

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

082813

自製靜電口罩之實用性探究

學校名稱：桃園市桃園區西門國民小學

作者： 小五 高靖恩 小五 楊胤璿 小五 林煒筌	指導老師： 蔡姿婷 樊倫成
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：靜電駐極、范氏起電器、熔噴不織布

摘要

自從 2019 年底開始爆發新冠肺炎疫情(COVID-19)以來，搶口罩的事件以及各式口罩的品質與醫療防護力問題引發社會關注。而臺灣醫療口罩品質之所以能夠獲得世界各國肯定的最大功臣就是口罩中間的熔噴不織布(聚丙烯 PP)和其中的「靜電駐極」技術，將口罩過濾效果從 30%~50%(聚丙烯-物理過濾)提升至 95%~99%(靜電吸附加持)。

此研究主要目的在於探討如何比較靜電量的大小差異(鋁箔驗電器、保麗龍球、衛生紙碎)，還有如何有效的產生靜電(摩擦起電、電蚊拍尖端放電、范氏起電器)，以及將靜電量儲存於口罩內的熔噴不織布中。利用空氣質量檢測儀及自製的檢測箱來對照比較有無靜電的口罩防護性差異，採取簡單的方式有效提升一般性口罩與過期醫療口罩的過濾效果，進行相關實用性的探究。

壹、研究動機

2019 年開始迄今，全世界所關注的焦點，莫過於新冠肺炎疫情(COVID-19)對全人類造成的嚴重影響，時至今日，全球已有超過 1.7 億的人口感染上新冠肺炎，死亡的人數突破了 380 萬。隨著疫情的不斷擴散，徹底改變了人類的生活型態，各國為了防堵疫情紛紛採取鎖國政策，國際間的彼此來往減少，而人與人之間的聚會也被迫減少甚至取消，降低互動接觸機會，減少感染的風險。雖然各大藥廠已推出相關疫苗進行施打，但是距離回復到正常生活作息的型態，曙光的盡頭仍在遙遠的一方。

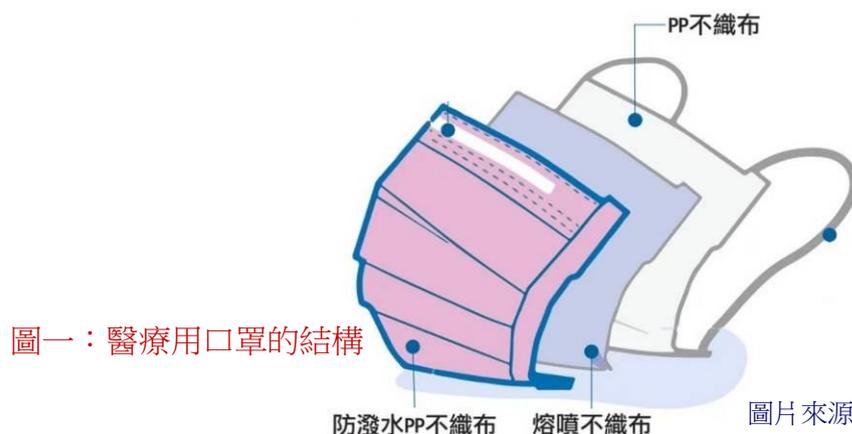
臺灣在這次全球新冠肺炎疫情的風暴中能展現出優等生的態勢，除了政府嚴格從源頭出入境開始做好把關的工作外，另一項功不可沒的關鍵就是臺灣人民願意配合政府的政策在公共場合中戴上口罩。回想疫情爆發初時，搶口罩成為全民運動，口罩一上架立即秒殺，造成民怨及擔憂無口罩可用。透過口罩實名制方式，加上各種延長使用口罩的方法(例如用紫外線燈殺菌、用電鍋乾蒸口罩…)，漸漸地才擺脫掉口罩短缺的隱憂。

口罩的數量需求被滿足之後，引發的另外問題就是口罩的防護效果。坊間許多大陸製的口罩品質參差不齊，防護效果堪慮，而臺灣製(MIT)的醫療口罩品質不僅國人有信心，世界各國亦大為讚賞，原因為何？醫療口罩要能有效的過濾掉絕大多數的病毒細菌，

單單靠口罩中間的**熔噴不織布(聚丙烯 PP 材質)**細微纖維(物理方式過濾)是不夠的，還要加上「**靜電駐極**」技術，透過靜電駐極技術，使熔噴不織布纖維中產生靜電，利用此靜電吸附穿透過表層的病毒細菌，進而大幅提升口罩的過濾效能。

臺灣醫療用口罩的結構如圖一所示：

最外層材質為防潑水 PP 不織布，有效防止水分和飛沫以及大型粉塵；最內層材質為 PP 不織布，具有透氣親膚吸水及柔軟舒適的表層，不阻礙呼吸說話；最關鍵的中間層為熔噴不織布，透過熔噴結構與靜電駐極技術，可以有效阻絕灰塵、微粒甚至病毒細菌。



圖一：醫療用口罩的結構

圖片來源：Micro Medical Technology Ltd.

「靜電駐極」中，**駐**代表施加的意思，而**極**指的就是電荷，將靜電荷施加在熔噴布上的技術，就是臺灣醫療口罩品質勝出的關鍵。

以此為發想，雖然目前醫療口罩供應數量已能滿足市場需求，但是國人過度囤積口罩，隨著時間的累積，加上臺灣較為潮濕的海島環境，口罩的保存不良容易造成口罩內的靜電量耗損，進而影響口罩的過濾功效。本研究目的就是試著尋找出簡單的靜電產生方式，透過產生靜電及將靜電量有效儲存在口罩內層的熔噴不織布中，能將已過期的醫療口罩進行”回春手術”及將一般性口罩”提升”成為具有醫療口罩等級的方法進行相關實用性的分析研究與探討。

此研究主題結合自然與生活科技課程中所學到的空氣流動概念(三上：看不見的空氣-空氣的特性)及風扇小馬達接線與用法(四下：奇妙的電路-電路與開關、電的應用)，還有靜電的產生與特性等相關概念，學以致用，讓科學研習變得更有興趣及更貼近生活。

貳、研究目的

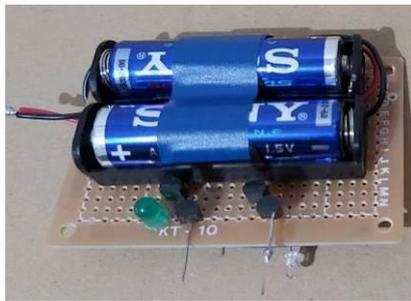
- 一、 認識及觀察口罩的組成結構與口罩層間的功用
- 二、 靜電量的量測方式優劣比較與自製 & 靜電極性的量測自製
(鋁箔驗電器、史萊姆保麗龍球、衛生紙碎) & (正負電荷檢測器)
- 三、 靜電產生方式的優劣比較 (摩擦起電、電蚊拍尖端放電、范氏起電器)
- 四、 有無靜電的口罩對於防護力的差異性進行量測數據上的比較與分析
(利用空氣質量檢測儀及自製的檢測箱設備進行相關實驗測試)
- 五、 影響口罩內靜電量保存時效的各項因素探討
- 六、 綜合各項實驗的結果與預期的差異性進行分析比較並尋求改善對策

參、研究設備及器材

- 一、 鋁箔驗電器(DIY 自製) & 萊頓瓶/靜電杯(DIY 自製)
- 二、 正負電荷檢測器(DIY 自製)
- 三、 迷你范德格拉夫(范氏)起電器
- 四、 市售電蚊拍改造
- 五、 空氣質量檢測儀(型號：WP6910) & 數位溫濕度計(型號：KGM-DLB04)
- 六、 檢測箱(DIY 自製)
- 七、 各式口罩(臺灣製醫療用口罩、台製熔噴布、大陸製一般性口罩…)
- 八、 其他相關實驗材料(玻璃棒、粗吸管、壓克力、鋁箔紙、絲綢布、史萊姆保麗龍球…)



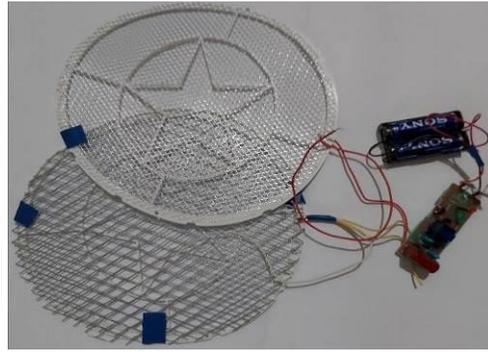
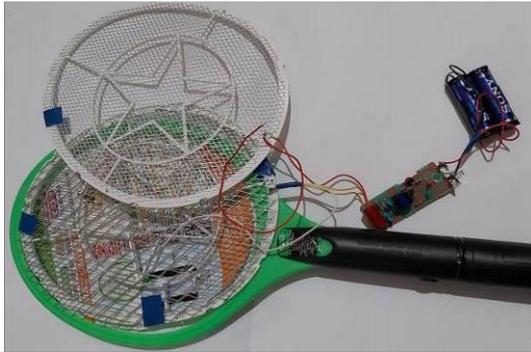
鋁箔驗電器 I(DIY 自製) 鋁箔驗電器 II(DIY 自製) 萊頓瓶/靜電杯(DIY 自製)



正負電荷檢測器(DIY 自製)

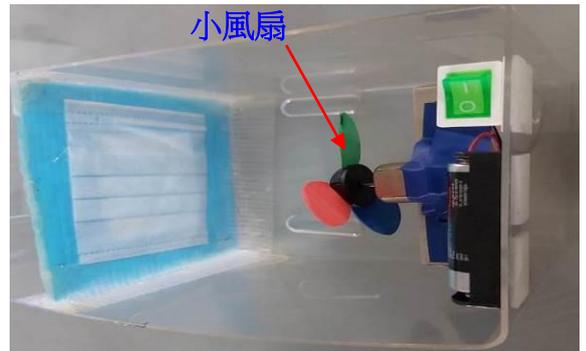
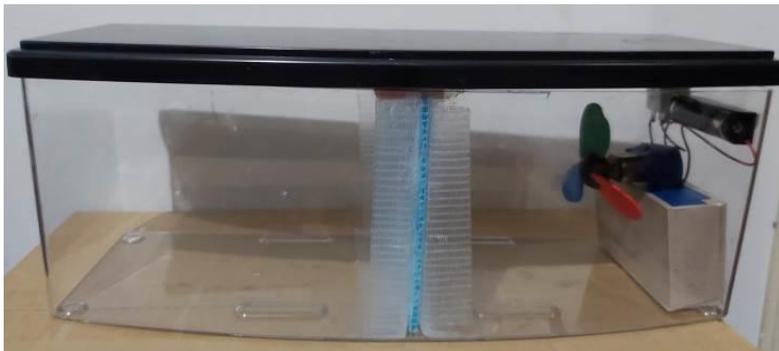


迷你范德格拉夫(范氏)起電器 空氣質量檢測儀



市售電蚊拍改造

數位溫濕度計

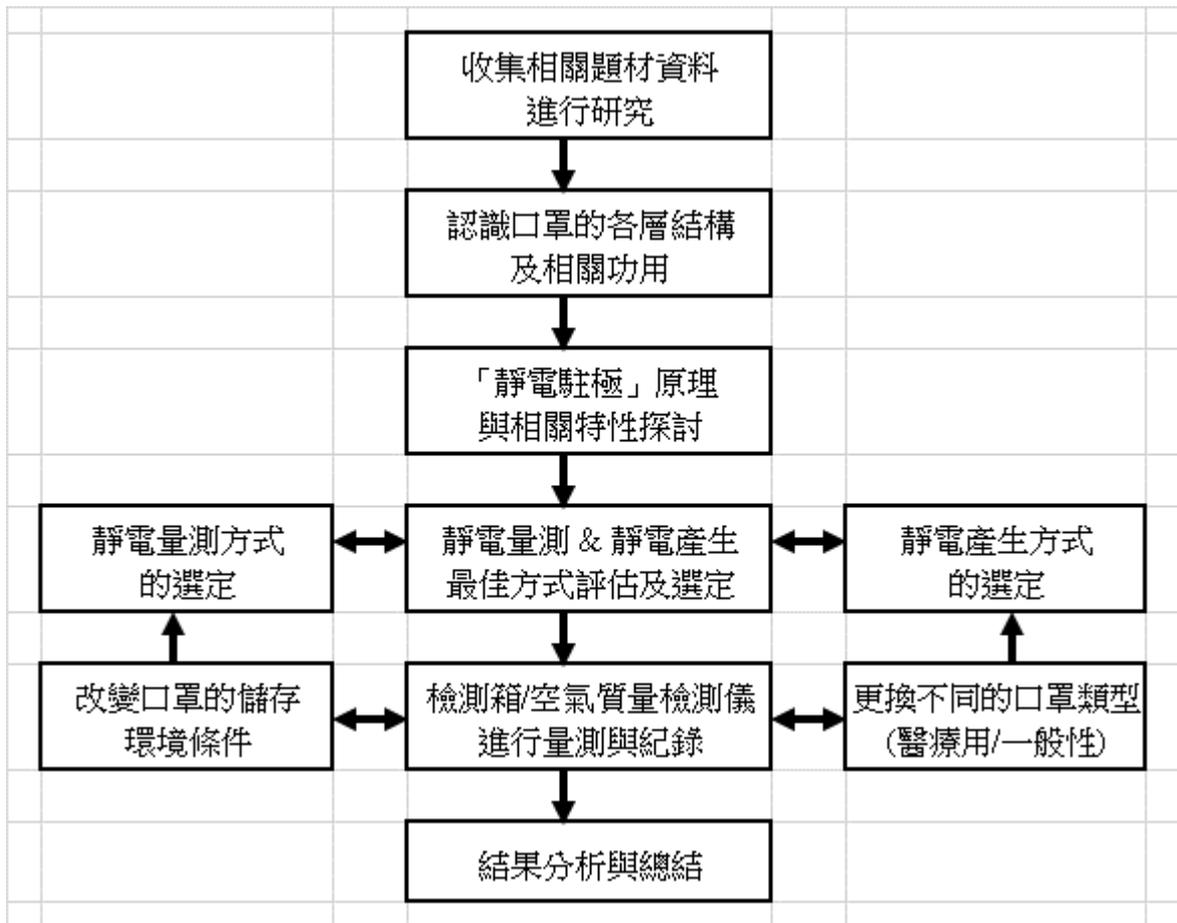


第一代檢測箱構造(DIY 自製)



