

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

第三名

080108

康達效應快現身～我「照」你！

學校名稱：嘉義縣朴子市大同國民小學

作者： 小六 張嘉芸 小六 黃婕瑜 小六 王瀨萱 小六 林芸而	指導老師： 邱鈺茜 曾馨儀
---	-----------------------------

關鍵詞：康達效應、附壁作用、紋影攝影

康達效應快現身～我「照」你！

摘要

本研究以紋影攝影裝置為實驗工具，拍攝氣流流經物體時其軌跡變化，過程中我們清晰的看見康達效應，證明氣流流經曲面時會改變原行進方向。且發現風源須與圓柱體維持適當距離，方可產生最明顯的康達效應。此外，當氣流流經柱體，其側面夾角小於 120° 時，所產生的康達效應最不明顯；夾角大於 135° 時較明顯；流經圓柱體時最明顯，其中當底部直徑大小與氣流範圍相當，康達效應尤其顯著。另外，氣流流經適當曲率的水滴形物體，可順流通過之；而流經不適當曲率的水滴形物體則會產生紊流，不過利用導流板便可改善此問題。最後，我們運用本研究結果，在冷氣機出風口設計了 S 型曲面導流板，優化氣流流動方式，達到較佳冷房效果。

壹、研究動機

上社團課時，老師介紹了世界第一高塔—杜拜哈里發塔（如圖 1-1），讓我們嘆為觀止的是一在阿拉伯沙漠環境與氣候條件皆惡劣的情況下，竟然能夠打造出 169 層樓高的摩天大樓，建築師們興建此大樓的構思肯定有獨到之處，該建築物才能榮獲「世界驚奇工程」的美譽。



圖 1-1 杜拜哈里發塔
（圖片取自網路）

同學們還發現大樓外觀，有許多類似圓柱體的結構，在老師說明下，我們初步了解這樣的結構，能夠降低強風對建築物的衝擊，並減少高樓風，此設計與康達效應有關。在好奇心驅使下，我們決定著手進行研究，以深入了解康達效應。首先，我們團隊一起組裝實驗設備、改良實驗量測工具，再利用紋影攝影技術（如圖 1-2）將不容易觀測的氣流，清清楚楚的變成可視化的影片與照片，期望我們的研究可讓大家「看到」受康達效應影響的氣流軌跡，並且試著進一步思考康達效應在生活中可能的應用。



圖 1-2 我們進行紋影攝影

貳、研究目的

- 一、實驗設備組裝及測試。
- 二、探討風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異。
 - 二-1 以紋影攝影進行研究。
 - 二-2 以燭火試驗進行驗證。
- 三、探討氣流流經不同柱體後是否產生康達效應。
- 四、探討氣流流經底部大小不同的圓柱體，所產生康達效應之差異。
- 五、探討氣流流經不同曲率的水滴形物體，所產生康達效應之差異。
- 六、探討氣流流經加裝整流片的小曲率水滴形物體後，所產生康達效應之差異。
- 七、思考康達效應氣流模式之應用_以室內空調模擬分析。

參、研究設備及器材

					
筆電	凹面鏡	手機	吹風機	腳架	模型屋
					
3D 列印柱體	ABS 模型板	鋁板	木板	飛機木	飛機木條
					
尼龍束帶	雙面膠	泡棉膠	捲尺	瞬間接著劑	直尺
					
打火機	蠟燭	剪刀	美工刀	鑽子	針頭

肆、研究過程、結果與發現

一、研究流程

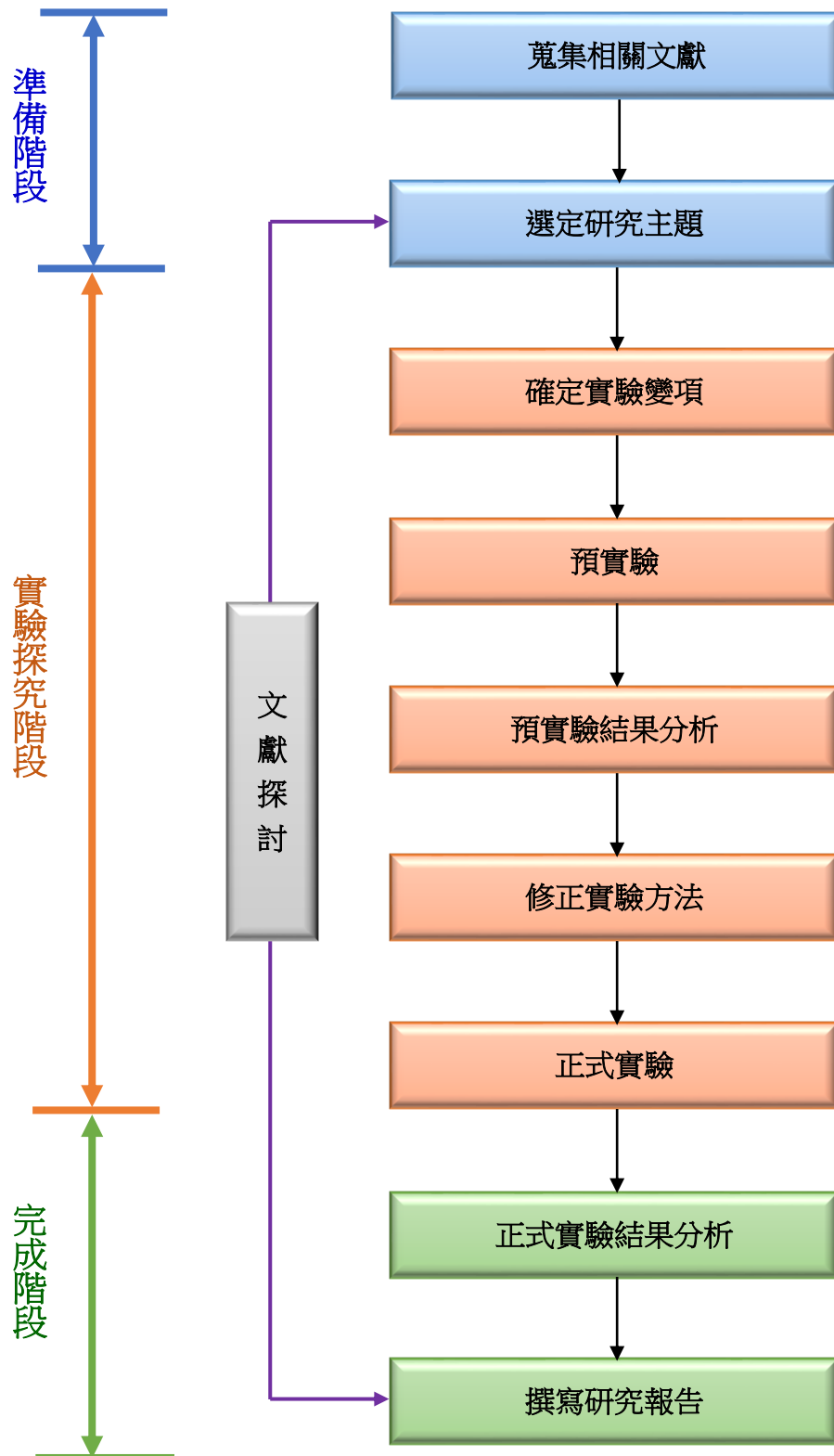


圖 4-1 研究流程圖

二、文獻探討

(一) 康達效應

此效應是由羅馬尼亞發明家、空氣動力學先鋒和現代噴氣式飛機之父—亨利·康達發現的，因而命名為**康達效應 (Coanda Effect)**，亦稱為**附壁作用**或**康德效應**，此效應指出如果平順流動的流體（水流或氣流）經過具有一定彎度的**凸表面**時，將會改變本來的運動方向，並且有隨著凸出物體表面流動的趨勢；此外，因為流體離開了本來的流動方向，還會使其周圍流體逸入此一噴流中，因而導致周圍形成壓力較低的區域。康達效應亦可解釋日常生活中的許多現象，例如乒乓球的漂浮、飛機升力等。

(二) 紋影攝影

紋影現象最早是由英國發明家羅伯特·胡克在 1665 年發現的，後來由德國科學家托普勒製造出第一個紋影攝影裝置，此技術可以拍攝到平時肉眼看不到的氣流型態，其原理是將氣流對光波的擾動，轉化為可被看見的圖像，究其詳細原因，乃是因為當局部空間的**氣體密度**發生改變時，通過此空間的光會產生**折射**，再經凹面鏡反射後，便無法返回原來的光點位置，因此會在鏡子上形成**暗斑**，進而影響相機中鏡子的明暗變化。

以圖 4-2 為例，當點光源（橘色路徑）通過點燃的蠟燭時，因為熱空氣的折射率與周圍冷空氣的折射率不同，光線會發生輕微的彎曲（紅色路徑），經凹面鏡反射的光線（藍色路徑），又因**擋板**阻礙，無法與原光束的行進路徑一樣進入相機成像，因此在相機內形成有明有暗的影像。本研究將採用此紋影攝影技術，更精準的掌握、觀察氣流經過不同阻礙物後產生的細微變化。

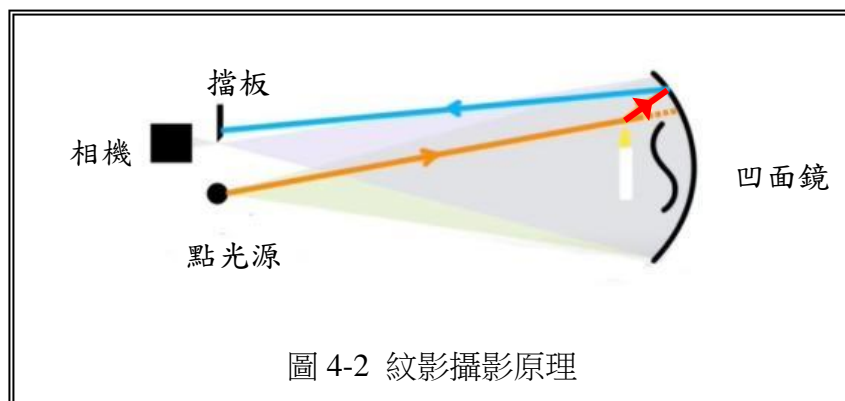


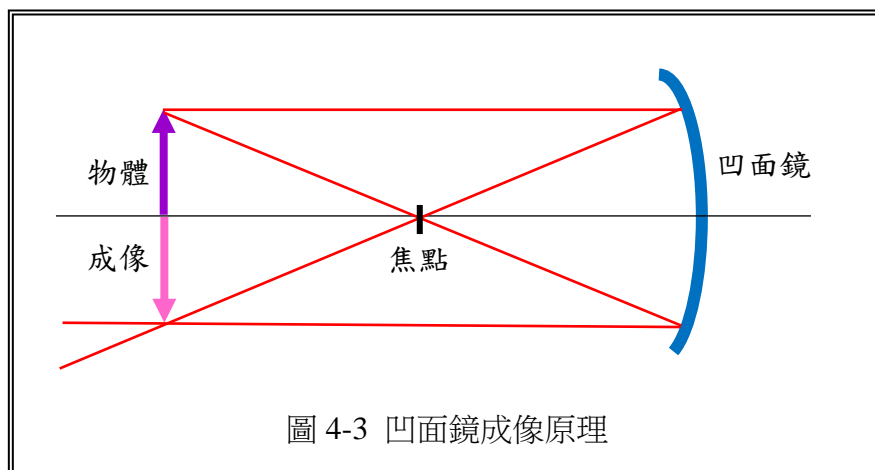
圖 4-2 紋影攝影原理

此外，關於凹面鏡成像原理，其中的兩條特殊光線の入射、反射路徑為：

1、平行於主軸的光線，經凹面鏡反射後會通過焦點。

2、通過焦點的入射光線，其反射光線平行於主軸。

由圖 4-3 可知，物體若置於凹面鏡的 2 倍焦距處，其成像為倒立且位於 2 倍焦距處。因此本研究採用最佳利器—手機進行實驗，讓手機的點光源位在 2 倍焦距處發光，經反射後順利於 2 倍焦距處的手機鏡頭裡成像，可使實驗過程更加有效率。



(三) 歷屆全國科展相關之研究內容

屆別組別	作品名稱	研究工具與方法
第 62 屆 國小組	風到哪裡去了一氣流附壁作用之探討	以吹風機吹向障礙物，藉由觀察流蘇飄動的區間角度與乾冰流動情形，來探究康達效應。
第 62 屆 國小組	御風而行的關鍵角度	以煙餅從風洞吹出煙霧後，錄影觀察含煙的風吹動帆的情形，並根據康達效應探討帆船行進速度之差異。
第 56 屆 國小組	風起，再造飛機去追風	利用煙流模擬實驗來驗證康達效應的存在，並探討白努力定律和康達效應對於飛機升力的影響。

三、研究方法、結果與發現

為求準確觀測氣流軌跡，我們查閱許多文獻，歷經長時間的測試，從使用風洞搭配煙霧進行測試，到採用紋影攝影觀察，過程中還不斷改良許多細節，最後建立一套精準、有效率的測量工具與方式。藉此，我們將氣流流經不同形體阻礙物後的氣流軌跡，變成可視化的圖形，並進一步佐以其他實驗驗證，不僅提升本研究的可信度，也期望我們可將本研究工具與結果，運用到改善人類的日常生活。

實驗一、實驗設備組裝及測試。

1. 第一代量測工具

如圖 4-4，我們先採用煙霧通過風洞來研究康達效應，卻發現測試狀況不穩定，通過風洞的煙霧，在流經待測物時，會時有時無，且不明顯，肉眼直接觀察時既不方便也不精準，於是我們便著手進行第二代量測工具的開發與設計。



圖 4-4 風洞測試法

2. 第二代量測工具

在我們發想著如何改良第一代量測工具時，突然想起 COVID-19 病毒肆虐期間，曾看過科學家採用紋影攝影技術研究受測者有否戴口罩，其咳嗽、打噴嚏後，飛沫與氣流噴發的狀況。

