

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040812

灰灰，遠離我吧之靜電板擦研究

學校名稱：國立屏東女子高級中學

作者： 高二 吳婉綾 高二 林妮臻	指導老師： 陳文進 黃再鴻
-------------------------	---------------------

關鍵詞：板擦、靜電、韋氏起電機

灰灰，遠離我吧之靜電板擦研究

摘要

本研究是爲了改善擦黑板時粉灰任意飄散的情形，在使用一般板擦擦黑板時，粉灰累積到一定的量，會開始掉落而飄散到空氣中，影響使用者的健康，有鑑於此，改善此情形是本實驗的目標。

「擦黑板時，如果能增加板擦的吸附能力，可以減少飄散在空氣中的粉灰」，爲本組之最大目的。起初我們找了許多方法，而最後以靜電原理設計裝置，在不破壞板擦原型的前提下，利用電線導引靜電於板擦上。經過多次實驗證實，將裝置裝於板擦後，其吸附粉灰的量有明顯增加，確立了靜電板擦之可行性，達到了本組之目的。

壹、研究動機

粉筆灰是學生每天都無可避免去接觸到的東西，老師就更不用說了，根據新聞報導，老師因吸入過多的粉筆灰，而導致慢性咽喉炎司空見慣。班上一些同學有過敏症狀，擦黑板時，吸入粉筆灰，使他們難受地直打噴嚏。每當輪到我們擔任值日生，總會有些害怕，因爲擦黑板時，粉筆灰會不受控制地隨意飛舞，甚至讓頭髮佈滿粉灰，好像皚皚雪花一般，而同學們會不由自主地議論紛紛，常使我們非常困擾。

在一次偶然的機會中，參加了「神祕的光球」之演講，教授介紹電漿球的特性，它的每道光至少有好幾萬伏特，引起我們強烈的好奇心，上網搜尋後，意外發現了一段教學短片，老師正實際操作不同於電漿球特性的靜電球，他灑下了一些紙片，竟然都被靜電球吸住了，我們忽然有念頭興起，開始去找了靜電球的相關資料(清華大學物理系，無日期)，或許能運用靜電減少粉灰飄散在空氣中的機會，因此利用了靜電當主題，藉由此次科展，研究出另類板擦，以下是我們對於如何減少粉灰飄散在空氣中所做的研究。

貳、研究目的

本研究欲設計能『增加板擦吸附效果的裝置，以達到減少粉灰飄散在空氣中』之目的，而在實驗過程中，我們希望達到以下幾點：

- 一、利用靜電原理來設計實驗裝置。
- 二、裝置需有穩定及安全的高電壓。
- 三、以不破壞板擦原型爲前提，加裝裝置於板擦上，以減少粉灰在空氣中散佈的可能。

參、文獻探討

爲達到上述之目的，我們開始搜尋資料：

- 一、有人運用吸塵器的原理製作電動板擦(黃建嘉等，無日期)，其過程較爲複雜，我們想利用較簡單的原理達到減少粉灰飄散到空氣中的效果。

二、萊頓瓶一用以儲存靜電的裝置，作為原始形式的電容器。典型的萊頓瓶是一個玻璃容器，內外包覆著導電金屬箔。瓶口接上一個球形電極，利用導體(通常是金屬鎖鏈)與內側金屬連接(維基百科，無日期)。

三、從工業上(李富源，1984；易台生，無日期)看到對靜電除塵器的相關介紹，靜電除塵器是氣體放電的應用，可降低廢氣的污染。在排煙管中心軸與外壁間施以高電壓，外管接地，而中心軸為負電位，電力線由外壁指向中心軸，中心軸附近電力線密度甚大，使氣體游離而生成正負離子，其中負電荷由中心軸向管壁運動，撞擊煙塵使其帶負電而累積在管壁上，以減少排出氣體之煙塵。經由靜電除塵器的原理，佐證了我們想利用靜電吸附粉灰的可行性。

四、看到羅道正教授的電蚊拍教學應用，文章顯示一般空氣在電場強度超過 $3 \times 10^6 \text{V/m}$ 的條件之下會被游離而開始導電的物理特性，此稱為崩潰電場(羅道正，2002)，加上電蚊拍的靜電性質，我們嘗試用電蚊拍電路板(如圖 3-1)做裝置。

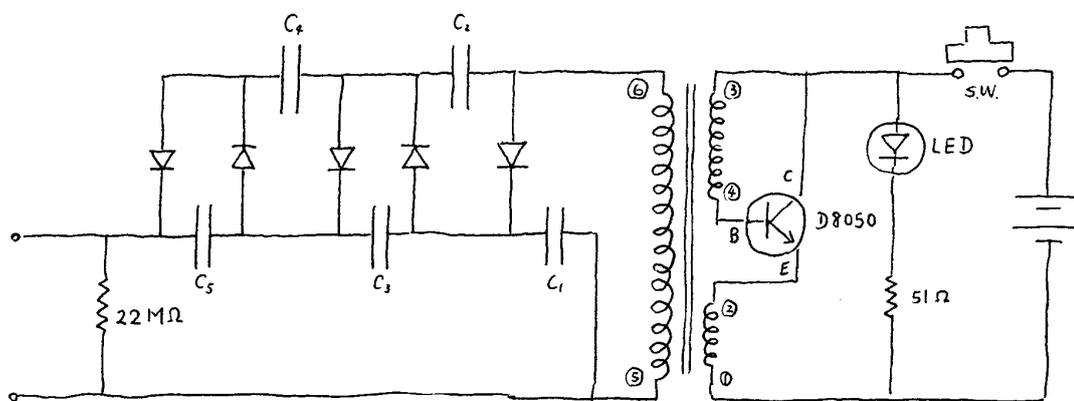


圖 3-1，電蚊拍電路板之電路圖(羅道正，2002)