第二代檢測箱構造(DIY 自製)

肆、研究過程或方法



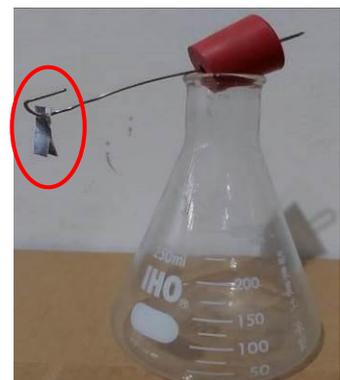
接下來我們將針對本次科展中所使用到的相關設備進行 DIY 自製或改造，並且評估這些設備的適用性與否及優缺點進行分析探討。

一、靜電量測：

目前市面上可以量測靜電量值的靜電測試儀器動輒超過一萬元以上，非國小組科展實驗所能負擔的。因此參考網路上各種量測靜電的方法及討論，我們選擇自製鋁箔驗電器、利用史萊姆保麗龍球或衛生紙碎等三種方式進行評估，然後挑選出最適合本次科展靜電量測的裝置。詳細說明如下：

(一) 鋁箔驗電器

如圖二所示，我們從自然實驗教室裡找出錐形瓶及軟木塞，用一根迴紋針底部彎折成一倒鉤狀，掛上兩片鋁箔紙(右圖紅色圈圈處)；迴紋針頂端彎折成橢圓形用來偵測帶靜電的物體，藉由靜電傳導到鋁箔紙上，因為同極性的



圖二：鋁箔驗電器

靜電相斥，兩片鋁箔會分開形成一個角度，觀察量測兩片鋁箔分開角度的大小變化來判斷靜電量的多寡差異。經實際測試，此方式雖然簡單便利，但只能察覺到靜電量的多寡變化，無法量測到實際的靜電值(絕對值)；而且另一個缺點是若待測物體所帶的靜電量不足以將兩片鋁箔紙分開的話，也會造成量測上的誤判。

當然若能將鋁箔置換成金箔的話，由於金的導電率比鋁佳(約 1.5 倍)，而且金的延展性也很好(厚度可以更薄)，偵測靜電的靈敏度應該會再增加。

(二)史萊姆保麗龍球

由於鋁箔驗電器在偵測靜電量的靈敏度不高(主要因為口罩上的靜電量並不大)，我們思考是否有其他可以量測到微量靜電的方式，我們想到了史萊姆保麗龍球。國小學生瘋玩的「史萊姆」，其中的填充物之一就是小顆粒的保麗龍球，利用保麗龍球重量輕、容易被靜電吸附的特質，我們選擇直徑在 2~3mm 的彩色顆粒保麗龍球，觀察在相同面積下吸附保麗龍球的數量來判斷靜電量的多寡差異。

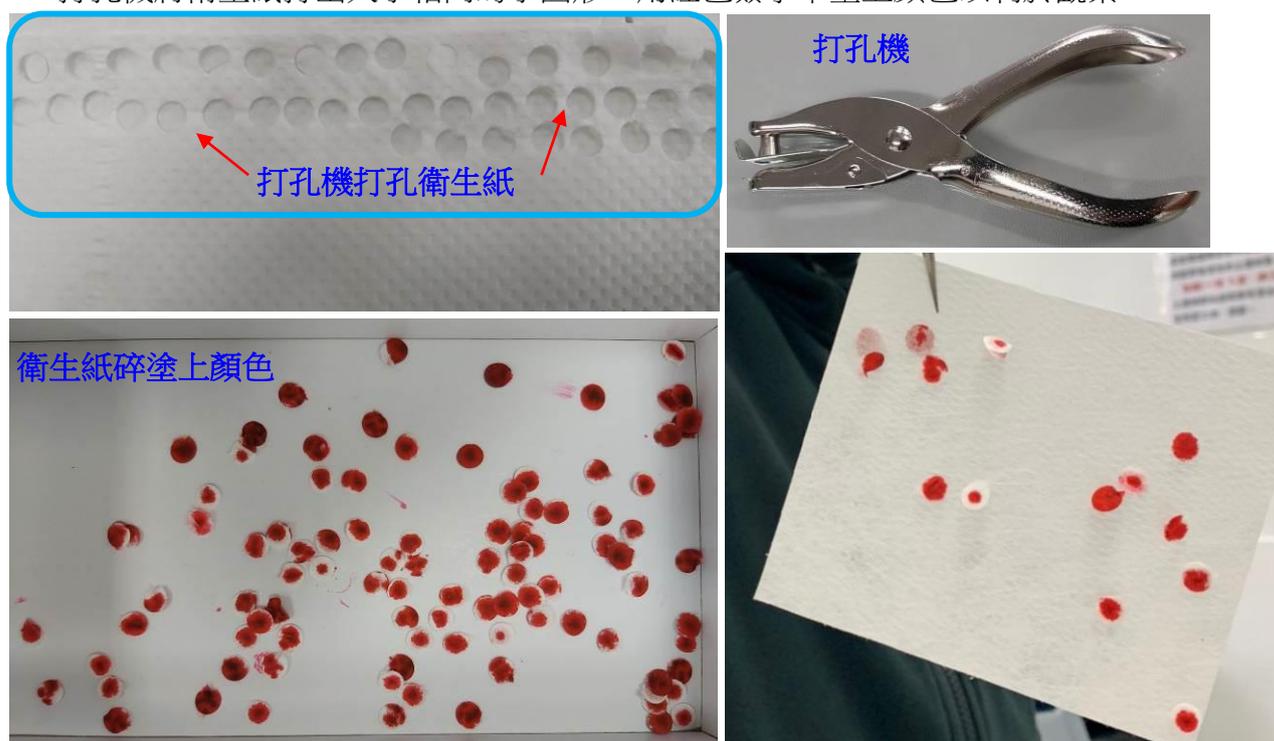


圖三：保麗龍球偵測靜電量

從實驗結果圖三來看，將台製熔噴布放到保麗龍球堆裡，的確可以很容易的吸附住，而且靜電量愈大，吸附住的保麗龍球數量愈多，看來似乎是可行的方式；可惜的是保麗龍球被吸附之後就帶有靜電不容易消除，後續的靜電量測就會失準，除非每次量測都採用全新的保麗龍球，這會造成我們實驗上的困擾與不便。

(三)衛生紙碎

我們接著使用日常生活中隨處可見的衛生紙，為了量測的一致性及標準化，我們用打孔機將衛生紙打出大小相同的小圓形，用紅色簽字筆塗上顏色以利於觀察。



圖四：衛生紙碎偵測靜電量

實際量測驗證如圖四，衛生紙碎的靜電量測效果與保麗龍球相當，而且每個衛生紙碎的大小都一致，因此我們可以數在相同面積下，待測物體吸附的衛生紙碎數量多寡，來判斷其靜電量的差異；在量測完畢之後取下衛生紙碎以進行下一次的量測，衛生紙碎本身相較於保麗龍球，靜電並不容易保存在衛生紙碎內，所以衛生紙碎可以進行重複的量測使用，並不影響其準確性。因此本次科展中有關於靜電量的量測比較，我們採用的是衛生紙碎，在一個面積尺寸 18cm X 10cm(一般成人口罩大小)的紙盒裡，放置了 100 個經打孔機打下的衛生紙碎，然後將待測口罩平放入此盒中，用防靜電鑷子取出待測口罩，數口罩吸附的衛生紙碎數目，作為靜電量的多寡比較依據。

綜合上述各種靜電量的量測方法優劣比較，彙整如表一所示：

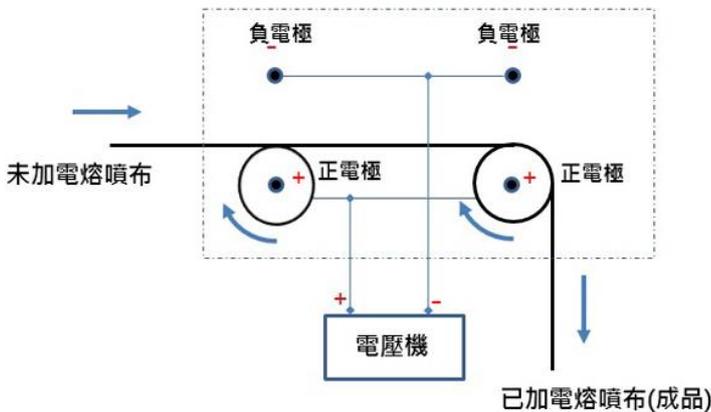
表一：靜電量測裝置比較

項目	量測靜電量大小基準	優點	缺點
鉛箔驗電器	兩片鉛箔分開的角度	觀察容易	待測物體靜電量太低可能無反應
史萊姆保麗龍球	單位面積吸附的"保麗龍球"數目	待測物體的微小靜電量仍能吸附	1. 要計算吸附保麗龍球的數目需要需時間 2. 測試過的保麗龍球已帶有靜電，若要進行下次量測時需更換新的保麗龍球
衛生紙碎	單位面積吸附的"衛生紙碎"數目	1. 待測物體的微小靜電量仍能吸附 2. 可以重複使用進行量測	要計算吸附衛生紙碎的數目需要時間

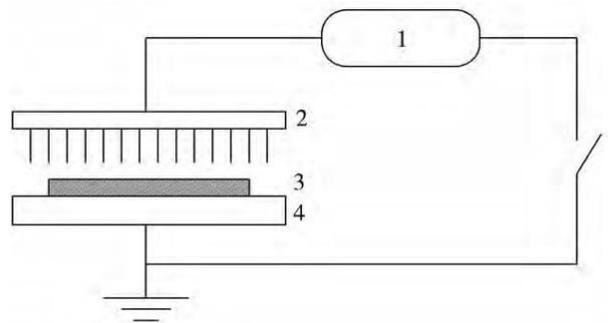
勝

二、靜電產生器：

如之前所述，臺灣醫療口罩中間層的熔噴不織布材質，會在其中加入駐極體材料。駐極體是一種介電材料，在電暈製程的同時，可以讓靜電荷長久駐存。而工業上的電暈製程技術主要有下列兩種方式：



圖五：電暈製程技術(滾輪接觸帶電)



圖六：電暈製程技術(高壓尖端放電)

圖五電暈製程技術是透過滾輪(帶有正電荷)與未加電的熔噴布摩擦接觸，然後將電荷移轉到熔噴布上；圖六電暈製程技術則是利用高壓尖端放電效應，讓熔噴布帶有電荷；無論是上述哪一種，都是屬於工業級的量產專業設備，而本次科展的價值就在於如何尋找出一種簡單方便又有效率的方式，適用於一般家庭的操作使用，作為本次科展努力的方向。

