

中華民國第 62 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

第三名

082804

無紙袋吸塵器除塵技術運用於室內空氣清淨之
研究

學校名稱：桃園市中壢區中原國民小學

作者： 小六 藍應諺 小六 許宇希 小六 翁雅玲 小六 林聖雅	指導老師： 林俊卿 黃柏睿
---	---------------------

關鍵詞：無紙袋、PM2.5、空氣清淨

摘要

本研究主要是希望將「無紙袋吸塵器」之除塵技術應用在室內空氣清淨之上。

首先，選定 PM2.5 為空氣汙染檢測標的。然後，利用電腦課學習之 Arduino 套件，編寫程式並組裝 SHARP PM2.5 感測器。

接著，探討無紙袋吸塵器之除塵原理，並改良結構以應用於空氣清淨。

研究發現：設計良好之「氣旋除塵筒」，確實有很好的清除 PM2.5 效率。清除 PM2.5 效率良好的氣旋除塵筒：1. 能產生結構札實的氣旋結構、2. 直式比橫式效率高、3. 加長氣旋除塵筒長度能夠增加清除效率、4. 抽氣孔與進入室內空氣孔分開，並將抽氣孔位於側邊可以增進清除效率、5. 增加風扇風力也可以增加清除 PM2.5 的效率。

壹、前言

台灣隨著工業的發展，在過去數十年來，關於空氣汙染的問題一直是一個重要議題，有越來越多的研究發現，空氣汙染的嚴重程度，跟肺癌或其他疾病的發生率有顯著關係。

近兩年新冠病毒爆發以來，如何呼吸到乾淨、無病毒的空氣以維持身體健康，更變成每個人生活中最關切的事情。

說到維持空氣清淨的方式，我們會立刻聯想到空氣清淨機，而最常被使用的空氣清淨機幾乎都使用濾網，因此「濾網」耗材變成一個重要的花費。

自從「無紙袋吸塵器」被發明及普遍使用以來，我們被「不需要濾網」、「吸力永不減退」的廣告詞所深深吸引。

試想，如果「無紙袋吸塵器」的除塵技術可以被運用在室內空氣清淨之中，那麼「不需要濾網」、「空氣清淨能力永不減退」的技術，對於減少「濾網」耗材的花費及提升空氣清淨「效率」將有莫大的貢獻。

因此，我們發展出以下研究目的：

- 一、選定與肺癌及新冠肺炎顯著相關之「空氣汙染指標」做為檢測標的
- 二、設計此「空氣汙染指標」之感測器與檢測方法
- 三、探討「無紙袋吸塵器」之除塵原理
- 四、改良「無紙袋吸塵器」結構以應用於空氣清淨

貳、 研究設備及器材

1. Arduino 開發板。(圖 1)	2. PM2.5 感測器。(圖 2)	3. 1602 顯示板。(圖 3)
4. 品牌 1 無紙袋吸塵器。(圖 4)	5. 品牌 2 無紙袋吸塵器。(圖 5)	6. 抽取式 PM2.5 感測器(圖 6)
7. 風速計。(圖 7)	8. 木屑。(圖 8)	9. 保麗龍屑。(圖 9)
10 自製實驗箱。(圖 10)	11. 製造 PM2.5 之線香。(圖 11)	12. 風扇調速器。(圖 12)
13. 兩段式電子控制開關。 (圖 13)	14. 實驗箱內室內外空氣對流 扇。(圖 14)	15. 除塵後乾淨空氣進入室內 風扇。(圖 15)
16. 氣旋除塵桶大風扇。(圖 16)	17. 氣旋除塵桶小風扇。(圖 17)	18. 自製氣旋除塵桶，共 8 種 結構。(圖 18)



圖 1



圖 2

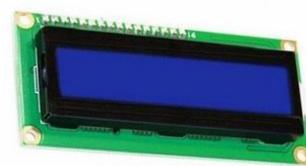


圖 3



圖 4



圖 5

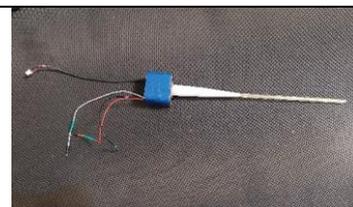


圖 6



圖 7



圖 8



圖 9



圖 10



圖 11



圖 12



圖 13



圖 14



圖 15



圖 16



圖 17



圖 18

參、研究過程或方法

一、選定與肺癌及新冠肺炎顯著相關之「空氣汙染指標」做為檢測標的

在查詢「空氣汙染指標」與**肺癌**、**新冠病毒**等疾病有顯著相關文獻後，我們發現 **PM2.5** 是合適的空氣汙染指標。

(一)PM2.5 與**癌症**的相關性：在台灣癌症基金會的文獻中提到，PM2.5 的濃度增加，跟肺癌的發生率顯著相關。英國研究發現，如果可以改善空氣汙染、減少空氣中 PM2.5 濃度，那他們一年可以減少三千六百多個癌症病患。此外，世界衛生組織更是早在 2013 年就已經將 **PM2.5** 列為**第一級致癌物質**。

(二)PM2.5 與**新冠病毒**的相關性：在陽明交通大學與中國醫藥大學的合作研究，透過動物實驗，證實空氣中的 **PM2.5 濃度**會提高細胞膜表面蛋白 ACE2、TMPRSS2 的表現量，而這兩個蛋白正是新冠病毒感染細胞表面受體和蛋白質。義大利科學家在義北部大城貝加莫市區和工業區一代收集空氣，發現空氣中的**懸浮粒子**中就可以驗出新冠病毒，此區域也正是新冠肺炎重災區，是義大利死亡人數最多的地方之一。

二、設計「空氣汙染指標」之感測器與檢測方法

利用電腦課上課學習之 Arduino 套件，編寫程式並組裝 SHARP PM2.5 感測器，做為**檢測 PM2.5 濃度之模組**。並設計抽取式 PM2.5 感測器(結合小風扇與 PM2.5 感測器)，以抽取並檢驗各式除塵筒之內部 PM2.5 濃度分布情況。

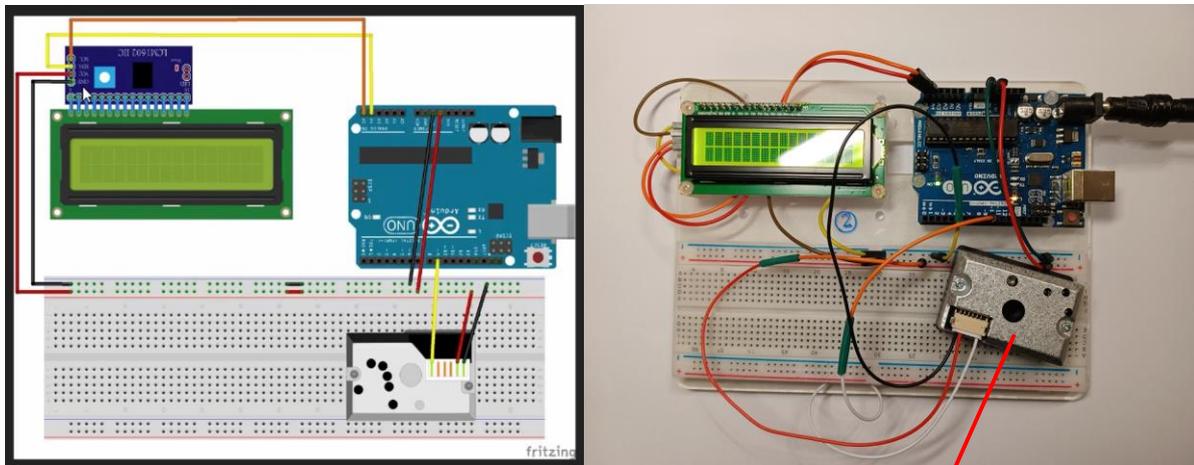
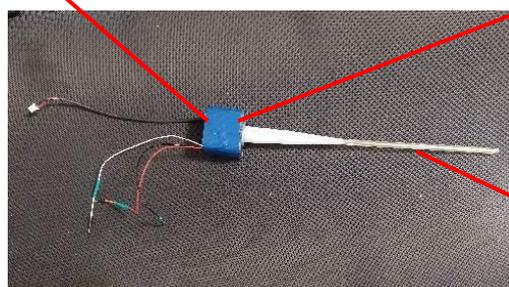


圖 19：SHARP PM2.5 感測器配線及完成圖

12V 0.8W 小風扇

SHARP PM2.5 感測器



PM2.5 抽取管

圖 20：抽取式 PM2.5 感測器(結合小風扇與 PM2.5 感測器)

表 1. Arduino 編輯程式內容

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//XLAN:定義灰塵感測器所使用的腳位
#define PM25_RX_PIN 10
#define PM25_TX_PIN 9

int pos;
int data;
int sum;
int buf[7];
char s[32];

//XLAN:宣告 LCD 顯示器物件
//XLAN:使用 I2C 位址 0x3f 或 0x27
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

//XLAN:宣告 Serial 物件
SoftwareSerial PM25Serial(PM25_TX_PIN, PM25_RX_PIN);

void setup()
{
  //XLAN:初始化序列埠
  Serial.begin(9600);
  PM25Serial.begin(2400);

  //XLAN:初始化 LCD 顯示器物件
  lcd.init();

  //XLAN:開啟 LCD 顯示器的背光
  lcd.backlight();
}

void loop()
{
  //XLAN:讀取灰塵感測器的輸入值
  while (PM25Serial.available() > 0)
  {
    data = PM25Serial.read();

    //XLAN:結尾符號
    if (data == 170)
    {
      pos = 0;
      buf[pos] = data;
    }
    else
    {
      pos++;
      buf[pos] = data;
    }

    //XLAN:計算灰塵密度(ug/m3)
    if (pos == 6)
    {
      sum = buf[1] + buf[2] + buf[3] + buf[4];
    }
  }
}
```

```

if (buf[5] == sum && buf[6] == 255)
{
  float V0 = (buf[1] * 256.0 + buf[2]) / 1024.0 * 5.00;

  //XLAN:將數值輸出到序列埠監控視窗與 LCD 1602 顯示器
  //XLAN:此值 550 可自行調整
  String dataString = dtostrf(V0 * 550, 5, 1, s);
  dataString += " ug/m3";
  Serial.println(dataString);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(dataString);
}

