

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100016

參展科別 工程學

作品名稱 風場下圓柱氣孔導管抽吸對風阻係數影響

得獎獎項

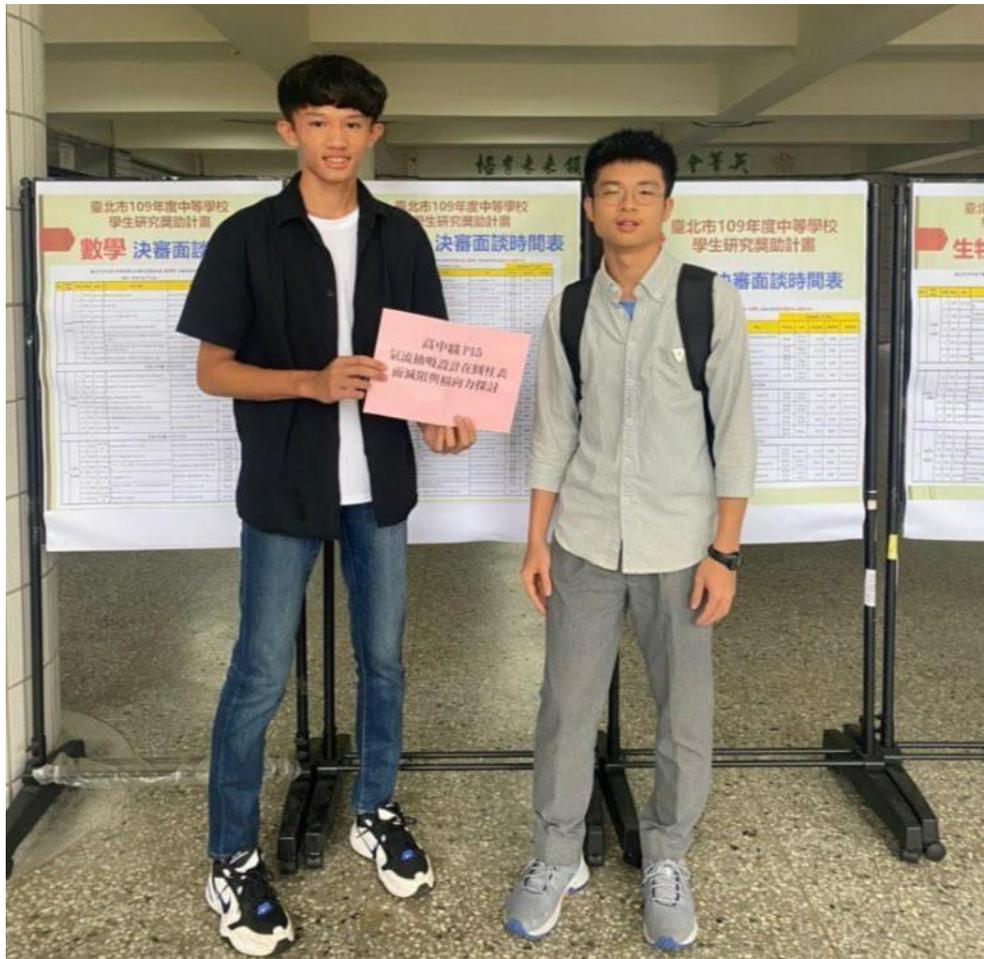
就讀學校 臺北市立麗山高級中學

指導教師 徐志成

作者姓名 陳建吏、鍾善宇

關鍵詞 抽吸效應、邊界層、白努力定律

作者簡介



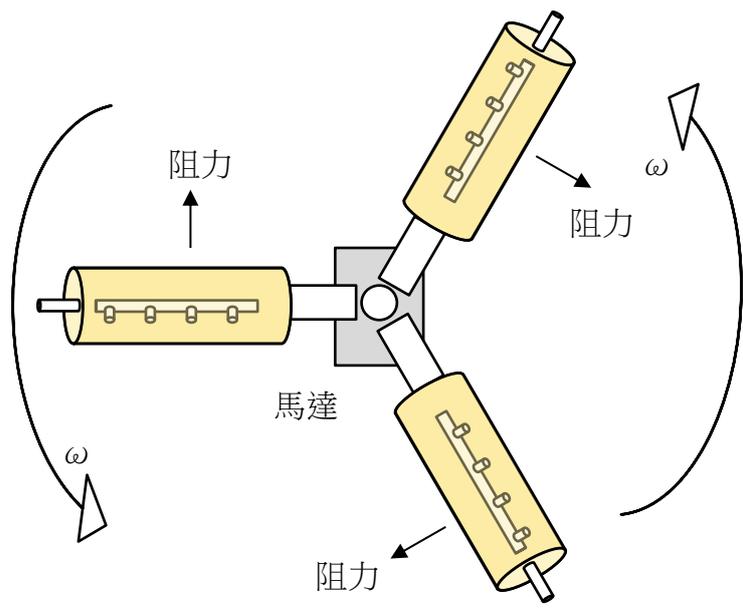
大家好，我們是台北市立麗山高中的學生。非常榮幸能夠參加這次的國際科學展覽會，與其他人一同分享這段時間我們的成果。在此活動中，除了可以互相學習知識，我們還可以認識許多新朋友，拓展我們的視野。在進行實驗時，我們也遇到不少挫折，但也因此使我們成長。特別感謝徐志成老師及麗山高中其他師生提供的幫忙。期望未來我們能夠繼續秉持著熱愛科學的精神朝自己的夢想前進。

摘要

本研究藉由孔洞抽氣控制氣流邊界層，影響尾部渦流以達到減阻效果。研究主要探討的變因有:孔洞大小、抽氣速率，進而發想抽吸設計是否可運用在旋轉圓柱上。實驗與之前不同的是為抽氣孔洞加裝導管，以及創新的實驗旋轉裝置。實驗結果顯示，透過延緩邊界層分離可以有效控制阻力，在雷諾數 15000 時，可減阻。抽氣速率達 22m/s，減阻最大值達 23%。此實驗想法可有效達到減阻效果，並且可以使旋轉葉片減少旋轉阻力，在電壓 6V 時，轉速提升 11%。未來期望能應用在風力發電機葉片上，減少旋轉風阻，提升發電效率。

Abstract

In this study, the airflow boundary layer was controlled to influence the tail vortex to achieve the drag reduction effect. Discuss the influence of different factors of the hole on the resistance, the influence of the suction speed of the straw on the resistance, and whether the suction design can be applied to the rotating cylinder. The main difference in the experiment is the addition of a duct to the suction hole and the innovation of the experimental device for rotating suction. The experimental results show that the resistance can be effectively controlled by delaying the separation of the boundary layer, and the resistance can be reduced when the Reynolds number is 15000. The pumping speed is 22m/s, and the maximum drag reduction is 23%. This experimental idea can effectively achieve the drag reduction effect and reduce the rotation resistance of the rotating blade. When the voltage is 6V, the speed is increased by 11%. In the future, it is expected to be applied to wind turbine blades to reduce rotating wind resistance and improve power generation efficiency.



