

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

080830

靜"殿"神來，與灰"臣"說拜拜！

學校名稱：新竹市北區舊社國民小學

作者：	指導老師：
小六 林琮曜	曾 楨
小六 許菡真	
小五 賀梓皓	
小五 林子玲	

關鍵詞：靜電、除塵、PM<sub>2.5</sub>

## 摘要

在空氣品質越來越不好的情況下，如何淨化空氣成為我們生活中一項重大課題，靜電集塵為清除氣體中塵埃方法的一種，是利用電荷異性相吸原理，與外加高壓而形成二個極性相反的電場，在庫倫力的作用下，使灰塵粒子荷電後向集塵板移動而附著在集塵板上，而達到淨化空氣目的。讓我們製造一台有效的靜電除塵機，來使我們的空氣更加淨化吧！

## 壹、研究動機

空氣乃生存之必須，但如今連呼吸都可能奪命！

台大最新研究發現，去年全台的慢性病死亡中有高達六千人是空氣中的細懸浮微粒PM<sub>2.5</sub>造成，林口長庚醫院臨床毒物科主任顏宗海說，空氣中有髒東西，鼻毛可以擋住，但粒徑只有頭髮二十八分之一的PM<sub>2.5</sub>，小到足以穿透呼吸系統，並負載重金屬等污染物，不僅對氣喘或慢性肺部疾病患者有危害，還可直接穿透到達肺部底層，沉積在肺泡，久而久之恐導致肺癌，因為停留在肺泡與血液接近，也容易引發心血管方面疾病。此外，日本、韓國的工業汙染、中國大陸的沙塵暴、霾害與東南亞國家生質燃燒汙染隨著冬季的東北季風及夏季的西南季風傳送至我國，使我們的空氣污染更加嚴重且在短時間內迅速惡化。



研究顯示近年來空氣中有許多污染物會對人體造成相當大的危害，主要在於呼吸道、感官黏膜及肺部的傷害。根據國內醫學教授每十年一次之醫學調查顯示，七到十五歲兒童的氣喘盛行率，由二十年前的1.3% 增加到十年前的5.3% ，近年更增加至10.5% ，顯示目前兒童氣喘的發生率成倍增狀況。呼吸是一件在自然不過的事了，如果連呼吸都有問題，那我們該如何是好？於是上網查詢資料後，我們決定自行製作除塵機來去除空氣中有害的微粒，並研究各項因素看看哪個效能較好，而且我們除了要解出這個謎題外，還希望能增加靜電除塵機的功效，打造出一個無煙、無污染的世界，並且對人們的科技以及生活上有很大的貢獻。

## 貳、研究目的

爲了要製作靜電除塵機，我們小組收集了很多資料，以確實製作出靜電除塵機，並研究各項因素與煙霧消除時間的關聯，以下是我們討論後所整理出來的研究目的：

- 一、利用一些生活中的器材自製靜電除塵機。
- 二、探討不同電壓產生的靜電對煙霧的消除時間。
- 三、探討有無風扇對煙霧的消除時間。
- 四、探討離化區粗網、細網對煙霧的消除時間。
- 五、探討對不同濃度同種煙霧的消除時間。

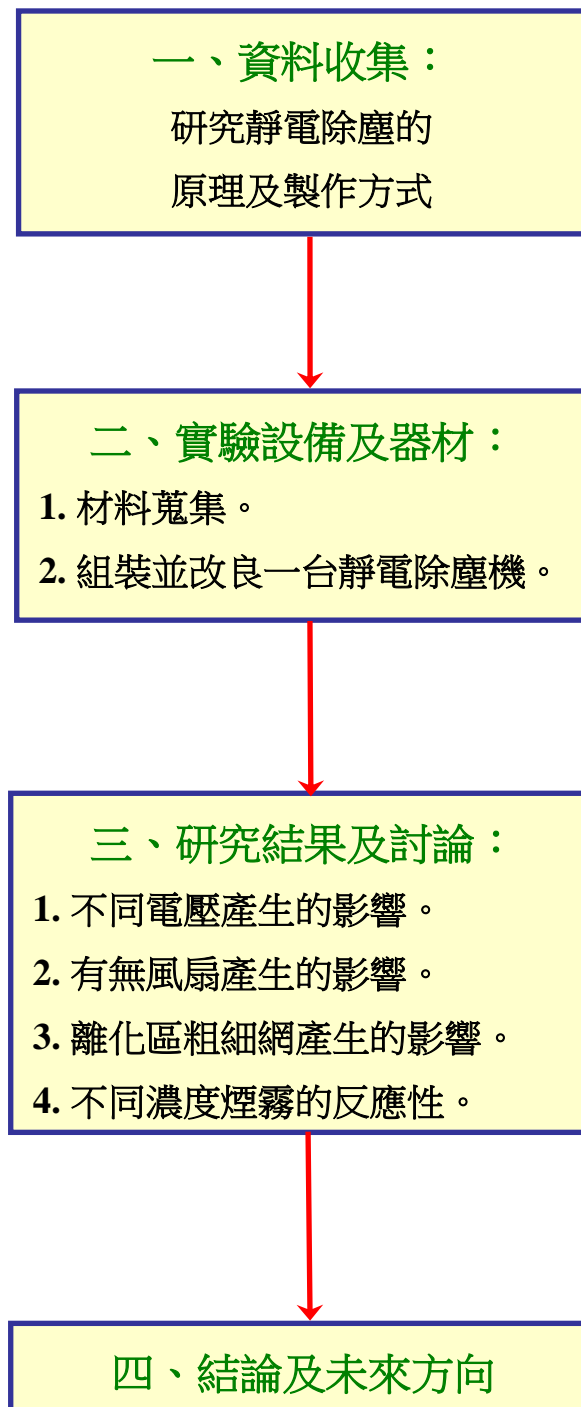
## 參、研究設備及器材

1. 三用電表、2. 鐵絲網、3. 變壓器、4. 風扇、5. 電線、6. 鱷魚夾、7. 壓克力盒、8. 線香
9. 打火機、10. 鋁箔紙、11. 太陽能板、12. 檯燈、13. 絕緣膠帶、14. 壓克力線鋸。

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究流程：

研究資料了解靜電除塵機的原理，進而組裝一台簡易靜電除塵機，並運用在處理空氣中的污染物及了解不同變因對於靜電除塵反應時間的影響。



## 二、製作靜電除塵機：

利用壓克力盒、變壓器、濾網、鋁箔紙、風扇、電線等用具製作靜電除塵機，一開始我們使用市售一般的寶特瓶來製作靜電除塵機，結果發現瓶身容易有刮痕會霧霧的，對於觀察煙霧的消除效果不佳，經過幾次實驗之後，決定找透光度較好的瓶子，上網查詢之後發現玻璃跟壓克力的透光度效果較佳，於是我們就開始找尋適合的盒子，因為經費的關係，最後決定使用壓克力盒。經過一些研究及不斷改良後，最後我們製做出了一台方便操作且效果良好的靜電除塵機，詳細的做法在研究結果處會有細部解說，以下是我們對於靜電除塵機的需求分析。

### 【結果分析】我們需要的靜電除塵機要有以下優點：

- 1.機器的主體分為三層，第一層集塵區，第二層離化除塵區，第三層為實驗後氣體區。
- 2.收集盒要透明方便觀察煙霧被消除，透過太陽能板發電量以計算發電量及時間。
- 3.靜電除塵機內的煙霧能有效循環至離化除塵區以便快速離化消除煙霧。

## 三、實驗項目：

### 【實驗一】探討不同電壓產生的靜電對煙霧的消除時間。

使用三種不同變壓器，分別為輸出 5V、9V、12V，透過增壓器放大 250 倍，分別產生 1250V、2250V 及 3000V，我們透過不同電壓來探討微粒帶電後反應的時間。

- (一) 實驗假設：不同電壓產生的靜電消除煙霧的時間不同。
- (二) 操作變因：不同電壓產生的靜電 1250V、2250V、3000V
- (三) 控制變因：同一種煙霧、相同濃度的煙霧量、同樣的收集盒、同一人計時、相同的風扇、相同的濾網。
- (四) 應變變因：消除煙霧的時間。

### 【實驗二】探討有無風扇對煙霧的消除時間。

剛開始自製靜電除塵機時未加裝風扇，發現效果不佳，所以後來有加裝風扇。

- (一) 實驗假設：有無風扇消除煙霧的時間不同。
- (二) 操作變因：有風扇、沒風扇
- (三) 控制變因：同一種煙霧、相同濃度的煙霧量、同樣的收集盒、同一人計時、相同的電壓。
- (四) 應變變因：消除煙霧的時間。

### 【實驗三】探討離化區粗網、細網對煙霧的消除時間。

由於細小的灰塵及線香微粒需要靠通電的鐵網去離化，所以我們想探討網子的粗細對於灰塵離化及除塵的影響，一開始我們用較粗的網子，後來用細網，最後使用兩層細網。

- (一) 實驗假設：不同粗細的網子消除煙霧的時間不同。
- (二) 操作變因：不同粗細的網子，粗網、細網、雙層細網。
- (三) 控制變因：同一種煙霧、相同濃度的煙霧量、同樣的收集盒、同一人計時、相同的風扇、相同的電壓。
- (四) 應變變因：消除煙霧的時間。

