

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

第三名

030827

靜電 in，粉塵 out!-靜電板擦研究

學校名稱：新北市立林口國民中學

作者： 國二 陳品仔	指導老師： 邱佩璇 王星哲
---------------	---------------------

關鍵詞：靜電、粉塵、靜電板擦

# 摘要

本研究利用"靜電吸附能力"結合板擦布摩擦吸粉的效果，製造出新一代靜電板擦。目前，成功研發出靜電板擦有三代：第一代板擦採用焊槍熔錫技術；第二代板擦採用無鉛鍍銀線穿繞技術；第三代板擦進一步將清潔功能與靜電集塵技術做結合。前兩代板擦使用電蚊拍的高壓電發電裝置製造靜電，將過去研究中瞬間大量製造高壓電擊靜電的起電機裝置縮小，但本研究發現比起單獨提升擦面靜電，提升板擦整體吸粉面積較能吸附更多粉量，因此第三代板擦利用即時清潔裝置清理至靜電集粉區來吸附更多粉量，而本研究的靜電板擦吸粉量實際應用在教室黑板時比傳統板擦吸粉量佳(可吸附 42%的粉量，傳統板擦只能吸附 31%的粉量)，未來將再進一步改良，使板擦使用時能更順暢。

## 壹、研究動機

在教室，粉筆和板擦一直都是老師、同學們的好幫手，但是我發現：每當板擦擦粉筆灰到一定程度時，粉筆灰總會隨意飄散至空氣中，造成空氣汙染與環境髒亂。查詢相關文獻後，發現歷屆科展資料：民國 98 年高中組"灰灰-遠離我吧之靜電板擦研究"中，提出利用「電蚊拍」的小型裝置所製造的「靜電」與「板擦」做結合，但卻沒有實際製作，該研究中為了符合實驗預期，使用韋氏起電機來瞬間大量產生靜電，但韋氏起電機體積大且重，若使用起電機配合板擦進行實驗，在使用上會造成極大的不便，因此本實驗決定採取小型高電壓裝置製造靜電並將之與板擦結合，讓使用者在擦黑板時，不僅可以增加板擦吸附的粉量，還能搭配即時清潔功能，使其一邊吸粉一邊清潔板擦，以達成簡易操作、方便使用又便宜的目的。

## 貳、研究目的

- 一、比較各式材質靜電吸力。
- 二、探討靜電板擦吸煙效果。
- 三、檢測各代靜電板擦吸粉效果。
- 四、檢測各式材質吸粉筆灰的最大量。

## 參、研究設備及器材

表一、實驗器材列表

物品名稱	使用數量	用途
85cm*55cm 黑板	一個	方便實驗進行
粉筆	數盒	製造粉灰
傳統板擦	數個	擦拭黑板
電子秤	一台	精密測量粉灰重量
秤量紙	一盒	避免粉灰與電子秤直接接觸
無鉛鍍銀線	一網	改良靜電板擦用
銅線	一網	打成銅片並改良靜電板擦
電蚊拍發電裝置	一組	靜電板擦發電裝置
傳統板擦外部棉布	一個	增加靜電板擦接觸摩擦力
壓克力透明罩	一個	防止煙散空氣中
線香	一包	製造煙
鮮豔色紙	一包	辨別清晰程度
靜電抹布	一個	充當板擦布材質
抹布	一個	實驗一研究對象
絲襪	數小個	實驗一研究對象
銲槍	一隻	熔錫用具
鐵鎚	一個	打扁銅線
焊錫線	一網	結合銅片的金屬材質

表二、第三代研發器材列表

物品名稱	使用數量	用途
螺絲起子	一隻	鎖螺絲
螺絲	數個	連接板擦外殼
木板	數片	製作板擦外殼
壓克力板	一片	靜電集塵版
齒輪組	數組	滾動板擦布
5v 行動電源	一個	提供電力
馬達	一個	帶動齒輪
鋁箔、塑膠袋	數個	摩擦產生靜電
絨布	兩網	製作板擦布及清潔區
銲槍	一隻	連接馬達及電線
無鉛鍍銀線	一網	延長電線接至行動電源
熱熔膠條	數隻	帶動清潔區轉動
細金屬軸心組	數組	固定大軸心
木軸	一個	帶動絨布轉動
橡膠貼片	數小個	防止板擦布滾動

## 肆、研究過程及方法

### 一、比較各式材質靜電吸力

利用單靠摩擦力吸粉筆灰的絲襪及擁有棉布本身摩擦吸粉力和水分協助清理的濕抹布當成兩種極端的實驗對象，而傳統板擦則是其他兩種實驗對象的中間比較者。

#### (一) 實驗一：板擦、絲襪和溼抹布吸力比較

- 1.查詢相關資料。
- 2.把教室內使用的 8 公分(9.6g)粉筆平均切成 4 等份，每塊平均 2 公分(重：2.4g)的粉筆均勻塗滿黑板。
- 3.分別以板擦、絲襪和溼抹布擦拭黑板。
- 4.以電子秤測量板擦、絲襪和溼抹布經擦拭過後的總重。
- 5.紀錄實驗結果。

#### (二) 實驗二：計算濕抹布粉灰實驗

- 1.用一條抹布洗濕(擰成重量相當抹布兩次)，第一次用以擦拭乾淨黑板第二次擦拭以 2cm(2.4g)的粉筆均勻塗滿的黑板。
- 2.測量抹布經擦拭後的重量。
- 3.假設 B(擦拭用粉筆塗滿黑板的抹布)應會比 A(擦拭乾淨黑板的抹布)重，而兩條抹布數據相減得差為抹布吸的粉灰量。
- 4.紀錄實驗結果。

### 二、探討靜電板擦吸煙效果

藉由研發各代靜電板擦的過程中，除了使用驗電瓶檢測靜電外，也使用比一般粉筆灰輕的煙霧來觀察靜電裝置的聚煙成效，並進一步預測目的三的吸粉成功率。

- 1.將線香兩根剪成四等分，用打火機分別點燃，個別放在有通電的靜電板擦盒子內的實驗組及沒有放板擦的對照組裡。

- 2.用大型塑膠罩罩住線香(留一點小縫使氧氣通過，以持續燃燒)。
- 3.用碼表計時 5 分鐘，5 分鐘一到便取出線香。
- 4.用肉眼觀察兩組桌面底色的變化。
- 5.紀錄結果。



圖一、對照組 5 分鐘前照片



圖二、實驗組 5 分鐘前照片



圖三、對照組 5 分鐘後照片



圖四、實驗組 5 分鐘後照片

### 三、檢測各代靜電板擦吸粉效果

使用自製的靜電板擦依序在黑板上擦拭，觀察實驗前後板擦重量變化。

#### (一) 實驗一：靜電板擦第一代

- 1.查詢相關資料。
- 2.拆解電蚊拍獲取其電路，依序用棉花、木頭當填充及增加高度。
- 3.利用電蚊拍發電裝置充當板擦內部填充。
- 4.板擦採用焊槍熔錫使打扁的銅片相接成雙 $\cap$ 型(如圖九照片所示)。
- 5.拆解一般電蚊拍使電蚊拍輸出端接至自製雙 $\cap$ 型板子。
- 6.分別使用靜電抹布、一般棉抹布和板擦布覆蓋在電路上。
- 7.把教室內使用的 8 公分(9.6g)粉筆平均切成 4 等份，每塊平均 2 公分(2.4g)，在黑板上均勻塗完粉筆。

8.以左至右、上至下單次擦完整面黑板。

9.利用電子秤秤量實驗前後粉筆灰重量百分比變化，比較與一般板擦黑板的差異，並紀錄實驗結果。



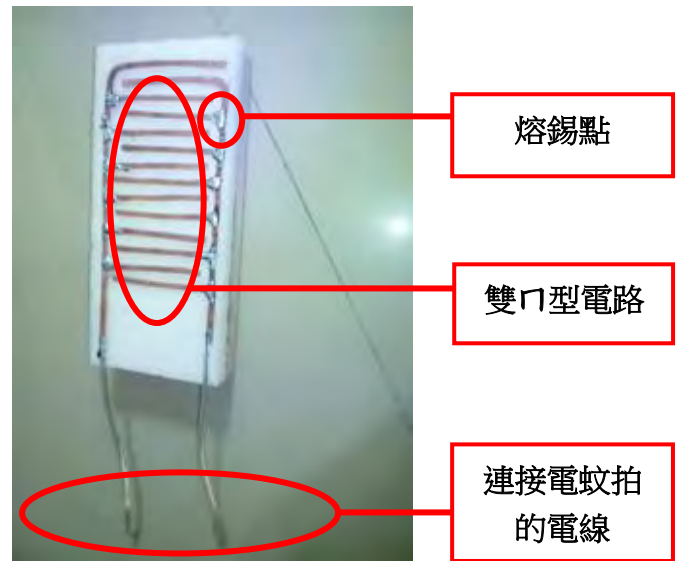
圖五、在黑板上均勻塗滿直到粉筆消失



圖六、粉筆消失後完整圖



圖八、一般板擦吸粉後照片



圖九、靜電板擦第一代示意圖

## (二) 實驗二：靜電板擦第一代(改良板)

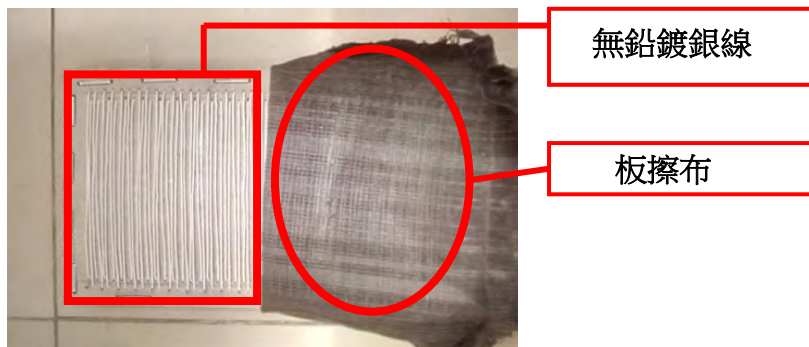
- 1.查詢相關資料。
- 2.拆解電蚊拍以獲取其電路。
- 3.依序用棉花、木頭當填充及增加板擦高度。

- 4.利用電蚊拍發電裝置充當板擦內部填充。
- 5.板擦採用焊槍熔錫使打扁的銅片相接成雙 $\Gamma$ 型。
- 6.連接一般電蚊拍(拆解其電路箱接正、負極至自製雙 $\Gamma$ 型板子。
- 7.拆解一般板擦布並覆蓋在自製靜電板擦電路上。
- 8.比較其通電有無的差異(測驗方法同實驗一)。
- 9.紀錄實驗結果。

### (三) 實驗三：靜電板擦第二代

由於研發第一代靜電板擦時，未考量到安全性及焊接點太厚導致接觸金屬通電等因素，導致第一代板擦使用較不方便。轉而使用特殊的無鉛鍍銀線(及一般銀線但外層漆有一層塑膠漆)來研發第二代靜電板擦。

- 1.用棉花當填充及增加板擦高度。
- 2.利用電蚊拍發電裝置充當板擦內部填充。
- 3.板擦採用無鉛鍍銀線密集整齊依序串在在用縫紉機穿洞的紙板洞孔上(比第一代板擦的雙 $\Gamma$ 形電路更加緊密)。
- 4.拆解一般電蚊拍使其電路接至自製雙 $\Gamma$ 型板子，並使用板擦布覆蓋在電路上。
- 5.比較通電與否的差異，並記錄實驗結果(測驗方法同實驗一，增設大小兩種不同的實驗範圍)(註：小面積實驗採 60cm\*30cm 的實驗範圍，中面積實驗採 85\*55 的實驗範圍)。



圖十、靜電板擦第二代示意圖





圖十一、塗滿粉筆的黑板照片



圖十二、未通電第二代板擦擦完黑板照片



圖十三、未通電板擦實驗後的黑板照片



圖十四、通電後第二代板擦擦完黑板照片



圖十五、通電板擦黑板實驗後照片

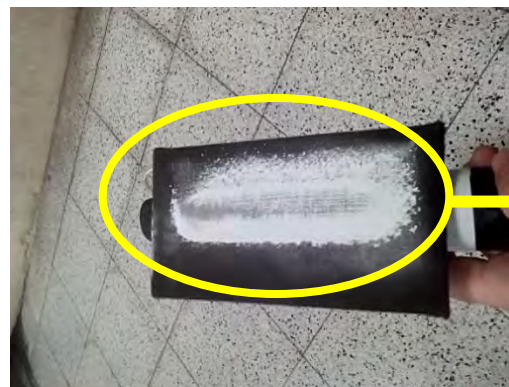


圖十六、小實驗範圍塗滿 0.8g 粉筆  
實驗前照片



粉筆灰較分散

圖十七、未通電第二代靜電板擦實驗後照片

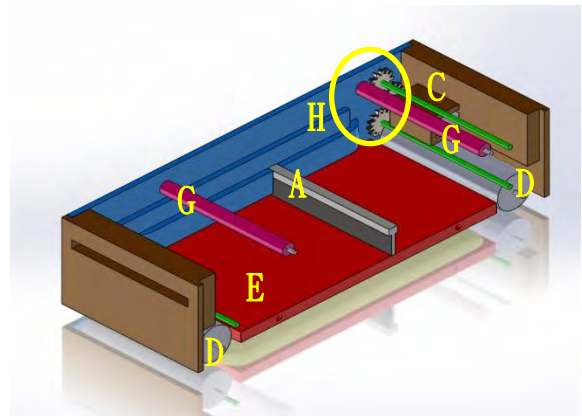
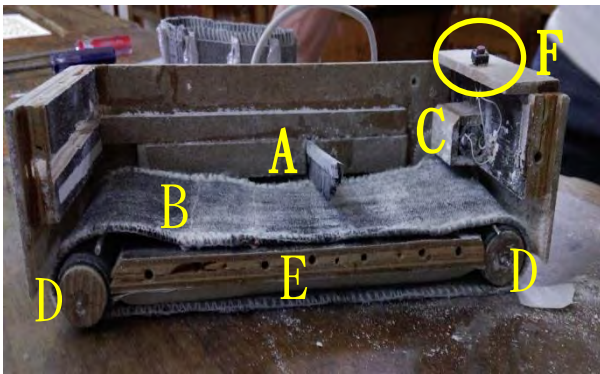


