

# 新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：物理

組 別：國小組

作品名稱：風砲炸裂－空氣砲出風口大小對威力的影響研究

關 鍵 詞：空氣砲、3D 列印

編 號：115PB-P008

## 摘要

本研究旨在探討空氣砲「出風口」與「進風口」大小對氣流速度的影響，並透過煙霧實驗觀察渦環（渦流）的成型狀態與威力的關聯。為了克服傳統寶特瓶空氣砲易變形、每次拉力不均的問題，我們利用 3D 列印技術製作出標準化的硬式空氣砲，配合直尺校準拉力距離與定期更換橡皮筋，進行高信度的量化測速與質性觀察。研究結果顯示：一、在進風口固定下，出風口越小，風速越快；二、在出風口固定下，進風口越大，砲管容納空氣越多，擠壓出的風速也越快；三、無論何種空氣砲規格，其中心風速皆顯著大於邊緣風速，此內外速度差為形成渦環的關鍵科學原理；四、初始風速最快，不代表遠距離威力最大。進風口過大（如黑色空氣砲）易產生紊流使煙霧直接散開，唯有適當的進出風口比例（如紅色空氣砲，進風 75mm、出風 20mm），才能形成穩定且清晰的渦環，將能量集中並傳遞至遠方。本研究成功量化空氣砲威力，並證實「渦環的穩定度」是維持遠距離破壞力的核心關鍵。

## 壹、研究動機

有一次我們在網路上看到影片，有人做了超級巨大的空氣砲，能射出好大好大的煙霧圈，甚至還可以把很遠地方的紙箱擊倒！看到那些圈圈飛得那麼遠、力量那麼大，我們覺得非常驚訝。大家就開始討論為什麼會有圈圈？要怎麼增加空氣砲的威力？以前我們玩空氣砲時，都是隨便拿家裡的寶特瓶來做，但寶特瓶大小不一，而且瓶子容易變形，再來每次用手拉的力氣都不一樣，沒辦法知道確定的數據。我們思考後，決定研究空氣砲的出風口大小對空氣砲威力的影響，利用學校的 3D 列印機，做出一套大小固定、不會變形的空氣砲，並配合標準的發射方式，來研究出風口半徑會怎麼影響風速的變化，嘗試做出威力最大的空氣砲。

## 貳、研究目的與待答問題

### 一、研究目的

1. 瞭解空氣砲的原理。
2. 瞭解製作空氣砲的方法。
3. 瞭解影響空氣砲威力與炮口大小的關係。

### 二、待答問題

1. 普遍空氣砲的製作方法以及製作材料為何？
2. 在固定入風口半徑（75mm）下，改變出風口半徑，其中心平均風速之變化情況為何？
3. 針對同一出風口，其邊緣風速與中心是否有差異？

## 、研究設備及器材

表 3.1 研究器材表

3D 列印空氣砲	40 絲透明塑膠膜	風速計	橡皮筋
煙霧機	彈力繩	直尺	紀錄紙



圖 3.1 空氣砲示意圖(本研究自行拍攝)

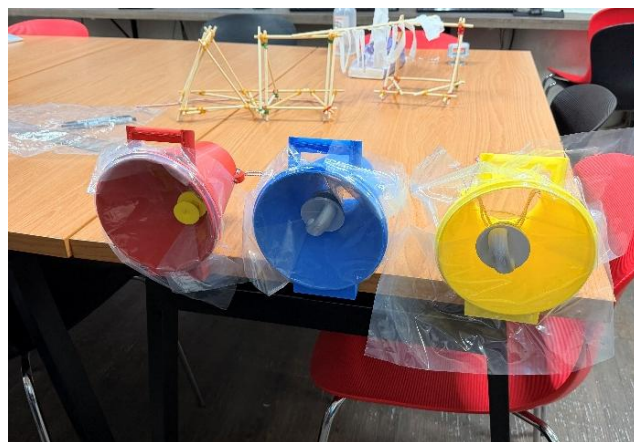


圖 3.2 空氣砲示意圖(本研究自行拍攝)



圖 3.3 空氣砲示意圖(本研究自行拍攝)



圖 3.4 空氣砲示意圖(本研究自行拍攝)



