

## 111 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫

---

計畫執行期間:110 年 12 月 9 日至 111 年 11 月 30 日

計畫執行單位:國立中央大學環境工程研究所

主 持 人:	李崇德	教 授
協同主持人:	周崇光	研究員
協同主持人:	張士昱	教 授
協同主持人:	莊銘棟	研究副技師
協同主持人:	許文昌	助理教授

行政院環境保護署 編印

中華民國 111 年 12 月

## 111 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫

---

計畫經費:NT\$14,940,000

計畫執行期間:110 年 12 月 9 日至 111 年 11 月 30 日

計畫執行單位:國立中央大學環境工程研究所

主 持 人:	李崇德	教 授
協同主持人:	周崇光	研究員
協同主持人:	張士昱	教 授
協同主持人:	莊銘棟	研究副技師
協同主持人:	許文昌	助理教授

委託單位:行政院環境保護署

執行單位:國立中央大學

# 111 年度細懸浮微粒（PM<sub>2.5</sub>）化學成分監測與分析計畫

## 111年度計畫報告基本資料表

甲、委辦單位	行政院環境保護署			
乙、執行單位	國立中央大學			
丙、年 度	111 年度			
丁、專案性質	應用研究			
戊、專案領域	環境監測			
己、計畫屬性	<input type="checkbox"/> 科技類		<input checked="" type="checkbox"/> 非科技類	
庚、全程期間	110 年 12 月～ 111 年 12 月			
辛、本期期間	110 年 12 月～ 111 年 12 月			
壬、本期經費	壹仟肆佰玖拾肆萬元整			
	資本支出		經常支出	
	土地建築 0 元		人事費 8,273,130 元	
	儀器設備 0 元		業務費 5,308,688 元	
	其 他 0 千元		管理費 1,358,182 元	
癸、摘要關鍵詞（中英文各三則）	PM <sub>2.5</sub> 化學成分，時間與空間分布，PM <sub>2.5</sub> 污染源，大氣能見度 PM <sub>2.5</sub> chemical composition, Temporal and spatial distributions PM <sub>2.5</sub> sources, Atmospheric visibility			
參與計畫人力資料：				
參與計畫人員姓名	工作要項或撰稿章節	現職與簡要學經歷	參與時間(人月)	聯絡電話 e-mail 帳號
李崇德	計畫執行與整體計畫督導、解析 PM <sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度時空分布特徵、實驗分析及品質督導、研讀 PM <sub>2.5</sub> 監測技術文獻、數據分析督導。	中央大學環工所教授	12	03-4227151 ext 34657 ctlee@ncu.edu.tw
周崇光	分析微粒元素成分、微粒碳成分分析技術諮詢、執行微粒碳成分 QA 查核。	中央研究院環境變遷研究中心研究員	12	ckchou@rcec.sinica.edu.tw
張士昱	微粒水溶性離子分析技術諮詢、執行微粒水溶性離子 QA 查核、協助研讀 PM <sub>2.5</sub> 監測技術文獻。	中山醫學大學公共衛生系教授	12	sychang@csmu.edu.tw

莊銘棟	協助進行以監測的 PM <sub>2.5</sub> 化學成分進行 PMF 污染來源因子推估、評估網格模式模擬可行性。	中研院環變中心研究副技師	12	mtchuang100@gmail.com
許文昌	微粒水溶性離子分析技術諮詢、執行微粒元素金屬成分 QA 查核。	大漢技術學院助理教授	12	kenhsu@ms01.dahan.edu.tw
王 偉	綜理整體計畫進度、撰寫計畫報告初稿。	中央大學環工所專案經理	5	03-4227151 ext 34652
孫紹恩	綜理整體計畫進度、撰寫計畫報告初稿。	中央大學環工所專案經理	6	03-4227151 ext 34652
喬納玲	協助執行碳成分分析、協助執行數據分析、進行 PMF 受體模式解析。	中央大學環工所兼任博士生研究助理	6	03-4227151 ext 34652
黃秋華	PM <sub>2.5</sub> 水溶性離子分析、計畫聯繫協調窗口。	中央大學環工所專任研究助理	12	03-4227151 ext 34652 cilia0110@gmail.com
侯宥琳	執行花蓮站 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度採樣，並分別協助執行水溶性離子和金屬元素成分品保查核。	中央大學環工所專任研究助理	12	03-4227151 ext 34652
洪吳睿	執行忠明站 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度採樣、各項檢測儀器整理。	中央大學環工所專任研究助理	5	03-4227151 ext 34652
林建皓	執行忠明站 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度採樣、各項檢測儀器整理。	中央大學環工所專任研究助理	7	03-4227151 ext 34652
林乃芸	完成 PM <sub>2.5</sub> 化學成分所有數據總彙整，協助執行數據分析。	中央大學環工所專任研究助理	12	03-4227151 ext 34652
王靖萱	協助 PM <sub>2.5</sub> 秤重、樣本分析、採樣濾紙前處理。	中央大學環工所專任研究助理	3	03-4227151 ext 34652
陳彥佑	協助 PM <sub>2.5</sub> 秤重、樣本分析、採樣濾紙前處理。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	9	03-4227151 ext 34652
謝柏邨	總管 PM <sub>2.5</sub> 成分監測採樣作業。	中央大學環工所專任研究助理	5	03-4227151 ext 34652
黃啓豪	總管 PM <sub>2.5</sub> 成分監測採樣作業。	中央大學環工所專任研究助理	7	03-4227151 ext 34652
張雋緯	執行 PM <sub>2.5</sub> 中金屬元素濃度實驗分析。	中央大學環工所專任研究助理	12	03-4227151 ext 34652



孫紹恩	協助執行碳成分分析、協助執行數據分析、進行 PMF 受體模式解析。	中央大學環工所兼任博士生研究助理	5	03-4227151 ext 34664
陳美君	協助執行碳成分 QA 查核及金屬元素成分分析。	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	8	03-4227151 ext 34652
黃譯檣	協助執行碳成分 QA 查核及金屬元素成分分析。	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	8	03-4227151 ext 34652
黃滄偉	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	12	03-4227151 ext 34652
陳虹諮	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	12	03-4227151 ext 34652
賴尚豪	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	12	03-4227151 ext 34652
胡筱萱	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	4	03-4227151 ext 34652
林佳穎	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	4	03-4227151 ext 34652
洪侑新	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣。	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	4	03-4227151 ext 34652
林建皓	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣品保查核。	中山醫學大學 公共衛生系兼任碩士生研究助理	5	03-4227151 ext 34652
江庭瑜	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣品保查核。	中山醫學大學 公共衛生系兼任碩士生研究助理	7	03-4227151 ext 34652
林暉哲	協助 PM <sub>2.5</sub> 數據模擬。	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	7	03-4227151 ext 34652
李家輝	協助 PM <sub>2.5</sub> 數據模擬。	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	5	03-4227151 ext 34652
林冠宇	協助 PM <sub>2.5</sub> 數據模擬。	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	7	03-4227151 ext 34652

## 行政院環境保護署計畫成果中英文摘要

一、中文計畫名稱：

111 年度細懸浮微粒（PM<sub>2.5</sub>）化學成分監測與分析計畫

二、英文計畫名稱：

The 2022 Project of Chemical Speciation Monitoring and Analysis of Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>)

三、執行單位：

國立中央大學

四、計畫主持人：(包括協同主持人)

李崇德、周崇光、張士昱、莊銘棟、許文昌

五、執行開始時間：

110/12/09

六、執行結束時間：

111/12/31

七、報告完成日期：

111/12/23

八、報告總頁數：

314

九、使用語言：

中文、英文

十、報告電子檔名稱：

111 年度細懸浮微粒（PM<sub>2.5</sub>）化學成分監測與分析計畫.docx

十一、報告電子檔格式：

Microsoft Word 文件 (docx)

十二、中文摘要關鍵詞：

PM<sub>2.5</sub> 化學成分，時間與空間分布，PM<sub>2.5</sub> 污染源，大氣能見度

十三、英文摘要關鍵詞：

PM<sub>2.5</sub> chemical speciation, Temporal and spatial distributions, PM<sub>2.5</sub> pollution sources, Atmospheric visibility

#### 十四、中文摘要：

本計畫執行 2022 年臺灣六個測站  $\text{PM}_{2.5}$  採樣並分析質量及化學成分濃度，2022 年截至 11 月底各採樣日  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度從臺灣東部經北部往中、南部逐漸增高，發生  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，解析的化學成分特徵持續彰顯出  $\text{NO}_x$  污染源管制的重要性。 $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日發生的原因多為環境擴散不佳導致污染物累積，雖然有些採樣日受境外污染傳輸影響。2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六三站都高於忠明、板橋、花蓮三站，且多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多；其中，濃度相對高的金屬元素多具有燃煤、鋼鐵業及車輛排放貢獻特徵。

各測站 2022 年相較 2017 年的  $\text{PM}_{2.5}$  質量和主要化學成分都有減量，以 EC 削減比例最高，其次為  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NH}_4^+$ ，OC 減量比例最低，因此在  $\text{PM}_{2.5}$  占比提升。近六年各測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量和主要化學成分季度空間分布顯示：季度平均濃度以 Q1 為最高，其次多為 Q4，再其次多為 Q2。近六年 Q1~Q3 各測站金屬元素濃度總和最高的年度多為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。2017 年至 2022 年各測站 PMF 受體模式污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 的最高平均濃度，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」；說明除了  $\text{NO}_3^-$ ， $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 也需要進行管制。近六年忠明（含）以南的四個測站  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日發生時，最高平均濃度的化學成分都是  $\text{NO}_3^-$ ，因此， $\text{NO}_3^-$  前趨污染源的管制對  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日的減少非常重要。近六年分析指出中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。2021 年  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度增高，斗六、嘉義和小港站部分原因是受 Q1 乾旱影響。 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 在斗六、嘉義、小港測站有高空間相似度，可能受區域性污染影響； $\text{NO}_3^-$  在各測站的空間相似度較低，應以在地污染影響為主。

總結來說，本計畫解析 2022 年臺灣六個測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度時間和空間分布，結合 2017~2022 年數據，釐清六年來  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度及影響因子變化趨勢，研究成果同時提供了污染源管制方向。

**關鍵詞：** $\text{PM}_{2.5}$  化學成分，時間與空間分布， $\text{PM}_{2.5}$  污染源，大氣能見度

## 十五、英文摘要：

This project collected PM<sub>2.5</sub> to analyze mass and chemical speciation concentrations at the six stations in Taiwan. The PM<sub>2.5</sub> mass and chemical speciation concentrations increased from the east through the north to the central and south of Taiwan for the sampling days ended by November 2022. The three most frequently occurring high PM<sub>2.5</sub> concentration days for stations were in the order of the Chiayi, Xiaogang, and Douliu stations. The resolved chemical speciation characteristics persistently revealed the importance of controlling NO<sub>x</sub> pollution sources. The high PM<sub>2.5</sub> concentration days were largely due to bad environmental ventilation causing pollutant accumulations, although some sampling days were influenced by transboundary transport. The summed metal elemental concentration of each station at Xiaogang, Chiayi, and Douliu was higher than that of each station at the Zhongming, Banqiao, and Hualien stations, with various high-concentration metal elements indicating multiple sources. Among relatively high-concentration metal elements were those characterized by the emissions from coal burning, iron and steel manufacturing, and vehicles.

Comparing 2022 to 2017 for all stations, the PM<sub>2.5</sub> mass and major chemical speciation concentrations were all reduced, with the highest reduction fraction in EC followed by SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, and the lowest in OC, and thus a rise of OC in PM<sub>2.5</sub> proportion. The quarterly spatial distribution showed that Q1 was the highest quarter of the PM<sub>2.5</sub> mass and major chemical speciation concentrations followed by Q4 and Q2 in most stations for the most recent six years. The highest summed metal elemental concentrations in Q1~Q3 were frequently in 2021 and Q4 in 2019 for the most recent six years. The quarterly contributions of pollution factors of PMF receptor modeling showed that the highest concentration in Q1 was predominantly contributed by “Nitrate” followed by “Sulfate” and “Vehicle Emissions” in all stations from 2017 to 2022. This fact implies that SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and OC must also be controlled in addition to NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. For the high PM<sub>2.5</sub> concentration days, the highest average concentration of chemical species was NO<sub>3</sub><sup>-</sup> for the four stations south of the Zhongming (included) in the most recent six years. Therefore, controlling the precursor pollution sources of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> is crucial to reducing the high PM<sub>2.5</sub> concentration days. A rise in PM<sub>2.5</sub> mass concentration in 2021 can be partly accounted for by the influence of dry weather in Q1 at the Douliu, Chiayi,

and Xiaogang stations. The high spatial similarity of  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , and OC at the Douliu, Chiayi, and Xiaogang stations may indicate an influence of regional pollution sources. In contrast, the low spatial similarity of  $\text{NO}_3^-$  among all stations implies the predominant influence of local pollution sources.

In summary, this project analyzed the temporal and spatial distributions of the  $\text{PM}_{2.5}$  mass and chemical speciation concentrations. It summarized 2017~2022 data to clear out the variation trends of the influential factors and  $\text{PM}_{2.5}$  mass and chemical speciation concentrations. The direction for controlling pollution sources is also provided in the study results.

**Keywords:**  $\text{PM}_{2.5}$  chemical speciation, Temporal and spatial distributions,  $\text{PM}_{2.5}$  pollution sources, Atmospheric visibility

# 行政院環境保護署

## 111 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫

---

### 成果報告

主 持 人：	李崇德	教 授
協同主持人：	周崇光	研究員
協同主持人：	張士昱	教 授
協同主持人：	莊銘棟	研究副技師
協同主持人：	許文昌	助理教授

執行單位：國立中央大學環境工程研究所

中華民國 111 年 12 月

# 目 錄

一、 背景.....	1
二、 年度目標.....	2
2.1 計畫工作內容 .....	2
2.2 計畫工作內容進度及達成率 .....	5
三、 工作方法.....	7
3.1 執行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業.....	7
3.1.1 採樣地點及時程規劃 .....	8
3.1.2 採樣及實驗分析人員及行程分配 .....	16
3.1.3 細懸浮微粒採樣設備及方法 .....	21
3.1.4 細懸浮微粒成分人工採樣去除大氣干擾物方法 .....	24
3.1.5 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度檢驗分析方法 .....	25
3.1.6 PM <sub>2.5</sub> 水溶性無機離子檢驗分析方法 .....	27
3.1.7 PM <sub>2.5</sub> 碳成分檢驗分析方法 .....	31
3.1.8 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分檢驗分析方法 .....	35
3.1.9 微粒採樣及質量濃度檢驗分析方法品管 .....	39
3.1.10 實驗室檢測數據品保規劃簡要說明 .....	48
3.2 解析時間與空間分布特徵及影響因素.....	57
3.2.1 PM <sub>2.5</sub> 污染事件分類與判別準則 .....	57
3.2.2 發散係數分析區域污染來源差異 .....	60
3.2.3 推估環境中二次有機碳成分 .....	60
3.2.4 採用國際通用受體模式解析 PM <sub>2.5</sub> 化學成分，推估各監測地區 PM <sub>2.5</sub> 污染來源.....	62
3.2.5 PM <sub>2.5</sub> 成分及氣象因子與大氣能見度多元迴歸模式 .....	67
3.2.6 分析結果提供污染源管制策略評估建議 .....	69
3.2.7 PM <sub>2.5</sub> 化學成分科普圖卡設計 .....	71
四、 結果與討論.....	72
4.1 測站例行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測.....	73
4.1.1 例行檢測與同址或鄰近測站比較 .....	73
1. 相同採樣日比對.....	73
2. 化學成分解析比例（質量重組） .....	75
3. 不同採樣頻率 PM <sub>2.5</sub> 月份、季度、年度平均濃度比較.....	77
4.1.2 測站例行檢測 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分濃度 .....	80
1. PM <sub>2.5</sub> 質量濃度與主要化學成分.....	80
2. 金屬元素成分.....	82
4.1.3 PM <sub>2.5</sub> 高濃度事件分析 .....	86
1. 3 月 3 日 PM <sub>2.5</sub> 高濃度事件分析.....	86
2. 3 月 21 日嘉義、斗六站 PM <sub>2.5</sub> 高濃度事件分析.....	93
4.1.4 PM <sub>2.5</sub> 污染源解析 .....	96
4.2 PM <sub>2.5</sub> 化學成分時間與空間分布特徵及影響因素.....	98
4.2.1 PM <sub>2.5</sub> 半揮發成分濃度時間與空間變化 .....	98
1. 揮發與吸附成分占 PM <sub>2.5</sub> 比例.....	98

2.	揮發水溶性無機離子成分及修正後濃度占比.....	102
3.	有機碳成分揮發、吸附、修正濃度及占比.....	104
4.2.2	PM <sub>2.5</sub> 濃度與主要化學成分時間與空間變化 .....	106
1.	2017~2022 年 PM <sub>2.5</sub> 及化學成分年平均質量濃度與占比....	106
2.	PM <sub>2.5</sub> 高濃度占比化學成分歷年變化趨勢分析.....	110
3.	PM <sub>2.5</sub> 濃度年度、季度、測站濃度變化頻率分布.....	116
4.	PM <sub>2.5</sub> 主要化學成分季度變化分析.....	117
5.	PM <sub>2.5</sub> 金屬元素歷年各季度變化趨勢分析.....	120
6.	PM <sub>2.5</sub> 特定重金屬成分空間相似度分析.....	126
7.	PM <sub>2.5</sub> 污染源解析與歷年主要貢獻污染因子變化.....	129
4.2.3	PM <sub>2.5</sub> 一、二次有機碳成分時空分布特徵 .....	132
4.2.4	PM <sub>2.5</sub> 高濃度成因及特徵解析 .....	134
1.	本年度高濃度案例成因統整與各站污染日統計.....	134
2.	PM <sub>2.5</sub> 高濃度事件日與非事件日比較.....	137
3.	在地高濃度日化學成分特徵.....	141
4.	在地高濃度日 PMF 污染因子歷年變化.....	143
4.2.5	能見度影響因子及科普宣傳 .....	145
1.	IMPROVE 修正方程式推估能見度.....	145
2.	多元迴歸分析能見度影響因子.....	150
3.	PM <sub>2.5</sub> 與能見度關係的科普宣傳.....	154
4.2.6	專案分析 .....	156
1.	2020~2021 年第一季度乾旱對空氣品質的影響.....	156
2.	都會區與非都會區測站差異分析.....	158
4.2.7	分析結果提供污染源管制策略評估建議 .....	160
4.2.8	各國家執行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術 .....	162
1.	PM <sub>2.5</sub> 高濃度占比成分特徵及生成機制.....	162
2.	受體模式應用技術.....	164
3.	長期觀測資料庫建立及應用.....	171
4.	淨零排碳與空氣品質改善協同性.....	177
5.	空氣品質與健康風險.....	179
6.	含氯氣膠貢獻源.....	182
7.	大氣能見度相關研究.....	183
8.	污染傳輸.....	184
4.3	細懸浮微粒採樣監測分析品保作業.....	185
4.3.1	PM <sub>2.5</sub> 質量秤重品保作業.....	185
1.	中央大學環工所天平室溫度和相對濕度監控.....	185
2.	中央大學環工所天平室空白濾紙秤重.....	186
4.3.2	PM <sub>2.5</sub> 水溶性離子分析品保作業 .....	187
1.	PM <sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽無機離子當量濃度平衡比.....	187
2.	PM <sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽無機離子檢量線及分析方法偵測極限..	188
3.	內部品質管制要求.....	189
4.3.3	PM <sub>2.5</sub> 碳成分分析品保作業 .....	194
1.	PM <sub>2.5</sub> 碳成分分析檢量線及分析方法偵測極限.....	194



2. 內部品質管制要求.....	195
4.3.4 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析品保作業 .....	197
1. PM <sub>2.5</sub> 金屬元素檢量線及方法偵測極限.....	197
2. 內部品質管制要求.....	198
4.3.5 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度和成分的現場空白與旅運空白變化 .....	210
4.3.6 採樣期間 E-FRM 質量濃度採樣器儀器查核結果.....	211
五、 結論與建議.....	212
5.1 結論.....	213
5.2 政策效益及建議.....	216
六、 參考文獻.....	217
附錄 1 第一次工作報告審查意見回覆.....	225
附錄 2 第二次工作報告審查意見回覆.....	231
附錄 3 期中報告工作報告審查意見回覆.....	232
附錄 4 第三次工作報告審查意見回覆.....	238
附錄 5 成果報告初稿審查意見回覆.....	239
附錄 6 監測地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度與天氣因子日平均數值.....	246
附錄 7 PM <sub>2.5</sub> 污染事件日 .....	253
附錄 8 2017 至 2022 年各測站揮發水溶性無機離子濃度 (μg m <sup>-3</sup> ) 及占修正後水溶性無機離子濃度比例 (%) .....	265
附錄 9 各季度特定重金屬空間相似度分析.....	266
附錄 10 氣象站大氣能見度觀測距離與迴歸方程式推估和觀測能見度關係.....	268
附錄 11 2017 年至 2021 年 Q1 以及 Q2~Q4 季度總降雨量以及降雨天數.....	282
附錄光碟 目錄.....	284

## 表 目 錄

表 2.2.1 本計畫 2022 年度實際執行進度及查核點.....	5
表 2.2.2 本計畫 2022 年度實際執行進度及查核點說明.....	6
表 3.1.1 本計畫 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣監測站相關資訊.....	10
表 3.1.2 離子層析儀分析微粒水溶性無機離子的偵測極限.....	30
表 3.1.3 DRI 2001A 碳分析儀各加熱階段與溫度範圍.....	32
表 3.1.4 濾紙樣本第一階段微波消化升溫設定條件.....	36
表 3.1.5 濾紙樣本第二階段微波消化升溫設定條件.....	36
表 3.1.6 感應耦合電漿質譜儀分析設定參數.....	38
表 3.1.7 PM <sub>2.5</sub> 元素成分方法偵測極限.....	38
表 3.1.8 濾紙準備與分析檢查項目.....	41
表 3.1.9 現場採樣 QA/QC 檢查項目.....	42
表 3.1.10 採樣程序檢查項目方法和頻率.....	43
表 3.1.11 PM <sub>2.5</sub> 採樣器維護檢查項目.....	46
表 3.1.12 實驗室 QA/QC 檢查項目.....	47
表 3.1.13 本計畫各執行項目參考檢測方法彙整.....	48
表 3.1.14 各量測項目數據品質目標.....	49
表 3.1.15 本年度 PM <sub>2.5</sub> 化學成分的數據品質目標符合度.....	50
表 3.1.16 本年度 PM <sub>2.5</sub> 元素成分參考物質檢測結果.....	51
表 3.1.17 現場取樣作業樣品管制.....	52
表 3.1.18 檢驗室作業樣品管制.....	52
表 3.1.19 儀器校正頻率.....	54
表 3.1.20 績效查核與系統查核.....	55
表 3.1.21 改正措施之依據及步驟.....	55
表 3.2.1 高邊界 EC Tracer 推估各採樣點 OC/EC 斜率及統計資料.....	61
表 3.2.2 PMF 濃度矩陣及不確定矩陣計算方法.....	63
表 3.2.2 彙整分析結果對於 PM <sub>2.5</sub> 污染源管制策略評估與建議.....	69
表 4.1.1 本計畫手動採樣與常規手動採樣 PM <sub>2.5</sub> 濃度比對.....	74
表 4.1.2 本年度計畫各季度樣本成分解析占修正後質量濃度比例.....	76
表 4.1.3 環保署常規與本計畫例行量測 PM <sub>2.5</sub> 濃度月份、季及年度濃度差異.....	78
表 4.1.4 環保署常規與本計畫例行量測 PM <sub>2.5</sub> 濃度月份、季及年度差異百分比.....	79
表 4.1.5 忠明、斗六、嘉義和小港 3 月 3 日 PM <sub>2.5</sub> 及主要化學成分質量濃度表.....	86
表 4.1.6 斗六和嘉義 3 月 21 日 PM <sub>2.5</sub> 以及主要化學成分質量濃度表.....	93
表 4.2.1 2017 至 2022 年各測站揮發水溶性無機離子、揮發及吸附有機碳濃度及占修正後 PM <sub>2.5</sub> 濃度比例.....	100
表 4.2.2 2017 至 2022 年各站揮發水溶性無機離子及修正後濃度占比.....	103
表 4.2.3 2017 至 2022 年各站有機碳成分揮發、吸附、修正濃度及占比.....	105
表 4.2.4 2017~2022 年六站 PM <sub>2.5</sub> 化學成分年平均濃度及占 PM <sub>2.5</sub> 比例.....	109
表 4.2.5 六站各季度 PM <sub>2.5</sub> 主要化學成分濃度及占 PM <sub>2.5</sub> 比.....	119
表 4.2.6 近六年各季度測站間空間相似度排序.....	127
表 4.2.7 推估近六年各站 POC 與 SOC 總平均及季平均占 OC 比例.....	133
表 4.2.7 高濃度案例來源推論與氣象因子特徵.....	135

表 4.2.8 2017 年至 2022 年 11 月各測站在地高濃度日統計.....	136
表 4.2.9 2017-2022 年各季度高濃度事件日數.....	139
表 4.2.10 2017-2022 年板橋、忠明、斗六、嘉義和小港 PM <sub>2.5</sub> 及化學成分在高濃度事件日與非事件日的平均濃度與差異百分比.....	140
表 4.2.11 六站多元迴歸推估影響能見度因子方程式彙整.....	153
表 4.2.12 2021 年相較 2020 年 PM <sub>2.5</sub> 和化學成分濃度差異百分比.....	157
表 4.2.13 2021 年 Q1 相較 2020 年 Q1 濃度增加比例.....	157
表 4.2.14 Q2~Q4 的 2021 相較 2020 濃度增加比例.....	157
表 4.2.15 花蓮與五個測站 PM <sub>2.5</sub> 及化學成分濃度平均值差異顯著性分析.....	159
表 4.2.16 彙整分析結果對於 PM <sub>2.5</sub> 污染源管制策略評估與建議.....	160
表 4.2.17 PM <sub>2.5</sub> 高濃度占比成分特徵及生成機制.....	163
表 4.2.18 受體模式應用技術.....	168
表 4.2.19 長期觀測資料庫建立及應用.....	175
表 4.2.20 淨零排碳與空氣品質改善協同性.....	178
表 4.2.21 空氣品質與健康風險.....	181
表 4.2.22 含氯氣膠貢獻源.....	182
表 4.2.23 大氣能見度相關研究.....	183
表 4.2.24 污染傳輸.....	184
表 4.3.1 計畫執行期間天平室溫、濕度跳動原因說明.....	186
表 4.3.2 PM <sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽無機離子分析方法偵測極限.....	188
表 4.3.3 WMO 績效評估樣品 1 比對結果(2022 年 1 月).....	192
表 4.3.4 WMO 績效評估樣品 2 比對結果(2022 年 1 月).....	192
表 4.3.5 WMO 績效評估樣品 3 比對結果(2022 年 1 月).....	192
表 4.3.6 WMO 績效評估樣品 1 比對結果(2022 年 11 月).....	193
表 4.3.7 WMO 績效評估樣品 2 比對結果(2022 年 11 月).....	193
表 4.3.8 WMO 績效評估樣品 3 比對結果(2022 年 11 月).....	193
表 4.3.9 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分檢量線線性程度與方法偵測極限.....	198
表 4.3.10 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析－現場空白樣品.....	200
表 4.3.11 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析－運送空白樣品.....	202
表 4.3.12 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析－實驗室空白樣品.....	204
表 4.3.13 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分參考物質(SRM 1648)檢測結果.....	206
表 4.3.14 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析－查核樣品回收率.....	207
表 4.3.15 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析－重複樣品相對差異百分比和添加樣品回收率..	208

## 圖目錄

圖 3.1.1 本計畫執行架構.....	8
圖 3.1.2 本計畫採樣監測站.....	9
圖 3.1.3 花蓮站周圍環境影像.....	10
圖 3.1.4 板橋站周圍環境影像.....	11
圖 3.1.5 忠明站周圍環境影像.....	11
圖 3.1.6 斗六站周圍環境影像.....	12
圖 3.1.7 嘉義站周圍環境影像.....	12
圖 3.1.8 小港站周圍環境影像.....	13
圖 3.1.9 本計畫年度採樣日程規劃.....	14
圖 3.1.10 細懸浮微粒化學成分採樣檢測作業執行程序.....	15
圖 3.1.11 採樣計畫管理及樣本採樣前處理流程.....	17
圖 3.1.12 樣本採集人員工作規劃.....	18
圖 3.1.13 樣品及數據分析人員工作規劃.....	19
圖 3.1.14 數據品保確認及報告人員工作規劃.....	20
圖 3.1.15 MetOne E-FRM PM <sub>2.5</sub> 採樣器的外觀與儀器操作面板 .....	22
圖 3.1.16 MetOne SASS PM <sub>2.5</sub> 成分採樣器的外觀與儀器操作面板 .....	23
圖 3.1.17 MetOne SASS PM <sub>2.5</sub> 成分採樣器採樣套管配置 .....	23
圖 3.1.18 以石英濾採集微粒有機碳成分偏差示意圖.....	24
圖 3.1.19 離子層析儀分析系統.....	27
圖 3.1.20 碳分析儀 Model 2001A—氣膠有機碳、元素碳分析 .....	32
圖 3.1.21 DRI 2001A 碳分析儀分析結果圖譜範例.....	33
圖 3.1.22 DRI 2001A 碳分析儀分析結果數據範例.....	34
圖 3.1.23 Perkin-Elmer 公司型號 NexIon 300X 感應耦合電漿質譜儀 .....	35
圖 3.2.1 大尺度資料 1 和 2 與中尺度資料 1 和 2 範例.....	59
圖 3.2.2 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-基本模式 .....	64
圖 3.2.3 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-Fpeak 模式 .....	65
圖 3.2.4 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-限制模態 .....	66
圖 3.2.5 科普圖卡—移動污染源污染與生成機制介紹.....	71
圖 4.1.1 2021 年至 2022 年各站 PM <sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分濃度變化.....	82
圖 4.1.2 花蓮、板橋以及忠明站 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度、金屬元素總濃度、各金屬元素成分濃度時間變化.....	84
圖 4.1.3 斗六、嘉義以及小港站 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度、金屬元素總濃度、各金屬元素成分濃度時間變化.....	85
圖 4.1.4 3 月 2 日 13 時、19 時與 3 月 3 日 3 時、19 時台灣鄰近地區風場模擬圖 .....	88
圖 4.1.5 台灣 3 月 2 至 3 日北部測站 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度時間序列、3 月 2 日長程傳輸事件期間 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度逐時變化以及 3 月 3 日觀音、平鎮和新竹站夜間高濃度期間 PM <sub>2.5</sub> 與風速逐時變化.....	89
圖 4.1.6 台灣 3 月 2 至 3 日中部測站 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度時間序列.....	89
圖 4.1.7 台灣 3 月 2 至 3 日南部測站 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度時間序列.....	89
圖 4.1.8 忠明 3 月 2 至 3 日 PM <sub>2.5</sub> 、氣體污染物、氣象因子時間序列 .....	91
圖 4.1.9 斗六 3 月 2 至 3 日 PM <sub>2.5</sub> 、氣體污染物、氣象因子時間序列 .....	91

圖 4.1.10 嘉義 3 月 2 至 3 日 PM <sub>2.5</sub> 、氣體污染物、氣象因子時間序列 .....	92
圖 4.1.11 小港 3 月 2 至 3 日 PM <sub>2.5</sub> 、氣體污染物、氣象因子時間序列.....	92
圖 4.1.12 3 月 21 日 0 時與 12 時臺灣鄰近地區風場模擬.....	93
圖 4.1.13 嘉義 3 月 20 至 21 日 PM <sub>2.5</sub> 、氣體污染物、氣象因子時間序列 .....	95
圖 4.1.14 斗六 3 月 20 至 21 日 PM <sub>2.5</sub> 、氣體污染物、氣象因子時間序列 .....	95
圖 4.1.15 六站 2022 年採樣日各污染因子貢獻 PM <sub>2.5</sub> 濃度時間序列.....	97
圖 4.2.1 各站揮發水溶性無機離子、揮發及吸附有機碳占修正後 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度 比例變化.....	101
圖 4.2.2 2017~2022 年各站 PM <sub>2.5</sub> 及主要化學成分年平均質量濃度及占比.....	108
圖 4.2.3 近六年各站 PM <sub>2.5</sub> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 年平均濃度及不同年度變化趨勢.....	114
圖 4.2.4 近六年各站 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、OC、EC 年平均濃度及不同年度變化趨勢 .....	115
圖 4.2.5 六個測站 PM <sub>2.5</sub> 逐年與季度濃度變化頻率分布盒鬚圖.....	116
圖 4.2.6 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q1 平均濃度變化.....	122
圖 4.2.7 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q2 平均濃度變化.....	123
圖 4.2.8 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q3 平均濃度變化.....	124
圖 4.2.9 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q4 平均濃度變化.....	125
圖 4.2.10 六站 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素 Pb、As、Cr、Cd 空間相似度區域分布 .....	128
圖 4.2.11 各站受體模式推估污染因子歷年和季度平均貢獻濃度.....	131
圖 4.2.12 各站 PM <sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度在地高濃度日相比非高濃度日差異.....	142
圖 4.2.13 在地高濃度污染日 PMF 受體模式推估污染因子占比逐年變化.....	144
圖 4.2.14 中央氣象局觀測能見度與各測站 IMPROVE 修正方程式估算能見度比 較.....	146
圖 4.2.15 以 IMPROVE 修正公式推估 2017-2022 年大氣消光係數 .....	147
圖 4.2.16 以 IMPROVE 修正公式推估 2017-2022 年大氣消光係數與各影響因子貢 獻占比.....	149
圖 4.2.17 花蓮、板橋、忠明站以迴歸方程式推估和觀測能見度關係.....	151
圖 4.2.18 斗六、嘉義、小港站以迴歸方程式推估和觀測能見度關係.....	152
圖 4.2.19 科普宣傳示意圖（不同 PM <sub>2.5</sub> 濃度在低相對濕度的情況.....	154
圖 4.2.20 科普宣傳示意圖（相同 PM <sub>2.5</sub> 濃度在不同相對濕度的情況.....	155
圖 4.2.21 各測站 PM <sub>2.5</sub> 濃度與主要化學成分 CD 及 R <sup>2</sup> 值分布 .....	159
圖 4.3.1 2021 年 12 月~2022 年 10 月天平室溫度和相對濕度監控資料 .....	186
圖 4.3.2 空白濾紙重量變化.....	187
圖 4.3.3 六站水溶性陰、陽無機離子當量濃度平衡比.....	187
圖 4.3.4 2022 年 11 月份離子層析儀陰、陽無機離子檢量線.....	189
圖 4.3.5 水溶性無機離子查核、重複、添加樣本管制圖.....	191
圖 4.3.6 碳分析儀檢量線.....	195
圖 4.3.7 碳成分儀器空白品質管制圖.....	195
圖 4.3.8 碳成分查核樣本品質管制圖.....	196
圖 4.3.9 碳成分重複樣本分析.....	197
圖 4.3.10 2021 年 12 月至 2022 年 11 月質量濃度現場空白隨時間變化.....	210
圖 4.3.11 2021 年 12 月至 2022 年 11 月質量濃度旅運空白隨時間變化.....	211
圖 4.3.12 2022 年 10 月採樣期間六站 E-FRM 三點流量校正 .....	211

計畫名稱: 111 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫

計畫執行單位: 國立中央大學

計畫主持人(包括協同主持人):

李崇德、周崇光、張士昱、莊銘棟、許文昌

計畫期程: 2021 年 12 月 9 日起至 2022 年 12 月 31 日止

計畫經費: 14,940,000 元

### 摘 要

本計畫執行 2022 年臺灣六個測站 PM<sub>2.5</sub> 採樣並分析質量及化學成分濃度，2022 年截至 11 月底各採樣日 PM<sub>2.5</sub> 質量及化學成分濃度從臺灣東部經北部往中、南部逐漸增高，發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，解析的化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源管制的重要性。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日發生的原因多為環境擴散不佳導致污染物累積，雖然有些採樣日受境外污染傳輸影響。2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六三站都高於忠明、板橋、花蓮三站，且多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多；其中，濃度相對高的金屬元素多具有燃煤、鋼鐵業及車輛排放貢獻特徵。

各測站 2022 年相較 2017 年的 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分都有減量，以 EC 削減比例最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，OC 減量比例最低，因此在 PM<sub>2.5</sub> 占比提升。近六年各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分季度空間分布顯示：季度平均濃度以 Q1 為最高，其次多為 Q4，再其次多為 Q2。近六年 Q1~Q3 各測站金屬元素濃度總和最高的年度多為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。2017 年至 2022 年各測站 PMF 受體模式污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 的最高平均濃度，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」；說明除了 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 也需要進行管制。近六年忠明（含）以南的四個測站 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日發生時，最高平均濃度的化學成分都是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，因此，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>前趨污染源的管制對 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日的減少非常重要。近六年分析指出中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。2021 年 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度增高，斗六、嘉義和小港站部分原因是受 Q1

乾旱影響。 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 OC 在斗六、嘉義、小港測站有高空間相似度，可能受區域性污染影響； $\text{NO}_3^-$ 在各測站的空間相似度較低，應以在地污染影響為主。

總結來說，本計畫解析 2022 年臺灣六個測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度時間和空間分布，結合 2017~2022 年數據，釐清六年來  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度及影響因子變化趨勢，研究成果同時提供了污染源管制方向。

**關鍵詞：** $\text{PM}_{2.5}$  化學成分，時間與空間分布， $\text{PM}_{2.5}$  污染源，大氣能見度

## 英文摘要

This project collected PM<sub>2.5</sub> to analyze mass and chemical speciation concentrations at the six stations in Taiwan. The PM<sub>2.5</sub> mass and chemical speciation concentrations increased from the east through the north to the central and south of Taiwan for the sampling days ended by November 2022. The three most frequently occurring high PM<sub>2.5</sub> concentration days for stations were in the order of the Chiayi, Xiaogang, and Douliu stations. The resolved chemical speciation characteristics persistently revealed the importance of controlling NO<sub>x</sub> pollution sources. The high PM<sub>2.5</sub> concentration days were largely due to bad environmental ventilation causing pollutant accumulations although some sampling days were influenced by transboundary transport. The summed metal elemental concentrations of the three stations at Xiaogang, Chiayi, and Douliu were higher than that of the Zhongming, Banqiao, and Hualien stations, with various high-concentration metal elements indicating multiple sources. Among relatively high-concentration metal elements were those characterized by the emissions from coal burning, iron and steel manufacturing, and vehicles.

Comparing 2022 to 2017 for all stations, the PM<sub>2.5</sub> mass and major chemical speciation concentrations were all reduced, with the highest reduction fraction in EC followed by SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, and the lowest in OC, and thus a rise of OC in PM<sub>2.5</sub> proportion. The quarterly spatial distribution showed that Q1 was the highest quarter of the PM<sub>2.5</sub> mass and major chemical speciation concentrations followed by Q4 and Q2 in most stations for the most recent six years. The highest summed metal elemental concentrations in Q1~Q3 were frequently in 2021 and Q4 in 2019 for the most recent six years. The quarterly contributions of pollution factors of PMF receptor modeling showed that the highest concentration in Q1 was predominantly contributed by “Nitrate” followed by “Sulfate” and “Vehicle Emissions” in all stations from 2017 to 2022. This fact implies that SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and OC must also be controlled in addition to NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. For the high PM<sub>2.5</sub> concentration days, the highest average concentration of chemical species was NO<sub>3</sub><sup>-</sup> for the four stations south of the Zhongming (included) in the most recent six years. Therefore, controlling the precursor pollution sources of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> is crucial to reducing the high PM<sub>2.5</sub> concentration days. A rise in PM<sub>2.5</sub> mass concentration in 2021 can be partly accounted for by the influence of dry weather in Q1 at the Douliu, Chiayi, and Xiaogang stations. The high spatial similarity of PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and OC at the Douliu,



Chiayi, and Xiaogang stations may indicate an influence of regional pollution sources. In contrast, the low spatial similarity of  $\text{NO}_3^-$  among all stations implies the predominant influence of local pollution sources.

In summary, this project analyzed the temporal and spatial distributions of the  $\text{PM}_{2.5}$  mass and chemical speciation concentrations. It summarized 2017~2022 data to clear out the variation trends of the influential factors and  $\text{PM}_{2.5}$  mass and chemical speciation concentrations. The direction for controlling pollution sources is also provided in the study results.

**Keywords:**  $\text{PM}_{2.5}$  chemical speciation, Temporal and spatial distributions,  $\text{PM}_{2.5}$  pollution sources, Atmospheric visibility

## 前 言

細懸浮微粒（氣動直徑小於或等於  $2.5\ \mu\text{m}$  懸浮微粒，簡稱為  $\text{PM}_{2.5}$ ）對於大氣環境變遷與民眾健康危害影響重大。每當空氣品質惡化造成能見度不佳時， $\text{PM}_{2.5}$  就成為民眾及媒體關注焦點，於是管制  $\text{PM}_{2.5}$  污染源成為環保單位重任。臺灣西部平原地狹人稠污染源密度高，使  $\text{PM}_{2.5}$  來源複雜，污染源解析難度提升；解析  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分可推估  $\text{PM}_{2.5}$  污染來源，提出管制策略並評估成效。為了確實量測環境中  $\text{PM}_{2.5}$  實際狀況，在採樣及化學成分分析方法的選擇上，要採用能補償修正  $\text{PM}_{2.5}$  半揮發成分在採樣過程的揮發，並去除其前驅氣體干擾的採樣方法，然後審慎地進行採樣與實驗分析，方能釐清  $\text{PM}_{2.5}$  各種化學成分在大氣真實濃度。過去，本計畫都以能修正各項干擾的量測方法，獲得  $\text{PM}_{2.5}$  各種化學成分濃度，分析多年來在各地的  $\text{PM}_{2.5}$  檢測成果（李等，2012；2013；2015；2016；2017；2018；2019；2020；2021），發現  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度普遍在各地逐年降低，證實空氣污染管制具有成效。歷年研究成果指出：臺灣  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度由東部至北部往中、南部升高，以第一季濃度最高，第三季濃度最低，各地濃度最高化學成分隨  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度而變動。臺灣西部  $\text{PM}_{2.5}$  污染事件多為在地污染累積所造成，事件中  $\text{NO}_3^-$  濃度往往最高，特別是南部地區，顯示  $\text{NO}_x$  排放源需更加緊管制。

整體而言，本計畫本年度持續在台灣東部、北部至南部等六個環保署空氣品質監測站，每六天同步採樣一次（第三季為每十二天一次）；期望能建構  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分監測網及其資料庫，以  $\text{PM}_{2.5}$  各種化學成分在大氣真實濃度解析時間與空間分布特徵，分析歷年來  $\text{PM}_{2.5}$  各種化學成分變動趨勢，提供有關單位評估污染管制成效，協助環保署對外說明及增進民眾環保識能。

## 執行方法

本計畫所使用的工作方法，包括分成  $\text{PM}_{2.5}$  採樣計畫、實驗分析方法、數據分析方法。為執行細懸浮微粒（ $\text{PM}_{2.5}$ ）化學成分採樣檢測作業，本年度每六天一次在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮站進行同步採樣一次（第三季為每十二天一次）。

本計畫按照品保規劃書訂定樣本蒐集、存放與運送準則，送往指定實驗室分析樣本質量濃度、水溶性無機離子、碳成分及金屬元素成分，並完成各項分析樣本品保報告，數據資料經確認無誤後，始進行各項數據解析。

## 結果

本計畫執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測及資料分析，主要成果包括：PM<sub>2.5</sub> 質量濃度手動量測同址與鄰近測站比對、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分檢測時間序列、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分時間與空間分布特徵及影響因素、PM<sub>2.5</sub> 高濃度成因與特徵解析、PM<sub>2.5</sub> 污染源解析與能見度影響因子、各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術、PM<sub>2.5</sub> 採樣監測分析品保作業。

2022 年截至 11 月底各採樣日 PM<sub>2.5</sub> 質量及化學成分濃度從臺灣東部經北部往中、南部逐漸增高，發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，解析的化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源管制的重要性。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日發生的原因多為環境擴散不佳導致污染物累積，雖然有些採樣日受境外污染傳輸影響。2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六三站都高於忠明、板橋、花蓮三站，且多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多；其中，濃度相對高的金屬元素多具有燃煤、鋼鐵業及車輛排放貢獻特徵。

各測站 2022 年相較 2017 年的 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分都有減量，以 EC 削減比例最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，OC 減量比例最低，因此在 PM<sub>2.5</sub> 占比提升。近六年各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分季度空間分布顯示：季度平均濃度以 Q1(第一季(1-3 月))為最高，其次多為 Q4(第四季(10-12 月))，再其次多為 Q2(第二季(4-6 月))。近六年 Q1~Q3(第三季(7-9 月))各測站金屬元素濃度總和最高的年度多為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。2017 年至 2022 年各測站 PMF 受體模式污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 的最高平均濃度，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」；說明除了 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 也需要進行管制。近六年忠明（含）以南的四個測站 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日發生時，最高平均濃度的化學成分都是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，因此，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>前趨污染源的管制對 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日的減少非常重要。近六年分析指出中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。2021 年 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度增高，斗六、嘉義和小港站部分原因是受 Q1 乾旱影響。PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 在斗六、嘉義、小港測站有高空間相似度，可能受區域性污染影響；NO<sub>3</sub><sup>-</sup>在各測站的空間相似度較低，應以在地污染影響為主。

## 結 論

本年度在六個測站，每六天（第三季為每十二天）同步執行一次 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測，同時持續彙整最近六年觀測數據執行數據解析作業，各項成果分成「例行檢測作業（2022 年）」及「化學成分時間與空間分布特徵及影響因素（2017 年至 2022 年）」兩方面，彙整如底下結論。

### 例行性檢測作業（2022 年）

1. 本計畫例行採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，與環保署相同採樣日常規採樣數據具有可比性，兩種手動採樣在各測站的季度平均濃度差異在  $\pm 1 \mu\text{g m}^{-3}$  以內，濃度比值的季度平均值分布範圍為 0.91~1.09，相對差異百分比的季度平均值都在 3% ~ 14% 範圍內。各站化學成分解析比例平均為 76%~93%，所解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度足以解釋各採樣日質量濃度變化特徵。
2. 例行性採樣截至 2022 年 11 月底，各採樣日 PM<sub>2.5</sub> 濃度及化學成分空間變化特徵顯示，發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件（ $\text{PM}_{2.5} \geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ ）日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源管制的重要性，雖然有些採樣日受境外污染傳輸影響，但高濃度事件日發生原因多為環境擴散不佳導致污染物累積。
3. 2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六各站都高於忠明、板橋、花蓮各站，且多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多；其中，濃度相對高的金屬元素多具有燃煤、鋼鐵業以及車輛排放貢獻特徵。
4. 2022 年 3 月 3 日忠明、斗六、嘉義以及小港站高濃度事件主要是當天持續低風速導致的在地污染，但也受到 3 月 2 日境外污染傳輸和在地污染導致的前夜污染殘留影響。3 月 21 日嘉義與斗六測站的高濃度事件主要受到環境擴散不佳的在地污染影響，部分時間受到交通排放和外地污染傳輸影響。

### 化學成分時間與空間分布特徵及影響因素（2017 年至 2022 年）

5. 彙整 2017 年至 2022 年 11 月透過雙層濾紙採樣進行修正，各測站水溶性無機離子濃度占修正 PM<sub>2.5</sub> 濃度可避免低估 2.6%~6.4%，有機碳成分占修正 PM<sub>2.5</sub> 濃度可避免高估 0.4%~3.3%，兩者加總平均可避免 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度被低估約 5.0%~8.3%。
6. 各測站 2022 年相較 2017 年的 PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、OC、EC 削減比