圖一、圓柱旋轉自然抽氣示意圖

一、 前言

(一) 研究動機

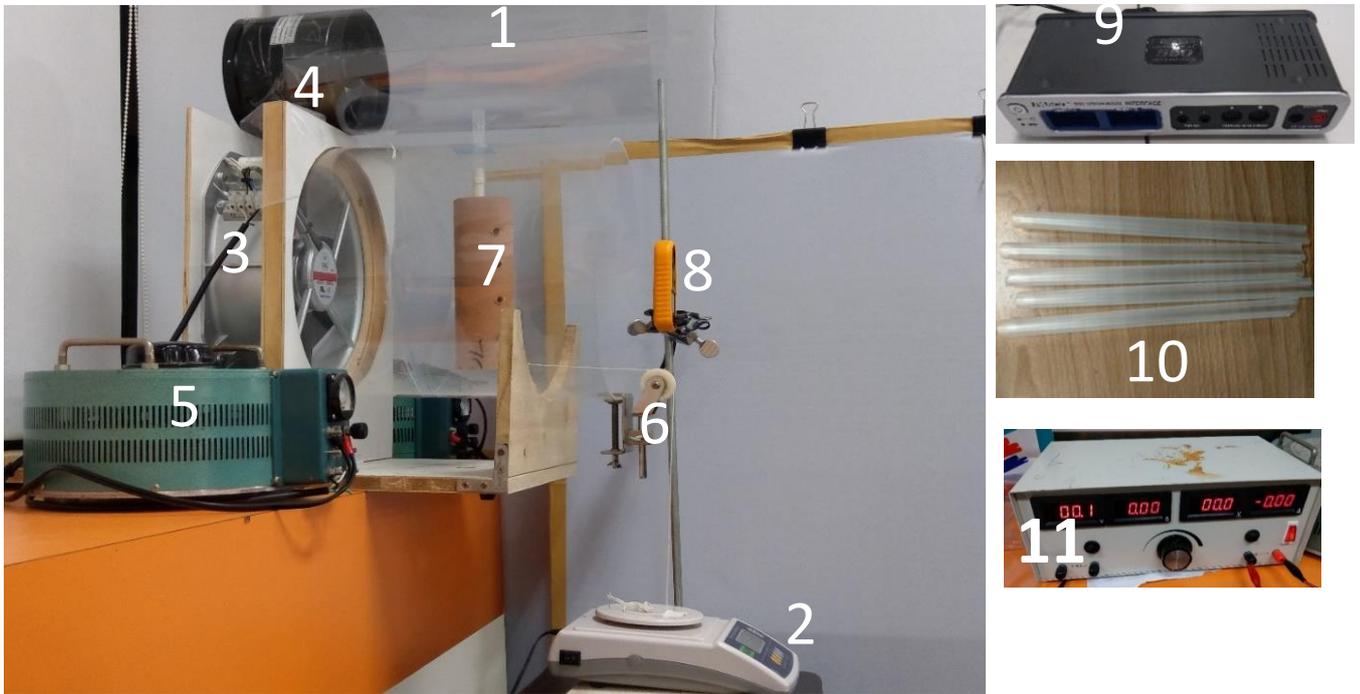
減少空氣阻力在空氣動力學及飛行載具領域中有相當重大的影響。在一般情況下同一物體由於阻力係數為定值，阻力只與風速平方成正比，但在某些情況之下阻力係數也可以被改變。為了降低阻力運用抽吸效應來控制邊界層分離，表面有凹洞、凹槽等。例：高爾夫球上的小凹洞會產生許多小渦流使周圍吸附的流體變薄，以降低阻力。在1904年 L. Prandtl 提出了抽吸效應，抽吸作用為防止或延遲邊界層分離的手段之一。在文獻中提到歐洲研究已證實在機翼上加裝抽吸裝置可以有效的減少阻力，邊界層吸力可以穩定層流並且減少飛行能源消耗。在前人的研究中都是直接挖洞進行抽氣，並無加裝導管。本實驗除了在圓柱上鑽孔外，還加裝孔洞導管設計，增加抽氣的準確性。運用風速差進行抽氣並探討不同的孔洞變因對阻力的影響，之後利用吸管旋轉控制抽氣速率，進而證實將此鑽孔設計應用在旋轉葉片，使其自然抽氣，降低旋轉阻力，並減少抽氣的能源花費。

(二) 研究目的

- 1、 在不同風速下以不同孔洞角度抽氣，對阻力的影響
- 2、 用強制排氣裝置在相同孔洞覆蓋率以不同孔洞面積及數量對阻力係數的影響
- 3、 不同雷諾數下比較有無抽氣對阻力係數的影響
- 4、 用吸管旋轉控制抽氣速率，探討抽氣速率對阻力係數的影響
- 5、 利用圓柱風扇式旋轉探討在不同電壓下，有無抽氣的圓柱旋轉對轉速的影響

二、 研究方法或過程

(一) 實驗器材



圖二、實驗器材

表一、器材項目

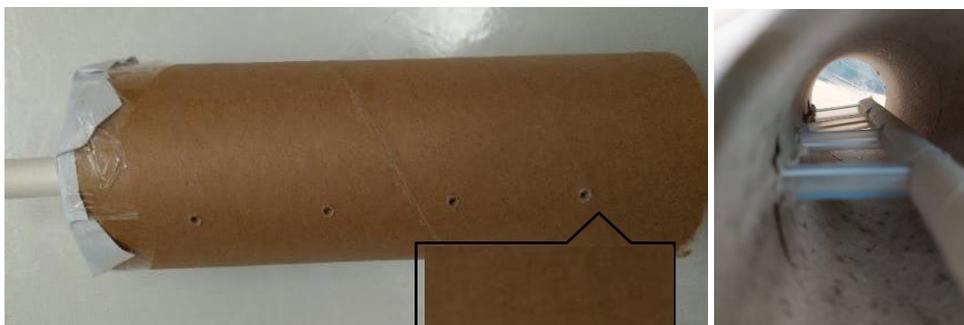
編號	器材	備註
1	塑膠板	製作風罩
2	電子秤	測量阻力
3	送風機	直徑 23.4cm
4	風扇	直徑 14.7cm
5	變壓器	改變風速
6	滑輪	改變施力方向
7	紙圓柱	實驗圓柱長 20cm×直徑 6.3cm
8	風速計	測量風速
9	Pasco	測量氣流壓力
10	吸管	連接圓柱中央與孔洞(直徑 1.1cm)
11	電流供應器	提供馬達直流電

(二) 建立實驗裝置

1、 實驗本體(圓柱)

- (1) 將圓柱表面每隔 4cm 鑽取約直徑 6.5mm 孔洞，總共 4 個孔洞(頭尾不鑽)。
- (2) 將吸管垂直置於厚紙管中央，封住吸管的底部。
- (3) 在吸管與孔洞之間吸管依序插入對應的孔洞，以完成氣流導管製作。

當吸管口吹過的氣流大於圓柱本身流過的風速時，根據伯努力定律，壓力最低處有最高流速，壓力最高處有最低流速，所以裝置外的空氣會從厚紙管的小孔進入圓柱內部的導管再從吸管排出。



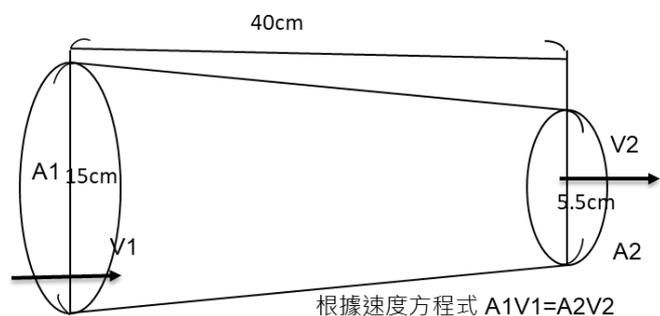
圖三、實驗圓柱及導管圖

2、 風洞

本實驗的利用風速差產生抽吸效應，將兩個風扇疊放起來。用塑膠板將上面的風扇圍出風罩並鑽取洞口使實驗裝置的吸管得以插入，並使兩風扇分別連到變壓器上以利調整風速。而為了讓上風罩風速能更快，我們使用集風罩來使風速到達需求。



圖四、風洞(場域)