五、韋氏起電機(如圖 3-2，3-3)由一套裝有金屬片的起電盤及萊頓瓶組成，它利用感應起電的方式，使兩個起電盤在快速旋轉時，一個帶正電一個帶負電，而裝有絕緣手柄的放電球頂部，則分別聚集大量不同電性的電荷，不需接觸，即可大量放電，擁有了高電壓。

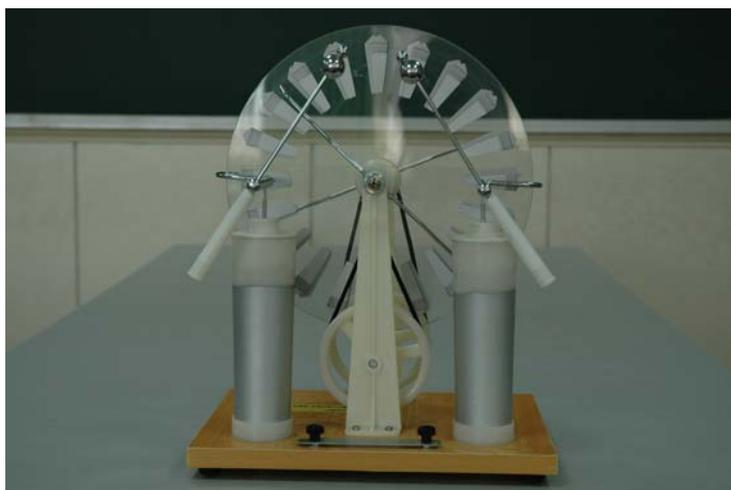


圖 3-2，韋氏起電機正面



圖 3-3，韋氏起電機背面

- 六、由於韋氏起電機產生之靜電，電壓高及電流十分微小之特性，實驗中無法直接由簡易測量儀器來測量電壓，因此本組利用崩潰電場之原理，以放電距離來推算電壓。
- 七、曲率半徑較小之處，其電荷之表面密度較大，彎曲程度最大之部分即為尖端，其所帶電荷密度到某一程度時，可使周圍之絕緣介質受到強烈感應而成游離，即所謂尖端放電效應。

肆、實驗假設

- 一、利用電蚊拍兩極產生的電場，使粉灰在飄落的過程中被極化，產生吸附的效果。
- 二、使用韋氏起電機產生靜電，可以吸引粉灰附著於板擦上。

伍、研究設備與材料

一、設備：

- (一)電子天平
- (二)電蚊拍電路板
- (三)韋氏起電機(放電距離：5~6cm,適合溫度：-2~40°C, 適合溼度：≤85%)

二、材料：

- (一)電線
- (二)板擦
- (三)粉筆
- (四)鋁片
- (五)厚紙板
- (六)鋁箔紙
- (七)鱷魚夾
- (八)長尾夾
- (九)CD 盒

陸、研究設計與結果

一、實驗一：證實庫倫定律

(一)理論探討

依據庫倫定律，兩電荷間之靜電力與電量乘積成正比，與距離平方成反比。(黃福坤譯，無日期)

庫倫定律公式：
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

F：兩帶電體間之靜電力

k：比例常數

q_1 、 q_2 ：帶電體所帶電量

r：兩帶電體間的距離

假設電場越大，板擦吸附粉筆灰的效果越好，因此本實驗擬先測量電極間之適當間距，以達到最好的吸附效果。

(二)器材：鋁箔紙(如圖 6-1)、電線、電蚊拍電路板(電壓 1200V)、電池x2、CD 盒x2、雙面膠、高斯計

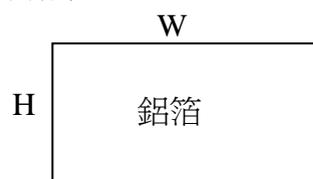


圖 6-1，鋁箔紙簡圖

W：鋁箔紙的寬度

H：鋁箔紙的高度

R：兩鋁箔紙的間距

(三)試做

1. 準備兩個光碟盒子，黏上鋁箔紙
2. 將兩條電線各自黏在鋁箔紙上後通電
3. 固定鋁箔紙高度 $H12.5\text{cm}$
4. 取兩鋁箔紙不同的間距 R 與寬度 W 來觀察