例平均分別為 34%、48%、39%、45%、25%、51%，以 EC 削減比例最高，其次為  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NH}_4^+$ ，OC 削減比例最低，這指出後續可以努力減量的前驅污染源。

7.  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分的季度變化與質量濃度變化相同，由東部向北部往中、南部增大，季度空間分布顯示各測站  $\text{PM}_{2.5}$  近六年季度平均質量濃度以 Q1 為最高，其次多為 Q4，再其次多為 Q2。管制  $\text{NO}_3^-$  前趨污染源可大為改善 Q1 和 Q4 的高濃度，OC 和  $\text{SO}_4^{2-}$  的減量則是對各季度都有穩定降低  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度效果。
8. 2017 年到 2022 年各季度的金屬元素加總濃度都是由東部往北部再往中、南部遞增，2021 年的金屬元素濃度總和為六年中最高年度，可能與工業活動上升有關。2022 年各測站金屬元素濃度總和降低，Q1~Q3 各測站季度金屬元素濃度總和最高年度為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。
9. 六年來危害性金屬元素 Pb 與 Cd 在中部至雲林地區污染來源相似度高，As 則從中部至嘉義，甚至可遠達高雄地區間的污染來源具有高相似度，在高相似度區域內污染管制策略可以相近。金屬元素 Cr 六年來都呈現在地污染特徵，管制策略以因地制宜較具有效益。
10. 分析  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分三到六年年平均濃度延伸趨勢，各測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量及主要化學成分濃度都呈現下降趨勢，各趨勢線多以三年延伸趨勢斜率最平緩，四年延伸趨勢現斜率最陡峭，顯示各主要化學成分前驅污染源受到減量成效差異和環境因素不相等程度的影響，EC 各趨勢線下降斜率最陡峭，可能受益於近年來政府補助柴油車輛汰舊及裝設防制設備， $\text{SO}_4^{2-}$  各趨勢線下降斜率陡峭度次之，可能受能源轉換及鍋爐汰換政策影響。 $\text{NO}_3^-$  和 OC 各趨勢線下降斜率相對平緩，顯示需要再加強的管制策略。
11. 六年來  $\text{PM}_{2.5}$  一、二次有機碳成分時空分布特徵顯示除斗六和小港站以外，其他各站的 OC 主要為 POC(一次有機碳)，特別是板橋站有最高的占比 (71%)，表示多數測站 OC 主要源自於污染源的直接排放。
12. 2017 年至 2022 年各站 PMF 受體模式污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 有最高濃度主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」，說明除了  $\text{NO}_3^-$ ， $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 也需要進行管制。
13. 分析 IMPROVE 方程式推估的 2017 至 2022 年 11 月各化學成分對大氣能見

度影響顯示：中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯，有機物近六年雖然對大氣能見度的影響持平，但仍需持續減量才能有更好的大氣能見度。

14. 六個測站的  $PM_{2.5}$  及主要化學成分濃度在 2021 年濃度增高，南部的斗六、嘉義和小港站部分原因是受 Q1 乾旱影響， $OC$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $NH_4^+$ 及  $NO_3^-$ 相較於 2020 年 Q1 高 13%以上。
15. 花蓮站位於東部非都會區空氣品質良好，各項污染物濃度都較低，和西部測站空間相似度低。斗六、嘉義、小港測站  $PM_{2.5}$ 、 $SO_4^{2-}$ 和  $OC$  有不錯的空間相似度，可能受區域性污染影響； $NO_3^-$ 在各都會區間測站的空間相似度較低，應以受在地污染影響為主。
16. 本年度彙整各國家執行  $PM_{2.5}$  化學成分採樣檢測經驗與最新技術文獻 33 篇，涵括  $PM_{2.5}$  高濃度占比成分特徵及生成機制、受體模式應用技術、長期觀測應用庫資料及建立、空氣品質與健康風險等八個面向資訊。

## **建議事項**

1. 2022 年 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日數最高前三站都在南部，化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源需持續加緊管制。
2. 對於減少 PM<sub>2.5</sub> 高濃度日發生頻率與提升中南部大氣能見度，建議持續加強 NO<sub>x</sub> 與 VOCs 排放管制。
3. 最近六年數據分析顯示，每年 Q1 PM<sub>2.5</sub> 濃度最高，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」，為降低 Q1 PM<sub>2.5</sub> 濃度，建議持續管制 NO<sub>x</sub> 排放源、重視固定源凝結性 PM<sub>2.5</sub> 的排放與管制、持續管制車輛排放及 VOCs 逸散源。
4. 近六年各化學成分對大氣能見度影響顯示：中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。

## 報告大綱

為執行細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分採樣檢測作業，本年度每六天一次（第三季為每十二天）在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮站進行同步「例行採樣」。彙整例行採樣成果解析其時間與空間分布特徵及影響因素，以提供污染源管制建議。

採樣完成後相關內容共分成七章，分別為背景、年度目標、工作方法、結果與討論、結論與建議、參考文獻及附錄資料。第一章「背景」，說明本計畫緣起、重要性、主要工作內容。第二章「年度目標」，列出本計畫主要目標、詳細工作內容、預定工作進度及查核要點。第三章提出本計畫「工作方法」，工作方法說明按照本計畫年度目標要求，分別說明各項目標採樣與檢測作業方法以及數據解析方法，內容包含：工作方法敘述採樣地點選擇、採樣類型、時程規劃、採樣地點現勘、採樣及實驗分析人員及行程分配、PM<sub>2.5</sub> 採樣設備及方法、去除大氣干擾物方法、PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測方法、檢驗分析方法品管、檢測數據品保規劃說明、資料分析方法等項目。第四章的「結果與討論」是本計畫最主要的成果展現，內容包含本計畫「例行採樣」與同址或鄰近測站環保署「常規採樣」數據比對、量化半揮發性成分吸附與揮發干擾修正、本年度 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度時間序列、PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件分析、PM<sub>2.5</sub> 污染源解析、2017~2022 年 PM<sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分濃度時間與空間分布特徵與影響因子分析、PM<sub>2.5</sub> 特定重金屬空間分布相似度分析、PM<sub>2.5</sub> 高濃度成因分析、能見度影響因子與科普宣傳、各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術、污染源管制策略建議。第五章列出本計畫執行前述各項成果的「結論與建議」。第六章列出各項論述引用「參考文獻」。第七章呈列各章節所需補充參考資料。



## 執行摘要

### 計畫目的

本計畫旨在辦理 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣與檢測作業，解析其時間與空間分布特徵及影響因素；推估各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源與影響能見度之 PM<sub>2.5</sub> 化學成分和氣象因子，提供污染源管制策略評估之參考；彙集國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測經驗與最新技術發展及科普宣傳。

### 成果

依據工作目標執行相關 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測及資料分析，主要成果包括：本計畫「例行採樣」與同址或鄰近測站環保署「常規採樣」數據比對、量化半揮發性成分吸附與揮發干擾修正、本年度 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度時間序列、PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件分析、PM<sub>2.5</sub> 污染源解析、2017~2022 年 PM<sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分濃度時間與空間分布特徵與影響因子分析、PM<sub>2.5</sub> 特定重金屬空間分布相似度分析、PM<sub>2.5</sub> 高濃度成因分析、能見度影響因子與科普宣傳、各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術、污染源管制策略建議。。

本計畫執行 2022 年臺灣六個測站 PM<sub>2.5</sub> 採樣並分析質量及化學成分濃度，2022 年截至 11 月底各採樣日 PM<sub>2.5</sub> 質量及化學成分濃度從臺灣東部經北部往中、南部逐漸增高，發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，解析的化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源管制的重要性。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日發生的原因多為環境擴散不佳導致污染物累積，雖然有些採樣日受境外污染傳輸影響。2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六三站都高於忠明、板橋、花蓮三站，且多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多；其中，濃度相對高的金屬元素多具有燃煤、鋼鐵業及車輛排放貢獻特徵。

各測站 2022 年相較 2017 年的 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分都有減量，以 EC 削減比例最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，OC 減量比例最低，因此在 PM<sub>2.5</sub> 占比提升。近六年各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分季度空間分布顯示：季度平均濃度以 Q1(第一季(1-3 月))為最高，其次多為 Q4(第四季(10-12 月))，再其次多為 Q2(第二季(4-6 月))。近六年 Q1~Q3(第三季(7-9 月))各測站金屬元素濃度總和最高的年度多為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。2017 年至 2022 年各測站 PMF 受體模式污

染因子季度貢獻變化顯示 Q1 的最高平均濃度，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」；說明除了  $\text{NO}_3^-$ ， $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 也需要進行管制。近六年忠明（含）以南的四個測站  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日發生時，最高平均濃度的化學成分都是  $\text{NO}_3^-$ ，因此， $\text{NO}_3^-$  前趨污染源的管制對  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日的減少非常重要。近六年分析指出中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。2021 年  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度增高，斗六、嘉義和小港站部分原因是受 Q1 乾旱影響。 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 在斗六、嘉義、小港測站有高空間相似度，可能受區域性污染影響； $\text{NO}_3^-$  在各測站的空間相似度較低，應以在地污染影響為主。

總結來說，本計畫解析 2022 年臺灣六個測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度時間和空間分布，結合 2017~2022 年數據，釐清六年來  $\text{PM}_{2.5}$  質量及化學成分濃度及影響因子變化趨勢，研究成果同時提供了污染源管制方向。

## **建議**

1. 2022 年  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日數最高前三站都在南部，化學成分特徵持續彰顯出  $\text{NO}_x$  污染源需持續加緊管制。
2. 對於減少  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度日發生頻率與提升中南部大氣能見度，建議持續加強  $\text{NO}_x$  與 VOCs 排放管制。
3. 最近六年數據分析顯示，每年 Q1  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」，為降低 Q1  $\text{PM}_{2.5}$  濃度，建議持續管制  $\text{NO}_x$  排放源、重視固定源凝結性  $\text{PM}_{2.5}$  的排放與管制、持續管制車輛排放及 VOCs 逸散源。
4. 近六年各化學成分對大氣能見度影響顯示：中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。

# 一、背景

## 章節摘要

本章簡述計畫背景，指出為持續改善我國空氣品質，主管機關政策推行需仰賴符合學理和實況的管制策略制定。因此，採樣過程需審慎採用能矯正 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度正、負偏差及去除前驅氣體干擾的方法，藉此高度還原環境背景 PM<sub>2.5</sub> 濃度，確認採樣數據與其他同址採樣數據具有可比較性，釐清數據背後環境意義，方能有助於制定合理的管制策略。

細懸浮微粒（氣動直徑小於或等於 2.5 μm 懸浮微粒，簡稱為 PM<sub>2.5</sub>）對於大氣環境變遷與民眾健康危害影響重大。每當空氣品質惡化造成能見度不佳時，PM<sub>2.5</sub> 就成為民眾及媒體關注焦點，於是管制 PM<sub>2.5</sub> 污染源成為環保單位重任。臺灣西部平原地狹人稠污染源密度高，使 PM<sub>2.5</sub> 來源複雜，污染源解析難度提升；解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分可推估 PM<sub>2.5</sub> 污染來源，提出管制策略並評估成效。為了確實量測環境中 PM<sub>2.5</sub> 實際狀況，在採樣及化學成分分析方法的選擇上，要採用能補償修正 PM<sub>2.5</sub> 半揮發成分在採樣過程的揮發，並去除其前驅氣體干擾的採樣方法，然後審慎地進行採樣與實驗分析，方能釐清 PM<sub>2.5</sub> 各種化學成分在大氣真實濃度。過去，本計畫都以能修正各項干擾的量測方法，獲得 PM<sub>2.5</sub> 各種化學成分濃度，多年來在各地的 PM<sub>2.5</sub> 檢測作業（李等，2012；2013；2015；2016；2017；2018；2019；2020；2021），發現 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度普遍在各地逐年降低，證實空氣污染管制具有成效。分析歷年研究成果，本計畫歸納出：臺灣 PM<sub>2.5</sub> 由東部至北部往南部質量濃度升高，以第一季濃度最高，第三季濃度最低。臺灣西部 PM<sub>2.5</sub> 污染事件多為在地污染累積所造成，事件中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度往往最高，特別是南部地區，顯示 NO<sub>x</sub> 排放源需更加緊管制，但模式模擬指出 VOCs 也需同時控制，以避免 O<sub>3</sub> 濃度上升（李等，2020；2021）。2020 年以後，各地因新型冠狀肺炎（Covid-19）疫情影響，導致 PM<sub>2.5</sub> 濃度出現預期以外的變化，後續效應值得持續評估。

整體而言，本計畫本年度持續在台灣東部、北部至南部等六個環保署空氣品質監測站，每六天同步採樣一次（第三季為每十二天一次）；期望能建構 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測網及其資料庫、以 PM<sub>2.5</sub> 各種化學成分在大氣真實濃度解析時間與空間分布特徵、分析歷年來 PM<sub>2.5</sub> 各種化學成分變動趨勢、提供有關單位評估污染管制成效、協助環保署對外說明及增進民眾環保識能。

## 二、年度目標

### 章節摘要

本章依據評選須知，列出年度工作目標含括執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業、解析時間與空間分布特徵及影響因素。採樣檢測在六個採樣地點每六天同步採樣一次，分析的化學成分有水溶性無機離子、碳成分及金屬元素成分，並對實驗數據的品保與品管作業做說明。化學成分的時間與空間分布特徵及影響因素需結合空品站氣象因子進行數據解析，推估污染來源、評估大氣能見度影響因子、製作科普宣傳是重要工作項目。

根據服務投標須知相關規定，本年度的計畫目標如下：

- 一、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業
- 二、解析時間與空間分布特徵及影響因素

### 2.1 計畫工作內容

針對上述計畫目標，服務投標須知相關規定列出計畫工作內容至少應包含：

#### 一、各項工作內容說明

##### (一) 執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業

1. 採樣地點：環保署所設置空氣品質監測站板橋、忠明、斗六、嘉義、小港及花蓮站同步執行採樣工作。
2. 採樣儀器：使用環保署所購置之 PM<sub>2.5</sub> 採樣器執行採樣作業，應定期維護清理採樣儀器，每次採樣前後應執行儀器測漏及流量校正。
3. 採樣頻率及數量：每個採樣地點除 6-8 月（夏季期間）為每 12 天一次，其餘月份為每 6 天一次，實際採樣頻率依本署需求及高濃度季度視情況調整，並視本署需要配合解析其他指定 PM<sub>2.5</sub> 污染來源及種類。
4. PM<sub>2.5</sub> 化學成分分析
  - (1) 碳成分採樣及分析：以石英濾紙採集 PM<sub>2.5</sub> 樣品，並以不同溫度分析各種碳成分。選用的採樣分析方法須能矯正濾紙微粒揮發及空氣中揮發性有機物之干擾；選用之檢測分析方法同時進行裂解碳矯正。
  - (2) 水溶性陰陽離子與採樣及分析：以鐵氟龍濾紙採集 PM<sub>2.5</sub> 樣品，至少分析 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>等 8 項陰陽離子，並針對 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 等離子成分揮發進行修正。

- (3) 金屬離子採樣及分析：以鐵氟龍濾紙採集 PM<sub>2.5</sub> 樣品，應至少分析 22 種元素。例如：鋁(Al)、鐵(Fe)、鈉(Na)、鎂(Mg)、鉀(K)、鈣(Ca)、銦(Sr)、鋇(Ba)、鈦(Ti)、錳(Mn)、鎳(Ni)、銅(Cu)、鋅(Zn)、鉬(Mo)、鎘(Cd)、錫(Sn)、銻(Sb)、鉛(Pb)、釩(V)、鉻(Cr)、砷(As)、硒(Se)等元素。
  - (4) 結合氣象資料，解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度之時間與空間分布特徵及影響因子，提供污染管制策略修訂之參考。
  - (5) 依據 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，並配合解析採樣地點污染之空間、時間分布特徵及影響因子。
5. 計畫書內容需包括 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣及檢測分析之品保與品管規劃書。

## (二) 解析時間與空間分布特徵及影響因素

1. 推估各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源、與影響監測地區能見度之 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子，提供污染源管制策略評估之參考。
2. 採用國際通用受體模式解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，推估各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源。
3. 採用統計分析技術，推估影響監測地點鄰近氣象局儀器或人工檢測能見度之 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子。
4. 依上述分析結果，提供污染源管制策略評估之建議。
5. 蒐集比較中國大陸、日本、韓國、美國及歐洲等國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術，並蒐集細懸浮微粒監測相關文獻至少 30 篇。
6. 環保署辦理活動(如記者會)或網站展示，協助提供 PM<sub>2.5</sub> 化學成分相關圖卡內容等資訊。

## 二、其他需求、配合事項

### (一) 設備需求

1. 環保署提供設備項目：
  - (1) PM<sub>2.5</sub> 手動質量濃度採樣器 (MetOne E-FRM) 及 PM<sub>2.5</sub> 微粒成分濃度採樣器 (MetOne SASS) 各 10 台，得標廠商應另負責相關採樣設備維護及儀器搬運安裝。
  - (2) 層流式一級標準流量計 (Molbloc/Molbox1，附溫度及壓力計 1 組)，提供流量追溯校正。
2. 得標廠商應自備設備項目 (環保署提供項目外) 包含：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 手動質量濃度採樣器 (MetOne E-FRM) 及 PM<sub>2.5</sub> 微粒成分濃度採樣器 (MetOne SASS) 維護零件及相關耗材。
- (2) 傳輸標準氣體流量計 (5 mL~30 L (準確度 $\leq\pm 1\%$ ), 附溫度、壓力感應器, 並可供正負壓二種氣源追溯校正; 其中 1 組需為乾式氣體流量計, 置於環保署品保室供追溯校正及稽查使用)。
- (3) 標準時鐘/計時器 ( $\leq\pm 5$  min)。
- (4) 大氣壓力計、乾濕度計、一級標準溫度計。

## (二) 計畫執行及進度需求

1. 得標廠商須具備專業採樣技術及採樣器故障排除之專業技能, 以確保採樣完整性。
2. 得標廠商應於得標後 1 個月內, 完成品保規劃書修正定稿, 採樣點現勘、儀器檢驗測試作業 SOP 初稿及相關採樣之預準備, 並於第 1 次工作進度報告說明。
3. 採樣及檢測方法: 原則依環保署公告之採樣及檢驗方法為主, 環保署未公告者依美國環保署或其他經政府機關認可之研究方法, 得標廠商須依我國空品特性, 建議合適之方法, 經環保署同意後方可執行。
4. 計畫執行期間, 如因天候因素或不可歸責於己之因素致無法完成採樣檢測, 須於 1 週內提出理由說明及變更或補充採樣計畫。惟如截至計畫結束前 1 個月, 仍無法完成採樣檢測分析時, 環保署依雙方議定合約中之單價及數量扣減費用。
5. 本計畫之品保等級為 A 級, 得標廠商須依環保署環境檢驗所頒訂「環保署委託計畫品保規劃書撰寫要項」撰寫(格式可至環保署環境檢驗所網頁下載)品保規劃書, 並於得標後 14 天內提交品保規劃書(應詳細說明各檢測項目分析原理、步驟), 經環保署審核通過後據以執行。計畫執行期間, 應嚴格執行各項品保品管措施。
6. 計畫執行期間除需落實各項品保、品管及安全措施外, 並請注意符合智慧財產權相關規定。本計畫執行成果版權屬於環保署, 未經環保署授權不得任意對外發布。
7. 得標廠商應指定專人負責本計畫協調聯繫工作, 並配合環保署需求, 召開工作檢討會議(含各項工作會議錄音、記錄及資料彙整等)。

## 2.2 計畫工作內容進度及達成率

本計畫採樣日程配合環保署空氣品質監測站各地手動檢測 PM<sub>2.5</sub> 日程，每六天採樣一次（第三季為每十二天一次）。採樣器於計畫執行前經由廠商維護，檢驗報告於附錄光碟中。

本計畫於 2021 年 12 月 2 日放置樣本，12 月 3 日開始採樣，高濃度再視情況調整頻率。表 2.2.1 列出本計畫報告截止時間執行工作進度及查核點。

表 2.2.1 本計畫 2022 年度實際執行進度及查核點

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	年別	110	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
	月份	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. 每 6 天 1 次同步執行六站 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業。													
1.1 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度量測													
1.2 分析例行樣本水溶性陰陽離子													
1.3 分析例行樣本碳成分													
1.4 分析例行樣本金屬元素													
2. 解析 PM <sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度時間與空間分布特徵及影響因子。													
3. 推估各監測地區 PM <sub>2.5</sub> 污染來源、與影響監測地區能見度因子，提供污染源管制策略評估參考。													
4. 蒐集比較各國執行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術，並蒐集細懸浮微粒監測相關文獻至少 30 篇。													
5. 繳交品保規劃書修定稿、第一次工作進度、期中、成果報告初稿。													
預定進度累積百分比（%）		10	20	25	30	40	45	55	65	75	85	90	100
查核點	預定完成時間						查核點內容說明						
品保規劃書	得標後 1 個月內						品保規劃書修定稿。						
第一次工作進度報告	得標後 2 個月內						PM <sub>2.5</sub> 依行程採樣、完成 110 年 12 月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析。						
期中報告	完成 111 年 1 月至 6 月採樣						完成 111 年 1 月至 5 月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析。						
成果報告(定稿)	完成 111 年 1 月至 11 月採樣						完成 110~111 年 12 個月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析成果。						

表 2.2.2 本計畫 2022 年度實際執行進度及查核點說明

契約書之預定進度累積百分比 (%)		100%			實際執行進度 (%)	100%	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析 (打√)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
1. 每六天一次同步執行六站 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業。	100	√					
1.1 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度量測	100	√					
1.2 分析例行樣本水溶性陰陽離子	100	√					
1.3 分析例行樣本碳成分	100	√					
1.4 分析例行樣本金屬元素	100	√					
2. 解析 PM <sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度時間與空間分布特徵及影響因子。	100	√					
3. 推估各監測地區 PM <sub>2.5</sub> 污染來源、與影響監測地區能見度因子，提供污染源管制策略評估參考。	100	√					
4. 蒐集比較各國執行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術，並蒐集細懸浮微粒監測相關文獻至少 30 篇。	100			√			
5. 繳交品保規劃書修定稿、第一次工作進度、期中、成果報告。	100	√					
查核點	預定完成時間	查核點內容說明					
品保規劃書	得標後 1 個月內	品保規劃書修定稿。					
第一次工作進度報告	得標後 2 個月內	PM <sub>2.5</sub> 依行程採樣、完成 110 年 12 月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析。					
期中報告	完成 1 月至 6 月採樣	完成 111 年 1 月至 5 月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析。					
成果報告(定稿)	完成 1 月至 11 月採樣	完成 110~111 年 12 個月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析成果。					



## 三、工作方法

### 章節摘要

本章敘述執行本計畫所使用的工作方法，為達成本年度兩項主要工作目標，本章對應列出達成目標工作方法，第一部分「執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業」，列出採樣作業、各項化學成分分析作業方法、品管作業及品保規畫說明；第二部分「解析時間與空間分布特徵及影響因素」，說明各項數據分析方法及參考文獻，並以近年計畫執行成果做為範例。

### 3.1 執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業

本節各項工作執行方法包括：採樣地點及時程規劃、採樣及實驗分析人員及行程分配、細懸浮微粒採樣設備及方法、各項化學成分檢驗分析方法介紹、檢驗分析方法品管、檢測數據品保規劃等，底下分別進行簡要描述。

圖 3.1.1 呈現本計畫實驗分析與數據解析基本流程架構，計畫流程可分為兩大主軸，第一個主軸為樣本採集及化學成分分析，採集並分析臺灣北、中、南及東部六個環保署空品監測站的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與其化學成分，將分析的化學成分數據應用於解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分時空分布特徵、揮發與吸附矯正、事件日成分特徵等議題；第二個主軸彙整環保署空氣品質監測站以及中央氣象局相關的環境、氣象、大氣能見度等監測資料，將各類型環境監測數據整合，彙整計畫執行期間各季度及各採樣日環境因子、污染前驅氣體濃度及 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度監測值。橫向連結兩個主軸成果可用以推估污染來源、大氣能見度、探討化學成分特徵引申意義，最後綜合解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分的時間和空間分布以及污染來源特徵。

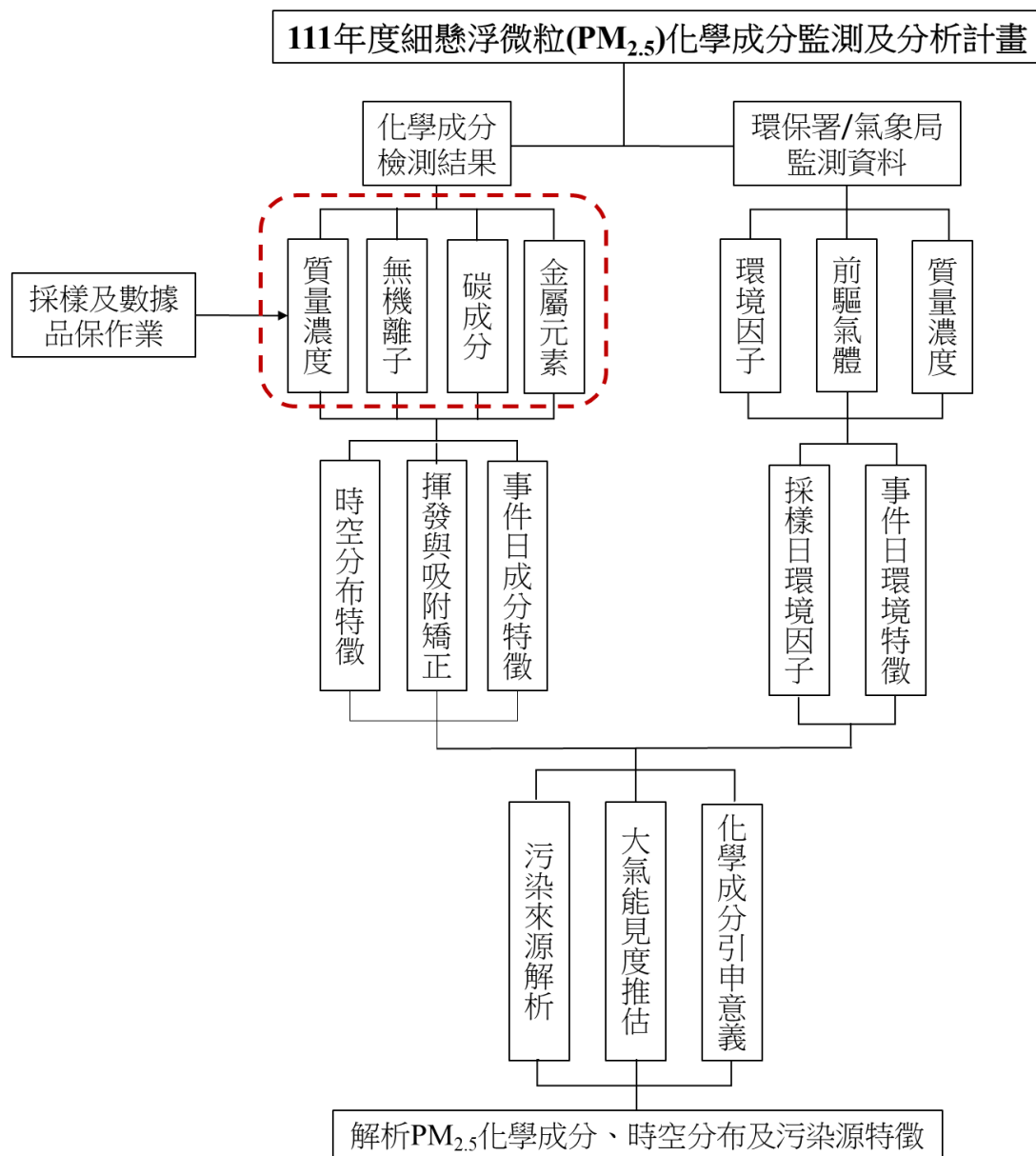


圖 3.1.1 本計畫執行架構

### 3.1.1 採樣地點及時程規劃

根據服務投標須知相關規定，本計畫持續進行在板橋、忠明、小港、斗六、嘉義及花蓮測站每六天採樣一次(第三季為每十二天一次)的例行採樣，各採樣地點及主要的樣本分析實驗室地理位置如圖 3.1.2 所示。從民眾暴露 PM<sub>2.5</sub> 人口密度及工業來源影響來評估，板橋站為北部地區適當採樣測站，板橋站同時是環保署 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度常規監測站。忠明站位於臺中都會區內，可以反映出中部地區民眾暴露 PM<sub>2.5</sub> 濃度，它也是一個環保署 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度常規監測站。斗六、嘉義地區的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，秋季至隔年春季常有高濃度，其數值比我國空氣品質

標準日平均值高，常態性地檢測這兩個測站，可瞭解兩個地區高濃度期間  $PM_{2.5}$  污染特性。小港站位於高雄市臨海重工業區，附近工廠林立人口也密集，可以同時反映民眾暴露於都市機動車輛和工業污染情形。花蓮站  $PM_{2.5}$  質量濃度年平均值優於空氣品質標準，納入監測，可做為與西部都會區比對的背景測站。

各採樣測站位置、監測高度、空氣品質監測項目等資訊列於表 3.1.1，四個方位景象呈現於圖 3.1.3 至圖 3.1.8。



圖 3.1.2 本計畫採樣監測站地理位置(★代表採樣地點，■為主要分析實驗室)

表 3.1.1 本計畫 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣監測站相關資訊

監測站	測站種類	監測項目	採樣口高度	測站位置	地 址
花蓮	一般空品及質量濃度常規量測站	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> (自動), PM <sub>2.5</sub> (手動), 溫度, 濕度, 風速, 風向, 雨量	14.5 公尺	中正國小	花蓮縣花蓮市中正路 210 號
板橋	一般空品及質量濃度常規量測站	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , THC, NMHC, CH <sub>4</sub> , PM <sub>2.5</sub> (自動), PM <sub>2.5</sub> (手動), 溫度, 濕度, 風速, 風向, 雨量	19.5 公尺	新北市立板橋高級中學	新北市板橋區文化路一段 25 號
忠明	一般空品及質量濃度常規量測站	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , THC, NMHC, CH <sub>4</sub> , PM <sub>2.5</sub> (自動), PM <sub>2.5</sub> (手動), 溫度, 濕度, 風速, 風向, 雨量	17.5 公尺	國立臺中特殊教育學校	臺中市南屯區公益路二段 296 號
斗六	一般空品及質量濃度常規量測站	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> (自動), PM <sub>2.5</sub> (手動), 溫度, 濕度, 風速, 風向, 雨量	14.5 公尺	斗六高中	雲林縣斗六市民生路 224 號
嘉義	一般空品及質量濃度常規量測站	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , THC, NMHC, CH <sub>4</sub> , PM <sub>2.5</sub> (自動), PM <sub>2.5</sub> (手動), 溫度, 濕度, 風速, 風向, 雨量	17.5 公尺	國立嘉義大學新民校區	嘉義市西區新民路 580 號
小港	一般空品站	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , THC, NMHC, CH <sub>4</sub> , PM <sub>2.5</sub> (自動), 溫度, 濕度, 風速, 風向, 雨量	19.5 公尺	小港國中	高雄市小港區平和南路 185 號

### 1. 花蓮站 (23°58'16.7"N, 121°35'59.2"E)

花蓮站(圖 3.1.3)所在地點為中正國小，東面 1.5 公里處為太平洋，西邊為花蓮市區，南邊與北邊為一般道路，測站採樣口高度距離地面約 14.5 公尺。



圖 3.1.3 花蓮站周圍環境影像



## 2. 板橋站 (25°00'46.7"N, 121°27'31.2"E)

板橋站(圖 3.1.4)位於新北市立板橋高級中學校舍 4 樓頂，屬於一般大氣測站，採樣口高度離地面約 19.5 公尺，測站南方有一教學大樓，其餘部分為校園。

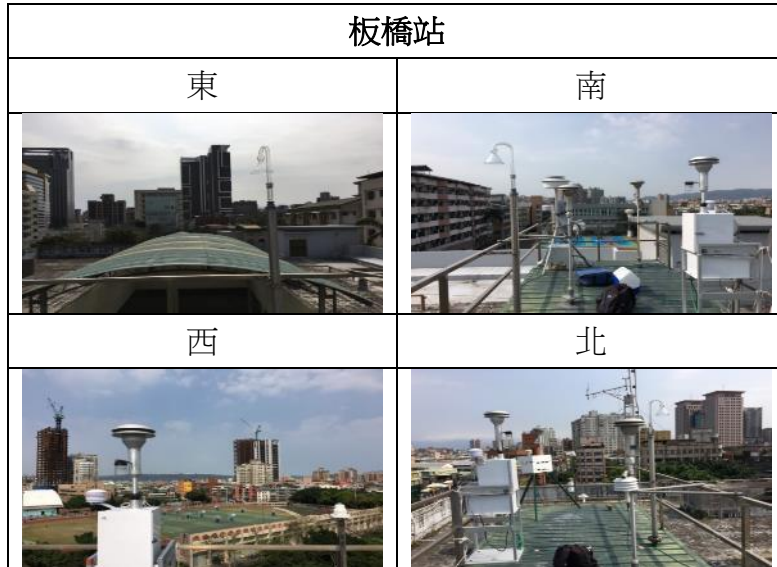


圖 3.1.4 板橋站周圍環境影像

## 3. 忠明站 (24°09'7.07"N, 120°38'27.9"E)

忠明站(圖 3.1.5)位於臺中市公益路與惠中路交叉口的特教學校三樓樓頂，採樣口高度距地面約 17.5 公尺，西側約 20 公尺為 30 公尺寬的惠中路，南側 50 公尺處為 30 公尺寬的公益路，交通流量大。

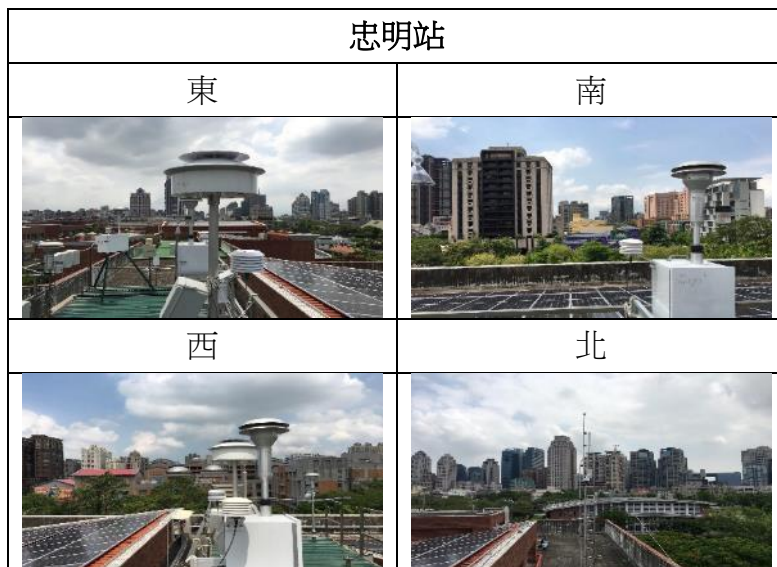


圖 3.1.5 忠明站周圍環境影像

#### 4. 斗六站 (23°42'42.7"N，120°32'32.42"E)

斗六站(圖 3.1.6)位於雲林縣斗六市斗六高級中學四樓頂，屬一般大氣監測站，採樣口高度約 14.5 公尺，附近車流量受上、下學影響較大。

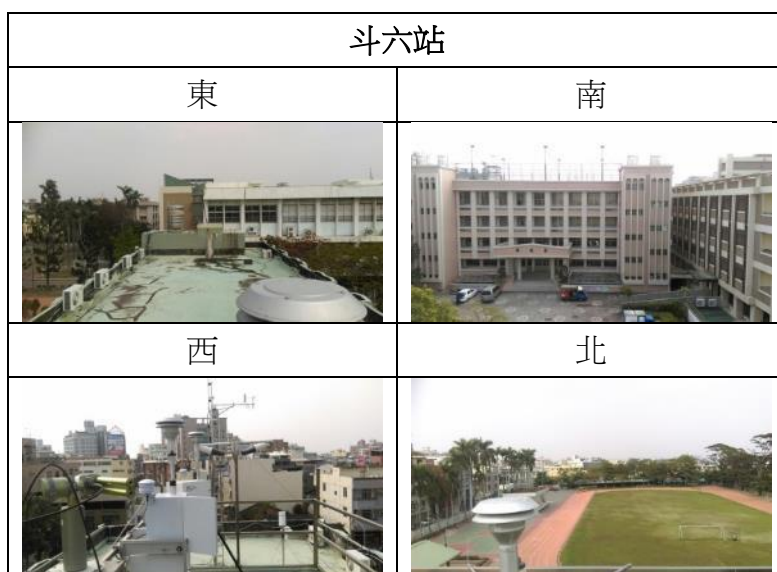


圖 3.1.6 斗六站周圍環境影像

#### 5. 嘉義站 (23°27'46"N，120°26'27"E)

嘉義站(圖 3.1.7)本站位於嘉義大學新民校區管理學院 B 棟頂樓，屬一般大氣監測站，採樣口距離地面約 17.5 公尺。

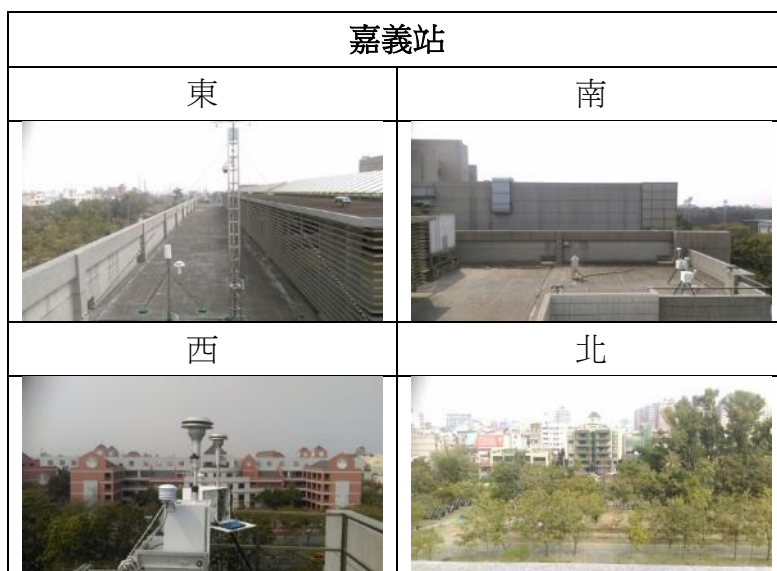


圖 3.1.7 嘉義站周圍環境影像

## 6. 小港站 (22°33'57"N, 120°20'15.8"E)

位於小港區小港國中四樓頂，小港站(圖 3.1.8)北方距離 1.0 公里是小港機場，東方距 280 公尺是 35 公尺寬的大業北路，南面是臨海工業區中鋼、中船等大型工廠，南南西側是台電大林火力發電廠，西北方有台電南部火力發電廠，採樣口距地面約 19.5 公尺。



圖 3.1.8 小港站周圍環境影像

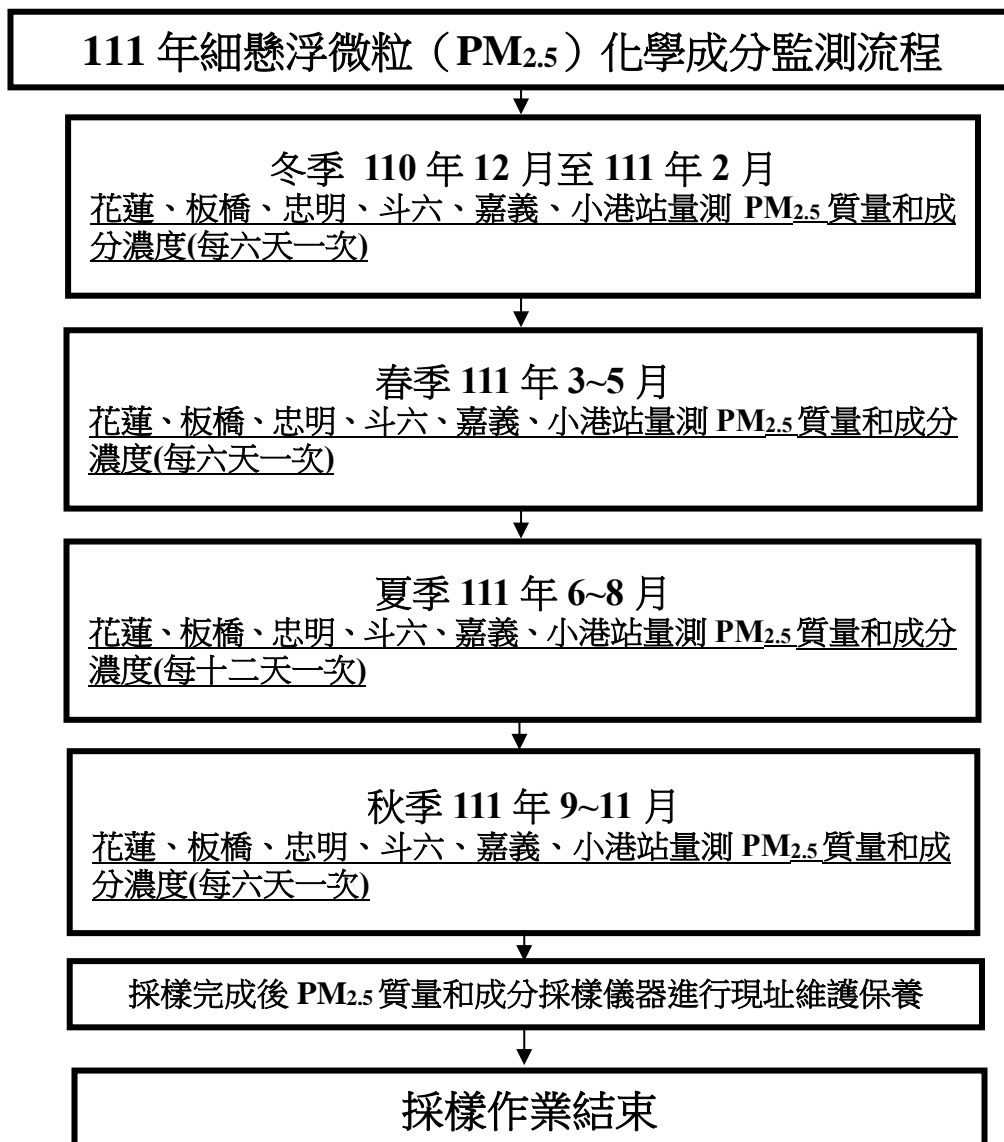
在採樣時程規劃上，本計畫依據評選須知要求，於 2021 年 12 月 2 日放置本計畫第一個樣本，並於次日開始採樣，後續在每個測站每六天採樣一次。第三季 7 至 9 月份，依照評選需求，採樣週期變更為每十二天一次。11 月後面的兩周，為配合年度儀器維護工作，將期程調整至同為高污染濃度的 1 月份先行採樣。本年度計畫為滿足年度工作量，採樣有漏失或依環保署指示，有些時段採樣頻率會調整為每三天一次，採樣執行期限至 11 月 30 日止，履約期限則至 12 月 31 日止。依照前述規劃結果，列出本年度執行採樣日程如圖 3.1.9，總計同步採樣 53 次，各季度執行的採樣作業流程如圖 3.1.10。

		十	二	月		
日	一	二	三	四	五	六
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

一 月							二 月							三 月						
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
						1			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12
9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19	13	14	15	16	17	18	19
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	20	21	22	23	24	25	26
23	24	25	26	27	28	29	27	28						27	28	29	30	31		
30	31																			
四 月							五 月							六 月						
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
					1	2	1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4
3	4	5	6	7	8	9	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11
10	11	12	13	14	15	16	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18
17	18	19	20	21	22	23	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29	30	29	30	31					26	27	28	29	30		
七 月							八 月							九 月						
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
					1	2		1	2	3	4	5	6					1	2	3
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24
24	25	26	27	28	29	30	28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	
31																				
十 月							十一 月							十二 月						
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
					1				1	2	3	4	5					1	2	3
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10
9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	18	19	20	21	22	23	24
23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30				25	26	27	28	29	30	31
30	31																			
放樣日							採樣日							收樣日						

圖 3.1.9 本計畫年度採樣日程規劃





備註：本年度採樣依上表以季節劃分，另統計方式採季度計算：第一季 1~3 月、第二季 4~6 月、第三季 7~9 月、第四季 10~12 月。

圖 3.1.10 細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分採樣檢測作業執行程序

### 3.1.2 採樣及實驗分析人員及行程分配

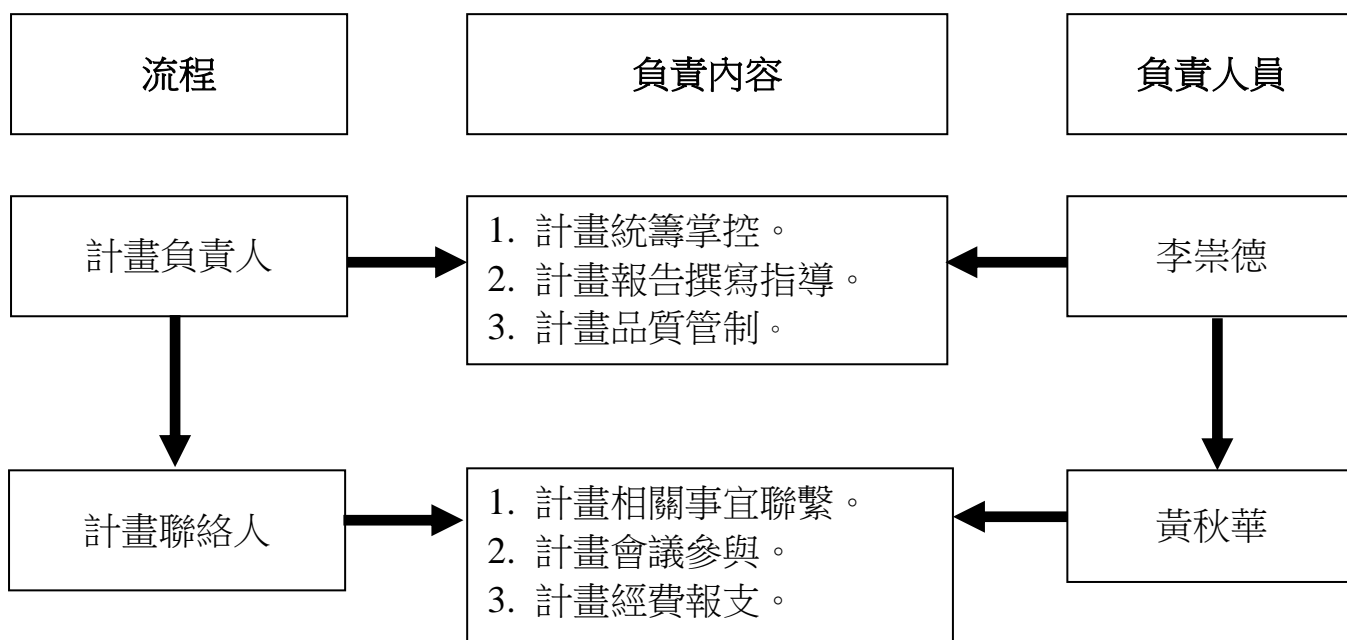
採樣前若為新設站點須先進行地點現勘，針對各採樣地點分別確認採樣位置、電源供應、鄰近遮蔽物等影響因子，在彙整相關資料及取得必要的採樣設備後，把採樣器運送至採樣地點。