圖五、風罩示意圖

理論計算→連續方程式: $A_1V_1 = A_2V_2$

可利用此方式增強風速。

(三) 文獻探討

表二、文獻探討

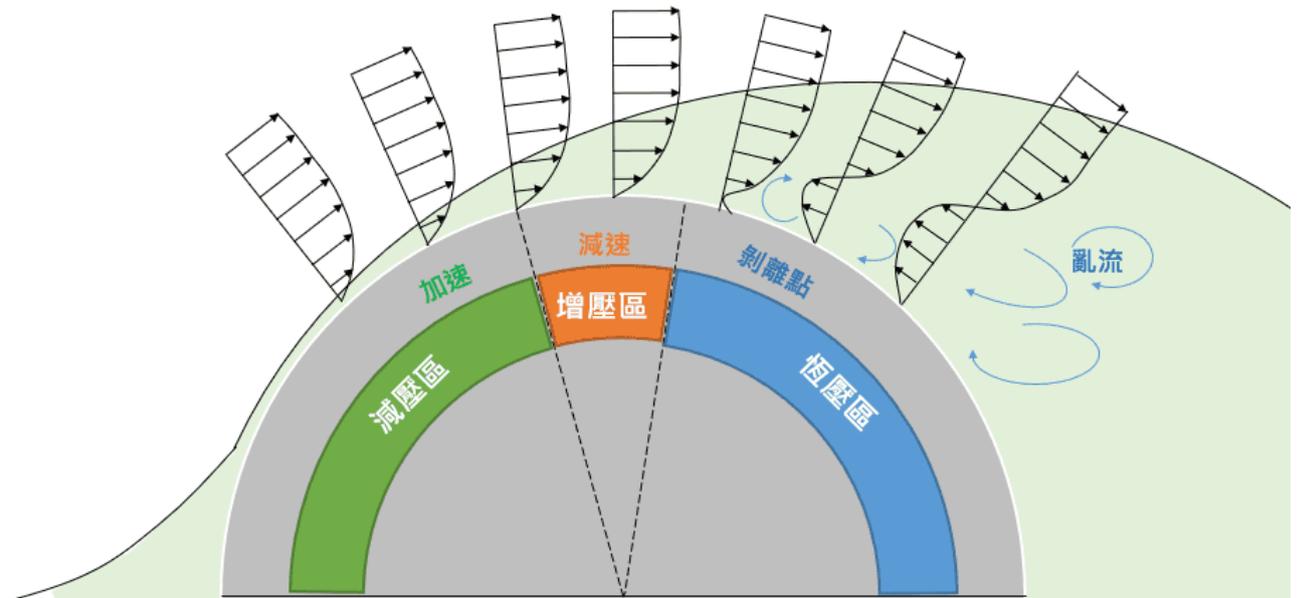
年份	作者	研究名稱	備註	說明(本研究與其差異)
2015 年	張旺龍 譚俊傑 陳志華 任登鳳	低雷諾數下翼 型分離流動抽 吸控制特性研 究	主要研究抽吸係數公 式以推倒抽氣耗能、 壓力及阻力	我們除了利用抽吸公式之 外，也加入雷諾數的計 算，主要探討在圓柱上的 減阻。
2012 年	劉昕恬 廖苑婷	運用抽吸效應 (suction effect)減 阻之研究	使用強制抽氣，主要 研究層流及改變邊界 層厚度加以探討	我們使用自然抽氣，利用 上下風洞的風速差使其抽 氣。
2017 年	吳德儀 陳晏閔	斷尾球「生」~ 探討羽球羽毛 對飛行的影響	探討羽球的飛行模 式。取得五種風速下 的羽球轉速。可對稱 修剪破損羽球，獲得 較為穩定的飛行軌 跡，提升破損球的利 用價值	從中我們了解到不同的風 速下對羽球轉速的關係， 及轉速的測量。
2002 年	陳睿遠 黃韋超 郭曉涵 莊雅雯	不可思議飛行 體---四臂式迴 力鏢的研究	利用迴力鏢投擲器投 擲迴力鏢並描出軌 跡。風速越快，抬 升力愈大。葉面弧度 愈大，抬升力愈大， 轉速愈快，抬升力愈 大。	從中我們了解到風速越 快，抬升力愈大。葉面弧 度愈大，抬升力愈大，轉 速愈快，抬升力愈大。

(四) 原理

(1) 抽吸效應

抽吸是邊界層控制的方法之一，主要是想防止或延遲邊界層，其目的是減少外部流中物體的阻力或減少通道中能量的損失。為了產生吸力，表面應有孔（狹縫，多孔部分，穿孔等）。這些孔用於抽吸邊界層中最靠近表面且以最低速度行進的部分。可用在機翼、葉片、船等。

吸力是邊界層分層的一種有效方法，它可以減少摩擦損耗。吸力對層狀邊界層穩定性的影響是由於邊界層厚度的減小（較薄的邊界層更不易產生湍流），和速度分佈的變化（變得更加廣泛）。



圖六、氣流在圓柱表面速度變化分布示意圖(自行繪製)

(2) 白努力定律

白努力定律描述流體沿著一條穩定、非黏性、不可壓縮的流線移動行為。

白努力定律可以從能量守恆定律來說明。任何的流體速度增加，即代表動態壓力和單位體積動能的增加，而在同時會導致其靜態壓力，單位體積流體的位能、內能等三者總和的減少。任一水平流動流體之內，壓力最低處有最高流速，壓力最高處有最低流速。也可以直接由牛頓第二定律解釋。如果一個小體積區域的流體因水平流動，而有從高壓到低壓的分佈，即後方區域較前面區域有更多的壓力。假設前

後方區域面積相等，如此便提供了一個正向淨力施於小體積區域，加速其沿正向流動。因此，在流動流體的水平之內，以最高的速度發生壓力最低，最低的速度發生壓力最高。

白努力定律公式

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constant}$$

v=流體速度

g=重力加速度

h=流體處於的高度

p=流體所受的壓力常數

ρ=流體質量密度

(3) 雷諾數

雷諾數是流體的慣性力與黏性力的比值的量度，取決流場層流、過渡區及紊流。雷諾數小時因黏滯力而使流速擾動減弱，使流動較穩定，反之當雷諾數較高時，慣性對流速的影響大於黏滯力的影響，故流動較不穩，稱之紊流，在層流和紊流之間為過渡流，阻力係數會急速減少。

$$\text{雷諾數: } Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} = \frac{Q D}{\nu A}$$

V=平均流速

D=管直徑

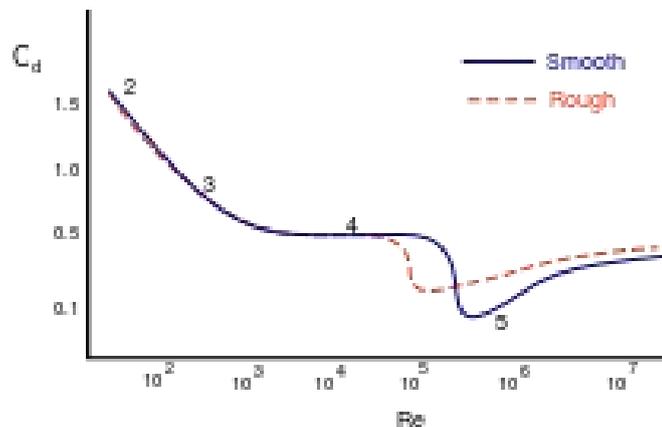
μ=流體動力黏度

ν=運動黏度

ρ=流體密度

Q=體積流量

A=橫截面積



圖七、不同雷諾數的阻力係數(資料來源：維基百科)

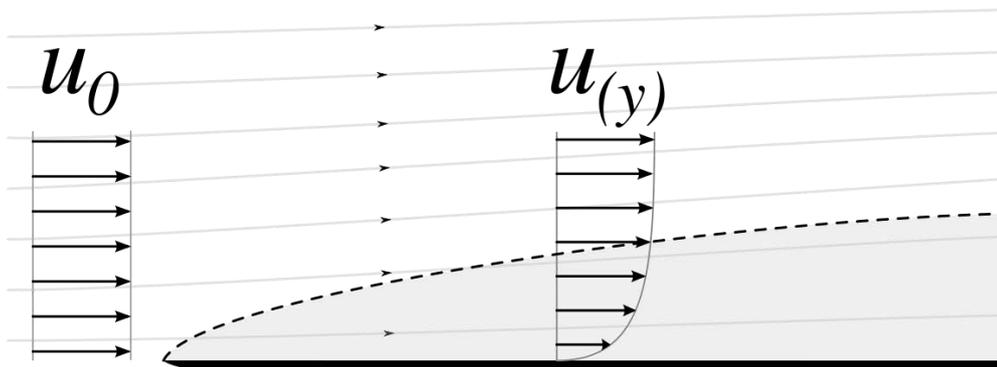
(4) 康達效應

康達效應，亦稱附壁作用。流體（水流或氣流）有離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動之傾向，並使周圍流體逸入此一噴流中。由於流體移動方向改變，使得周圍產生壓力較低的區域，此稱為康達效應。這種作用是以羅馬尼亞發明家安利·寬德（Henri Coandă）為名。

(5) 邊界層

邊界層，又稱附面層是一個流體力學名詞，表示流體中緊接著管壁或其他固定表面的部份。邊界層是由黏滯力產生的效應，和雷諾數 Re 有關。

一般提到的邊界層是指速度的邊界層。在邊界層外，流體的速度接近定值，不隨位置而變化。在邊界層內，在固定表面上流速為 0，距固定表面越遠，速度會趨近一定值。



圖八、邊界層示意圖(資料來源：維基百科)