圖 3.5 風速計示意圖 (本研究自行拍攝)



圖 3.6 煙霧機示意圖(本研究自行拍攝)

## 肆、研究過程與方法

### 一、文獻整理：

#### (一)空氣砲的原理—為什麼會射出圓圈圈？

我們在做煙霧實驗時，發現空氣砲噴出來的煙會變成一個像甜甜圈的圓圈，科學家把這種現象叫做「渦流」。為什麼會這樣呢？我們觀察到，當空氣要衝出空氣砲的洞口時，中間的空氣沒有人擋住，所以衝得最快；但是洞口邊邊的空氣會跟洞口的牆壁摩擦，所以速度會變慢。這種「中間跑很快、邊邊跑很慢」的情況，會讓空氣在出口的地方往外翻，就像是在空氣中一直翻跟斗一樣，最後就捲成了一個圓圈圈。因為這個圓圈圈一直在旋轉，不僅飛得很快而且可以飛到很遠的地方都不會馬上散掉。

#### (二)空氣砲的製作方式

上網找了許多製作空氣砲的影片，通常都是用寶特瓶以及氣球做的簡易空氣砲，不過因為寶特瓶通常不堅固，拉動時容易變形，再來是氣球很難測量每次是不拉一樣長，後來我們買了一個現成的空氣砲，參考這個空氣砲的設計數據以及形狀，利用 3D 列印製作我們拿來實驗的空氣砲砲管。由於我們跟老師都完全不會 3D 列印，一邊學一邊做的情況下做了很多沒辦法用的零件，不過最後還是成功做出來了！

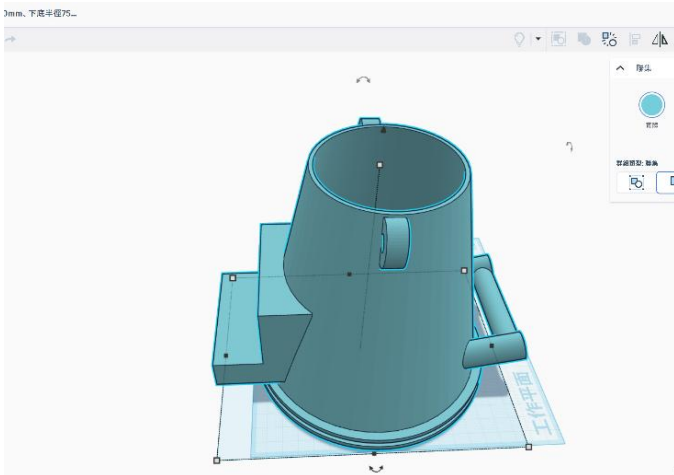


圖 4.1 3D 列印設計示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.2 製作失敗的零件們示意圖(本研究自行拍攝)

## 二、 架構與變因設計

### 實驗一：固定進風口大小，改變出風口大小對風速的影響

#### (一) 實驗設計

1. 實操縱變因：出風口半徑(黃 40mm、藍 30mm、紅 20mm)、測點位置(中心、邊緣)
2. 應變變因：風速 (m/s)
3. 控制變因：入風口半徑 (75mm)、拉動距離 (由直尺校準)、塑膠膜材質與厚度 (0.4mm)、橡皮筋初始長度

#### (二) 實驗設備改良歷程

1. 初期設計：使用彈力繩作為動力，但當初為了讓發射高度相同，導致 3D 列印空氣砲砲身厚度不一致，較小出風口的砲身較厚，會卡住彈力繩，造成彈力長度不一。同時透過電子行李磅秤確保每次拉動力度相同，但磅秤太重，加上彈力長度問題，導致初期風力實驗風速過小，電子風速計測不出數據。
2. 中期修正：使用鑽頭在砲身上重新鑽孔，改進綁線路徑，確保三種空氣砲的「拉繩長度」完全相同。
3. 後期優化：用彈性變化較大的橡皮筋取代彈力繩，成功提升輸出風速至可觀測範圍。



圖 4.3 剪裁彈力繩示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.4 煙剪裁塑膠布示意圖(本研究自行拍攝)