執行採樣管理及樣本前處理流程，樣本採集人員安排如圖 3.1.11，圖中也列出各相關人員對應的主要工作項目。

本計畫每個測站樣本採樣時間為 24 小時，採樣起迄時間的影響因素包括：採樣儀器測漏、流量校正、放置和取下 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分採樣空白等工作，本計畫在採樣前一天設置好採樣器定時裝置，於採樣日零點啟動，每個樣本採足 24 小時，然後於採樣結束後隔日，遵循採樣結束標準操作程序，收取帶有微粒的濾紙樣本，接著記錄各項表單項目後，進行必要的採樣器維護保養，以等待下一次採樣工作，然後離開現場，各站採樣樣本都以冷凍快捷郵遞方式寄送。

圖 3.1.12 列出樣品採集人員工作規劃，圖 3.1.13 列出樣本及數據分析人員工作規劃，圖 3.1.14 列出數據品保及報告人員工作規劃供參考。本計畫另成立機動小組，成員也具備有採樣和實驗分析專業技能，遇有緊急狀況時可以提前或適時應變，目前有中研院陳美君、林冠宇、林暉哲、李家輝，中央大學孫紹恩及其他兼任助理賴尚豪、陳虹諮、黃滄偉等人。

## 細懸浮微粒（PM<sub>2.5</sub>）化學成分採樣計畫管理流程



## PM<sub>2.5</sub> 氣膠樣本採樣前處理

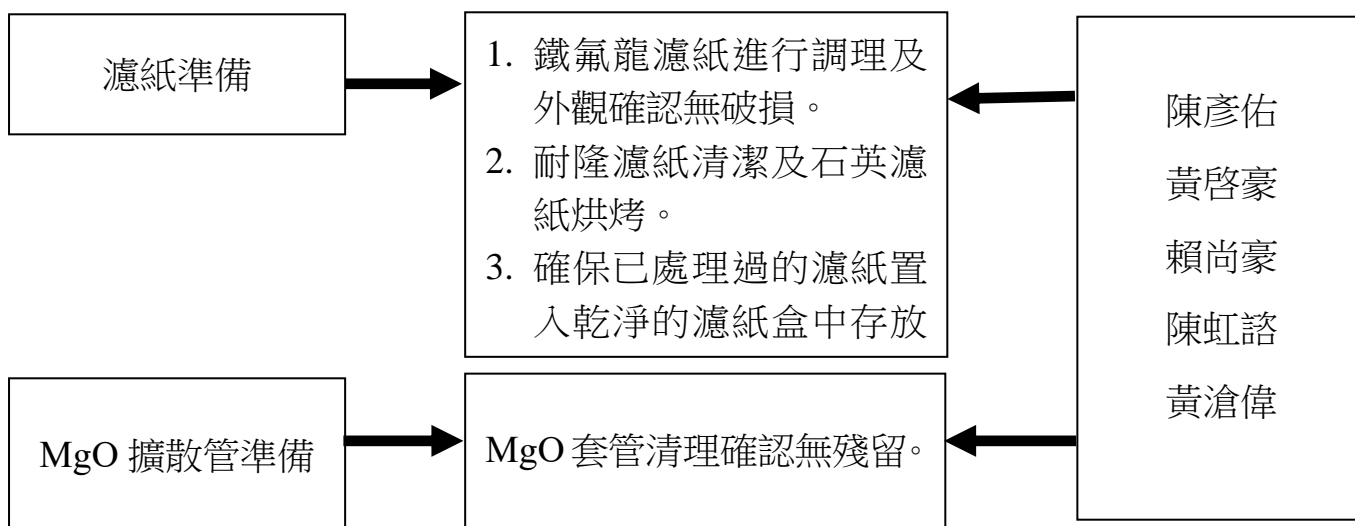


圖 3.1.11 採樣計畫管理及樣本採樣前處理流程

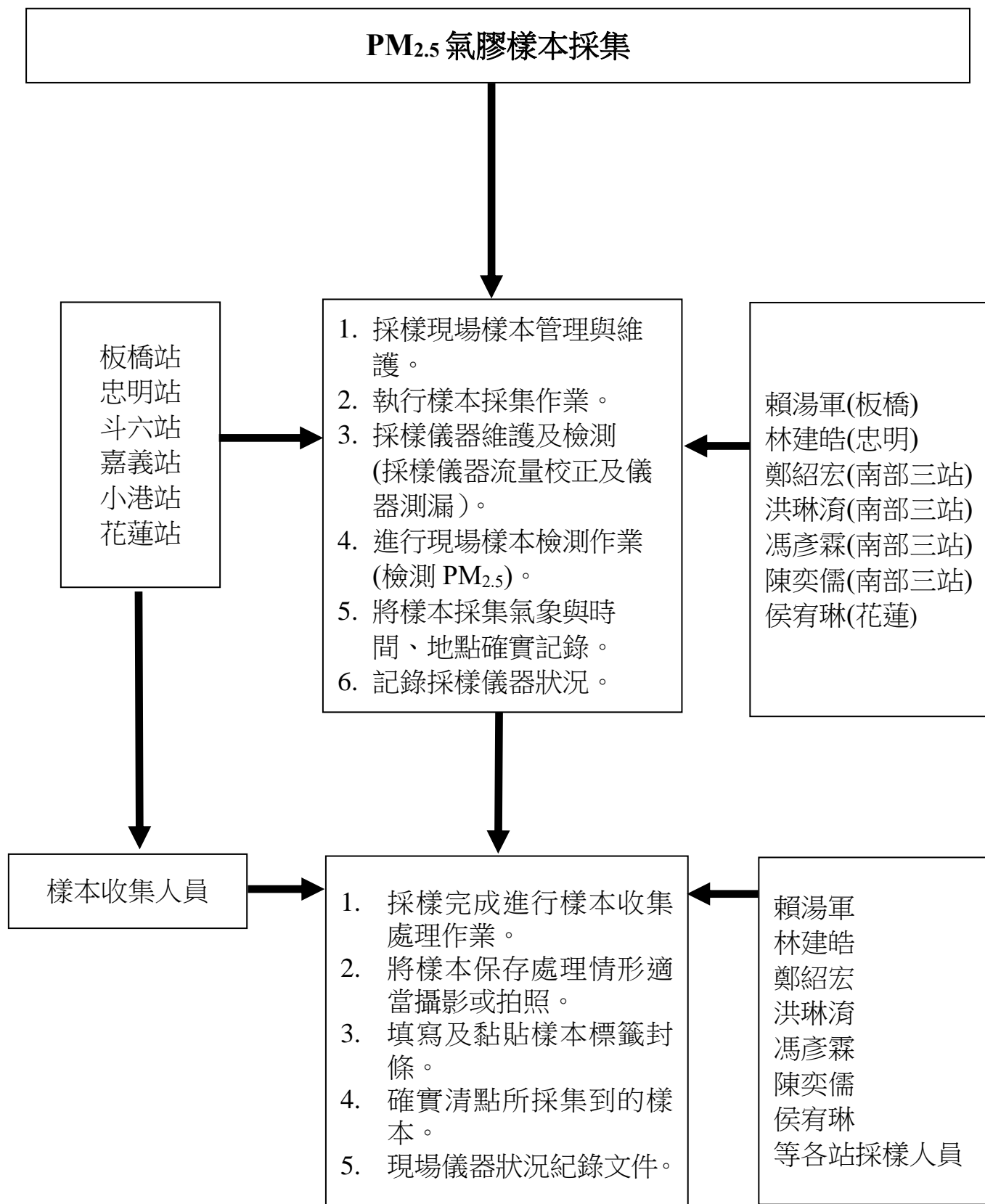


圖 3.1.12 樣本採集人員工作規劃

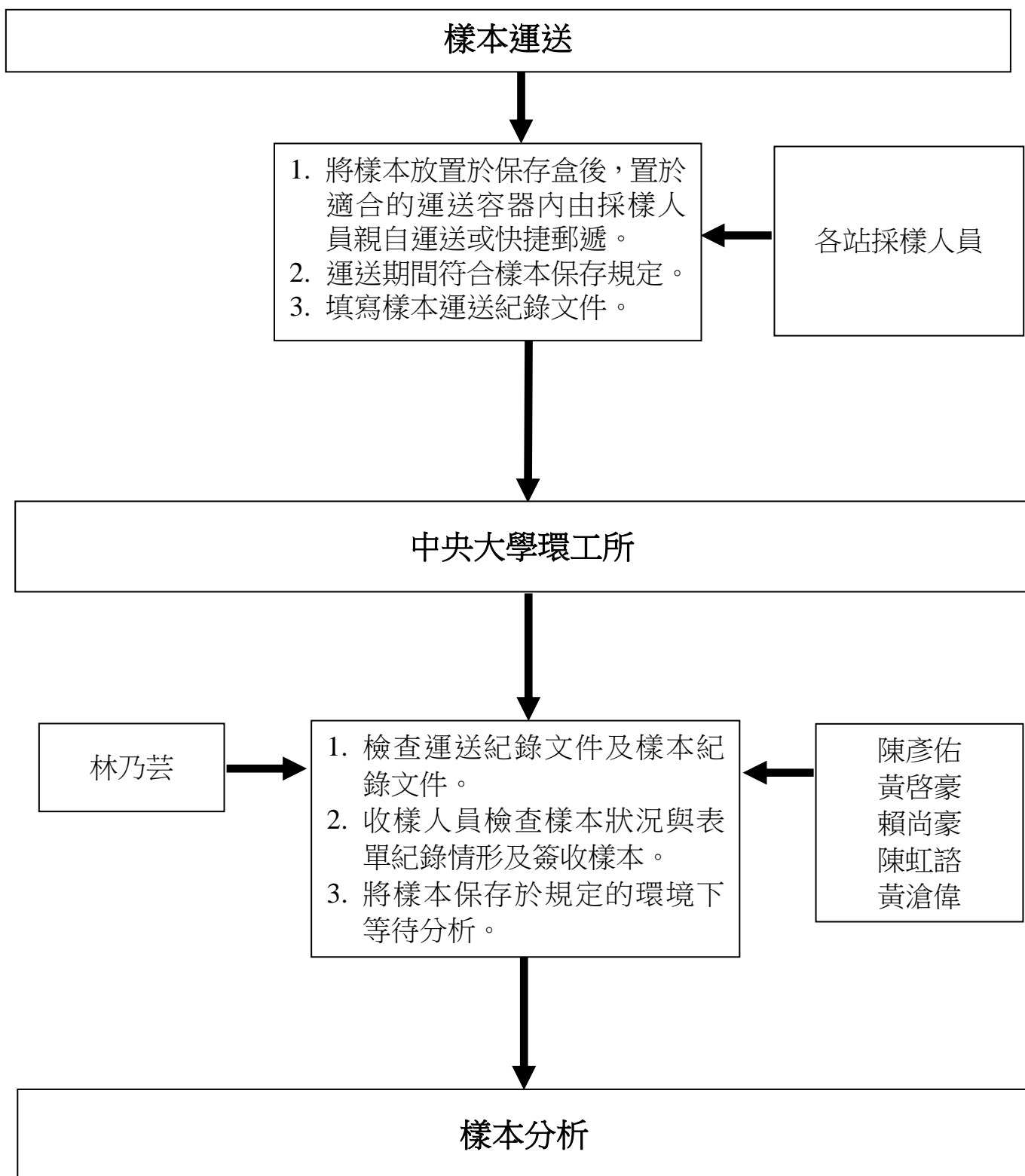


圖 3.1.13 樣品及數據分析人員工作規劃

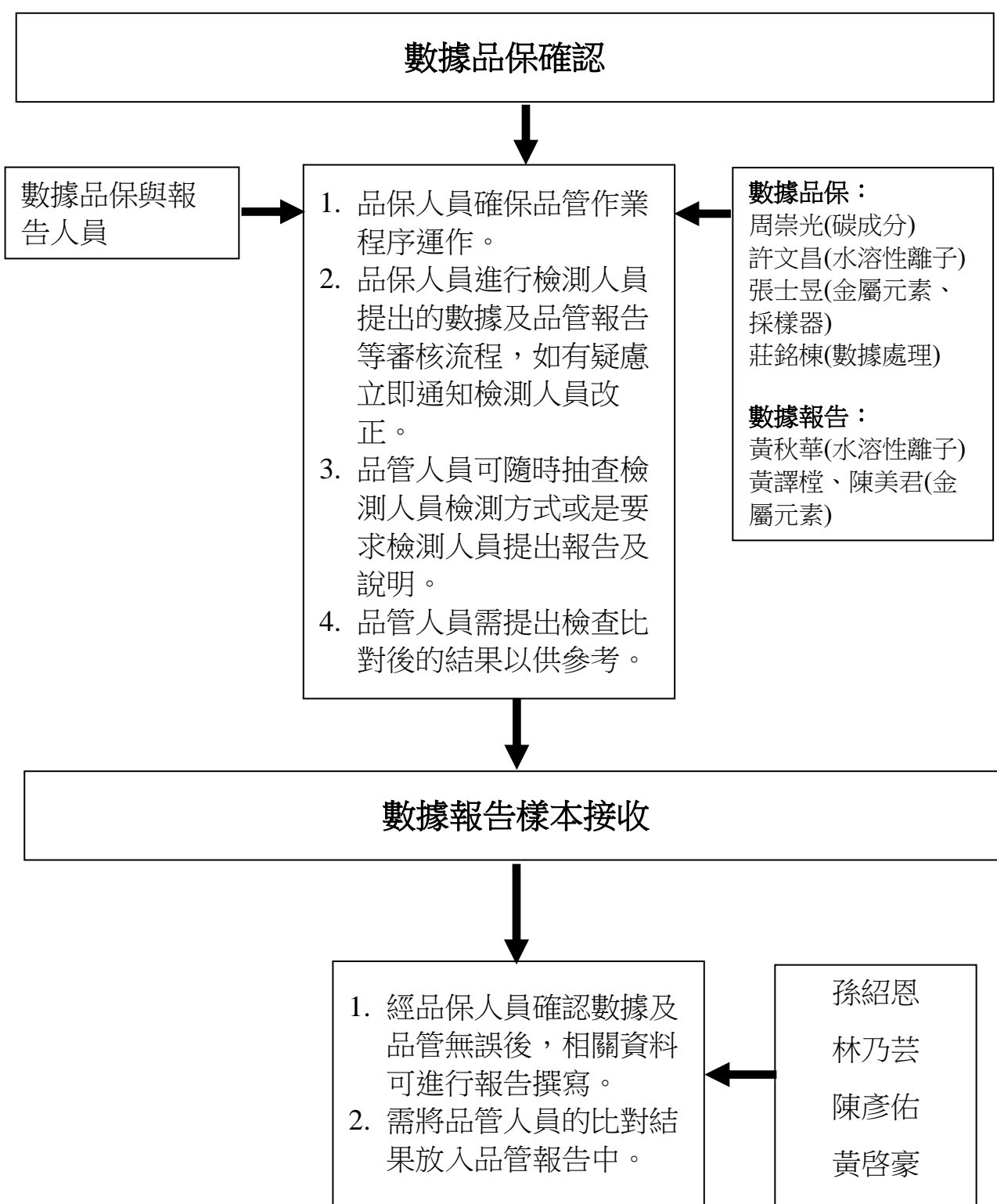


圖 3.1.14 數據品保確認及報告人員工作規劃

### 3.1.3 細懸浮微粒採樣設備及方法

本計畫依據李等(2015)年執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測第一次研討會委員建議，為避免水溶性無機離子因等待秤重而有揮發損失，每站以 PM<sub>2.5</sub> MetOne E-FRM 採樣器採集微粒在鐵氟龍濾紙上，經過環保署 NIEA A205.11C 方法規定調理環境及程序調理後，進行秤重決定 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，然後同張濾紙進行元素成分分析。水溶性無機離子與碳成分則另外使用 MetOne SASS Sepeciation Sampler 化學成分採樣器採樣後，儘快進行實驗分析。

各類採樣器標準操作步驟都包括：(1)系統測漏，(2)流量測試與校正，(3)採樣時間設置設定步驟。詳細內容列於本計畫的品保規畫書內。

#### 1. MetOne E-FRM PM<sub>2.5</sub>採樣器採樣原理

MetOne型號E-FRM採樣器(圖3.1.15)是通過美國環保署方法認證的PM<sub>2.5</sub> (RFPS-0315-221)和PM<sub>10</sub>採樣器(RFPS-0216-231)，採樣器設計原則符合美國環保署參考方法的單次濾紙採樣，並用以決定大氣每天PM<sub>2.5</sub>或PM<sub>10</sub>微粒濃度。儀器採用放置單張47 mm鐵氟龍濾紙的濾紙匣，每次採樣由操作員手動更換濾紙。儀器以雙頭隔膜負壓幫浦將流率控制在16.67 L min<sup>-1</sup> (變動比率± 2%，± 0.33 L min<sup>-1</sup>，比FRM規範的± 5%，± 0.83 L min<sup>-1</sup>還準確)，樣本空氣抽氣進入標準的PM<sub>10</sub>入口口後，可經由BGI VSCC™ (very-sharp-cut cyclone)或URG-2000-30EGN cyclone，或傳統的WINS Impactor進行PM<sub>2.5</sub>粒徑切割，本計畫係採用VSCC，氣流經由VSCC後，微粒被收集在濾紙上。經過24小時採完樣後取下濾紙，送往實驗室進行溫度和濕度調理，然後以± 1 µg靈敏度天平秤重，和空白濾紙採樣前秤重值相減，經由計算，獲得大氣PM<sub>2.5</sub>質量濃度(µg m<sup>-3</sup>)。

E-FRM採樣器可收折成較密實包裝，架設時再展開，運送方便。每次採樣操作時間可由操作員以程式設定，儀器可展現和儲存所有採樣過程流率、溫度、壓力、警告值，數據可透過個人電腦從RS-232或USB虛擬串聯口或甚至直接以USB隨身碟下載。



圖 3.1.15 MetOne E-FRM PM<sub>2.5</sub>採樣器的外觀與儀器操作面板

## 2. MetOne SASS PM<sub>2.5</sub>採樣器採樣原理

MetOne SASS 是目前美國化學成分監測網(CSN)所使用的化學成分採樣器，採樣器外觀如圖 3.1.16，MetOne SASS 最多可使用 5 個濾紙採樣通道，進行 24 小時連續採樣。通道 1 至 3 以質量流控制器(mass flow controller)控制採樣流量為  $6.7 \text{ L min}^{-1}$  (通道 1 至 3)，通道 4 與 5 則使用臨界小孔(critical orifice)，流量為  $6.9 \text{ L min}^{-1}$ ，入口口都設置有 sharp cut cyclone 可篩分出  $2.5 \mu\text{m}$  的微粒進來。採樣器配置如下圖 3.1.17 所示，通道 1 前端設置塗覆 MgO 的擴散管以去除環境酸性前驅氣體干擾，後端放置鐵氟龍濾紙後接耐隆濾紙，分析 PM<sub>2.5</sub> 氣膠水溶性無機離子成分及揮發的硝酸根和氯離子，並於每季更換前端擴散管；通道 2 設置 2 張石英濾紙，作為分析氣膠碳成分及微粒有機碳成分揮發補償使用；通道 3 保留可放置鐵氟龍濾紙作為額外分析質量或元素成分進行比對使用；通道 4 與通道 5 作為備用通道，可根據任務型檢測進行調度；通道 6 沒有氣流通過，本計畫放置 1 張石英濾紙，作為揮發性有機氣體吸附補償使用。此外，本計畫每次採樣於六個採樣站間輪流執行各檢測化學成分所對應現場、實驗室及旅運空白。





圖 3.1.16 MetOne SASS PM<sub>2.5</sub> 成分採樣器的外觀與儀器操作面板

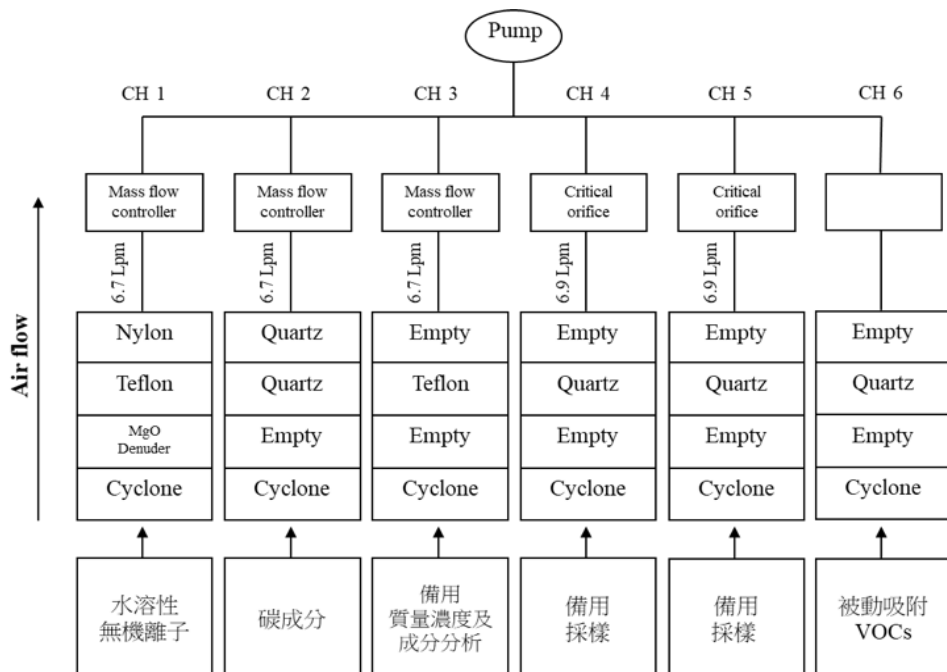


圖 3.1.17 MetOne SASS PM<sub>2.5</sub> 成分採樣器採樣套管配置

### 3.1.4 細懸浮微粒成分人工採樣去除大氣干擾物方法

MetOne SASS 採樣器有 5 個通道，可同時採集多達 5 個樣本，本計畫在每次採樣最多可同時使用 5 個通道，分別做為分析 PM<sub>2.5</sub> 水溶性無機離子、PM<sub>2.5</sub> 碳成分、備用 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度以及配合任務調度使用 2 個通道，對於 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及元素成分則是使用 MetOne E-FRM 採樣器採集。微粒碳成分揮發與被動吸附及揮發性離子修正方法分別敘述於下。

#### 1. 矯正濾紙微粒揮發及空氣中揮發性有機物干擾

含碳氣膠通常分成有機碳(OC)和元素碳(EC)，前者是 PM<sub>2.5</sub> 的主要成分，後者則多包含一級致癌物。氣膠碳成分的 OC 包含半揮發性有機物，這些半揮發性有機物收集到石英濾紙後會隨著採樣氣流流過而揮發，造成微粒質量損失，這種現象稱為負偏差 (negative artifact)；然而，空氣中的揮發性有機物 (VOCs, Volatile Organic Compounds) 在採樣過程會吸附在石英濾紙上，導致實驗分析的 OC 高估，這種現象稱為正偏差 (positive artifact)，這兩項偏差都會影響到實際微粒 OC 的量測 (Turpin et al., 2000)，如圖 3.1.18 所示。因為每個通道只能放置兩張石英濾紙，本計畫在每次採樣時，在通道 2 裝置 2 張石英濾紙（以下分別稱為 OCQ<sub>1</sub> 和 OCQ<sub>2</sub>），進行 PM<sub>2.5</sub> 採集和補償採樣過程碳成分揮發的負偏差，正偏差則以放置在通道 6 的石英濾紙進行 VOCs 濃度吸附(以下稱為 OCQ<sub>3</sub>)來修正。

由於每張濾紙都需減去吸附的 VOCs，假設 OCQ<sub>3</sub> 和採樣時每張濾紙吸附的 VOCs 濃度相等，所以，修正 OC (即，大氣狀態 OC) = (OCQ<sub>1</sub>-OCQ<sub>3</sub>) + (OCQ<sub>2</sub>-OCQ<sub>3</sub>) = OCQ<sub>1</sub> + OCQ<sub>2</sub> - 2\*OCQ<sub>3</sub>；但是，當第二張濾紙 OC 量測濃度 (OCQ<sub>2</sub>) 小於 OCQ<sub>3</sub> 時，(OCQ<sub>2</sub>-OCQ<sub>3</sub>) 視為 0，此時修正 OC = OCQ<sub>1</sub> - OCQ<sub>3</sub>。

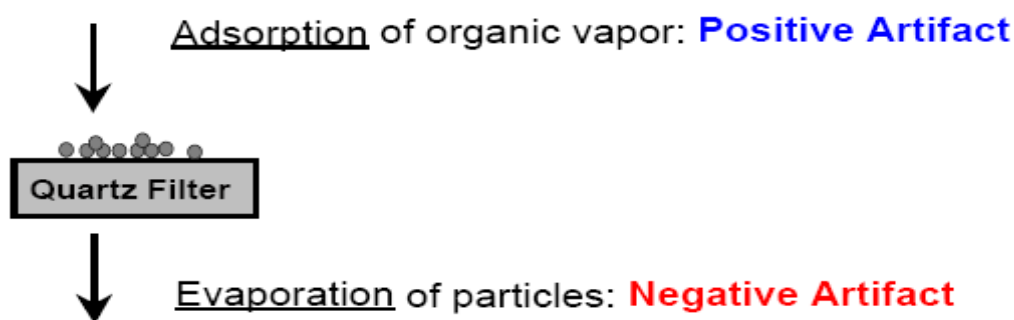


圖 3.1.18 以石英濾採集微粒有機碳成分偏差示意圖 (Turpin et al., 2000)

## 2. 去除大氣酸氣對微粒水溶性無機離子干擾及微粒揮發的硝酸氣和鹽酸氣

MetOne SASS 只配備 MgO denuder 可去除大氣酸性干擾氣體，對於大氣鹼性干擾氣體卻無去除設備，微粒採集裝置則可串連兩張濾紙。本計畫以兩張濾紙採集水溶性無機離子成分，第 1 張裝設鐵氟龍濾紙，量測水溶性無機離子，第 2 張裝設耐隆濾紙，量測從第 1 張濾紙揮發的硝酸氣 ( $\text{NO}_3^-$ ) 和鹽酸氣 ( $\text{Cl}^-$ )，並補償加回到第 1 張濾紙採集分析的  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$ 。至於  $\text{NH}_4^+$  離子的揮發補償，則因為無法裝置第 3 張濾紙，因此，計算與  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  相匹配  $\text{NH}_4^+$  離子濃度進行補償。

### 3.1.5 $\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度檢驗分析方法

$\text{PM}_{2.5}$  質量濃度檢驗是透過微量天平，精秤採集  $\text{PM}_{2.5}$  的鐵氟龍濾紙於採樣前、後的質量差異，然後除以採樣體積而得到質量濃度。本計畫所使用的六位數（靈敏度 $\pm 1 \mu\text{g}$ ）微量天平為德國 Sartorius 公司 Cubis 系列天秤（Cubis MSA6.6S-000-DF, Sartorius, Göttingen, Germany），並採用英國 Whatman 鐵氟龍濾紙（Whatman, Maidstone, UK）捕集  $\text{PM}_{2.5}$ ，濾紙規格符合 NIEAA205.11C 規範，尺寸與孔徑分別為 47 mm 及  $2 \mu\text{m}$ 。濾紙調理與秤重作業流程遵循 NIEAA205.11C 的規範。

#### 1. 濾紙秤重標準操作程序

濾紙秤重作業標準操作程序包含：(1)採樣前濾紙調理與秤重，(2)採樣後濾紙調理與秤重，(3)採樣前、後濾紙秤重程序注意事項。方法流程敘述如下：

##### (1) 採樣前濾紙調理與秤重

- A. 確認濾紙外觀是否完整，或有無明顯污染。並給予每一張濾紙識別編號，編號包含濾紙應用的採樣場所、採樣日期、用途等資訊，如：BQ20211203FB，即為板橋站 2021 年 12 月 3 日現場空白。
- B. 將已編號濾紙，放置於秤重環境中調理至少 72 小時，秤重天平室溫須保持於  $20\sim 23^\circ\text{C}$ ，且 24 小時內平均溫度變化在  $\pm 2^\circ\text{C}$ ；相對濕度保持在  $30\sim 40\%$  之間，且 24 小時內小時平均相對濕度變化  $\pm 5\%$ 。
- C. 完成調理作業後，開始進行採樣前秤重作業，同張濾紙須重複秤重，數值差異要小於或等於  $3 \mu\text{g}$  方完成一個批次秤重，秤重期間仍需維持天平室秤重條件如 B.項所述。

- D. 每批次秤重作業須至少間隔 24 小時，完成至少三批次秤重作業至有兩批次重量數值相差小於或等於 5 µg 方視為恆重，批次作業人員儘量由不同人進行。
- E. 濾紙秤至恆重後，取符合前述規範濾紙重量平均值為採樣前濾紙重量值。

## (2) 採樣後濾紙調理與秤重

- A. 確認樣本濾紙外觀是否完整，或有無明顯污染？收置樣本於前述秤重環境進行調理至少 72 小時。
- B. 完成調理作業後，開始採樣後秤重作業，同張濾紙須重複秤重，數值差異要小於或等於 3 µg 方完成一個批次秤重，秤重期間仍需維持天平室秤重條件如(1) B.項所述。
- C. 每批次秤重作業須至少間隔 24 小時，完成至少三批次秤重作業至有兩批次重量值相差小於或等於 5 µg 方視為恆重，批次作業人員儘量由不同人進行。
- D. 濾紙秤至恆重後，取濾紙秤重平均值做為採樣後濾紙重量值。

## (3) 採樣後濾紙秤重程序注意事項

- A. 新購入濾紙需放置於調理環境中存放，於採樣前一週前進行調理與前秤重作業。
- B. 分析天平必須置放於與調理濾紙相同的秤重環境中。
- C. 濾紙在調理後至秤重前，不得再暴露於其他環境條件。
- D. 採樣前、後濾紙秤重環境必須是相同(如(1) B.項所述)。
- E. 各批次秤重必須使用相同天平進行濾紙秤重，並使用靜電中和器中和濾紙的靜電。

## 2. 濾紙秤重數據處理

採樣前與採樣後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度計算方式如公式 3.1.1：

$$PM_{2.5} = (W_f - W_i) \div V_a$$

公式 3.1.1

其中：

- PM<sub>2.5</sub>：計算後質量濃度(µg m<sup>-3</sup>)
- W<sub>f</sub>：採樣後濾紙重量(µg)
- W<sub>i</sub>：採樣前濾紙重量(µg)
- V<sub>a</sub>：採樣總體積(m<sup>3</sup>)

### 3.1.6 PM<sub>2.5</sub> 水溶性無機離子檢驗分析方法

#### 1. 離子層析儀分析原理

PM<sub>2.5</sub> 水溶性無機離子是使用離子層析儀分析，離子層析儀是利用離子交換原理，當待測樣本溶液通過分析管柱時，樣本中離子會與管柱中的樹脂產生交換作用，此時加入流洗液沖提，可帶出不同導電度的離子，再使用導電度偵測器測定移動相中導電度的變化。

典型的離子層析儀系統通常包含了流洗液、高壓幫浦、樣本注射器、保護管柱(Guard Column)和分離管柱(Separator Column)、抑制器(Suppressor)、導電度測定器(Conductivity Cell)及數據收集系統。

分析樣本前，需使用標準溶液進行標定。以已知標準濃度離子析出尖峰時間與面積，和以樣本析出尖峰時間與面積比較，樣本中的離子就可以確認並定量。數據收集系統為電腦執行層析軟體，層析軟體包含樣本濃度的每支尖峰及運算結果。圖 3.1.19 為離子層析儀分析系統，分析程序可分為 6 個部份，說明如下：

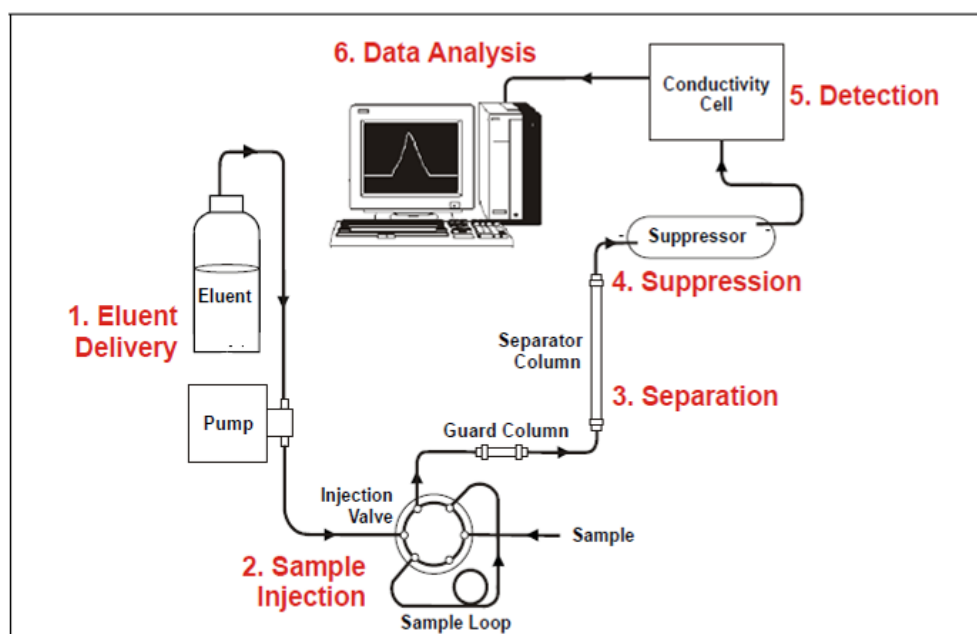


圖 3.1.19 離子層析儀分析系統 (Dionex, 2005)

- (1) 流洗液：可幫助樣本中的離子分離並沖提樣本進入離子層析儀分析系統。
- (2) 層析系統及樣本注射：由手動或自動裝置將樣本溶液注入系統流路中，當分析系統啟動時，樣本會進入流洗流程中，幫浦會推動流洗液及樣本進入保護管柱及分離管柱，保護管柱會移除可能傷害分離管柱的污染物。
- (3) 分離：當幫浦將流洗液及樣本沖提進入分離管柱時會分離樣本離子，這是

因為不同的樣本離子經過分離管柱時，不同離子與管柱內樹脂離子進行交換速度不一樣，因此，不同離子通過分離管柱的時間不同。

- (4) **抑制**：在流洗液及樣本中的離子離開分離管柱後，進入抑制器，抑制器會選擇性地強化樣本離子的偵測而抑制流洗液的導電度。
- (5) **偵測**：當樣本離子離開抑制器，進入導電度偵測器時，樣本離子的導電度，會產生一個化學或物理特性訊號。
- (6) **數據收集及分析**：導電度偵測器會傳送量測訊號到數據收集系統。數據收集系統確認離子析出時間，每一個離子的分析量，並比對標準樣品的尖峰面積及高度後，即可算出樣本中離子的濃度。

**(7) 樣本前處理步驟：**

- A. 將濾紙取出並放到室溫
- B. 實驗操作前，操作人員需帶手套及口罩。
- C. 確認濾紙是實驗樣本。
- D. 標示萃取瓶。
- E. 用石英剪刀，裁剪濾紙。
- F. 將裁剪過後的濾紙，塞進萃取瓶中(注意：萃取瓶的編號需要再次確認是否和濾紙編號相符，而且需要確認濾紙是塞入萃取瓶的最底部，以防止濾紙進行超音波震盪時，濾紙會浮在液面上)。
- G. 加入 100  $\mu$ L 的 Ethanol，均勻地滴在濾紙上 (當萃取鐵弗龍濾紙微粒才需要執行這個步驟)。
- H. 加入超純水於萃取瓶中(一張濾紙加入 10 mL，半張濾紙加入 5 mL)。
- I. 將萃取瓶的蓋子鎖緊，避免下一步驟，水溶液滴出，造成分析誤差。
- J. 將萃取瓶放入超音波震盪機(Sonicator)震盪 60 分鐘(注意：超音波槽的溫度不能超過攝氏 27 度，若超過需要加冰塊降溫)。
- K. 將超音波震盪完的萃取瓶放入震動機(shaker)震動 60 分鐘。
- L. 將完成前述步驟的萃取瓶，放入冰箱冰存 12 小時以上，以備過濾。

**(8) 樣本過濾步驟：**

- A. 實驗操作前，操作人員需帶手套及口罩。
- B. 準備第二組萃取瓶及小 Vial 瓶。
- C. 標示第二組萃取瓶及小 Vial 瓶，使其編號和萃取瓶上的編號相符。

- D. 準備三個燒杯，分別裝滿超純水，以備使用。
- E. 準備 2.5 mL 針筒及 0.45  $\mu\text{m}$  濾頭以備使用。
- F. 將燒杯分別標示(a)、 (b)、 (c)，拿取針筒及濾頭。
- G. 針筒及濾頭放於(a)燒杯內清洗外部。
- H. 以針筒抽取(b)燒杯的超純水，清洗內部 5 次。
- I. 以針筒抽取(c)燒杯的水，清洗內部 2 次後。再抽 (c)燒杯的水，將針筒加濾頭清洗內部 2 次。
- J. 將萃取瓶的溶液適量倒出，用針筒取適量溶液，清洗針筒。加濾頭將內部溶液擠出。
- K. 將第一組萃取瓶溶液全部過濾到第二組備好的萃取瓶中。
- L. 將萃取瓶拿去超音波震盪器中，振盪 5~10 分鐘後，重覆 F-J 步驟後，以針筒抽取溶液約 1.5 mL。過濾液潤洗 Vial 瓶，潤洗後再將樣本裝入 Vial 瓶後，即完成過濾步驟，每個樣本重覆步驟 G~L。
- M. 完成全部步驟後等待上機分析。

## 2. 離子層析儀標準操作程序

本儀器標準操作程序包括：(1)濾紙樣本前處理標準操作步驟，(2)實驗器材清洗，(3)離子層析儀操作設定步驟，(4)自動注射器操作設定步驟，(5)大氣氣膠水溶性無機離子濃度計算，(6)離子層析儀檢量線及偵測極限製作程序。本節只敘述大氣氣膠水溶性無機離子濃度計算和本計畫離子層析儀偵測極限，其餘詳列於本計畫品保規劃書。

## 3. 離子層析儀大氣氣膠水溶性無機離子濃度計算

假設離子層析儀分析結果代入檢量線可得出水溶性無機離子濃度  $X$  (ppm or  $\mu\text{g mL}^{-1}$ )，本計畫樣品中的水溶性無機離子係溶解在 10 mL 中，採樣時間為  $T$  小時，流量為  $R$  Lpm，則帶入公式 3.1.2 計算可獲得水溶液中各離子在空氣中的質量濃度：

$$\frac{X \times 10}{T \times 60 \times R \times 0.001} = \mu\text{g m}^{-3}$$

公式 3.1.2

#### 4. 離子層析儀偵測極限

本計畫離子層析儀偵測極限製作程序係參考環檢所「NIEA-PA107 環境檢驗方法偵測極限測定指引」。

##### (1) 儀器偵測極限測定步驟

注入由高濃度至低濃度的待測物標準品到儀器中，取在檢量線最低濃度轉折處的濃度為「儀器偵測極限」。

##### (2) 方法偵測極限(MDL)測定步驟及離子方法偵測極限彙整 (表 3.1.2)

- A. 以前述步驟估算的儀器偵測極限的二～五倍濃度值，進行七重複分析。
- B. 計算重複分析的變異數 ( $S^2$ ) 和標準偏差 ( $S$ ) 如公式 3.1.3：

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2}{n} \right] \quad S = (S^2)^{\frac{1}{2}}$$

公式 3.1.3

- C. 方法偵測極限(MDL)的計算為公式 3.1.4：

$$MDL = 3S$$

公式 3.1.4

本計畫每次樣本上機前萃取成 10 mL 水溶液，上機分析水溶性無機離子，得出溶液中濃度後，乘上 10 mL 得出水溶性無機離子質量，再除以採樣體積(約 9.648 m<sup>3</sup>)，換算得出在空氣中濃度。

**表 3.1.2 離子層析儀分析微粒水溶性無機離子的偵測極限 (建立日期:2022.11)**

分析項目	分析方法	溶液中方法偵測極限		空氣中方法偵測極限	
		方法偵測極限	濃度單位 (溶液中)	方法偵測極限	濃度單位 (空氣中)
Na <sup>+</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.01	μg m <sup>-3</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.02	μg m <sup>-3</sup>
K <sup>+</sup>	IC	0.02	mg L <sup>-1</sup>	0.02	μg m <sup>-3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.02	μg m <sup>-3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.02	μg m <sup>-3</sup>
Cl <sup>-</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.01	μg m <sup>-3</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.03	μg m <sup>-3</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	IC	0.01	mg L <sup>-1</sup>	0.01	μg m <sup>-3</sup>



### 3.1.7 PM<sub>2.5</sub> 碳成分檢驗分析方法

#### 1. 碳成分分析儀分析原理

氣膠碳成分分析是使用美國 DRI 碳分析儀( Thermal/Optical Carbon Analyzer, Model 2001A, Atmoslytic Inc., Calabasas, CA ) 進行分析(圖 3.1.20)，本碳成分分析儀使用電腦程式設定不同溫度來解析氣膠各種碳成分，避免只設定一個溫度缺乏客觀的判定基礎，分析過程並以 TOR (Thermal Optical Reflectance)方法矯正有機碳(OC, Organic Carbon)分析過程所產生的裂解碳(在缺氧環境下)。TOR 方法是以 Chow et al. (1993)發表的碳成分分析技術為設計依據，將採集於石英濾紙上的微粒樣本置放在反應腔導入純氮氣，腔內溫度會依據表 3.1.3 設定的條件，分段升溫至 580 °C，在這段時間石英濾紙樣本上微粒的有機物成分會依蒸汽壓的差異，在不同溫度下揮發出來，經氧化管氧化成 CO<sub>2</sub>，並隨著攜帶氣流(He)導入還原管還原成 CH<sub>4</sub>，然後由儀器的 FID (Flame Ionization Detector)連續偵測氣流中的 CH<sub>4</sub> 濃度，最後根據濃度，換算成在不同溫度下“有機碳”各種成分(OC1~OC4)質量。

在樣品加熱期間，以 632.8 nm 雷射光源及偵測器連續監測樣品表面的雷射光束反射量，依據 Chow et al. (1993)的研究結果，在 200°C 以上時，雷射反射強度就會開始逐漸降低，樣品因為“元素碳”(EC, Elemental Carbon)含量增加而降低雷射反射量，這些增加的“EC”含量其實是氣膠 OC 成分在缺氧環境中裂解“碳化”揮發所導致。在 400~580°C 間，雷射反射量在降低後達到穩定，顯示樣本中的微粒有機碳成分已經完全揮發或碳化。然後儀器導入 2%的氧氣和 98%氮氣，這時，樣本中的“EC”將被氧化而自濾紙揮發出來，由 FID 偵測其濃度。這個氧化過程使樣本表面“EC”含量降低，因此雷射反射量增加，當雷射反射量回復到實驗初始微粒樣本的反射量時，代表氣膠 OC 成分裂解而在微粒表面增加的“EC”含量已被去除，過程中 FID 測得的 CH<sub>4</sub> 濃度應該歸屬於 OC 分析時的裂解碳(OP, Pyrolyzed Organic Carbon)。

當雷射反射量回復到初始樣本的反射量後，反應腔內的溫度則逐步分段增加至 840 °C，在分段加溫過程中，樣本的 EC 會持續被氧化而自濾紙樣本消失，雷射反射量也會持續增加，直到回復到空白濾紙的反射量度，這個過程中 FID 測得的 CH<sub>4</sub> 濃度，可直接換算成各溫度條件下解析出的 EC 質量。整個分析過程可獲得微粒樣本在不同溫度下碳成分的解析質量，這個圖譜稱為“thermogram”。



圖 3.1.20 碳分析儀 Model 2001A—氣膠有機碳、元素碳分析

表 3.1.3 DRI 2001A 碳分析儀各加熱階段與溫度範圍

Fraction	Pyrolyzed fraction	Temperature range(°C)	Setup condition
OC <sub>1</sub>		Ambient to 140	100% He
OC <sub>2</sub>		141~280	
OC <sub>3</sub>		281~480	
OC <sub>4</sub>		481~580	
EC <sub>1</sub>	OP	580	98% He、2% O <sub>2</sub>
EC <sub>2</sub>		581~740	
EC <sub>3</sub>		741~840	

## 2. DRI 2001A 碳分析儀標準操作程序

本儀器標準操作程序包括：(1)儀器設定步驟，(2)完成分析圖譜及數據表，(3)大氣氣膠濃度計算，(4)儀器方法偵測極限及檢量線製作程序，底下列出完成分析圖譜(圖 3.1.21)及數據表(圖 3.1.22)、大氣氣膠濃度計算、以及儀器方法偵測極限，詳細步驟列於本計畫品保規劃書。

## (1) 分析結果圖譜

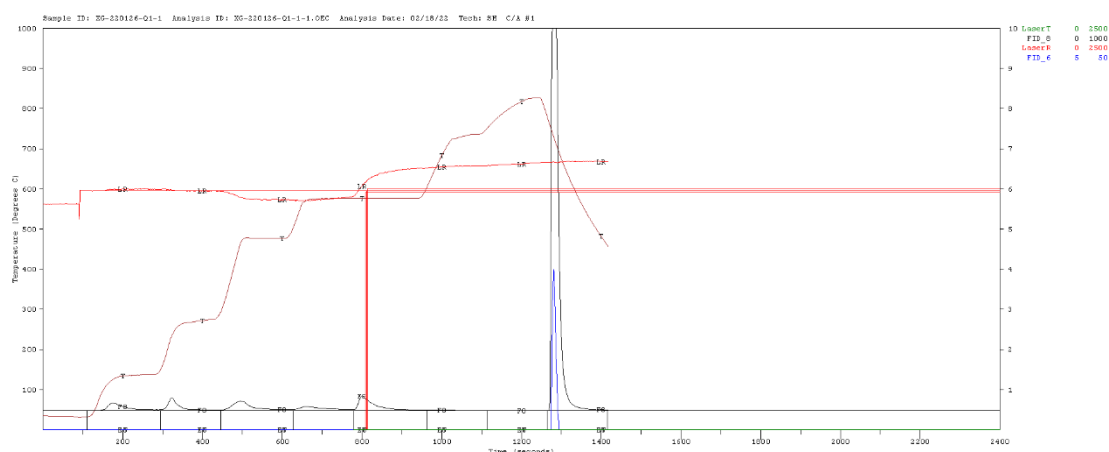


圖 3.1.21 DRI 2001A 碳分析儀分析結果圖譜範例

大氣氣膠碳成分濃度是從分析得到的數據，進行換算獲得。

- A. 各碳成分質量( $\mu\text{g C filter}^{-1}$ ) = 各碳成分單位面積碳濃度( $\mu\text{g C cm}^{-2}$ ) $\times$ 採樣濾紙面積( $10.683 \text{ cm}^2 \text{ filter}^{-1}$ )
- B. 大氣碳成分濃度( $\mu\text{g C m}^{-3}$ ) = 各碳成分質量 ( $\mu\text{g C filter}^{-1}$ )  $\div$  採樣體積( $\text{m}^3 \text{ filter}^{-1}$ )
- C. 有機碳(OC) = OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OP
- D. 元素碳(EC) = (EC1-OP) + EC2 + EC3
- E. 總碳(TC) = OC + EC