如圖 4-5，該影片中氣流清晰的畫面給了我們很大的靈感，因此我們決定針對紋影攝影技術進行文獻探討，並準備相關實驗器材：凹面鏡

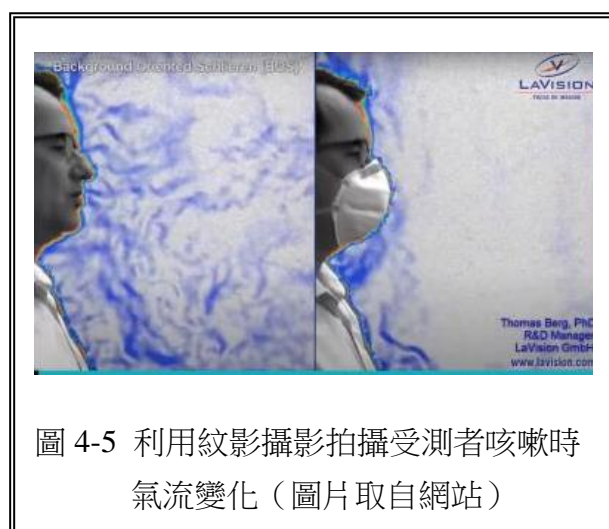


圖 4-5 利用紋影攝影拍攝受測者咳嗽時氣流變化（圖片取自網站）

（203mm 口徑、75mm 焦距、18mm 厚度，表面鍍鋁膜和保護膜）、鏡座（3D 打印，PLA 材質，擰上螺絲固定）、i-Phone14 Pro max 手機、腳架等工具以進行實驗。

3. 第三代量測工具

(1) 改良點光源與進光量

當決定以手機為拍攝工具時，發現所拍攝的紋影照片如圖 4-6，不僅亮度太高，而且明暗效果不佳。我們認為若能讓因氣流擾動而折射的光線，無法全部直接進入小光圈內，即可獲得黑白分明的紋影照片，因此我們決定將光源改變為點光源，以及縮小鏡頭的進光量。

首先，我們準備打火機燃燒針頭，刺穿不透明的塑膠片，形成圓形孔狀後，再貼於手機光源與鏡頭（如圖 4-7），所拍攝到的清晰影像，果然使我們更容易觀察到空氣的流動狀態（如圖 4-8）。

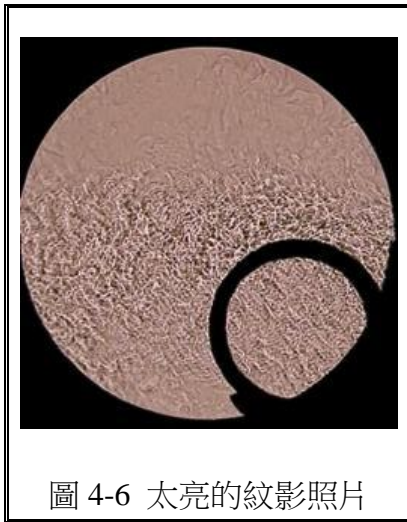


圖 4-6 太亮的紋影照片



圖 4-7 改良點光源與鏡頭



圖 4-8 亮度適中的紋影照片

(2) 設計多功能支撐架

在試驗第二代量測工具時，會發現待測物不同或欲觀察的部位不同，支撐待測物的支撐架其位置也得隨之調整，否則會發生支撐架的陰影遮蔽了氣流影像的窘境。於是我們設計了多功能的支撐架，在不同的情形可以任意改變最佳化的支撐角度，如此一來，讓我們的紋影攝影效果大為提升（如圖 4-9 和圖 4-10）。

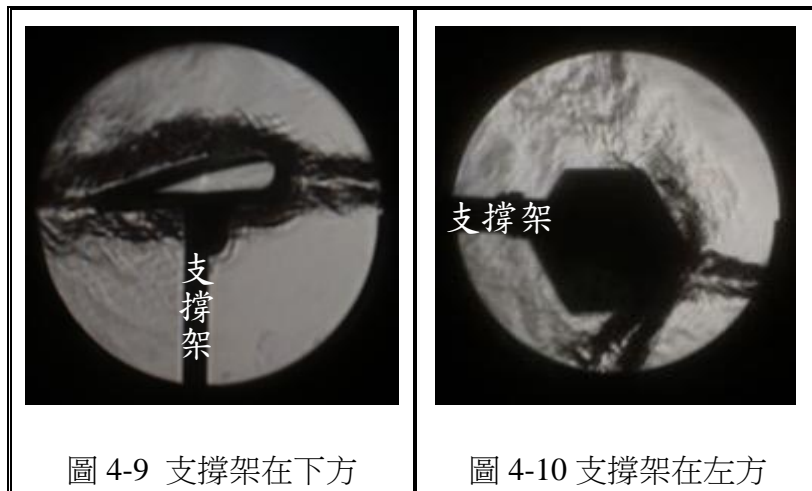


圖 4-9 支撐架在下方

圖 4-10 支撐架在左方

(3) 改良吹風機吹口

本研究以吹風機為提供氣流的來源，一開始吹口處沒加上任何吹嘴，我們發現氣流擾動範圍太大，導致畫面陰暗處過多（如圖 4-11），不利於觀測；後來我們試著加上短吹嘴與長吹嘴，集中氣流範圍，其結果如圖 4-12 與圖 4-13，證明了以長吹嘴導流後，其紋影攝影效果最佳，因此本研究採用吹風機搭配長吹嘴進行實驗。

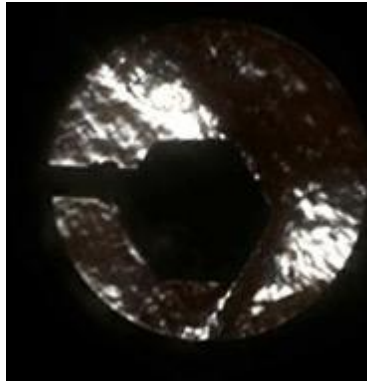


圖 4-11 無吹嘴的紋影

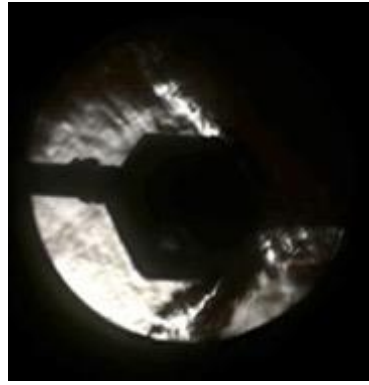


圖 4-12 短吹嘴的紋影

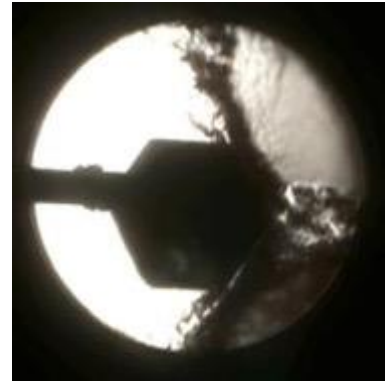


圖 4-13 長吹嘴的紋影

(4) 選擇合適的氣流溫度

本研究所使用的吹風機提供了三種不同溫度的氣流，分別為常溫 30°、微溫 52°、高溫 70°。如圖 4-14、4-15、4-16，我們以此三種溫度進行實驗，發現 30°與 70°的氣流所形成的紋影畫面明暗不分明，而以 52°的氣流產生的紋影效果最為清晰，故本研究後續的實驗將採用微溫 52°的氣流進行測試。

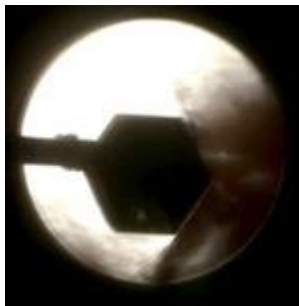


圖 4-14 30°氣流的紋影

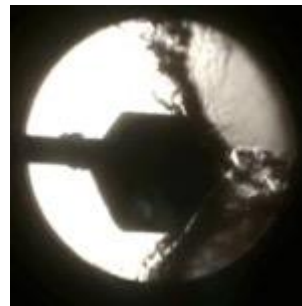


圖 4-15 52°氣流的紋影

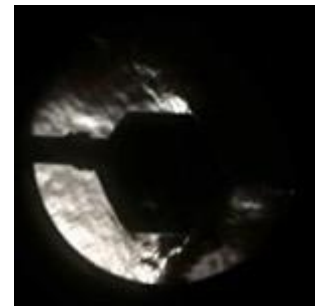


圖 4-16 70°氣流的紋影

實驗二-1、探討風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異（以紋影攝影進行研究）。

一、實驗步驟

- (一) 以厚度 1mm 的 ABS 模型板製作出底部半徑為 4 cm、高 10cm 的圓柱體，並固定於支撐架上。
- (二) 將吹風機放置在距離圓柱體前緣 0.5cm、4cm、8cm、12cm、16cm、20cm、24cm、28cm 和 32cm 處，並以吹風機提供氣流。

(三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形。

(四) 利用圓形量角器 PNG 檔量測氣流流動軌跡，並記錄之。

二、設計量測氣流運動軌跡的工具與方法

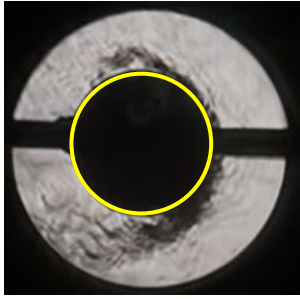

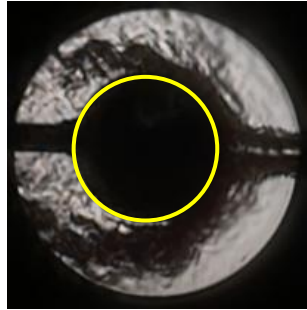
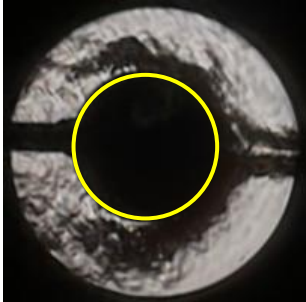
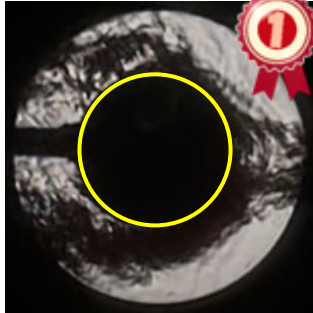
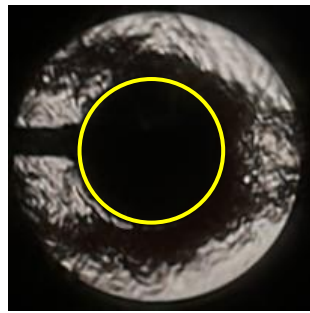
(一) 將圖 4-17 中的量角器圖片檔，疊到所拍攝的紋影照片上，且圓形量角器的大小調整與圓柱體底部圓形大小一樣。

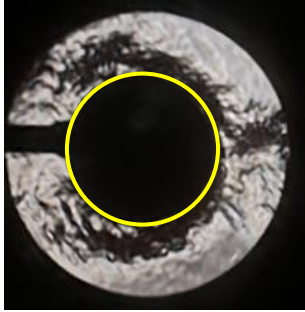
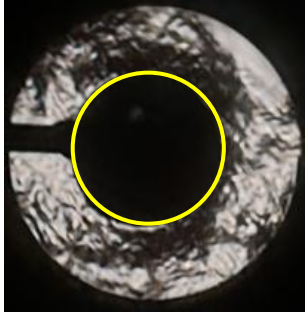
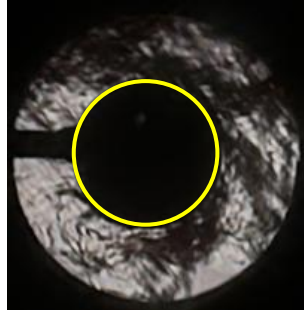
(二) 分別量測出圓形上半部分與下半部分氣流流動的軌跡，最後將兩個軌跡角度加總，以作為判斷氣流附壁程度之依據。



三、實驗結果

表 4-1 風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異一覽表

	風源與柱體距離 0.5cm	風源與柱體距離 4cm	風源與柱體距離 8cm
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	由 0° 繞到 60°	由 0° 繞到 80°	由 0° 繞到 100°
下半部氣流軌跡	由 0° 繞到 75°	由 0° 繞到 90°	由 0° 繞到 75°
氣流附壁程度	135°	170°	175°
	風源與柱體距離 12cm	風源與柱體距離 16cm	風源與柱體距離 20cm
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	由 0° 繞到 95°	由 0° 繞到 130°	由 0° 繞到 120°
下半部氣流軌跡	由 0° 繞到 85°	由 0° 繞到 155°	由 0° 繞到 105°
氣流附壁程度	180°	285°	225°

	風源與柱體距離 24cm	風源與柱體距離 28cm	風源與柱體距離 32cm
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	由 0°繞到 90°	由 0°繞到 110°	由 0°繞到 90°
下半部氣流軌跡	由 0°繞到 95°	由 0°繞到 70°	由 0°繞到 65°
氣流附壁程度	185°	180°	155°

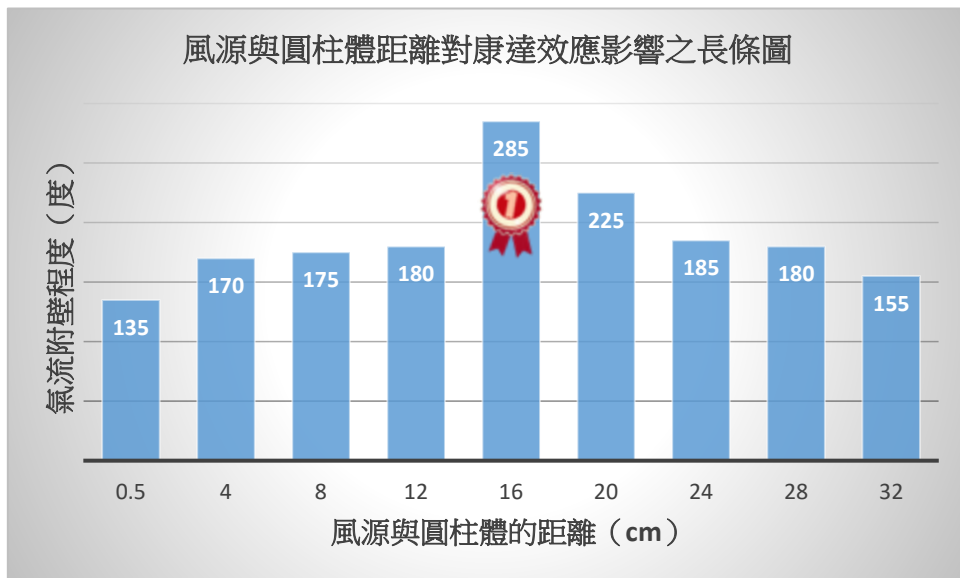


圖 4-18 風源與圓柱體距離對康達效應影響之長條圖

四、實驗發現

- (一) 當風源與圓柱體的距離太近 (小於 16cm) 時，可發現氣流流經圓柱體後半部分時，附壁作用較不顯著。
- (二) 當風源與圓柱體的距離恰當 (大約 16cm) 時，可見到氣流從接觸圓柱體至繞過圓柱體，有相當明顯的附壁效果。
- (三) 當風源與圓柱體的距離過遠 (大於 16cm)，因為氣流接觸到圓柱體時，風力已經削弱不少，流經圓柱體後方時會產生紊流，附壁作用也隨之減少。