#### (三) 實驗步驟與數據採集流程

1. 將空氣砲固定於桌邊，設置電子風速計於出口前固定距離。
2. 配置三名研究員：一人負責拉動 (依直尺校準)、一人監控風速計、一人即時記錄。
3. 每種空氣砲每個測量位置拉動 30 次，紀錄風速計當次拉動顯示的最高風速，等風速計完全

停止後進行下一次實驗。

4. 每測完 30 次更換新的橡皮筋，以確保不會因彈力疲乏影響實驗數據。

## 實驗二：固定進風口大小，改變出風口大小對風速的影響

### (一) 實驗設計

1. 操縱變因：進風口半徑(小藍 55mm、紅 75mm、黑 95mm)、測點位置(中心、邊緣)
2. 應變變因：風速 (m/s)
3. 控制變因：出風口半徑 (20mm)、拉動距離 (由直尺校準)、塑膠膜材質與厚度 (0.4mm)、橡皮筋初始長度

### (二) 實驗步驟與數據採集流程

1. 將空氣砲固定於桌邊，設置電子風速計於出口前固定距離。
2. 配置三名研究員：一人負責拉動(依直尺校準)、一人監控風速計、一人即時記錄。
3. 每種空氣砲每個測量位置拉動 30 次，紀錄風速計當次拉動顯示的最高風速，等風速計完全停止後進行下一次實驗。
4. 每測完 30 次更換新的橡皮筋，以確保不會因彈力疲乏影響實驗數據。



圖 4.5 測量風速實驗示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.6 測量風速實驗示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.7 綁彈力繩示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.8 綁彈力繩空氣砲示意(本研究自行拍攝)



圖 4.9 測量風速實驗示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.10 測量風速實驗示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.11 紀錄與更換橡皮筋示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.12 更換塑膠膜示意圖(本研究自行拍攝)

### 實驗三：利用煙霧觀察空氣砲發射的氣流狀態

#### (一) 實驗設計

1. 操縱變因：五個不同空氣砲、拉空氣砲力道(小、中、大)
2. 應變變因：發射後煙霧呈現的氣流型態
3. 控制變因：塑膠膜材質與厚度(0.4mm)、橡皮筋初始長度、觀察位置

#### (二) 實驗步驟與觀察過程

1. 將5位觀察者分別安排在空氣砲對面座位
2. 用不同的空氣砲管發射，以煙霧呈現空氣砲發射後的氣流狀態，每種空氣砲管發射小、中、大三種力道
3. 觀察者就煙霧呈現的齊流狀態觀察，並記錄下氣流速度、氣流形狀等值性描述。



圖 4.13 黑色空氣砲發射示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.14 紅色空氣砲發射示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.15 小藍空氣砲發射示意圖(本研究自行拍攝)



圖 4.16 藍色空氣砲發射示意圖(本研究自行拍攝)

## 伍、結論

### 一、實驗一：不同出風口大小以及不同測量位置對風速的影響

#### 1. 空氣砲規格及代號：

(1)黃：出風口半徑 40mm、進風口半徑 75mm

(2)藍：出風口半徑 30mm、進風口半徑 75mm

(3)紅：出風口半徑 20mm、進風口半徑 75mm

表 5-1 不同出風口大小風速紀錄表

次數	黃_邊緣	黃_中心	藍_邊緣	藍_中心	紅_邊緣	紅_中心
1	0.8	1	1.2	1.6	2.4	2.5
2	0.8	1	1.2	1.6	2.4	2.5
3	0.8	0.9	1.2	1.6	2.3	2.5
4	0.7	0.9	1.2	1.5	2.3	2.5
5	0.7	0.9	1.2	1.5	2.3	2.5
6	0.7	0.9	1.1	1.5	2.2	2.5
7	0.7	0.9	1.1	1.5	2.2	2.5
8	0.7	0.9	1.1	1.5	2.1	2.4
9	0.6	0.9	1.1	1.5	2.1	2.4
10	0.6	0.9	1.1	1.5	2.1	2.4
11	0.6	0.9	1.1	1.4	2	2.4
12	0.5	0.9	1.1	1.4	1.9	2.4
13	0.5	0.8	1.1	1.4	1.9	2.3
14	0.5	0.8	1.1	1.4	1.8	2.3
15	0.5	0.8	1.1	1.4	1.8	2.3

