

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(二)科

佳作

032905

滴水發電－應用開爾文靜電裝置過濾懸浮微粒

學校名稱：臺北市立蘭雅國民中學

作者：  國二 周宥任  國二 陳彥廷  國二 陳泓青	指導老師：  商仲凱
---	------------------

關鍵詞：開爾文、靜電、懸浮微粒

## 摘要

我們探討開爾文靜電裝置對懸浮微粒之過濾效果，主要結果有三，一、使用靜電電位計量測發現，開爾文裝置的支架採用中空塑膠管可有效絕緣，感應環使用長、直徑小的鋁箔圓環，控制流出水柱為細、長形狀，會有較佳靜電效果。二、使用微粒濃度感測器與乒乓球的漂浮實驗顯示，孔隙大的濾網，過濾差卻較透氣，若在氣流帶動下導入靜電，則有較佳的集塵效果。三、應用簡單材料組裝的開爾文裝置，經實際測試，可利用收集雨水長時間產生正、負靜電壓高達 10~14kv，在封閉空間集塵或燃燒線香、金紙、木炭的懸浮微粒過濾上，具有良好過濾效果，尤其木炭有超過 88%以上的整體過濾效果。

## 壹、研究動機

生活周遭經常看到家中或廟宇燒香或金紙時，產出很多濃煙與懸浮微粒，加上新聞報導石化工業以及汽機車排放廢氣，使空氣汙染問題逐年嚴重，而之前學長的科展內容曾探討開爾文靜電裝置，它不需外接電源，利用高處流下的水，經過金屬環感應就可產生靜電。因此我們想應用不耗費額外能源的環保方式—改良開爾文裝置，利用它所產生的靜電結合濾網，吸附環境中的懸浮微粒。

## 貳、研究目的

- 一、找出開爾文裝置的最佳靜電效果
- 二、探討靜電濾網對懸浮微粒的過濾效果
- 三、實測開爾文裝置對懸浮微粒的過濾效果

## 參、研究設備及器材

微粒濃度感測器、arduino 微控制器、電子秤、散熱風扇、靜電電位計(SIMCO-FMX003)、靜電棒、電源供應器、銅線、鋁箔、塑膠水盆、針頭、流速控制出水接頭、塑膠軟管、壓克力管、配線槽、相機、直尺、馬錶、鱷魚夾導線、口罩濾網、金屬網

## ※組裝微粒濃度感測器

以微控制器 arduino 接上微粒濃度感測器，它採用雷射散射原理量測 PM1.0、PM2.5、PM10 的質量濃度數值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，下圖 1 為感測器原理與組裝過程。

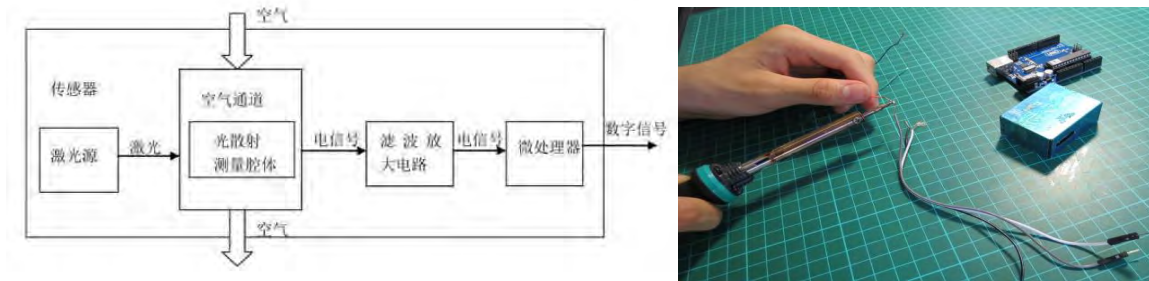
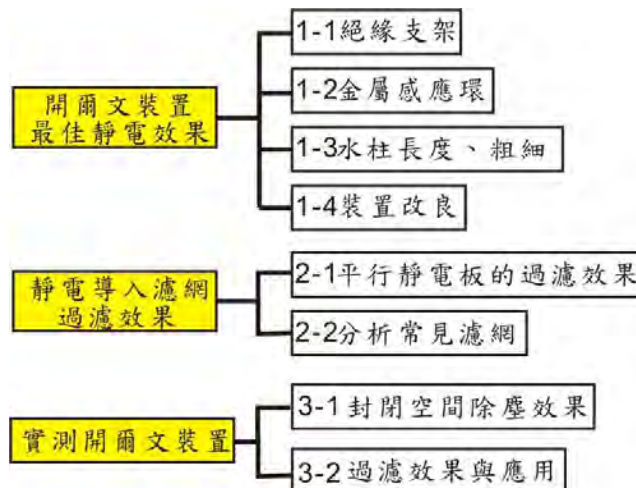


圖 1 感測器原理與組裝過程

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究架構：



### 二、懸浮微粒 PM2.5 的危害與常見過濾方式

PM2.5 指的是空氣中的細懸浮微粒，粒徑小於或等於  $2.5\ \mu\text{m}$ ，其來源分為自然環境(例如沙塵暴、海邊鹽類微粒)與人類行為(例如火力發電廠、燒香拜拜、交通排放廢氣)所產生。PM2.5 極細微，會經由人體呼吸而經由肺部微血管進入人體，對人體的影響比 PM10 以上的粒子危害更大。而市面常見微粒過濾方式，有以靜電集塵、抽風、光觸媒、紫外線等方式，主要原理大多是把微粒卡在濾網上，利用空氣循環使微粒濃度降低，濾網種類可區分為透氣性較佳的，因孔隙較大，吸附面積較少而集塵效率較差；若透氣性較差的，因孔隙小，吸附面積大而集塵效率佳，但也因此而有高風阻，會降低風扇效率。

開爾文裝置不需電力驅動，利用高處的水經過靜電環滴落，會受靜電感應而產生高壓靜電，因此我們嘗試改良此裝置，以靜電連接濾網，用來過濾環境中的懸浮微粒。

### 三、找出開爾文裝置之最佳靜電效果

#### (一)開爾文裝置的靜電原理：

開爾文滴水裝置(Kelvin water dropper)是 1867 年由英國科學家開爾文爵士所發明，利用靜電感應原理，以水通過兩邊相反電性的關聯裝置，即可產生正、負靜電。詳細原理如下圖 2 所示，水盆內的水分為兩邊持續向下滴落，經過下方帶電金屬環時，會因靜電感應而使水滴帶電，例如經過右邊正電金屬環的水滴帶負電，落至下方水杯，會累積負電，而經過左邊負電金屬環的水滴會帶正電，使左邊水杯累積正電，左下水杯與右上金屬環以導線相連接(帶正電)，右下水杯與左上金屬環相連接(帶負電)，隨著水滴落，靜電電壓會持續升高。

#### (二)組裝開爾文靜電裝置：

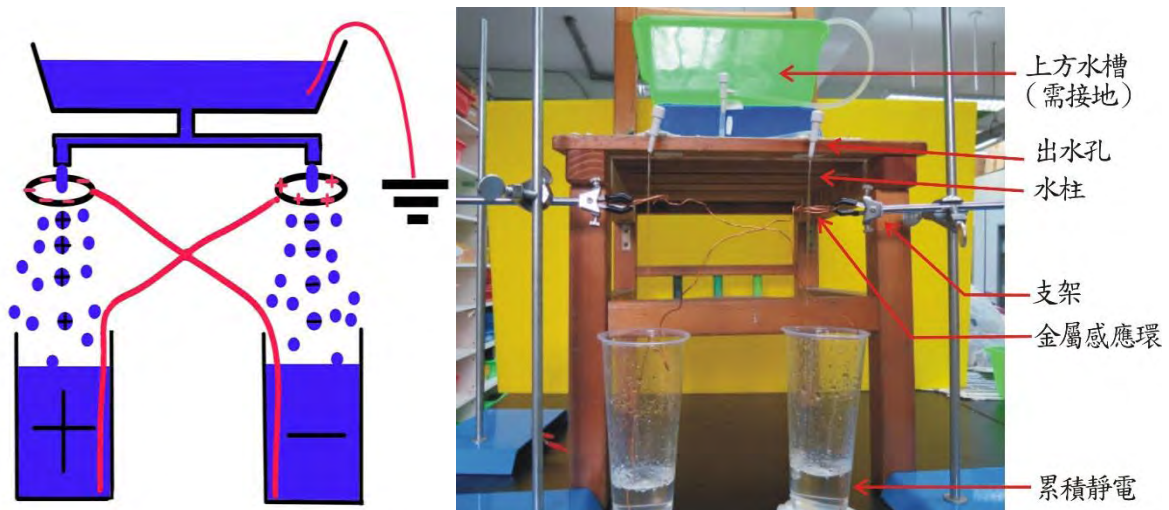


圖 2 開爾文靜電產生原理與實際裝置圖

## 1.實驗 1-1：找出絕緣良好的支撐架構

分別測試各種材質的支架(壓克力、鐵架、木頭、塑膠管)，並以電位計測量金屬感應環產生的靜電電壓，找出最佳靜電效果。

## 2.實驗 1-2：測試最佳金屬感應環

(1)金屬感應環需置於水柱末端，水柱即將分裂水滴之處，才會使分裂水滴有最佳靜電效果，因此以相機拍攝流下的水柱，找出水柱裂解水滴的精確位置，如右圖 3 所示。



圖 3 金屬環最佳感應位置

(2) 製作金屬感應環

### a.銅線感應環

以銅線製作不同粗細(線徑 1.0mm、1.6mm、2.0mm)、繞轉圈數(5 圈、10 圈、15 圈)、繞轉半徑(1cm、1.5cm、2cm)的銅環，找出最佳靜電感應效果。實驗顯示銅環的靜電電位很不穩定，只有微弱或起伏不定的數值，因此我們嘗試改用鋁箔。

### b.鋁箔感應環

分別測試不同長度(1cm、2cm、4cm)、直徑(2cm、3cm、4cm)的鋁環，並以電位計測量找出最佳靜電效果，實驗顯示鋁箔環的靜電效果明顯較佳，如下圖 6、圖 7 示。



圖 4 不同長度與直徑的鋁箔環

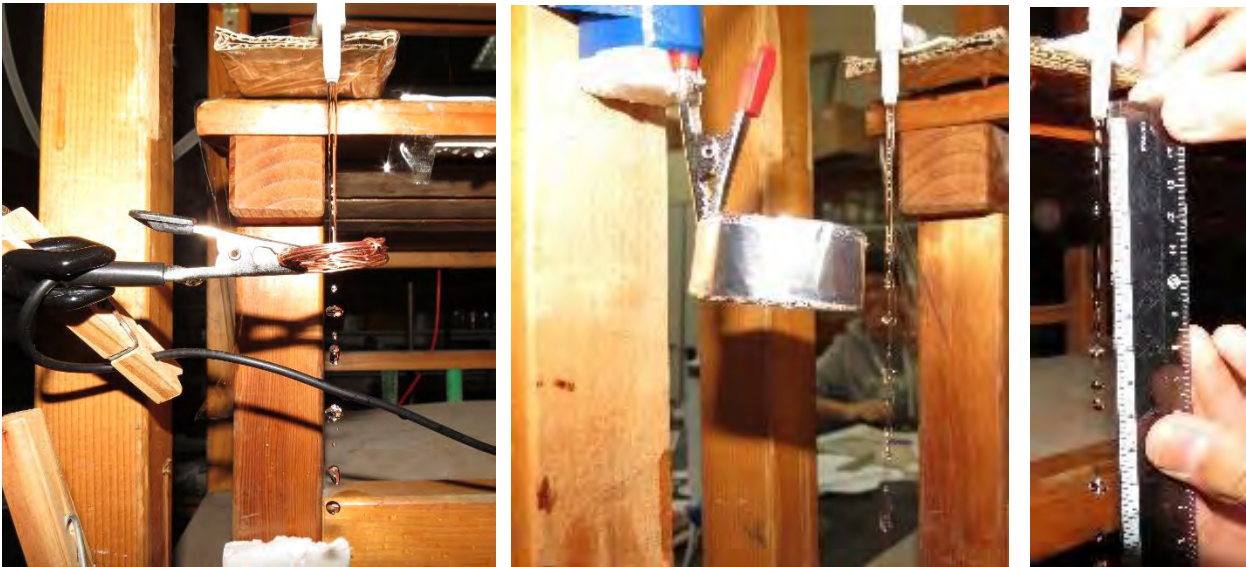


圖 5 銅環(圖左)，鋁箔環(圖中)，調整水柱長度(圖右)