粉筆灰較集中

圖十八、通電第二代靜電板擦實驗後照片

#### (四) 實驗四：靜電板擦第三代

- 1.查詢相關資料。
- 2.切割板擦木製外殼並用海綿、塑膠袋、鋁箔及絨布製作擦面。
- 3.用壓克力板、碎布、鋁箔製成靜電供應區。
- 4.將刷子固定在壓克力板和擦拭區中間的清潔區。
- 5.利用齒輪及減速馬達帶動清潔區及靜電供應區。
- 6.比較自製板擦及傳統板擦吸粉差異(實驗方法同實驗一，實驗範圍新增為 20cm\*50cm、50cm\*80cm、100cm\*100cm、100cm\*200cm、100cm\*300cm、100cm\*400cm)。
- 7.紀錄實驗結果。



- A: 刷子                      B: 板擦布                      C: 減速馬達                      D: 木軸  
E: 海綿(板擦內部填充)      F: 通電按鈕                      G: 塑膠軸                      H: 齒輪區

圖十九、靜電板擦第三代示意圖(左圖為實體；右圖為內部結構圖)



圖二十、布滿粉筆的黑板



圖二十一、傳統板擦實驗後照片

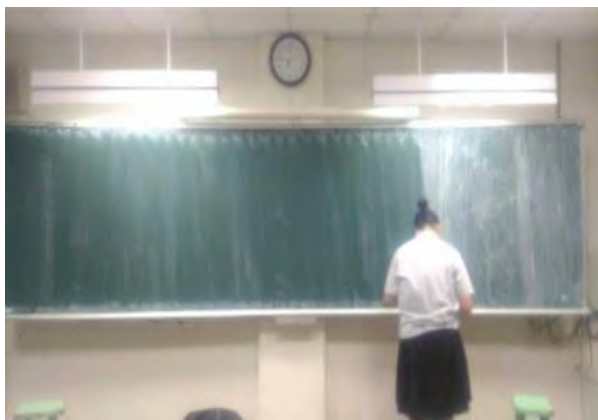




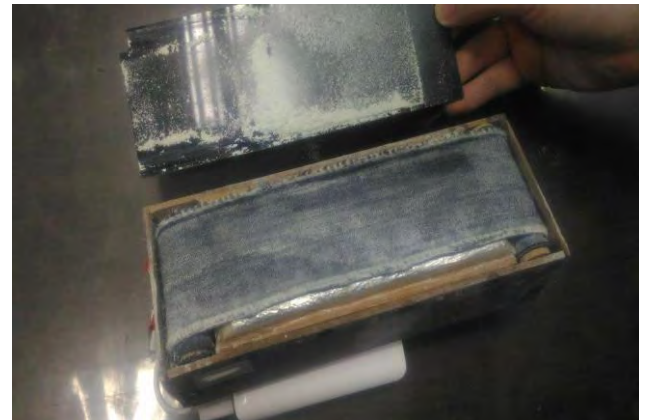
圖二十二、傳統板擦實驗時照片



圖二十三、傳統板擦實驗後照片



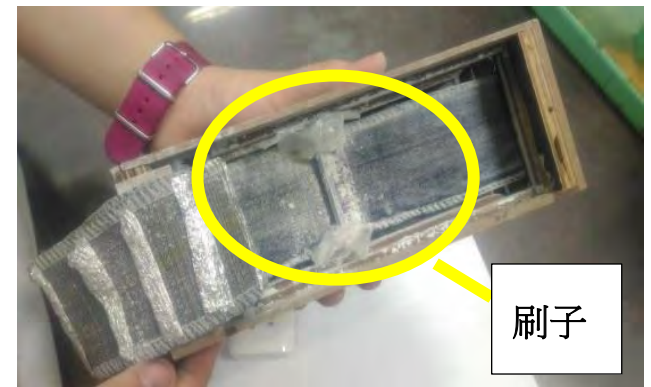
圖二十四、靜電板擦實驗時照片



圖二十五、靜電板擦及壓克力板實驗後照片



圖二十六、靜電板擦實驗後黑板照片

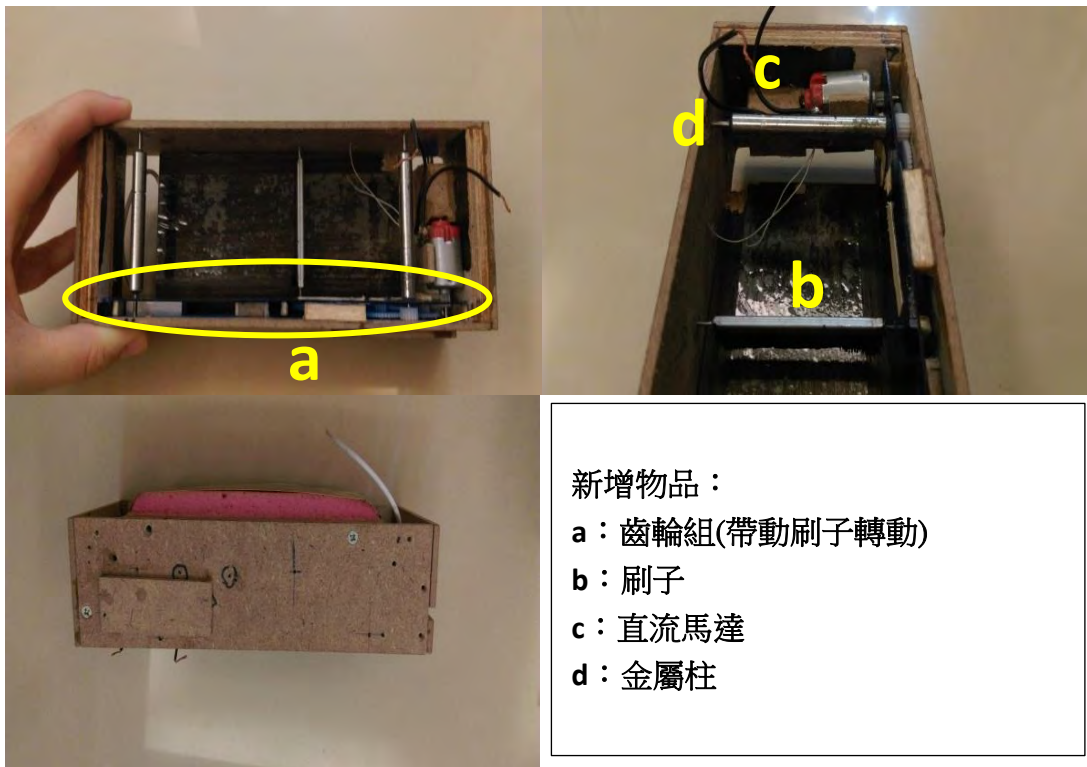


圖二十七、靜電板擦實驗後內部照片

#### (五) 實驗五：靜電板擦第四代

- 1.查詢相關資料。
- 2.切割板擦木製外殼並用海綿、塑膠袋、鋁箔及絨布製作擦面。
- 3.利用塑膠板、齒輪組、一般轉速馬達製作轉動式刷子

- 4.用壓克力板、碎布、鋁箔、皮帶、金屬軸製成類似范氏起電機的靜電供應區。
- 5.將刷子固定在壓克力板和擦拭區中間的清潔區。
- 6.利用齒輪及減速馬達帶動清潔區及靜電供應區。
- 7.比較自製板擦及傳統板擦吸粉差異(測驗方法同實驗一，實驗範圍新增為 20cm\*50cm、50cm\*80cm、100cm\*100cm、100cm\*200cm、100cm\*300cm、100cm\*400cm)。



圖二十八、靜電第四代板擦研發中照片

#### 四、檢測各式材質吸粉筆灰的最大量

將靜電板擦第二代，傳統板擦及濕抹布一同比較吸粉筆灰的最大量以證明自製的板擦有良好成效。

##### (一) 實驗一、傳統板擦吸粉筆灰的最大量

- 1.把教室內使用的 8 公分(平均 9.6g)粉筆平均切成 4 等份，每塊平均 2 公分(2.4g)。
- 2.在黑板上均勻塗完粉筆。

- 3.拿一個乾淨的板擦以左至右、上至下單次擦完整面黑板。
- 4.利用電子秤測量板擦實驗前後的重量，並重複十次實驗，觀察每次粉筆灰重量。
- 5.紀錄實驗結果。

(二) 實驗二、靜電板擦第二代吸粉筆灰的最大量

- 1.把教室內使用的 8 公分(平均 9.6g)粉筆平均切成 4 等份，每塊平均 2 公分(2.4g 重)。
- 2.在黑板上均勻塗完粉筆。
- 3.用靜電板擦第二代以左至右、上至下單次擦完整面黑板。
- 4.利用電子秤測量板擦實驗前後的重量，並重複十次實驗，觀察每次粉筆灰重量。

## 伍、研究結果

### 一、比較各式材質靜電吸力

(一) 實驗一、絲襪、板擦、溼抹布吸粉重量多寡比較

此實驗選用一般教室用板擦、溼抹布及絲襪做為實驗對象，主要目的為：絲襪:利用摩擦力吸粉筆灰；濕抹布:棉布凹槽清理和水分。藉此來和一般教室用板擦作比較，未來將陸續使用多種各方材料來和一般傳統板擦比較吸粉效果。

表三、各式材質平均吸力比較(實驗一)

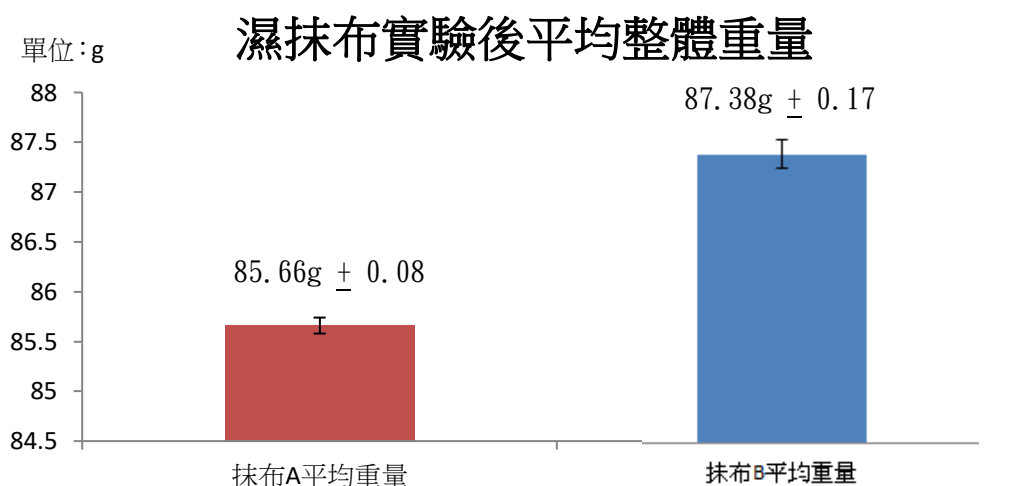
	一般板擦(單位:g)	濕抹布(單位:g)	絲襪(單位:g)
實驗前重量	67.2	87.2	1.1
實驗後重量	68.5	87.38	1.08
增加重量(g)	1.3	1.8	0.8

(詳見附錄表十七)

- 1.由於實驗後溼抹布水分減少，因此實驗二將設計出其他實驗來計算溼抹布實驗後增加重量(表三數據已將濕抹布實際增加重量算出)。
- 2.單靠摩擦產生的靜電吸力(絲襪)無法有良好的效果。反之，傳統板擦在擦拭黑板上還是比絲襪的結果來的理想。
- 3.在實驗一中，最後一次測試絲襪的實驗前後重量呈現減少 0.1g 的情形，推測是因為絲襪在此實驗是使用人工剪裁成型，所以才有可能因此造成實驗誤差。

(二) 實驗二、計算溼抹布吸粉重量

由表十七可知：實驗後溼抹布水分減少，因此實驗二將設計出此實驗來計算溼抹布實驗後增加重量。



圖二十九、濕抹布吸粉與吸水實驗前後整體重量變化情形之直條圖(實驗二)

表四、 濕抹布擦拭不同黑板重量變化(實驗二)

	抹布 A (g)	抹布 B (g)	抹布 A 減水量(g)	抹布 B 增粉量(g)
實驗前重量	87.2	87.2		
實驗後重量	85.7	87.5	1.5	1.2

(詳見附錄表十八)

(註：抹布 B 為擦拭用粉筆塗滿黑板的抹布；抹布 A 為擦拭乾淨黑板的抹布)