//XLAN:清空緩衝區
pos = 0;
PM25Serial.flush();
data = '/0';

buf[7] = { 0 };
}
}
}

```

三、探討「無紙袋吸塵器」之除塵原理

透過拆解「無紙袋吸塵器」以認識內部結構，並蒐集相關資料以分析其運作之原理。



圖 21：無紙袋吸塵器之內部構造

我們發現，「無紙袋吸塵器」的運作原理，主要是利用**氣旋結構產生的離心力**將「灰塵及垃圾」離心至外側，達到不須濾網而分離「灰塵和垃圾」的效果。

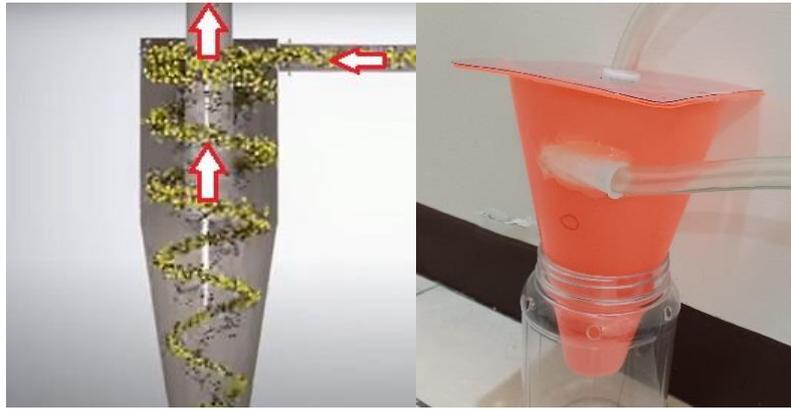


圖 22：除塵筒氣旋方向及自製氣旋除塵筒

四、改良「無紙袋吸塵器」結構以應用於空氣清淨

以下分兩階段進行實驗設計：

階段一：認識無紙袋吸塵器之氣旋結構與 PM2.5 濃度分布情形

【實驗一】原無紙袋吸塵器之氣旋結構與 PM2.5 濃度分布

為了觀察「無紙袋吸塵器」及改良結構中「氣旋」的流動方式，我們利用保麗龍屑與木屑輔助觀察。並製作「抽取式 PM2.5 感測器」，以檢測「無紙袋吸塵器的氣旋結構中」不同位置的 PM2.5 濃度。



圖 23：模擬原無紙袋吸塵器氣旋結構

【實驗二】改成「橫式」之氣旋結構與 PM2.5 濃度分布

因為空氣「由室外進入室內」的方向是橫向，我們認為把直式除塵筒改成橫式依然有良好的清淨空氣效果，在設計結構上應該可以更加簡化，實驗方式如圖 24。



圖 24：模擬原無紙袋吸塵器橫式氣旋結構

階段二：設計實驗箱用以檢測各種氣旋除塵筒之清除 PM2.5 效果

為了進一步檢測各種氣旋除塵筒之清除 PM2.5 效果，我們必須設計一個實驗箱用以檢測各種氣旋除塵筒之清除 PM2.5 效果，其空氣流動與清除 PM2.5 的過程為：室外空氣→各種氣旋除塵筒將 PM2.5 與乾淨空氣分離→乾淨空氣被「進入室內風扇」吸入室內→SHARP PM2.5 感測器檢測室內空氣 PM2.5 濃度之變化。

接著，設計各種改良原無紙袋吸塵器之「氣旋除塵筒」，並檢測其清除 PM2.5 之效率。

【實驗三】實驗箱在「氣旋除塵筒不運作」的情形下 PM2.5 之減少情況

實驗數據是用來對照各種「氣旋除塵筒」之清除 PM2.5 效率。

【實驗四】「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒(直式)清除 PM2.5 效率

設計之結構與清除 PM2.5 過程如圖 25。



圖 25：原無紙袋吸塵器之氣旋除塵筒(直式)

【實驗五】原無紙袋吸塵器「增加離心孔」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

我們認為氣旋會將 PM2.5 拋至除塵桶外圈，所以在「外側打一圈洞」。設計之結構與清除 PM2.5 過程如圖 26。

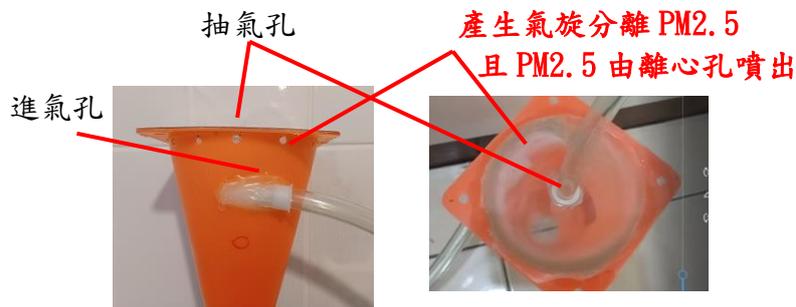


圖 26：增加「離心孔」之氣旋除塵筒

【實驗六】「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

改以磁浮馬達為動力清除 PM2.5，設計之結構與清除 PM2.5 過程如圖 27。

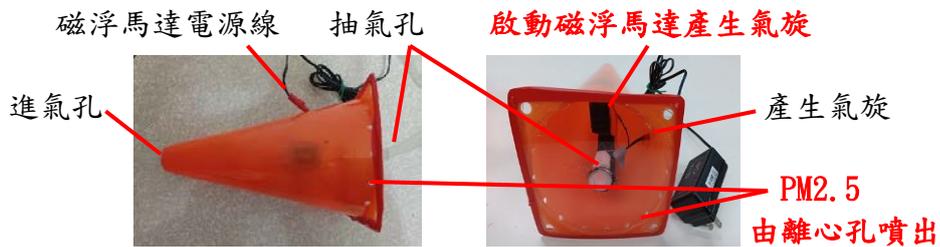


圖 27：利用磁浮馬達產生氣旋之除塵筒

【實驗七】「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

我們將抽氣孔與乾淨空氣進入室內孔分開(原來為同一個孔)，預估這樣的設計，抽氣孔與進氣孔都可以增加氣旋的威力，設計之結構與清除 PM2.5 過程如圖 28。



圖 28：改變抽氣與進氣孔配置之氣旋除塵筒

【實驗八】「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

原無紙袋氣旋除塵筒之動力來自於進氣孔，我們認為將進氣孔改成多個並平均分散於除塵筒，應該可以增加氣旋之威力，設計之結構與清除 PM2.5 過程如圖 29。



圖 29：改變進氣孔結構之氣旋除塵筒

【實驗九】「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

為了進一步增加氣旋之威力，我們將原本只有**抽氣孔**抽出風扇之動力，增加了**進氣孔**進氣風扇，期待在兩個風扇同時作用之下，可以增加氣旋威力與清除 PM2.5 之效率。



圖 30：增加進氣孔風扇之雙動力氣旋除塵筒

【實驗十】進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

原來雙動力氣旋除塵筒為「抽氣孔為大風扇、進氣孔是小風扇」，我們懷疑若改成「**抽氣孔為小風扇、進氣孔是大風扇**」，也就是在氣旋除塵筒的內部氣旋結構中，當「**進氣推力大於抽氣力量**」的情況下，是否會影響氣旋結構，進而影響清除 PM2.5 之效率？



圖 31：進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒

肆、研究結果

階段一：認識無紙袋吸塵器之氣旋結構與 PM2.5 濃度分布情形

【實驗一】原無紙袋吸塵器之氣旋結構與 PM2.5 濃度分布

在研究過程三「探討無紙袋吸塵器之除塵原理」中，當我們理解無紙袋的除塵原理是利用氣旋結構產生的離心力將「灰塵及垃圾」離心至外側；我們懷疑是否「較重的物質容易離心，較輕的則無法離心」，進而導致無法分離、清除 PM2.5，於是我們做了以下實驗觀察。

經過我們的連拍觀察(圖 32)，發現不管**較輕的保麗龍屑**或**較重的木屑**，都會被離心至外側。所以，粉塵粒子 PM2.5「可能」可以被離心分離，進而達到清淨空氣之效果。

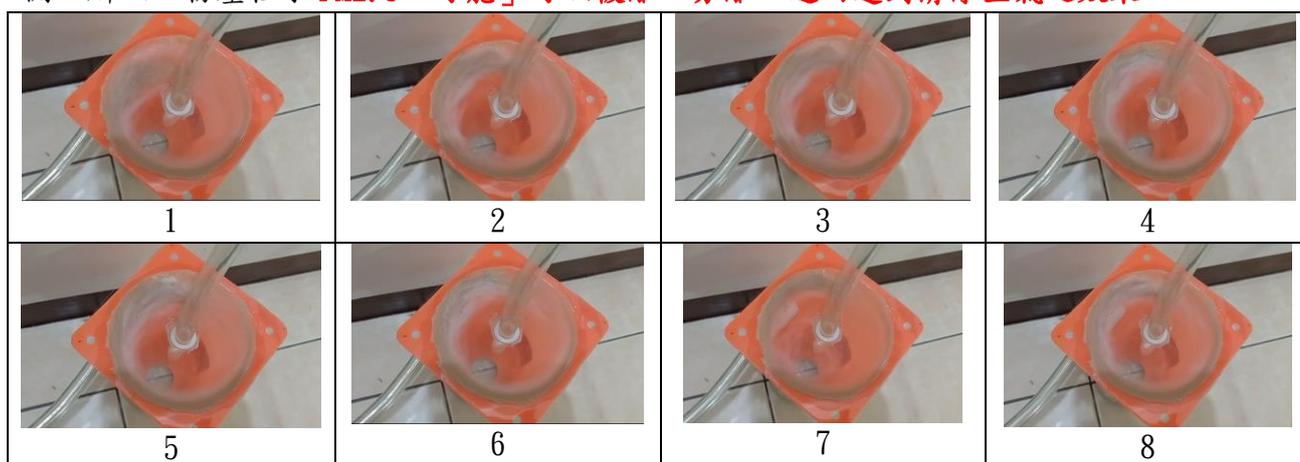


圖 32：混合保麗龍屑和木屑氣旋 8 連拍(直式)

我們進一步使用「**抽取式 PM2.5 感測器**」檢測氣旋結構中各部位 PM2.5 濃度，檢測數據的取得是在圖 33 的實驗過程中，當 PM2.5 數據穩定時再紀錄之。

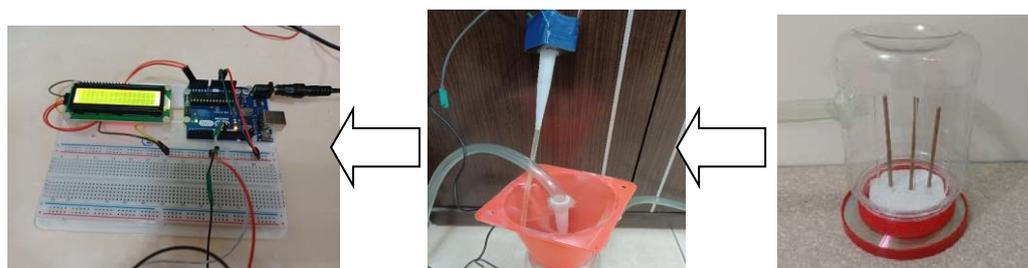


圖 33：檢測氣旋各部位 PM2.5 濃度

(左圖：感測 PM2.5 濃度、中間圖：操作抽取式 PM2.5 感測器、右圖：以線香製造 PM2.5)