### 3.實驗 1-3：水柱長度、粗細對靜電電壓的影響

#### \*水柱長度

(1)調整上方水盆水面至出水孔的垂直距離，以控制出水孔的水柱長度分別為 1cm(水位差 8cm)、3cm(水位差 50cm)、5cm(水位差 100cm)，找出最佳感應的靜電效果。

#### \*水柱粗細

由上述實驗過程發現：水柱愈長，下方的分裂水滴愈小，因此我們進一步以不同大小的出水孔，控制不同粗細的水柱來決定水滴大小，以找出最佳靜電感應效果。

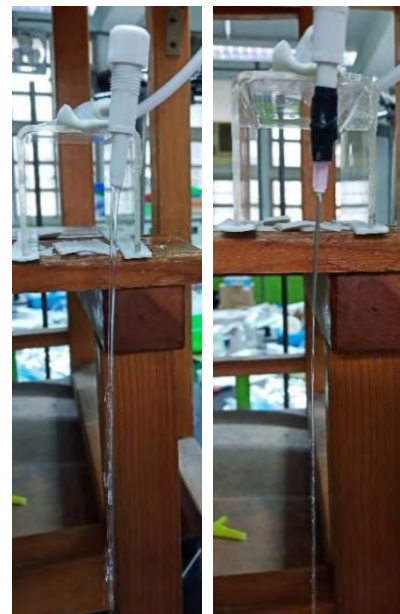


圖 6 粗水柱(圖左)，細水柱(圖右)

### 4.實驗 1-4：裝置改良

結合上述實驗結果，我們思考開爾文靜電裝置若要兼具環保、實用化，必須是絕緣良好，材料易取得，組裝簡易方便移動，以適應各種不同的靜電用途，因此進一步改良裝置：

(1)將底部水杯內的導線提高，改為螺旋狀：受金屬環感應的靜電水滴滴落時，會接觸下方的螺旋導線，即可累積靜電，也就是將靜電裝置與底部水杯分離，不需使用底部水杯累積靜電，同時減少靜電由水杯傳導出去的機會，使裝置更輕巧，如下圖 7 示。

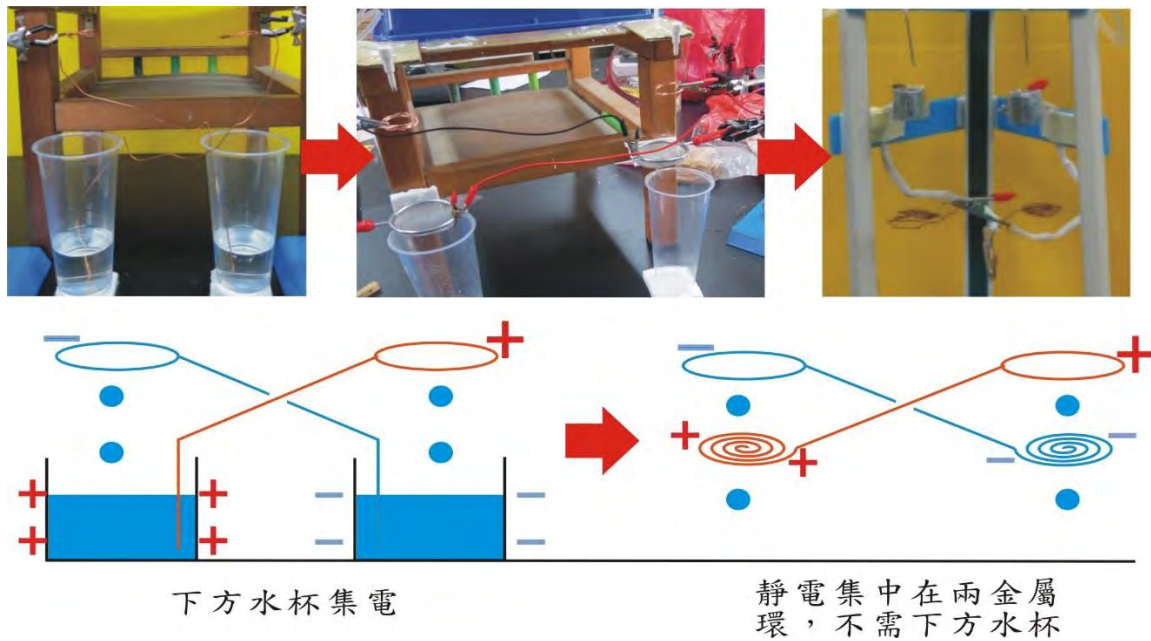


圖 7 導線拉出水杯

(2)架構絕緣與輕量化：使用中空且細長的塑膠配線槽，可有效絕緣、重量輕且易於組裝。

(3)水資源的再利用：在適當位置擺放水桶收集雨水，加裝補水器，並連接開爾文裝置，**經實測 8 小時的結果顯示，平均雨水流量約為 2980 ml/hr，靜電電壓可維持 10~14kv**，裝置如下圖 8，結果如圖 9 所示，顯示本裝置可長時間以低流量的水，產生高壓的正、負靜電。

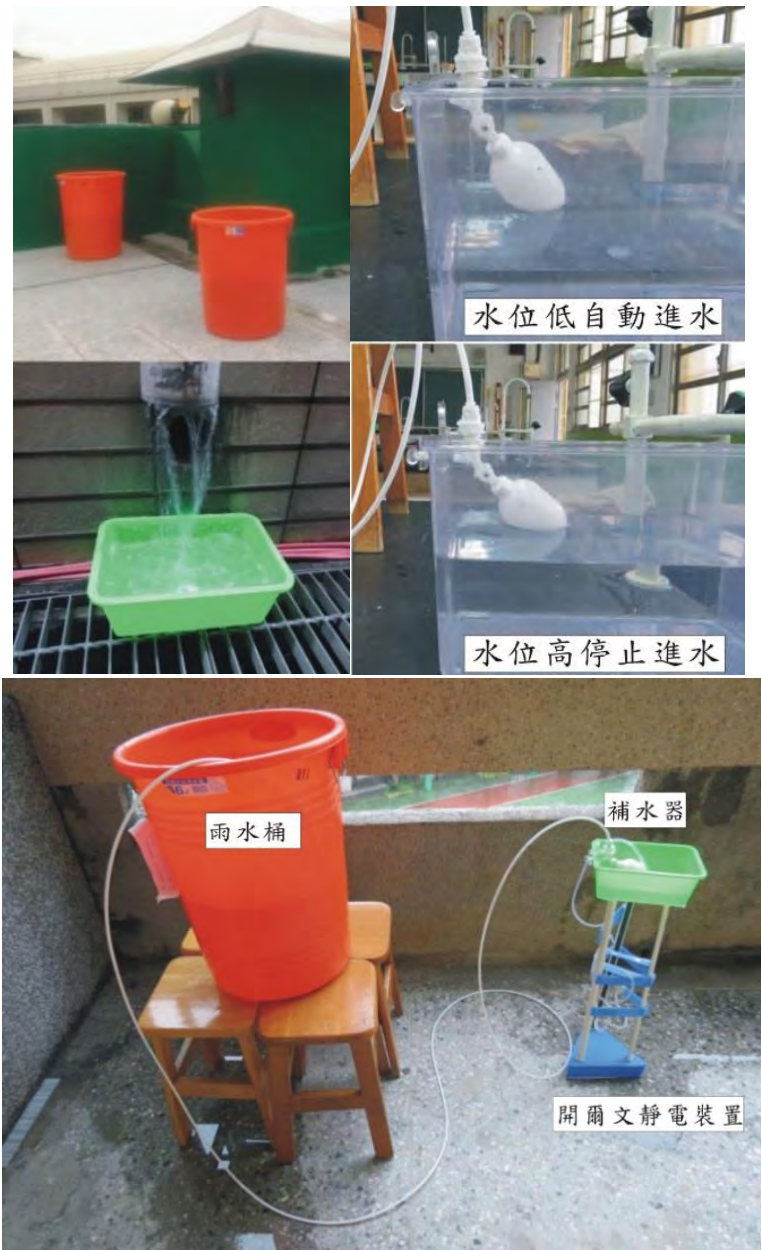


圖 8 收集雨水(上圖左)，補水器 (上圖右)，用雨水產生靜電(下圖)

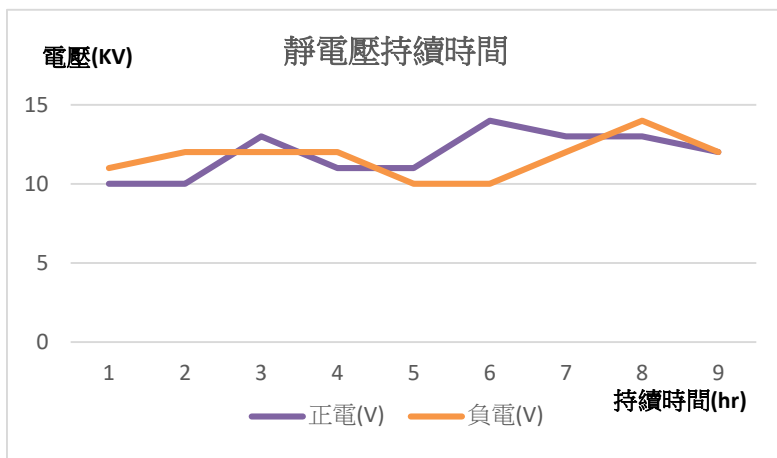
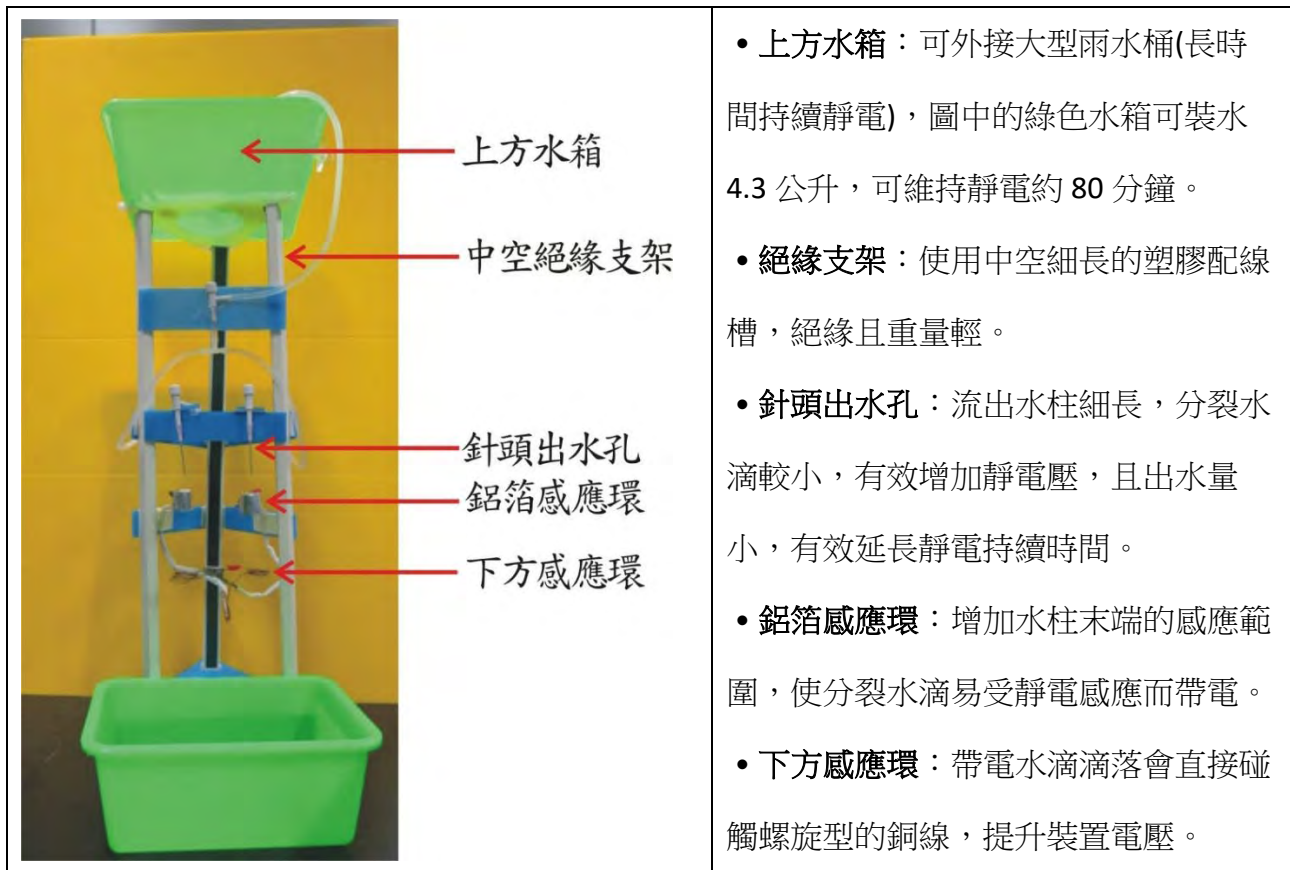