## 【實驗四】探討對不同濃度線香煙霧的消除時間。

針對線香煙霧不同濃度進行個別實驗，分別燃燒兩分鐘、三分鐘、四分鐘。

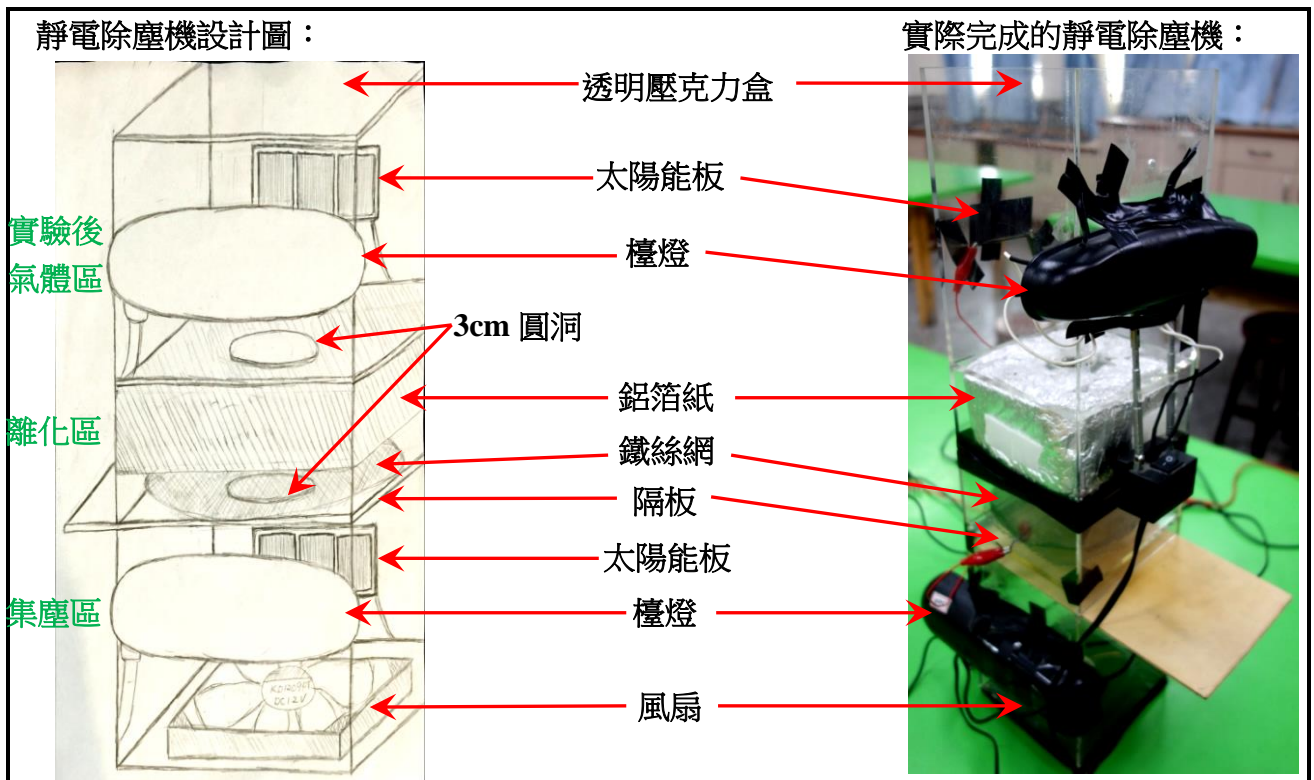
- (一) 實驗假設：不同濃度的煙霧被離化消除的時間不同。
- (二) 操作變因：線香煙霧濃度不同。
- (三) 控制變因：同一種煙霧、同樣的收集盒、同一人計時、相同的風扇、相同的電壓。
- (四) 應變變因：消除煙霧的時間。

## 伍、研究結果

### 一、靜電除塵機的研製及改良：

由於實驗的干擾變因很多，在開放空間實驗無法準確的控制，所以我們設計了一台靜電除塵機，便於收集煙霧及方便煙霧被離化除塵，最後一區還要能確實有效測量實驗後煙霧是否為乾淨的。而實驗進行後，我們又在機器底部加裝風扇，以利煙霧快速往上竄升（靜電除塵機改良史如附件一）。

#### (一) 靜電除塵機構造說明圖：



#### (二) 細部構造：

##### 1. 變壓器：

【目的】改變電壓連接於增壓器。

- (1) 變壓器可使電流變成直流電輸出後使鐵網帶負電，鋁箔紙帶正電。
- (2) 我們使用三種變壓器來調整輸出電壓的大小，分別為 5V、9V、12V。

##### 變壓器



## 2.加壓器：

【目的】使輸出電壓變大。

- (1) 12V 變壓器電壓輸入後，透過增壓器增加 250 倍的電壓，使輸出電壓可達 3000V，5V 則為 1250V，9V 為 2250V。

加壓器

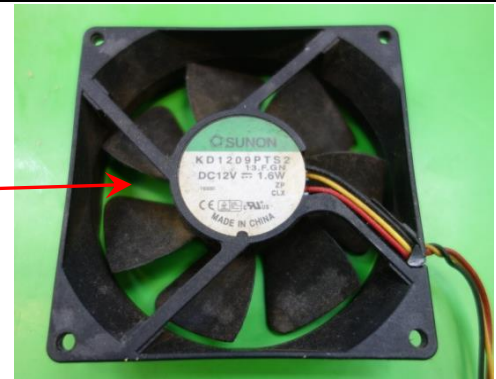


## 3.風扇：

【目的】使盒子內的煙霧能快速往上竄升。

- (1) 煙霧雖然較空氣輕，會往上升，但我們是在收集盒中先收集一段時間再拿開隔板讓他們往上升，部分煙霧已經沉降或附著在盒子邊，所以我們在盒子底部加裝風扇，利用風扇能使煙霧快速往上升。

風扇

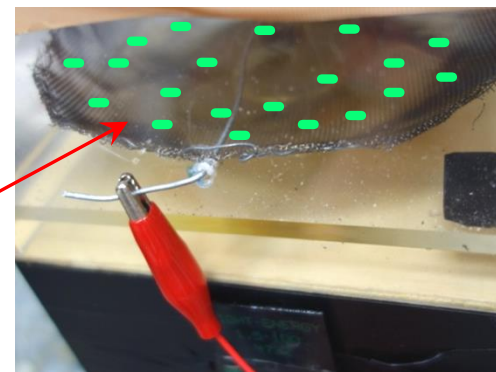


## 4.鐵絲網：

【目的】使線香微粒離化帶負電。

- (1) 把鐵絲網裝置於壓克力盒子中層下方，並通以高壓負電，使線香微粒經過離子化而帶負電荷。

鐵絲網

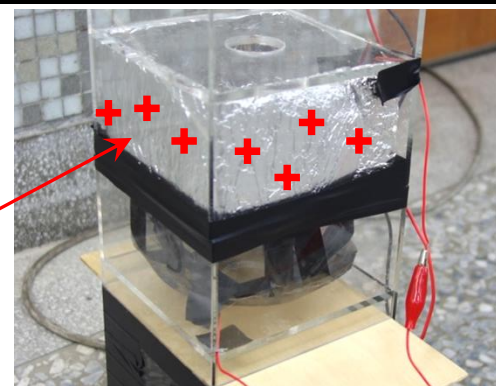


## 5.鋁箔紙：

【目的】帶正電吸引線香微粒。

- (1) 把鋁箔紙裝置於壓克力盒子中層上方，並通以高壓正電，藉庫倫力之吸引作用使帶電粉塵粒子被捕集於正極之極塵極上，而使粉塵粒子與乾淨氣體分離。

鋁箔紙



## 6.太陽能板：

【目的】利用太陽能板發電率測量空氣清淨度。

- (1) 把太陽能板裝置在壓克力盒子下層及上層中間，同樣用 13W 相同燈管在相同的距離照射，並連接三用電表測其發電電量，以此來測量空氣清淨度。

太陽能板



### (三) 實驗的操作方法：

一開始要製作靜電除塵機時遇到了一些問題，前後不斷的改良靜電除塵機，最後終於成功完成了一個較理想的靜電除塵機，以下是我們實驗的詳細步驟。

- 1.第一層為**集塵區**：收集煙霧，需用隔板暫時先讓煙霧停留在此層，記錄太陽能板發電量。
- 2.第二層為**離化區**：收集完後抽開隔板，插上插頭產生靜電同時使風扇運轉並讓煙霧進入。
- 3.第三層為**實驗後氣體區**：出來的為靜電除塵後的空氣，計時直到第一層太陽能板發電量回到原本數據，同時觀察第三層太陽能板發電數據，並記錄下來。

經過多次的實驗，我們發現可能會影響實驗結果的因素有：(1) 不同大小的電壓、(2) 不同濃度的煙霧、(3) 有無風扇及風扇的轉速、(4) 不同粗細的鐵絲網、(5) 收集盒的透光度、(6) 不同種類的煙霧等。在剛開始的測試實驗時，我們推測不同電壓值的靜電對於煙霧消除有影響，所以一開始我們選擇實驗的第一個操作變因為「**不同大小的電壓**」。實驗開始之初，我們自製的靜電除塵機並無加裝風扇，發現反應效果沒有很好，後來決定加裝風扇，所以我們實驗的第二個變因為「**有無風扇**」。我們也發現鐵絲網的粗細對於煙霧離化效果不盡相同，所以我們選擇「**不同粗細的鐵絲網**」當作第三個操作變因。此外，我們還發現相同的煙霧，不同的濃度也會造成實驗結果的不同，所以最後我們選擇「**不同濃度的煙霧**」當作最後一個操作變因。而其餘變因使其保持不變，用相同的壓克力盒、相同的風扇使轉速相同，且用同樣的燈來照射太陽能板，我們利用碼錶計時，仔細觀察煙霧被消除的時間，並記錄每種實驗結果的時間來做比較。