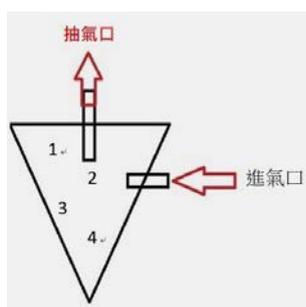


表 2. 原無紙袋吸塵器之氣旋結構 PM2.5 濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)分布數據紀錄

位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
1	32.5	27.1	25.5	33.9	28.7	29.5
2 抽氣口	7.4	6.7	8.5	6.9	7.1	7.3
3	23.1	23.5	24.7	24.4	24.3	24.0
4	17.0	14.9	18.3	17.7	21.0	17.8

圖 34：直式氣旋結構之感測位置(1~4)

由表 2 數據得知，位置 2 是 PM2.5 濃度最低的地方，也就是氣旋結構的抽氣口附近。

【實驗二】改成「橫式」之氣旋結構與PM2.5 濃度分布

因為空氣「由室外進入室內」的方向(橫向)問題，如果把直式除塵筒改成「橫式」依然有良好的清淨空氣效果，在設計時應該可以更加簡化結構。

經過我們連拍觀察(圖 35)，發現較重的木屑容易卡在底部而影響氣旋結構。

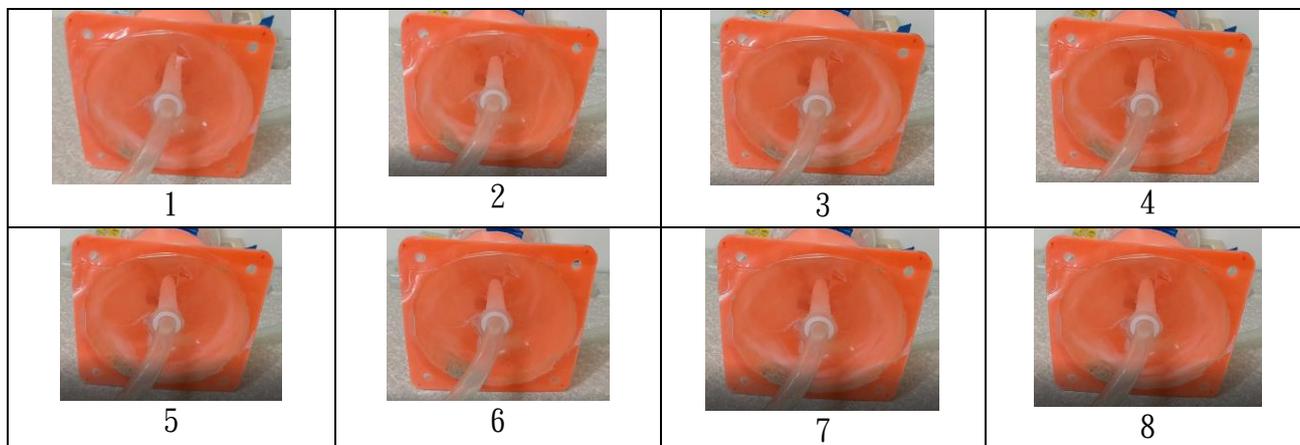


圖 35：混合保麗龍屑和木屑氣旋 8 連拍(橫式)

我們進一步使用「抽取式 PM2.5 感測器」檢測氣旋結構中各部位 PM2.5 濃度。

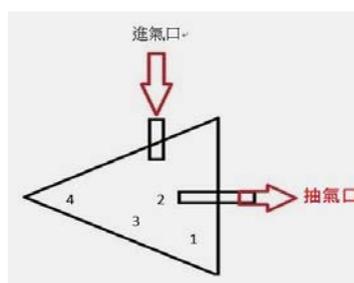


表 3. 改成「橫式」之氣旋結構 PM2.5 濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)分布數據紀錄

位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
1	29.3	23.6	26.7	31.5	27.3	27.7
2 抽氣口	10.8	12.5	13.7	11.3	15.1	12.7
3	26.5	24.7	25.4	24.3	21.3	24.4
4	19.3	17.7	19.1	15.4	19.8	18.3

圖 36：橫式氣旋結構之感測位置(1~4)

由表 3 數據得知，「橫式」2 號位置感測 PM2.5 濃度平均值為 12.7，明顯不如直式的 7.3，可見「橫式」的氣旋結構不佳，導致清除 PM2.5 的效率明顯不如「直式」。

階段二：設計實驗箱用以檢測各種氣旋除塵筒之清除 PM2.5 效果

檢測各種氣旋除塵筒之清除 PM2.5 效果之實驗箱如圖 37。

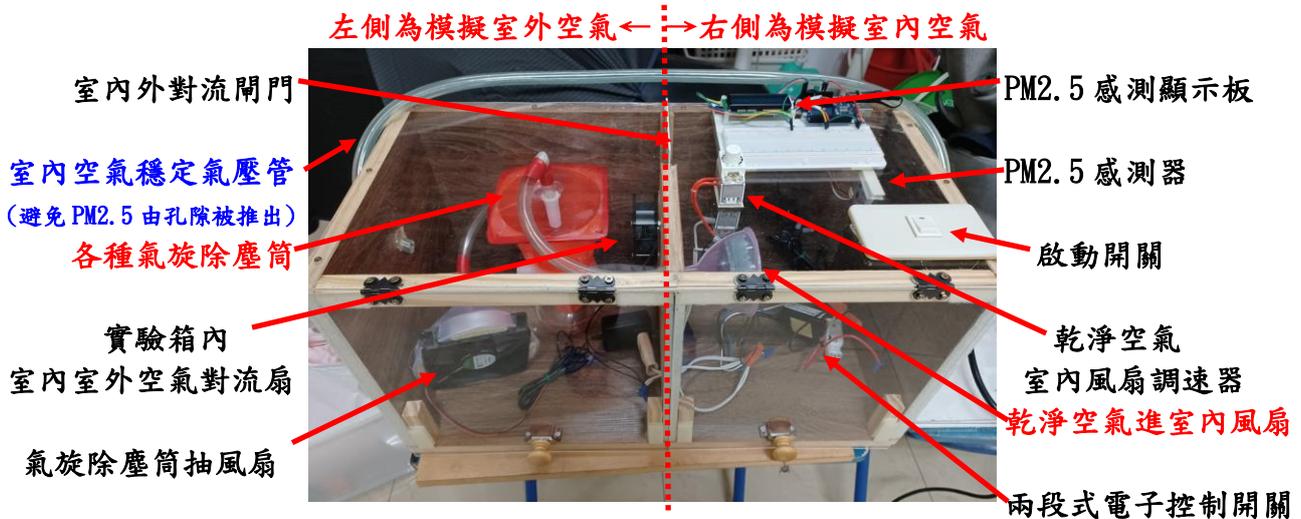


圖 37：自製實驗箱

檢測程序如下：

1. 開啟電源(PM2.5 感測器開始運作檢測室內 PM2.5 濃度變化)。
2. 放入線香+打開室內外對流開門+啟動實驗箱內室內室外對流扇 (讓 PM2.5 均勻分布於實驗箱內之室內、室外空間，當 PM2.5 濃度達 $1800\text{ug}/\text{m}^3$)→移除線香。
3. 啟動氣旋除塵筒開始分離室外「PM2.5 與乾淨空氣」+開啟乾淨空氣進入室內風扇 →紀錄 3 分鐘內之室內空氣 PM2.5 減少狀況。

【實驗三】實驗箱在「不啟動氣旋除塵筒」的情形下 PM2.5 之減少情況

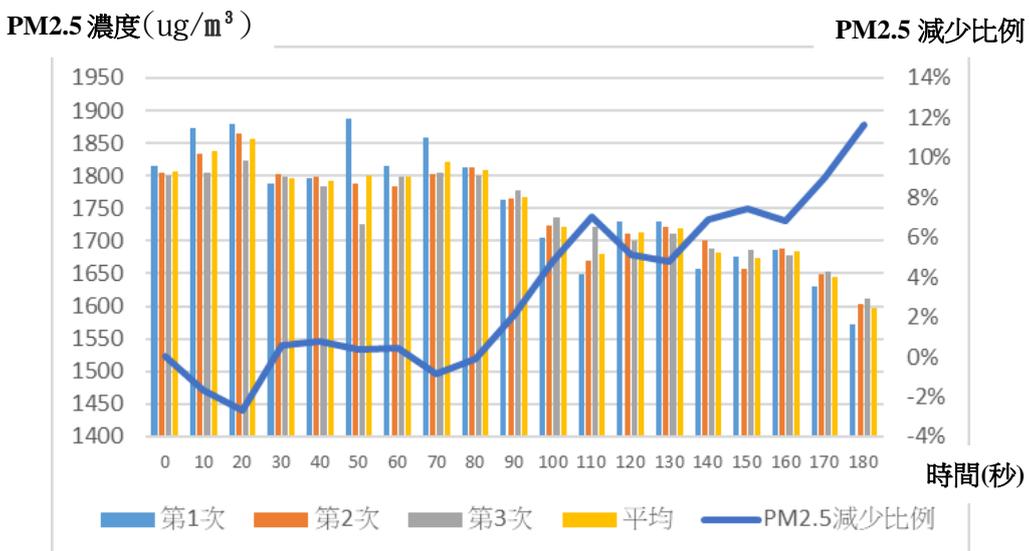


圖 38：實驗箱在「不啟動氣旋除塵筒」的情形下氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

由圖 38 可知，實驗箱在「氣旋除塵筒不運作」的情形下，PM2.5 由於沉澱、附著、孔隙滲出等原因，造成室內 PM2.5 濃度緩慢減少，3 分鐘共減少 12%；我們將以此為「比較基準」，與各種不同氣旋除塵筒比較哪一種設計有較好的清除 PM2.5 效果。

【實驗四】「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

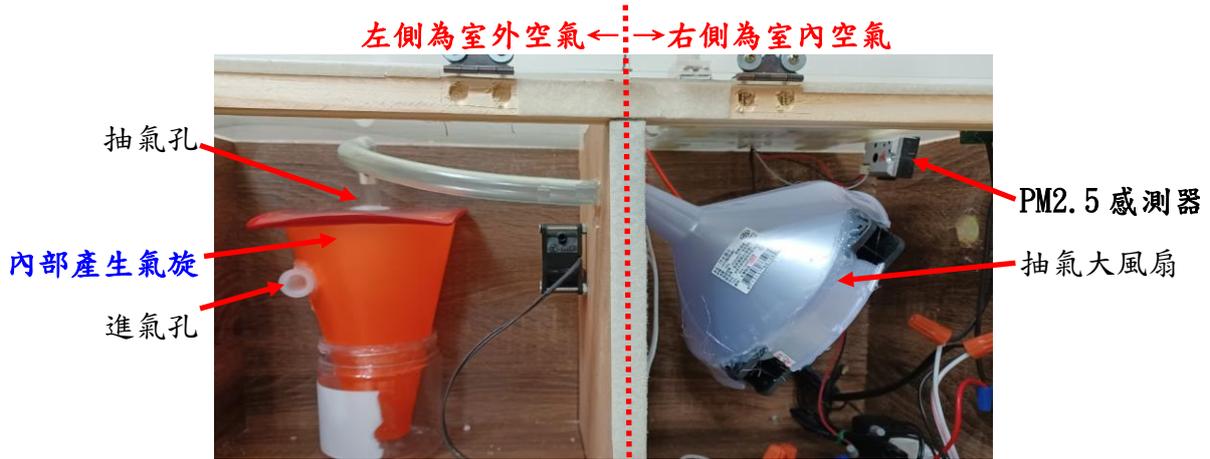


圖 39：「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗布置

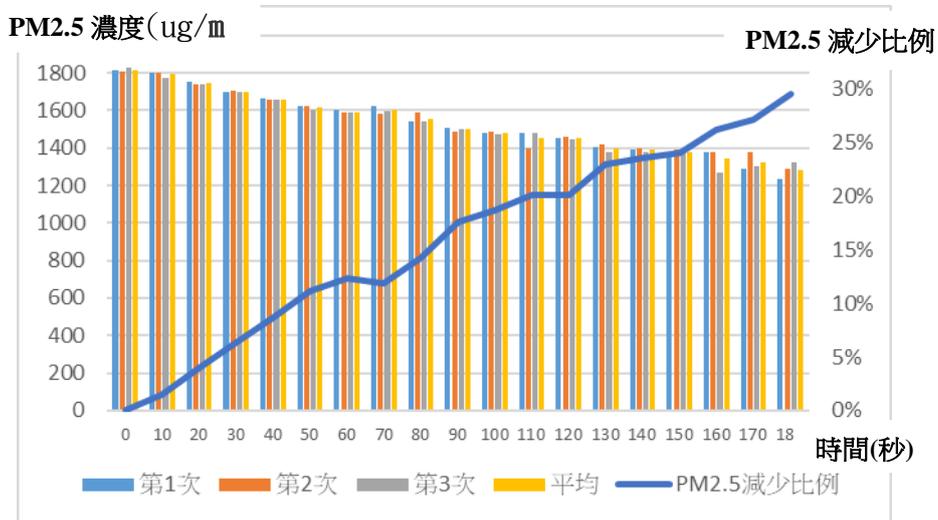


圖 40：「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

「原無紙袋吸塵器」產生氣旋的動力來自於「抽氣大風扇」，經過 3 分鐘之後，PM2.5 濃度減少 30%，比「氣旋除塵筒不運作」的情況下，清除 PM2.5 效率有明顯差異。

【實驗五】原無紙袋吸塵器「增加離心孔」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率



圖 41：原無紙袋吸塵器「增加離心孔」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗布置

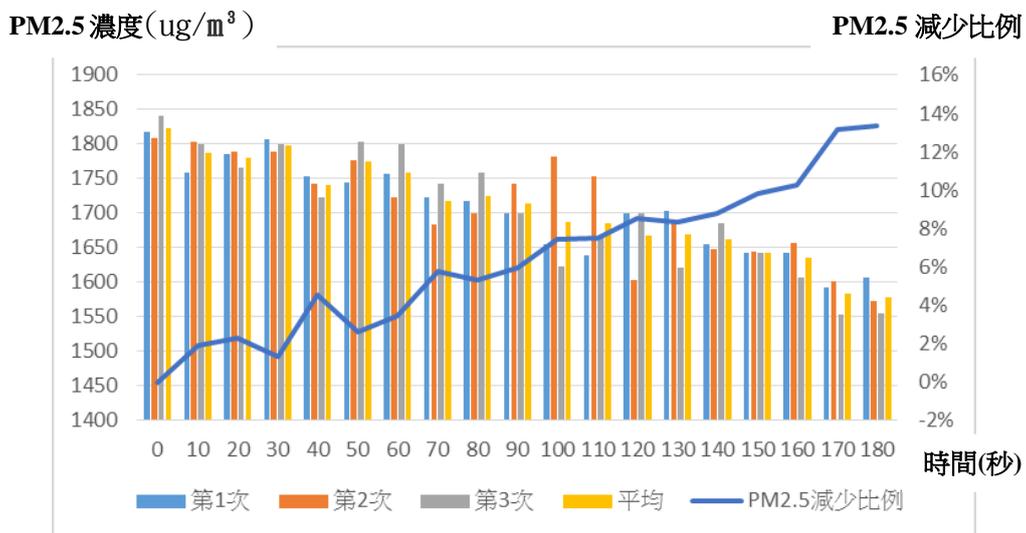


圖 42：「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

在原無紙袋吸塵器上「增加離心孔」之氣旋除塵筒，每 3 分鐘清除 PM2.5 效率明顯下降至減少 13%（與不啟動氣旋除塵筒 12% 差不多），顯然他不是一個良好的清除 PM2.5 結構。

【實驗六】「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

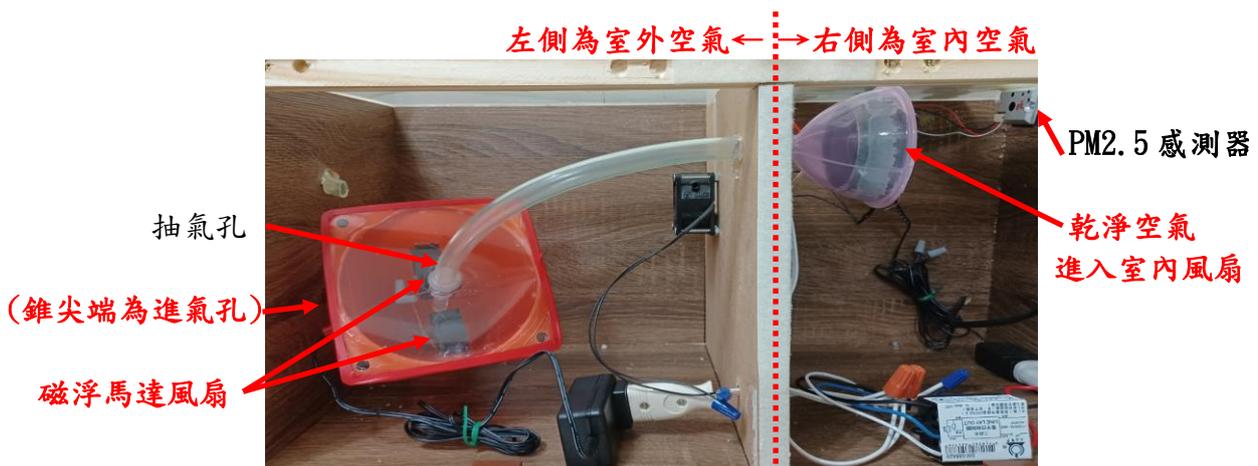


圖 43：「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗布置

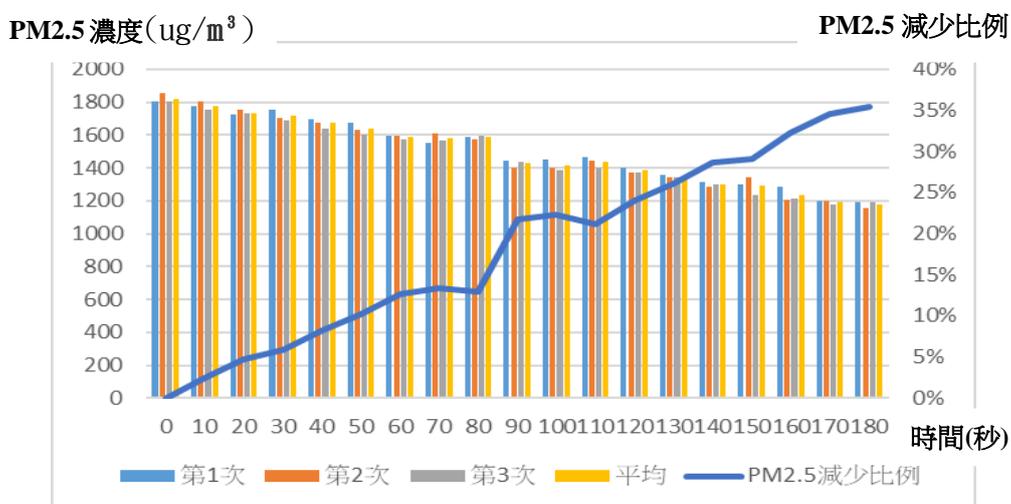


圖 44：「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

本結構有兩個改變：1. 錐尖端為進氣孔、2. 改成磁浮馬達風扇動力。實驗發現每 3 分鐘清除 PM2.5 效率進步到減少 35%。