圖 9 實測靜電壓持續時間





- **上方水箱**：可外接大型雨水桶(長時間持續靜電)，圖中的綠色水箱可裝水 4.3 公升，可維持靜電約 80 分鐘。
- **絕緣支架**：使用中空細長的塑膠配線槽，絕緣且重量輕。
- **針頭出水孔**：流出水柱細長，分裂水滴較小，有效增加靜電壓，且出水量小，有效延長靜電持續時間。
- **鋁箔感應環**：增加水柱末端的感應範圍，使分裂水滴易受靜電感應而帶電。
- **下方感應環**：帶電水滴滴落會直接碰觸螺旋型的銅線，提升裝置電壓。

圖 10 裝置改良

## 二、探討靜電濾網對懸浮微粒之過濾效果

市面上的靜電過濾裝置主要可分為二，一、利用高壓放電使空氣中的粉塵微粒帶電，並吸附於靜電板上，二、在濾網製造過程中載入靜電，使濾網長期帶有靜電，以此過濾懸浮微粒。因為我們目標是以環保、不耗能源的方式，應用開爾文靜電來過濾懸浮微粒，因此針對第二種方式，探討通靜電在濾網的效果上，因開爾文裝置可同時產生高壓的正、負靜電，因此我們先探討平行靜電板對懸浮微粒的吸附效果。其次，分析市面常見濾網，並探討過濾、透氣、集塵等功能與加入靜電的吸附成效。

更穩定的靜電效果能精準探討過濾效能，我們採用的靜電來源有二：一、靜電棒：使用電池驅動內部膠條轉動摩擦產生靜電，控制按壓頻率可維持穩定輸出靜電壓達 10~12kv，優點是操作方便、可快速控制輸出電壓，缺點是只能輸出正電壓，如下圖 11 所示。二、開爾文靜電裝置：優點是可產生高壓正、負電達 10~14kv，缺點是裝置由水驅動，電壓上升階段起伏較不穩定。

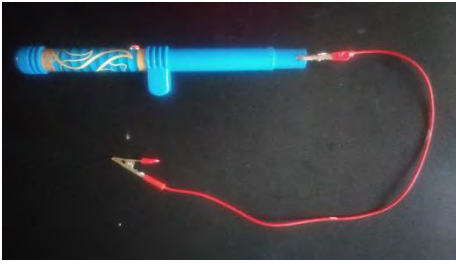


圖 11 靜電棒

## (一)實驗 2-1：探討平行靜電板之間距、面積、粗糙程度對懸浮微粒的吸附效果

### 1.間距

(1)組裝絕緣支架與濾網支架，製作 12cm\*12cm 之鋁箔為平行靜電板，以靜電棒導入穩定 10KV 的靜電壓。下方燃燒線香以產生微粒來源，並在平行靜電板上、下方分別放置兩個微粒濃度感測器，測量過濾前後的微粒濃度，如下圖 12 所示。

(2)改變平行靜電板間距為 1.8cm，2.5cm，3.2cm，測量過濾前後微粒濃度，計算過濾比例。



圖 12 平行靜電板過濾示意圖與實際裝置圖

### 2.面積

組裝絕緣支架與濾網支架，製作 12cm\*12cm(小面積)與 12cm\*24cm(大面積)之鋁箔為平行靜電板，重複上述步驟，並計算過濾百分比。

### 3.粗糙程度

將平行靜電板貼上濾網(防潑水不織布)以增加表面粗糙度，重複上述步驟，測量過濾前後之微粒濃度，如下圖 13 示。

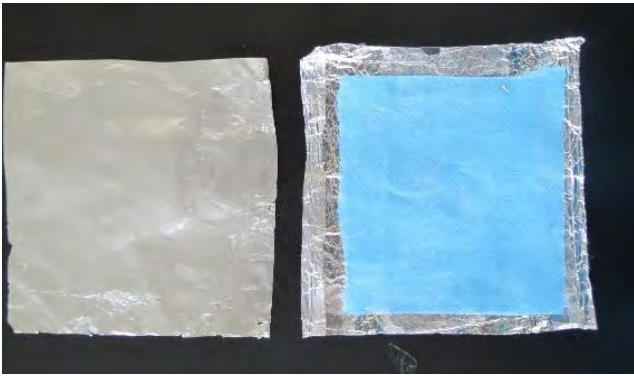


圖 13 鋁箔面(光滑面)與濾網面(粗糙面)

#### 4.連接開爾文裝置

以開爾文靜電裝置連接平行靜電板，面積  $12*12\text{cm}$ ，間距  $1.8\text{cm}$ ，使靜電板通有正、負靜電壓，並於靜電板下方燃燒線香以提供微粒來源，並以感測器測量過濾前後的濃度值。

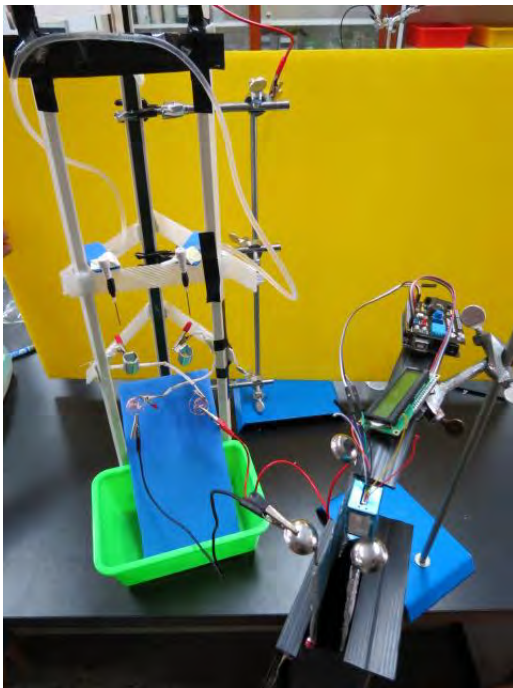


圖 14 開爾文裝置連接平行靜電板

### (二)實驗 2-2：分析市面常見濾網並探討過濾、透氣、集塵效果

#### 1.濾網分析

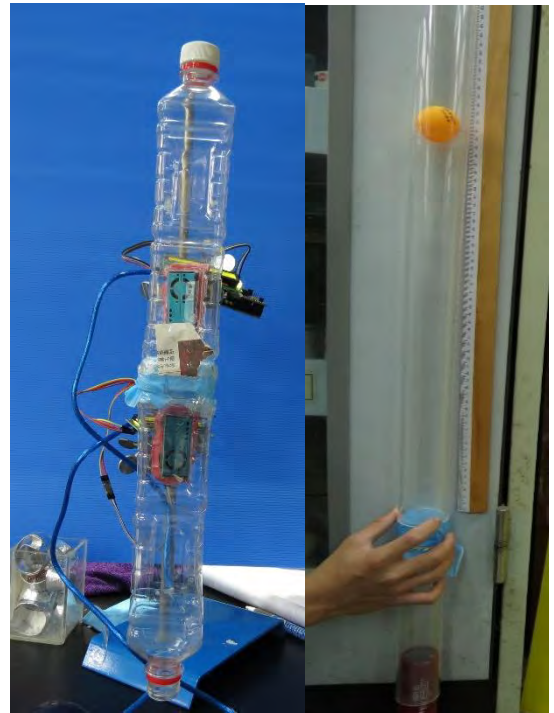
分析常見濾網之效能，並以複式顯微鏡(放大 900 倍)觀察濾網表面纖維結構。

## 2. 濾網過濾效果

連接 2 個寶特瓶(600ml)，中間連接處固定待測口罩，並於上下寶特瓶各安裝微粒濃度感測器，於底部燃燒線香 10 秒以提供微粒來源，並以微粒濃度感測器分別記錄濾網過濾前後之濃度，算出該濾網的過濾百分比。

## 3. 濾網透氣效果

連接長度 100cm 的透明壓克力管，最底部接連小型吹風機，並於壓克力管下方固定待測濾網。壓克力管內部放置一個乒乓球(2.795g)，開啟吹風機使乒乓球浮起，穩定後測量漂浮高度。如右圖



15 所示。

圖 15 測量濾網過濾效果(圖左)，測量濾網透氣效果(圖右)

## 4. 濾網集塵效果

(1)將壓克力管中間連接處固定待測濾網，於上方固定小型散熱風扇，抽氣提供氣流。於底部燃燒線香 5 支共 10 分鐘以提供微粒來源。取出集塵濾網，以電子天平測量該濾網集塵前後的重量差異。

(2)於濾網上添加金屬網，並以靜電棒將靜電(10KV)經金屬網導入濾網，並重複上述步驟，如下圖 16 所示。



圖 16 線香微粒的集塵裝置(圖左)，金屬網導電於濾網(圖中)，測量濾網增重量(圖右)

### 5.連接開爾文裝置

(1)以開爾文靜電裝置連接兩層平行濾網，濾網材質以金屬網(導電)+防潑水不織布(口罩)，在濾網下方燃燒木炭，濾網上方固定小型電腦散熱風扇抽氣，時間持續 1 小時；移除開爾文裝置，重複前述步驟，如下圖 17 示。

(2)以電子秤測量上、下兩層濾網的增重量，木炭減輕量，並加以分析。



圖 17 實測濾網對木炭燃燒的增重量

### 三、實測開爾文裝置對懸浮微粒之過濾效果

#### (一)實驗 3-1：應用開爾文裝置於封閉空間之除塵效率

- 1.組裝長寬高為 100cm\*25cm\*25cm 的封閉塑膠箱，中間置入小型電腦風扇(4w)，於風扇前後分別固定長寬為 25cm\*25cm 濾網，並黏貼金屬網以導入靜電。
- 2.以線香在封閉塑膠箱內部燃燒 10 秒，以產生懸浮微粒來源。
- 3.啟動風扇，並以微粒濃度感測器測量箱內的微粒濃度，裝置如下圖 18 所示。

