

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)

052301

離子風暴機

學校名稱： 國立屏東高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 李政諺	蔡俊毅
職二 郭元益	陳建宏
職二 鍾博安	

關鍵詞： 滅菌/病毒、特斯拉線圈、電弧

摘要

本研究開發之特斯拉線圈驅動之空氣清淨機單顆成本為 3199 元，而雙顆成本 6269 元，相較市售高價且僅能過濾污染物的清淨機，我們的技術透過高能電場與負離子，主動殺滅細菌與病毒，有效破壞病原體結構，降低其存活率，特別適用於醫療環境如急診、病房與實驗室，可降低交叉感染風險。實驗顯示，特斯拉線圈產生等離子體能使懸浮微粒帶電，促進凝聚與沉降，顯著改善空氣品質。研究亦指出，臭氧生成需透過參數調整以確保安全性。整體而言，本技術具低成本、高效能優勢，未來可結合其他淨化手段，提升使用穩定性與長效安全性。

壹、前言

AQI指標	一般民眾活動建議	敏感性族群活動建議
0-50 良好	正常戶外活動。	正常戶外活動。
51-100 普通	正常戶外活動。	極特殊敏感族群建議注意可能產生的咳嗽或呼吸急促症狀，但仍可戶外活動。
101-150 對敏感族群不良	如有不適，應考慮減少戶外活動。另學生仍可戶外活動，但建議減少長時間劇烈運動。	建議減少體力消耗的戶外活動，必要外出應配戴口罩。另有氣喘者可能需增加使用吸入劑的頻率。
151-200 對所有族群不良	如有不適，應減少體力消耗的戶外活動。另學生應避免長時間戶外劇烈運動。其他戶外活動時應增加休息時間。	如有不適，應減少體力消耗的戶外活動。另學生應避免長時間戶外劇烈運動。其他戶外活動時應增加休息時間。
201-250 非常不良	應減少戶外活動。另學生應立即停止戶外活動，並將課程調整至室內。	應留在室內並減少體力消耗活動，必要外出應配戴口罩。另有氣喘者應增加使用吸入劑的頻率。
251-500 有害	應避免戶外活動，室內應緊閉門窗，必要外出應配戴口罩等防護用具。另學生應立即停止戶外活動，並將課程調整至室內。	應留在室內並避免體力消耗活動，必要外出應配戴口罩。另有氣喘者應增加使用吸入劑的頻率。

圖 1-1 環保署空氣品質空氣值對照圖 (來源:行政院環保署)

從表 1-1 可得知，AQI（空氣品質指數）反映空氣污染程度，數值越高代表污染越嚴重，對健康影響越大；當 AQI 超過 100 時，敏感族群應減少戶外活動，超過 150 時所有人皆應降低戶外活動強度，超過 200 時則建議避免外出並採取適當防護措施，以減少空氣污染對健康的影響。

TVOC 空氣有毒物質濃度 (mg/m ³)	環保署空氣品質燈號
≤ 0.3	綠
0.3-0.6	黃
0.6-1.0	澄
1.0-3.0	紅
>3	紫
HCHO 甲醛濃度 (mg/m ³)	環保署空氣品質燈號
≤0.08	綠
0.08-0.1	黃

0.1-0.3	澄
0.3-0.5	紅
>0.5	紫
CO ₂ 二氧化碳濃度 (ppm)	環保署空氣品質燈號
≤600	綠
600-1000	黃
1000-1500	澄
1500-2500	紅
>2500	紫
Co 一氧化碳濃度 (ppm)	環保署空氣品質燈號
≤4.4	綠
4.5-9.4	黃
9.5-12.4	澄
12.5-15.4	紅
>15.5	紫
PM2.5 濃度 (ug/m ³)	環保署空氣品質燈號
≤15.4	綠
15.5-35.4	黃
35.5-54.4	澄
54.5-150.4	紅
>150.5	紫
PM10 濃度 (ug/m ³)	環保署空氣品質燈號
≤50	綠
51-100	黃
101-254	澄
255-354	紅
>355	紫

表 1-1 環保署各項空氣汙染物指標表 (來源:行政院環保署)

從上圖可得知，不同污染物（TVOC、甲醛、二氧化碳、一氧化碳、PM2.5、PM10）的濃度對應不同的空氣品質燈號，數值越高代表污染越嚴重，當燈號達橙色或以上時，敏感族群應減少戶外活動，紅色或紫色則表示空氣嚴重污染，所有人應避免外出並採取適當防護措施。

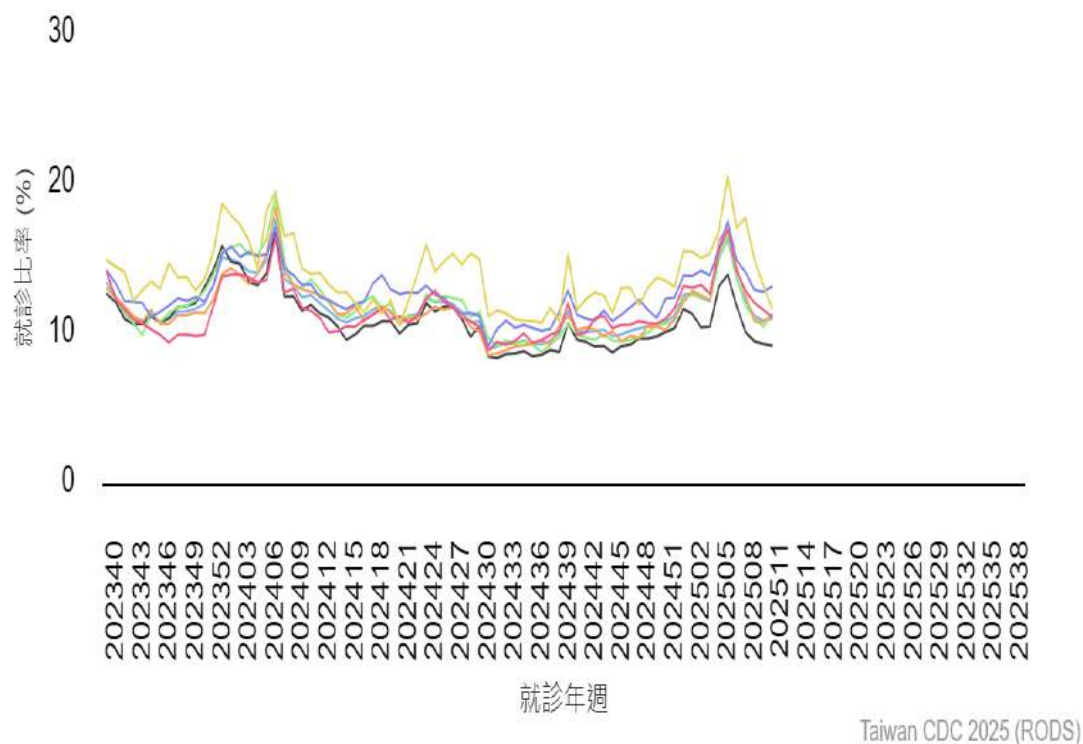


圖 1-2 台灣疾病管制署 2023 第 40 周到 2025 第 11 周就診比率趨勢圖(來源: 傳染病統計資料查詢系統)

這張圖來自 Taiwan CDC 2025 (RODS)，顯示 2023 年第 40 週至 2025 年第 38 週的就診比率 (%) 變化趨勢。圖中可見，近年來就診比率呈現波動上升趨勢，尤其在冬季與春季高峰期更為明顯，這可能與空氣品質逐漸惡化有關。隨著空氣污染加劇，呼吸道疾病、氣喘與過敏性疾病的患者增加，導致醫療機構的就診需求提升。此趨勢顯示空污對公共健康的影響不容忽視，需加強監測與改善環境政策，以減少對民眾健康的長期危害。

特斯拉線圈：

由尼古拉·特斯拉發明的一種基於電磁感應與共振原理的高頻電氣裝置，可產生高壓、低電流的脈衝電流，並透過強大電磁場實現無線能量傳輸。其結構包含耦合共振電路，透過電容儲能與放電，使能量從初級線圈傳遞至次級線圈，最終輸出高頻高壓電流。這項技術廣泛應用於無線通信、醫療中心，推動了無線電力傳輸與高頻電流現象的發展。

動機跟目的：

本研究探討特斯拉線圈在空氣淨化的應用，透過高壓電場與放電電弧，提高離子體技術對懸浮微粒（PM2.5）、有毒氣體（TVOC）及細菌的分解效率。實驗結果顯示，特斯拉線圈可以有效降低 CO、TVOC 的濃度，並促進懸浮微粒凝聚與沉降，但需控制臭氧產生量以確保安全性。本技術成本只有 6269 元，相較於市售空氣清淨機，不僅能過濾污染物，還能透過高能電場與負離子殺滅細菌與病毒，降低交叉感染風險，特別適用於醫療環境。未來將優化放電模式與參數調整，提升淨化效率，並開發高效、無耗材且安全的空氣清淨技術。

貳、研究設備與器材

材料	圖片	用途
次級線圈	 圖 2-1 次級線圈 (來源:自行拍攝)	次級線圈將初級線圈的低電壓高頻電能轉換為高電壓。通過電磁感應，初級線圈的電流變化產生高電壓，並形成強大電場和高頻電弧，這些電弧可應用於無線電能傳輸和空氣消毒等領域。
初級線圈	 圖 2-2 初級線圈 (來源:自行拍攝)	初級線圈在特斯拉線圈中負責接收低電壓的交流電，並將其轉換為高頻電流。這個過程中，初級線圈產生變化的磁場，為次級線圈提供能量，最終產生高電壓。
散熱片	 圖 2-3 散熱片 (來源:自行拍攝)	散熱片的作用是散發熱量，防止電子設備過熱。它通過增加表面積來加速熱量散發，保持設備在正常溫度運行，從而延長設備壽命並確保其穩定運行。

電感	 圖 2-4 電感 (來源:自行拍攝)	電感的作用是管理電流，抵抗電流變化，並儲存和釋放能量。它可用於濾波、能量轉換和穩定電流。
電容	 圖 2-5 電容 (來源:自行拍攝)	電容的作用是儲存電能、穩定電壓、耦合信號、調節頻率和吸收電壓衝擊，廣泛應用於電源管理和信號處理。
LED 燈	 圖 2-6 LED 燈 (來源:自行拍攝)	LED 燈在特斯拉線圈中用來展示高頻電流效果、顯示運行狀態或作為照明工具。
電阻	 圖 2-7 電阻 (來源:自行拍攝)	電阻的作用是控制電流、分壓、轉換能量、調節信號和保護電路。它限制電流、分配電壓並保護電路。
線香	 圖 2-8 線香 (來源:自行拍攝)	主要目的是展示污染物的擴散、沉降和污染源的影響，並為測試空氣清新設備的效果提供一個直觀的方法。

自動升降壓模組	 圖 2-9 自動升降壓模組 (來源:自行拍攝)	此為 DC-DC 降壓模組 (Buck Converter) 的主要功能是将較高的直流電壓降至所需的較低電壓，並提供穩定的電源輸出，適用於各類電子設備與電路應用。
TVOC、CO ₂ 感測器	 圖 2-10 TVOC、CO₂ 感測器 (來源:自行拍攝)	這是一款 CO₂ & TVOC 空氣品質感測模組，主要用來偵測環境中的二氧化碳濃度 (CO₂) 及總揮發性有機化合物 (TVOC)，常應用於空氣品質監測、智慧家居與環境控制系統。
特斯拉線圈	 圖 2-11 特斯拉線圈 (來源:自行拍攝)	特斯拉線圈透過產生高壓電場實現空氣電離與負離子釋放，進而達到空氣淨化、殺菌消毒的效果，並可應用於無線電能傳輸、高壓放電及等離子體相關研究。
集電罩	 圖 2-12 集電罩 (來源:自行拍攝)	本實驗創作不規則電弧集電罩，集電罩的作用是確保穩定電流傳輸，並防止火花和磨損。

離子風暴機 (初代)	 圖 2-13 離子風暴機(初代) (來源:自行拍攝)	這是一個模擬氣室的模型，內部搭載特斯拉線圈，主要用於模擬高電壓電場進行殺菌的實驗效果。
離子風暴機 (二代)	 圖 2-14 離子風暴機(二代) (來源:自行拍攝)	這是採用透明壓克力與紙箱構成的模擬氣室裝置，具有借面接合結構，內部搭載特斯拉線圈與感測模組，來模擬氣體環境中的高壓放電殺菌實驗比初代更完整
氣體集塵罩	 圖 2-15 氣體集塵罩 (來源:自行拍攝)	氣體集塵罩的作用是将實驗中產生的各種氣體有效收集並集中，防止有害氣體外洩，保障實驗者的健康安全，同時避免污染環境，並方便後續的氣體分析或處理。

參、研究過程與方法

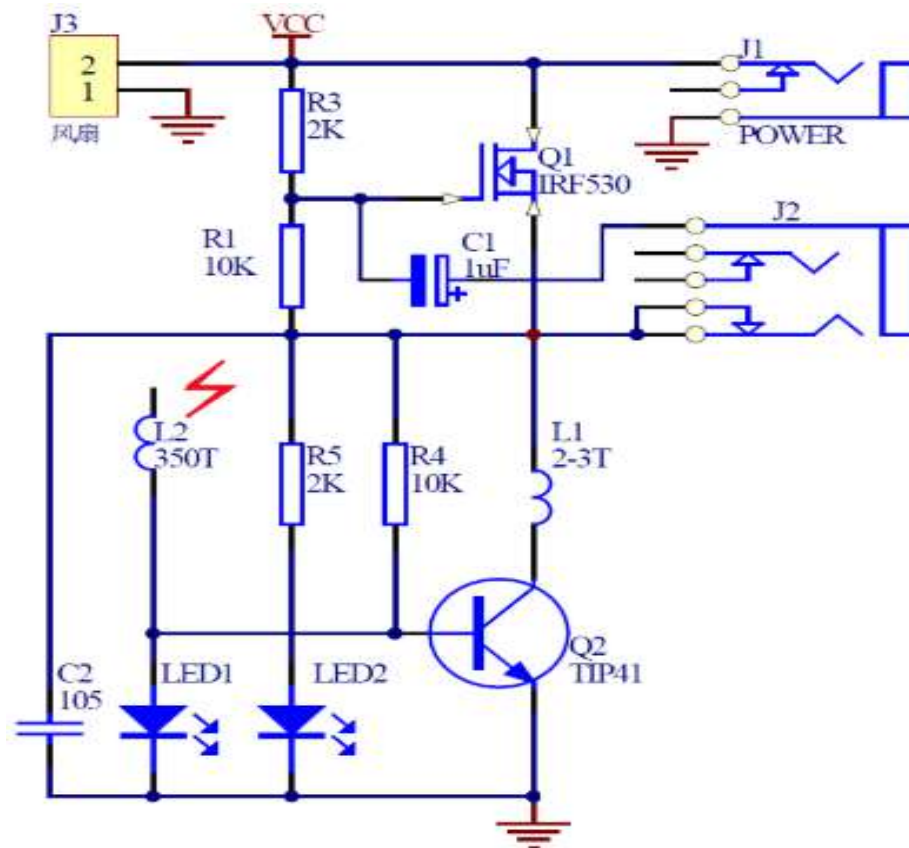


圖 3-1 簡易電路圖 (來源:51Hei 電子論壇)

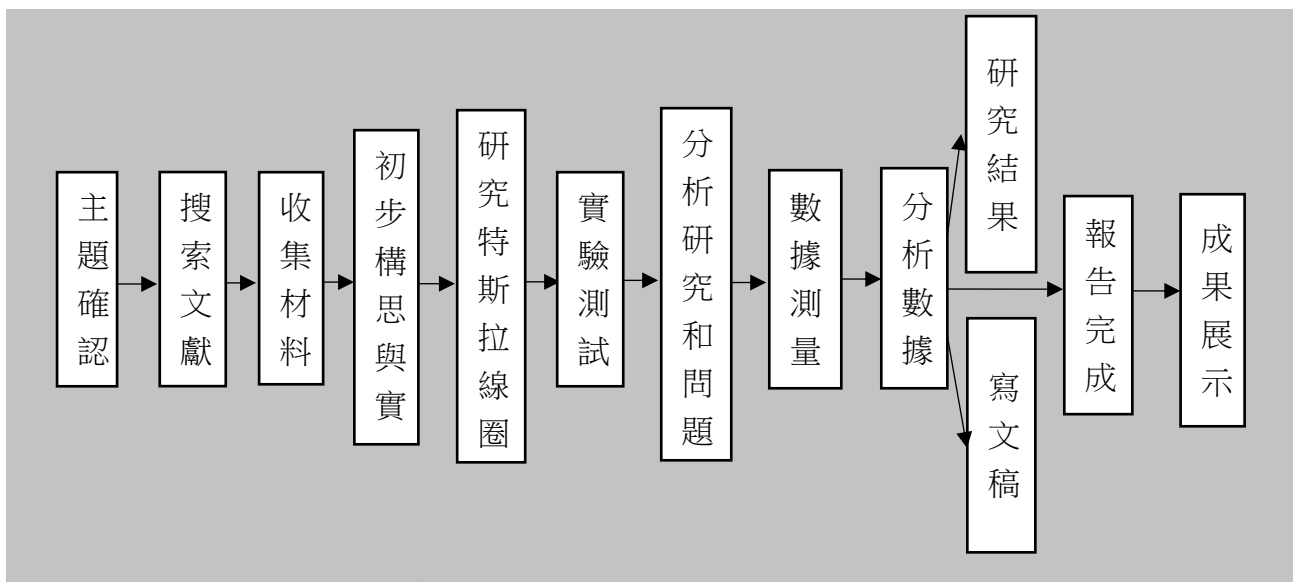


圖 3-2 流程圖 (來源:自行製作)

```

1  #include <Wire.h>
2  #include "Adafruit_SGP30.h"
3  #define OUTPUT_PIN 9
4  #define CO2_THRESHOLD 1000
5  #define TVOC_THRESHOLD 0.6
6  Adafruit_SGP30 sgp;
7  void setup()
8  {
9      Serial.begin(115200);
10     pinMode(OUTPUT_PIN, OUTPUT);
11     digitalWrite(OUTPUT_PIN, LOW);
12     if (!sgp.begin())
13     {
14         Serial.println("SGP30 初始化失敗!");
15         while (1);
16     }
17     Serial.println("SGP30 初始化成功!");
18 }
19 void loop()
20 {
21     if (!sgp.IAQmeasure())
22     {
23         Serial.println("SGP30 測量失敗");
24         return;
25     }
26     float tvoc_mapped = (sgp.TVOC * 3.0) / 1000.0;
27     tvoc_mapped = constrain(tvoc_mapped, 0.0, 3.0);
28     Serial.print("CO2: "); Serial.print(sgp.eCO2); Serial.print(" ppm");
29     Serial.print(" | TVOC (映射後): "); Serial.print(tvoc_mapped, 2);
30     Serial.println();
31     if (sgp.eCO2 > CO2_THRESHOLD || tvoc_mapped > TVOC_THRESHOLD)
32     {
33         digitalWrite(OUTPUT_PIN, HIGH);
34         Serial.println("XL6009E1 啟動 (升壓中)");
35     }
36     else
37     {
38         digitalWrite(OUTPUT_PIN, LOW);
39         Serial.println("XL6009E1 關閉 (停止升壓)");
40     }
41     delay(500);
42 }

```

圖 3-3 程式圖 (來源: arduino)

本程式運用高精度感測技術監控 CO₂ 濃度與 TVOC 指數，當 CO₂ 超過 1000 ppm 或 TVOC 超過 0.6，使繼電器切換為常閉，驅動殺菌或空氣淨化裝置，應用於醫療級空氣處理、智慧監控與感染控制，有效提升空氣生物安全，降低病原體傳播風險。

研究方法

本研究透過實驗評估特斯拉線圈於空氣淨化的可行性，調整其頻率與電壓以確保穩定運行，並監測多項空氣指標於密閉與開放環境下的變化。另評估其安全性、效能與電磁影響，設計防護機制並依據結果優化系統參數與淨化效果。

肆、研究成果

本實驗內容各項指標所代表的實際涵義如下表

名稱	代表	顆粒大小
CO ₂	二氧化碳	約 0.33(ppm)
CO	一氧化碳	約 0.11(ppm)
TVOC	病毒總量	約 0.3~1(nm)

HCHO	甲醛	約 0.24(nm)
PM10	大分子細菌	20*50(μm)
PM2.5	小分子細菌	2.5*10(μm)

表 4-1 氣體顆粒表 (來源:嘉義市政府環境保護局)

TVOC 介紹

TVOC 中常見有毒氣體如 HCHO、C₆H₆、C₂H₅OH、CH₃COCH₃、N₂O 等，尤其在冬季濃度可達 50~200 mg/m³，對健康威脅極大。雖然醫院常用的 X 射線結構解析、DLS、TEM/SEM 等技術可深入分析病毒結構，但涉及高能輻射，具潛在風險。相比之下，特斯拉線圈以高壓放電釋放高頻電磁波，非游離輻射，在安全距離內對人體相對安全。

一、第一部份:單顆特斯拉線圈滅菌成效導論

(一)、模擬環保署空氣品質 AQI 呈現橘色指標狀態 (對敏感族群不健康) (學校環境)

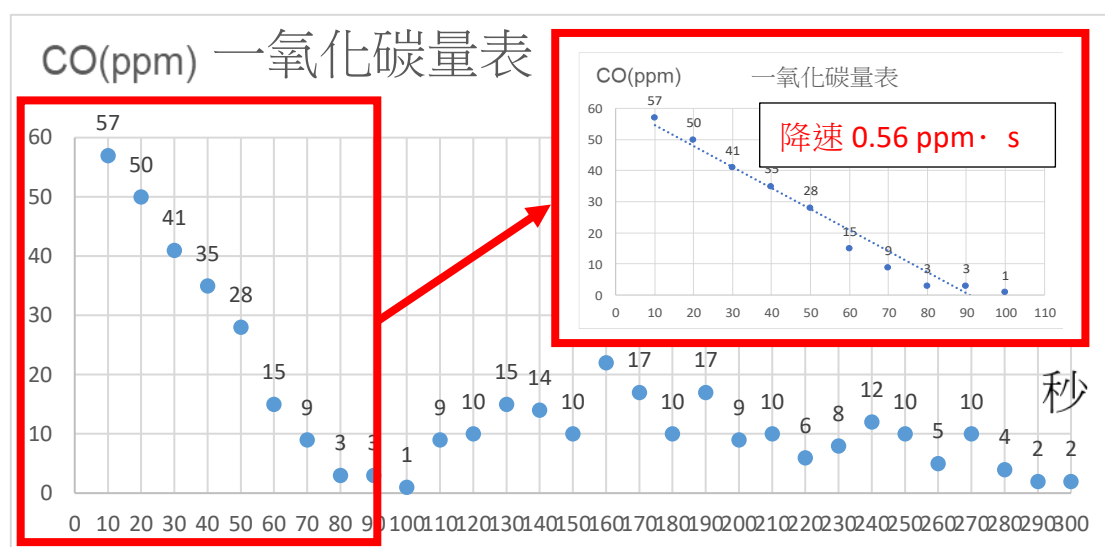


圖 4-1 單顆特斯拉線圈啟動後對一氧化碳的影響散佈圖 (來源:自行製作)

該圖顯示單顆特斯拉線圈啟動後，一氧化碳濃度由 57ppm 迅速降至 3ppm，隨後因氣流流動在 70 至 180 秒間出現波動，但最終穩定維持在約 2ppm，顯示裝置具備有效分解 CO 的能力。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

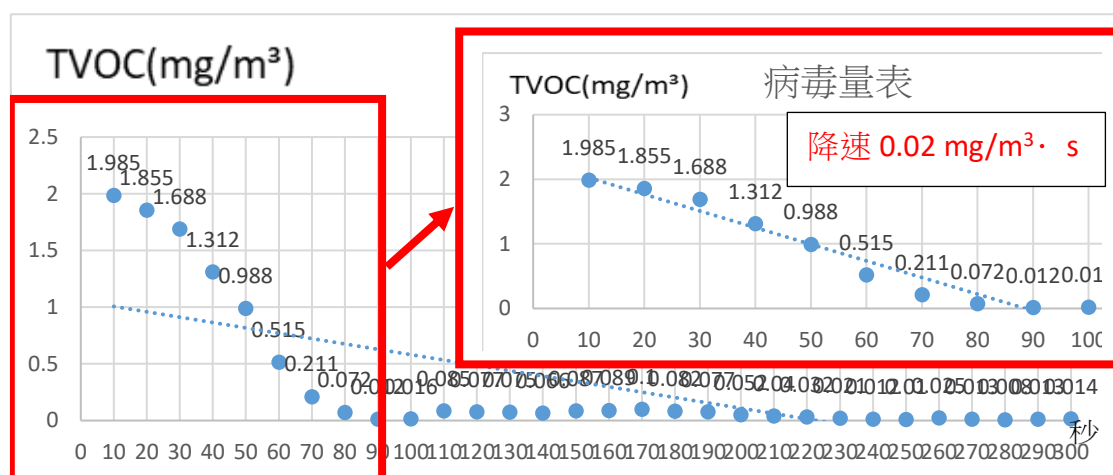


圖 4-2 單顆特斯拉線圈啟動後對病毒的影響散佈圖 (來源:自行製作)