我們想出了三種靜電產生的方式，相關測試與評估詳述如下：

(一)磨擦起電

要產生靜電最簡單又快速的方式就是磨擦起電。利用不同物質相互摩擦，有些物質

容易失去電子，有些物質容易獲得電子，透過彼此相互摩擦接觸進行電子交換，而使不同物質分別帶上正電荷或者負電荷。

物質摩擦序列表如圖七所示：

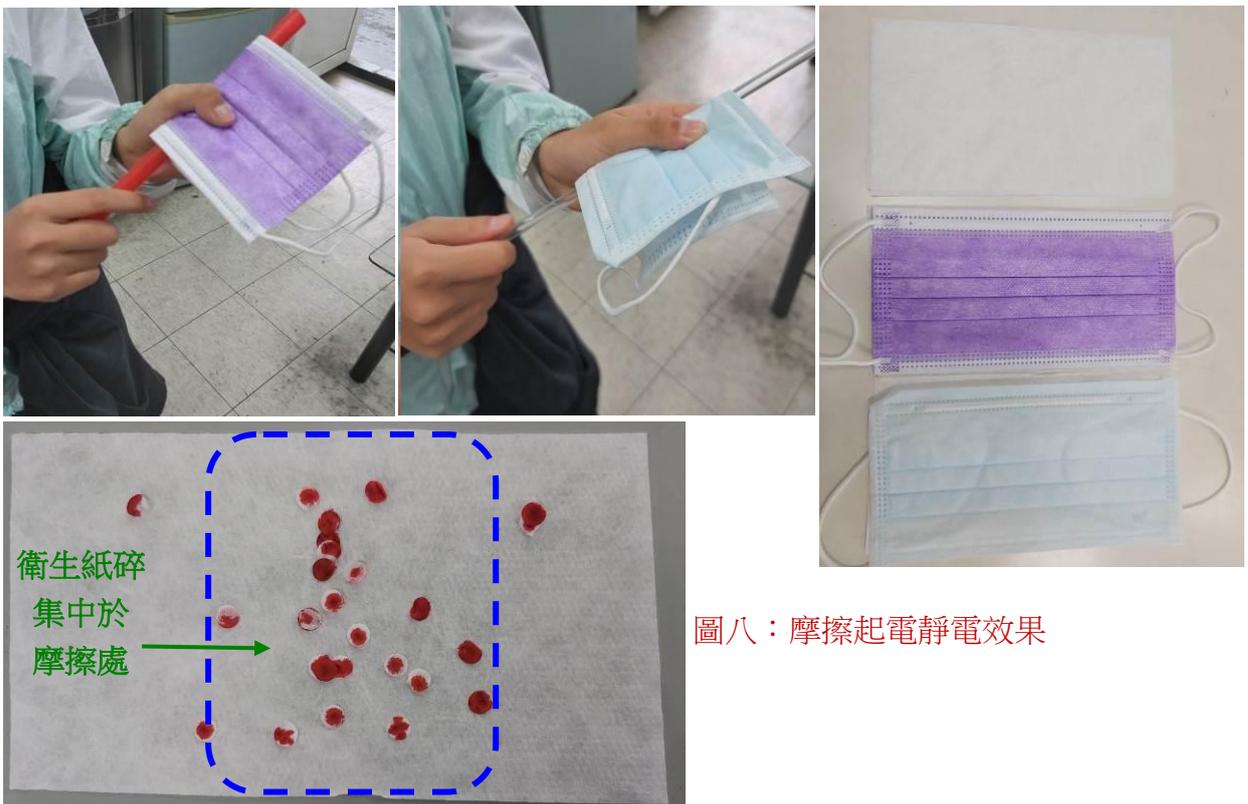


圖七：物質摩擦序列表

資料來源：[當摩擦起電效應不再惱人－摩擦奈米發電機的誕生與演化-臺灣物理學會-物理雙月刊](#)

上圖愈靠近右邊的材質，表示摩擦後愈容易失去電子(帶正電荷)，愈靠近左側的材質則表示摩擦後愈容易得到電子(帶負電荷)。而病毒細菌類多數偏向帶負電荷，因此口罩原則上以帶正電荷為目標。

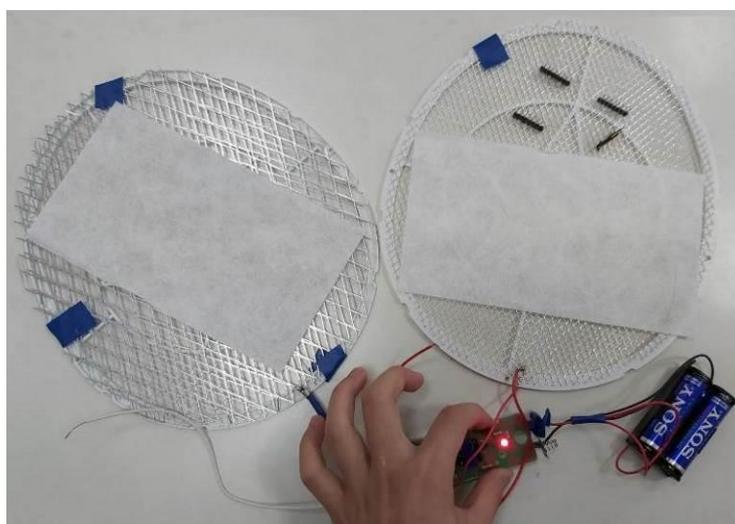
我們試了用玻璃棒及粗吸管來摩擦口罩與熔噴不織布(如圖八所示)，發現用粗吸管摩擦所產生的靜電效果較佳。但是摩擦起電所產生的靜電範圍大多集中於摩擦的部位，靜電分布均勻性因此大打折扣。



圖八：摩擦起電靜電效果

(二)電蚊拍尖端放電

我們知道電蚊拍的原理是利用變壓器提高電壓，以此高電壓/低電流來電擊蚊子。我們想試看看能否以此方式讓口罩/熔噴布帶上靜電荷，因此我們到市面上找一支最便宜簡單的電蚊拍(只需兩顆 3 號 1.5V 的電池為電源)來改造，將塑膠外殼拆解留下變壓器電路板及上、下兩層(正、負極)的金屬網格，完成簡易的尖端放電裝置。接著我們將熔噴不織布分別平放在正極金屬網格與負極金屬網格，按壓電源開關計 20 次後，用防靜電鑷子取回熔噴不織布，以衛生紙碎來量測前後靜電量是否有增加。相關實驗進行如圖九所示：

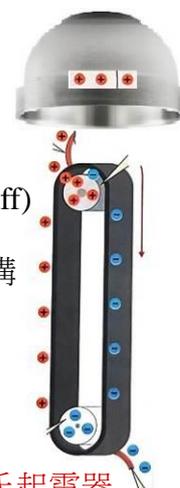


圖九：電蚊拍簡易尖端放電裝置

實驗的結果，無論是將熔噴不織布放在電蚊拍的正極金屬網格或負極金屬網格，靜電量均無顯著的變化，即無法有效將靜電加在熔噴不織布/口罩之上。探究其原因，因為電蚊拍是利用正負兩端的電位差來電擊蚊子，把熔噴不織布/口罩單純平鋪於金屬網格上並不能使電荷進行移轉，自然也無法使熔噴不織布/口罩帶上電荷了。因此改造電蚊拍來產生靜電的方法是失敗的。

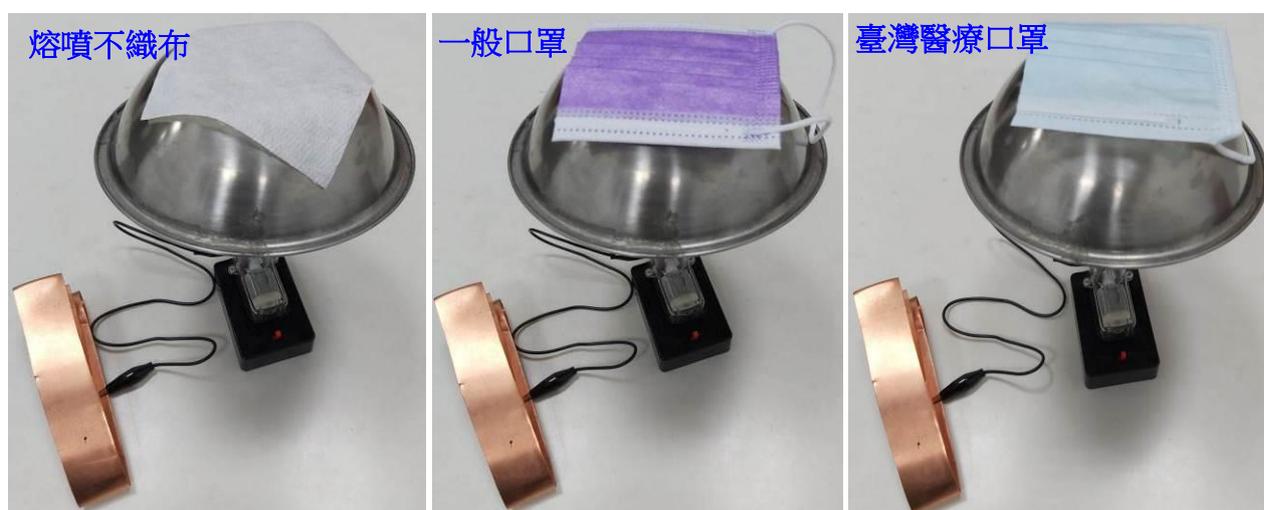
(三)迷你范德格拉夫(范氏)起電器

西元 1929 年，荷蘭裔美國物理學家范德格拉夫(Robert J. Van de Graaff)發明了范德格拉夫起電器，簡稱為范氏起電器。迷你范氏起電器之構造及原理如圖十所示：



圖十：迷你范氏起電器

- 1.累積正電荷的金屬容器：容器外側表面盡量圓滑以減少尖端放電效應造成電荷流失，所以本次科展我們利用鋼碗來當作金屬容器。
- 2.上輥輪、下輥輪和皮帶：下輥輪的材質選用塑膠(PVC)較容易帶負電荷，而上輥輪的材質則選用鋁較容易帶正電荷。
- 3.上下兩支放電電刷：利用銅絲電刷的尖端放電效果，分別將正電荷傳導至上方的金屬容器(鋼碗)表面，下方電刷則將負電荷引導接地。
- 4.利用玩具小馬達轉動下方之輥輪，帶動皮帶，皮帶再使上方輥輪轉動，如此循環摩擦產生出靜電。



圖十一：利用范氏起電器儲存靜電於各式口罩上

實際測試結果如圖十一所示，將熔噴不織布/口罩鋪放在金屬容器(鋼碗)表面，只要熔噴不織布/口罩能均勻的與金屬容器(鋼碗)表面接觸到，則靜電量的增加及靜電的均勻分布特性，都是三者之中靜電產生效果最佳的方法。

綜合上述各種靜電產生方式的優缺點分析比較，彙整如表二所示：

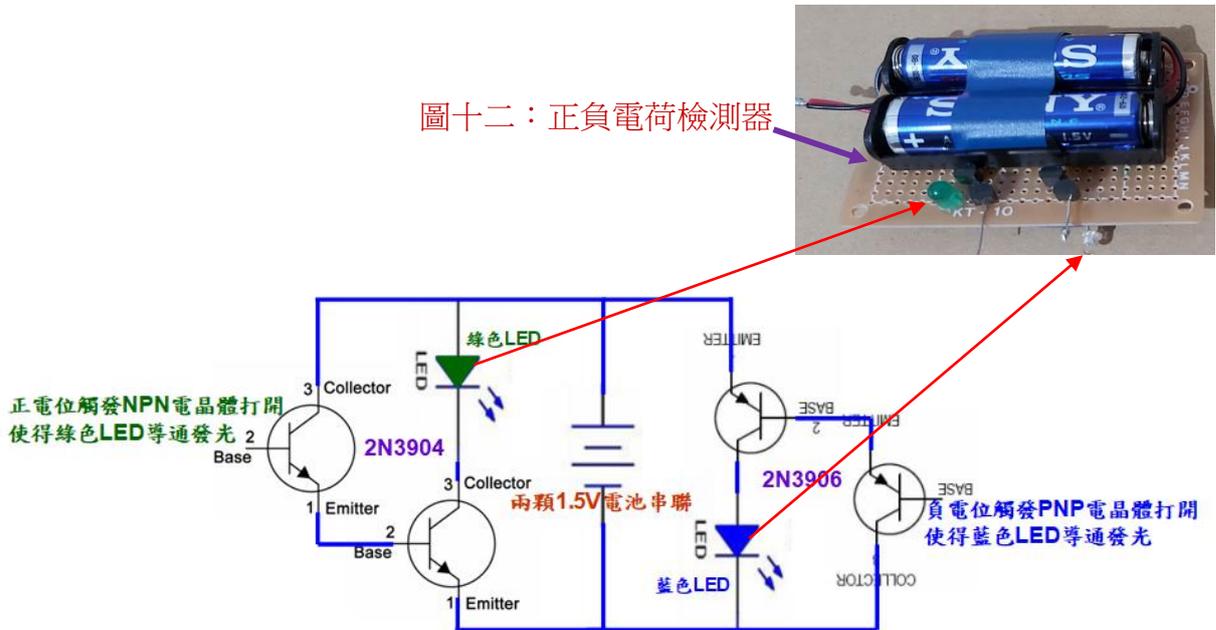
表二：不同靜電產生方式優缺點分析比較

項目	靜電產生的方式	優點	缺點
摩擦起電	不同物質相互摩擦	隨處可取得粗吸管/玻璃棒 操作上簡單	1. 靜電的分布不均勻 2. 摩擦的面積需要加大
電蚊拍尖端放電	高壓端與低壓端之間進行放電效應	只需將口罩平鋪在金屬網格上即可	靜電產生的效果不明顯
范氏起電器	利用皮帶與上下輥輪接觸，透過馬達運轉帶動皮帶與輥輪的轉動	1. 靜電的產生可透過電池電源讓馬達進行運轉即可 2. 靜電能均勻分布在口罩上	需購買小型范氏起電器或者DIY自製

勝

三、正負電荷檢測器：

選定了本次科展的靜電量測(衛生紙碎)與靜電產生(范氏起電器)方式之後，我們也想測量看看口罩帶”正”電荷或帶”負”電荷對於過濾效果的差異性比較；因此參照網路上”林宣安老師 創意教具 DIY” 部落格中介紹的方法，自製了一組正負電荷檢測器。實際做出來的產品與相關電路架構如圖十二所示：



