

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第二名

080102

「破風而行」－風阻的探討

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳韋廷	黃柏鴻
小六 蔡怡雯	蔡承璋
小六 黃麗軒	
小六 傅珮慈	
小六 陳青渝	

關鍵詞：風洞、風阻、自行車競賽

一、摘要

我們想要探討物體形狀及排列狀態對於風阻的影響，並對照自行車隊運用策略，從中尋找蘊含原理。我們發現：(一)物體前側角度愈大，風阻也愈大。(二)物體後方形狀愈平緩，易出現真空區，四周氣流隨著改變，阻力大增。(三)列車車頭形狀愈具流線形，空氣流動愈流暢。(四)車殼上錐狀孔洞及通風孔，具備降低風阻的效果。(五)列車高速前進時，風阻差異將擴大，若車頭形狀設計不佳，會產生擾動氣流造成危險。(六)物體正前方若有另一物體接近時，中間的氣流方向是紊亂的，後方物體面對的風速將減弱。(七)自行車選手前方隊形能有效降低風阻，但車隊需視情況調整策略。我們藉由這些結果了解交通工具的風阻處理方法及運動時降低風阻有利策略。

二、研究動機

曾經有一次我在電影院看到了「破風」這部電影，發現了他們在不同路況使用的策略也不相同，讓我覺得這些策略背後好像有隱藏著甚麼科學原理，隔天去學校後，我好奇地問老師：「為什麼騎在最前面的隊員會不斷的替換呢？」，他告訴我：「因為在前面受的風阻力最大，所以騎在最前面的隊員會騎得比較辛苦，當然要適時替換。」我再問老師：「除了腳踏車，還有什麼物品會受風影響呢」，老師回答：「用講的不如動手做，我們就做這個主題，可以參加比賽，又可以讓你知道其中的奧秘，可說是一舉兩得喔！」在老師的建議之下，我和幾位同學組成了科展團隊，一頭栽進了這充滿奧秘的科學世界裡。



我們製作的自行車手模型



電影「破風」劇照

來源：<http://www.rpeople.com.tw/archives/2670>

三、文獻探討

在本研究的探討過程中，涉及一些物理相關的概念，為了能更正確的針對實驗結果進行討論，我們需先進行相關概念的探討，包含了風阻、公路自行車賽策略及風洞三個主題，以下分段敘述。

(一) 風阻

風阻的定義就是物體行駛時來自空氣的阻力，其來源有三種，首先是氣流撞擊車輛正面所產生的阻力，所以當物體的迎風正面與風向的角度愈接近垂直時，風阻就愈大；其次是摩擦阻力，以一般車輛行駛的最快速度



來源：
http://news.bitauto.com/YiCheApp_News/20150215/1706609454.html



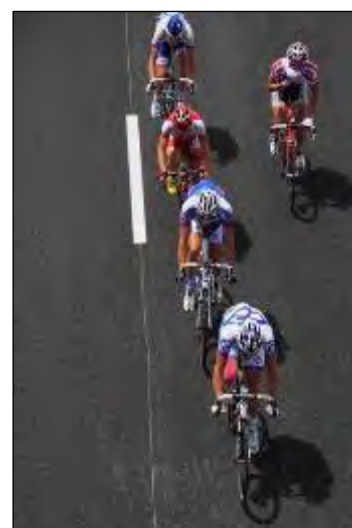
來源：
<http://wei.bikehome.cn/bike/194421.html>

來說，摩擦阻力非常小，可以忽略；最後，還有外型阻力，車輛高速行駛時，外型阻力是主要的空氣阻力來源，外型造成的阻力來自車後方的真空區，真空區越大，阻力也越大，如右圖。

在一些競速的運動項目中，克服風阻是相當重要的事，例如一般自行車選手會盡量壓低自己的身體，領騎的選手空氣阻力可減少 55%，但在其後的選手可以較正姿騎乘減少 86%的阻力，等於只要花原先 1/7 的力量就可以克服空氣阻力。

(二) 公路自行車賽策略

公路自行車賽是一項以團隊為基礎的自行車競賽，每個車隊的成員通常具有擔任領騎，或者為領騎服務，例如協助取水或食物。公路單車賽中，選手們在巡航時往往彼此貼得很近，形成一個主車團，以期利用前面的選手形成的彈弓效應，車隊們常常通過領騎來控制車團的速度。其中包含的戰術重點有三項，(1)節省體力：公路賽中最重要的是選擇最節省體力的騎行條件，用力過猛和長時間的領先都是不利的，因為落在後面的選手將獲得節省體力的機會。(2)擺脫，是一個可以快速殺出重圍的有效方法，其實，更有效的擺脫技術是利用複雜地形和利用嫻熟的技术進行高速騎行或突然加速來擺脫對手。(3)團隊戰術方法，是以個別隊員的高速搶先來打亂對手車隊的隊型，破壞對方的戰術，比如側風時，集體在公路下風方一側騎行，這樣對手就無法利用尾流；或者尾隨在對手後面，迫使對手們猛衝，從而消耗其體力，真正準備猛衝的隊員們再集體擺脫和超越。



來源：<https://www.mr-sport.com.tw/columnist-area/cyclingtime/riding-with-wind.html>

(三) 風洞

風洞是一種可產生人造氣流的通道，運用在汽車、飛行器、高速列車、建築物、船艦的空氣阻力、耐力與抗壓試驗等。

1871年，弗朗西斯·赫伯特·韋納姆和約翰·布朗寧設計了世界上第一座風洞，後來1902年萊特兄弟以風洞測試來建造第三架滑翔機，而最終在1903年完成了世界上第一架帶有動力的載人飛行器——萊特飛行器。

風洞具備了以下的優點，(1)能比較準確地控制實驗條件，(2)實驗在室內進行，受氣候條件和時間的影響小，(3)比較安全，而且效率高、成本低。因此，風洞實驗在空氣動力學的研究、各種飛行器的研製方面被廣泛的應用。



來源：

<http://www.voltex.ne.jp/blog/?p=4696>

四、研究目的

依據文獻探討之內容，我們可以大致獲得風阻的相關知識，並形成我們想要探討的問題，接著我們將本研究的目的分為四個主要項目，共計十項子實驗，條列如下：

項目一：探討不同的物體形狀對風阻的影響。

實驗1 不同的物品前側尖端角度對風阻的影響。

實驗2 不同的物品前側尖端形狀對風阻的影響。

實驗3 不同的物品後側尾端角度對風阻的影響。

實驗4 不同列車車頭形狀對風阻的影響。

實驗5 特製導流平面對風阻的影響。

實驗6 特製導流平面凹洞角度對風阻的影響。

項目二：探討不同的風的狀態對風阻的影響。

實驗7 不同的風的強度對風阻的影響。

項目三：探討不同的排列方式對風阻的影響。

實驗8 不同的排列水平間距對風阻的影響。

實驗9 不同的排列前後間距對風阻的影響。

項目四：探討自行車隊形對風阻的影響。

實驗10 不同的自行車隊形對風阻的影響。

五、研究設備及器材

表 5-1 實驗設備所需工具及材料

風洞	工具	裁紙刀、剪刀、圓盤鋸、熱熔膠槍、膠帶
	材料	木板、鍍鉻鐵架、抽風機、吸管、熱熔膠條、透明塑膠帆布、鐵絲網
自行車及車手	工具	電腦、尖嘴鉗、電子秤、3D 列印機
	材料	3D 列印線材(ABS)、輕質土、鐵絲
幾何模型及列車車頭	工具	電腦、保麗龍切割器
	材料	ABS 線材、保麗龍、保麗龍膠

表 5-2 實驗器材所需工具及材料

拍攝紀錄	單眼相機(Nikon D7000)
影像剪裁	電腦、Photoimpact12 軟體
測量風阻	電子秤、三角架、密集板、鑽孔器
風速控制	調燈器
產生煙霧	煙霧產生器、氣球支架、海灘球

六、研究過程及方法

(一) 研究流程

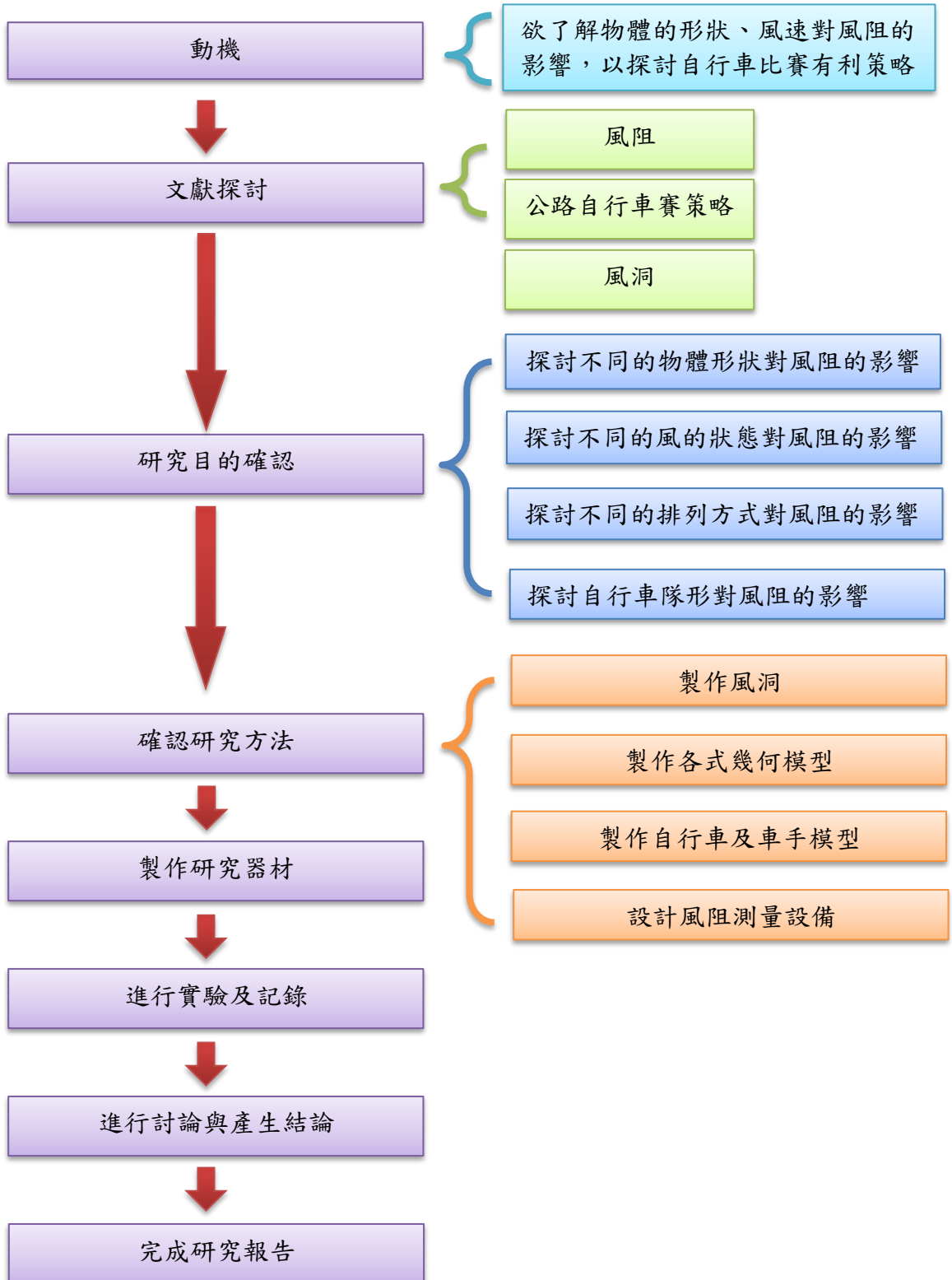


圖 6-1 研究流程圖

(二) 研究設計

研究的主要實驗設備有三項，分別為風洞、模型、測量風阻設備，以下將針對整體實驗設備之製作方法以圖片介紹說明。

1. 實驗設備介紹：以下詳細說明各項實驗設備之結構與名稱

(1) 風洞：



圖 6-2 整體實驗設備配置介紹

2. 風洞的製作：進行實驗時，為了確保實驗結果更加精確，我們參考文獻資料自行製作風洞。

- (1) 規劃所需風洞大小，接著購買適當大小的鍍鉻鐵架。
- (2) 我們將鐵架進行組裝，為了能獲得更大實驗空間，我們將支柱進行串接延長。
- (3) 切割適當的木板固定於鐵架四周，將吸管切成 8 公分長度，放置於四塊木板圍成之區域中。
- (4) 我們購買透明塑膠帆布，將其黏貼於支架上，並在帆布邊緣貼上 8 顆強力磁鐵，方便帆布快速固定於鐵架。



圖 6-3 組架支架



圖 6-4 將吸管排放在木框中



圖 6-5 固定塑膠帆布及磁鐵

3. 模型的製作：為了能針對多種不同形狀的物體探究其風阻，我們製作了四大類型模型，分別是幾和模型、列車車頭、特製導流平面及自行車與車手。

- (1) 幾和模型：我們依據實驗的項目，先在電腦上繪製所需圖形，接著描在保麗龍上並切下，為了能使實驗結果更加明顯，每個圖形我們製作 2 塊，再黏貼起來，使其截面積加倍。



圖 6-6 繪製模型形狀

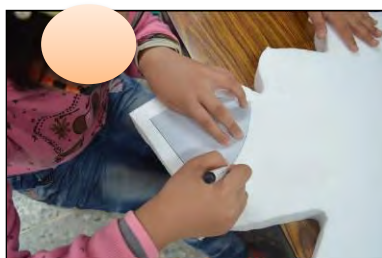


圖 6-7 在保麗龍上描繪圖形



圖 6-8 將模型切割下來

- (2) 列車車頭：我們先上網搜尋三種差異較大的列車車頭圖片，接著以保麗龍切割器裁出 12 片 18 公分×44 公分之長方形，每個列車由四片保麗龍組成，依圖片上之特徵，先在保麗龍上畫線，再進行切割，最後將四塊保麗龍黏合，並畫上外觀線條。