- 1.由表四中數據結合表三數據，可證明：溼抹布擦黑板會最乾淨。



## 二、探討靜電板擦吸煙效果

### (一) 實驗一、絲襪、板擦、溼抹布吸粉重量多寡比較

除了用驗電瓶檢測自製靜電板擦是否有靜電存在外，還設計出用“煙霧”能見度的清晰程度來證明靜電板擦吸力強弱。



圖三十、點燃線香 0 分鐘示意圖



圖三十三、通電 0 分鐘示意圖



圖三十一、點燃線香 5 分鐘照片



圖三十四、持續通電 5 分鐘示意圖



圖三十二、靜置 15 分鐘照片



圖三十五、持續通電 15 分鐘示意圖

1.此實驗證明出：隨著電蚊拍持續通電，壓克力罩子內的色紙會越變越清晰，推測：通電時間與清晰程度成正比。

2.對於電壓 1200 伏特的高壓電電蚊拍發電裝置來說，雖然實驗效果不

能和韋氏起電機的聚煙效能相提並論，但此實驗已初步證明電蚊拍是有著足以吸煙(吸粉)的功能。

### 三、檢測各代靜電板擦吸粉效果

#### (一) 實驗一：靜電板擦第一代

由於在設計第一代板擦時，未考量到 1.熔點太厚 2.電路為開放式空間，容易使得實驗進行中和人體接觸帶來危險，因此，進而研發第二代靜電板擦。

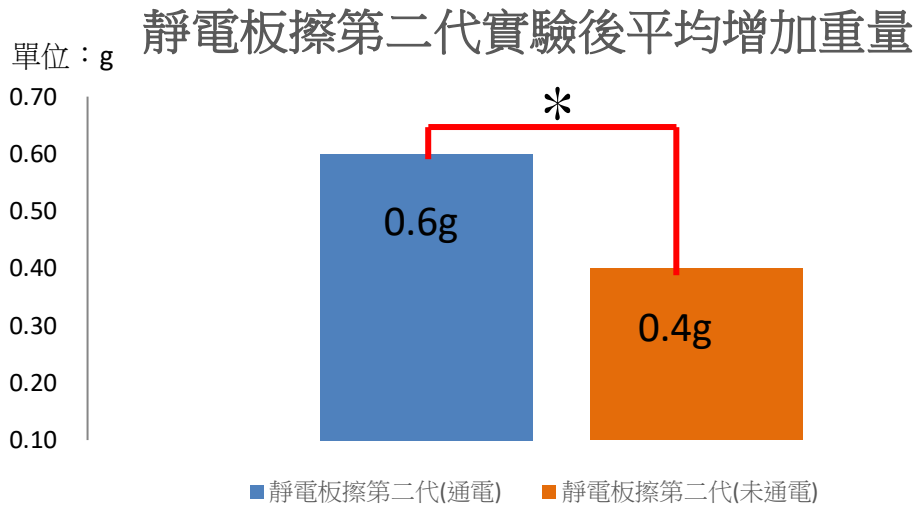
表五、以不同方式測量靜電板擦第一代實驗前後整體重量變化

傳統板擦		靜電板擦加靜電抹布(通電)		靜電板擦加靜電抹布	
實驗前	實驗後	實驗前	實驗後	實驗前	實驗後
67.2g	68.7g	281.4g	282.2g	281.4g	282.6g

- 1.靜電板擦第一代之所以只放一次實驗數據是因為在做完幾次實驗後發現實驗前後實驗數據變化量不大(實驗前後增加 0.8g 的板擦是因為擦拭面積大及靜電抹布吸力佳導致)！這樣的現象我認為是因為靜電力不夠強導致其靜電無法傳至抹布與黑板表面接觸，因此事後使用驗電瓶測量靜電板擦加布後是否有靜電傳達抹布表面，而結果為：兩片鋁箔無張開或密合等於毫無靜電存在。
- 2.第一代未鋪布的靜電板擦雖然沒有厚布的問題，但是由於銅片是導電性極佳的材質，所以在和有磁性的黑板表面接觸時會產生劈啪劈啪的聲音，推測是因其有磁性的金屬材質導致電路與黑板接觸並通電導致。
- 3.靜電板擦第一代(改良板)未加厚布的靜電板擦的確大幅改善了靜電不足對於實驗的影響。但是由於銅片熔錫點太厚，使板擦薄布無法阻止熔點與板擦接觸通電，故而捨棄。



(二) 實驗二：靜電板擦第二代



圖三十六、靜電板擦第二代小面積實驗範圍實驗後平均增加重量

表六、靜電板擦第二代實驗前後小面積實驗範圍整體重量變化

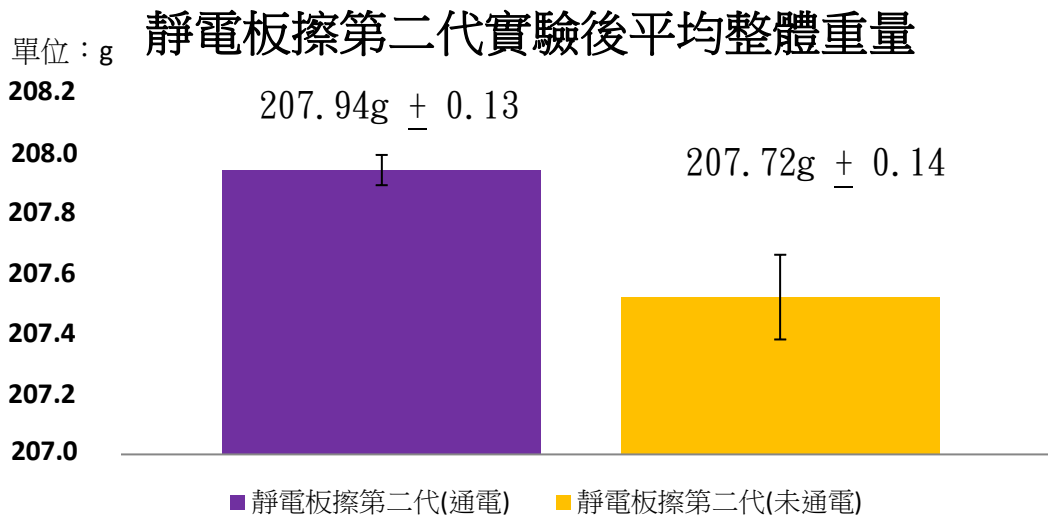
通電後板擦平均增加吸粉重量百分比	40%	通電後板擦平均增加吸粉重量	0.56	實驗後板擦平均整體重量(通電)	207.16
------------------	-----	---------------	------	-----------------	--------

小結：未通電實驗後平均重量(207.0g)比實驗前增加了 0.4g；通電實驗後平均重量(207.16g)比實驗前增加了 0.56g。

——> 通電增加粉量後平均重量變化的百分比為 40%。

表七、靜電板擦第二代(中面積實驗範圍)實驗前後整體重量變化

實驗前板擦平均重量： 206.6g	實驗後重量(通電)	208.1g
	實驗後重量(未通電)	207.9g



圖三十七、靜電板擦第二代中面積實驗範圍實驗後整體重量變化

表八、靜電板擦第二代實驗前後中面積實驗範圍整體重量變化

通電後板擦平均增加吸粉重量百分比	20%	通電後板擦平均增加吸粉重量	1.34	實驗後板擦平均整體重量(通電)	207.94
------------------	-----	---------------	------	-----------------	--------

小結：未通電實驗後平均重量 207.72g 比實驗前增加了 1.12g；通電實驗後

平均重量 207.94g 比實驗前增加了 1.34g。

→ 通電後平均增加粉量百分比為 20%。

(三) 實驗三：靜電板擦第三代

表九、傳統板擦各式範圍平均吸粉重量

項目 \ 範圍	20cm*50cm	100cm*100cm	100cm*200cm	100cm*300cm
原先粉筆重	0.42	3.04	4.7	6.15
第一次粉筆落塵量 (粉筆塗佈落塵量)	0.2	0.78	0.9	2
實際塗在黑板的粉重	0.3	2.26	3.8	4.15
板擦吸附的粉量	0.2	1.02	1.2	1.7
第二次粉筆落塵量 (板擦擦拭落塵量)	0.04	0.18	0.4	1.35
黑板殘留粉量	0.06	1.06	2.2	1.1
吸粉百分比	66%	45%	31%	40%

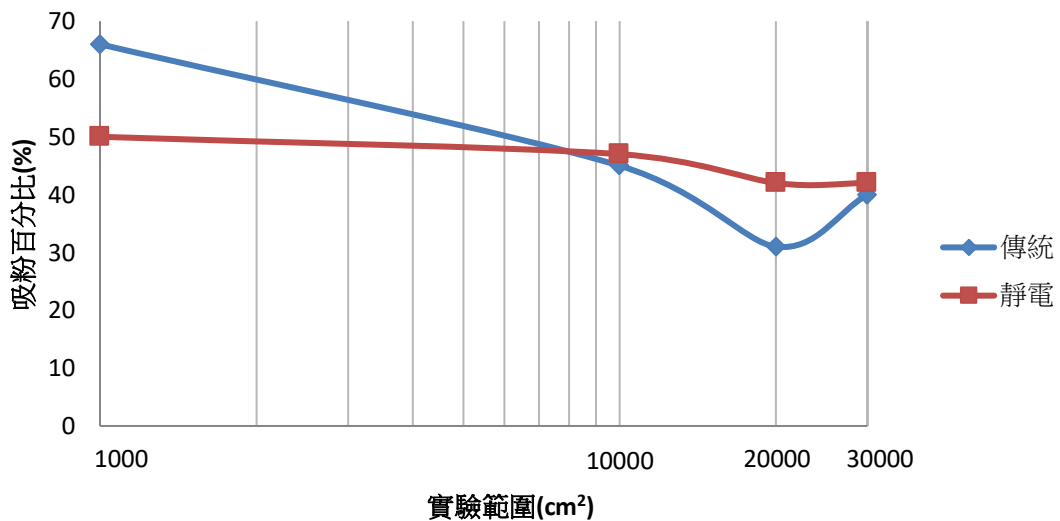
表十、靜電板擦第三代各式範圍平均吸粉重量

項目 \ 範圍	20cm*50cm	100cm*100cm	100cm*200cm	100cm*300cm
原先粉筆重	0.3	3.0	4.8	6.3
第一次粉筆落塵量 (粉筆塗佈落塵量)	0.1	0.9	1.5	2.5
實際塗在黑板的粉重	0.2	2.1	3.3	3.8
板擦吸附的粉量	0.1	1.0	1.4	1.6
第二次粉筆落塵量 (板擦擦拭落塵量)	0	0.3	0.9	0.3
黑板殘留粉量	0.1	0.8	1.0	1.9
吸粉百分比	50%	47%	42%	42%

1.由表九及表十可得：隨著實驗範圍加大，吸粉百分比也會下降，故我們推測：每多吸附粉筆灰時，板擦布會剩下越少空間吸附其他多餘粉筆灰，導致整體吸粉百分比下降。

- 2.在 200cm\*100cm 實驗範圍中，靜電板擦和傳統板擦的比較最明顯 (42%和 31%)。
  - 3.在多數實驗範圍中，靜電板擦吸附粉量百分比皆比傳統板擦多。
  - 4.在 100cm\*100cm 及 100cm\*200cm 實驗範圍中，靜電板擦黑板殘留粉量少於傳統板擦。
  - 5.在 20cm\*50cm 及 100cm\*300cm 實驗範圍中，靜電板擦黑板殘留粉量多於傳統板擦。
- 推測原因為：1.自製板擦布材質 2.板擦木製外殼。
- 6.靜電板擦的木製外殼呈長方形導致視線遮蔽，無法擦到某些範圍。

### 靜電板擦和傳統板擦吸粉百分比趨勢



圖三十八、不同範圍板擦吸粉百分比

- 1.範圍越大，傳統板擦吸粉百分比下降較快速；自製靜電板擦吸粉百分比則大多維持在 40%左右。

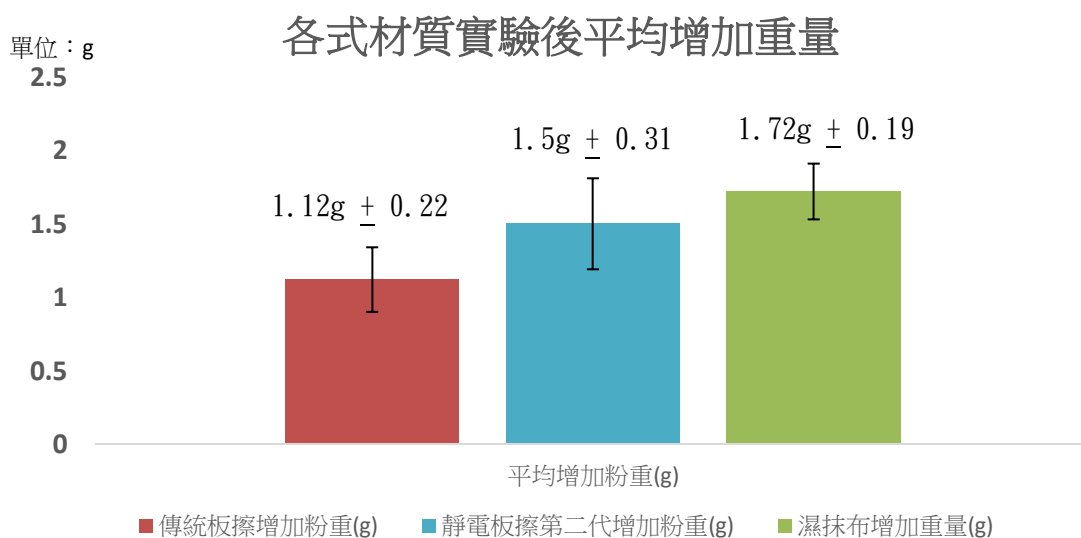
#### 四、檢測各式材質吸粉筆灰的最大量

比較目的一中吸力最佳的濕抹布吸粉量、傳統板擦及自製靜電板擦吸粉多寡。

##### (一)各式板擦實驗前後重量變化

表十一、各式板擦實驗前後重量變化

	傳統板擦	靜電板擦第二代
粉筆實驗前平均重量	2.4g	2.4g
板擦實驗前重量	67.2g	206.6
板擦實驗後重量	68.32g	208.1g
實驗後增加粉重	1.12g	1.5g