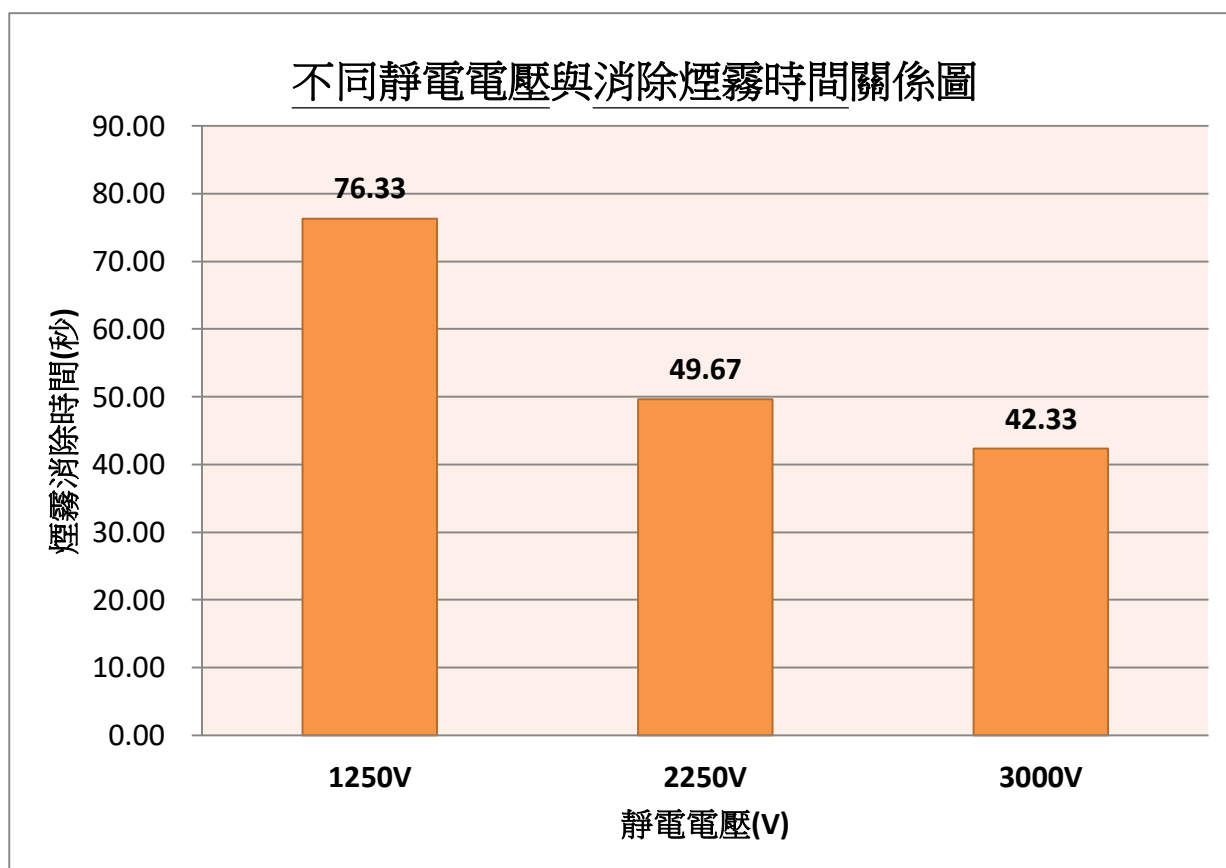
## 二、各項實驗結果：

### 實驗一 不同電壓產生的靜電消除煙霧的時間。

太陽能板發電電壓(V)	集塵區(實驗前) 1.345	集塵區(有煙霧) 1.329	集塵區(除塵後) 1.344	實驗後氣體區 1.351	
次數 靜電電壓(V)	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)	名次
5V 變壓器 增壓為 1250V	67	72	90	76.33	3
9V 變壓器 增壓為 2250V	45	54	50	49.67	2
12V 變壓器 增壓為 3000V	40	42	45	42.33	1

註：1.離化區鐵絲網電壓：1250V、2250V、3000V。 2.相同煙霧濃度：同一廠牌線香點燃三分鐘的煙霧。  
3.每次都是相同的同學操作同一部分實驗。 4.每次使用相同的容器收集煙霧。  
5.每次隔板拿開都有開風扇。 6.每個實驗做三次取其平均值，四捨五入到小數下一位。  
7.相同燈管、相同距離照太陽能板測其發電量，太陽能發電量為九次實驗平均值。 8.使用雙層細網。

結果：消除煙霧時間 1250V 靜電 > 2250V 靜電 > 3000V 靜電，其中 3000V 最佳，2250V 次佳，但效果也很好，1250V 剛開始實驗後氣體區發電量有下降一些，之後趨於穩定，2250V 及 3000V 實驗後氣體區電壓實驗前後都保持不變，證明下方的線香微粒真的被靜電除塵區吸附，上去的為乾淨空氣。





## 實驗二 有無風扇消除煙霧的時間。

次數 點煙霧時間	有風扇 第一次(秒)	有風扇 第二次(秒)	有風扇 第三次(秒)	平均(秒)	名次	無風扇(秒)
2分	34	32	35	33.67	1	58
3分	40	42	45	42.33	2	72
4分	108	93	121	107.33	3	241

註：1.線香濃度：點燃線香 2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘。

3.每次都是相同的同學操作同一部分實驗。

5.相同燈管、相同距離照太陽能板測其發電量。

7.每組做三次取其平均值，四捨五入到小數下一位。

9.無風扇實驗：相同的操作方式，但是靜電除塵機中無風扇。

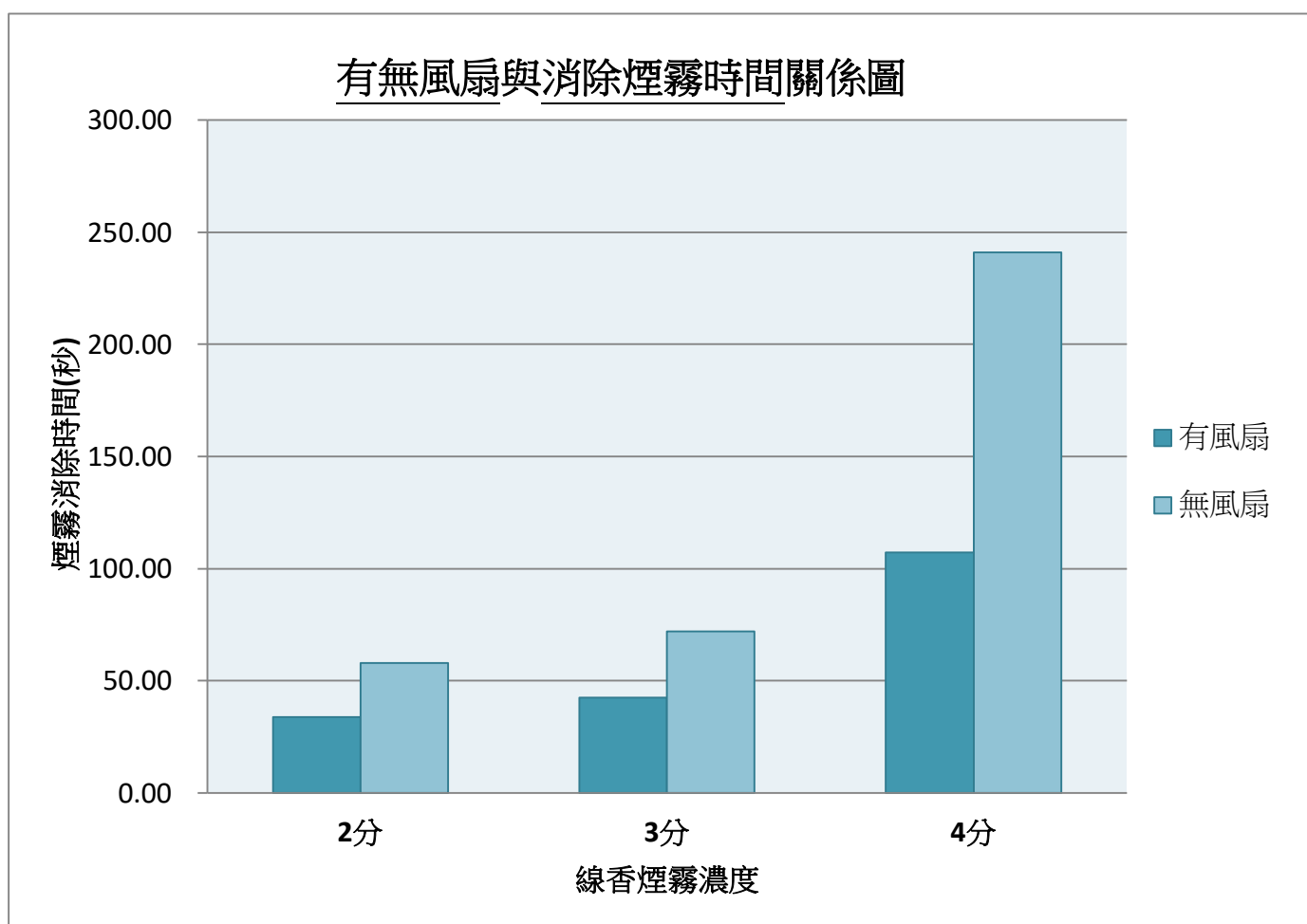
2.使用同一廠牌線香。

4.每次使用相同的容器收集煙霧。

6.離化區鐵絲網電壓：3000V。

8.使用雙層細網。

結果：消除煙霧時間有風扇效果較佳，無風扇所需時間均較長，尤其是線香濃度增加時，但基本上在煙霧濃度低時沒有風扇也是有作用的。

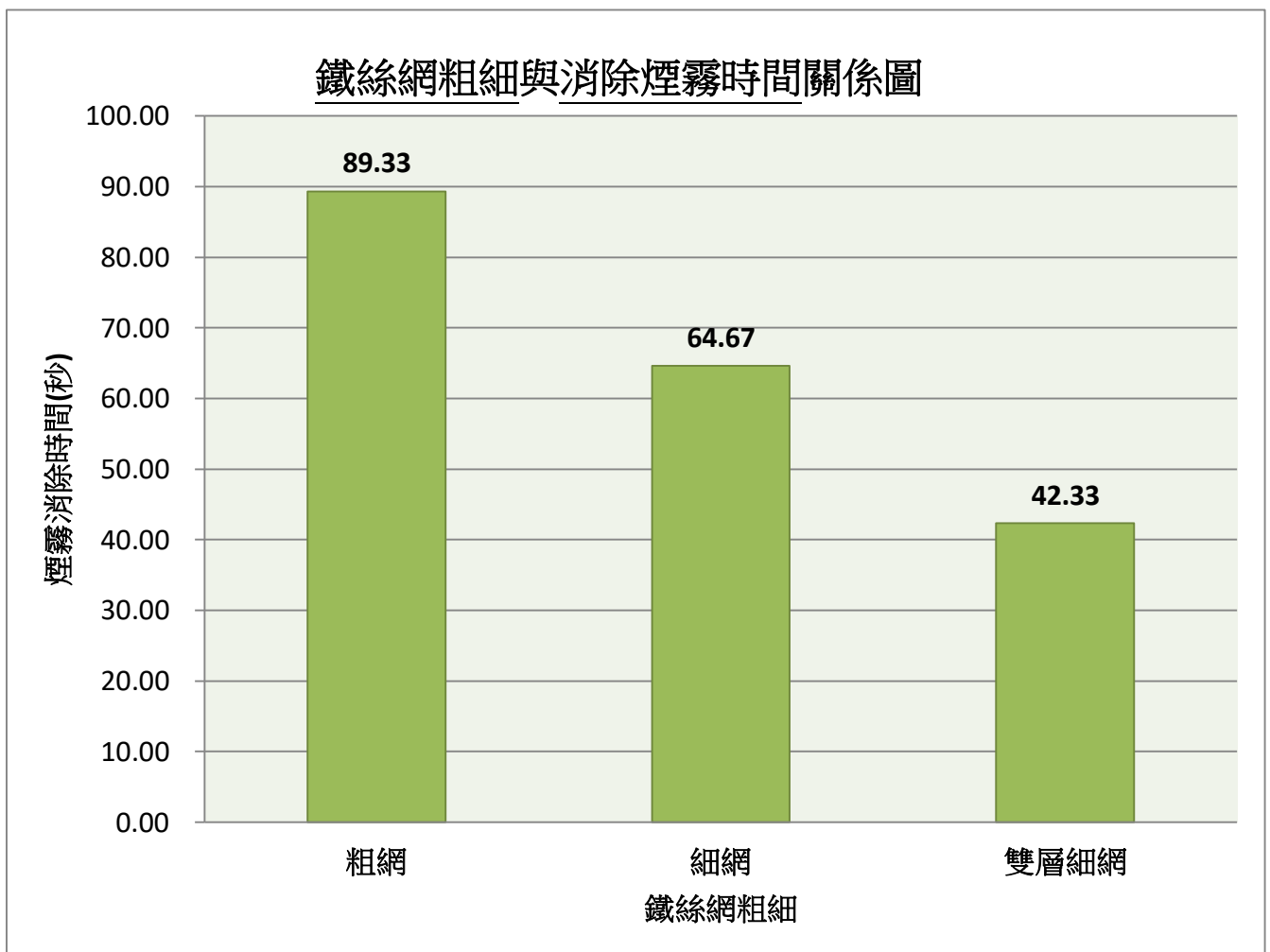


實驗三 離化區粗網、細網消除煙霧的時間。

太陽能板發電電壓(V)	集塵區(實驗前) 1.334	集塵區(有煙霧) 1.320	集塵區(除塵後) 1.332	實驗後氣體區 1.352	
鐵網粗細 \ 次數	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)	名次
粗網	89	97	82	89.33	3
細網	65	70	59	64.67	2
雙層細網	40	42	45	42.33	1