圖十三：正負電荷檢測器測試效果

測試效果為在負電荷環境(藍色 LED 燈)下，可以觀察到藍色 LED 燈亮的很明顯，但是在正電荷環境(綠色 LED 燈)下，綠色 LED 燈只會呈現閃爍。分析其原因為：

- (一)負電荷只要電位維持在負值，即使不穩定，PNP 電晶體(2N3906)還是很容易打開導通讓藍色 LED 發光。

(二)正電荷的電位在正值，若靜正電位值沒有穩定的維持在一定正準位的話，NPN 電晶體(2N3904)就有可能一直開開關關，造成綠色 LED 只會閃爍，無法穩定發光。但至少此正負電荷檢測器可以正確判斷出物質帶有”正”電荷或”負”電荷沒有問題。相關測試如圖十三中所示：

四、空氣質量檢測儀：

醫療口罩最主要的功用是要阻擋細菌進入口中，但是要量測口罩上的細菌數多寡，必須要有細菌培養皿與精密的細菌檢測儀才能辦到。我們設計的實驗環境為在檢測箱的右側點燃線香(長度 3cm)，中間瓦楞板中空位置貼上待測的口罩，然後在檢測箱左側的位置放入空氣質量檢測儀(型號：WP6910)；此空氣質量檢測儀除了能偵測環境中 PM1/PM2.5/PM10 的濃度外，同時還能偵測甲醛(HCHO)及總揮發性有機化合物 TVOC (Total Volatile Organic Compounds)(含苯)的濃度。

檢測技術及檢測範圍分別是：

- PM1/PM2.5/PM10：檢測範圍- 0 ~ 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ /檢測原理- 利用雷射散射原理
- 甲醛 (HCHO)：檢測範圍- 0 ~ 1.999 mg/m^3 /檢測技術- 半導體傳感技術
- TVOC (含苯)：檢測範圍- 0 ~ 9.999 mg/m^3 /檢測技術- 半導體傳感技術

本次科展即以記錄這些量測數據值的變化情形，作為我們判斷實驗結果是否符合預期改善的重要依據。

五、口罩品質檢測箱：

要檢測有無靜電的口罩對於過濾效果的差異性進行探究的話，就有必要製作一個封閉且透明可觀察的檢測箱；我們找了許多大小不一的箱子進行測試，最後發現模型公仔壓克力展示箱最符合我們的需求。我們將一片瓦楞板(塑膠 PP 材質)的中間割出一個尺寸大小為 65mm X 55mm 長方形空間，然後將此瓦楞板放在壓克力展示箱的中間；瓦楞板的四周先貼上 3M 防水膠帶，接著再塗上矽利康(Silicone)加強效果，壓克力展示箱的上蓋內側中央處貼上海綿，以確保上蓋蓋好之後四周圍沒有任何隙縫，氣體只能通過口罩從右側到左側。第一代檢測箱的右側安裝一個小風扇送風，第二代檢測箱則是在左側上方安裝一個 8x8cm 排氣風扇，兩者的氣體流動效果相當，不過需注意控制風扇的轉速不可過大(模擬人的呼吸)，否則容易影響實驗的結果。

伍、研究結果

確認了本次科展採用的靜電量測方法(衛生紙碎)與靜電產生方式(迷你范氏起電器)之後，接下來要進行的即為口罩的效能檢測。我們希望量測能具有一定的準確度及可靠性，因此會將口罩對剪成兩片，其中一片作為對照組，另一片則為實驗組，來比較兩者的差異性。



圖十四：口罩對照組



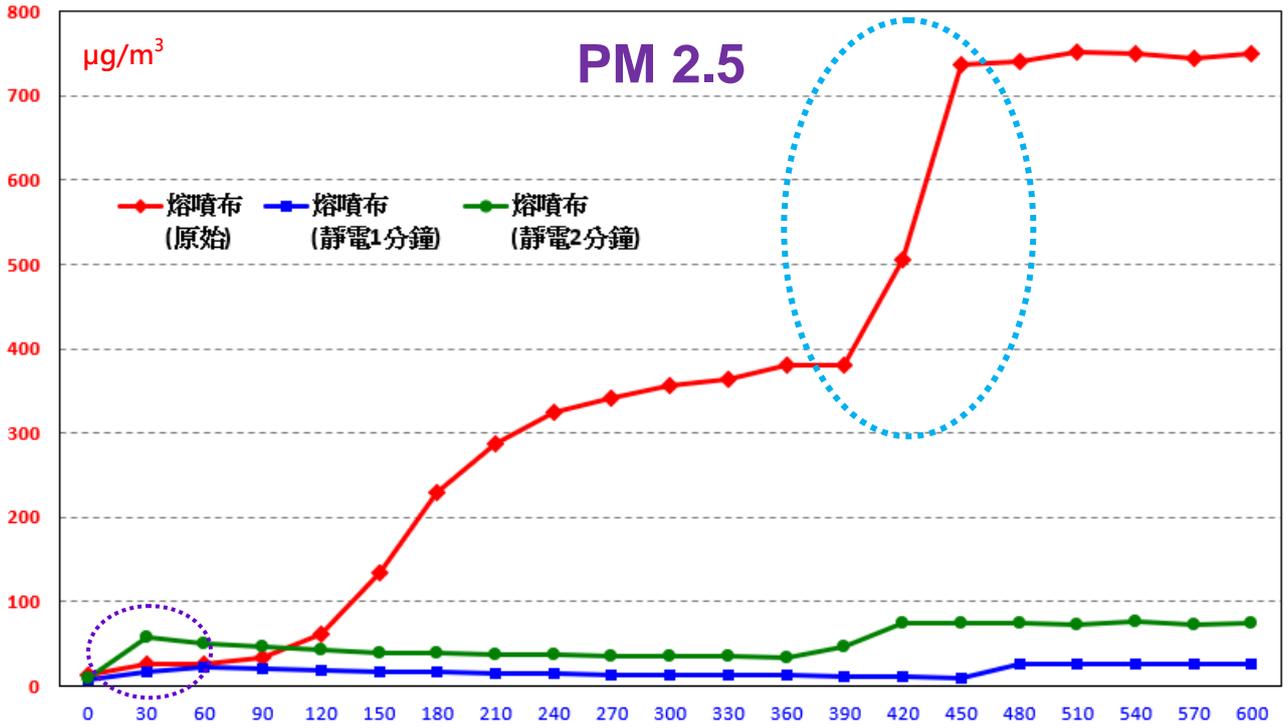
口罩實驗組

一、初始量測：

實驗共選擇台製熔噴布(口罩中間層)、台製醫療用口罩、中製(大陸製)一般性口罩及一般性活性炭口罩四種，線香固定長度為 3cm(燃燒時間約莫五分鐘)，每隔 30 秒記錄一次變化值，記錄到十分鐘(600 秒)止。相關量測數據及曲線趨勢如下所示：

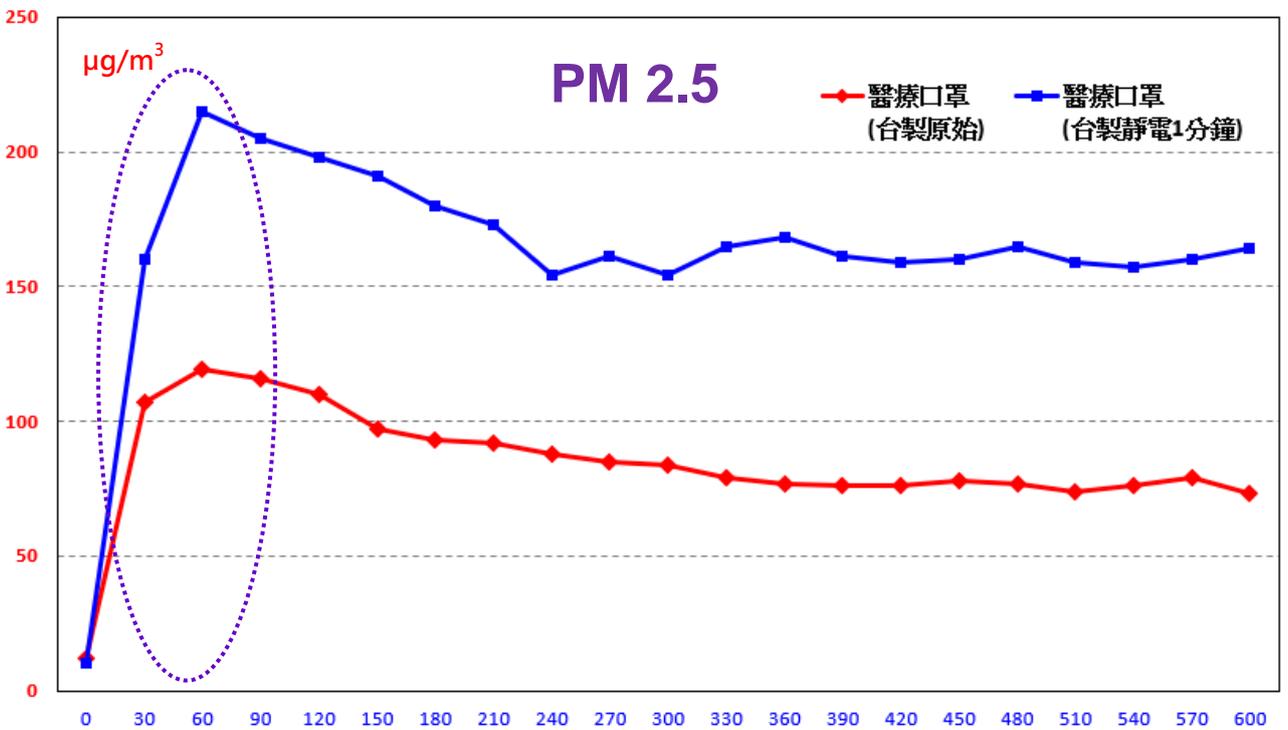
(一)PM2.5 值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)變化量測數據[台製熔噴布 & 台製醫療用口罩]-

PM2.5 (秒)	熔噴布 (原始)	熔噴布 (靜電1分鐘)	熔噴布 (靜電2分鐘)	醫療口罩 (台製原始)	醫療口罩 (台製靜電1分鐘)
0	13	7	9	12	10
30	25	17	58	107	160
60	26	22	50	119	215
90	34	21	47	116	205
120	62	19	43	110	198
150	135	17	39	97	191
180	230	17	39	93	180
210	287	15	37	92	173
240	325	15	37	88	154
270	341	13	36	85	161
300	357	13	35	84	154
330	364	12	35	79	165
360	380	12	34	77	168
390	380	11	46	76	161
420	506	11	75	76	159
450	736	10	75	78	160
480	740	25	74	77	165
510	751	26	72	74	159
540	749	25	76	76	157
570	744	25	73	79	160
600	750	26	75	73	164



圖十五: 台製熔噴布PM2.5值($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 原始 vs 加靜電後變化

秒(sec)

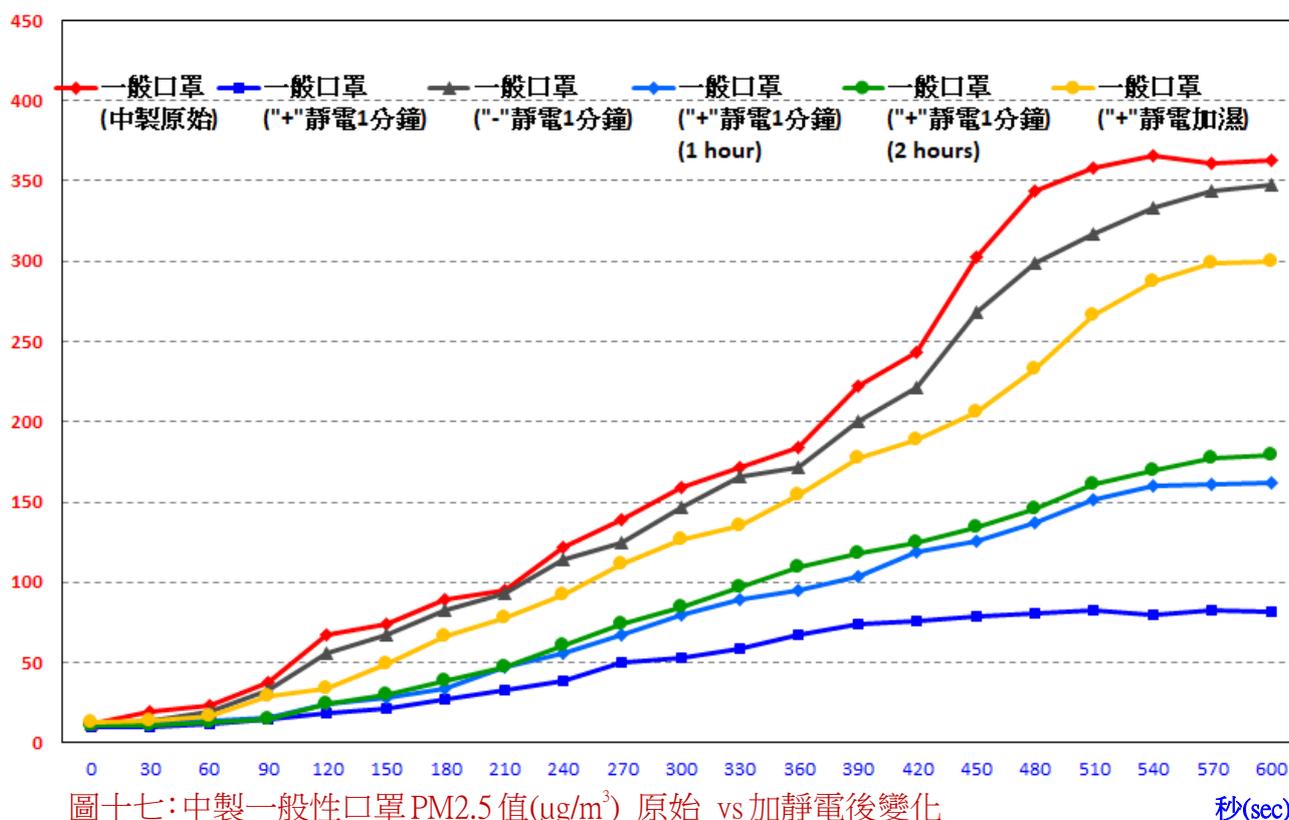


圖十六: 台製醫療用口罩PM2.5值($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 原始 vs 加靜電後變化