圖三十九、各式材質實驗後增加重量變化

- 1.由表十一及圖三十九都可發現：傳統板擦實驗後整體重量幾乎維持在 67-68g；靜電板擦實驗後整體重量幾乎維持在 207-208g。
- 2.由圖三十九中可觀察到：濕抹布依然是所有材質中吸粉筆灰最多的材質，增加重量為 1.72g。

## 陸、討論

- 一、在進行濕抹布擦黑板的實驗時，時常觀察到一個現象—若不先用板擦擦拭一次黑板就直接用濕抹布擦黑板，會發現當黑板全乾時會有一條一條白色粉筆機殘留的跡象。上網查詢資料後發現關於此情形的解釋眾說紛紛，廣義被接受的說法：會造成此現象是因為抹布本身不乾淨導致。
- 二、在測量板擦吸粉筆灰的最大量時，使用了教室用 8cm(9.6g)粉筆中 2cm(2.4g)長的粉筆均塗抹至 85cm\*55cm 的黑板，是因為單純限定一個範圍不容易讓傳統板擦粉灰至極限的狀態。
- 三、在研發靜電板擦的過程中，由於看過了民國 98 年全國中小學科展作品高中組-"灰灰，遠離我吧之靜電板擦研究"的實驗報告書後及參考各方資料後選擇用靜電來增加吸粉量。在其他報告中，曾經有人試做出輕巧型的電蚊拍靜電板擦，但由於不符合他們實驗的預期結果，所以決定放棄並改選擇用其他可大量製造靜電的大型裝置來進行實驗(如：韋氏起電機)；我們一開始使用銅片做為實驗電路材質是因為銅是導電性佳的材質，到研發第二代時，選用無鉛鍍銀線作為實驗電路材質是因為無鉛鍍銀線外部漆上一層塑膠膜可以確保裝置通電時人體不會輕易觸電，因而改以製造用無鉛鍍銀線製成的靜電板擦。
- 四、在進行吸粉最大量的實驗時，靜電板擦第二代(通電)實驗後馬上停止按壓電源會明顯聽見劈哩叭啦的聲音。
- 五、小面積實驗，通電的靜電板擦比未通電的板擦增加百分比差距明顯(25%~50%)。但是中面積實驗進行相同實驗時，通電與否對於實驗後板擦重量差異較小(15%~30%)。我們推測：在相同面積的板擦布情形下，若是已達吸粉最大量則通電與否對於粉筆灰並不會增加太多(差距越小)；反之，若是未達吸粉筆灰最大量則通電與未通電兩種實驗之間粉筆灰重量差異會更明顯(差距越大)。

六、由於各代靜電板擦有不同特色，各代所新增項目也不同，導致無法以單一項目(如：吸粉量)來比較兩代間的差異。因此，本研究以表格方式，綜合呈現各代不同的比較。

表十四、靜電板擦綜合比較

比較項目	靜電板擦 第二代	原因	靜電板擦 第三代	原因
小範圍吸粉量	佳	板擦布， 有凹槽且薄	較差	絨布，缺乏凹槽
清潔	不易清潔	缺乏清潔裝置	即時清潔	內含刷子及 靜電集塵區
使用便利性	使用上較傳統 板擦難握	電蚊拍裝置 外露	矩形木殼使擦 拭時不容易握	所有裝置 皆放置板擦內部
吸粉持久性	有一定極限值	吸滿粉的板擦 布缺乏空間	原則上無極 限，可擦拭比歷 代研發板擦更 多的粉	內含清理裝置， 使板擦布有空間吸粉
外觀	熨斗形狀		長方形木盒	

七、將自製板擦與市面上各種板擦及歷屆研究中所研發的板擦做一系列優缺比較表格。

表十五、各式板擦比較(優點)

比較項目 各式板擦	優點
傳統板擦	*價格便宜(20 元) *容易取得
自動擦黑板機	*粉塵不會隨意飛揚。 *擦拭乾淨度高。 *大面積自動擦拭黑板可節省時間。
飛來吸塵板擦機	*粉塵不會隨意飛揚。 *擦拭乾淨度高。 *可自行控制擦拭範圍。 *內含清潔槽
吃粉筆灰的精靈	*廢物利用(寶特瓶) *結合吸塵器吸粉 *多方嘗試各式材質
灰灰遠離我吧!	*利用韋氏起電機提供大量靜電 *可自行控制擦拭方向
自製靜電板擦 第二代	*安全性強(材質為無鉛鍍銀線) *吸粉量比傳統板擦多了 0.38g(相當於 33%) *通電後的板擦可比未通電的板擦多吸 45%的粉量 *可自由控制擦拭方向 *攜帶便利
自製靜電板擦 第三代	*價格便宜(260 元) *以靜電提升吸粉量，內部加裝即時清理裝置 *清潔便利(清洗塑膠板) *攜帶便利，方便使用



表十六、各式板擦比較(缺點)

各式板擦 比較項目	缺 點
傳統板擦	<ul style="list-style-type: none"> <li>*粉塵易飄散。</li> <li>*吸粉量最少(1.12g)。</li> </ul>
自動擦黑板機	<ul style="list-style-type: none"> <li>*價格昂貴 ( 12 萬)。</li> <li>*不能留下部份的粉筆字。</li> <li>*用電量大。</li> <li>*無法自行控制擦拭速度、範圍。</li> </ul>
飛來吸塵板擦機	<ul style="list-style-type: none"> <li>*價格昂貴 ( 4000 元)。</li> <li>*需自行固定角度(20 度)才可上、下小範圍地擦拭單一字體。</li> <li>*使用前須先自行充電</li> <li>*無法及時清理和黑板接觸的板擦布。</li> <li>*充電時須注意是否有粉筆塊殘留。</li> <li>*清理及粉槽時依舊需拍打濾網清理。</li> </ul>
吃粉筆灰的精靈	<ul style="list-style-type: none"> <li>*使用時不夠便利(吸塵器裝置)。</li> <li>*製作繁複。</li> <li>*不易攜帶。</li> </ul>
灰灰遠離我吧!	<ul style="list-style-type: none"> <li>*使用時不夠便利(韋氏起電機裝置)。</li> <li>*前置作業繁複(接電路)。</li> <li>*不易攜帶。</li> </ul>
自製靜電板擦 第二代	<ul style="list-style-type: none"> <li>*靜電吸力不夠強大。</li> <li>*擦拭時須持續按開關鈕保持通電狀態。</li> <li>*清潔時須以刷子清理(粉筆灰易飄散)。</li> </ul>
自製靜電板擦 第三代	<ul style="list-style-type: none"> <li>*擦黑板時須注意擦拭角度(馬達轉動)。</li> <li>*使用時須持續按住開關鈕以維持通電狀態。</li> </ul>

## 柒、結論

實驗中利用煙霧比粉粒輕的特性來預測板擦吸粉實驗的成功性，經由實驗可發現通電時間與罩子內色紙的清晰程度成正比，證明：**靜電吸力可以有效提升板擦吸粉量**。比較各式材質吸粉量時，我們可依照數據發現用濕抹布擦黑板會最乾淨，其以相同控制變因進行吸粉筆灰實驗可吸至約 87.38g (相當於吸了 1.72g)，但水分會導致黑板塗料磨損。傳統板擦擦黑板至約 68.32g(相當於吸了 1.12g)重的粉量時，粉筆灰會因在板擦殘留太多而無法再繼續有效乾淨清理黑板，因此本研究採以利用靜電增加吸粉量。在研發一系列靜電板擦過程中，第二代板擦利用無鉛鍍銀線搭配電蚊拍發電裝置可使板擦擦至 207.94g(相當於吸了 1.5g)，比傳統板擦多吸了 33%的粉量 (相當於多了 0.38g)；第三代板擦利用**靜電集塵、即時清潔**等功能製作板擦。經過實驗後發現可**擦落 42%的粉量**，而傳統板擦僅能擦落 31%粉量。

## 捌、未來展望

第四代靜電板擦：

第四代靜電板擦結合第三代板擦優點(即時清潔裝置)，並利用馬達帶動齒輪運轉刷子。轉動的刷子可使卡在板擦布中的粉粒更容易刷至清潔區，且和板擦布轉動方向相同的刷子，可利於板擦布轉動。在未來，本實驗將繼續研發新式板擦，使板擦布轉速更順暢，也期許將來以更加進步的技術繼續更新本實驗。

## 玖、參考資料及其他

### 一、參考資料

- (一)吳婉綾、林妮臻(2009)。灰灰，遠離我吧!之靜電板擦研究。全國科學展覽應用科學組作品說明書。國立屏東女子高級中學。
- (二)林怡伶、蔡宛芯、葉文琦、林廷翰、莊寓勝(2008)。教室中的沙塵暴—粉筆灰落塵的觀察與改善。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會國小組應用科學組佳作作品說明書。高雄縣岡山鎮岡山國民小學。
- (三)楊巧萱、陳煜哲、林書凡、黃琮仁(2008)。吃粉筆灰的精靈—新式板擦的設計。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會國小組應用科學組最佳團隊合作獎作品說明書。臺北市萬華區華江國民小學。
- (四) Deepanjan Majumdar, D.G. Gajghate, Pradeep Pipalatkar, C.V. Chalapati Rao, Assessment of Airborne Fine Particulate Matter and Particle Size Distribution in Settled Chalk Dust during Writing and Dusting Exercises in a Classroom, Indoor and Built Environment, Vol 21, Issue 4, pp. 541 - 551.

二、附錄

表十七、各式材質實驗前後重量變化

	一般板擦(單位:g)	濕抹布(單位:g)	絲襪(單位:g)
1-1 實驗前重量	67.2	87.2	1.0
1-2 實驗後重量	68.5	87.3	1.1
實驗增加重量	1.3	1.6	0.1
2-1 實驗前重量	67.2	87.2	1.0
2-2 實驗後重量	68.7	87.5	1.1
實驗增加重量	1.5	1.8	0.1
3-1 實驗前重量	67.2	87.2	1.0
3-2 實驗後重量	68.5	87.1	1.1
實驗增加重量	1.3	1.4	0.1
4-1 實驗前重量	67.2	87.2	1.1
4-2 實驗後重量	68.3	87.6	1.2
實驗增加重量	1.1	1.9	0.1
5-1 實驗前重量	67.2	87.2	1.0
5-2 實驗後重量	68.5	87.4	0.9
實驗增加重量	1.3	1.9	-0.1

表十八、 計算濕抹布粉灰

	抹布 A (g)	抹布 B (g)	抹布 A 減水量(g)	抹布 B 增粉量(g)
實驗後重量	85.7	87.3	1.5	1.6
實驗後重量	85.7	87.5	1.5	1.8
實驗後重量	85.7	87.1	1.5	1.4
實驗後重量	85.7	87.6	1.5	1.9
實驗後重量	85.5	87.4	1.7	1.9

(註：抹布 B 為擦拭用粉筆塗滿黑板的抹布；抹布 A 為擦拭乾淨黑板的抹布)

## 【評語】 030827

優點：

1. 以教室常見的板擦做為研究素材，主要是利用靜電吸附與板擦布摩擦吸粉的功能，製造靜電板擦，裝置簡易，克服靜電機構縮小化問題。
2. 能清楚的說明三代靜電板擦發展的過程，也有清楚的實驗結果。

待改進：

1. 討論分析宜再深入些，結論也要審慎些。以第三代結果而言，四組不同面積之比較測試，有二組靜電板擦與傳統板擦之結果無明顯差異，有一組傳統板擦較佳，另有一組則是靜電板擦較佳，但結論只取後者，並不妥當。
2. 解決傳統黑板粉筆粉塵問題已經有很多不同改進的設計，本研究之靜電式板擦原理新穎性有限，作為國中生能以周邊素材製作解決問題還算實用。

作品海報



# 摘要

本研究利用“吸靜電附能力”結合板擦布摩擦吸粉效果，製造出新一代靜電板擦。目前成功研發的靜電板擦共四代：第一代板擦採用**焊槍熔錫技術**；第二代板擦採用**無鉛鍍銀線穿繞技術**；第三代板擦進一步將**清潔功能與靜電集塵技術**做結合；第四代板擦延用第三代裝置並將**清潔自動化**。前兩代板擦使用電蚊拍的高壓電發電裝置製造靜電，將過去研究瞬間大量製造高壓電靜電的**起電機裝置縮小**。本研究發現增加擦面面積比起單獨提升單位面積靜電量更能吸附較多粉量。因此，第三、四代板擦利用**即時清潔裝置將粉筆灰清理至靜電集粉區來吸附更多粉量**，自製板擦實際應用在教室黑板時比傳統板擦吸粉量佳（第四代靜電板擦可吸附**50%**的粉量，傳統板擦吸附**28%**的粉量）。

