

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080119

帶「靜」紗窗，防塵來「勁」—靜電紗窗防塵
效果研究

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者： 小五 洪胤熙 小六 陳奕安 小五 楊安雅	指導老師： 盧世晟 林淑慧
---	-----------------------------

關鍵詞：自製靜電紗窗、防塵、靜電產生器

摘要

我們發現學校、家裡到處有灰塵，室外的灰塵會經由紗窗進入室內，無論在櫃子上、桌上、地上都常常有灰塵，心想如果利用靜電吸塵的原理，讓靜電導入紗窗，是否能成功阻擋灰塵進入，來改善室內空氣品質，實驗結果發現我們研發的靜電紗窗，確實能攔截灰塵，攔阻 80—90% 的懸浮微粒進入室內，且透過並聯兩台靜電產生器的效果尤佳；同時利用線香煙粒，發現線香在通風環境正常燃燒下，靜電紗窗也可延緩室內空氣品質惡化。我們成功地在不鏽鋼紗窗上裝置自動型靜電產生器，研發出靜電紗窗來取代市面昂貴的靜電紗窗，有效地減少灰塵進入室內，維護空氣品質。

壹、研究動機

每年到了秋冬季節空氣品質很差，媽媽說只要 1~2 天沒打掃，家裡就常有灰塵累積，灰塵會造成過敏現象，如：打噴嚏、流鼻水、鼻塞、氣喘、眼睛癢等，讓人無法專心學習，而我們幾位同學剛好都是過敏體質，於是我們思考有沒有什麼方法可以不關窗戶讓室內通風良好，又可以不讓灰塵進入室內，讓室內空氣品質良好，因此我們開始進行實驗。

貳、研究目的

- 一、探討不同網目紗網的紗窗對室內透光性及透氣性的影響。
- 二、設計、製作手動摩擦起電專用器材及不同類型的靜電產生裝置。
- 三、探討不同紗窗材質(白牛筋、特銀、不鏽鋼)、不同材質布料與互相摩擦次數產生靜電的效果。
- 四、自製靜電產生器的改良設計及導入紗窗後吸引微小物體的效果探討。
- 五、探討靜電紗窗對阻隔微小物體，如：阻隔灰塵、線香煙粒影響空氣品質的效果。

參、研究材料及設備器材

一、材料



圖 3-1-1 紗網(不鏽鋼網、白牛筋網、特銀網)、木框、各種布料。



圖 3-1-2 線香、麵粉、粉筆灰、棉絮、動物毛、小保麗龍球、

二、設備及器材



圖 3-2-1 三用電表、電線、PVC 管、空氣品質檢測器、手動靜電摩擦起電裝置、自製風力量角器、釘槍、吹風機、熱熔膠槍、熱熔膠條、隔板、螺絲起子、電池。



圖 3-2-2 電池、電池盒、電晶體、電阻器、電容器、LED。



圖 3-2-3 自製手動型靜電產生器

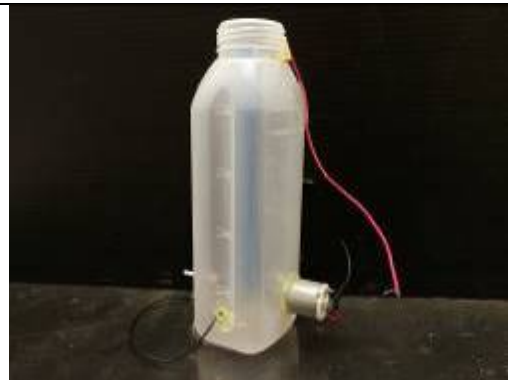


圖 3-2-4 自製自動型靜電產生器

肆、研究過程與方法

一、研究架構

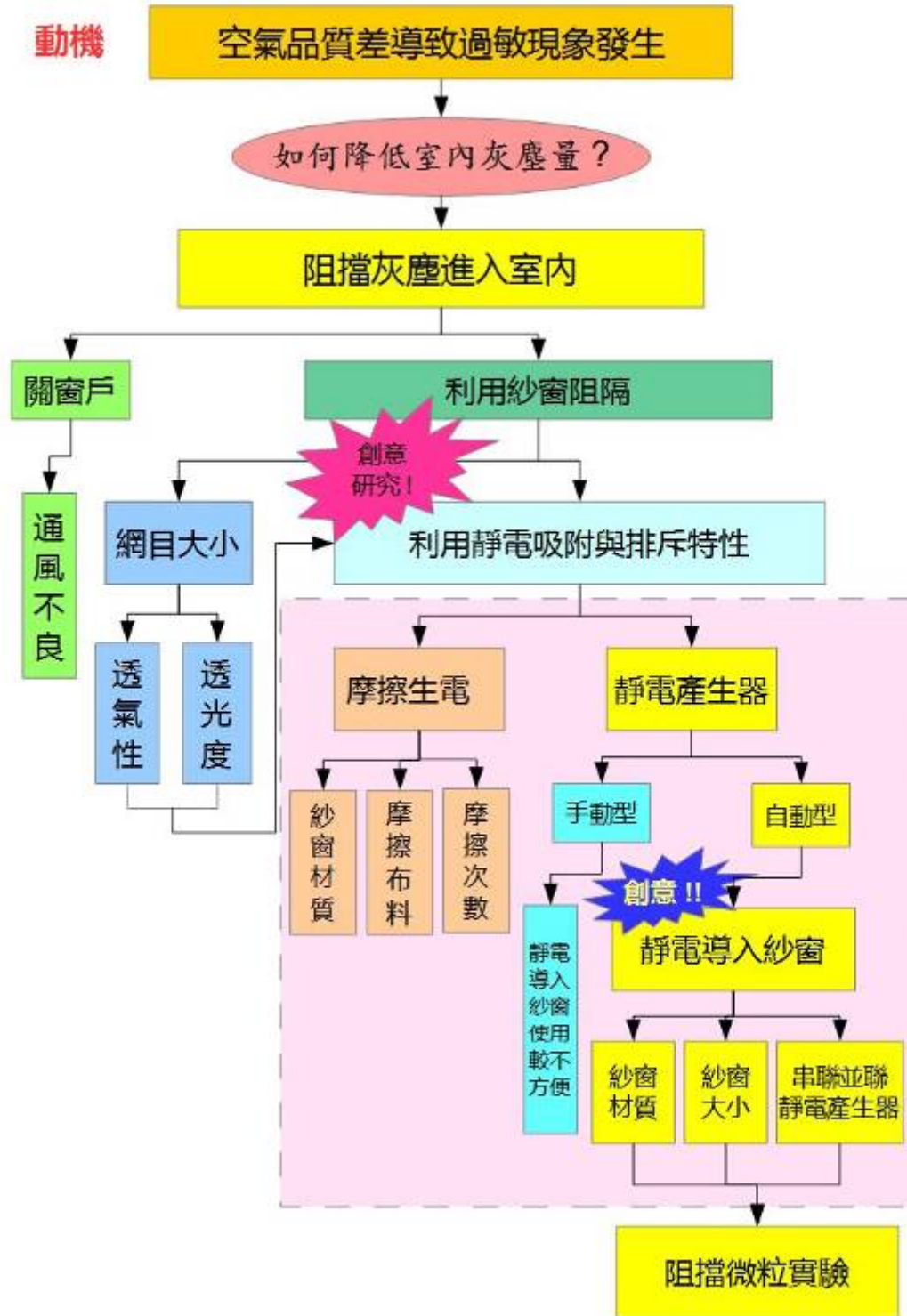


圖 4-1 研究架構圖

二、實驗原理及資料查詢討論

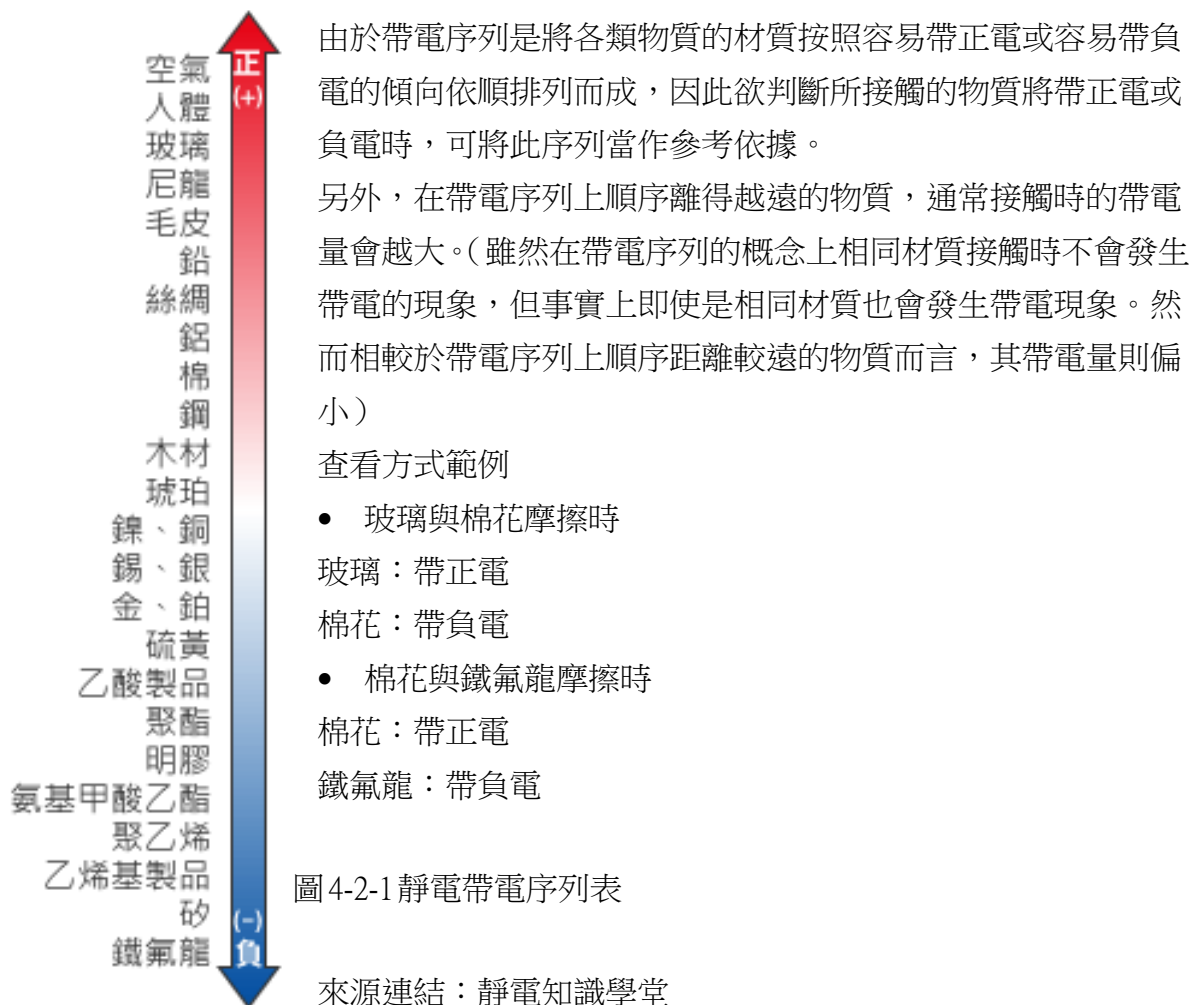
(一)靜電定義

靜電是電荷在物質系統中的不平衡分布產生的現象。用毛皮摩擦琥珀、絲綢摩擦玻璃棒等方法均能使物體帶電。物體帶電後，電荷會保持在物體上，除非被其他物體移走，所以稱之為「靜電」。靜電與電流不同，後者是電荷在導體中的定向移動產生的電學現象，帶電物體往往具有吸引輕小物體(例如紙屑)的性質。
(來源連結：維基百科-靜電)


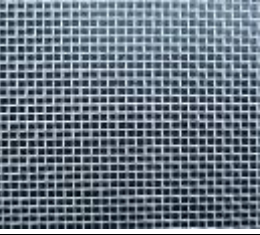
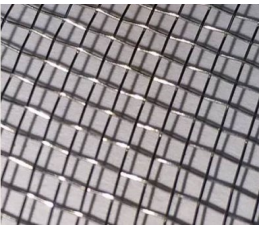
(二)摩擦起電效應

摩擦起電效應，也就是通過摩擦的方式使得物體帶上電荷。摩擦起電的步驟，是使用兩種不同的物體相互摩擦，使得它們的最外層電子得到足夠的能量發生轉移，摩擦起電後兩物體必帶等量異性電。例如：絲綢摩擦過的玻璃棒分別帶負電荷和正電荷，毛皮摩擦過的橡膠棒則相反。

(來源連結：維基百科-摩擦起電效應)



(三)紗窗種類

市售紗網種類	紗網外觀	紗網材質	特性說明	價格 (3*7 尺)
白牛筋紗網		PE 塑膠網	利用釣魚線編織而成，線粗有彈性，耐洗，價格便宜，紗網顏色多樣，可耐溫 75 度。	170 元
特銀紗網		添加高級銀 PE 塑膠網	添加高級銀抗氧化材料，材質平整，耐洗，耐溫達 60 度，網目工整不易滑動。	250 元
不鏽鋼紗網		不鏽鋼製成 (304 / 316)	耐用品質好、防火、防鏽、防寵物及老鼠咬抓，防曬。	650 元

(四)目前市面上靜電紗窗

透過資料查詢我們發現目前市面上有一種由荷蘭進口的防霾靜電紗窗，它的材質為”聚酯纖維”，纖維表面及紗線內塗有一層具有專利的永久性奈米靜電塗層，並採用歐洲百年頂級紡織工藝編織而成，形成一張微米級靜電過濾紗網，透過雙重攔截技術持久排斥阻隔空氣中的微塵及污染物顆粒，進而保護室內空氣品質，改善易過敏人群的過敏症狀。



圖 4-2-2

荷蘭進口的防霾靜電紗窗詢價的對話截圖




圖 4-3-5 暗箱裝置，紙箱內部貼上黑布，避免光源反光

圖 4-3-6 開啟 LED 光源，測試照度

圖 4-3-7 以不同網目紗窗，測試對室內透光性的影響

實驗 2、觀察靜電的生成與特性現象

實驗 2-1、手動摩擦起電研究

 動機與想法：

我們想利用靜電間電荷相吸及相斥的特性，來隔絕室外的灰塵透過紗窗進入室內，如果紗窗帶有靜電，當帶有靜電的紗窗遇到空氣中帶相同性電荷的微粒就會被靜電紗網排斥；若是遇到空氣中帶異性電荷的微粒就會被靜電紗網吸附，是不是可以利用這種特性來阻隔室外空氣中的微粒進入室內呢？我們的想法原理，如下圖所示：

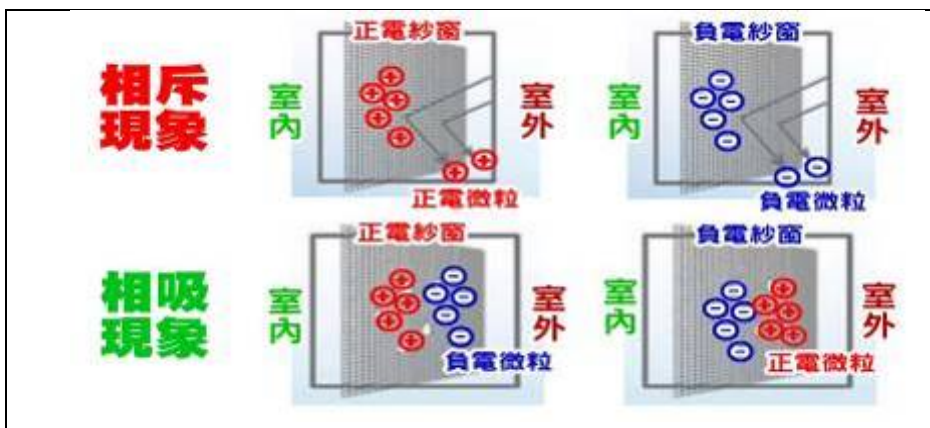


圖 4-3-8
靜電紗窗與微粒的交互作用

因此我們實驗不同紗窗材質，以不同材質布料與摩擦次數產生靜電的效果，希望能將灰塵排斥在外或吸附灰塵在紗窗上。然而實驗時，進行摩擦起電時，摩擦的距離無法標準化，所以我們設計一個靜電摩擦起電裝置來解決這個問題。

實驗 2-1-1、設計靜電摩擦起電裝置

實驗步驟：

1. 實驗構想設計如右圖，利用考試時用的隔板，將隔板下的底座做為夾住摩擦材料的固定夾。
2. 每塊板子使用四個固定夾，來固定以布料為主的摩擦材料，並製成摩擦時的擋板。
3. 在布料旁邊貼上尺規，作為測量距離之用，摩擦長度約 10 公分。