該圖顯示 TVOC(病毒)濃度在「單顆特斯拉線圈」的分解下，呈現快速且即時的下陷趨勢。從初始約 2.0mg/m^3 的水平，TVOC 濃度在約 70 秒時迅速降至 0.072mg/m^3 ，並在隨後的時程中穩定保持在極低的水平(約 0.018mg/m^3)。這種快速的濃度衰減曲線，證明了該「特斯拉線圈」對粒徑極小的病毒具備高效的直接清除或分解能力，且其作用速度較快。最終維持在接近偵測極限的低濃度，表明該技術在持續控制室內有毒氣體污染方面具有良好的穩定性。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

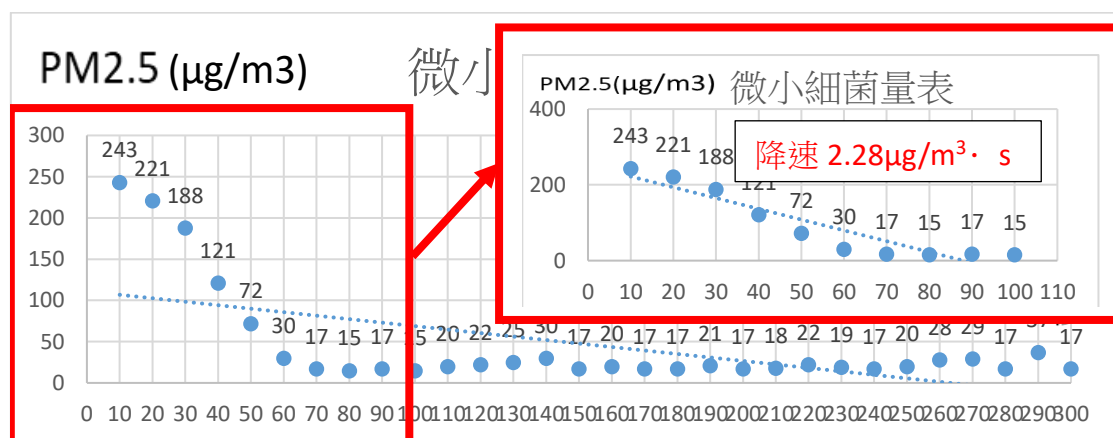


圖 4-3 單顆特斯拉線圈啟動後對微小細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

該圖顯示 PM2.5(小細菌)濃度在「特斯拉線圈」被分解下的變化。從初始的約 $243(\mu\text{g/m}^3)$ ，濃度在啟動後迅速下降，約 70 秒時已降至 $17(\mu\text{g/m}^3)$ 波動。儘管 PM2.5(小細菌)粒徑微小，清除難度高，但該裝置仍能將其濃度顯著降低，證明其對小細菌具有高效的捕捉或去除能力。隨後，濃度在低水平(約 $15-38(\mu\text{g/m}^3)$ 波動。儘管 PM2.5(小細菌)粒徑微小，清除難度高，但該裝置仍能將其濃度顯著降低，證明其對小細菌具有高效的捕捉或去除能力(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

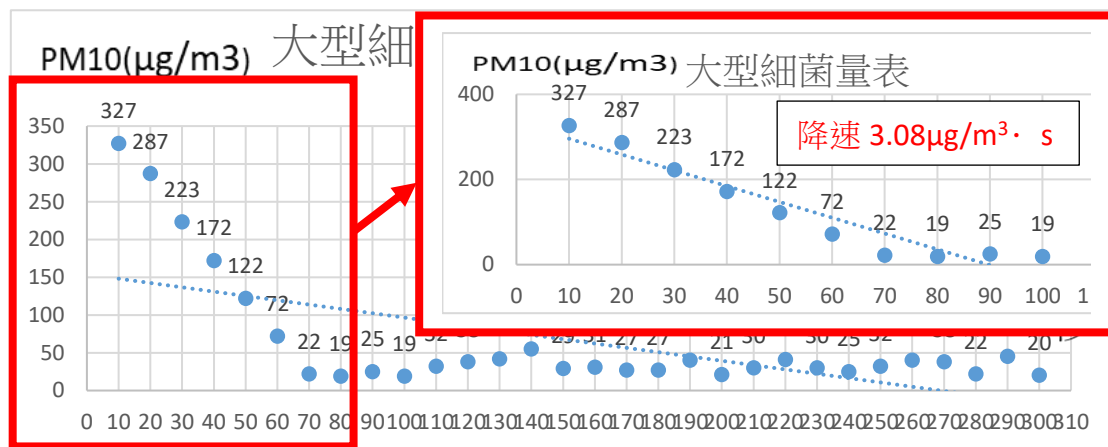


圖 4-4 單顆特斯拉線圈啟動後對細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示，單顆特斯拉線圈能將 PM10 濃度由 $327 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 迅速降至 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，具備優異的初期清除效能。然而，70 秒後濃度在 $19 - 62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 間波動，偶有回升，顯示後期穩定性受影響，可能與顆粒再次懸浮或新顆粒生成有關。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

(二)、模擬環保署空氣品質 AQI 呈現紫色指標狀態(對所有人都不健康)(一般診所與醫院門診)

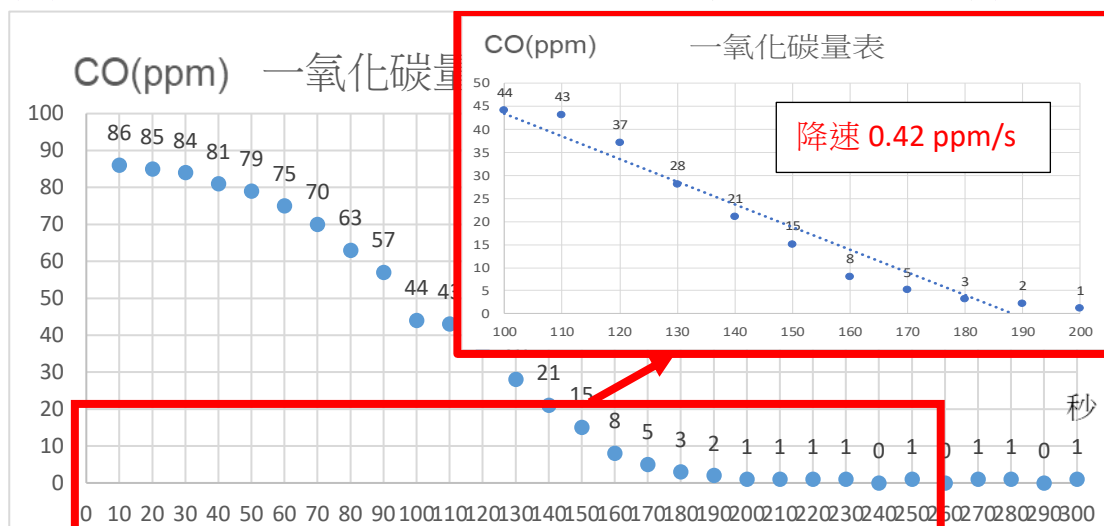


圖 4-5 單顆特斯拉線圈對一氧化碳的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示，單顆特斯拉線圈可將 CO(一氧化碳)濃度由 86 ppm 迅速降至接近 0 ppm，展現極高效且近乎完全的一氧化碳清除能力，證明其優異的分解效能。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

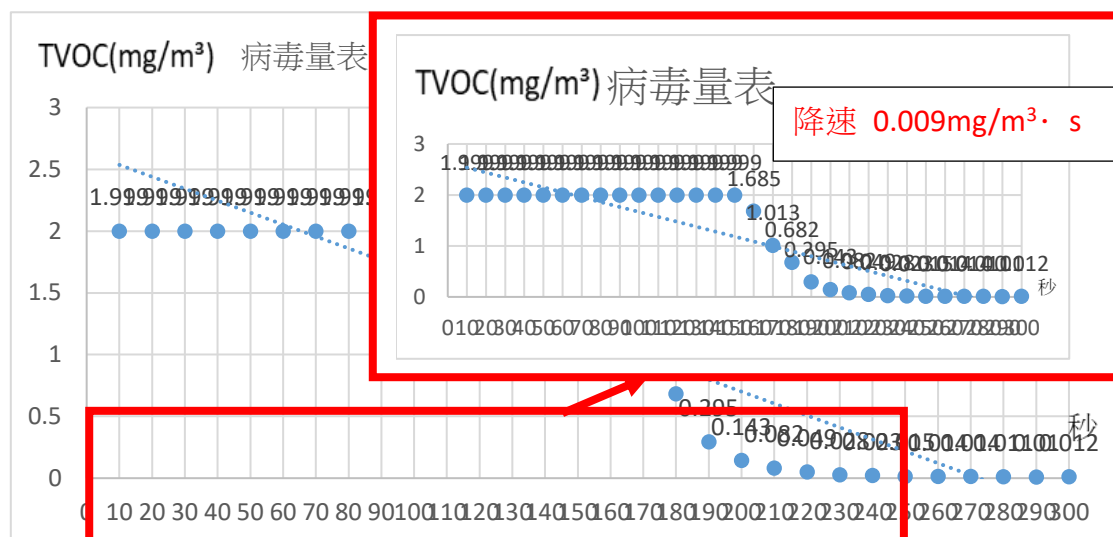


圖 4-6 單顆特斯拉線圈對病毒的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示 TVOC(病毒)濃度在啟動初期約 60 秒維持平台期後才顯著下降，最終降至極低值，顯示特斯拉線圈對氣態污染物的清除需一定啟動或累積時間，最終仍具高效處理能力。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

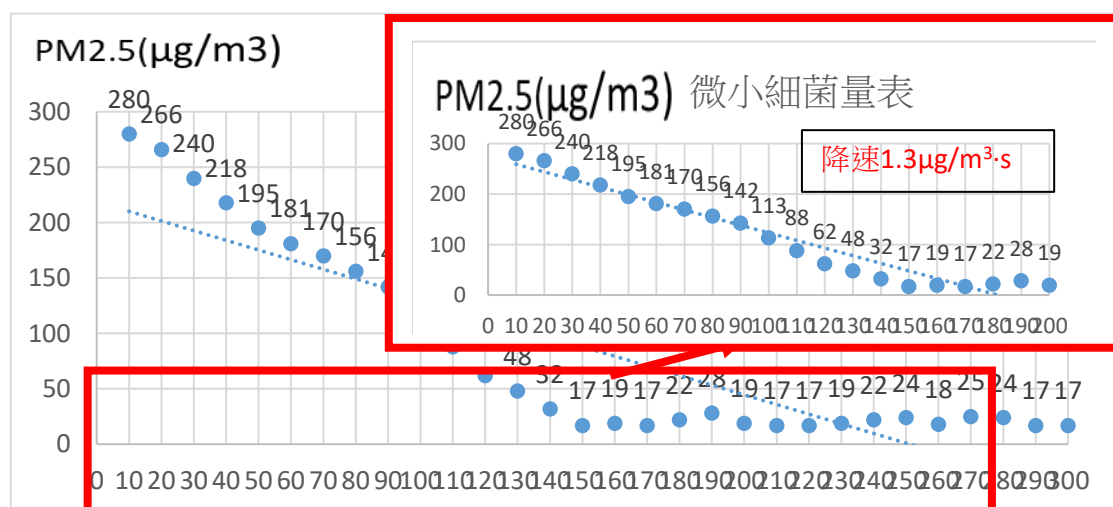


圖 4-7 單顆特斯拉線圈對微小細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

該圖突出顯示了「單顆特斯拉線圈」對 PM2.5(µg/m³)(小細菌)的顯著且高效的清除能力。PM2.5(小細菌)濃度從高達 280 µg/m³ 在約 150 秒內大幅降低至 17 µg/m³。考慮到 PM2.5(小細菌)粒徑更小、更難以捕獲，此高效去除結果(約 91%)具有重要的價值。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

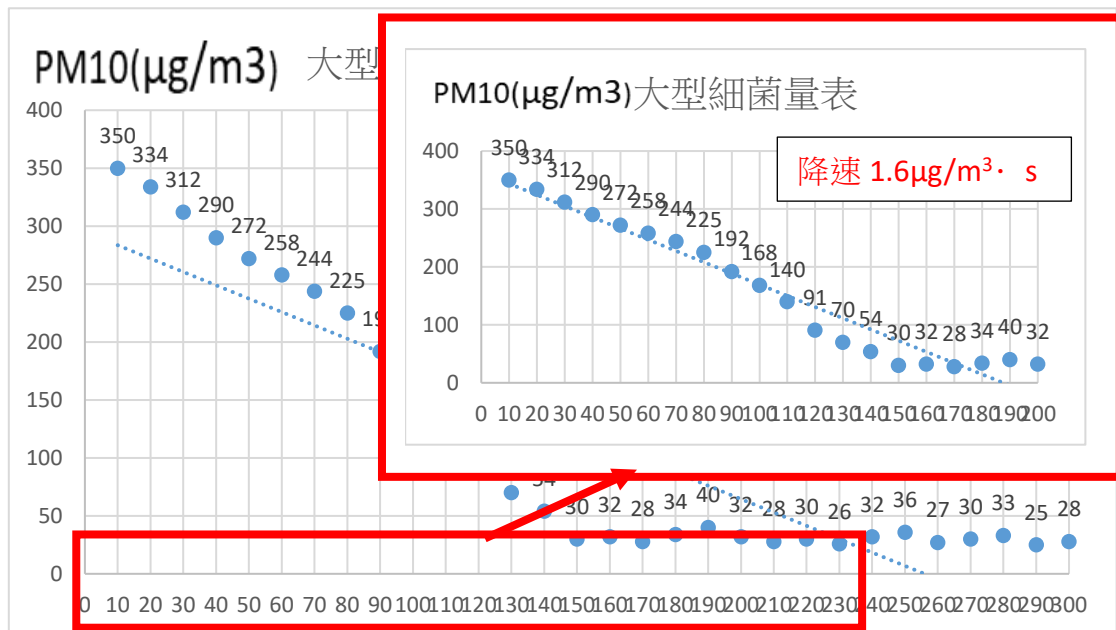


圖 4-8 單顆特斯拉線圈對大型細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，PM10(大細菌)濃度在短時間內由高點迅速降至低點並穩定維持，證明裝置具備快速清除大顆粒細菌的優異效能。隨後維持的低水平，反映了系統在清除大部分污染物後，已達到一個穩定狀態，或是受到環境中持續微量產生，以及裝置處理極低濃度污染物時的極限所影響。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

(三)、模擬環保署空氣品質 AQI 呈現褐紅色指標狀態 (對所有人都產生危害)(急診室)

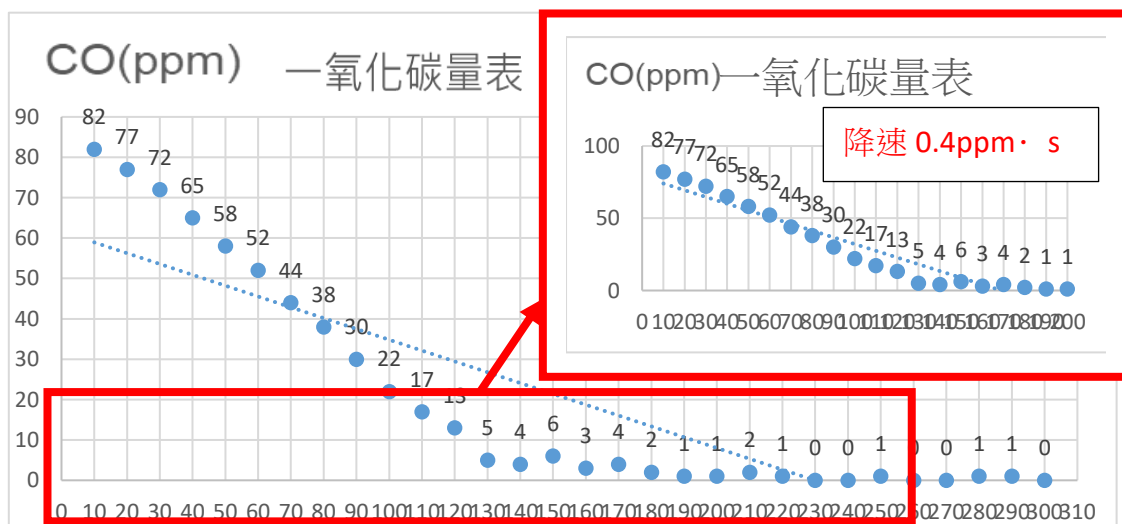


圖 4-9 單顆特斯拉線圈啟動後對一氧化碳的影響散佈圖 (來源:自行製作)

圖示清晰地展示了在「單顆特斯拉線圈」的分解下，一氧化碳濃度從高初始值表現出極其迅速且徹底的超指數級衰減，在極短的時間內便降至儀器偵測的極限以下，強烈暗示該系統對 CO(一氧化碳)具有極高的反應和速度。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

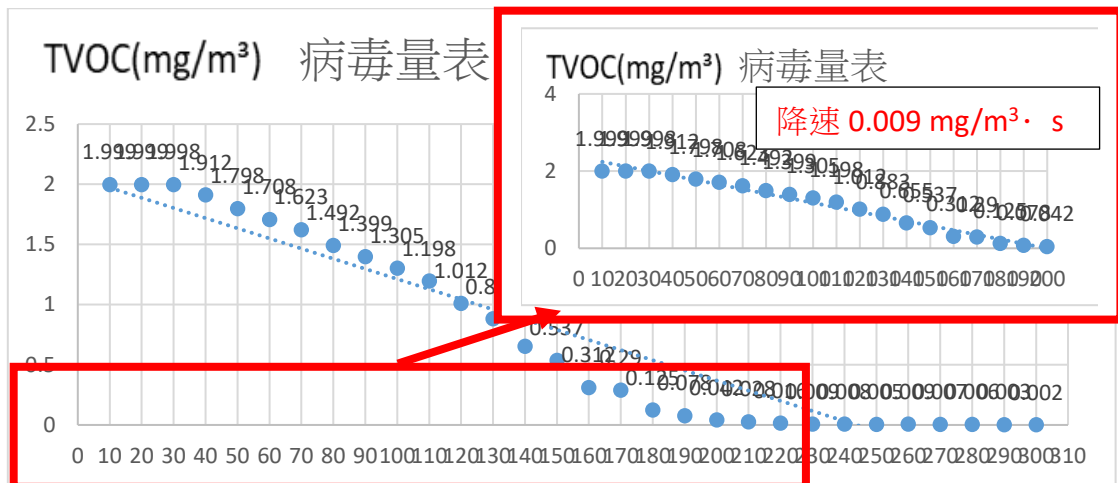


圖 4-10 單顆特斯拉線圈啟動後對病毒的影響散佈圖 (來源:自行製作)

該圖呈現了 TVOC(病毒)含量在「單顆特斯拉線圈」分解之後後，呈現出多種類物質快速綜合降低的趨勢，並最終收斂至極低含量，有力證明了該系統對室內空氣中多樣化且複雜的氣態污染物具有廣泛且高效的淨化能力。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

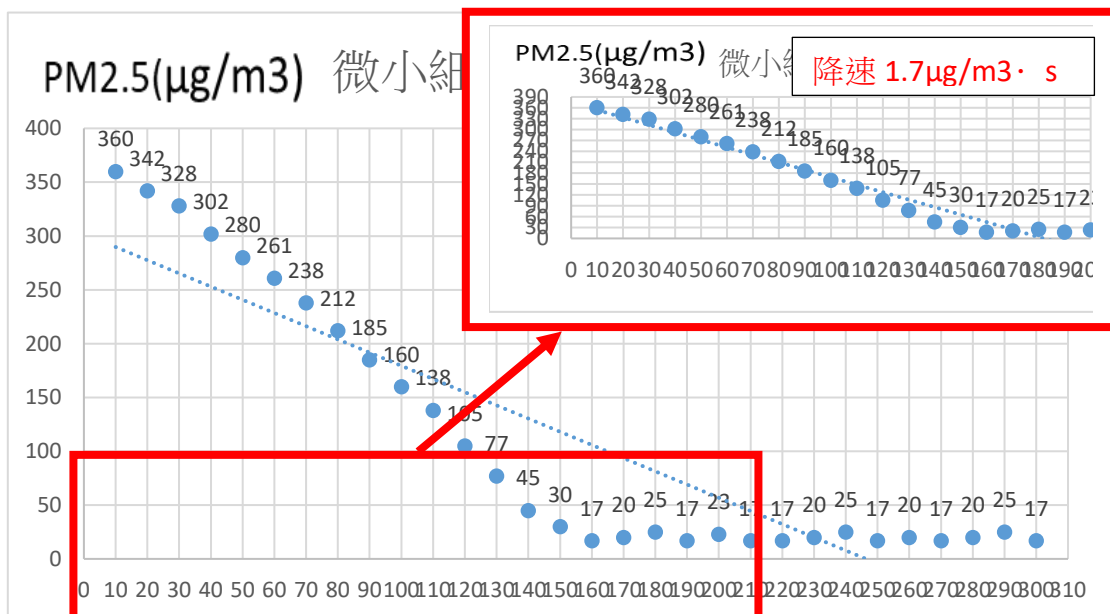


圖 4-11 單顆特斯拉線圈啟動後對微小細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

此圖顯示 PM2.5(小細菌)微粒含量在「單顆特斯拉線圈」效應器啟動後，呈現出初期快速減少繼而趨於穩定的兩階段變化，這反映了特斯拉線圈對小細菌有著極高的分解能力。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

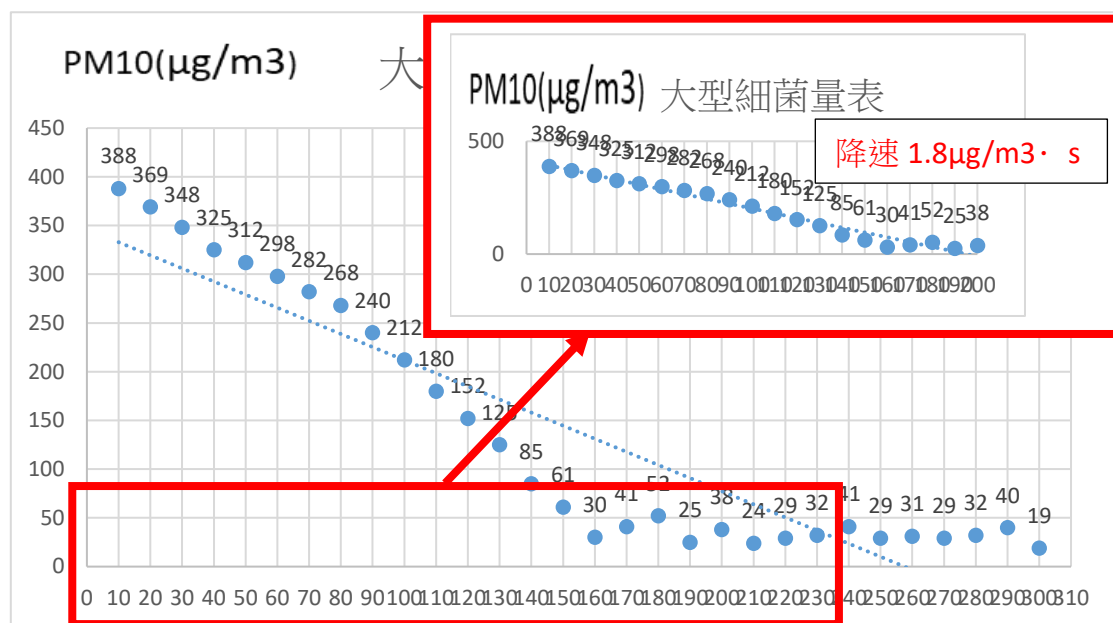


圖 4-12 單顆特斯拉線圈啟動後對大型細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

該圖描繪了 PM10(大細菌)微粒含量在「單顆特斯拉線圈」的分解作用下，同樣展現出類似 PM2.5(小細菌)的兩階段降低模式，最終穩定於較低水平，這表明該系統對不同大小的細菌具備有效捕捉或促使其沉降的綜合去除效能。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