【實驗七】「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率



圖 45：「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗布置

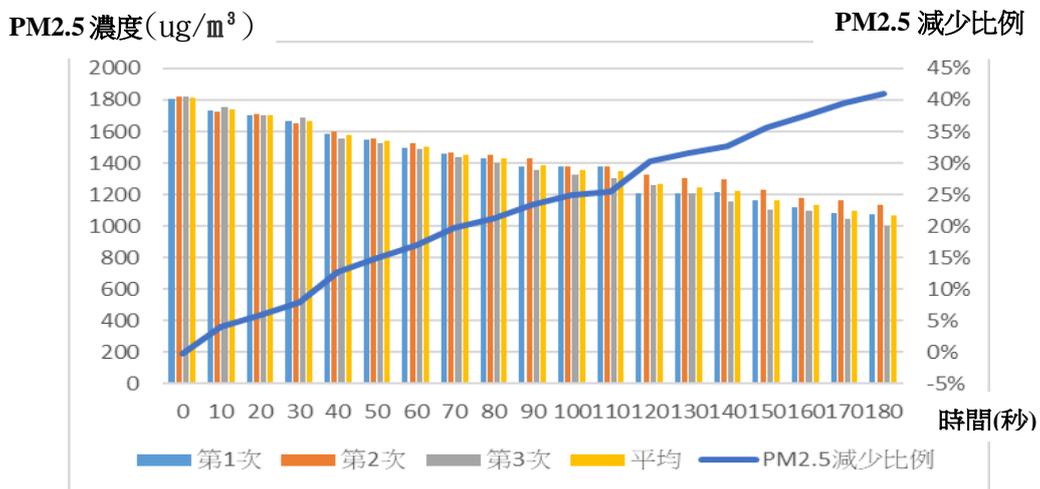


圖 46：「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

由圖 46 顯示每 3 分鐘清除 PM2.5 效率再進一步，達到減少 41%。

【實驗八】「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

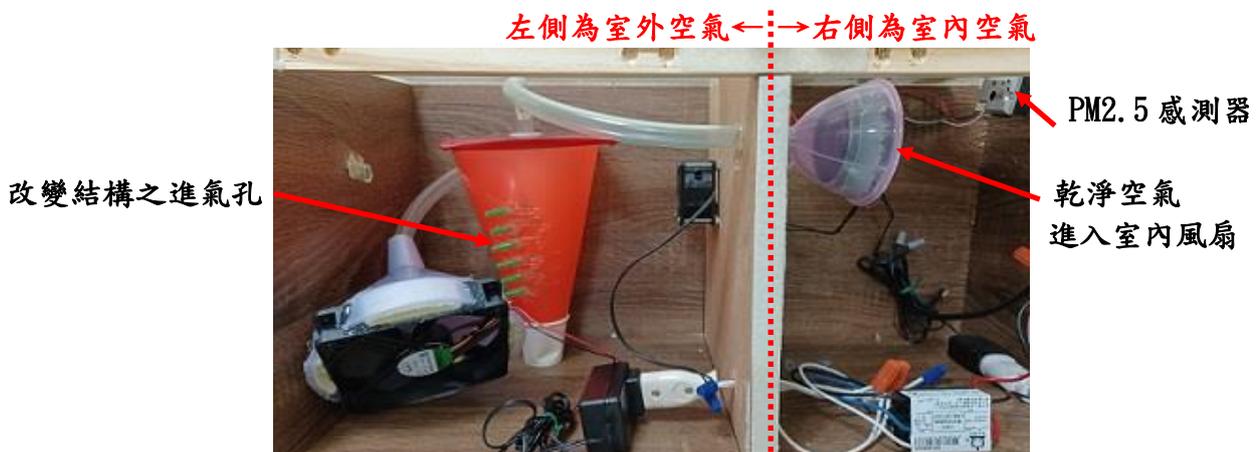


圖 47：「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 實驗布置

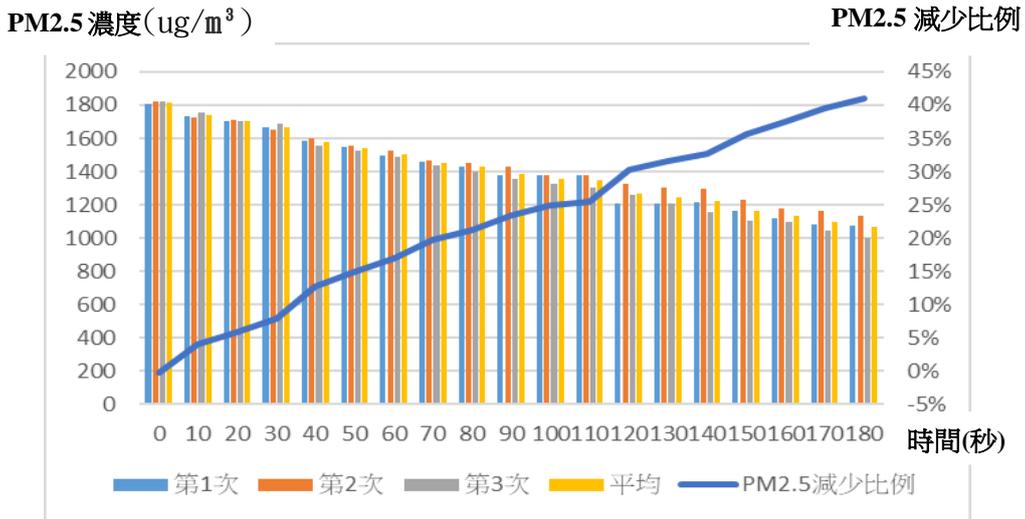


圖 48：「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

實驗發現「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒每 3 分鐘清除 PM2.5 效率(減少 42%)與沒改變進氣孔結構前(減少 41%)，沒有顯著差別。

【實驗九】「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率



圖 49：「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 實驗布置

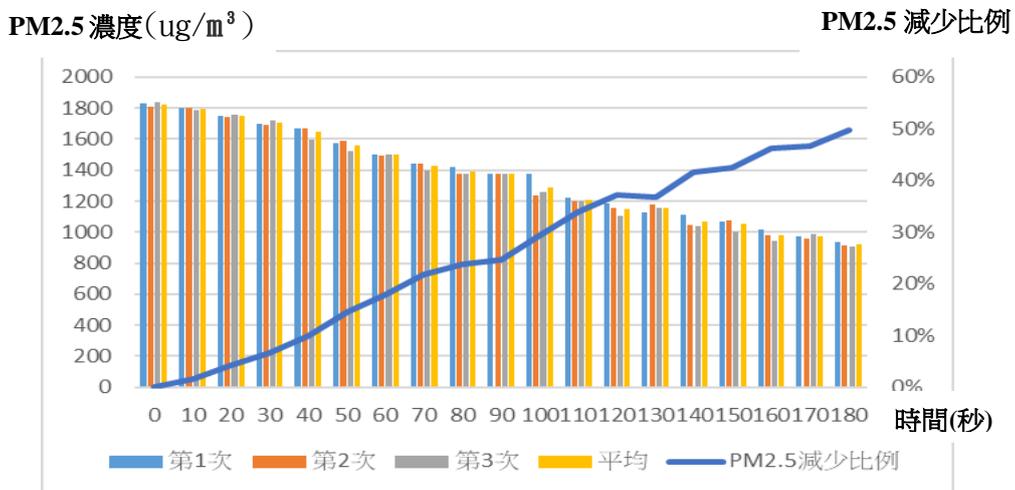


圖 50：「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

由圖 50 顯示「增加進氣孔風扇」雙動力氣旋除塵筒每 3 分鐘清除 PM2.5 效率更進一步達到減少 50%。

【實驗十】進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

左側為室外空氣 ← → 右側為室內空氣



圖 51：進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 實驗布置

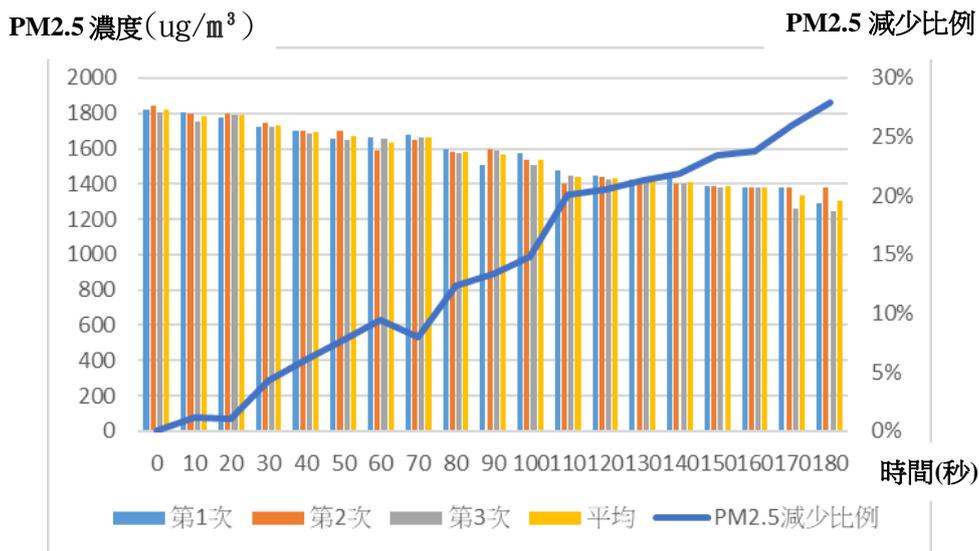


圖 52：進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率效率圖

由圖 52 顯示進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒每 3 分鐘清除 PM2.5 效率明顯退步，只有減少 28%。

伍、討論

一、在【實驗一】原無紙袋吸塵器(直式)與【實驗二】改成「橫式」之氣旋結構與 PM2.5 濃度分布實驗中，兩者都具有分離 PM2.5、清淨空氣的效果，但是「橫式」結構清除 PM2.5 的效率明顯不如「直式」。

於是我們蒐集颱風產生氣旋的相關資料(圖 53)，認為無紙袋吸塵器主要是利用氣旋結構將 PM2.5 拋離中心點，再抽取中央部位相對乾淨的空氣以獲得乾淨空氣、分離灰塵與垃圾的效果。所以，「橫式」結構分離 PM2.5 效率不如「直式」，可能是因為「橫式」結構不利於產生氣旋，所以分離 PM2.5 之效率較差。

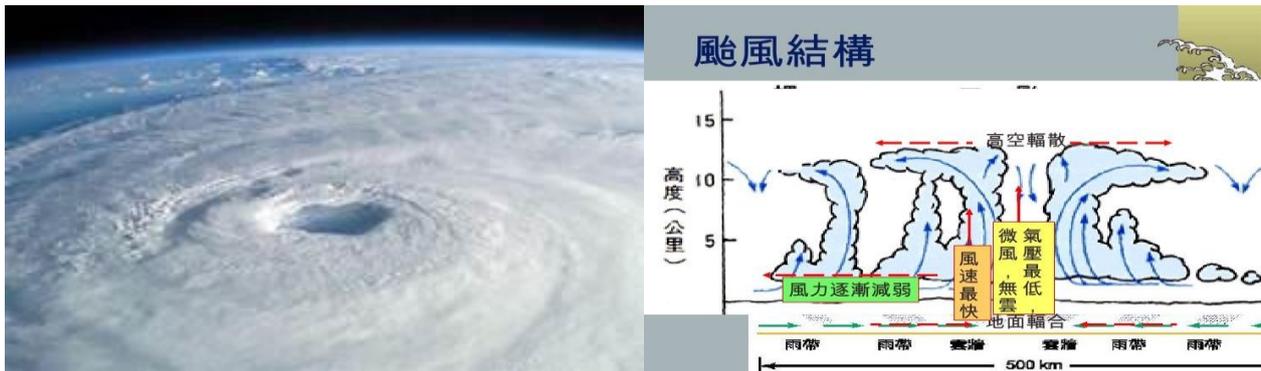


圖 53：颱風結構圖

二、在【實驗三】實驗箱在「不啟動氣旋除塵筒」的情形下，PM2.5 依然慢慢減少，我們認為有幾種原因造成：1. PM2.5 會自然沉澱或附著於牆壁、器皿之上、2. 實驗箱孔隙造成部分 PM2.5 外洩(實驗箱在製作的時候，有特別注意密閉不讓 PM2.5 由孔隙流出)。

三、在【實驗四】「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率中，3 分鐘可以讓室內 PM2.5 減少 30%，明顯高於「不啟動氣旋除塵筒」的減少 12%，再次證明氣旋除塵筒確實具有清除 PM2.5 之效果。

四、在【實驗五】原無紙袋吸塵器「增加離心孔」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗中，3 分鐘的清除 PM2.5 效率只有減少 13%，幾乎跟「不啟動氣旋除塵筒」的減少 12% 差不多；我們利用保麗龍屑、木屑觀察氣旋結構，發現保麗龍屑、木屑並未從離心孔拋離，還出現負壓、倒吸空氣進入狀況，整個氣旋結構都被破壞，難怪沒有清除 PM2.5 的效果。

五、在【實驗六】「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率中，3 分鐘清除 PM2.5 的效率進步到減少 35%，我們認為跟進氣孔改到錐尖端有很大的關係，因為從進氣孔到抽氣孔的距離長，有利於氣旋結構之產生；因此，如果加長氣旋除塵筒長度，應該也能增加清除 PM2.5 的效率。

六、在【實驗七】「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率中，3 分鐘清除 PM2.5 的效率再次提升至減少 41%。我們的方法是將原本「抽氣孔」改為「進入室內空氣孔」，

並將抽氣孔改到側邊，造成除塵筒的「進氣孔」與「抽氣孔」的進氣、出氣風向都可以增加氣旋之風力。

另外，「進入室內空氣風扇」可以調整風速，調整到「乾淨空氣」慢慢進入室內。如此，改善了原本進氣太快造成連 PM2.5 都被吸入室內的問題。

七、在【實驗八】「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率中，3 分鐘清除 PM2.5 的效率沒有進步(從減少 41%變成 42%)，可見此構造不能增加氣旋之結構與清除 PM2.5 效率。

八、在【實驗九】「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗中，3 分鐘清除 PM2.5 的效率增加到減少 50%，就像颱風威力越強颱風眼越明顯一樣。我們觀察品牌無紙袋吸塵器的抽風風力，發現明顯比我們做實驗的大、小風扇強很多。因此，我們推測「增加風扇風力」，也是增加清除 PM2.5 效率的方法之一。