圖 6-9 切出長方形保麗龍板



圖 6-10 切出所需之外形



圖 6-11 將列車模型黏合完成

(3) 特製導流平面：我們取一段壓克力管，將輕質土填入管中，使用 3D 列印的圓錐模型來壓出凹痕，接著用塑膠管在凹痕尖端戳出通風孔。

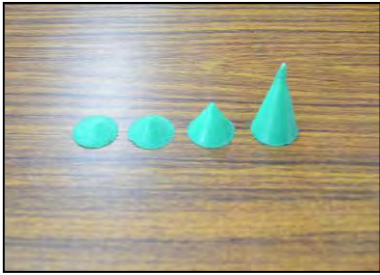


圖 6-12 列印出不同形狀圓錐



圖 6-13 在平面上壓出凹痕

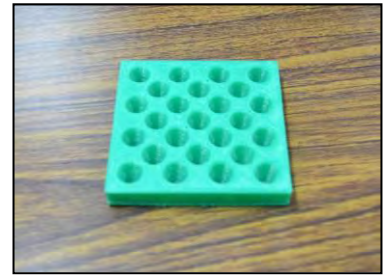


圖 6-14 以 3D 列印特製導流平面

(4) 自行車與車手：其中一位組員的爸爸因為精通 3D 列印，協助我們印製四組腳踏車模型，接著我們在腳踏車模型上，以鐵絲折出車手的大致大小形狀，再使用輕質土包覆在鐵絲外，當成車手的外形。



圖 6-15 列印出自行車模型



圖 6-16 以輕質土包覆車手支架



圖 6-17 完成的自行車與車手模型

4. 測量風阻設備：為了能測量物體受風時產生的風阻，我們思考了幾個方法，原本是將物體以線垂吊，然後測量物體受風偏斜的角度，但發現此方法不易測量，且誤差較大，於是我們採用另一個方式，就是直接使用電子秤來測量阻力，但是必須將原本平放的風洞改成直立。

(1) 為了將風洞直立，且避免讓吸管掉落，所以我們必須在下方黏上一層鐵絲網，既可通風又可支撐吸管。

(2) 接著在三角架上固定一塊木板，將電子秤放置在木板上。

(3) 取一塊鐵架，一側固定風洞支架上，另一側則穿出塑膠帆布，壓在電子秤上，如此就能測量到物體受風前後的重量差異，此差異也就等於是風產生的阻力。



圖 6-18 黏上鐵絲網



圖 6-19 於三角架上固定木板



圖 6-20 放置實驗鐵架

(三)實驗方法:為了精確的分析風阻的變化,及氣流流動情形,我們採取了下列的實驗方式,進行變因操作、風力控制、風阻測量與氣流記錄。

1. 放置模型:依據實驗項目,放置模型,為了避免模型受風搖晃或掉落,我們使用橡皮筋固定於鐵架上。
2. 固定攝影器材:將攝影機放置於風洞前方,並將鏡頭對準模型,錄下煙霧流動情形。
3. 電子秤歸零:為測得風的阻力,我們將電子秤先進行歸零,以去除模型及支架重量。
4. 開啟抽風機:為了達成變因的控制,我們將抽風機的風速開到最大,或依實驗需求調整適當風速。
5. 讀取電子秤數值:在開啟抽風機後,電子秤之數值由零上升,此時的數值即為風阻大小。
6. 排出煙霧:使用煙霧產生器將煙霧注入海灘球中,再由海灘球之前方塑膠管排出細小煙霧,將煙霧排到模型周圍,可以觀察到空氣的流動路線,藉以了解風阻改變的原因。



圖 6-21 將攝影機對準模型



圖 6-22 讀取電子秤數值



圖 6-23 將煙霧緩緩排在模型周圍


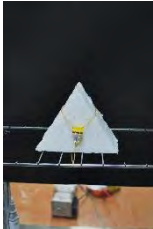
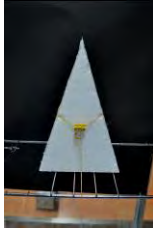
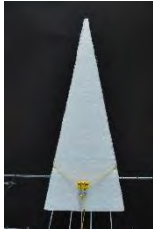

七、研究結果及討論

以下針對各實驗的方法進行說明，並討論其實驗結果

(一)實驗 1：不同的物品前側尖端角度對風阻的影響

文獻探討中，我們發現物體前側尖端角度可能會影響風阻，因此我們分別將模型的前側尖端角度製作成 180 度、65 度、35 度、25 度及 17 度，但是截面積皆固定為 106.25cm^2 ，實驗後得到了表 7-1 的結果。

表 7-1 實驗 1 結果

實驗類別	變項	180 度	65 度	35 度	25 度	17 度
前側尖端 角度	影像					
	第 1 次	2.4	1.8	1.6	1.4	1.2
	第 2 次	2.5	1.9	1.7	1.3	1.3
	第 3 次	2.4	1.9	1.6	1.5	1.3
	第 4 次	2.6	1.9	1.7	1.5	1.3
	第 5 次	2.4	1.7	1.6	1.5	1.1
	平均	2.46	1.84	1.64	1.44	1.24

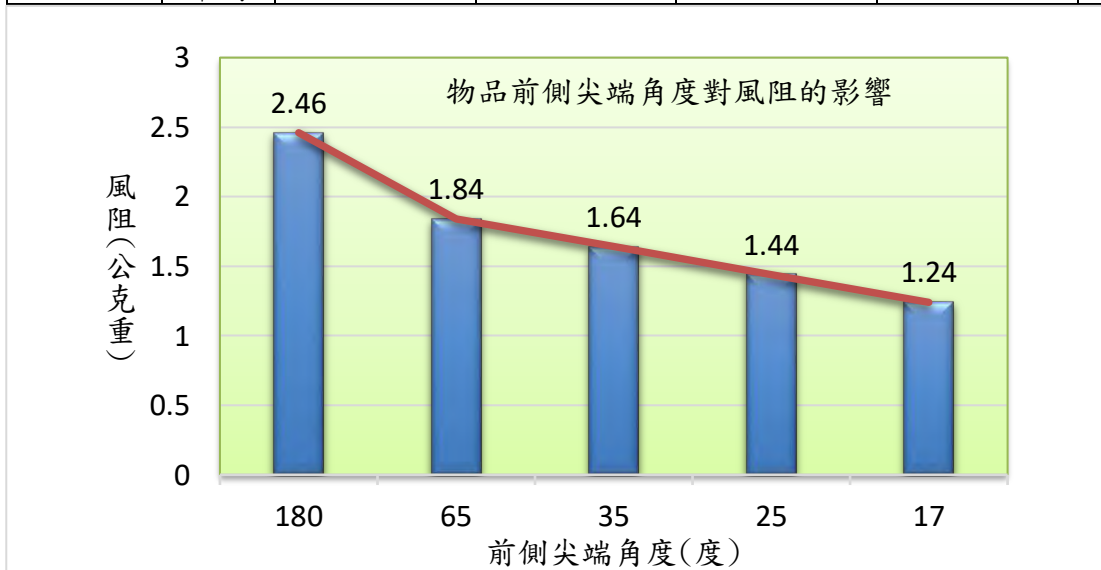
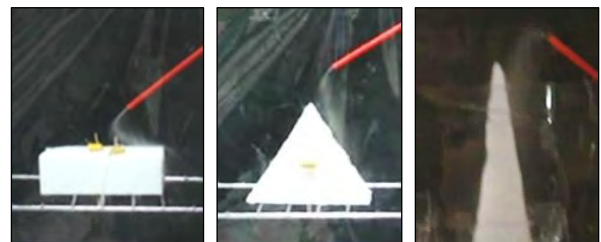


圖 7-1 實驗 1 直方折線圖

討論：

從圖 7-1 中的折線變化，我們發現當物體的前側愈是尖銳，則產生的風阻愈小，由右圖三張煙霧圖，我們可以了解當前方形狀愈尖銳時，風幾乎是順著原方向前進，而當角度較鈍時，則會產生較大角度的偏斜或擾動，風給予物體的作用力較大，因此風阻也較大。



另外，我們也可以從風的方向與物體的傾斜角度來分析(如下圖)，我們以前方尖端角度 90 度及 180 度(平面)為例，當二者的長皆為 L，而寬皆為 W，且每單位面積皆同樣面對 F 的風力，則前方 90 度尖端角度之平面，其承受的力量為 $\sqrt{2}FLW$ ，而前方 180 度尖端角度之平面，其承受的力量為 $2FLW$ 。

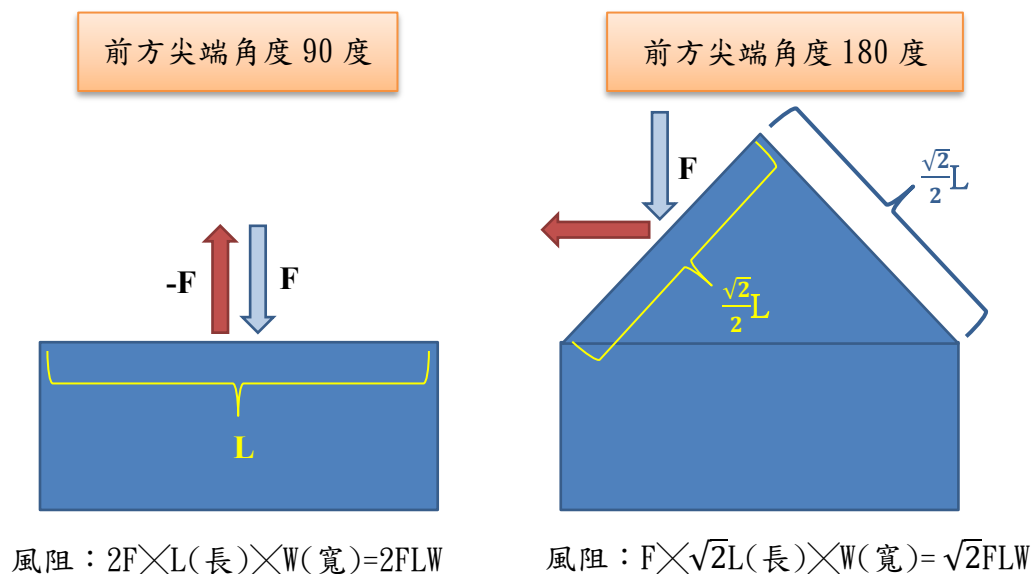



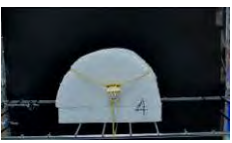


圖 7-2 物品前側尖端角度對風阻的影響示意圖

(二)實驗 2：探討不同的物品前側尖端形狀對風阻的影響

延續實驗 1，我們想要探討如果改變其形狀，加入多種曲線，是否會影響氣流及風阻大小，於是我們設計了四種幾何圖形，分別為角錐形、金字塔形、鐘形、半圓形，同樣維持其截面積為 106.25cm^2 ，實驗後得到了表 7-2 的結果。

表 7-2 實驗 2 實驗結果

實驗類別	變項	角錐形	金字塔形	鐘形	半圓形
前側尖端 形狀	影像				
	第 1 次	2.0	1.9	2.2	2.3
	第 2 次	1.9	1.9	2.3	2.3
	第 3 次	2.0	1.8	2.2	2.2
	第 4 次	1.9	1.8	2.3	2.2
	第 5 次	1.9	2.0	2.4	2.4
平均	1.94	1.88	2.28	2.28	

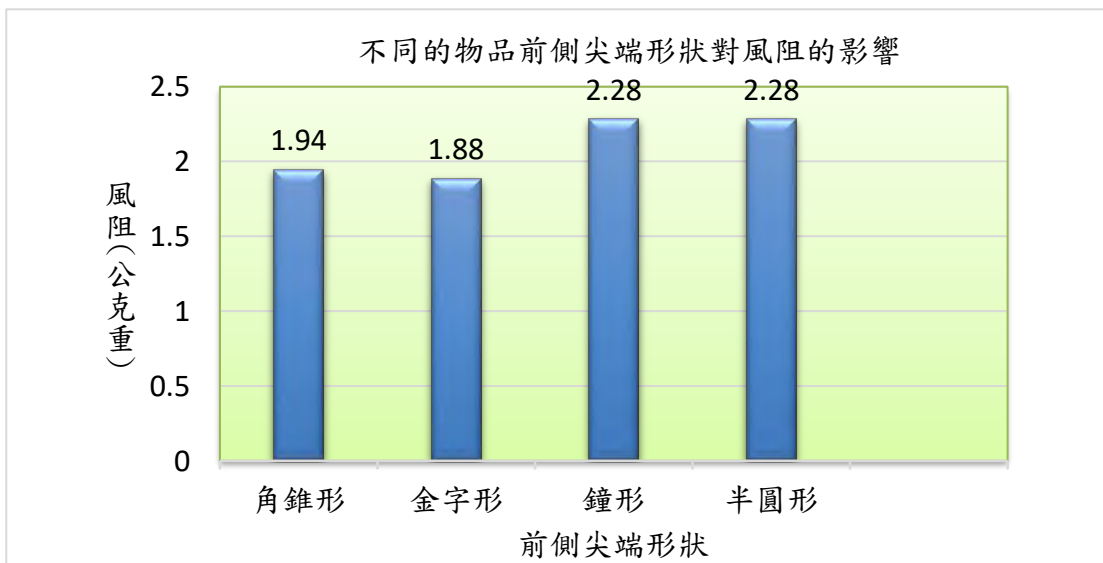


圖 7-3 實驗 2 結果直方折線圖

討論：





從實驗結果中，我們可以發現角錐形與金字塔形所產生的風阻較小，而鐘形與半圓形則會有較大的風阻，從煙霧的流動情形，我們觀察到角錐形與金字塔形的煙霧流程較為順暢，是沿著模型周圍流動，反觀鐘形與半圓形則可看到煙霧較為紊亂，並且方向較偏水平，因此會產生較大的阻力，因此，我們歸納，物體前側愈多大角度傾斜的部份，則風阻會愈小。