(四)實驗一結果

表 1：不同間距與寬度之鋁箔紙分析結果

次序	R(cm)	W(cm)	備註	結果	原因
1	7	12.5		失敗	粉筆灰顆粒太大
2	7	12.5	粉灰改細	失敗	間距太大
3	5	12.5	粉灰改細	成功	有細小顆粒吸附在表面
4	5	9.5	粉灰改細	成功	粉灰集中在下方
5	5	6	粉灰用倒的	成功	粉灰集中在下方
6	5	6	粉灰用削的	成功	吸附效果佳，粉灰均勻分布
7	5	6	①粉灰用削的 ②鋁箔紙較平整	成功	吸附效果比不平整的鋁箔紙好，且粉灰均勻分布
8	3	6	①粉灰用削的 ②鋁箔紙較平整	成功	吸附效果更佳，粉灰集中在上半部，只有少數粉灰掉落在下方
9	3	3	①粉灰用削的 ②鋁箔紙較平整	成功	①吸附效果非常顯著，粉灰一掉落便立即被吸附 ② R 短，沒有鋁箔的地方也會吸引粉灰，可能是因為電場太大，所以造成塑膠板也變成了導體
由高斯計測得：在兩鋁箔之間，通電後增加 0.02mG 的磁場(電磁波)，在鋁箔外圍接近鋁箔的地方增加 0.01mG 的磁場(電磁波)。					

(五)結論：此實驗不僅證實了庫侖定律「兩電荷間之靜電力與電量乘積成正比，與距離平方成反比」，還得知電蚊拍電路板的可行性，因此我們利用它作為電流的供應來源。

二、實驗二：檢視連接電蚊拍電路板的板擦裝置是否有效

(一)器材：板擦、厚紙板、鋁箔紙、電路板、迴紋針

(二)實驗設計及過程：

1. 將全新板擦拆除
2. 將厚紙板黏上鋁箔紙，製成雙口字型，並連上電路板兩極(如圖 6-2，6-3)，製作過程如圖 6-4

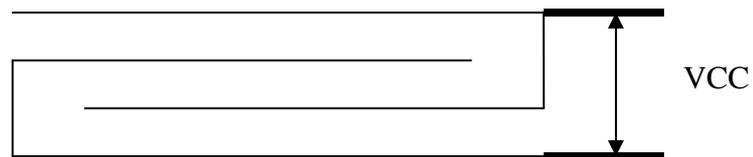


圖 6-2，雙 U 字型厚紙板裝置簡圖

3. 將棉絮塞入板擦，並把布覆蓋在板擦上，再用針線縫製
4. 開始實驗操作

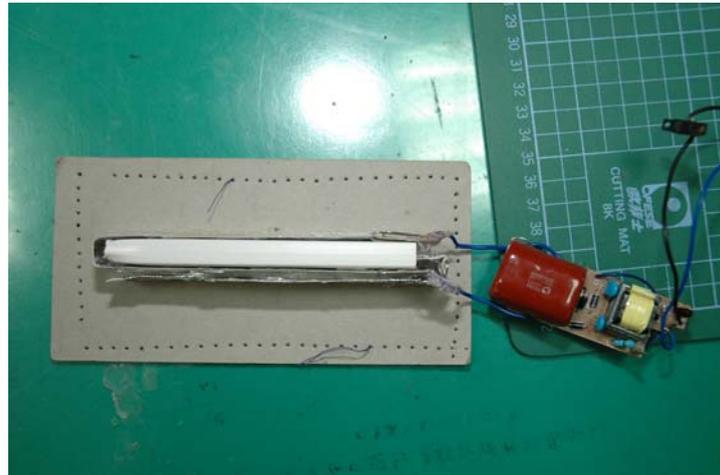


圖 6-3，裝置與電路板



圖 6-4，雙 U 字型厚紙板裝置之製作



圖 6-5，實驗之黑板



圖 6-6，對照組(左)與實驗組(右)



圖 6-7，以電子天平秤對照組



圖 6-8，以電子天平秤實驗組

(三)結論：

經由實驗發現，數據起伏太大呈現不穩定的狀態，探討後發現粉灰大小不一，1200 伏特(V)的電蚊拍無法吸附顆粒大的粉灰，又從文獻（黃鈺軫，無日期）得知電壓至少要 9000 伏特(V)才会有顯著的效果，因此我們想要升高電壓，但就我們的能力而言無法提高振盪電壓，所以進一步尋求其他方法。

回想起到校演講的教授曾提到韋氏起電機，它的放電球頂部分別聚集不同電性的電荷，不需接觸即可大量放電，表示它擁有高電壓，因此我們決定利用它來進行以下實驗。

三、實驗三：韋氏起電機的崩潰電場距離測量

(一)器材：尺、韋氏起電機

(二)實驗設計及過程：

固定兩極距離，並持續轉動韋氏起電機，觀察其是否放電
若無放電，則逐漸縮小距離，直到放電
得知崩潰電場距離後，推算其電壓

(三)結論：經由實驗三得知(如表 2)，我們持續轉動韋氏起電機時，發現兩極距離 6.2cm 以內時，會產生放電情形，若以崩潰電壓 $3 \times 10^4 \text{V/cm}$ 計算，實得電壓約為 18 萬伏特(V)。