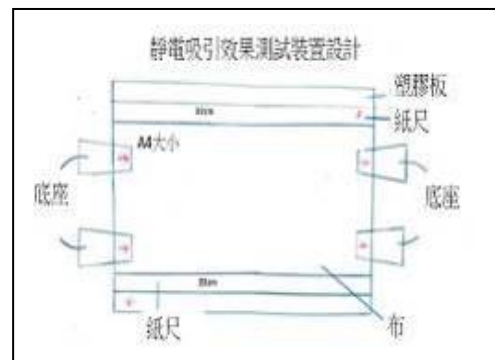


圖 4-3-9 手動摩擦裝置設計圖

實驗 2-1-2、進行手動摩擦

實驗步驟：

1. 分別將白牛筋、特銀、不鏽鋼紗窗摩擦各種布料 10、20、30、40、50 次，如右圖所示。
2. 利用打洞機在 A4 紙上打洞，製作出大小相同、重量相同的小圓紙片。
3. 將摩擦後的紗窗去吸引小圓紙片，並計算吸起的圓紙片數量，重複實驗並記錄。



圖 4-3-10 手動摩擦實驗示意圖



實驗 2-2、研發靜電產生器與效能討論



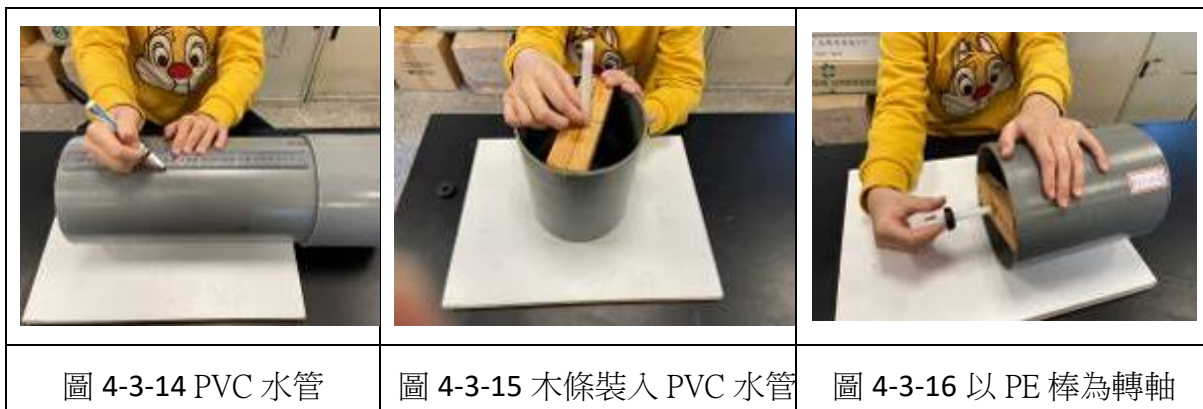
動機與想法：

我們發現可以摩擦紗窗來產生靜電，但生活中不可能將紗窗一直拿著摩擦，於是我們開始研究製作一台靜電產生器，能讓靜電自動產生並將靜電導入紗窗。

實驗 2-2-1 「手動型」靜電產生器

實驗步驟：轉筒的製作：

1. 準備一個外徑約 18 cm，長約 20 cm 的 PVC 水管及與 PVC 水管內徑一樣長的木條，木條正中心鑽一個直徑 1 公分的圓孔。
2. 將木條裝入 PVC 水管，並把一 PE 棒裝入木條中心點處。
3. 完成一個以 PE 棒為轉軸，PVC 水管為滾輪的結構。



底座的製作：

1. 在一塊寬約 20 cm，長約 45 cm 的木板上，製成可容納 PVC 水管的槽狀構造，在此槽上鋪上一層鋁片，鋁片兩側用螺絲釘固定。
2. 在鋁片上方鋪一層羊毛尼龍混紡的布料，鋁片和布料緊靠在一起，在鋁片上鑽一小孔，焊接輸出電線。
3. 把 PVC 管水平置於鋪有布料和鋁片槽狀構造上，製成一轉筒。
4. 利用 PE 棒作為 PVC 水管的轉軸，垂直固定在底座木板上。
5. 在木條上鎖上 8 cm x 8 cm 的鋁片，鋁片上鑽一小孔，焊接輸出另一條電線。



圖 4-3-17 底座鋪上一層鋁片



圖 4-3-18 鋁片上鋪一層布料



圖 4-3-19 輸出電線



圖 4-3-20 用 PVC 管製成轉筒



圖 4-3-21 用 PE 棒做轉動把手



圖 4-3-22 實際測試

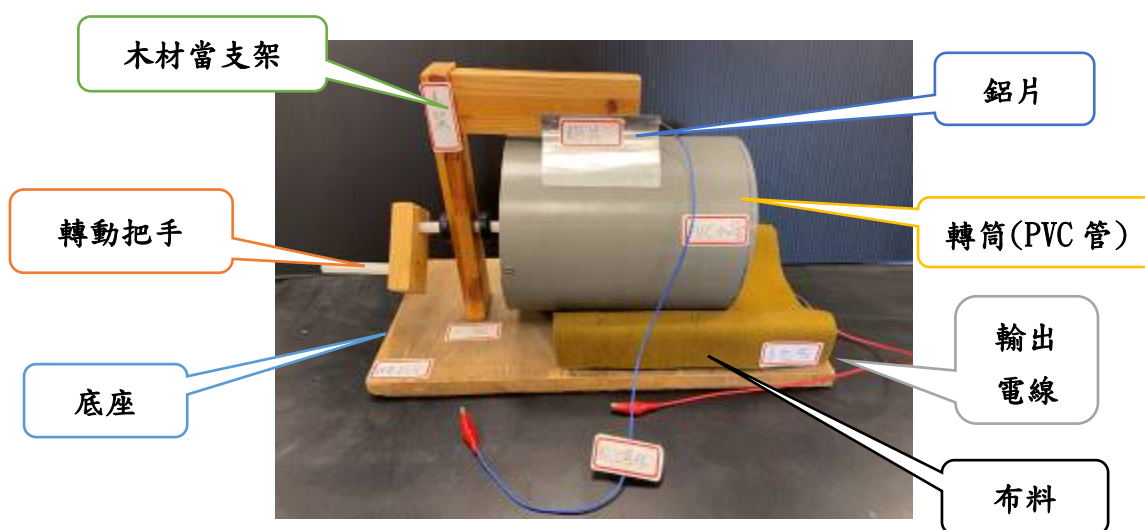


圖 4-3-23 「手動型」靜電產生器

2-2-2、「自動型」靜電產生器



動機與想法：

成功地研發出「手動型」靜電產生器，但每次需要用手轉動，如果利用馬達能夠自動轉動的特性，是不是就能讓靜電自動產生？也就不需要一直用手動的方式來摩擦產生靜電，於是我們進行實驗並在物理教育學刊查詢到有關靜電產生器製作相關資料，開始進行製作與研究探討。

實驗步驟：

1. 將塑膠瓶上下兩側挖洞，利用竹籤及吸管製成上下二個支架。
2. 在 2 支架中間處黏貼膠布，製作出上方及下方滾輪。
3. 在塑膠瓶的下方安裝小馬達，並將馬達軸心接在下方吸管上，當馬達轉動，下方滾輪就會自動轉動。
4. 製作轉動的皮帶，我們利用許多材質進行測試，有棉布、塑膠手套(PVC)、人造羊毛布、麂皮布、氣球，最後氣球的效果最好，因此將氣球的橡膠剪成條狀製成皮帶，小心地套入上下兩方滾輪上。
5. 上下兩端各連接電線，作為靜電的輸出端。
6. 安裝電池至電池盒並進行運轉測試，製成「自動型」靜電產生器裝置。
7. 將「自動型」靜電產生器連接紗窗，測試吸引小保麗龍球的數量



圖 4-3-24 馬達軸心與下方滾輪相接

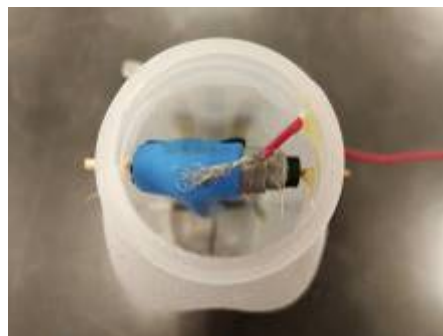


圖 4-3-25 竹籤、吸管及膠布製成上方滾輪



圖 4-3-26 「自動型」靜電產生器

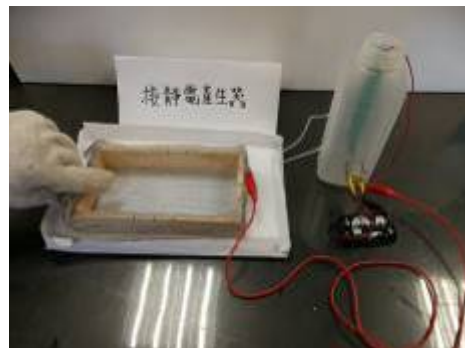


圖 4-3-27 紗窗接上自動型靜電產生器

實驗2-2-3、「自動型」靜電產生器與紗窗相接，紗窗是否能產生靜電



動機與想法：

「自動型」靜電產生器利用馬達旋轉帶動氣球皮帶來摩擦生電，這種電是否可以導入紗窗，使其產生靜電而吸引細微的物體。

實驗步驟：

1. 將「自動型」靜電產生器裝上電池，確定馬達能夠運轉。
2. 將「自動型」靜電產生器的輸出電線，接上白牛筋、特銀、不鏽鋼紗窗邊緣的紗網。
3. 設計如右圖裝置，將欲吸引的微小物品放入小淺盤中，測試此時紗窗是否能吸引或排斥微小物品，並記錄結果。

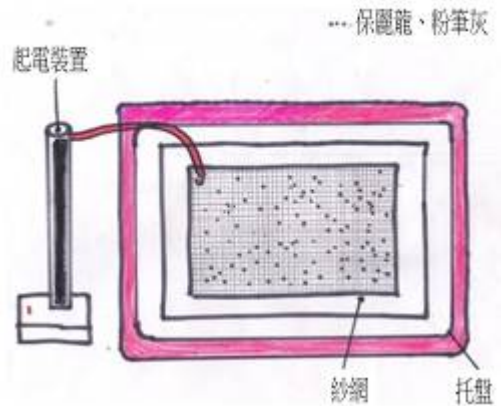


圖 4-3-28 「自動型」靜電產生器連接紗窗

實驗3、「自動型」靜電產生器導入紗窗後對空氣品質的影響

實驗3-1、預備實驗：空氣品質偵測器的練習使用



動機與想法：

先學習使用空氣品質偵測器，並比較校園各環境的空氣品質。

實驗步驟：

1. 準備一台隨身型空氣品質偵測器(產品型號myAir-S1)，並完成設定。
2. 手機上安裝APP控制軟體，與空氣品質偵測器完成藍牙連線。
3. 在校園不同環境下進行實際測試，並比較與紀錄。空氣品質偵測器數值單位為 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺)。
4. 測量數值結果與空氣品質狀態比對，如上表所示。

測量結果

PM2.5濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	指示燈號	空氣品質狀態
0-15	綠	良好
16-35	黃	普通
36-54	橙	對敏感族群不健康
55-250	紅	不健康
251-500	紫	對人體有害

圖 4-3-29 空氣品質對照表

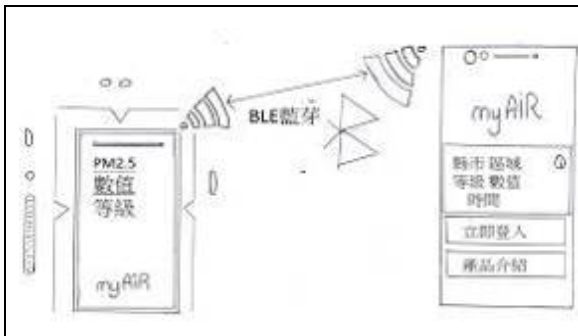


圖4-3-30 空氣品質偵測實驗示意圖



圖4-3-31 空氣品質偵測實驗(含偵測數值)

實驗3-2、靜電紗窗對空氣品質的影響



動機與想法：

設計一個風洞裝置，測試靜電紗窗通電後能否阻隔空氣中的微粒進入室內，進而改善空氣品質，並驗證我們的想法是否正確？

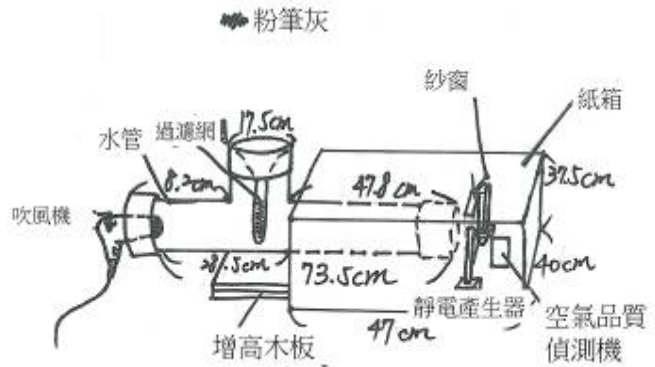


圖 4-3-32 風洞裝置設計圖

實驗 3-2-1、利用風洞裝置實驗靜電紗窗對空氣品質的影響

實驗步驟：

1. 將一個 T 型與一個直型 PVC 管相接，再與紙箱銜接如右圖 4-3-33。
2. 在紙箱內 PVC 管後方放置紗窗、靜電產生器。
3. 將空氣品質偵測器放置在紗窗後方，模擬偵測室內環境空氣品質，以粉筆灰模擬灰塵裝入濾中並懸吊，再開啟吹風機以不同風速進行實驗，經多次測試直到實驗順利。將靜電產生器連接到不鏽鋼紗窗上，成為靜電紗窗。
5. 不鏽鋼紗窗放置在風洞裝置內，如上圖裝置，打開吹風機，吹動粉筆灰。
6. 比較通電前後不鏽鋼紗窗後方的空氣品質偵測器數值，空氣品質數值單位為($\mu\text{g} / \text{m}^3$)。



圖 4-3-33 風洞裝置組裝



圖 4-3-34 實驗裝置正面圖



圖 4-3-35 紙箱內有紗窗、靜電產生器、空氣品質偵測器

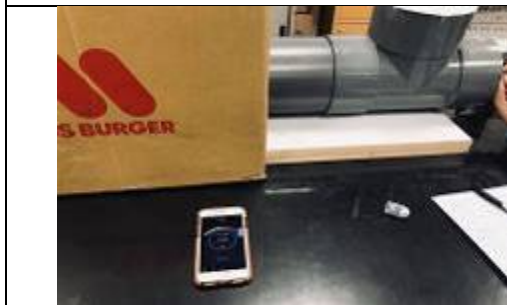


圖 4-3-36 手機 APP 控制空氣品質偵測器



圖 4-3-37 進行實驗記錄

實驗 3-2-2、紗網面積大小、靜電產生器連接數量對灰塵進入室內效果的影響

實驗步驟：

1. 依照之前的風洞裝置進行佈置、安裝，空氣品質偵測器和手機藍牙連線依前實驗設定。
2. 其餘器材：三個不同尺寸的不鏽鋼網紗窗以木框用釘槍固定、兩台靜電產生器、三用電表等。
3. 製作大、中、小三種不同面積大小的不鏽鋼網紗窗：大紗窗（30 cm×39 cm）、中紗窗（17 cm×24.5 cm）、小紗窗（9 cm×16.5 cm）。先以釘槍固定於木框上、以利實驗進行。如右圖 4-3-38 所示。
4. 分別將大、中、小三個不鏽鋼紗窗安裝在風洞裝置裡，並連接上靜電產生器，打開電源，開啟吹風機 吹裝有粉筆灰的濾網，記錄空氣品質偵測器上的數值。
5. 以兩台靜電產生器連接紗窗，並探討串聯與並聯 2 台靜電產生器的方式，空氣品質偵測器數值的變化。

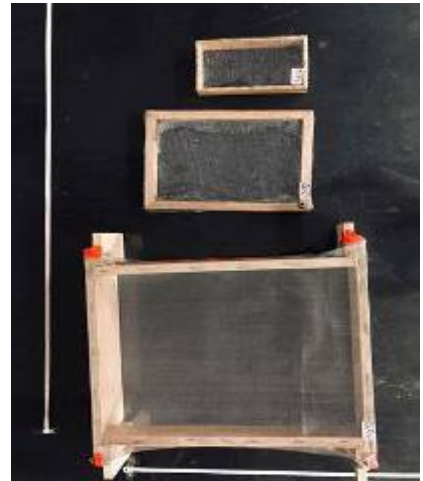


圖 4-3-38 大、中、小三種不同面積大小的不鏽鋼網紗窗

實驗 3-2-3、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討

透過之前實驗得知靜電紗窗對粉筆灰具有吸附、改善空氣品質的成效，若是針對更細的懸浮微粒（以線香的煙為例），是否具有阻擋功效？

實驗 3-2-3-1、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討(以風洞裝置進行)

實驗步驟：

1. 先將靜電產生器連接到不鏽鋼紗窗上，並放置在風洞裝置內。
2. 本實驗分別設另兩項條件，分別為吹風機吹送線香煙粒及線香自然燃燒，煙粒自行以熱對流的方式飄出。
3. 點燃線香後，以吹風機吹送線香煙粒，測試煙粒通過靜電紗窗與無靜電紗窗後空氣品質變化，每 10 秒測量一次，並記錄之。