(6) 阻力係數

阻力是物體在流體中相對運動所產生與運動方向相反的力。對於一個在流體中移動的物體，阻力為周圍流體對物體施力，在移動方向的反方向上分量的總和。而施力和移動方向垂直的分量一般則視為升力。因此阻力和物體移動方向恰好相反，像飛機前進時會產生推力來克服阻力的影響。

阻力公式: $F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A$

F_D =阻力

ρ =流體密度

v =流體速度(風速)

A =截面積(圓柱)

C_D =阻力係數

(五) 實驗流程圖

架設風洞 製作風洞及實驗樣本

**文獻摘要及
實驗設計** 藉由抽吸效應及白努力定律來探討實驗可行性

**實驗製作
與測量**

1. 不同孔洞覆蓋率對阻力影響
2. 測量風速與孔洞角度對阻力係數的影響
3. 有無抽氣過渡區位置
4. 不同抽氣速率對轉速的影響
5. 有無抽氣的圓柱旋轉對阻力係數的影響

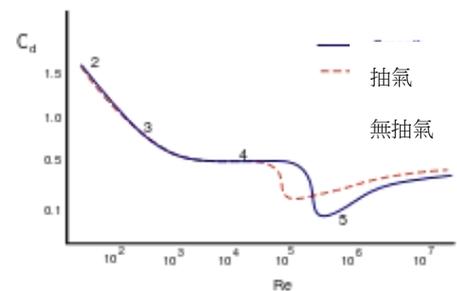
結果討論 分析實驗結果、討論實驗問題及未來延伸方向



圖九、實驗裝置圖



圖十、圓柱旋轉裝置圖

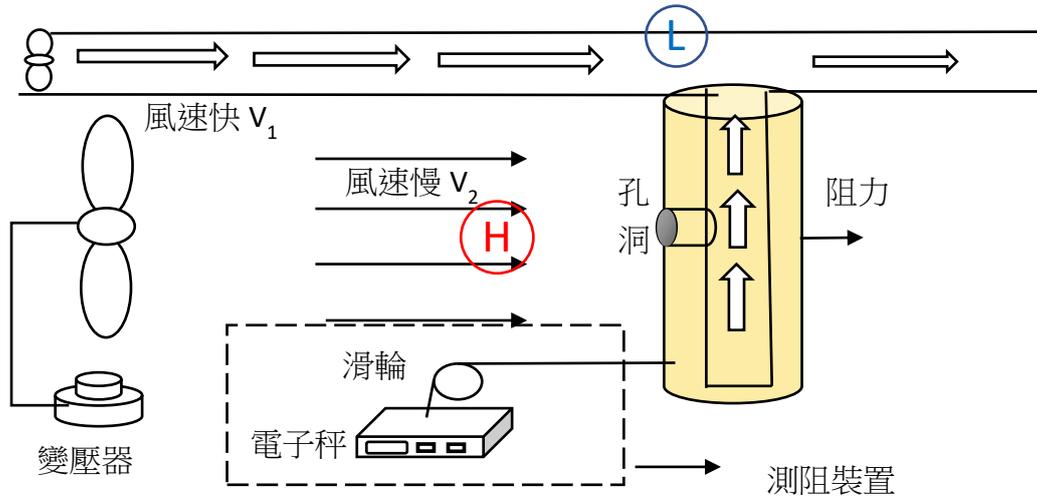


圖十一、抽氣雷諾數預期結果圖

(資料來源：維基百科)

(六) 實驗原理

1、強制抽氣

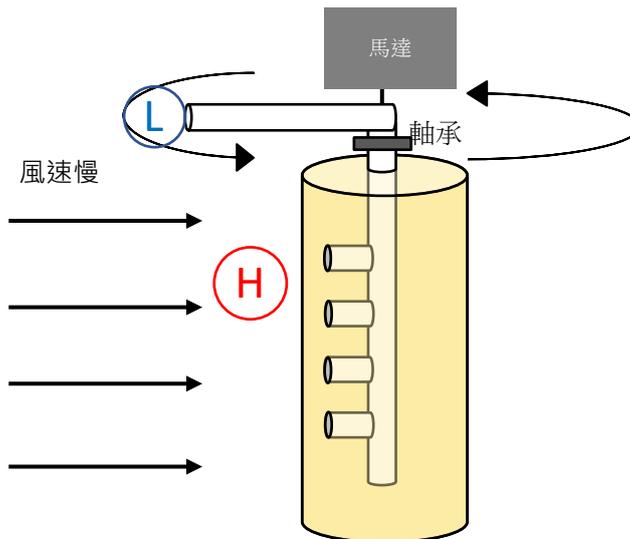


圖十二、強制抽氣原理圖

提供兩風速，上方風速大於下方風速，利用上下風速差，因為白努力定律流速快壓力小，流速快壓力大而使孔洞抽氣，往上方排氣，造成抽吸，延緩邊界層分離。棉線連接電子秤及圓柱底部，用滑輪改變受力方向，從電子秤得出的數字再乘以力臂即為圓柱本身阻力。

2、旋轉抽氣

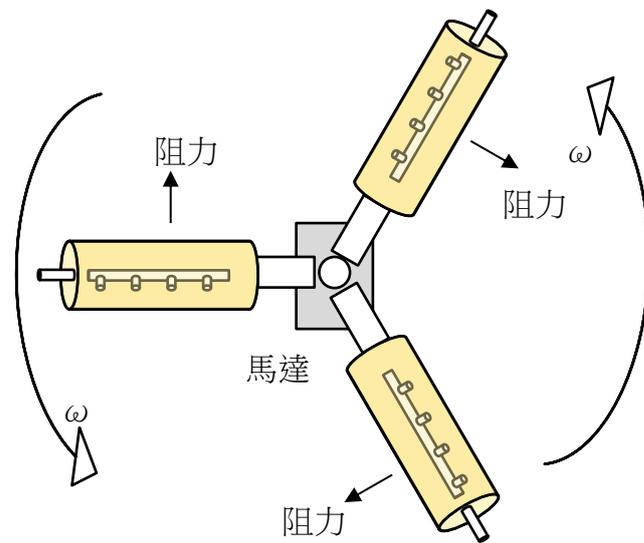
(1) 吸管旋轉抽氣



圖十三、吸管旋轉抽氣原理圖

吸管旋轉造成外側管口風速較主要風速(風洞風速)快。根據白努力定律，風速快，壓力小，而產生抽氣。控制馬達轉速，改變抽氣速率，探討減阻效果。在此實驗本體的吸管先接著軸承再加一根橫著的吸管，使吸管旋轉而圓柱不轉，於實驗裝置底部連接棉線搭配滑輪接到電子秤測量阻力，用馬達使吸管旋轉。

(2) 圓柱葉片旋轉



圖十四、圓柱葉片旋轉原理圖(自然抽氣)

將 3D 列印圓柱設置馬達上並固定孔洞角度與大小，比較有無抽氣，將抽吸洞孔鑿於圓柱葉片上並且在孔中加裝導管，以外側風速大於內側風速，產生壓力差，而自然抽氣，不需而外耗能產生抽吸效應，探討是否減阻。

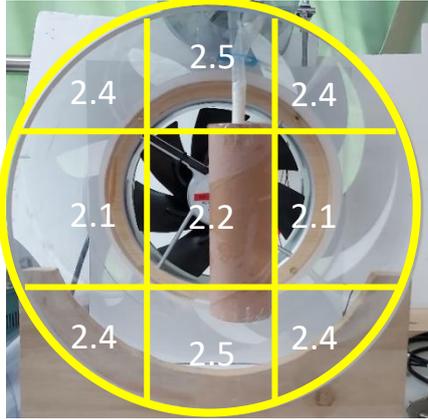
(七) 流場煙霧觀察

我們使用線香的煙，左圖為無抽氣，可發現氣流相當遠離圓柱，右圖進行抽氣後會發現氣流相較無抽氣之氣流，更加貼近圓柱也更穩定。



圖十五、線香煙有無抽氣圖(右圖為抽氣過後氣流較貼近圓柱)