16	0.5	0.8	1	1.4	1.8	2.3
17	0.5	0.8	1	1.3	1.7	2.3
18	0.5	0.8	1	1.3	1.7	2.3
19	0.5	0.8	1	1.3	1.7	2.3
20	0.5	0.7	1	1.3	1.6	2.3
21	0.5	0.7	1	1.3	1.5	2.3
22	0.5	0.7	1	1.3	1.4	2.3
23	0.5	0.7	1	1.3	1.4	2.2
24	0.4	0.7	1	1.2	1.3	2.2
25	0.4	0.7	1	1.2	1.3	2.2
26	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3	2.2
27	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3	2.2
28	0.4	0.6	0.8	1.2	1.2	2.2
29	0.3	0.6	0.8	1.2	1.2	2.1

(單位 m/s)

## 觀察及討論

### 1. 洞口越小，風速越快：

我們發現黃色（40mm）的中心風速只有 0.81 m/s，但紅色（20mm）卻可以達到 2.34 m/s。雖然紅色的洞口半徑只是黃色的一半，但風速卻快了快要 3 倍！

### 2. 中心比邊緣還更快：

不管哪一種大小的空氣砲，中心測到的風速一定比邊緣快。例如藍色空氣砲中心是 1.38 m/s，邊緣就降到 1.04 m/s；紅色更明顯，中心與邊緣差了 0.52 m/s。這跟我們煙霧實驗看到的「圈圈」很像，應該就是因為中間的風衝很快，邊邊被牆壁卡住跑不快，所以才捲起來變成的。