## (2) 分析結果數據表及大氣氣膠碳成分濃度計算

CARBON ANALYSIS RESULTS					Technician: SH	
Analyzer #1						
Analysis ID : XG-220126-Q1-1-1.OEC						
Sample ID : XG-220126-Q1-1						
Punch area : 0.531 cm <sup>2</sup>						
Deposit area : 10.683 cm <sup>2</sup>						
Analysis Start : 02/18/22 23:35		Calculation : 02/19/22 00:01				
Analysis Stop : 02/19/22 00:01						
Anal program ver: P6.0 (06/18/04)		Parm file ver : V20040618				
Calib. slope : 25.03 ug C/peak ratio		Baseline time : 11 sec				
Calib. intercept: 00.00 ug C						
Reflectance unc.: 010 counts		Transmission unc: 010 counts				
Sample transit : 20 sec						
Calibration peak area: 32244 millivolt-seconds						
Initial FID baseline : 48 millivolts						
Final FID baseline : 48 millivolts						
Laser reflectance initial baseline : 1488 millivolts						
Laser reflectance minimum : 1422 millivolts at 634 sec						
Laser reflectance final baseline : 1667 millivolts						
Laser transmittance initial baseline : 0 millivolts						
Laser transmittance minimum : 0 millivolts at 112 sec						
Laser transmittance final baseline : 0 millivolts						
Reflect Split Time		Laser	FID Split Time			
Lower split :	788 sec	1994 millivolts	808 sec			
Regular split:	791 sec	1995 millivolts	811 sec			
Upper split :	794 sec	1992 millivolts	814 sec			
Transmit Split Time		Laser	FID Split Time			
Lower split :	758 sec	1263 millivolts	778 sec			
Regular split:	758 sec	1263 millivolts	778 sec			
Upper split :	1244 sec	1273 millivolts	1264 sec			
Peak Area		Carbon				
OC1	OC	935 mv-secs	1.37 ug C/cm <sup>2</sup>	14.60	ug C/filter	
OC2	OC	930 mv-secs	1.36 ug C/cm <sup>2</sup>	14.52	ug C/filter	
OC3	OC	1382 mv-secs	2.02 ug C/cm <sup>2</sup>	21.58	ug C/filter	
OC4	OC	792 mv-secs	1.16 ug C/cm <sup>2</sup>	12.37	ug C/filter	
EC1	EC	1577 mv-secs	2.31 ug C/cm <sup>2</sup>	24.62	ug C/filter	
EC2	EC	0 mv-secs	0.00 ug C/cm <sup>2</sup>	.00	ug C/filter	
EC3	EC	0 mv-secs	0.00 ug C/cm <sup>2</sup>	.00	ug C/filter	
LRPyMin	Py	628 mv-secs	.92 ug C/cm <sup>2</sup>	9.81	ug C/filter	
LRPyMid	Py	715 mv-secs	1.05 ug C/cm <sup>2</sup>	11.16	ug C/filter	
LRPyMax	Py	795 mv-secs	1.16 ug C/cm <sup>2</sup>	12.41	ug C/filter	
LTPyMin	Py	0 mv-secs	.00 ug C/cm <sup>2</sup>	.00	ug C/filter	
LTPyMid	Py	0 mv-secs	.00 ug C/cm <sup>2</sup>	.00	ug C/filter	
LTPyMax	Pv	1577 mv-secs	2.31 ug C/cm <sup>2</sup>	24.62	ug C/filter	

\*\*\*\*\*

圖 3.1.22 DRI 2001A 碳分析儀分析結果數據範例

### (3) DRI 2001A 碳分析儀方法偵測極限 (MDL)

雖然分析結果分 OC 和 EC，但都是以 FID 偵測燃燒轉換後的 CH<sub>4</sub>，OC 與 EC 只是分別在無氧和有氧環境以及不同溫度區間解析出來的碳成分。因此，不論 OC、EC 或是總碳成分 (TC) 應該都適用相同的檢量線以及 MDL。另外，碳成分分析儀雖然可以將 OC 和 EC 分成 8 個成分區間 (OC: OC1~OC4、OP; EC: EC1-OP、EC2、EC3)，但並沒有專屬各個成分區間的標準品，目前使用的標準品磷苯二甲酸氫鉀 (KHP)，分析結果包含 OC1~OC3 濃度，然而標準品各 OC 成分分布不均勻且再現性不佳，倒是 OC 總量非常穩定，所以理論上只能計算 OC 的 MDL。

檢量線製作濃度範圍為取 90、180、225、450、900、1350、1800 ppm KHP 7 個濃度製作檢量線，換算成一張濾紙的碳成分質量濃度介於 1.9~37.5 μg m<sup>-3</sup> (用

MetOne SASS採樣流率 $6.7 \text{ L min}^{-1}$ 計算，24小時採樣體積為 $9.648 \text{ m}^3$ ），這個檢量線濃度範圍可涵括所有樣本濃度。方法偵測極限（MDL）的獲得是取檢量線最低點90 ppm做7次重複分析，每張石英濾紙的平均值 $\pm$ 標準差為 $18.25 \pm 1.20 \mu\text{gC/filter}$ ，3倍標準差 $3.41 \mu\text{gC/filter}$ 為每張濾紙的MDL，若換算成每次濾紙採集的質量濃度，偵測極限則是 $0.37 \mu\text{g m}^{-3}$ （ $3.59 \mu\text{gC}$ 除以採樣體積 $9.648 \text{ m}^3$ ）。

### 3.1.8 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分檢驗分析方法

#### 1. 感應耦合電漿質譜儀 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析原理

本計畫 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分定量分析，是使用 Perkin-Elmer 公司型號為 NexIon 300X 感應耦合電漿質譜儀（Induced Couple Plasma Mass Spectrography, ICP-MS）進行分析（圖 3.1.23）。本儀器具有可同時分析多元素濃度及靈敏度高的優點，NexIon 300X 具有動力反應腔，利用甲烷氣解除氬氣干擾，可將元素濃度解析度推至 ppt 等級。ICP-MS 的分析流程，係先以霧化器將待測消化液經霧化處理後，以載送氣體輸送，將含待分析元素的氣膠輸送至電漿中，樣品受熱後，經由一系列去溶劑、分解、原子化/離子化等反應，使電漿中待分析元素形成單價正離子，然後透過真空界面傳輸進入質譜儀，配合質量分析器將各特定質荷比的離子予以解析後，最後以電子倍增器放大檢測，進行多元素的定性及定量。



圖 3.1.23 Perkin-Elmer 公司型號 NexIon 300X 感應耦合電漿質譜儀

#### 2. 感應耦合電漿質譜儀 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析程序

金屬元素的分析，是將採完樣後的半張鐵氟龍濾紙放置消化瓶進行消化，在每次消化程序進行前，為確保消化瓶不受污染，需進行酸洗步驟，於消化瓶（容

量為 55 mL) 依序添加 5 mL 的硝酸 (Merck, 65 % GR for Analysis) 及 4 mL 的去離子水 (阻抗值 > 18.0 MΩ/cm), 微波功率設定在 1600 W 下, 進行 20 分鐘的微波加熱, 隨後以去離子水淋洗 2 次並晾乾, 才可進行微粒樣本的消化。接著將濾紙置入鐵氟龍消化瓶中, 加入 4 mL 的硝酸 (Merck, 60 % Ultrapure) 與 2 mL 的氫氟酸 (Merck, 48 % Ultrapure), 添加完畢後再以鎖瓶機 (CEM) 將消化瓶旋緊至可承受的壓抗, 以避免各消化瓶因人為鎖瓶施力不同而使控制條件互異。隨後, 以高輸出微波消化系統 (CEM, MARS Xpress) 進行消化, 微波消化設定功率與升溫條件, 如表 3.1.4 所示, 共分兩階段加熱程序, 第一階段功率設定在 1600 W, 以 8 分鐘時間升溫 (Ramp) 至 170 °C, 並以此功率維持 (Hold on) 7 分鐘後, 接續進行第二階段升溫, 其功率調升至 1600 W, 以 7 分鐘時間升溫至 200 °C 後, 維持 15 分鐘, 待兩階段之加熱完畢後, 進行降溫 (Cool down) 60 分鐘約至 40 °C。樣本第一次消化冷卻完畢後, 將消化瓶依序裝入濃縮裝置附屬套件 (CEM, XpressVapTM), 並置入一支備有溫感光纖 (CEM, No. 431-6494) 監測瓶進行趕酸步驟, 趕酸過程中微波消化系統設定功率為 800 W, 溫度設定在 80 °C, 並配合經硼酸 (Merck, GR for Analysis) 與氫氧化鈉 (Merck, GR for Analysis) 曝氣進行趕酸, 並將消化液濃縮趨近至蒸乾為止以去除氫氟酸, 完成趕酸程序後, 依序添加 2.0 mL 的硝酸 (Merck, 60 % Ultrapure) 至樣本中, 進行第二階段消化, 其消化功率與升溫條件如表 3.1.5。

表 3.1.4 濾紙樣本第一階段微波消化升溫設定條件

	Max. power (W)	Power (%)	Ramp (min)	°C	Hold (min)	Cool down (min)
Stage 1	1600	90	8:00	170	7:00	---
Stage 2	1600	100	7:00	200	15:00	60:00

表 3.1.5 濾紙樣本第二階段微波消化升溫設定條件

	Max. power (W)	Power (%)	Ramp (min)	°C	Hold (min)	Cool down (min)
Stage 1	1600	100	15:00	200	10:00	60:00

待消化程序都完成後，才進行定量步驟，本計畫係將消化液移入材質為聚丙烯的離心管中，同時添加15 ppb（配製濃度為5 ppm，加入150  $\mu$ L）銦(In)作為內標準品，最後以去離子水稀釋定量至15 mL，並冷藏於4°C直至上機分析，另外，每一消化批次中也以相同消化程序，分析至少2個空白濾紙樣本及1個酸試劑空白樣本，並將實際樣本的濃度扣除空白濾紙濃度即為樣品真實濃度，以避免採樣介質與化學試劑的干擾。為確保離心管不受污染，使用前需浸泡在濃度為5 %的硝酸（Merck, 65 % GR for Analysis）並浸泡16小時下，以去離子水淋洗且晾乾後方可使用，另為避免不同離心管的容量互異，於定量前後均需秤重，以取得確切的定量體積。

本計畫一般會分析鋁(Al)、鐵(Fe)、鈉(Na)、鎂(Mg)、鉀(K)、鈣(Ca)、銦(Sr)、鋇(Ba)、鈦(Ti)、錳(Mn)、鈷(Co)、鎳(Ni)、銅(Cu)、鋅(Zn)、鉬(Mo)、鎘(Cd)、錫(Sn)、銻(Sb)、鉍(Tl)、鉛(Pb)、釩(V)、鉻(Cr)、砷(As)、硒(Se)、鉕(Y)、鋯(Zr)、銣(Rb)、鎵(Ga)、鍬(Ge)、銫(Cs)、鐳(La)、銈(Ce)、釹(Nd)等33種元素，惟元素在PM<sub>2.5</sub>含量較低者，可能會低於偵測極限。

金屬元素成分檢量線標準液配製，係將Merck公司出產各元素原始標準液（濃度為1000 ppm）混合，再依懸浮微粒中各元素的豐富度，區分主量元素、次量元素、微量元素及稀土元素，以1 %的硝酸（Merck, 60 % Ultrapure）稀釋配製成7種系列濃度，主量元素(Al、Fe、Na、Mg、K、Ca)的稀釋系列分別為0.1、1、10、100、200、500及1000 ppb，次量元素及微量元素(Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn、Sb、Tl、Pb、V、Cr、As、Se、Y、Zr、Rb、Ga、Ge與Cs)的稀釋系列則分別為0.01、0.1、1、10、20、50及100 ppb，稀土元素(La、Ce及Nd)的稀釋系列則分別為0.01、0.1及1 ppb。為掌握分析儀器的性能，每日以10  $\mu$ g L<sup>-1</sup>校正液(含鎂(Mg)、銅(Cu)、銨(Rh)、鎘(Cd)、銦(In)、銈(Ce)、鋇(Ba)、鉛(Pb)與鈾(U))，校正儀器訊號強度，使用ICP-MS分析設定條件如表3.1.6所示。上述方法與流程由Hsu et al. (2008)及Hsu et al. (2009)所建立，過去的分析利用NIST的標準品查核其分析方法回收率，各元素回收率絕大部分在100  $\pm$  10%，且精密度落在5%以內。

表 3.1.6 感應耦合電漿質譜儀分析設定參數

設定參數	設定數值
無線電功率 (W)	1200
電漿氣流-氬氣氣體流速 (L min <sup>-1</sup> )	15
載送氣流-氬氣氣體流速 (L min <sup>-1</sup> )	0.7-0.9
輔助氣流-氬氣氣體流速 (L min <sup>-1</sup> )	0.7-0.9
離子進樣深度	調至最強偵測訊號
離子束	調至最強偵測訊號且雜訊比最小
遲滯時間 (ms)	100
解析度 (amu)	0.7±0.1
掃描模式	多元素短暫快速掃描
樣品取樣速率 (L min <sup>-1</sup> )	1.2
操作壓力 (torr)	1.5×10 <sup>-6</sup> -2.5×10 <sup>-6</sup>
重複次數	3
掃描/讀值	3
取樣器	鉑錐 (1.1 mm)
削減器	鉑錐 (1.1 mm)

註：自動取樣器型號為 S93 及 S10

### 3. 感應耦合電漿質譜儀 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分方法偵測極限

表 3.1.7 為計畫元素成分方法偵測極限，估算方法為以 1/2 張濾紙進行消化，消化液定量至 15 mL，取得各元素於每張空白濾紙的含量 (ng)，除以濾紙面積求得單位面積含量，將 7 張空白濾紙消化處理後，取得 7 次數據的標準偏差，乘上 3 倍標準偏差數值，採樣體積以 24 m<sup>3</sup> 計算。

表 3.1.7 PM<sub>2.5</sub> 元素成分方法偵測極限 (建立日期:2022.11)

元素	MDL (ng m <sup>-3</sup> )	元素	MDL (ng m <sup>-3</sup> )
Al	3.92	Sb	0.004
Fe	0.96	Tl	0.0002
Na	1.84	Pb	0.011
Mg	0.36	V	0.004
K	0.69	Cr	0.167
Ca	18.52	As	0.002
Sr	0.05	Y	0.001
Ba	0.06	Se	0.013
Ti	0.22	Zr	0.033
Mn	0.04	Ge	0.001
Co	0.02	Rb	0.002
Ni	0.06	Cs	0.0003
Cu	0.04	Ga	0.003
Zn	0.46	La	0.001
Mo	0.03	Ce	0.003
Cd	0.001	Nd	0.001
Sn	0.02		



### 3.1.9 微粒採樣及質量濃度檢驗分析方法品管

本計畫採樣品管執行主要遵循環檢所公告的 NIEA A205.11C 方法，雖然這個方法是針對 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，但方法內容已經詳細規範各項採樣與品保需求，主要包括：適用範圍、干擾、設備與材料、試劑、採樣及保存、步驟結果處理，以及品質管制需求，對於本計畫工作內容中 NIEA A205.11C 方法未包含部分，則參考美國聯邦政府公告的參考方法及文件。

採樣品管主要執行工作為：1.濾紙準備與檢查，2.採樣流量校正與查證程序，3.採樣前、後檢查項目方法與頻率，4. PM<sub>2.5</sub> 質量濃度樣品空白，5. PM<sub>2.5</sub> 化學成分樣品空白，6.採樣器維護檢查，以及 7.實驗室品保品管一般原則。

#### 1. 濾紙準備與分析檢查項目

##### (1) 購進後檢查

當購進新的一批濾紙後，必須先經過初步的穩定性測試，測試的目的是為了瞭解濾紙達到穩定平衡所需要的時間，執行步驟如下：

- A. 隨機選擇來自相同製造批號的濾紙3盒。
- B. 在每一個濾紙盒隨機選擇3張濾紙。
- C. 將濾紙放置在 Petrislides<sup>®</sup>盒中，在秤重的環境下平衡24小時再秤重。
- D. 秤重完此9張濾紙放回 Petrislides<sup>®</sup>盒中，繼續在秤重的環境下又平衡24小時，然後秤重。
- E. 連續重複平衡 24小時後秤重，持續5天後可繪出重量損失趨勢，假如5天後的重量變化趨勢仍為下降，仍必須繼續進行24小時的平衡然後秤重。
- F. 當濾紙沒有重量下降的趨勢時（每張濾紙前後兩次秤重值差異均小於等於15 µg），濾紙即達成平衡。
- G. 記錄這批濾紙須要達到平衡的時間，這時間為所有這批濾紙要達到平衡的最少需要時間。
- H. 當初步穩定性測試完畢，將未使用的濾紙盒放置於實驗室櫃子內，須記錄製造商的批號、濾紙盒號、濾紙辨識碼、濾紙收到和穩定的時間。

##### (2) 濾紙採樣前檢查

濾紙採樣前必須先檢查，當有以下缺陷時即淘汰不使用：

- A. 針孔洞

- B. 濾紙與套環分離
- C. 粗糙表面或有閃光
- D. 鬆散的材質
- E. 濾紙脫色
- F. 濾紙不均勻性
- G. 其他怪異的情形

### **(3) 濾紙採樣前批次穩定性測試**

採樣前濾紙的批次穩定性測試通常是在初步穩定性測試後進行，當已知一批新的濾紙重量達到穩定，不會隨著時間而下降後，此時就可進行採樣前濾紙批次穩定性試驗，每一批次的濾紙在採樣前 60 小時，須依照標準操作程序在秤重實驗室內達到平衡，另外，在進行採樣前濾紙的前秤重程序、濾紙採樣後秤重程序、秤重注意事項等（表 3.1.8），詳細步驟均列於本計畫品保規畫書內。

表 3.1.8 濾紙準備與分析檢查項目

項目	方法與頻率	要求條件	修正動作
天平		解析度達 1 µg, 重複性達 1 µg	獲取適當的天平
天平環境		環境控制, 空氣不流通的房間或是相同條件的艙房, 天平周圍為乾淨的區域。	改善環境
質量參考標準	工作標準每 3 至 6 個月對照國家標準與技術研究所 (NIST) 的可追溯實驗室一級標準進行確認	濾紙重量標準類別, 單一標準誤差 < 25 µg, 季查核質量偏差在 ± 2 µg 內; 以光滑、非金屬、乾淨的鑷子拿取。	獲取適當的標準或鑷子
濾紙處理	遵照處理程序	使用無粉手套, 光滑乾淨的鑷子。	丟棄處理不當的濾紙
濾紙完整檢查	目視檢查每張濾紙	無針孔, 分離, 雜物, 鬆散材質, 變色或濾紙不均勻。	丟棄有缺陷的濾紙
濾紙辨識	用永久性墨水在濾紙盒上撰寫濾紙編號並寫入實驗室數據格式	確認編號是清楚易讀的	更換標籤或正確的格式
採樣前濾紙調理	確認批次濾紙調理期間 (至少 24 小時), 觀察和記錄調理室的相對濕度和溫度; 以實驗室數據的格式輸入	檢查每一批空白濾紙穩定性, 每星期平衡前後秤重變化應 < 15 µg, 平均相對濕度在 30 至 40%, 且 24 小時內不超過 ±5% 的變動, 平均溫度應維持在 20 至 23°C, 且 24 小時內不超過 ±2°C 的變動	修改調理期間, 重複調理
採樣前、後濾紙秤重	遵守所有秤重程序。執行所有的品質控制 (QC) 的檢查	除去濾紙上的靜電, 等到天平讀值顯示穩定, 記錄數值	重複稱重, 許多實驗室例行地執行重複秤重。
內部品質控制	每 10 次秤重後將天平歸零, 然後重秤至少一個工作標準, 每一批次秤重約需有 10% 實驗室空白, 在秤重完成時重秤一張重複秤重濾紙, 秤重約 10% 現場空白	工作標準秤重應在確認值的 3 µg 內。實驗室空白和重複秤重差距應在 15 µg 內。現場空白秤重差距應在 30 µg 內	解決問題與採取品質保證企畫方案 (QAPP) 的適當修正動作以達到可接受的程度。不要修正或使 PM <sub>2.5</sub> 量測值無效, 只因為有高空白值
採樣後濾紙儲存	監視採樣與秤重間的時間	秤量應在採樣結束後 240 小時 (10 天) 內完成; 除非濾紙從採樣器取回和開始調理這段期間都保持在環境均溫以下, 否則不可超過 30 天	解決問題與採取適當修正動作
採樣後的檢查, 文件和確認	檢查濾紙和現場資料表格完整輸入。如果樣品由冷卻容器運送, 確認有維持低溫。	濾紙無損壞, 現場數據表完整, 採樣工作順利	保存濾紙以供檢查, 標示(flag)樣品, 解決問題與採取適當修正動作
採樣後濾紙的平衡	平衡濾紙至少 24 小時。觀察和記錄平衡室的相對濕度和溫度; 登入實驗室數據表。	平均相對濕度 30 至 40%, 且 24 小時內不超過 ±5% 變動, 平均溫度應維持在 20 至 23 °C, 且 24 小時內不超過 ±2 °C 的變動	重複平衡

資料來源: U.S. Environment Protection Agency (2016) Quality Assurance Guidance Document 2.12, Monitoring PM<sub>2.5</sub> in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods. Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division, NC 27711.

## 2. 採樣流率校正與查證程序

進行現場採樣時，確保採樣器功能的正確是關鍵，表 3.1.9 列出現場採樣的儀器檢查項目，確實的執行足以確保採樣數據的品質。

表 3.1.9 現場採樣 QA/QC 檢查項目

項目	頻率	接受標準	40 CFR 文件	方法 2.12	提供的資料
<b>校正標準</b>					
流率傳輸標準	1 次/每年	<±2.1% 的可追溯 NIST 標準	Part 50, App. L, Sec 9.1,9.2	Sec 4.2.2 和 6.4.3	可追溯性的認證
野外溫度計	1 次/每年	±0.1°C 解析度 ±0.5°C 準確度	無描述	Sec 4.2.2	可追溯性的認證
野外氣壓計	1 次/每年	解析度±1 mmHg 準確度±5 mmHg		Sec 4.2.2	可追溯性的認證
<b>校正/確認</b>					
流率校正	如果多點失敗	<±2.1% 傳輸標準	Part 50, App. L, Sec 9.2.6		校正飄移和記憶效應
流率多點確認	每次手動、維護、運輸，1 次/每年	<±2.1% 傳輸標準	Part 50, App. L, Sec 9.2&9.1.3	Sec 6.3 和表 6-1	校正飄移和記憶效應
流率單點確認	1 次/每 4 星期	<±4.1% 傳輸標準 <±5.1% 流率設定值	Part 50, App. L, Sec 9.2.5 Part 58, Appendix A Sec. 3.2.3 & 3.3.2		
外部測漏檢查	每次流率確認/校準前，及維護儀器前後	製造商的規格	Part 50, App. L, Sec 7.4.6.1,9.2.3	Sec 7.4.3	採樣器功能
溫度多點確認	安裝時，然後 1 次/每年	<±2.1°C	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 6.4.4	校正飄移和記憶效應
溫度單點確認	1 次/每 4 星期	<±2.1°C	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 7.4.5 和表 6-1	校正飄移和記憶效應
壓力校正確認	安裝時，然後 1 次/每年	<±10.1 mmHg	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 6.5	校正飄移和記憶效應
時鐘/定時器確認	1 次/每 4 星期	1 分鐘/月	Part 50, App L, Sec 7.4.12	Sec 4.2.1	確認以確保功能正常
<b>空白濾紙</b>					
現場空白	約 10%	<± 30.1 µg	Part 50, App L, Sec. 8.3.7.1	表 7.1 和 Sec 10.5	量測系統受到污染
<b>精密度檢查</b>					
併行採樣器	每六天	樣本 ≥ 3.0 µg m <sup>-3</sup> , CV<10.1%	Part 58, App A, Sec 3.2.3		量測系統的精密度
<b>準確度</b>					
流率查核	1 次/每 2 周(自動儀器) 1 次/每 3 個月(手動儀器) 一年兩次，每次要有 5-7 個月間隔	<±4%的查核標準	Part 58, App A, Sec 3.3.3	Sec 11.2.1	儀器偏差/準確度
溫度檢查	4 次/每年 每 180 天和流率查核時	<±2.1°C	沒有描述	Sec 11.2.2	校正飄移和記憶效應
壓力檢查	4 次/每年 每 180 天和流率查核時	<±10.1 mm Hg	沒有描述	Sec 11.2.3	校正飄移和記憶效應

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2017) Quality Assurance Guidance Document, QA Handbook Volume II, Appendix D Measurement Quality Objectives and Validation Templates.

### 3. 採樣前、後檢查項目方法與頻率

除了現場採樣需維護儀器效能外，採樣前、後須進行的檢查項目的方法和頻率也應有所規範，表 3.1.10 列出採樣程序檢查項目方法和頻率。

**表 3.1.10 採樣程序檢查項目方法和頻率**

程序	方法與頻率	要求條件	修正動作
濾紙安裝	目視檢查濾紙	濾紙必須要能獨特地辨識，已秤重的，未損壞的，而且是在濾紙匣	退出濾紙並在濾紙匣內安裝替代的濾紙
樣品確認和文件化	目視檢查每個樣本和顯示幕或下載樣本數據以維持完整性	記錄採樣日期，濾紙和採樣器的辨識碼，採樣站的位置，流量，採樣時間，數據表或電腦螢幕不尋常的狀況	完成與修正文件，用單線劃掉無效的資訊，初始化跟日期的改變
採樣後的檢查	目視濾紙匣的濾紙是否撕裂、缺損或洩漏。再檢查採樣操作。	不應該有明顯的濾紙損壞或採樣器故障	標記有問題的樣本，修正故障原因
洩漏檢查	當流量確認或修正時、懷疑洩漏時、清潔與維護後，都須檢測洩漏	洩漏檢查結果必需符合製造商明確標示的參數內	確定洩漏原因並修正，確認和/或校正採樣器流量
流量檢查	至少每 4 個星期檢查流量或每月檢查一次採樣器	採樣流量指示必須在 $\pm 4\%$ 的量測流量	修正問題。如果需要重新校正採樣器
現場空白檢查	每個稱重期間至少有一個現場空白。安裝然後立即從採樣器上移除，存放在有保護裝置的採樣盒內，或者是更好地能安裝在一個單張濾紙閒置的採樣器上 24 小時，然後移除。對於連續採樣器，安裝在一個未使用的濾紙夾內。	輪流將濾紙放置在不同採樣器內，因此所有的採樣器都會被檢查過。 對於連續採樣器的特殊要求： 每個批次要稱重的濾紙應該有一個或多個現場空白。	重新評估濾紙處理技術，貯存與轉移條件及儀器清潔度。

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2016) Quality Assurance Guidance Document 2.12, Monitoring PM<sub>2.5</sub> in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods. Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division, NC 27711.

#### 4. PM<sub>2.5</sub> 質量濃度樣品空白

有關本計畫樣品空白的施行方式，依照環檢所 NIEA A205.11C 方法指出：每十個樣品至少需進行一個現場空白（Field blank）樣品，現場空白樣品需和 PM<sub>2.5</sub> 採樣濾紙一起進行採樣前秤重，現場空白濾紙需被運送到採樣地點，裝進採樣器但不進行採樣，取出空白濾紙重新秤重作為現場空白，採樣後若較採樣前秤重值差超過 30 µg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。本計畫在正常採樣情況下，每次採樣會輪流選取六個測站的一個測站，進行一個現場空白，這個頻率將優於環檢所的規定。

NIEA A205.11C 方法又指出：每十個樣品至少需進行一個運送空白（Trip blank）樣品，運送空白樣品需和 PM<sub>2.5</sub> 採樣濾紙一起進行採樣前秤重，運送空白樣品需被運送到採樣地點，採樣後連同樣品一起運送回實驗室，採樣後若較採樣前秤重值差超過 30 µg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。本計畫運送空白與現場空白同時進行，每次採樣會輪流選取六個測站的一個測站，進行運送空白與現場空白各一個。

另外，每十個樣品至少需進行一個實驗室空白（Laboratory blank）樣品，實驗室空白樣品需和每一批 PM<sub>2.5</sub> 採樣濾紙一起進行採樣前秤重，在現場採樣期間實驗室空白濾紙置於保存容器中放置實驗室裡，並進行重新秤重以作為實驗室空白，採樣後若較採樣前秤重值差 15 µg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。本計畫實驗室空白與現場空白和運送空白同時進行。

有關「現場空白」的做法，美國 Chemical Speciation Network/Speciation Trends Network (CSN/STN)(Chow et al., 2010)是於採樣前將濾紙放入採樣器 15 分鐘，但不進行採樣，然後取下放入濾紙攜帶盒，再隨採樣樣本運送回來。本計畫以靜置 24 小時方式進行「現場空白」。「運送空白」則是隨著採樣濾紙運去再運回，不從濾紙攜帶盒取出來。這些濾紙回到秤重實驗室後，都會和採樣樣本一樣，進行秤重。至於 NIEA A205.11C 方法規定的「實驗室空白」，本計畫也是除了不隨採樣濾紙運送外，其餘處理步驟都和「現場空白」、「運送空白」相同。

## 5. PM<sub>2.5</sub> 化學成分樣品空白

PM<sub>2.5</sub> 化學成分的標準或參考方法在我國和美國都還沒有公告，在美國 Chemical Speciation Network/Speciation Trend Network (CSN/STN)是取 10%樣本進行「現場空白」，「運送空白」則是 0~3% (Chow et al., 2010)，事實上，根據過去執行經驗，「現場空白」可以取代「運送空白」。本計畫為瞭解「現場空白」的影響，在所有六個 PM<sub>2.5</sub> 成分採樣測站，每次採樣選取一站，在微粒質量濃度、水溶性無機離子、碳成分測定的濾紙都對應有一張「現場空白」，這些「現場空白」濾紙將放置於成分採樣器空白採樣通道內，放置時間和採樣時間相同都是 24 小時。至於一張「運送空白」則只是隨著採樣樣本運送，在採樣過程並不拿出，「實驗室空白」也是每次採樣各成分各對應有一張濾紙。

本計畫採樣人員都具備專業採樣技術，當採樣器發生故障時，本計畫採樣人員可以進行基本故障排除。2017 年採樣工作已開始使用 MetOne E-FRM、SASS 成分採樣器，本計畫對該類儀器有多年採樣經驗；另外，本計畫團隊也擁有備援的微粒碳成分分析儀一部和多部離子層析儀。

為確保採樣品質，採樣品保工作將包含採樣口選擇應符合環保署規範、濾紙的選擇、檢查、採樣前、後濾紙的運送與儲存，採樣器標準操作程序、校正等項目，這些項目都需加以檢視和記錄。各項採樣相關的品管和品保檢查項目都詳列於本計畫品保規劃書內。針對天候或突發狀況影響採樣的補充採樣計畫將視需求提出。

## 6. 採樣器維護檢查

PM<sub>2.5</sub> 採樣器應維護檢查項目，項目將依照不同採樣器進行調整(表 3.1.11)。

**表 3.1.11 PM<sub>2.5</sub> 採樣器維護檢查項目**

<b>E-FRM</b>	
<b>頻率<sup>a</sup></b>	<b>維護項目<sup>b</sup></b>
每 5 個採樣天	1. 維護採樣器集水瓶 2. 清潔或更換衝擊板
每月	1. 清潔採樣器入口表面 2. 清潔衝擊室與衝擊口表面，並檢視 O 型環 3. 清潔採樣器內部 4. 採樣器時間準度確認 5. 檢查樣本運送盒狀況 6. 清潔 VSCC
每季(每 3 個月)	1. 檢查入口 O 型環，清除並薄塗一層真空油脂 2. 清潔採樣器空氣導管(downtube) 3. 檢查和維護在空氣導管進入採樣器內的密封防水墊片 4. 檢查和維護 VSCC 5. 檢查和維護採樣抽氣管線、接頭、以及其他連結到泵浦和電子組件 6. 檢查和維護排風出口濾網和風扇
其他週期維護	1. 儀器製造商建議事項
<b>SASS</b>	
<b>頻率<sup>a</sup></b>	<b>維護項目<sup>b</sup></b>
每 5 個採樣天	清潔各個採樣套管
每月	1. 清潔 VSCC 外部，檢查 O 型環 2. 檢查和維護採樣抽氣管線、接頭、以及其他連結到泵浦和電子組件 3. 採樣器時間準度確認
每季(每 3 個月)	1. 檢查 SASS 與套管連結處是否正常 2. 檢查採樣套管內部 O 型環 3. 清潔 VSCC 內部，檢查內部 O 型環並薄塗一層真空油脂 4. 檢查和維護採樣抽氣管線、接頭、以及其他連結到泵浦和電子組件 5. 更換全新 MgO 擴散管組件 <sup>c</sup> 。
其他周期性維護	依照採樣器手冊製造商的建議

<sup>a</sup> 頻率可依照天氣、空氣中微粒量、天氣等而變動

<sup>b</sup> 在維護任何上游採樣器組件前要移除衝擊器和濾紙夾

<sup>c</sup> 全新 MgO 使用前皆須完成使用前評估，以減少落屑干擾採樣結果。

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2016) Quality Assurance Guidance Document 2.12, Monitoring PM<sub>2.5</sub> in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods. Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division, NC 27711.



## 7. 實驗室品保品管一般原則

表 3.1.12 為 PM<sub>2.5</sub> 採樣分析實驗室品管品保(QA/QC) 檢查項目，主要敘述實驗室各個分析項目的一般性原則。

表 3.1.12 實驗室 QA/QC 檢查項目

項目	頻率	接受標準	40 CFR,方法 2.12 文件	提供的資料
<b>空白濾紙</b>				
一批空白	一次(9 張/一批；3 盒，3 張/每盒)	小於 15.1 µg 差異/每星期	Part 58, App. A, Sec. 3.2.3 2.12, Sec. 11.2.2	濾紙運送穩定性；每批次獲得穩定重量的時間
實驗室空白	大約 10%/秤重進行	<±15.1 µg 的差異	Part 50, App. L, Sec. 8.3.7.2 2.12, Sec. 10.5	實驗室污染
<b>校正/確認</b>				
天秤校正	1 次/每年	製造商的規格	Part 50, App. L, Sec. 8.1 2.12, Sec. 10.11	設備操作的確認
實驗室的溫度校正	1 次/每年	<±2.1 °C	品保計畫規畫 (QAPP) 2.12 Sec. 4.3.8,9.4	設備操作的確認
實驗室的濕度校正	1 次/每年	<±2.1 %	品保計畫規畫 (QAPP) 2.12 Sec. 4.3.8,9.4	設備操作確認
<b>準確度</b>				
天秤檢查	秤重開始，每 10 個樣本，秤重結束	≤3.1 µg	2.12, Sec. 10.6,4.3.7	天秤的準確度/穩定度
<b>校正標準</b>				
溫度標準	1 次/每年	<±2.1 °C	2.12, Sec.4.3.8 和 9.4	標準確認(檢查準確度)
相對濕度標準	1 次/每年	<±2.1%	2.12, Sec. 4.3.8 和 9.4	標準驗證
<b>精密度</b>				
重複濾紙秤重	每次秤重	<±15.1 µg 差異	2.12 Sec. 10.8, 品保計畫規畫 (QAPP)	秤重可重複性/濾紙的穩定性

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2017) Quality Assurance Guidance Document, QA Handbook Volume II, Appendix D Measurement Quality Objectives and Validation Templates.

從上述各表格內的檢查項目可以清楚瞭解各項流程及操作方式，本計畫累積過去執行經驗，已經完成修正各式紀錄表格，例如濾紙檢查、秤重記錄表、測漏流量校正表、採樣器維護表等。

### 3.1.10 實驗室檢測數據品保規劃簡要說明

#### 1. 實驗室品保規劃參考方法彙整

表 3.1.13 彙整本計畫包含：採樣、分析、數據及樣本品保作業所參考標準方法及文獻資料。

表 3.1.13 本計畫各執行項目參考檢測方法彙整

項目	檢測方法
<b>採樣作業</b>	
空氣中懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> ) 檢測方法—手動採樣法	NIEA A205.11C
濾紙準備與分析檢查、採樣程序檢查項目方法和頻率、PM <sub>2.5</sub> 採樣器維護檢查項目	U.S. EPA , 2016
<b>檢測分析</b>	
PM <sub>2.5</sub> 質量濃度	NIEA A205.11C
水溶性無機離子-陰離子	RTI, 2009a NIEA W415.54B
水溶性無機離子-陽離子	RTI, 2009b
PM <sub>2.5</sub> 碳成分	US IMPROVE A
金屬元素成分	NIEA A305.11C
<b>品保品管</b>	
環境樣品採集及保存作業	NIEA-PA102
檢量線製備及查核	NIEA-PA103
環境檢驗品管分析	NIEA-PA104
品質管制圖建立	NIEA-PA105
檢驗器皿清洗及校正	NIEA-PA106
方法偵測極限	NIEA-PA107
現場採樣 QA/QC、實驗室 QA/QC 檢查項目	U.S. EPA , 2017

#### 2. 數據品質目標

表 3.1.14 為本計畫各量測項目的數據品質目標，有關精密度和準確度在 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度方面將以樣品重複秤重為比較基礎，PM<sub>2.5</sub> 成分則為標準品重複分析。完整性為執行本計畫後，評估最終所得的有效數據數量與預期所得的數據數量的比值。比較性則以採樣點環保署監測站相對應儀器或是常規手動量測數據進行比較，以確認彼此監測品質。

表 3.1.14 各量測項目數據品質目標

檢測項目	檢測方法	精密度 (%)	準確度 (%)	完整性 (%)	MDL 目標 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
質量濃度	NIEA A205.11C	<20	80-120	90	2.0
Cl <sup>-</sup>	RTI, 2009a NIEA W415.54B	<20	80-120	90	0.08
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		<20	80-120	90	0.06
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		<20	80-120	90	0.05
Na <sup>+</sup>		<20	80-120	90	0.04
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	RTI, 2009b	<20	80-120	90	0.02
K <sup>+</sup>		<20	80-120	90	0.04
Mg <sup>2+</sup>		<20	80-120	90	0.02
Ca <sup>2+</sup>		<20	80-120	90	0.07
有機碳(OC)	US IMPROVE A	<20	80-120	90	0.5
元素碳(EC)		<20	80-120	90	0.5
總碳(TC)		<20	80-120	90	0.5
鈣(Ca)	NIEA A305.11C	<20	80-120	90	0.030
鋁(Al)、鐵(Fe)、鈉(Na)、 鉀(K)		<20	75-125	90	0.010
鋇(Ba)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、 鎂(Mg)、鈦(Ti)		<20	75-125	90	0.002
錳(Mn)、鎳(Ni)、銅(Cu)、 銻(Sb)、鉛(Pb)、釩(V)、 砷(As)、硒(Se)、銦(Sr)、 鉬(Mo)、鎘(Cd)、錫(Sn)		<20	75-125	90	0.0005

註：實際方法偵測極限應小於或等於方法偵測極限目標值；完整性 = 分析樣本數 ÷ 應分析樣本數

### 3. PM<sub>2.5</sub> 化學成分分析數據品質目標符合度

表 3.1.15 彙整本年度計畫 PM<sub>2.5</sub> 化學成分各量測項目的數據品質目標符合度，其中，金屬元素因按所檢測成分濃度區間分為四大類，各數據品質項目呈現變化區間。各數據品質項目統計結果皆都符合計畫品保規劃書所訂定目標值。

表 3.1.15 本年度 PM<sub>2.5</sub> 化學成分的數據品質目標符合度

檢測項目	檢測方法	查核數 (N)	精密度 (%)	準確度 (%)	完整性 (%)	MDL ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Cl <sup>-</sup>	RTI, 2009a	106	4.6	107	>95	0.01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NIEA		2.9	95	>95	0.03
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	W415.54B		1.8	96	>95	0.01
Na <sup>+</sup>	RTI, 2009b	53	4.4	96	>95	0.01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			3.2	108	>95	0.02
K <sup>+</sup>			4.4	100	>95	0.02
Mg <sup>2+</sup>			4.3	100	>95	0.02
Ca <sup>2+</sup>			5.1	100	>95	0.02
有機碳(OC)	US IMPROVEA	110	3	100	>95	0.37
元素碳(EC)					>95	0.37
總碳(TC)					>95	0.37
鈣(Ca)	NIEA A305.11C	29	5.8	85	>95	0.019
鋁(Al)、鐵(Fe)、鈉(Na)、 鉀(K)			2.0-4.7	89-105	>95	0.004
鋇(Ba)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、 鎂(Mg)、鈦(Ti)			1.2-4.3	91-103	>95	0.0005
錳(Mn)、鎳(Ni)、銅(Cu)、 銻(Sb)、鉛(Pb)、釩(V)、 砷(As)、硒(Se)、銦(Sr)、 鉬(Mo)、鎘(Cd)、錫(Sn)			1.3-7.3	94-109	>95	0.0001

備註：

目標值：精密度<20%，準確度為 80-120% (金屬元素為 75-125%)，完整性為 90%。

完整性算法：分析完成樣本數/應分析樣本數。

查核樣本數(N)：各項目 N 值為查核樣本數根據批次數量、總分析次數等差異而有不同；陰離子查核數較多是因為包含查核修正用途的耐隆濾紙所致。

表 3.1.16 本年度 PM<sub>2.5</sub> 元素成分參考物質 (SRM 1648) 檢測結果 (N=29)

項目	Certified Values	This Study	準確度(%)
Al	3.42±0.11# %	3.20±0.19 %	93
Fe	3.91±0.10 %	4.12±0.44 %	105
Na	0.425±0.002 %	0.38±0.03 %	89
Mg	8000 mg/kg*	7292±435 mg/kg	91
K	1.05±0.01 %	1.07±0.10 %	102
Ca	---**	5.75±0.26 %	---
Sr	---**	219±15 mg/kg	---
Ba	737 mg/kg*	762±66 mg/kg	103
Ti	4000 mg/kg*	3754±176 mg/kg	94
Mn	786 mg/kg*	769±33 mg/kg	98
Co	18 mg/kg*	17±1 mg/kg	95
Ni	82±3 mg/kg	88±7 mg/kg	108
Cu	609±27 mg/kg	572±33 mg/kg	94
Zn	4760±140 mg/kg	4612±392 mg/kg	97
Mo	---**	17±1 mg/kg	---
Cd	75±7 mg/kg	75±4 mg/kg	100
Sn	---**	113±12 mg/kg	---
Sb	45 mg/kg*	45±6 mg/kg	99
Tl	---**	3±0.4 mg/kg	---
Pb	6550±80 mg/kg	7118±622 mg/kg	109
V	127±3 mg/kg	125±5 mg/kg	98
Cr	403±12 mg/kg	417±49 mg/kg	103
As	115±10 mg/kg	110±15 mg/kg	95
Y	---**	16±1 mg/kg	---
Se	27±1 mg/kg	27±4 mg/kg	100
Zr	---**	99±3 mg/kg	---
Ge	---**	13±0.72 mg/kg	---
Rb	52 mg/kg*	47±3 mg/kg	90
Cs	3 mg/kg*	3±0.37 mg/kg	104
Ga	---**	37±3 mg/kg	---
La	42 mg/kg*	36±3 mg/kg	86
Ce	55 mg/kg*	51±5 mg/kg	94
Nd	---**	29±5 mg/kg	---

#一個標準偏差; \*該元素僅提供參考值; \*\*該元素無提供 NIST SRM 1648 認證值或參考值。

#### 4. 樣品管制

樣品管制包括：(1)現場取樣作業和(2)檢驗室作業兩部份，茲分別簡述於表 3.1.17至表3.1.18，詳細敘述則列於本計畫品保規畫書。

**表 3.1.17 現場取樣作業樣品管制**

樣品管制	作業事項	備註說明
現場取樣作業	MetOne SASS 採樣器	1. 於 MetOne SASS 儀器，取下採樣套管並使用原廠密封套件將入口與出口端密封。 2. 放置冷藏櫃( $\leq 4^{\circ}\text{C}$ )。 3. 將採樣器妥善放置儀器箱內，運送回實驗室。
	E-FRM 採樣器	1. 於 E-FRM 儀器，取出濾紙並置於濾紙盒中。 2. 放置冷藏櫃( $\leq 4^{\circ}\text{C}$ )。 3. 將濾紙盒妥善放置儀器箱內，運送回實驗室。

**表 3.1.18 檢驗室作業樣品管制**

樣品管制	作業事項	備註說明
檢驗室(微量天平秤重室)作業	人員管制	1. 進入微量天平室，須先填寫天平室進出紀錄表。非實驗室人員進入時，須由實驗室管理人同意並派實驗室人員陪同進入。 2. 進入微量天平室時，須穿著乾淨的衣服，並徹底清洗自己身體可能暴露在秤重的部位，同時換穿室內拖鞋。
	濾紙保存與環境條件控制	1. 濾紙由指定廠商送達天平室時，須確認購買的濾紙是否符合規定，包括濾紙尺寸、濾紙種類、濾紙廠商來源，購買數量。 2. 確認完畢須將購買濾紙放置天平室保存櫃中備用。 3. 天平室環境相對溼度須控制在 30-40%，溫度須控制在 20-23 $^{\circ}\text{C}$
	編號與調理濾紙	1. 新的一批濾紙必須給予新的批號，例如 22TA，22 取 2022 年後兩位數字，T 代表鐵氟龍濾紙，當使用石英濾紙時代號為 Q，使用耐隆濾紙時代號為 N；另外，A 代表此批濾紙的批號順序，當進行下一批濾紙時則改成 22TB，以此類推。 2. 假設每批鐵氟龍濾紙有 50 張，其中 3 張將選為空白濾紙，5 張為備份濾紙；因此，提供採樣批號號碼由 09 開始至 50，亦即，批號號碼由 22TA09 開始至 22TA50 結束。 3. 將濾紙放入恆溫恆濕箱中，開 3/4 的盒蓋，調理 72 小時。調理完畢，將濾紙盒蓋上，放置待量測的恆溫恆濕相中，等待秤重。
	濾紙初秤重	1. 確認環境條件相對溼度控制在 30-35%，溫度控制在 20-23 $^{\circ}\text{C}$ ，才能繼續秤重。 2. 先將濾紙在“去靜電機”上繞圈(水平及周圍) 30 秒以上，以去除靜電並將空的濾紙盒蓋好。 3. 一人秤重兩次，此兩次重量不得超過標準操作程序規定數值，如兩次秤重超過規定數值，必須重新再去除靜電、秤重。 4. 第二人以上秤重至少間隔 24 小時，兩次秤重重量不得超過規定數值，且與第一人秤重的平均重量不得相差超過規定數值。當都符合規定，表示初秤重完成。
	濾紙後秤重	1. 採樣後濾紙盒蓋以 3/4 開放放調理櫃中至少 72 小時後進行秤重。 2. 秤重方式與初秤重相同。