(三)實驗 3：不同的物品後側尾端角度對風阻的影響

在文獻探討中，我們了解到產生風阻的其中一個原因是後方的真空區，因此我們將原本的半圓形模型後方再加上不同的三角錐，改變其後側尾端角度為 180 度、65 度、35 度及 17 度，以探討兩者之間的影響，實驗後得到了表 7-3 的結果。

表 7-3 實驗 3 實驗結果

實驗類別	變項	180 度	65 度	35 度	17 度
後側尾端 角度	影像				
	第 1 次	2.3	2.1	1.7	1.3
	第 2 次	2.3	2.0	1.6	1.3
	第 3 次	2.4	2.1	1.7	1.3
	第 4 次	2.4	2.0	1.6	1.2
	第 5 次	2.3	2.2	1.6	1.1
	平均	2.34	2.08	1.64	1.24

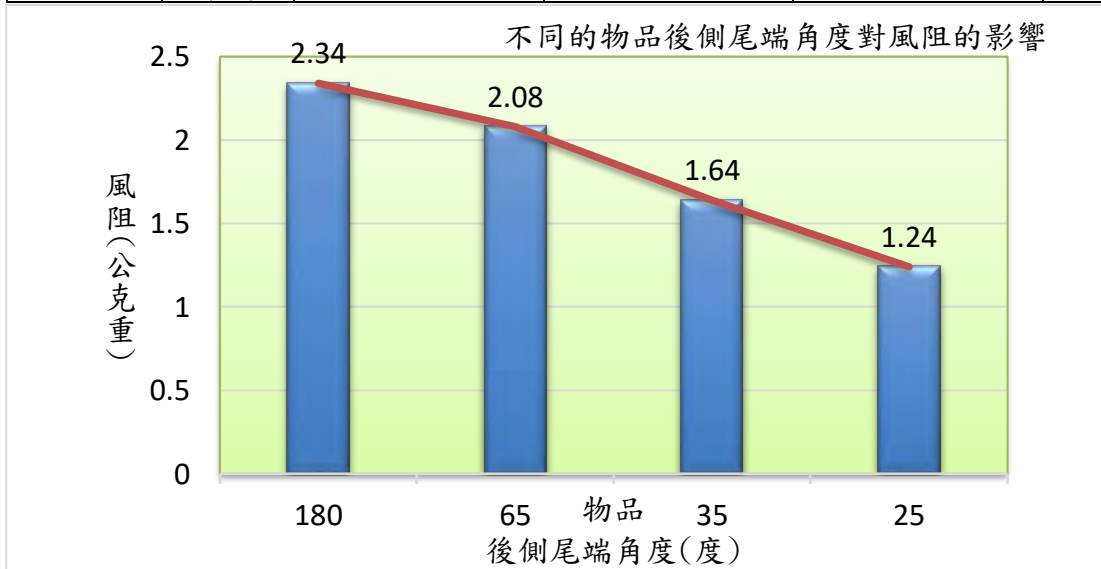
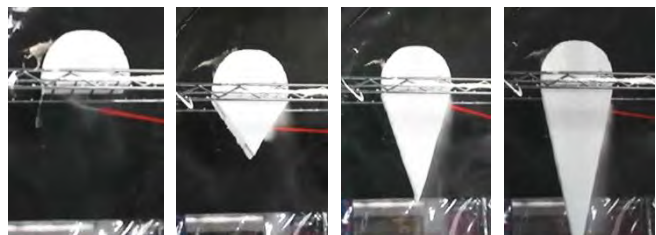


圖 7-4 實驗 3 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們明顯的發現一個現象，模型後方的角度同樣會影響風阻，角度愈尖，則風阻也就愈小，從右側的實驗影片畫面中，我們可以看到一個現象，









當後方的形狀愈尖，則氣流愈流暢的貼近模型邊緣，但後方形狀愈平，則氣流愈亂，並且可能逆流，出現文獻探討中的真空區，因此使物體四周的氣流都隨著改變，阻力大增。

(四)實驗 4：探討不同列車車頭形狀對風阻的影響

在實驗 1~3 中，我們對於物體形狀對於風阻的影響有了初步的想法，於是我們想要以列車車頭來應證，我們找了三種車速不同且外觀差異較大的列車車頭進行實驗，分別是台北捷運、普悠瑪號以及子彈列車，實驗後得到了表 7-4 的結果。

表 7-4 實驗 4 實驗結果

實驗類別	變項	台北捷運		普悠瑪號		子彈列車	
		側面	俯視	側面	俯視	側面	俯視
列車車頭 形狀	影像						
	第 1 次	4.0		2.0		1.8	
	第 2 次	3.7		1.9		1.9	
	第 3 次	3.8		2.2		1.7	
	第 4 次	4.0		1.9		1.7	
	第 5 次	3.7		2.0		1.6	
	平均	3.84		2.00		1.74	

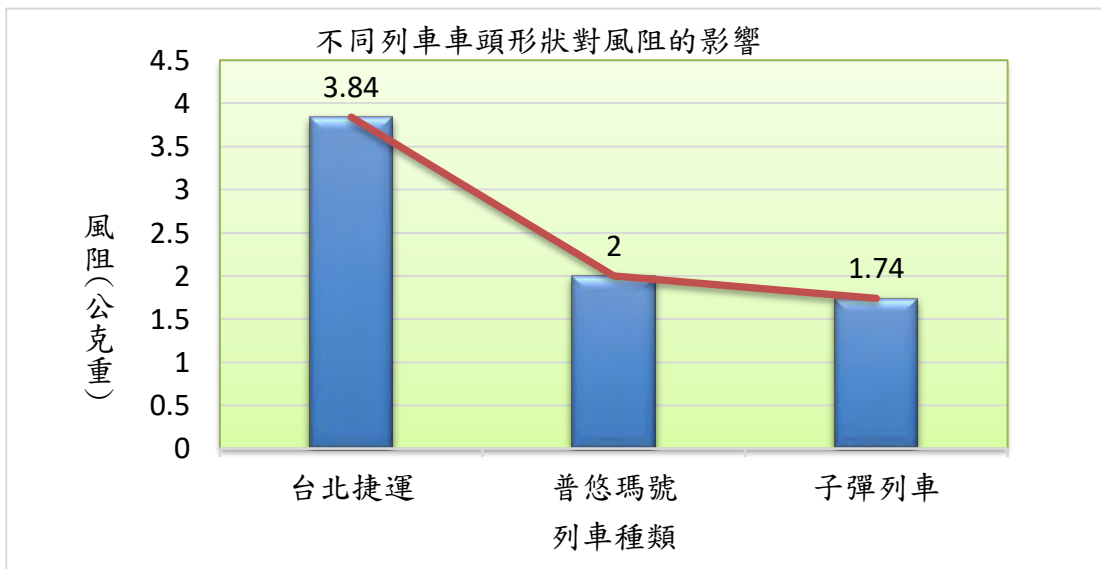


圖 7-5 實驗 4 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現子彈列車的風阻最小，而台北捷運的風阻最大，從實驗畫片中，我們可以發現車頭的形狀愈具流線形，如子彈列車，空氣流動愈流暢，而捷運列車則因車頭平鈍，所以氣流會直接衝撞車頭，當然也會就會形成較大的風阻。



(五)實驗 5：特製導流平面對風阻的影響

在實驗五中，我們發現流線形的外殼能讓高速行駛的列車有效減少風阻，不過卻使得車頭本身的外形變成傾斜狀，而減少了可以利用的空間，對於機械物品繁多的車頭而言似乎是一個相當大的不便，因此我們想要利用前面實驗所得到的結論，也就是物體面風的平面愈傾斜，則產生的風阻就愈小，以製造出風阻小又方正的外殼，所以我們比較下列四種狀態，(1)單純的平面、(2)平面上製造出 11 個 45 度錐狀凹洞、(3)在凹洞上穿出小洞、(四)在小洞後方放入圓柱體，模擬列車內的其他機械(如引擎)，以探索這個想法的可行性。

表 7-5 實驗 5 實驗結果





實驗類別	變項	平面	有凹洞	有凹洞及穿孔	有凹洞及穿孔並放入圓柱體
外殼類型	影像				
	第 1 次	2.3	2.1	1.8	2.0
	第 2 次	2.3	2.3	1.9	2.0
	第 3 次	2.2	2.4	1.9	1.9
	第 4 次	2.1	2.2	1.7	2.0
	第 5 次	2.2	2.2	1.8	2.0
	平均	2.22	2.24	1.82	1.98



圖 7-6 實驗 5 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現單純的平面及有凹洞時，風阻並沒有多大的變化，代表即時有傾斜面，但是氣流沒有出口，仍會對於物體形成相同的風阻；而當我們將凹洞上穿出小洞時，則可以發現風阻明顯降低，即使下方放入圓柱體，仍然有降低風阻的效果，因為氣流接觸到傾斜面後，被引導至小孔流出(如圖 7-6)，因此能降低物體風阻，並且可能對於引擎等運作中的機械達到降溫之效果。

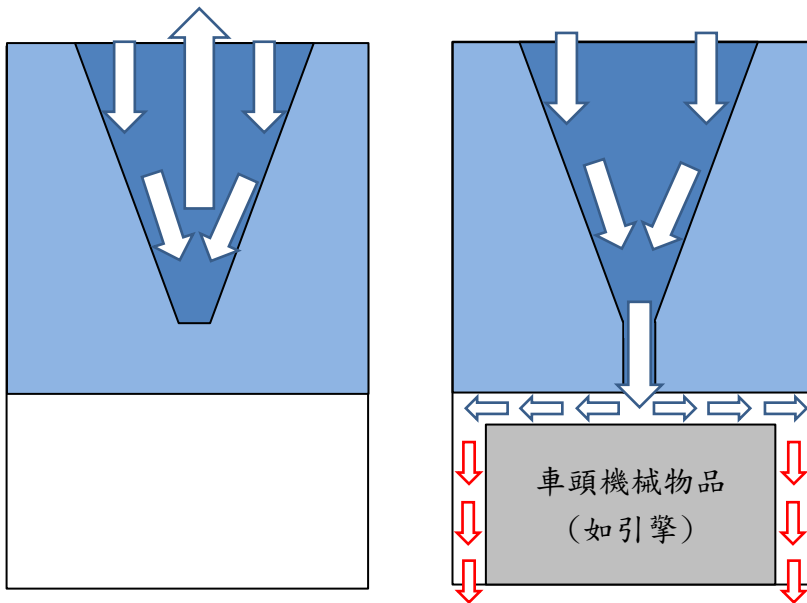


圖 7-7 特製導流平面對風阻的影響示意圖

為了更清楚的呈現特製導流平面的外觀，我們利用 3D 列印機印出其雛形，其外側為較大的錐狀凹洞，而內側則是微小的通風孔，若要運用於大型的交通工具上，則可以調整平面的大小與凹洞的密度及深度。







圖 7-8 以 3D 列印機製作特製導流平面模型

(六)實驗 6：特製導流平面凹洞角度對風阻的影響

承接實驗五，我們發現平面若有凹洞及穿孔可有效降低風阻，於是我們想進一步提升效果，改變凹洞的角度，分別為 15 度、30 度、45 度及 60 度，並且皆有 7 個凹洞及相同的穿孔，以探討凹洞角度對風阻的影響。

表 7-6 實驗 6 實驗結果

實驗類別	變項	15 度	30 度	45 度	60 度
外殼類型	影像				
	第 1 次	1.7	1.8	1.9	2.4
	第 2 次	1.8	1.8	2.2	2.5
	第 3 次	1.7	1.7	2.1	2.5
	第 4 次	1.7	1.9	2.2	2.6
	第 5 次	1.9	1.9	2.2	2.5
平均	1.76	1.82	2.12	2.50	

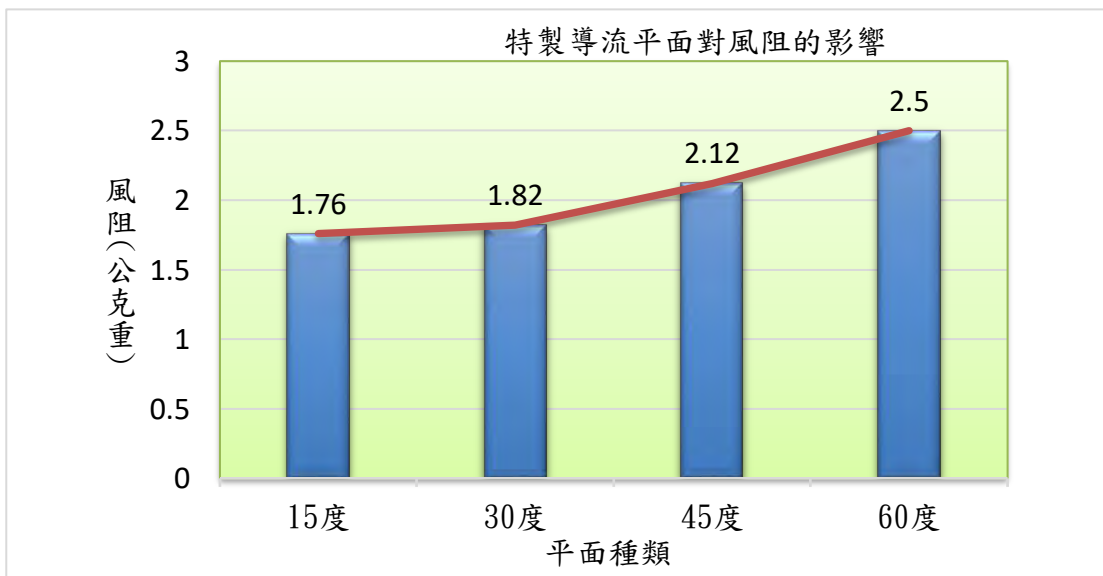


圖 7-9 實驗 6 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現凹洞的角度愈傾斜，則風阻愈低，15 度時最小，但是我們也可以發現 15 度與 30 度的結果差異最小，也代表角度的改變對於風阻的降低有其極限。造成這個結果的原因，應該與實驗一相似，只是我們將這樣的傾斜平面改成是物體內部的凹洞，並是保留整體外形的方正及完整。