五、延伸思考

我們為了進一步確認紋影照片的結果，決定在圓柱體後方放置點燃的蠟燭，希望透過氣流熄滅燭火的情形，驗證本實驗的發現。

實驗二-2、探討風源與柱體距離不同，所產生康達效應之差異（以燭火試驗進行驗證）。

一、實驗步驟

- (一) 以厚度 1mm 的 ABS 模型板製作出底部半徑為 4 cm、高 10cm 的圓柱體。
- (二) 如圖 4-19，將圓柱體與蠟燭排列成一直線，蠟燭與圓柱體距離依序為 4cm、8cm、12cm、16cm、20cm、24cm、28cm、32 cm。
- (三) 將吹風機放置在距離圓柱體前緣 0.5cm、4cm、8cm、12cm、16cm、20cm、24cm、28cm 和 32cm 處，提供以吹風機提供所需氣流。
- (四) 觀察蠟燭熄滅狀況，並記錄之。

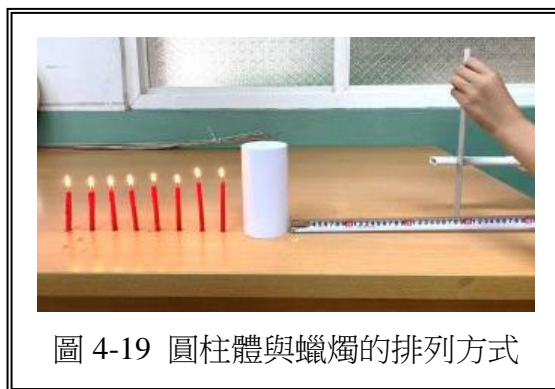


圖 4-19 圓柱體與蠟燭的排列方式

二、實驗結果

表 4-2 風源與圓柱體距離不同影響蠟燭熄滅根數之一覽表

風源與柱體的距離 \ 蠟燭	第1根	第2根	第3根	第4根	第5根	第6根	第7根
0.5cm	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
4cm	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
8cm	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
12cm	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
 16cm	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
20cm	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
24cm	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
28cm	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
32cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註. 「✓」代表蠟燭繼續燃燒；「✗」代表蠟燭熄滅。

三、實驗發現

- (一) 風源與圓柱體的距離為 16 cm 時，其康達效應最顯著，氣流可繞至柱體後方，熄滅的蠟燭為第 1 根至第 5 根。
- (二) 當風源與圓柱體的距離介於 8 至 14 cm 時，熄滅的蠟燭從第 1 根至第 3 或第 4 根。
- (三) 當風源與圓柱體的距離小於 4 cm 或大於 28 cm 時，氣流的附壁效果差，皆無法熄滅柱體後方的第 1 根蠟燭。
- (四) 當風源與柱體的距離大於 16 cm 時，蠟燭熄滅的數量會隨距離逐漸遞減，可見風源與圓柱體的距離過大，氣流流至柱體後方時，其風速已經削減，氣流熄滅蠟燭的能力也隨之減弱。

四、延伸思考

由實驗二-1 與二-2 可得知，當風源與圓柱體間的距離適當時，可產生明顯的康達效應。於是我們立基於此研究結果，想在實驗三中進一步探討當氣流流經不同形狀的柱體，例如正三角柱體、正四角柱體、正五角柱體等，是否都會產生康達效應呢？

實驗三、探討氣流流經不同柱體後是否產生康達效應。

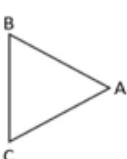
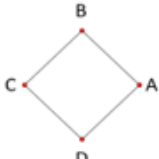
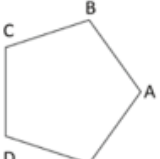
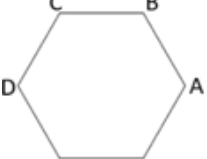
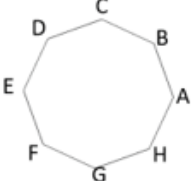
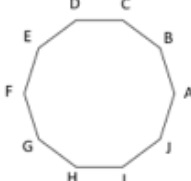
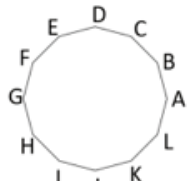
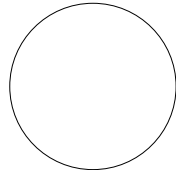
一、實驗步驟

- (一) 使用厚度 1mm 的 ABS 模型板，製作底部為半徑 4cm 的外接圓正多邊形柱體（正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱、正八角柱、正十角柱、正十二角柱）及底部為半徑 4cm 圓形的圓柱，共八個柱體，依序固定於支撐架上。
- (二) 將吹風機放置距離柱體前緣 16cm 處，並以氣流吹向柱體的側稜與側面。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形。
- (四) 利用半圓形量角器 PNG 檔量測氣流流動軌跡。

二、設計量測氣流運動軌跡的工具與方法

- (一) 吹風機由右端吹向柱體側稜時，其二維平面圖上的頂點，按逆時鐘方向依序命名為 A、B、C……，如表 4-3。

表 4-3 各柱體進行紋影攝影時，其二維平面的頂點之命名與內角角度

			
正三角柱 內角： 60°	正四角柱 內角： 90°	正五角柱 內角： 108°	正六角柱 內角： 120°
			
正八角柱 內角： 135°	正十角柱 內角： 144°	正十二角柱 內角： 150°	圓柱

(二) 量角器中心點對齊紋影攝影照片中的 A 頂點，量角器放置處如圖 4-20，並以上方零刻度線為 0° ，下方零刻度線為 180° 。

(三) 量測氣流運動軌跡的角度變化，並記錄之。以圖 4-20 為例，在上半部，氣流軌跡僅單純沿逆時針往 AB 線段側面往量角器 60° 的方向運動，因此記錄為： 60° 。以圖 4-21 為例，在上半部，氣流沿逆時針 AB 線段側面往量角器 20° 的方向運動，轉向至 BC 線段側面往量角器 55° 的方向，再轉向至 CD 線段側面往量角器 70° 的方向，因此記錄為： $20^\circ \rightarrow 55^\circ \rightarrow 70^\circ$ 。此記錄數據可呈現氣流繞行柱體的程度。

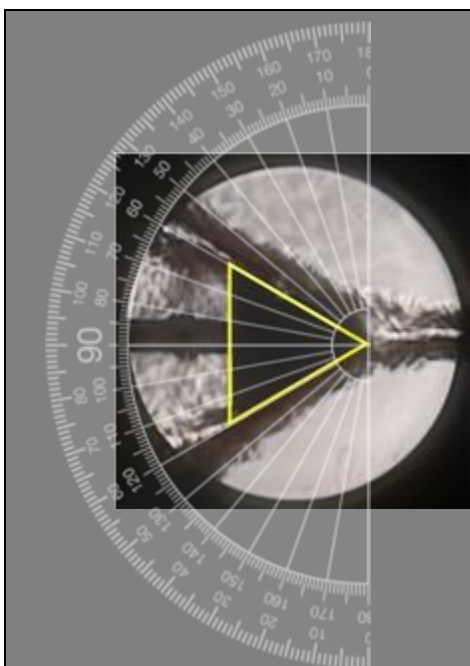


圖 4-20 以量角器觀測氣流軌跡

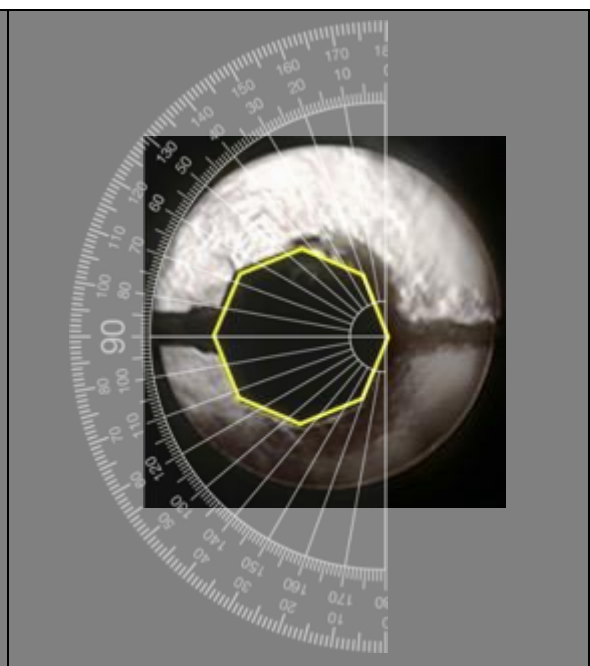
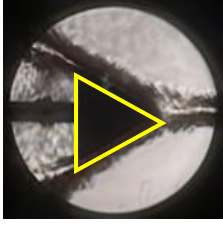
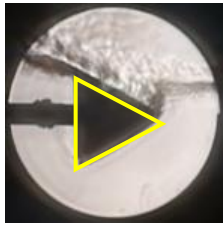
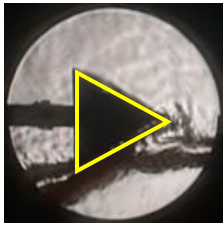


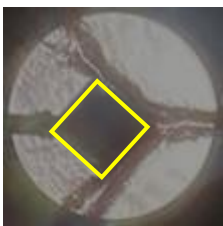
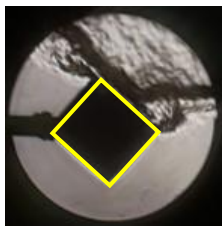
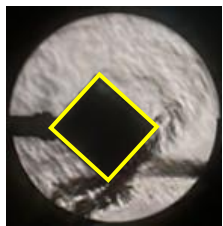
圖 4-21 以量角器觀測氣流軌跡

三、實驗結果與發現

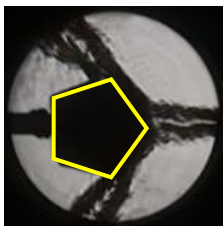
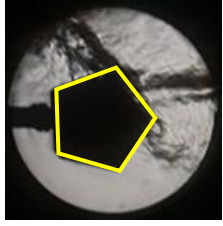
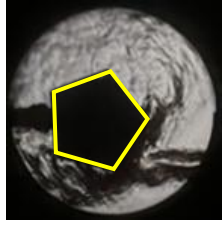
(一) 正三角柱

氣流軌跡圖	朝側稜直吹 	朝側稜上方的面吹 	朝側稜下方的面吹 
上半部氣流軌跡	60°	60°	無氣流
下半部氣流軌跡	120°	無氣流	120°
【小結】 1、吹風機吹口對準 A 頂點時，氣流在流經三角柱體時，的確會沿著柱體的側面流動，且上下氣流維持朝 60° 及 120° 的方向直線行進。 2、吹風機朝向柱體 AB 線段側面的中點及 AC 線段側面的中點吹時，氣流沿著柱體的側面流動，當離開柱體時，維持朝 60° 及 120° 的方向直線行進。			

(二) 正四角柱

氣流軌跡圖	朝側稜直吹 	朝側稜上方的面吹 	朝側稜下方的面吹 
上半部氣流軌跡	45°	45°	無氣流
下半部氣流軌跡	135°	無氣流	135°
【小結】 1、氣流流經正四角柱體時，會沿著柱體的側面流動。 2、氣流離開柱體側面後，分別朝向量角器 45° 及 135° 的方向直線行進。			

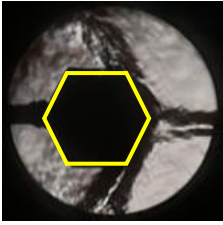
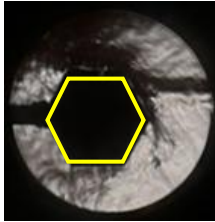
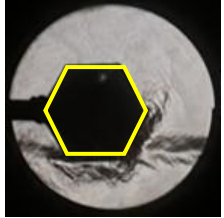
(三) 正五角柱

氣流軌跡圖	朝側稜直吹 	朝側稜上方的面吹 	朝側稜下方的面吹 
上半部氣流軌跡	30°	30°→40°	無氣流
下半部氣流軌跡	150°	無氣流	135°→130°

【小結】

- 1、氣流流經正五角柱體時，會沿著柱體的 AB 線段側面與 AE 線段側面流動。
- 2、氣流離開柱體 AB 線段側面與 AE 線段側面後，分別朝向 40°及 130°的方向直線前進。

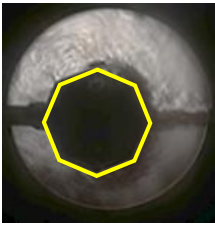
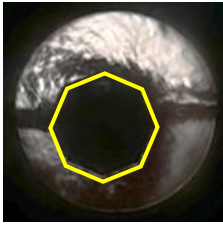
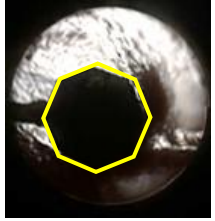
(四) 正六角柱

	朝側稜直吹	朝側稜上方的面吹	朝側稜下方的面吹
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	30°	30°→65°	無氣流
下半部氣流軌跡	150°	無氣流	150°→120°