樣品管制	作業事項	備註說明
檢驗室作業(碳分析儀)	樣本品保人員 確認樣品編號 及數量	1. 確認樣品編號是否有誤。 2. 包裝是否完整密封。
	將樣本妥善冷藏保存	1. 冷藏溫度約 $< -15^{\circ}\text{C}$
	碳分析儀分析 前置作業	1. 檢查鋼瓶是否足夠? 並檢查氣閥及浮子是否正確 2. 執行儀器測漏、FID 點火、啟動程式軟體，依照標準操作步驟設定儀器。
	樣本分析	1. 樣品至冷藏取出，並確認樣品編號。 2. 於儀器分析頁面輸入樣品編號、次數、使用者名稱。 3. 確認無誤，開始分析。
檢驗室作業(水溶性無機離子)	碳分析儀校正 作業	1. 配製 KHP 標準液 2. 配製七點檢量線( $R \geq 0.995$ ) 3. 標準液誤差百分比需低於 5%
	樣本品保人員 確認樣品編號 及數量	1. 確認樣品編號是否有誤。 2. 包裝是否完整密封。
	將樣本妥善冷藏保存	1. 萃取前冷藏溫度 $< -15^{\circ}\text{C}$ 。 2. 萃取後冷藏溫度約 $4^{\circ}\text{C}$ 。
	樣本處理	1. 將樣本由冰箱中取出等待回溫。 2. 樣本剪開後置入萃取瓶中，並加入酒精及純水進行萃取。 3. 過濾萃取後的樣本液體等待分析。 4. 確認儀器狀態無誤後開起操作軟體進行分析。
檢驗室作業(金屬元素)	校正作業	1. 配製陰陽離子標準液(配製流程詳見 IC 標準程序)。 2. 配製濃度合宜的檢量線( $R \geq 0.995$ )。 3. 標準液誤差百分比需低於 10%。
	樣本品保人員 確認樣品編號 及數量	1. 確認樣品編號是否有誤。 2. 包裝是否完整密封
	將樣本妥善冷藏保存	1. 冷藏溫度約 $4^{\circ}\text{C}$ 。 2. 樣本可存放期限約 3 個月。
	樣本處理	1. 將樣本由冰箱中取出等待回溫。 2. 樣本剪開後置入消化瓶中，並加入硝酸及氫氟酸進行消化。 3. 將樣本液體定量、稀釋至適當濃度。 4. 確認儀器狀態無誤後開起操作軟體進行分析。
檢驗室作業(金屬元素)	校正作業	1. 配製金屬元素標準液(配製流程詳見金屬元素標準程序)。 2. 配製濃度合宜的檢量線( $R \geq 0.995$ )。 3. 標準液誤差百分比需低於 10%。

## 5. 校正程序及頻率

本計畫中所使用設備可分為室外採樣設備與室內分析設備，室外採樣設備為 MetOne E-FRM 採樣器、MetOne SASS 採樣器，所需校正參數包括溫度、相對濕度、大氣壓力與採樣流量；室內分析設備則包括微量分析電子天平、離子層析儀、碳分析儀、感應耦合電漿質譜儀，各項儀器校正頻率如表 3.1.19 所列。

表 3.1.19 儀器校正頻率

儀器設備名稱	校正項目	校正頻率	標準品或設備	校正方法或備註
MetOne E-FRM 採樣器	溫度	每年	專用且經校正的溫度計	檢測人員執行
	相對溼度	每年	專用且經校正的相對溼度計	
	大氣壓力	每年	專用且經校正的大氣壓力計	
	採樣流量	每次	專用且經校正的氣體流量計	
MetOne SASS 採樣器	溫度	每年	專用且經校正的溫度計	檢測人員執行
	相對溼度	每年	專用且經校正的相對溼度計	
	大氣壓力	每年	專用且經校正的大氣壓力計	
	採樣流量	每次	專用且經校正的氣體流量計	
微量分析電子天平	質量	每年或移動後	標準砝碼	TAF 認證(ISO/IEC 17025:2005)量測實驗室執行
	天平水平零點	每次使用前		本計畫自行檢查
	再現性檢查	每半年		
離子層析儀	檢量線	每次使用前	各種離子標準液	檢測人員執行
	精密度	每次使用前	各種離子標準液	
	準確度	每次使用前	各種離子標準液	
	再現性	每 10 個樣品	與樣品濃度相近的標準品	
碳分析儀	檢量線	每月配製	各種濃度標準液	檢測人員執行
	精密度	每月配製	各種濃度標準液	
	準確度	每月配製	各種濃度標準液	
	再現性	每 10 個樣品	與樣品濃度相近的標準品	
感應耦合電漿質譜儀	流量校正	每季	專用且經校正的氣體流量計	檢測人員執行
	檢量線	每次使用前	各種金屬元素標準液	
	精密度	每次使用前	標準參考樣本	
	準確度	每次使用前	標準參考樣本	
	再現性	每 20 個樣品	標準參考樣本	

## 6. 績效查核與系統查核及頻率

績效查核如：績效評估樣品測試、實驗室間比對等，系統查核包括整個測定系統，如：實驗紀錄、數據管理、人員訓練、儀器設備運轉等，分別列於表 3.1.20。



表 3.1.20 績效查核與系統查核

儀器設備名稱	儀器設備運轉及測定系統	實驗紀錄及管理	人員訓練	績效查核
MetOne E-FRM 採樣器	操作人員進行相關測試及維護及確保儀器運轉	實驗紀錄由操作人員擔任，品保人員管理確認。	由專責人員詳細指導操作人員操作。	由品保人員實驗室進行查核
MetOne SASS 採樣器	操作人員進行相關測試及維護及確保儀器運轉	實驗紀錄由操作人員擔任，品保人員管理確認。	由專責人員詳細指導操作人員操作。	由品保人員實驗室進行查核
碳分析儀	由操作人員確認儀器運轉及維護。	實驗紀錄由操作人員擔任，於品保人員管理確認。	由專責人員詳細指導操作人員操作。	由品保人員實驗室進行查核或參與標準品盲樣測試
離子層析儀	操作人員進行相關測試及維護及確保儀器運轉	操作人員擔任，但是品保人員查核有疑慮時，需進行檢討及改善	參加原廠教育訓練	由品保人員實驗室進行查核或參與國際標準品績效評估樣品測試
感應耦合電漿質譜儀	操作人員進行相關測試及維護及確保儀器運轉	操作人員擔任，但是品保人員查核有疑慮時，需進行檢討及改善。	參加原廠教育訓練	由品保人員實驗室進行查核或參與國際績效查核樣品測試

## 7. 改正措施之依據及步驟

改正措施包括發生的問題、錯誤原因、改正步驟，分別列舉離子層析儀、碳分析儀與感應耦合電漿質譜儀改正措施如表 3.1.21。

表 3.1.21 改正措施之依據及步驟

儀器設備名稱	改正問題	錯誤原因	改正步驟
離子層析儀	低於檢量線的可適用範圍	原因應該來自樣品濃度過低，或是檢量線離子濃度過高。	使其適用範圍可包含低濃度的樣品；或另行配製低濃度檢量線。
	高於檢量線的可適用範圍	原因應該來自樣品濃度過高，或是檢量線離子濃度過低。	使其適用範圍可包含高濃度的樣品；或者將所要分析的樣品稀釋。
	水溶性陰陽離子當量平衡濃度比不在 0.8 與 1.2 間	當所分析樣品的陰陽離子平衡濃度比大於 1.2 或低於 0.8 時，需確認是否在分析過程發生錯誤。	量測實驗室空白值是否有背景離子濃度？確認分析程序是否有錯誤？檢討水質是否潔淨？容器是否清潔？人員配製方法是否有問題？樣本是否濃度極低？樣本是否鄰近污染源？如果發現有重大不可回復的情形，則原先分析的結果將摒棄不用。
	絕對酒精會干擾分析儀器訊號出現位置	絕對酒精會干擾 Cl <sup>-</sup> ，升高基線，影響 Cl <sup>-</sup> 積分位置。	調整絕對酒精稀釋倍數降低。
	添加樣品分析執行方式	使用空白濾紙添加標準品後，計算標準品回收率，無法得知添加標準品對實際樣品的影響。添加的標準品濃度值有些不符合實際樣品的濃度。	數次調整標準品濃度值至適當濃度後，再進行添加樣品分析的執行方式。

儀器設備名稱	改正問題	錯誤原因	改正步驟
碳分析儀	空白濾紙分析使用的濾紙廠牌為 PALL	與計畫採樣所用的 Whatman 濾紙廠牌不相同	使用與計畫採樣同廠牌的濾紙進行較為恰當
	檢量線未達標準 ( $R \geq 0.995$ )	配製標準液，其配製濃度與理論濃度差距過大，造成線性不佳。	重新分析標準液，若分析後還未達標準，應重新配製標準液再施打。
	誤差百分比超過 5%	配製標準液，配製濃度與理論濃度差距過大，導致誤差百分比超過範圍值。	重新分析此標準液，若分析後還未達標準，需重新配製標準液。
	測漏未通過(30 秒壓力下降超過 0.06)	儀器設備有漏氣現象，導致壓力快速下降。	檢查儀器設備可能的漏氣部位將其鎖緊後，再測試是否有漏氣現象。
	空白值超過 $0.2 \mu\text{gC cm}^{-2}$	空白濾紙受到污染或是碳分析儀部分污染。	再次施打空白濾紙，觀察是否達到接受範圍，若未達到應更換空白濾紙並分析採樣是否達到接受範圍。
感應耦合電漿質譜儀	低於檢量線的可適用範圍	原因應該來自樣品濃度過低，或是檢量線金屬元素濃度過高。	檢量線適用範圍若不能包含低濃度樣本，需另行配製低濃度檢量線。
	高於檢量線的可適用範圍	原因應該來自樣品濃度過高，或是檢量線金屬元素濃度過低。	檢量線適用範圍若不能包含高濃度樣本，需將所要分析的樣本稀釋。
	檢量線未達標準 ( $R \geq 0.995$ )	配製標準液，其配製濃度與理論濃度差距過大，造成線性不佳。	重新分析標準液，若分析後還未達標準，應重新配製標準液再施打。
	同位素干擾	不同元素的同位素形成相同整數 (Nominal) 質荷比的單價或二價離子，而無法被質譜儀解析所造成。	選擇其他天然豐度較大的同位素。
	多原子離子干擾	因多個原子所形成的離子與待分析物的同位素具有相同的整數質荷比，無法由質譜儀解析時。	可藉由質量分析器前的化學或碰撞反應室等相關設計消除。

## 3.2 解析時間與空間分布特徵及影響因素

本計畫分析空氣品質監測資料及氣象因子，釐清季度與環境條件對於  $\text{PM}_{2.5}$  濃度影響，透過各地區  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分組成特性，解析  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分時間和空間分布影響因子，所得資訊可提供環保單位訂定或評估污染源管制策略參考。

### 3.2.1 $\text{PM}_{2.5}$ 污染事件分類與判別準則

本計畫將  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度超出空氣品質日平均標準值( $\text{PM}_{2.5} \geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) 定義為污染事件日(但這並不表示該污染事件為超過我國  $\text{PM}_{2.5}$  空氣品質標準，因為  $\text{PM}_{2.5}$  空氣品質標準符合度另公布有判斷方法)，然後將污染事件依照形成原因分為：在地污染、外地污染傳輸及境外污染傳輸等三大類別。分類方法利用三種不同尺度資料，包括風場及網站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度模式模擬資料、逆推氣流軌跡、環保署測站監測資料小時值，以解析污染物濃度上升原因，這些資料可分為三種不同尺度資料，詳細如下方說明：

1. 大尺度資料 1：以 NOAA Air Resources Laboratory 所研發的 Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory 簡稱 HYSPLIT 模式(Draxler and Hess, 1998)，追溯 72 小時內氣流行經路線(圖 3.2.1 左上)，可評估氣流傳輸至測站以前經過的各地區。
2. 大尺度資料 2：以 <https://earth.nullschool.net> 所提供的亞洲大陸及臺灣各地風場及空氣品質模擬資料(圖 3.2.1 右上)，可輔助確認 HYSPLIT 模式軌跡路線，以及提供境外氣流傳輸污染物的空間地理分布。
3. 中尺度資料 1 和 2：利用環保署監測站每小時全臺灣污染物濃度分布圖(中尺度資料 1，圖 3.2.1 下左)與風速風向分布(中尺度資料 2，圖 3.2.1 下右)瞭解全臺灣污染物濃度地理分布與各採樣地區小時風速與風向，並與大尺度資料 2 交互比對確認。
4. 小尺度資料：使用環保署空氣品質監測站自動監測資料小時值，研判污染物小時濃度變化趨勢，瞭解測站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與氣象因子及污染前驅物間變化趨勢。有關風速的影響，本計畫以  $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升以及風向與風速  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  作為風速高、低分界，風速高污染物濃度升高顯示為外地傳輸，風速低污染物濃度升高則表示為在地污染物累積。

透過上述三種不同尺度資料的交互評估，本計畫將污染事件可能成因及傳輸劃分為境外傳輸事件、外地傳輸事件(由鄰近都會傳輸影響)以及在地污染三種類型。各類污染事件來源判別依據說明如下：

### (1) 境外傳輸事件

若大尺度資料 1 的逆推氣流軌跡顯示氣流行經亞洲大陸高污染地區且高度位在混合層下方，則可能攜帶污染物至採樣地區，測站將可能受到境外污染物傳輸影響；再透過大尺度資料 2 的模擬，交互確認氣流來向以及污染物濃度在不同時間的空間分布。中尺度資料的臺灣污染物濃度空間分布，將會出現臺灣各地污染物濃度有不同時間階段遞延上升現象，小尺度監測資料則會顯現測站各污染物濃度隨風速上升現象，但也可能出現 PM<sub>2.5</sub> 濃度單獨隨風速上升現象。

### (2) 外地污染傳輸事件

發生外地污染傳輸時，大尺度資料 1 的逆推氣流軌跡來向以及大尺度資料 2 模擬的各地風場和濃度分布，將顯示氣流來向為海面或是傳輸至測站前經過其他空品區，具有污染傳輸現象；中尺度資料則將顯示隨時間進展，各地污染物濃度發生有時間階段式遞延上升現象，小時風速大於 1.6 m s<sup>-1</sup>，並且可由風向推估來向為其他空品區；小尺度測站資料則會出現測站 PM<sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升現象。

### (3) 在地污染事件

大尺度資料 1 和 2 的氣流軌跡來向為海面或是傳輸至採樣地區前未經過明顯污染地區；中尺度資料顯示 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升僅在測站所在空品區內，或是污染物移動範圍較小；小尺度測站資料的風速大多低於 1.6 m s<sup>-1</sup>，並且 PM<sub>2.5</sub> 濃度時常於交通尖峰時段與 NO<sub>x</sub> 及 CO 濃度一同上升，此時污染物濃度上升主要受到環境擴散條件不佳影響。

除了前述污染來源推估準則外，環境擴散條件不佳時導致的污染物殘留現象，及午後光化學作用也是污染物濃度上升原因，本計畫針對這些現象分別說明如下：

#### 1. 夜間污染殘留

夜間污染殘留現象通常於前一天夜間開始，污染物濃度因風速不高，導致前一天夜間所產生污染物擴散速率緩慢，因而影響隔天空氣品質。本計畫為明確判讀這種現象，定義採樣前一天 22 時至 23 時環保署空氣品質監測資料 PM<sub>2.5</sub> 濃度小時平均值  $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$  時，即為有夜間污染殘留現象。

#### 2. 光化學作用

大氣光化學作用反應過程複雜，影響因子眾多，為明確判讀光化學作用對 PM<sub>2.5</sub> 濃度影響，當測站在採樣日上午 11 時至下午 15 時期間，發生臭氧尖峰濃度以後，PM<sub>2.5</sub> 濃度小時值若呈現濃度增高，顯示 PM<sub>2.5</sub> 濃度不僅未受午間環境因子擴散降低反而上升，因而判斷是受到光化學反應影響，將產生二次微粒，本計畫定義這種現象為「光化學作用」。

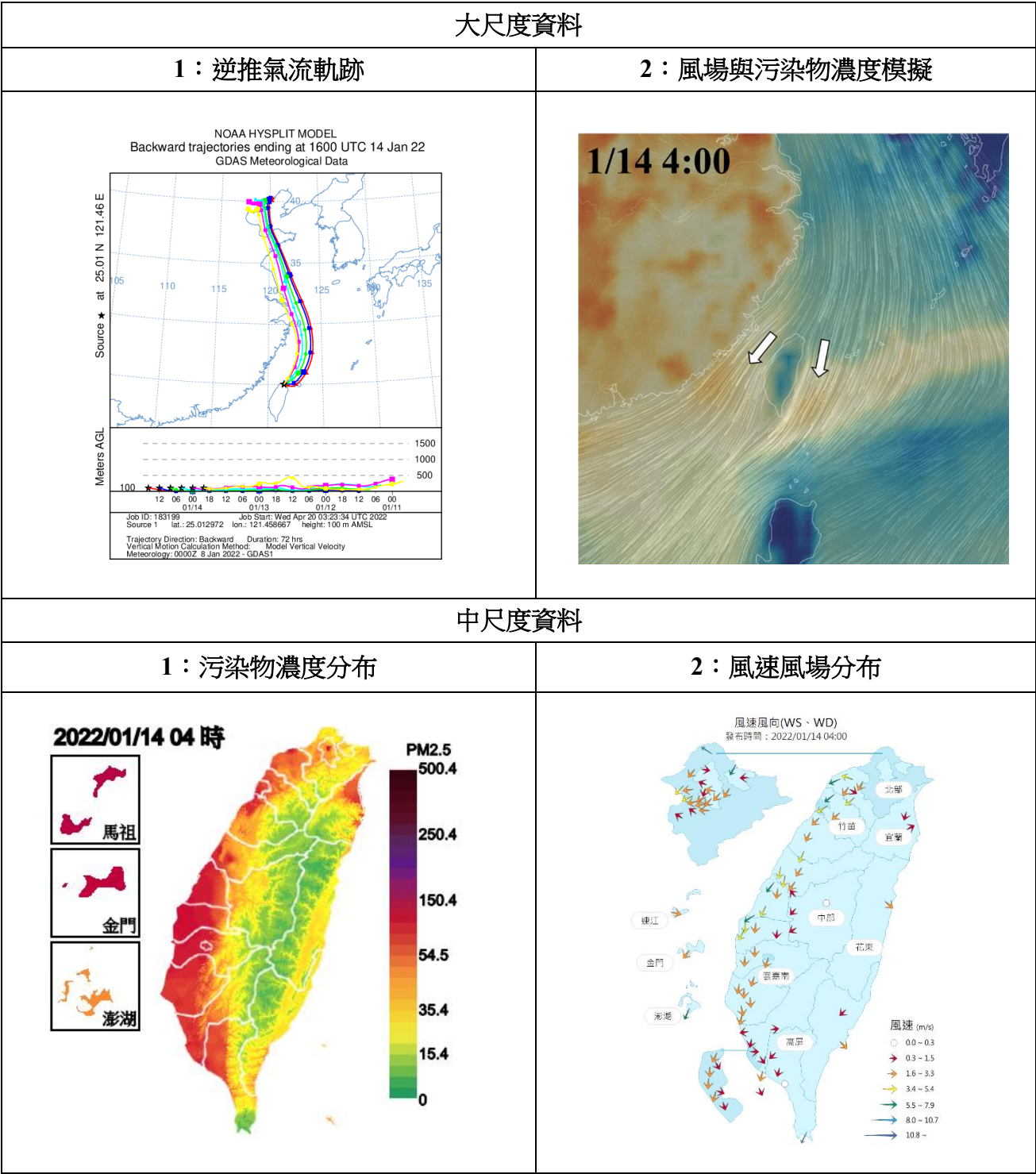


圖 3.2.1 大尺度資料 1 和 2（上圖）與中尺度資料 1 和 2（下圖）範例

### 3.2.2 發散係數分析區域污染來源差異

PM<sub>2.5</sub> 化學成分來源眾多並且檢測地區污染源組成略有差異，但是受到高風速氣流影響時，可檢測到污染物跨地區傳輸現象，為了進一步量化各地區季度成分差異性，本計畫使用發散係數（Coefficient of divergence, CD）評估各空品站差異性。參考文獻資料，發散係數（CD 值）變化從代表無顯著差異的 0 到差異很大的 1，當數值大於 0.3 時即代表兩檢測地區有顯著差異（Wongphatarakul et al., 1998；Kong et al., 2010）。CD 值計算方式以公式 3.2.1 表示。

$$CD_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \left[ \frac{x_{ij} - x_{ik}}{x_{ij} + x_{ik}} \right]^2}{p}}$$

公式 3.2.1

其中：

CD<sub>jk</sub>：j 測站與 k 測站兩地發散係數。

p：為化學成分成分（污染物）數量。

i：代表化學成分（污染物）。

x：代表化學成分（污染物）濃度。

### 3.2.3 推估環境中二次有機碳成分

為了評估環境衍生污染物的比例，本計畫利用有機碳成分(OC)與元素碳成分(EC)資料推估 OC 的二次污染成分(SOC)。Cabada et al. (2004)所提出的 EC Tracer Method，如公式 3.2.2 所示，為目前常見的推估方式。不過此方法容易低估環境中 SOC 實際濃度，因此 Day et al. (2015)則將此方法加以修正，在 OC 與 EC 散布圖中連結 EC 濃度範圍內各 OC 濃度所對應的最高 EC 濃度點，得到的直線斜率即為(OC/EC)<sub>Pri</sub>，稱為 High EC Edge Method。這個方法得到的 (OC/EC)<sub>Pri</sub> 較傳統方法為低，估算的 POC 濃度因而較低，而有較高的 SOC 濃度，經過模式模擬驗證後較傳統的 EC Tracer Method 更符合。

本計畫應用各檢測站修正後 OC 與 EC 化學成分資料，篩除受到降雨影響及當日臭氧最大值超過 40 ppb 的採樣日樣本，以避免因降雨掃除原生污染物的影響及光化學作用而導致 OC 濃度增加的影響，最後以 OC 與 EC 散布圖和 High EC Edge Method 得到直線斜率(OC/EC)<sub>Pri</sub>，再估算 SOC 濃度。

符合前述篩選條件的採樣日數據，將依照高邊界篩選原則，選取各 OC 濃度

3.區間，EC 濃度最高的樣本作為斜率參考資料點，完成計算後將斜率置入原始數據中進行 SOC 濃度推估。以 2017 年至 2021 年度計畫執行期間化學成分資料推估結果如下表 3.2.1 所示。

$$\begin{aligned} \text{POC} &= \left( \frac{\text{OC}}{\text{EC}} \right)_{\text{Pri}} \times \text{EC} + b \\ \text{SOC} &= \text{OC} - \text{POC} \end{aligned}$$

公式 3.2.2

其中：

POC：為推估一次有機碳濃度。

SOC：為推估二次有機碳濃度。

b：截距項，可能為非燃燒產生一次排放污染或其他干擾因素。

OC/EC<sub>pri</sub>：以篩選後數據推估原生有機碳與元素碳比值。

**表 3.2.1 高邊界 EC Tracer 推估各採樣點 OC/EC 斜率及統計資料**

測站	斜率	截距	R <sup>2</sup>	樣本數
花蓮	2.11	0.39	0.99	78
板橋	2.55	0.58	0.88	45
忠明	1.47	0.74	0.76	43
斗六	1.40	1.02	0.46	17
嘉義	2.63	0.14	0.95	18
小港	1.75	0.10	0.79	52

備註：

1. 樣本統計期間為 2017.1.1 至 2022.11 月
2. 樣本數目為符合篩選原則樣本數
3. T 檢定 p 值都小於 0.05

### 3.2.4 採用國際通用受體模式解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，推估各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

受體模式是透過周界大氣量測的污染物物理與化學特性，從受體的角度追溯採樣點污染來源。模式由數學或統計程序建立，利用受體點 PM<sub>2.5</sub> 化學成分質量守恒理論，識別及量化受體所在位置的 PM<sub>2.5</sub> 來源。

美國在監管大氣模式支援中心網站上公布的受體模式有：化學質量平衡模式（Chemical Mass Balance, CMB）、UNMIX 和正矩陣因子法（Positive Matrix Factorization, PMF）。受體模式又可依據是否需要排放源化學成分資訊分成兩類：(1) CMB 需要有研究區域中主要污染來源的化學成分與數量資料；(2) 多變量受體模式，如：因子分析模式(Factor Analysis, FA)、主成分分析模式(Principal Component Analysis, PCA)、PMF 和 UNMIX，則只需大氣環境檢測數據即可進行污染來源解析，UNMIX 和 PMF 都是 FA 模式，前者可消除因子旋轉的模糊問題(Lewis et al., 2003)，但目前最廣泛被使用的還是 PMF，因此，本計畫採用 PMF 來推估 PM<sub>2.5</sub> 污染來源。

PMF 是一個獨立加權因子分析模式，最初由 Paatero 和 Tapper (Paatero and Tapper, 1993, 1994)開發，之後由 Paatero 和 Hopke (Paatero and Hopke, 2003)進一步改進。PMF 可估計因子和因子的數量，這些因子可以解釋 PM<sub>2.5</sub> 化學成分數據的最大變異，根據質量守恒理論，可以將化學成分分解成貢獻矩陣、來源指紋(source profile)矩陣和殘差矩陣，一般以公式 3.2.3 表示 (Norris et al., 2014)：

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij}$$

公式 3.2.3

其中  $X_{ij}$ ：第  $i$  個樣本中  $j$  成分濃度。

$p$ ：解析出的因子總數，也就是地區污染源總數。

$g_{ik}$ ：第  $k$  個因子傳輸到第  $i$  個樣本的污染物濃度。

$f_{kj}$ ：第  $k$  個因子中  $j$  成分所占的污染物濃度比例。

$e_{ij}$ ：第  $i$  個樣本中  $j$  成分的殘差。

PMF 進行運算時需要兩個檔案，分別為濃度矩陣檔案及不確定性矩陣檔案。



濃度矩陣與不確定性矩陣的格式要一致，將變數/元素置於欄（columns），日期/樣本數置於列（rows），單位可以置於第二欄，但也可不需要。PMF 不接受輸入檔案中含有缺值（Blank cells），數值的範圍不可小於-900 或大於 9000。不確定性計算方式以表 3.2.2 表示：

表 3.2.2 PMF 濃度矩陣及不確定矩陣計算方法

項目	濃度矩陣 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	不確定性矩陣(uncertainty)
X>MDL	量測濃度值	$\sqrt{(\text{Error Fraction} \times \text{concentration})^2 + (0.5 \times \text{MDL})^2}$
L		
X<MDL	1/2 MDL	Uncertainty = $\frac{5}{6}$ MDL
L		
缺值	濃度中位數	Uncertainty = 4 × 中位數

- 註：1. 不確定性矩陣數值不得為 0 值或負值  
2. X 代表某個成分濃度  
3. MDL 為方法偵測極限  
4. Error fraction = 變異係數

若模式模擬得好，殘差理應較小，即不確定性，代表模式穩定。所以 PMF 目標函數為最小 Q 值，Q 值如公式 3.2.4 所示，模式將以加權最小平方方法疊代求出 Q 的收斂解。

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \frac{e_{ij}}{u_{ij}} \right]^2$$

公式 3.2.4

其中  $u_{ij}$ ：第 i 個樣本中 j 個成分的標準偏差，即不確定性。將公式 3.2.3 的  $e_{ij}$  代入上式後可得：

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \frac{X_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2$$

公式 3.2.5

美國環保署於 2014 年釋出 PMF 5.0 操作手冊，在操作上首先須輸入氣膠成分及每個成分的不準確度，同時選定因子數（介於 1 到 999），方法上的因子即為可能的污染源，得到最小 Q 值後，做 Q 值與因子數的散布圖，當 Q 值忽然改變很大且後續變動不大時的因子數即為可能的污染源數目。決定因子數後就可開始執行模式，執行包含基本模式（Base model）、拔靴模式（Bootstrap model）、位移模式（Displacement）、拔靴-位移模式（BS-DISP model）（圖 3.2.2）。

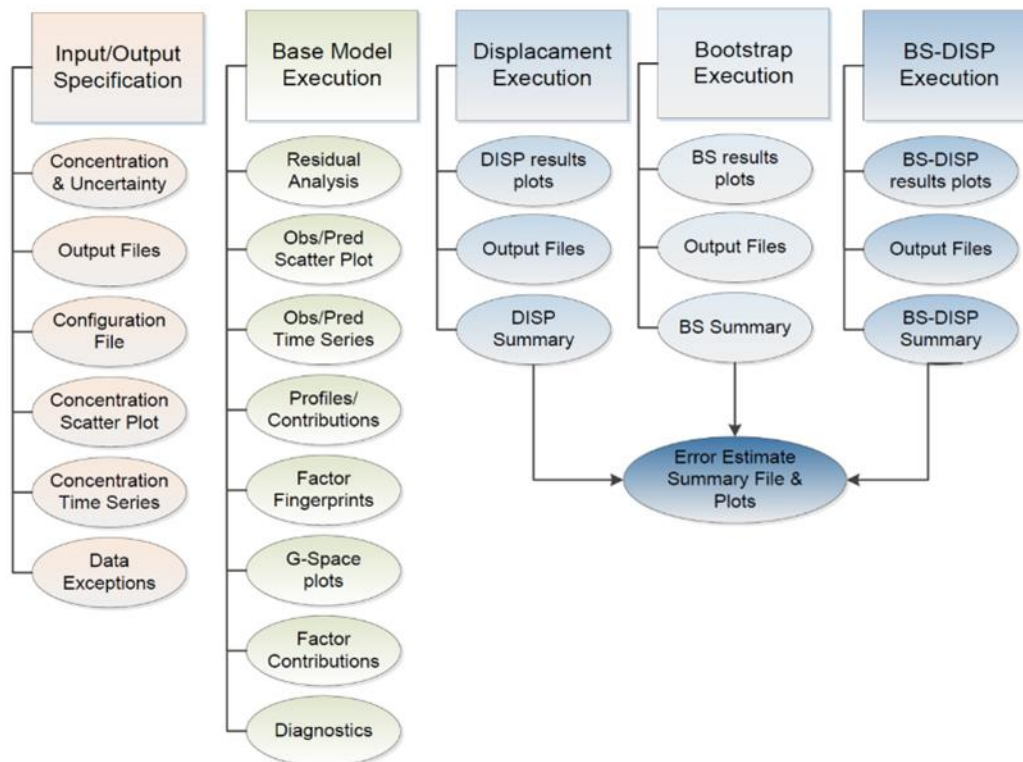


圖 3.2.2 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-基本模式 (Norris et al., 2014)

當我們以基本模式解析後，可由解析結果判斷因子間是否獨立？檢視各因子在每個樣本貢獻量的相關性，如果兩個因子在每個樣本貢獻量相關性高，則需使用 Fpeak 模式進行轉軸（圖 3.2.3），改善因子間的相關性。Fpeak 基本概念為在不改變 Q 值的情況下，對 G 和 F 矩陣進行轉換，轉換後的矩陣為 G\*和 F\*，此過程稱為旋轉如公式 3.2.6 所示：

$$G^*=GT \quad \text{和} \quad F^*=T^{-1}F$$

公式 3.2.6

其中 T：轉置矩陣，為 P x P 非奇異矩陣。

但由於這不是一個嚴格的旋轉，因為 PMF 有非負值的限制，所以旋轉後 Q 值會有所改變。上述步驟完成後，最後執行拔靴(Bootstrap)模式。Bootstrap 的意思是從樣本數據中選擇不重疊的較小樣本區塊，形成新的數據組合，然後跑 PMF，Bootstrap 的因子和 base run 的因子進行 mapping，比較相同因子的貢獻度，如果兩個因子對各樣本貢獻度相關係數大於設定的門檻值(通常為 0.6)，則稱為 mapped，否則稱為 unmapped。拔靴模式可以用來判斷基本模式解析結果的不確定性和穩定性。

此外，PMF 5.0 版提供了三種評估模式以輔助判斷因子間是否相互獨立？除了上述的拔靴（Bootstrap）模式外，位移（Displacement）模式是利用小幅度的 Q 值變化，檢測因子間的獨立性，如果在模式限制的 Q 值變化區間內，被探討的成分在因子內占比改變，則稱為 swap；在模式設定中通常限制 Q 值變化為 4，若有 swap 產生，則表示因子間該成分彼此不相互獨立。拔靴-移位模式（BS-DISP）模式則是連結 Bootstrap 以及 Displacement 兩者的特點，能夠探討模式中的隨機誤差以及因子間的獨立性。

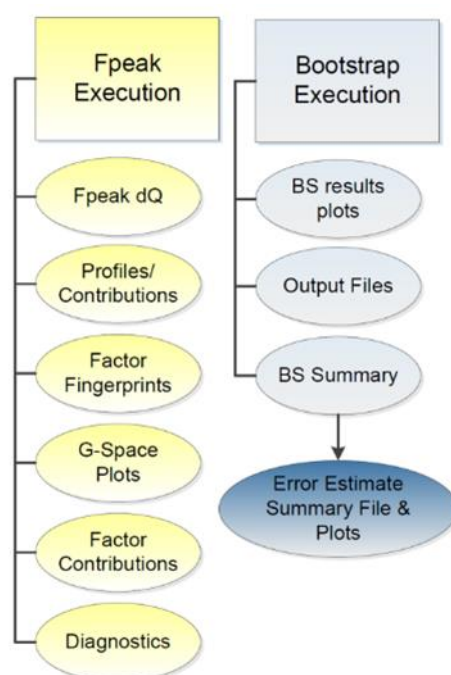


圖 3.2.3 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-Fpeak 模式 (Norris et al., 2014)

為了達到模式擬合良好的結果，PMF 提供了限制(Constraints)模式(圖 3.2.4)，能夠經由對數據的瞭解與相關知識，對模式進行限制。透過限制特定日期的樣本或是因子中特定成分的貢獻度，來檢測模式結果的改變，經由模式改變可以發現，容易隨限制有明顯變化的數據稱為 weak，否則稱為 stiff。限制模式可以用來修正基本模式並且透過限制找出穩定的模式解。

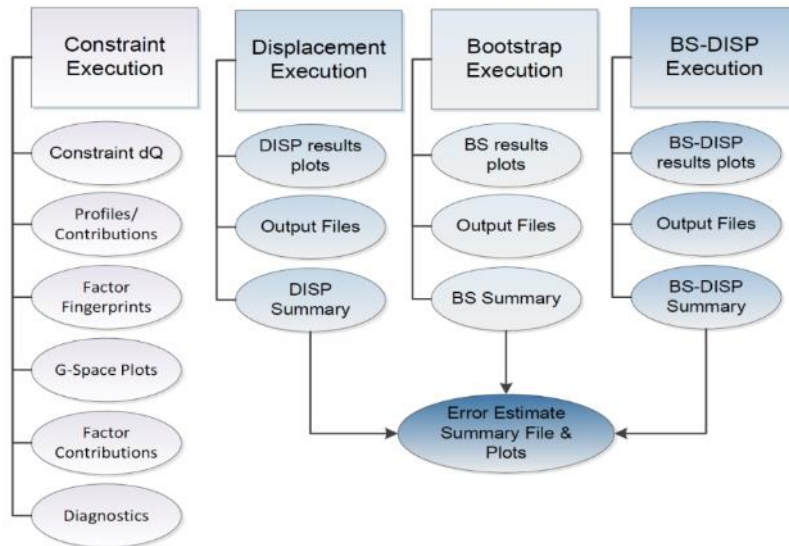


圖 3.2.4 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-限制模態 (Norris et al., 2014)

由於 PMF 只需要大氣污染物濃度資料即可解析，近年許多研究透過模式推估結果進行污染源管制。對於模式所解析出的污染因子，因受體本身特性，其因子來源可能為在地或鄰近區域傳輸，為了解決污染源空間分布難題，近年研究常透過其他輔助工具，協助分辨污染因子潛在來向，或因子間空間特性差異。如：Sofowote et al. (2015) 以變異數 (Coefficient of Variance) 分析五處檢測點推估因子，變異數值大於 10 % 者視為在地污染因子，以此界定區域與在地污染差異。Dai et al. (2019) 則是透過空間發散係數 (Coefficient of divergence, CD) 及相關係數分析在地與空間污染特性。另一種常見的方式，則是以變數條件機率函數 (Conditional Bivariate Probability Function, CBPF) 推估潛在污染源位置。

模式推估結果搭配雙變數條件機率函數 (Conditional Bivariate Probability Function, CBPF) 推估潛在污染源位置，此函數為單變數條件機率函數的改良版 (Uria-Tellaetxe and Carslaw., 2014)。計算方法如公式 3.2.7 所示。其中， $m$  代表統計時間內，計算標的濃度超出設定閾值 (例如：前 25% 高濃度) 樣本在特定風向與風速區間的小時數， $n$  為統計時間內，該風向與風速區間的總小時數，公式中  $\Delta\theta$  指小時風向以  $22.5^\circ$  進行分割， $360^\circ$  風向共分成 16 個區塊， $\Delta u$  即所設定風速區間，本計畫根據蒲福氏風級 (Beaufort wind force scale) 訂定風速區間。

$$CBPF = \frac{m_{\Delta\theta, \Delta u | c > x}}{n_{\Delta\theta, \Delta u}}$$

公式 3.2.7

### 3.2.5 PM<sub>2.5</sub> 成分及氣象因子與大氣能見度多元迴歸模式

大氣能見度監測數據選用中央氣象局在板橋、臺中、嘉義、高雄、花蓮測站人眼觀測的數據（斗六缺乏氣象站，使用嘉義站資料），受限於景物的遮蔽或地形的限制，使得測站大氣能見度最遠標的距離不同，六站最遠檢測距離約 20~60 km，因此，如果大氣能見度超過最遠標的距離，也無法記錄下真正的大氣能見度，造成低估現象，夜間大氣能見度則採用以標地物的照明判別。

除了應用多元迴歸分析大氣能見度影響因子，以氣膠化學成分計算的大氣消光係數（Extinction Coefficient,  $b_{\text{ext}}$ ）也可作為評估大氣能見度的方法。 $b_{\text{ext}}$  結合大氣氣膠和氣體分子的消光，本計畫再根據 Koschmieder 方程式計算大氣能見度（ $= 3.912/b_{\text{ext}}$ ）（Seinfeld and Pandis, 1998），顯然， $b_{\text{ext}}$  是影響大氣能見度最重要因子，本計畫採用 revised IMPROVE 公式（Interagency Monitoring of Protected Visual Environments）（Pitchford et al., 2007）估算大氣氣膠各種成分（硫酸銨、硝酸銨、有機物、元素碳、土壤、海鹽、PM<sub>2.5</sub> 粗顆粒）的  $b_{\text{ext}}$  計算如公式 3.2.8：

$$b_{\text{ext}} \approx 2.2 \times f_s(\text{RH}) \times [\text{Small Ammonium Sulfate}] + 4.8 \times f_L(\text{RH}) \times [\text{Large Ammonium Sulfate}] + 2.4 \times f_s(\text{RH}) \times [\text{Small Ammonium Nitrate}] + 5.1 \times f_L(\text{RH}) \times [\text{Large Ammonium Nitrate}] + 2.8 \times [\text{Small Organic Mass}] + 6.1 \times [\text{Large Organic Mass}] + 10 \times [\text{Elemental Carbon}] + 1 \times [\text{Fine Soil}] + 1.7 \times f_{\text{ss}}(\text{RH}) \times [\text{Sea Salt}] + 0.6 \times [\text{Coarse Mass}] + \text{Rayleigh Scattering (Site Specific)} + 0.33 \times [\text{NO}_2 \text{ (ppb)}]$$

公式 3.2.8

其中  $f_x(\text{RH})$  為氣膠主要吸濕化學成分（硫酸銨、硝酸銨）潮解成為水珠後，於各種相對濕度下相對於未潮解時散光係數的倍數。估算方式是藉由 AIM III 熱力學平衡模式模擬出氣膠化學成分在特定相對濕度的成長係數（亦即，在特定相對濕度的氣膠直徑/乾氣膠直徑比值），藉由這個結果再各別測出不同相對濕度氣膠成分的散光係數。另外，剛從污染源排放的新鮮氣膠顆粒粒徑（幾何平均粒徑為 0.2  $\mu\text{m}$ ，幾何標準差為 2.2）較小，老化或經過雲處理（cloud processing）氣膠顆粒粒徑（幾何平均粒徑為 0.5  $\mu\text{m}$ ，幾何標準差為 1.5）較大，以米氏理論（Mie theory）計算 550 nm 光波波長及前述粒徑分布參數兩種模態的氣膠，可得到不同的氣膠成分質量散光效率分別成為  $f_x(\text{RH})$  前面的係數。大、小顆粒氣膠化學成分濃度分配是依據：將某一個氣膠化學成分濃度除以 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，得到一個比例，再

將該化學成分濃度乘上比例而得到大顆粒氣膠化學成分濃度；將該氣膠化學成分濃度減去大顆粒氣膠化學成分濃度就得到小顆粒氣膠化學成分濃度。如果該氣膠化學成分濃度大於  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ，則該氣膠化學成分都在大顆粒模態。例如：OC 濃度是  $4 \mu\text{g m}^{-3}$ ，將 4 除以 20 得到 1/5，則大顆粒氣膠 OC 濃度是  $4 \times 1/5 = 0.8 \mu\text{g m}^{-3}$ ，小顆粒氣膠 OC 濃度為  $3.2 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這個估算方式是依據美國 21 個 IMPROVE 監測站的氣膠散光係數和化學成分推算出來的經驗式（Pitchford et al., 2007）。

其餘各項參數定義如下：

1. 假設所有硫酸鹽都是硫酸銨，即硫酸銨濃度  $= 1.37 \times [\text{SO}_4^{2-}] (\mu\text{g m}^{-3})$
2. 假設所有硝酸鹽皆為硝酸銨，即硝酸銨濃度  $= 1.29 \times [\text{NO}_3^-] (\mu\text{g m}^{-3})$
3. 有機物(OM)濃度  $= (1.6 \sim 2.1) \times [\text{OC}] (\mu\text{g m}^{-3})$ ，本計畫採用 1.6。
4. 元素碳(EC)濃度單位為  $\mu\text{g m}^{-3}$
5.  $[\text{Fine Soil}] = 6.6[\text{Al}] + 1.63[\text{Ca}] + 2.42[\text{Fe}] + 1.94[\text{Ti}]$ ，濃度單位為  $\mu\text{g m}^{-3}$  (Frank, 2006)
6.  $[\text{Sea Salt}] = 1.8 \times [\text{Cl}^-]$ ，單位是  $\mu\text{g m}^{-3}$  (Pitchford et al., 2007)
7.  $[\text{Coarse Mass}] = \text{PM}_{10} - \text{PM}_{2.5}$ ，單位為  $\mu\text{g m}^{-3}$  (Pitchford et al., 2007)， $\text{PM}_{10}$  使用監測站監測數據， $\text{PM}_{2.5}$  為本計畫的檢測濃度。
8. Rayleigh Scattering，其值會因大氣密度而改變，Pitchford et al(2007)研究指出大約範圍是在  $8 \sim 12 \text{ Mm}^{-1}$ ，本計畫使用  $11.4 \text{ Mm}^{-1}$  進行計算
9.  $[\text{NO}_2 (\text{ppb})]$ 、RH 資料：本計畫使用環保署監測站數據，將每日小時值資料進行平均，採用日平均值進行計算。

前述結合大氣氣膠和氣體分子的消光效應估算大氣  $b_{\text{ext}}$  雖然是使用美國監測站數據的 IMPROVE 修正經驗公式，本計畫也輸入現場監測的氣膠化學成分、 $\text{NO}_2$  濃度及大氣相對濕度，並嘗試和人眼觀測大氣能見度進行比較。

### 3.2.6 分析結果提供污染源管制策略評估建議

本計畫透過持續彙整歷年執行成果，分析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分時空分布、以 CMAQ 模式模擬化學成分形成機制、評估長期指標成分趨勢變化及設定污染情境成分特徵等項目，將結果與國內、國內污染管制現況加以連結，以提供相關有關單位參考，以下彙整 2021 年成果如表 3.2.3 所示。

表 3.2.3 彙整分析結果對於 PM<sub>2.5</sub> 污染源管制策略評估與建議 (李等，2021)

建議項目	來源章節	內容概述	管制建議
污染管制方向	例行性化學成分檢測	PM <sub>2.5</sub> 非高濃度期間，各地以 OC 與 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 比例較高，代表移動污染源及廣域固定污染源(即散布在較廣大區域的固定污染源)是這個期間主要污染源。	持續推廣公共運輸、電動載具或提升車輛排放標準，以降低移動污染源貢獻。 除移動污染源外，OC 前驅污染源尚包含有機揮發成分逸散源，如：加油站油氣或噴霧罐等商用品。加強逸散源稽查並減少相關製品使用可減少都會區 OC 濃度，以達空品改善目的。
	近交通源觀測	近交通源觀測呈現 OC、EC 及多項金屬元素濃度較鄰近都市站凸出，不過多項具高致癌風險金屬元素濃度變化不大。	2021 年中南部地區工業動能增加，除能源需求可能同步增加導致 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 及 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 等 PM <sub>2.5</sub> 主要成分濃度反增，須特別留意。伴隨能源轉型政策進行，燃油與燃煤鍋爐逐漸汰換為天然氣鍋爐，因此，環境中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 是否伴隨能源政策轉變而增量，是後續觀測重點。
	PM <sub>2.5</sub> 質量濃度與主要化學成分時間及空間變化	2021 年相比 2020 年夏季 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度反增，除前一年度受疫情影響導致工業動能降低外，可能是本年度能源需求增加所致。 各地 PM <sub>2.5</sub> 濃度主導成分 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 與 OC 交替，隱含最具管制效益標的正在轉換；OC 濃度下降速率較 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 緩慢，經參照 PMF 模式推估與排放清冊資料，顯示商業來源與移動污染源是影響主因。 2021 年春季各地 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度反增，NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 前驅貢獻源涵蓋固定與移動污染源，評估與各項指標成分變化特徵後，顯示影響因子應為固定污染源排放。 EC-tracer 顯示各地 OC 大多為污染源原生排放，管制移動污染源可以有效降低 OC 濃度。	
區域污染管制建議	例行性化學成分檢測	PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分，在六個測站普遍檢測到鍋爐燃燒排放或生質燃燒微粒，以南部測站濃度較高，具健康危害金屬元素也有相同空間分布。	彙整整理各地較具效益管制標的分述如下。 東部:移動污染源與鄰近區域的 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 前驅污染。 北部:移動污染源及西南方零

建議項目	來源章節	內容概述	管制建議
	<b>PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與主要成分時間及空間變化</b>	<p>東部與北部高濃度占比化學成分多為 OC 與 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>;中部以南除夏季外，大多是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。</p> <p>空間相似度分析顯示：針對硫氧化物污染源的管制，可以在較大的地理範圍使用相近管制策略，針對氮氧化物和 OC 前驅污染源，則須在較小的地理範圍內，因地制宜。</p> <p>受體模式顯示空間管制標的差異各測站分別為：板橋站的車輛排放與測站西南方的燃料鍋爐，忠明站是燃煤鍋爐與金屬工業，斗六站與嘉義站是生質燃燒以及化工與塑料燃燒，小港站是工業製程與鍋爐</p>	<p>星的工業鍋爐。</p> <p>中部:燃煤鍋爐、金屬工業</p> <p>雲嘉:生質燃燒與化工產業</p> <p>南部:金屬工業製程與鍋爐</p>
高污染管制建議	例行性化學成分檢測	<p>PM<sub>2.5</sub> 高濃度季度，在西部各站持續觀測到高濃度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，顯示前驅污染源管制的重要性</p>	<p>為有效減少各地高 PM<sub>2.5</sub> 濃度日，燃料鍋爐仍是目前最佳管制標的。</p> <p>持續加強 NO<sub>x</sub> 與 VOCs 排放管制。</p>
	任務型檢測: 高濃度分析	<p>高濃度案例顯示各測站都受到燃料鍋爐排放影響，但各站仍有不同污染源影響特徵。</p> <p>CMAQ 模式模擬高濃度案例發現硝酸銨是主導成分。顯示若能有效評估 NO<sub>x</sub> 與 VOCs 的減量比例及相對應的策略，可減少 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 高濃度發生。</p>	
區域能見度改善	<b>PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與主要成分時間及空間變化</b>	<p>冬、春及夏季影響大氣能見度化學成分以硫酸鹽及有機物對大氣消光係數的貢獻穩定，但硝酸鹽在冬季與春季的中部以南各測站貢獻最大。</p>	<p>對於區域能見度改善建議：</p> <p>東部及北部減少廣域固定污染源排放。</p> <p>中部及以南各地加強氮氧化物排放管制。</p>
其他建議	任務型檢測: 新冠疫情	<p>新冠疫情於 2020 年初爆發，集結過去檢測資料顯示，對我國各地都有影響。另外，疫情爆發後，2020 年境外傳輸特徵日觀測到工業鍋爐特徵成分減少的狀況。</p>	<p>國際疫情的發生，不論是對於國內 PM<sub>2.5</sub> 濃度或是境外污染傳輸都造成影響。雖然 2021 年 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>減量仍在預測趨勢內，但仍不能忽視板橋站濃度反增所隱含的意義。</p>