## 壹、研究目的

- 一、比較各式材質靜電吸力。
- 二、觀察靜電板擦吸煙效果。
- 三、檢測各代靜電板擦吸粉效果。
- 四、檢測各式材質吸粉筆灰的最大量。

## 貳、研究過程及方法

### 一、比較各式材質靜電吸力

(一)實驗一：板擦、絲襪和溼抹布吸力比較

絲襪:利用**摩擦力**吸粉筆灰。

濕抹布:棉布凹槽清理和**水分**。

傳統板擦:居中。

(二)實驗二：計算濕抹布粉灰實驗

為了計算實驗後，因水分減少使抹布整體重量下降的情形而設計出此實驗。

### 二、觀察靜電板擦吸煙效果

使用煙霧來觀察**靜電裝置聚煙成效**，並進一步預測目的三的吸粉成功率。



圖一、對照組:5分鐘前照片



圖三、對照組:5分鐘後照片



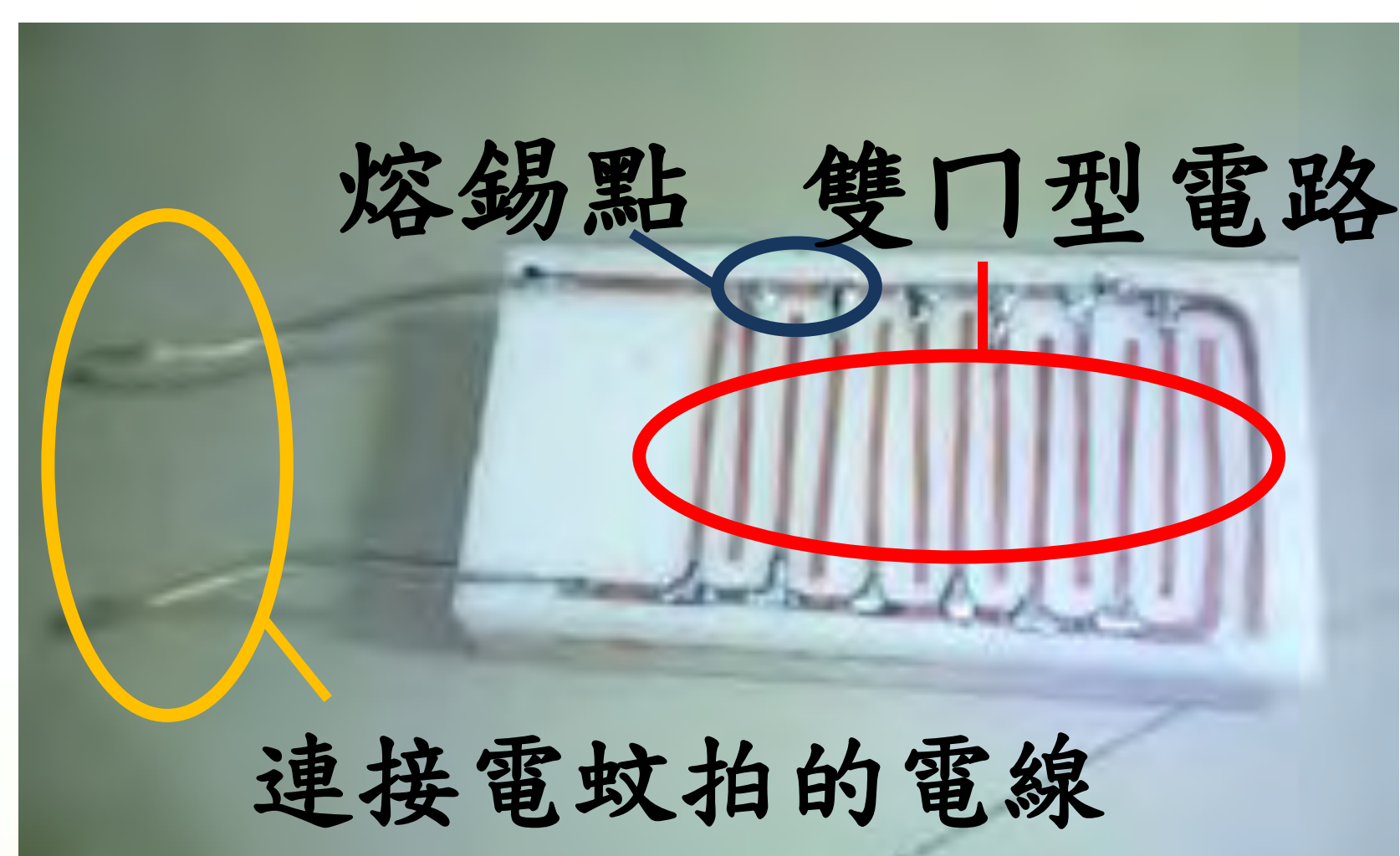
圖二、實驗組:5分鐘前照片



圖四、實驗組:5分鐘後照片

### 三、檢測各代靜電板擦吸粉效果

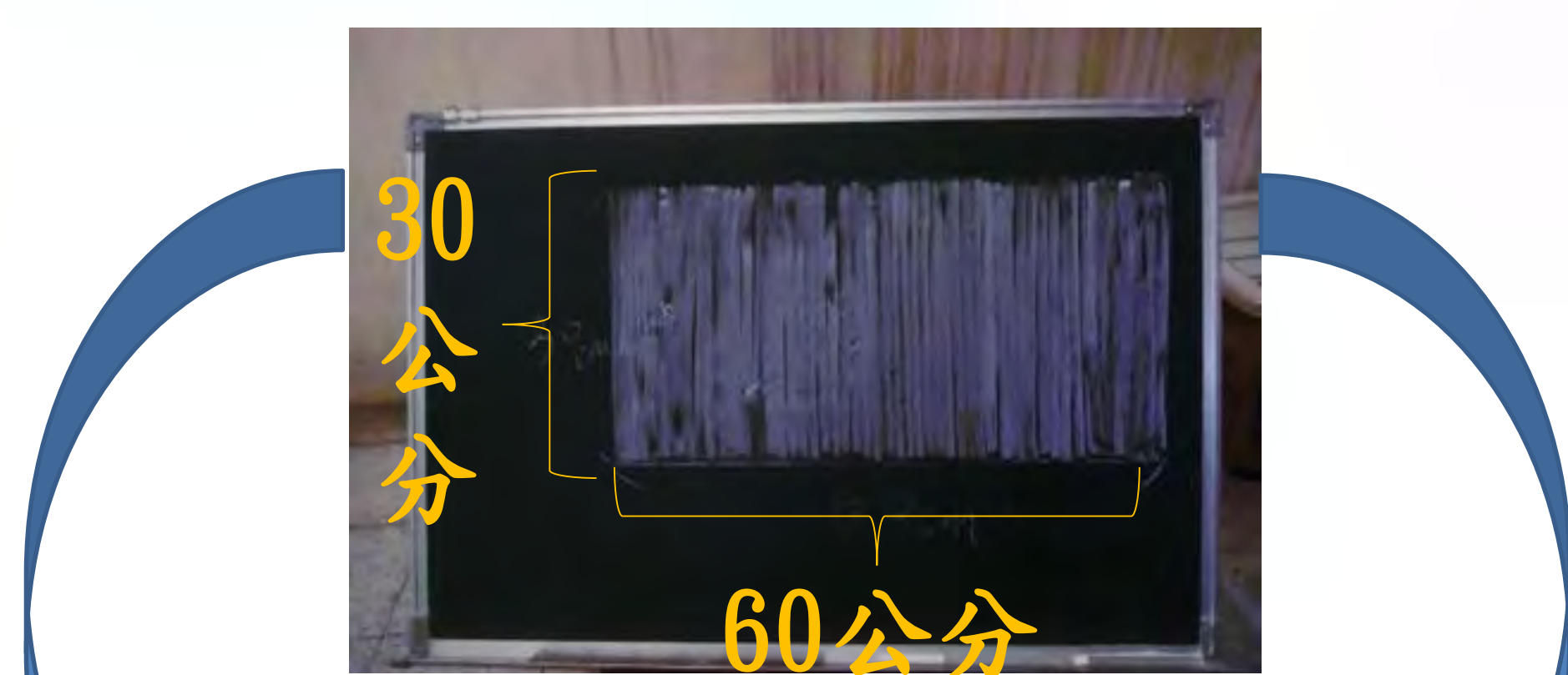
(一)實驗一：靜電板擦第一代



圖五、靜電板擦第一代示意圖

(二)實驗二：靜電板擦第二代

使用特殊的**無鉛鍍銀線**（即一般鍍銀線但外層漆有一層塑膠漆）來研發第二代靜電板擦。