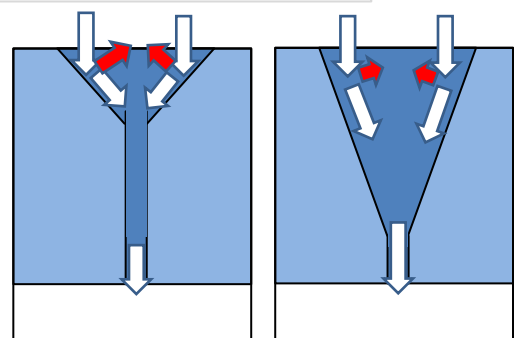


圖 7-10 凹洞角度對風阻的影響示意圖

(七)實驗 7：探討不同的風的強度對風阻的影響

實驗至此，我們很想探討物體的不同形狀在不同的外環境中，對風阻的影響程度是否會改變，尤其是風速，所以我們使用調燈器，藉著改變電阻來操控風速，將風速分為四個等級，測量尖端角度最鈍及最尖的物體之風阻差異，實驗後得到了表 7-7 的結果。

表 7-7 實驗 7 實驗結果

實驗類別	變項	風速最弱		風速次弱		風速次強		風速最強	
		65 度	17 度	65 度	17 度	65 度	17 度	65 度	17 度
風的強度	第 1 次	0	0	1.1	0.8	1.5	1.1	1.8	1.3
	第 2 次	0	0	1.1	0.9	1.6	1.3	1.7	1.2
	第 3 次	0	0	1.1	1.0	1.6	1.2	1.9	1.2
	第 4 次	0	0	1.2	0.9	1.5	1.3	1.7	1.3
	第 5 次	0	0	1.1	0.9	1.6	1.3	1.7	1.1
	平均	0	0	1.12	0.90	1.56	1.24	1.76	1.22
	差異		0		0.2		0.32		0.54

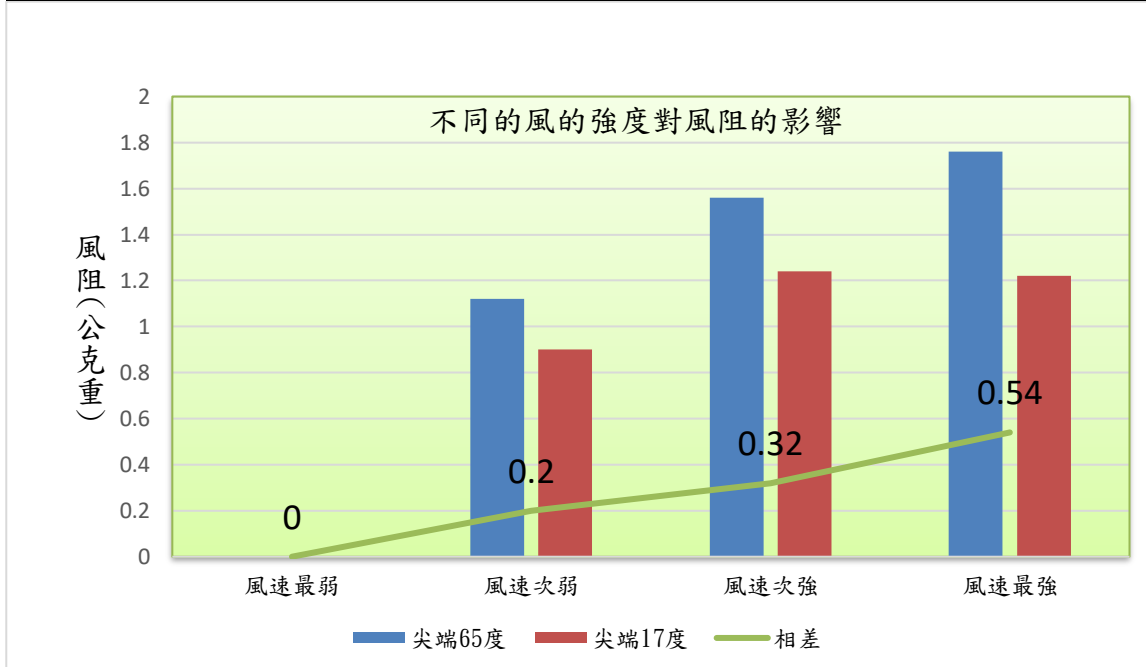


圖 7-11 實驗 7 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現當風力變強時，原本的物體形狀所造成的風阻差異將被擴大，因此我們也可以理解為何高速鐵路或日本的新幹線需要將列車車頭設計成流線形或扁平狀，因為這些列車的時速常常高達 300 公里以上，若車頭形狀設計不佳，則風阻會變的相當大，將產生巨大擾動氣流，可能造成車子晃動而釀成危險。








來源：<http://prostitutki-krasnoyarsk.ru/page/foto-yaponskih-pezd>

(八)實驗 8：探討不同的排列水平間距對風阻的影響

風阻的大小除了與物體本身的形狀有關，物體之間的相對位置也可能會影響，於是我們設計了本實驗，將二個相同的半圓形模型前後相距 20 公分，水平距離分別為 0 公分、7.6 公分、11.4 公分、15.2 公分，實驗後得到了表 7-8 的結果。

表 7-8 實驗 8 實驗結果

實驗類別	變項	0 公分	7.6 公分	11.4 公分	15.2 公分	前方沒有物體
水平間距	影像					
	第 1 次	1.1	1.7	2.1	2.3	2.3
	第 2 次	1.0	1.7	2.0	2.2	2.2
	第 3 次	1.2	1.9	2.1	2.3	2.2
	第 4 次	1.2	1.8	2.2	2.3	2.3
	平均	1.12	1.80	2.08	2.24	2.22

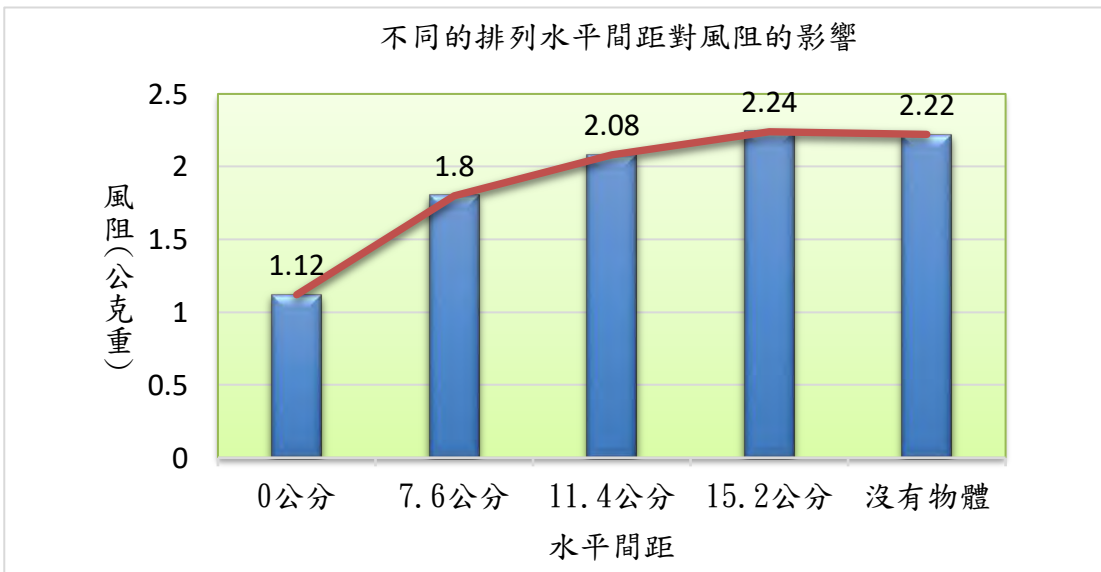
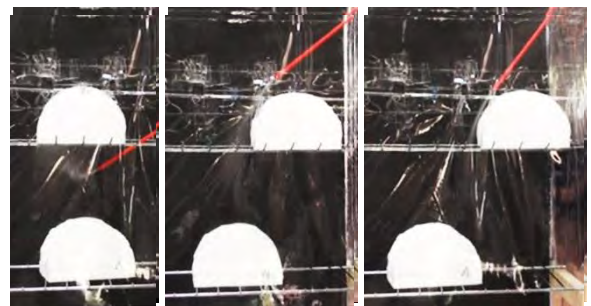


圖 7-12 實驗 8 結果直方折線圖

討論：






從實驗結果中，我們發現兩個物體的水平距離愈小，則後方的物體風阻愈小，當水平距離過大，則風阻將與沒有前方物體時相近，從實驗畫面中，我們可以看到當二者水平距離為 0 時，二者之間的空間，氣流方向是紊亂的，對於前方物體而言會因為形成真空區而風阻強，而後方物體則因為風速減弱而風阻小，當二間之間水平距離加大，則此效應就開始減弱，後方物體的風阻將再回升。



(九)實驗 9：探討不同的排列前後間距對風阻的影響

延續實驗 8，我們繼續探討二個物體的不同前後距離對風阻的影響，於是我們將二個相同的半圓形模型維持前後排列與風向平行，接著改變距離分別為 20 公分、40 公分、60 公分及 80 公分，實驗後得到了表 7-7 的結果。

表 7-9 實驗 9 實驗結果

實驗類別	變項	20 公分	40 公分	60 公分	80 公分	前方沒有物體
前後間距	影像					
	第 1 次	1.5	1.6	1.8	2.2	2.3
	第 2 次	1.4	1.8	1.8	2.3	2.2
	第 3 次	1.5	1.6	1.8	2.2	2.2
	第 4 次	1.4	1.7	1.8	2.4	2.4
	第 5 次	1.4	1.7	1.7	2.4	2.3
	平均	1.44	1.68	1.78	2.30	2.28

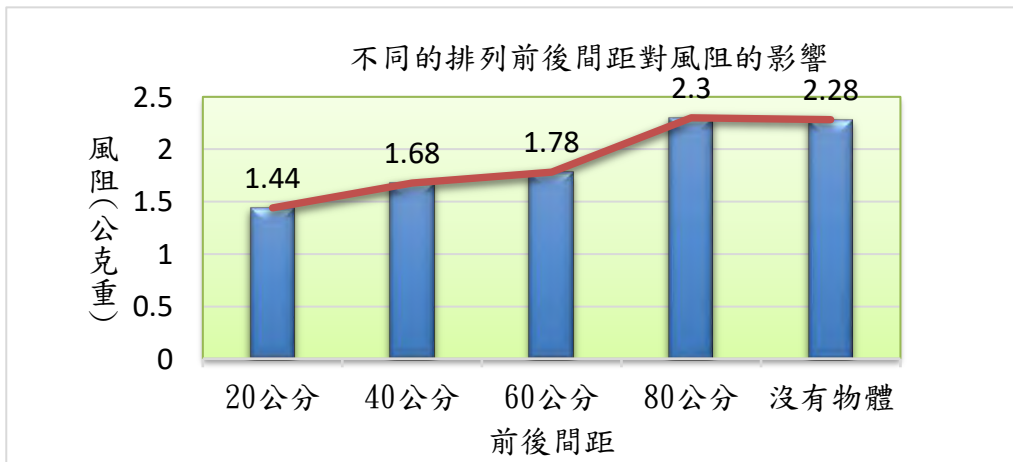
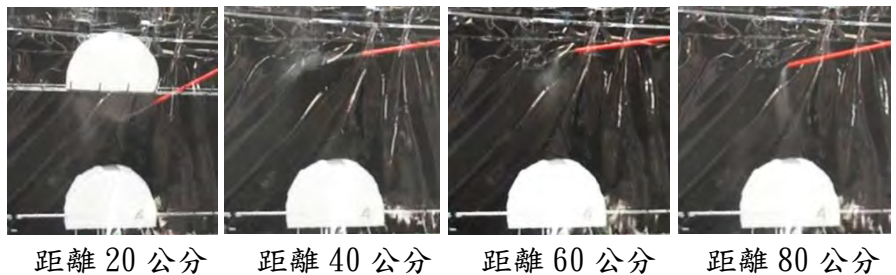


圖 7-13 實驗 9 結果直方折線圖

討論：

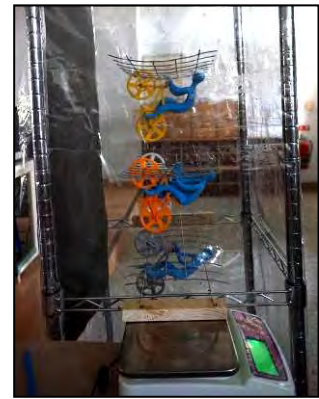
從實驗結果中，我們可以發現當二個物體的前後距離相當接近時，則後方的物體之風阻會明顯減小，然而當二者的距離過大時，則



其風阻將接近原始的風阻大小，由實驗畫面中，可以觀察到，二者距離愈小時，中間的氣流並無一定流向，因此風阻也隨之變小，而當二者距離過大，如本實驗的 80 公分間距，則其氣流與前方無物體時相似，氣流是迎面而來，所以風阻並沒有減小。

(十)實驗 10：探討不同的自行車隊形對風阻的影響

從實驗 8~9 中，我們發現前方的物體的位置會影響到後方物體的風阻，因此我們想要直接解決原本的困惑，就是自行車隊形對風阻的影響，我們利用四個自行車模型，藉著不同的排列方式，以測量每位自行車手可能面對的風阻，我們運用排列組合方式，安排 8 種可能出現的狀態，實驗後得到了表 7-10 的結果。