二、第二部份:雙顆特斯拉線圈滅菌成效討論

(一)、模擬環保署空氣品質 AQI 呈現橘色指標狀態(對敏感族群不健康)(學校環境)

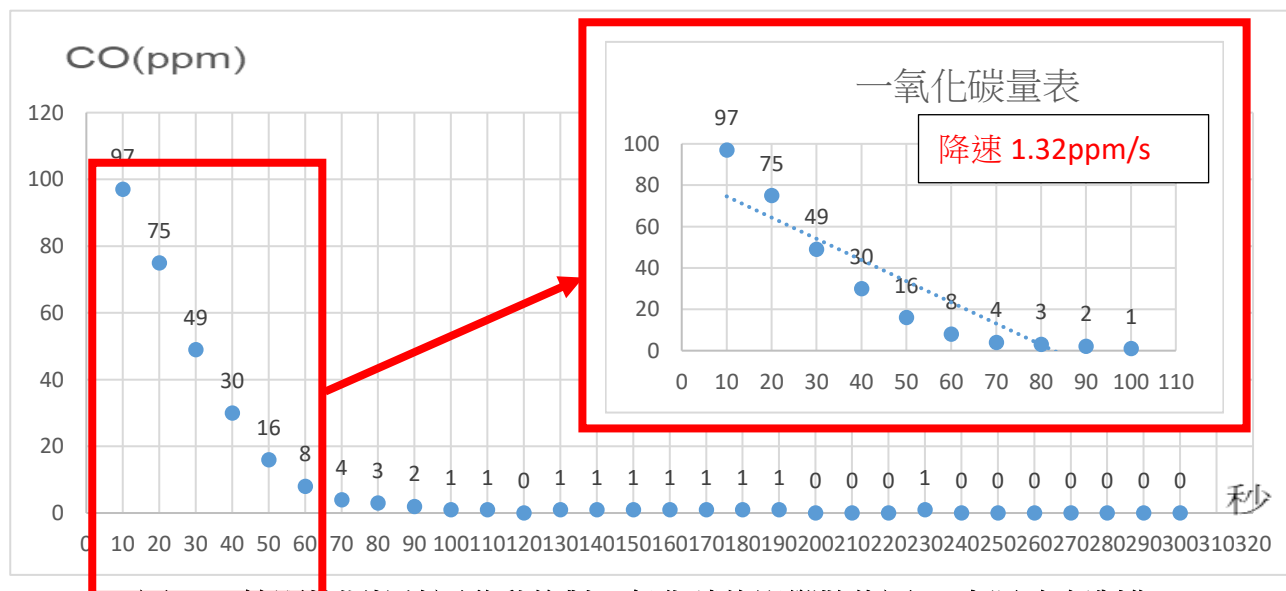


圖 4-13 雙顆特斯拉線圈啟動後對一氧化碳的影響散佈圖 (來源:自行製作)

圖中顯示，CO(一氧化碳)濃度由 97 ppm 在 50 秒內降至 16 ppm，70 至 100 秒進一步降至 1 ppm 後趨於穩定，110 秒後維持在 0~1 ppm，顯示特斯拉線圈具高效且穩定的一氧化碳清除能力。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

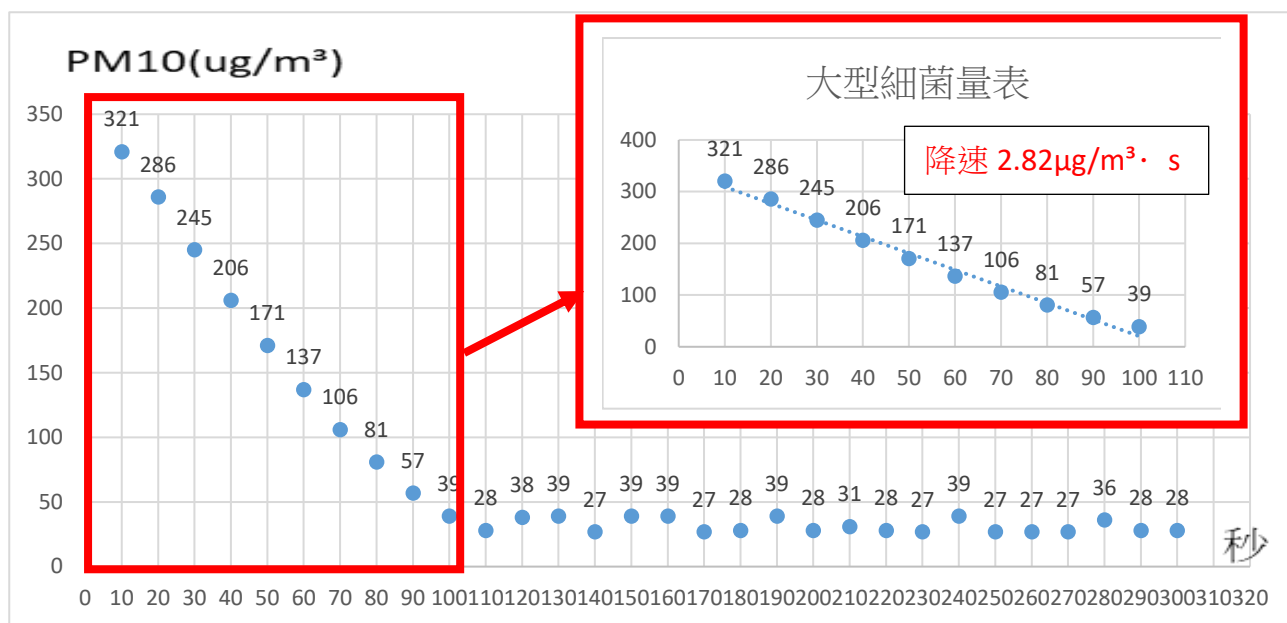


圖 4-14 雙顆特斯拉線圈啟動後對大型細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，PM10(大細菌)濃度由 $321\mu\text{g}/\text{m}^3$ 在 90 秒內降至約 $57\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，100 至 310 秒間穩定維持在 $27\sim39\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示裝置具快速且穩定的大分子細菌清除能力，並有效維持低污染狀態。
(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

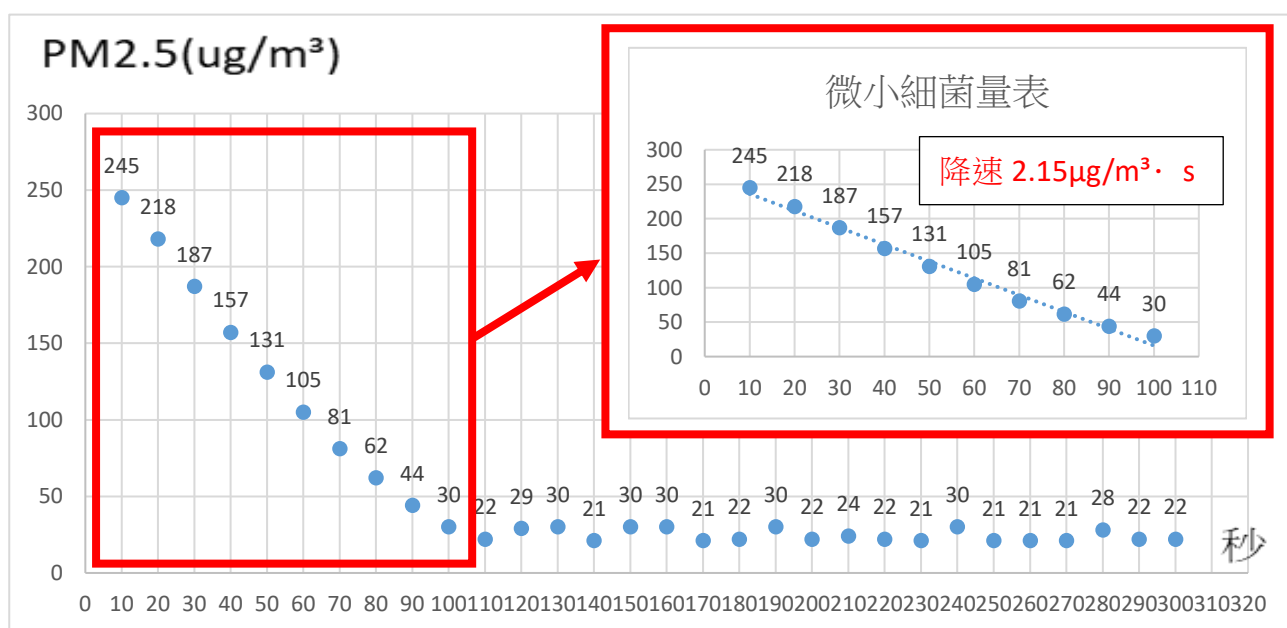


圖 4-15 雙顆特斯拉線圈啟動後對微小細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，PM2.5(小細菌)濃度由 $245\mu\text{g}/\text{m}^3$ 在 90 秒內快速降至約 $44\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，100 至 310 秒間穩定維持在 $20\sim30\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，波動幅度小，顯示裝置能有效且穩定控制小分子細菌濃度。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

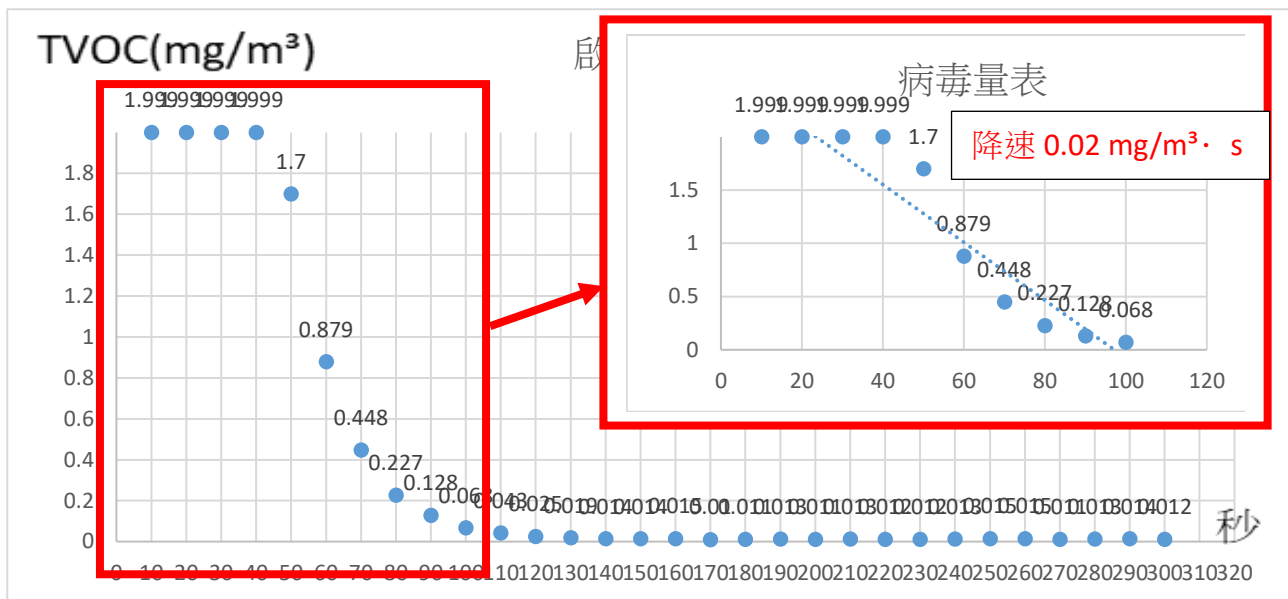


圖 4-16 雙顆特斯拉線圈啟動後對病毒的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，TVOC(病毒)濃度於前 50 秒維持在高濃度約 1.999mg/m³，啟動特斯拉線圈後迅速下降，130 秒後穩定維持在 0.012~0.015mg/m³，顯示裝置在短時間內具顯著且持久的病毒總量清除效能。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

(二)、模擬環保署空氣品質 AQI 呈現紫色指標狀態(對所有人都不健康)(一般診所與醫院門診)

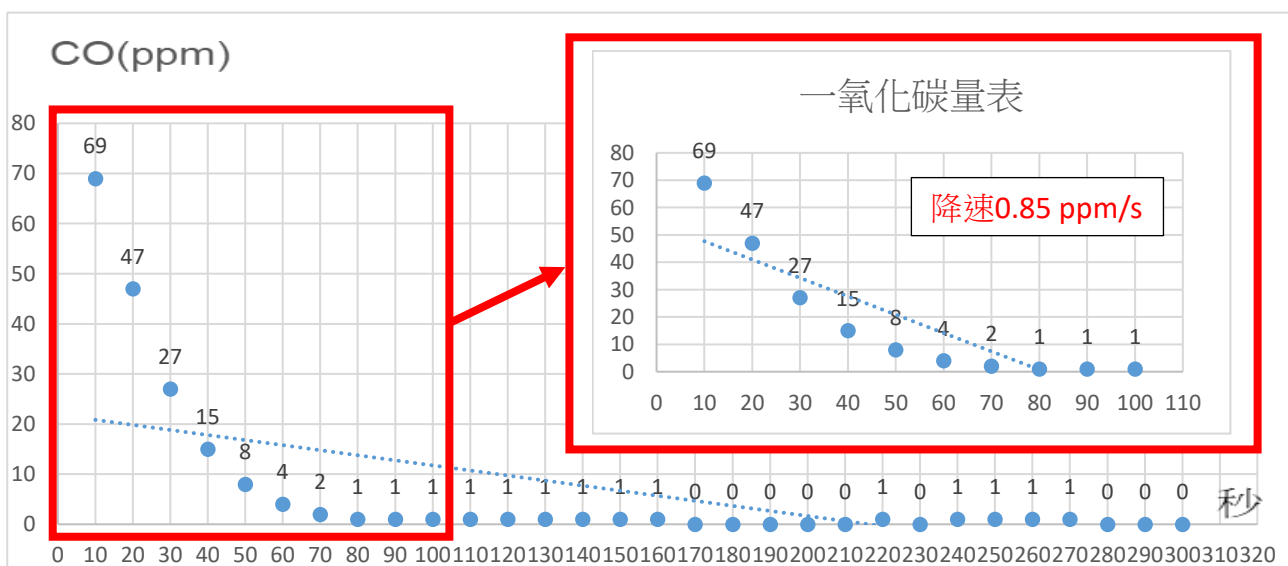


圖 4-17 雙顆特斯拉線圈啟動後對一氧化碳的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示 CO(一氧化碳)濃度隨時間變化的情形。起初濃度為 69ppm(對所有人都不健康)，隨著時間推移迅速下降，因為電弧的分解所以在 60 秒內降至 4ppm 以下，顯示電弧具有強效的分解能力。之後濃度穩定維持在 1ppm 甚至 0ppm (已達到環保署空氣品質指標(AQI)的(綠色指標狀態)，表現出極高的淨化效果。

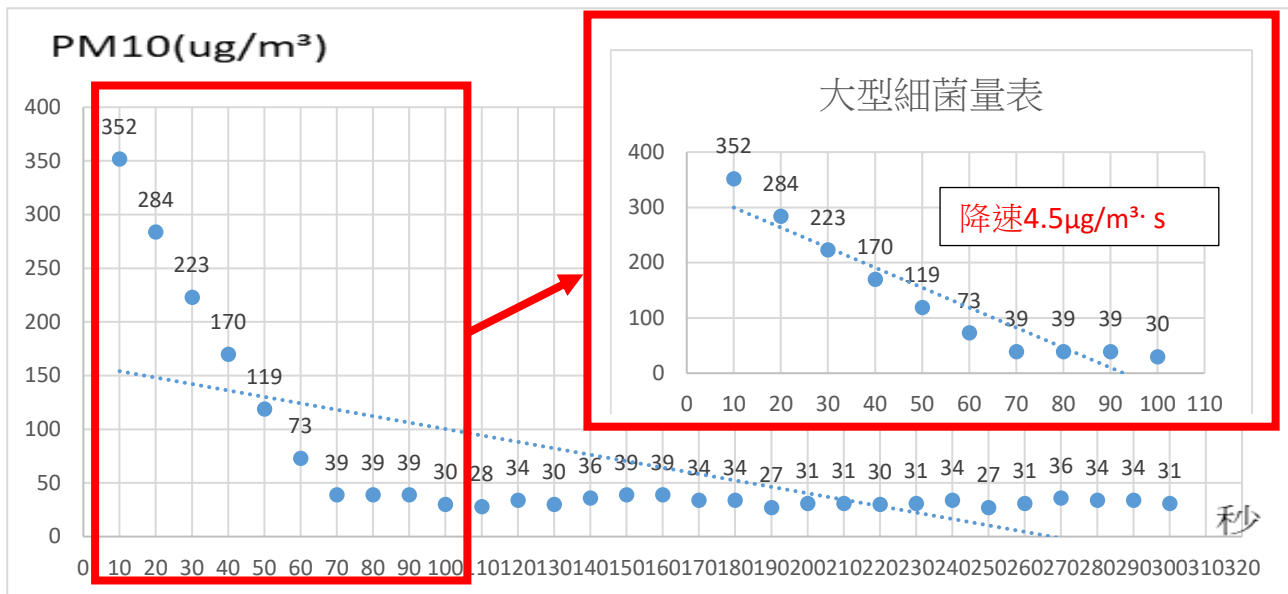


圖 4-18 雙顆特斯拉線圈啟動後對大型細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，PM10(大細菌)初始濃度為 $272 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，啟動後逐漸下降，至 100 秒降至約 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，120 秒後穩定於 $30\sim39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。與 PM2.5(小細菌)相比下降較慢，因為顆粒較大、受電場影響較小，須待其他污染物先行分解後才促進其沉降，反映出淨化過程與粒徑特性有關。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

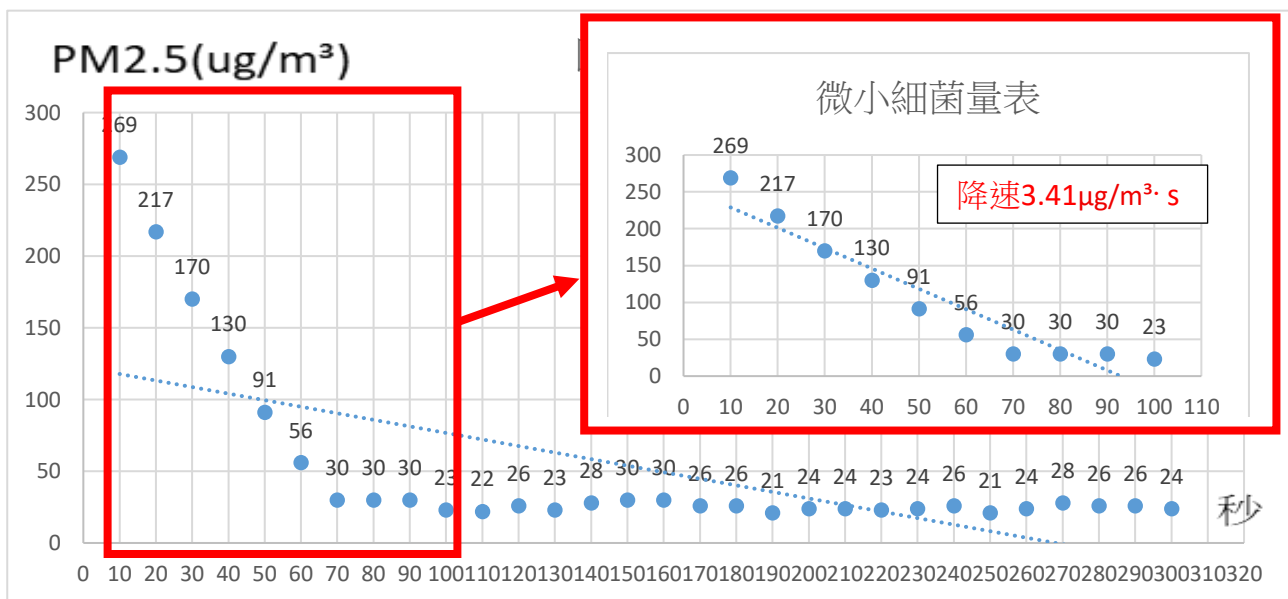


圖 4-19 雙顆特斯拉線圈啟動後對微小細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示 PM2.5(小細菌)濃度隨時間變化的趨勢。初始濃度為 $269 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (此指標相當於環保署空氣品質 AQI 呈現紫色狀態)，隨後快速下降，至第 60 秒降至 $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，之後趨於穩定，約維持在 $24\sim30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。整體呈現指數下降趨勢，顯示空氣淨化效果明顯。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

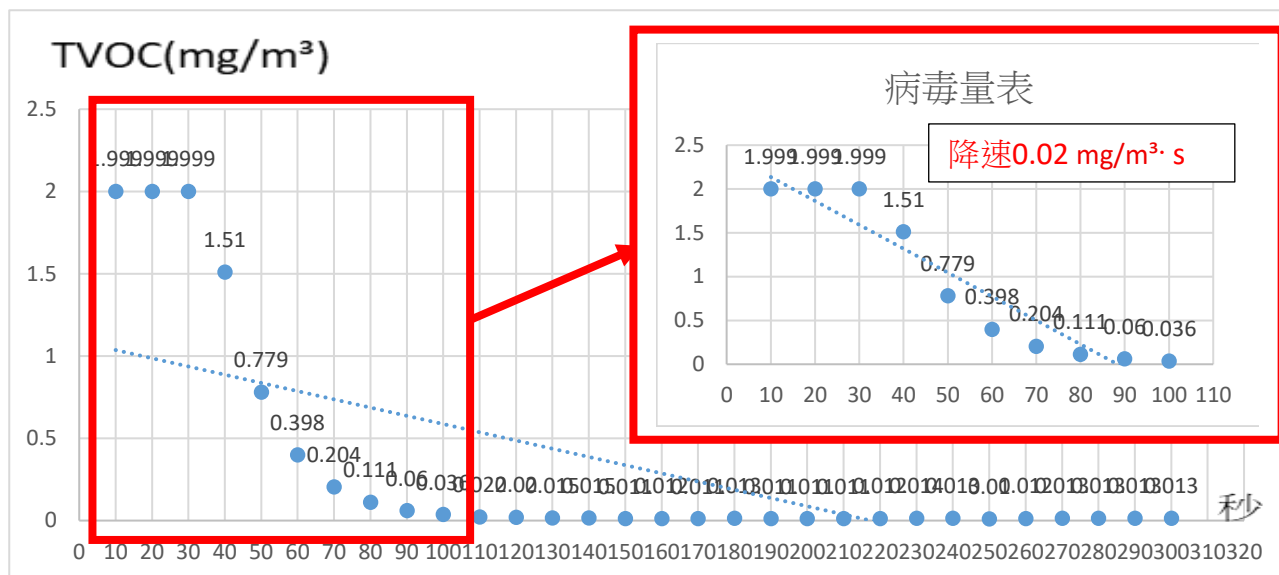


圖 4-20 雙顆特斯拉線圈啟動後對病毒的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖中 TVOC(病毒)初始濃度為 1.999mg/m³，啟動後迅速下降，在約 90 秒後降至 0.05mg/m³ 以下，並逐漸趨於穩定。至 120 秒後維持在 0.01~0.02mg/m³ 之間。圖表顯示濃度呈明顯下降趨勢，代表啟動某設備後空氣中有毒氣體大幅減少，空氣品質顯著改善。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

(三)、模擬環保署空氣品質 AQI 呈現褐紅色指標狀態(對所有人都產生危害)(急診室)

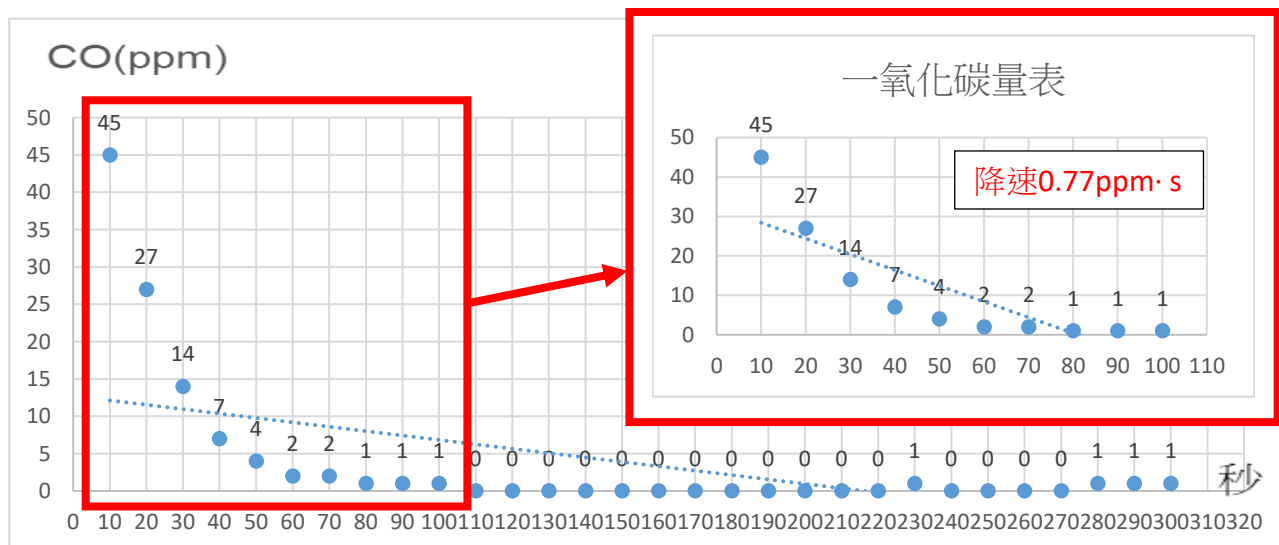


圖 4-21 雙顆特斯拉線圈啟動後對一氧化碳的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示 CO(一氧化碳)濃度隨時間變化的趨勢。初始濃度為 45ppm，隨時間快速下降，30 秒時降至 27ppm，60 秒降至 7ppm，至 100 秒後降至 1ppm 以下，並在之後的時間內趨於穩定。整體變化呈現明顯的指數衰減，顯示 CO(一氧化碳)能在短時間內有效降低。可用於分析環境空氣品質改善的效率與過程變化。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