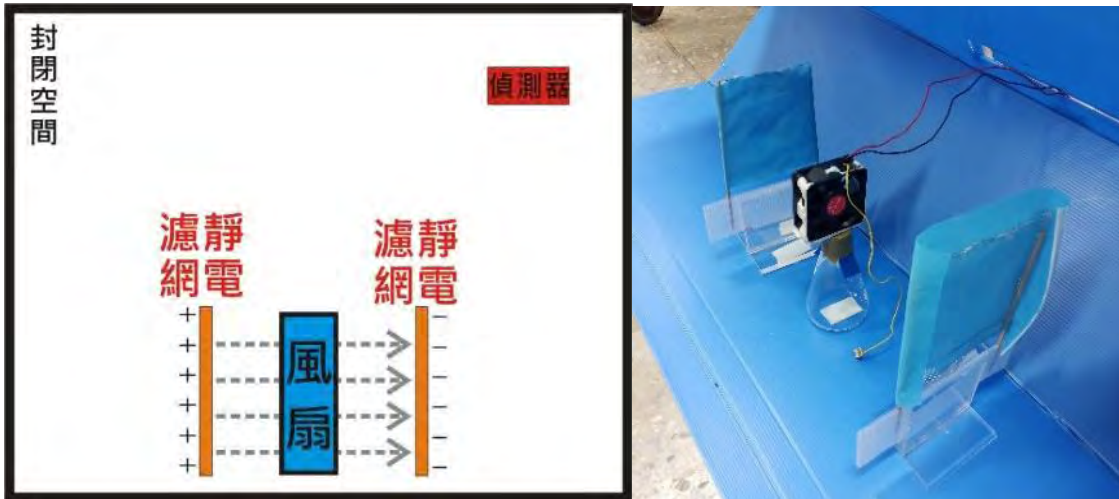


圖 18 應用開爾文靜電於封閉空間之過濾

#### (二)實驗 3-2：實測開爾文裝置之靜電過濾效果

- 1.製作濾網支架(置於排煙管末端)，使用竹片環繞圓形，中間綁 2 層棉繩支撐 2 層濾網，並鑽洞以連通靜電導入濾網，以增進絕緣效果，如下圖 19 所示。
- 2.以鋁質排煙管做為懸浮微粒的實驗通道，總長度約 200cm，並製作 2 個轉彎處，使因熱對流運動的懸浮微粒，在管內較為均勻分布，如下圖 20 所示。
- 3.濾網材質，中間使用金屬網以導入靜電，金屬網上下方黏貼口罩濾網(防潑水不織布、親膚層不織布)。
- 4.於排煙管下方分別燃燒線香(4 支)、金紙(約 100g)、木炭(約 100g)，並測量過濾前、後的微粒濃度值。

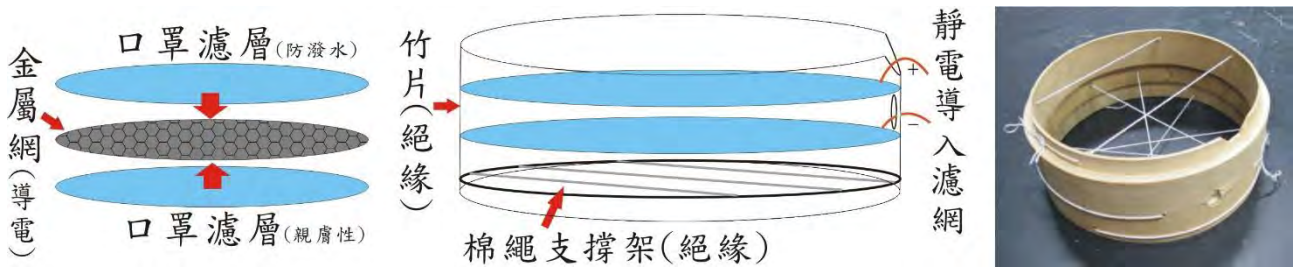


圖 19 單片濾網構造(圖左)，2 片濾網架構(圖中)，支撐濾網的竹片(圖右)



圖 20 實測開爾文裝置之靜電過濾效果

## 伍、研究結果

### 一、研究目的一：找出開爾文靜電裝置之最佳靜電效果

#### (一)實驗 1-1：找出絕緣的支撐架構

我們嘗試不同支撐架構，以電位計測量支架上的電位分佈，結果發現：

1. 壓克力支架：產生靜電時，壓克力支架的整體電位偏高，顯示壓克力仍易於傳導靜電。

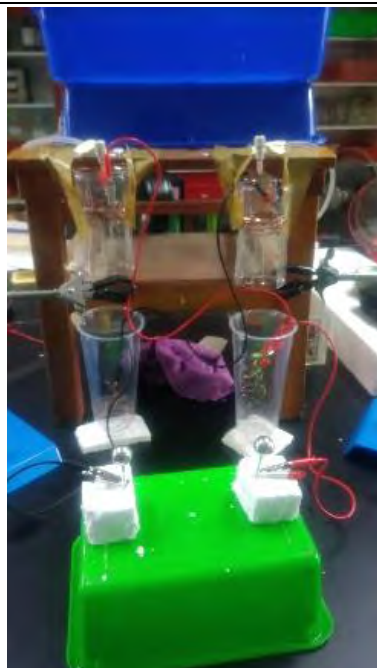
2.鐵架與塑膠固定把手：鐵架易於傳導靜電。

3.木頭支架：因靜電會產生帶電水滴而排斥而噴灑，因此易導致木頭支架會吸水潮濕而易於傳導靜電。

4.塑膠管+玻璃座：產生靜電時，塑膠支架上的電位明顯偏低，因此最後採用塑膠材質為支撐架構，並於底部加上玻璃瓶絕緣。發展過程如下圖所示：



- 支架:壓克力、吸盤
- 鋁罐集水，保麗龍絕緣



- 支架:鐵架、末端塑膠絕緣
- 塑膠杯集水，保麗龍絕緣

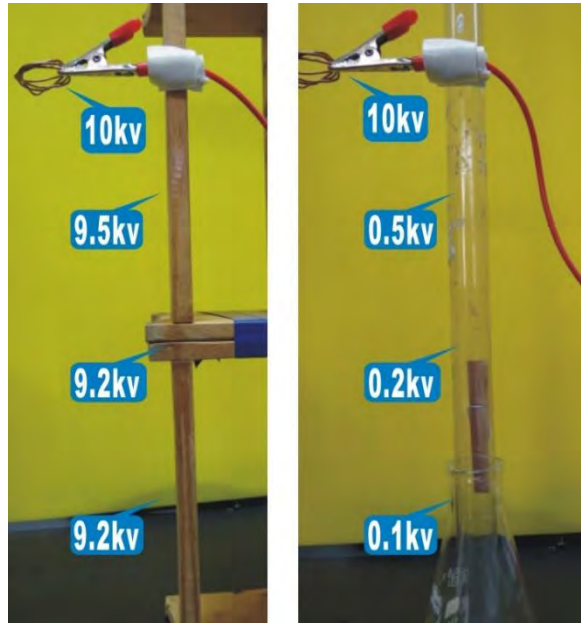


- 支架:木頭
- 塑膠杯集水，保麗龍絕緣





- 支架:中空塑膠管，底部玻璃瓶絕緣
- 塑膠杯集水，保麗龍絕緣
- 水柱下方拉出感應環以利導出靜電



圖左:木頭材質，整體支架電位高→絕緣效果差  
圖右:PVC 管，整體支架電位低→絕緣效果佳

## (二)實驗 1-2：測試最佳金屬感應環

- 1.經過數十次的實驗發現，無論如何改變銅環的線徑粗細、繞轉圈數、繞轉半徑，只有微弱或不穩定的靜電壓。
- 2.改用鋁箔製成感應環會明顯穩定的電壓值，推測原因是水柱裂解水滴的位置會上下跳動，因鋁箔感應環的靜電區域較大，即使水柱分裂位置變動，仍在感應範圍內，因此會穩定提升靜電壓，如下圖 20 示。

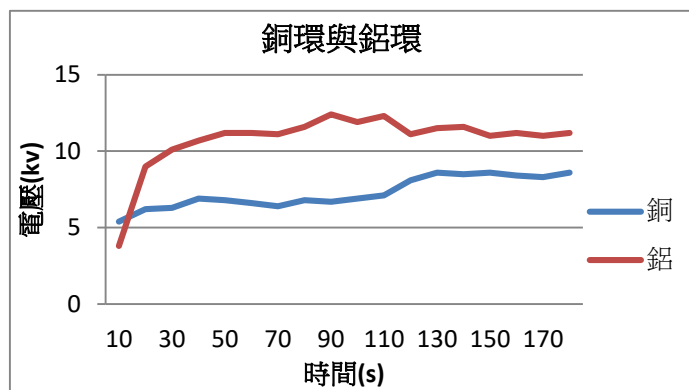
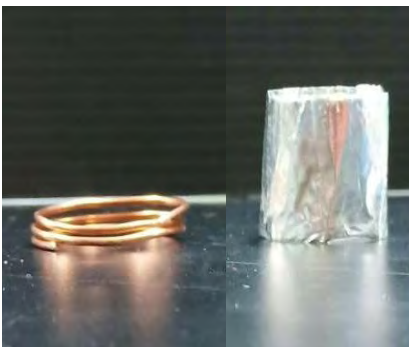


圖 20 銅環與鋁環的靜電電壓

### 3.鋁環長度對感應電壓的影響

下圖 21 顯示較長的鋁環會有較高的靜電壓，推測是水柱裂解位置會上下跳動，4cm 鋁

環有較大感應位置，因此可讓靜電壓持續上升，但 1cm 和 2cm 的感應範圍較小，因此感應產生的電壓較低。

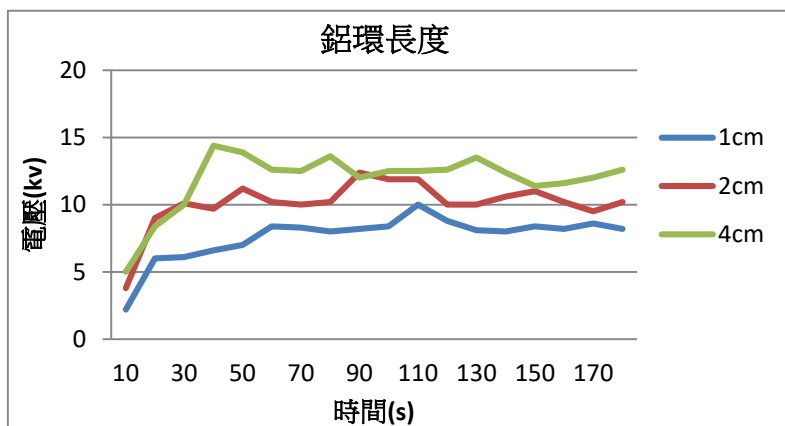


圖 21 不同鋁環長度的靜電電壓

#### 4. 鋁環直徑對感應電壓的影響

下圖 22 顯示，鋁環直徑愈小，感應的靜電電壓愈高，尤其是直徑 2cm 的鋁環，可以感應出穩定高達 10~12kv 的靜電壓，推測是直徑較小的鋁環，內部電場較大，對於水柱會有較佳感應效果。

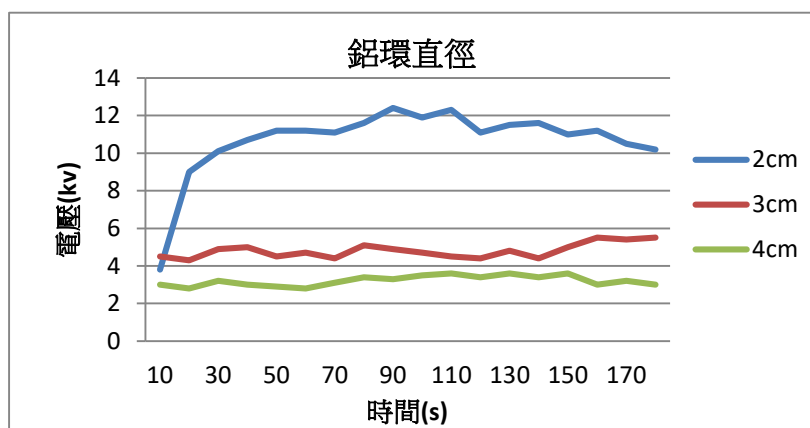


圖 22 不同鋁環直徑的靜電電壓

#### (三) 實驗 1-3：水柱長度、粗細對靜電電壓的影響

如下圖 23、圖 24，水柱愈長、愈細的感應電壓愈高，推測是愈長或愈細的水柱，分裂的水滴較小，且因表面電荷密度與半徑成反比，小水滴的表面電荷密度較大，一旦向下滴落接觸到下方金屬環時，因靜電分佈在金屬環表面，因此易於提升靜電壓，如下圖 25 所示。