點燃線香後，讓線香煙粒自然飄散，並測試煙粒通過靜電紗窗與無靜電紗窗後空氣品質變化，每 10 秒測量一次，並記錄之。

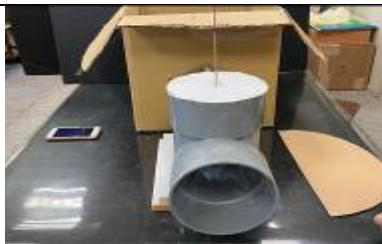


圖 4-3-39 線香風洞實驗裝置

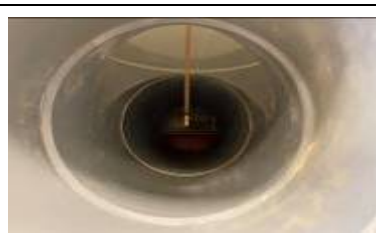


圖 4-3-40 線香在風洞燃燒



圖 4-3-41 吹風機吹線香煙粒

實驗 3-2-3-2、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討(設計線香觀察箱進行)

由於線香在風洞實驗中，發現效果不如預期，於是我們改良了實驗裝置。

實驗步驟：

1. 將兩個透明塑膠箱箱蓋上分別裝上不鏽鋼紗網。
2. 兩個透明塑膠箱中間以透明片包覆，上方插入線香。
3. 將一側的不鏽鋼紗網接上靜電產生器。
4. 點燃線香並開啟靜電產生器，觀察透明箱內空氣品質偵測器上的變化，並比較有無靜電紗窗阻隔線香的效果。

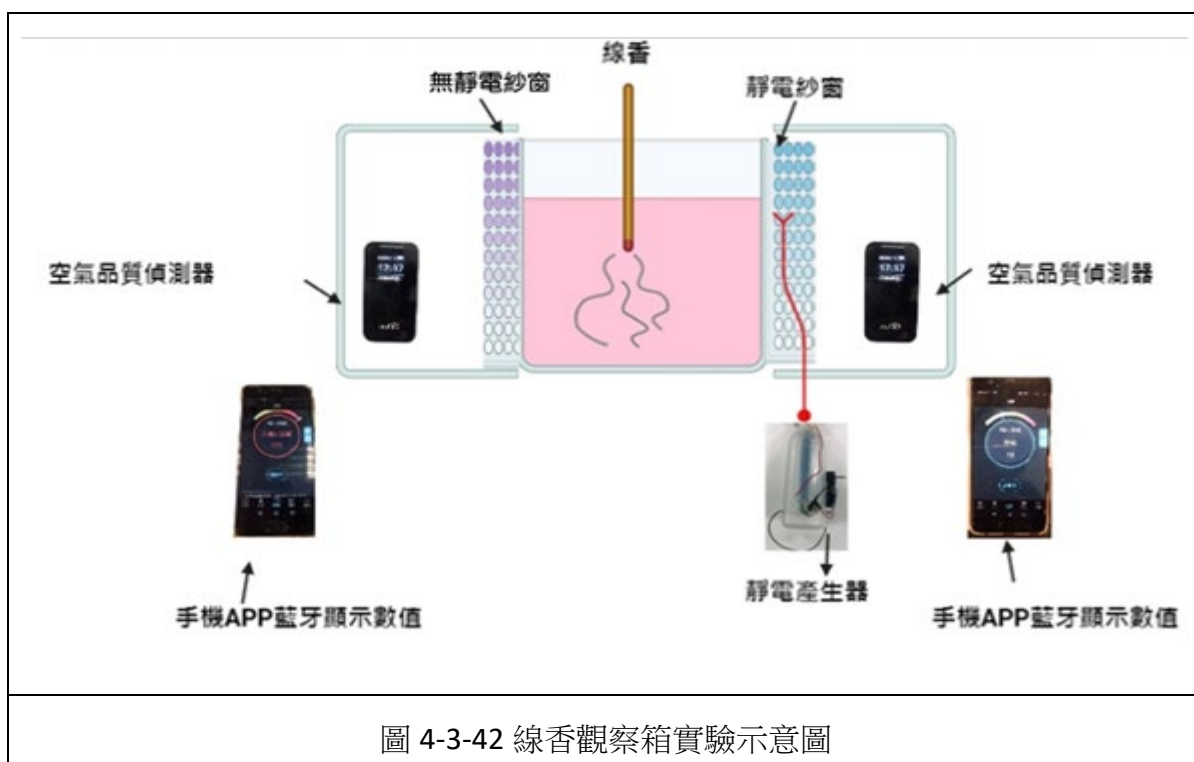


圖 4-3-43 透明箱箱蓋裝上不鏽鋼紗窗



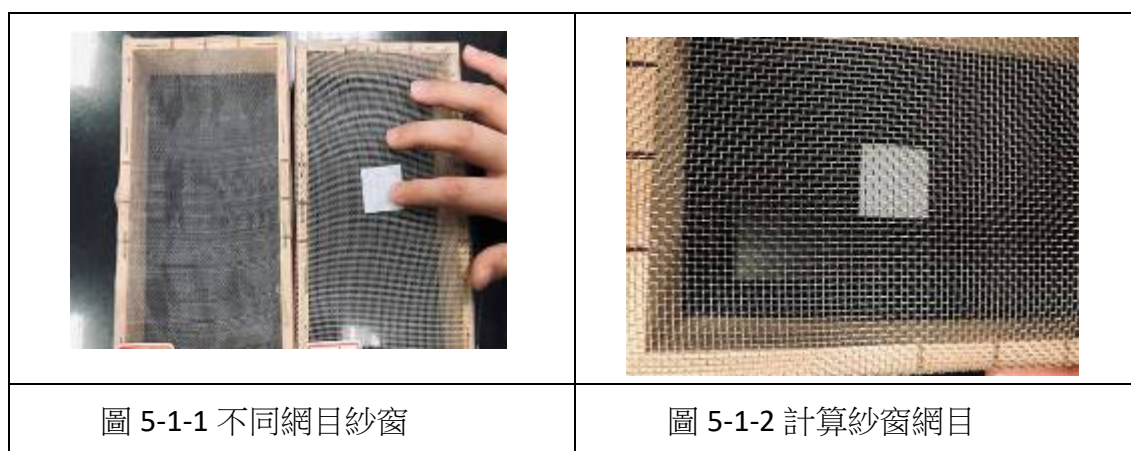
圖 4-3-44 點燃線香



圖 4-3-45 比較有無靜電紗窗阻隔線香的效果

伍、研究結果

實驗 1、探討不同網目大小紗網的紗窗對室內透光性及透氣性的影響。



在實驗之前，我們先對網目的數量進行測量，我們收集的紗窗網目為市售常見的兩種規格，分別是 150 目/英吋與 196 目/英吋。

實驗 1-1、測試紗窗的網目大小對室內「透氣性」的影響

實驗結果：表 1-1 網目大小對室內「透氣性」的影響

風力(度)	對照組	實驗組(白牛筋紗網)	
	無紗網	150 目/英吋	196 目/英吋
弱風	40 ⁰	30 ⁰	25 ⁰
強風	50 ⁰	45	40 ⁰

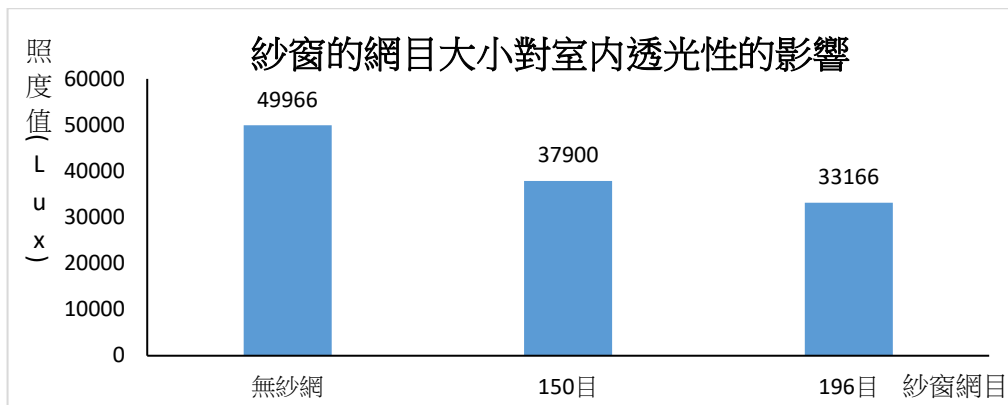
實驗發現：

1. 風速越強，風力計角度越大。
2. 在相同風速下，不同孔目的紗網，孔目數量越大，紗網孔隙較小，風力計角度較小，表示室內的透氣性較差。

實驗 1-2、測試紗窗的網目大小對室內「透光性」的影響

實驗結果：表 1-2 網目大小對室內「透氣性」的影響

照度值(Lux)	對照組	實驗組(白牛筋紗網)	
	無紗網	150 目/英吋	196 目/英吋
第一次	50200	38200	33800
第二次	49800	38000	32700
第三次	49900	37500	33000
平均	49966	37900	33166



實驗發現： 圖 5-1-3 紗窗網目大小與透光性關係圖

1. 將紗網放在木框上，蓋上蓋子，開啟光源，讀取照度值，當照度值越小，表示室內透光度差，反之，當照度值越大，表示室內透光度佳。
2. 在相同光源下，不同孔目的紗網，孔目數量越密，紗網孔隙較小，測量出的照度值較小，表示室內的透光性較差。

我們思考：

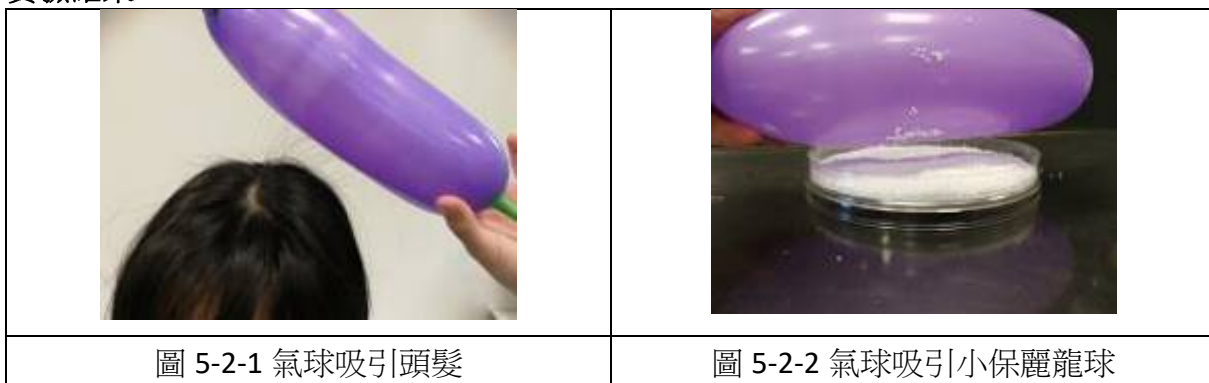
紗窗的孔目數量越密，孔隙越小較能阻隔灰塵進入室內，但孔隙小的紗窗會使得室內環境透光性及透氣性變差，因此我們討論有沒有什麼方法能讓室內環境透光性透氣性佳，又能阻隔灰塵進入室內呢？噢！我們想到靜電！曾經看到靜電能把頭髮吸起，也能排斥某些物品，是不是可以利用靜電把灰塵排斥在外，或是吸附在紗窗上呢？

實驗 2、觀察靜電的生成與特性現象

實驗 2-1 手動摩擦起電研究

兩個物體彼此摩擦，產生靜電現象，稱為摩擦起電。我們實際摩擦各種布料，發現棉布較不易帶靜電，而人造纖維、羊毛則較易帶電，資料顯示，聚乙烯、塑膠易帶負電，毛髮、尼龍聚酯纖維易帶正電，氣球經過摩擦也容易造成靜電吸引現象。

實驗結果：



實驗發現：

1. 將氣球與衣服摩擦後，能吸引頭髮及小保麗龍球。
2. 當摩擦的次數越多，靜電力增強，吸引頭髮及小保麗龍球的數量越多。

實驗 2-1-1、設計並自製靜電摩擦起電裝置

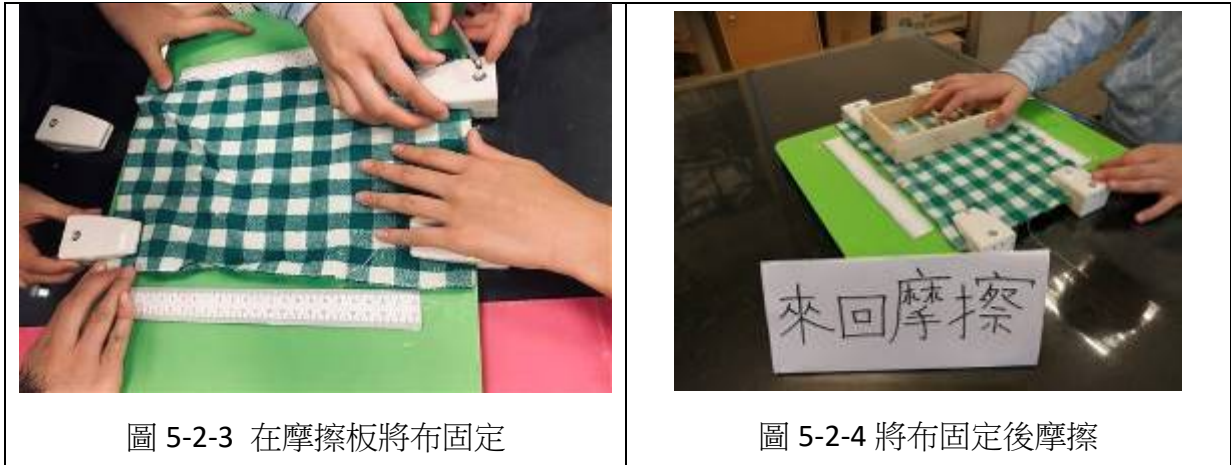


圖 5-2-3 在摩擦板將布固定

圖 5-2-4 將布固定後摩擦

為了能標準化手動摩擦起電減少實驗誤差，我們設計了靜電摩擦起電裝置，經過多次改良設計，成功地研發出手動的靜電摩擦起電裝置。

實驗 2-1-2 進行手動摩擦



圖 5-2-5 特銀紗窗經手動摩擦後吸引效果

圖 5-2-6 不鏽鋼紗窗經手動摩擦後吸引效果

圖 5-2-7 白牛筋紗窗經手動摩擦後吸引效果

實驗結果 (單位：片)

白牛筋紗窗：

材質 磨擦 次數	麂皮	棉 35%	棉 70%	棉 100%	聚酯 (白)	尼龍	羊毛 布	人造 羊毛	聚酯纖維 (綠外套)
0 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 次	1	2	4	0	1	0	4	0	25
20 次	9	6	6	0	3	3	5	4	21
30 次	18	5	15	0	5	12	7	6	23
40 次	22	9	12	0	7	18	18	2	27
50 次	30	4	15	0	13	25	20	21	30

特銀紗窗：

材質 磨擦 次數	麂皮	棉 35%	棉 70%	棉 100%	聚酯 (白)	尼龍	羊毛 布	人造 羊毛	聚酯纖維 (綠外套)
0 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 次	1	0	0	0	0	2	0	0	10
20 次	2	0	0	0	0	2	0	3	16
30 次	2	0	0	0	0	4	1	3	18
40 次	2	0	0	2	0	4	3	5	18
50 次	2	0	0	3	0	5	6	7	24

不鏽鋼紗窗：

材質 磨擦 次數	麂皮	棉 35%	棉 70%	棉 100%	聚酯 (白)	尼龍	羊毛 布	人造 羊毛	聚酯纖維 (綠外套)
0 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0

實驗發現：

1. 以手動摩擦方式，摩擦白牛筋紗窗較易產生靜電，不鏽鋼紗窗不易產生靜電。
2. 經摩擦白牛筋紗窗實驗發現，聚酯纖維布呈現最明顯的靜電吸引現象，其次為羊毛布、人造羊毛、尼龍，麂皮布初期較不明顯，但隨著摩擦次數增加，也出現 30 片圓紙片的吸取量。
3. 摩擦次數增加，吸引圓紙片的量也增加。
4. 一般而言，實驗結果顯示，紗窗與人造纖維摩擦後較容易產生靜電吸引現象。

實驗 2-2 研發靜電產生器與效能討論

我們經過實驗，發現紗窗也會有摩擦起電的現象，並因此吸引微小物品，但是我們在實際使用上不可能隨時將紗窗進行摩擦，因此就想製作一個靜電產生器將靜電導入紗窗，看看是否有靜電吸引效果。