秒(sec)

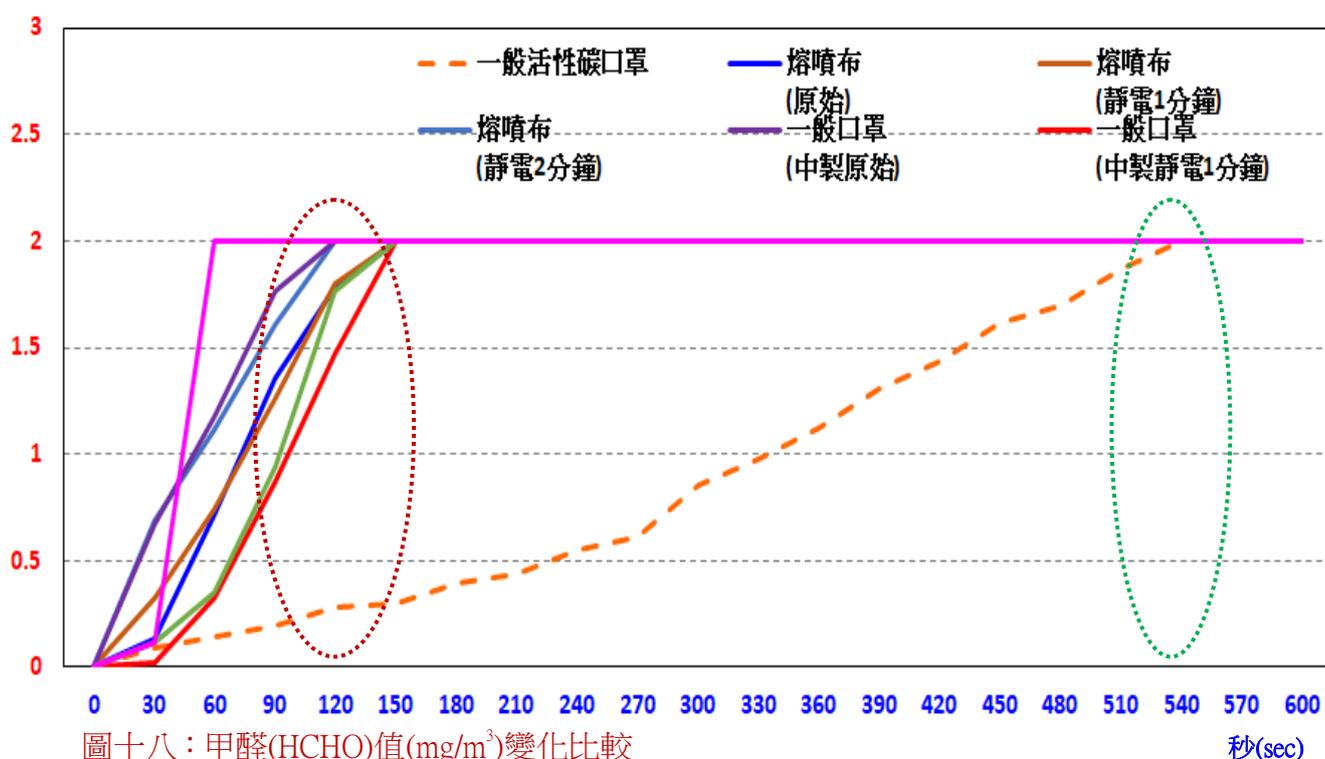
(二)PM2.5 值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)變化量測數據[中製一般性口罩]-

PM2.5 (秒)	一般口罩 (中製原始)	一般口罩 ("+靜電1分鐘)	一般口罩 ("+靜電1分鐘) (1 hour)	一般口罩 ("+靜電1分鐘) (2 hours)	一般口罩 ("-靜電1分鐘)	一般口罩 ("+靜電加濕)
0	12	10	13	11	12	13
30	19	10	13	11	14	14
60	23	12	14	13	19	17
90	38	15	16	15	33	29
120	67	18	24	24	56	34
150	74	21	28	30	67	49
180	89	27	34	39	83	66
210	95	33	47	47	93	78
240	122	39	56	61	114	92
270	139	50	67	74	125	111
300	159	53	80	84	147	127
330	172	59	89	97	166	135
360	184	67	95	109	172	154
390	222	74	104	118	200	177
420	243	76	119	125	221	189
450	303	79	126	134	268	206
480	344	81	137	146	299	233
510	358	83	151	161	317	266
540	366	80	160	170	333	287
570	361	83	161	177	344	299
600	363	82	162	179	348	300



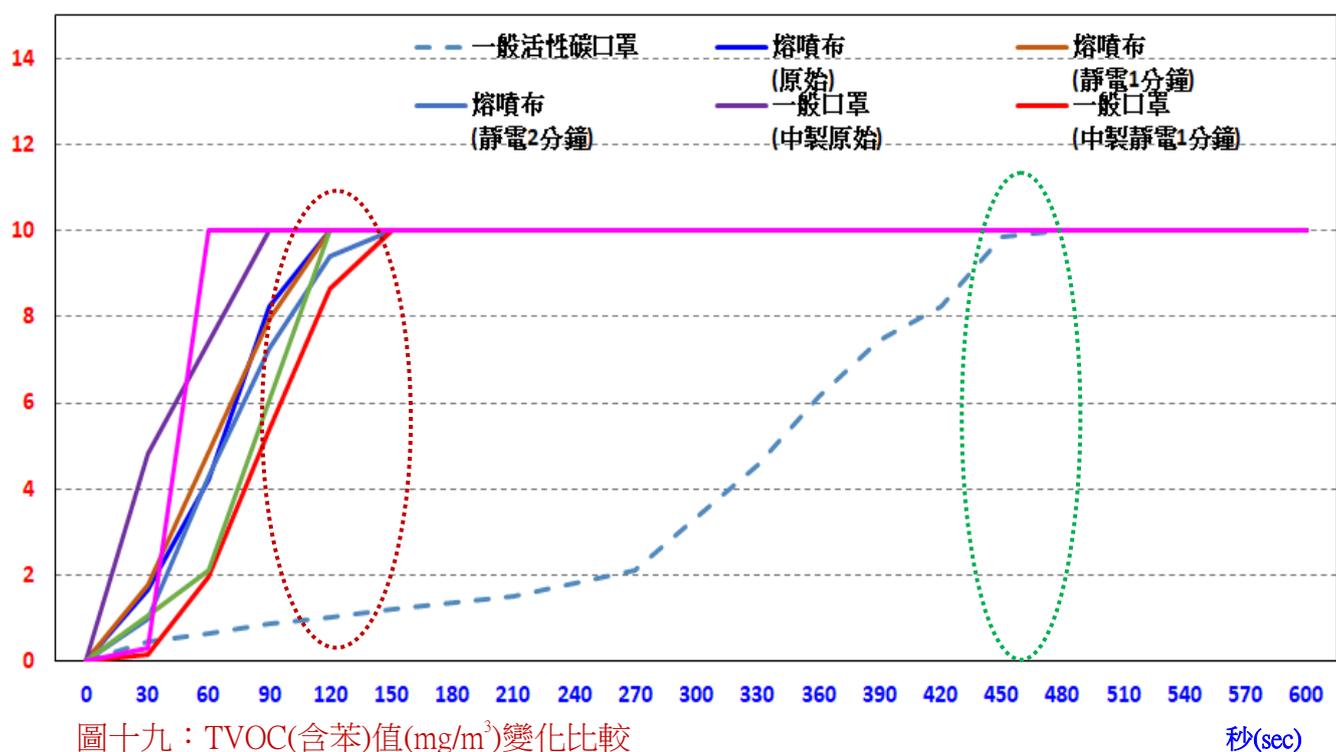
(三) 甲醛(HCHO)值(mg/m³)變化量測數據-

甲醛(HCHO)	一般活性碳口罩	熔噴布(原始)	熔噴布(靜電1分鐘)	熔噴布(靜電2分鐘)	一般口罩(中製原始)	一般口罩(中製靜電1分鐘)	醫療口罩(台製原始)	醫療口罩(台製靜電1分鐘)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0.088	0.135	0.327	0.692	0.673	0.025	0.117	0.118
60	0.146	0.712	0.744	1.116	1.177	0.325	0.352	1.999
90	0.192	1.357	1.266	1.605	1.767	0.871	0.944	1.999
120	0.281	1.785	1.803	1.999	1.999	1.474	1.761	1.999
150	0.301	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
180	0.397	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
210	0.442	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
240	0.548	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
270	0.615	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
300	0.856	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
330	0.972	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
360	1.123	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
390	1.309	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
420	1.435	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
450	1.617	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
480	1.699	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
510	1.873	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
540	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
570	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
600	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999



(四)TVOC(含苯)值(mg/m³)變化量測數據-

TVOC (含苯)	一般活性 碳口罩	熔噴布 (原始)	熔噴布 (靜電1分鐘)	熔噴布 (靜電2分鐘)	一般口罩 (中製原始)	一般口罩 (中製靜電1分鐘)	醫療口罩 (台製原始)	醫療口罩 (台製靜電1分鐘)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0.449	1.641	1.778	0.995	4.801	0.153	1.044	0.288
60	0.642	4.196	4.836	4.306	7.422	1.946	2.105	9.999
90	0.87	8.221	7.956	7.272	9.999	5.383	6.058	9.999
120	1.022	9.999	9.999	9.408	9.999	8.64	9.999	9.999
150	1.196	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
180	1.354	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
210	1.522	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
240	1.803	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
270	2.113	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
300	3.366	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
330	4.555	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
360	6.14	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
390	7.431	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
420	8.23	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
450	9.855	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
480	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
510	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
540	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
570	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999
600	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999	9.999



陸、討論

一、PM2.5 變化：

(一)台製熔噴布

一開始測試台製熔噴布時，由於少了口罩上下層的 PP 不織布保護，PM2.5 的數值飆升很快，約兩分半鐘 PM2.5 的濃度就上升到了 $135\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，隨後繼續穩定增加，到了七分鐘時因為檢測箱右側的線香已經燒完，煙霧濃度最大，而此時熔噴布上細微纖維能阻擋住的煙霧細塵已達極限，所以 PM2.5 濃度值才會再次大幅飆升。

當將熔噴布放在范氏起電器上的金屬容器(鋼碗)一分鐘後，此時熔噴布上已帶有正的靜電荷；從實驗結果可證，此帶有靜電荷的熔噴布，可以大幅降低及阻隔 PM2.5 的濃度，即使過了十分鐘，PM2.5 的濃度值仍在 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。

接著我們試著將熔噴布放在范氏起電器上的金屬容器(鋼碗)更久時間(兩分鐘)，希望能將更多的靜電荷儲存在熔噴布上，達到更好的防護力；但從實驗的結果來看，置放在范氏起電器上更久時間，並不能正比地增加靜電荷(熔噴布上的靜電量已飽和)，PM2.5 的防護力並無因為放在范氏起電器上更久時間而有顯著的改善。

(二)台製醫療用口罩

接著要進行測試的是經由口罩實名制，在藥局購買到的臺灣製醫療用口罩；實際測試下，即使經過了十分鐘，PM2.5 的濃度值仍維持在 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，防護力效果優良。雖然我們已經知道臺灣製醫療用口罩有經過「靜電駐極」製程，我們還是將其放在范氏起電器上的金屬容器(鋼碗)一分鐘，要看看測試的結果如何？令人意外的是防護力的效果不但沒有變得更好，反而似乎還變得更差了。

仔細探究其原因，我們發現 0~30 秒之間，PM2.5 的濃度快速上升至 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，這並非是口罩的防護力差，而是我們在檢測箱右側放入線香時，線香的煙霧同時也飄進了檢測箱左側，汙染了空氣質量檢測儀所致；我們可以觀察量測曲線在一分鐘之後的 PM2.5 濃度值變化，不但 PM2.5 濃度沒有隨著時間增加而增加，反而 PM2.5 的濃度還逐漸的降低減少，這正是臺灣製醫療用口罩中的「靜電駐極」技術發揮了作用，靜電將原本人為疏失造成的煙霧飄散給吸附了，空氣反而更清淨了，所以量