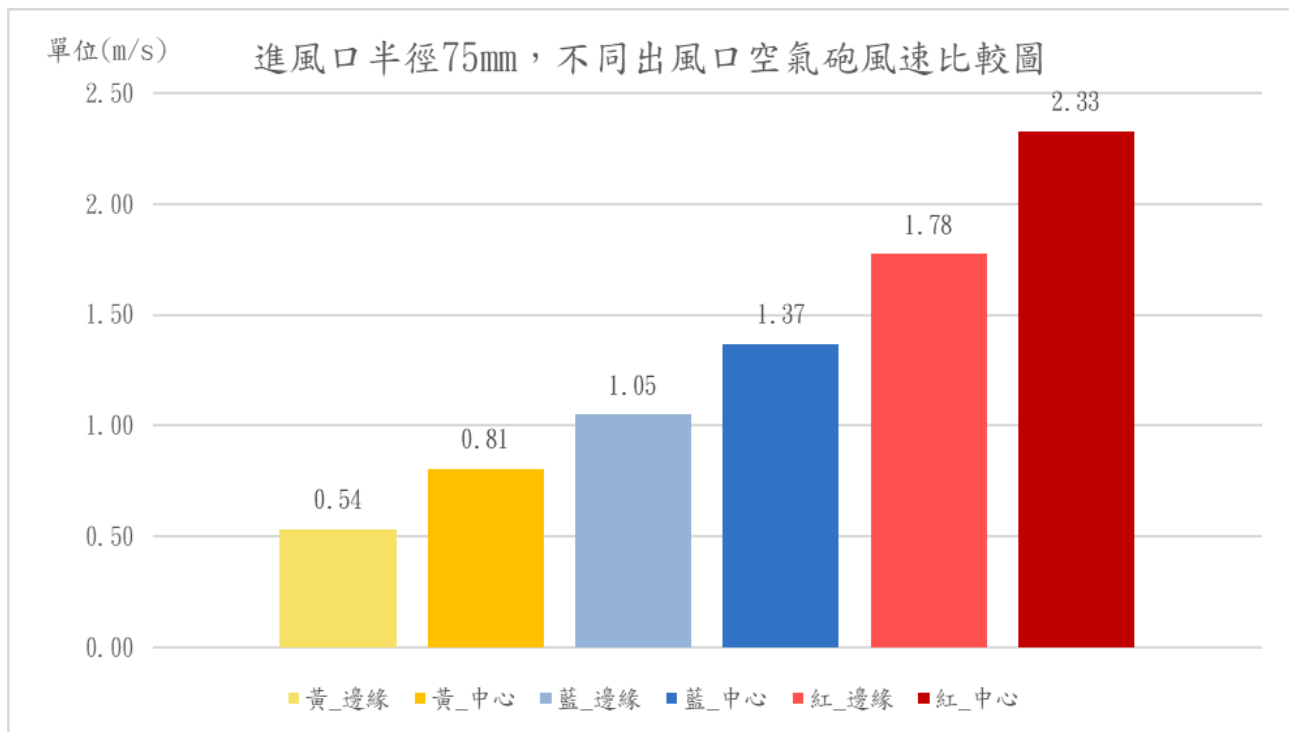


圖 5-1 不同出風口空氣砲風速比較圖(本研究自行繪製)

### 3. 黃色邊緣測量很困難：

我們觀察到黃色空氣砲的數據裡有很多 0.0 或 0.1 的數字，尤其是在測量邊緣的時候。這說明當洞口太大（40mm）時，風力會變得很弱且不集中，風速計放在邊邊幾乎感覺不到有風吹過來。

### 4. 定時更換橡皮筋真的有用：

我們發現在測試中，因為我們每 30 次就換橡皮筋，數據並沒有因為測試次數變多而越來越小，這證明了我們預防「彈性疲乏」的做法是正確的。

## 二、 實驗二：不同進風口大小以及不同測量位置對風速的影響

### 2. 空氣砲規格及代號：

(一)小藍：出風口半徑 20mm、進風口半徑 55mm

(二)紅：出風口半徑 20mm、進風口半徑 75mm

(三)黑：出風口半徑 20mm、進風口半徑 95mm

表 5-2 不同出風口大小風速紀錄表

次數	小藍_邊緣	小藍_中心	紅_邊緣	紅_中心
1	1.4	1.9	2.4	4
2	1.2	1.8	2.3	3.5
3	1.2	1.7	2.3	3.4
4	1.2	1.7	2.2	3.3
5	1.2	1.7	2.2	3.1
6	1.2	1.6	2.2	3.1
7	1.2	1.6	2.2	2.8
8	1.2	1.5	2.2	2.8
9	1.2	1.5	2.1	2.5
10	1.2	1.5	2.1	2.5
11	1.1	1.5	2.1	2.5
12	1.1	1.5	2	2.5
13	1.1	1.4	1.9	2.4
14	1.1	1.4	1.9	2.4
15	1	1.3	1.9	2.4
16	1	1.3	1.9	2.3
17	1	1.3	1.8	2.3
18	1	1.2	1.8	2.3
19	0.9	1.2	1.8	2.3
20	0.9	1.2	1.8	2.3
21	0.9	1.2	1.8	2.2
22	0.9	1.2	1.8	2.2
23	0.9	1.2	1.7	2.2

24	0.8	1.1	1.7	2.2
25	0.7	1.1	1.6	2.2
26	0.7	1.1	1.6	2.1
27	0.5	1.1	1.5	2.1
28	0.5	1	1.5	2.1
29	0.5	1	1.5	2
30	0.3	0.9	1.4	2

(單位 m/s)