表 2：韋氏起電機持續轉動之崩潰電場距離測量表

韋氏起電機持續轉動之崩潰電場距離測量											
測量次數(次)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
距離(cm)	15	13	10	8	7	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
有無放電	無	無	無	無	無	有	有	有	無	無	無

四、實驗四：韋氏起電機連接電線後的崩潰電場距離測量

(一)器材：韋氏起電機、電線、鱷魚夾、尺

(二)實驗設計及過程：

- 1.先將尺與電線(175cm)的 A 極固定於桌上
- 2.韋氏起電機在轉動不同圈數與持續轉的情況下，將 B 極慢慢靠近 A 極，直到兩極間放電(如圖 6-9)
- 3.測量連接電線後的崩潰電場距離，並推算其電壓

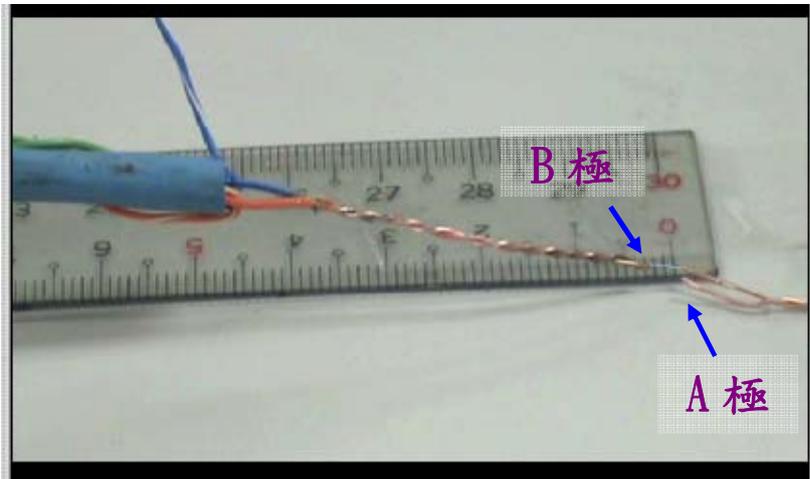


圖 6-9，兩極放電情形

(三)結論：

- 1.經由實驗四得知，韋氏起電機之崩潰電場距離隨著旋轉圈數的增加而有所變化(如表 3)，我們將電線連接到韋氏起電機上，在持續轉的狀態下，發現在兩極距離為 0.5cm 以內會產生放電情形，若以崩潰電壓 $3 \times 10^4 \text{V/cm}$ 計算，實得電壓約為 1 萬 5 千伏特(V)。

表 3：韋氏起電機之崩潰電場距離測量表

崩潰電場				
$3 \times 10^6 \text{ V/m} (3 \times 10^4 \text{ V/cm})$	1 圈	2 圈	3 圈	持續轉
第 1 次測量(cm)	0.3	0.3	0.3	0.5
第 2 次測量(cm)	0.1	0.3	0.2	0.5
第 3 次測量(cm)	0.2	0.3	0.1	0.5

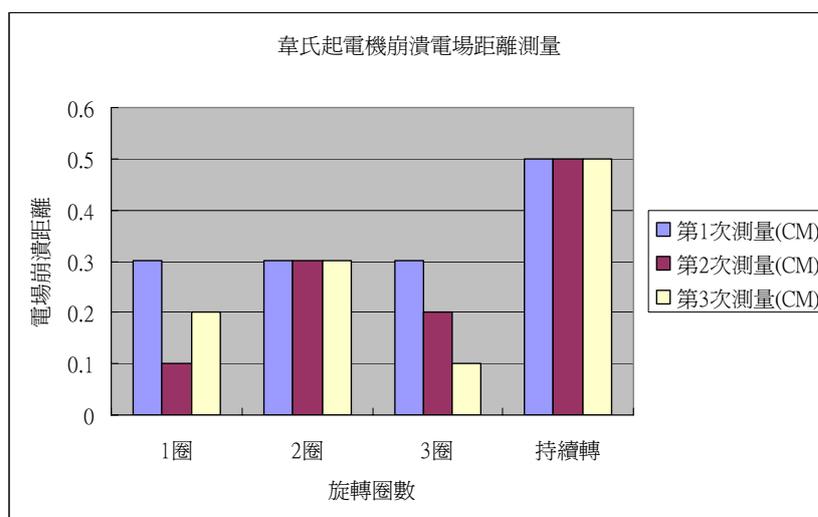


圖 6-10，韋氏起電機崩潰電場距離測量之長條圖

2.由上述實驗推知，若在沒有持續轉的狀態下，電場因電線長度增加而減弱，電壓呈現不穩定的狀態，由此得知在實驗過程中，我們必須持續轉動韋氏起電機，以提供穩定的電壓。

3.由庫侖定律得知：

公式：
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

F：兩帶電體間之靜電力

k：比例常數

q₁、q₂：帶電體所帶電量

r：兩帶電體間的距離

韋氏起電機的電壓起初約為 18 萬伏特(V)，接上電線之後約為 1 萬 5 千伏特(V)，相差了 12 倍，下降幅度約 91.6%，但已經是先前電蚊拍電路板電壓(1200V)的 12.5 倍，足以做為電流的供應來源。