圖六、小實驗範圍塗滿粉筆實驗前照片



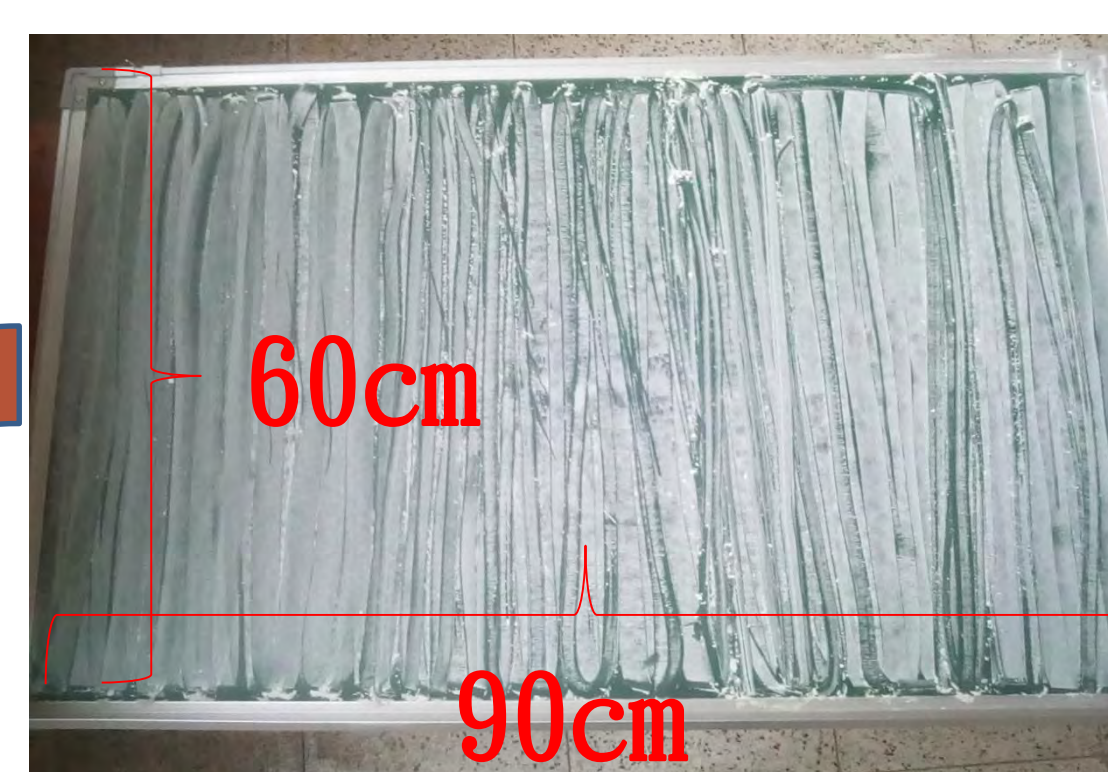
粉筆灰較分散

圖七、未通電第二代靜電板擦實驗後照片



粉筆灰較集中

圖八、通電第二代靜電板擦實驗後照片



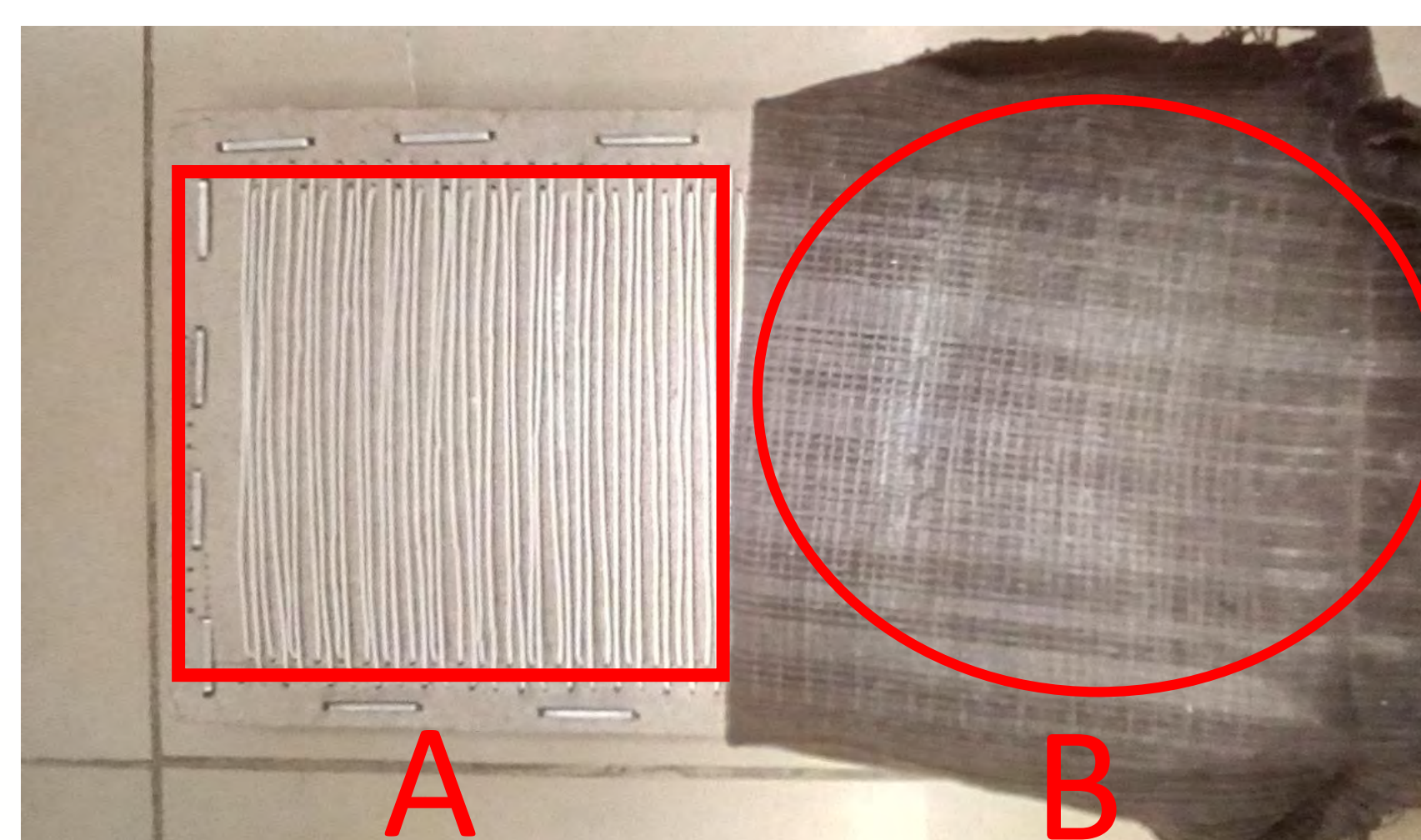
圖九、大實驗範圍塗滿2cm粉筆實驗前照片



圖十、未通電第二代靜電板擦實驗後照片

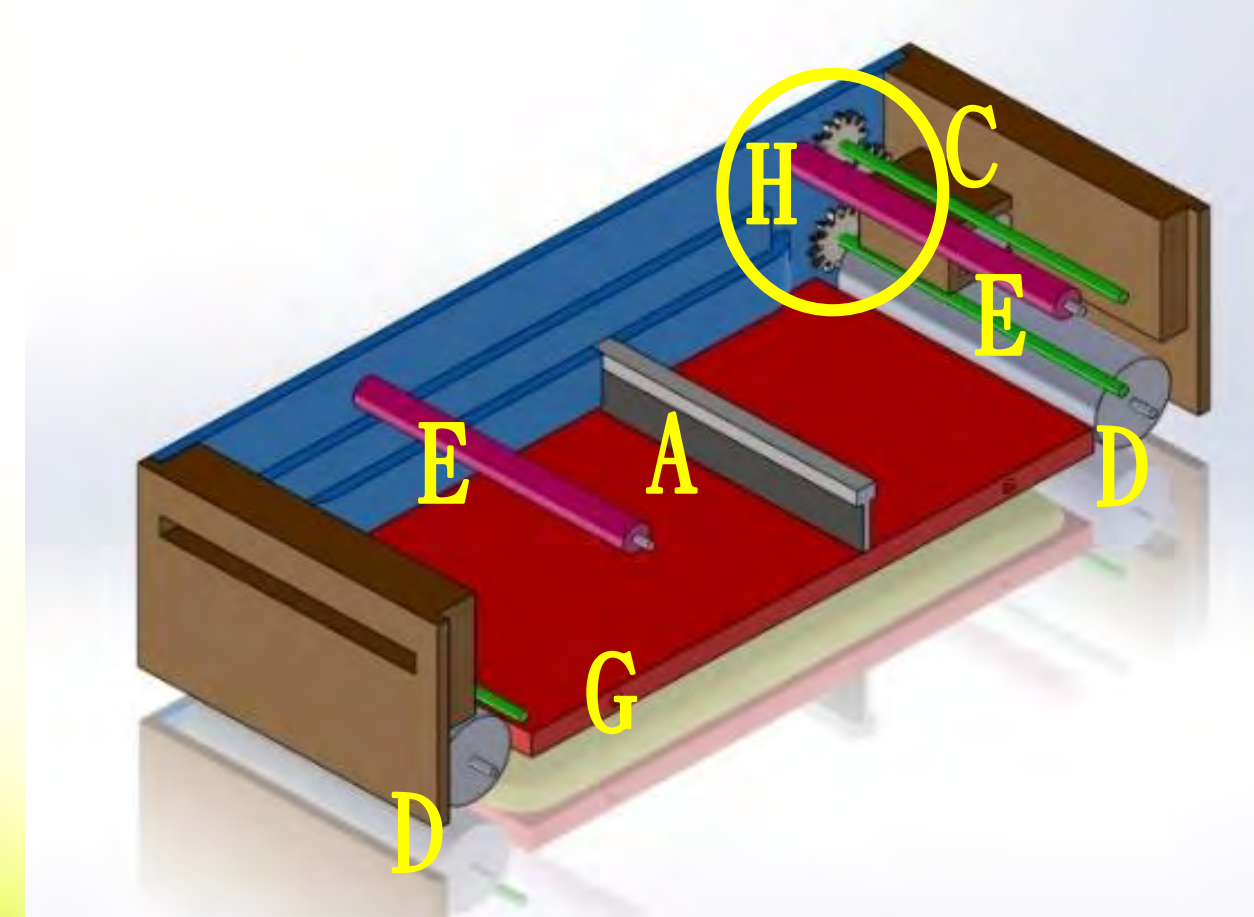
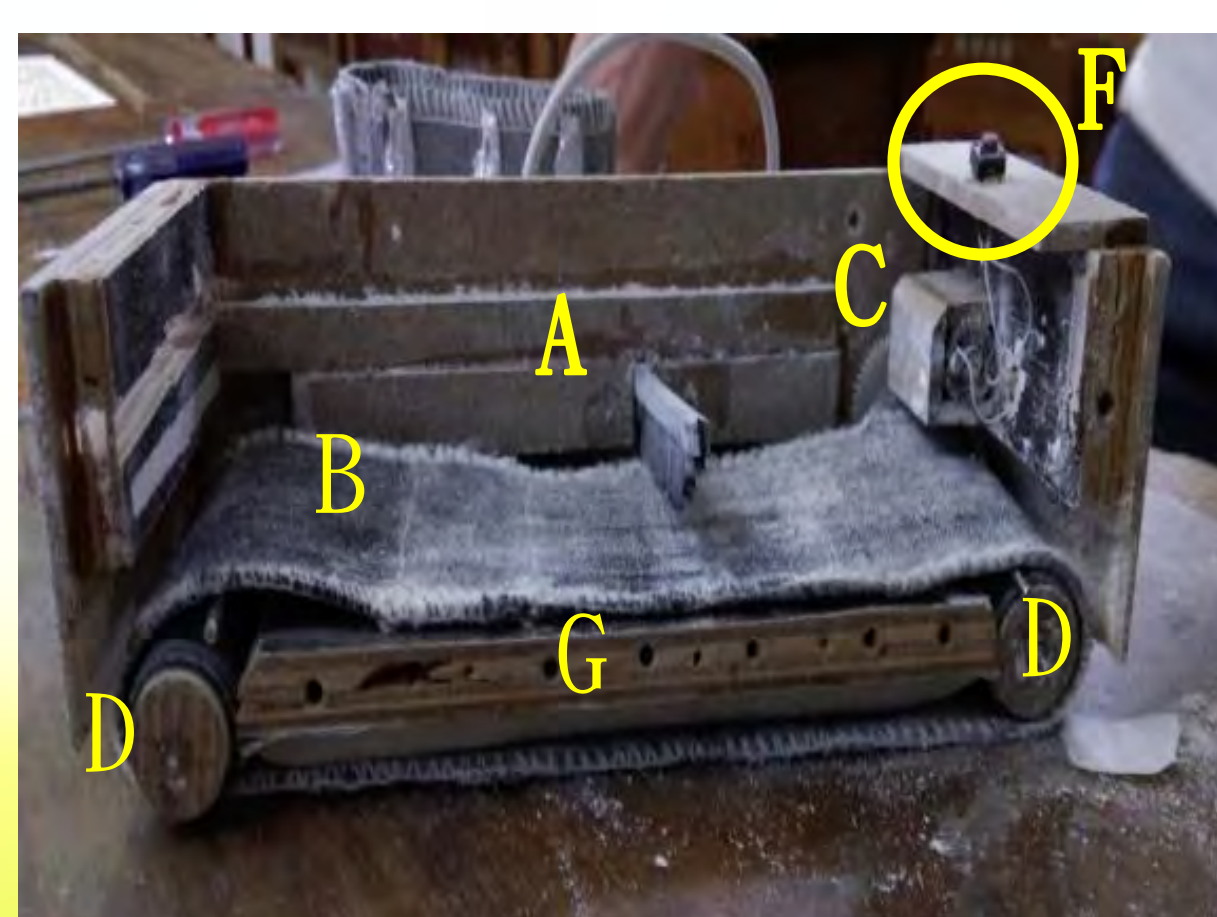


圖十一、通電第二代靜電板擦實驗後照片



圖十二、靜電板擦第二代示意圖

(三)實驗三：靜電板擦第三代

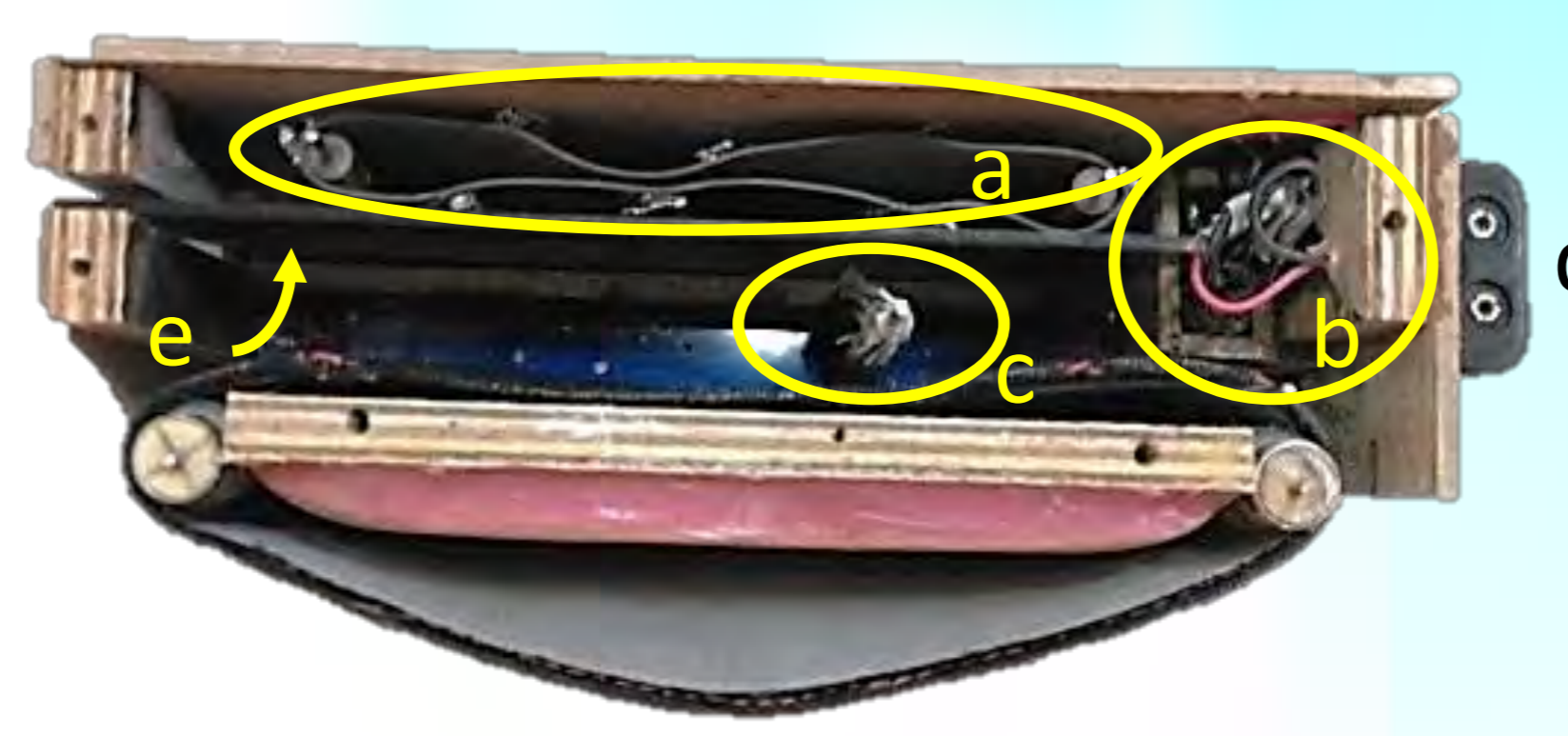


A: 刷子 B: 板擦布 C: 減速馬達 D: 木軸 E: 塑膠軸 F: 通電按鈕 G: 海綿 (板擦內部填充) H: 齒輪區

圖十三、靜電板擦第三代示意圖



- a: 摩擦產生靜電的皮帶和鋁箔
- b: 上下各裝一個 150R.P.M的減速馬達
- c: 旋轉式刷子
- d: 兩顆3.7v的鋰電池
- e: 聚集靜電的壓克力板