隊形 7 側面圖

表 7-10 實驗 10 實驗結果

實驗類別	變項	隊形 1	隊形 2	隊形 3	隊形 4	隊形 5	隊形 6	隊形 7	隊形 8
自行車 隊形	影像								
	第 1 次	1.6	1.1	0.8	0.7	0.9	0.8	0.4	0.7
	第 2 次	1.5	1.1	0.8	0.7	0.9	0.9	0.4	0.8
	第 3 次	1.5	1.1	0.8	0.8	1.0	0.9	0.3	0.7
	第 4 次	1.6	1.2	0.9	0.8	1.0	0.9	0.3	0.8
	第 5 次	1.6	1.1	0.9	0.7	0.9	0.8	0.3	0.6
平均	1.56	1.12	0.84	0.74	0.94	0.86	0.34	0.72	

註：■代表測量目標自行車，■代表前方之隊友自行車

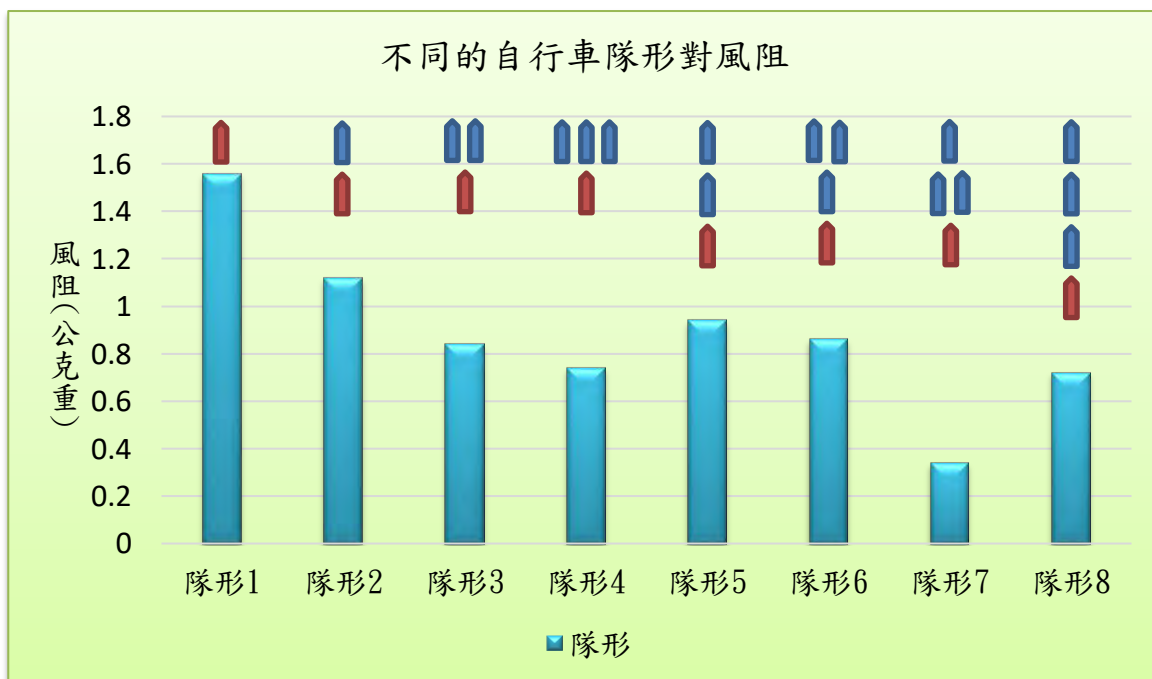
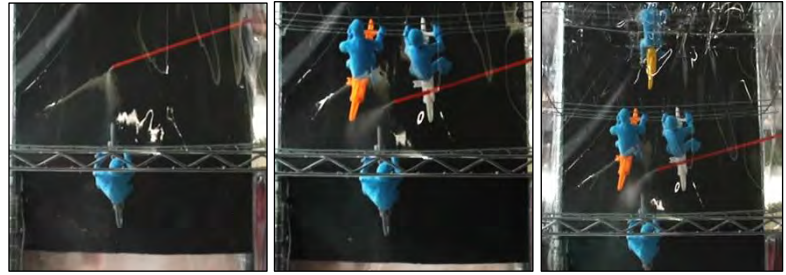


圖 7-14 實驗 10 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現當自行車單獨前進時，因為沒有任何遮蔽物，所面對的氣流是當面直擊，因此會產生相對較大的風阻。

而當自行車組織成固定的隊形時，例如本實驗的隊形 2~8，則後方自行車風阻相對降低，尤其在隊形



隊形 1 氣流

隊形 3 氣流

隊形 7 氣流

3、4 時，自行車前方有二至三台其他自行時，甚至如隊形 7 呈現前方有二組橫向的隊形，則風阻將由原本的 1.56 公克重降到 0.34 公克重，若再套用實驗 7 的結論，高速行駛下，風阻的差異勢必大增，則選手的體力消耗也將影響其比賽成績。

雖然前方有其它自行車可節省體力，但車子之間距離如果過近則會考驗選手的專注力，否則容易產生追撞，而得不償失，並且在接近最後終點前，各車隊仍需有特定選手進行衝刺，此時便無法依賴彈弓效應，因此各個車隊仍然需要視選手特質、路況和風向來調整策略。

八、結論與建議

綜合本研究四大目的之十個實驗所獲得之結果及討論，我們總結出下列八項結論及四項建議，以下依序說明。

(一)結論：

1. 物體前進時，前側角度愈大時，會產生氣體擾動，風給予物體的作用力愈大，風阻也愈大。
2. 物體前進時，前側形狀為角錐形與金字塔形時，所產生的風阻較小，而鐘形與半圓形則會有較大的風阻。
3. 物體前進時，後方形狀愈平緩，容易出現真空區，因此物體四周的氣流會隨著改變，阻力大增。
4. 列車前進時，車頭的形狀愈具流線形，空氣流動愈流暢，當車頭平鈍，則氣流會直接衝撞車頭，形成較大的風阻。
5. 列車的車殼上若能製做出錐狀的孔洞及通風孔，與流線外形一樣具備降低風阻的效果。
6. 列車高速前進時，車頭形狀所造成的風阻差異將被擴大，若車頭形狀設計不佳，則風阻會變的相當大，並產生巨大擾動氣流造成危險。
7. 物體前進時，當正前方有另一物體接近時，中間的氣流方向是紊亂的，後方物體因為面對的風速減弱而風阻變小。
8. 自行車選手近距離前方橫向及直線隊形能有效降低風阻，但仍需視選手特質、路況和風向來調整策略。

(二)建議：

1. 本研究使用的風力強度有限，所得的研究成果也因此受限，希望以後的研究者能在這方面有所突破。
2. 交通工具的風阻降低方式除了流線形外，仍可依靠後續的研究發揮創意，以多元的方式解決。
3. 本研究使用的模型種類有限，無法含蓋所有周遭可見的物體，希望後續的研究者可嘗試更多的形狀。
4. 本研究使用的自行車隊形只有 8 種排列組合，無法含蓋實際比賽會面臨的各種狀況，希望後續的研究者可嘗試更多的隊形或狀況變化。

九、參考資料

世界第一簡單物理力學篇（民 105 年）。台北市。世茂書局。

魔法物理(上)力學·熱學(民 99 年)。台北市。鶴立書局。

津田妍子（民 89 年）。科學遊戲大圖鑑。台北市。益群書店。

環法自由車賽。Wikiwand。民 105 年 11 月 10 日，取自：<http://www.wikiwand.com/zh-tw/環法自由車賽>

風阻係數。台灣 WORD。民 105 年 11 月 13 日，取自：<http://www.twword.com/wiki/風阻係數>

風洞。聯盟百科。民 105 年 11 月 13 日，取自：<http://zh.unionpedia.org/i/風洞>

【評語】 080102

1. 本件作品探討物體形狀及排列狀態對於風阻的影響。自製吸管風洞，從車頭尾形狀，腳踏車隊型，了解交通工具的風阻處理方法及運動時降低風阻有利策略。
2. 能使用 3D 印表機列印所需物件，輔助實驗之進行。
3. 這個工作對於物體在前進的情況，不同物體幾何形狀對於風阻大小有系統性的討論。作者也考慮了孔洞大小，多寡以及角度的因素。進行了不同的實驗討論。除此之外，作者也考慮到物體之間不同的幾何隊形對於整體風阻的影響。整體來說，一系列有系統的實驗工作和討論的實驗工作對於這個非線性系統的研究，可以漸漸整理出一個概略的模型和影響因素。

摘要

我們想要探討物體的形狀及排列狀態對於風阻產生的影響，並對照自行車競賽時車隊運用的策略，從中尋找科學原理。從實驗結果發現：

- (一)物體前側角度愈大，風阻也愈大。
- (二)物體後方形狀愈平緩，易出現真空區，四周氣流隨著改變，阻力大增。
- (三)列車車頭形狀愈具流線形，空氣流動愈流暢。
- (四)車殼上錐狀孔洞及通風孔，具備降低風阻的效果。
- (五)列車高速前進時，風阻差異將擴大，若車頭形狀設計不佳，會產生擾動氣流造成危險。
- (六)物體正前方若有另一物體接近時，中間的氣流方向是紊亂的，後方物體面對的風速將減弱。
- (七)自行車選手前方隊形能有效降低風阻，但車隊需視情況調整策略。

研究目的

- 一、探討物體形狀對風阻的影響。
- 二、探討風的狀態對風阻的影響。
- 三、探討物體排列方式對風阻的影響。
- 四、探討自行車隊形對風阻的影響。

器材製作

本研究的主要實驗設備與器材分別為分別為風洞、模型、測量風阻設備，以下說明製作過程。

一、風洞的製作：

為了確保實驗結果更加精確，我們自行製作風洞。(1)規劃風洞大小，購買適當大小的鍍鉻鐵架。(2)將鐵架進行組裝，為獲得更大實驗空間，將支柱進行串接延長。(3)切割適當木板固定於鐵架四周，將吸管切成8公分長度，放置於四塊木板圍成之區域中。(4)將透明塑膠帆布黏貼於支架上，並在邊緣貼上強力磁鐵，方便快捷固定帆布於鐵架。



組架支架



將吸管排放木框中



固定塑膠膜及磁鐵

二、模型的製作：為能探究不同物體風阻，我們製作了幾何模型、列車車頭、特製導流平面及自行車與選手。(1)幾何模型：我們在保麗龍板上描出圖形並切下，每個圖形製作2塊，再黏貼起來，增加截面積，使實驗結果更明顯。



繪製模型形狀



在保麗龍上描繪圖形



將模型切割下來

(2)列車車頭：以保麗龍切割器裁出12片18×44公分之長方形，每個列車由四片保麗龍組成，先在保麗龍上畫線，再進行切割，最後進行黏合，畫上線條。



切出長方形保麗龍板

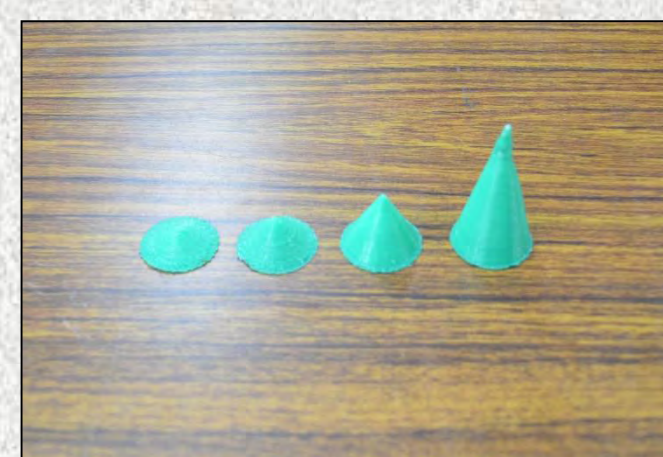


切出所需之外形



將列車模型黏合完成

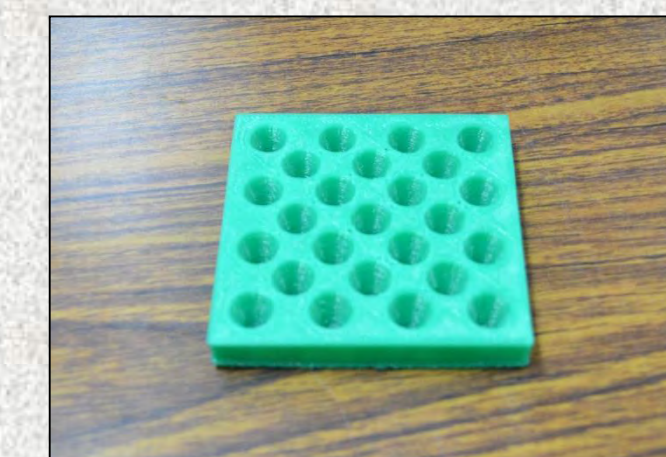
(3)特製導流平面：我們取一段壓克力管，將輕質土填入管中，使用3D列印的圓錐模型來壓出凹痕，接著用塑膠管在凹痕尖端戳出通風孔。



列印出不同
形狀圓錐



在平面上
壓出凹痕



以3D列印
特製導流平面

(4)自行車與選手：組員的爸爸因為精通3D列印，協助印製四組腳踏車模型，接著我們在模型上，以鐵絲折出選手外形，再使用輕質土包覆。



列印出自行車模型



包覆車手支架



完成的自行車模型

三、測量風阻設備的製作：

為了能測量物體受風時產生的風阻，我們原本以線垂吊物體，測量物體受風偏斜的角度，但發現此方法不易測量，且誤差較大，於是我們直接使用電子秤來測量阻力，但是必須將原本平放的風洞改成直立。(1)為了避免吸管掉落，我們在下方黏上一層鐵絲網，既可通風又可支撐吸管。(2)接著將電子秤固定在三角架上。(3)取一塊鐵架，一側固定風洞支架上，另一側則穿出塑膠帆布，壓在電子秤上，如此就能測量到物體受風前後的重量差異，也就是風阻。