- 註：1.離化區鐵絲網粗細：粗網、細網、雙層細網。 2.相同煙霧濃度：同一廠牌線香點燃三分鐘的煙霧。  
 3.每次都是相同的同學操作同一部分實驗。 4.每次使用相同的容器收集煙霧。  
 5.每次隔板拿開都有開風扇。 6.離化區鐵絲網電壓：3000V。  
 7.每個實驗做三次取其平均值，四捨五入到小數下一位。  
 8.相同燈管、相同距離照太陽能板測其發電量，太陽能發電量為九次實驗平均值。

結果：消除煙霧時間粗網 > 細網 > 雙層細網，其中雙層細網效果最佳，粗網效果最差。

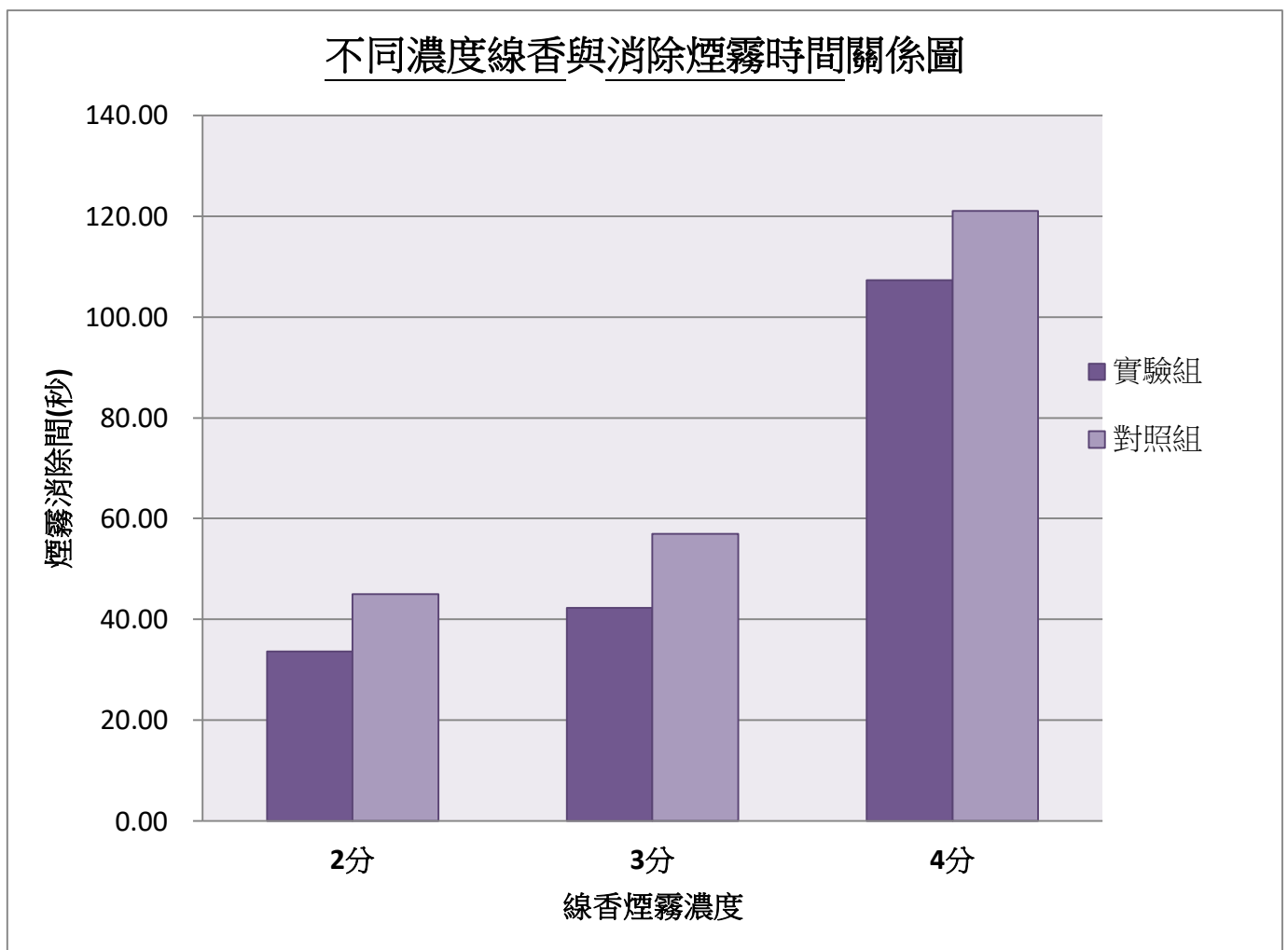


### 實驗四 相同靜電對不同濃度線香煙霧的消除時間。

次數 點煙霧時間	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)	名次	對照組(秒)
2分	34	32	35	33.67	1	45
3分	40	42	45	42.33	2	57
4分	108	93	121	107.33	3	121

- 註：1.線香濃度：點燃線香 2分鐘、3分鐘、4分鐘。  
 2.使用同一廠牌線香。  
 3.每次都是相同的同學操作同一部分實驗。  
 4.每次使用相同的容器收集煙霧。  
 5.相同燈管、相同距離照太陽能板測其發電量。  
 6.每次隔板拿開都有開風扇。  
 7.離化區鐵絲網電壓：3000V。  
 8.使用雙層細網。  
 9.每組做三次取其平均值，四捨五入到小數下一位。  
 10.每種濃度各做一次空白實驗（沒開靜電）當對照組。

結果：消除煙霧時間線香濃度 4分鐘 > 3分鐘 > 2分鐘，其中濃度 2分鐘最佳，4分鐘最差。

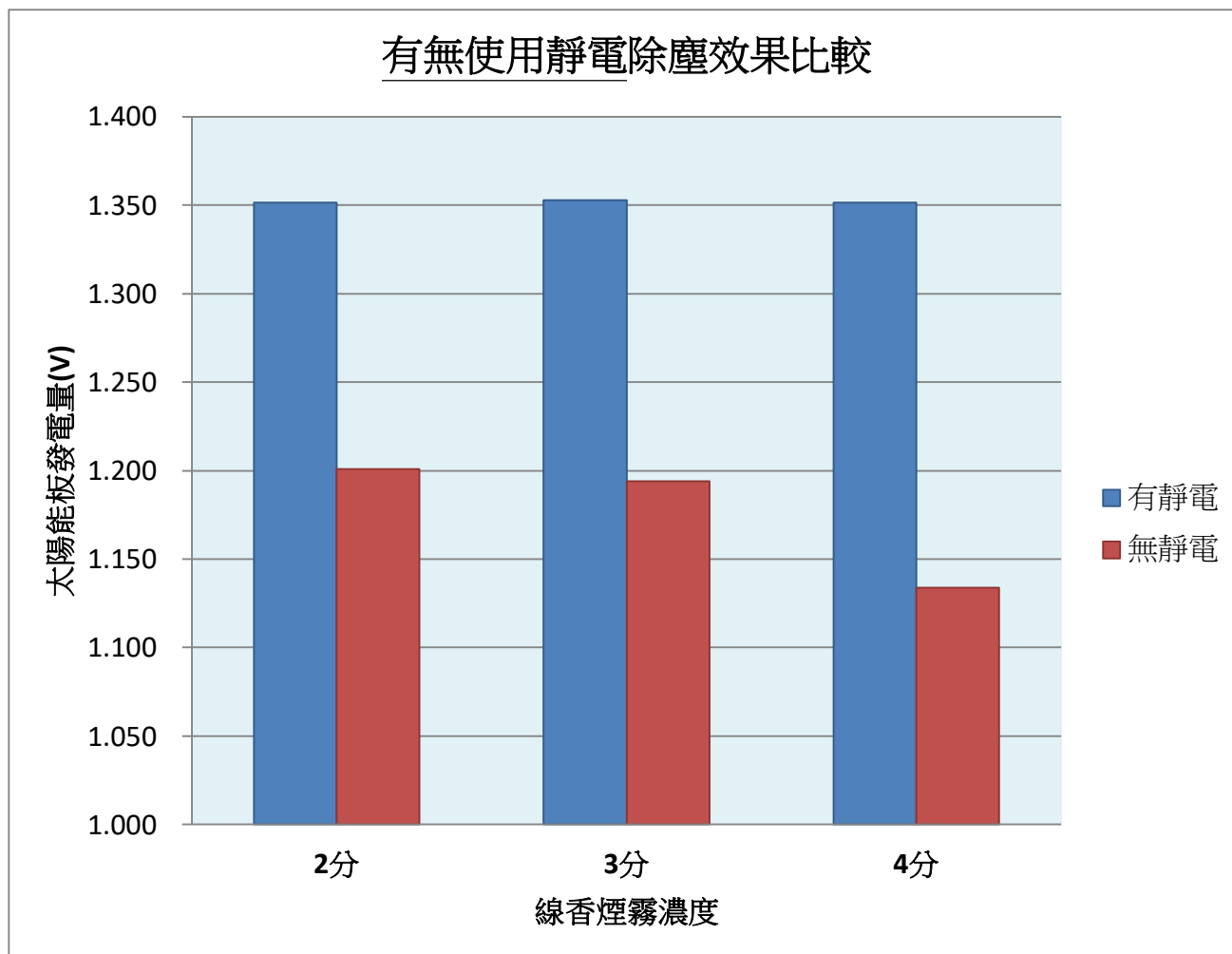


**實驗五 有無使用靜電除塵效果比較 (觀測實驗後氣體區電壓)。**

太陽能板發電電壓(V)	實驗後氣體區 原始 1.352				
次數 點煙霧時間	第一次(電壓)	第二次(電壓)	第三次(電壓)	平均(電壓)	對照組(電壓)
2分	1.354	1.348	1.352	1.351	1.201
3分	1.351	1.353	1.354	1.353	1.194
4分	1.349	1.352	1.353	1.351	1.134