五、實驗五(空白實驗)：檢視接上韋氏起電機的板擦是否有效

(一)器材：板擦、鋁片、電線、韋氏起電機、鱷魚夾

(二)實驗設計及過程：

- 1.將整片鋁片(如圖 6-11)放入板擦中
- 2.連接電線至韋氏起電機上(如圖 6-12)
- 3.準備一張畫有 10cm×10cm 方格的白紙，讓粉灰均勻分布在方格上
- 4.板擦通電後，在白紙上方平行移動
- 5.觀察其粉灰吸附情形

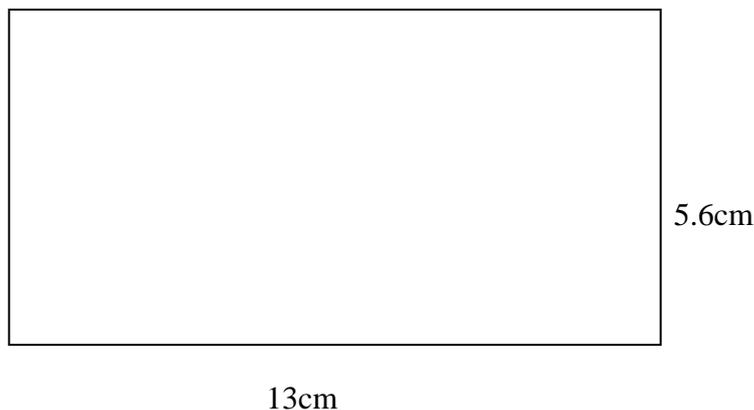


圖 6-11，鋁片長寬簡圖

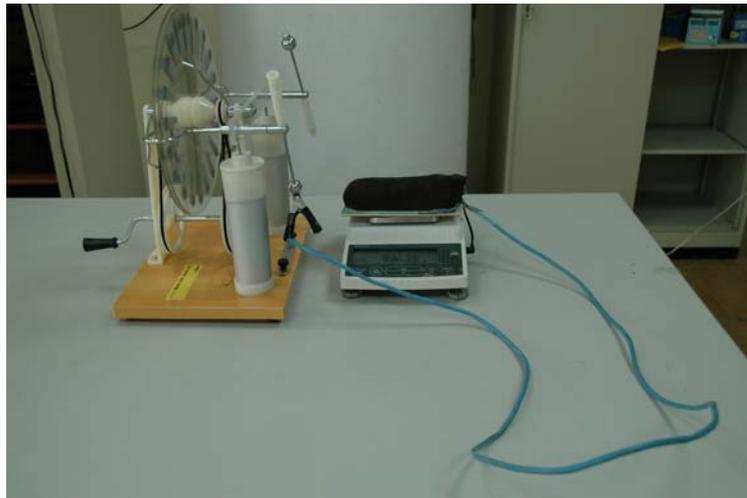


圖 6-12，連接電線至韋氏起電機上

(三)結論：

發現粉灰集中在板擦表面四周，吸附效果不佳，經文獻得知(林明瑞等，2008)，因尖端放電造成此結果，本組欲利用改變鋁片形狀以改善此情形。

六、實驗六：檢視改變鋁片形狀後是否有效

(一)器材：板擦、鋁片、電線、韋氏起電機、鱷魚夾

(二)實驗設計及過程：

- 1.將改變形狀後的鋁片(如圖 6-13)放入板擦中
- 2.連接電線至韋氏起電機上
- 3.準備一張畫有 10cm×10cm 方格的白紙，讓粉灰均勻分布在方格上
- 4.板擦通電後，在白紙上方平行移動
- 5.觀察其粉灰吸附情形