黏上鐵絲網



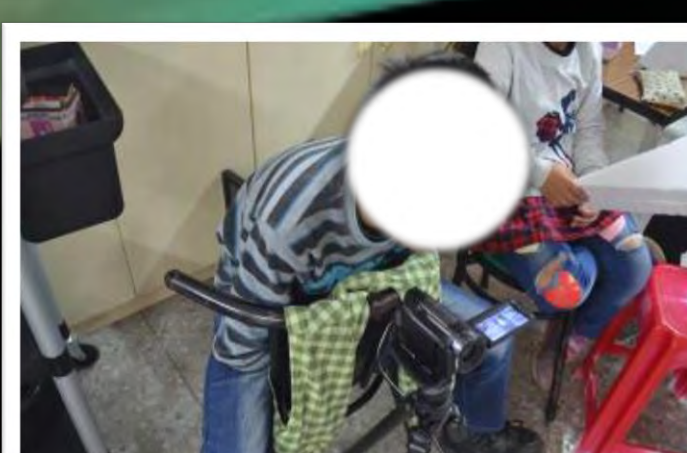
於三角架上固定木板



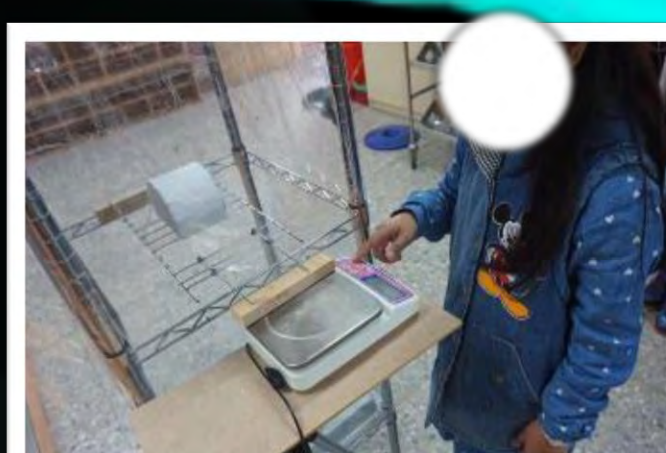
放置實驗鐵架

實驗方法

1. 依據實驗項目，放置模型，我們使用橡皮筋固定模型，避免搖晃掉落。
2. 將攝影機放置於風洞前方，並將鏡頭對準模型，錄下煙霧流動情形。
3. 為測得風的阻力，我們將電子秤先進行歸零，以去除模型及支架重量。
4. 我們將抽風機的風速開到最大，或依實驗需求調整適當風速。
5. 在開啟抽風機後，電子秤之數值由零上升，此時的數值即為風阻大小。
6. 將煙霧注入海灘球中，再由塑膠管排出細小煙霧於模型周圍，可以觀察到空氣的流動路線。



將攝影機對準模型



讀取電子秤數值

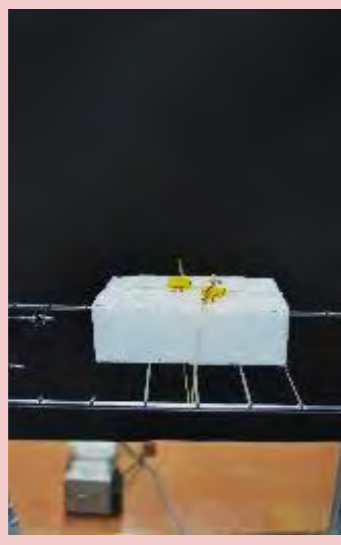



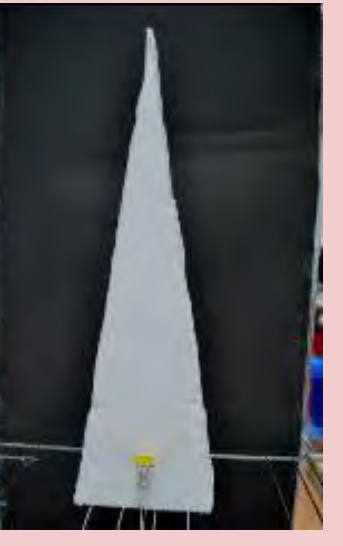


將煙霧排在模型周圍

研究結果及討論

(一)實驗1：物品前側尖端角度對風阻的影響

我們分別將模型的前側尖端角度製作成180度、65度、35度、25度及17度，但是截面積皆固定為106.25cm²。

實驗類別	變項	180度	65度	35度	25度	17度
前側尖端角度	影像					
	平均	2.46	1.84	1.64	1.44	1.24


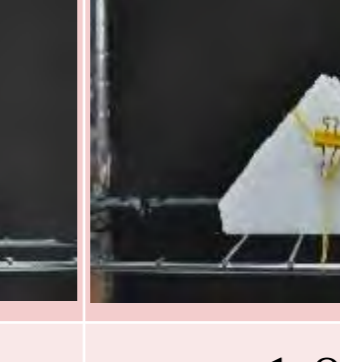
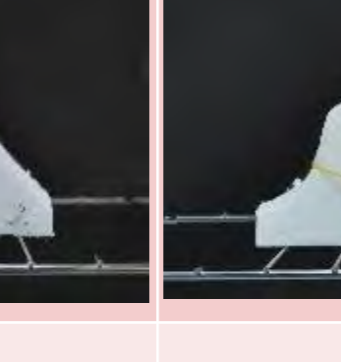

討論：

我們發現物體前側愈尖銳，產生的風阻愈小，由下圖，我們可以了解前方形狀愈尖銳，風是順著原方向前進，而當角度較鈍時，會產生較大角度偏斜，風給予物體的作用力較大，因此風阻也較大。另外，我們也可從風的方向來分析，以前方尖端角度90度及180度為例，二者長皆為L，寬皆為W，單位面積承受風力F，承受風阻分別為 $\sqrt{2}FLW$ 及 $2FLW$ 。



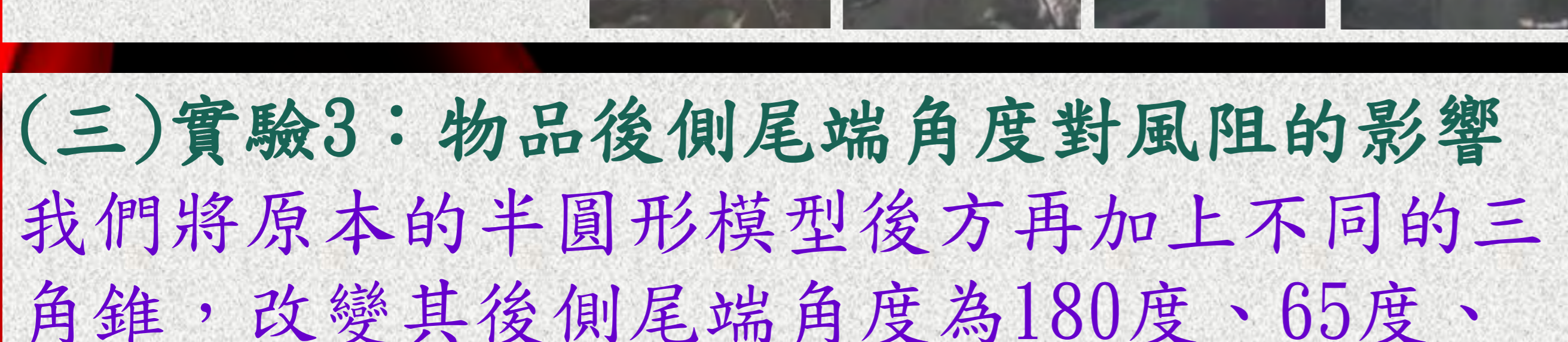
(二)實驗2：物品前側尖端形狀對風阻的影響

我們想探討多種曲線外型是否會影響氣流及風阻大小，於是設計了四種幾何圖形，分別為角錐形、金字形、鐘形、半圓形。

實驗類別	變項	角錐形	金字形	鐘形	半圓形
前側尖端形狀	影像				
	平均	1.94	1.88	2.28	2.28

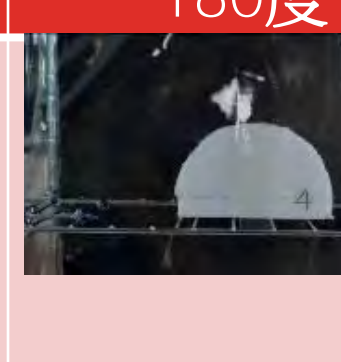
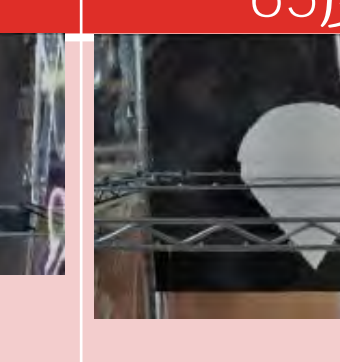
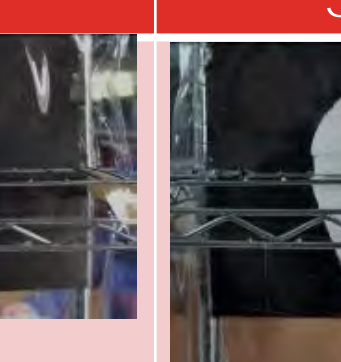

討論：

我們發現角錐形與金字形所產生風阻較小，而鐘形與半圓形則會有較大的風阻，從煙霧的流動情形，我們觀察到角錐形與金字形的煙霧流動較為順暢，反觀鐘形與半圓形則可看到煙霧較為紊亂，且方向偏水平，因此會產生較大阻力。



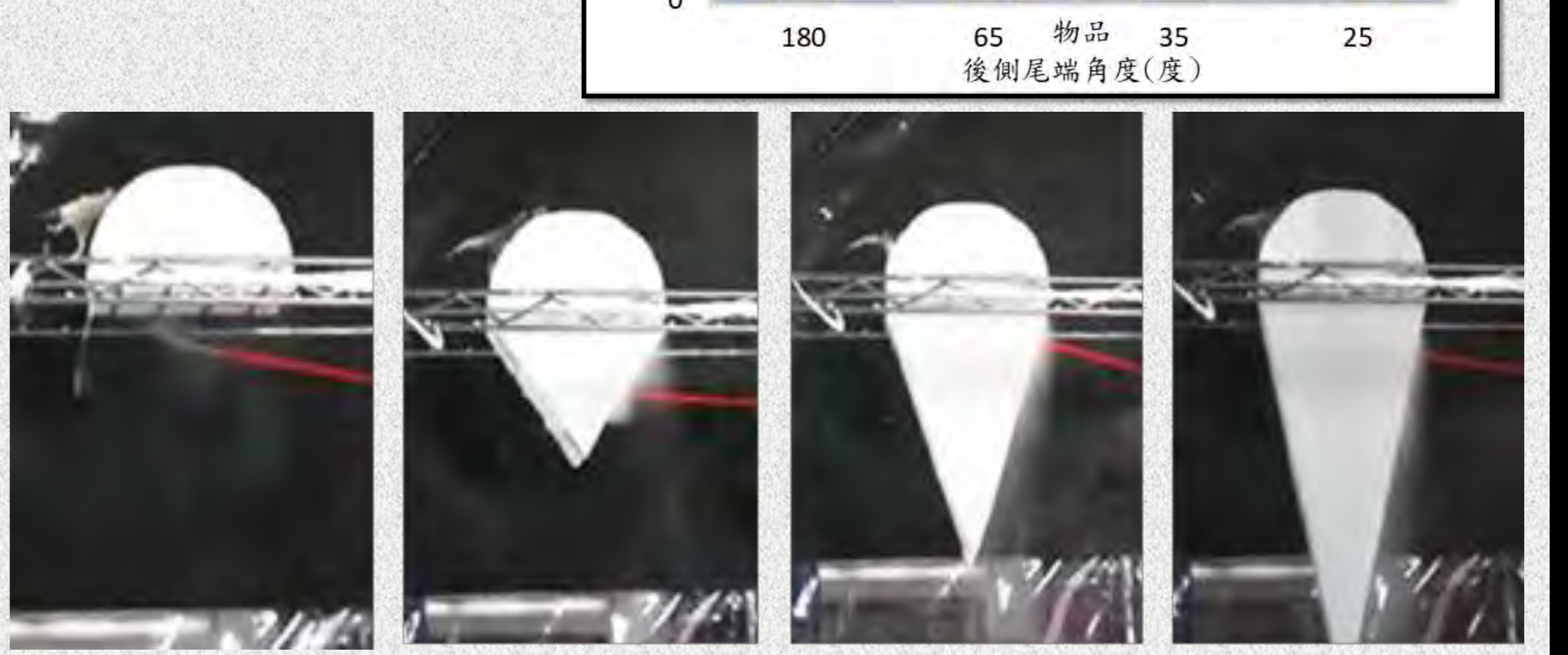
(三)實驗3：物品後側尾端角度對風阻的影響

我們將原本的半圓形模型後方再加上不同的三角錐，改變其後側尾端角度為180度、65度、35度及17度，以探討對風阻的影響。

實驗類別	變項	180度	65度	35度	17度
後側尾端角度	影像				
	平均	2.34	2.08	1.64	1.24

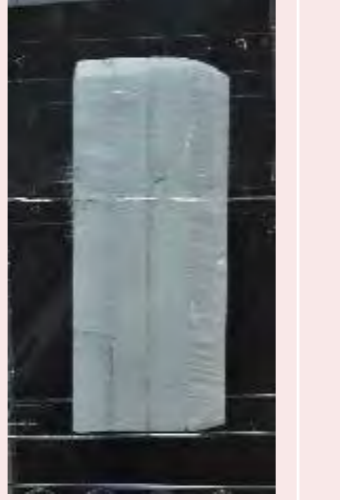


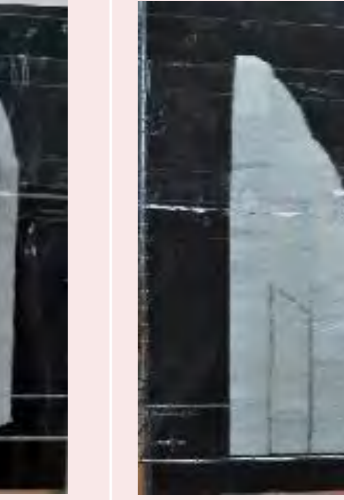


討論：

我們發現模型後方角度愈尖，則風阻也就愈小，從右側的實驗影片畫面中，我們可以看到一個現象，當後方的形狀愈尖，則氣流愈流暢的貼近模型邊緣，但後方形狀愈平，則氣流愈亂，並且可能逆流，出現真空區。