(八) 風速校準



我們發現圓柱邊的各个風速會不同，我們利用九宮格的方式，測量每一處風速，並進行校正。

圖十六、風速平均 $2.33 \pm 0.2 \text{ m/s}$ 校正圖

(九) 實驗一: 不同風速對最佳孔洞角度的影響

1、實驗說明：

當風速越快時，風剝離圓柱表面的角度會越前面，使用強制抽氣，探討風速大小是否會影響最佳減阻的孔洞角度。

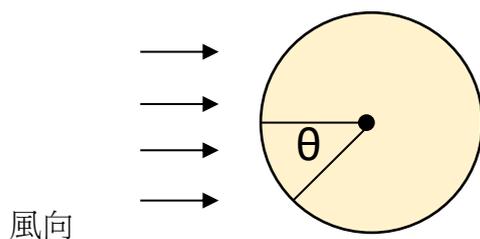
2、實驗步驟：

- (1) 進行不同風速的測量校準。
- (2) 測量出各個風速減阻效果最佳的角度。
- (3) 在不同風速測量不同孔洞角度對阻力係數之影響。

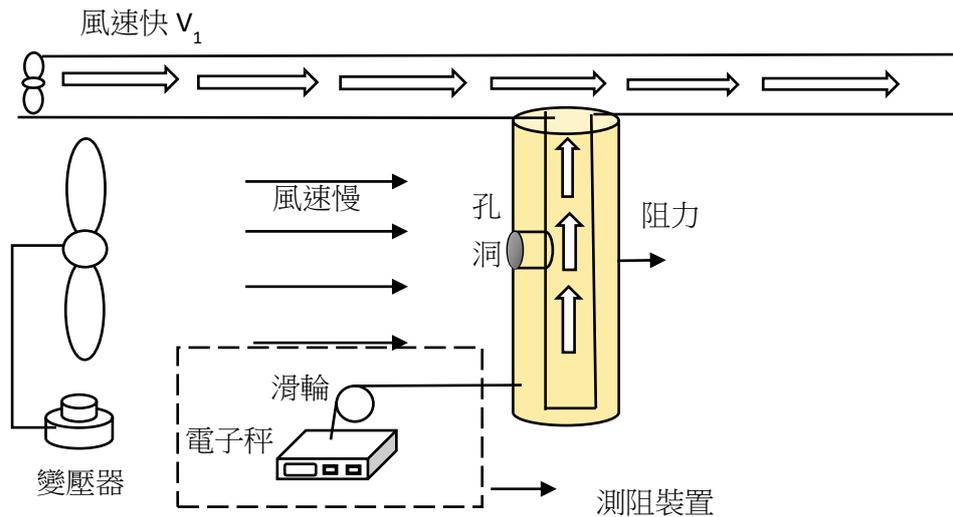
表三、上下風速表

上風速 m/s	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
下風速 m/s	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5

- (4) 固定圓柱上孔洞直徑為 2.5mm
- (5) 以等比例改變上下風速製造風速差
- (6) 探討不同風速對最佳角度的影響



圖十七、孔洞角度示意圖(圓柱俯視圖)



圖十八、強制抽氣實驗裝置示意圖

(十) 實驗二：在相同孔洞覆蓋率下，探討不同孔洞變因對阻力係數影響

1、實驗說明：

固定上下風速、孔洞角度及抽吸速率，變更孔洞覆蓋率

覆蓋率計算： $(\text{孔洞數量} \times \text{孔洞面積}) / \text{圓柱截面積面積} = \text{定值}$

2、實驗步驟：

- (1) 在圓柱上 6.5mm 的 4 個孔洞貼上塑膠片。
- (2) 在塑膠片上分別鑽取直徑 1.7mm×4(個)、2mm×3(個)、2.5mm×2(個)、3.5mm×1(個) 的孔洞。
- (3) 固定上下風速(2.5m/s)及孔洞角度。
- (4) 每個孔洞變因測量五次。
- (5) 在相同覆蓋率下找出孔洞大小與數量最佳搭配。

(十一) 實驗三: 透過阻力係數測量比較有無抽氣過渡區位置

1、實驗說明：

當雷諾數到達一定值，在層流及紊流之間的過渡區，阻力係數會急速下降，我們希望藉由抽氣時，圓柱的過渡區能在更小的雷諾數下發生，提早阻力減少。

2、實驗步驟：

- (1) 設定好具有上下風速差的風洞。
- (2) 測量圓柱對照組在不同雷諾數下，阻力係數的影響。

- (3) 測量圓柱實驗組在不同雷諾數下，阻力係數的影響。
- (4) 每個孔洞變因測量五次。
- (5) 根據所測結果討論阻力係數與雷諾數之影響。

(十二) 實驗四: 抽氣速率對阻力的影響

1、 實驗說明：

吸管旋轉造成外側管口風速較主要風速(風洞風速)快。控制馬達轉速，改變抽氣速率，探討減阻效果。在此實驗本體的吸管先接著軸承再加一根橫著的吸管，使吸管旋轉而圓柱不轉，於實驗裝置底部連接棉線搭配滑輪接到電子秤測量阻力，用馬達使吸管旋轉。

2、 實驗步驟：

- (1) 進行對照組實驗，在相同風速下測量阻力係數。
- (2) 在圓柱上接一旋轉吸管，在接口加裝軸承，使其能夠穩定旋轉。
- (3) 圓柱利用吸管旋轉並進行抽吸效應，探討阻力係數影響。
- (4) 每個孔洞變因測量五次。
- (5) 利用 Tracker 影像辨識測量轉速，在進而並對照初步實驗，得出抽氣速率。

3、 根據抽吸速率及白努力定律

抽吸速率公式:

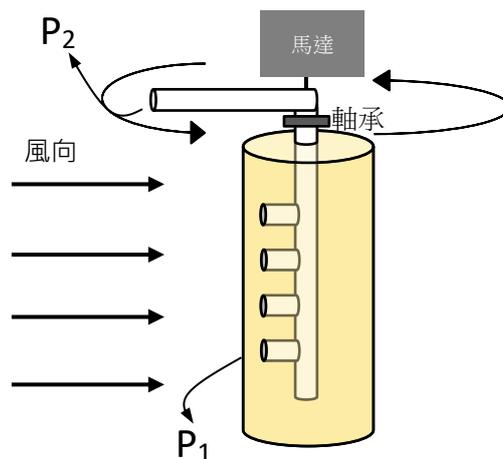
$$q = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$v = \sqrt{2 \frac{(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

q = 動壓

ρ = 空氣密度

v = 流速



圖十九、圓柱吸管旋轉示意圖及裝置圖

(十三) 實驗五：有無抽氣的圓柱旋轉對阻力係數的影響

1、實驗說明：

將 3D 列印圓柱設置馬達上並固定孔洞角度與大小，以不同電壓比較有無抽氣對轉速的影響，將抽吸洞孔鑽於圓柱葉片上，以外側風速大於內側風速，產生抽吸效應，期許旋轉葉片產生減阻效果。

2、實驗步驟

- (1) 直徑 4cm、高 14cm 的圓柱。
- (2) 在圓柱上鑽直徑 5mm 的孔洞並用導管連接中央粗管。
- (3) 將圓柱固定於馬達上並調整馬達不同電壓。
- (4) 固定孔洞大小及角度。
- (5) 調整不同電壓。
- (6) 比較有無抽氣對轉速的影響。