【小結】

- 1、吹風機對準頂點 A 側稜吹時，氣流會沿著柱體的 AB 線段側面與 AF 線段側面流動，兩股氣流分別通過 B、F 側稜後，氣流分別朝向 30°及 150°的方向直線前進。
- 2、對準 AB 線段及 AF 線段側面的中點吹時，氣流會沿著 AF 線段側面再轉 FE 線段側面流動，並於角柱 C 點側稜及 E 點側稜離開角柱，分別朝向 65°及 120°的方向直線前進。

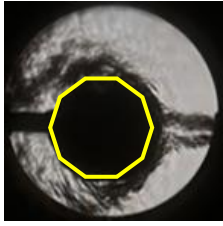
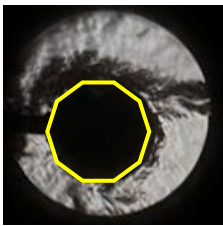
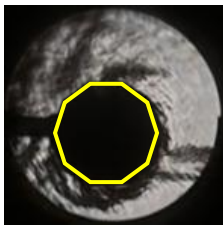
(五) 正八角柱

	朝側稜直吹	朝側稜上方的面吹	朝側稜下方的面吹
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	20°→50°→70°	20°→55°→70°	20°→30°
下半部氣流軌跡	160°→125°→110°	160°→125°	125°→115°→85°

【小結】

- 1、對準頂點 A 側稜吹時，氣流會沿著柱體的 AB 線段側面 (AH 線段側面) 及 BC 線段 (HG 線段) 側面流動，兩股氣流分別通過 C、G 側稜後離開角柱，並朝向 70°及 110°的方向前進，有明顯的附壁作用。
- 2、對準 AB 線段及 AH 線段側面的中點吹時，氣流也會分成上下兩股，皆會沿著柱體側面流動，不同的是，當氣流偏向 A 點側稜上方吹時，則往上方流動的氣流較往下來得大，反之亦然，而上下氣流離開角柱時皆產生路徑偏移，有明顯的附壁作用。
- 3、氣流較強的那側，朝向 70°及 85°的方向前進；氣流較弱的那側，則朝向 30°及 125°的方向前進。

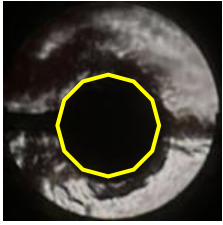
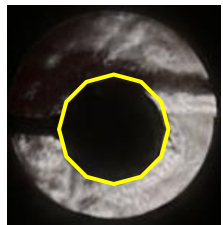
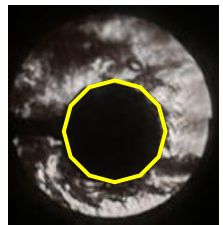
(六) 正十角柱

	朝側稜直吹	朝側稜上方的面吹	朝側稜下方的面吹
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	20°→45°→65°→80°	20°→45°→65°→85°	20°
下半部氣流軌跡	160°→135°→115°→100°	165°	160°→135°→115°→95°→80°

【小結】

- 1、對準頂點A側稜吹時，氣流會沿著柱體的 AB 線段（AJ 線段側面）、BC 線段（JI 線段）側面、CD 線段（IH 線段）及 DE 線段（HG 線段）等四個側面流動，兩股氣流分別通過 E 點及角柱 G 點側稜後離開角柱，朝向 80°及 100°的方向前進，有明顯的附壁作用。
- 2、對準 AB 線段及 AJ 線段側面的中點吹時，氣流也會分成上下兩股，皆會沿著柱體側面流動，不同的是，當氣流偏向 A 點側稜上方吹時，則往上方流動的氣流較往下來得大，反之亦然。
- 3、氣流較強的那側，朝向 85°及 80°的方向前進；氣流較弱的那側，則朝向 20°及 165°的方向前進。

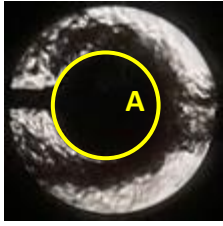
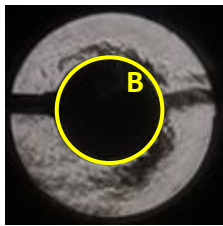
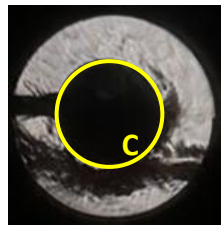
(七) 正十二角柱

	朝側稜直吹	朝側稜上方的面吹	朝側稜下方的面吹
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	15°→35°→55°→70°→90°	55°→70°→90°→110°	無氣流
下半部氣流軌跡	165°→145°→125°→110°→90°	無氣流	125°→110°→90°→70°

【小結】

- 1、對準頂點A側稜吹時，氣流會沿著柱體的 AB 線段（AL 線段）、BC 線段（LK 線段）、CD 線段（KJ 線段）、DE 線段（JI 線段）及 EF 線段（IH 線段）等五個側面流動，兩股氣流分別通過 F、H 側稜後離開角柱，上下氣流在繞行柱體半圈後，朝向 90°的方向前進，有明顯的附壁作用。
- 2、對準 BC 線段及 LK 線段側面的中點吹時，當氣流偏向 B 點側稜上方吹時，則氣流往上方流動；當氣流偏向 L 點側稜下方吹時，則氣流往下方流動，而上下氣流離開角柱時，分別朝向 110°及 70°的方向前進，有明顯的附壁作用。

(八) 圓柱

氣流軌跡圖	朝圓柱正中央直吹 	朝圓柱上方吹 	朝圓柱下方吹 
上半部氣流軌跡	由 0°繞到 70°	由 0°繞到 90°	由 0°繞到 20°
下半部氣流軌跡	由 180°繞到 105°	由 180°繞到 150°	由 180°繞到 100°

【小結】

- 吹風機吹口對準圓柱體 A 點側面處吹時氣流通過圓柱 A 點側面後，沿著圓柱體側面上下流動，分別朝向 70°及 105°的方向前進，有非常明顯的附壁作用。
- 吹風機吹口對準圓柱體 B 點側面處吹時氣流通過圓柱 A 點側面後，沿著圓柱體側面上下流動，分別朝向 90°及 150°的方向前進，有非常明顯的附壁作用。
- 吹風機吹口對準圓柱體 C 點側面處吹時氣流通過圓柱 A 點側面後，沿著圓柱體側面上下流動，分別朝向 20°及 100°的方向前進，有非常明顯的附壁作用。

根據以上實驗結果，我們依氣體朝正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱、正八角柱、正十角柱、正十二角柱的正中間、偏上方、偏下方吹之後，其氣流改變運動軌跡的角度，分別繪成以下三張折線圖：

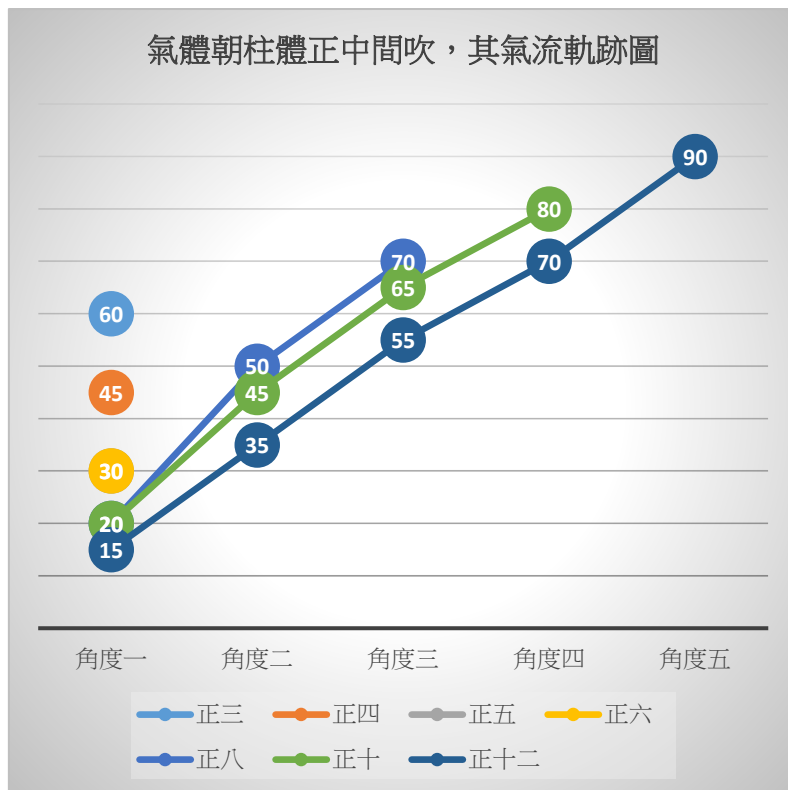


圖 4-22 氣體朝柱體正中間吹，其氣流軌跡圖



圖 4-23 氣體朝柱體偏上方吹，其氣流軌跡圖

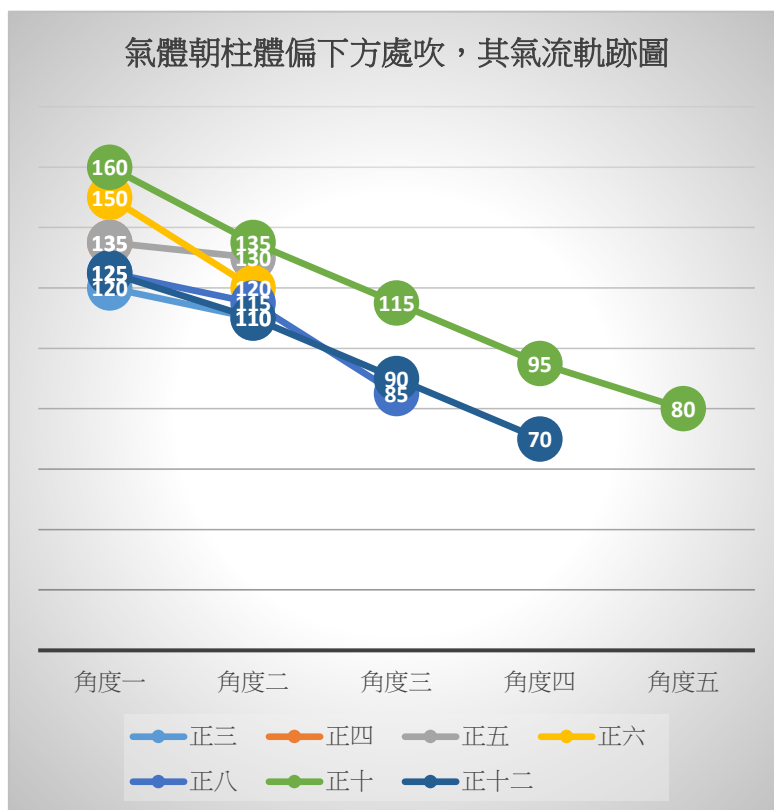


圖 4-24 氣體朝柱體偏下方吹，其氣流軌跡圖

【小結】

- 1、綜上實驗照片與數據，可發現氣流經正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱較無明顯的附壁作用；流經正八角柱、正十角柱、正十二角柱，則有較明顯的附壁作用。進一步再將正八角柱、正十角柱、正十二角柱與圓柱體的紋影圖片相比，可發現氣流流經圓柱體的附壁作用最明顯。
- 2、本實驗的結果彙整吹風機朝柱體側稜吹的紋影攝影圖片，而吹風機朝柱體側面吹的照片彙整於實驗記錄本中。我們發現無論吹風機朝側稜吹或朝側面吹，都獲得相同的結論。

四、延伸思考

我們發現氣流流經圓柱體的附壁作用最明顯之後，對於「氣流流經底部半徑不同的圓柱體，所產生的康達效應有否不同？」產生好奇，於是繼續在實驗四中探討之。


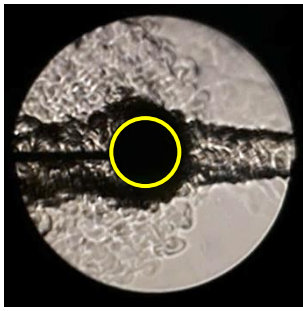
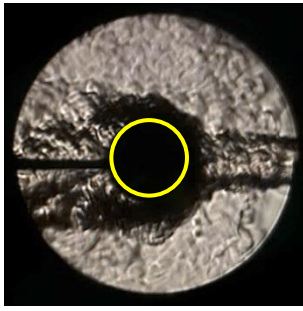
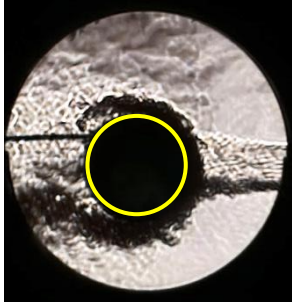
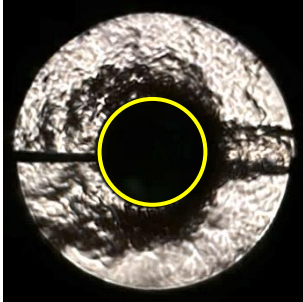
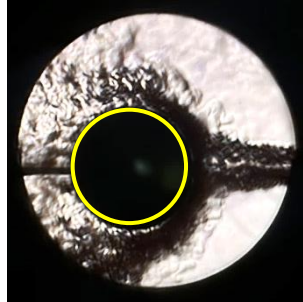
實驗四、探討氣流流經底部大小不同的圓柱體，所產生康達效應之差異。

一、實驗步驟

- (一) 以 3D 列印製作出底部直徑為 3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm 的圓柱體，再依序固定於支撐架上。
- (二) 將吹風機放置距離柱體前緣 16cm 處，並加裝 4cm 寬的吹嘴吹向柱體。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形。
- (四) 利用半圓形量角器 PNG 檔量測氣流流動軌跡。

二、實驗結果

表 4-4 底部直徑不同的圓柱體其康達效應一覽表

氣流軌跡圖	直徑 3cm 的圓柱體 	直徑 4cm 的圓柱體 	直徑 5cm 的圓柱體 	
	上半部氣流軌跡	由 0°繞到 155°	由 0°繞到 150°	由 0°繞到 140°
	下半部氣流軌跡	由 0°繞到 155°	由 0°繞到 145°	由 0°繞到 140°
氣流附壁程度	310°	295°	280°	
氣流軌跡圖	直徑 6cm 的圓柱體 	直徑 7cm 的圓柱體 	直徑 8cm 的圓柱體 	
	上半部氣流軌跡	由 0°繞到 110°	由 0°繞到 105°	由 0°繞到 65°
	下半部氣流軌跡	由 0°繞到 115°	由 0°繞到 115°	由 0°繞到 65°
氣流附壁程度	225°	215°	130°	