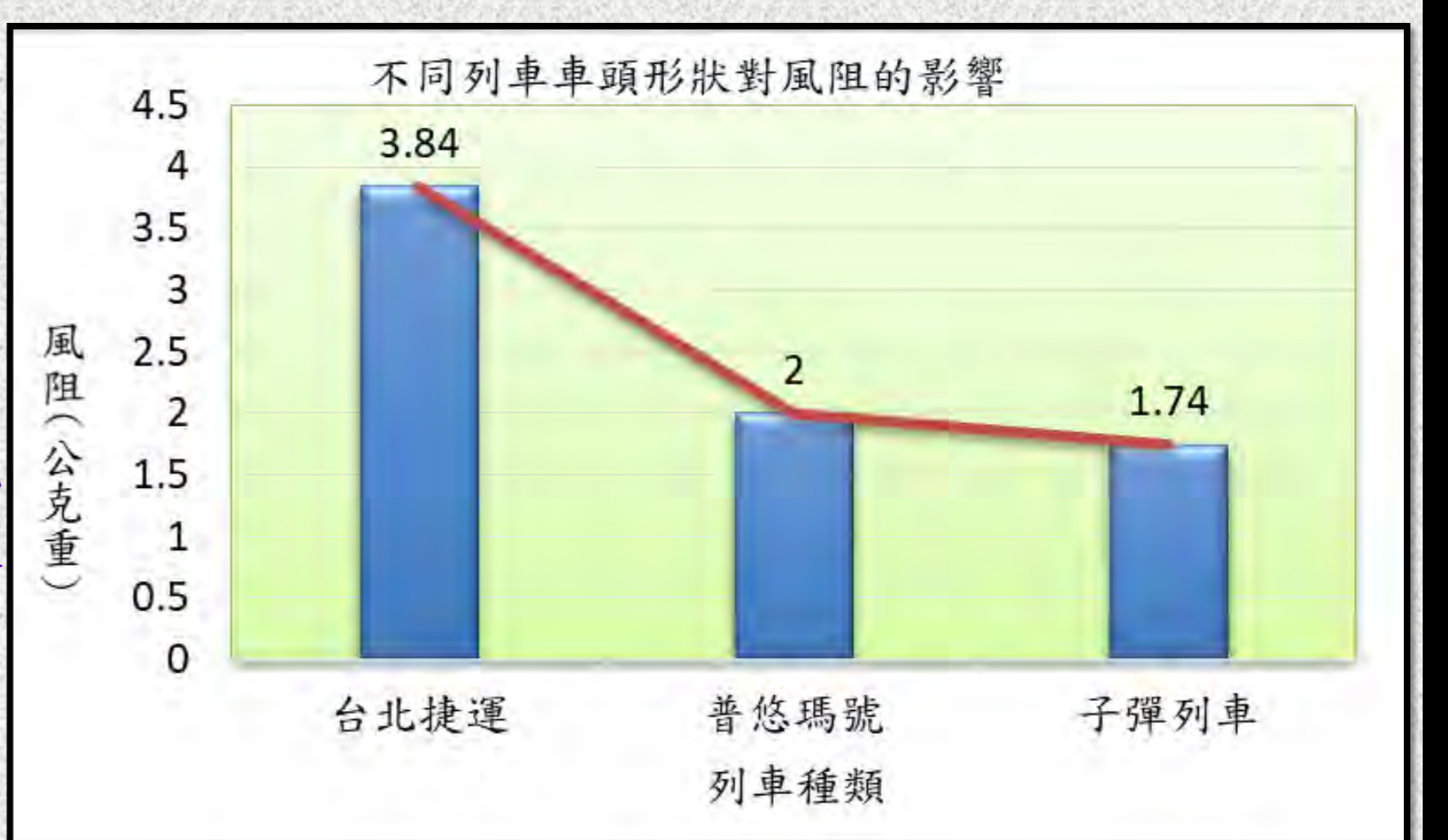
(四)實驗4：列車車頭形狀對風阻的影響

我們想要以列車車頭來應證我們對於風阻的想法，我們找了三種車速不同且外觀差異較大的列車車頭進行實驗，分別是台北捷運、普悠瑪號以及子彈列車。

實驗類別	變項	台北捷運		普悠瑪號		子彈列車	
		側面	俯視	側面	俯視	側面	俯視
列車車頭形狀	影像第1次						
	平均	3.84		2.00		1.74	





討論：

我們發現子彈列車的風阻最小，而台北捷運的風阻最大，從實驗中，可以發現車頭的形狀愈具流線形，空氣流動愈流暢，而捷運列車則因車頭平鈍，所以氣流會直接衝撞車頭，也就會形成較大的風阻。



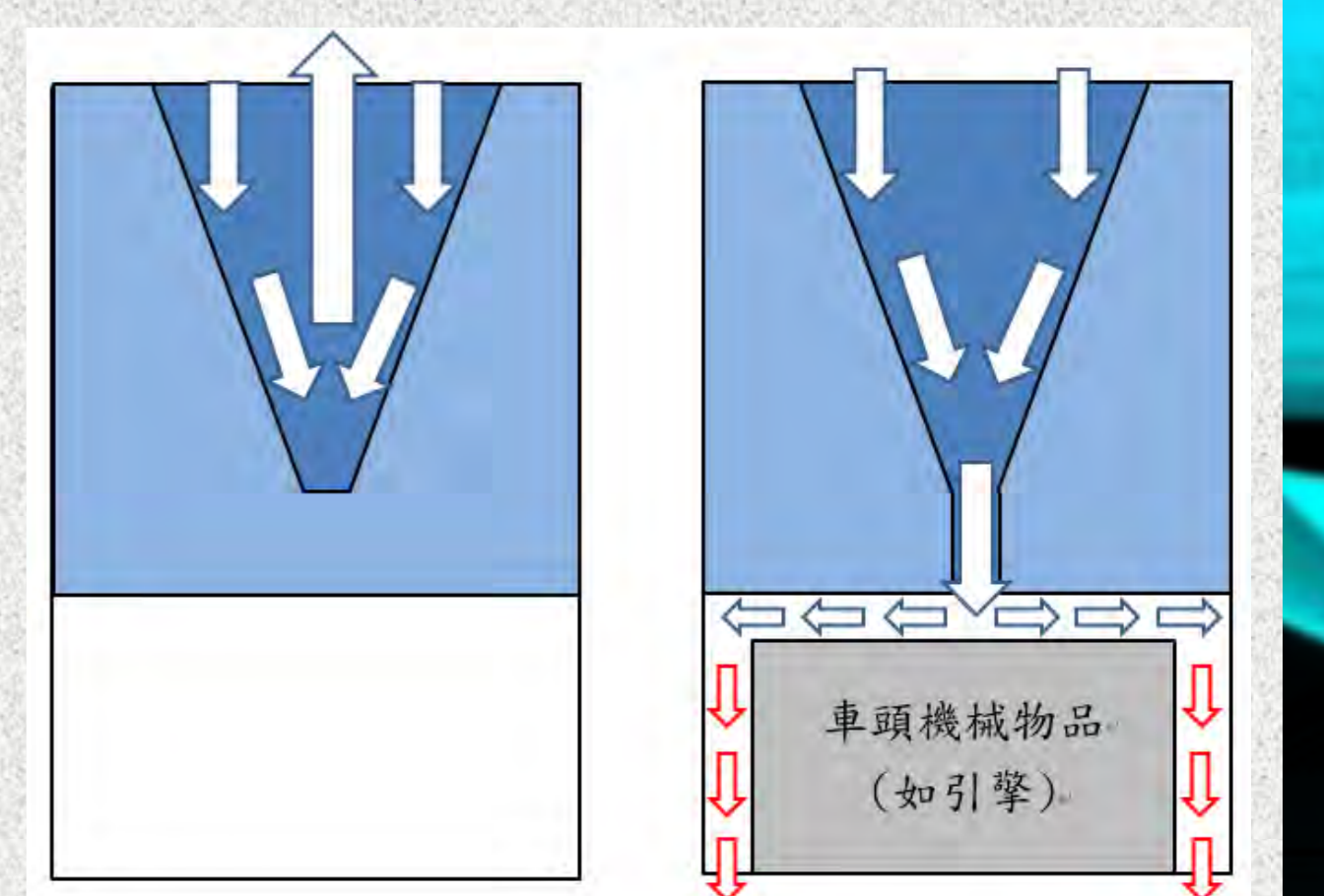
(五)實驗5：特製導流平面對風阻的影響

我們想要利用前面實驗所得到的結論，製造出風阻小又方正的外殼，所以比較下列四種狀態，(1)單純平面、(2)平面上製造多個45度錐狀凹洞、(3)在凹洞上穿出小洞、(4)在小洞後方放入圓柱體，模擬列車內其他機械(如引擎)，以探索這個想法的可行性。

實驗類別	變項	單純平面	錐狀凹洞	穿出小洞	放入圓柱體
前側尖端形狀	影像				
	平均	2.22	2.24	1.82	1.98





討論：

我們發現單純平面及有凹洞時，風阻沒有變化，代表氣流沒有出口，仍會對物體形成相同風阻；而將凹洞上穿小洞時，則風阻明顯降低，即使下方放入圓柱體，仍有降低風阻效果，因為氣流被引導至小孔流出。

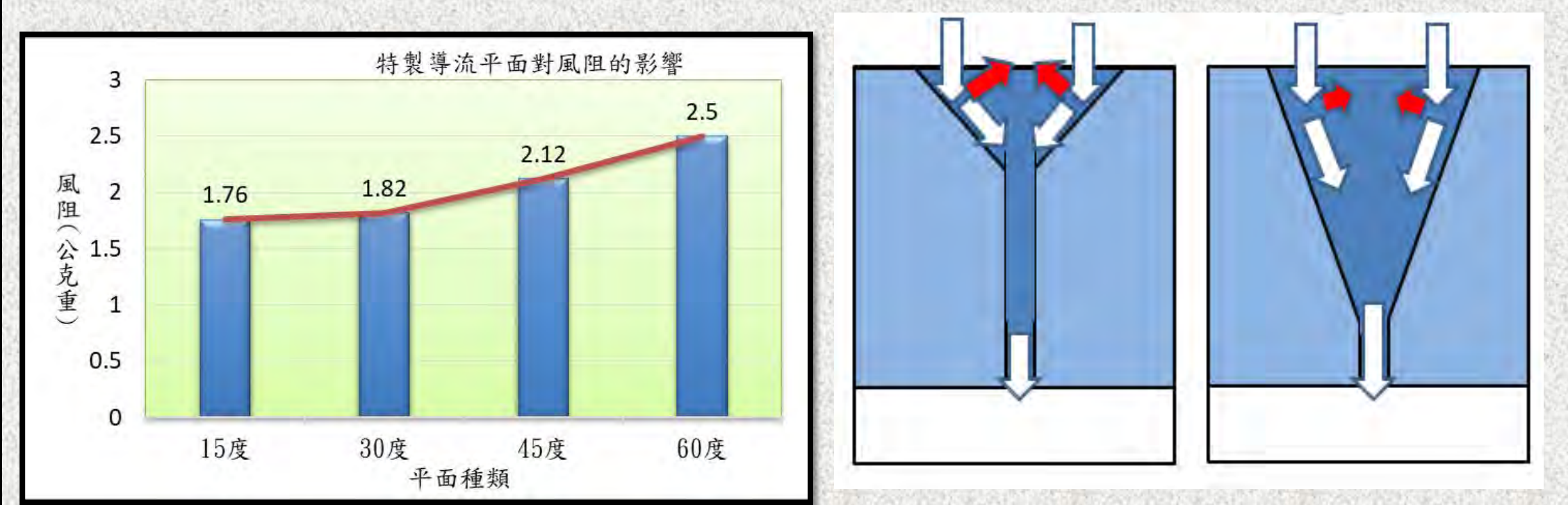


(六)實驗6：導流平面凹洞角度對風阻影響

承接實驗5，我們發現平面若有凹洞及穿孔可有效降低風阻，於是我們想進一步提升效果，改變凹洞的角度，分別為15度、30度、45度及60度，並且皆有7個凹洞及相同的穿孔，以探討凹洞角度對風阻的影響。

實驗類別	變項	15度	30度	45度	60度
水平間距	影像				
	平均	1.76	1.82	2.12	2.50

討論：從實驗結果中，我們發現凹洞的角度愈傾斜，則風阻愈低，15度時最小，但是我們也可以發現15度與30度的結果差異最小，也代表角度的改變對於風阻的降低有其極限。造成這個結果的原因，應該與實驗一相似，只是我們將這樣的傾斜平面改成是物體內部的凹洞，並保留整體外形的方正及完整。