### 3.2.7 PM<sub>2.5</sub> 化學成分科普圖卡設計

為了以更淺顯方式展現本計畫研究成果與相對應內容，本年度計畫以科普宣傳簡報方式展示成果，使民眾對於 PM<sub>2.5</sub> 成分來源、化學特徵以及不同來源所產生的 PM<sub>2.5</sub> 微粒特性可有更進一步的認識，以提升 PM<sub>2.5</sub> 相關識能。

計畫團隊可根據環保署需求訂定圖卡主題，設計欲闡述 PM<sub>2.5</sub> 化學成分相關內容，繪製科普圖卡初步內容，最後由環保署委請專業繪圖團隊進行定稿繪製。過去，透過前述模式設計移動污染源簡介圖卡，2021 年成果如下圖 3.2.5 所示。

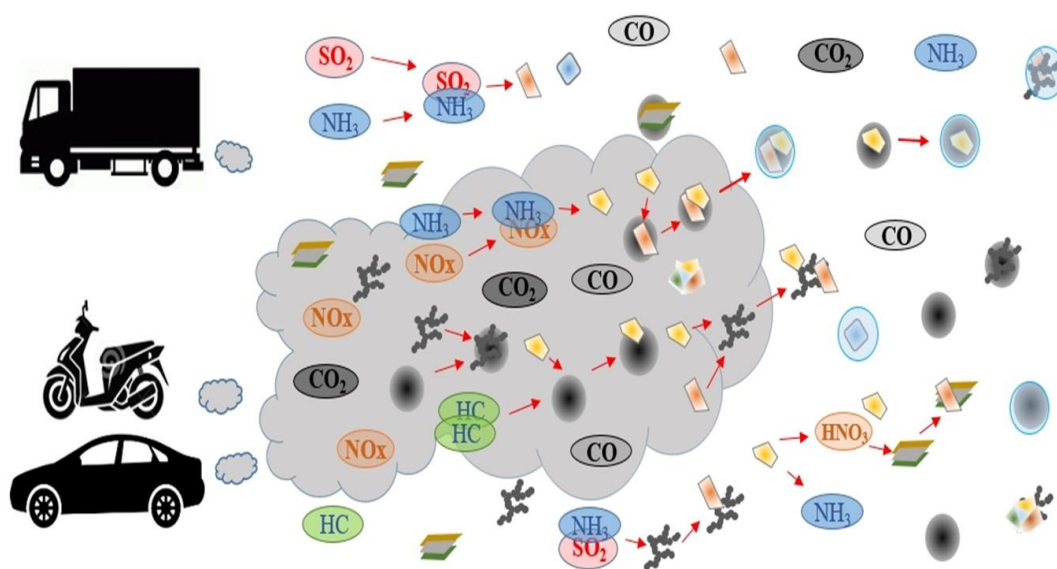


圖 3.2.5 科普圖卡－移動污染源污染與生成機制介紹，本圖修改自 US Environmental Protection Agency (2012)（李等，2021）

## 四、結果與討論

### 章節摘要

本章彙整 2021 年 12 月到 2022 年 11 月於環保署板橋、忠明、斗六、嘉義、小港及花蓮測站每六天一次（第三季每十二天一次）例行採樣。各採樣日都完成 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子、碳成分、金屬元素等化學成分解析作業。所分析的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，配合監測站空品數據、環境因子監測資料，探討本年度和最近六年 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分時間與空間分布特性、解析成分變化特徵、並推估可能污染來源，相關成果提供管制策略擬定及成效評估。為持續精進本計畫數據解析面向及應用層面，本年度分別執行下列五項精進作為，以強化年度數據解析作業。

- (一) 持續透過例行性觀測任務擴展本計畫化學成分資料庫，並應用於分析污染趨勢及探討污染潛勢。
- (二) 彙整近六年 PM<sub>2.5</sub> 質量及化學成分的年度季度的時間與空間變化，評估各污染物改善程度，並提供未來管制策略建議。
- (三) PMF 分析近六年數據，探討各污染因子的年度與季度變化趨勢。
- (四) 以科普方式轉譯 PM<sub>2.5</sub>、環境相對濕度與大氣能見度的關係。
- (五) 針對特別議題進行專案分析。

各項精進作為依據工作目標執行相關 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測及資料分析，主要成果包括：測站例行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測、PM<sub>2.5</sub> 化學成分時間與空間分布特徵及影響因素及科普宣傳、專案分析、各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術等部分。

本章分成三個小節，第一小節「測站例行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測」，比較本年度本計畫採樣是否與環保署常規手動採樣量測濃度有相同季節變化趨勢及合理差異？同時，呈現本年度各樣本 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度；第二小節「PM<sub>2.5</sub> 化學成分時間與空間分布特徵及影響因素」，彙整最近六年執行期間 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度隨年度與季節變化趨勢，透過解析時間與空間分布特徵，提供污染管制建議；第三小節「細懸浮微粒採樣監測分析品保作業」，彙整本計畫樣本採集與化學成分分析品保與品管資料。

## 4.1 測站例行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測

本節彙整本年度例行採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度分析結果，第一部分「例行檢測與同址或鄰近測站比較」為評估本年度檢測成果是否與環保署常規採樣檢測具有一致性？第二部分「測站例行檢測 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分濃度」呈現本年度例行採樣期間各測站分析成果，並依照化學成分類別陳列。

本計畫每六天一次（第三季為每十二天一次）在環保署六個空品測站，同步進行例行性手動採樣 PM<sub>2.5</sub>，分析 PM<sub>2.5</sub> 質量和化學成分濃度。為便於主管機關進行資訊統整，本年度將季節統計方式變更為「季度」，第一季（Q1）定為每年度 1 月至 3 月、第二季（Q2）為 4 月至 6 月、第三季（Q3）為 7 月至 9 月、第四季（Q4）為 10 月至 12 月。

### 4.1.1 例行檢測與同址或鄰近測站比較

本計畫以「相同採樣日比對」評估檢測的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與同址或鄰近測站檢測成果一致性，然後計算「化學成分析比例（或稱質量重組）」，接著呈現歷年「不同採樣（監測）頻率的月份、季度、年度平均值」比對成果。

#### 1. 相同採樣日比對

本計畫擷取與本計畫**相同採樣日**的環保署手動常規採樣（每三天一次）數據，比較不同執行團隊在各季度相同站址**相同採樣日**結果的差異是否在合理範圍？比較的方法是計算兩者季度濃度平均的比值及季度濃度的相對差異百分比（Relative Percent Difference, RPD）。濃度比值定義為：常規手動濃度／本計畫手動濃度，為歷次可比較樣本比值的季度平均值；若比值大於 1 表示本計畫採樣濃度較常規採樣數值小，比值小於 1 則是本計畫採樣濃度較常規採樣數值高。相對差異百分比（%）定義為  $\{ | \text{常規濃度} - \text{手動濃度} | \div [0.5 \times (\text{常規濃度} + \text{手動濃度})] \} * 100\%$ 。

表 4.1.1 列出 2022 年四季度各測站每六天一次（第三季為每十二天一次）採樣與相同日期環保署手動常規採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度的比較，小港站因不是常規採樣站，無法比對，改採用前金站來比較，第四季目前比對至 11 月 19 日的數據，12 月的數據是下個年度計畫的工作範圍。表列比對數量較實際採樣數量為少，因為比對數量是比較本計畫檢測與環保署常規檢測共同都有效樣本，當任何一方檢測有遺漏時，將無法比對。

各站手動採樣間兩季平均濃度差異在 $\pm 1 \mu\text{g m}^{-3}$ 以內，數據比值介於 0.91（小港與前金） $\sim 1.09$ （花蓮）間，RPD（%）範圍在 3% $\sim 14\%$ （小港與前金），若不計小港站，則 RPD（%）範圍都在 11%以內。比對結果顯示雖然是兩個不同檢測單位，但各站檢測濃度的差異在合理範圍內，數據間具有可信度及可比較性。

表 4.1.1 本計畫手動採樣與常規手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 濃度比對【平均值（標準差）】

季 度	測站 比對項目	花蓮	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港 <sup>4</sup>
Q1	比對數量	15	17	16	16	16	17
	本計畫( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7 (4)	12 (7)	17 (10)	28 (15)	31 (14)	31 (13)
	常規( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7 (4)	12 (7)	18 (11)	29 (14)	31 (14)	30 (11)
	濃度比值	1.03 (0.09)	1.00 (0.09)	1.02 (0.07)	1.03 (0.05)	0.98 (0.03)	0.98 (0.10)
	RPD(%)	7% (4%)	7% (6%)	5% (4%)	5% (2%)	3% (3%)	9% (4%)
Q2	比對數量	14	14	15	14	15	13
	本計畫( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7 (4)	9 (3)	9 (4)	13 (9)	14 (9)	14 (7)
	常規( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7 (4)	9 (3)	10 (5)	14 (10)	13 (10)	13 (8)
	濃度比值	1.09 (0.11)	1.01 (0.08)	1.03 (0.04)	1.02 (0.05)	0.96 (0.07)	0.91 (0.13)
	RPD(%)	9% (9%)	7% (4%)	3% (3%)	4% (3%)	7% (5%)	14% (10%)
Q3	比對數量	9	9	9	8	9	9
	本計畫( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7 (3)	12 (3)	13 (6)	13 (7)	12 (5)	11 (4)
	常規( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	7 (3)	13 (3)	13 (6)	14 (7)	12 (6)	10 (4)
	濃度比值	1.05 (0.12)	1.04 (0.05)	1.02 (0.05)	1.02 (0.05)	0.96 (0.07)	0.92 (0.14)
	RPD(%)	10% (7%)	5% (4%)	4% (3%)	4% (3%)	6% (6%)	12% (13%)
Q4	比對數量	8	8	8	9	8	8
	本計畫( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	5 (2)	8 (3)	11 (6)	18 (10)	20 (12)	24 (11)
	常規( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	6 (2)	8 (3)	11 (7)	19 (12)	20 (13)	26 (14)
	濃度比值	1.09 (0.12)	1.00 (0.07)	0.99 (0.08)	1.03 (0.08)	0.99 (0.04)	1.02 (0.17)
	RPD(%)	11% (8%)	5% (3%)	5% (6%)	8% (3%)	3% (2%)	13% (8%)

1. 數據期間：2022 年 1 月至 11 月 19 日。
2. 比對數量：本計畫檢測與環保署常規檢測共同都有效樣本的比較，當任何一方檢測有遺漏時，將無法比對，導致表列數量較實際採樣數量為少。
3. 濃度數值：此處的季度濃度，為兩兩可比較樣本濃度平均值，與後面所列季度平均濃度不同。
4. 選用數據：六天一次手動採樣原始值與相同日期環保署常規手動檢測值，小港站無常規手動採樣，以鄰近的常規測站前金站比對。
5. 濃度比值：常規手動濃度 $\div$ 本計畫手動濃度，為歷次可比較樣本比值的季度平均值。
6. 相對差異百分比，RPD (%) =  $\{ | \text{常規濃度} - \text{手動濃度} | \div [0.5 \times (\text{常規濃度} + \text{手動濃度})] \} \times 100\%$ 。
7. 計算方式：採用各採樣日數值，進行每日比值與每日 RPD 計算，再以季度平均展現。

## 2.化學成分解析比例（質量重組）

為瞭解本計畫分析的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分數據在 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度所占比例，將分析的各化學成分濃度加總，計算占秤重質量濃度比例，以瞭解對於 PM<sub>2.5</sub> 微粒化學成分的解析程度，並評估是否解析過度或不足（解析比例大或低於 100%）。計算過程中，將各水溶性無機離子濃度、有機碳濃度乘上 1.6 倍（轉換成有機化合物，OM）、元素碳濃度、各金屬元素濃度（不包含 Na、K、Ca、Mg 等水溶性無機離子已解析成分，避免重複計算）全部加總。

表 4.1.2 列出 2022 年各測站樣本解析比例統計資料，各站 Q1 共計解析 16~17 筆樣本，各站解析比例為 80%~90%，Q1 數據標準差約在 9%以內，Q2 各站有 15 筆樣本，解析比例在 76%~84%之間，標準差介於 7%~14%，Q3 由於 12 天採一次所以樣本數較少只有 9 筆，解析比例相對其他季度穩定在 86%~87%，標準差則是 4%~10%，Q4 計畫執行到 11 月底有 8 至 9 筆樣本，花蓮和板橋站解析比例較低，可能與 PM<sub>2.5</sub> 濃度較低有關，解析比例在 77%~93%，標準差與其他季度差不多在 4%~9%。測站間解析比例不是 100%，原因有四：（1）有機碳推估成有機物係數採用 1.6，如果測站污染源原生排放度較低，環境中污染來源大多以傳輸污染為主，有機物氧化程度會較高，轉換係數應大於目前採用數值。花蓮站在 Q1 和 Q2 兩季解析比例都最低（80%和 76%），有機物可能有受到傳輸污染影響需要使用較高的係數。（2）金屬元素在環境中多以氧化態存在，解析比例只計算金屬元素單獨濃度，在揚塵較高地區，會有低估可能。（3）秤重的環境雖然控制在 30%~40% RH，但 PM<sub>2.5</sub> 在採樣前如果已經發生潮解，秤重時，即是秤重環境很乾燥，微粒仍會保有少量水份，秤重的 PM<sub>2.5</sub> 不會是全然的乾重。（4）在秤重 PM<sub>2.5</sub> 質量或進行實驗分析化學成分，出現誤差，這方面雖有實驗品管品保的程序，但人為誤差實屬難免。

表 4.1.2 本年度計畫各季度樣本成分解析占修正後質量濃度比例（%）

測站	季度	樣本數	PM <sub>2.5</sub> 濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	解析比例 (%)	解析標準偏差 (%)
花蓮	Q1	16	7	80	9
板橋		17	13	82	9
忠明		16	19	90	6
斗六		17	29	88	6
嘉義		17	32	87	5
小港		17	34	88	7
花蓮	Q2	15	7	76	13
板橋		15	10	84	14
忠明		15	10	83	7
斗六		15	14	82	11
嘉義		15	14	84	9
小港		15	14	80	9
花蓮	Q3	9	7	87	10
板橋		9	13	87	8
忠明		9	14	86	4
斗六		9	15	87	8
嘉義		9	14	86	6
小港		9	12	86	7
花蓮	Q4	8	5	78	9
板橋		8	9	77	7
忠明		8	12	85	7
斗六		9	19	93	4
嘉義		8	22	91	7
小港		8	27	91	7

備註：解析比例= 已解析化學成分加總 ÷ 修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度；樣本數是本年度實際檢測樣本數(包含檢測遺漏補採樣本)。

### 3.不同採樣頻率 PM<sub>2.5</sub> 月份、季度、年度平均濃度比較

前小節成果證明本計畫採樣與環保署常規檢測單位的成果具有可比較性。本小節為瞭解因採樣頻率不同（常規檢測每三天一次，本計畫大多每六天一次）所造成的月份、季度、年度平均濃度差異。這個比較若有差異，並不代表採樣和量測品質不佳，而是在於瞭解本計畫與較高採樣頻率採集的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度間高低的比較。

表 4.1.3 及表 4.1.4 分別為環保署常規量測與本計畫量測濃度差異及月份、季度及年度差異百分比，計算方式是取每個比較時間段的平均值後，再以常規量測扣減本計畫量測濃度，負差異表示本計畫量測平均濃度較高，正差異則表示本計畫量測平均濃度較低。各時間段都是各自取完平均值後再比較，避免發生數值正負抵消問題。

不同數據期間比對結果顯示：近六年月份平均濃度的差異範圍為-10 ~ 15  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，近六年月份差異百分比為-43% ~ 55%，近六年季度平均濃度的差異範圍為-4 ~ 6  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，近六年季度的差異百分比區間為-26% ~ 29%，今年 Q3 和 Q4 差異百分比較往年高，Q3 可能受到樣本數較少影響（12 天採一次），Q4 缺 12 月的數據；年平均濃度差異範圍-2 ~ 2  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，差異百分比為-10% ~ 8%更縮小，表示兩種不同採樣頻率只要拉長平均時間，平均濃度差異並不大。

彙整兩種不同採樣頻率的月份、季度及年度比較結果，發現採樣頻率對樣本數較少採樣期間（例如：6~8 月 12 天採樣一次）影響最大，若採樣日剛好遇到較多降雨日也會降低濃度（例如：2022 年 10 月）。

表 4.1.3 環保署常規量測（三天一次）與本計畫例行量測 PM<sub>2.5</sub> 濃度月份、季度及年度濃度差異（ $\mu\text{g m}^{-3}$ ）

測站 項目		2017						2018						2019						2020						2021						2022					
		花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港
月份	1	2	1	-1	1	-1	-2	1	2	-2	-1	-2	-1	0	2	2	4	3	-2	0	0	-7	-6	-7	0	2	3	3	2	1	0	-1	0	2	2	1	-2
	2	-3	-3	0	3	0	-6	-3	1	1	3	1	0	-1	-4	-4	-4	-6	2	0	1	7	0	2	-2	1	0	6	2	0	1	0	1	-1	0	-2	-2
	3	-3	-1	0	0	-4	-1	-2	-8	-1	2	0	0	1	3	3	9	7	10	0	5	7	15	11	2	-1	-3	-2	-2	-2	-5	1	0	-1	2	-1	1
	4	-2	-6	-9	-10	-10	-7	-4	1	-2	0	0	-2	-1	-1	1	2	-2	-3	-1	0	-1	0	0	1	2	1	1	-1	-2	-2	0	2	2	2	-1	-2
	5	-1	-2	0	1	1	-1	1	0	3	3	2	-1	-3	-2	0	1	-3	2	0	0	0	3	2	-1	1	-2	-1	0	-1	-1	1	1	1	1	2	1
	6	0	-3	0	1	0	-3	-1	0	1	-1	-2	-4	0	1	1	0	0	-1	1	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	-3
	7	0	-5	-2	-1	-1	-2	-1	-1	2	3	3	1	-1	-1	2	3	2	0	0	-1	1	1	1	-2	0	0	0	1	0	-1	1	-1	1	1	0	-2
	8	0	0	0	1	1	-1	-1	0	-1	-2	-2	-3	0	1	1	0	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-2	0	0	2	2	1	-4	1	-3	-2	-2	-2	-1
	9	0	-2	0	1	0	-1	-1	0	1	1	-1	-1	-1	0	1	1	-1	-3	1	1	-1	2	-1	-2	0	-1	-1	-1	-1	-2	1	1	-2	-1	-1	0
	10	-1	-2	-3	-4	-3	0	0	-1	0	5	4	1	-2	-1	-1	0	-2	-2	1	-1	1	3	3	-2	0	0	-8	-2	0	1	1	1	2	3	2	-1
	11	0	-1	1	3	1	8	-1	0	1	3	-1	-3	-1	-1	-2	0	-6	0	1	2	-1	2	1	0	-2	-3	-3	-2	-2	0	0	1	4	8	4	1
	12	1	4	8	11	7	4	0	-1	4	1	0	-5	1	0	1	-4	-2	0	1	1	3	4	3	1	2	1	-1	1	0	3	-	-	-	-	-	-
季度	Q1	-1	-1	0	1	-2	-2	-1	-2	-1	1	0	0	0	1	1	3	1	2	0	2	2	3	1	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	1	0	-1
	Q2	-1	-4	-3	-2	-3	-3	-1	0	0	1	0	-2	-1	-1	1	-2	-2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	-1	-3	-2	0	1	1	1	0	-1
	Q3	0	-2	-1	0	0	-2	-1	0	1	1	0	-1	0	0	1	1	0	-1	0	0	0	1	-1	-2	0	0	0	0	-1	-2	0	-1	-2	-2	-2	-2
	Q4	1	0	2	3	2	3	0	-1	2	3	1	-3	-1	-1	-1	-2	-3	-1	1	1	1	3	2	0	0	-1	-4	-1	-1	0	1	1	3	6	3	0
年度		0	-2	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	1	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	1	1	2	1	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	1	2	0	-1

備註：

1. 濃度差異= 常規量測平均值 - 本計畫例行量測平均值；小港站無常規手動採樣，以鄰近的常規測站前金站比對。
2. 數據統計至 2022/11



表 4.1.4 環保署常規量測（三天一次）與本計畫例行量測 PM<sub>2.5</sub> 濃度月份、季度及年度差異百分比（%）

測站 項目		2017						2018						2019						2020						2021						2022					
		花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港	花 蓮	板 橋	忠 明	斗 六	嘉 義	小 港
月份	1	24	7	-5	2	-2	-5	13	16	-10	-4	-6	-2	3	13	9	12	7	-6	5	0	-20	-14	-16	0	21	27	11	7	2	0	-11	-3	10	9	2	-7
	2	-17	-14	-1	7	-1	-12	-25	4	2	7	2	0	-13	-24	-13	-11	-16	7	0	8	30	0	6	-6	10	-3	27	4	-1	2	1	13	-6	0	-9	-6
	3	-22	-4	1	-1	-10	-3	-13	-28	-3	5	1	1	6	17	13	29	27	47	1	37	37	55	45	9	-9	-12	-6	-5	-4	-16	16	0	-4	6	-3	3
	4	-14	-20	-28	-25	-27	-27	-26	6	-6	-1	-1	-8	-6	-5	7	8	-8	-14	-8	3	-5	-1	0	5	22	6	7	-2	-8	-8	-6	18	12	9	-7	-8
	5	-8	-15	1	6	4	-4	5	0	20	23	17	-9	-29	-10	2	3	-12	11	4	-1	-3	25	19	-12	11	-10	-5	-3	-9	-8	15	19	7	8	12	4
	6	-6	-19	-5	7	-5	-33	-8	2	3	-7	-14	-30	1	5	9	0	-3	-14	11	3	9	-6	-4	-36	-5	1	3	5	7	-15	7	0	3	3	-8	-40
	7	4	-29	-14	-8	-11	-19	-9	-7	13	24	28	10	-13	-9	17	33	24	-3	2	-11	10	16	11	-21	6	2	1	6	-2	-15	19	-5	13	12	-3	-22
	8	1	0	3	4	8	-9	-7	-3	-8	-22	-20	-28	4	15	7	-2	-5	-11	-4	-8	-3	-6	-12	-16	0	1	20	20	9	-43	22	-28	-19	-18	-22	-12
	9	1	-10	0	6	0	-7	-10	-1	4	7	-4	-7	-8	0	7	4	-6	-16	10	6	-4	9	-7	-10	-1	-11	-8	-5	-10	-20	7	7	-11	-8	-8	1
	10	-5	-14	-15	-14	-14	-2	-2	-8	0	20	14	3	-15	-5	-5	-1	-7	-9	17	-5	11	16	14	-10	1	-2	-43	-8	-3	5	17	16	18	19	10	-6
	11	9	-7	7	13	5	21	-16	3	5	8	-4	-10	-9	-4	-12	-2	-21	0	18	19	-6	8	7	-2	-17	-22	-19	-7	-9	-1	8	9	30	32	16	4
	12	17	29	43	32	22	10	3	-10	21	3	0	-13	21	-2	9	-15	-7	0	27	11	24	20	11	4	24	8	-6	4	0	11	-	-	-	-	-	-
季度	Q1	-7	-4	-1	3	-5	-5	-11	-9	-3	3	0	-1	2	4	3	8	3	6	3	12	6	8	4	-1	7	1	9	2	-1	2	5	2	2	4	0	-3
	Q2	-10	-18	-14	-10	-14	-19	-12	2	2	3	-2	-12	-12	-4	6	-10	-9	-2	0	2	-2	1	6	-3	10	1	-2	-6	-16	-17	4	11	7	6	-1	-8
	Q3	-2	-14	-7	-1	-3	-13	-9	-3	4	7	3	-7	-6	3	9	7	1	-10	2	-4	0	5	-6	-14	1	-4	-1	-1	-6	-26	6	-7	-13	-15	-18	-16
	Q4	6	2	12	11	6	9	-5	-6	10	10	4	-8	-7	-6	-5	-6	-13	-3	20	6	7	14	10	0	5	-5	-23	-2	-6	2	13	13	24	29	14	0
年度		-4	-9	-3	2	-4	-4	-10	-4	2	6	1	-6	-6	-1	2	0	-4	0	5	5	4	8	5	-3	6	-2	-3	-1	-6	-5	7	4	5	8	1	-5

備註：

1. 差異百分比= {(常規量測 - 本計畫例行量測) ÷ [0.5×(常規量測 + 本計畫例行量測)] }\*100%；小港站無常規手動採樣，以鄰近的常規測站前金站比對。
2. 數據統計至 2022/11

#### 4.1.2 測站例行檢測 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分濃度

本節將採樣期間的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分分析結果分成兩個部分，第一部分「質量濃度與主要化學成分檢測濃度」列出本年度各採樣日 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與主要化學成分（水溶性無機離子和碳成分）分析結果；第二部分 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分，列出本年度各採樣日各金屬元素成分濃度。

##### 1. PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與主要化學成分

圖 4.1.1 為 2021 年 12 月至 2022 年 11 月底六個採樣站 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度解析成果。PM<sub>2.5</sub> 質量濃度由東部向北部往南部增高，東部花蓮站因污染源較少，又位處東北季風上風處，相較於西部各站環境擴散良好，因此各採樣日多維持良好空氣品質。去年 12 月到今年 Q1 日平均濃度最高的測站為斗六站 ( $73 \mu\text{g m}^{-3}$ )，小港站的  $68 \mu\text{g m}^{-3}$  非常接近嘉義站  $67 \mu\text{g m}^{-3}$ 。Q2 斗六、嘉義、小港站的季度平均濃度皆為  $14 \mu\text{g m}^{-3}$ 。Q2 後半到 Q3 前半（夏季）期間六站 PM<sub>2.5</sub> 濃度降低，主因是環境溫度增高使大氣混合層增高、環境擴散良好；Q3 後段進入秋天，天氣開始轉涼，中南部的 PM<sub>2.5</sub> 濃度開始回升，最高濃度為 9 月 29 日忠明站的  $28 \mu\text{g m}^{-3}$ ，Q4 目前分析到 11 月，10 月 8 日斗六站為補採樣日，因此其他測站沒有數據，10 月的 PM<sub>2.5</sub> 濃度看起來較 Q3 後半低主要因為各站受到降雨或是風速較大 ( $> 1.6 \text{ m s}^{-1}$ ) 影響（參考附錄 6），到月底斗六、嘉義和小港站開始出現高濃度事件。截至 11 月底，PM<sub>2.5</sub> 濃度大於  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ （定義為高濃度事件）採樣日數最多的測站為嘉義站（10 次），其次是小港站（9 次）和斗六站（5 次），忠明站發生 1 次，Q3 各站都沒出現高濃度事件。採樣期間，3 月 3 日出現最高 PM<sub>2.5</sub> 濃度且同時有四個測站（忠明、斗六、嘉義、小港站）發生高濃度事件，主要以本地污染為主，並受前夜污染殘留和境外污染傳輸影響。3 月 21 日斗六和嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 濃度超過  $48 \mu\text{g m}^{-3}$ ，同日板橋站雖然濃度未超過  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ ，仍出現採樣期間最高的  $31 \mu\text{g m}^{-3}$ ，忠明站則出現採樣期間第二高的  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ，當日主要受到環境擴散不佳以及前夜污染殘留影響。除了這兩日外，2021 年 12 月 15 日、2022 年 1 月的 14、20 和 26 日、2 月 13 和 16 日、4 月 20 日、11 月 13 日以及 19 日都有零星測站發生高濃度事件。花蓮、板橋與忠明站，PM<sub>2.5</sub> 化學成分大多採樣日以 OC 為主，其次是  $\text{SO}_4^{2-}$  或  $\text{NO}_3^-$ ，忠明站 PM<sub>2.5</sub> 濃度相對高採樣日  $\text{NO}_3^-$  在 PM<sub>2.5</sub> 占比明顯上升，甚至成為主要化學成分（3 月 3 日）；斗六、嘉義、小港

站除 Q3 和 Q4 第一個月外  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分是  $\text{NO}_3^-$ ，Q3 前半段環境溫度較高的採樣日半揮發的  $\text{NO}_3^-$  大多揮發成氣態，後半段  $\text{PM}_{2.5}$  濃度回升時，中、南部  $\text{NO}_3^-$  也開始出現。各站在 Q4 的 10 月份中沒有下雨且風速低於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  時  $\text{PM}_{2.5}$  超過  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ，最高濃度是 10 月 23 日小港站的  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ，各站主要化學成分大多還是以 OC 或  $\text{SO}_4^{2-}$  為主；11 月開始斗六、嘉義和小港站出現高濃度事件，最高濃度出現在 11 月 19 日小港站 ( $47 \mu\text{g m}^{-3}$ )，進入 11 月環境溫度下降， $\text{NO}_3^-$  濃度開始回升。

從各採樣日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度及化學成分空間變化特徵顯示，整個採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日仍集中於中部以南測站，化學成分特徵持續彰顯出  $\text{NO}_x$  前驅污染源管制的重要性，雖然少數採樣日受境外污染傳輸影響，但高濃度事件日發生的原因多為環境擴散不佳導致污染物累積，Q2 後半到 Q3 前半段期間，環境溫度較高，環境擴散較佳，使  $\text{PM}_{2.5}$  濃度大多低於  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ， $\text{NO}_3^-$  以氣態為主，濃度非常低，主要化學成分則是 OC 或  $\text{SO}_4^{2-}$ ，Q3 後半開始溫度降低  $\text{PM}_{2.5}$  濃度回升，濃度相對高的日子可以看到  $\text{NO}_3^-$  的貢獻，Q4 的 10 月採樣日受到降雨以及風速較大影響， $\text{PM}_{2.5}$  濃度較低，進入 11 月  $\text{PM}_{2.5}$  濃度開始上升， $\text{NO}_3^-$  濃度也回升。

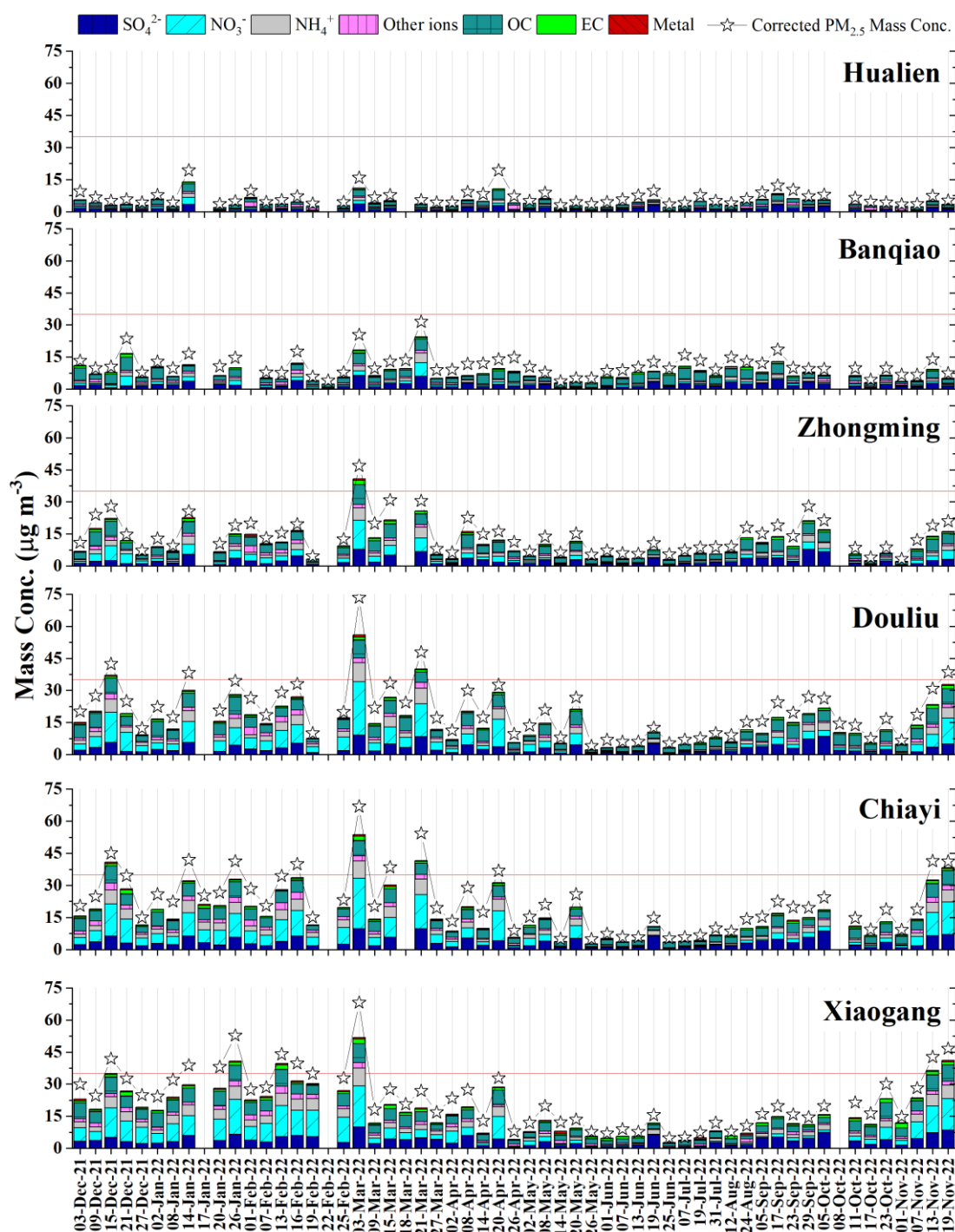


圖 4.1.1 2021 年至 2022 年採樣期間各站  $PM_{2.5}$  質量與主要化學成分濃度變化

## 2. 金屬元素成分

圖 4.1.2 及圖 4.1.3 為 2021 年 12 月至 2022 年 11 月底各測站  $PM_{2.5}$  質量濃度 (圖中★號)、金屬元素總濃度 (■) 及各金屬元素濃度變化，金屬元素濃度高低差異很大，本計畫為容易分辨各種狀況凸顯的金屬元素，依據金屬元素的平均濃度分布進行分類，以小港站為例，近六年在高濃度區間 (圖左) 的金屬元素平均

濃度大約在  $50 \text{ ng m}^{-3}$  以上；中濃度區間（圖中）的金屬元素平均濃度則落在  $5 \sim 50 \text{ ng m}^{-3}$ ，低濃度區間（圖右）則是  $5 \text{ ng m}^{-3}$  以下。這段期間各測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度與金屬元素總濃度變化趨勢大致相同，但特殊事件發生時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與金屬元素總濃度變化趨勢略有差異，如：2 月 1 日（春節）、3 月 21 日。由於花蓮、板橋以及忠明站的金屬元素總濃度較接近；斗六、嘉義和小港站較接近，所以將金屬元素濃度分別呈現在圖 4.1.2 以及圖 4.1.3。

圖 4.1.2 顯示金屬元素成分總濃度由高到低依序為忠明、板橋和花蓮站，全部金屬元素在進入夏季濃度降低，進入秋季後回升，但濃度較高主要金屬元素成分差異不大，高濃度金屬元素群（圖左側）的 Na 和 K 為濃度最高及次高成分；中濃度群以 Mn、Cu 和 Pb 為主；低濃度群則是 Sn、Sr 和 Zr 濃度最高。2 月 1 日（春節）在花蓮及忠明站（板橋站 2 月 1 日無數據）都出現高濃度的 K、Ba、Cu、Sr、Pb 等煙火、炮竹指標金屬元素（Chang et al., 2011；Liu et al., 2019），顯示受春節活動影響。忠明站普遍濃度較高的金屬元素有 Na、Mn、Cu、Pb、Sn 和 Zr，可能受到鋼鐵業（周等，2014）或車輛非尾氣排放（零件磨損；Lin et al., 2015）影響。斗六、嘉義、小港站金屬元素總濃度最高的測站為小港站，其次是嘉義和斗六站（圖 4.1.3），南部三站金屬元素總濃度高於其他三站，且較多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多，其中，濃度相對高的金屬元素有 Fe、Na、K、Ti、Mn、Cu、Pb、Sr、Sn、Sb 和 Se，多為燃煤（楊等，2014；羅等，2018）、鋼鐵業（周等，2014）以及車輛排放（Lin et al., 2015）貢獻特徵。2 月 1 日斗六、嘉義、小港站同樣受到春節活動的煙火、炮竹影響 K、Ba、Cu、Sr、Pb 濃度顯著增高（Chang et al., 2011；Liu et al., 2019）。此外，嘉義站持續出現較高濃度的 Ba，可能來自民雄工業區塗料製程的硫酸鋇或是金紙炮竹製造業逸散。和  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度時間變化趨勢一致，金屬元素濃度總和在 3 月 3 日和 3 月 21 日出現高值後，4~8 月濃度維持在低谷，進入 9 月下旬，金屬元素濃度總和開始上升，11 月 19 日， $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度在嘉義和小港站發生高濃度事件，金屬元素中 Fe, Na, K, Mn, Cu, Pb, Sr, Sn, As, Zr 有顯著提升，污染來源和鋼鐵製造、燃煤、生質燃燒、金屬製造、車輛零件磨耗等排放有關。

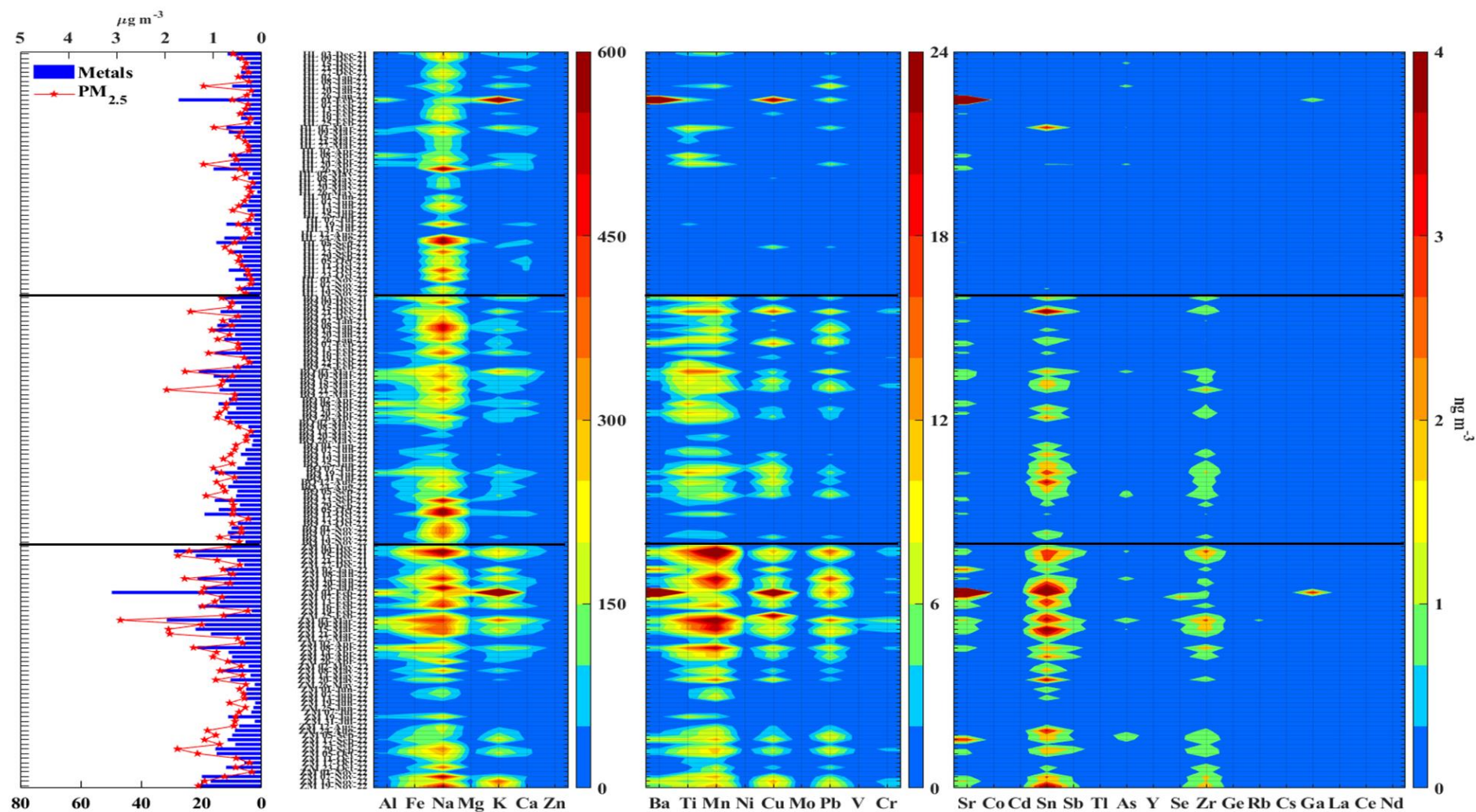


圖 4.1.2 花蓮、板橋以及忠明站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度（折線）、金屬元素總濃度（直條）、各金屬元素成分濃度時間變化（2021.12.3-2022.11.19）



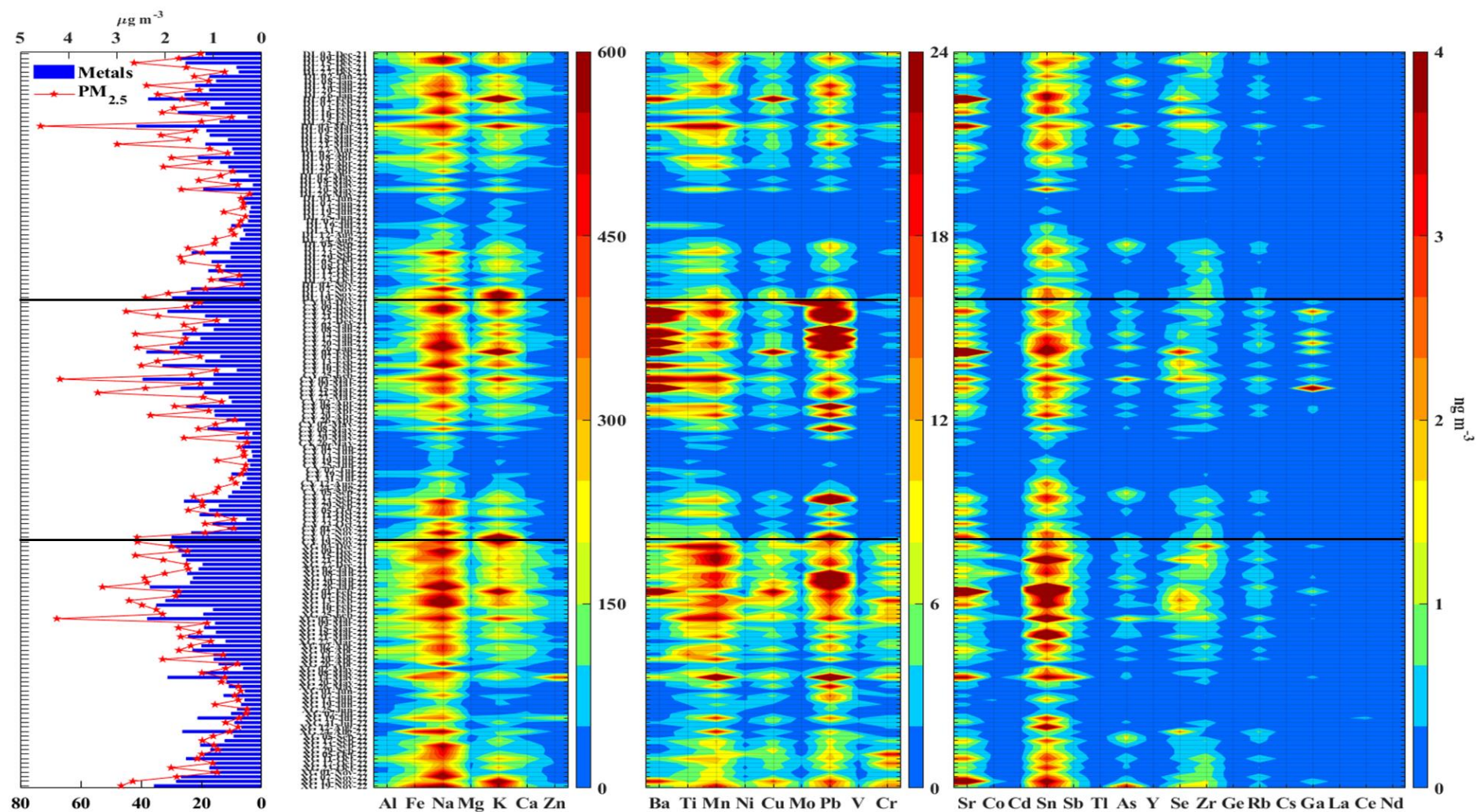


圖 4.1.3 斗六、嘉義以及小港站  $PM_{2.5}$  質量濃度（折線）、金屬元素總濃度（直條）、各金屬元素成分濃度時間變化（2021.12.3-2022.11.19）

### 4.1.3 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件分析

#### 1. 3 月 3 日 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件分析

3 月 3 日在中部以南的測站（包含忠明、斗六、嘉義、小港站）發生高濃度事件，表 4.1.5 顯示由北部往南部各站日平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度為 43、72、65 和 66  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，以斗六站最高，濃度最高化學成分都是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，除了忠明站 OC 質量濃度高於 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>外，其他三站都是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>高於 OC，忠明站三個主要化學成分質量濃度差異較小，斗六、嘉義和小港站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>明顯高於 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 許多，值得注意。

表 4.1.5 忠明、斗六、嘉義和小港站 3 月 3 日 PM<sub>2.5</sub> 以及主要化學成分質量濃度表（單位： $\mu\text{g m}^{-3}$ ）

測站	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	OC
忠明	43	11	7.9	9.4
斗六	72	25	9.1	8.5
嘉義	65	23.5	9.7	7.2
小港	66	19.1	10	8.9

圖 4.1.4 摘錄 Nullschool 網站 (<https://earth.nullschool.net/>) 區域風場模擬，3 月 2 日有強勁大陸氣團從北方傳輸進入台灣北部及西部沿海地區，3 月 3 日北方高壓出海，污染傳輸也下降，台灣周遭整體風場從東北風逐漸轉為東風。在東風環境下，位於中央山脈背風側地區環境擴散不佳常導致污染物累積。為瞭解境外污染傳輸的規模和時間，圖 4.1.5 -圖 4.1.7 選擇環保署幾個空氣品質監測站為代表，觀察境外污染傳輸隨時間和空間演化的情況。在 3 月 2 日 9 時左右，PM<sub>2.5</sub> 從萬里、基隆、富貴角站陸續開始有濃度上升，接著依序是板橋、觀音、平鎮和新竹站（圖 4.1.5 左下），13 時萬里站首先達到尖峰濃度，各站依序抵達峰值，傍晚 17 時平鎮和新竹站達到尖峰濃度。PM<sub>2.5</sub> 尖峰濃度隨著傳輸距離逐漸降低，從基隆、富貴角、萬里站的 60~64  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，下降到新竹站的 53  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。新竹以北地區的境外污染傳輸主要發生在 3 月 2 日，採樣日（3 月 3 日）較不受影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度除了觀音到新竹站日平均濃度落在 34  $\mu\text{g m}^{-3}$  左右，其餘測站濃度都較低，圖 4.1.5（右下）則顯示 3 月 3 日下午 PM<sub>2.5</sub> 濃度再次回升，主要是由於風速降低，環境擴散不佳所導致，應該有先前境外污染傳輸沉降和在地污染累積。圖 4.1.6 顯示境外污染傳輸規模已經減弱；然而，斗六和嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 逐時濃度變化卻和單純境外污染傳輸影響不同，反映出斗六和嘉義站可能有不同的污染來源，兩個測站 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化非常一致，足以代表雲嘉平原的污染狀況。兩個測站從