測到的 PM2.5 濃度值才會逐漸下降，直到口罩的防護能力飽和為止。

但是額外再用范氏起電器在臺灣製醫療用口罩上，因為口罩本身已經有「靜電駐極」了，所以對於 PM2.5 的防護效果看起來並無改善，反而有可能將口罩上原本的「靜電駐極」給抵消掉了，造成 PM2.5 的防護能力降低。

(三)中製一般性口罩

最後我們進行測試的是在網路上訂購的中製(大陸製)一般性口罩，雖然此口罩也標示出內層有熔噴布材質，但實際測試，PM2.5 的濃度飆升也是很快，證明此口罩出廠前應無經過「靜電駐極」製程，印證了之前新聞媒體所報導的中製一般性口罩對於細菌病毒的防護力很差，甚至無效果。同樣的，我們也將中製一般性口罩放在范氏起電器上的金屬容器(鋼碗)一分鐘後，再進行相同的測試；從實驗結果來看，加了靜電後的中製一般性口罩，對於 PM2.5 的防護力效果顯著，此實驗結果大大地增加了我們的信心。因此我們更進一步的提出發想，若將口罩經范氏起電器加了靜電荷之後先靜置 1~2 小時，然後再來進行防護力比較；從實驗結果來看，靜置 1~2 小時之後的靜電量應該有些衰退，所以 PM2.5 防護力有所降低，但與原始不做任何處理的中製一般性口罩相比，防護力效果仍是有所改善的。此外我們也將加了靜電的口罩用噴霧噴濕後再進行測試，從實驗結果來看，濕氣會讓靜電量消散，PM2.5 的防護效果也會因為濕氣的增加而大打折扣。

二、甲醛(HCHO) & TVOC(含苯)變化：

由於此空氣質量檢測儀除了可以量測 PM2.5 外，同時亦可以量測空氣中甲醛(HCHO)以及 TVOC(含苯)的濃度值，所以我們一併進行紀錄。觀察量測到的結果，無論是台製醫療用口罩或是中製一般性口罩，甲醛(HCHO)濃度或者 TVOC(含苯)濃度，大約都在兩分半鐘左右達到了檢測儀的量測上限(甲醛(HCHO) $>1.999\text{mg}/\text{m}^3$ ，TVOC(含苯) $>9.999\text{mg}/\text{m}^3$)，有沒有加靜電都無太大影響。這是因為甲醛(HCHO)與 TVOC(含苯)都是屬於揮發性氣體，靜電能吸附的是細微的固態顆粒，對於揮發性氣體的防護是無效用的。進一步量測活性碳的口罩，約四分半鐘左右 PM2.5 達到檢測儀的量測上限(PM2.5 $>999\mu\text{g}/\text{m}^3$)，至於甲醛(HCHO)濃度與 TVOC(含苯)濃度則約莫在八到九分鐘之後才會達到檢測儀的量測上限。

柒、結論

綜合上述的實驗數據與分析討論，對於此次科展專題進行總結如下：

人類文明快速發展，雖然帶給我們許多的便利與進步，但也由於人類的貪婪私心，衍生出許多的問題。新冠肺炎(COVID-19)到底是經由動物的傳染、或者是人們貪吃野生動物所感染，抑或是生態環境遭受污染所致、甚至是實驗室中人為製造合成出來的病毒，目前仍是眾說紛紜，莫衷一是，但是我們知道未來再發生傳染性病毒的可能性只會增加不會減少。發展疫苗與發現解藥都是事後的補救措施，緩不濟急，只有做好個人的安全防護措施，才是第一時間保護好自己的最佳”良藥”，而此”良藥”即為**口罩**。

經由此次科展的探索，我們知道一個防護力優良的口罩，其條件除了口罩中間層的熔噴布，其細微纖維能過濾掉環境中的較大固態顆粒(物理式過濾)外，還需要有「靜電駐極」，利用靜電吸附空氣中的細微顆粒(例如細菌)，來達到防止病毒傳播與感染的機會。

當然選用口罩的第一優先必定是醫療用的口罩，但是萬一將來再發生醫療用口罩短缺的時候，而手邊有一般性口罩或者是之前囤積已過期醫療口罩的話，就可以依本次科展所提出的方式，利用簡單的范氏起電器，將一般性口罩以及靜電流失的過期醫療口罩進行靜電增加處理，藉以提升口罩的病毒細菌防護能力，作為**緊急應急**之用，而這也正是本次科展專題的主要目的與貢獻。

捌、參考文獻資料

- 一、嚴重特殊傳染性肺炎・衛生福利部疾病管制署・取自
<https://www.cdc.gov.tw/Disease/SubIndex/N6XvFa1YP9CXYdB0kNSA9A>
- 二、口罩實名制相關資訊查詢頁面・衛生福利部中央健康保險署・取自
https://www.nhi.gov.tw/Content_List.aspx?n=395F52D193F3B5C7
- 三、熔噴不織布/口罩/靜電駐極・熔噴聯盟 (SCP Meltblown Team)・取自
<https://www.meltblown.com.tw/tw/applications.html>
- 四、靜電駐極技術・3M™超細靜電纖維過濾技術作用原理・3M Taiwan・取自
https://www.3m.com.tw/3M/zh_TW/automotive-tw/car-air-filter/static-electricity/
- 五、台灣口罩到底比中國好在哪?・今周刊・取自
<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/80392/post/202004070022/台灣口罩到底比中國好在哪?熔噴布廠商透露測試數字,讓人驚呼:原來,差這麼多>
- 六、三層口罩結構示意圖・March 14, 2020 by Micro Medical Technology Ltd.・取自
<https://mmt-care.com/?p=78>
- 七、驗電器 & 萊頓瓶・維基百科,自由的百科全書・取自
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%AA%8C%E7%94%B5%E5%99%A8>
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8E%B1%E9%A1%BF%E7%93%B6>
- 八、靜電驗電瓶DIY/用驗電器來學摩擦起電、接觸起電與接地的概念・@zfangの科學小玩意・取自 <http://n.sfs.tw/content/index/10427> & <http://n.sfs.tw/content/index/10429>
- 九、萊頓瓶・中興大學物理系 普物演示廳・取自
<http://experiment.phys.nchu.edu.tw/device/exp52.htm>
- 十、作者 李家同 熔噴和電暈-口罩所需要的技術・為台灣加油打氣專欄・取自
http://www.naipo.com/Portals/1/web_tw/Knowledge_Center/Editorial/IPNC_200812_1501.htm
- 十一、如何提高熔噴布的過濾效率?・壹讀・取自 <https://read01.com/kz0d7om.html>
- 十二、當摩擦起電效應不再惱人—摩擦奈米發電機的誕生與演化・物理雙月刊・取自
https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_m1_id=5&index_id=545

十三、電蚊拍的教學應用・亞太科學教育論壇,第三期,第二冊 (2002, Dec) 羅道正・取自

https://www.eduhk.hk/apfslt/v3_issue2/lwodj/lwodj6.htm

十四、摩擦起電效應 & 范德格拉夫起電機・維基百科，自由的百科全書・取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%91%A9%E6%93%A6%E8%B5%B7%E9%9B%BB%E6%95%88%E6%87%89>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8C%83%E5%BE%B7%E6%A0%BC%E6%8B%89%E5%A4%AB%E8%B5%B7%E7%94%B5%E6%9C%BA>

十五、范得格拉夫起電器・科學月刊 (2017-07-01)・取自

<https://www.scimonth.com.tw/tw/article/show.aspx?num=2245&root=2&page=7>

十六、Artec《迷你范氏起電機》科學實驗教具・泛科市集・取自

<https://panmarket.asia/product/artec-%E3%80%8A%E8%BF%B7%E4%BD%A0%E8%8C%83%E6%B0%8F%E8%B5%B7%E9%9B%BB%E6%A9%9F%E3%80%8B%E9%9D%9C%E9%9B%B%E5%AF%A6%E9%A9%97%E6%95%99%E5%85%B7/>

十七、作者 周鑑恆 萬能科技大學 光電系・迷你范德格拉夫起電器・取自

[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/106\(396-405\)/398-PDF/44-48_106007-%E8%BF%B7%E4%BD%A0%E8%8C%83%E5%BE%B7%E6%A0%BC%E6%8B%89%E5%A4%AB%E8%B5%B7%E9%9B%BB%E5%99%A8\(%E4%BF%AE%E6%94%B9\).pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/106(396-405)/398-PDF/44-48_106007-%E8%BF%B7%E4%BD%A0%E8%8C%83%E5%BE%B7%E6%A0%BC%E6%8B%89%E5%A4%AB%E8%B5%B7%E9%9B%BB%E5%99%A8(%E4%BF%AE%E6%94%B9).pdf)

十八、靜電產生器設計製作與推廣・物理教育學刊 2016, 第十七卷第二期, 75-86・取自

<http://phys5.ncue.edu.tw/physedu/article/17-2/8.pdf>

十九、正負電荷檢驗器・林宣安老師_創意教具DIY・取自

http://10930984547.blogspot.com/2017/05/blog-post_21.html

二十、空氣中細菌濃度檢測方法・環境保護署・取自

<https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=5381162427A1894A>

二十一、甲醛 & 揮發性有機物・維基百科，自由的百科全書・取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/甲醛> & <https://zh.wikipedia.org/wiki/揮發性有機物>

【評語】 082813

1. 製作簡易的口罩量測工具，貼近近期生活現況，俱備實際應用。
2. 在測試的過程中，提出了自製的量測裝置，並與市售的口罩進行比較，具備良好的科學精神。惟量測的方式與數據的取得，若能更進一步地自動化，將可提升其實用價值。
3. 冠狀病毒直徑大約 100 奈米左右，本作品以 PM2.5 微米量測粒子數量，可以進一步探討其關聯性，加深其科學研究深度。

作品簡報



**組
科**

別：國小組

別：生活與應用科學科(一)

(機電與資訊)

作品名稱：自製靜電口罩之實用性探究

摘要與研究目的

摘要

新冠肺炎疫情COVID-19
→ 口罩需求大增

臺灣醫療口罩品質勝出
→ 口罩中間的熔噴不織布
(聚丙烯PP)+「靜電駐極」
技術，將口罩過濾效果從
30%~50%(物理過濾)提升
至95%~99%(靜電吸附)

研究目的

01

探討如何比較靜電量的大小差異
鋁箔驗電器、保麗龍球、衛生紙碎

02

如何有效的產生靜電及將靜電量儲存於口罩
內的熔噴不織布中
摩擦起電、電蚊拍尖端放電、范氏起電器

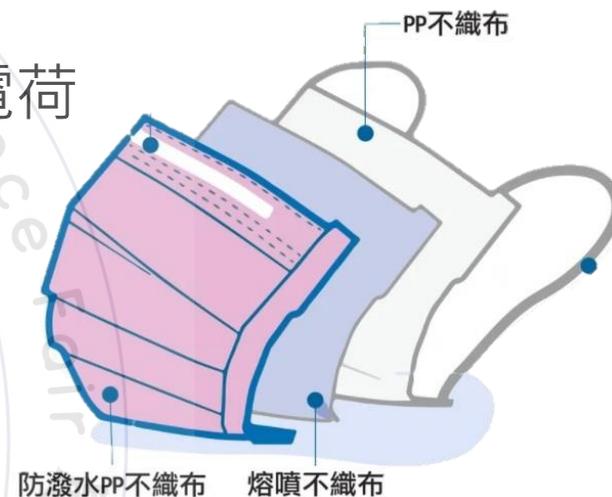
03

利用空氣質量檢測儀及自製的檢測箱來對照
有無靜電的口罩防護性差異進行比較

研究動機

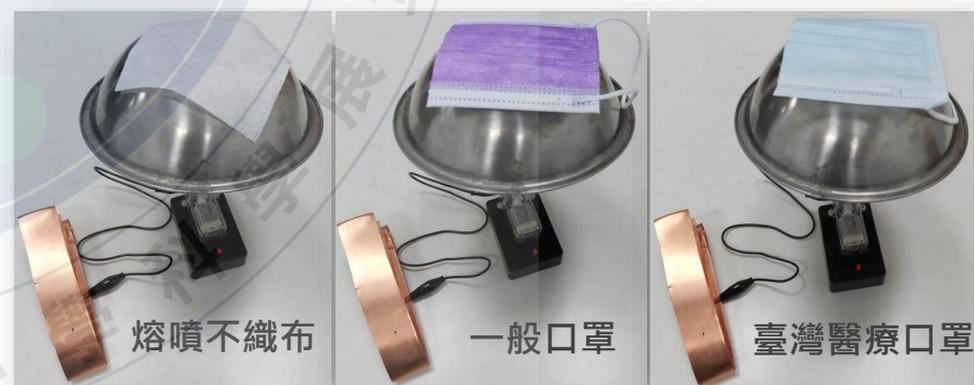
台灣醫療口罩防護原理與效果

「靜電駐極」中，「駐」代表施加的意思，而「極」指的就是電荷因時間的累積、潮濕的環境，造成口罩內的靜電量耗損，進而影響口罩的過濾效果



延長口罩防護效果

研究產生靜電及將靜電量儲存在口罩內層的熔噴不織布中，將已過期的醫療口罩或一般性口罩提升成為具有醫療口罩效果的方法



研究過程與方法

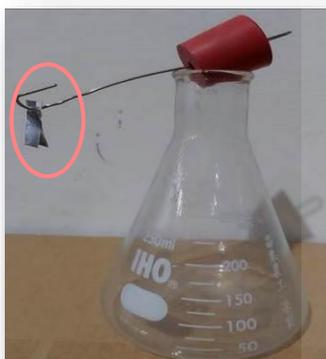
收集相關題材資料
進行研究



靜電測量方式選定

項目	量測靜電量大小基準	優點	缺點
鋁箔驗電器	鋁箔分開的角度	觀察容易	靜電量太低可能無反應
史萊姆 保麗龍球	單位面積吸附的 "保麗龍球"數目	微小靜電量仍能吸附	1. 計算吸附量費時 2. 測試過的保麗龍球已帶有靜電，可能會影響下次量測的準確性
👍 衛生紙碎	單位面積吸附的 "衛生紙碎"數目	1. 微小靜電量仍能吸附 2. 可以重複使用進行量測	計算吸附量費時