- 註：1.線香濃度：點燃線香 2分鐘、3分鐘、4分鐘。  
 2.使用同一廠牌線香。  
 3.每次都是相同的同學操作同一部分實驗。  
 4.每次使用相同的容器收集煙霧。  
 5.相同燈管、相同距離照太陽能板測其發電量。  
 6.每次隔板拿開都有開風扇。  
 7.離化區鐵絲網電壓：3000V。  
 8.使用雙層細網。  
 9.每組做三次取其平均值，四捨五入到小數下一位。  
 10.每種濃度各做一次空白實驗(沒開靜電)當對照組。

**結果：**有開靜電線香濃度 2分鐘、3分鐘、4分鐘太陽能板發電量跟原本一樣，並沒有變動，均可有效去除煙霧，剩餘乾淨空氣，沒開靜電會使發電量降低，且煙霧濃度越濃發電量越差。

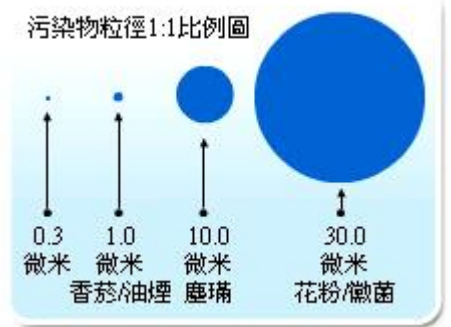


# 陸、討論

## 一、靜電除塵原理探討：

靜電集塵為清除氣體中塵埃方法的一種，是利用電荷異性相吸原理，與外加高壓而形成二個極性相反的電場，在庫倫力的作用下，使灰塵粒子荷電後向集塵板移動而附著在集塵板上，而達到淨化空氣目的。靜電吸塵法對於微細粉塵之捕集效率高，壓力損失小，大風量時亦能適用。對於溫度高或含水分的粉塵、氣體也能捕集。

靜電集塵器是藉由放電電極線產生電暈放電(corona discharge)，使空氣分子游離而形成帶電的空氣離子，空氣離子進而接觸微粒使之帶電，帶電之微粒往與放電電極線之電性相反之收集板方向運動而被收集。靜電集塵器與袋式集塵器相類似，對於 1 μm(PM 1)以下之微粒去除率均很高。入口濃度希望在5g/m<sup>3</sup>以下，於大氣的場合，普通為1~5mg/m<sup>3</sup>，因此沒有問題。



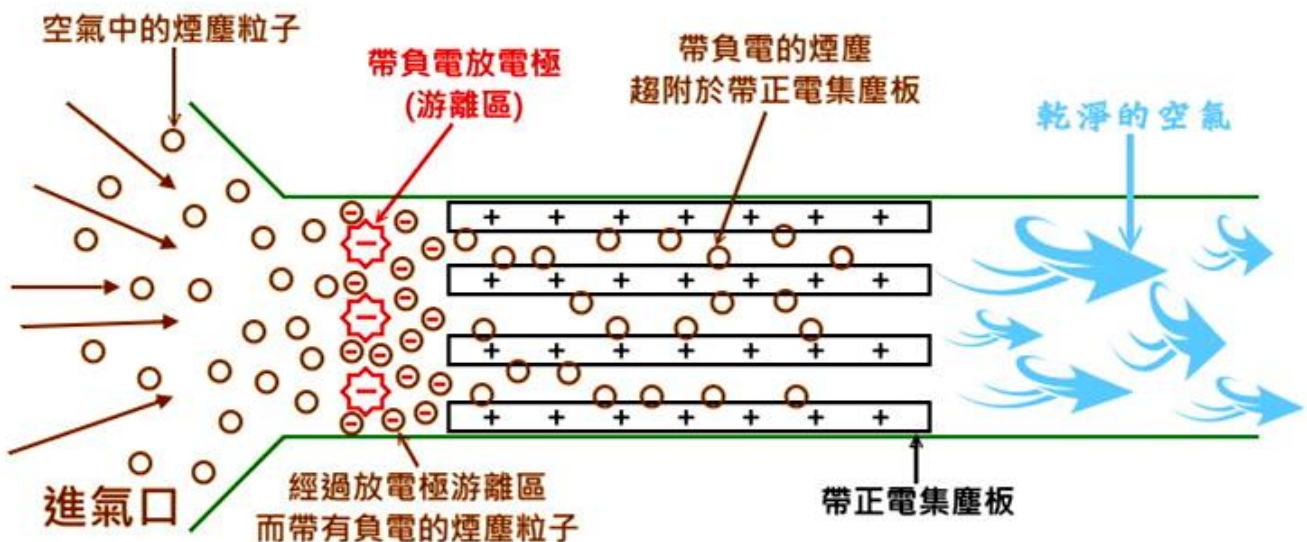
## 二、靜電除塵器基本構造如下：

### 1.變壓器組：

包含有變壓器、加壓器、鐵絲網、風扇等，主要功能是將 110V 之家用電之電壓提升至 3000 伏特左右的高壓電以產生電暈作用，使空氣離子化而造成帶電荷之塵埃。

### 2.集塵極板：

此為板狀(鋁箔紙)以利於集灰，為靜電集塵器之正極，在粉塵粒子帶負電時，藉庫倫力之吸引作用使帶電粉塵粒子被捕集於正極之極塵極上，而使粉塵粒子與乾淨氣體分離。



註：電暈放電 (corona discharge) 是強電場作用下導線周圍空氣的電離現象，它的產生與導線本身和導線周圍空氣的條件 (空氣中離子的數量、大小、電荷量等因素) 有關；導線周圍空氣之所以會電離，是由於導線表面的電場強度超過了某一臨界值 (線路實際運行電壓高於電暈臨界電壓值時，表面場強也超過了臨界場強，將發生電暈)，以至空氣中原有離子具備了足夠的動能，撞擊其它不帶電分子，使後者也離子化，最後形成空氣的部分導電。

註：高壓電 (High Voltage) 是指配電線路超過 1000V 交流電或 1500V 直流電 (國際電工委員會標準)。

註：PM 1 (particulate matter, PM) 等於 1 微米 (μm) 單位是微克/立方公尺 (μg/m<sup>3</sup>)。

### 三、PM<sub>2.5</sub>是什麼？

#### 1. PM<sub>2.5</sub>介紹：

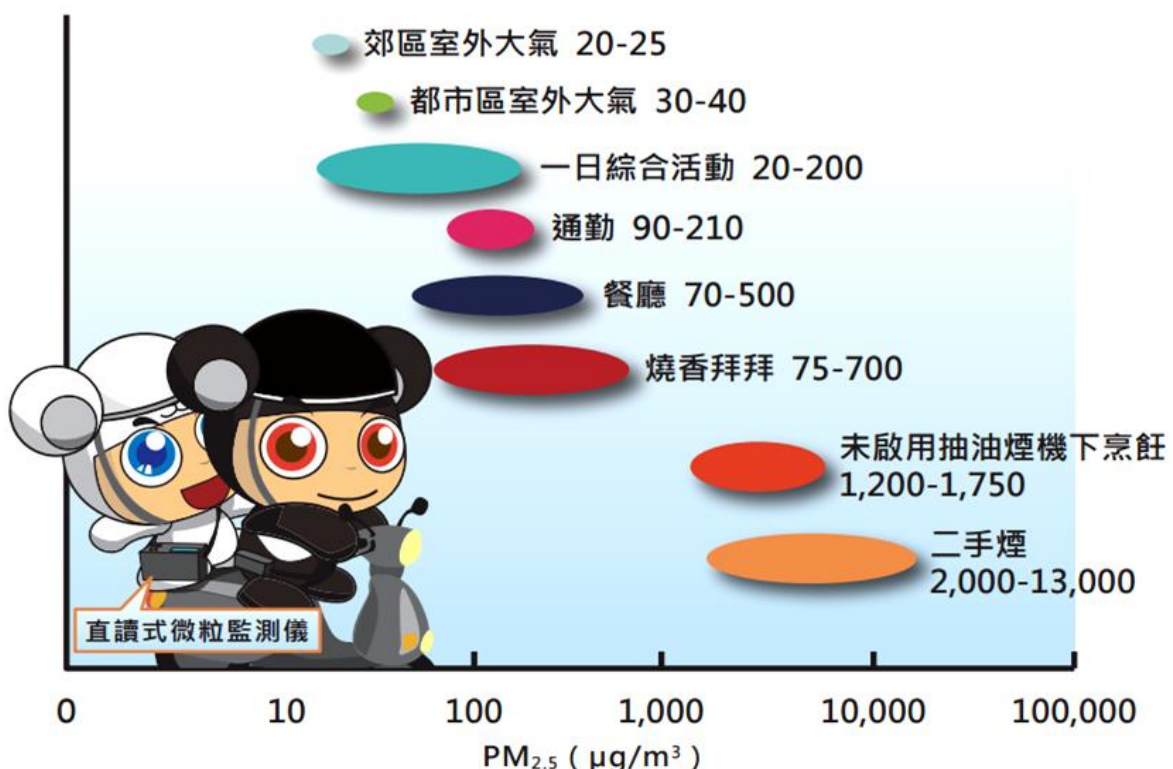
空氣中存在許多污染物，其中漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒(particulate matter, PM)，PM粒徑大小有別，小於或等於2.5微米(μm)的粒子，就稱為**PM<sub>2.5</sub>**，通稱**細懸浮微粒**，單位以**微克/立方公尺(μ/m<sup>3</sup>)**表示之，它的直徑還不到人的頭髮絲粗細的**1/28**，非常微細可穿透肺部氣泡，並直接進入血管中隨著血液循環全身，故對人體及生態所造成之影響是不容忽視的。



細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 不僅會增加結核病風險，還會提高人口健康中的慢性病負擔。台大公衛學院蒐集新北市 10 萬民眾，追蹤 6.7 年發現，長期暴露在 PM<sub>2.5</sub> 環境下的民眾，每立方公尺的曝露量增加 10 微克，結核病的發生風險會增加 39%。研究更發現，懸浮微粒會提高心臟病、中風、肺癌及慢性阻塞型肺病的死亡風險，2014 年更有超過 6000 人因 PM<sub>2.5</sub> 死亡。