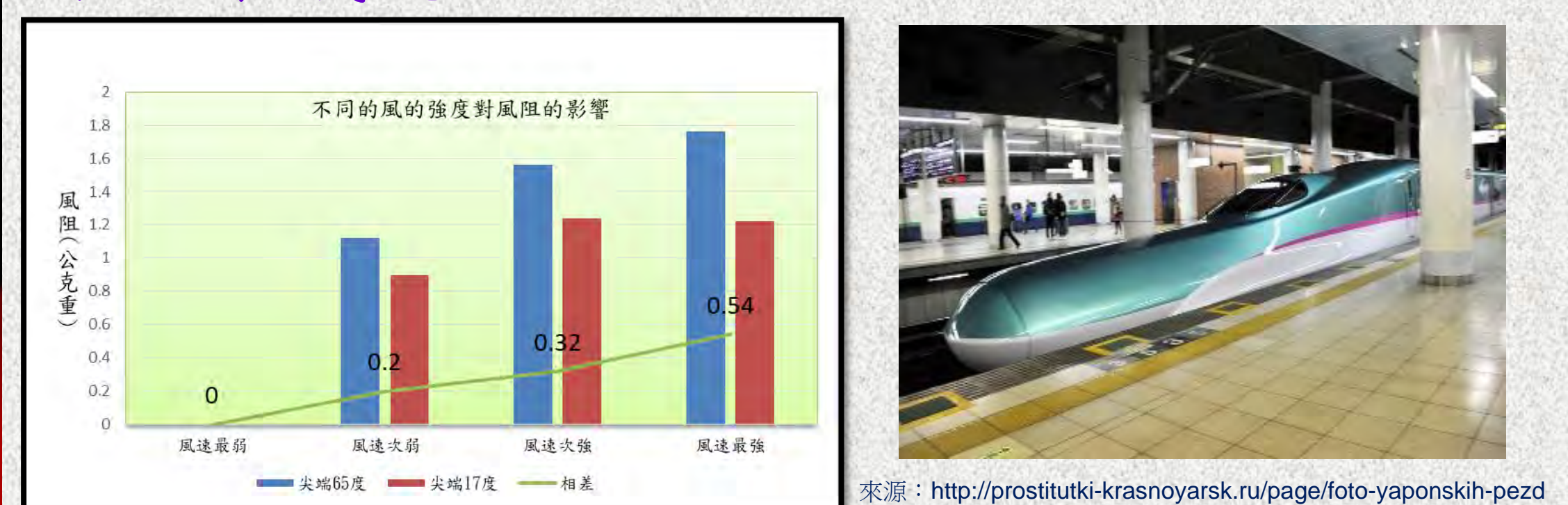


(七)實驗7：風的強度對風阻的影響

我們想探討物體不同形狀在不同外在環境中，對風阻的影響程度是否會改變，尤其是風速，所以將風速分為四個等級，測量尖端角度最鈍及最尖的物體之風阻差異。

實驗類別	變項	風速最弱		風速次弱		風速次強		風速最強	
風的強度		65度	17度	65度	17度	65度	17度	65度	17度
	平均	0	0	1.12	0.90	1.56	1.24	1.76	1.22
	差異	0	0	0.2	0.32	0.32	0.54	0.54	0.54

討論：從實驗結果中，我們發現當風力變強時，原本的物體形狀所造成的風阻差異將被擴大，因此我們也可以理解為何高速鐵路或日本的新幹線需要將列車車頭設計成流線形或扁平狀，因為這些列車的時速常常高達300公里以上，若車頭形狀設計不佳，則風阻會變的相當大，將產生巨大擾動氣流，可能造成車子晃動而釀成危險。

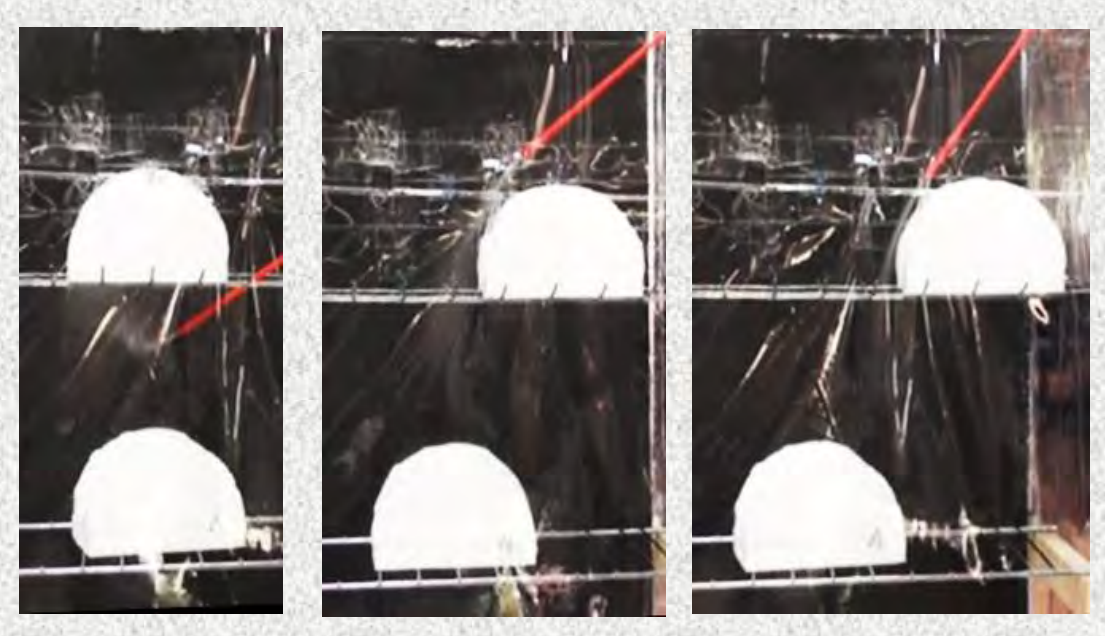
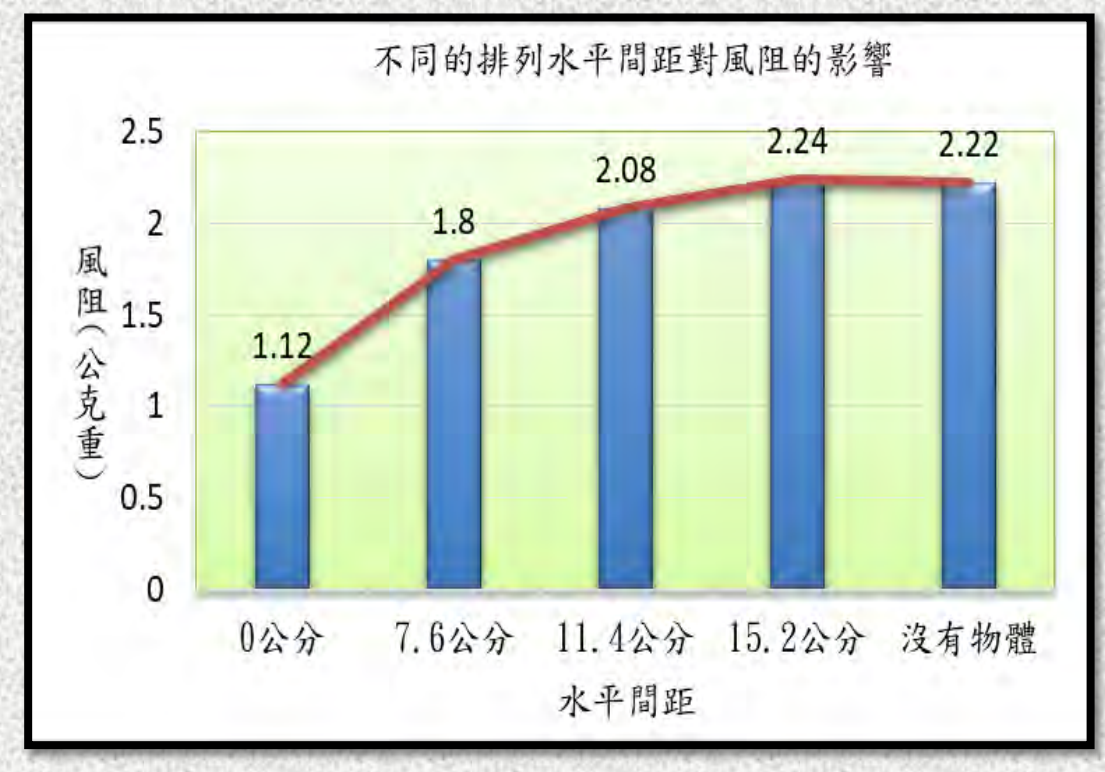


(八)實驗8：排列水平間距對風阻的影響

風阻的大小除了與物體本身的形狀有關，物體之間的相對位置也可能會影響，於是我們設計了本實驗，將二個相同的半圓形模型前後相距20公分，水平距離分別為0公分、7.6公分、11.4公分、15.2公分。

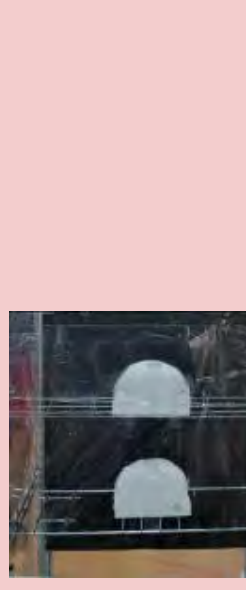



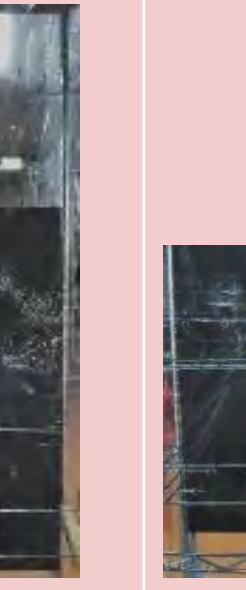
實驗類別	變項	0公分	7.6公分	11.4公分	15.2公分	前方沒有物體
水平間距	影像					
	平均	1.12	1.80	2.08	2.24	2.22

討論：兩個物體水平距離愈小，則後方物體風阻愈小，當水平距離過大，則風阻將與沒有前方物體時相近，實驗中我們看到二者水平距離為0時，中間氣流紊亂，對前方物體而言，形成真空區會增加風阻，後方物體則風阻變小，當二者水平距離加大，則此效應就減弱，後方物體風阻將再增加。

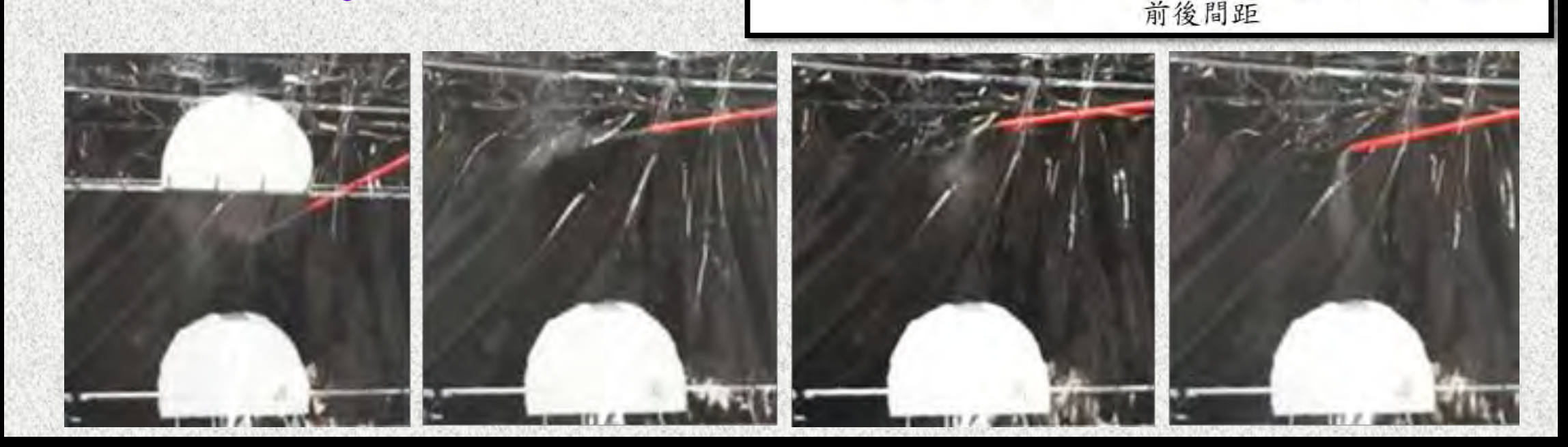


(九)實驗9：排列前後間距對風阻的影響

我們將二個相同的半圓形模型維持前後排列與風向平行，接著改變距離分別為20、40、60及80公分。







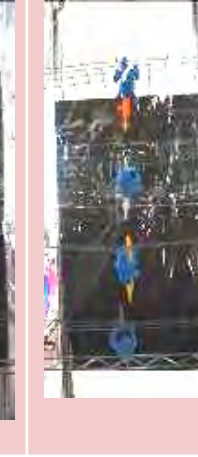
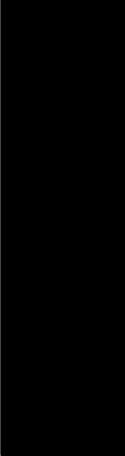
實驗類別	變項	20公分	40公分	60公分	80公分	前方沒有物體
前後間距	影像					
	平均	1.44	1.68	1.78	2.30	2.28

討論：二個物體前後距離接近時，後方物體之風阻會明顯減小，然而當二者距離過大時，其風阻將接近原始風阻，由實驗可觀察到二者距離愈小時，中間氣流無一定流向，風阻也隨之變小。



(十)實驗10：自行車隊形對風阻的影響

我們利用四個自行車模型，藉著不同的排列方式，以測量每位自行車手可能面對的風阻，我們運用排列組合方式，安排8種可能出現的狀態。

實驗類別	變項	隊形1	隊形2	隊形3	隊形4	隊形5	隊形6	隊形7	隊形8
自行車隊形	影像								
	平均	1.56	1.12	0.84	0.74	0.94	0.86	0.34	0.72

討論：當自行車單獨前進時，面對的氣流是當面直擊，會產生較大風阻。而當自行車組成固定隊形時，則後方自行車風阻相對降低，若在高速行駛下，風阻差異勢必大增，選手體力消耗將影響比賽成績。雖然前方有其它車可節省體力，但車距如果過近則考驗選手專注力，容易產生追撞情形。