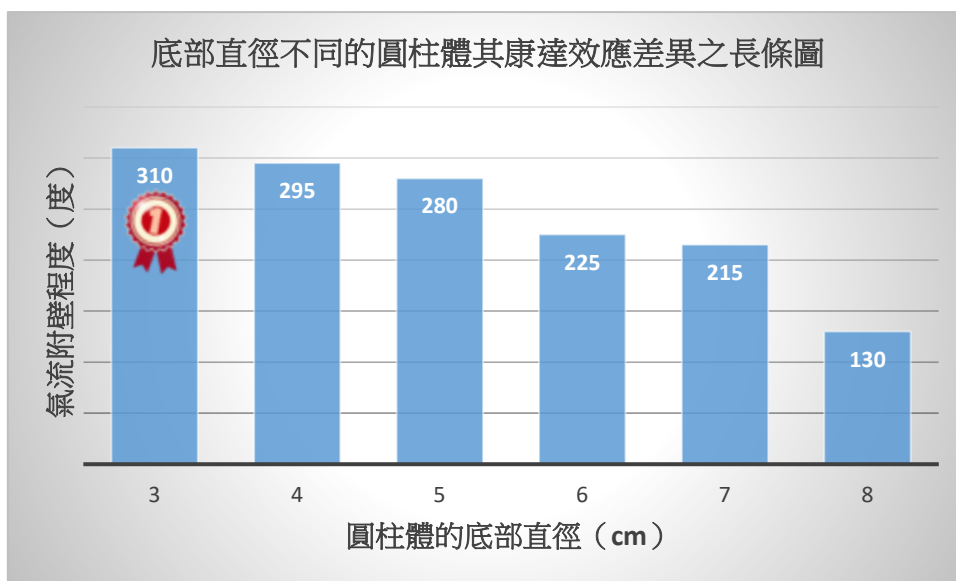


圖 4-25 底部直徑不同的圓柱體其康達效應差異之長條圖

三、實驗發現

- (一) 當氣流範圍為 4cm 寬，圓柱體直徑為 3cm 時，氣流附壁程度達到最大值。
- (二) 當氣流範圍為 4cm 寬，隨著圓柱體直徑愈大，氣流附壁程度會隨之遞減。
- (三) 當氣流範圍為 4cm 寬，圓柱體直徑為 4cm，氣流流經其後方時，紊流現象最不明顯。

四、延伸思考

在實驗四中，我們得知較佳的附壁作用發生於「氣流範圍大於圓柱物體時」，此現象讓我們聯想到「飛機(機翼有圓弧狀結構)航行於大氣之中」，也迫不及待想進一步探究氣流流經如水滴形的機翼結構後，其軌跡會有什麼變化。

實驗五、探討氣流流經不同曲率的水滴形物體，所產生康達效應之差異。

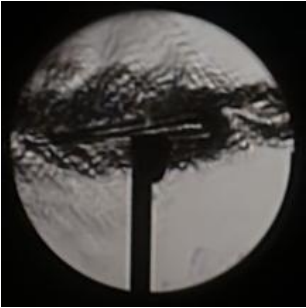
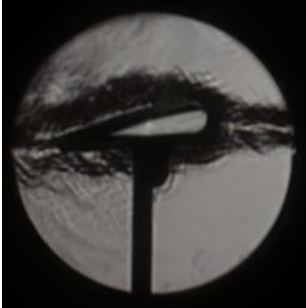
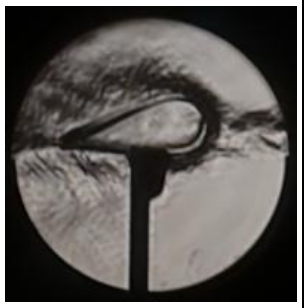

在本實驗中我們將設計不同彎曲程度的水滴形物體，由於圓周上每一處的彎曲程度都相等，半徑愈小的圓，彎曲程度愈大；半徑愈大的圓，其彎曲程度則愈小。所以本研究以半徑的倒數來定量描述曲面的彎曲程度。

一、實驗步驟

- (一) 使用厚度 0.2mm 鋁片，製成半徑 0.5cm、1cm、1.5cm 及 2cm 的圓弧，以定量描述、製作成 4 種不同曲率的水滴形物體，其曲率依序為 2、1、0.67 和 0.5，並將物體依序固定於支撐架上。
- (二) 吹風機放置距離物體前緣 16cm 處，以吹風機提供所需氣流。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形，並觀察之。

二、實驗結果

表 4-5 氣流通過不同曲率水滴形物體後的氣流軌跡

			
曲率為 2(半徑為 0.5 cm)	曲率為 1(半徑為 1 cm)	曲率 0.67(半徑為 1.5 cm)	曲率為 0.5(半徑為 2 cm)

- (一) 當氣流通過曲率為 1 的水滴形物體時，在物體周圍形成既集中且緊貼的氣流，產生明顯的附壁作用。
- (二) 當氣流通過曲率為 2 的水滴形物體時，無法在物體上緣形成集中的氣流。
- (三) 當氣流通過曲率為 0.67、0.5 的水滴形物體時，不僅無法在物體周圍產生集中的氣流，而且在該物體後半部分會產生嚴重的紊流。

三、實驗發現

- (一) 我們可發現曲率為 1 的水滴物體，周圍可被氣流完整包覆，形成非常明顯的康達效應。
- (二) 曲率太大的水滴形物體，氣流經後包覆性不佳，其康達效應不明顯；曲率太小的水滴形物體，不僅無明顯的康達效應，而且氣流流經物體後半段時，反而會產生大量紊流。

四、延伸思考

由本實驗可發現小曲率的水滴形物體會產生嚴重的紊流問題，而在先前的實驗三中，我們卻發現氣流流經三角柱或四角柱體「一定大小範圍的側面」後，該側面對氣流有明顯的導流現象，可讓氣流緊貼平面通過並離開柱體。所以我們在下個階段將加裝整流片於小曲率水滴形物體的後方，以探究是否能解決紊流問題。

實驗六、探討氣流流經加裝整流片的小曲率水滴形物體後，所產生康達效應之差異。

一、實驗步驟



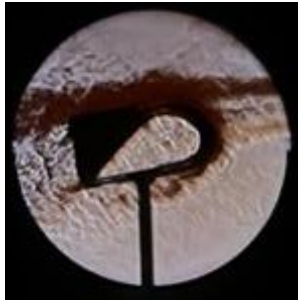
- (一) 使用厚度 0.2mm 鋁片，製成半徑 2cm 圓弧(其曲率為 0.5)的水滴形物體，並於後方不加裝整流片、加裝 2cm 整流片以及加裝 3cm 整流片，並將物體依序固定於支撐架上。
- (二) 吹風機放置距離物體前緣 16cm 之位置，以吹風機提供所需氣流。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形，並觀察之。

二、實驗結果

- (一) 當氣流流經無加裝整流片的小曲率水滴形物體後，會產生大量紊流。
- (二) 當氣流流經加裝 2cm 整流片的小曲率水滴形物體後，氣流變得平整，附壁效果比無加裝整流片佳。

(三) 當氣流流經加裝 3cm 整流片的小曲率水滴形物體後，氣流附壁與整流效果最佳。

表 4-6 小曲率水滴形物體加裝整流片對康達效應之影響

		
無加裝整流片	加裝 2cm 整流片	加裝 3cm 整流片

三、實驗發現

- (一) 無加裝整流片的小曲率水滴形物體，氣流流經後會產生紊流；有加裝整流片的小曲率物體，則無紊流現象。
- (二) 加裝 3cm 整流片與加裝 2cm 整流片的小曲率水滴形物體，前者較後者的附壁作用佳。

四、延伸思考

基於實驗一至實驗六的經驗與心得，我們期望運用康達效應的原理，在冷氣機上設計有曲面弧度的物體，希望藉此改善冷空氣流動狀態，以達到較佳的冷房效果。

實驗七、思考康達效之應用_以室內空調模擬分析。

一、實驗步驟

- (一) 以模型屋加設冷氣機模型後，利用吹風機模擬氣流流動，再進行紋影攝影。
- (二) 在冷氣機模型加裝 S 型曲面導流板後，利用吹風機模擬氣流流動，再進行紋影攝影。

二、實驗結果與發現

- (一) 以模型屋加設冷氣機模型後，利用吹風機模擬氣流流動，並以紋影攝影技術拍攝模型屋內之氣流流動情形（如圖 4-26），可發現氣流離開冷氣機後會往下流動，直吹至人們活動的範圍。

(二) 如圖 4-27，在冷氣機出風口加裝 S 型曲面導流板後，氣流會被引導至房間上層最遠的角落，再往下沉，可造成較佳的空氣循環效果。



圖 4-26 模擬無 S 型曲面導流板，氣流流動情形



圖 4-27 模擬有 S 型曲面導流板，氣流流動情形

伍、討論

一 實驗設備組裝及測試。

- (一) 當以風洞搭配煙霧來觀測氣流時，若發生測試狀況不穩定，風洞所產生的煙霧，在通過待測物後時有時無，可採用紋影攝影技術輔助觀察氣流，再透過器材的設計及測試，將獲得最佳的觀測工具與條件。
- (二) 依據紋影攝影的原理，應選擇適當的點光源與鏡頭進光量，即可讓通過氣體密度發生改變的區域之光線產生折射，再經凹面鏡反射，而無法與原光束一起進入相機成像，進而產生有明有暗的影像，提升觀察影像的品質。
- (三) 選擇與大氣密度有適當差異的風源來進行紋影攝影，可拍攝到更明顯的斑紋，提高影像辨識率。
- (四) 待測物的支撐架位置，應視待測物之觀測部位而進行調整，方能得到最佳觀察品質。

二 探討風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異。

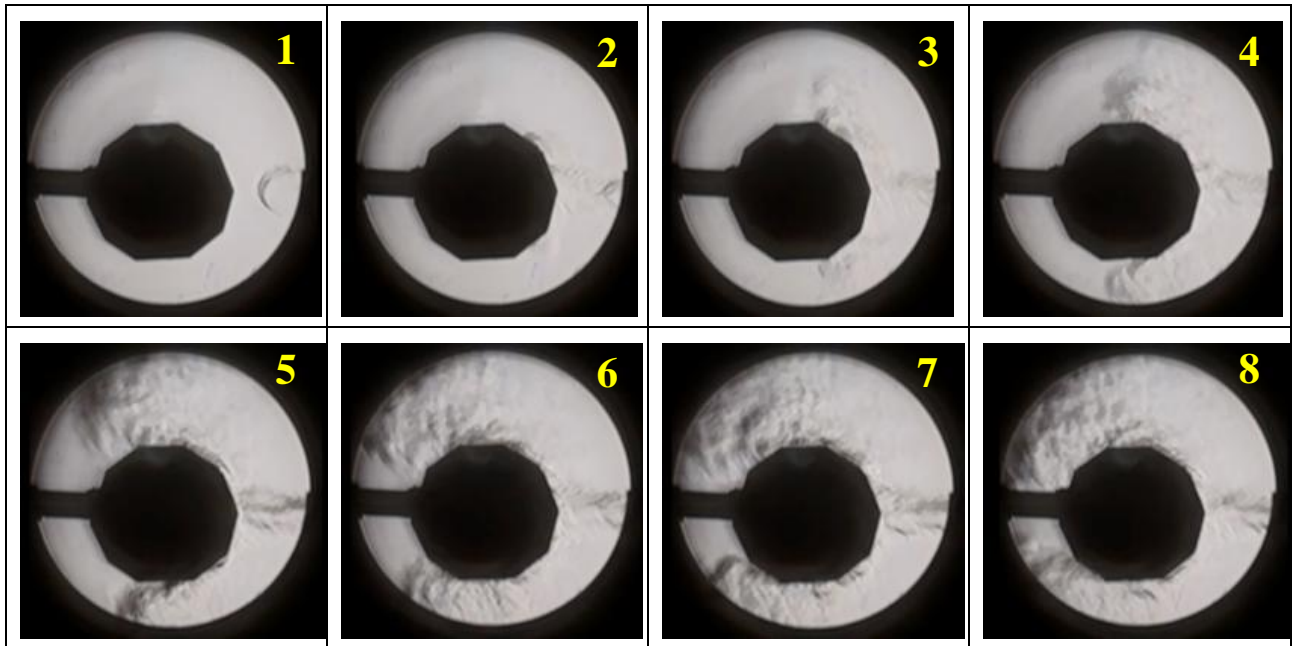
- (一) 透過紋影攝影我們看到，風源與圓柱體距離 16cm 時，氣流附壁程度最大；距離太近時，康達效應不明顯；距離愈遠，繞過圓柱的氣流偏弱，附壁程度亦隨之遞減。

- (二) 透過蠟燭實驗發現，風源與圓柱體距離達 16cm 時，才能順利將蠟燭吹滅，此現象與我們在紋影攝影中所拍攝的結果相同。
- (三) 將不同距離的風源對燭火的影響之實驗結果，與紋影實驗所得到的影像進行比對，我們直接證實風源與圓柱體在特定的距離時，可產生最明顯的康達效應，使氣流順利繞過圓柱，讓蠟燭熄滅根數達最大化。