九、最後，在【實驗十】進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率實驗中，3 分鐘清除 PM2.5 的效率明顯下降至減少 28%，我們認為在抽氣速度不如進氣速度的情況下，明顯阻礙了氣旋結構的產生，所以清除 PM2.5 效率也變差。

陸、結論

就像廣告台詞「不需要濾網」、「吸力永不減退」的無紙袋吸塵器一般，「不需要濾網」、「空氣清淨能力永不減退」的空氣清淨機也確實可行。我們把所有氣旋除塵筒的清除 PM2.5 效率繪製如下(圖 54)。

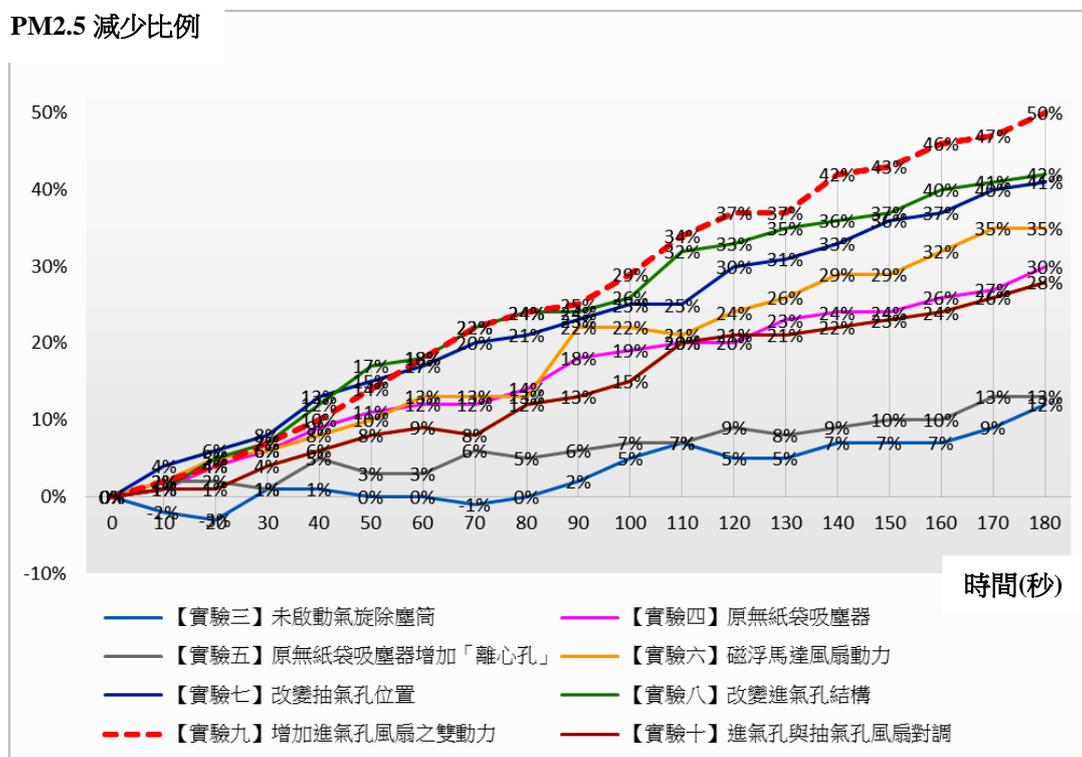


圖 54：各種氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率比較

就像英國首富 Dyson 當初發明無紙袋吸塵器嘗試了數千種除塵筒結構一般，空氣清淨氣旋除塵筒的結構研究只有更好、沒有最好。本研究確認了以下幾個研究方向與結論：

1. 清除 PM2.5 效率良好的氣旋除塵筒，必須能產生**結構扎實的氣旋結構**。
2. 「**橫式**」結構分離 PM2.5 效率不如「**直式**」氣旋除塵筒。
3. **加長氣旋除塵筒長度**能夠增加清除 PM2.5 效率。
4. 將「**抽氣孔與進入室內空氣孔分開**」，以及「**抽氣孔位於側邊以增加氣旋強度**」，對於增進清除 PM2.5 的效率都有幫助。
5. **增加風扇風力**也可以增加清除 PM2.5 的效率。

柒、參考文獻資料

1. 伊曼紐(2007)•颱風•台北市：天下文化出版社。
2. 黃郁揚 黃麗煌 蔡靜玫(2018)•戰勝 PM2.5•台北市：幸福綠光出版社。
3. 威廉·奧斯本(2018)•神氣樹屋小百科-颱風與颶風•台北市：小天下出版社。
4. 陳康興(2020)•環境氣象學•台北市：五南出版社。
5. 趙英傑(2020)•Arduino 互動設計入門•台北市：旗標出版社。
6. 林裕清(2018)•從一級致癌物 PM2.5 談空氣汙染對人替的危害•台灣癌症基金會•
取自 <http://web.tccf.org.tw/lib/addon.php?act=post&id=4241>
7. 招名威(2020)•PM2.5 濃度越高新冠病毒死亡率就越高？中原大學生物科技學系•
取自 <https://today.line.me/tw/v2/article/Lrgme0>

附件：實驗原始數據

表 4. 原無紙袋吸塵器之氣旋結構 PM2.5 濃度分布數據紀錄表

位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
1	32.5	27.1	25.5	33.9	28.7	29.5
2 抽氣口	7.4	6.7	8.5	6.9	7.1	7.3
3	23.1	23.5	24.7	24.4	24.3	24.0
4	17.0	14.9	18.3	17.7	21.0	17.8

表 5. 改成「橫式」之氣旋結構 PM2.5 濃度分布數據紀錄表

位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
1	29.3	23.6	26.7	31.5	27.3	27.7
2 抽氣口	10.8	12.5	13.7	11.3	15.1	12.7
3	26.5	24.7	25.4	24.3	21.3	24.4
4	19.3	17.7	19.1	15.4	19.8	18.3

【實驗三】實驗箱在「氣旋除塵筒不運作」的情形下 PM2.5 之減少情況

表 6. 實驗箱在「氣旋除塵筒不運作」的情形下 PM2.5 之減少數據紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1815	1874	1879	1788	1796	1887	1815	1858	1812	1762	1705	1648	1729	1729	1657	1675	1686	1630	1573
第 2 次	1804	1833	1865	1802	1799	1788	1783	1803	1812	1765	1723	1669	1712	1721	1700	1658	1688	1649	1603
第 3 次	1801	1805	1823	1799	1783	1725	1799	1805	1801	1777	1735	1722	1701	1711	1689	1686	1677	1653	1612
平均	1807	1837	1856	1796	1793	1800	1799	1822	1808	1768	1721	1680	1714	1720	1682	1673	1684	1644	1596
PM2.5 減少比例	0%	-2%	-3%	1%	1%	0%	0%	-1%	0%	2%	5%	7%	5%	5%	7%	7%	7%	9%	12%

【實驗四】「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 7. 「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1815	1799	1756	1699	1665	1623	1602	1623	1543	1505	1478	1478	1453	1402	1389	1377	1377	1289	1233
第 2 次	1807	1801	1743	1707	1658	1621	1589	1586	1588	1489	1487	1399	1457	1421	1401	1389	1377	1377	1287
第 3 次	1831	1777	1741	1701	1659	1601	1587	1599	1543	1499	1473	1482	1444	1377	1377	1377	1272	1305	1323
平均	1818	1792	1747	1702	1661	1615	1593	1603	1558	1498	1479	1453	1451	1400	1389	1381	1342	1324	1281
PM2.5 減少比例	0%	1%	4%	6%	9%	11%	12%	12%	14%	18%	19%	20%	20%	23%	24%	24%	26%	27%	30%