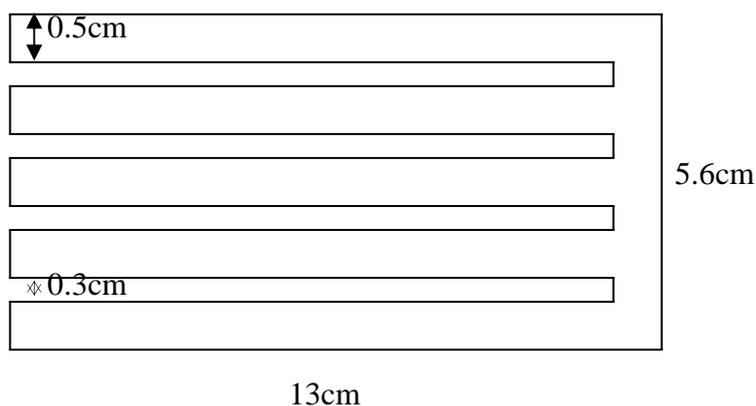


圖 6-13，鋁片改變形狀後之長寬



圖 6-14，使用銲槍將鋁片與電線連接



圖 6-15，板擦裝置內部

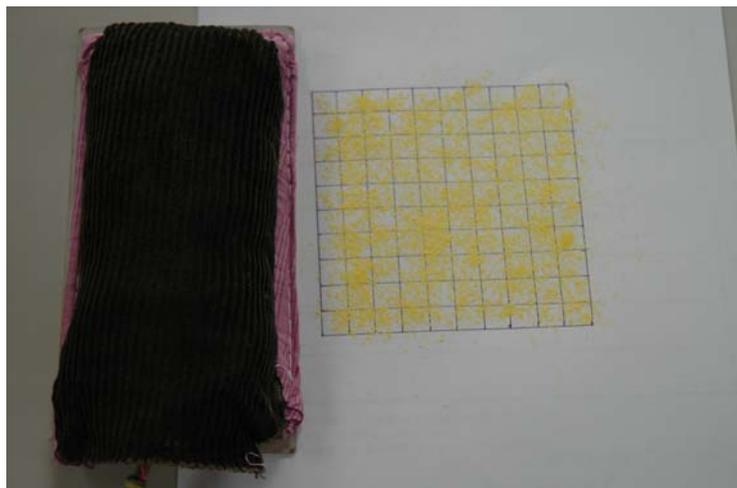


圖 6-16，實驗組板擦與均勻分布粉灰的方格(實驗前)



圖 6-17，使板擦在白紙上方平行移動

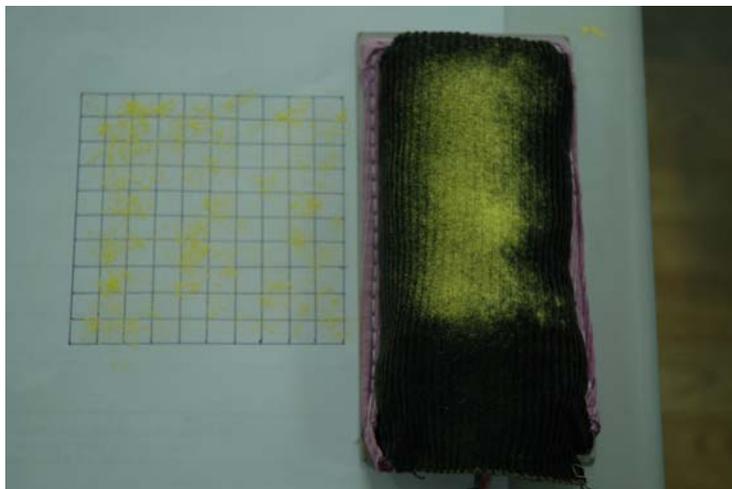


圖 6-18，實驗組板擦吸附情形與方格紙(實驗後)

(三)結論：

發現改變鋁片形狀後，粉灰呈均勻分布，吸附效果較實驗五明顯，本組將利用改變形狀後的鋁片，進行後續的實驗。

七、實驗七：對照組(一般板擦)與實驗組(靜電板擦)擦黑板後所增加之重量測量

(一)器材：板擦、鋁片、電線、韋氏起電機、鱷魚夾。

(二)實驗設計及過程：

- 1.用粉筆將黑板任意塗滿(如圖 6-19)。
- 2.分別操作對照組(如圖 6-21)與實驗組(如圖 6-22)，每一次的實驗都是持續地擦黑板，直到粉灰嚴重掉落時，用電子天平秤重，秤重後再繼續擦黑板，直到板擦重量不再增加為止。
- 3.加以比較兩組所增加的粉灰重量。



圖 6-19，實驗之黑板

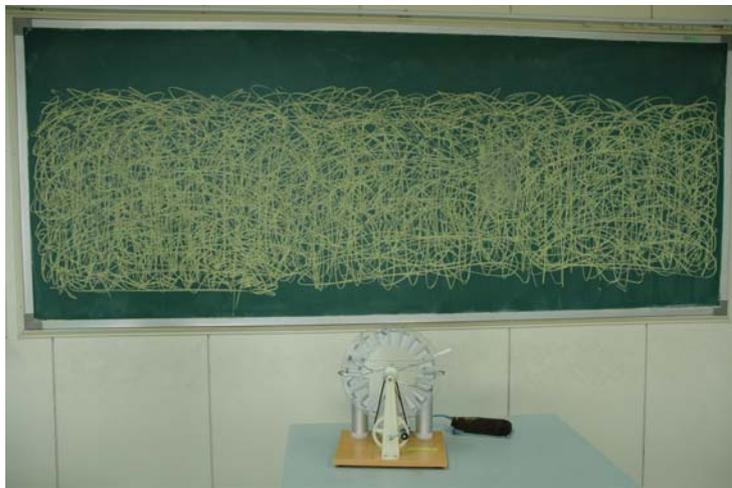


圖 6-20，實驗之黑板與韋氏起電機



圖 6-21，對照組擦拭黑板



圖 6-22，實驗組擦拭黑板

(三)結論：實驗後發現本實驗設計的方法：「持續擦黑板直到板擦不能再擦為止」與現實生活不符，而使用此方法，因粉灰量太多導致結塊掉落，以至於無法判斷粉灰掉落是因為靜電力超過負荷還是摩擦力無法承受粉灰重量，變因太多導致實驗不嚴謹，因此我們改用擦拭相同面積(100 cm×100 cm)的方式，以減少粉灰量，進行以下實驗。

八、實驗八：擦拭相同面積下，對照組與實驗組所增加之重量測量

(一)對照組

1.器材：板擦、鋁片、電線、鱷魚夾、木板(100cm×100cm)