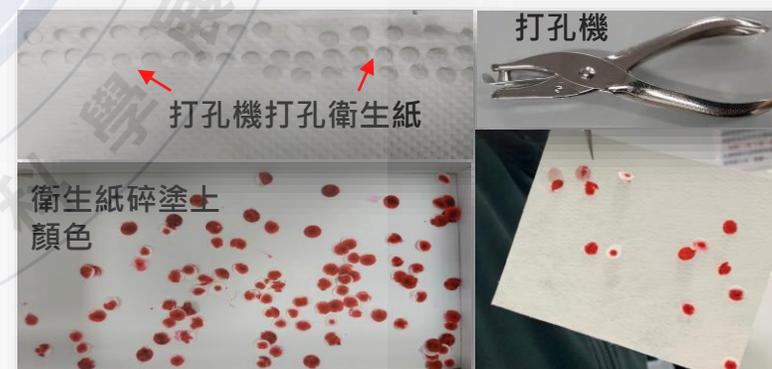
鋁箔驗電器



保麗龍球偵測靜電量



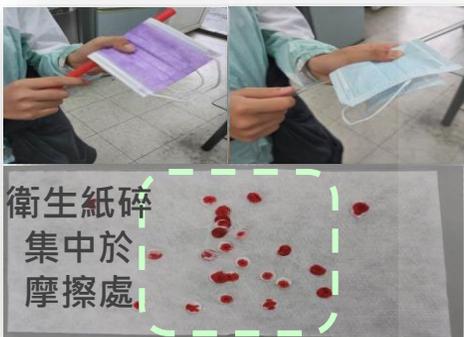
衛生紙碎



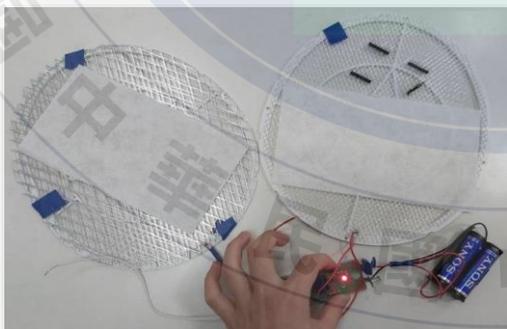
靜電產生方式選定

項目	靜電產生的方式	優點	缺點
摩擦起電	不同物質相互摩擦	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隨處可取得粗吸管/玻璃棒 2. 操作上簡單 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 靜電的分布不均勻 2. 摩擦的面積需要加大
電蚊拍尖端放電	高壓端與低壓端之間進行放電效應	只需將口罩平鋪在金屬網格上即可	靜電產生的效果不明顯
 范氏起電器	透過馬達的運轉，帶動皮帶與上下轆轤的接觸轉動	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可透過電池電源讓馬達進行運轉即可 2. 靜電分佈均勻 	需購買小型范氏起電器或者DIY自製

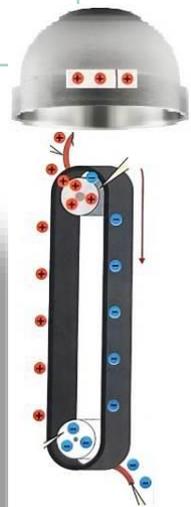
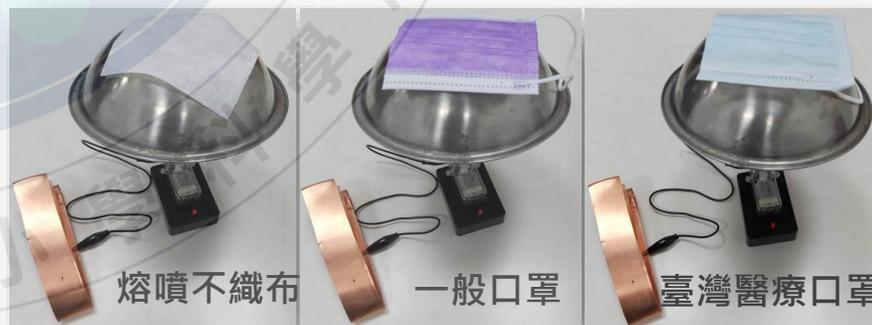
摩擦起電



電蚊拍尖端放電



范氏起電器



自製檢測箱 & 正負電荷檢測器

01

自製檢測箱(第一代)

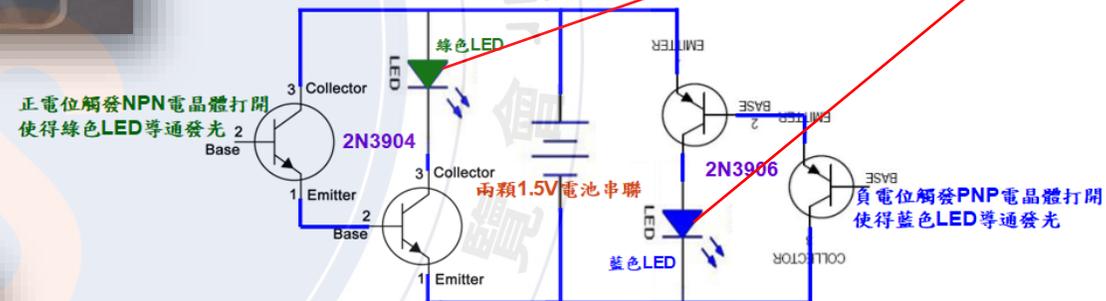
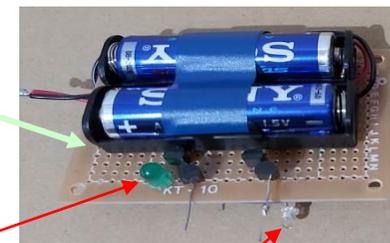


02

自製檢測箱(第二代)

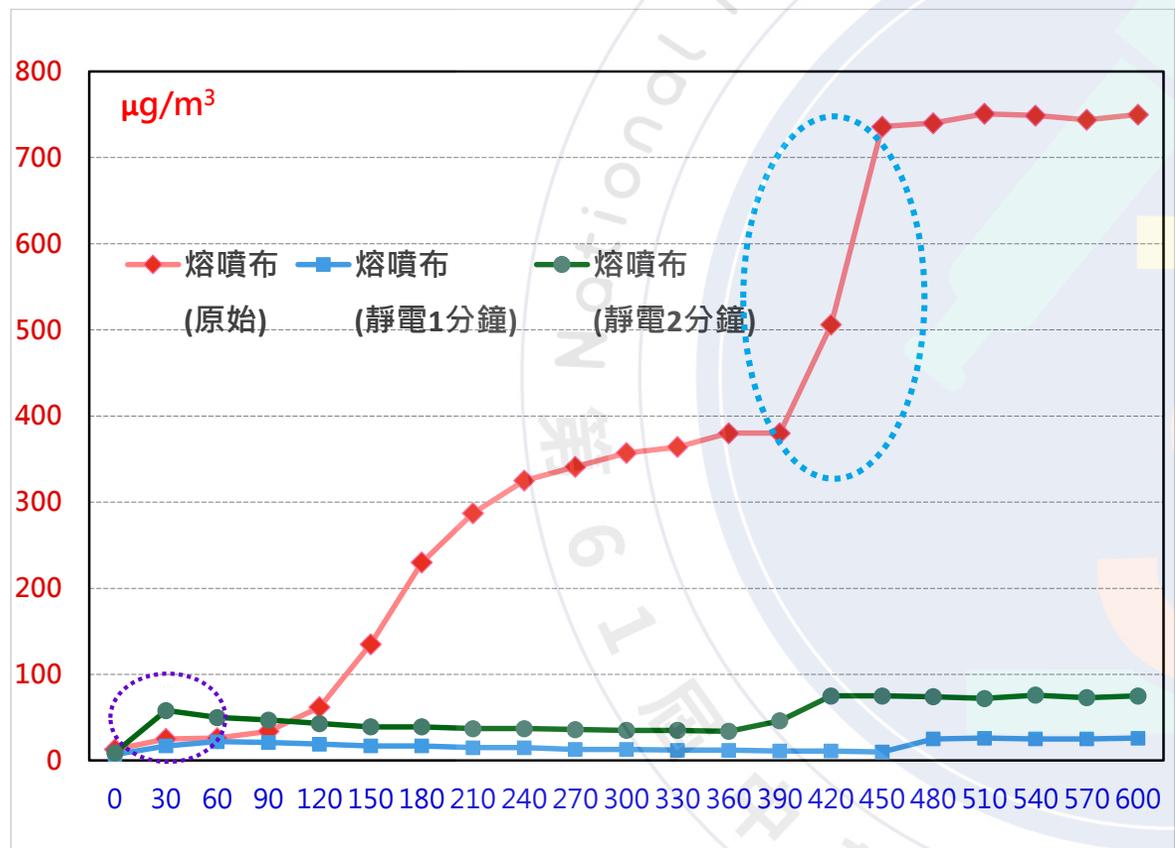


正負電荷檢測器



研究結果-台製熔噴布

台製熔噴布PM2.5值($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 原始 v.s 加靜電後變化



135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

熔噴布 (原始)

約兩分半鐘就上升到了135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，到了七分鐘時因為檢測箱右側的線香已經燒完，煙霧濃度最大，所以PM2.5濃度值再次大幅飆升。

100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
以下

熔噴布 (靜電1分鐘)

此時熔噴布上已帶有靜電荷，可以大幅降低及阻隔PM2.5的濃度，即使過了十分鐘，PM2.5的濃度值仍在100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
以下
(無明顯差異)

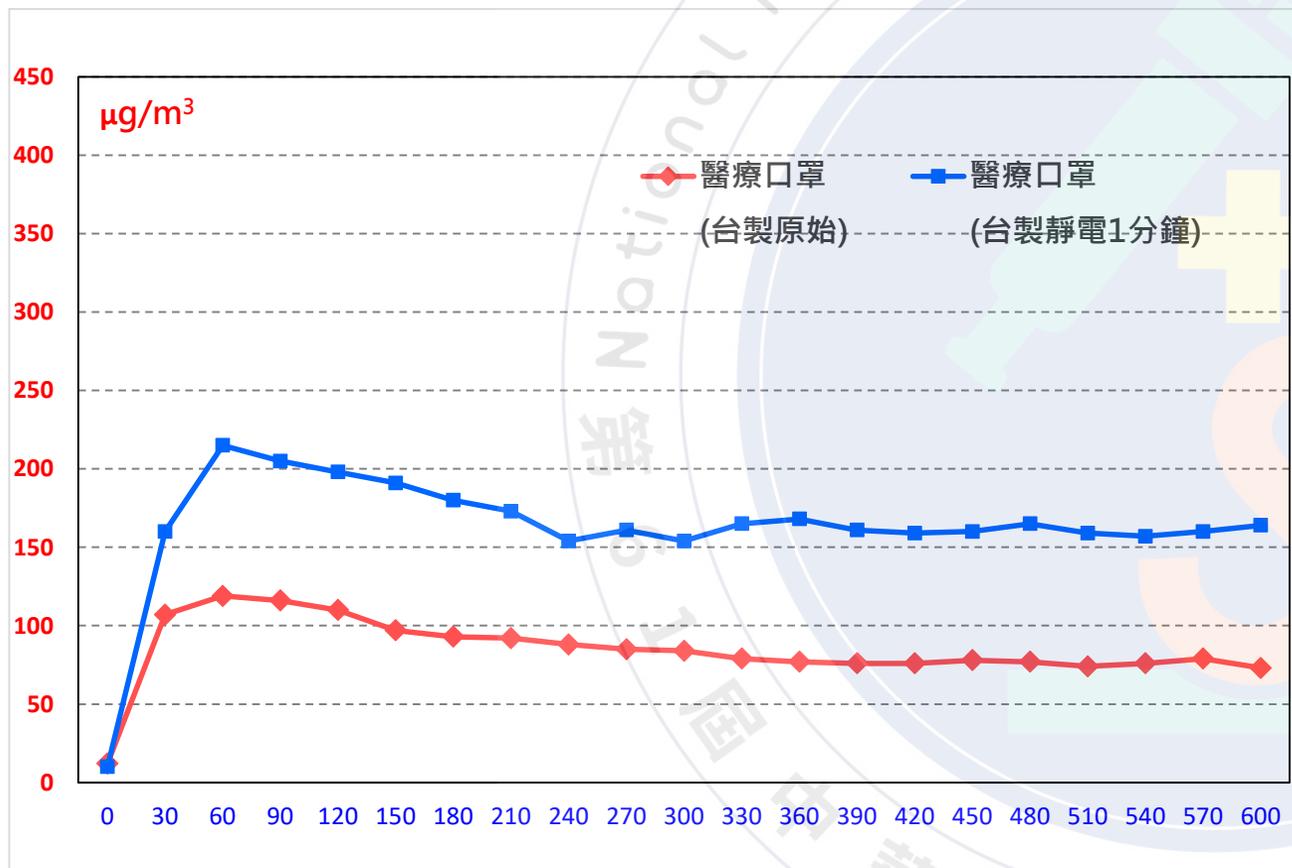
熔噴布 (靜電2分鐘)