三 探討氣流流經不同柱體後是否產生康達效應。

- (一) 當氣流流經正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱較無明顯的康達效應；而流經正八角柱、正十角柱、正十二角柱與圓柱，會有明顯的康達效應。以上述各正角柱體側面夾角來分析，會發現側面夾角若小於 120° ，該物體表面不容易產生康達效應；夾角若大於 135° ，該物體表面則容易產生顯著的康達效應。
- (二) 在正三角柱體與正四角柱的實驗中可發現，不管氣流吹在側稜上或側稜的上下側面，此時氣流會沿著柱體側面流動，但也僅止於一個面，在轉向下個側面時，氣流也順勢以切線方向離開柱體。從紋影照片中，我們也發現氣流沿著柱體側面流動時，側面對氣流有明顯的導流現象，換言之，氣流會緊貼平面通過並直接離開柱體。
- (三) 在紋影實驗中，我們清楚的看到，當柱體底面積形狀邊數達十邊形以上時，氣流可繞行過柱體，抵達柱體的另一側。此時，我們也看到當康達效應發生時，風源吹向柱體側邊，氣流會隨著曲面改變行進方向，沿著柱體表面前進。
- (四) 在表 5-1 中，我們擷取紋影攝影的影格畫面，清楚看見康達效應的兩個重要現象：氣流會沿著曲面前進（表 5-1 的 1 至 8 號圖片）以及氣流會將使周圍空氣溢入噴流中（如表 5-1 的 4 至 8 號圖片）。

表 5-1 氣流會繞過曲面前進的影格照片



四 探討氣流流經底部大小不同的圓柱體，所產生康達效應之差異。

- (一) 當氣流範圍固定時，圓柱體底部直徑大小會造成程度不同的康達效應，圓柱體底部直徑愈大，氣流附壁程度越不明顯；圓柱體底部直徑愈小，氣流附壁程度越明顯。
- (二) 當圓柱體底部直徑小於氣流範圍時，流經柱體上下的兩道氣流會形成相當明顯的附壁現象，導致上下兩道氣流在通過柱體之後匯流，而在柱體後方形成紊流。
- (三) 當圓柱體底部直徑剛好等於氣流範圍時，氣流因康達效應繞過柱體的曲面，並順利在柱體後方形成導流效果，也最不會產生後方的紊流現象。

五 探討氣流流經不同曲率的水滴形物體，所產生康達效應之差異。

- (一) 在紋影攝影中我們看到曲率為 1 的水滴形物體，可被流經其周圍的氣流完整包覆，產生的康達效應明顯比曲率為 2、0.67 及 0.5 的佳。
- (二) 機翼是飛機裝載汽油的位置，其形狀（如圖 5-1）很類似本研究中的水滴形物體。當機翼前端的曲率愈小，代表機翼愈厚，可存放的汽油愈多，增加飛行航程。但從本研究可發現，當曲率愈小的水滴形物體，會使通過的氣流產生大量紊流，這實驗結果在「飛機機翼不會打造成小曲率的事實」得到驗證。因

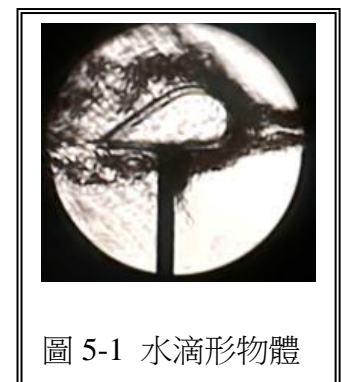
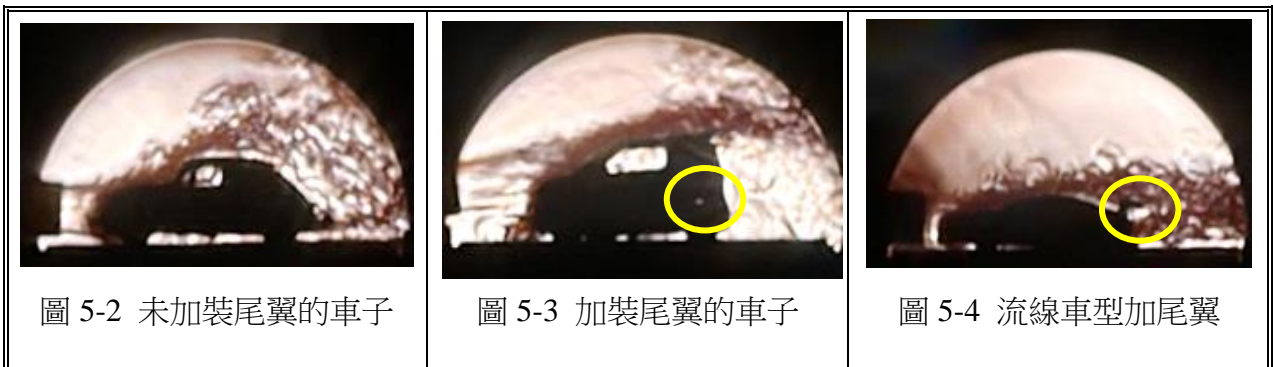


圖 5-1 水滴形物體

此設計機翼時，必須同時考量機翼前端的曲率與翼面寬度的固定比例配置，方能兼顧飛行穩定性與攜帶飛行所需的油量。

六 探討氣流流經加裝整流片之不同曲率水滴形物體後，所產生康達效應之差異。

- (一) 氣流流經小曲率且無加裝整流片的水滴形物體後，會在物體後半段剝離並產生紊流；相較於加裝整流片的小曲率物體，氣流會被順利的整流並離開物體，無紊流產生，其中加裝 3cm 整流片與加裝 2cm 整流片的小曲率物體來論，前者較後者的附壁作用佳。
- (二) 此研究結果在許多跑車上得到驗證，當氣流通過加裝尾翼的車身時，可減少車尾的紊流，也提供汽車產生下壓力以維持車身穩定，此現象也在本研究的紋影攝影中（如圖 5-2、圖 5-3、圖 5-4）得到了驗證。



七 思考康達效氣流模式之應用_以室內空調模擬分析。

- (一) 一般來說，使用冷氣機進行冷房時，冷氣離開出風口後幾乎都是朝下方流動，冷房效率較差，冷空氣直吹到人體也大幅降低舒適度。
- (二) 透過本研究，我們認識康達效應會使氣流依附曲面前進，並藉以改變行進方向，同時氣流還會將使周圍空氣溢入噴流中。因此，我們設計了一個 S 型曲面導流板加裝於冷氣出風口，讓風吹出時，可往房間上層較遠的角落流動（如圖 5-5、圖 5-6），同時將周圍空氣溢入此氣流中，不僅增加室內空氣的流動量，亦可使氣流吹得更高更遠，達到較佳的冷房效果。

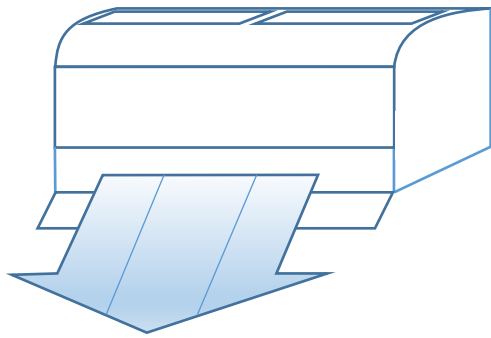


圖 5-5 傳統冷氣機氣流流動軌跡

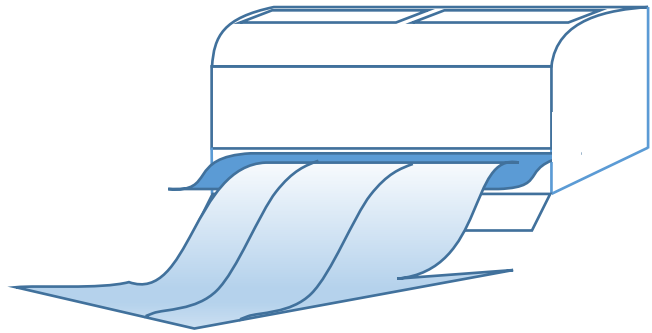


圖 5-6 加裝 S 型曲面導流板後，氣流流動軌跡

陸、結論

- 一、進行紋影攝影時，應針對點光源和鏡頭進光量進行最適化設計，待測物的支撐架依欲觀測部位進行調整，選擇與大氣密度差異適中的風源，將可拍攝到品質最佳的畫片。
- 二、透過紋影攝影可清楚看見風源與圓柱體距離太近時，無明顯的康達效應；而風源與圓柱體距離太遠時，繞過圓柱的氣流偏弱。因此風源必須與圓柱體維持適當的距離，氣流會產生最佳附壁作用，順利繞過圓柱體，讓蠟燭熄滅根數達最大化。
- 三、當氣流流經正角柱體，其側面夾角小於 120° 時，無明顯的康達效應；當角度大於 135° 時，物體局部可產生康達效應；而氣流流經圓柱體時，可產生既明顯又完整的康達效應。
- 四、當柱體底面積形狀趨近於圓形時，不管風源吹向柱體正面或是側邊，氣流皆可改變原本的流動方向而繞行過柱體，抵達柱體的另一側。
- 五、當氣流範圍與流速固定時，圓柱體底部直徑愈大，氣流附壁程度越不明顯；圓柱體底部直徑愈小，氣流附壁程度越明顯；當圓柱體底部直徑等於氣流範圍時，氣流繞過圓柱體後方，產生的紊流現象最不明顯。
- 六、氣流通過適當曲率的水滴形物體後，會完整包覆之，形成明顯的康達效應；曲率太大的水滴形物體，氣流經後包覆性不佳，其康達效應不明顯；曲率太小的水滴形物體，不僅無明顯的康達效應，而且氣流流經物體後半段時，反而會產生大量紊流。

- 七、在正多角柱實驗中，我們意外發現當氣流流經正三角柱與正四角柱時，該柱體的平面對氣流有明顯的導流現象。因此，若在小曲率的物體上加裝整流片後，會產生明顯的導流作用，便能有效改善紊流現象。綜上結果，可由跑車在高速行駛時，氣流流經尾翼（導流板）後，減少紊流並提供汽車下壓力，維持車身穩定的現象得到驗證。
- 八、本研究透過紋影攝影拍攝到氣流可沿著曲面前進，以及氣流將周圍空氣溢入噴流中，成功證實了康達效應。
- 九、我們運用康達效應的兩大原理，一是氣流可沿著曲面改變行進方向，二是周圍空氣可因此溢入噴流中，我們在冷氣機出風口設計了一個 S 型曲面導流板，不但可使氣流吹得又高又遠，還可帶動室內更多氣流流動，達到較佳的冷房效果。

柒、參考文獻資料及其他

- 一、黃詣程、蘇定軒、黃荏澧 (2022) 風到哪裡去了—氣流附壁作用之探討·中華民國第 62 屆科學展覽會作品說明書。
- 二、鄭明敦、李東駿、洪郁崴、林映恩、王歆渝、陳亦璿 (2022) 御風而行的關鍵角度·中華民國第 62 屆科學展覽會作品說明書。
- 三、梁淳鈺、林妤庭、張詠晴、林妤真、林玟綺、嚴昱安 (2016) 風起，再造飛機去追風·中華民國第 56 屆科學展覽會作品說明書。
- 四、王順志 (2010)。簡易紋影攝影觀測技術之研發。勞動部勞動及職業安全衛生研究所。
- 五、翰林文教事業股份有限公司 (民111)。自然與生活科技課本六下第八冊，力與運動 (6-21頁)。台北市：翰林出版社。
- 六、貼壁走的康達效應 (2020)。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=Pmjme0mfod8>
- 七、康達效應 (2018)。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=quUm5eBNfl4>

【評語】 080108

建立了一套相當成功的紋影攝影裝置，利用該裝置詳盡研究了氣流的康達效應。這套系統的觀測效果相當好，令人印象深刻。雖然這是項成熟技術，然而對這項技術與原理的掌握依然是非常困難，而這個年輕的團隊卻是做到了。在成功發展這個技術的基礎上，該團隊對氣流與介面間的交互作用進行了系統系的研究。這是個相當成功的科學研究計畫。未來發展出更深刻的流體力學課題，也是可以期待的。

作品海報

REC

HD 4K 25FPS 99%

康達效應快現身～



我

「照」

你！

！



MENU ≡

摘要

本研究以紋影攝影裝置為實驗工具，拍攝氣流流經物體時其軌跡變化，過程中我們清晰的看見康達效應，證明氣流流經曲面時會改變原行進方向。且發現風源須與圓柱體維持適當距離，方可產生最明顯的康達效應。此外，當氣流流經柱體，其側面夾角小於 120° 時，所產生的康達效應最不明顯；夾角大於 135° 時較明顯；流經圓柱體時最明顯，其中當底部直徑大小與氣流範圍相當，康達效應尤其顯著。另外，氣流流經適當曲率的水滴形物體，可順流通過之；而流經不適當曲率的水滴形物體則會產生紊流，不過利用導流板便可改善此問題。最後，我們運用本研究結果，在冷氣機出風口設計了S型曲面導流板，優化氣流流動方式，達到較佳冷房效果。

壹 研究動機

上社團課時，老師介紹了世界第一高塔—杜拜哈里發塔（如圖1-1），讓我們嘆為觀止的是一在阿拉伯沙漠環境與氣候條件皆惡劣的情況下，竟然能夠打造出169層樓高的摩天大樓，建築師們興建此大樓的構思肯定有獨到之處，該建築物才能榮獲「世界驚奇工程」的美譽。

同學們還發現大樓外觀，有許多類似圓柱體的結構，在老師說明下，我們初步了解這樣的結構，能夠降低強風對建築物的衝擊，並減少高樓風，此設計與康達效應有關。在好奇心驅使下，我們決定著手進行研究，以深入了解康達效應。首先，我們團隊一起組裝實驗設備、改良實驗量測工具，再利用紋影攝影技術（如圖1-2）將不容易觀測的氣流，清清楚楚的變成可視化的影片與照片，期望我們的研究可讓大家「看到」受康達效應影響的氣流軌跡，並且試著進一步思考康達效應在生活中可能的應用。



圖 1-1 杜拜哈里發塔
(圖片取自網路)



圖 1-2 我們進行紋影攝影

貳 研究目的

- 一、實驗設備組裝及測試。
- 二、探討風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異。
 - 二-1以紋影攝影進行研究。
 - 二-2以燭火試驗進行驗證。
- 三、探討氣流流經不同柱體後是否產生康達效應。
- 四、探討氣流流經底部大小不同的圓柱體，所產生康達效應之差異。
- 五、探討氣流流經不同曲率的水滴形物體，所產生康達效應之差異。
- 六、探討氣流流經加裝整流片的小曲率水滴形物體後，所產生康達效應之差異。
- 七、思考康達效應氣流模式之應用_以室內空調模擬分析。