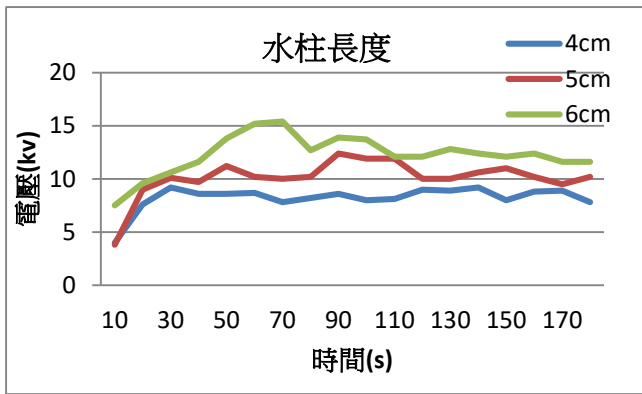


圖 23 不同水柱長度的靜電電壓

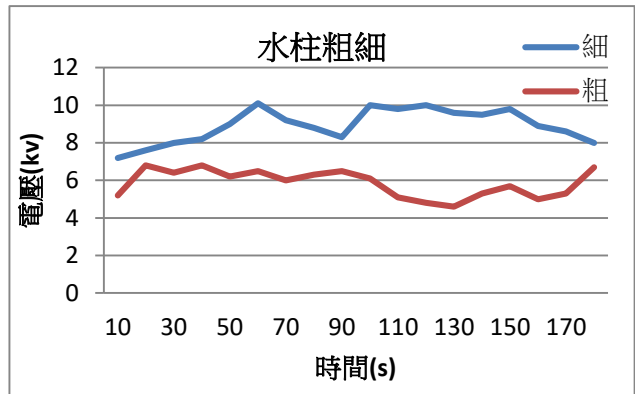


圖 24 不同水柱粗細的靜電電壓

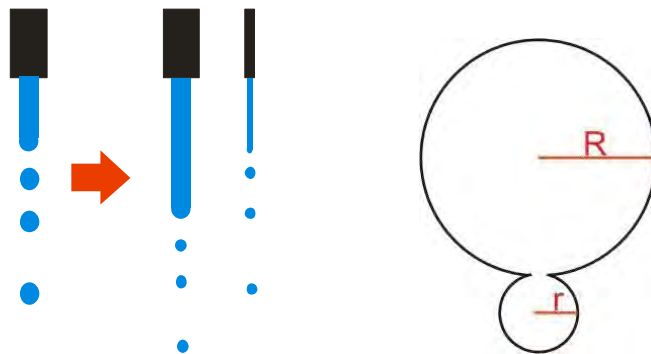


圖 25 較長、較細水柱的水滴較小(圖左)，小水滴有較大表面電荷密度(圖右)

## 二、研究目的二：探討靜電過濾裝置對懸浮微粒之吸附過濾效果

### (二) 實驗 2-1：探討平行靜電板之面積、距離、粗糙程度對懸浮微粒的吸附效果

#### 1.不同間距

如下圖 26 所示，平行靜電板愈靠近的過濾效果愈佳，推測因間隔小，懸浮微粒易於被靜電板吸附，且微粒顆粒愈大，吸附效果愈佳。

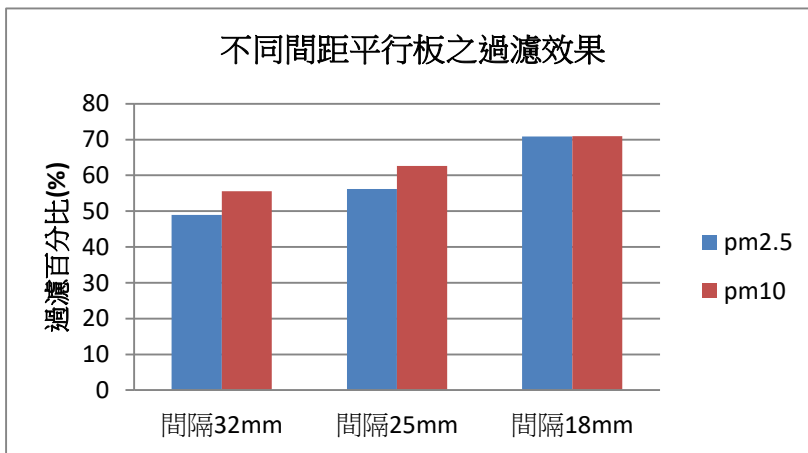


圖 26 不同間距平行板之過濾百分比

## 2.面積

如下圖 27 所示，12\*24cm 的過濾百分比明顯高於 12\*12cm 的鋁箔，表示大面積能吸附較多懸浮微粒，過濾效果較好。

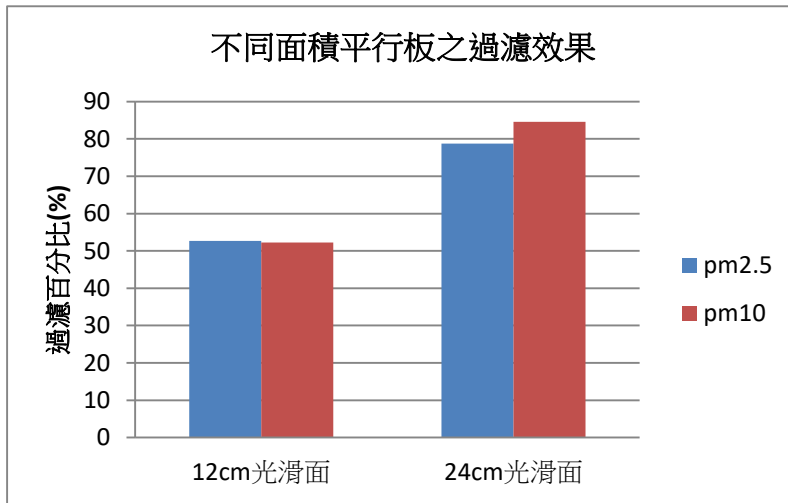


圖 27 不同面積平行板之過濾百分比

## 3.粗糙程度

如下圖 28 示，粗糙表面的過濾百分比皆大於比光滑面，推測原因是粗糙表面的表面積較大，容易吸附懸浮微粒，而 pm10 的微粒較大，較易被感應且吸附，因此兩次實驗中的 pm10 過濾效果都較 pm2.5 為佳。

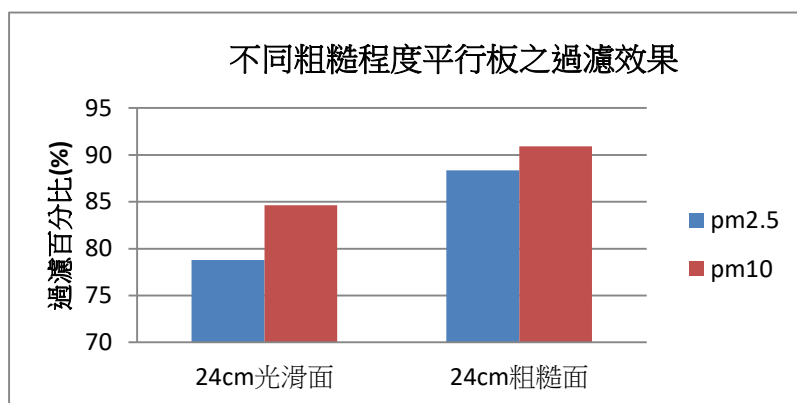


圖 28 表面粗糙度平行板之過濾百分比

## 4.連接開爾文裝置

以開爾文靜電裝置連接平行靜電板，使兩邊靜電板帶正、負電後，實驗顯示微粒濃度在過濾後並無降低，表示帶異性電的平行靜電板沒有過濾效果；經過討論，我們認為原因在於連接靜電棒的靜電板是以靜電棒提供約+10KV 的正電，電中性的懸浮微粒經過平行正電板，

會因靜電感應而被吸附，但開爾文裝置可提供正、負電，卻因此使平行靜電板內成為均勻電場，懸浮微粒雖被感應，但卻難以被吸附。示意圖如下圖 29 所示。

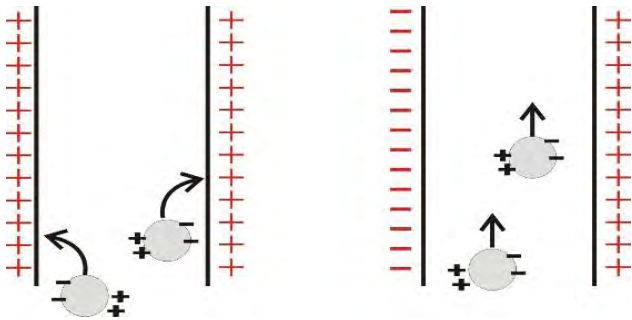


圖 29 微粒在不同電極板的靜電感應現象

### (一)實驗 2-2：分析市面常見濾網並探討過濾、透氣、集塵效果

#### 1.濾網分析

(1)收集市面上不同口罩，分析發現多數口罩具有 3 層濾網，由內而外分別是

**第一層：親膚性不織布**，可吸附呼吸時產生的凝結水氣

**第二層：熔噴不織布**，在製作過程中加入靜電於纖維中，以靜電幫助微粒吸附，是口罩最主要過濾層

**第三層：防潑水不織布**，用以防止飛沫、水氣滲入

為了比較過濾效果，加入市面上接受度高的 3M 靜電濾網，標榜在纖維上加入永久靜電處理，可置於風扇外層，利用空氣流動以過濾微粒，如下圖 30 示。



圖 30 左圖：口罩分層，右圖：3M 靜電濾網

(2)以複式顯微鏡（固定倍率為 900 倍）觀察口罩各分層表面，如下圖 31 所示。





<p><b>親膚不織布</b>：纖維粗，孔隙大</p>	<p><b>熔噴不織布</b>：纖維細密，孔隙小</p>
	
<p><b>防潑水不織布</b>：纖維粗，孔隙大</p>	<p><b>3M 靜電濾網</b>：纖維粗，孔隙大</p>
	

圖 31 顯微鏡下的濾網結構

## 2. 濾網過濾分析

- (1)由下表一顯示，各濾網對 PM10 的過濾效果普遍較佳，PM2.5 的過濾成效明顯較差，而最小的 PM1.0，過濾效果最差，這由顯微鏡所觀察到的孔隙大小也可看出。
- (2)熔噴不織布是一般口罩最主要過濾層，尤其針對小微粒 PM1 與 PM2.5，推測是其纖維細，孔隙小的原因。
- (3)令我們感到驚訝的是 3M 靜電濾網對小型微粒 PM1 或 PM2.5 的過濾效果較差，推測其主要用途是當集塵工具，需要在空氣流動下，讓靜電產生集塵作用。

表一 不同濾網的過濾效果

	PM1.0	PM2.5	PM10
N95	88.1%	97.7%	99.9%
防潑水不織布	1.0%	8.7%	68.3%
熔噴不織布	93.2%	98.8%	99.7%
親膚層不織布	1.8%	2.8%	68.0%
3M 靜電濾網	1.0%	65.0%	90.0%

### 3.濾網透氣分析

由乒乓球漂浮高度顯示濾網的透氣程度有所差異，熔噴不織布是主要過濾層，以緊密纖維阻絕微粒通過，所以透氣率差，3M 靜電濾網是置於風扇前後方，利用風扇帶動氣流來集塵過濾，因此透氣佳；防潑水不織布與親膚層不織布的主功能是在口罩外層防水滴進入，或是提供皮膚的柔觸感，因此纖維孔隙大，透氣效果佳；且通入靜電並不影響濾網透氣效果，如下表二所示。

表二 濾網透氣效果

濾網種類	乒乓球漂浮高度(cm)	透氣效果
防潑水不織布	49.0	佳
熔噴不織布	0.5	差
親膚層不織布	48.5	佳
3M 靜電濾網	68.0	極佳
防潑水不織布+靜電	49.0	佳
親膚層不織布+靜電	48.5	佳

### 4.濾網集塵分析

如下表三所示，我們發現 3M 靜電濾網相較於纖維細密的熔噴不織布，有更優異的表現，推測是靜電作用加上氣流幫助，也就是大量微粒隨著氣流經過靜電濾網時，會因靜電作用而吸附在纖維上，因此大孔隙反而是優點，可讓氣流通過，同時讓靜電吸附其中的微粒。進一步將靜電導入濾網的實驗結果顯示，靜電作用的確可以明顯增加集塵重量。