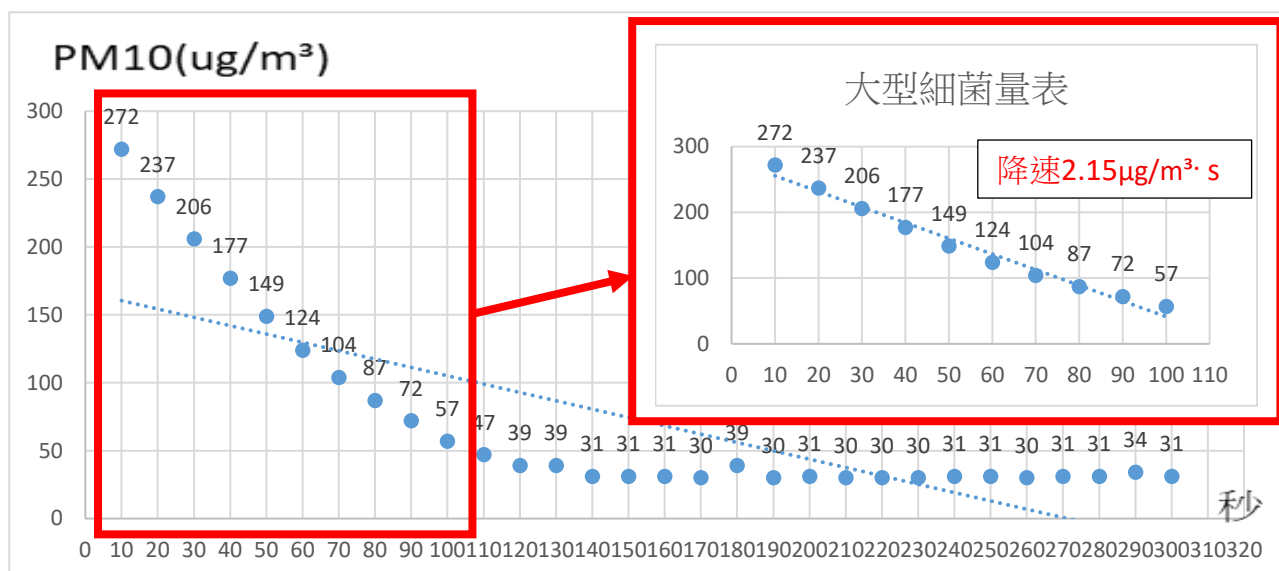


圖 4-22 雙顆特斯拉線圈啟動後對大型細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

從上圖中可知，PM10(大細菌)初始濃度為 $272 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，至第 100 秒已降至約 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，整體下降趨勢明顯。然而與 PM2.5(小細菌)相比，其下降速度較緩慢，並在約 120 秒後趨於平穩，維持在 $30 \sim 39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。這可能是因為 PM10(大細菌)顆粒較大，較不易受到電弧能量的影響，需等其他污染物(如 TVOC、HCHO)先被分解，電場才能有效帶動 PM10(大細菌)顆粒沉降，顯示出淨化過程的先後順序與物理特性有關。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

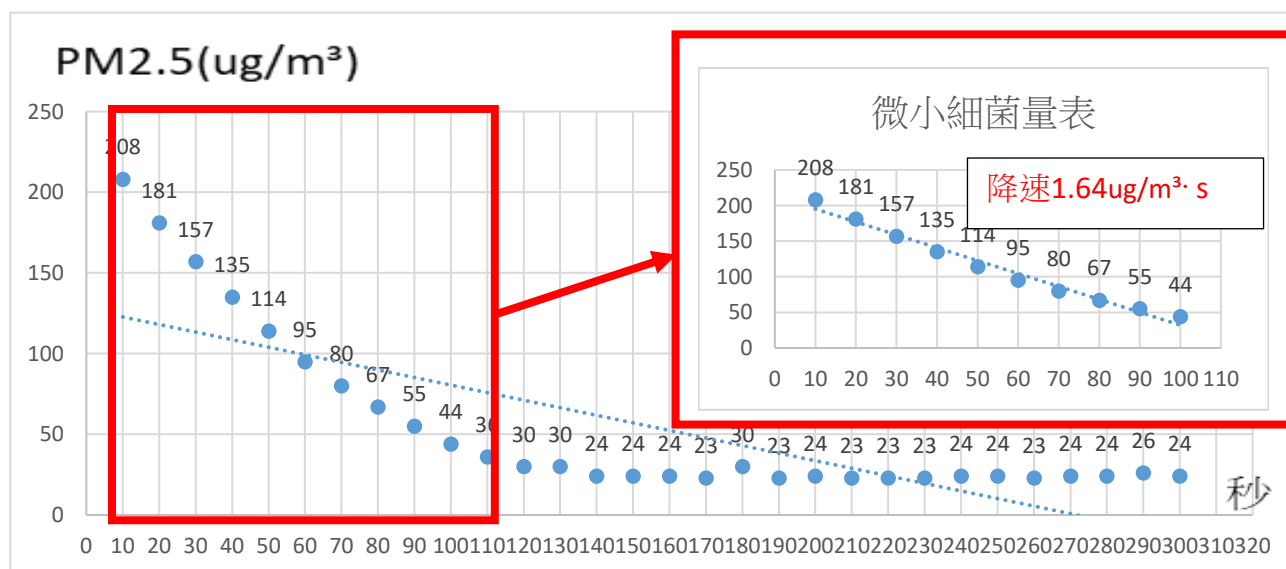


圖 4-23 雙顆特斯拉線圈啟動後對微小細菌的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示 PM2.5(小細菌)濃度隨時間變化的趨勢。在 10 秒時濃度為 $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，隨著時間推移迅速下降，至約 140 秒後降至 $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 並趨於穩定。圖表反映出空氣品質隨時間改善的情形，可能與空氣清淨設備啟動有關。整體而言，濃度變化呈現快速下降後穩定的趨勢，顯示空氣改善效果的明顯。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

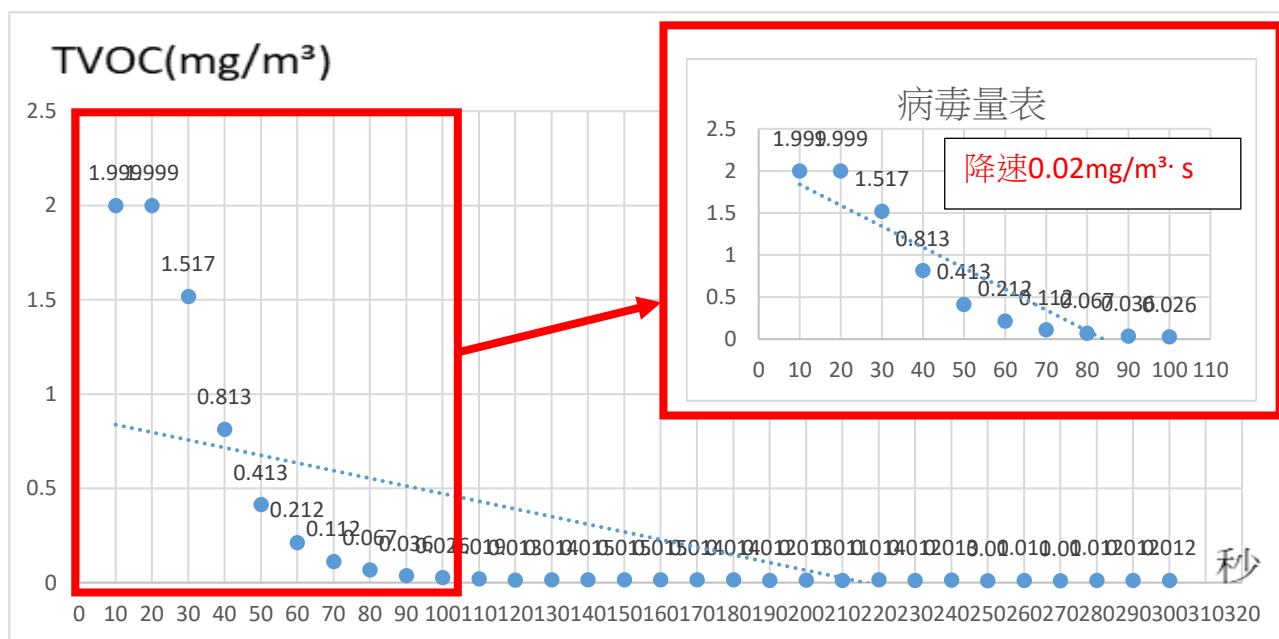


圖 4-24 雙顆特斯拉線圈啟動後對病毒的影響散佈圖 (來源:自行製作)

上圖顯示 TVOC(病毒)濃度隨時間的變化情形。初始濃度為 1.999mg/m^3 ，30 秒降至 1.517mg/m^3 ，60 秒降至 0.212mg/m^3 ，之後持續下降至約 0.012mg/m^3 ，並趨於穩定。整體呈現快速衰減趨勢，顯示 TVOC(病毒)能在短時間內被有效淨化。(符合環保署空氣品質 AQI 呈現綠色指標狀態)

材料	單價	數量	單項總價	總和
特斯拉線圈	1880	2	3760	6269
A4木板	10	3	30	
8字型AC線(公)	75	1	75	
十字型螺絲	20	2	40	
木押	32	2	64	
魔鬼氈	17	2	34	
壓克力板	34	5	170	
風扇	238	2	476	
四路繼電器	180	1	180	
鋰電池	360	2	720	
鋰電充電器	220	1	220	
DC線(母)	25	2	50	
空氣感測器模組	450	1	450	

表 4-2 成本分析表 (來源:自行製作)

根據上方的表 4-3 顯示，我們的特斯拉空氣清淨機總成本僅 6269 元，相較於市面上價格昂貴且僅能過濾污染物的空氣清淨機，我們的技術透過高能電場與負離子主動殺滅細菌與病毒，能有效破壞病原體結構，減少空氣中細菌與病毒的存活率，特別適用於急診室、診所、病房、實驗室等醫療環境，降低交叉感染風險提升空氣安全性，如數據圖所示，其殺菌效果遠優於一般空氣清淨技術。

伍、討論

一、模擬環保署空氣品質 AQI 橘色空氣品質比較

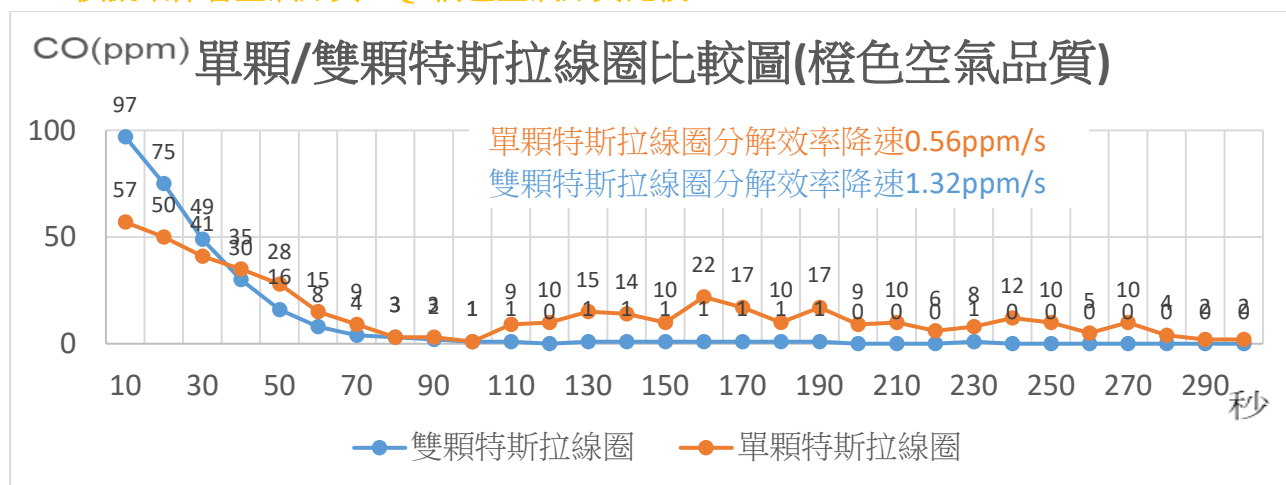


圖 5-1 單顆/雙顆特斯拉線圈對 CO 濃度分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，雙顆特斯拉線圈在約 70 秒內使 CO(一氧化碳)濃度達穩態，較單顆線圈快 90 秒，降速提升約 1.86 倍，展現雙顆線圈在 CO(一氧化碳)淨化效率上明顯優於單顆配置。

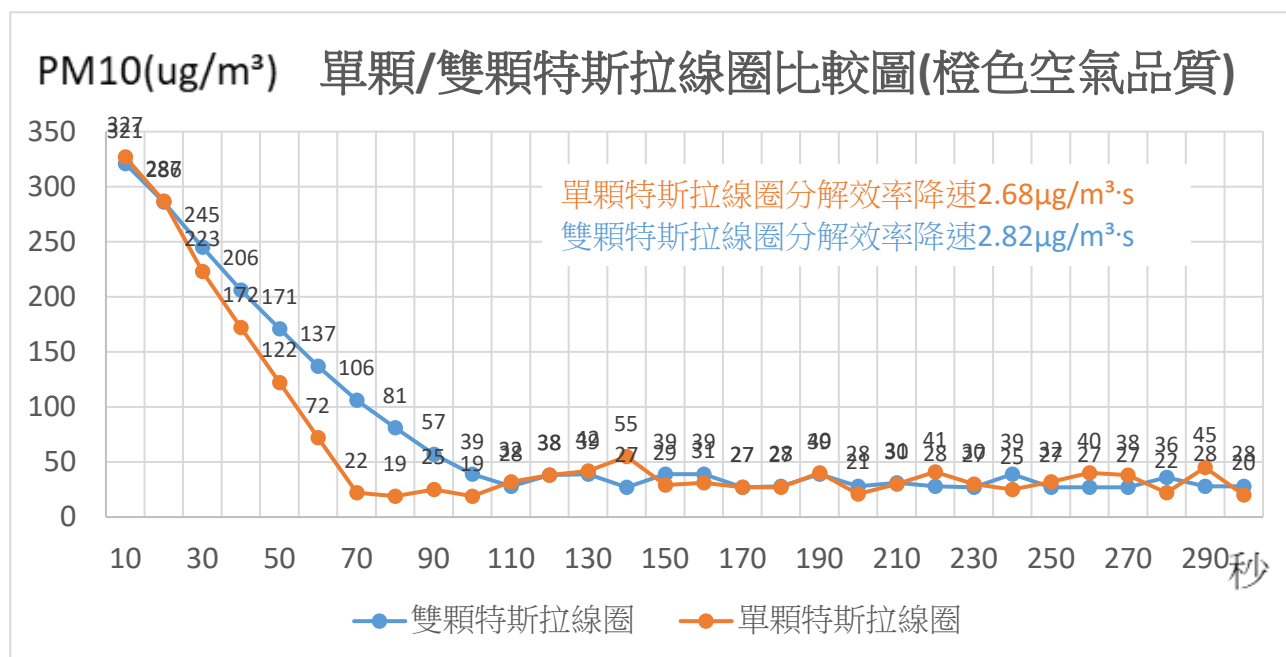


圖 5-2 單顆/雙顆特斯拉線圈對大型細菌分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，雙顆特斯拉線圈在約 110 秒內使 PM10(大細菌)濃度達穩態，較單顆線圈快 40 秒，降速提升約 1.05 倍，顯示雙顆線圈具更高效的大分子細菌清除能力。

PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)單顆/雙顆特斯拉線圈比較圖(橙色空氣品質)

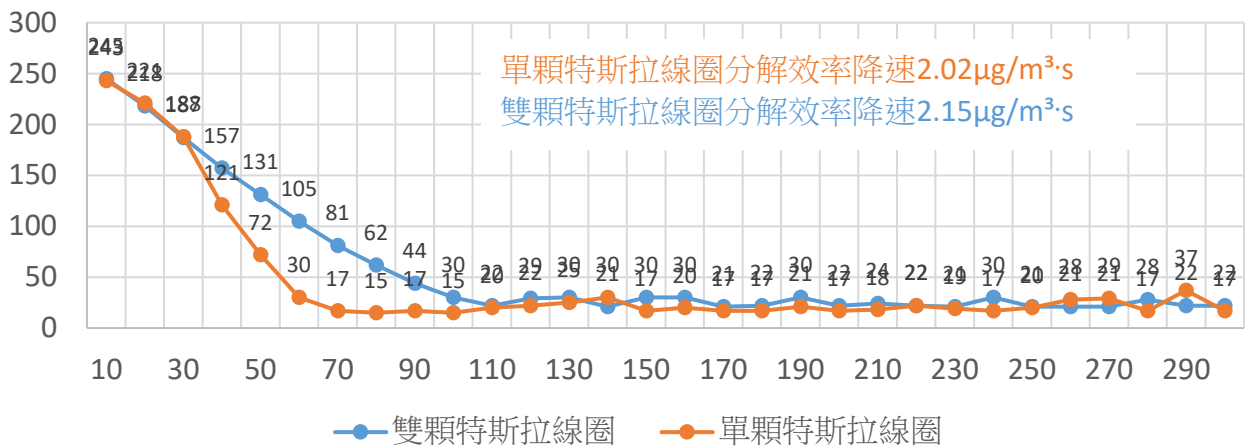


圖 5-3 單顆/雙顆特斯拉線圈對微小細菌分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖中顯示，雙顆特斯拉線圈在約 100 秒內使 PM2.5(小細菌)濃度達穩態，較單顆線圈快約 10 秒，降速為其 1.06 倍，證明增加線圈數可有效提升淨化效率並加快穩態達成時間。

TVOC(mg/m^3) 單顆/雙顆特斯拉線圈比較圖(橙色空氣品質)

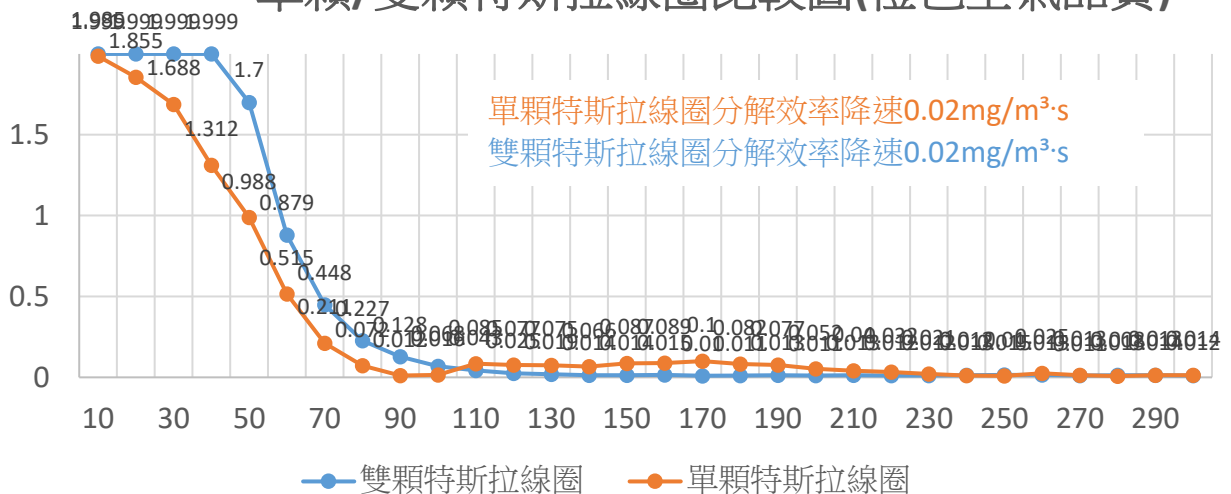


圖 5-4 單顆/雙顆特斯拉線圈對病毒分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖中比較顯示，雙顆特斯拉線圈雖在前 40 秒內 TVOC(病毒)濃度未顯著下降，但約 100 秒即達穩態；相對地，單顆線圈雖早期下降明顯，至 100 秒時仍有起伏，未穩定。此結果顯示雙顆線圈在穩定性與淨化效率上表現更為優越。

二、模擬環保署空氣品質 AQI 紫色空氣品質比較

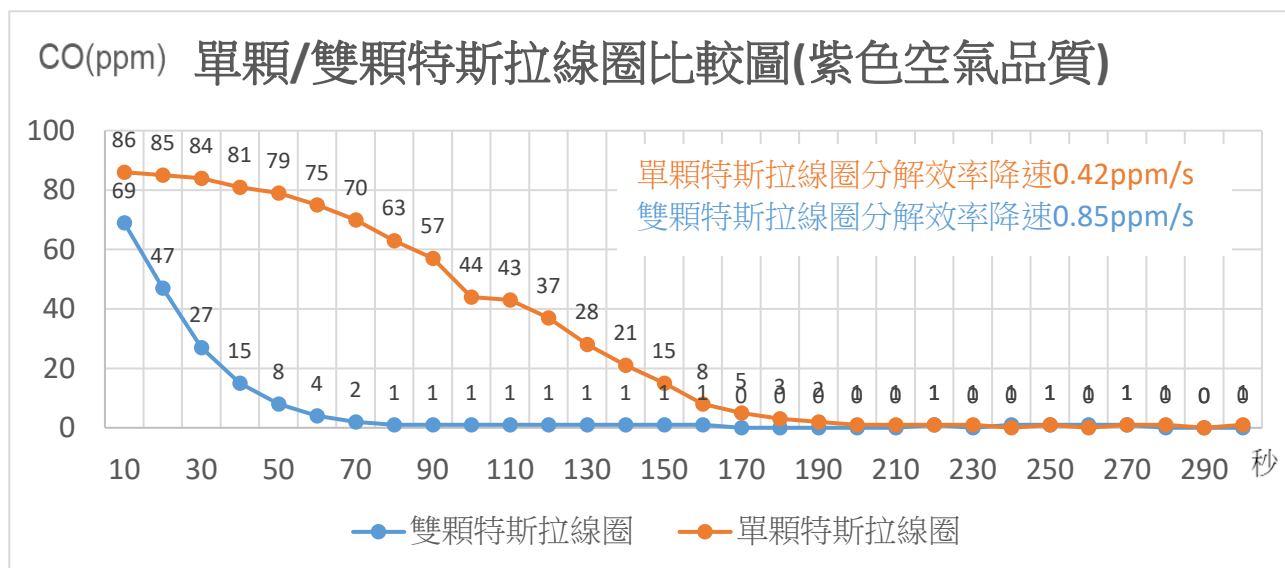


圖 5-5 單顆/雙顆特斯拉線圈對 CO 濃度分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖顯示單顆與雙顆特斯拉線圈在 CO(一氧化碳)濃度變化上的差異。單顆線圈約在 170 秒達穩態，而雙顆僅需 60 秒，縮短了 110 秒，淨化速度提升約 2.02 倍，顯示雙顆線圈在 CO(一氧化碳)去除效率上具明顯優勢。