置放在范氏起電器上更久時間，並不能正比地增加靜電荷(熔噴布上的靜電量已飽和)

從實驗結果可證，帶有靜電荷的熔噴布，可以大幅降低及阻隔PM2.5的濃度

研究結果-台製醫療用口罩

台製醫療用口罩PM2.5值($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 原始 v.s 加靜電後變化



$100\mu\text{g}/\text{m}^3$
以下

台製醫療口罩 (原始)

即使經過了十分鐘，PM2.5的濃度值仍維持在 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，防護力效果優良

$200\mu\text{g}/\text{m}^3$
以下

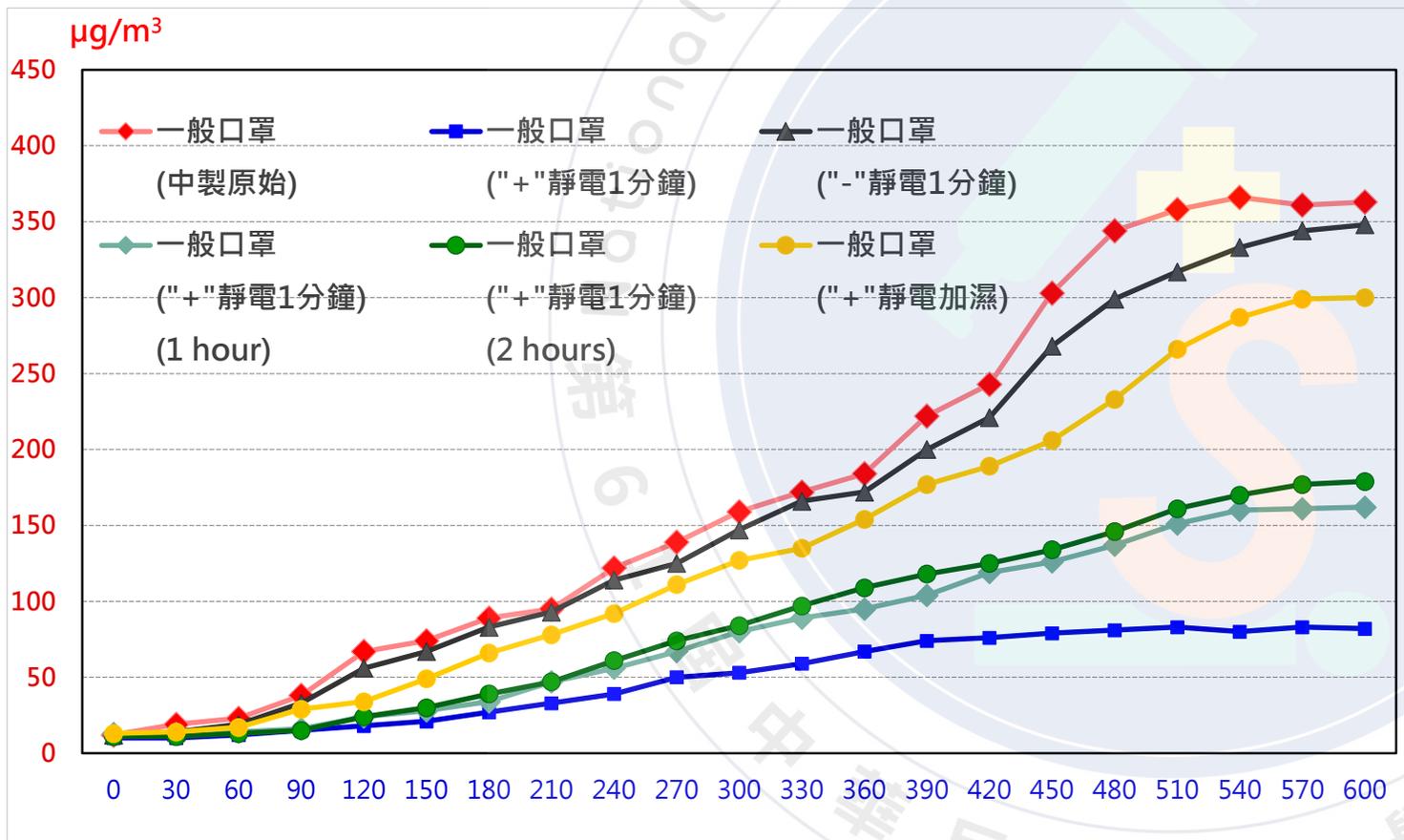
台製醫療口罩 (靜電一分鐘)

口罩本身已經有「靜電駐極」了，加靜電反而有可能將口罩上原本的「靜電駐極」給抵消掉，影響口罩PM2.5的防護效果。

台製醫療用口罩本身已經有「靜電駐極」，加靜電反而會影響防護效果

研究結果-中製一般性口罩

中製一般性口罩PM2.5值($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 原始 v.s 加靜電後變化



中製一般口罩 (原始)
PM2.5的濃度飆升很快

加靜電後 放置1~2小時
靜電量有些衰退 (= PM2.5防護力有所降低) 但與原始口罩相比, 防護力效果仍是有所改善

加靜電後
對於PM2.5的防護力效果顯著

加靜電後 加濕
濕氣會讓靜電量消散, PM2.5的防護效果也會因為濕氣的增加而降低

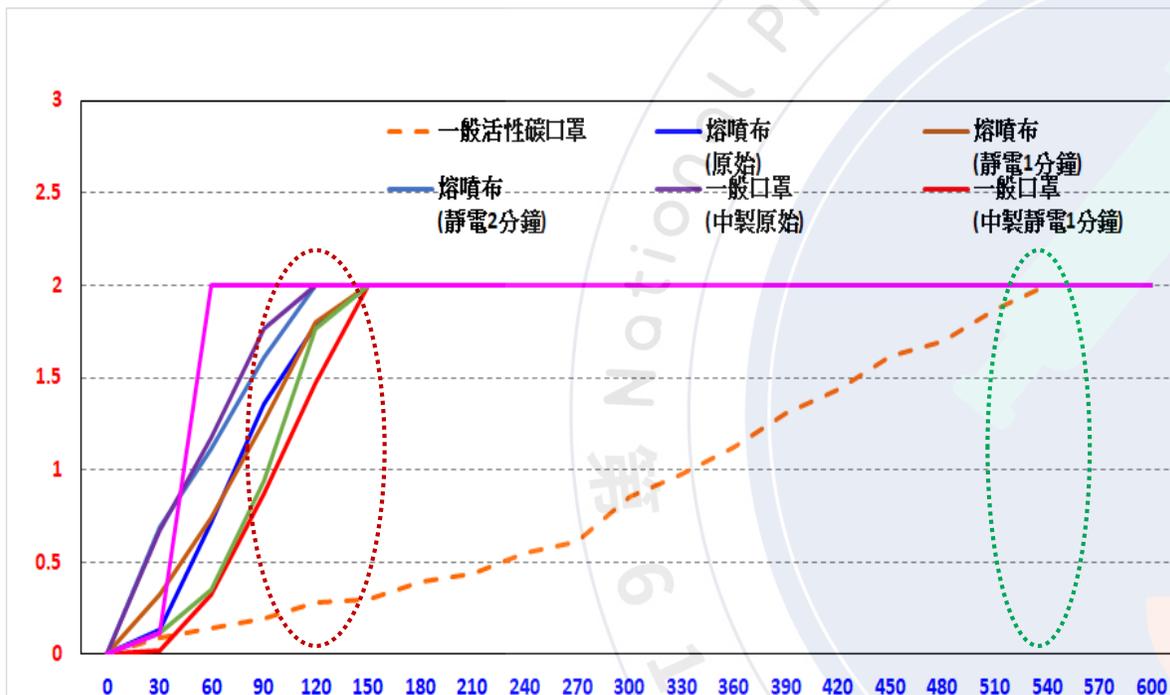
中製口罩加靜電後, 對PM2.5的防護力效果顯著

研究結果-甲醛與TVOC值變化

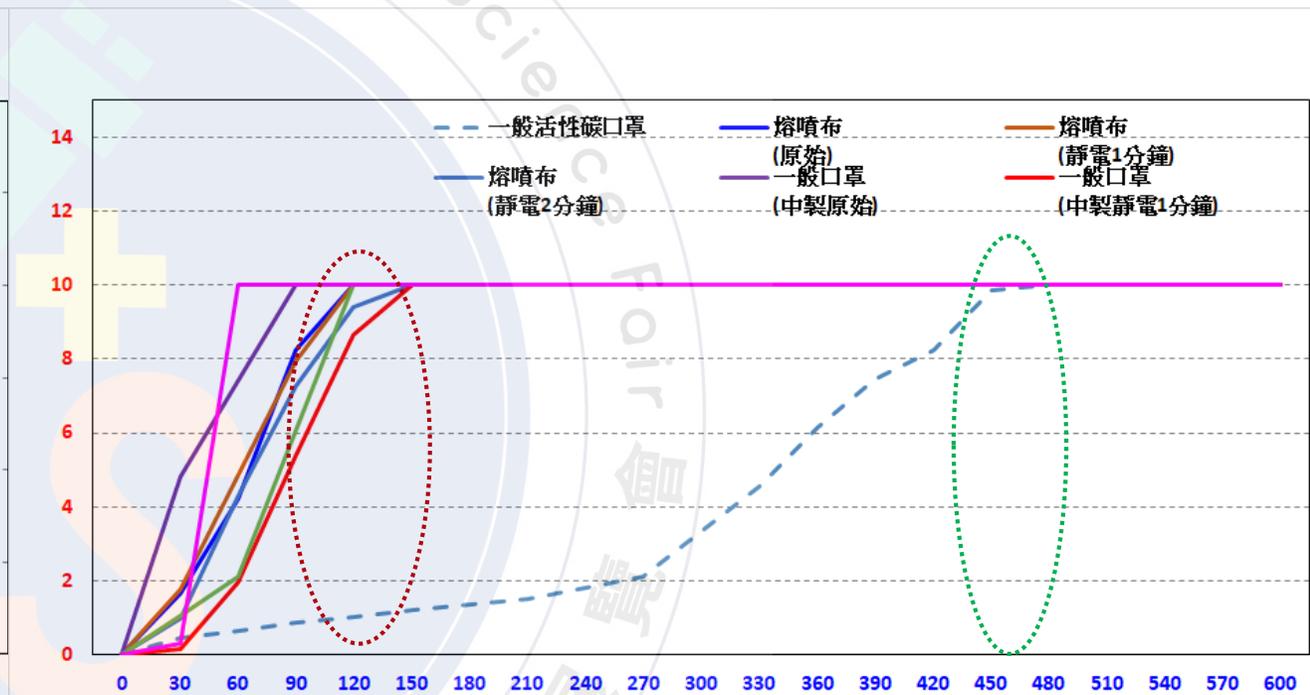
甲醛(HCHO) > 1.999mg/m³

TVOC(含苯) > 9.999mg/m³

甲醛(HCHO)值(mg/m³)變化



TVOC(含苯)值(mg/m³)變化



熔噴布與一般口罩：

甲醛(HCHO)與TVOC(含苯)都屬於揮發性氣體，靜電能吸附的是細微的固態顆粒，對揮發性氣體的防護無效

活性炭的口罩：

則約莫延長至八到九分鐘之後才會達到檢測儀的量測上限



綜合結論

01 靜電駐極

防護力優良的口罩，其條件除了口罩中間層的熔噴布，其細微纖維能過濾掉環境中的較大固態顆粒(物理式過濾)外，還需要有「靜電駐極」，利用靜電吸附空氣中的細微顆粒(例如細菌)，來達到防止病毒傳播與感染的機會

02 范氏起電器使口罩回春

利用簡單的范氏起電器，將一般性口罩以及靜電流失的過期醫療口罩進行靜電增加處理，藉以提升口罩的病毒細菌防護能力，作為緊急應急之用，而這也正是本次科展專題的主要目的與貢獻。

感謝聆聽，請評審指教