圖十四、靜電板擦第四代示意圖

### 四、檢測各式材質吸粉筆灰的最大量

- (一) 實驗一：傳統板擦吸粉筆灰的最大量
- (二) 實驗二：靜電板擦吸粉筆灰的最大量

## 參、研究結果

### 一、比較各式材質靜電吸力

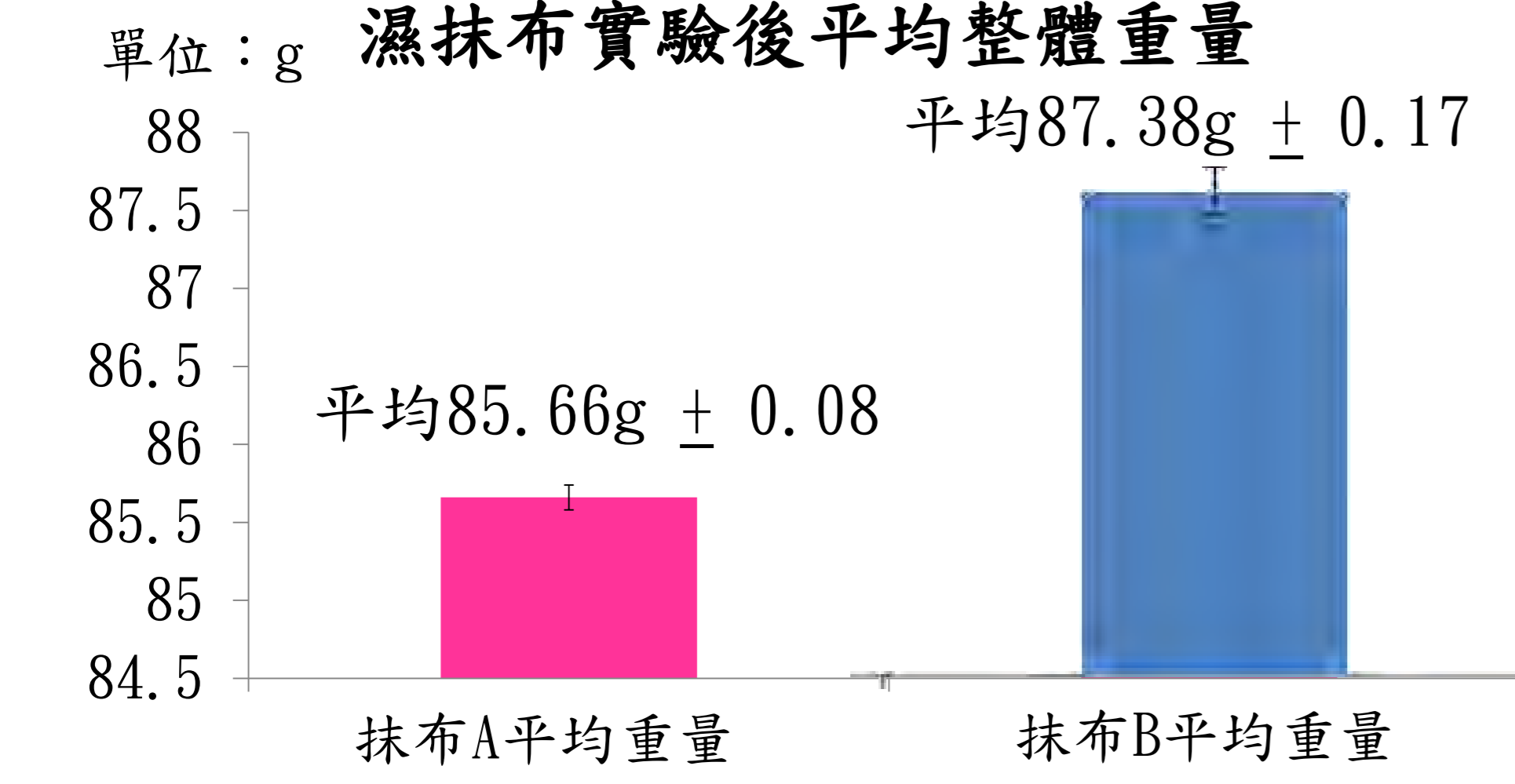
- (一) 實驗一：各式材質平均吸力比較

表一、各式材質平均吸力比較(實驗一)

重量(g) \ 項目	一般板擦	濕抹布	絲襪
實驗前重量	67.2	87.2	1.1
實驗後重量	68.5	87.38	1.08
增加重量	1.3	1.8	0.8

小結：單靠摩擦產生的靜電吸力(絲襪)無法有良好的效果。反之，傳統板擦擦黑板還是比絲襪的結果來的理想。

- (二) 實驗二：檢測濕抹布吸粉重量



圖十五、濕抹布吸粉與吸水實驗前後整體重量變化情形之直條圖(實驗二)

表二、濕抹布擦拭不同黑板重量變化(實驗二)

	抹布A	抹布B	抹布A 減水量	抹布B 增粉量
實驗前重量	87.2	87.2		
實驗後重量	85.7	87.5	1.5	1.2

(註：抹布B為擦拭用粉筆塗滿黑板的抹布；抹布A為擦拭乾淨黑板的抹布。單位統一為g)

- 小結：1. 比較濕抹抹布擦拭乾淨黑板以及粉灰黑板的重量差，進而取得抹布的吸附粉塵量。  
2. 由表中數據可證明：**溼抹布擦黑板會最乾淨。**

### 二、觀察靜電板擦吸煙效果



圖十六、點燃線香0分鐘示意圖



圖十九、通電0分鐘示意圖



圖十七、點燃線香5分鐘照片



圖二十、持續通電5分鐘示意圖



圖十八、靜置15分鐘示意圖



圖二十一、持續通電15分鐘示意圖

### 小結：

- (一) 此實驗證明出：隨著電蚊拍持續通電，壓克力罩子內的色紙會越清晰，可知：**通電時間與清晰程度成正比。**
- (二) 此實驗已初步證明電蚊拍有足以吸煙(吸粉)的功能。

### 三、檢測各代靜電板擦吸粉效果

- (一) 實驗一：靜電板擦第一代

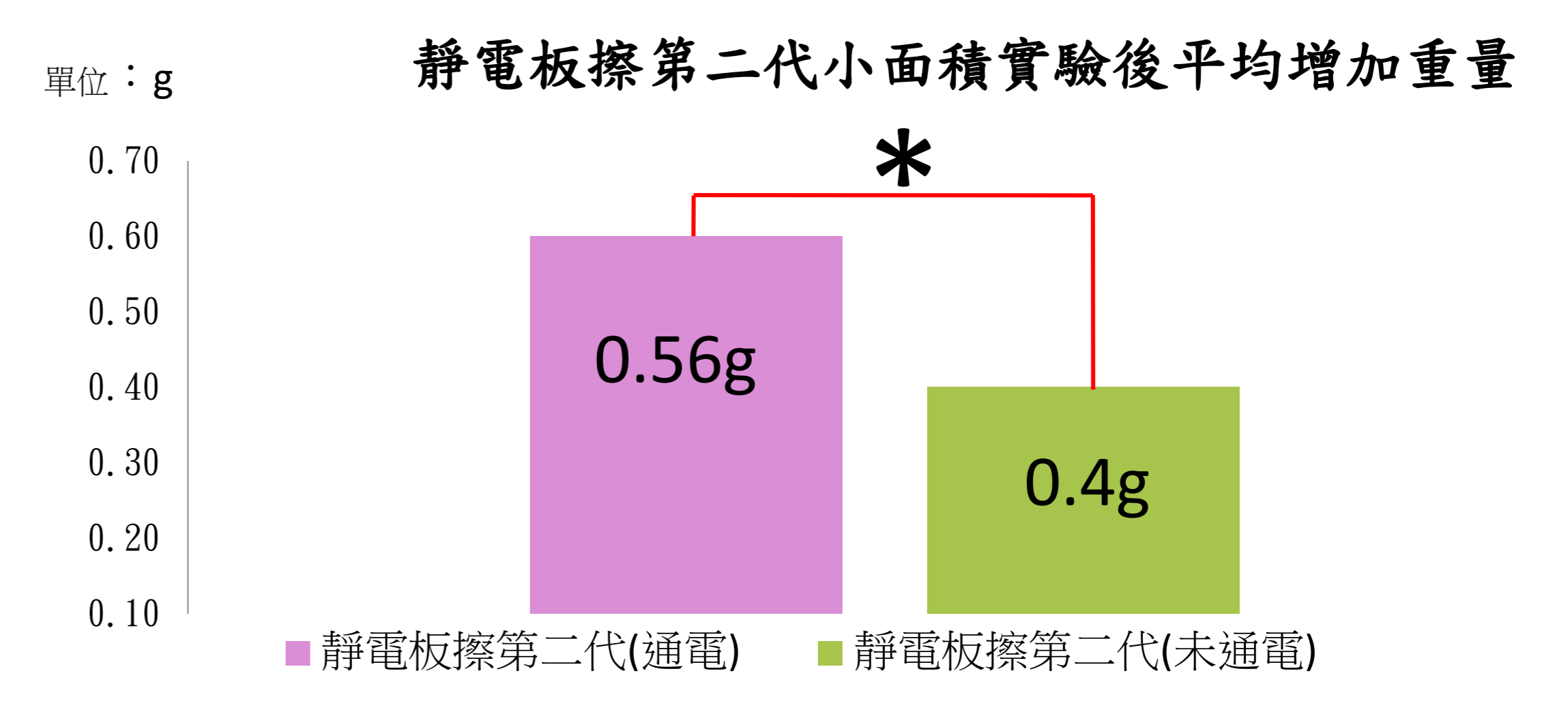
表三、以不同方式測量靜電板擦第一代實驗前、後整體重量變化

傳統板擦		靜電板擦加靜電抹布(通電)		靜電板擦加靜電抹布(未通電)	
實驗前	實驗後	實驗前	實驗後	實驗前	實驗後
67.2	68.7	281.4	282.2	281.4	282.6

(單位統一為g)

小結：靜電板擦第一代發現實驗前後，吸粉變化量不大，使用驗電瓶檢測靜電板擦加靜電抹布後是否有靜電傳達抹布表面，結果為：兩片鋁箔無張開或密合，表示毫無靜電存在。

- (二) 實驗二：靜電板擦第二代(小面積)



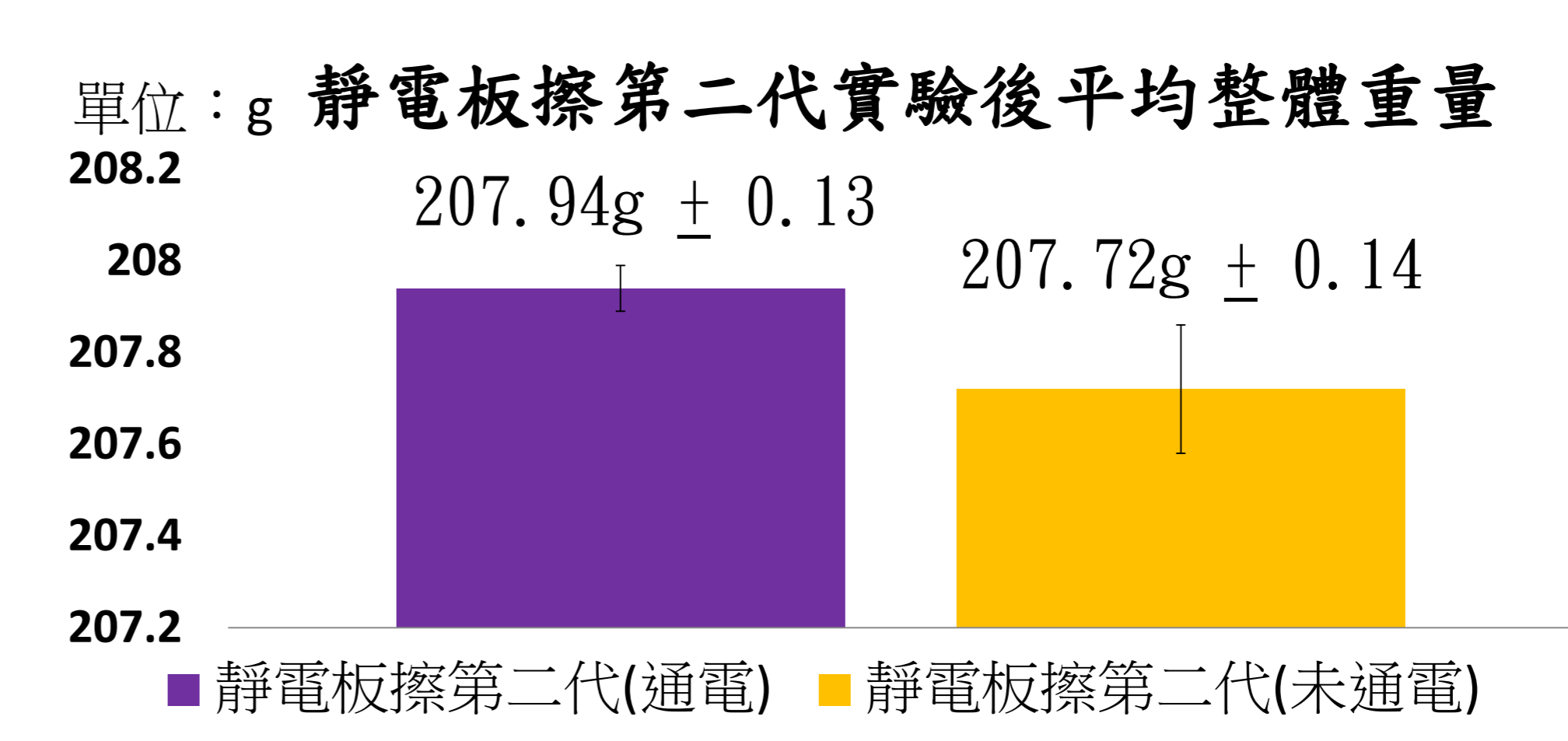
圖二十二、靜電板擦第二代小面積實驗範圍實驗後平均增加重量變化

表四、靜電板擦第二代實驗前後小面積實驗範圍重量變化

通電後板擦平均增加吸粉重量百分比	40%
通電後板擦平均增加吸粉重量	0.56g
實驗後板擦的平均整體重量(通電)	207.16g

小結：未通電實驗後重量(207.0g)比實驗前增加0.4g；通電實驗後重量(207.16g)比實驗前增加0.56g。  
→ **通電增加粉量後重量變化的百分比為40%。**

- (三) 實驗三：靜電板擦第二代(中面積)



圖二十三、靜電板擦第二代中面積實驗範圍實驗後平均整體重量變化

表五、靜電板擦第二代實驗前後中面積實驗範圍重量變化

通電後板擦平均增加吸粉重量百分比	20%
通電後板擦最大增加吸粉重量	1.34g
實驗後板擦的最大整體重量(通電)	207.94g

小結：未通電實驗後重量(207.72g)比實驗前增加0.12g；通電實驗後重量(207.94g)比實驗前增加了1.34g。  
→ **通電後平均增加粉量百分比為20%。**