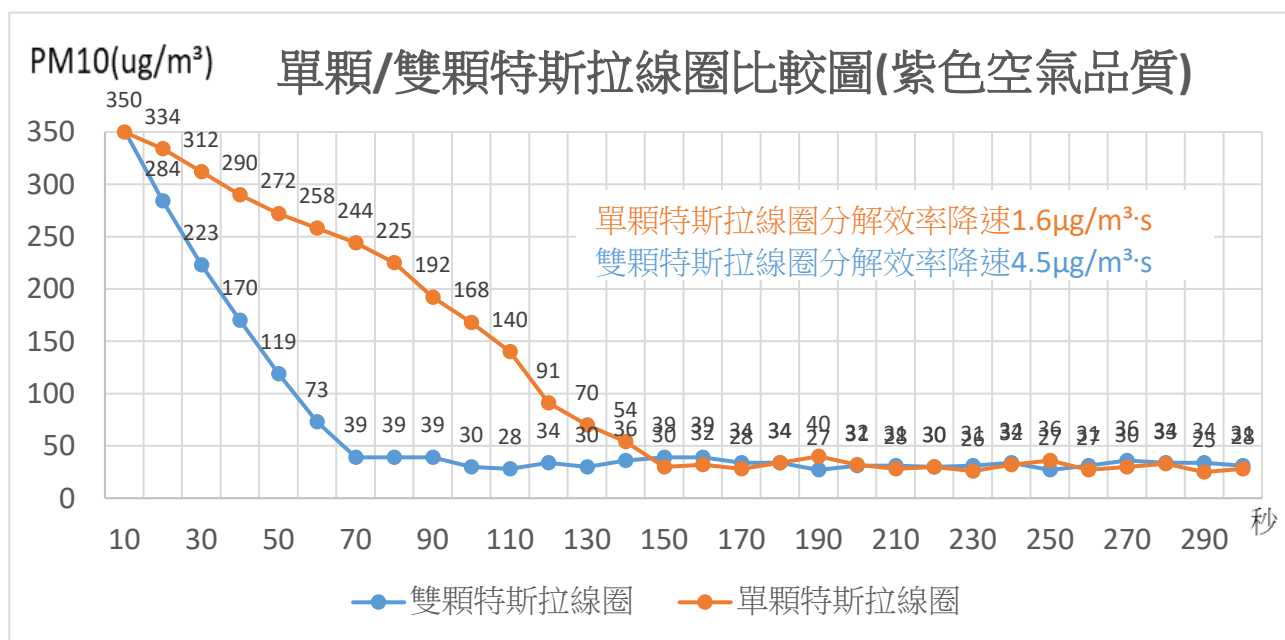


圖 5-6 單顆/雙顆特斯拉線圈對大型細菌分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖顯示單顆與雙顆特斯拉線圈在 PM10(大細菌)濃度變化上的比較。單顆線圈約在 150 秒達穩態，雙顆則僅需約 70 秒，時間差達 80 秒，降速提升至約 2.81 倍，顯示雙顆線圈在 PM10(大細菌)淨化效率上表現更為優異。

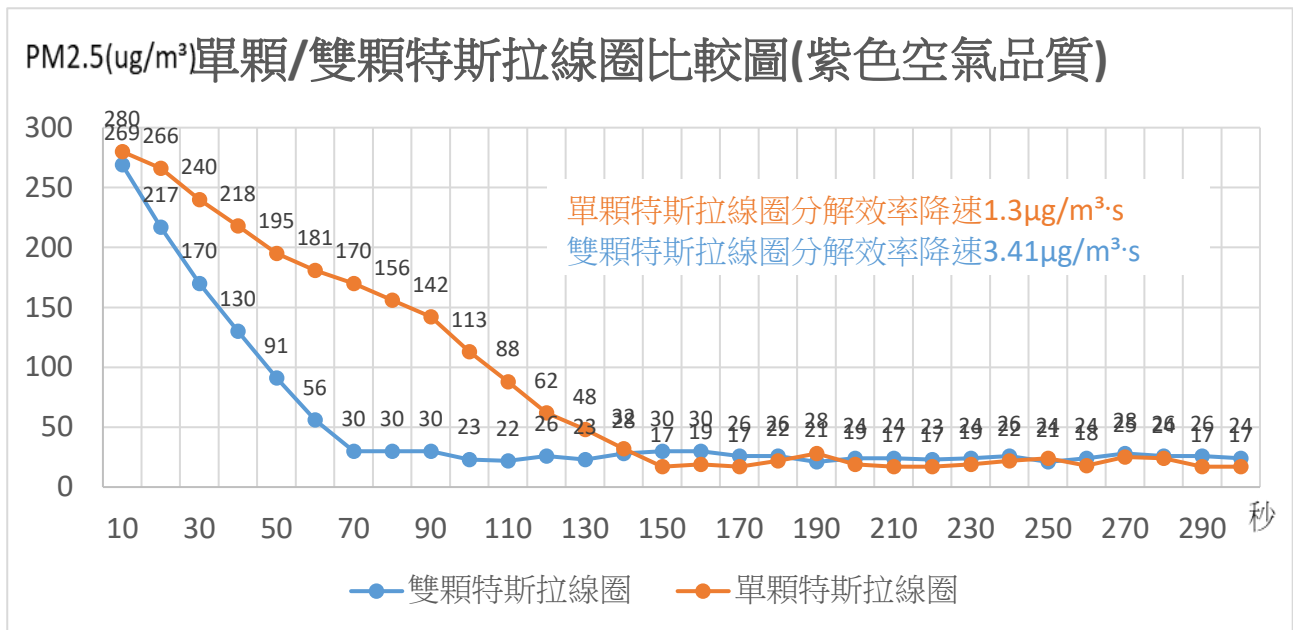


圖 5-7 單顆/雙顆特斯拉線圈對微小細菌分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖顯示單顆與雙顆特斯拉線圈在 PM2.5(小細菌)濃度變化上的比較。單顆線圈約在 150 秒時才達穩態，而雙顆僅約 70 秒便穩定，時間差約 80 秒。整體降速提升至約 2.62 倍，證明雙顆特斯拉線圈能更快速有效地降低 PM2.5(小細菌)濃度，具備更佳的淨化效率。

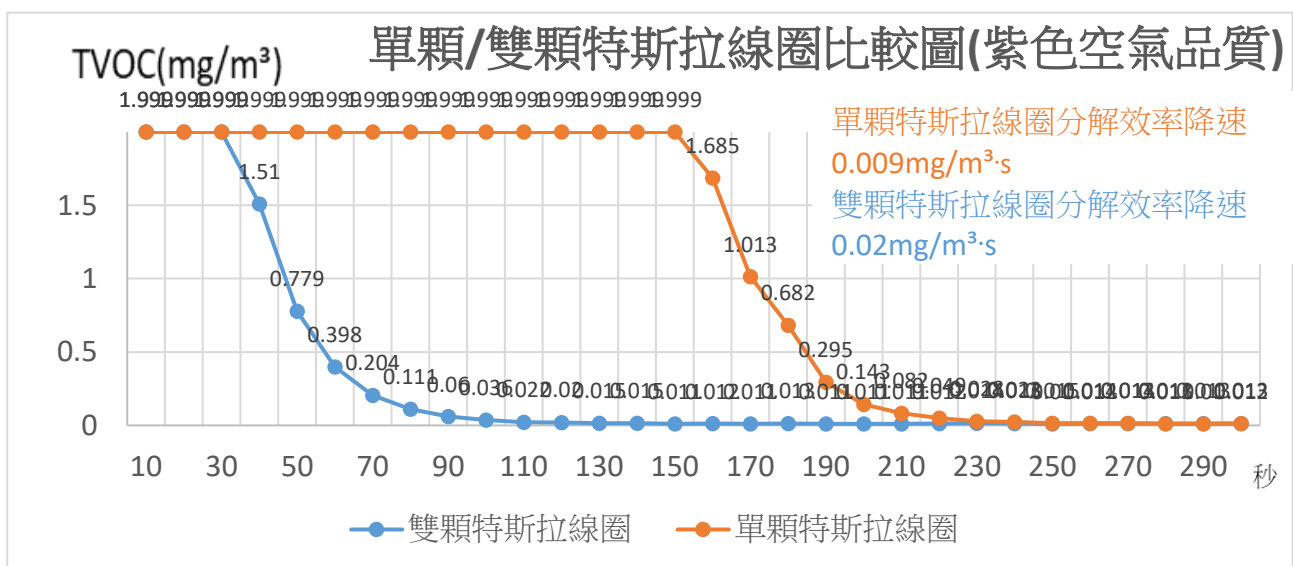


圖 5-8 單顆/雙顆特斯拉線圈對病毒分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖為單顆與雙顆特斯拉線圈分解 TVOC(病毒)濃度變化的比較。可以觀察到雙顆約在 90 秒時濃度就達到穩態，而單顆特斯拉線圈則需至 210 秒才能達到穩態，兩者相差約 120 秒。顯示出在空氣品質要求高環境雙顆的降速比單顆有著更優秀的效果。

三、模擬環保署空氣品質 AQI 褐紅色空氣品質對比

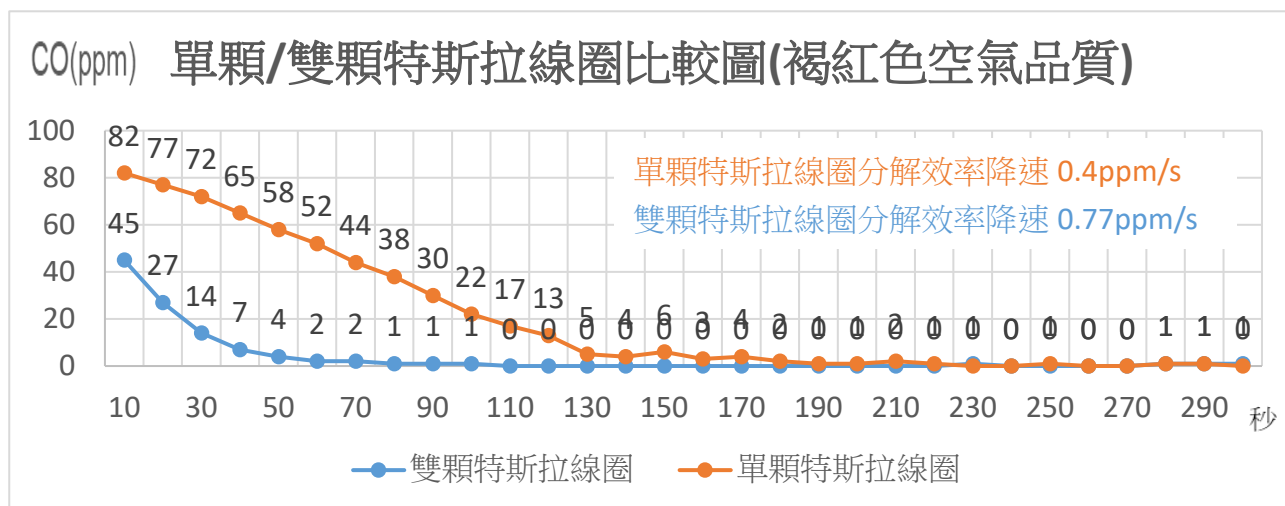


圖 5-9 單顆/雙顆特斯拉線圈對一氧化碳分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖中，雙顆特斯拉線圈在分解 CO(一氧化碳)約 60 秒達穩態，較單顆快 80 秒，降速為其 1.93 倍，展現出在 CO(一氧化碳)去除上明顯優勢，能更快速改善空氣品質。

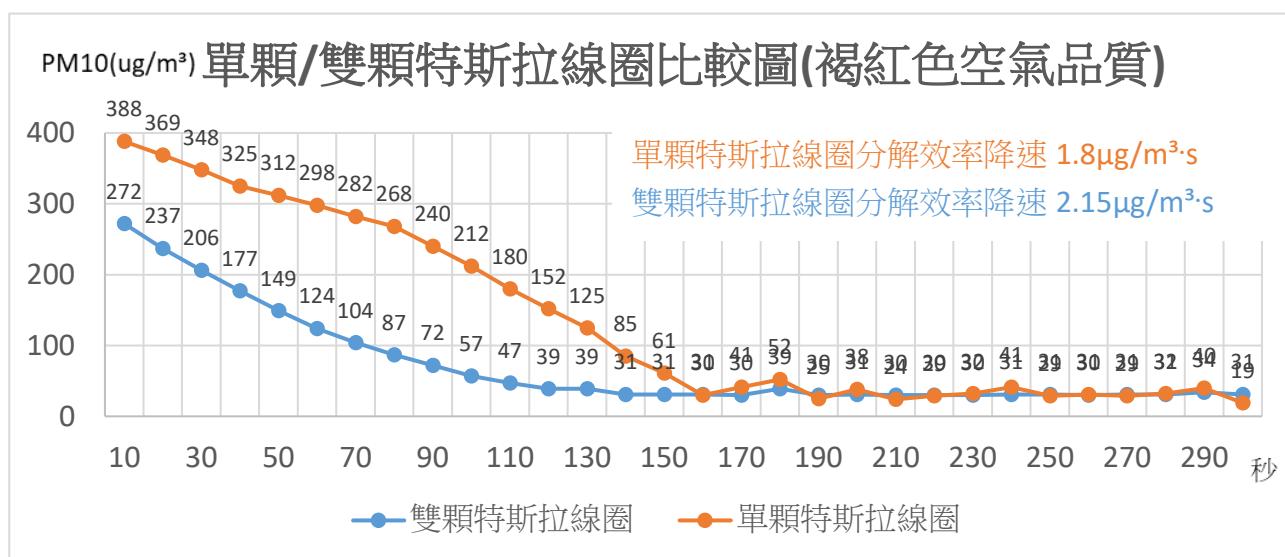


圖 5-10 單顆/雙顆特斯拉線圈對大型細菌分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖比較單顆與雙顆特斯拉線圈對 PM10(大細菌)濃度的影響。雙顆線圈約在 120 秒達穩態，單顆則需近 180 秒，時間差約 60 秒。雙顆的降速為單顆的約 1.19 倍，顯示其具更高效率，有助於加速 PM10(大細菌)濃度下降，提升整體淨化效能。

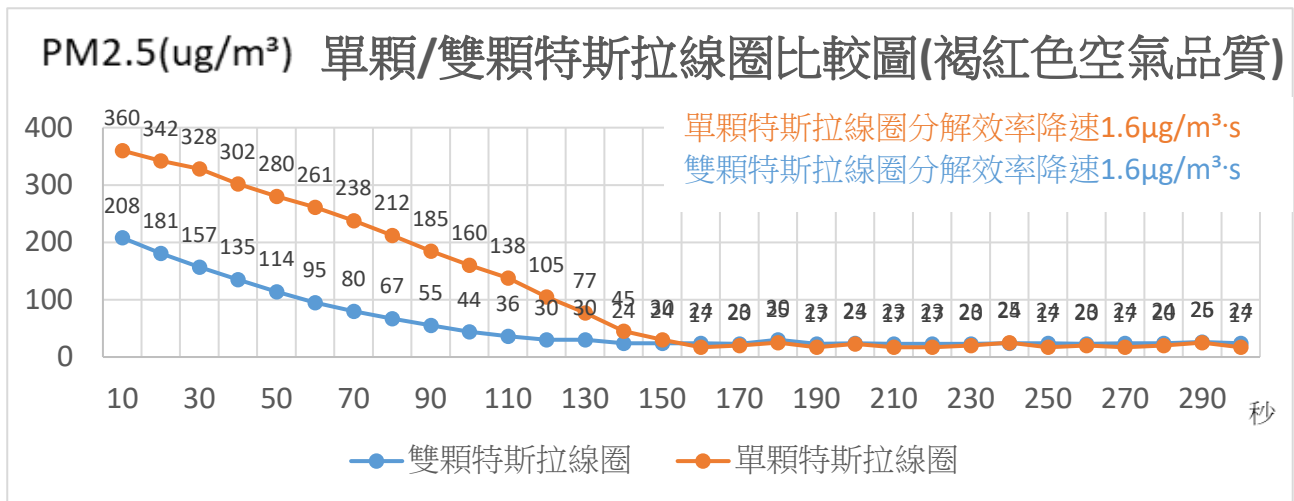


圖 5-11 單顆/雙顆特斯拉線圈對微小細菌分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖中，雙顆特斯拉線圈分解到約 110 秒達穩態，較單顆快 50 秒，儘管兩者分解效率皆為 $1.6\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{s}$ ，雙顆在線圈運作初期展現更高時效性，提升整體淨化效率。

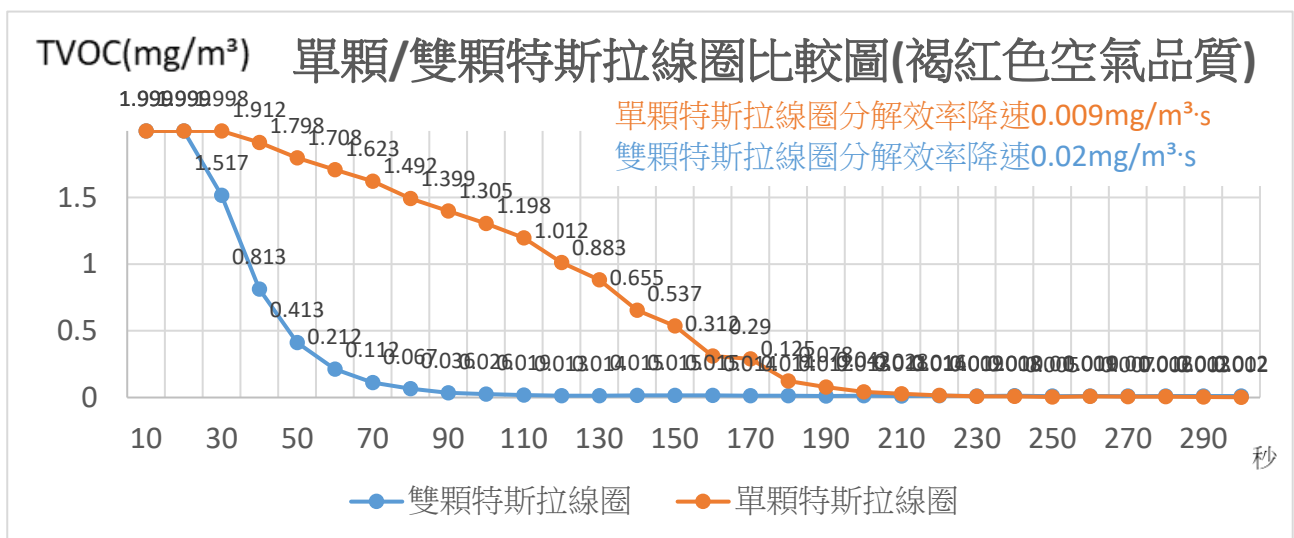


圖 5-12 單顆/雙顆特斯拉線圈對病毒分解效率比較圖 (來源:自行製作)

上圖比較單顆與雙顆特斯拉線圈對 TVOC(病毒)濃度的影響。雙顆線圈約在 70 秒達穩態，單顆則需約 200 秒，時間差近 130 秒。雙顆降速為單顆的 2.22 倍，展現出在醫院和診所等這類空氣品質要求極高的環境也能有快速且高效的 TVOC(病毒)去除能力。

陸、結論

單顆特斯拉線圈的清淨機總成本是 3199 元，而雙顆的總成本是 6269 元，相較於市面上價格昂貴且僅能過濾污染物的空氣清淨機，我們不管是單顆或雙顆特斯拉線圈，都能更高效率的滅菌，透過高能電場與負離子主動殺滅細菌與病毒，能有效破壞病原體結構，降低空氣中細菌與病毒的存活機率，特別適用於急診、診所、病房、實驗室等醫療環境，以減少交叉感染風險並提升空氣安全性。這項研究探討了特斯拉線圈在空氣淨化方面的可行性，並從取代現有空氣清淨機的角度出發，透過模擬與實驗分析其對空氣品質的影響。結果顯示，特斯拉線圈能夠產生等離子體，使懸浮微粒帶電，進而促進凝聚與沉降。此外，研究也發現臭氧的產生可能影響空氣品質，因此需透過參數調整來控制臭氧濃度，以確保裝置的安全性。整體而言，特斯拉線圈在空氣淨化方面展現出極大潛力，未來可結合其他技術，以提升淨化效果，並確保長時間使用的安全性與穩定性。(本研究目前主要測試離子風暴的實驗影響範圍 41cm*44cm*61cm，之後會在擴大測試影響範圍並展示再海報中)

補充:因 CO₂(二氧化碳)不在環保署的標準列表且 HCHO(甲醛)已在 TVOC(病毒)中，所以將數據移至附錄中，不列入參考。

柒、參考文獻資料

1. Bardos, L., & Barankova, H. (2008). Plasma processes at atmospheric and low pressures. *Vacuum*, 83(3), 522 – 527. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2008.04.063>
2. Chattopadhyay, S. R., & Saha, T. K. (2021). Effectiveness of high-voltage Tesla coil in surface disinfection. *Journal of Applied Physics*, 50(2), 850 – 853.
3. Chowdhury, S. P., Sarker, P. A., & El-Sayed, A. M. (2018). Electromagnetic treatment of water and wastewater using Tesla coil technology. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(6), 2257 – 2263.
4. Kumar, A., & Pandey, M. (2020). Applications of Tesla coils in medical sterilization. *Journal of Medical Devices*, 34(4), 123 – 129.
5. Leung, B. J., Li, H., Zheng, X. H., Zhang, L. W., & Choi, W. K. (2014). *Study on the electromagnetic field of Tesla coil and its sterilization effects*. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility.
6. 環境科學學報. (2010). 環境科學學報 [Journal of Environmental Science]. <http://hjxb.hwi.com.cn/hjxb/cn/article/id/20100722>

附錄(現場呈現)

【評語】 052301

1. 本研究中，TVOC 與其他污染物皆呈下降趨勢，顯示特斯拉線圈具有空氣淨化潛力。
2. 在本研究中，TVOC 被用來作為「病毒量」的代表。然而，TVOC 主要包括如甲醛、苯、酒精、酮類等氣體污染物，並非直接代表空氣中病毒的濃度或活性。建議補充說明 TVOC 為何能代表病毒，或進一步佐以病毒檢測方法進行交叉驗證；另外，PM2.5、PM10 則被表述為“微小細菌”、“大分子細菌”，建議可在研究方法或討論中加強說明此對應關係的依據，以提高科學論證的嚴謹度。
3. 特斯拉線圈進行高壓電場放電產生等離子與臭氧。但由於高壓電與臭氧的潛在風險，建議評估啟動時間、臭氧濃度與人體暴露量的相關性。