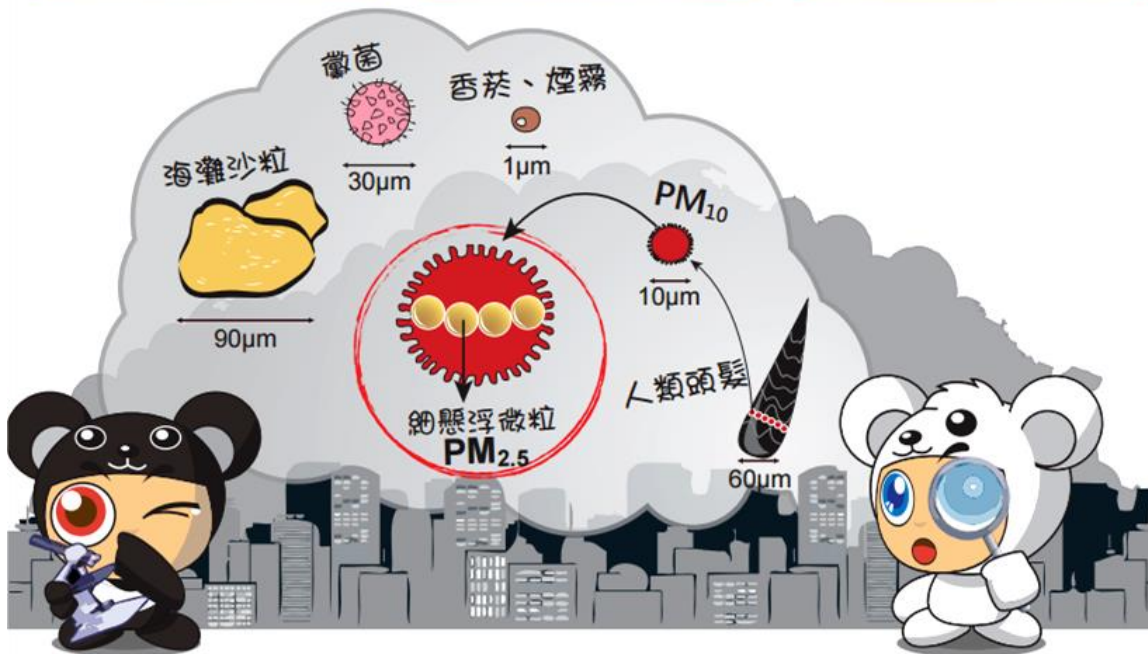
根據環保署 2014 年空氣品質監測報告，台灣所有空氣品質監測站的 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度為 25 微克，是世界衛生組織 (WHO) 的 2.5 倍，中南部的 PM<sub>2.5</sub> 分佈比北部來得高，其中又以雲林縣、南投縣、高雄市最嚴重。台大流行病學與預防醫學研究所副教授林先和說，研究團隊追蹤新北市參加健檢的民眾長達 6.7 年，根據住家地址推估空氣污染曝露量，得出每立方公尺增加 10 微克，結核病發生率增加 39% 的結論；另外，當交通相關的污染物 - 二氧化氮 (NO<sub>2</sub>) 以及氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)，每增加 10 ppb 的曝露量，結核病發生率的風險會分別提高 33% 及 21%。

#### Q 日常生活中會接觸到的PM<sub>2.5</sub>濃度範圍？



## 2.粒徑大小說明：

粒徑(μm)	粒徑大小說明
<100	稱 <b>總懸浮微粒(TSP)</b> ，約為海灘沙粒，可懸浮於空氣中。
<10	稱 <b>懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)</b> ，約為沙子直徑的 1/10，容易通過鼻腔之鼻毛與彎道到達喉嚨
2.5~10	稱 <b>粗懸浮微粒(PM<sub>2.5-10</sub>)</b> ，約頭髮直徑的 1/8~1/20 大小，可以被吸入並附著於人體的呼吸系統
<2.5	稱 <b>細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)</b> ，約頭髮直徑的 1/28，可穿透肺部氣泡，直接進入血管中隨著血液循環全身。



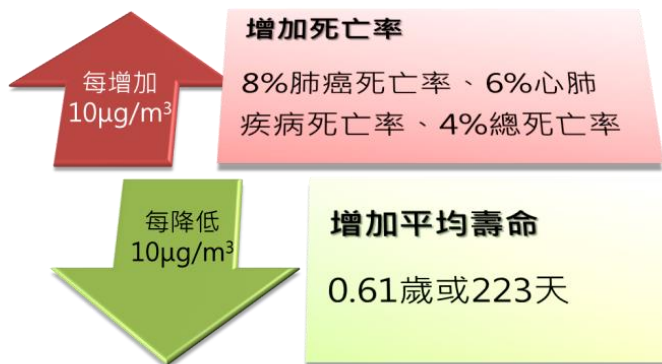
昨埔里的細懸浮微粒濃度一度達最不良等級，濃度飆高前（左圖）、與飆高後（右圖），市區能見度明顯有變化。環保署提供

▲PM<sub>2.5</sub>造成天空一片灰濛濛。

### 3. PM<sub>2.5</sub>對健康的影響及日常活動建議：

空氣中的懸浮微粒會經由鼻、咽及喉進入人體，10 微米以上的微粒可由鼻腔去除，較小的微粒則會經由氣管、支氣管經肺泡吸收進入人體內部。不同粒徑大小的懸浮微粒，可能會導致人體器官不同的危害。近年來，許多流行病理學研究已確立 PM<sub>2.5</sub> 對於健康造成影響，包括：支氣管炎、氣喘、心血管疾病、肺癌等，無論長期或短期暴露在空氣污染物的環境之下，皆會提高呼吸道疾病及死亡之風險。

PM<sub>2.5</sub>濃度的增減對壽命影響 (Pope *et al.*, 2002)



PM<sub>2.5</sub>所造成的短期與長期效應

短期效應	長期效應
增加呼吸道症狀，如：喘鳴、咳嗽、刺激及發炎反應	增加下呼吸道症狀
心血管系統不利效應，如：非致死心臟病、心律不整等	降低肺功能
綜合呼吸道症狀，如：氣喘	增加慢性支氣管炎
增加藥物使用	增加慢性阻塞性肺病
增加醫院門診次數	降低平均壽命
增加致死率	增加肺癌致病風險

參考文獻：詹長權，中部空品區細懸浮微粒暴露評估及成因分析期中報告，行政院環境保護署，2014年3月

指標等級	分類	PM <sub>2.5</sub> 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	一般民眾活動建議	敏感性族群活動建議
1	低	0-11	正常戶外活動	正常戶外活動
2	低	12-23		
3	低	24-35		
4	中	36-41	正常戶外活動	有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童感受到癥狀時，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。
5	中	42-47		
6	中	48-53		
7	高	54-58	任何人如果有不適，如眼痛、咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。	1.有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。 2.老年人應減少體力消耗。 3.具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。
8	高	59-64		
9	高	65-70		
10	非常高	≥71	任何人如果有不適，如眼痛、咳嗽或喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	1.有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，以及老年人應避免體力消耗，特別是避免戶外活動。 2.具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。



#### 四、靜電除塵機問題討論：

有鑑於 PM<sub>2.5</sub> 對人體的危害，現在的空氣清淨機都講求能去除 PM<sub>2.5</sub> 微粒以達到淨化空氣的效果，靜電除塵機較為廣泛應用在除油煙機、工廠大量粉塵處理器，而自製靜電除塵機看似簡單，但在實際製作及操作上仍然遇到一些困難，所以在開始時花了好多時間去克服每個問題，但是經過快一年的努力，我們對機器和實驗方法進行不斷的改良，跟一開始的情況比起來成效好上許多，我們還從中學習到許多小秘訣，就讓我們來解說吧！

##### 1. 變壓器：

本次實驗的變壓器在經費有限、器材不足的情況下我們儘量用家裡廢棄或閒置沒有用的東西，並跟朋友、同學收集，前後收集十個左右的變壓器、三個三用電表、三塊太陽能板、兩個水族用燈具、兩個廢棄電腦風扇、很多粗細不同的過濾篩網，最後終於成功地完成機器，靜電除塵機需要的變壓器為直流電，收集了各種變壓器後一一分類，從 3V~12V 最後找出需要的來做實驗分別為 5V、9V、12V，製造出不同大小的靜電，以測試其效果。



收集來各式各樣的變壓器 ▲

##### 2. 收集盒：

剛開始為了裁切連接方便，我們使用寶特瓶當作我們的收集盒，可是在製作過程中發現有些部分分層不易，再來就是寶特瓶瓶身很容易刮損，透光度不佳，影響到我們使用太陽能板來測量空氣清淨度，連續實驗幾次後發現寶特瓶內部也很容易卡線香粉塵，使我們對於煙霧的消除觀察不易，後來查資料發現寶特瓶的主要材質是聚對苯二甲酸乙二酯，這是一種熱塑性材質，是乳白色或淺黃色、高度結晶的聚合物，透光度最佳可達 93%，但不耐熱且易被刮花，不利我們觀察及實驗。後來我們改用壓克力盒，而它的主要材質為聚甲基丙烯酸甲酯，相對分子質量大約為 200 萬，是長鏈的高分子化合物，透光率 92% 以上，光澤度高、表面硬度高，耐候性及耐老化性良好，耐酸鹼、耐油污性佳，方便我們觀察煙霧的消除。



一開始使用的寶特瓶盒 ▲

### 3. 壓克力盒：

後來選用壓克力盒當作實驗收集盒，在經過找尋一陣子後，終於找到適合的壓克力盒，透光效果好，但也面臨了一些問題，在壓克力裁切及鑽孔的問題，我們現有沒有適當的工具可以用，剛開始我們上網查詢可以用壓克力刀或線鋸來鋸，買了一支線鋸在盒子上成功裁切出一條刻痕讓我們可以放入板子收集線香煙霧，但在壓克力盒中間也需要打洞，試了一些方法後都沒有成效，最後想說拿去外面請廣告看板店幫忙裁切，所幸後來老師幫我們詢問到有認識的朋友在做模型飛機，有機器可以幫忙裁切，所以就順利解決我們的問題了。



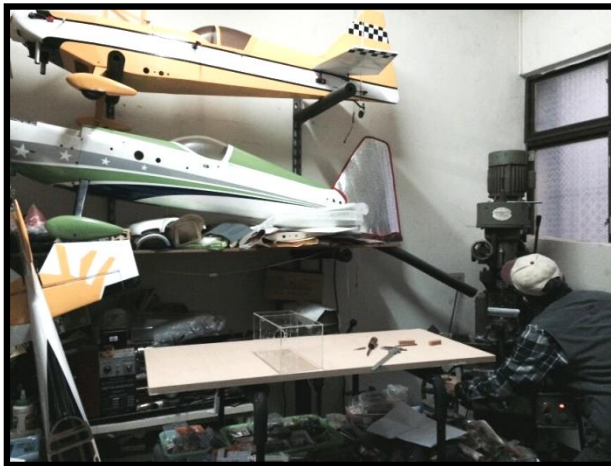
透明壓克力盒 ▲



用線鋸裁切 ▲



裁切到一半線鋸彎曲 ▲



請老師的朋友用裁切模型飛機的機器幫我們鑽出直徑 3 公分的圓洞 ▲

### 4. 鐵絲網：

這次收集的鐵絲網有兩款，粗網大約 3mm、細網大約 1mm，因為收集到的濾網有限，所以在實驗上我們只採用兩種 size，另外再把細網重疊使用，以增加變因向度。



粗網 ▲



細網 ▲



粗、細網比較圖 ▲

## 5.風扇：

在第一代靜電除塵機時我們使用的是螺旋型的電腦風扇，體積較小風力沒那麼強，可塞進第一代寶特瓶中，後來我們改用壓克力盒後想改用直吹式的，就換成另一款風扇了，體積較大風力較強，我們把排線剪掉後接上 12V 的變壓器，效果很不錯！