實驗 2-2-1 「手動型」靜電產生器



圖 5-2-8 「手動型」靜電產生器成功產生靜電



圖 5-2-9 「手動型」靜電產生器連接紗網

實驗 2-2-2、「自動型」靜電產生器

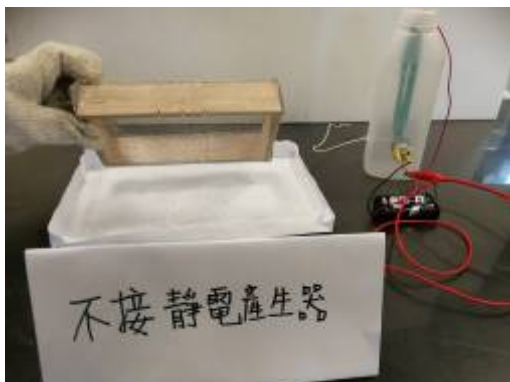


圖 5-2-10 未接靜電產生器的不鏽鋼紗窗無法吸引小保麗龍球



圖 5-2-11 靜電紗窗成功吸引小保麗龍球

實驗結果：

次數 紗窗材質	靜電產生器+ 白牛筋紗網	靜電產生器+ 特銀紗網	靜電產生器+ 不鏽鋼紗網
第 1 次	0	0	50顆以上
第 2 次	0	0	50顆以上
第 3 次	0	0	50顆以上
平均	0	0	50顆以上

實驗發現：

1. 實驗原本讓導入靜電的紗窗去吸引圓紙片，結果發現紙片會微微抖動，因此改成用小保麗龍球來測試。
2. 不鏽鋼紗窗本身是導體，其他兩種是絕緣體，因此利用靜電產生器連接紗網，不鏽鋼紗窗吸引小保麗龍球的效果較佳。

實驗三、靜電產生器導入紗窗後對空氣品質的影響

實驗3-1、預備實驗：空氣品質偵測器的練習使用



圖 5-2-12 空氣品質偵測器與手機連接



圖 5-2-13 至校門口(馬路邊)進行測試



圖 5-2-14 至校園的垃圾場進行測試



圖 5-2-15 至校園的小花園進行測試

實驗結果：

地點	偵測數值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	空氣品質狀態
教室(黑板旁)	68	不健康
小花園	10	良好
垃圾場	24	普通
校門口(馬路邊)	37	對敏感族群不健康

實驗發現：校園教室裡空氣污染的來源通常是粉筆灰，而校門口馬路上車輛排氣口的排放量會造成空氣品質不佳。

實驗3-2、靜電紗窗對空氣品質的影響

依據實驗2-2靜電產生器連接紗窗效能之研究，我們將靜電產生器與不鏽鋼紗窗連接，成功地研發出創意靜電紗窗。

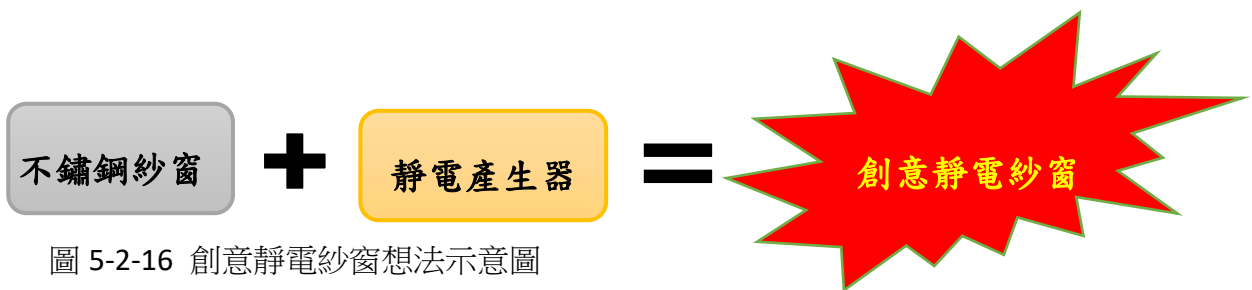
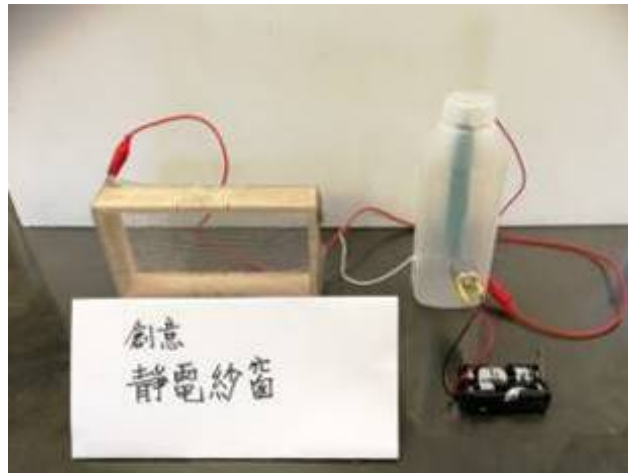


圖 5-2-16 創意靜電紗窗想法示意圖

實驗 3-2-1、利用風洞裝置實驗靜電紗窗對空氣品質的影響

本實驗一開始初步以無靜電不鏽鋼紗窗經不同風速測試，測量空氣品質偵測器1分鐘後的結果數據 (單位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 如下：

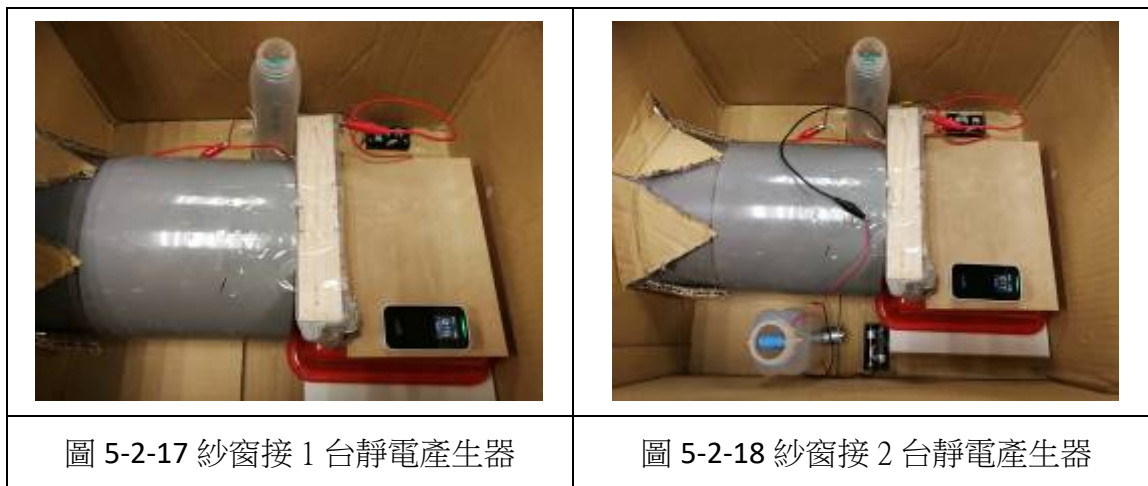
空氣品質偵測器 單位 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	對照組	實驗組	
	無風	弱風	強風
第 1~10 次平均值	11	180	500 以上
第 11~20 次平均值	11	168	500 以上
第 21~30 次平均值	10	172	500 以上
總平均值	10.7	173.3	500 以上

實驗發現：

利用不同風速測試一般紗窗阻隔灰塵效果，強風在密閉空間中會吹起較多的粉塵，灰塵進入室內的量較多，使得空氣品質不佳。

空氣品質偵測器數值越**小**，表示灰塵量進入室內較**少**。
空氣品質偵測器數值越**大**，表示灰塵量進入室內較**多**。

實驗 3-2-2、紗網面積大小、靜電產生器連接數量對灰塵進入室內效果的影響



1.小紗窗實驗

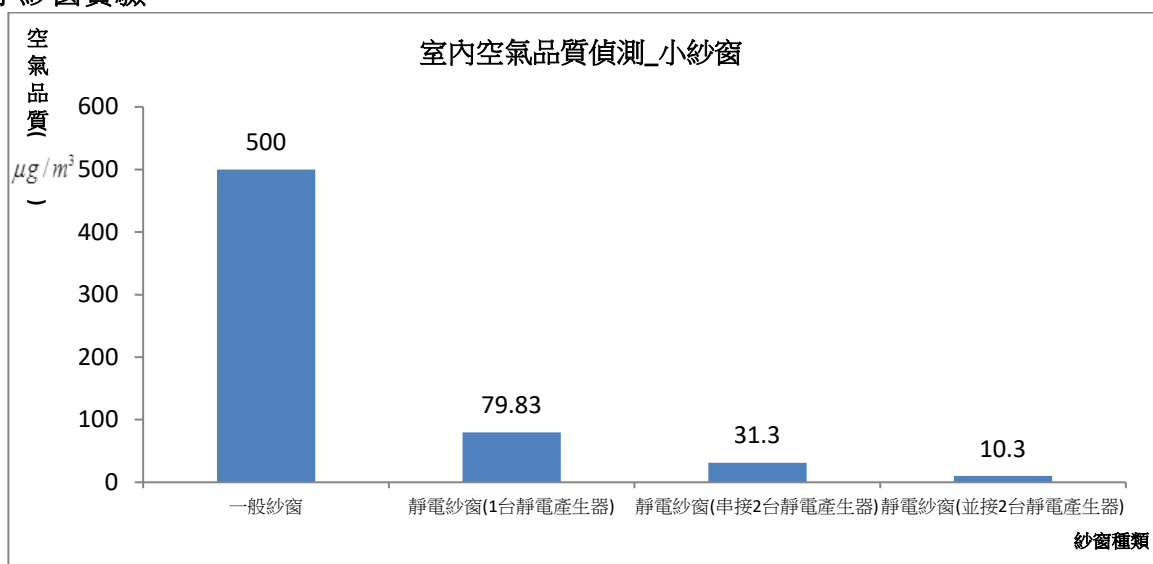


圖 5-2-19 靜電產生器連接小紗窗對空氣品質的影響

2.中紗窗實驗

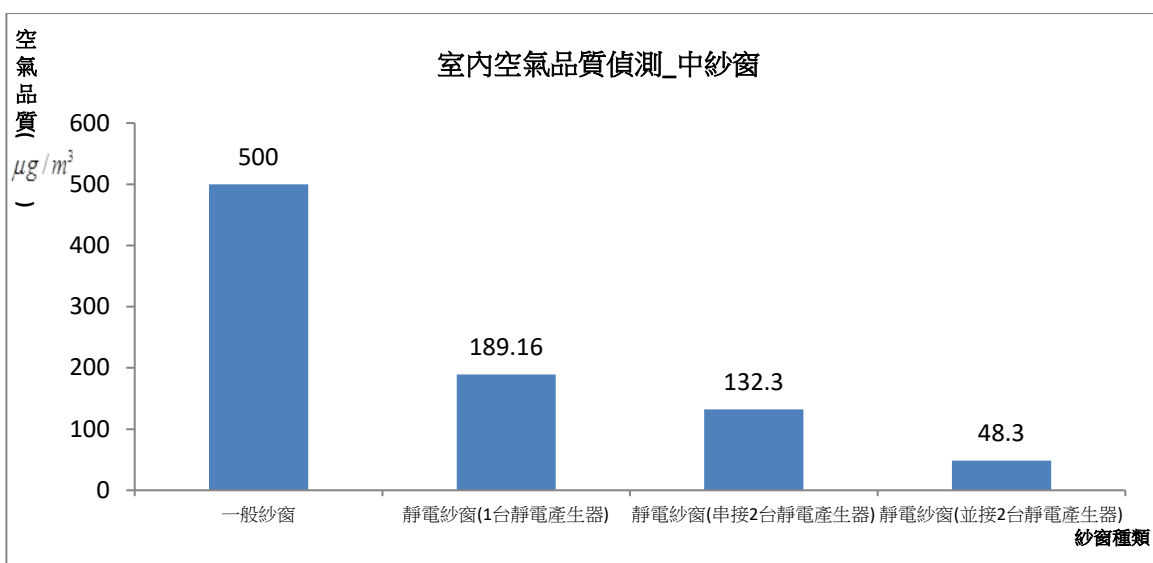


圖 5-2-20 靜電產生器連接中紗窗對空氣品質的影響

3.大紗窗實驗

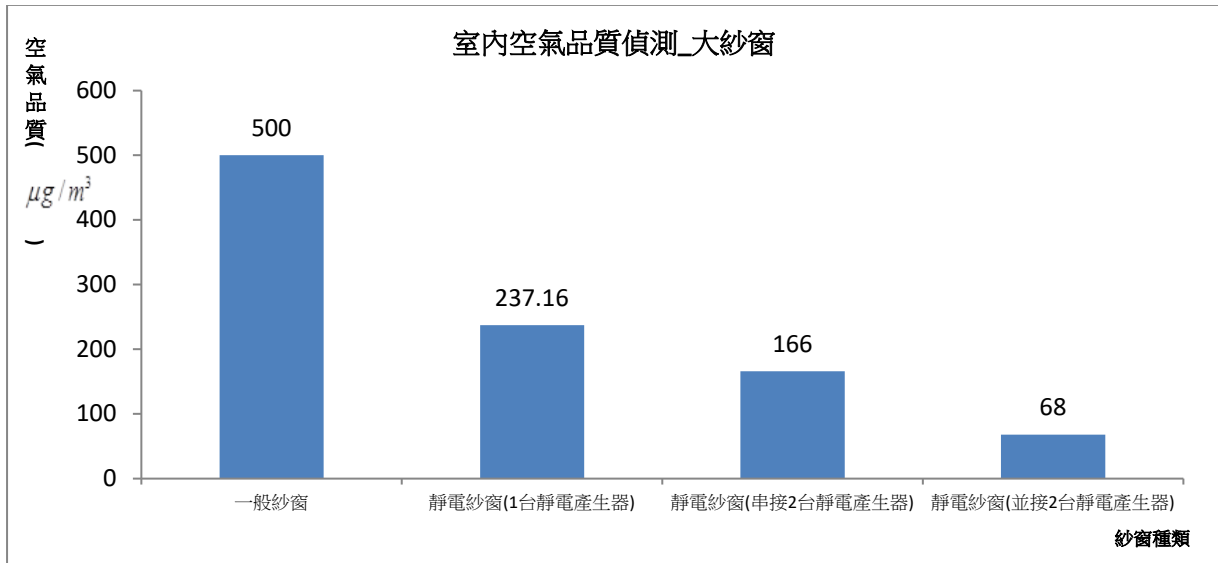


圖 5-2-21 靜電產生器連接大紗窗對空氣品質的影響

4.實驗數值分析

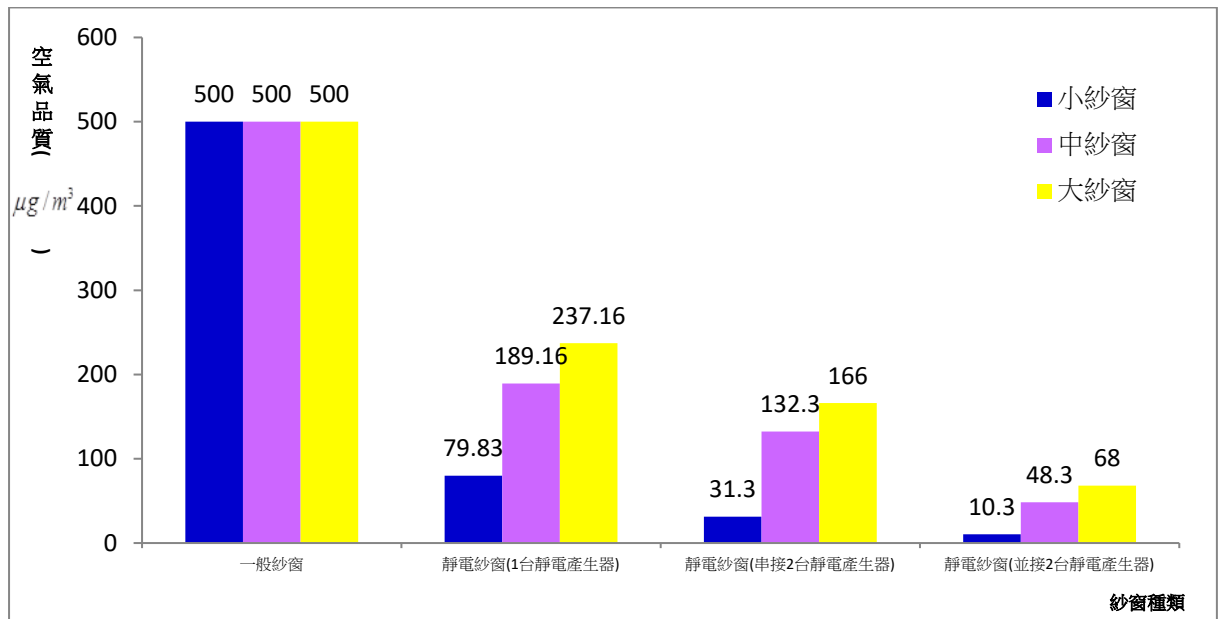


圖 5-2-22 靜電產生器連接三種紗窗綜合比較

實驗發現：

1. 在同樣條件下，一般無靜電紗窗在大量粉塵產生且有風吹拂之下幾乎沒有阻擋灰塵進入室內的的能力，而導入靜電後的紗窗，能有效阻隔灰塵進入室內的的能力，其中連接兩台靜電產生器的紗窗，優於只連接一台靜電產生器的紗窗。
2. 以串聯或並聯靜電產生器連接不鏽鋼紗窗，我們發現以並聯靜電產生器連接不鏽鋼紗窗阻擋灰塵進入室內的的效果優於串聯靜電產生器連接不鏽鋼紗窗。
3. 以紗窗的面積來說，面積較小的靜電紗窗阻擋灰塵進入室內的的效果優於面積較大的靜電紗窗。