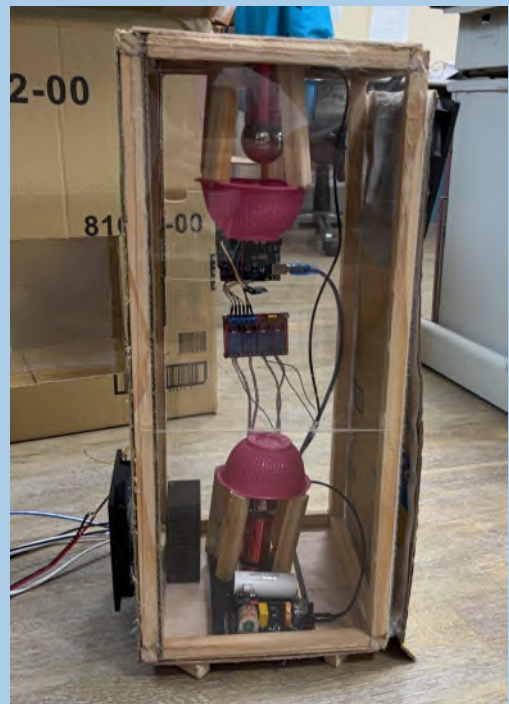
作品海報

離子風暴機

前言

近年來空氣汙染與空氣中的病毒擴散越來越嚴重，目前大眾均用空氣清淨機淨化空氣，但空氣清淨機仍存在許多問題，例如在需要頻繁更換濾網。

研究動機與目的

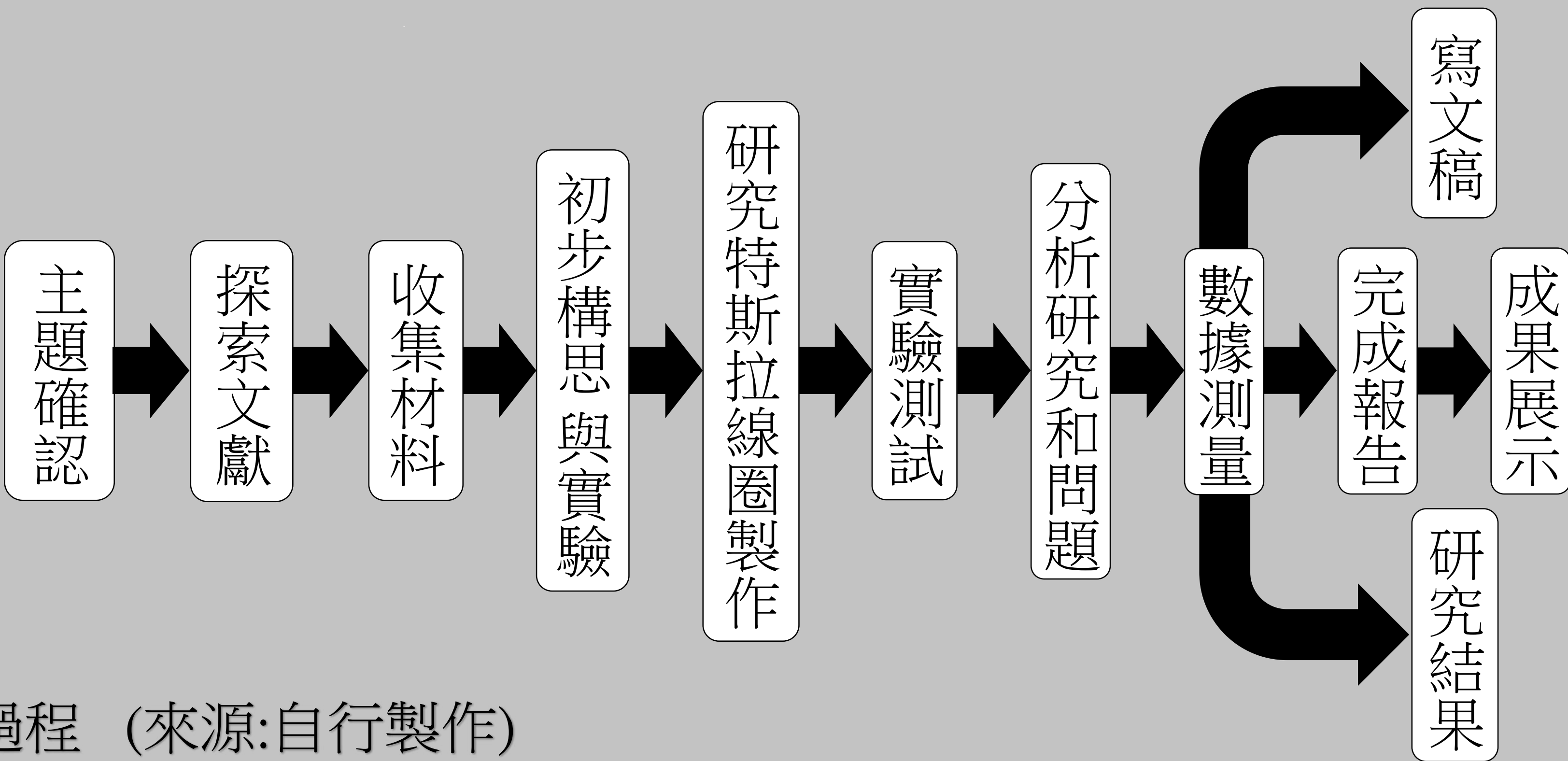


圖一：裝置本體
(來源:自行拍攝)

本研究旨在提升空氣淨化效率並降低濾網耗材所造成的環境負擔，透過應用特斯拉線圈所產生之高頻高壓電場與電弧放電機制，促使空氣中病原體分子結構遭受破壞，進而達到有效抑菌與滅菌之效果。此主動式電場殺菌技術可望取代傳統被動式濾網過濾機制，減少耗材依賴並延長設備使用壽命，同時兼顧空氣品質改善與環保永續的需求。

(研究裝置如圖一)

研究過程與方法



圖二：研究過程 (來源:自行製作)

實驗裝置

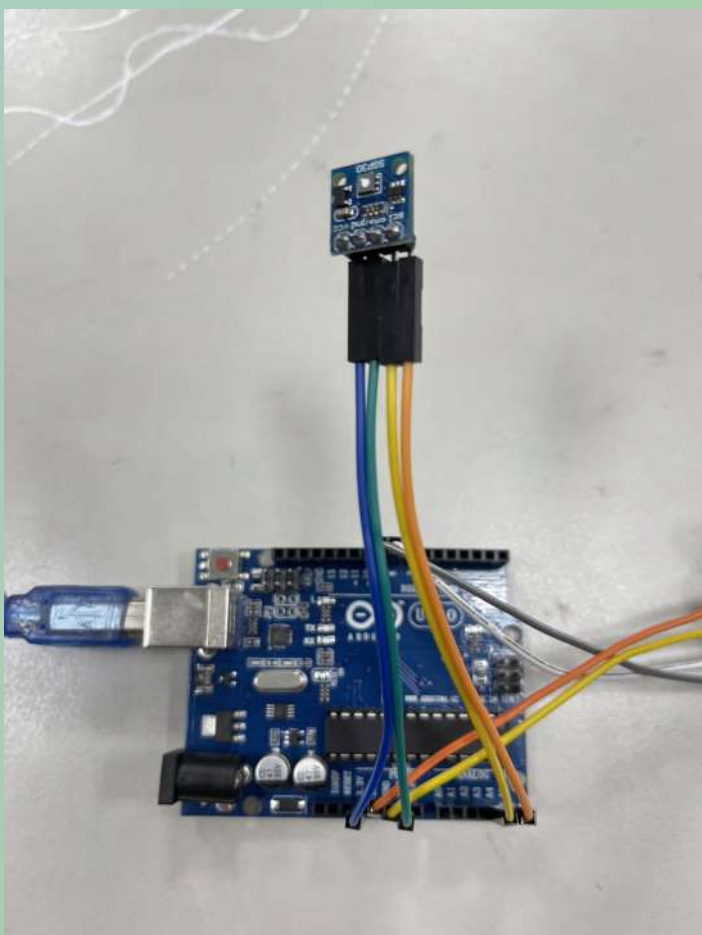


圖三：裝置外殼
(來源:自行拍攝)

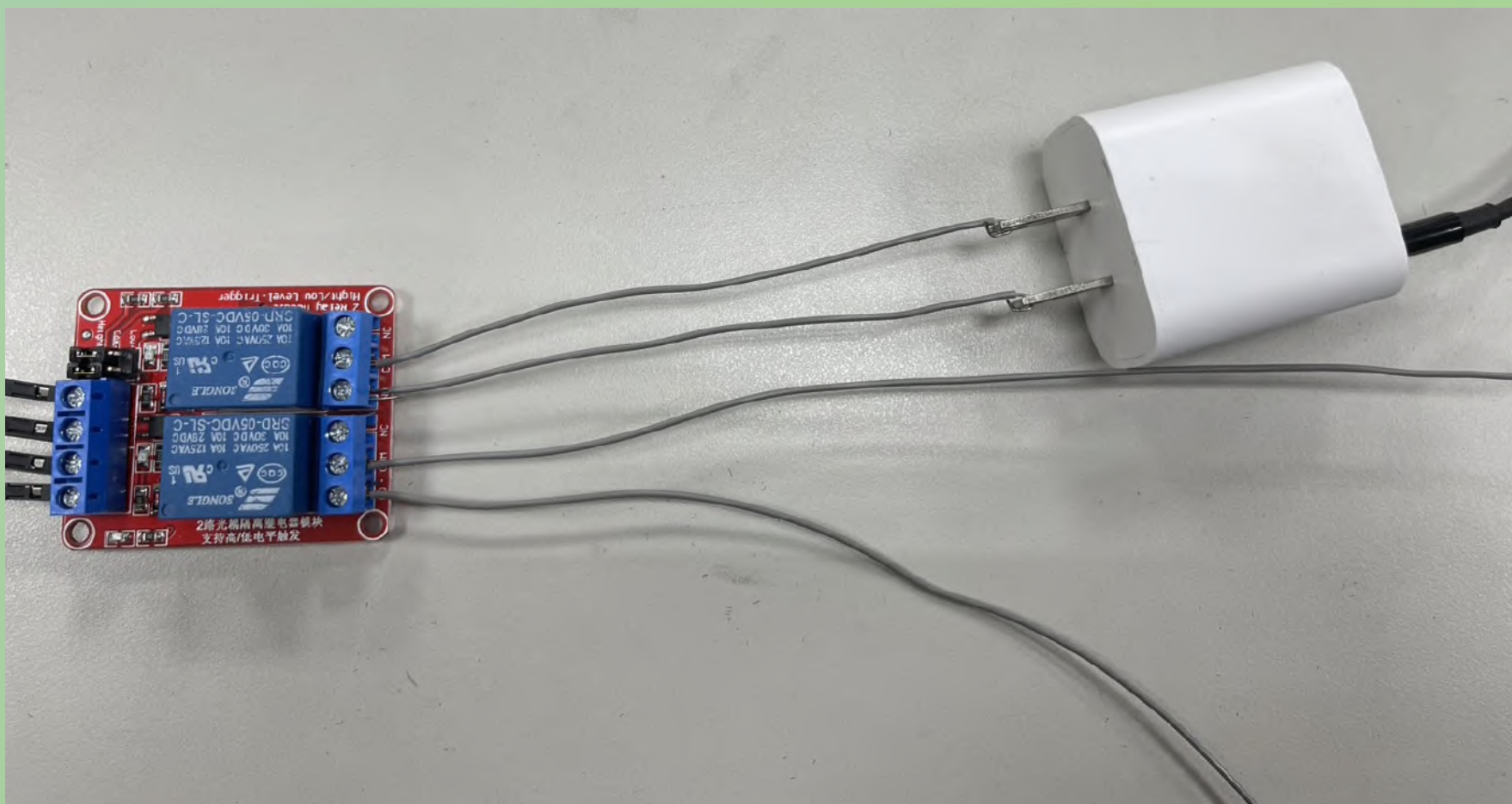


圖四：集電罩
(來源:自行拍攝)

鑑於本系統屬小型化特斯拉裝置，為模擬實際應用中的封閉空間環境，實驗設計中將模擬容積依比例縮小至原始場域之五十分之一。為提升放電穩定性與淨化效果，創新設計不規則形態之電弧集電罩，該結構可有效引導並穩定高壓電弧之傳輸路徑，提升能量覆蓋範圍與等離子體作用效率，進而強化對空氣中污染物與病原體的分解能力。



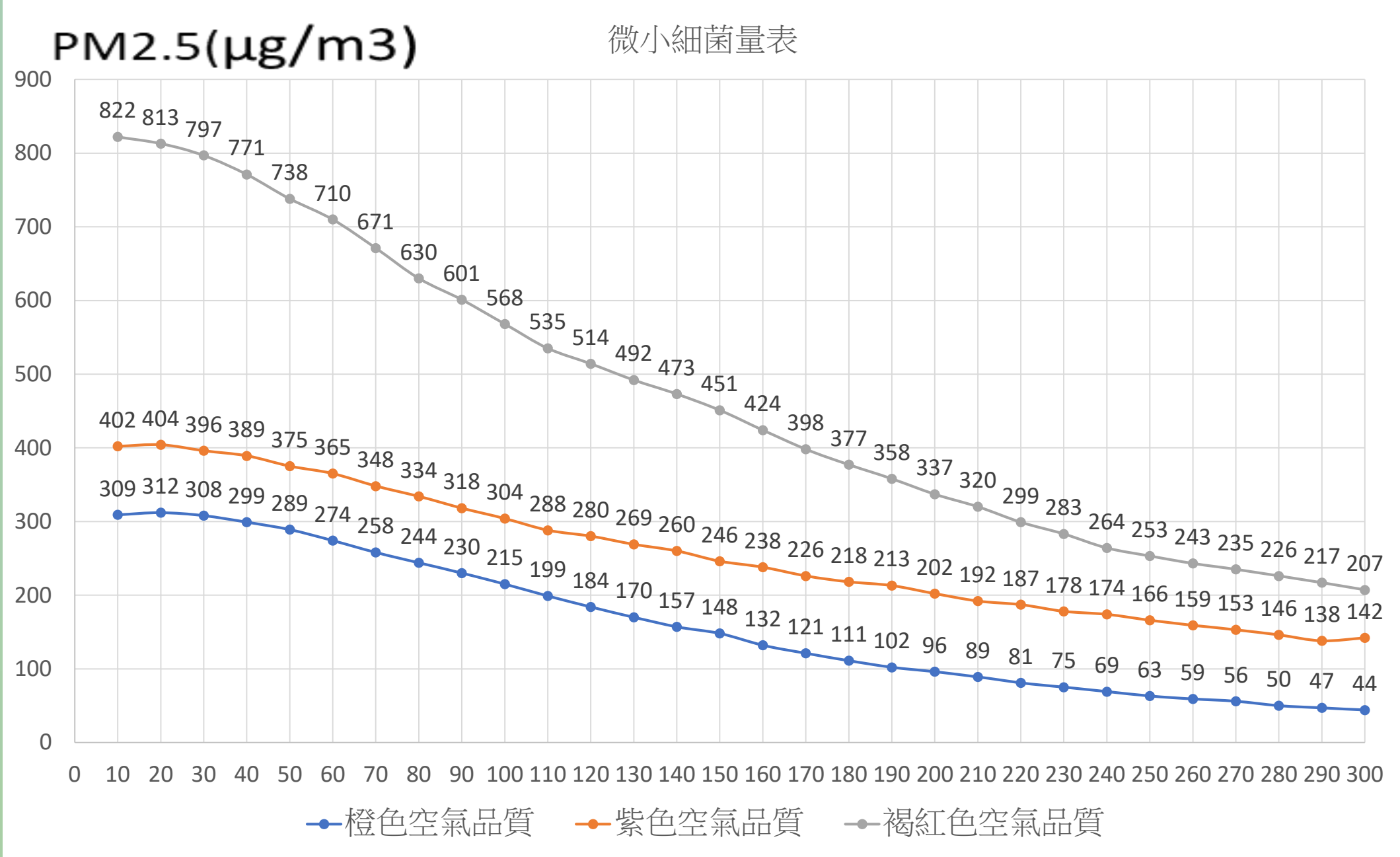
圖五：arduino及感測器
(來源:自行拍攝)



圖六：繼電器及變壓器
(來源:自行拍攝)

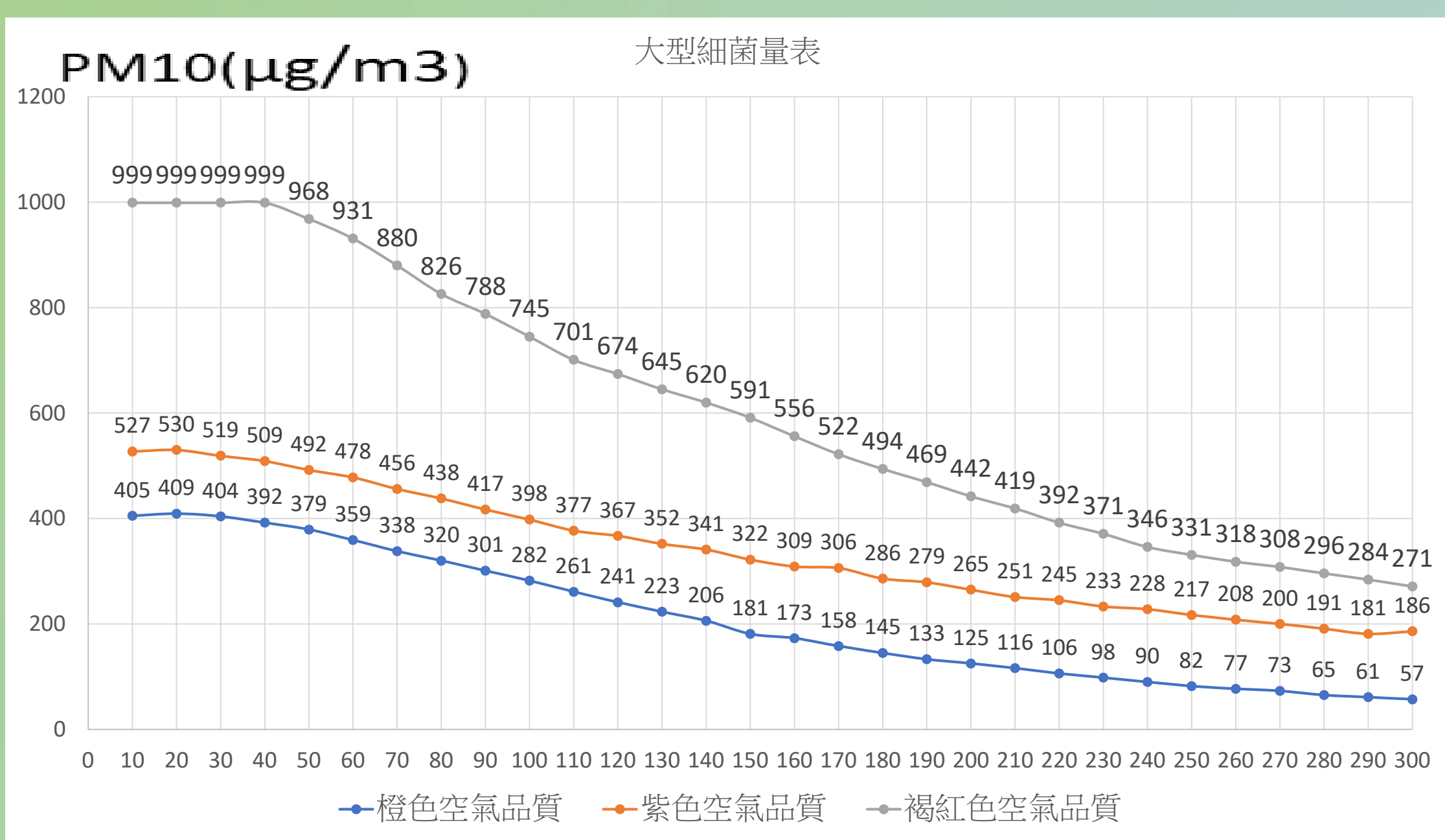


圖七：特斯拉線圈
(來源:自行拍攝)



圖八：PM2.5不同濃度淨化效果對比
(來源:自行製作)

上圖中顯示三組PM2.5隨時間下降的趨勢，表示淨化裝置或條件對空氣中微粒的去除效果。



圖九：PM10不同濃度淨化效果對比
(來源:自行製作)