表三 濾網集塵效果

	初始重量(g)	集塵後重量(g)	集塵(g)
3M 靜電濾網	1.225	1.265	0.040
防潑水不織布	0.550	0.575	0.025
熔噴不織布	0.550	0.570	0.020
親膚層不織布	0.530	0.555	0.025
防潑水不織布+靜電	1.840	1.880	0.040
熔噴不織布+靜電	1.610	1.680	0.070
親膚層不織布+靜電	1.820	1.865	0.045

(3)將上表二與表三綜合為下圖 32，可看出濾網的透氣度與增重程度有正相關趨勢，顯示**若濾網較透氣，加入靜電作用，在氣流帶動下會明顯增加集塵效果。**

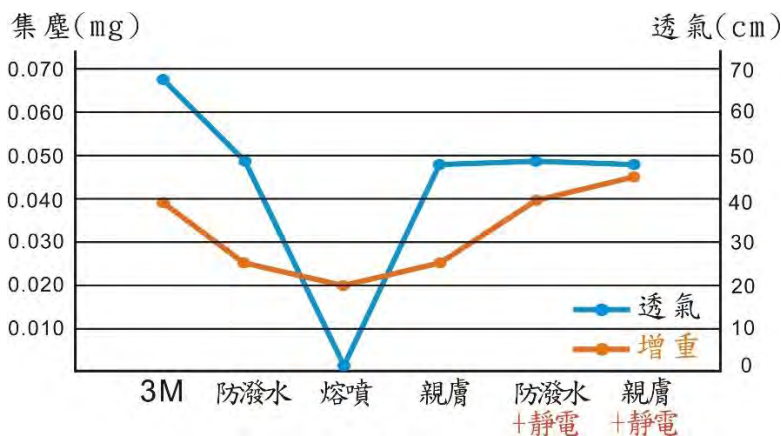


圖 32 濾網的透氣與集塵增重之關係

### 5. 連接開爾文裝置

如下表四所示，通靜電的雙層濾網，相對於一般濾網，有較高增重量，顯示對於木炭燃燒產生的懸浮微粒有更高的吸附過濾作用，且下方濾網(靠近微粒源)的增重量明顯高於上方濾網 2 倍以上，顯示下方濾網相較於上方濾網，對懸浮微粒有更多的吸附作用。



表四 不同濾網增重差異

	濾網			靜電導入濾網		
	原始(g)	燃燒後(g)	增重(g)	原始(g)	燃燒後(g)	增重(g)
濾網(上層)	12.359	12.425	0.066	12.361	12.463	0.102
濾網(下層)	12.463	12.615	0.152	12.307	12.517	0.210
木炭重量(g)	295.775	175.674	-120.101	295.935	183.21	-112.725

### 三、研究目的三：實測開爾文靜電裝置對懸浮微粒之過濾效果

#### (一) 實驗 3-1：應用開爾文靜電於封閉空間之除塵效率

1. 下圖 33 顯示通靜電濾網的過濾效果明顯較一般濾網的除塵效果佳。

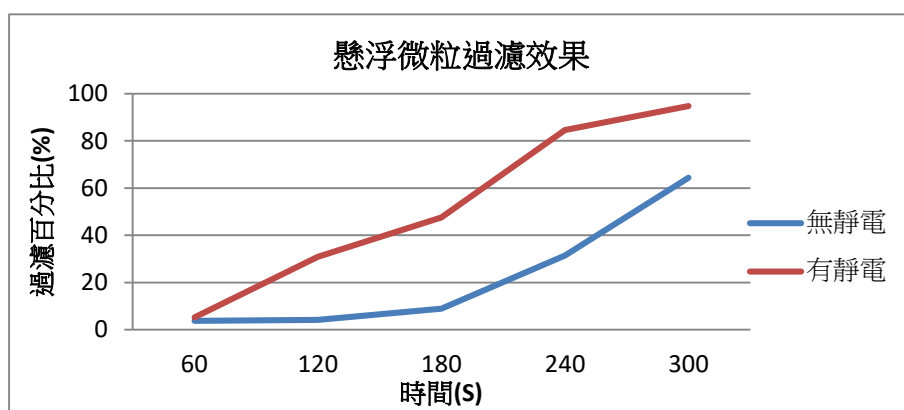


圖 33 封閉空間過濾百分比

#### (二) 實驗 3-2：應用開爾文靜電裝置過濾懸浮微粒(線香、金紙、木炭)

1. 燃燒線香(4 支)產生的懸浮微粒，PM1 與 PM2.5 在初期較高(190 秒前)，之後降至穩定狀態，推測是初始的線香燃燒不完全，產生微粒濃度較高，而 PM10 持續維持高濃度。

2. 靜電過濾效果：PM2.5 與 PM10 有 81%~86%的過濾效果，但 PM1 卻無過濾效果，推測原因是 PM1 的微粒太小，熱對流旺盛而易於通過濾網。

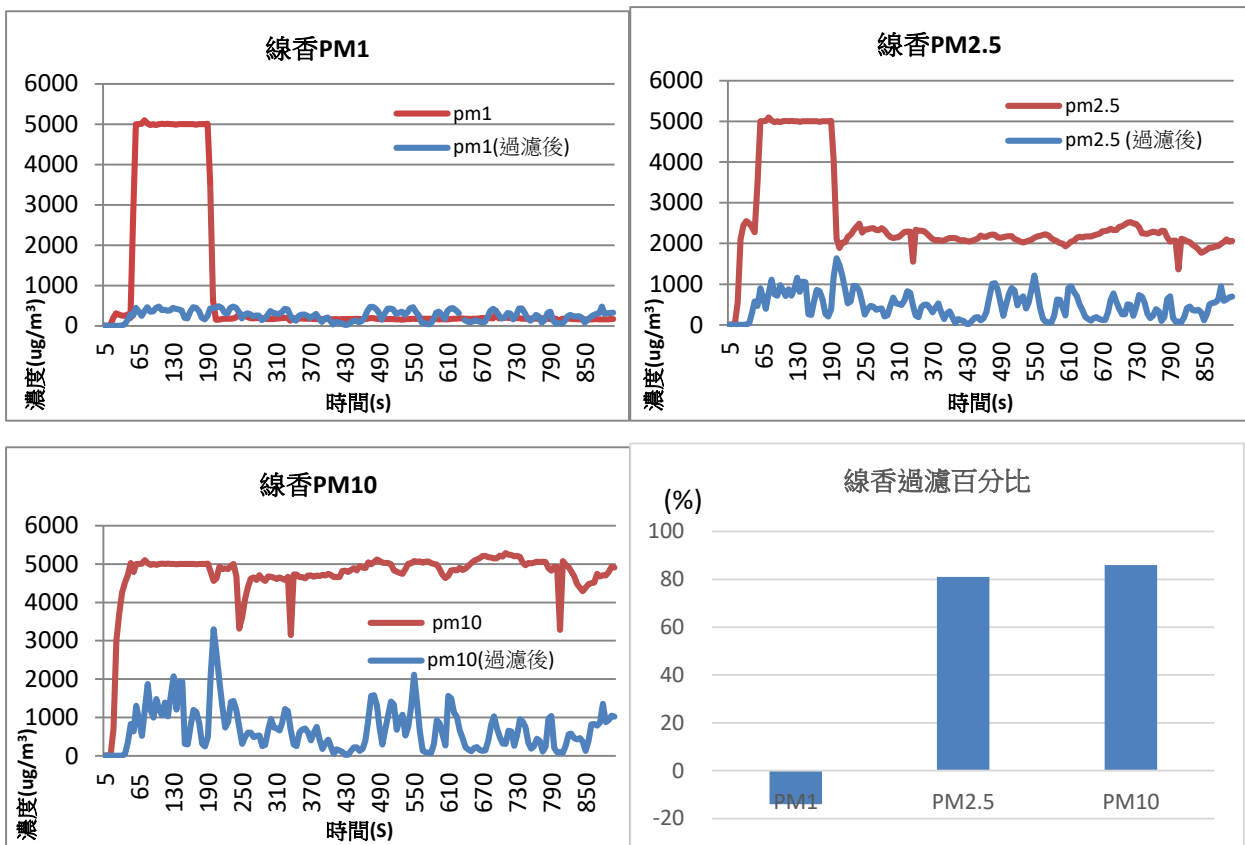


圖 34 線香濃度與過濾比例

3.燃燒金紙(約 100g)產生的懸浮微粒，PM1、PM2.5、PM10 皆有明顯波動現象，金紙燃燒會有大量火焰，產生的熱對流效應比起線香、木炭更明顯，一旦金紙燒完，熱對流就減緩，直到下批金紙旺盛燃燒。由 PM1 顯示(25~65 秒，85~130 秒，190~210 秒)，上方(過濾後)的 PM1 濃度竟高於下方(原始)濃度，推測是微粒小又對流旺盛的結果。

4.靜電過濾效果：PM2.5 與 PM10 有 61%的過濾效果，但 PM1 卻無過濾效果，與線香相比，推測原因是金紙燃燒的對流旺盛，微粒向上流動的速率更快，因此過濾效果降低，而 PM1 同樣是微粒太小，熱對流旺盛而易於通過濾網。

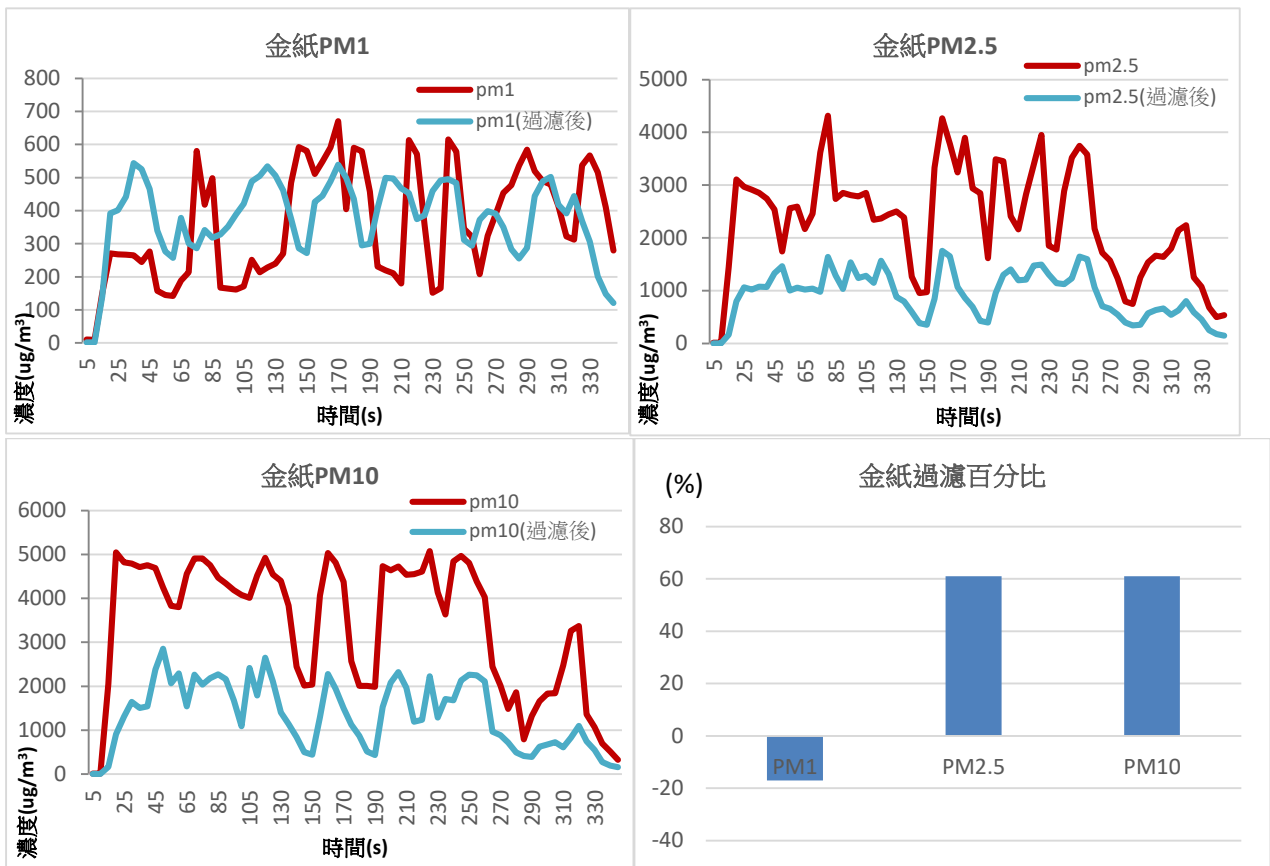


圖 35 金紙濃度與過濾比例

5. 木炭的燃燒現象與線香類似，尤其是 PM2.5 與 PM10，初期有較高濃度，推測剛開始仍在升溫階段，木炭燃燒不完全產生高濃度微粒，之後木炭燒紅會升溫促進完全燃燒，使微粒濃度下降。