實驗 3-2-3、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討

實驗 3-2-3-1、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討(以風洞裝置進行)

實驗結果		時間(秒)						
		0	10	20	30	40	50	60
空氣品質 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	靜電紗窗	14	20	42	260	365	480	500
	無靜電紗窗	14	188	235	500	500	500	500

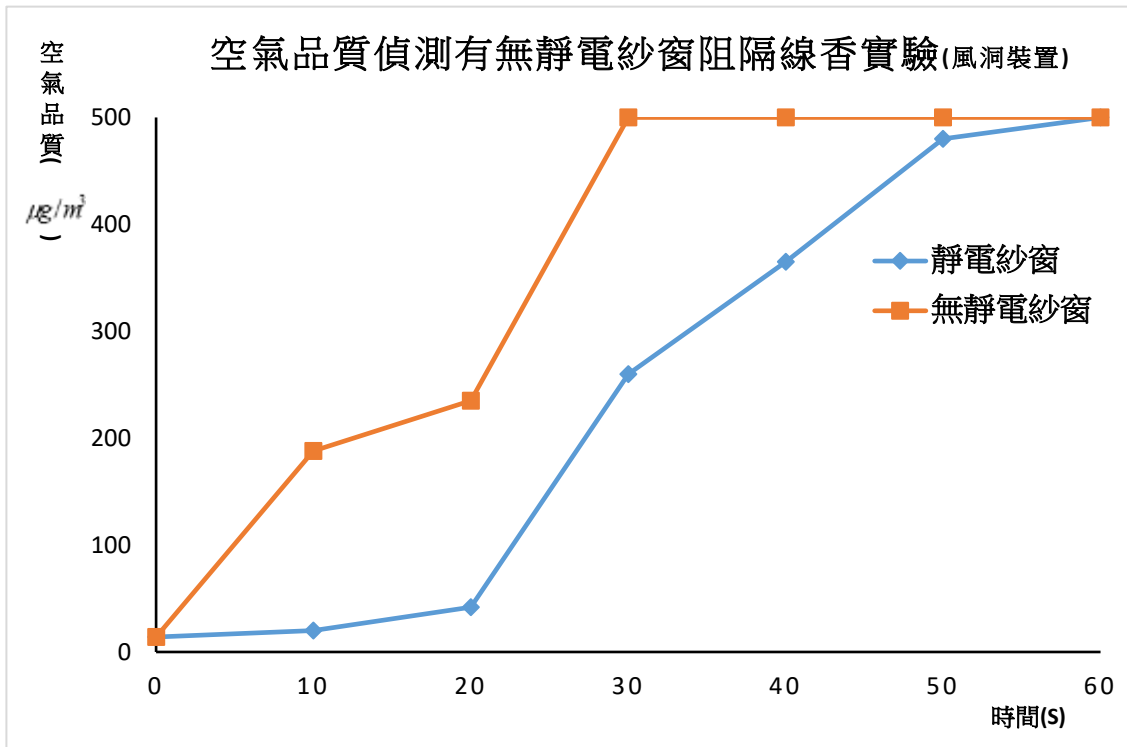


圖 5-3-1 靜電紗窗對線香煙粒在風洞中的阻隔效果

實驗發現：

1. 以吹風機吹送：無論紗窗有無連接靜電產生器，空氣品質數據都即刻「破表」，顯示吹風機吹送之下，風洞中的空氣品質隨即變差。
2. 不開啟吹風機，在線香自然燃燒，不受干擾讓煙粒自行飄向紗窗，經測試後發現靜電紗窗有阻擋煙粒污染空氣的效果，但一樣在將近 1 分鐘時空氣品質差至 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

實驗 3-2-3-2、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討(以線香觀察箱進行)

實驗結果		時間(秒)						
		0	10	20	30	40	50	60
空氣品質 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	靜電紗窗	14	22	31	37	39	41	41
	無靜電紗窗	14	193	217	222	171	167	177

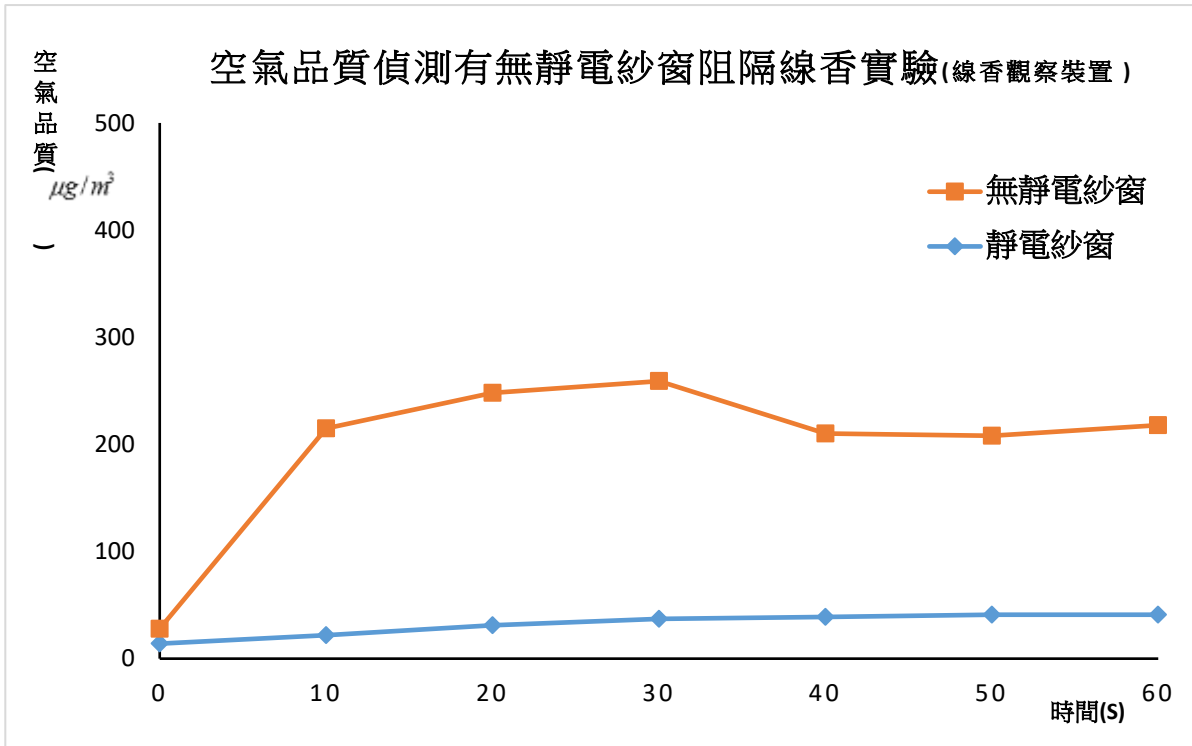


圖 5-3-2 靜電紗窗對線香煙粒在通風環境中的阻隔效果

實驗發現：利用線香觀察裝置，觀察線香在通風環境下燃燒，發現靜電紗窗一分鐘內空氣品質都優於無靜電紗窗，且空氣品質數值最高為 $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而無靜電紗窗在 10 秒後空氣品質會急速惡化，空氣品質數值最高竟達 $222\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，實驗顯示靜電紗窗可以阻擋並延緩線香煙粒所造成的空氣汙染。

陸、討論

- 一、實驗用的紗窗網目選用兩種 196 目和 150 目的尺寸，材質選用白牛津紗網、特銀紗網、不鏽鋼紗網，因為這些都是目前市面上販售最常見的類別，網目的疏密對透光度、通風程度會有影響。
- 二、雖然空氣品質偵測器是測量 PM 2.5 的機種，但是，相較於 PM 2.5 的細小，粉筆灰顆粒是比較大的顆粒，而且，我們也實際將偵測器到校園不同地點進行實測，如：校門口馬路、操場、垃圾場、教室，每次都進行重複校正後，具有良好且正確的數字呈現。
- 三、我們 DIY 設計風洞裝置，主要是要控制實驗環境，避免環境中，風的擾動造成實驗誤差，以濾網懸掛粉筆灰和用膠帶固定吹風機，主要是減少人為手部晃動的誤差。
- 四、實驗中觀察到空氣中的微粒會不規則的運動，以不同速度、不同方向在空氣中移動，老師說這種運動方式稱為布朗運動，我們觀察到粉筆灰微粒的運動如左下圖，空氣中的粉筆灰遇到紗窗及靜電作用如右下圖(改編自 Aerosol Technology, William, 1999)。

阻隔粉筆微粒 靜電紗窗如何做到？

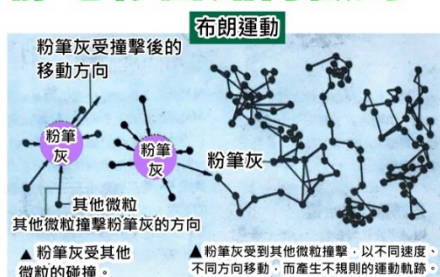


圖 6-1 微粒的隨機移動

紗窗過濾微粒的物理作用

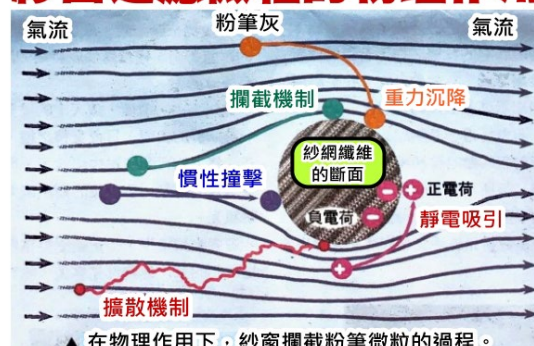


圖 6-2 紗窗過濾微粒的原理

- 五、我們曾想過探討馬達轉速能不能影響靜電產生器的輸出電壓，於是用電池串聯數來控制轉速快慢，並以轉速計測量轉速，測量電壓結果如下表所示：電池串聯數確實能夠影響轉速，也能夠提高靜電產生器的輸出電壓。

連接電池數量	轉速(RPM)	測得電壓(V)
1	3657	0.42
2	6232	2.77
3	9018	4.28

六、實驗中我們將 2 台靜電產生器分別以串聯及並聯的方式接上不鏽鋼紗窗，會發現串聯產生的效果不如並聯，這一點和我們認知的電池串並聯相反，經查資料與老師討論發現，靜電產生器如果用「電容」的角度說明，則可以有合理的解釋，詢問老師後了解電容是一種儲存能量元件，具有整流作用也有釋放電能的功能，既然電容是可以儲存電荷的物質，有充放電現象，是否也能來觀察靜電產生器產生的電荷變化？我們透過查詢資料並與老師和家長討論，設計出將電容器接上靜電產生器，並利用麵包板製作放電的電路裝置，實驗結果如下：



圖 6-3 靜電產生器的電荷存入到電容內。



圖 6-4 電容放電驅動電晶體使 LED 迴路導通而發光，直到電容放電到沒電，LED 迴路關閉之後 LED 即不發光了。

此實驗可以證明靜電產生器有產生靜電電荷到紗窗，進而產生靜電效果對微量粒子產生靜電吸附或排斥的現象，電容器連接靜電產生器也可觀察電荷的儲存與釋放的功能，可納入未來研究參考。

七、製作靜電產生器時，我們發現膠帶材質會影響靜電力的產生，若上下兩個滾軸用相同的材質(電工膠布)，產生的電壓差會比較小，若上下兩個滾軸用不同的材質(上方用布膠帶，下方用電工膠布)，電壓差會瞬間變大。

八、現代家庭有飼養「毛小孩」的風潮，因此，動物毛經常成為常見過敏源，我們也收集寵物毛，實測自製靜電產生器對動物毛吸引力，結果發現靜電產生器通電後，也能吸引寵物毛絮。



圖 6-5 靜電產生器吸取寵物毛

九、線香實驗在風洞裝置進行時，空氣品質偵測器數值出現「破表」的現象，經過大家反覆觀察，發現線香在密閉空間燃燒時，煙粒無法散發，容易在短時間之內充滿整個空間，尤其在風力吹送之下，大量煙粒迅速網紗窗集中，造成更快產生破表。因此採用較符合實際情況的方式修正實驗，亦即保留通風空隙的方式進行。

柒、結論

- 一. 不同網目大小紗網的紗窗會影響室內透光性及透氣性，紗網網目越大孔隙越小，室內環境透光性及透氣性越差。
- 二. 靜電指的是電荷集中在物體上的現象，當物體負電荷多時就帶負電，反之少了則帶正電，帶電物體具有吸引或排斥輕小物體的性質。
- 三. 利用手動方式摩擦不同材質紗窗產生靜電，以白牛筋網紗窗效果最佳，而不鏽鋼網紗窗效果最差。
- 四. 成功自製出「手動型」及「自動型」靜電產生器並成功導入不鏽鋼紗窗，我們研發的靜電紗窗有效阻隔空氣中的微粒透過紗窗進入室內。
- 五. 利用自動型靜電產生器與不鏽鋼紗窗連接為帶有靜電的紗窗，靜電紗窗能有效阻隔灰塵進入室內，實驗中原本空氣品質測量值高達 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，紗窗經過並聯 2 台靜電產生器後，空氣品質數值降至 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，有效阻隔室外灰塵進入室內，提升室內空氣品質。
- 六. 我們成功地研發出創意靜電紗窗，比起市面上的靜電紗窗價格昂貴，我們的成本不到 100 元，且**具有環保、節能、省錢、守護大眾健康**的功能。



這個由荷蘭進口的防霾紗窗，表面塗有一層具有專利的永久性奈米靜電塗層，但價格大約 **45000元**，不便宜！因此我們想自己研發靜電紗窗。

自製靜電紗窗
廢物利用，成本不到100元

環保又節能
不需要上萬元的空氣清淨機，更不需要更換昂貴的空氣濾網，而且每天可以省下12小時以上的用電。

環保又省錢
秋冬空氣品質差，家庭主婦不需要忙於刷紗窗、減少清潔器具和清潔用品，也減少空氣清淨機的電費。

保護體弱族群
成功地降低室外灰塵量進入室內，讓室內空氣品質變好，讓室內空氣清新。對於長期在室內的老人和小孩來說，室內空氣品質更為重要。

守護大眾健康
空氣汙染惡化非常嚴重，尤其是都會區的高雄、台中和台北的居民，尤其是校園和社區中，過敏和哮喘人數日益增加，迫切急需改善，減少污染進入室內是刻不容緩的任務，期待將此結果推廣至校園和社區中。

圖 7-1 具有環保、節能、省錢、守護大眾健康的創意靜電紗窗

捌、參考文獻資料

- 一. 行政院環境保護署(2021)。空氣品質監測。行政院環境保護署，**空氣品質監測網**。取自 <https://airtw.epa.gov.tw/>
- 二. 曾瑞蓮(2016)。靜電產生器設計製作與推廣。**物理教育學刊**，17(2)，75-86。
- 三. 國立科學教育館(2020)。靜觀奇電，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會，國小組自然科。**台灣網路科教館**。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=1751>
- 四. 國立科學教育館(2020)。「靜」殿「神」來，與「灰」臣「說」拜拜!，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會，國小組自然科。**台灣網路科教館**。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=13325>
- 五. 嘉原紗窗玻璃行(無日期)。紗窗種類材質。**嘉原紗窗玻璃行網**。取自 https://www.fixwindow.com.tw/shade-type-material.html?gclid=Cj0KCQjws536BRDTARIsANeUZ5_hFFFOEbcWWG48d_Zmk_O_COYqZTm2G_Ytnu4wr_hoQ42GRYVrXGAaArq2EALw_wcB
- 六. 維基百科(2021)。靜電原理。**維基百科**，自由的百科全書。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9D%99%E7%94%B5#%E9%9D%99%E7%94%B5%E7%9A%84%E5%BA%94%E7%94%A8>