上圖中三條線顯示不同情況下PM10濃度隨時間明顯下降，代表淨化設備對大型懸浮微粒具有效果。

研究數據分析

環境空氣品質橙色

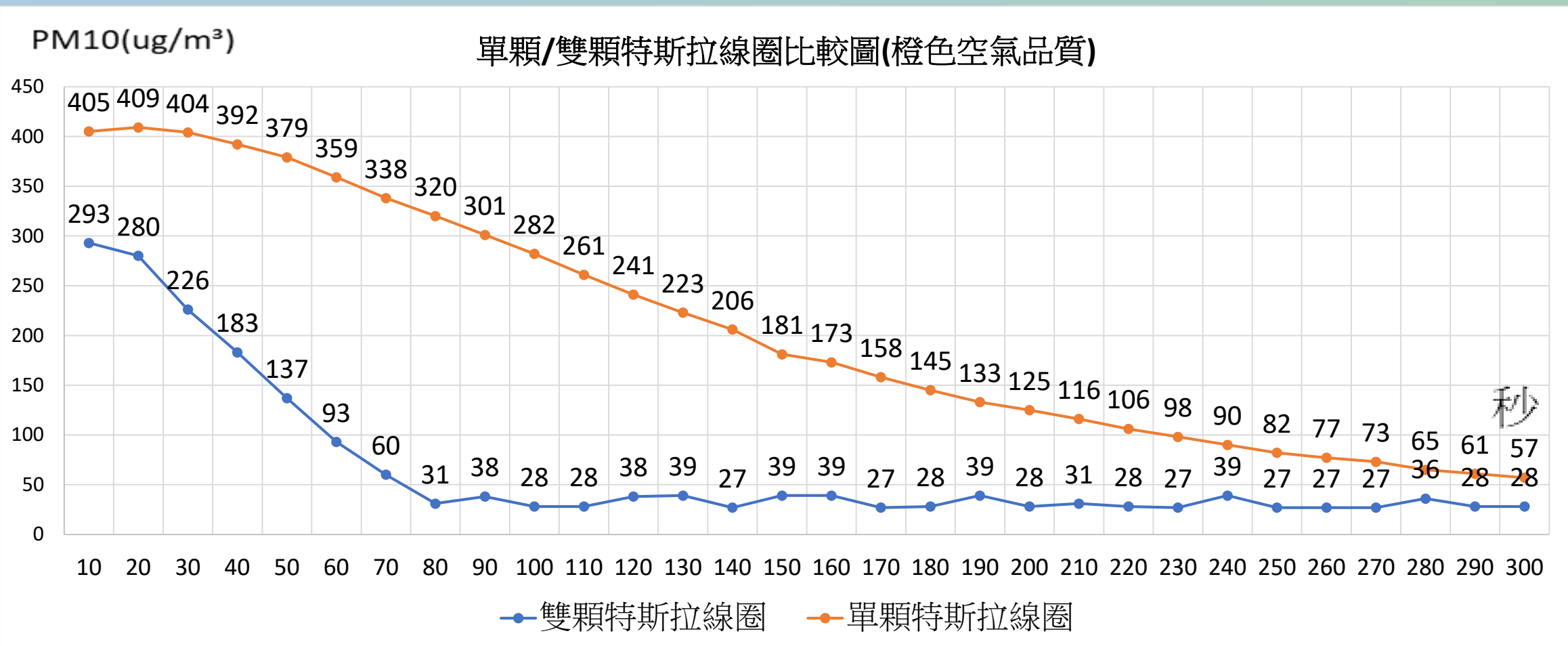


圖10:PM10的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

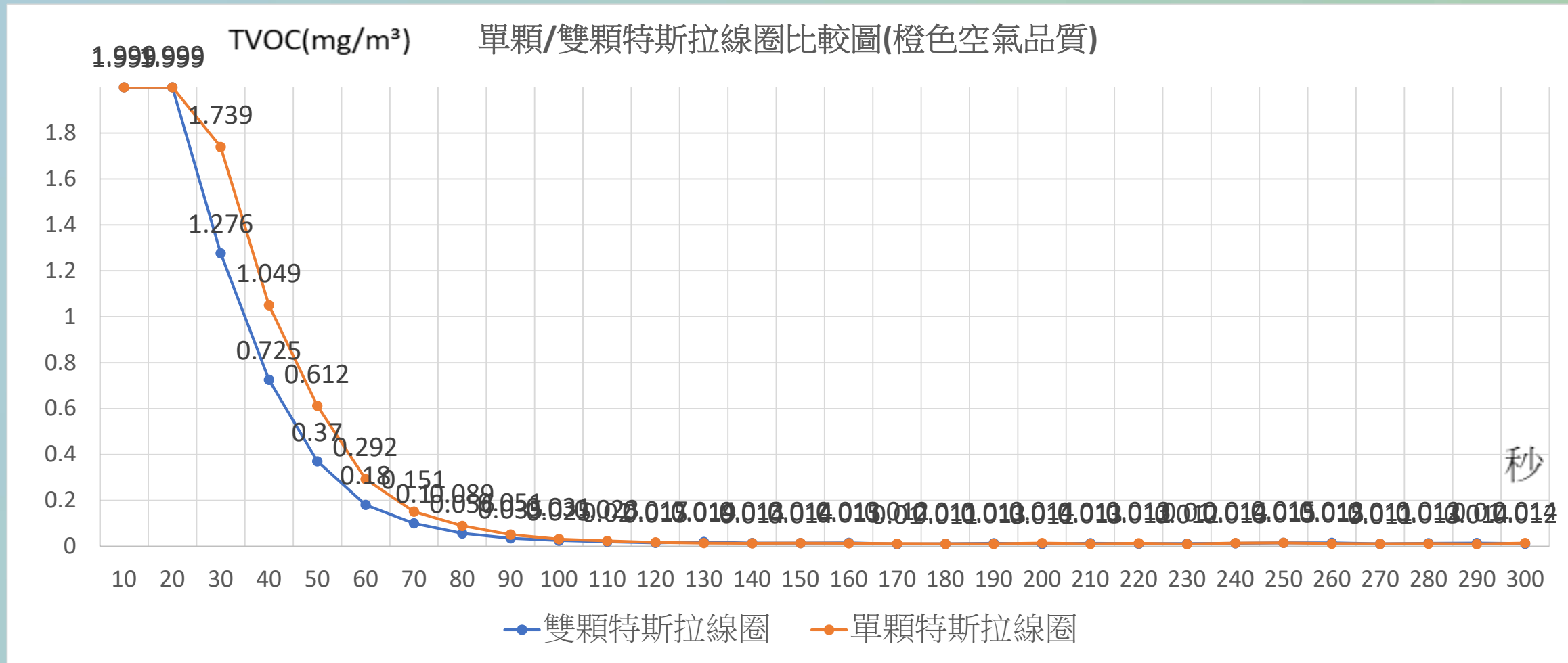


圖12:TVOC的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

環境空氣品質紫色

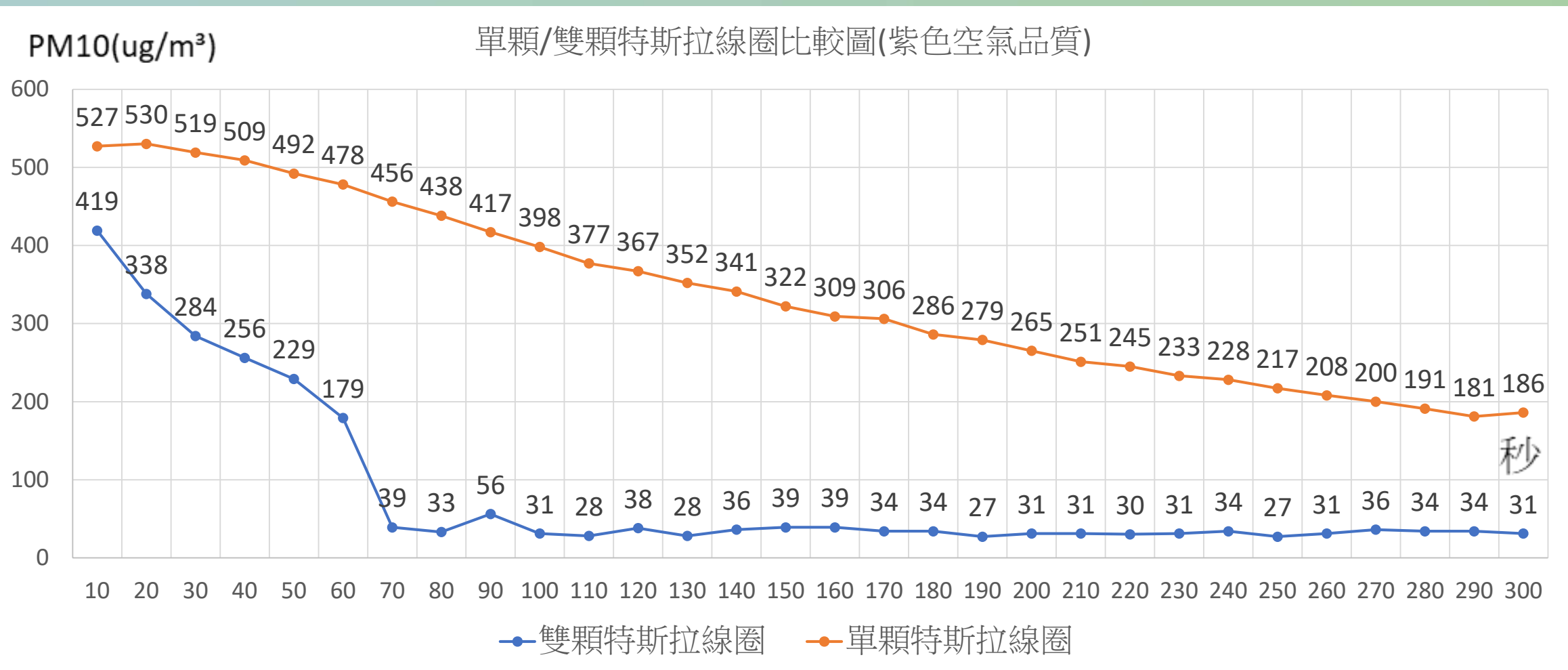


圖13:PM10的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

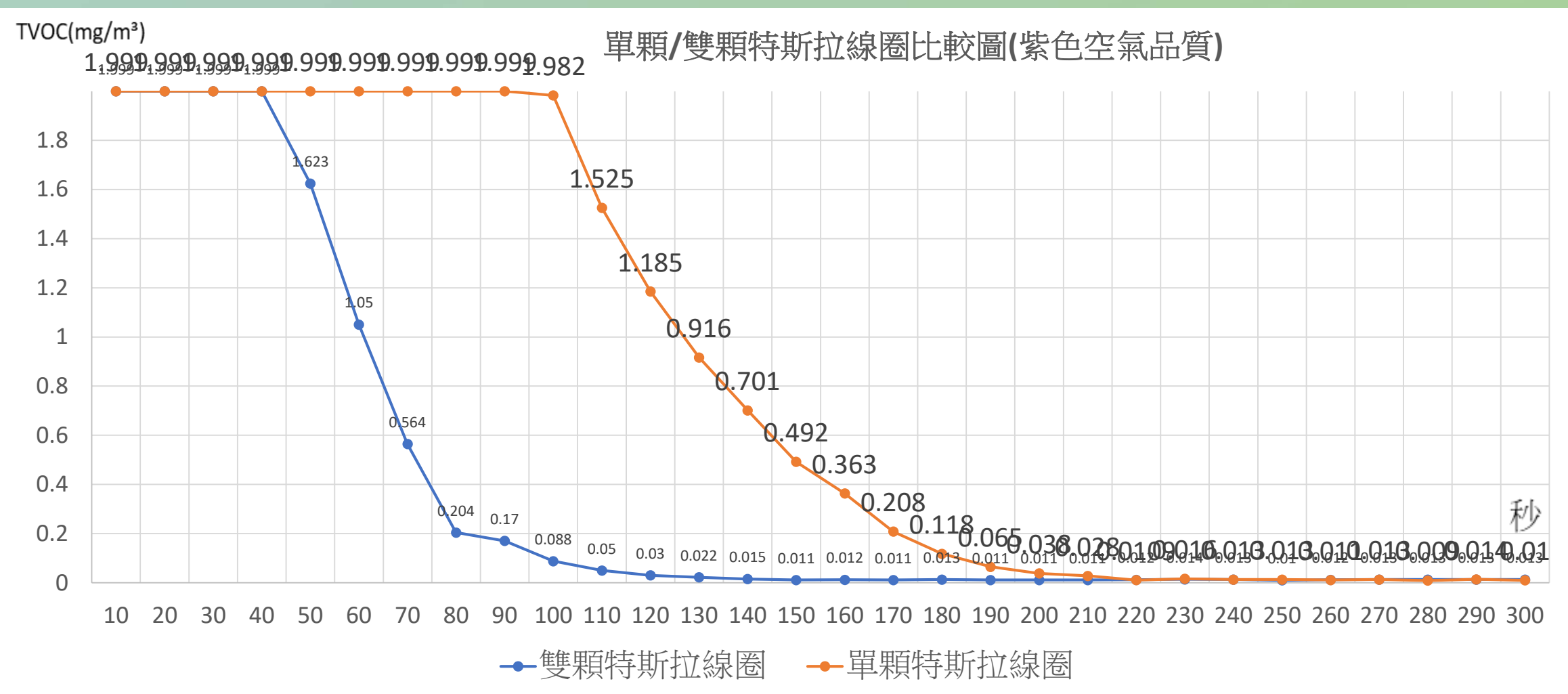


圖15:TVOC的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

環境空氣品質褐紅色

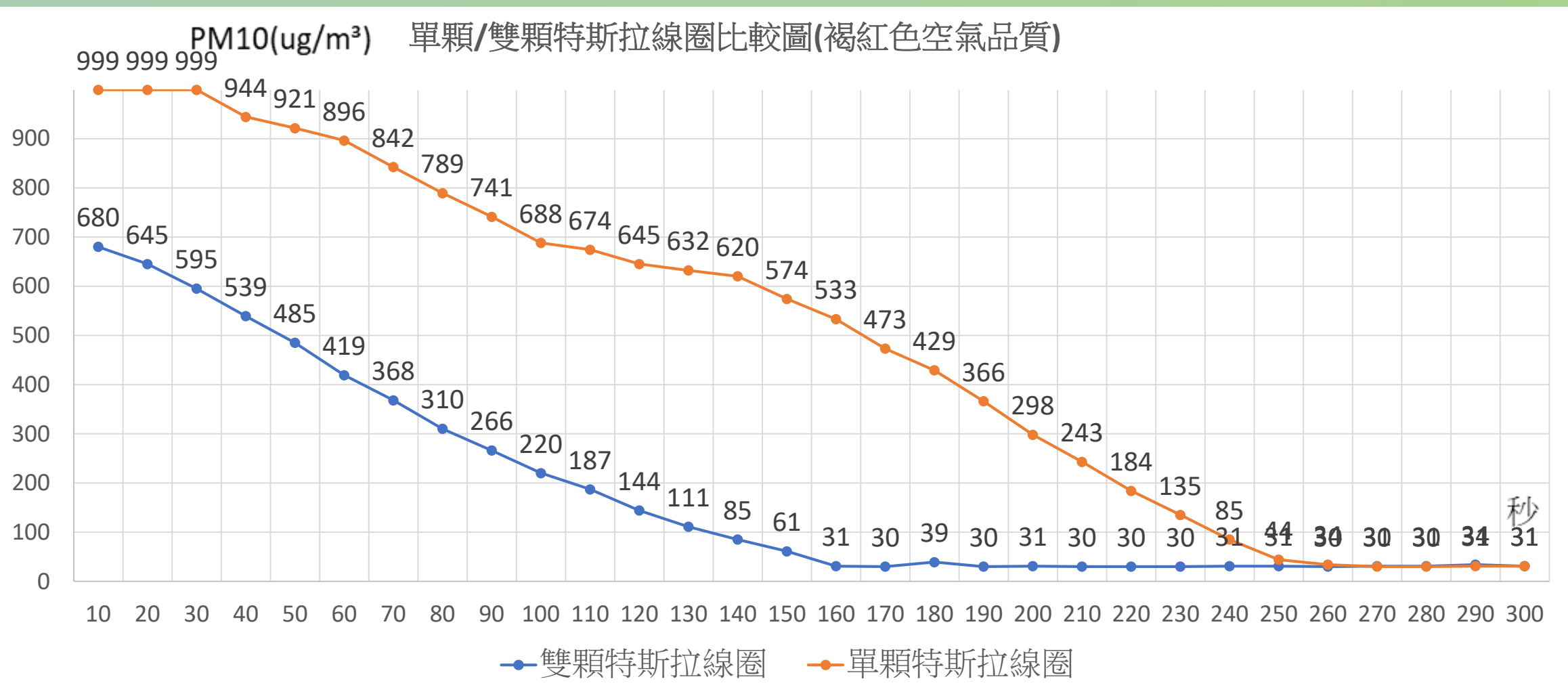


圖16:PM10的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

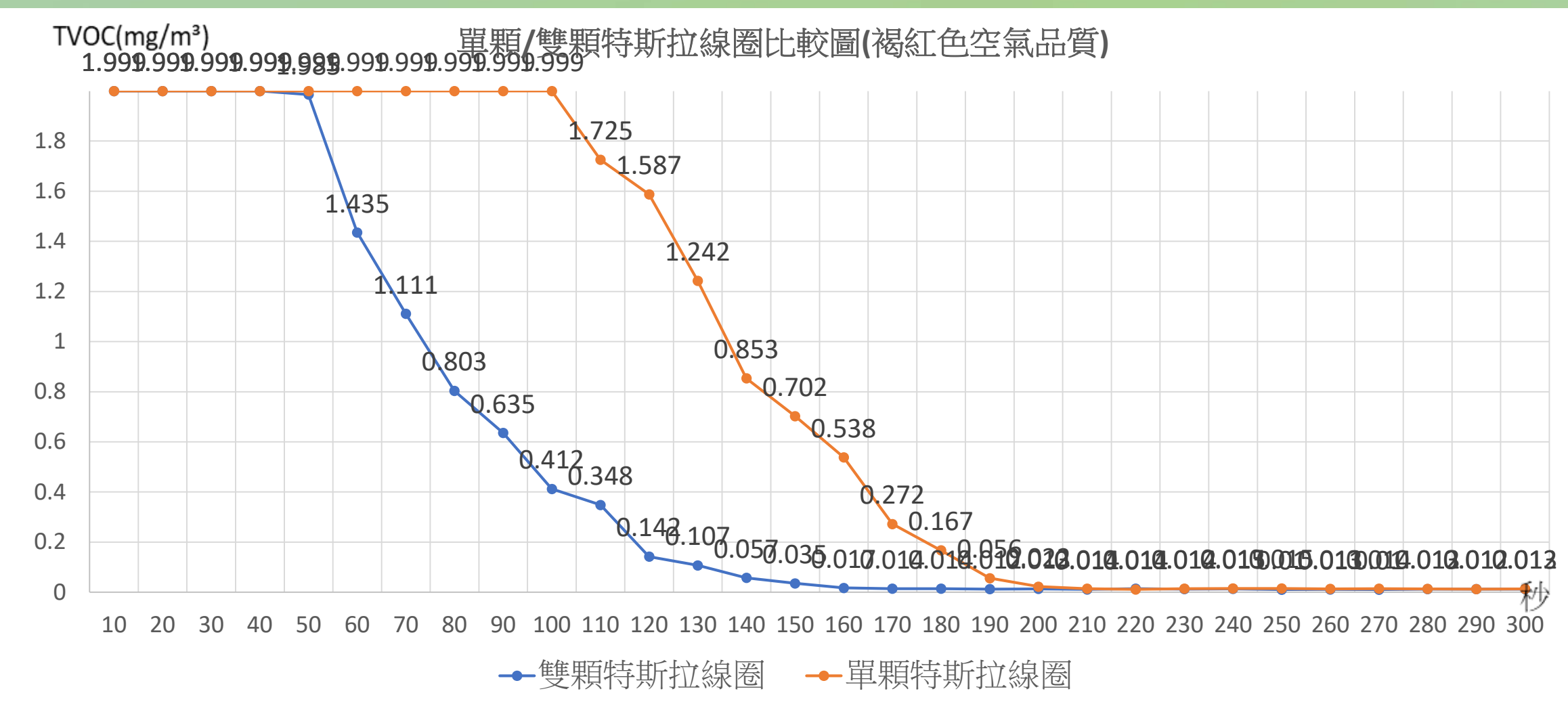


圖18:TVOC的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

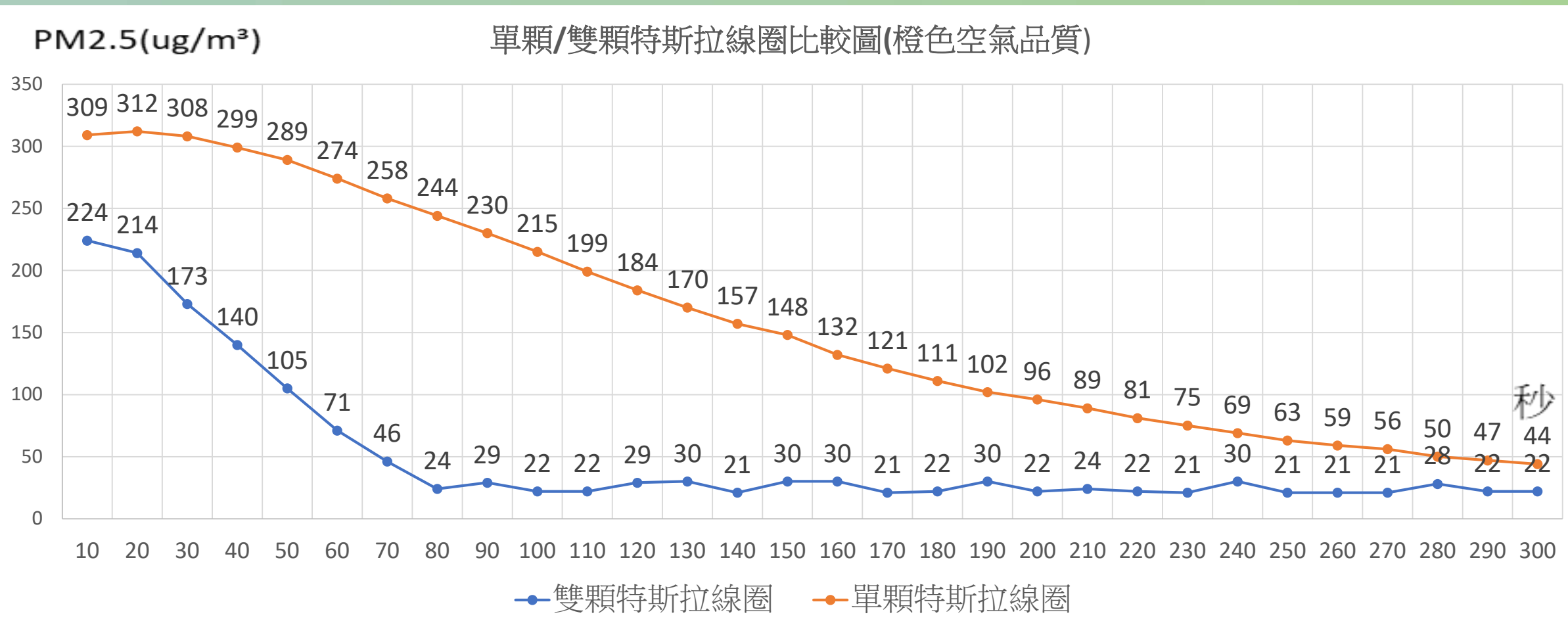


圖11:PM2.5的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

從圖10、11、12來看，PM10、PM2.5及TVOC濃度隨時間顯著降低。TVOC後期數值趨近，主因是**雙顆處理的清除效率極高**，能迅速將TVOC降至環境背景值（圖中「單顆」線所示的低水平），達到淨化極限，因此兩者數值才會如此接近。雙顆處理效果顯著優於單顆，淨化速度更快、終值更低，**能迅速改善橙色空氣品質**。

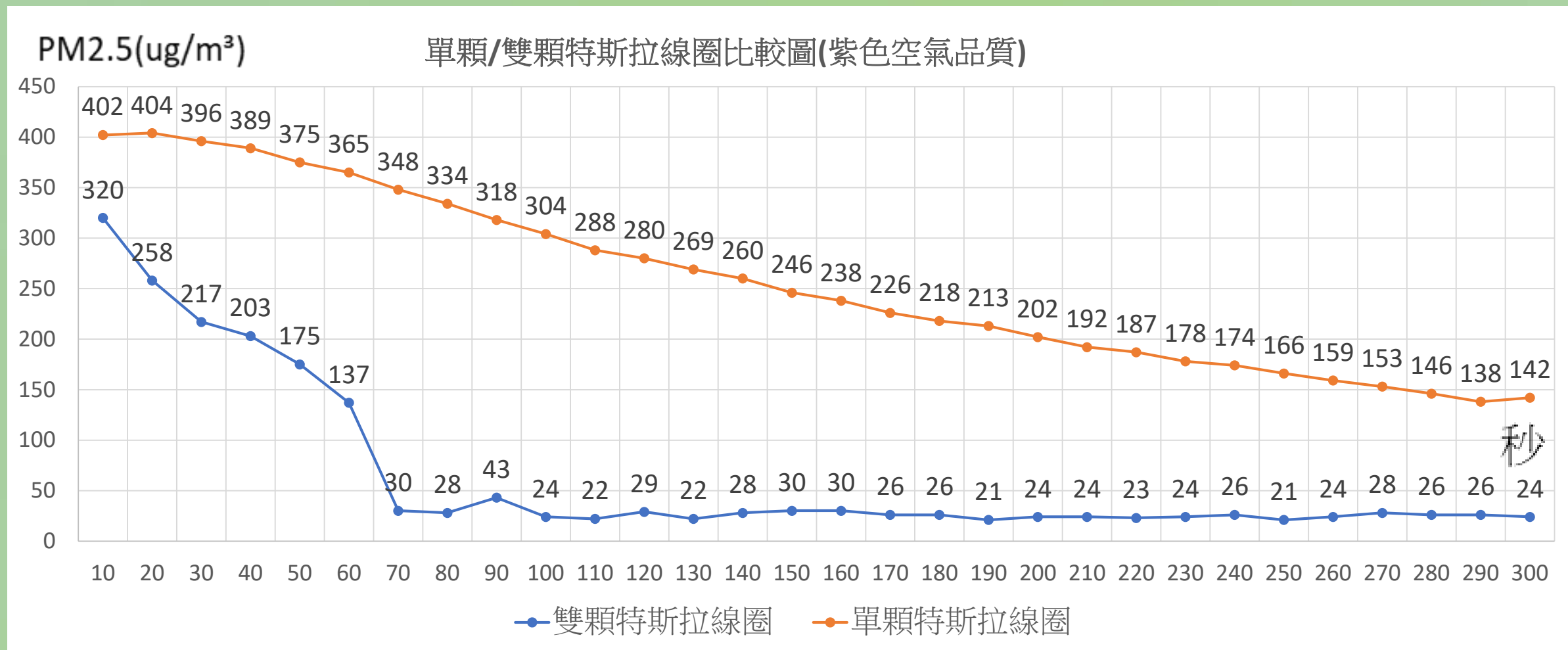


圖14:PM2.5的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

結合圖13、14、15的數據趨勢，我們觀察到PM10、PM2.5與TVOC的濃度均隨時間推移而顯著降低。特別是雙顆處理展現出卓越的淨化效能，其污染物濃度下降速度更快，且最終數值遠低於單顆對照組。**這表明該處理能有效將空氣品質從可能導致紫色危害等級的高污染狀態迅速改善，大幅降低對人體健康的極高風險**。

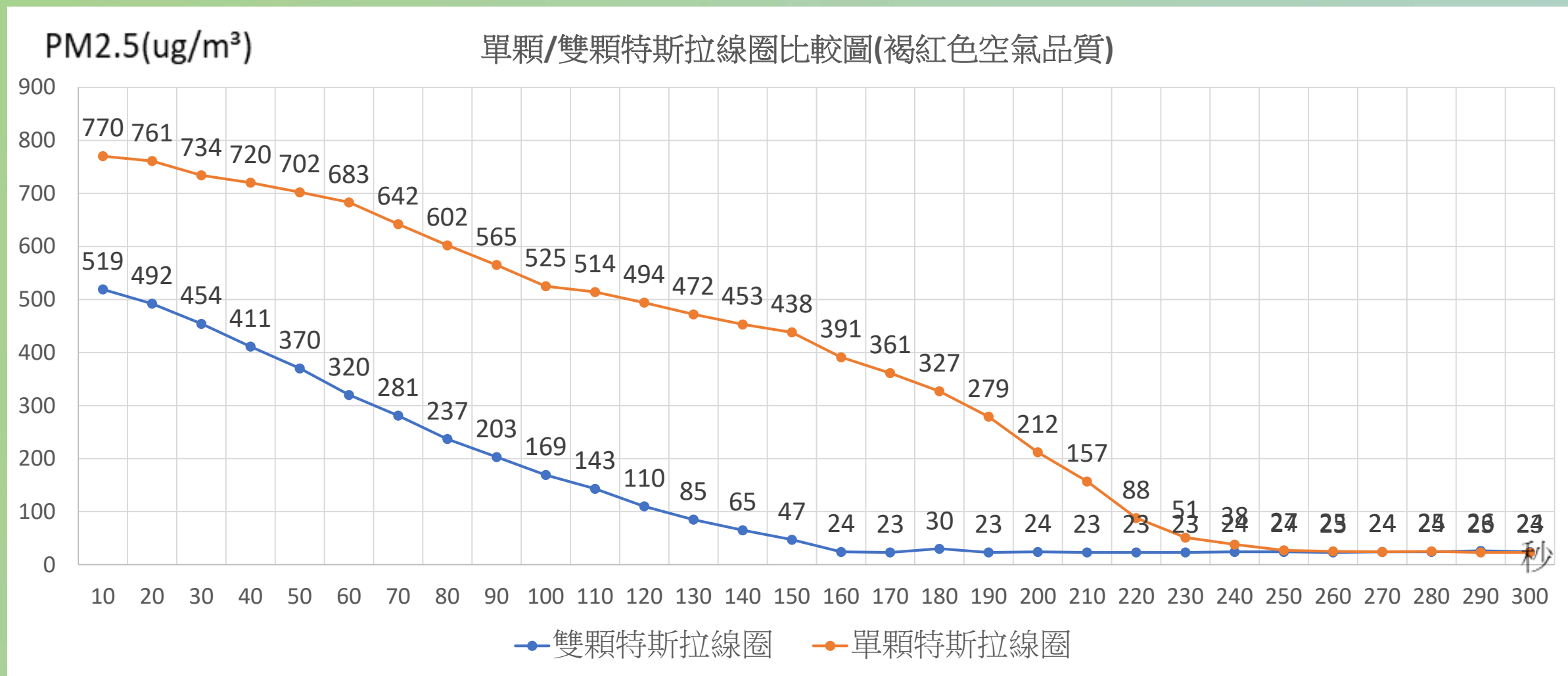
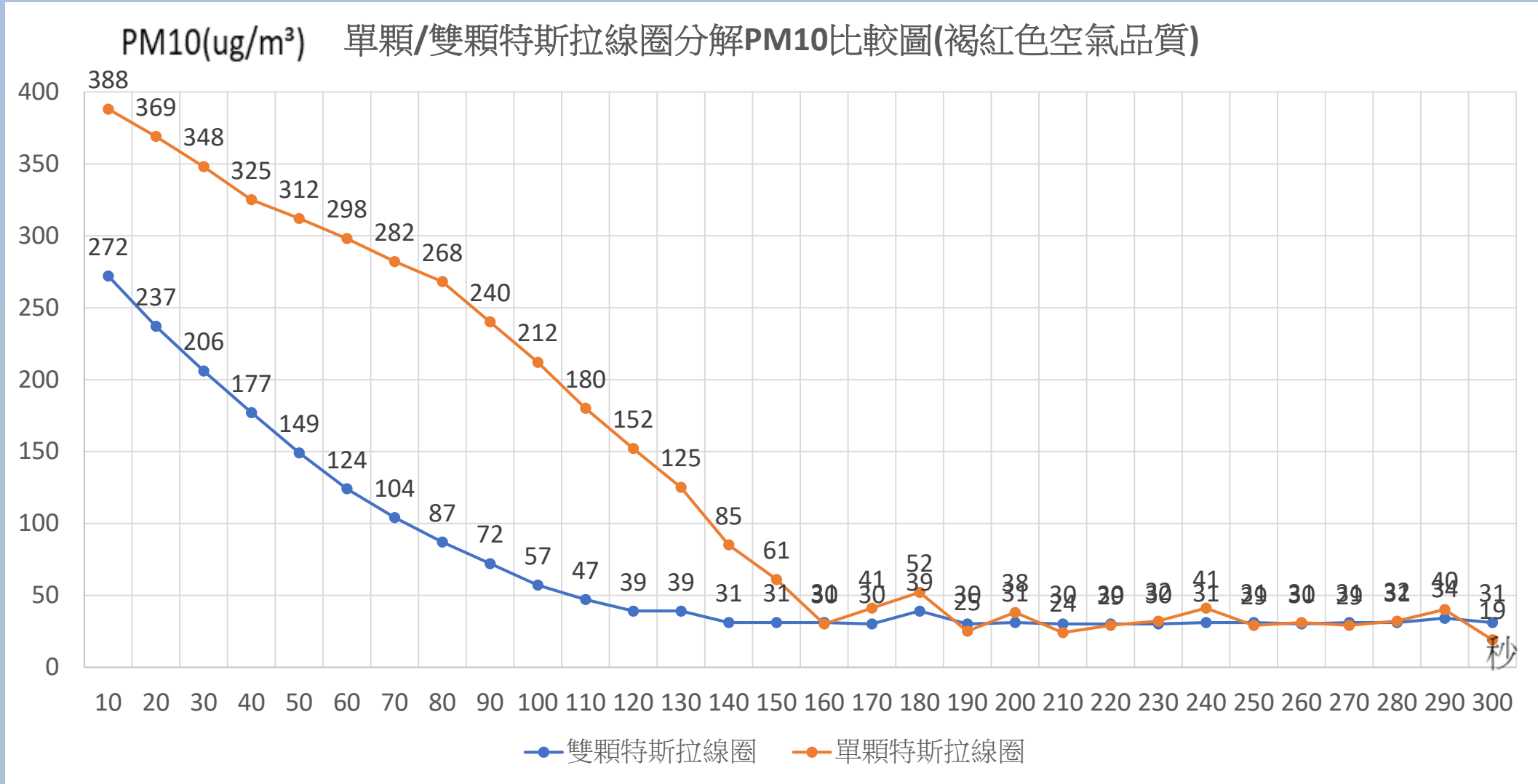