圖二十、圓柱旋轉裝置

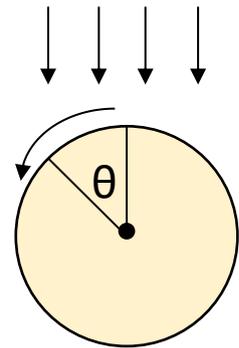
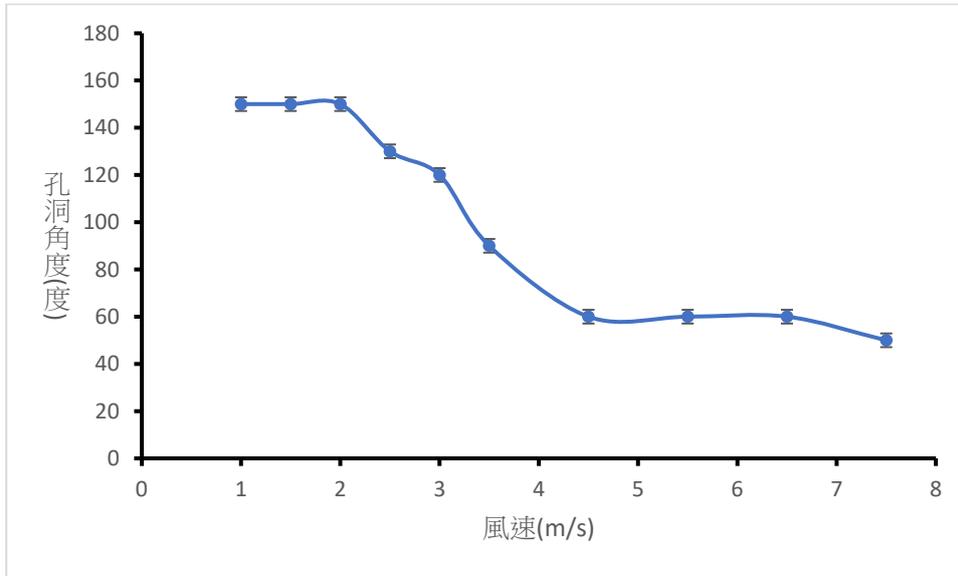
三、 研究結果與討論

(一) 研究結果

1、 實驗一: 在不同風速下以不同孔洞角度抽氣探討阻力係數的影響

控制變因: 抽氣速率、孔洞覆蓋率大小

操縱變因: 風速大小



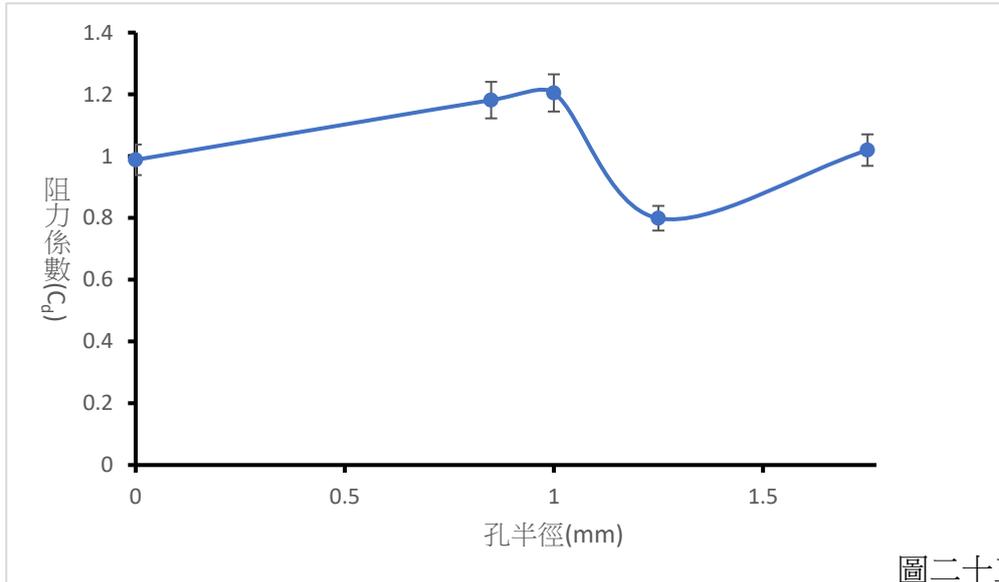
圖二十一、在各個風速測量最佳阻力的孔洞角度

- (1) 從本次實驗中發現風速大小會和最佳孔洞減阻角度呈現負相關，風速越大，孔洞最佳減阻角度越小。
- (2) 在風速 2m/s 之前孔洞角度皆在 150 度，之後開始下降，隨風速大而減少角度，到風速 4.5m/s 即逐漸平緩(孔洞角度 60 度)。

2、實驗二：在相同孔洞覆蓋率以不同孔洞面積及數量對阻力係數的影響

控制變因：孔洞覆蓋率(0.003)、風速、抽氣速率

操縱變因：改變不同孔洞變因



圖二十三、圓柱上孔洞塑膠片

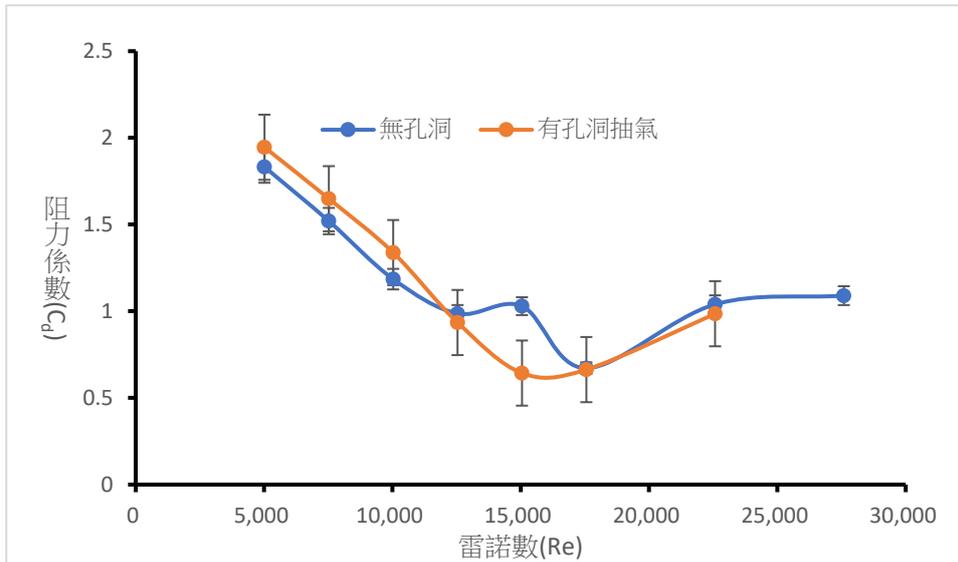
圖二十二、在相同覆蓋率改變不同孔洞變因對阻力係數的影響

- (1) 孔半徑 1.75mm 阻力和對照組相比並沒有過多的變化。
- (2) 孔半徑 1.25mm 為圖表中減阻效果最為明顯，約減少 20%的阻力。
- (3) 孔半徑 1mm 及 0.85mm 增加阻力。
- (4) 改變孔洞面積，並且維持相同覆蓋率，發現會影響阻力係數並且孔洞半徑 1.25mm 為最佳孔洞變因。