第一代風扇 ▲



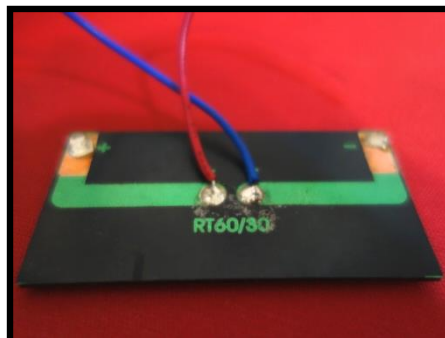
第二代風扇 ▲

## 6.太陽能板及照射光源：

一開始我們從家裡帶來一塊太陽能板，連接上三用電表後測試其發電量，但實際實驗時需要兩塊太陽能板，一塊在集塵區測試，一塊在實驗後煙霧區測試，後來老師又提供另外一種太陽能板，雖然發電量都是 1.5V，但我們實測後發現效果不同。為求統一，就改用兩塊一樣的太陽能板，接在相同的位置用同樣的光源照射。而在光源的部分，一開始有用過用一般手電筒照，但測出來的發電量很小，約 0.3V，如果多了煙霧效果就更差了，後來有一位同學提供了家裡養魚用閒置的照明燈，我們就想說來試試看，結果發現效果很好，最差都有在 1.2V，但因為只有一組，後來找了一陣子有找到另一組魚缸燈，兩個都是用 13W 的燈管，換上兩隻全新相同燈管後，在同樣的距離照射，有一隻燈座能使太陽能板發電量較高，後來我們研究發現，應該是他原本背後的反光片造成的，所以我們便把反光片移除，之後再測試，發現兩者發電量差不到 0.01V，所以我們最後就決定用此方式來測試我們空氣的清淨度。



一開始的太陽能板 ▲



後來使用的太陽能板 ▲



相同的燈管 13W ▲



有反光片的燈座 ▲



無反光片的燈座 ▲



拆掉反光片 ▲

## 五、各項實驗討論：

### 實驗一 不同電壓產生的靜電消除煙霧的時間。

結果：消除煙霧時間 1250V 靜電 > 2250V 靜電 > 3000V 靜電，其中 3000V 最佳，2250V 次佳，但效果也很好，1250V 剛開始實驗後氣體區發電量有下降一些，之後趨於穩定，2250V 及 3000V 實驗後氣體區電壓實驗前後都保持不變，證明下方的線香微粒真的被靜電除塵區吸附，上去的為乾淨空氣。

1. 由實驗可知，靜電的電壓跟煙霧消除的時間相當有關聯，但是也不是越大就會越好，畢竟太大的電壓還是有一定的危險性，根據我們的實驗發現 2250V 效果也不錯，雖然時間多一些但也能有效去除線香微粒。
2. 再來就是 2250V 跟 3000V 的靜電都能有效使線香微粒帶電後被吸附，使上方實驗後氣體區的太陽能板發電值沒有改變過，證明最後上去的都是乾淨的空氣。

### 實驗二 有無風扇對煙霧的消除時間。

結果：消除煙霧時間有風扇效果較佳，無風扇所需時間均較長，尤其是線香濃度增加時，但基本上在煙霧濃度低時沒有風扇也是有作用的。

1. 剛開始實驗時沒有加裝風扇，雖然也能利用庫倫吸引力使線香煙霧往上被吸附，但所需的時間較長，而在濃度高的情況下，我們能使煙霧往上的開口只有直徑 3cm 的圓洞，所以煙霧移動速度不快，後來加裝風扇後整體效果都好很多，也能使線香微粒有效被去除。
2. 我們所使用的風扇為一般電腦的風扇，在靜電除塵機內風扇扮演一個相當重要的角色，這次我們實驗只有做有風扇跟無風扇兩種，如果在時間許可的情形下，我可以再進行風扇遮一半或者是更換不同的電壓使風扇轉速不同來進行實驗比較，還有因為我們的開洞較小，所以適用吹的方式使煙霧向上，如果開口大一點，或許可以嘗試用吸的方式使煙霧向上，這樣實驗結果會更清楚明確。

### 實驗三 離化區粗網、細網消除煙霧的時間。

結果：消除煙霧時間粗網 > 細網 > 雙層細網，其中雙層細網效果最佳，粗網效果最差。

1. 我們收集到的鐵絲網有兩種粗細，粗網大約 3mm、細網大約 1mm，剛開始用粗網做實驗發現效果還好，推測原因可能是我們開的孔洞為 3cm，粗網的孔隙太大了使通過的線香微粒離化效果不佳，所以後來改用細網效果有好一點，但最好的還是雙層細網。再來因為我們有加裝風扇，所以線香煙霧會快速往上飄，如果時間許可或許能實驗再多加幾層網子，或是使用更細小的網子來做實驗，再來也可以把孔洞開大一點，可能會使煙霧被離化的效果更好，速度更快。

### 實驗四 相同靜電對不同濃度線香煙霧的消除時間。

結果：消除煙霧時間線香濃度 4 分鐘 > 3 分鐘 > 2 分鐘，其中濃度 2 分鐘最佳，4 分鐘最差。

1. 我們用相同大小的收集盒來裝煙霧，煙霧在收集盒內燃燒 2 分鐘煙霧濃度較低（煙粒較少），4 分鐘煙霧濃度較高，之後開風扇、開靜電抽掉隔板使煙霧往上，而靜電除塵煙霧的速率，濃度越高越所需時間越長，尤其是線香濃度 4 分鐘的，煙霧消除時間約為其他兩者的三倍，我們推測應該是收集時間比較久，已經有部分線香微粒附著在收集盒區，所以後來雖然有開風扇但仍無法快速的使所有線香微粒往上，造成部分殘留。

## 實驗五 有無使用靜電除塵效果比較（觀測實驗後氣體區電壓）。

結果：有開靜電線香濃度 2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘太陽能板發電量跟原本一樣，並沒有變動，均可有效去除煙霧，剩餘乾淨空氣；沒開靜電會使發電量降低，且煙霧濃度越濃發電量越差。

1. 實驗結果證明有開靜電確實能有效吸附線香微粒，使上方實驗後氣體區的太陽能板發電值沒有改變過，證明線香微粒都被集塵板吸附，最後上去的都是乾淨的空氣，且不管是煙霧濃度 2 分鐘、3 分鐘還是 4 分鐘都一樣。
2. 而沒開靜電組煙霧上去後開始使太陽能板發電值下降，且煙霧濃度越高的就降的越低，也證實了線香微粒真的往上飄，完全沒除塵效果。

## 六、未來展望：

### 1. 在研究變因上再做更多、進一步的實驗：

- (1) **收集盒**：因為我們是請人幫忙鑽洞的，當初設計時就是想說 3cm 的孔洞，之後實驗時發現或許孔洞大一點或是改變開洞的方式許會有不同的效果，但礙於我們自己沒有鑽洞的工具，所以便沒有進一步做實驗，未來如果有機會，可以再把我們的靜電除塵機改良一下，把孔洞變大或洞開在旁邊一點(長條線狀縫隙)，便可再做進一步的實驗。
- (2) **煙霧的濃度**：因為我們實驗的 2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘線香濃度均能有效被去除，如果有時間可以再做更多不同濃度煙霧的實驗，以提高準確性，也可以知道以我們目前的電壓值最多可以有效去除多少濃度的線香煙霧。此外，燃燒線香的部分如果改用**燃燒完一段線香長度**來取代**線香點燃時間**，或許線香濃度的部分會控制得更精準。
- (3) **電壓**：目前我們實驗的電壓值最高為 3000V，未來如果線香濃度或粉塵濃度增加不確定可否完全吸附消除，所以想實驗更高電壓值，而我們查詢到的資料顯示，電壓在 10000V 以上效率會更好，如果有機會，希望能做進一步的實驗來讓我們的靜電除塵機更有效能。
- (4) **電荷**：根據我們查到的資料顯示線香微粒跟塵埃易帶負電，而油煙粒子易帶正電，我們實驗主要是收集線香微粒，所以我們便在鐵絲網處通以負電，集塵板處為正電去進行實驗，未來如果有機會，可以使電荷相反做實驗來探討不同的電荷集塵效果有何不同。

### 2. 推廣大家自製靜電除塵機：

現在除了戶外空氣品質不好，家裡也是潛藏了許多的危機，家裡如果有佛堂的要相當注意通風問題，根據研究顯示在密閉空間燒香，懸浮微粒濃度平均達每立方公尺 390 至 731 微克，但如果在通風的室內，懸浮微粒濃度則可降至 154 至 185 微克；且在通風情況下，**燒完香 3 個小時後**，室內的懸浮濃度可降到一般室內的背景值；但如果在密閉空間內，即使**燒完香 6 個小時後**，懸浮微粒濃度仍比一般室內背景值高 300 微克。雖然開窗可以在 3 小時就使線香微粒分子通通散去，但在這三小時期間還是會危害人體健康，所以可以推廣我們自製的靜電除塵器裝在佛堂，在機器下方風扇處開洞使空氣可被吸入，安裝在線香點燃高度略高一點的位置，在燒香香拜拜時開啟靜電除塵機，線香燃燒完後關閉電源，如此可確保家中不會有大量有害的 PM<sub>2.5</sub> 微粒，也可淨化家中的空氣，且靜電除塵機的器材取得容易，原理也很簡單，相當適合大家自行在家製作。

## 柒、結論

當大家聽到 PM<sub>2.5</sub> 造成的「紫爆」都會有所驚恐，且根據環保局監測報告顯示 2011 年全台 PM<sub>2.5</sub> 年排放量只有台東縣是符合我們訂定的標準，所以要讓我們的空氣品質改善，除了從日常生活做起，如能使用有效良好的靜電除塵機，在生活上也可以幫我們解決惱人的煙霧問題，用我們的自製的靜電除塵機可以快速有效的消除煙霧，打造一個良好的生活環境，以下是我們實驗所得到的結論。