【實驗五】原無紙袋吸塵器增加「離心孔」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 8. 原無紙袋吸塵器「增加離心孔」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1818	1759	1785	1806	1754	1744	1756	1723	1717	1699	1654	1639	1699	1703	1655	1642	1643	1593	1607
第 2 次	1808	1803	1789	1789	1743	1777	1723	1684	1700	1743	1782	1753	1603	1686	1647	1644	1657	1602	1573
第 3 次	1841	1799	1766	1799	1723	1803	1799	1743	1759	1700	1623	1665	1699	1620	1685	1643	1606	1553	1555
平均	1822	1787	1780	1798	1740	1775	1759	1717	1725	1714	1686	1686	1667	1670	1662	1643	1635	1583	1578
PM2.5 減少比例	0%	2%	2%	1%	5%	3%	3%	6%	5%	6%	7%	7%	9%	8%	9%	10%	10%	13%	13%

【實驗六】「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 9. 「利用磁浮馬達產生氣旋」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1806	1777	1723	1756	1699	1673	1598	1555	1586	1443	1453	1465	1403	1356	1313	1298	1287	1200	1189
第 2 次	1856	1803	1752	1703	1675	1635	1598	1613	1577	1398	1403	1444	1375	1344	1287	1342	1203	1197	1153
第 3 次	1803	1756	1733	1689	1642	1603	1575	1568	1599	1438	1389	1401	1375	1343	1299	1233	1212	1176	1189
平均	1822	1779	1736	1716	1672	1637	1590	1579	1587	1426	1415	1437	1384	1348	1300	1291	1234	1191	1177
PM2.5 減少比例	0%	2%	5%	6%	8%	10%	13%	13%	13%	22%	22%	21%	24%	26%	29%	29%	32%	35%	35%

【實驗七】「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 10. 「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1807	1734	1702	1667	1587	1546	1498	1458	1432	1377	1375	1375	1208	1208	1211	1165	1122	1079	1076
第 2 次	1820	1726	1710	1648	1600	1554	1525	1469	1455	1431	1377	1377	1325	1305	1295	1227	1179	1160	1130
第 3 次	1823	1756	1703	1687	1555	1523	1488	1435	1399	1354	1323	1302	1256	1209	1156	1102	1099	1043	999
平均	1817	1739	1705	1667	1581	1541	1504	1454	1429	1387	1358	1351	1263	1241	1221	1165	1133	1094	1068
PM2.5 減少比例	0%	4%	6%	8%	13%	15%	17%	20%	21%	23%	25%	25%	30%	31%	33%	36%	37%	40%	41%

【實驗八】「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 11. 「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1823	1799	1683	1666	1577	1503	1483	1420	1377	1377	1298	1200	1253	1187	1205	1189	1126	1100	1003
第 2 次	1821	1802	1789	1701	1630	1523	1463	1411	1402	1377	1377	1287	1204	1186	1156	1156	1101	1073	1098
第 3 次	1814	1787	1702	1687	1602	1509	1515	1423	1389	1377	1377	1215	1189	1150	1123	1089	1055	1058	1089
平均	1819	1796	1725	1685	1603	1512	1487	1418	1389	1377	1351	1234	1215	1174	1161	1145	1094	1077	1063
PM2.5 減少比例	0%	1%	5%	7%	12%	17%	18%	22%	24%	24%	26%	32%	33%	35%	36%	37%	40%	41%	42%

【實驗九】「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 12. 「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1828	1799	1753	1702	1670	1576	1501	1439	1420	1377	1377	1219	1184	1125	1114	1071	1017	974	937
第 2 次	1812	1801	1742	1692	1666	1587	1495	1440	1377	1377	1238	1197	1156	1180	1045	1077	980	956	912
第 3 次	1837	1789	1757	1723	1599	1523	1499	1401	1377	1377	1259	1201	1101	1157	1035	1001	943	986	908
