

# 【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 高中（職）組成果報告表單

題目名稱：氣流抽吸設計在圓柱表面的減阻探討

### 一、摘要：

本研究藉由控制氣流邊界層，影響尾部渦流以達到減阻效果。探討孔洞的不同變因對阻力的影響，吸管旋轉抽氣速率對阻力的影響，進而探討抽吸設計是否可運用在旋轉圓柱上。實驗主要的不同點為抽氣孔洞加裝導管，以及實驗裝置旋轉抽氣的創新。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%。

### 二、探究題目與動機

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。

### 三、探究目的與假設

在有些飛機的機翼表面會鑽取小孔，以增加飛行里程。



波音 777X



F-16XL

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

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 實驗一：不同風速對最佳孔洞角度的影響

###### (一)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。

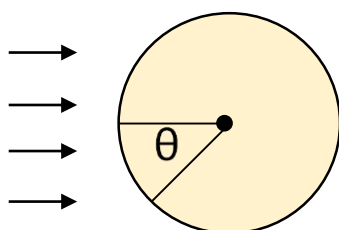
###### (二) 實驗步驟：

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。

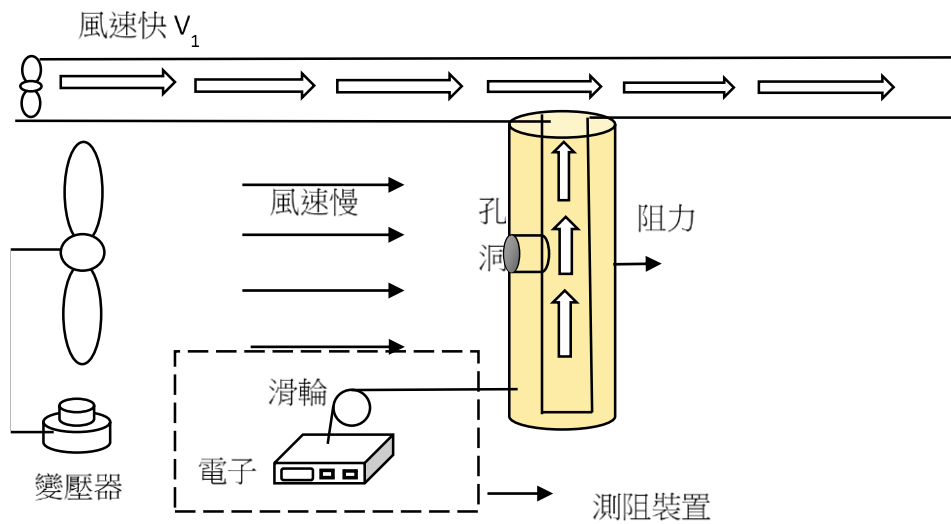
表一、上下風速表

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. 固定圓柱上孔洞大小為 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



孔洞角度示意圖(圓柱俯視圖)



強制抽氣實驗裝置示意圖

實驗二：在相同孔洞覆蓋率下，探討不同孔洞變因

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

(二) 實驗步驟：

1. 在圓柱上 6.5mm 的 4 個孔洞導管貼上塑膠片。
2. 在塑膠片上分別鑽取 1.7mm×4(個)、2mm×3(個)、2.5mm×2(個)、3mm×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。

實驗三：透過阻力係數測量比較有無抽氣過渡區位置

(一)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。

(二)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. 測量圓柱對照組在不同雷諾數下，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。

#### 實驗四: 抽氣速率對阻力的影響

##### (一) 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。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。

##### (二) 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。

##### (三) 根據抽吸速率及白努力定律

抽吸速率公式      白努力定律公式

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

$$v = \sqrt{2 \frac{(P_1 - P_2)}{\rho}} \qquad v = \text{流體速度}$$

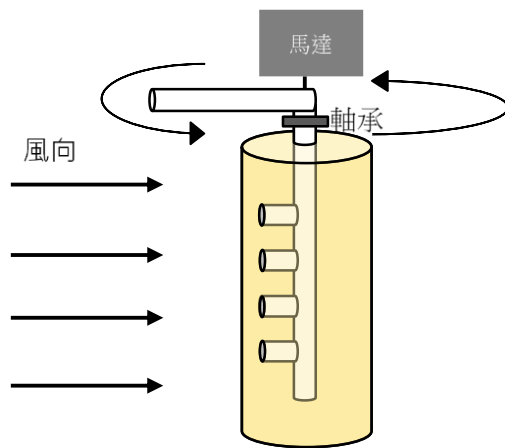
$q$  = 動壓                       $g$  = 重力加速度

$\rho$  = 空氣密度                   $h$  = 流體處於的高度

$v$  = 流速

$p$  = 流體所受的壓力常數

$\rho$  = 流體質量密度



圓柱吸管旋轉示意圖及裝置圖

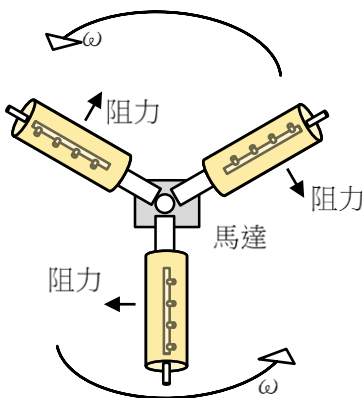
## 五、結論與生活應用

- 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，而使裝置的抽氣，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 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。在電壓 6V 時，轉速提升 11%。

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。



圓柱風扇示意圖及裝置圖

#### 參考資料

1. NASA Official: Nancy Hall : Lift of a Rotating Cylinder。取  
自:<https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/cyl.html>
2. 廖范婷、劉昕恬 (2014)。運用抽吸效應(suction effect)減阻之研究。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會。
3. Nils Beck, Tim Landa · Arne Seitz · Loek Boermans, Yaolong Liu · Rolf Radespiel(2018) · Drag Reduction by Laminar Flow Control。取  
自:[https://www.researchgate.net/publication/322637855\\_Drag\\_Reduction\\_by\\_Laminar\\_Flow\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/322637855_Drag_Reduction_by_Laminar_Flow_Control)
4. 李中傑(2016)。棒球物理大聯盟:王建民也要會的物理學