3 月 2 到 3 日出現三個高濃度時段，分別在（1）3 月 2 日 10 時，此時的高濃度比基隆和萬里站出現的時間都還要早，代表不是境外污染傳輸影響；（2）3 月 2 日下午與北部傳來的長程傳輸污染的演化時間一致，但濃度明顯高出許多，顯示包含了其他污染貢獻；（3）3 月 3 日 13 時到晚上，PM<sub>2.5</sub> 有一波上升高濃度，值得注意。在更南部的台南及小港站（圖 4.1.7），兩個測站有接近的 PM<sub>2.5</sub> 逐時變化，3 月 2 日早上並沒有出現與斗六和嘉義站一樣的峰值；第二個高濃度台南較嘉義站延遲 1 小時開始上升，但是四個測站 3 月 2 日下午開始的 PM<sub>2.5</sub> 上升高濃度都跨增到 3 月 3 日早上，形成一個較長時間的濃度高峰。此外，3 月 3 日晚上也同樣出現濃度上升的現象，但無論是 3 月 2 日或 3 月 3 日台南及小港站 PM<sub>2.5</sub> 濃度都較斗六及嘉義站低。綜合前述結果，3 月 2 日忠明站及以北地區明顯受到境外傳輸影響，以南地區的斗六和嘉義站有六站中較高的 PM<sub>2.5</sub> 濃度，除了受到境外污染傳輸影響外，顯然有其他的污染貢獻，小港站 PM<sub>2.5</sub> 濃度略低於斗六及嘉義站，並同樣出現 3 月 2 日到 3 日的跨日高濃度以及 3 月 3 日夜間的高濃度。後續分析以 3 月 3 日採樣日有高濃度事件的忠明、斗六、嘉義、小港站為主。

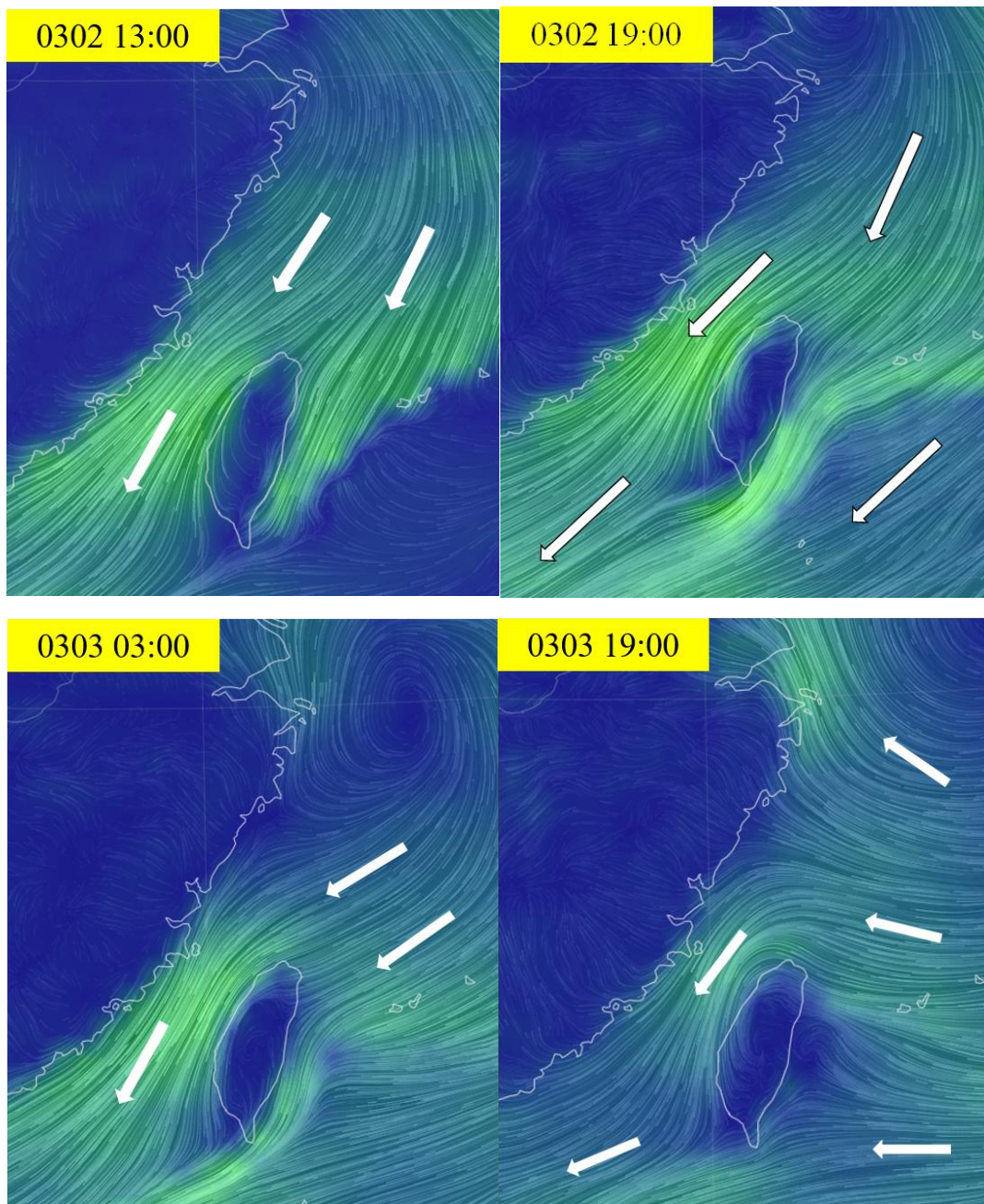


圖 4.1.4 3 月 2 日 13 時（左上）、19 時（右上）與 3 月 3 日 3 時（左下）、19 時（右下）台灣鄰近地區風場模擬圖（<https://earth.nullschool.net/>）

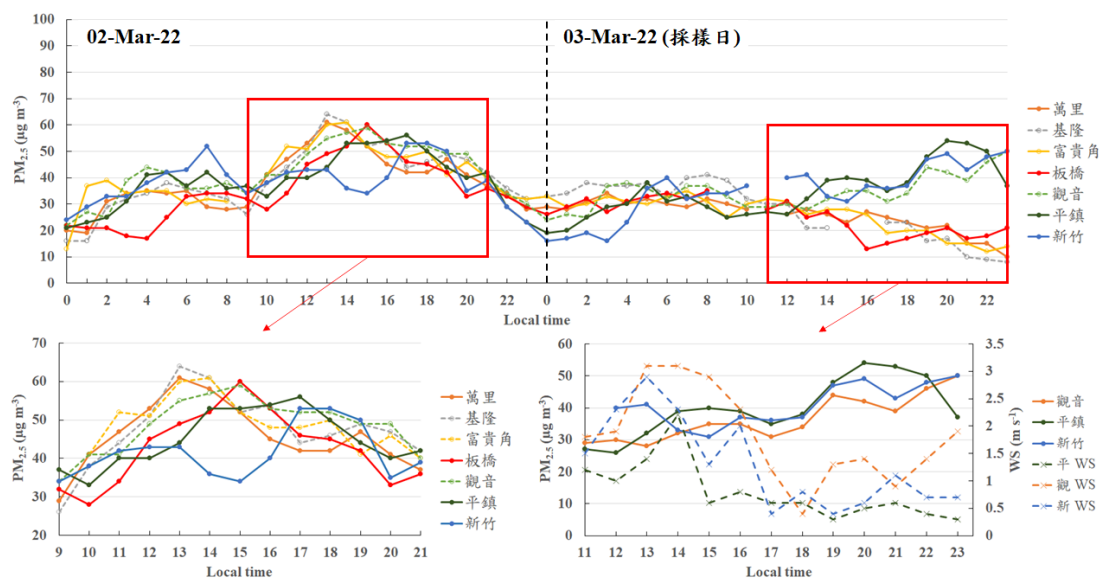


圖 4.1.5 台灣 3 月 2 至 3 日北部測站(基隆至新竹)PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時間序列(上)、3 月 2 日長程傳輸事件期間 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度逐時變化(左下)以及 3 月 3 日觀音、平鎮和新竹站夜間高濃度期間 PM<sub>2.5</sub> 與風速逐時變化(右下)

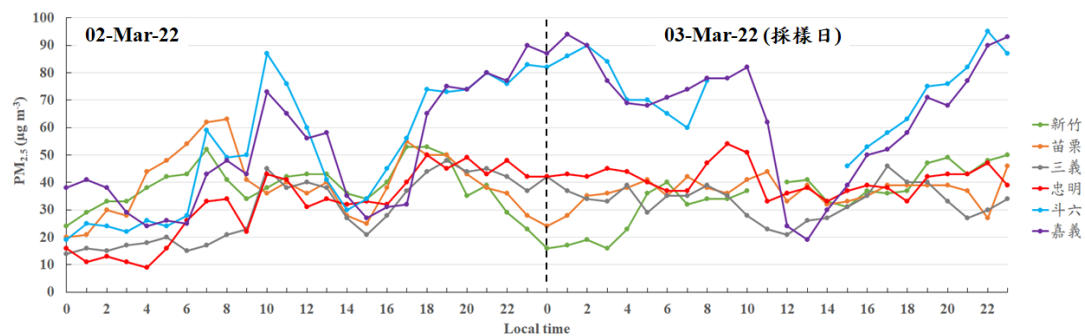


圖 4.1.6 台灣 3 月 2 至 3 日中部測站(新竹至嘉義) PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時間序列

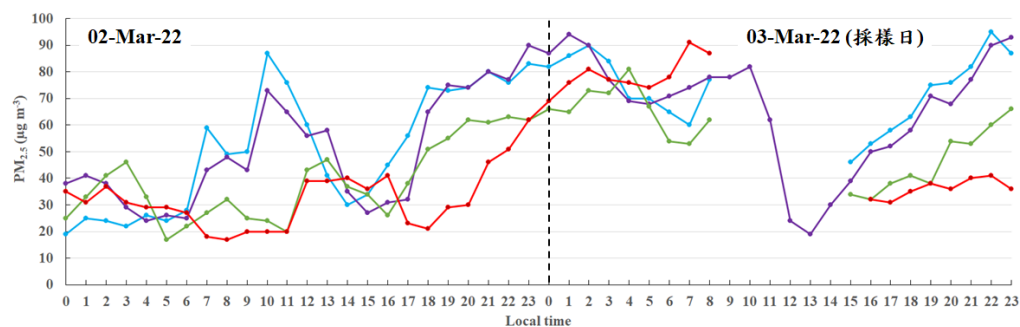


圖 4.1.7 台灣 3 月 2 至 3 日南部測站(斗六至小港) PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時間序列

圖 4.1.8 至圖 4.1.11 為忠明、斗六、嘉義和小港站 3 月 2 至 3 日的  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度、氣體污染物濃度以及氣象因子的時間序列，忠明站 3 月 2 日 9 至 17 時  $\text{PM}_{2.5}$  與風速變化略微一致（圖 4.1.8），說明這段時間受到傳輸污染影響，風向以北北西與西北為主，污染物很可能由外海進入。17 時以後風速逐漸降低， $\text{PM}_{2.5}$  濃度則升高並維持到 3 月 3 日採樣結束，顯示採樣日受到環境擴散不佳影響。3 月 3 日早晨上班時間出現  $\text{PM}_{2.5}$  濃度高值， $\text{NO}_2$  和  $\text{CO}$  有一致的濃度上升，說明受到上班交通車輛排放影響。圖 4.1.9 顯示斗六站在 3 月 2 日早上  $\text{PM}_{2.5}$  濃度隨風速上升而升高，主要風向為西北風，受到污染傳輸影響，3 月 2 日 14 時以後風速開始下降，環境擴散條件變差導致  $\text{PM}_{2.5}$  累積，這段時間理論上有境外污染傳輸，但風速卻趨緩下降，所以高濃度可能是本地污染加上境外污染傳輸的沉降。3 月 3 日夜間又有一波濃度升高，風速也是趨緩，應該主要是本地污染。嘉義站 3 月 2 至 3 日的  $\text{PM}_{2.5}$  濃度逐時變化與斗六站非常接近（圖 4.1.10），3 月 2 日早上 8 時開始出現強勁北風伴隨著  $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升，代表受到傳輸污染貢獻，這波濃度峰值在 16 時回復到起始低濃度， $\text{PM}_{2.5}$  濃度隨即又受到持續下降風速而逐漸上升，和風速下降明顯出現背離， $\text{PM}_{2.5}$  高濃度持續時間相當長，直到 3 月 3 日 10 時才又回復到起始低濃度。嘉義站和斗六站一樣，這段時間理論上有境外污染傳輸，但風速一直停留在低值，顯示高濃度也是在地污染加上境外污染傳輸的沉降； $\text{PM}_{2.5}$  高濃度期間  $\text{CO}$  和  $\text{NO}_2$  變化和  $\text{PM}_{2.5}$  一致，加上 3 月 3 日較高的  $\text{NO}_3^-$  濃度，說明高濃度事件成因的在地污染和車輛排放有關。小港站（圖 4.1.11）在 3 月 2 日其他三站出現境外污染傳輸影響時間， $\text{PM}_{2.5}$  濃度開始上升，濃度逐漸增高到 3 月 3 日 12 時，期間西風從海上進入，轉為北風，然而  $\text{PM}_{2.5}$  濃度開始上升到維持高濃度期間，風速也持續維持在低值，顯示是以在地污染累積為主，與斗六和嘉義站相似。不過，3 月 3 日 16 時以後小港站  $\text{PM}_{2.5}$  維持低濃度，這個現象與斗六和嘉義站不同。值得注意的是 3 月 2 日下午過後， $\text{CO}$  和  $\text{NO}_2$  相關性變差，反映出  $\text{NO}_2$  可能有車輛排放以外的貢獻。

綜合上述分析，3 月 3 日忠明、斗六、嘉義以及小港站高濃度事件主要是當天持續低風速導致的在地污染，但也受到 3 月 2 日在地污染和境外污染傳輸導致的前夜污染殘留影響。

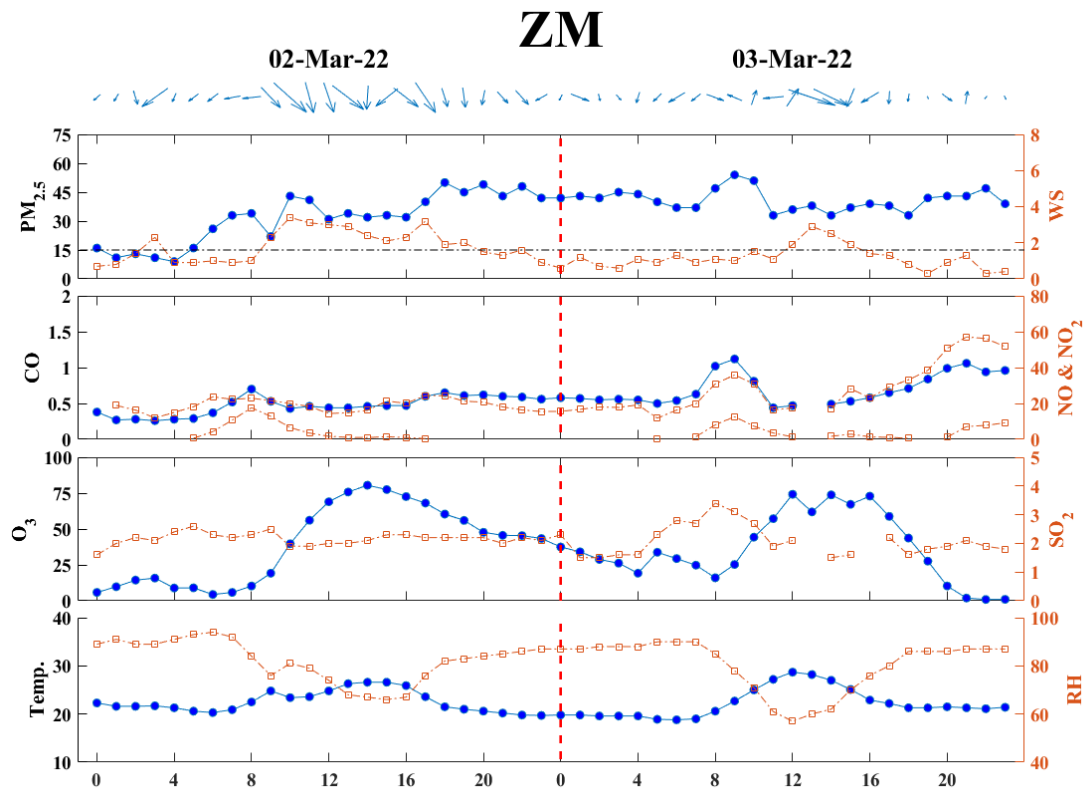


圖 4.1.8 忠明站 3 月 2 至 3 日 PM<sub>2.5</sub>、氣體污染物、氣象因子時間序列

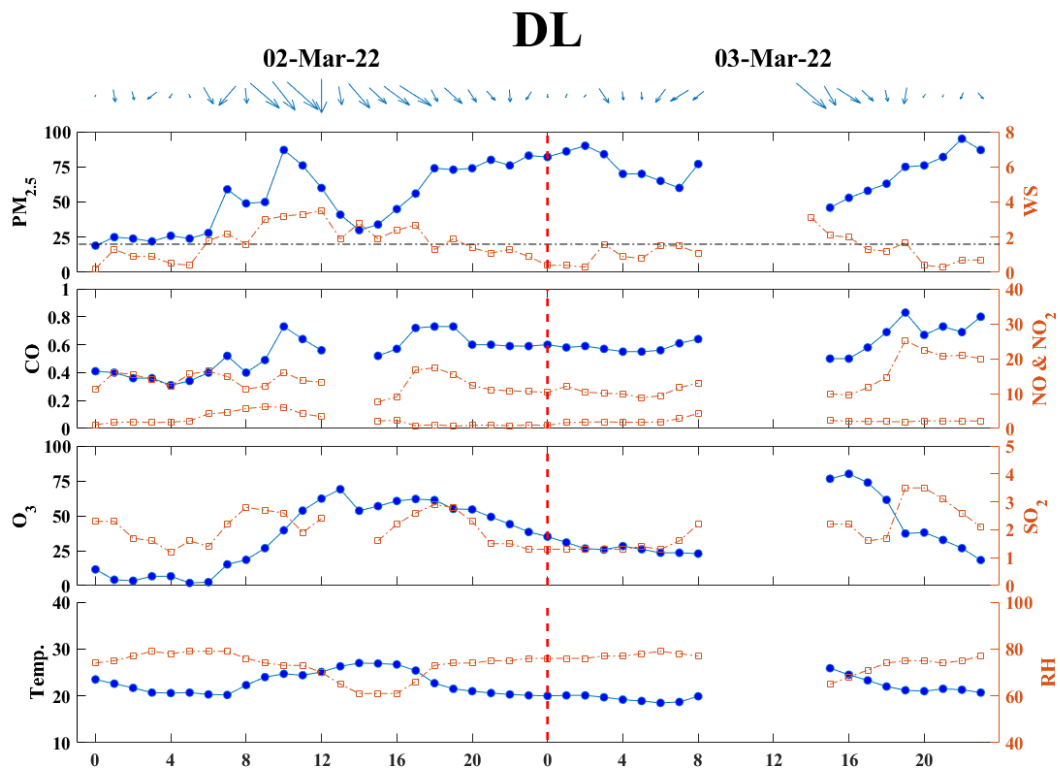


圖 4.1.9 斗六站 3 月 2 至 3 日 PM<sub>2.5</sub>、氣體污染物、氣象因子時間序列

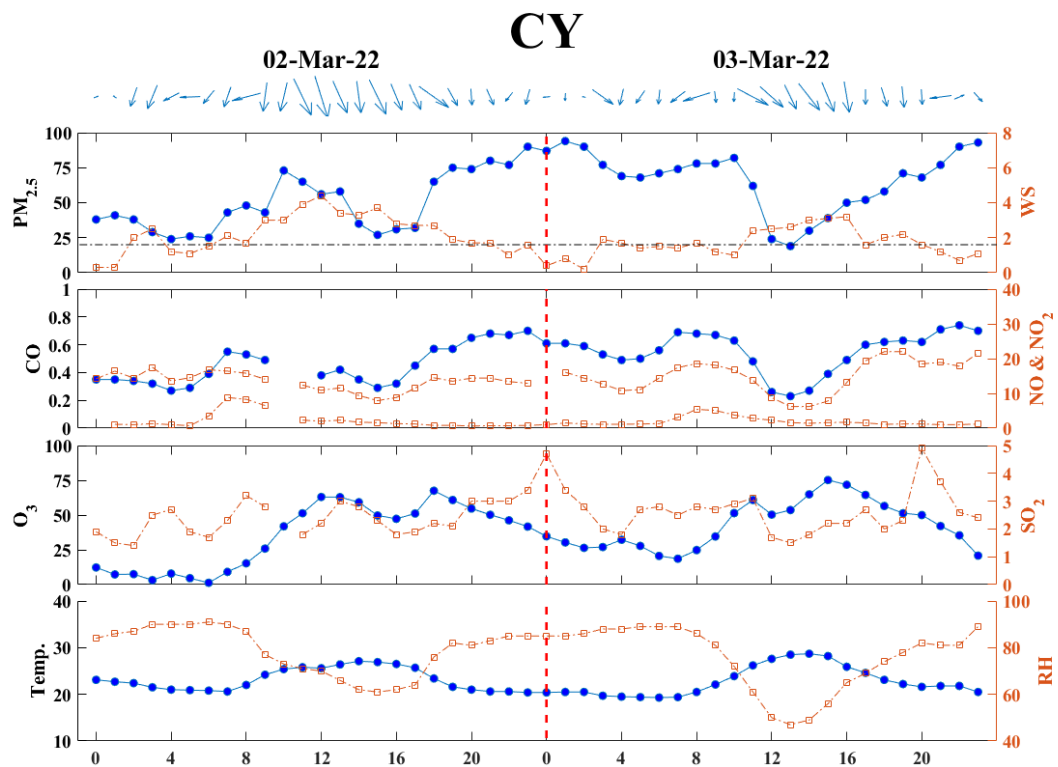


圖 4.1.10 嘉義站 3 月 2 至 3 日 PM<sub>2.5</sub>、氣體污染物、氣象因子時間序列

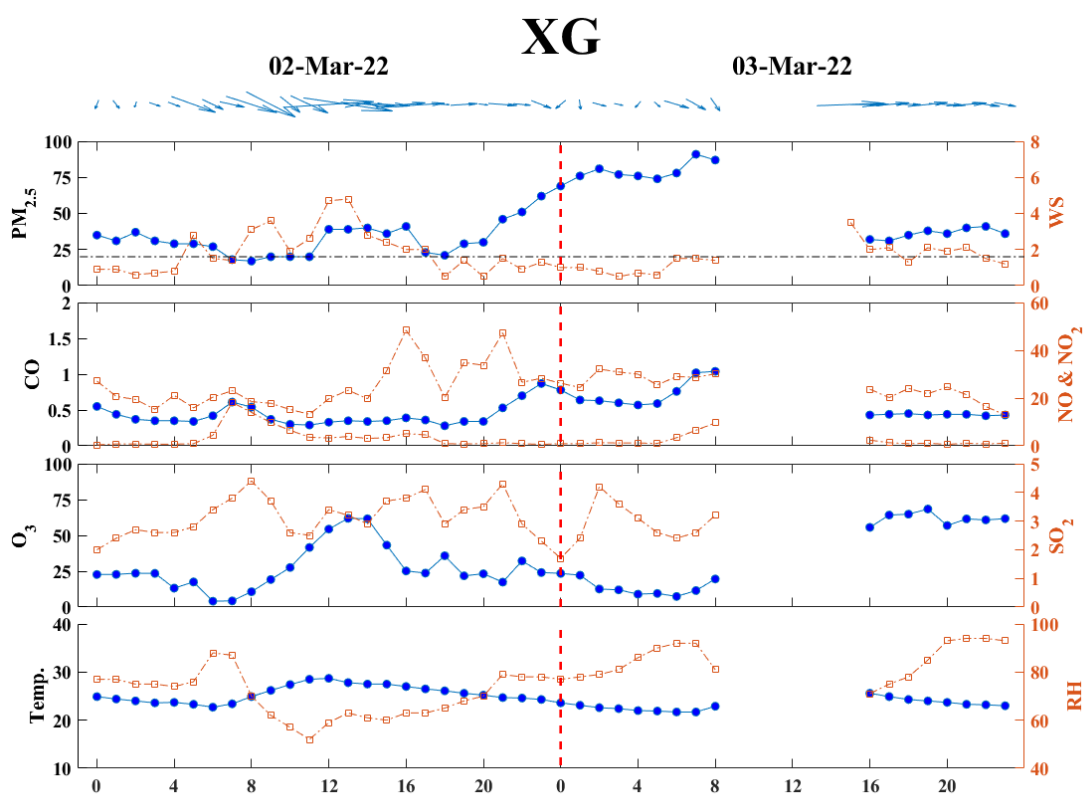


圖 4.1.11 小港站 3 月 2 至 3 日 PM<sub>2.5</sub>、氣體污染物、氣象因子時間序列



## 2. 3 月 21 日嘉義、斗六站 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件分析

例行性採樣的 3 月 21 日嘉義與斗六站出現高 PM<sub>2.5</sub> 濃度事件，日平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度分別達 54 和 48  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，其他測站則未高於 30  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，應為雲嘉地區的污染事件。嘉義與斗六站當日的 PM<sub>2.5</sub> 最高濃度化學成分都是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，質量濃度分別為 15.8 以及 15.3  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的 9.8 和 8.4  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。3 月 20 日 23:00 開始在嘉義站附近有觀世音菩薩誕辰慶典活動，可能對夜間高濃度有貢獻，然而金屬元素成分中與鞭炮及煙火等相關的 K、Ba、Cu、Sr 和 Pb 並沒有明顯高值，可能的原因有兩點，(1) 觀音菩薩誕辰慶典對高濃度事件影響不大；(2) 由於採樣為 24 小時，後半日採樣未受到慶典影響，日平均濃度因而降低。

表 4.1.6 斗六和嘉義 3 月 21 日 PM<sub>2.5</sub> 以及主要化學成分質量濃度表（單位： $\mu\text{g m}^{-3}$ ）

測站	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	OC
斗六	48	15.3	8.4	5.0
嘉義	54	15.8	9.8	5.3

nullschool 網站 (<https://earth.nullschool.net/>) 提供的 3 月 21 日 0 時與 12 時大環境風場模擬資料（圖 4.1.12），顯示午夜至早上台灣受東風影響使西部背風側風速較低，環境擴散不佳，可能造成污染物累積，隨著時間接近中午，台灣上方的低壓北移，臺灣海峽吹往西部內陸的風逐漸增強，提升環境擴散，有利於污染物濃度降低。

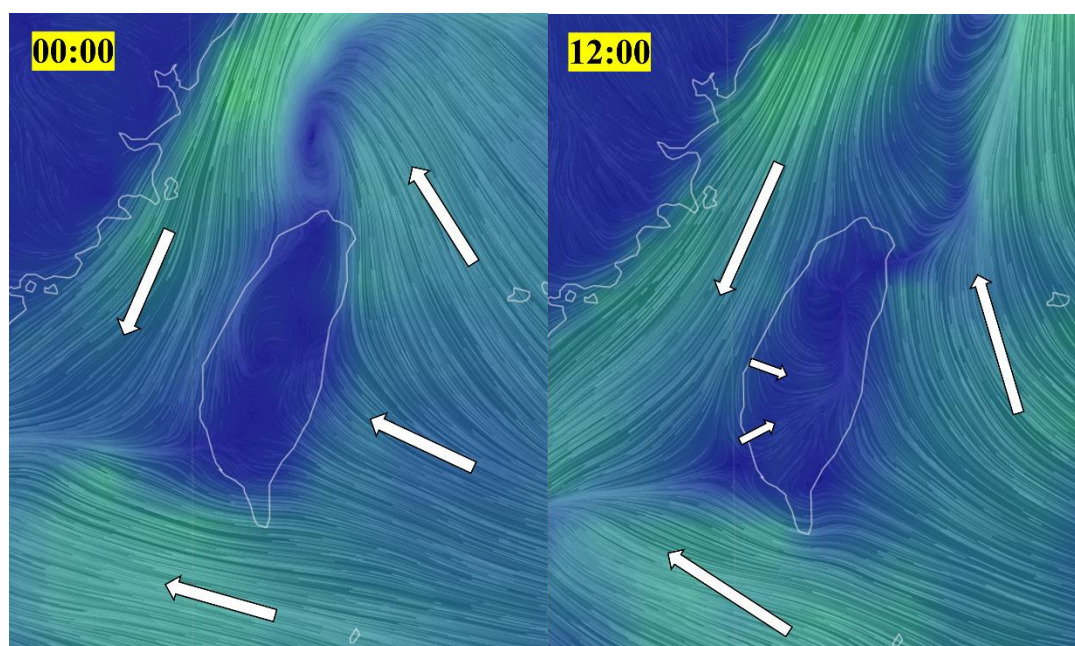


圖 4.1.12 3 月 21 日 0 時（左）與 12 時（右）臺灣鄰近地區風場模擬 (<https://earth.nullschool.net/>)

嘉義站  $\text{PM}_{2.5}$ 、相關氣體污染物、氣象因子逐時監測數據呈現在圖 4.1.13，採樣日 3 月 21 日  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度都高於  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ，主要的高濃度從 3 月 20 日 14 時開始上升到 3 月 21 日 2 時達到高峰，隨後濃度波動起伏持續到 12 時才下降，整個期間的風速除了 3 月 21 日 3 時與 8 時外都低於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$ ，說明污染是因為環境擴散不佳的影響。 $\text{CO}$  在上下班時段通常與  $\text{NO}_2$  有很好的變化一致性，可以代表交通污染源的貢獻，然而在 3 月 21 日 0 時至 8 時  $\text{CO}$  有峰值而  $\text{NO}_2$  沒有，說明嘉義站這段期間可能受到慶典活動的鞭炮、燒香等影響而非車輛排放。3 月 21 日 8 時至 12 時  $\text{PM}_{2.5}$  的高濃度則與  $\text{CO}$  和  $\text{NO}_2$  有良好的一致性，是受到車輛排放貢獻。另外，3 月 21 日 0 時至 11 時，環境相對濕度在 80% 以上，但溫度相對較低，很可能使白天形成的  $\text{N}_2\text{O}_5$  水解成  $\text{NO}_3^-$ 。

圖 4.1.14 為斗六站  $\text{PM}_{2.5}$ 、相關氣體污染物、氣象因子時間序列，雖然兩站的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分濃度非常相似，但  $\text{PM}_{2.5}$  逐時濃度變化卻存在差異，斗六站 3 月 20 日 21 時前， $\text{PM}_{2.5}$  高濃度與風速呈現相反趨勢，顯示受在地污染影響； $\text{PM}_{2.5}$  高濃度峰值出現在 3 月 20 日 21 時，隨後直到 3 月 21 日 2 時， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與風速變化一致，顯示這段時間受到外地傳輸貢獻，3 月 21 日 2 時至 16 時， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與風速呈現相反的趨勢，且風速都低於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$ ，代表這段時間主要受到本地污染累積影響，3 月 21 日 16 時以後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與風速變化又趨一致，顯示又轉為受到外地污染貢獻。3 月 20 至 21 日， $\text{CO}$  與  $\text{NO}_2$  的逐時變化都相當一致，說明這段期間很可能是受到車輛排放貢獻。

整合以上分析，3 月 21 日嘉義與斗六測站的高濃度事件主要受到環境擴散不佳在地污染影響，部分時間受到交通排放和外地污染傳輸影響。



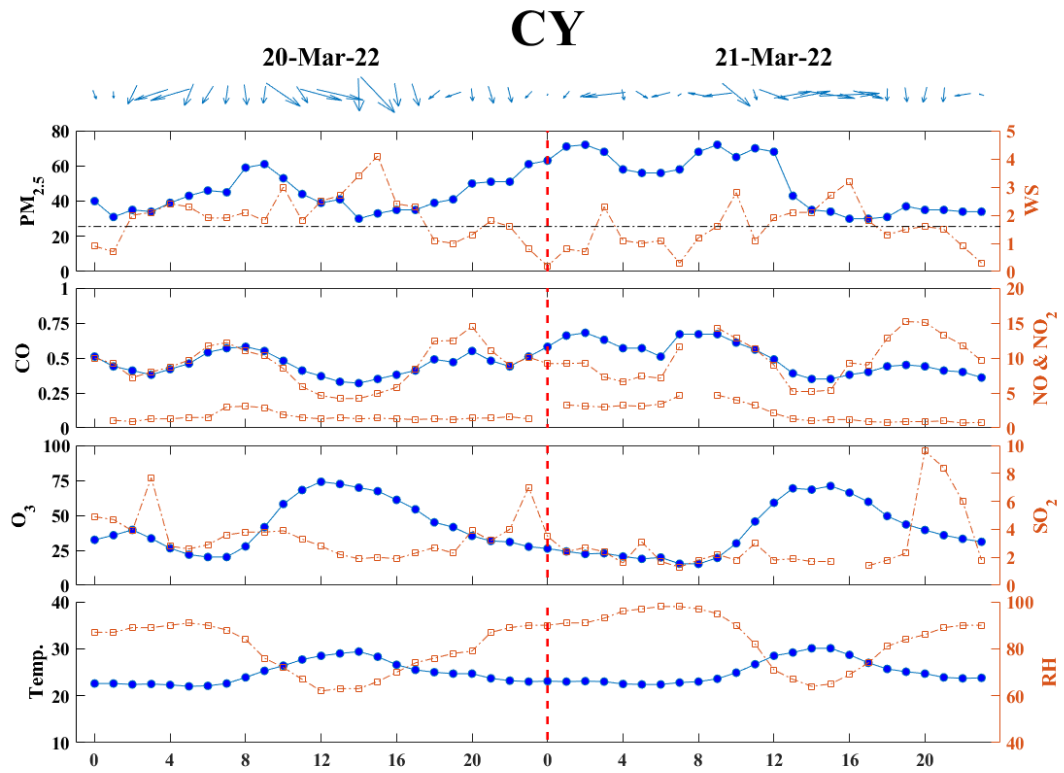


圖 4.1.13 嘉義站 3 月 20 至 21 日 PM<sub>2.5</sub>、氣體污染物、氣象因子時間序列

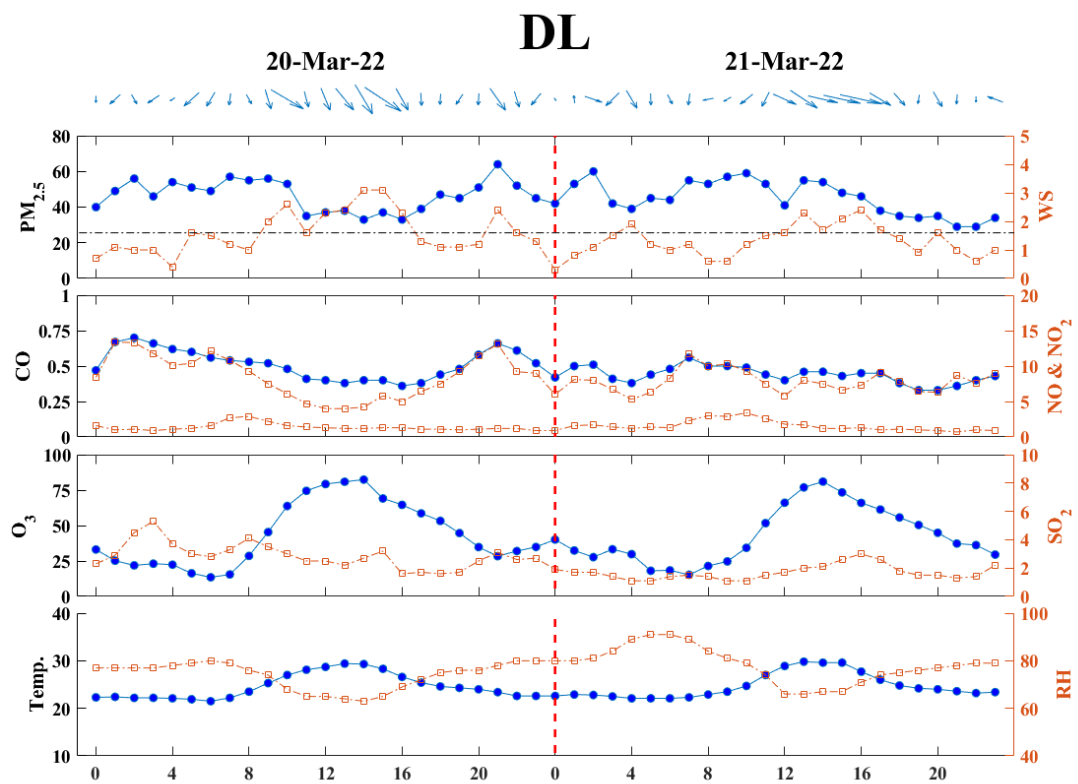


圖 4.1.14 斗六站 3 月 20 至 21 日 PM<sub>2.5</sub>、氣體污染物、氣象因子時間序列

#### 4.1.4 PM<sub>2.5</sub> 污染源解析

使用受體模式解析污染源需要大量的數據讓統計分析達到最佳效果，本計畫彙整 2017 年至 2022 年 11 月的所有採樣日數據進行 PMF 分析，並將今年度採樣日（截至 11 月底）中各污染因子貢獻量呈現在圖 4.1.15。六站的 PMF 分析結果顯示共同都有的 8 個污染因子為硫酸鹽、硝酸鹽、揚塵、海鹽、生質燃燒、富含氯、燃油以及車輛排放。其他兩個污染因子「工業 1」和「工業 2」會因測站不同有些微的差異，例如：金屬製造業（Fe、Mn...等；周等，2014）和水泥業（Ti；周等，2014），但是六站的工業污染因子中都混有車輛非尾氣排放（零件逸散；Ba、Cu、Mo...等；Lin et al., 2015）或是燃煤（As、Se...等；楊等，2014；羅等，2018）相關指標元素。花蓮站在 2022 年採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度較低各污染因子貢獻濃度差異較小，板橋站在 3 月 21 日有相對高濃度，主要貢獻因子為硝酸鹽，其餘採樣日濃度都低於 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，忠明站以南測站在濃度較高採樣日都出現硝酸鹽的貢獻，特別是 3 月 3 日和 21 日的高濃度事件，硝酸鹽因子約貢獻了 50% 以上的 PM<sub>2.5</sub>，代表 NO<sub>3</sub> 的管制需要重視。生質燃燒因子主要出現在斗六、嘉義及小港站，2 月 1 日三站都有出現較高的生質燃燒因子，可能受到春節煙火、炮竹貢獻。值得注意的是，工業排放因子在小港站的貢獻量比斗六和嘉義站低，出現最高工業污染因子濃度的測站是斗六站；富含氯因子在嘉義站幾個採樣日有相對高濃度產生。五月底開始進入夏季環境溫度升高，混合層上升 PM<sub>2.5</sub> 濃度下降直到 9 月後才天氣逐漸轉涼才有回升的趨勢，這期間可以明顯看到硝酸鹽因子的貢獻幾乎消失，主要因為硝酸鹽較易揮發，在環境高溫期間多為氣態非氣膠態，所以未被採集到，貢獻 PM<sub>2.5</sub> 較大的因子則轉為硫酸鹽以及車輛排放。

綜合以上結果，硝酸鹽因子是各站在 2022 年 6 月以前和 11 月以後貢獻濃度最大的污染源，特別是在相對高 PM<sub>2.5</sub> 濃度的採樣日，硫酸鹽因子在各站的貢獻濃度都不高；6 月至 10 月受環境溫度較高影響，硝酸鹽多為氣態非氣膠態因此幾乎未出現濃度，主要成分轉為硫酸鹽與車輛排放；工業排放污染濃度較高的測站是斗六站，在採樣期間都能看到穩定的貢獻濃度；車輛排放因子出現在花蓮以外測站雖然貢獻不高，但為台灣西部測站的共同污染因子；生質燃燒因子較頻繁出現在嘉義，2 月 1 日的高濃度應是受到春節煙火、炮竹等影響。精簡來說，硝酸鹽前驅污染源仍然是未來應持續密切關注及管制的污染源。

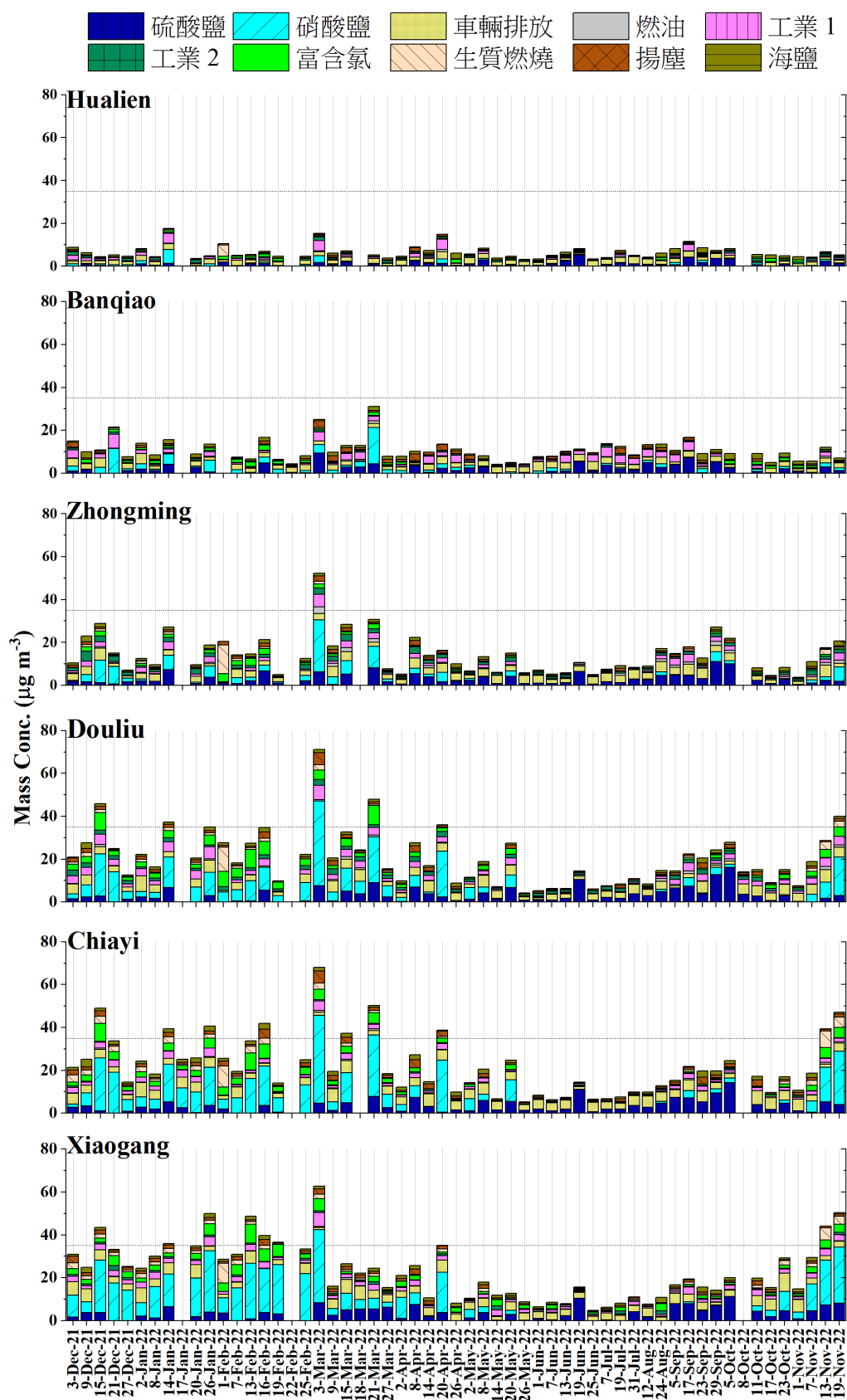


圖 4.1.15 六測站 2022 年採樣日各污染因子貢獻 PM<sub>2.5</sub> 濃度時間序列

## 4.2 PM<sub>2.5</sub> 化學成分時間與空間分布特徵及影響因素

本節彙整 2017 年至 2022 年六個年度（2022 年解析到 11 月），以相同採樣儀器的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測結果，分析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度變化及影響因素，做為施政參考及區域管制佐證。

本節內容分為七部分：第一部分「PM<sub>2.5</sub> 半揮發成分時間與空間變化」探討歷年來 PM<sub>2.5</sub> 半揮發成分時間與空間變化，並彙整水溶性無機離子、碳成分、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度可避免低估的比例範圍；第二部分「PM<sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分時間與空間變化」指出 PM<sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分空間及季度分布特徵；第三部分「PM<sub>2.5</sub> 一、二次有機碳成分時空分布特徵」顯示除斗六站以外，各地的 OC 主要為 POC，特別是板橋站有最高的占比（71%），表示多數測站 OC 主要源自於污染源的直接排放；第四部分「高濃度採樣日成因與特徵」彙整採樣期間高濃度採樣日特徵，發現在地污染仍是影響空氣品質的主要因素，由於環境不利於污染擴散，使污染濃度累積增加。第五部分「能見度影響因子與科普宣傳」分析影響能見度的主要因子以及用淺顯易懂的方式呈現 PM<sub>2.5</sub> 與大氣能見度的關係；第六部分「專案分析」針對報告審查所關注的特別議題進行分析討論；第七部分「各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術」，蒐集近年國內外最新相關文獻，瞭解多項相關議題最新研究成果，提升本計畫數據解析能力及管制單位參考。

### 4.2.1 PM<sub>2.5</sub> 半揮發成分濃度時間與空間變化

#### 1. 揮發與吸附成分占 PM<sub>2.5</sub> 比例

PM<sub>2.5</sub> 在大氣環境中有固體和液體樣態，有些半揮發性成分會在採樣過程中揮發成氣體態造成質量濃度損失，本計畫使用雙層濾紙採樣方式，校正還原大氣狀態半揮發性成分濃度。本節以修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度作為比較基準，分別量化採樣時半揮發性水溶性無機離子揮發或是有機碳成分揮發和石英濾紙吸附所造成影響，相關成果彙整如表 4.2.1 及圖 4.2.1。

半揮發水溶性無機離子主要是揮發  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  的總和，占  $\text{PM}_{2.5}$  的比例隨空間與時間不同有所差異，2017 年至 2022 年 11 月的平均占比介於 2.6%～6.4%（花蓮～小港）之間，大致呈由東部往北部再向南部遞增的空間分布，但斗六及嘉義站的半揮發水溶性無機離子的占比在 4 個季度都略低於忠明站，特別是 Q1 的占比甚至低於花蓮站（3.3%）。4 個季度的半揮發水溶性無機離子占  $\text{PM}_{2.5}$  比例的最大值，Q1 和 Q4 出現在小港站，Q2、Q3 則是忠明站；忠明以南測站 Q4 有較高的揮發濃度和占比，大多數測站（斗六和嘉義站除外）以 Q3 的揮發濃度和占比最低，主要原因可能是環境溫度為四季最高，半揮發性成分大多呈現氣體態，採集濃度低，揮發濃度也低。