參 研究設備與器材

筆電、凹面鏡、手機、吹風機、腳架、模型屋、3D列印柱體、ABS模型板、鋁板、木板、飛機木、飛機木條、尼龍束帶、雙面膠、泡棉膠、捲尺、瞬間接著劑、直尺、打火機、蠟燭、剪刀、美工刀、鑽子、針頭。

肆 研究過程、結果與發現

為求準確觀測氣流軌跡，我們查閱許多文獻，歷經長時間的測試，從使用風洞搭配煙霧進行測試，到採用紋影攝影觀察，過程中還不斷改良許多細節，最後建立一套精準、有效率的測量工具與方式。藉此，我們將氣流流經不同形體阻礙物後的氣流軌跡，變成可視化的圖形，並進一步佐以其他實驗驗證，不僅提升本研究的可信度，也期望我們可將本研究工具與結果，運用到改善人類的日常生活。

實驗一、實驗設備組裝及測試。

一、改良點光源與進光量

我們認為若能讓因氣流擾動而折射的光線，無法全部直接進入小光圈內，即可獲得黑白分明的紋影照片，因此我們將光源改變為點光源，並縮小鏡頭的進光量。於是我們準備打火機燃燒針頭，刺穿不透明的塑膠片，形成圓形孔狀後，再貼於手機光源與鏡頭，所拍攝到的清晰影像，果然使我們更容易觀察到空氣的流動狀態。

二、設計多功能支撐架

我們發現待測物不同或欲觀察的部位不同，支撐待測物的支撐架其位置也得隨之調整，否則會發生支撐架的陰影遮蔽了氣流影像的窘境，於是我們設計了多功能的支撐架，在不同的情形可以任意改變最佳化的支撐角度（如圖4-1和圖4-2）。

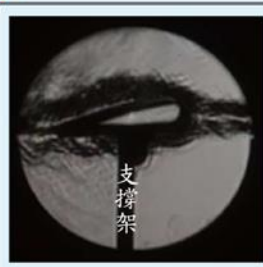


圖 4-1 支撐架在下方

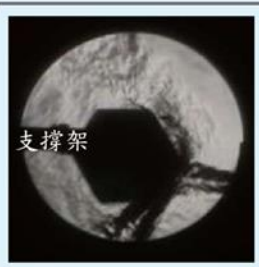


圖 4-2 支撐架在左方

三、改良吹風機吹口

本研究以吹風機為提供氣流的來源，並測試吹口處沒加上任何吹嘴、加上短吹嘴和加上常吹嘴，證明了以長吹嘴導流後，其紋影攝影效果最佳，因此本研究採用吹風機搭配長吹嘴進行實驗。

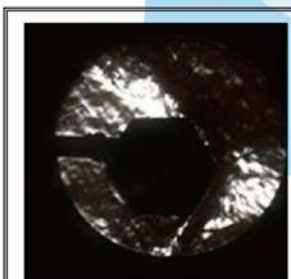


圖 4-3 無吹嘴的紋影

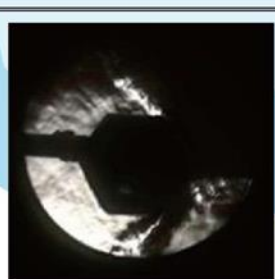


圖 4-4 短吹嘴的紋影

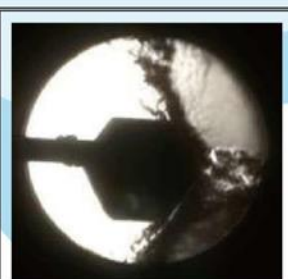


圖 4-5 長吹嘴的紋影

四、選擇合適的氣流溫度

本研究所使用的吹風機提供了三種不同溫度的氣流，分別為常溫 30° 、微溫 52° 、高溫 70° 。如圖4-6、4-7、4-8，經實驗發現，以 52° 的氣流產生的紋影效果最為清晰，故本研究後續的實驗將採用微溫 52° 的氣流進行測試。

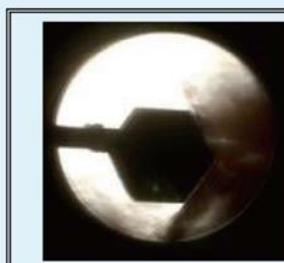


圖 4-6 30°氣流的紋影

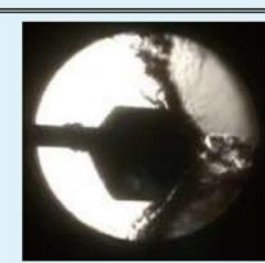


圖 4-7 52°氣流的紋影

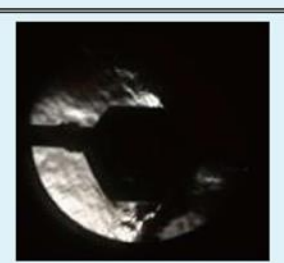


圖 4-8 70°氣流的紋影

實驗二-1、探討風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異（以紋影攝影進行研究）。

一、實驗步驟

- (一) 以厚度1mm的ABS模型板製作出底部半徑為4cm、高10cm的圓柱體，並固定於支撐架上。
- (二) 將吹風機放置在距離圓柱體前緣0.5cm、4cm、8cm、12cm、16cm、20cm、24cm、28cm和32cm處，並以吹風機提供氣流。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形。
- (四) 利用圓形量角器 PNG檔量測氣流流動軌跡，並記錄之。

二、設計量測氣流運動軌跡的工具與方法

- (一) 將圖4-9中的量角器圖片檔，疊到所拍攝的紋影照片上，且圓形量角器的大小調整與圓柱體底部圓形大小一樣。
- (二) 分別量測出圓形上半部分與下半部分氣流流動的軌跡，最後將兩個軌跡角度加總，以作為判斷氣流附壁程度之依據。

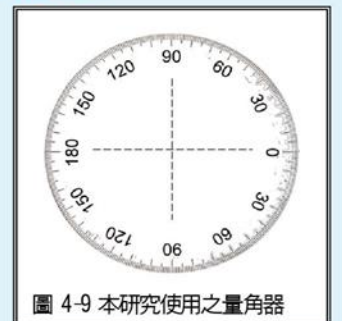


圖 4-9 本研究使用之量角器

三、實驗結果

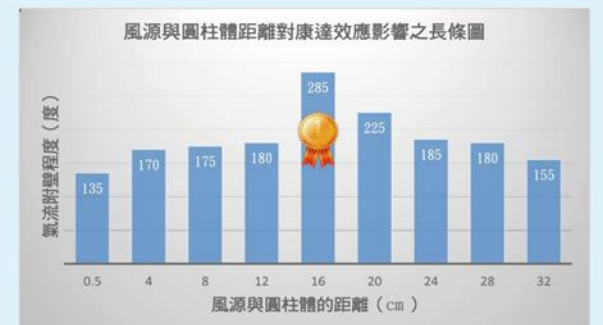


圖 4-10 風源與圓柱體距離對康達效應影響之長條圖

四、實驗發現

- (一) 當風源與圓柱體的距離太近（小於16cm）時，可發現氣流流經圓柱體後半部分時，附壁作用較不顯著。
- (二) 當風源與圓柱體的距離恰當（大約16cm）時，可見到氣流從接觸圓柱體至繞過圓柱體，有相當明顯的附壁效果。
- (三) 當風源與圓柱體的距離過遠（大於16cm），因為氣流接觸到圓柱體時，風力已經削弱不少，流經圓柱體後方時會產生紊流，附壁作用也隨之減少。

實驗二-2、探討風源與柱體距離不同，所產生康達效應之差異（以燭火試驗進行驗證）。

一、實驗步驟

- (一) 以厚度1mm的ABS模型板製作出底部半徑為4cm、高10cm的圓柱體。
- (二) 如圖4-11，將圓柱體與蠟燭排列成一直線，蠟燭與圓柱體距離依序為4cm、8cm、12cm、16cm、20cm、24cm、28cm、32cm。
- (三) 將吹風機放置在距離圓柱體前緣0.5cm、4cm、8cm、12cm、16cm、20cm、24cm、28cm和32cm處，提供以吹風機提供所需氣流。
- (四) 觀察蠟燭熄滅狀況，並記錄之。



圖 4-11 圓柱體與蠟燭的排列方式

二、實驗結果

表 4-1 風源與圓柱體距離不同影響蠟燭熄滅根數之一覽表

蠟燭 風源與 柱體的距離	第1根	第2根	第3根	第4根	第5根	第6根	第7根
0.5cm	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
4cm	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
8cm	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
12cm	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
16cm	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
20cm	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
24cm	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
28cm	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
32cm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註：「✓」代表蠟燭繼續燃燒；「✗」代表蠟燭熄滅。

三、實驗發現

- (一) 風源與圓柱體的距離為16 cm時，其康達效應最顯著，氣流可繞至柱體後方，熄滅的蠟燭為第1根至第5根。
- (二) 當風源與圓柱體的距離介於8至14 cm時，熄滅的蠟燭從第1根至第3或第4根。
- (三) 當風源與圓柱體的距離小於4cm或大於28 cm時，氣流的附壁效果差，皆無法熄滅柱體後方的第1根蠟燭。
- (四) 當風源與柱體的距離大於16cm時，蠟燭熄滅的數量會隨距離逐漸遞減，可見風源與圓柱體的距離過大，氣流流至柱體後方時，其風速已經削減，氣流熄滅蠟燭的能力也隨之減弱。

實驗三、探討氣流流經不同柱體後是否產生康達效應。

一、實驗步驟

- (一) 使用厚度1mm的ABS模型板，製作底部為半徑4cm的外接圓正多邊形柱體（正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱、正八角柱、正十角柱、正十二角柱）及底部為半徑4cm圓形的圓柱，共八個柱體，依序固定於支撐架上。
- (二) 將吹風機放置距離柱體前緣16cm處，並以氣流吹向柱體的側稜與側面。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形。
- (四) 利用半圓形量角器 PNG檔量測氣流流動軌跡，如圖12。

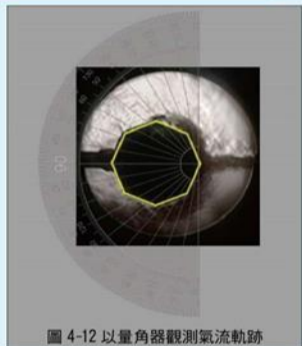


圖 4-12 以量角器觀測氣流軌跡

二、實驗結果與發現

	朝側稜直吹	朝側稜上方的面吹	朝側稜下方的面吹
正三角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	60°	60°	無氣流
下半部氣流軌跡	120°	無氣流	120°
正四角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	45°	45°	無氣流
下半部氣流軌跡	135°	無氣流	135°
正五角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	30°	30°→40°	無氣流
下半部氣流軌跡	150°	無氣流	135°→130°
正六角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	30°	30°→65°	無氣流
下半部氣流軌跡	150°	無氣流	150°→120°
正八角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	20°→50°→70°	20°→55°→70°	20°→30°
下半部氣流軌跡	160°→125°→110°	160°→125°	125°→115°→85°
正十角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	20°→45°→65°→80°	20°→45°→65°→85°	20°
下半部氣流軌跡	160°→135°→115°→100°	165°	160°→135°→115°→95°→80°
正十二角柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	15°→35°→55°→70°→90°	55°→70°→90°→110°	無氣流
下半部氣流軌跡	165°→145°→125°→110°→90°	無氣流	125°→110°→90°→70°
下半部氣流軌跡	165°→145°→125°→110°→90°	無氣流	125°→110°→90°→70°
圓柱 氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	由0°繞到70°	由0°繞到90°	由0°繞到20°
下半部氣流軌跡	由180°繞到105°	由180°繞到150°	由180°繞到100°

根據以上實驗結果，我們依氣體朝正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱、正八角柱、正十角柱、正十二角柱吹之後，其氣流改變運動軌跡的角度，繪成以下折線圖：

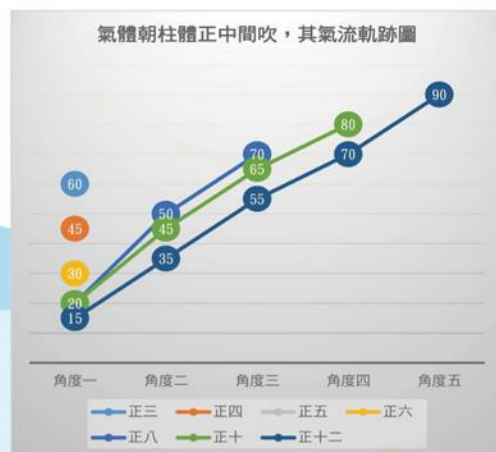


圖 4-13 氣體朝柱體正中間吹，其氣流軌跡圖

【小結】

- 1、綜上實驗照片與數據，可發現氣流經正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱較無明顯的附壁作用；流經正八角柱、正十角柱、正十二角柱，則有較明顯的附壁作用。進一步再將正八角柱、正十角柱、正十二角柱與圓柱體的紋影圖片相比，可發現氣流流經圓柱體的附壁作用最明顯。
- 2、本實驗的結果彙整吹風機朝柱體側稜吹的紋影攝影圖片，而吹風機朝柱體側面吹的照片彙整於實驗記錄本中。我們發現無論吹風機朝側稜吹或朝側面吹，都獲得相同的結論。

實驗四、探討氣流流經底部大小不同的圓柱體，所產生康達效應之差異。

一、實驗步驟

- (一) 以3D列印製作出底部直徑為3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm的圓柱體，再依序固定於支撐架上。
- (二) 將吹風機放置距離柱體前緣16cm處，並加裝4cm寬的吹嘴吹向柱體。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形。
- (四) 利用半圓形量角器 PNG檔量測氣流流動軌跡。

二、實驗結果

表 4-2 底部直徑不同的圓柱體其康達效應一覽表

	直徑 3cm 的圓柱體	直徑 4cm 的圓柱體	直徑 5cm 的圓柱體
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	由0°繞到155°	由0°繞到150°	由0°繞到140°
下半部氣流軌跡	由0°繞到155°	由0°繞到145°	由0°繞到140°
氣流附壁程度	310°	295°	280°
	直徑 6cm 的圓柱體	直徑 7cm 的圓柱體	直徑 8cm 的圓柱體
氣流軌跡圖			
上半部氣流軌跡	由0°繞到110°	由0°繞到105°	由0°繞到65°
下半部氣流軌跡	由0°繞到115°	由0°繞到115°	由0°繞到65°
氣流附壁程度	225°	215°	130°