2.實驗設計及過程：

(1)首先用 100cm×100cm 的木板(如圖 6-23)當標準，在黑板畫上方格

(2)用粉筆在方格上均勻塗滿(如圖 6-24、圖 6-25)

(3)以一般擦黑板的方式，把方格擦乾淨(如圖 6-27、圖 6-28)

(4)將板擦放於電子秤上，秤得其重量，再加以比較

(二)實驗組

1.器材：板擦、鋁片、電線、韋氏起電機、鱷魚夾、木板(100cm×100cm)

2.實驗設計及過程：

(1)首先用 100cm×100cm 的木板當標準，在黑板畫上方格

(2)用粉筆在方格上均勻塗滿

(3)持續轉動韋氏起電機，使裝置通電，以一般擦黑板的方式，把方格擦乾淨

(4)將裝置放於電子秤上，秤得其重量，再加以比較



圖 6-23，以木板為範圍標準



圖 6-24，於黑板上以粉筆填滿方格



圖 6-25，於黑板上以粉筆填滿方格

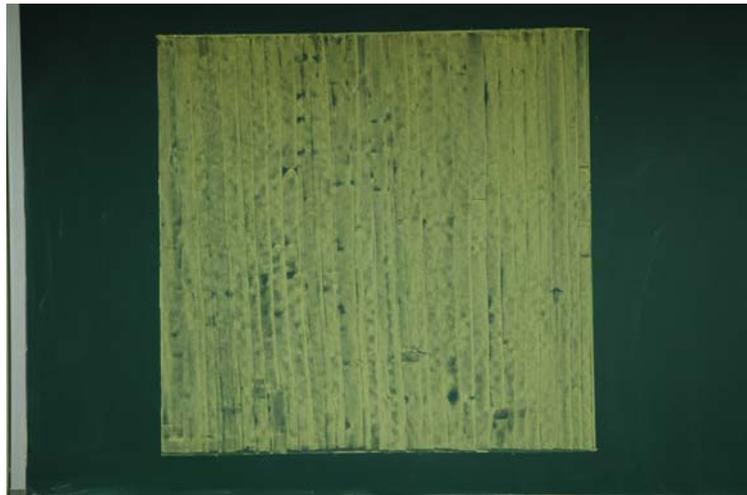


圖 6-26，黑板方格近照



圖 6-27，對照組擦拭黑板



圖 6-28，實驗組擦拭黑板



圖 6-29，板擦擦拭前重量測量



圖 6-30，板擦擦拭後重量測量

(三)結果：每次擦完黑板後，板擦所增加之重量如表 4，圖 6-31 表示數據分佈情形。

表 4：板擦所增加之重量 單位：公克(g)

次數	對照組	實驗組
1	1.575	1.397
2	1.696	2.011
3	1.921	1.806
4	1.957	2.255
5	1.453	1.644
6	1.640	2.364
7	1.518	1.996
8	1.323	1.932
9	1.660	1.685
10	1.656	1.899
11	1.511	1.920
12	1.910	2.324
13	1.739	2.440
14	2.098	1.963
15	1.699	1.900

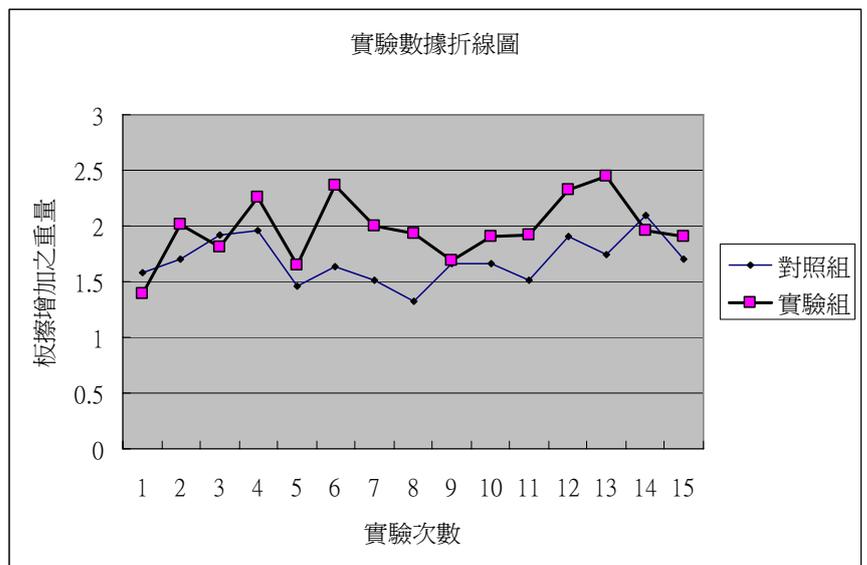


圖 6-31 實驗數據折線圖

由數據可明顯看出實驗組之粉灰增加重量比對照組多，經由計算可得實驗組比對照組增加的粉灰量約 16.6%，而由折線圖可看出實驗組的整條曲線幾乎在對照組之上，只有少數幾次在對照組之下，我們判斷是誤差所造成，造成誤差的原因可能是因為週遭環境的影響，例如風的強弱、空氣的溼度及溫度等，因此我們使用 Excel 之 T 檢定功能，檢驗本實驗之準確性。