6. 靜電過濾效果：木炭的過濾比例皆有高達 88% 以上的優異表現，推測是木炭會明顯燒紅，顯示燃燒效率較佳，產生微粒濃度低，尤其是 PM2.5 與 PM10，因此使靜電濾網易於吸附；而木炭產生的 PM1 與線香、金紙無明顯差異，卻有高達 89% 的過濾效果，可能與微粒向上的對流速率有關。

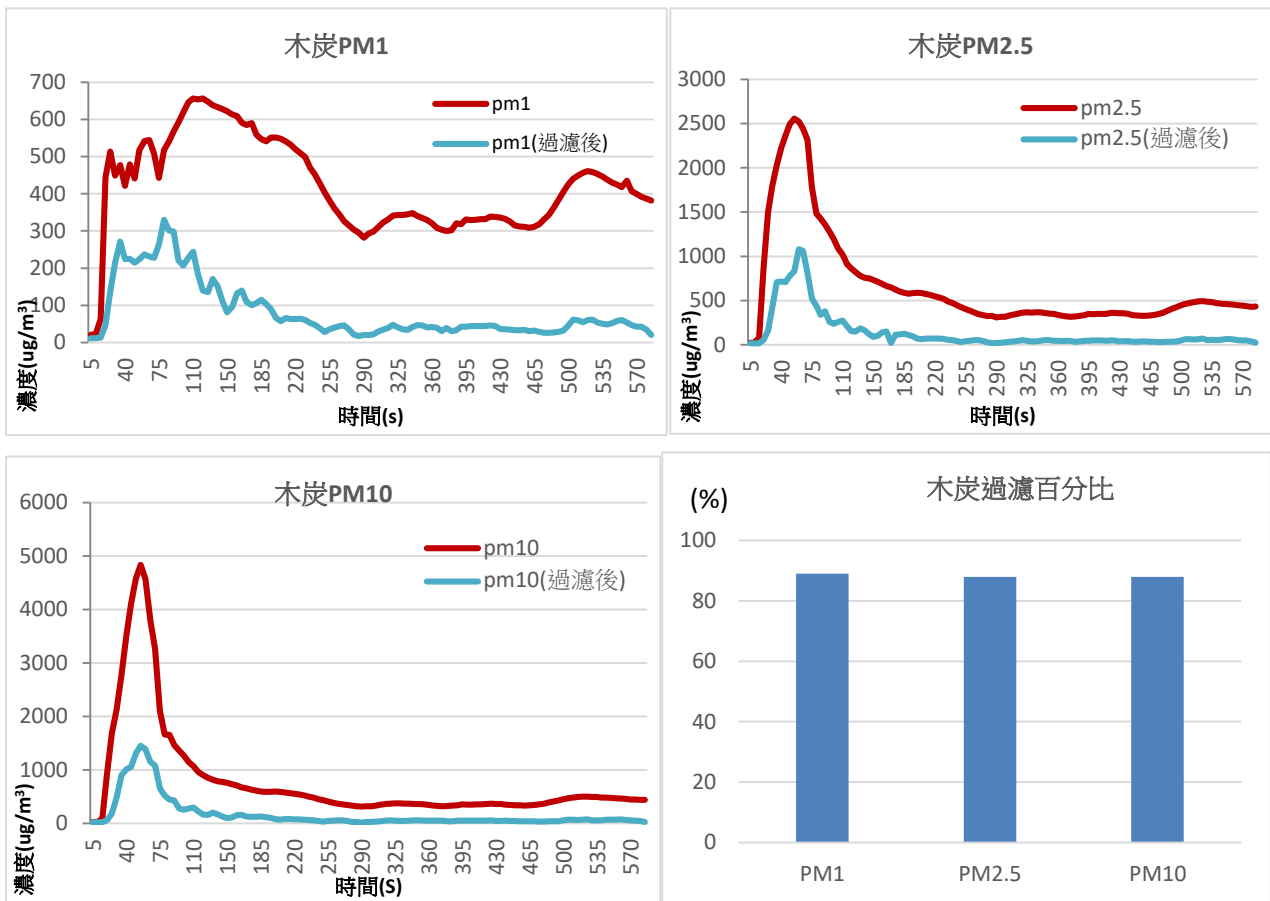


圖 36 木炭濃度與過濾比例

## 陸、討論

一、開爾文裝置因為會同時在兩邊水柱累積產生高壓正、負電，在平行靜電板的實驗中，我們發現若兩邊帶正、負電的電極板太靠近，會因電壓高而產生放電、電弧的現象，放電後的靜電電壓會瞬間下降 2~3KV，但隨著水流經過感應環，靜電電壓仍會持續回升。



圖 37 電弧現象

二、經由電位計實測，我們發現支架並非絕緣體就不會導電，因為開爾文裝置同時累積高壓的正、負靜電，即使有絕緣外皮，一旦兩邊連接正、負導線互相接觸，甚至接觸到周遭物品，就會使累積的靜電瞬間中和或傳導消失。而帶電噴灑的水滴，也會中和或傳導靜電，因此保持正、負靜電的裝置彼此獨立，就易於產生穩定的高壓靜電。

三、裝置上方的水盆因下方水柱的靜電感應，容易產生異性電荷，因此水盆需要接地，否則

水滴的感應效果會較差，影響靜電累積效果。

四、線香、金紙微粒的產生速度與濃度非常驚人，實驗過程以 1 支線香燃燒提供微粒源，測量濃度值時已非常容易感受到微粒對呼吸道的刺激感，但一般線香燃燒完成，時間至少超過 15 分鐘，必然對室內空間的微粒濃度造成重大影響，因此平時燒香、金紙拜拜，最好戴口罩或加裝過濾裝置，減少微粒吸入。

五、實驗的微粒來源採用線香、金紙與木炭燃燒產生的微粒，我們雖已選用市面上普遍的種類，但仍可能因各廠牌成分不同造成微粒分布或濃度計測上的誤差，而燃燒效率也可能會因環境氣流不同而產生誤差。

六、實驗過程中，我們找出靜電作用對濾網效能的影響，也了解開爾文裝置產生穩定靜電的因素，相對於市面上相關戶外空間的過濾產品(例如高壓靜電過濾機種)，本裝置不需電力驅動，成本低廉，可利用簡易器材自行組裝，搭配收集雨水與使用一般口罩濾層，就可長時間持續高效過濾效果，在過濾懸浮微粒有很大應用潛力，例如以下場合－過濾香爐、金爐、炭烤攤所排放的懸浮微粒。



## 柒、結論

- 一、開爾文靜電裝置要產生穩定的靜電電壓，支架以中空塑膠管，底部加裝玻璃瓶，會有較佳的絕緣效果；金屬感應環以直徑較小、較長的鋁箔製成，控制流出水柱較細、較長，會有較佳的靜電感應效果。
- 二、濾網的透氣度與集塵的增重程度呈現正相關趨勢，濾網孔隙大會較透氣，若導入靜電，在氣流帶動下會明顯增加集塵過濾效果。
- 三、以平行靜電板過濾懸浮微粒時，若導入同性電荷，靜電板的面積愈大、表面愈粗糙，間距愈小，會有較佳的微粒吸附過濾效果；但若導入正、負電荷，平行靜電板內成為均勻電場，對懸浮微粒無過濾效果。
- 四、以簡單材料組裝的開爾文裝置，採用收集雨水或家用廢水可產生持續的正、負靜電壓高達 10~14kv，將靜電導入口罩濾網(防潑水、親膚不織布)，可應用在封閉空間集塵或開放空間的線香、金紙、木炭等懸浮微粒的過濾，具有良好過濾效果，尤其木炭有超過 88%以上的過濾效果。

## 捌、參考資料及其他

- 蔡宗霖、鄧崑巖 (2016)。中華民國 56 屆中小學科學展覽會物理科國中組，PM2.5 遠離我
- 李其綦、吳羽霽 (2017)。中華民國 57 屆中小學科學展覽會物理科國中組，嘩啦啦與浙瀝瀝～水柱變水滴的探討
- 詹承哲、林源深、曾慶翔 (2018)。中華民國 58 屆中小學科學展覽會物理科國中組，電場下的極限運動-水滴帶電量之探討
- 維基百科。開爾文滴水起電機。取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BC%80%E5%B0%94%E6%96%87%E6%BB%B4%E6%B0%B4%E8%B5%B7%E7%94%B5%E6%9C%BA>

## 【評語】 032905

1. 本作品利用開爾文滴水發電裝置連結濾網，以靜電吸附空氣中懸浮微粒。以簡易的裝置，過濾懸浮微粒，包括 PM2.5 是很好的想法，議題也相當重要。
2. 本研究特色為實地走訪廟宇和碳烤攤，蒐集線香、金紙、木炭等懸浮微粒，具有良好過濾效果。
3. 文中提及可收集雨水當滴水來源，但有乾季雨季及地域性限制。

# 摘要

本研究探討開爾文靜電裝置產生最佳靜電效果的因素，例如絕緣支撐架、金屬感應環、水柱長度、粗細、裝置材質、靜電集塵效果、懸浮微粒過濾效果、玻璃底座、常用濾網、過濾效果、而靜電平行板以面積、粗糙表面積、間隔距離小，會有較佳過濾效果。三、以簡單材料組裝開爾文裝置，實際應用在封閉空間的集塵，開放空間的過濾效能上，會優於一般濾網。

## 壹、研究動機與目的

生活周遭經常看到家中廟宇燒香或金紙時，產出很多濃煙與懸浮微粒，加上新聞報導中的石化工業以及汽機車廢氣排放使空氣汙染問題逐年嚴重，因學長們的科展曾探討開爾文裝置，不需外接電源，利用高處流下的水，經過金屬環感應就可產生靜電。因此我們想進一步改良，利用環保、不耗能的方式製造靜電，以過濾周遭環境的懸浮微粒。研究目的如下：

- 一、找出開爾文裝置最佳靜電效果
- 二、探討靜電濾網對懸浮微粒過濾效果
- 三、實測開爾文裝置對懸浮微粒過濾效果

## 參、研究設備及器材

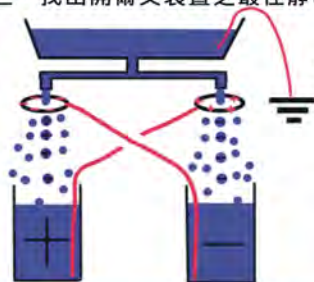
電子天秤、寶特瓶數個、微粒濃度感測器、arduino微控制器、各種濾網、金屬網、散熱風扇、靜電電位計(SIMCO-FMX003)、靜電棒、電源供應器、銅線、鋁箔、塑膠水盆、針頭、流速控制出水接頭、塑膠軟管、壓克力管、配線槽、相機、直尺、馬錶、離子夾與導線、線香