3、實驗三: 不同雷諾數下比較有無抽氣對阻力係數的影響

控制變因: 抽氣速率

操縱變因: 有無抽氣



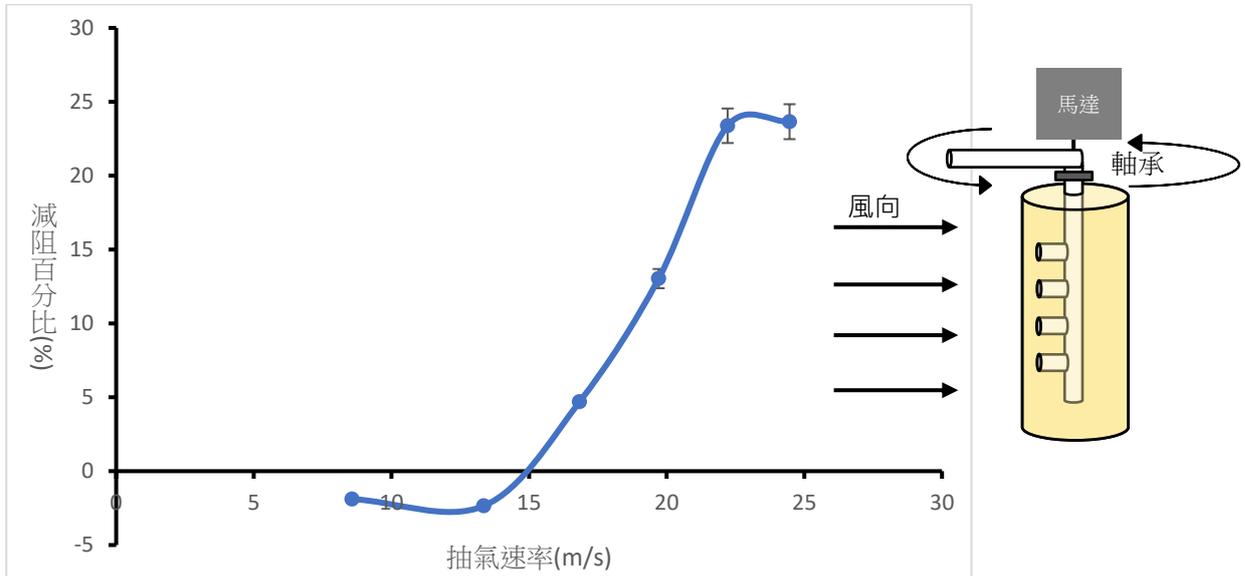
圖二十四、不同雷諾數下比較有無抽氣對阻力係數的影響

- (1) 在 $5000 < \text{雷諾數} < 15000$ 下無孔洞的阻力係數逐漸減少。在雷諾數約為 17000，阻力係數明顯降低，為 0.67，之後雷諾數 > 20000 ，阻力係數上升至 1 並逐漸平緩。
- (2) 在 $5000 < \text{雷諾數} < 15000$ 下有孔洞抽氣的阻力係數逐漸減少，並略大於無孔洞。在雷諾數約為 12000，阻力係數明顯降低，為 0.64，之後雷諾數 > 20000 ，阻力係數上升至 1 並逐漸平緩。

4、 實驗四: 圓柱利用吸管旋轉並進行抽吸效應，探討抽氣速率對阻力係數影響

控制變因: 孔洞角度、孔洞覆蓋率

操縱變因: 抽氣速率



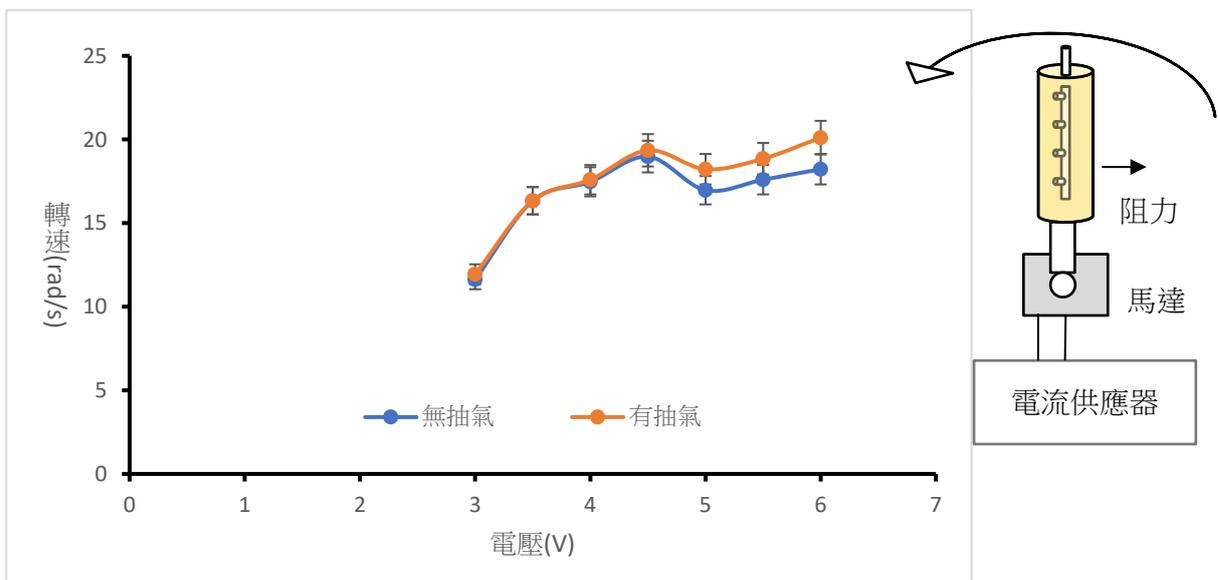
圖二十五、圓柱利用吸管旋轉並進行抽吸效應，探討抽氣速率對阻力係數影響

- (1) 在抽吸速率達 15m/s 之前，增加阻力，之後才有線性的阻力減少的成長。
- (2) 在抽吸速率到 22m/s 已經到達最大值，不再增加。

5、 實驗五: 在相同電壓比較有無抽氣對轉速的影響

控制變因: 孔洞角度、孔洞覆蓋率

操縱變因: 電壓大小



圖二十六、在相同電壓比較有無抽氣對轉速的影響

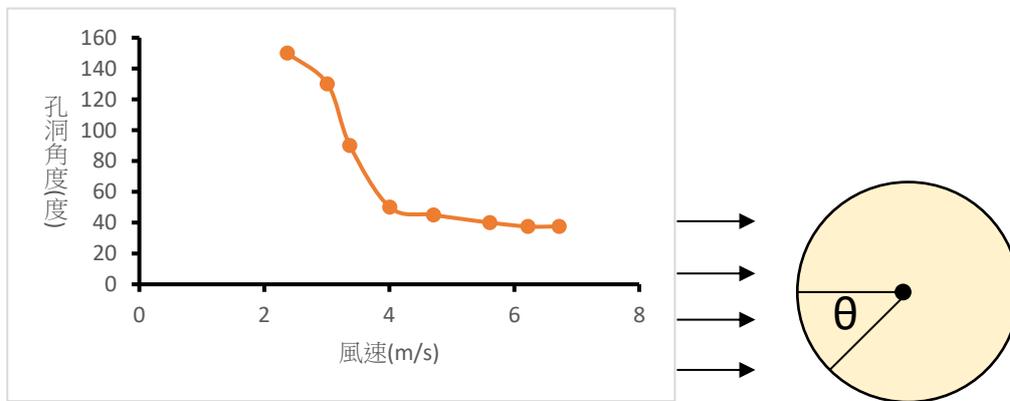
(1) 電壓和轉速呈現正相關。

(2) 有抽氣在施於馬達電壓為 5 伏特時，轉速增加，減少旋轉風阻。

(二) 討論

1、不同風速對最佳孔洞角度的影響

從實驗中我們發現風速越大，孔洞最佳減阻角度越小，推測最佳減阻角度和邊界層剝離點有關。當邊界層因為黏滯力不足以繼續吸附圓柱表面時，即開始剝離，並會在尾部產生渦流，而我們推測抽吸效果最好就是在剝離點進行抽氣，這和我們實驗結果吻合。



圖二十七、風速大小對邊界層剝離角度(資料來源:劉昕恬、廖苑婷。第54屆科展物理組作品。)

2、在相同孔洞覆蓋率下，探討不同孔洞變因

透過相同孔洞覆蓋率，我們可以更精確的了解孔洞面積及數量對圓柱阻力的影響。從實驗結果發現孔洞直徑 2.5mm 有最好的減阻孔洞變因，推測可能因為此變因不但可以使吸入邊界層面積更大，還可以減少邊界層厚度。另外，孔洞直徑 2mm 及孔洞直徑 1.7mm 阻力增加的原因可能為單一孔洞過小，不但無法使邊界層更靠近，還有可能會破壞邊界層而增加阻力。

3、透過阻力係數測量比較有無抽氣過渡區位置

在氣流中，當流速很小，雷諾數很低時，氣流層層分流，互不混合，出現層流，使阻力增大；逐漸增加流速，流體的流線開始出現不對稱亂流，使圓柱本體振幅擺動，出現過渡流，其阻力會降到最低；當流速加大，雷諾數增加($Re > 20000$)時，流場產生許多

渦流，而使阻力增加後逐漸穩定。抽氣會使圓柱在相同雷諾數下提早產生不對稱亂流，而使過渡區提前發生。

4、抽氣速率對阻力的影響

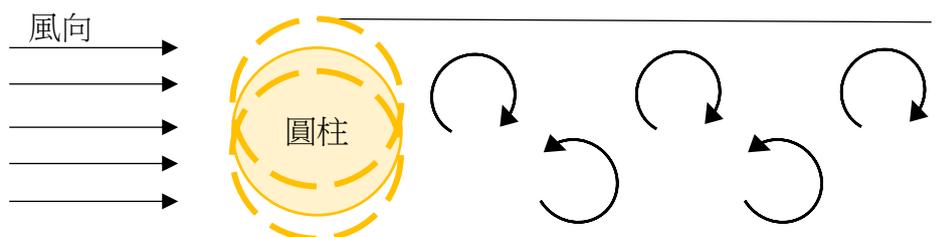
從實驗結果中得知，抽氣速率小於 15m/s 會增加阻力，推測抽氣速率過慢，不但無法使邊界層貼近圓柱表面，還有可能會破壞邊界層，使亂流提早產生。當抽氣速率到達 22m/s 時，減阻已達最大值，推測此時邊界層厚度最薄，使截面積所受到的阻力最小，並且尾部最少亂流。