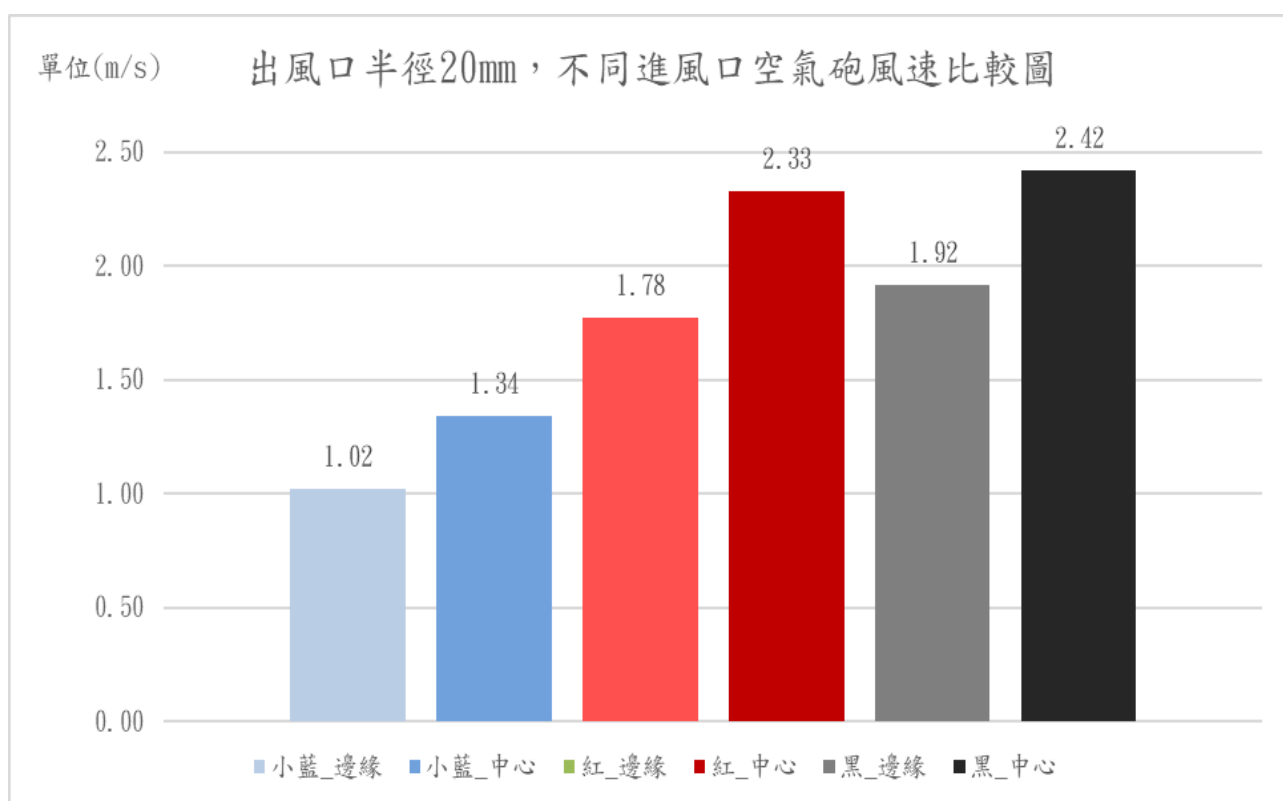


圖 5-2 不同進風口空氣砲風速比較圖

### 觀察與討論

1. 進風口越大，出風速度越快：

從表 5-1 的數據可以清楚發現，當出風口同樣維持在 20mm 時，進風口較大（75mm）的紅色空氣砲，中心風速最高可達 4.0 m/s；而進風口較小（55mm）的小藍空氣砲，中心風速最高僅有 1.9 m/s。這說明了進風口半徑越大，風速越快。

## 2. 砲管容積的影響：

我們推論，進風口越大的空氣砲，砲管內部能容納的空氣體積就越多。當我們用相同的力道拉動橡皮筋時，較大的空氣砲能將「更多的空氣」瞬間擠壓向同一個狹小（20mm）的出口，因此產生了更高的氣壓與更快的出風速度。結合煙霧實驗的觀察，進風口最大（95mm）的黑色空氣砲，確實也有最快的風速。

## 3. 中心風速始終大於邊緣風速：

與實驗一的結果相同，無論進風口大小為何，氣流中心的風速依然顯著高於邊緣。以紅色空氣砲的第一次測試為例，中心風速（4.0 m/s）幾乎是邊緣風速（2.4 m/s）的快兩倍。

# 三、實驗三：利用煙霧觀察氣流型態與威力之關係

## 觀察與討論

根據不同顏色的空氣砲管，學生們觀察到的氣流（煙霧）狀態後記錄下的質性描述整理如下：

### 1. 黑色（出風口 20mm、入風口 95mm）（特徵：速度快、易散開）

- (1) 小力：速度很快，剛噴出時是一團煙霧，飛行一段距離後才會成型為圓圈。
- (2) 中力：速度快，但煙圈形狀不明顯，很快就會散去。
- (3) 大力：速度超級快，可以直接飛得很遠，但煙霧會直接散開，幾乎看不到煙圈的形狀。