【評語】 080119

本作品發展出自製自動型靜電產生器及導入紗窗後吸引微小物體，探討靜電紗窗對阻隔微小物體的效果。

本作品成功地研發出創意靜電紗窗，利用靜電達到淨化空氣的目的，而且不需非常複雜的儀器，方法具體，理論淺顯，是一件非常有創意的佳作。

實驗觀察到 2 台靜電產生器串聯產生的淨化空氣效果不如並聯，這個發現非常有趣，雖然用電容的角度解釋，但若能有定量的分析更具說服力。

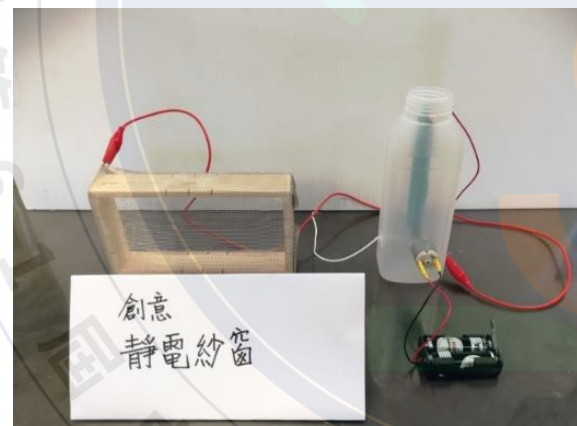
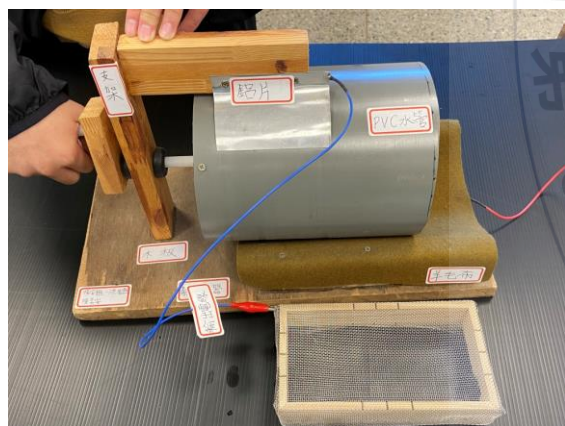
另外，靜電紗窗對線香的煙霧污染僅有延遲效用，若能進一步研究說明則更佳。

作品簡報

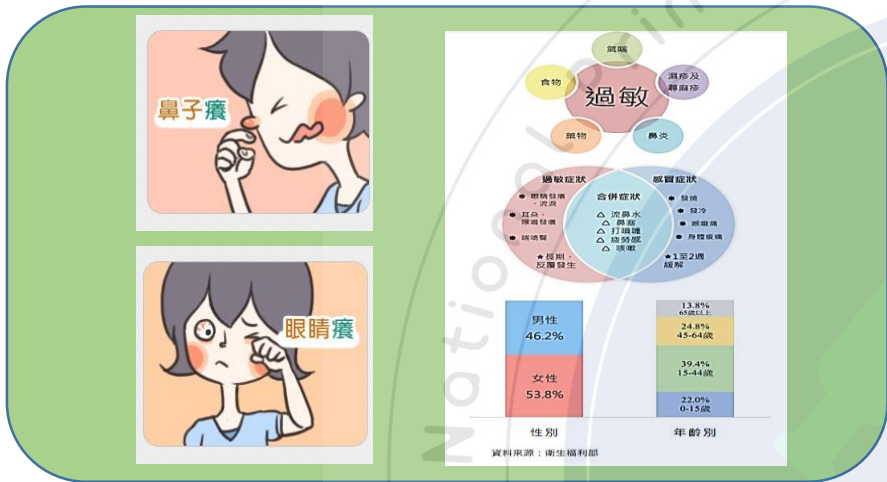
科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：帶「靜」紗窗，防塵來「勁」—靜電紗窗防塵效果研究



動機： 我們幾位同學剛好都是過敏體質，衛生福利部統計處資料顯示106年因過敏性疾病就醫約341萬人。



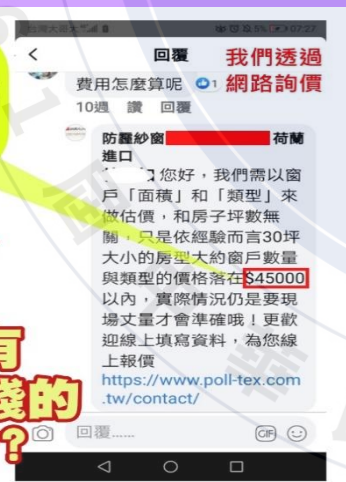
資料查詢：

市面靜電紗窗價格昂貴！

這個由荷蘭進口的防霾紗窗，表面塗有一層具有專利的永久性奈米靜電塗層，但價格大約45000元，不便宜！因此我們想自己研發靜電紗窗。



有沒有更省錢的方案??



研究架構

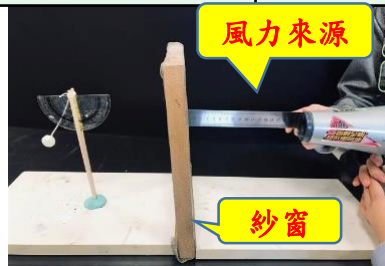


研究目的：

- 一 探討不同網目紗網的紗窗對室內透光性及透氣性的影響。
- 二 設計、製作手動摩擦起電專用器材及不同類型的靜電產生裝置。
- 三 探討不同紗窗材質(白牛筋、特銀、不鏽鋼)、不同材質布料與互相摩擦次數產生靜電的效果。
- 四 自製靜電產生器的改良設計及導入紗窗後吸引微小物體的效果探討。
- 五 探討靜電紗窗對阻隔微小物體，如：阻隔灰塵、線香煙粒影響空氣品質的效果。

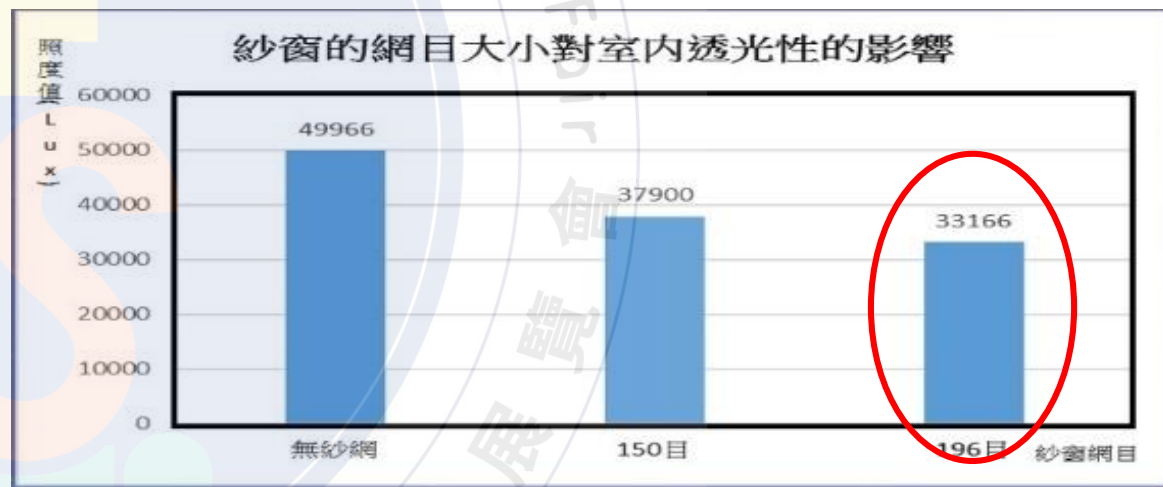
實驗1：探討不同網目大小紗網的紗窗對室內透氣性、透光性的影響

風力(度)	對照組	實驗組(白牛筋紗網)	
	無紗網	150目/英吋	196目/英吋
弱風	40度	30度	25度
強風	50度	45度	40度



操作示意圖

網目越大，紗網孔隙小，
風力計角度較小，
表示室內的透氣性較差！

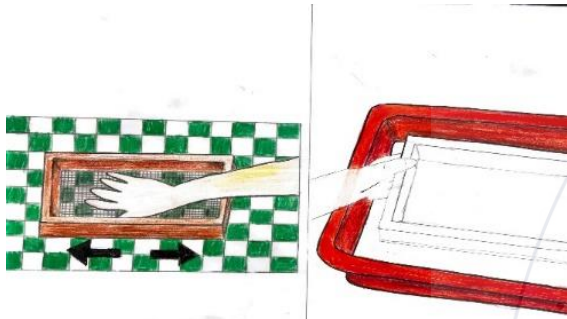


操作示意圖

網目越大，紗網孔隙小，
照度值小，
室內的透光性較差！

實驗2：設計並自製靜電摩擦起電裝置。

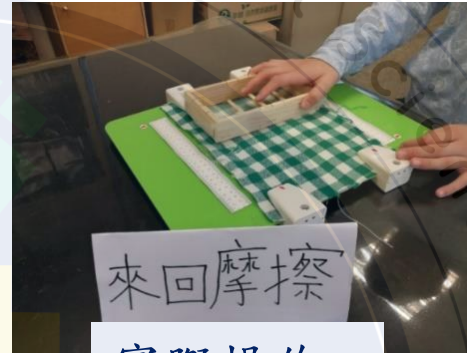
我們設計了靜電摩擦起電裝置，將手動摩擦起電方式標準化，減少實驗誤差。



操作示意圖



安裝固定

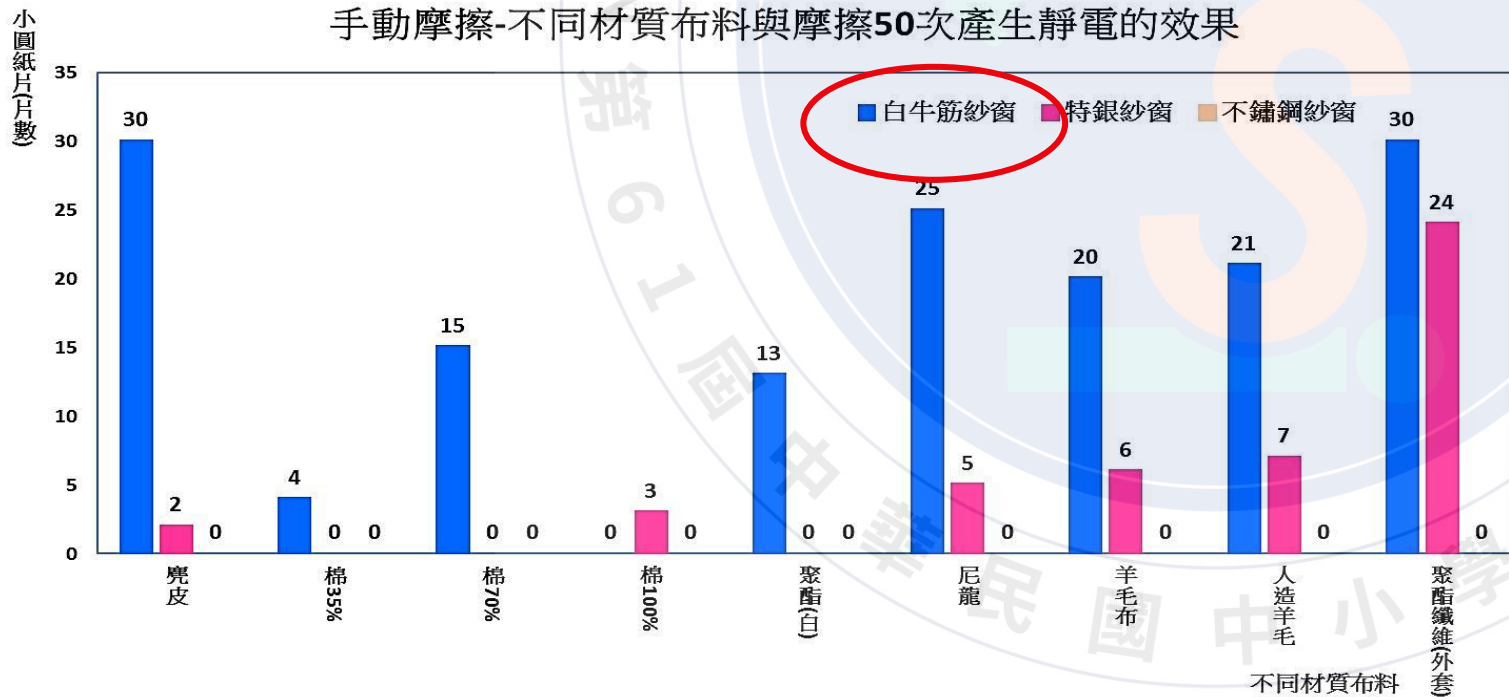


實際操作



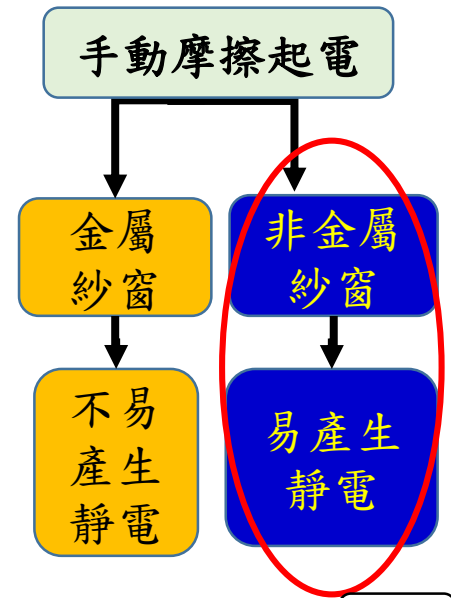
實際操作

手動摩擦-不同材質布料與摩擦50次產生靜電的效果

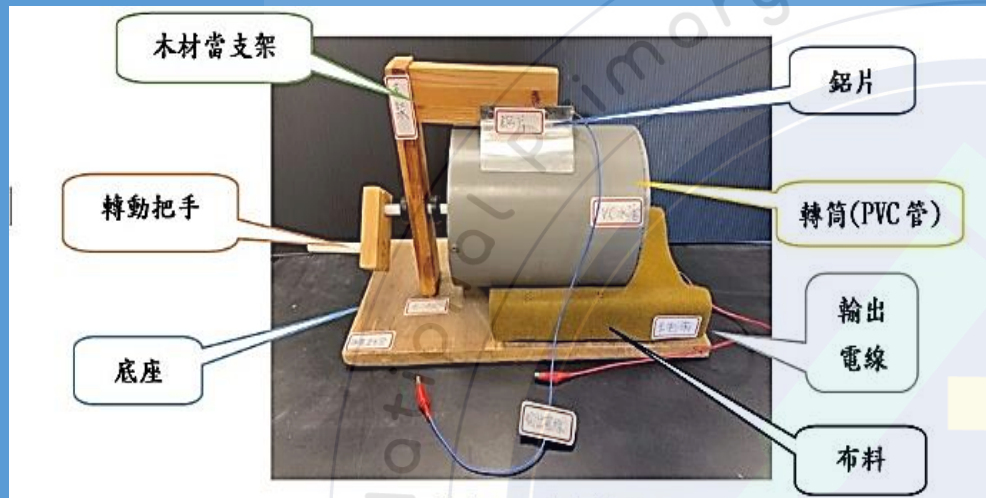


結果：

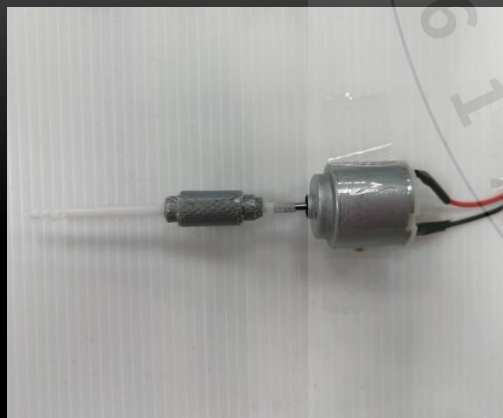
- 白牛筋較易產生靜電。
- 不鏽鋼不易產生靜電。
- 摩擦次數增加，吸起小圓紙片的數量也會增加。



