飛機、火車、小汽車模型，都可清楚觀察到物件前端及周邊都有清楚的層流出現，後端會有不同程度的紊流出現，很容易觀測到氣流流經物體時的情況。
- 四、本研究自製的「微型風洞」，目前主要運用於氣流流動情形的觀測，尚未應用於升力或風壓的實測，未來可以進一步再深入探討「微型風洞」運用在升力及風壓的觀測。

伍、結論

- 一、從資料蒐集及文獻分析，了解風洞的構造主要分為收縮段、整流段、測試段及擴散段。操作時需藉由風扇導入環境氣流，氣流流經整流段時會使氣流更加穩定，才可以進一步針對要進行風洞測試的物體進行實驗。而透過實驗得知風洞的構造會隨著風速大小、整流段孔徑大小、整流段長度及收縮段延長長度等因素影響氣流的穩定性。
- 二、在自製的微型風洞結構中，在測試段左側測得的風速條件過小($\leq 0.5\text{m/s}$)及過大($\geq 1.5\text{m/s}$)時，都會導致測試段無明顯的層流現象，本研究中以風速1m/s為較佳的風洞組成條件。
- 三、研究發現：整流段的孔徑過大或過小都不利於氣流的整流，本研究以孔徑6mm及9mm的條件都有較明顯的層流出現，其中又以9mm組別的層流穩定性較佳。
- 四、研究發現：有整流段的組別，都會有層流的現象產生；整流段長度越長，層流持續的距離越長且越明顯，尤其在整流段長度為15cm以上時，層流都可以持續超過第6段雷射光點位置，是本研究中較佳的風洞組別；而收縮段延長長度以10cm組別為較佳。
- 五、根據研究三綜合比較，發現在收縮段延長長度10cm的條件下，整流段長度15cm以上的組別層流現象都非常明顯，其中以20cm組別清晰度較佳又可較節省材料，因此，本研究中微型風洞的組成，較佳的整流段長度是20cm組別。
- 六、本研究所觀測到氣流在自製微型風洞中層流明顯、穩定性較佳，適合做為微型風洞的重要控制條件如下：使用孔徑9mm大小、長度20cm的整流段，組合收縮段延長10cm長度，再搭配風速大小1m/s。
- 七、本研究自製的「微型風洞」，可以方便觀測小型物件(機翼及小汽車模型等)在風洞中受風後氣流流動的狀況，讓我們對於流體有更多的認識，是一項應用價值高的教具與學具。

陸、參考資料(部份略)

一、吳毓庭(2021年12月3日)。能源教育資源總中心。【動手玩流力-原理】層流與紊流。
<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&caid=9&id=280>

二、風工程研究中心-風洞實驗介紹。<http://www.wind.tku.edu.tw/Support2.php>

三、風洞(2025年1月8日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/風洞>

四、葉思沂(2021年11月30日)。能源教育資源總中心。【動手玩流力-原理】什麼是風洞。
<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&caid=9&id=276>

五、葉思沂(2021年11月30日)。能源教育資源總中心。【動手玩流力-實驗】3D列印做風洞。
<https://learnenergy.tw/index.php?inter=digital&caid=9&id=275>

六、葉祥海、周華榮、朱佳仁、任森柯、陳朝陽、楊富傑(2004)。風洞實驗館係統整合測試暨風洞性能驗證研究(2)。內政部建築研究所協同研究報告。
<https://ws.moi.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9VcGxvYWQvT2tkRmlsZV9BYnJpX0dvdi9yZXNlYXJjaC82NTUvMT00NzkyOTgzMzEucGRm&n=Y29tcGxldGUucGRm>

七、層流(2024年11月28日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/層流>

八、湍流(2024年12月17日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/湍流>