### 2. 紅色（出風口 20mm、入風口 75mm）（特徵：速度仍快）

- (1) 小力：飛行速度比黑管慢，但煙圈的形狀比較明顯、清晰。
- (2) 中力：速度比小力快一點，煙圈偏小，且飛行軌跡會微幅往上升。
- (3) 大力：速度比黑管(小)還快，可以看到完整的煙圈飛出去，軌跡平穩沒有上升。

### 3. 小藍（出風口 20mm、入風口 55mm）（特徵：速度較快、易飄升）

(1) 小力：速度還是快，但比紅、黑兩個都還更慢了，煙圈偏小，且飛行軌跡會往上升很多，煙霧也較快消失。

(2) 中力：速度稍微加快，煙圈變得比較明顯。

(3) 大力：速度變快，有觀察到氣流會平貼地面飛行，但煙圈形狀反而變得比較不明顯。

#### 4. 藍色(出風口 30mm、入風口 75mm) (特徵：煙圈明顯)

(1) 小力：速度偏慢(比小藍管快一點)，但可以產生明顯且明顯看的到煙圈。

(2) 中力：速度稍微變快，也能產生明顯煙圈。

(3) 大力：速度再稍微變快，能產生明顯煙圈。

#### 5. 黃色(特徵：偏胖、軌跡易下墜)(註：不小心把最後完好的卡榫拉壞了，沒拍到照片)

(1) 小力：速度很慢，煙圈很胖，能夠容易觀察到空氣砲發射的氣流軌跡。

(2) 中力：速度很慢，比小力快一點，一樣有明顯煙圈

(3) 大力：速度不會太快，而且煙圈變得更大。

## 陸、結論

### 一、 出風口越小，風速越快：

在進風口固定(75mm)的情況下，縮小出風口能有效提升風速。出風口最小的紅色空氣砲(20mm)測得的風速，遠高於藍色(30mm)與黃色(40mm)空氣砲。

### 二、 進風口越大，風速越快：

在出風口固定(20mm)的情況下，進風口越大(代表管內能擠壓的空氣總量越多)，噴射出的風速就越快。

### 三、 威力大(風速快)不等於煙圈完美：

我們原本以為風速越快越好，但煙霧實驗打破了這個想法。進風口最大的黑色空氣砲雖然風速極快，但氣流過於強烈導致煙霧容易直接散開，無法形成漂亮的渦流，導致發射後的空氣砲很快就散開；相反地，紅色空氣砲在「風速」與「煙圈穩定度」之間取得了最佳平衡，能打出清楚且快速的煙圈。此外，出風口較大的空氣砲(如小藍、黃色)，煙圈飛行軌跡容易受到影響而產生飄升或下墜的現象。

#### 四、「渦流」形成的關鍵因素：

所有風速數據皆證實：空氣砲的「中心風速」永遠大於「邊緣風速」。我們認為當空氣衝出洞口時，邊緣的空氣會因為與管壁摩擦而減速，中心空氣則維持高速衝刺，這種內外圈的速度落差，正是讓空氣向外翻轉、捲成「渦流」的科學原理。

## 柒、未來研究

我們在做完這次實驗後，討論出未來還可以繼續研究的方向：

### 1. 挑戰不同的「出風口形狀」：

如果我們把 3D 列印的洞口改成三角形、正方形或五角星形，噴出來的風還會是圓圈圈嗎？風速還會跟圓形的一樣快嗎？

### 2. 測試不同的「飛行距離」：

這次我們是在出風口前固定距離測速。未來我們想測試：在 1 公尺、2 公尺甚至 3 公尺外，哪一種大小的空氣砲風速衰減最慢？哪一種最能擊倒遠方的紙杯？

### 3. 製作「自動發射器」：

雖然我們有用直尺校正拉動長度，但每次用手拉還是會累，且有可能會有誤差。未來想試試看用馬達或是機械機關來發射，這樣每次的力量就會完全一樣，數據會更精準。

### 4. 更換不同的「砲管長度」：

我們發現有些影片的空氣砲很長，有些很短。如果砲管變長，風速會因為摩擦力變慢，還是會因為風向更集中而變快呢？