- (四) 實驗三：靜電板擦第三代

表六、傳統板擦各式範圍平均吸粉重量

項目 \ 範圍	20*50 (cm <sup>2</sup> )	50*80 (cm <sup>2</sup> )	100*100 (cm <sup>2</sup> )	100*200 (cm <sup>2</sup> )	100*300 (cm <sup>2</sup> )	100*400 (cm <sup>2</sup> )
原先粉筆重	0.42	1.6	3.04	4.7	6.15	6.2
第一次粉筆落塵量 (粉筆塗佈落塵量)	0.2	0.68	0.78	0.9	2	1.2
實際塗在黑板的粉重	0.3	0.94	2.26	3.8	4.15	5.0
板擦吸附的粉量	0.2	0.58	1.02	1.2	1.7	1.4
第二次粉筆落塵量 (板擦擦拭落塵量)	0.04	0.14	0.18	0.4	1.35	0.6
黑板殘留粉量	0.06	0.22	1.06	2.2	1.1	3.0
吸粉百分比	66%	61%	45%	31%	40%	28%



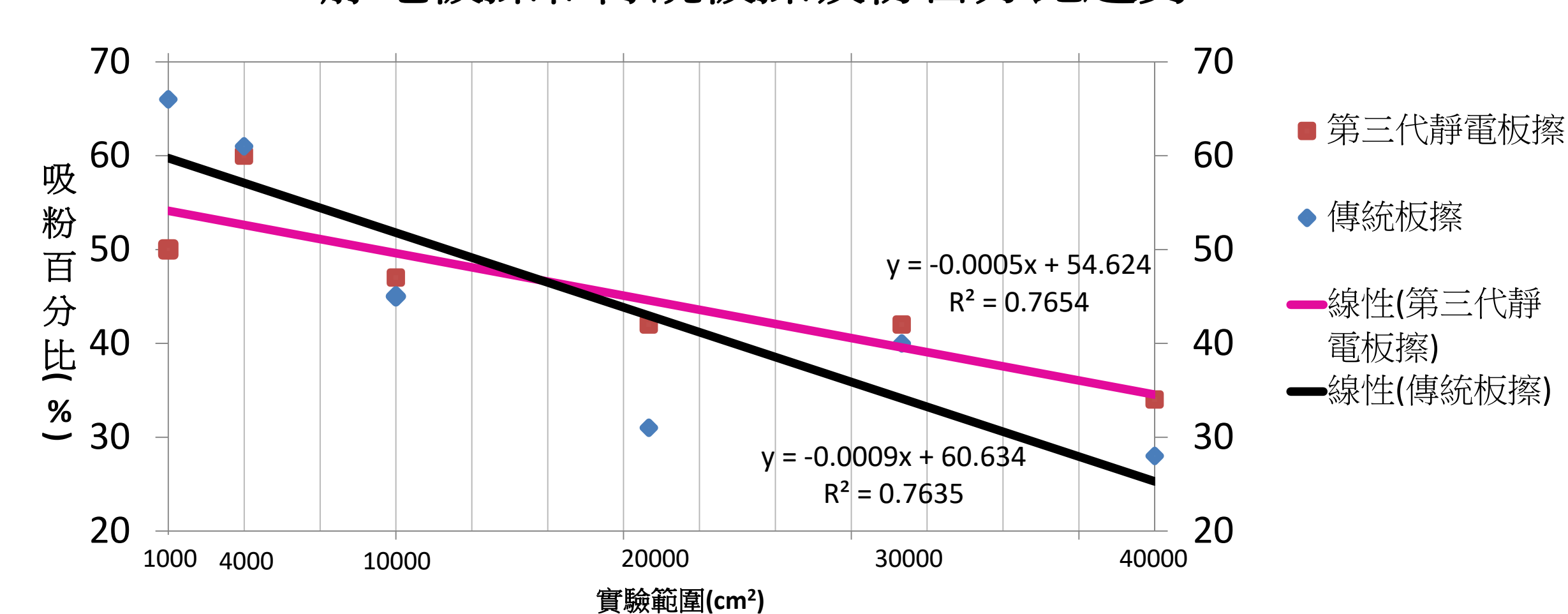
表七、靜電板擦第三代各式範圍平均吸粉重量

	20*50 (cm <sup>2</sup> )	50*80 (cm <sup>2</sup> )	100*100 (cm <sup>2</sup> )	100*200 (cm <sup>2</sup> )	100*300 (cm <sup>2</sup> )	100*400 (cm <sup>2</sup> )
原先粉筆重	0.3	1.6	3.0	4.8	6.3	12.45
第一次粉筆落塵量 (粉筆塗佈落塵量)	0.1	0.1	0.9	1.5	2.5	4.5
實際塗在黑板的粉重	0.2	1.5	2.1	3.3	3.8	7.95
板擦吸附的粉量	0.1	0.9	1.0	1.4	1.6	2.75
第二次粉筆落塵量 (板擦擦拭落塵量)	0	0.5	0.3	0.9	0.3	0.8
黑板殘留粉量	0.1	0.1	0.8	1.0	1.9	4.4
吸粉百分比	50%	60%	47%	42%	42%	34%

小結：

- 由(表九)及(表十)可知：隨著**實驗範圍加大**，**板擦吸粉百分比也會下降**，故推測：每次多吸附粉筆灰時，板擦布會剩下較少空間吸附其他多餘粉筆灰，導致整體吸粉百分比下降。
- 10000平方公分以內的實驗範圍中，傳統板擦平均吸粉百分比會多於自製板擦。
- 在200cm\*100cm實驗範圍中，靜電板擦**(42%)**和傳統板擦**(31%)**吸粉百分比差異**最明顯**。

靜電板擦和傳統板擦吸粉百分比趨勢

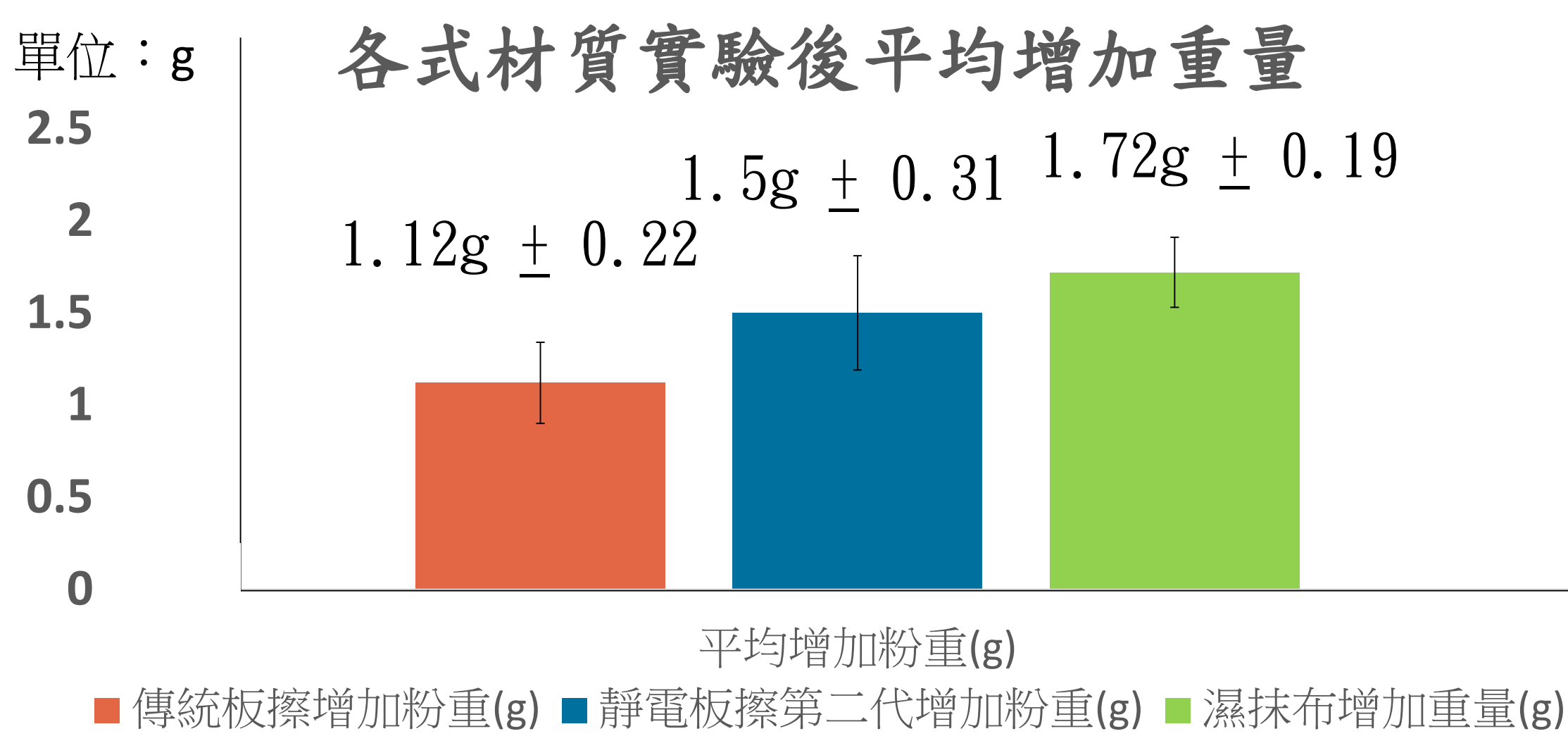


圖二十四、靜電板擦和傳統板擦吸粉百分比趨勢圖

小結：

- 配合圖中趨勢線可知：實驗範圍越大，傳統板擦吸粉百分比較自製靜電板擦吸粉百分比下降快速，即傳統板擦**吸粉效益隨實驗面積增大有明顯快速降低趨勢**。
- 自製靜電板擦吸粉百分比平均大多能維持在**30%~40%左右**，而傳統板擦在20000平方公分的實驗範圍後，板擦最大吸附量僅約在**20%~40%**之間。

#### 四、檢測各式材質吸粉筆灰的最大量



圖二十五、各式材質實驗後增加重量變化

小結：各式材質吸粉筆灰的最大量為：**濕抹布 > 第二代靜電板擦 > 傳統板擦**

### 肆、討論

一、**小面積**實驗中，通電的靜電板擦比未通電的板擦增加**吸粉百分比的差距明顯(25%~50%)**。但**大面積**實驗進行相同實驗時，通電與否對於實驗後板擦吸粉百分比的影響差異較小(15%~35%)。

→推測：在相同面積的板擦布情形下，若是**已達吸粉最大量**則通電與否對於粉筆灰並不會增加太多(差距越小)；反之，若是未達吸粉筆灰最大量則通電與未通電兩種實驗之間粉筆灰重量差異會更明顯(差距越大)。

### 二、各式板擦比較表格

傳統板擦	優點	*價格便宜(20元) *容易取得
	缺點	*粉塵易飄散 *吸粉量最少(1.12g)
自動擦黑板機	優點	*粉塵不會隨意飛揚。 *擦拭乾淨度高。 *大面積自動擦拭黑板可節省時間。
	缺點	*價格昂貴(12萬元)。 *用電量大。 *無法自行控制擦拭速度、範圍。
飛來吸塵板擦機	優點	*粉塵不會隨意飛揚。 *擦拭乾淨度高。 *內含清潔槽
	缺點	*價格昂貴(4千元)。 *充電問題 *清理時粉塵飛揚
歷屆科展研發板擦	優點	*加強吸粉量(吸塵器、韋氏起電機) *可自行控制擦拭方向
	缺點	*製作費工 *大型裝置
自行研發第三代靜電板擦	優點	*價格適宜(260元) *提升吸粉量，加裝即時清理裝置 *攜帶及清潔便利(清洗塑膠板)
	缺點	*擦黑板時須注意擦拭角度(馬達轉動) *行動電源裝置使板擦使用不便
自行研發第四代靜電板擦	優點	*價格便宜(350元) *以靜電提升吸粉量， <b>內部加裝即時清理裝置</b> *轉動式刷子(刷粉灰更乾淨) *清潔便利(清洗塑膠板) *攜帶便利，方便使用 *充電式鋰電池
	缺點	*板擦外殼遮蔽，使人不易觀察內部清潔區。

### 伍、結論

藉由觀察目的一(實驗二)中濕抹布吸粉量數據可發現**濕抹布吸粉量明顯比板擦及其他材質多**。

在吸煙實驗中，可預測目的三的成功性：**電蚊拍的靜電吸力可有效提升板擦吸粉量**。

目的四中檢測各式材質吸粉的最大量：濕抹布進行吸粉筆灰實驗可吸至約87.38g(相當於吸了1.72g)；傳統板擦吸粉至約68.32g(相當於吸了1.12g)重的粉量時，粉筆灰會因在板擦布殘留太多而無法再繼續有效清理黑板。

本實驗自製的**第二代靜電板擦**在相同粉重下，可使板擦擦至207.94g(相當於吸了1.5g)，**相比傳統板擦多吸了0.38g(即多吸附了33%)**；**第三代板擦**利用**靜電集塵、即時清潔**等功能來**增加擦面面積**，在教室黑板上可**吸附塗抹總粉量的34%**，而**傳統板擦**僅能**吸附28%的粉量**，兩者間有顯著差異；**第四代板擦**使用旋轉式刷子，有助板擦布運轉順暢、容易清潔卡在板擦布凹痕中的細微粉灰，經實驗發現在教室黑板上**可吸附50%的粉量**；故由本實驗提出**實驗面積越小則吸粉百分比會越多**的論點可知：第四代板擦在本實驗其他實驗範圍中，**可能可吸附100%的粉量**。

### 陸、參考文獻

- 吳婉綾、林妮臻(2009)。灰灰，遠離我吧!之靜電板擦研究。全國科學展覽應用科學組作品說明書。國立屏東女子高級中學
- Deepanjan Majumdar, D.G. Gajghate, Pradeep Pipalatkhar, C.V. Chalapati Rao, Assessment of Airborne Fine Particulate Matter and Particle Size Distribution in Settled Chalk Dust during Writing and Dusting Exercises in a Classroom, Indoor and Built Environment, Vol 21, Issue 4, pp. 541 - 551.