平均	1826	1796	1751	1706	1645	1562	1498	1427	1391	1377	1291	1206	1147	1154	1065	1050	980	972	919
PM2.5 減少比例	0%	2%	4%	7%	10%	14%	18%	22%	24%	25%	29%	34%	37%	37%	42%	43%	46%	47%	50%

【實驗十】進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率

表 13. 進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率紀錄表

歷經秒數	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
第 1 次	1818	1803	1777	1723	1699	1656	1666	1678	1599	1505	1575	1475	1444	1421	1432	1387	1377	1377	1289
第 2 次	1841	1801	1799	1745	1701	1699	1589	1645	1578	1600	1537	1405	1440	1421	1401	1389	1377	1377	1377
第 3 次	1807	1754	1789	1722	1689	1647	1653	1666	1576	1589	1505	1450	1423	1421	1405	1377	1377	1257	1243
平均	1822	1786	1788	1730	1696	1667	1636	1663	1584	1565	1539	1443	1436	1421	1413	1384	1377	1337	1303
PM2.5 減少比例	0%	1%	1%	4%	6%	8%	9%	8%	12%	13%	15%	20%	21%	21%	22%	23%	24%	26%	28%

【評語】 082804

本作品研發不須濾網的空氣清淨機，針對除塵筒的結構進行了一系列的實驗，偵測不同設計下 PM2.5 的清除效果，由吸塵器的灰塵分離技術聯想製做空氣清淨機，想法有新意又結合實用價值，值得讚許。建議可以對如何處理最後排出的 PM2.5 做說明，以提升作品的完整性。

作品簡報

科別：生活應用科學(一)

組別：國小組

題目：無紙袋吸塵器除塵技術

運用於室內空氣清淨之研究

目錄

- 壹、研究動機
- 貳、研究目的
- 參、研究過程與方法
- 肆、研究結果
- 伍、討論
- 陸、結論
- 柒、參考文獻

壹、研究動機

自從「無紙袋吸塵器」被發明及普遍使用以來，我們被「不需要濾網」、「吸力永不減退」的廣告詞所深深吸引。

試想，如果「無紙袋吸塵器」的除塵技術可以被運用在室內空氣清淨之中，那麼「不需要濾網」、「空氣清淨能力永不減退」的技術，對於減少「濾網」耗材的花費及提升空氣清淨「效率」將有莫大的貢獻。

貳、研究目的

- 一、選定與肺癌及新冠肺炎顯著相關之「空氣汙染指標」做為檢測標的
- 二、設計此「空氣汙染指標」之感測器與檢測方法
- 三、探討「無紙袋吸塵器」之除塵原理
- 四、改良「無紙袋吸塵器」結構以應用於空氣清淨

參、研究過程與方法

一、選定與肺癌及新冠肺炎顯著相關之「空氣汙染指標」做為檢測標的

(一)**PM2.5與癌症的相關性**：英國研究發現，如果減少空氣中PM2.5濃度，可以減少很多癌症病患。世界衛生組織更是早在2013年就已經將**PM2.5列為第一級致癌物質**。

(二)**PM2.5與新冠病毒的相關性**：在陽明交通大學與中國醫藥大學的合作研究，證實空氣中的**PM2.5濃度會提高新冠病毒感染細胞表面受體和蛋白質**。義大利科學家發現空氣中的懸浮粒子中就可以驗出新冠病毒，此區域也正是新冠肺炎重災區。

二、設計此「空氣汙染指標」之感測器與檢測方法

利用電腦課上課學習之Arduino套件，編寫程式並組裝SHARP PM2.5感測器，做為檢測PM2.5濃度之模組。並設計製作抽取式PM2.5感測器，以檢驗各式除塵筒之內部PM2.5濃度分布情況。

PM2.5濃度顯示 SHARP PM2.5測器

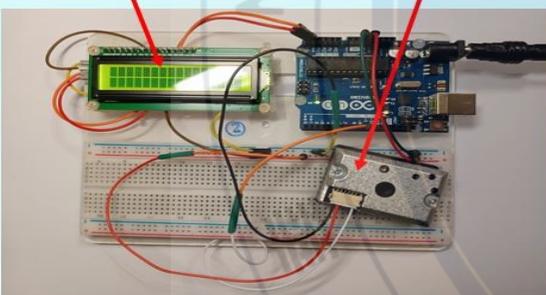


圖19：SHARP PM2.5感測器

12V0.8W小風扇 SHARP PM2.5感測器

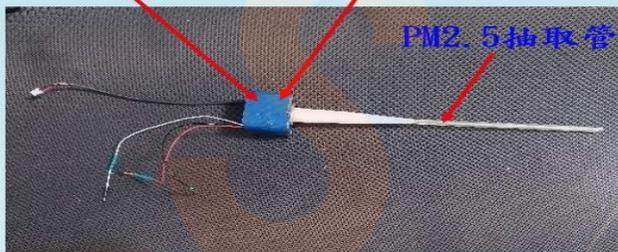


圖20：抽取式PM2.5感測器

三、探討「無紙袋吸塵器」之除塵原理

拆解「無紙袋吸塵器」以認識內部結構，並蒐集相關資料以分析其運作之原理。

我們發現，「無紙袋吸塵器」的運作原理，主要是**利用氣旋結構產生的離心力將「灰塵及垃圾」離心至外側**，達到不須濾網而分離「灰塵和垃圾」的效果。

四、改良「無紙袋吸塵器」結構以應用於空氣清淨

四、改良「無紙袋吸塵器」結構設計與實驗結果

階段一：認識無紙袋吸塵器之氣旋結構與PM2.5濃度分布情形



(左圖：感測PM2.5濃度、中間圖：操作抽取式PM2.5感測器、右圖：以線香製造PM2.5)

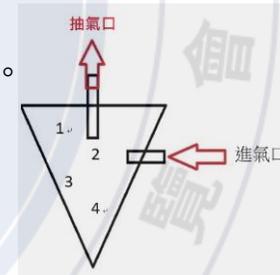
【實驗一】

原無紙袋吸塵器之氣旋結構與PM2.5濃度分布

實驗結果：PM2.5濃度最低的地方，在氣旋結構的抽氣口附近。



圖 23：模擬原無紙袋吸塵器氣旋結構。



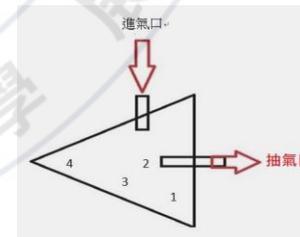
【實驗二】

改成「橫式」之氣旋結構與PM2.5濃度分布

實驗結果：「橫式」清除PM2.5的效率明顯不如「直式」。



圖 24：模擬原無紙袋吸塵器橫式氣旋結構。



階段二：設計實驗箱用以檢測各種氣旋除塵筒之清除PM2.5效果

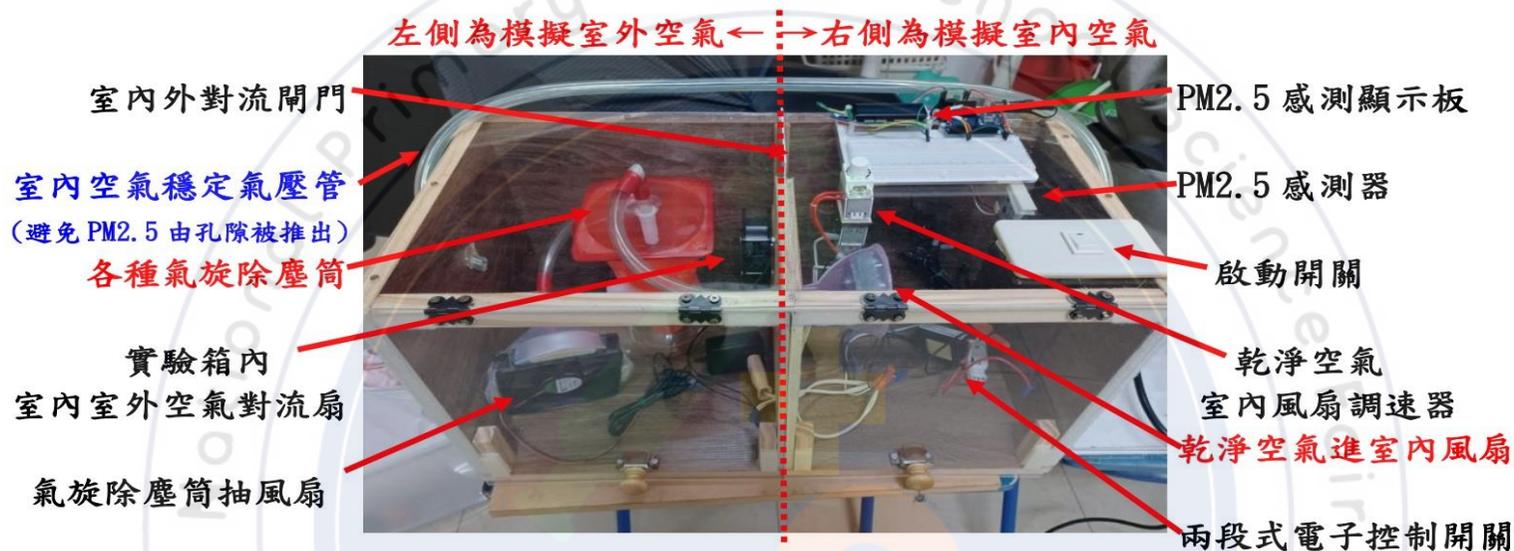


圖 37：自製實驗箱

【實驗三】實驗箱在「氣旋除塵筒不運作」的情形

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少12%；我們將以此為「比較基準」與各種不同氣旋除塵筒比較

【實驗四】「原無紙袋吸塵器」之清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少30%

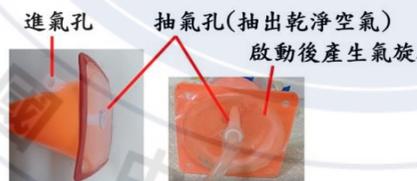