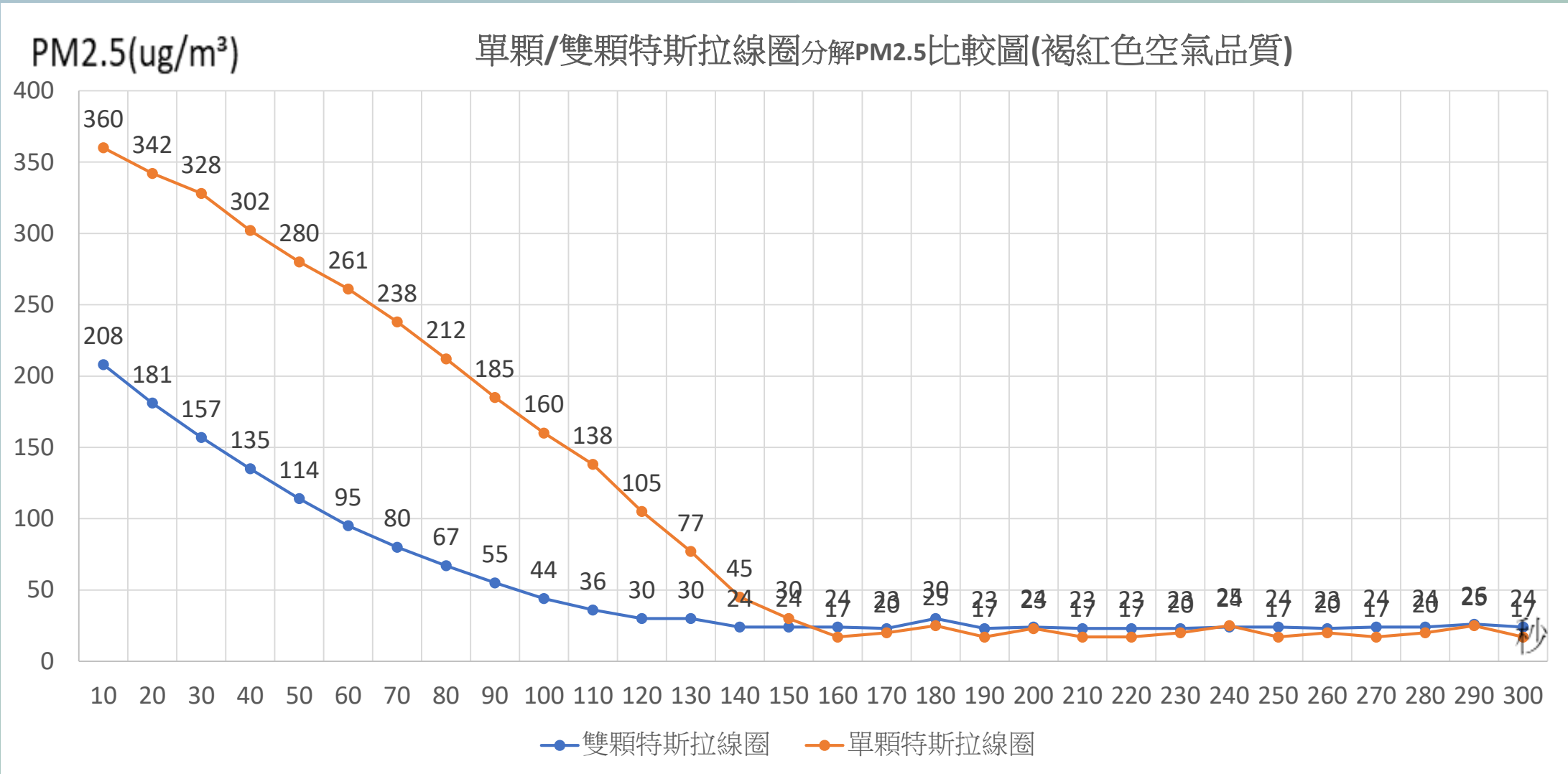
圖17:PM2.5的單/雙顆對比圖(來源:自行製作)

根據圖16、17、18可發現，PM10、PM2.5及TVOC的濃度快速衰減。雙顆特斯拉線圈展現出極為高效的淨化能力，**即使面對初始濃度極高、已達褐紅狀態的嚴重污染情境，也能將各項指標迅速且有效地降低至最低水平**，其表現明顯優於單顆處理，證明其在改善極端空氣品質方面的卓越成效，**能給環境更好的空氣生活品質**。

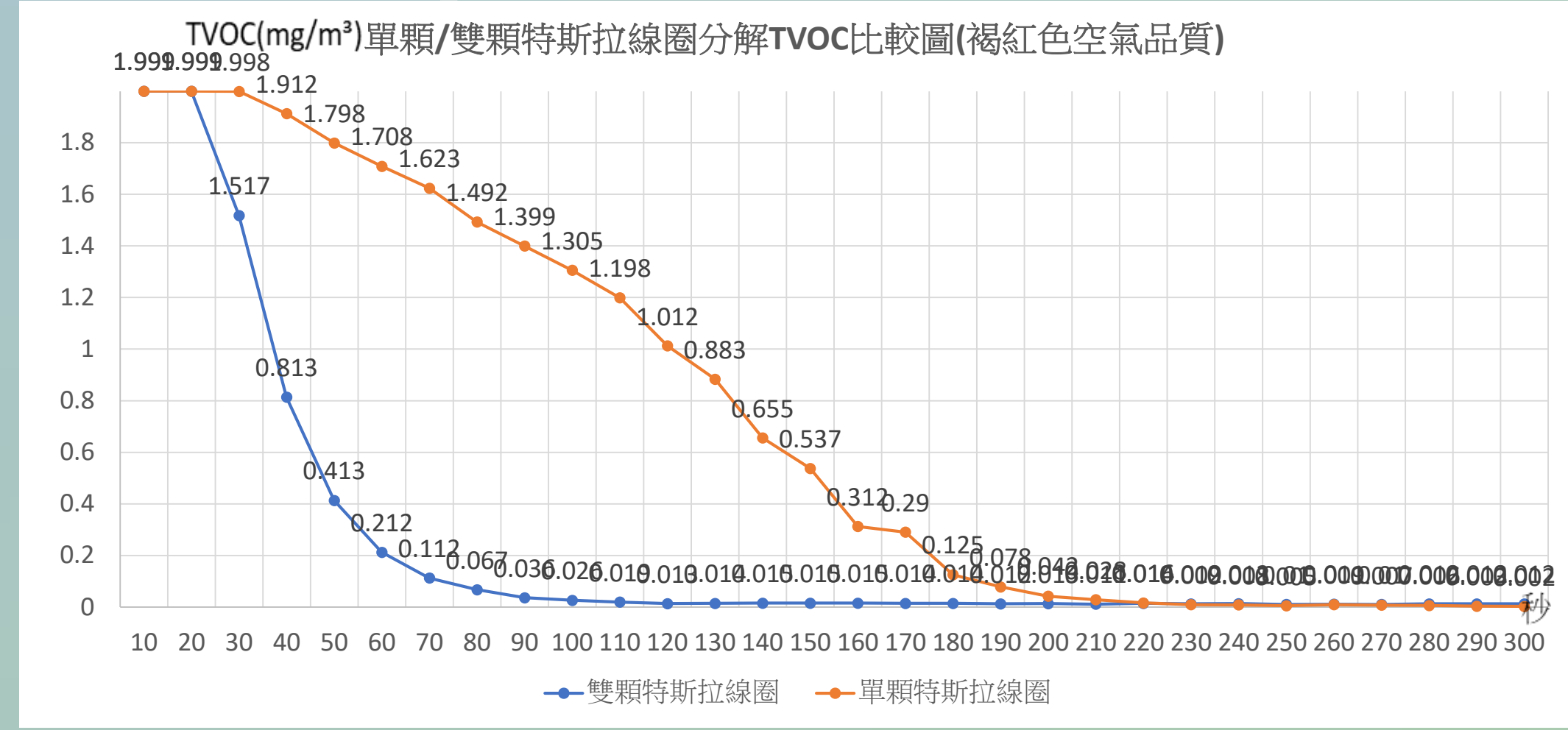
初始模擬環境-單/雙顆特斯拉線圈比較



圖十九：單/雙顆特斯拉線圈在PM10褐紅色空氣品質比較(來源:自行製作)

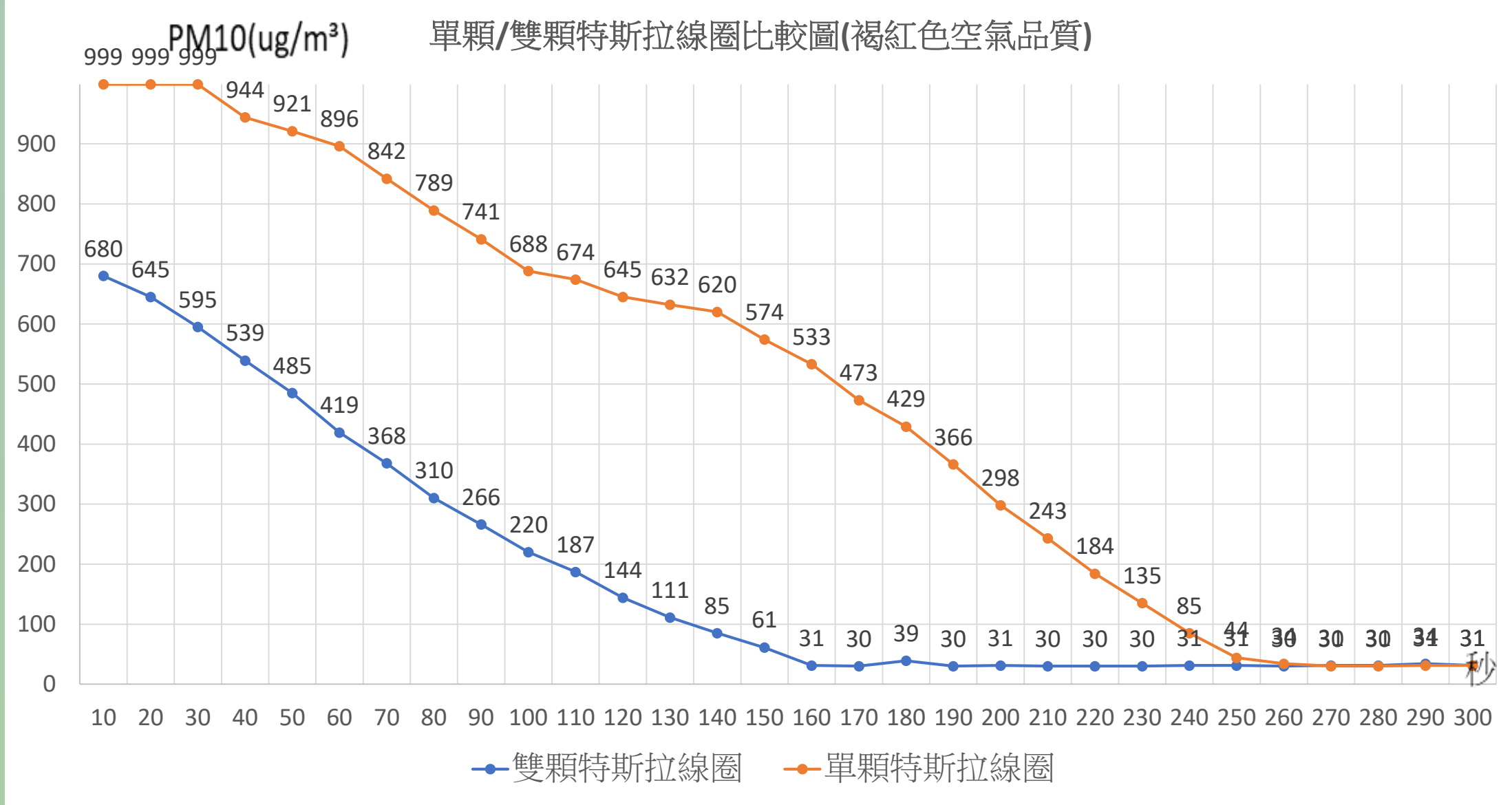


圖二十：單/雙顆特斯拉線圈在PM2.5褐紅色空氣品質比較(來源:自行製作)

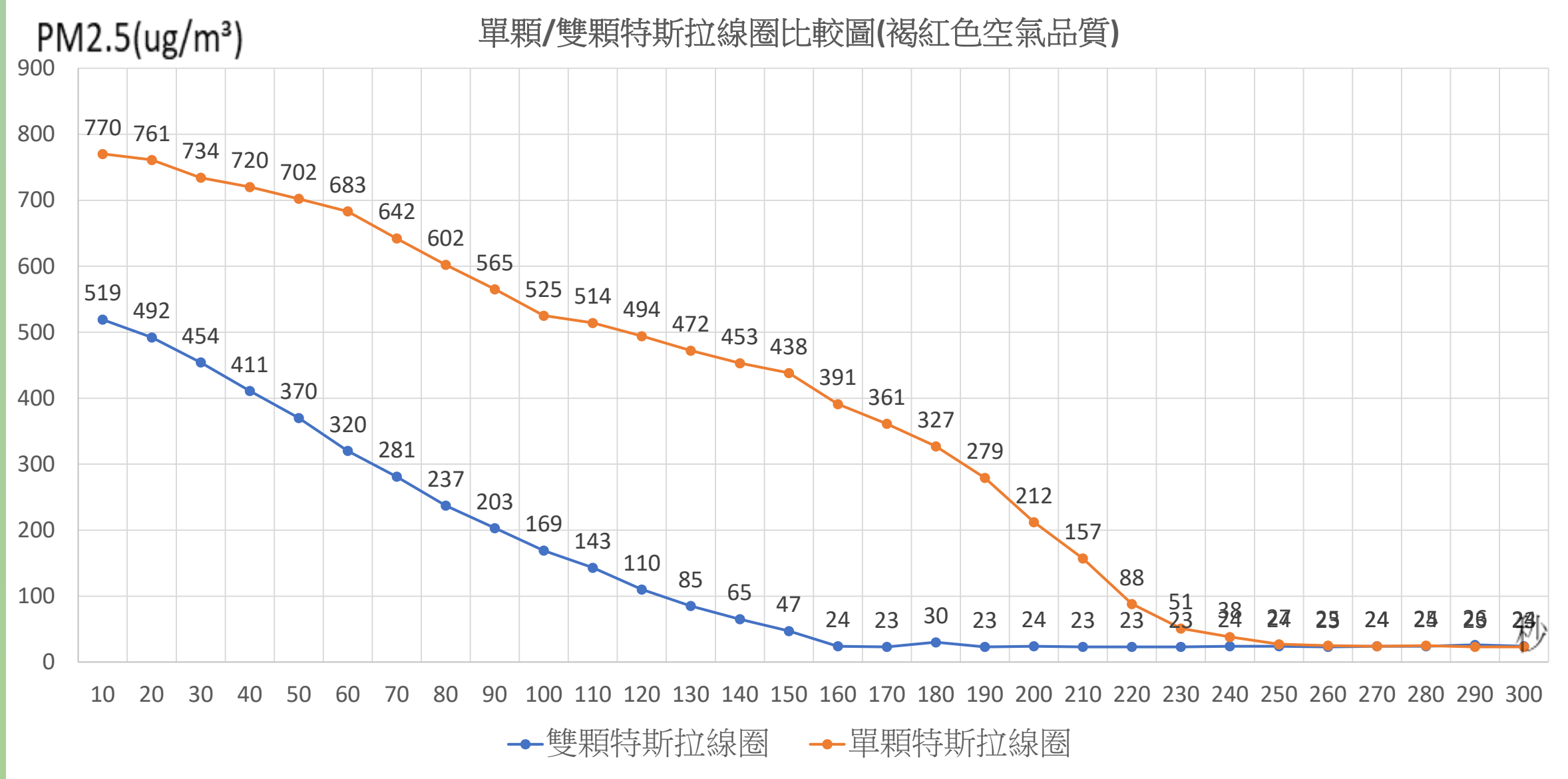


圖二十一：單/雙顆特斯拉線圈在TVOC紅色空氣品質比較(來源:自行製作)

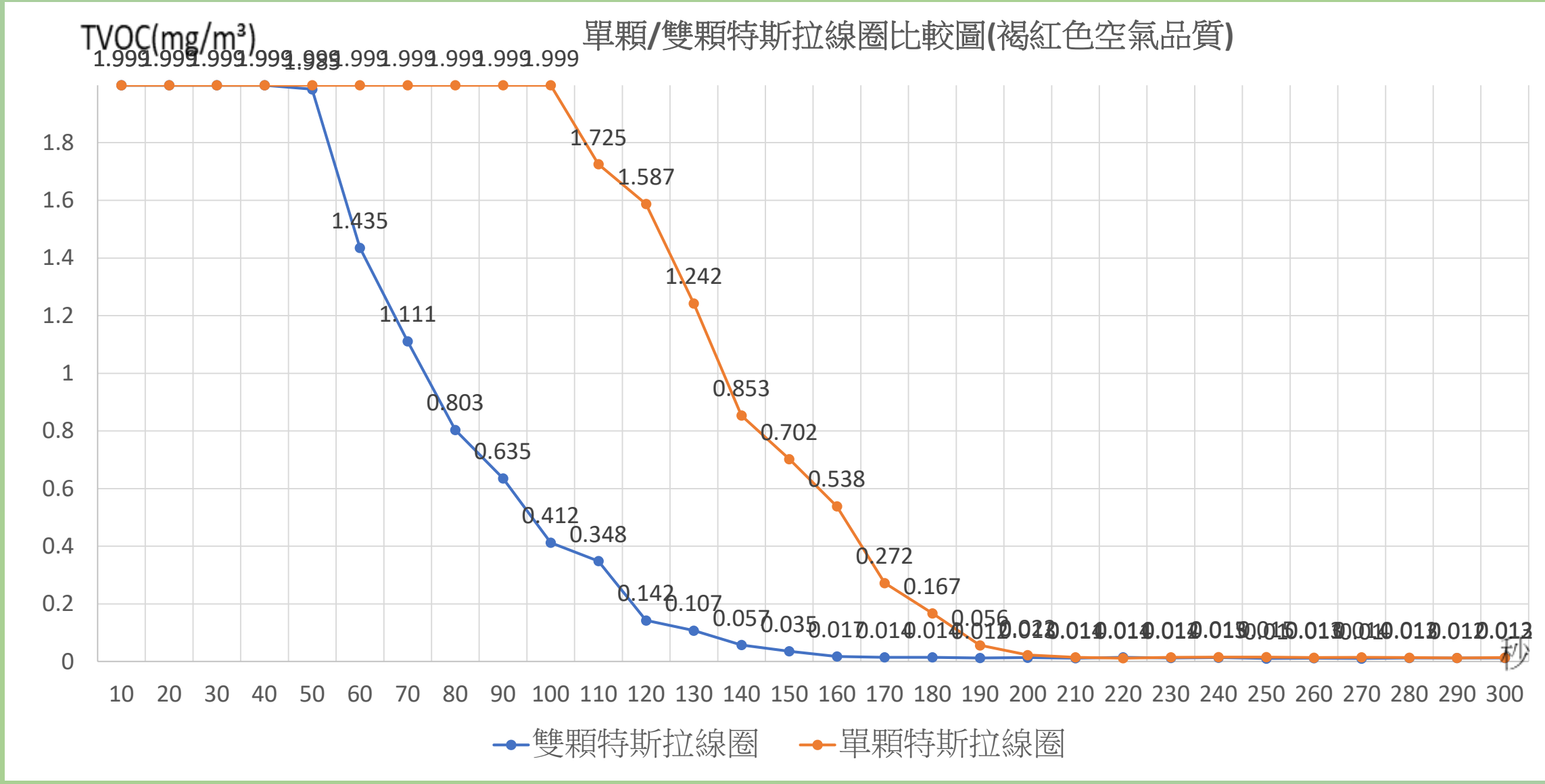
模擬環境擴大-單/雙顆特斯拉線圈比較



圖二十二：單/雙顆特斯拉線圈在PM10褐紅色空氣品質比較(來源:自行製作)



圖二十三：單/雙顆特斯拉線圈在PM2.5褐紅色空氣品質比較(來源:自行製作)



圖二十四：單/雙顆特斯拉線圈在TVOC褐紅色空氣品質比較(來源:自行製作)

結論

本實驗開發的單顆與雙顆特斯拉線圈清淨機，在空氣淨化效率上明顯優於市售高價產品。實驗結果顯示，無論面對橘色、紫色或褐紅色等不同等級的空氣污染，皆能有效降低細菌與氣態污染物濃度。

以PM10為例，單顆裝置降幅約為65%、70%、75%；雙顆則可達85%、90%、95%。在PM2.5部分，單顆降幅為60%、65%、70%，雙顆則提升至80%、88%、94%。TVOC處理方面，單顆裝置約可降低55%、60%、68%，而雙顆則展現出92%、95%、甚至接近98%的極高淨化效能。

這些數據證明了，雙顆特斯拉線圈具備極高的主動滅菌與淨化能力，即使在極端污染條件下，亦能迅速恢復至安全水平。其應用潛力特別適合急診、診所、病房與實驗室等高風險場域，未來若結合智慧控制與感測技術，將有望成為新一代高效、安全的空氣淨化解決方案。