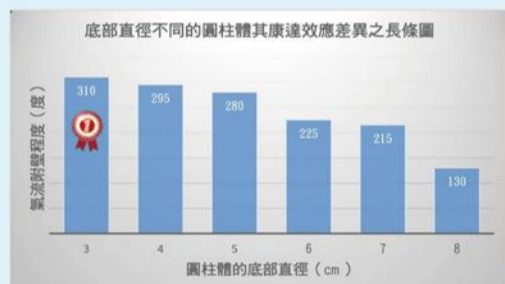


圖 4-14 底部直徑不同的圓柱體其康達效應差異之長條圖

三、實驗發現

- (一) 當氣流範圍為4cm寬，圓柱體直徑為3cm時，氣流附壁程度達到最大值。
- (二) 當氣流範圍為4cm寬，隨著圓柱體直徑愈大，氣流附壁程度會隨之遞減。
- (三) 當氣流範圍為4cm寬，圓柱體直徑為4cm，氣流流經其後方時，紊流現象最不明顯。

實驗五、探討氣流流經不同曲率的水滴形物體，所產生康達效應之差異。

一、實驗步驟

- (一) 使用厚度0.2mm鋁片，製成半徑0.5cm、1cm、1.5cm及2cm的圓弧，以定量描述，製成4種不同曲率的水滴形物體，其曲率依序為2、1、0.67和0.5，並將物體依序固定於支撐架上。
- (二) 吹風機放置距離物體前緣16cm處，以吹風機提供所需氣流。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形，並觀察之。

二、實驗結果

表 4-3 氣流通過不同曲率水滴形物體後的氣流軌跡

曲率為2(半徑為0.5cm)	曲率為1(半徑為1cm)	曲率0.67(半徑為1.5cm)	曲率為0.5(半徑為2cm)

- (一) 當氣流通過曲率為1的水滴形物體時，在物體周圍形成既集中且緊貼的氣流，產生明顯的附壁作用。
- (二) 當氣流通過曲率為2的水滴形物體時，無法在物體上緣形成集中的氣流。
- (三) 當氣流通過曲率為0.67、0.5的水滴形物體時，不僅無法在物體周圍產生集中的氣流，而且在該物體後半部分會產生嚴重的紊流。

三、實驗發現

- (一) 我們可發現曲率為1的水滴物體，周圍可被氣流完整包覆，形成非常明顯的康達效應。
- (二) 曲率太大的水滴形物體，氣流經後包覆性不佳，其康達效應不明顯；曲率太小的水滴形物體，不僅無明顯的康達效應，而且氣流流經物體後半段時，反而會產生大量紊流。

實驗六、探討氣流流經加裝整流片的小曲率水滴形物體後，所產生康達效應之差異。

一、實驗步驟

- (一) 使用厚度0.2mm鋁片，製成半徑2cm圓弧(其曲率為0.5)的水滴形物體，並於後方不加裝整流片、加裝2cm整流片以及加裝3cm整流片，並將物體依序固定於支撐架上。
- (二) 吹風機放置距離物體前緣16cm之位置，以吹風機提供所需氣流。
- (三) 以紋影攝影設備拍攝氣流流動情形，並觀察之。

二、實驗結果

- (一) 當氣流流經無加裝整流片的小曲率水滴形物體後，會產生大量紊流。
- (二) 當氣流流經加裝2cm整流片的小曲率水滴形物體後，氣流變得平整，附壁效果比無加裝整流片佳。
- (三) 當氣流流經加裝3cm整流片的小曲率水滴形物體後，氣流附壁與整流效果最佳。

表 4-4 小曲率水滴形物體加裝整流片對康達效應之影響



三、實驗發現

- (一) 無加裝整流片的小曲率水滴形物體，氣流流經後會產生紊流；有加裝整流片的小曲率物體，則無紊流現象。
- (二) 加裝3cm整流片與加裝2cm整流片的小曲率水滴形物體，前者較後者的附壁作用佳。

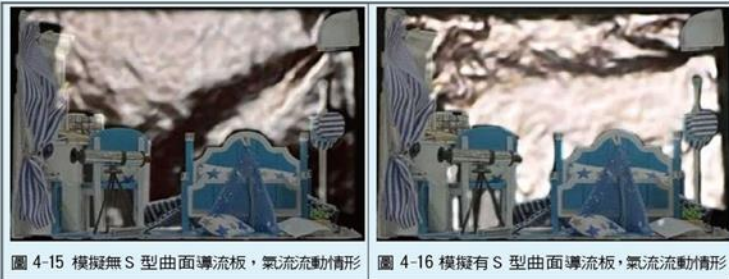
實驗七、思考康達效之應用_以室內空調模擬分析。

一、實驗步驟

- (一) 以模型屋加設冷氣機模型後，利用吹風機模擬氣流流動，再進行紋影攝影。
- (二) 在冷氣機模型加裝S型曲面導流板後，利用吹風機模擬氣流流動，再進行紋影攝影。

二、實驗結果與發現

- (一) 以模型屋加設冷氣機模型後，利用吹風機模擬氣流流動，並以紋影攝影技術拍攝模型屋內之氣流流動情形(如圖4-15)，可發現氣流離開冷氣機後會往下流動，直吹至人們活動的範圍。
- (二) 如圖4-16，在冷氣機出風口加裝S型曲面導流板後，氣流會被引導至房間上層最遠的角落，再往下沉，可造成較佳的空氣循環效果。



伍 討論

一、實驗設備組裝及測試。

- (一) 當以風洞搭配煙霧來觀測氣流時，若發生測試狀況不穩定，風洞所產生的煙霧，在通過待測物後時有時無，可採用紋影攝影技術輔助觀察氣流，再透過器材的設計及測試，將獲得最佳的觀測工具與條件。
- (二) 依據紋影攝影的原理，應選擇適當的點光源與鏡頭進光量，即可讓通過氣體密度發生改變的區域之光線產生折射，再經凹面鏡反射，而無法與原光束一起進入相機成像，進產生有明有暗的影像，提升觀察影像而的品質。
- (三) 選擇與大氣密度有適當差異的風源來進行紋影攝影，可拍攝到更明顯的斑紋，提高影像辨識率。
- (四) 待測物的支撐架位置，應視待測物之觀測部位而進行調整，方能得到最佳觀察品質。

二、探討風源與圓柱體距離不同，所產生康達效應之差異。

- (一) 透過紋影攝影我們看到，風源與圓柱體距離16cm時，氣流附壁程度最大；距離太近時，康達效應不明顯；距離愈遠，繞過圓柱的氣流偏弱，附壁程度亦隨之遞減。
- (二) 透過蠟燭實驗發現，風源與圓柱體距離達16cm時，才能順利將蠟燭吹滅，此現象與我們在紋影攝影中所拍攝的結果相同。
- (三) 將不同距離的風源對燭火的影響之實驗結果，與紋影實驗所得到的影像進行比對，我們直接證實風源與圓柱體在特定的距離時，可產生最明顯的康達效應，使氣流順利繞過圓柱，讓蠟燭熄滅根數達最大化。

三、探討氣流流經不同柱體後是否產生康達效應。

- (一) 當氣流流經正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱較無明顯的康達效應；而流經正八角柱、正十角柱、正十二角柱與圓柱，會有明顯的康達效應。以上述各正角柱體側面夾角來分析，會發現側面夾角若小於120°，該物體表面不容易產生康達效應；夾角若大於135°，該物體表面則容易產生顯著的康達效應。

- (二) 在正三角柱體與正四角柱的實驗中可發現，不管氣流吹在側稜上或側稜的上下側面，此時氣流會沿著柱體側面流動，但也僅止於一個面，在轉向下個側面時，氣流也順勢以切線方向離開柱體。從紋影照片中，我們也發現氣流沿著柱體側面流動時，側面對氣流有明顯的導流現象，換言之，氣流會緊貼平面通過並直接離開柱體。
- (三) 在紋影實驗中，我們清楚的看到，當柱體底面積形狀邊數達十邊形以上時，氣流可繞行過柱體，抵達柱體的另一側。此時，我們也看到當康達效應發生時，風源吹向柱體側邊，氣流會隨著曲面改變行進方向，沿著柱體表面前進。

四、探討氣流流經底部大小不同的圓柱體，所產生康達效應之差異。

- (一) 當氣流範圍固定時，圓柱體底部直徑大小會造成程度不同的康達效應，圓柱體底部直徑愈大，氣流附壁程度越不明顯；圓柱體底部直徑愈小，氣流附壁程度越明顯。
- (二) 當圓柱體底部直徑小於氣流範圍時，流經柱體上下的兩道氣流會形成相當明顯的附壁現象，導致上下兩道氣流在通過柱體之後匯流，而在柱體後方形成紊流。
- (三) 當圓柱體底部直徑剛好等於氣流範圍時，氣流因康達效應繞過柱體的曲面，並順利在柱體後方形成導流效果，也最不會產生後方的紊流現象。

五、探討氣流流經不同曲率的水滴形物體，所產生康達效應之差異。

- (一) 在紋影攝影中我們看到曲率為1的水滴形物體，可被流經其周圍的氣流完整包覆，產生的康達效應明顯比曲率為2、0.67及0.5的佳。
- (二) 機翼是飛機裝載汽油的位置，其形狀很類似本研究中的水滴形物體。當機翼前端的曲率愈小，代表機翼愈厚，可存放的汽油愈多，增加飛行航程。但從本研究可發現，當滴形物體，會使通過的氣流產生大量紊流，這實驗結果在「飛機機翼不會打造成小曲到驗證。因此設計機翼時，必須同時考量機翼前端的曲率與翼面寬度的固定比例配置，穩定性與攜帶飛行所需的油量。

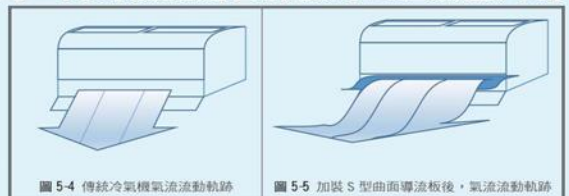
六、探討氣流流經加裝整流片之不同曲率水滴形物體後，所產生康達效應之差異。

- (一) 氣流流經小曲率且無加裝整流片的水滴形物體後，會在物體後半段剝離並產生紊流；相較於加裝整流片的小曲率物體，氣流會被順利的整流並離開物體，無紊流產生，其中加裝3cm整流片與加裝2cm整流片的小曲率物體來論，前者較後者的附壁作用佳。
- (二) 此研究結果在許多跑車上得到驗證，當氣流通過加裝尾翼的車身時，可減少車尾的紊流，也提供汽車產生下壓力以維持車身穩定，此現象也在本研究的紋影攝影中(如圖5-1、圖5-2、圖5-3)得到了驗證。



七、思考康達效氣流模式之應用_以室內空調模擬分析。

- (一) 一般來說，使用冷氣機進行冷房時，冷氣離開出風口後幾乎都是朝下方流動，冷房效率較差，冷空氣直吹到人體也大幅降低舒適度。
- (二) 透過本研究，我們認識康達效應會使氣流依附曲面前進，並藉以改變行進方向，同時氣流還會將使周圍空氣溢入噴流中。因此，我們設計了一個S型曲面導流板加裝於冷氣出風口，讓風吹出時，可往房間上層較遠的角落流動(如圖5-4、圖5-5)，同時將周圍空氣溢入此氣流中，不僅增加室內空氣的流動量，亦可使氣流吹得更高更遠，達到較佳的冷房效果。



陸 結論

- 一、進行紋影攝影時，應針對點光源和鏡頭進光量進行最適化設計，待測物的支撐架依欲觀測部位進行調整，選擇與大氣密度差異適中的風源，將可拍攝到品質最佳的畫片。
- 二、透過紋影攝影可清楚看見風源與圓柱體距離太近時，無明顯的康達效應；而風源與圓柱體距離太遠時，繞過圓柱的氣流偏弱。因此風源必須與圓柱體維持適當的距離，氣流會產生最佳附壁作用，順利繞過圓柱體，讓蠟燭熄滅根數達最大化。
- 三、當氣流流經正角柱體，其側面夾角小於120°時，無明顯的康達效應；當角度大於135°時，物體局部可產生康達效應；而氣流流經圓柱體時，可產生既明顯又完整的康達效應。
- 四、當柱體底面積形狀趨近於圓形時，不管風源吹向柱體正面或是側邊，氣流皆可改變原本的流動方向而繞行過柱體，抵達柱體的另一側。
- 五、當氣流範圍與流速固定時，圓柱體底部直徑愈大，氣流附壁程度越不明顯；圓柱體底部直徑愈小，氣流附壁程度越明顯；當圓柱體底部直徑等於氣流範圍時，氣流繞過圓柱體後方，產生的紊流現象最不明顯。
- 六、氣流通過適當曲率的水滴形物體後，會完整包覆之，形成明顯的康達效應；曲率太大的水滴形物體，氣流經後包覆性不佳，其康達效應不明顯；曲率太小的水滴形物體，不僅無明顯的康達效應，而且氣流流經物體後半段時，反而會產生大量紊流。
- 七、在正多角柱實驗中，我們意外發現當氣流流經正三角柱與正四角柱時，該柱體的平面對氣流有明顯的導流現象。因此，若在小曲率的物體上加裝整流片後，會產生明顯的導流作用，便能有效改善紊流現象。綜上結果，可由跑車在高速行駛時，氣流流經尾翼(導流板)後，減少紊流並提供汽車下壓力，維持車身穩定的現象得到驗證。
- 八、本研究透過紋影攝影拍攝到氣流可沿著曲面前進，以及氣流將周圍空氣溢入噴流中，成功證實了康達效應。
- 九、我們運用康達效應的兩大原理，一是氣流可沿著曲面改變行進方向，二是周圍空氣可因此溢入噴流中，我們在冷氣機出風口設計了一個S型曲面導流板，不但可使氣流吹得又高又遠，還可帶動室內更多氣流流動，達到較佳的冷房效果。