圖 24：模擬原無紙袋吸塵器橫式氣旋結構



圖 40：「原無紙袋吸塵器」之氣旋除塵筒清除 PM2.5 效率圖

【實驗五】原無紙袋「增加離心孔」清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少13%

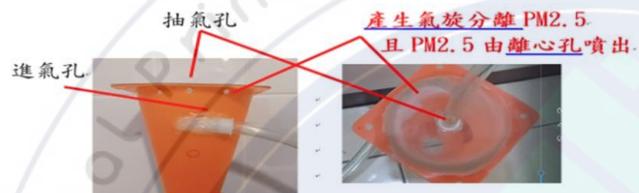


圖 26：增加「離心孔」之氣旋除塵筒



圖 42：「增加離心孔」之氣旋除塵筒清除PM2.5效率圖

【實驗六】「磁浮馬達風扇動力」清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少35%



圖 27：「利用磁浮馬達風扇產生氣旋」之除塵筒

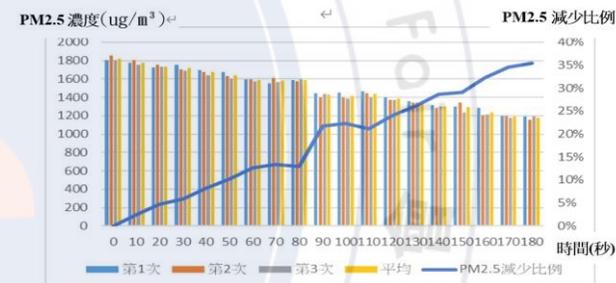


圖 44：「利用磁浮馬達風扇產生氣旋」之氣旋除塵筒清除PM2.5效率圖

【實驗七】「改變抽氣與進氣孔配置」清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少41%

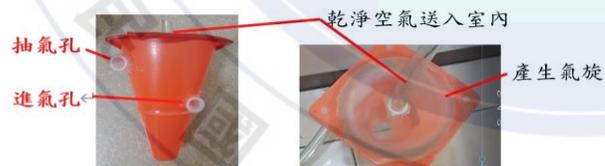


圖 28：改變抽氣與進氣孔配置之氣旋除塵筒



圖 46：「改變抽氣與進氣孔配置」之氣旋除塵筒清除PM2.5效率圖

【實驗八】「改變進氣孔結構」清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少42%



圖 29：改變進氣孔結構之氣旋除塵筒

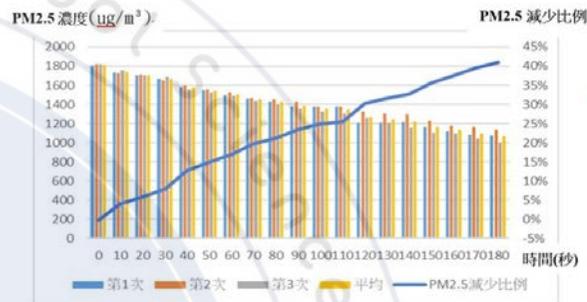


圖 48：「改變進氣孔結構」之氣旋除塵筒清除PM2.5效率圖

【實驗九】「增加進氣孔風扇」雙動力清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少50%



圖 30：增加進氣孔風扇之雙動力氣旋除塵筒

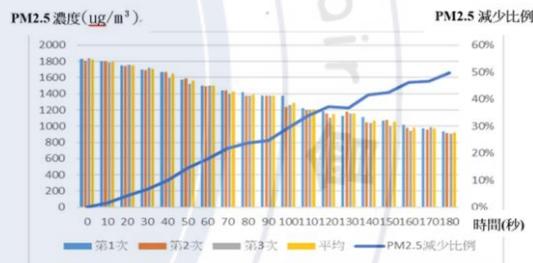


圖 50：「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒清除PM2.5效率圖

【實驗十】進氣孔與抽氣孔「風扇對調」清除PM2.5效率

實驗結果：3分鐘後PM2.5濃度共減少28%



圖 31：進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒

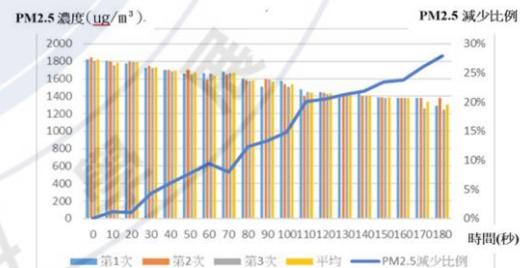


圖 52：進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒清除PM2.5效率圖

伍、討論

- 一、【實驗一、二】「橫式」結構分離PM2.5效率不如「直式」，可能是因為「橫式」結構不利於產生氣旋。
- 二、【實驗三】實驗箱「不啟動氣旋除塵筒」的情形下，PM2.5依然慢慢減少，我們認為是PM2.5自然沉澱或附著於牆壁、器皿之上或實驗箱孔隙部分PM2.5外洩(有特別注意密閉不讓PM2.5由孔隙流出)。
- 三、【實驗四】「原無紙袋吸塵器」3分鐘可以讓室內PM2.5濃度減少30%，再次證明氣旋除塵筒確實具有清除PM2.5之效果。
- 四、【實驗五】原無紙袋吸塵器「增加離心孔」結構，因為出現負壓、倒吸空氣進入狀況，整個氣旋結構都被破壞，所以沒有清除PM2.5的效果。
- 五、【實驗六】「磁浮馬達風扇動力」清除PM2.5的效率進步到減少35%，我們認為因為進氣孔改到錐尖端，從進氣孔到抽氣孔的距離長，有利於氣旋結構之產生。
- 六、【實驗七】「改變抽氣與進氣孔配置」，將「原本抽氣孔改成進入室內空氣孔」，並將「抽氣孔改到側邊」，增加氣旋風力讓清除PM2.5效率提升至減少41%。另外，「進入室內空氣風扇」可以調整風速，調整到「乾淨空氣」慢慢進入室內。如此，改善了原本進氣太快造成連PM2.5都被吸入室內的問題。
- 七、【實驗八】「改變進氣孔結構」，3分鐘清除PM2.5的效率沒有進步(從41%變成42%)，可見此構造不能增加氣旋之結構與清除PM2.5效率。
- 八、【實驗九】「增加進氣孔風扇」之雙動力氣旋除塵筒，就像颱風威力越強颱風眼越明顯一樣，清除PM2.5效率增加到減少50%。
- 九、最後，在【實驗十】進氣孔與抽氣孔「風扇對調」之雙動力氣旋除塵筒破壞了氣旋結構的產生，所以清除PM2.5效率也變差。

陸、結論

就像廣告台詞「不需要濾網」、「吸力永不減退」的無紙袋吸塵器一般，「不需要濾網」、「空氣清淨能力永不減退」的空氣清淨機也確實可行。我們把所有氣旋除塵筒的清
除PM2.5效率繪製如下(圖54)。

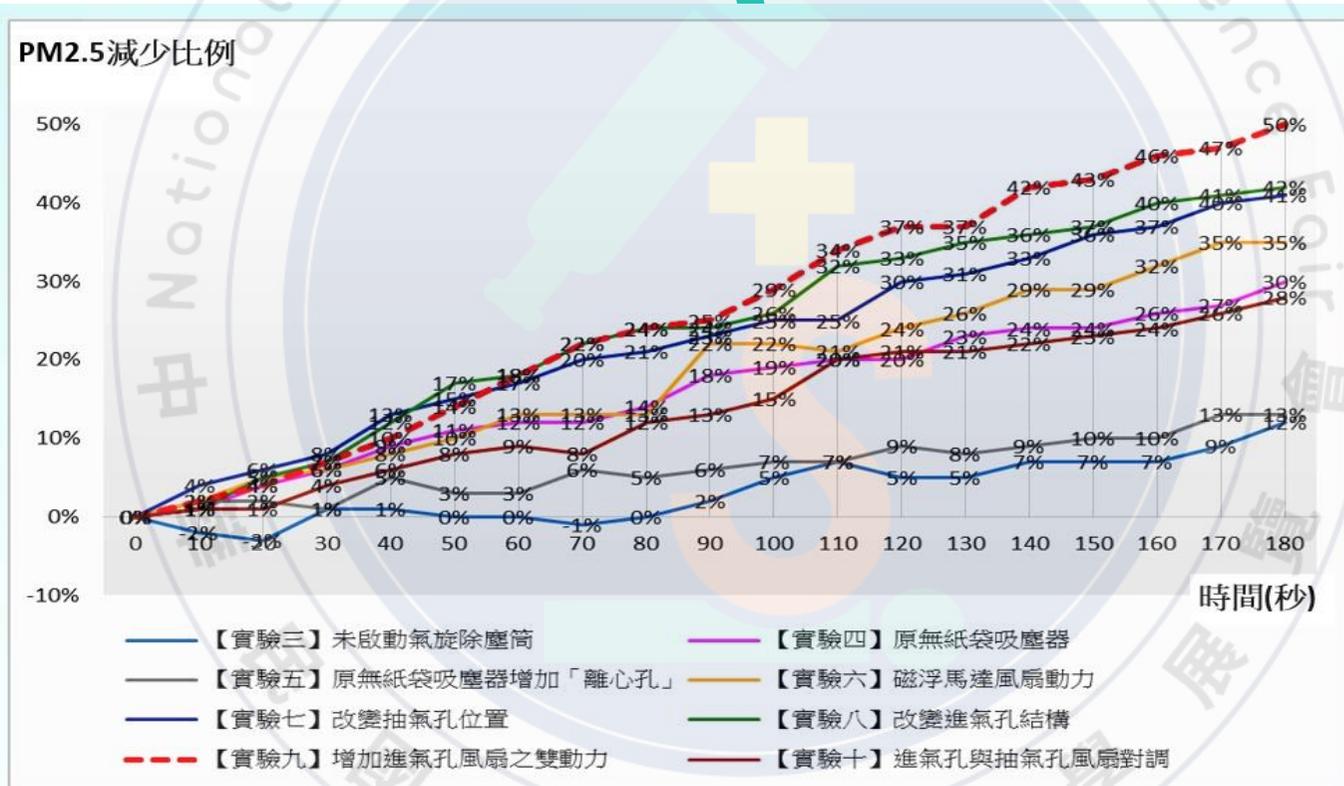


圖54：各種氣旋除塵筒清除PM2.5效率比較



就像英國首富Dyson當初發明無紙袋吸塵器嘗試了數千種除塵筒結構一般，空氣清淨氣旋除塵筒的結構研究只有更好、沒有最好。本研究確認了以下幾個研究方向與結論：

1. 清除PM2.5效率良好的氣旋除塵筒，必須能產生結構扎實的氣旋結構。
2. 「橫式」結構分離PM2.5效率不如「直式」氣旋除塵筒。
3. 加長「磁浮馬達風扇動力」之氣旋除塵筒長度能夠增加清除PM2.5效率。
4. 將「抽氣孔與進入室內空氣孔分開」，以及「抽氣孔位於側邊以增加氣旋強度」，對於增進清除PM2.5的效率都有幫助。
5. 增加風扇風力也可以增加清除PM2.5的效率。

柒、參考文獻資料

1. 伊曼紐(2007)·颱風·台北市：天下文化出版社。
2. 黃郁揚 黃麗煌 蔡靜玫(2018)·戰勝PM2.5·台北市：幸福綠光出版社。
3. 威廉·奧斯本(2018)·神氣樹屋小百科-颱風與颶風·台北市：小天下出版社。
4. 陳康興(2020)·環境氣象學·台北市：五南出版社。
5. 趙英傑(2020)·Arduino互動設計入門·台北市：旗標出版社。
6. 林裕清(2018)·從一級致癌物PM2.5談空氣汙染對人替的危害·台灣癌症基金會·
取自 <http://web.tccf.org.tw/lib/addon.php?act=post&id=4241>
7. 招名威(2020)·PM2.5濃度越高新冠病毒死亡率就越高？中原大學生物科技學系·
取自 <https://today.line.me/tw/v2/article/Lrgme0>