實驗2-2研發「手動型」及「自動型」靜電產生器與效能討論

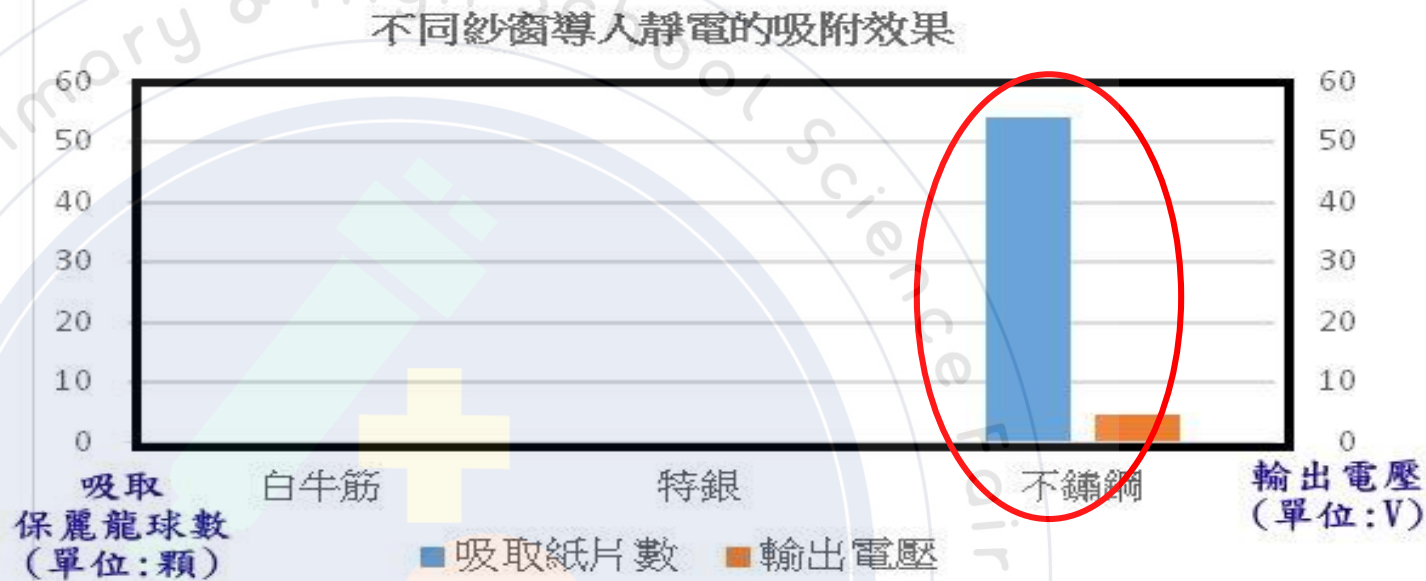
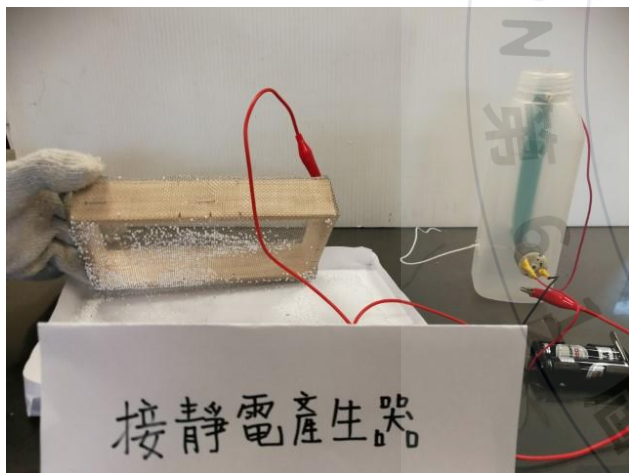
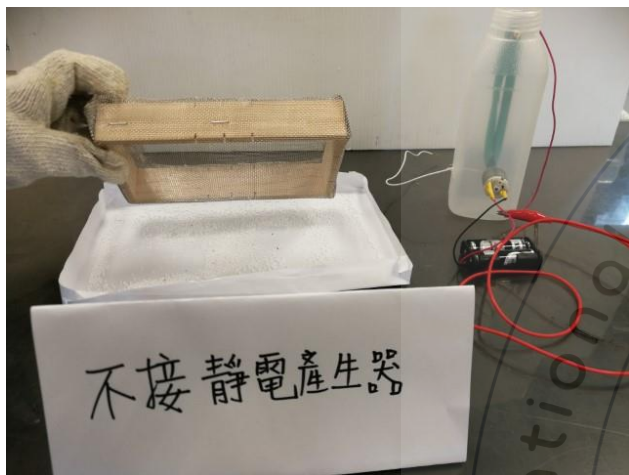


研發「手動型」靜電產生器



研發「自動型」靜電產生器

實驗2-2自動型靜電產生器與紗窗連接效能討論



實驗結果：

靜電產生器連接「不鏽鋼紗窗」能

1. 測出電壓值

2. 可吸取小保麗龍球

表示我們研發的靜電紗窗帶有靜電。

不鏽鋼紗窗

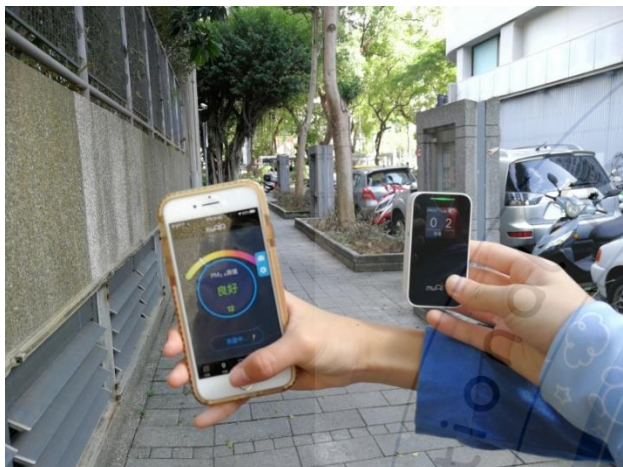
+

靜電產生器

=

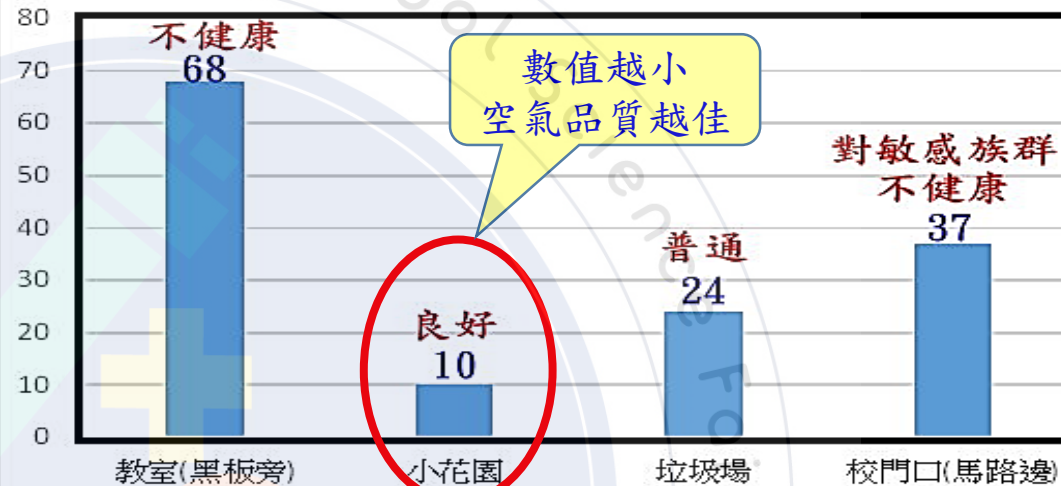
創意靜電紗窗

實驗3-1、利用空氣品質偵測器量化空氣品質

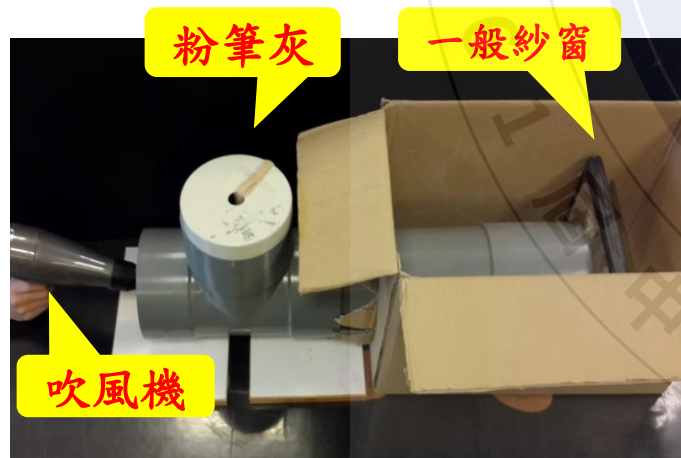


空氣品質偵測器偵測校園空氣

校園空氣品質偵測數值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

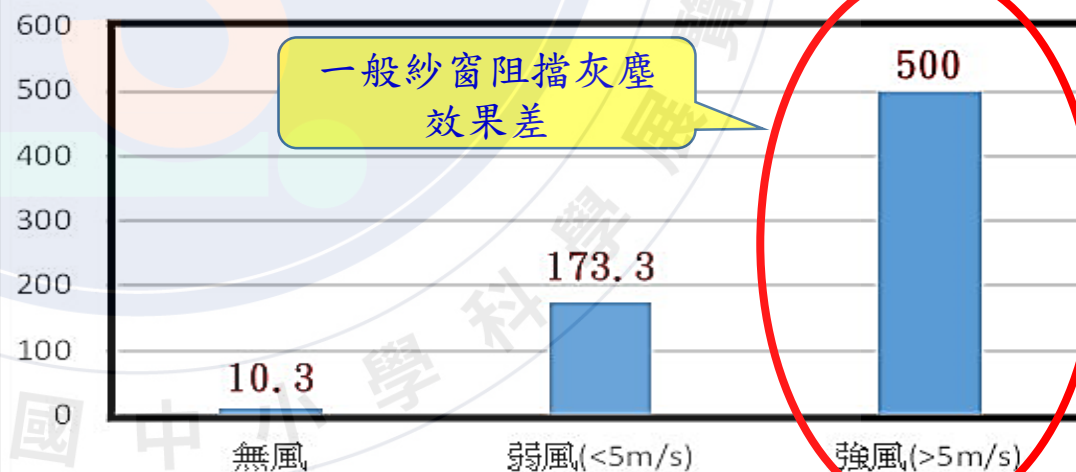


實驗3-2、設計風洞裝置進行實驗



風洞實驗裝置

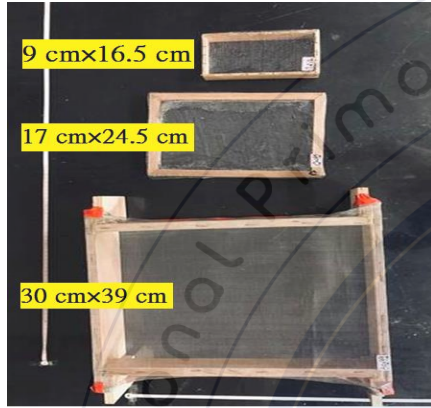
經30次實驗空氣品質總平均值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



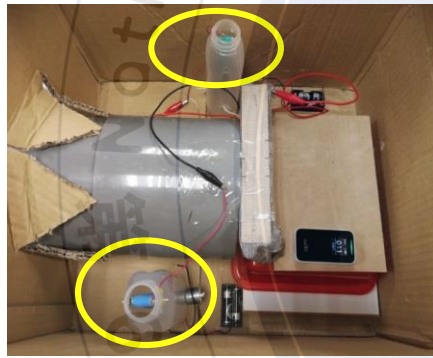
實驗3-2-2、探討紗網大小、靜電產生器連接數量對阻擋灰塵進入室內的結果

製作三種不同大小不鏽鋼紗窗：

- 大紗窗 (30cm×39cm)
- 中紗窗 (17cm×24.5cm)
- 小紗窗 (9cm×16.5cm)



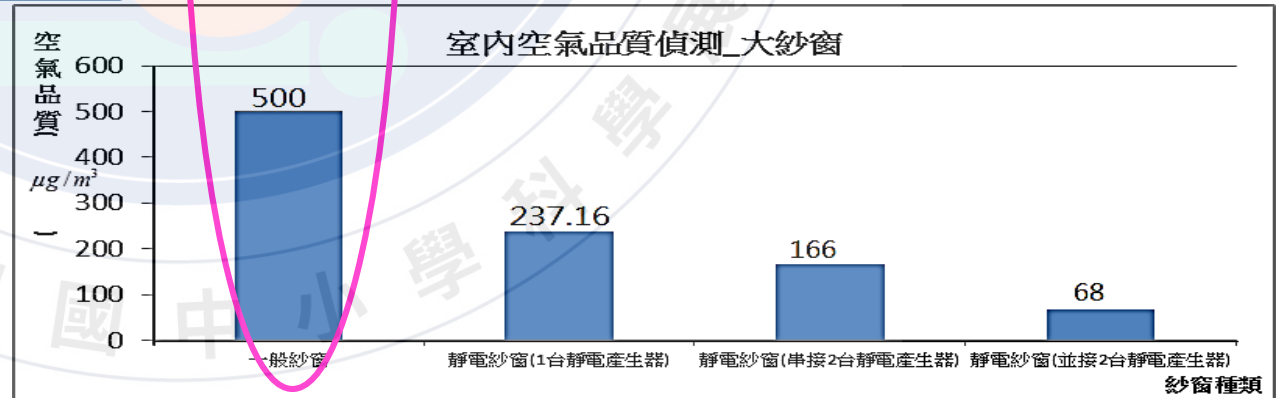
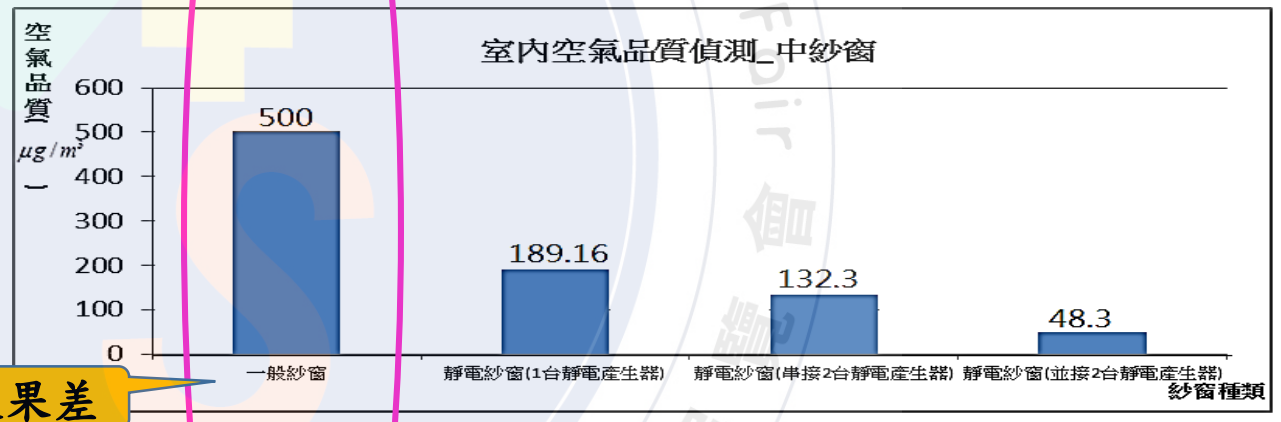
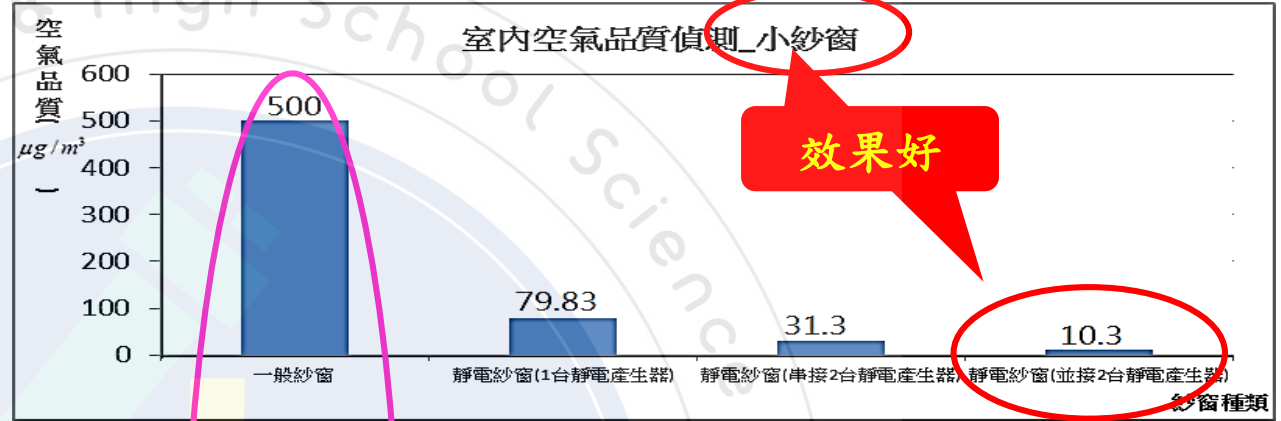
紗窗連接1台靜電產生器