(四)統計結果：本實驗數據以 Excel 之 t 檢定功能量測所得數據如下

1.組別統計量

組別	對照組	實驗組
個數	15	15
平均數	1.690	1.969
標準差	0.209	0.286

2.獨立樣本檢定

變異數相等的 Levene 檢定

F 檢定(同質性檢定) : 0.786

顯著性 : 0.383

經 F 檢定可設定變異數相等，亦即二組的數據變異並沒有很大的差異，可以使用 t 檢定進行顯著性比較

3.平均數的 t 檢定

t 值 : -3.05

自由度 : 28

顯著性 : 0.005

平均差異 : -0.279

經由 t 檢定發現，顯著性在 $p < 0.05$ 的信心水準下，已達顯著差異，顯示實驗結果支持本實驗之假設，已達到實驗目的。

柒、結論

本實驗的目的為「在教室擦黑板時，減少粉灰在空氣中散佈的可能」，而從實驗結果來看，我們已得到以下結論：

- 一、利用靜電吸附粉灰的做法是可行的。
- 二、用韋氏起電機可使靜電板擦達到穩定且持續及安全的高電壓，電壓比起初的電蚊拍電路板增加了 12.5 倍。
- 三、在不破壞板擦原型的情況下，成功地將裝置加裝於板擦上，符合本實驗之目的。
- 四、經由實驗數據的得知，靜電板擦所吸附的粉灰量比一般板擦明顯增加，可見靜電板擦吸附了部份飄散在空氣中的飛灰。
- 五、經由 t-test 之 F 檢定得知實驗組與對照組的同質性很高，所以可以使用 t 檢定進行顯著性比較，由數據得知顯著性達 0.005，表示有 99.5%的準確性，支持了實驗的可信度，也證明本組所設計的靜電板擦確實有其效果。

捌、未來展望

- 一、使用靜電板擦時，電線需要連接於韋氏起電機上，因此擦黑板時常常要顧慮到電線，造成使用上的困擾，針對此缺點，本組希望未來能夠朝無線板擦的方向改進，並在板擦裡頭以電容器原理加裝儲電荷裝置(杜日富，1996)，增加其方便性。
- 二、在實驗過程中，必須持續轉動韋氏起電機，以提供穩定的電壓，如此一來至少需要兩人才能擦黑板，不僅耗費人力也造成使用上的不便，本組希望未來能將韋氏起電機以電動裝置轉動起電盤，以改善此缺點。
- 三、韋氏起電機體積大，容易占空間，未來可嘗試縮小其體積，並與板擦結合。
- 四、經本組估算，韋氏起電機的零件並不貴，大量生產後更能降低成本，此裝置未來可朝商品化的方向發展。

玖、參考資料及其他

李富源(1984)。粉塵物性對濕式靜電集塵器集塵效率的影響。華岡工程學報，2。C.E.P.S 中文電子期刊服務。取自：

<http://www.ceps.com.tw/ec/ecjnlarticleView.aspx?jnlcattype=0&jnlptype=0&jnltype=0&jnliid=4029&issueid=70051&atliid=1187590>

杜日富(1996)。基本電學精釋(第二版)，第十章電容量，P165~P203。台北：千華圖書出版有限公司。

易台生(無日期)。靜電集塵，環境物理課程講義。中壢：中央大學未出版。

林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君(2008)。高中選修物理，上冊。台南：南一書局。

國立清華大學物理系(無日期)。韋氏起電機。2008.6.12 取自：

<http://140.114.80.32/schoolpad/front/bin/ptdetail.phtml?Part=31&Category=17>

張慧貞(2007)。物理專題講演：神秘的光球。2007年12月7日講演講義。

清華大學物理系(無日期)。電漿球。2008.4.13 取自：

<http://140.114.80.32/schoolpad/front/bin/ptdetail.phtml?Part=31&Category=17>

黃建嘉、廖威皓、楊智傑、許志偉(無日期)。自動板擦機之研製。2008.3.7 取自：

<http://www.wfc.edu.tw/~wwwee/m10/04/03-01.pdf>。

黃鈺軫(無日期)。焚化廠規劃設計與灰渣之處置—中區、南區資源回收廠，P14~P15。取自：http://www2.kuas.edu.tw/edu/faa7/result_92/a4/04.pdf

黃福坤譯(無日期)。電學。Vojko Valencic。2008.09.10 取自：

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/CoLoS/JaCob/expel.html>

維基百科(無日期)。萊頓瓶。2008.8.21 取自：

<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%8E%B1%E9%A1%BF%E7%93%B6&variant=zh-tw>

羅道正(2002)。電蚊拍的教學應用。亞太科學教育論壇，第三版，第二冊。

【評語】 040812

作者使用高壓起電器，製造高壓來吸附空中之浮塵，理論上之構想不錯，也能夠清楚解說，難能可貴。然在生活應用上流於不實際且較繁複，應從目前已被廣泛應用且較簡易使用的產品（如捕蚊拍）來思考，引發靈感可能可以有進一步的發明。