5、有無抽氣的圓柱旋轉對阻力係數的影響

從實驗結果得知旋轉抽氣減阻並沒有很明顯但仍然有減少阻力。推測轉速不夠可能會使風速過慢造成抽氣效果不好。另外，外側排氣孔和抽氣孔洞抽氣速率取決半徑比，使風速差固定，可能抽氣速率不夠快。

6、數據誤差討論

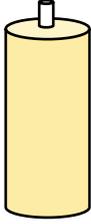
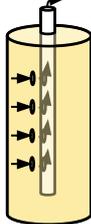
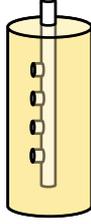
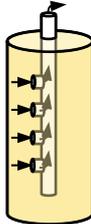
本研究用電子秤得到的數字易於跳動，並且可以看到圓柱被風吹動時，過於晃動。推測的原因除了風速不穩之外，還有因為風吹過圓柱表面會產生逸放頻率，使物體震動，而我們本次實驗裝置的孔洞並沒有鑽對稱，可能會使逸放頻率的振幅增加，讓測量數字更加了不穩定。



圖二十八、卡門渦街示意圖

7、比較無導管無抽氣、無導管有抽氣、有導管無抽氣、有導管有抽氣阻力係數

表四、不同實驗樣本阻力係數

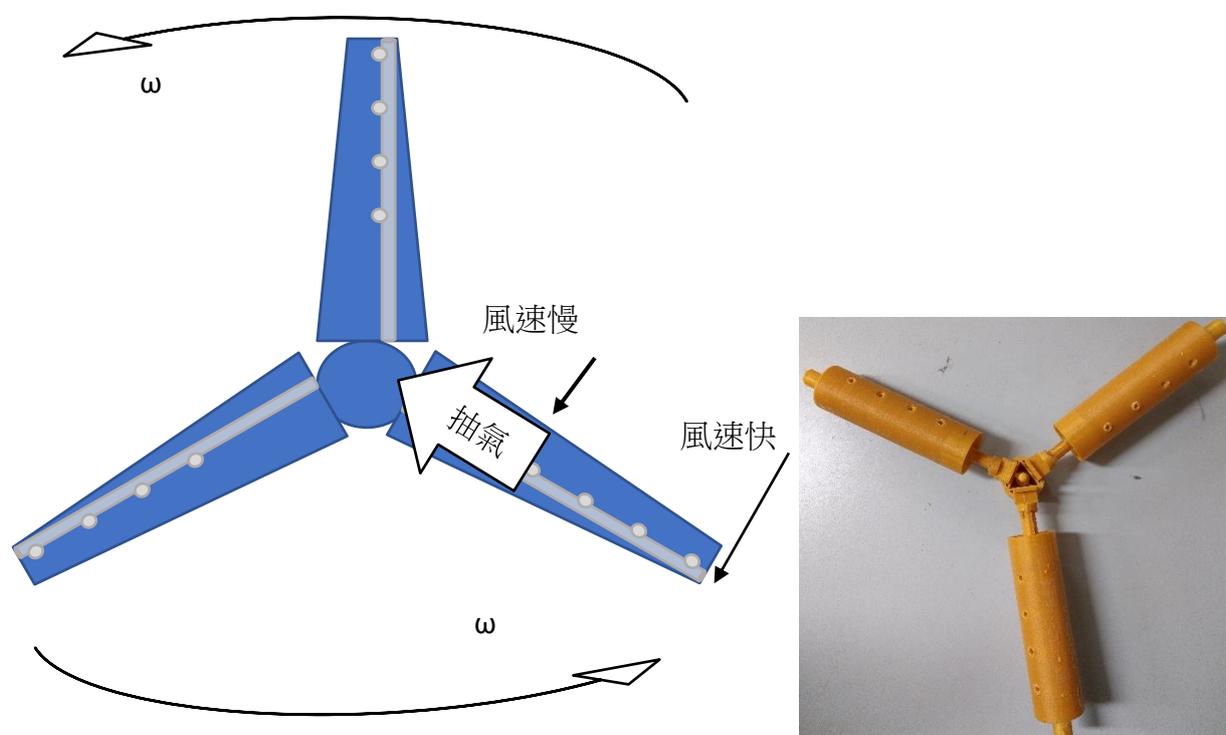
樣本變因	無導管無抽氣	無導管有抽氣	有導管無抽氣	有導管有抽氣
				
阻力係數	0.988	1.178	1.318	0.759

在風速 2.5m/s 中，發現加裝導管並抽氣較其他實驗樣本有較好的阻力係數，阻力係數大小: 有導管有抽氣<無導管無抽氣<無導管有抽氣<有導管無抽氣

四、 結論與應用

- (一) 本次實驗是採取自然的抽吸設計和以往的不同。運用風速差造成的壓力的不同，而使裝置抽氣，並且在圓柱孔洞中加裝導管，達到減阻的效果。在風速 2.5m/s 加裝導管並抽氣可以減少阻力 21.5%。
- (二) 經過前人實驗數據和本次實驗數據對比後，我們發現風速的大小，因為會影響風的剝離位置，而影響抽氣最低阻力的角度，並且在剝離角度抽氣有最佳的減阻值，風速 2.5m/s 最佳減阻角度為 130 度，阻力係數為 0.94。未來可用此方法來推測圓柱剝離位置。
- (三) 結果說明，在圓柱表面抽氣可以使過渡區在更低雷諾數出現，並且在雷諾數 15000 抽氣有明顯的減阻。
- (四) 由實驗四可知在風速 2.5m/s 抽氣速率大小會有效影響阻力係數，並且抽氣速率大小有一定範圍較有效果，在抽氣速率 15m/s 之前，阻力增加，抽氣速率 22m/s 為減阻極值，減少 23%，阻力係數 0.756。
- (五) 將鑽孔並加導管設計可應用在圓柱葉片上，以證實可以減少轉動所需的阻力。在馬達固定於電壓 6V 時，轉速能提升 11%，增強轉速，減少風阻。
- (六) 未來應用

期望未來可利用此方式測量物體剝離點位置，並且也因此進而了解尾部層流影響。也可期盼應用在風力發電葉片上，在上鑽抽氣孔洞，並利用外側風速大於內側風速，產生自然抽吸效應，減少旋轉阻力，以提高發電效率。



圖二十九、圓柱風扇示意圖及裝置圖

五、參考文獻

- (一) NASA Official: Nancy Hall : Lift of a Rotating Cylinder。取自:<https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/cyl.html>
- (二) Danny R. Hoad. Eternally Blown Flaps Impingement Parameter. Langley Directorate, U.S. Army Air Mobility R&D Laboratory.
- (三) Vladimir L.Bychkov, Igor I.Esakov, Lev P.Grachev, Kirill V.Khodataev(2008). A Microwave Discharge Initiated by Loop-Shaped Electromagnetic Vibrator on a Surface of Radio-Transparent Plate in Airflow. Moscow Radiotechnical Institute RAS, Moscow, Russia.
- (四) 李中傑(2016)。棒球物理大聯盟:王建民也要會的物理學

【評語】 100016

1. 本研究探討風場下圓柱氣孔導管抽吸對風阻係數影響。值得鼓勵。
2. 建議可以針對不同變因的影響原理與效益，作進一步探討。
3. 建議應對於研究成果如何導入具有降低風阻需求之應用場景，作進一步探討。
4. 系統以圓管為主，但已具備多樣系統參數可以探索，在小圓孔徑之外，小圓孔深度、大圓管長度（尤其在旋轉上會有影響）、管內氣體流速流量等，會複合出一個總和運作效能。建議可以更全面的進行模擬與測試。
5. 建議思考抽氣速率應以體積/時間為單位還是 m/s 。
6. 建議思考抽吸是否耗能。與減少風組之節能效益是否相符。