### 一、靜電除塵機用 3000V 的電壓能有效去除煙霧。

使用 3000V 電壓能有效使線香煙霧離子化，完全被吸附在集塵區，使排放出去的空氣均為乾淨空氣。

### 二、靜電除塵機加裝風扇除塵效果較佳。

有風扇的效果比沒風扇的好，能使靜電除塵機更快速有效去除線香煙霧，淨化空氣。

### 三、靜電除塵機用雙層細網除塵效果較佳。

使用雙層細網，能使線香煙霧較快帶電，且快速有效去除線香煙霧，淨化空氣。

### 四、濃度越高的煙霧被消除的時間較久。

雖然濃度越高的煙霧被消除的時間會越久，但還是能有效被靜電除塵機去除，排放出去的空氣均為乾淨的氣體。

### 五、好用易操作的靜電除塵機。

經過實驗改良過後的靜電除塵機，能幫助我們做實驗更有效率，且可加以利用於生活中將有害的煙霧微粒去除。

### 六、好的團隊夥伴及優良技巧。

同學分工合作收集資料，大家集思廣益共同設計並改良靜電除塵機，透過經驗慢慢累積，大家分工合作才能使我們迅速又確實的測量出每個實驗結果。

## 捌、參考資料及其他

- 一、行政院環境保護署－空氣品質監測網 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>
- 二、Electrostatic Precipitator/Smoke Precipitator - How it Works/How to Make <https://www.youtube.com/watch?v=x5YFK8mmeRQ>
- 三、濕式靜電旋風集塵器實場測試研究 2014 王秉才 (國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士論文)
- 四、空氣污染控制與設計講義 P.7~48
- 五、附件資料：如下

排序	縣市	PM <sub>2.5</sub> 年均值 (µg/m <sup>3</sup> )
1	嘉義市	47.3
2	高雄市	44.2
3	金門站	41.7
4	台南市	36.6
5	嘉義縣	36.2
6	南投縣	36.0
7	彰化縣	35.2
8	台中市	34.2
9	馬祖站	34.1
10	雲林縣	33.1
11	屏東縣	32.7
12	新竹市	30.7
13	苗栗縣	29.4
14	新竹縣	28.6
15	台北市	27.1
16	新北市	26.3
17	桃園縣	25.2
18	澎湖縣	24.8
19	花蓮縣	20.9
20	基隆市	20.2
21	宜蘭縣	19.7
22	台東縣	14.1

2011 全台 PM<sub>2.5</sub> 全年濃度排序▲

## 附件一：靜電除塵機改良史

### 1.第一代靜電除塵機：

※材料：寶特瓶、電線、加壓器、變壓器、三用電表、風扇、鐵絲網、鋁箔紙、絕緣膠帶、太陽能板。

※做法：三個寶特瓶一剪開頭部、兩個剪開底部，連結成一收集盒，下方安裝風扇，中間層裝鐵絲網跟鋁箔紙，並裝上太陽能板連接三用電表。

※優點：

(1) 組裝方便、材料容易收集。

※缺點：

(1) 寶特瓶瓶身易刮花。

(2) 風扇不好固定。

(3) 無法收集好煙霧再開靜電除塵。

設計圖：



實際完成圖：



### 2.第二代臭氧機：

※材料：壓克力盒、電線、加壓器、變壓器、三用電表、風扇、鐵絲網、鋁箔紙、絕緣膠帶、太陽能板。

※優點：

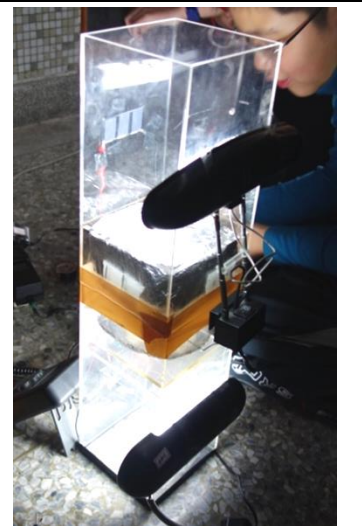
(1) 分層明確，易於觀察。

(2) 壓克力盒透光度高，測量結果較準確。

(3) 開口大易清洗也方便收集煙霧。

※缺點：

(1) 裁切壓克力盒需要工具。



附件二、製作過程及實驗過程照片

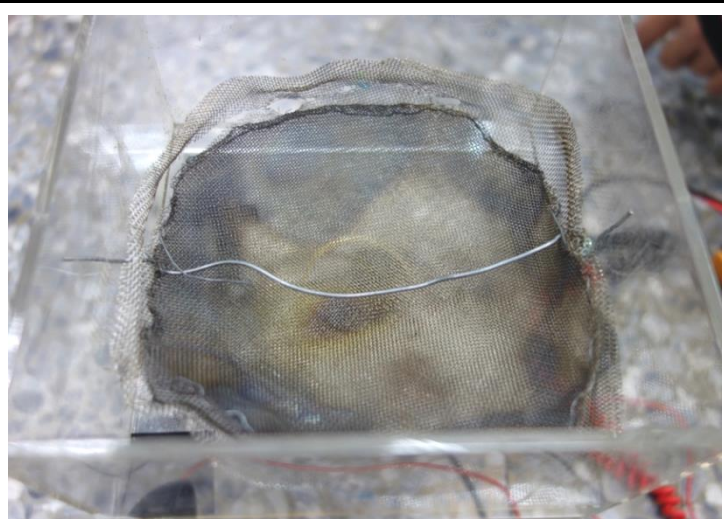
第一代除塵機加裝風扇 ▼



第二代除塵機加裝風扇 ▼



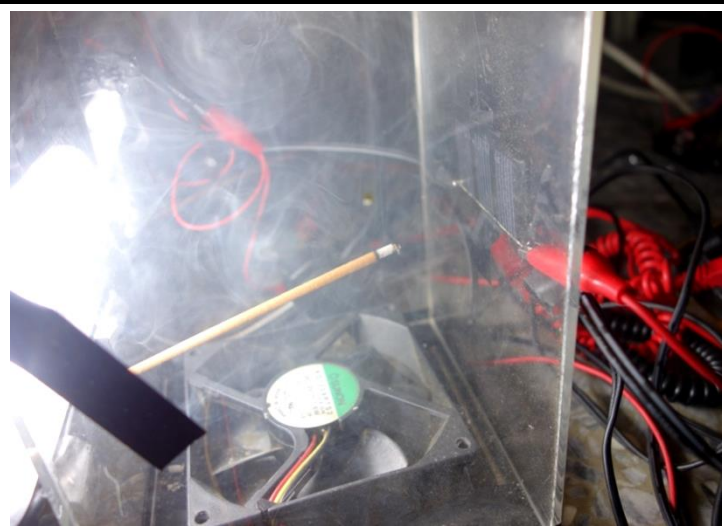
加裝離化區雙層細網(帶負電) ▼



離化區加裝鋁箔紙(帶正電) ▼



點燃線香收集煙霧 ▼



實際實驗大家分工合作，全程監控 ▼





### 附件三、PM<sub>2.5</sub> 減量大家一起來

除了環保機關針對工廠、工地、汽機車等污染源進行管制工作外，我們也可以從日常生活中的食、衣、住、行、育、樂上，結合節能減碳行動，改變生活小習慣可減少 PM<sub>2.5</sub> 及其前驅物排放，共同為改善空氣品質盡一份心力喔！

 <p>食</p>	<p><b>改善飲食結構，減少烹調食用油：</b>烹調油煙是食用油或食物在高溫條件下，發生一系列變化後而形成的，且 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度偏高，需改變飲食結構，減少食用油炸食物，減少環境污染。</p> <p><b>少吃燒烤食物，減少食物燒烤過程中產生的 PM<sub>2.5</sub>：</b>煙燻及燒烤的過程中將產生 PM<sub>2.5</sub>，當食物進入人體，可能對人體健康造成傷害。</p>
 <p>衣</p>	<p><b>購買環保服飾：</b>選購天然纖維材料衣物及環保服飾，化學合成纖維材料衣物需要使用石化原料，耗能又會產生 PM<sub>2.5</sub> 污染。</p> <p><b>選擇水溶性乾洗店家：</b>環保的水性界面活性劑，以不具揮發性有機物的界面活性劑替代石油系、四氯乙烯乾洗溶劑，減少 PM<sub>2.5</sub> 前驅物逸散，且水性乾洗的好處是沒有化學氣味。</p>
 <p>住</p>	<p><b>減少使用有機揮發溶劑：</b>如果你常常搬家或翻修住宅的話，你也可以從減少使用有機揮發溶劑之塗料下手，使用有機揮發溶劑所產生的 VOC，VOC 是 PM<sub>2.5</sub> 的“影子”，也就是 PM<sub>2.5</sub> 形成之前一個最重要的前驅物，導致人們患病的“元兇”。</p> <p><b>植栽美化綠能社區：</b>可多種植綠色植栽，一同維護我們的生活空氣品質，及擁有健康的生活品質。雖室內植物吸附 PM<sub>2.5</sub> 之量有限，但可淨化相關 PM<sub>2.5</sub> 之前驅物。如果我們本身能做到節約電力等之綠能行為，相對的我們生產電力之發電廠也可減量 PM<sub>2.5</sub> 之排放。</p>
 <p>行</p>	<p><b>多搭公共運輸工具：</b>選擇使用節能運具，可減少廢氣排放及能源消耗量，亦可增進個人健康。</p> <p><b>能培養機車定檢自主管理習慣：</b>共同一起推動管制高污染機動車輛所造成的污染。</p>
 <p>育</p>	<p><b>透過學校教育教導學生如何減量：</b>環保署也會透過學校教育，讓學生了解 PM<sub>2.5</sub> 減量對人民健康的重要性。</p> <p><b>家長以身作則教導孩子如何減量：</b>最重要的還是家庭教育了，爸爸媽媽能以身作則教導小孩子如何於食衣住行減少不只是 PM<sub>2.5</sub> 而是所有空氣污染的排放，相信我們一定能有個美好的天空喔。</p>
 <p>樂</p>	<p><b>祭祀不燒金清新空氣好環保：</b>民眾可選擇更為先進環保的祭拜方式，如：以功德捐獻、白米、鮮花素果等取代燃燒金紙，減少紙錢焚燒產生之 PM<sub>2.5</sub>，祭拜之後亦可捐獻給弱勢團體或自行帶回食用，一舉數得。</p> <p><b>減少民俗活動燃放炮竹：</b>可減少燃燒產生之 PM<sub>2.5</sub>，使用環保鞭炮音效氣氛佳環保又安全。</p>

## 【評語】 080830

作品兼具環保與生活中的實用性，善用身邊可用物品的想法很好。建議增加實驗過程中三用電錶讀值紀錄，依此數據作圖，會較“時間”的記錄更確實。