紗窗連接2台靜電產生器

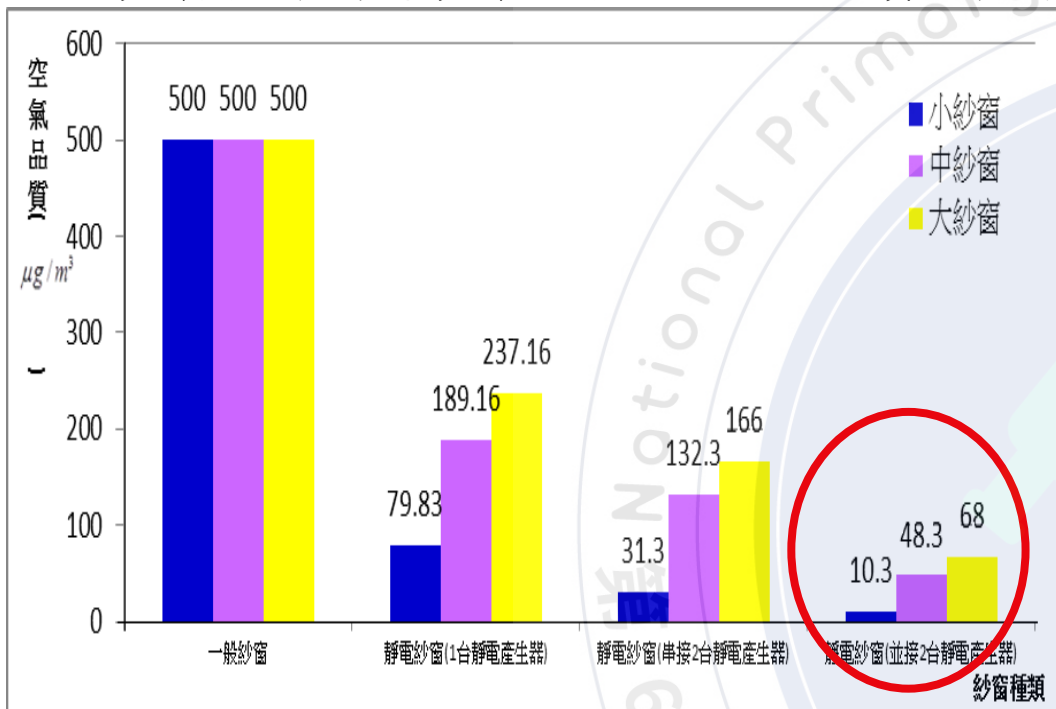
實驗結果阻擋微粒效果好的紗窗為：

1. 具有靜電的紗窗
2. 面積小的靜電紗窗
3. 連接兩台靜電產生器的靜電紗窗
4. 並聯靜電產生器的靜電紗窗

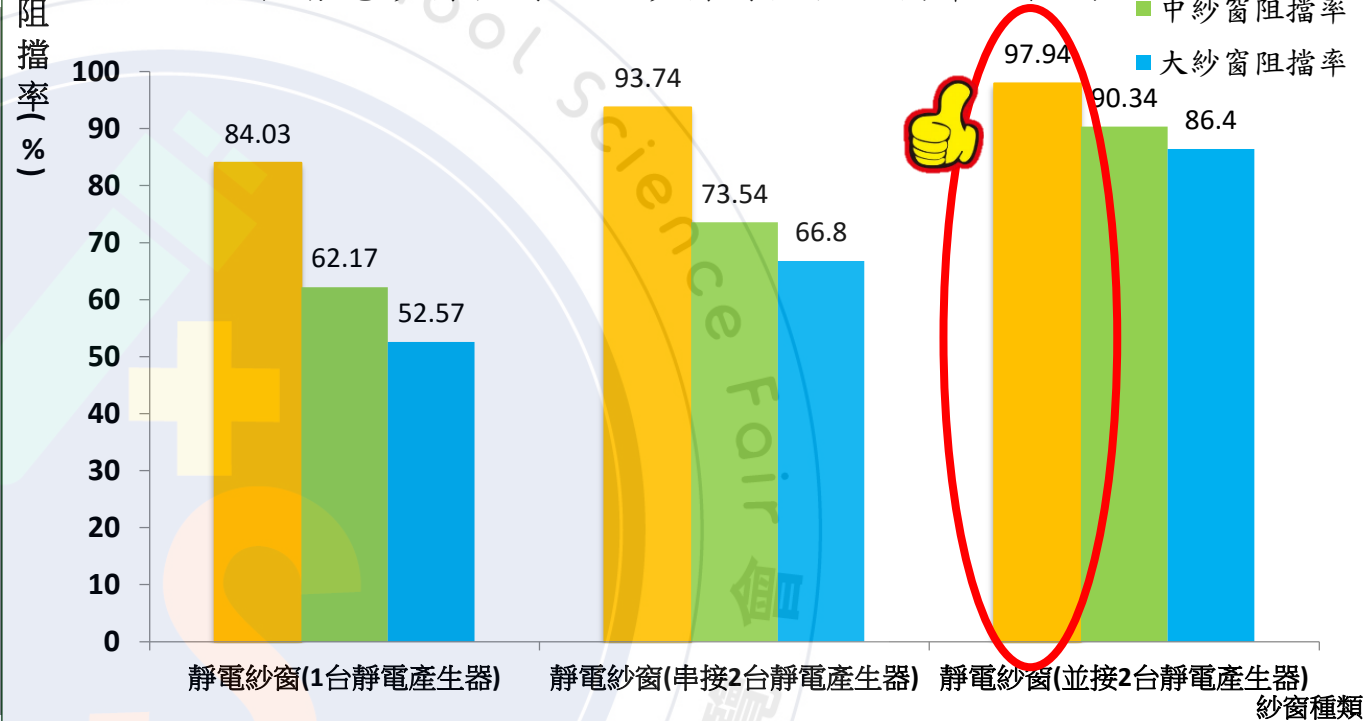


比較各種靜電紗窗阻擋灰塵進入室內的効果

一般紗窗與各種靜電紗窗阻擋微粒之空氣品質比較圖



三種靜電紗窗相對一般紗窗對微粒阻擋率比較圖



靜電紗窗相對一般紗窗對微粒阻擋率：

$$\frac{(\text{空氣品質數值}_{\text{一般紗窗}} - \text{空氣品質數值}_{\text{靜電紗窗}})}{\text{空氣品質數值}_{\text{一般紗窗}}} * 100\%$$

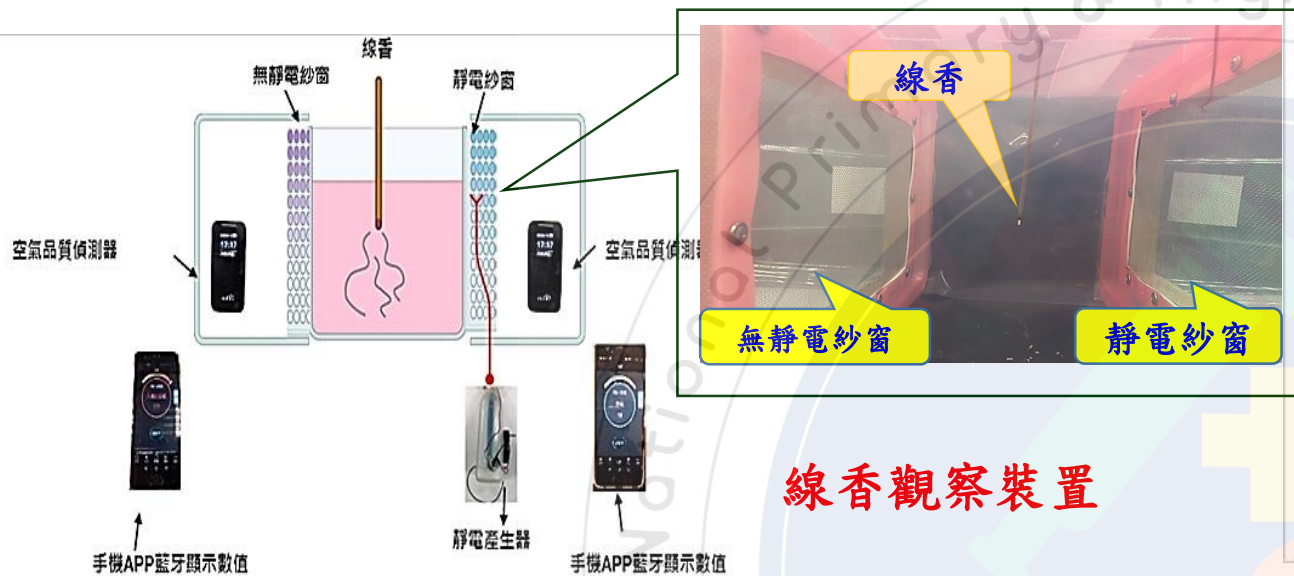
- 1台靜電產生器連接『小紗窗』阻擋率： $\frac{(500-79.83)}{500} * 100\% = 84.03\%$
- 1台靜電產生器連接『中紗窗』阻擋率： $\frac{(500-189.16)}{500} * 100\% = 62.17\%$
- 1台靜電產生器連接『大紗窗』阻擋率： $\frac{(500-237.16)}{500} * 100\% = 52.57\%$

- 串聯2台靜電產生器連接『小紗窗』阻擋率： $\frac{(500-31.3)}{500} * 100\% = 93.74\%$
- 串聯2台靜電產生器連接『中紗窗』阻擋率： $\frac{(500-132.3)}{500} * 100\% = 73.54\%$
- 串聯2台靜電產生器連接『大紗窗』阻擋率： $\frac{(500-166)}{500} * 100\% = 66.8\%$

$$\text{並聯2台靜電產生器連接『小紗窗』阻擋率} : \frac{(500-10.3)}{500} * 100\% = 97.94\%$$

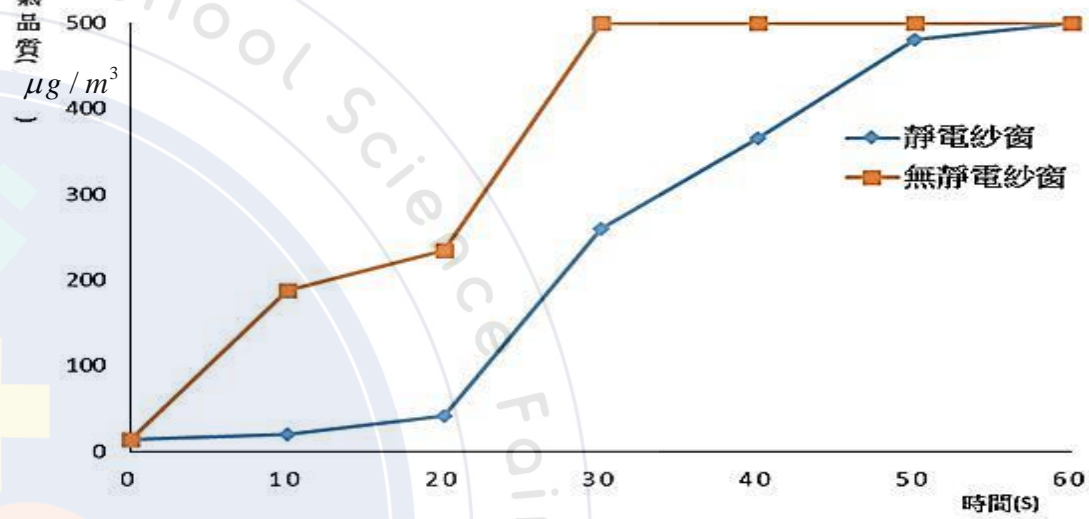
- 並聯2台靜電產生器連接『中紗窗』阻擋率： $\frac{(500-48.3)}{500} * 100\% = 90.34\%$
- 並聯2台靜電產生器連接『大紗窗』阻擋率： $\frac{(500-68)}{500} * 100\% = 86.4\%$

實驗3-2-3、靜電紗窗對線香煙粒防制效果探討

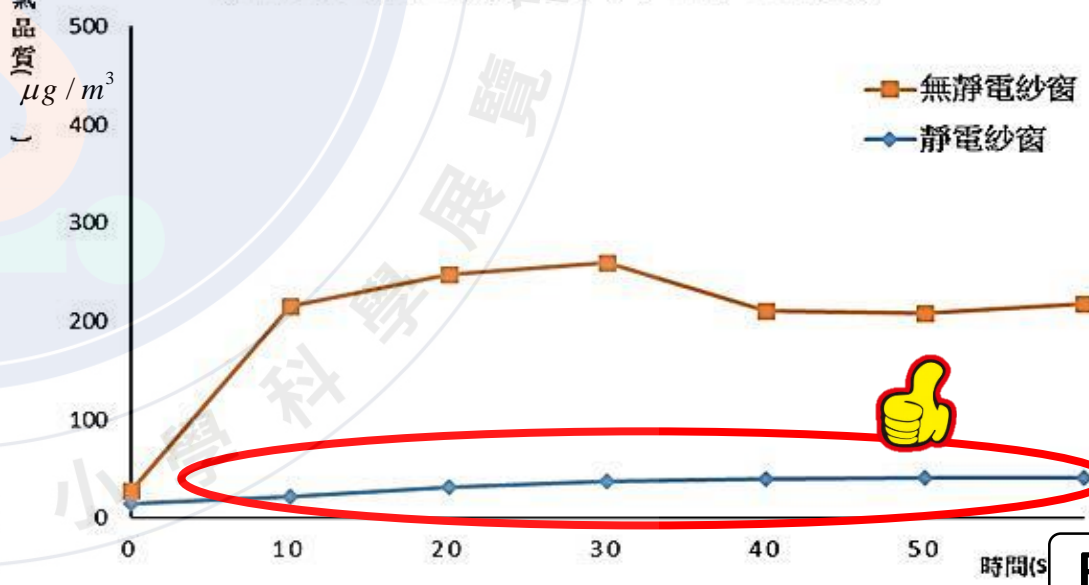


線香觀察裝置

空氣品質偵測有無靜電紗窗阻隔線香實驗(風洞裝置)



空氣品質偵測有無靜電紗窗阻隔線香實驗(線香觀察裝置)



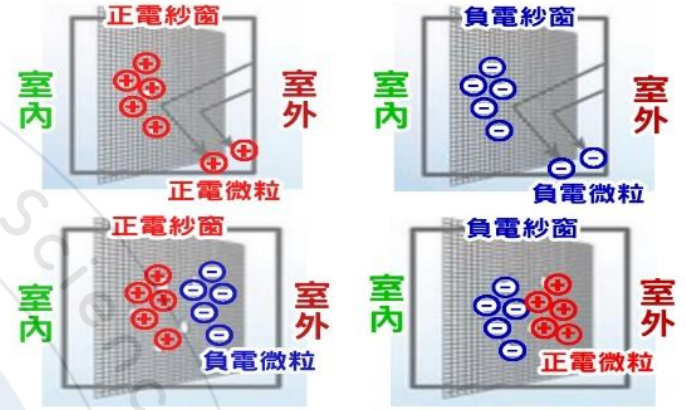
實驗發現：

1. 靜電紗窗防制線香進入室內效果優於無靜電紗窗。
2. 點燃線香1分鐘，無靜電紗窗室內空氣品質數值最高竟達 $222\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比起靜電紗窗 $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高出5倍之多。
3. 靜電紗窗成功阻擋並延緩線香煙粒所造成室內的空氣汙染！

討論：

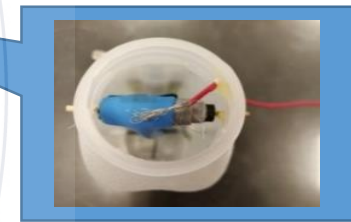
- 實驗中觀察到空氣中的微粒會不規則的運動，以不同速度、不同方向在空氣中移動，這種運動方式稱為布朗運動。而我們的想法原理是靜電紗窗遇到相同性電荷的微粒，就會被排斥；遇到不同性電荷的微粒，就會被吸附。
- 實驗發現自動型靜電產生器，上下兩個滾軸的膠帶材質及馬達的轉速會影響靜電力的產生。
- 以導電漆改質非金屬紗窗，也成功將靜電產生器導入非金屬紗窗。

相斥現象

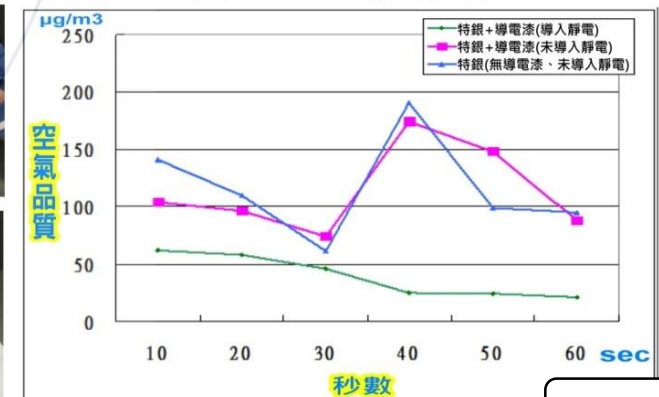
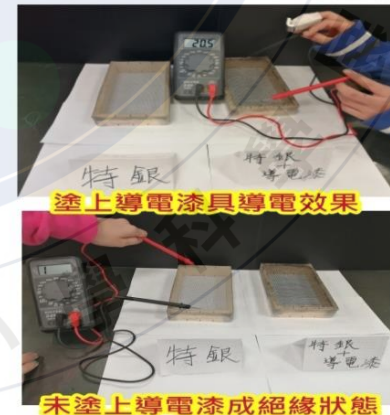


相吸現象

靜電紗窗與微粒的交互作用原理圖



自動型靜電產生器上方滾軸



結論：

- 一. 不同網目大小的紗窗會影響室內透光性及透氣性。
- 二. 利用手動摩擦不同材質紗窗產生靜電，以白牛筋網紗窗效果最佳。
- 三. 自製出「手動型」及「自動型」靜電產生器，並導入不鏽鋼紗窗，靜電紗窗都能有效阻隔微粒進入室內。
- 四. 靜電紗窗能有效阻隔灰塵進入室內，並聯2台靜電產生器連接小紗窗阻擋率最佳，可達97.94%。
- 五. 我們成功地研發出創意靜電紗窗，具有：環保、節能、保護體弱族群、守護大眾健康的功能，且成本不到100元，並計畫進行專利申請。

參考文獻資料：

- 一 國立科學教育館(2020)。靜觀奇電，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會，國小組自然科。台灣網路科教館。取自<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=1751>
- 二 國立科學教育館(2020)。靜”殿”神來，與灰”臣”說拜拜!，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會，國小組自然科。台灣網路科教館。取自<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=13325>
- 三 行政院環境保護署(2021)。空氣品質監測。行政院環境保護署，[空氣品質監測網](http://airtw.epa.gov.tw/)。取自<https://airtw.epa.gov.tw/>
- 四 曾瑞蓮(2016)。靜電產生器設計製作與推廣。物理教育學刊，17(2)，75-86。