## 肆、研究過程與結果

### 一、研究架構：

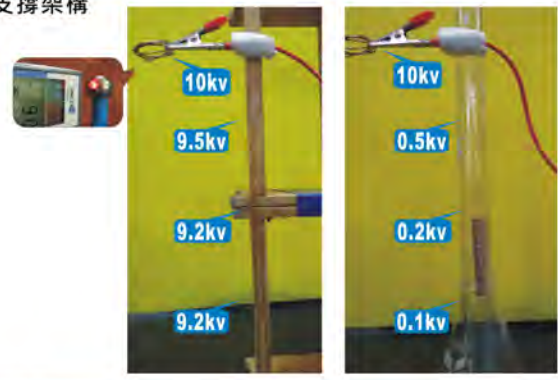
- 開爾文裝置最佳靜電效果
  - 1-1 絕緣支架
  - 1-2 金屬感應環
  - 1-3 水柱長度、粗細
  - 1-4 裝置改良
- 靜電導入濾網過濾效果
  - 2-1 平行靜電板的過濾效果
  - 2-2 分析常見濾網
- 實測開爾文裝置
  - 3-1 封閉空間除塵效果
  - 3-2 過濾效果與應用

### 二、找出開爾文裝置之最佳靜電效果



- 原理：上方盆內的水分兩邊流下，當通過帶電金屬環，會因靜電感應而使分裂水滴帶靜電，並累積靜電在下方集水罐中。隨著水滴持續滴落，靜電壓會逐漸升高。

### 實驗1-1：找出絕緣良好的支撐架構

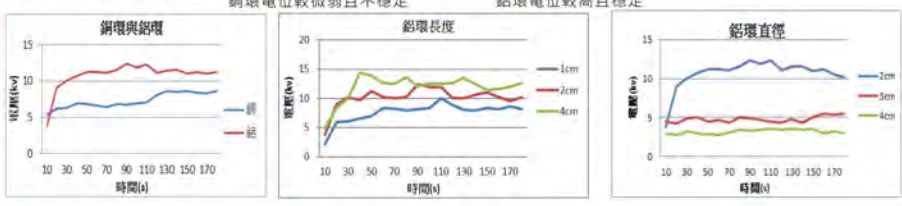


- 測試各種支架(壓克力、鐵架、木材、塑膠管)，並以電位計測量裝置上的電壓，找出最佳靜電效果。

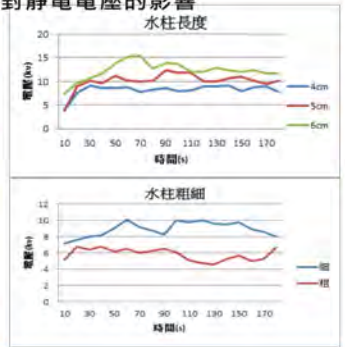
### 實驗1-2：測試最佳金屬感應環



- 金屬環需置於水柱末端(即將裂解水滴之處)，才有最佳感應效果。
- 鋁環較銅環的靜電效果佳。
- 長度較長、內徑較小的鋁環，靜電效果較佳。



### 實驗1-3：水柱長度、水柱粗細對靜電電壓的影響



- 較長、較細水柱會分裂較小水滴，因帶電水滴的表面為等電位，半徑與表面電荷密度反比，因此小水滴的表面電荷密度大，易形成較高靜電壓。

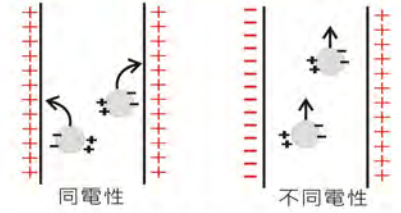
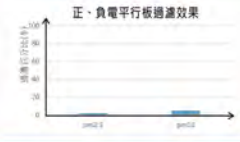
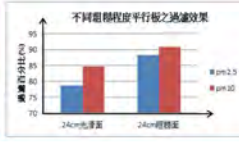
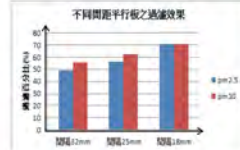
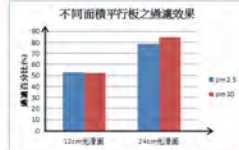
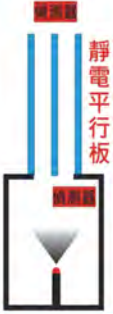




- 利用雨水產生長時間的高壓靜電，電壓維持在10~14KV

## 二、探討靜電裝置對懸浮微粒之過濾效果

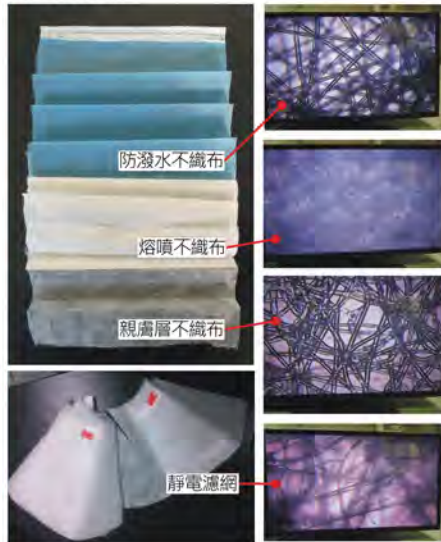
### 實驗2-1 探討平行靜電板的面積、距離、粗糙程度對懸浮微粒之吸附效果



- 同電性平行板的吸附效果佳，不同電性平行板無吸附效果。

### 實驗2-2 分析市面常見濾網並探討過濾、透氣、集塵效果

#### ※濾網分析



**防潑水不織布**  
防止飛沫、水氣滲入

**熔噴不織布**  
孔隙最細，是最主要過濾層

**親膚層不織布**  
吸附呼吸產生的凝結水氣

**靜電濾網**  
纖維加入永久靜電，置於風扇外層，由空氣流動過濾懸浮微粒

#### ※過濾分析



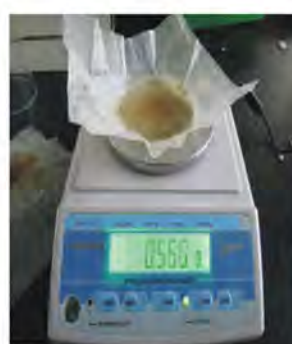
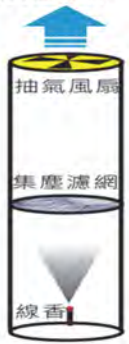
	PM1.0	PM2.5	PM10
N95濾網	88.1%	97.7%	99.9%
3M靜電濾網	1.0%	65.0%	90.0%
防潑水不織布	1.0%	8.7%	68.3%
熔噴不織布	93.2%	98.8%	99.7%
親膚層不織布	1.8%	2.8%	68.0%

#### ※透氣分析

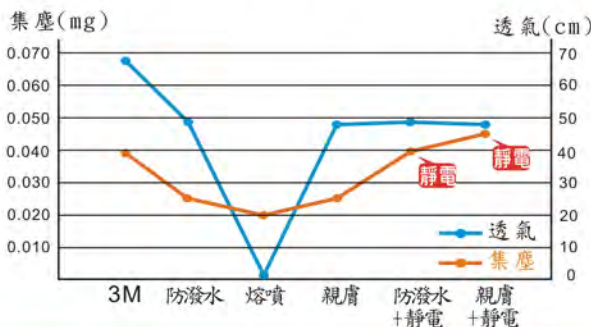


	乒乓球飄浮高度(cm)	透氣效果
3M靜電濾網	68.0	極佳
防潑水不織布	49.0	佳
熔噴不織布	0.5	差
親膚層不織布	48.5	佳
防潑水不織布+靜電	49.0	佳
親膚層不織布+靜電	48.5	佳

#### ※集塵分析



	初始重量(g)	集塵重量(g)	增重(g)
3M靜電濾網	1.225	1.265	0.040
防潑水不織布	0.550	0.575	0.025
熔噴不織布	0.550	0.570	0.020
親膚層不織布	0.530	0.555	0.025
防潑水不織布+靜電	1.840	1.880	0.040
熔噴不織布+靜電	1.610	1.680	0.070
親膚層不織布+靜電	1.820	1.865	0.045



- 濾網實驗結果：  
 孔隙小 → 過濾佳 → 透氣差 → 集塵差  
 孔隙大 → 過濾差 → 透氣佳 → 集塵佳

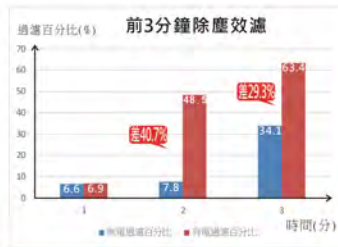
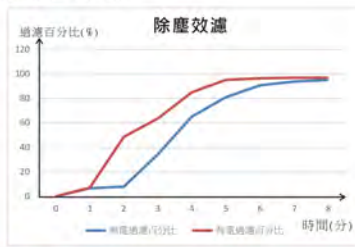
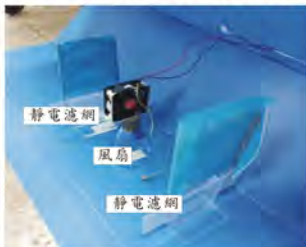
**靜電吸附**

- 採用空隙大的防潑水、親膚層不織布導入開爾文靜電

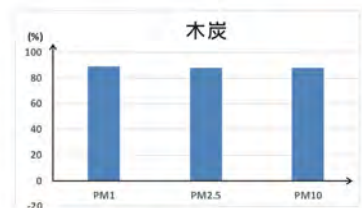
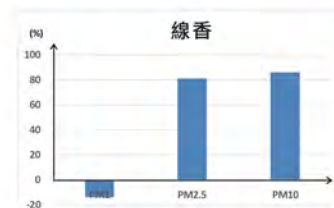
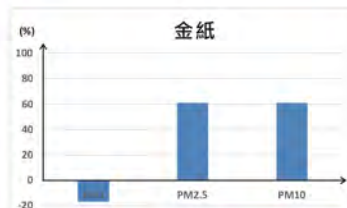


### 三、實測與應用

#### 實驗3-1 應用開爾文裝置於封閉空間之除塵效率



#### 實驗3-2 開爾文裝置連結濾網之過濾效果



## 伍、討論

- 即使裝置絕緣，一旦正、負導線太靠近或碰到周遭物品就會使累積靜電瞬間中和或消失，有時會產生放電的電弧現象，而帶電噴灑的水滴也會傳導靜電，因此保持裝置獨立才易於產生穩定高壓。
- 線香、金紙微粒的產生速度與濃度非常驚人，實驗過程以1支線香燃燒提供微粒源，測量濃度值時常感受到微粒對呼吸道的刺激感，但一般線香燃燒時間至少超過15分鐘，必然大幅增加室內空間的微粒濃度。因此平時燒香、金紙拜拜，最好戴口罩或加裝過濾裝置。
- 我們找出靜電作用對過濾網效能的影響，也了解開爾文裝置產生穩定靜電的因素，相對於市面上相關戶外空間的過濾產品(例如高壓靜電過濾機種)，本裝置不需電力驅動，成本低廉，可利用簡易器材自行組裝，搭配收集雨水與使用一般口罩濾層，就可長時間持續高效過濾效果，在過濾懸浮微粒有很大應用潛力，例如以上場合一過濾金爐、香爐、炭烤攤所排放的懸浮微粒。

## 陸、結論

- 開爾文靜電裝置要產生穩定的靜電電壓，支架以PVC管，底部加裝玻璃瓶，會有較佳的絕緣效果；金屬感應環以直徑較小、較長的鋁箔製成，流出水柱控制為較細、較長，會有較佳的靜電感應效果。
- 濾網的透氣度與集塵的增重程度有正相關趨勢，當濾網孔隙大，較透氣時，有靜電作用時，在氣流帶動下會明顯增加集塵效果。
- 以平行靜電板過濾懸浮微粒時，靜電板的面積愈大、表面愈粗糙，間距愈小，會有較佳的微粒吸附過濾效果。
- 以簡單材料組裝的開爾文裝置，不耗費能源即可產生高壓正、負靜電，連接一般濾網並應用在封閉空間集塵或開放空間的線香微粒過濾上，效能明顯優於一般濾網。

## 柒、參考資料

- 蔡宗霖、鄧崑巖 (2016)。中華民國56屆中小學科學展覽會物理科國中組，PM2.5遠離我
- 李其善、吳羽霽 (2017)。中華民國57屆中小學科學展覽會物理科國中組，嘩啦啦與浙漚漚～水柱變水滴的探討
- 詹承哲、林源深、曾慶翔 (2018)。中華民國58屆中小學科學展覽會物理科國中組，電場下的極限運動-水滴帶電量之探討