揮發 OC 沒有明顯的空間差異，2017 年至 2022 年 11 月各測站的平均占  $\text{PM}_{2.5}$  比例 1.8%～3%（已扣除濾紙吸附 OC 濃度），板橋站有較高的占比。季度間揮發 OC 占比最高多在 Q3（2.1%～3.4%）。吸附 OC（大氣環境 VOCs）占比空間分布呈現東部大於西部，除花蓮站的 5.7%外，其餘五站占比介於 2.6%～3.4%之間非常接近，季度間吸附 OC 占比都以 Q3 最高，花蓮站 7.3%；其他五站 3.9%～4.6%，各測站 Q3 也有較高的吸附 OC 濃度，大氣 VOCs 濃度除了污染源排放外，還可能受到植物排放 VOCs 與各石化製程元件洩漏、油槽 VOCs 逸散影響。

加總半揮發水溶性無機離子以及揮發 OC 計算  $\text{PM}_{2.5}$  修正比例，東部花蓮站有最低的  $\text{PM}_{2.5}$  修正占比 5.0%，小港站則有最高占比 8.3%，主要是受半揮發水溶性無機離占比影響。

彙整 2017 年至 2022 年 11 月透過雙層濾紙採樣進行修正，各測站六年平均水溶性無機離子濃度占修正  $\text{PM}_{2.5}$  濃度可避免低估 2.6%～6.4%，有機碳成分占修正  $\text{PM}_{2.5}$  濃度可避免高估 0.4%～3.3%，兩者加總平均可避免  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度被整體看來，各地揮發成分的空間和季節特性差異大，應受在地污染源結構和主導污染物影響。

表 4.2.1 2017 至 2022 年各測站揮發水溶性無機離子、揮發及吸附有機碳濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) 及占修正後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度比例 (%)

測站	季度	樣本數	$\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度	揮發離子 濃度平均值 (標準差)	揮發 OC (已扣吸附) 濃度平均值 (標準差)	吸附 OC	修正 OC	揮發離子 占比平均值 (標準差)	揮發 OC (已扣吸附) 占比平均值 (標準差)	吸附 OC	修正 OC	$\text{PM}_{2.5}$ 修正比例
花蓮	平均	354	9 (5)	0.23 (0.20)	0.19 (0.15)	0.42 (0.19)	-0.23 (0.25)	2.6 (2.1)	2.4 (2.3)	5.7 (3.8)	-3.3 (4.3)	5.0 (3.1)
	Q1	95	10 (5)	0.31 (0.24)	0.19 (0.13)	0.33 (0.19)	-0.14 (0.23)	3.3 (2.5)	2.1 (1.5)	4.0 (3.2)	-2.0 (3.4)	5.4 (3.0)
	Q2	91	10 (5)	0.25 (0.23)	0.17 (0.16)	0.46 (0.19)	-0.29 (0.26)	2.6 (1.9)	2.0 (2.0)	5.5 (3.0)	-3.5 (3.6)	4.5 (2.8)
	Q3	88	8 (4)	0.15 (0.11)	0.21 (0.18)	0.48 (0.15)	-0.27 (0.25)	2.0 (1.4)	2.8 (2.9)	7.3 (4.0)	-4.4 (5.0)	4.8 (3.2)
	Q4	80	8 (4)	0.19 (0.14)	0.19 (0.15)	0.39 (0.16)	-0.20 (0.23)	2.6 (2.1)	2.9 (2.7)	6.2 (4.2)	-3.3 (4.8)	5.5 (3.4)
板橋	平均	355	15 (9)	0.62 (0.70)	0.40 (0.28)	0.39 (0.20)	0.01 (0.35)	3.7 (2.8)	3.0 (2.0)	3.4 (2.7)	-0.4 (3.0)	6.6 (3.4)
	Q1	96	18 (12)	0.74 (0.84)	0.38 (0.28)	0.33 (0.19)	0.05 (0.34)	3.8 (2.4)	2.6 (2.2)	2.7 (3.0)	-0.1 (3.4)	6.4 (3.3)
	Q2	91	16 (8)	0.77 (0.77)	0.46 (0.30)	0.44 (0.20)	0.02 (0.37)	4.3 (4.0)	3.1 (1.9)	3.4 (2.5)	-0.3 (2.6)	7.4 (4.4)
	Q3	89	13 (5)	0.42 (0.28)	0.44 (0.29)	0.46 (0.20)	-0.02 (0.35)	3.1 (1.7)	3.4 (1.8)	4.0 (2.5)	-0.7 (3.1)	6.5 (2.4)
	Q4	79	13 (7)	0.53 (0.70)	0.34 (0.26)	0.35 (0.16)	-0.01 (0.33)	3.4 (2.5)	2.8 (2.1)	3.5 (2.6)	-0.7 (2.8)	6.2 (3.4)
忠明	平均	353	19 (11)	1.22 (1.20)	0.36 (0.24)	0.42 (0.19)	-0.06 (0.33)	5.9 (3.8)	2.2 (1.4)	3.1 (2.4)	-1.0 (2.7)	8.0 (3.9)
	Q1	95	26 (13)	1.35 (0.96)	0.44 (0.27)	0.36 (0.20)	0.08 (0.33)	5.4 (3.0)	1.8 (1.0)	1.8 (1.5)	0.0 (1.8)	7.3 (3.3)
	Q2	90	16 (10)	1.28 (1.36)	0.32 (0.21)	0.44 (0.20)	-0.13 (0.33)	6.4 (4.4)	2.3 (1.7)	3.8 (2.9)	-1.5 (3.4)	8.7 (4.5)
	Q3	88	14 (7)	0.89 (0.92)	0.32 (0.19)	0.46 (0.17)	-0.14 (0.28)	5.4 (3.6)	2.5 (1.4)	3.9 (2.3)	-1.5 (2.6)	7.9 (3.6)
	Q4	80	18 (10)	1.37 (1.47)	0.36 (0.25)	0.42 (0.15)	-0.06 (0.31)	6.2 (4.1)	2.1 (1.3)	3.1 (2.2)	-0.9 (2.5)	8.3 (4.3)
斗六	平均	357	24 (14)	1.06 (0.99)	0.41 (0.25)	0.44 (0.20)	-0.03 (0.34)	4.5 (3.3)	2.1 (1.5)	2.8 (2.8)	-0.8 (2.8)	6.6 (3.6)
	Q1	97	35 (15)	0.74 (0.51)	0.48 (0.26)	0.36 (0.19)	0.12 (0.32)	2.4 (1.8)	1.5 (0.8)	1.2 (0.8)	0.3 (1.0)	3.9 (2.1)
	Q2	88	20 (13)	1.16 (1.15)	0.36 (0.26)	0.49 (0.24)	-0.13 (0.33)	5.1 (3.5)	2.3 (1.8)	3.8 (3.0)	-1.5 (3.0)	7.4 (3.7)
	Q3	92	15 (8)	1.01 (1.19)	0.32 (0.23)	0.49 (0.17)	-0.17 (0.29)	5.4 (3.8)	2.5 (1.7)	4.4 (3.5)	-1.9 (4.0)	7.8 (3.7)
	Q4	80	26 (10)	1.37 (0.86)	0.48 (0.23)	0.41 (0.15)	0.07 (0.32)	5.5 (2.7)	2.1 (1.3)	1.9 (1.2)	0.2 (1.6)	7.6 (3.2)
嘉義	平均	354	24 (15)	1.02 (0.97)	0.36 (0.27)	0.43 (0.20)	-0.07 (0.36)	4.3 (3.3)	1.8 (1.6)	2.8 (2.6)	-1.0 (2.7)	6.1 (3.6)
	Q1	96	37 (15)	0.85 (0.54)	0.43 (0.30)	0.36 (0.18)	0.07 (0.37)	2.7 (2.1)	1.3 (0.8)	1.2 (0.9)	0.1 (1.2)	3.9 (2.4)
	Q2	91	19 (13)	0.97 (1.06)	0.31 (0.24)	0.45 (0.18)	-0.14 (0.32)	4.4 (3.3)	2.0 (1.8)	3.8 (3.1)	-1.8 (3.2)	6.5 (3.6)
	Q3	89	14 (8)	0.87 (1.19)	0.26 (0.22)	0.50 (0.23)	-0.25 (0.34)	4.8 (3.9)	2.2 (2.3)	4.6 (2.5)	-2.3 (3.3)	7.0 (4.1)
	Q4	78	27 (10)	1.45 (0.86)	0.44 (0.25)	0.41 (0.17)	0.03 (0.33)	5.5 (2.8)	1.8 (1.1)	1.8 (1.1)	0.0 (1.4)	7.3 (3.1)
小港	平均	358	25 (14)	1.70 (1.45)	0.44 (0.30)	0.45 (0.18)	-0.01 (0.37)	6.4 (4.6)	2.0 (1.5)	2.6 (1.9)	-0.6 (2.3)	8.3 (4.7)
	Q1	98	38 (14)	1.95 (1.09)	0.57 (0.30)	0.41 (0.18)	0.17 (0.34)	5.8 (4.0)	1.7 (1.1)	1.3 (1.0)	0.4 (1.3)	7.5 (4.4)
	Q2	91	17 (10)	1.38 (1.63)	0.36 (0.30)	0.45 (0.18)	-0.09 (0.37)	6.2 (5.2)	2.3 (2.2)	3.5 (2.1)	-1.2 (3.0)	8.5 (5.4)
	Q3	89	14 (6)	0.87 (1.05)	0.27 (0.17)	0.49 (0.16)	-0.23 (0.24)	5.2 (4.1)	2.1 (1.4)	3.9 (1.7)	-1.9 (2.2)	7.2 (4.1)
	Q4	80	31 (10)	2.67 (1.35)	0.54 (0.28)	0.43 (0.17)	0.10 (0.36)	8.7 (4.0)	1.8 (1.1)	1.5 (0.9)	0.3 (1.2)	10.5 (4.1)

備註:

1. 數據期間:2017.1~2022.11
2. 占比計算方式 =各樣本標題成分÷修正後  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度
3.  $\text{PM}_{2.5}$  修正比例 = (修正後  $\text{PM}_{2.5}$  - 修正前  $\text{PM}_{2.5}$ ) ÷ 修正後  $\text{PM}_{2.5}$
4. 修正 OC = 揮發 OC- 吸附 OC

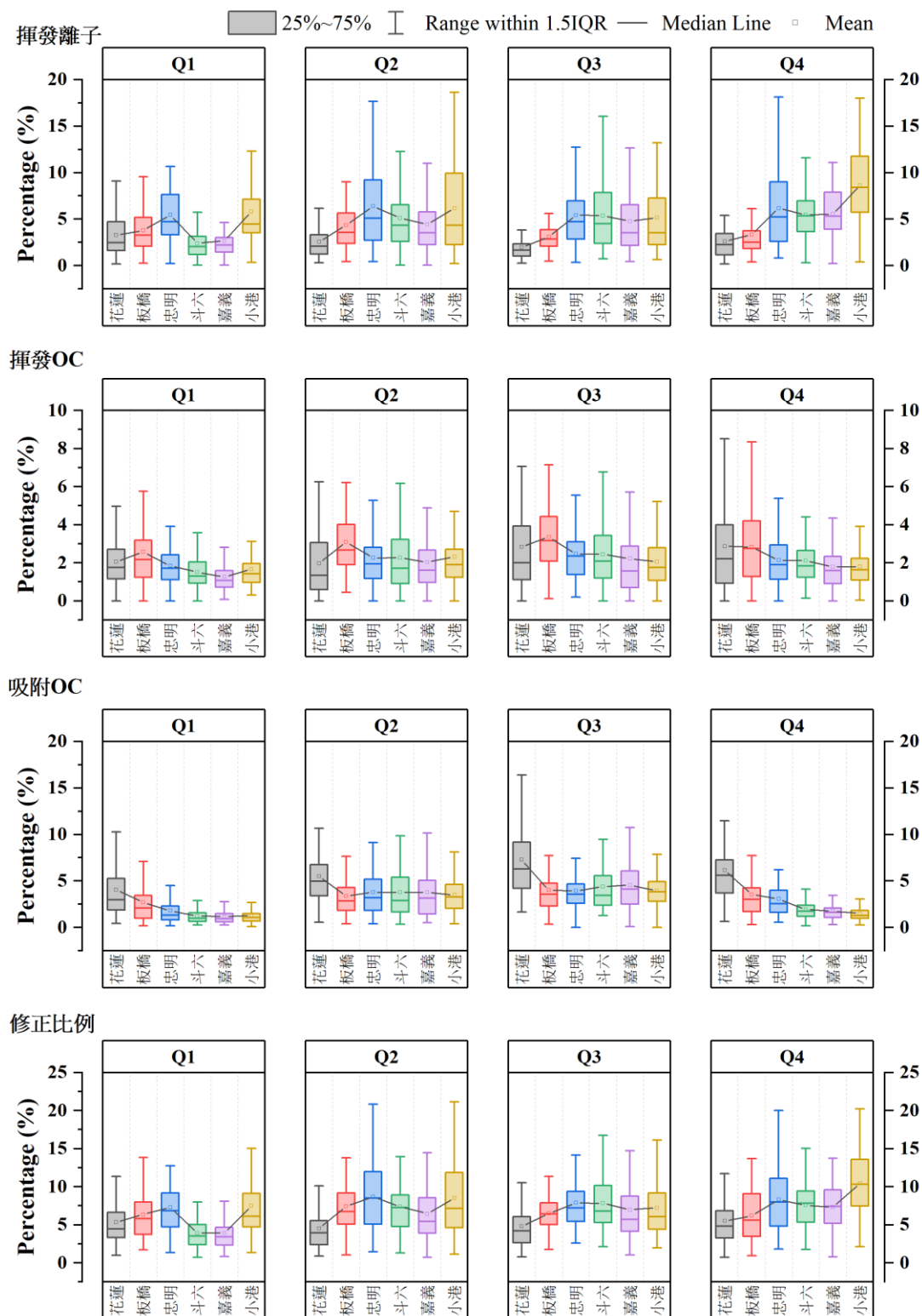


圖 4.2.1 各測站揮發水溶性無機離子、揮發及吸附有機碳（OC）占修正後  $PM_{2.5}$  質量濃度比例變化（2017 年至 2022 年 11 月）

## 2.揮發水溶性無機離子成分及修正後濃度占比

由於  $\text{PM}_{2.5}$  污染來源眾多，半揮發水溶性無機離子有其特定來源，計算揮發濃度在水溶性無機離子占比，可以落實貢獻半揮發水溶性無機離子來源管制成效。本計畫分析的  $\text{PM}_{2.5}$  半揮發水溶性無機離子成分有  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ ，各測站揮發濃度最高的水溶性無機離子成分都是  $\text{NO}_3^-$ （附錄 8）， $\text{Cl}^-$  為三者中最容易揮發的無機離子成分，各站揮發  $\text{Cl}^-$  占修正後  $\text{Cl}^-$  比例為 35%~60%，接著是  $\text{NO}_3^-$  的 18%~34% 和  $\text{NH}_4^+$  的 12%~17%。

表 4.2.2 彙整 2017 年至 2022 年 11 月各測站半揮發水溶性無機離子加總濃度季度變化並估算占修正後水溶性無機離子比例，六個測站的揮發濃度與修正占比空間分布分別介於  $0.23 \mu\text{g m}^{-3}$ ~ $1.70 \mu\text{g m}^{-3}$  和 5.4%~13.1%，東部花蓮站揮發濃度和占比都是最低，西部比較特別，忠明以及小港站有較高的揮發濃度以及占比，分別是 13.1% 以及 12.6%，其次是板橋站的 9.0%。

分析各站半揮發水溶性無機離子修正比例的季度變化，最高修正比例花蓮站發生在 Q1（6.7%），其他測站多出現在 Q2（板橋、忠明、小港站）和 Q3（斗六、嘉義站）。最低修正比例出現在 Q3（花蓮、板橋站）和 Q1（忠明、斗六、嘉義、小港站）。

綜合以上結果，各測站半揮發水溶性無機離子成分近六年平均濃度約為  $0.23 \mu\text{g m}^{-3}$ ~ $1.70 \mu\text{g m}^{-3}$ ，占修正水溶性無機離子濃度比例 5.4%~13.1%，空間差異上顯示揮發水溶性無機離子濃度與修正比例東部最低，西部忠明站和小港站較高。



表 4.2.2 2017 至 2022 年各測站揮發水溶性無機離子及修正後濃度占比

項目	PM <sub>2.5</sub>	揮發離子	修正後離子	揮發離子/修正後離子
測站季度	μg m <sup>-3</sup>			%
花蓮	9	0.23 ± 0.20	4.18 ± 2.84	5.4
Q1	10	0.31 ± 0.24	4.60 ± 3.12	6.7
Q2	10	0.25 ± 0.23	4.59 ± 2.94	5.5
Q3	8	0.15 ± 0.11	3.82 ± 2.75	3.9
Q4	8	0.19 ± 0.14	3.60 ± 2.31	5.2
板橋	15	0.62 ± 0.70	6.86 ± 5.12	9.0
Q1	18	0.74 ± 0.84	8.71 ± 7.11	8.5
Q2	16	0.77 ± 0.77	7.10 ± 4.91	10.8
Q3	13	0.42 ± 0.28	5.58 ± 2.99	7.6
Q4	13	0.53 ± 0.70	5.79 ± 3.52	9.1
忠明	19	1.22 ± 1.20	9.33 ± 7.17	13.1
Q1	26	1.35 ± 0.96	13.77 ± 8.52	9.8
Q2	16	1.28 ± 1.36	7.94 ± 6.67	16.1
Q3	14	0.89 ± 0.92	6.51 ± 4.35	13.7
Q4	18	1.37 ± 1.47	8.71 ± 6.03	15.8
斗六	24	1.06 ± 0.99	12.49 ± 9.18	8.4
Q1	35	0.74 ± 0.51	19.33 ± 9.54	3.9
Q2	20	1.16 ± 1.15	10.56 ± 9.21	11.0
Q3	15	1.01 ± 1.19	7.15 ± 5.70	14.1
Q4	26	1.37 ± 0.86	12.48 ± 6.63	11.0
嘉義	24	1.02 ± 0.97	13.24 ± 9.99	7.7
Q1	37	0.85 ± 0.54	21.39 ± 10.34	4.0
Q2	19	0.97 ± 1.06	10.09 ± 9.20	9.7
Q3	14	0.87 ± 1.19	6.74 ± 5.22	12.8
Q4	27	1.45 ± 0.86	14.28 ± 7.13	10.1
小港	25	1.70 ± 1.45	13.51 ± 9.30	12.6
Q1	38	1.95 ± 1.09	21.32 ± 9.42	9.1
Q2	17	1.38 ± 1.63	8.66 ± 6.42	15.9
Q3	14	0.87 ± 1.05	6.61 ± 3.92	13.1
Q4	31	2.67 ± 1.35	17.14 ± 6.97	15.6

備註：

1. 數據期間：2017.1~2022.11
2. 修正離子：所有已解析離子項目，包含半揮發離子(Cl<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
3. 揮發離子：半揮發離子(Cl<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
4. 修正比例(%)：每日揮發離子÷每日修正後離子濃度，最後計算季度平均值

### 3.有機碳成分揮發、吸附、修正濃度及占比

揮發有機碳成分也有其特定來源，計算揮發濃度在有機碳成分占比，比較可以評估貢獻揮發有機碳成分來源管制成效。本年度計畫分季的方式有別於過去的春、夏、秋、冬四季，因此，重新彙整 2017 年至 2021 年的數據並結合本年度（2022 年 11 月）計畫執行期間有機碳成分的正干擾（吸附增量）與負干擾（揮發損失）的時空間與時間分布特徵，歷年採樣設備、分析方法及數據修正方式都相同，結果呈現在表 4.2.3。

各測站的平均負干擾濃度，除了花蓮站（ $0.19 \mu\text{g m}^{-3}$ ）最低，其他測站空間差異並不明顯（ $0.36 \mu\text{g m}^{-3} \sim 0.44 \mu\text{g m}^{-3}$ ），各測站有機碳揮發占修正後有機碳比例為 8.1%~11.1%，板橋站有最高揮發占比。從季度來看，忠明以南測站的 Q1 和 Q4 有較高的負干擾濃度，但占比剛好相反，Q2 和 Q3 較高，Q1 和 Q4  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較高，Q2 和 Q3 濃度較低，似乎顯示 Q2 和 Q3  $\text{PM}_{2.5}$  易揮發比例較高，但  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較低，揮發濃度也不高，另外，環境溫度較高也可能導致負干擾占比上升。

正干擾在各測站的平均濃度空間和季度間差異都不明顯，測站間平均濃度介於  $0.39 \mu\text{g m}^{-3} \sim 0.45 \mu\text{g m}^{-3}$ ，正干擾在花蓮站的占修正後有機碳濃度比例最高為 22.9%，其他各測站占比為 9.1%~10.8%，可能是花蓮站有較多植物排放 VOCs，季度差異顯示各測站 Q3 有最高的正干擾濃度和占比，可能是環境溫度較高，使各逸散源逸散或揮發 VOCs 增加。

將正負干擾加總比較，只有板橋修正濃度為正值，代表受到揮發（負干擾）影響大於吸附（正干擾），修正時需補償回去；相反的，其他測站呈現負值，表示正干擾較高，負干擾較低。總結來看，正干擾對有機碳量測的影響略高於負干擾，若未進行修正，板橋站會低估 0.3% 的有機碳成分濃度，其他測站則可能高估有機碳成分濃度 0.2%~12.4%，說明揮發修正有助於降低碳成分濃度的高估。

表 4.2.3 2017 至 2022 年各測站有機碳成分 (OC) 揮發、吸附、修正濃度及占比

項目 測站 季度	PM <sub>2.5</sub>	揮發 (負干擾)	吸附 (正干擾)	修正	揮發 (負干擾)	吸附 (正干擾)	修正*
	$\mu\text{g m}^{-3}$				%		
花蓮	9	0.19 ± 0.15	0.42 ± 0.19	-0.23	10.5	22.9	-12.4
Q1	10	0.19 ± 0.13	0.33 ± 0.19	-0.14	8.7	15.4	-6.6
Q2	10	0.17 ± 0.16	0.46 ± 0.19	-0.29	9.7	25.8	-16.1
Q3	8	0.21 ± 0.18	0.48 ± 0.15	-0.27	12.3	28.4	-16.1
Q4	8	0.19 ± 0.15	0.39 ± 0.16	-0.20	12.1	24.7	-12.6
板橋	15	0.40 ± 0.28	0.39 ± 0.20	0.01	11.1	10.8	0.3
Q1	18	0.38 ± 0.28	0.33 ± 0.19	0.05	9.9	8.7	1.2
Q2	16	0.46 ± 0.30	0.44 ± 0.20	0.02	11.8	11.3	0.5
Q3	13	0.44 ± 0.29	0.46 ± 0.20	-0.02	11.9	12.3	-0.5
Q4	13	0.34 ± 0.26	0.35 ± 0.16	-0.01	11.0	11.4	-0.3
忠明	19	0.36 ± 0.24	0.42 ± 0.19	-0.06	9.0	10.5	-1.5
Q1	26	0.44 ± 0.27	0.36 ± 0.20	0.08	8.7	7.1	1.6
Q2	16	0.32 ± 0.21	0.44 ± 0.20	-0.13	9.2	12.8	-3.6
Q3	14	0.32 ± 0.19	0.46 ± 0.17	-0.14	10.0	14.5	-4.5
Q4	18	0.36 ± 0.25	0.42 ± 0.15	-0.06	8.5	9.9	-1.4
斗六	24	0.41 ± 0.25	0.44 ± 0.20	-0.03	8.5	9.1	-0.6
Q1	35	0.48 ± 0.26	0.36 ± 0.19	0.12	7.8	5.9	2.0
Q2	20	0.36 ± 0.26	0.49 ± 0.24	-0.13	9.1	12.5	-3.4
Q3	15	0.32 ± 0.23	0.49 ± 0.17	-0.17	10.2	15.5	-5.4
Q4	26	0.48 ± 0.23	0.41 ± 0.15	0.07	7.9	6.8	1.1
嘉義	24	0.36 ± 0.27	0.43 ± 0.20	-0.07	8.1	9.8	-1.7
Q1	37	0.43 ± 0.30	0.36 ± 0.18	0.07	7.2	6.1	1.1
Q2	19	0.31 ± 0.24	0.45 ± 0.18	-0.14	9.0	13.2	-4.1
Q3	14	0.26 ± 0.22	0.50 ± 0.23	-0.25	9.5	18.6	-9.1
Q4	27	0.44 ± 0.25	0.41 ± 0.17	0.03	7.9	7.4	0.5
小港	25	0.44 ± 0.30	0.45 ± 0.18	-0.01	9.4	9.6	-0.2
Q1	38	0.57 ± 0.30	0.41 ± 0.18	0.17	8.9	6.3	2.6
Q2	17	0.36 ± 0.30	0.45 ± 0.18	-0.09	11.3	14.2	-2.9
Q3	14	0.27 ± 0.17	0.49 ± 0.16	-0.23	9.8	18.1	-8.3
Q4	31	0.54 ± 0.28	0.43 ± 0.17	0.10	8.7	7.0	1.7

\* 本表「修正占比」是指占修正後有機碳濃度的占比

## 4.2.2 PM<sub>2.5</sub> 濃度與主要化學成分時間與空間變化

### 1. 2017~2022 年 PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分年平均質量濃度與占比

2017~2022 年板橋、忠明、嘉義、斗六、小港和花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 年平均質量濃度呈現在圖 4.2.2 圓餅的正中央圓圈中，PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分年平均質量濃度則分列在核心圓圈周邊，詳細數據列在表 4.2.4，在 2017 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均質量濃度以花蓮站為最低（11  $\mu\text{g m}^{-3}$ ），從北部到中部再往南部升高，最高濃度是小港站的 30  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，到了 2022 年，花蓮站仍是最低（7  $\mu\text{g m}^{-3}$ ），從北部到中部再往南部升高，最高濃度是小港站的 22  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，2022 年較 2017 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均質量濃度減少從 27%（嘉義站）到 43%（板橋站），值得注意的是在 2021 年各站 PM<sub>2.5</sub> 濃度反升之後，2022 年 PM<sub>2.5</sub> 各站年平均質量濃度降到比 2020 年更低，回復到 2017 年至 2020 年的下降趨勢。六站各主要化學成分都較 2017 年減少 20% 以上；若不計 OC 及金屬元素則都在 39% 以上，代表台灣整體 PM<sub>2.5</sub> 相關污染物濃度都有降低，空氣品質獲得改善。PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分 2022 年較 2017 年削減比例，以 EC 削減最多，在六站六年削減比例範圍為 41%（小港站）~68%（花蓮站），雖然主要是柴油車排放的改善，但也要注意 EC 濃度較低，微量的降低可能會有較大的削減比例。濃度較高的 PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分中，以  $\text{SO}_4^{2-}$  削減比例最高，六站削減比例範圍為 38%（嘉義、小港站）~60%（花蓮站）， $\text{SO}_4^{2-}$  質量濃度減量最多的測站為板橋站的 2.9  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。 $\text{NH}_4^+$  在六站削減比例範圍為 32%（嘉義站）~59%（板橋站）。 $\text{NO}_3^-$  在六站削減比例範圍為 27%（嘉義站）~54%（板橋站），OC 在六站削減比例範圍則為 19%（嘉義站）~39%（板橋站），主要化學成分減量最多的都是板橋站，這說明了板橋站的 PM<sub>2.5</sub> 濃度削減最多。OC 和南部的  $\text{NO}_3^-$  雖然六年間各測站濃度都有下降，但占 PM<sub>2.5</sub> 比例大多有增加，說明 OC 和南部  $\text{NO}_3^-$  的削減比例相對較  $\text{SO}_4^{2-}$  少，因此在 PM<sub>2.5</sub> 占比提升。

在 2017 年花蓮、板橋和忠明站 PM<sub>2.5</sub> 占比最大的化學成分是  $\text{SO}_4^{2-}$  分別是 27%、25% 和 23%；到了 2022 年，花蓮站占比最大的化學成分為 OC，板橋和忠明站在 2018 到 2019 年  $\text{SO}_4^{2-}$  占比最大，2020 年後兩站都轉成 OC 占比最大，六年來兩測站 OC 占 PM<sub>2.5</sub> 比例都上升了 2%~4% 左右；斗六站 2018 到 2020 年和 2022 年占比最大的化學成分為 OC，在 2021 年一度轉為  $\text{NO}_3^-$ ；嘉義和小港站

2017 年占比最大化學成分都是  $\text{NO}_3^-$ ，2018 年嘉義和小港站是  $\text{SO}_4^{2-}$ ，2019 年小港站以  $\text{SO}_4^{2-}$  占  $\text{PM}_{2.5}$  比例最高，但嘉義站則是  $\text{NO}_3^-$ ，2020 至 2022 年兩站的占比最大化學成分都是  $\text{NO}_3^-$ ，不過，2022 年尚差 12 月數據，綜合 2021 與 2022 年的結果，OC 以及  $\text{NO}_3^-$  前驅物的管制應為近年來管制  $\text{PM}_{2.5}$  的重要課題。金屬元素的質量濃度六年來沒有明顯的增減，說明主要的管制策略可能對  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分和前驅氣體的減量較有效益，金屬元素受到影響較小。

各測站 2022 年(資料統計至 11 月)相較 2017 年的  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、OC、EC 削減比例平均分別為 34%、48%、39%、45%、25%、51%，以 EC 削減比例最高，其次為  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ ，OC 削減比例最低，這指出後續可以努力減量的前驅污染源。

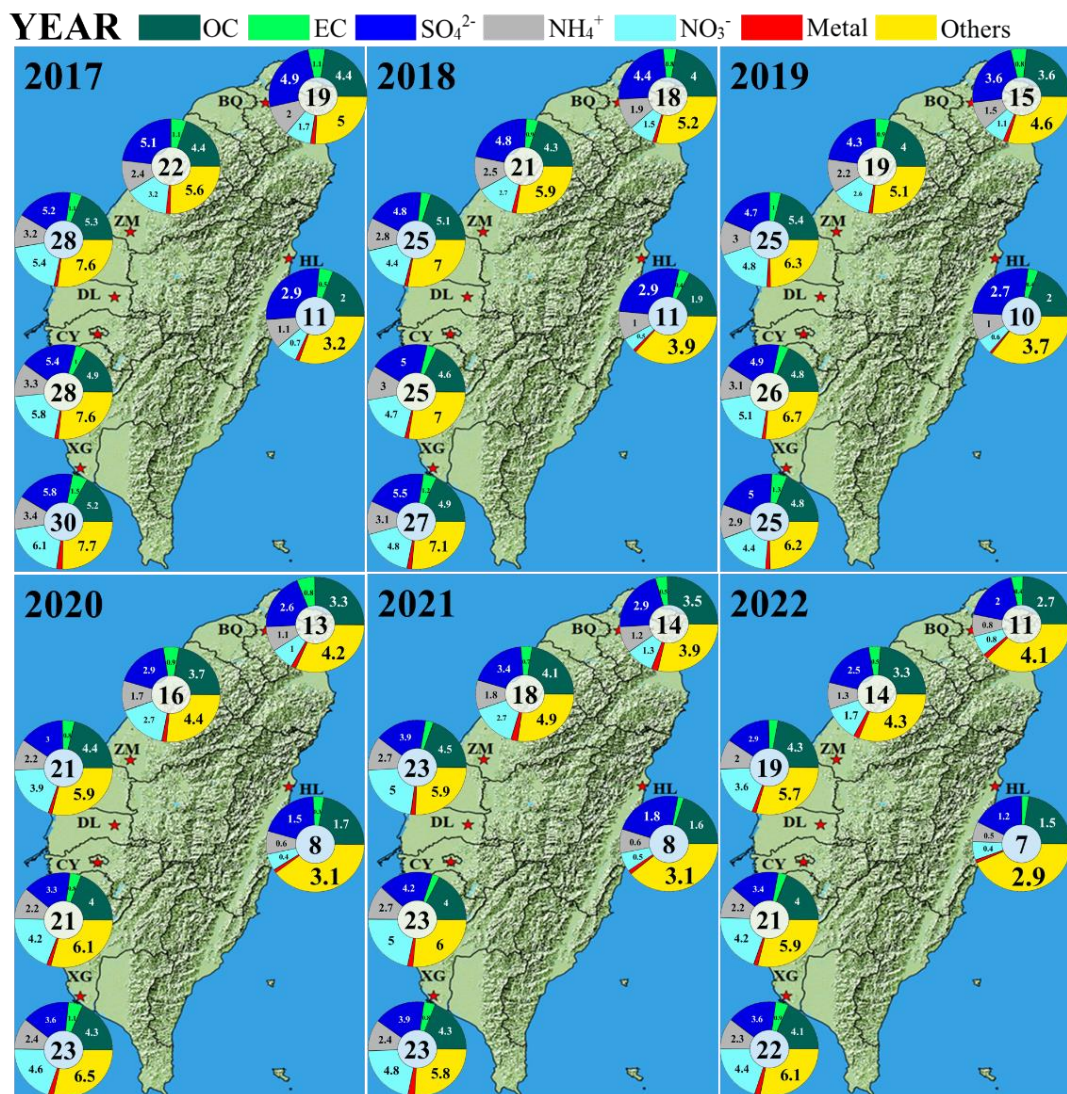


圖 4.2.2 2017~2022 年台灣各測站 PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分年平均質量濃度及占比

表 4.2.4 2017~2022 年六測站 PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分年平均濃度 (μg m<sup>-3</sup>) 及占 PM<sub>2.5</sub> 比例 (%)

測站	年度	PM <sub>2.5</sub>	OC	EC	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Metals	Others
花蓮	2017	11	2.03 (19)	0.50 (5)	2.92 (27)	1.08 (10)	0.75 (7)	0.13 (1)	3.22 (30)
	2018	11	1.89 (18)	0.38 (4)	2.88 (27)	1.02 (10)	0.48 (5)	0.11 (1)	3.86 (36)
	2019	10	2.04 (20)	0.36 (3)	2.73 (26)	0.98 (9)	0.56 (5)	0.08 (1)	3.69 (35)
	2020	8	1.72 (22)	0.27 (4)	1.55 (20)	0.61 (8)	0.44 (6)	0.09 (1)	3.09 (40)
	2021	8	1.60 (20)	0.16 (2)	1.84 (23)	0.65 (8)	0.51 (6)	0.11 (1)	3.11 (39)
	*2022	7	1.51 (23)	0.16 (2)	1.17 (18)	0.45 (7)	0.42 (6)	0.07 (1)	2.89 (43)
板橋	2017	19	4.38 (23)	1.08 (6)	4.89 (25)	2.01 (10)	1.66 (9)	0.30 (2)	4.99 (26)
	2018	18	3.98 (22)	0.78 (4)	4.40 (25)	1.90 (11)	1.49 (8)	0.22 (1)	5.18 (29)
	2019	15	3.62 (23)	0.81 (5)	3.64 (24)	1.49 (10)	1.11 (7)	0.24 (2)	4.57 (30)
	2020	13	3.34 (25)	0.79 (6)	2.60 (20)	1.13 (8)	1.03 (8)	0.21 (2)	4.17 (31)
	2021	14	3.53 (26)	0.54 (4)	2.94 (21)	1.24 (9)	1.28 (9)	0.29 (2)	3.93 (29)
	*2022	11	2.69 (25)	0.43 (4)	1.99 (18)	0.82 (7)	0.76 (7)	0.18 (2)	4.08 (37)
忠明	2017	22	4.39 (20)	1.14 (5)	5.06 (23)	2.41 (11)	3.16 (14)	0.32 (1)	5.55 (25)
	2018	21	4.31 (20)	0.87 (4)	4.83 (23)	2.48 (12)	2.73 (13)	0.32 (1)	5.87 (27)
	2019	19	4.03 (21)	0.90 (5)	4.29 (22)	2.21 (11)	2.57 (13)	0.25 (1)	5.11 (26)
	2020	16	3.69 (22)	0.86 (5)	2.91 (18)	1.70 (10)	2.70 (16)	0.24 (1)	4.37 (27)
	2021	18	4.05 (23)	0.66 (4)	3.41 (19)	1.81 (10)	2.71 (15)	0.39 (2)	4.89 (27)
	*2022	14	3.31 (24)	0.54 (4)	2.54 (18)	1.26 (9)	1.66 (12)	0.25 (2)	4.29 (31)
斗六	2017	28	5.31 (19)	1.09 (4)	5.21 (19)	3.20 (11)	5.39 (19)	0.31 (1)	7.57 (27)
	2018	25	5.09 (20)	0.84 (3)	4.83 (19)	2.84 (11)	4.36 (17)	0.27 (1)	7.00 (28)
	2019	25	5.41 (21)	0.96 (4)	4.74 (19)	3.01 (12)	4.81 (19)	0.29 (1)	6.28 (25)
	2020	21	4.39 (21)	0.82 (4)	3.01 (15)	2.19 (11)	3.93 (19)	0.25 (1)	5.91 (29)
	2021	23	4.51 (20)	0.59 (3)	3.90 (17)	2.66 (12)	5.01 (22)	0.36 (2)	5.85 (26)
	*2022	19	4.27 (22)	0.61 (3)	2.90 (15)	1.98 (10)	3.60 (19)	0.26 (1)	5.66 (29)
嘉義	2017	28	4.89 (17)	1.04 (4)	5.40 (19)	3.31 (12)	5.79 (20)	0.33 (1)	7.56 (27)
	2018	25	4.63 (18)	0.82 (3)	5.01 (20)	3.00 (12)	4.69 (18)	0.30 (1)	7.01 (28)
	2019	26	4.77 (19)	0.82 (3)	4.87 (19)	3.07 (12)	5.06 (20)	0.30 (1)	6.73 (26)
	2020	21	4.00 (19)	0.79 (4)	3.29 (16)	2.24 (11)	4.18 (20)	0.28 (1)	6.09 (29)
	2021	23	4.02 (18)	0.57 (3)	4.15 (18)	2.69 (12)	5.00 (22)	0.41 (2)	6.05 (26)
	*2022	21	3.95 (19)	0.60 (3)	3.35 (16)	2.24 (11)	4.21 (20)	0.28 (1)	5.92 (29)
小港	2017	30	5.18 (17)	1.53 (5)	5.84 (19)	3.45 (11)	6.08 (20)	0.55 (2)	7.70 (25)
	2018	27	4.94 (18)	1.18 (4)	5.50 (20)	3.06 (11)	4.75 (18)	0.41 (2)	7.14 (26)
	2019	25	4.79 (19)	1.25 (5)	4.97 (20)	2.88 (12)	4.44 (18)	0.38 (2)	6.16 (25)
	2020	23	4.29 (19)	1.08 (5)	3.59 (16)	2.43 (11)	4.59 (20)	0.41 (2)	6.49 (28)
	2021	23	4.32 (19)	0.84 (4)	3.86 (17)	2.44 (11)	4.79 (21)	0.51 (2)	5.84 (26)
	*2022	22	4.10 (19)	0.91 (4)	3.61 (17)	2.31 (11)	4.40 (20)	0.40 (2)	6.12 (28)

備註：

1. \*2022 年數據截至 11 月底。
2. PM<sub>2.5</sub> 濃度為經過揮發吸附修正的數值。

## 2. PM<sub>2.5</sub> 高濃度占比化學成分歷年變化趨勢分析

長時間的數據分析，可以評估污染源管制成效以及影響因素。本小節彙整 2017 年至 2022 年各測站 PM<sub>2.5</sub> 以及占比高的化學成分（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、OC 及 EC），繪製出 2017 年至 2019 年（三年延伸趨勢線）、2017 年至 2020 年（四年延伸趨勢線）、2017 年至 2021 年（五年延伸趨勢線）以及 2017 年至 2022 年（六年延伸趨勢線）四條年平均濃度延伸趨勢線，2020 年國際受到新冠疫情影響，「三年延伸趨勢線」是未受到國際疫情影響前的延伸趨勢，當濃度值低於「三年延伸趨勢線」濃度，表示低於未發生新冠疫情且各地污染源管制仍照舊減量（business as usual）的延伸濃度。四年、五年、六年延伸趨勢線則表現加入後續年度化學成分濃度造成的影響，「四年延伸趨勢線」的 2020 年為國際進入人流管制封城狀態，「五年延伸趨勢線」的 2021 年為我國進入人流管制狀態，「六年延伸趨勢線」可視為各國（中國除外）回歸正常人際交流情況，我國疫情轉趨嚴重下的空品狀態，從各延伸趨勢線變化特徵，可解析近年來國內 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受疫情影響的污染源管制成效，可做為未來污染源管制策略方向研擬參考。

圖 4.2.3（左）指出各測站 PM<sub>2.5</sub> 近六年的平均濃度有下降的趨勢，代表主管單位對空氣品質提升的努力有成效且持續改善中。花蓮站「三年延伸趨勢線」幾乎沒有下降，表示 2017~2019 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度幾乎相同，「四年延伸趨勢線」以後的各年延伸趨勢線幾乎重疊，代表花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 的改善從 2020 年開始，呈現可觀的成效，2020~2022 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度維持相同的下降斜率。板橋站則是「三年和四年延伸趨勢線」斜率較「五年和六年延伸趨勢線」大，顯示 2021 年 2022 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度改善較前四年少，特別是受 2021 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度突增有很大的影響。忠明站「三年延伸趨勢線」與「六年延伸趨勢線」重疊，由於 2021 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度較 2020 年突增，2022 年則恢復到前三年的空氣污染減量的軌道上。「四年延伸趨勢線」斜率最大是受到 2020 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度明顯下降影響，「五年延伸趨勢線」斜率最小是受到 2021 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度突增的影響。斗六和嘉義兩個測站各年延伸趨勢線斜率變化相近，都以「三年延伸趨勢線」斜率變化最平緩，「四年延伸趨勢線」斜率下降最大，「四、五、六年延伸趨勢線」分別受到 2020 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均濃度的較 2019 年降低較多，2021 年 PM<sub>2.5</sub>



年平均濃度突增，2022 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度又趨降低有關。小港站各年延伸趨勢線變化趨勢和各測站不同，斜率變化趨勢是「三年延伸趨勢線」斜率最大，往後各年逐年趨緩，以「六年延伸趨勢線」斜率最小，表示小港站在 2018 年和 2019 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度下降頗多，2020 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度較 2019 年稍有升高，2021 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度持續較 2020 年升高，2022 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度稍較 2021 年降低有關。

各測站各年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度延伸趨勢線斜率變化，顯示花蓮站  $\text{PM}_{2.5}$  從 2020 年開始出現可觀的改善成效，並且持續改善中。板橋、忠明、斗六、嘉義站受到 2021 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度突增的影響很大，但 2022 年又恢復到較 2017 年~2019 年的減量趨勢稍多的軌道上。小港站固然也受到 2021 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度突增的影響，但 2022 年  $\text{PM}_{2.5}$  年平均濃度還沒有恢復到 2017 年~2019 年的減量趨勢軌道上。

圖 4.2.3（中）呈現各測站  $\text{SO}_4^{2-}$  四條年平均濃度延伸趨勢線都是向下延伸，表示  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度持續遞減，管制成效優良。其中，「三年延伸趨勢線」下降斜率最平緩，「四年延伸趨勢線」下降斜率最大，表示各測站 2020 年  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度都低於「三年延伸趨勢線」延伸濃度許多，2020 年可能是國際受到新冠疫情影響，各國產業活動減少，長程傳輸  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度降低有關。2021 年各測站  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度反增都高於 2020 年，但除板橋站外， $\text{SO}_4^{2-}$  濃度仍都低於「三年延伸趨勢線」濃度，表示政府的燃料及能源相關政策對於  $\text{PM}_{2.5}$  含硫成分變化具有正面削減影響。2022 年各測站（除小港站外） $\text{SO}_4^{2-}$  濃度大多在「五和六年延伸趨勢線」延伸濃度上，是否代表國際疫情管制趨緩，工業活動回歸常態，我國工業活動則不受疫情影響有關？小港站稍較「三年延伸趨勢線」延伸濃度低，但較「五和六年延伸趨勢線」延伸濃度高，或許是我國工業活動不受疫情影響的佐證。板橋站 2021 年的濃度高於「三年延伸趨勢線」延伸濃度，可能與電力業、船舶或重油鍋爐排放上升有關（李等，2021）。

圖 4.2.3（右）顯示各測站  $\text{NO}_3^-$  四條年平均濃度延伸趨勢線略為向下延伸，表示  $\text{NO}_3^-$  濃度持續遞減，但不若  $\text{SO}_4^{2-}$  管制成效大。花蓮站四條年平均濃度延伸趨勢線斜率變化平緩，可能表示  $\text{NO}_3^-$  前驅污染源例行管制已達到瓶頸，後續管

制需要有別於例行管制手段。小港站  $\text{NO}_3^-$  受到 2019 年平均濃度較 2018 年低的影響，「三年延伸趨勢線」斜率下降最大，雖然 2020 年國內疫情嚴峻，人流活動受到影響，但西部各測站也只有斗六及嘉義站  $\text{NO}_3^-$  濃度低於「三年延伸趨勢線」濃度，顯示其他各測站  $\text{NO}_3^-$  減量遲緩，因疫情造成  $\text{NO}_3^-$  較大減量區域主要集中在雲嘉地區。西部各測站六年來都出現 2021 年平均濃度高於各種延伸趨勢線濃度現象，且以「五年延伸趨勢線」斜率最小，顯示是受到 2021 年濃度拉升的影響，參照 2021 年度計畫成果，2021 年各測站各季度燃油（Ni、V）與燃煤（Sn、Se、As 及 Pb），嘉義站的 Ba 及小港站的 Cr 等工業相關指標成分濃度明顯反增（李等，2021），因此可能是產業活動增強所造成的影響。「六年延伸趨勢線」斜率在忠明以南各站都明顯較「五年延伸趨勢線」大，特別是 2022 年在斗六、嘉義和小港站  $\text{NO}_3^-$  的平均濃度接近「四年延伸趨勢線」，接近疫情前「三年延伸趨勢線」延伸濃度上，忠明甚至就在「三年延伸趨勢線」延伸濃度上，不過 2022 年尚缺 11~12 月數據，仍有待觀察。考量 2021 年  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  在各測站都出現濃度彈升，人流活動受到影響，但產業活動卻有增強，顯示出是受到工業污染源較大的影響。

圖 4.2.3（左）列出六年來各測站  $\text{NH}_4^+$  年平均濃度變化趨勢，各測站四條年平均濃度延伸趨勢線斜率都與  $\text{SO}_4^{2-}$  十分相似，「三年延伸趨勢線」下降斜率最平緩，「四年延伸趨勢線」下降斜率最大，「六年濃度延伸趨勢線」多位於「三年濃度延伸趨勢線」下方，表示污染源管制仍比依疫情前照舊減量更具有成效，但是 2021 年較 2020 年濃度有反增現象，2022 年  $\text{NH}_4^+$  的年平均濃度大多落在「六年濃度延伸趨勢線」上。檢視各測站  $\text{NH}_4^+$  年平均濃度變化，發現斗六和嘉義測站濃度變化與  $\text{NO}_3^-$  相似，透過相關係數矩陣解析，發現斗六和嘉義測站  $\text{NH}_4^+$  與  $\text{NO}_3^-$  比起  $\text{NH}_4^+$  與  $\text{SO}_4^{2-}$  有更高的相關係數，表示這個區域  $\text{NH}_4^+$  濃度仍是受到在地污染衍生影響較多。

圖 4.2.4（中）呈現六年來各測站 OC 年平均濃度變化趨勢，各測站六年平均濃度延伸趨勢線都是平緩下降，表示各測站污染都是朝向改善方向。大多數測站（除板橋及忠明站外），四年到六年平均濃度延伸趨勢線位於「三年濃度延伸趨

勢線」下方，代表近三年改善幅度較過去大，其中以花蓮、斗六及嘉義站改善幅度較為明顯。值得注意的是，板橋與忠明站 2021 年濃度都是明顯高於各種延伸趨勢濃度，顯示污染濃度反增較多，所幸 2022 年平均濃度有較 2021 年較低多。由於 OC 來源多元，上年度計畫推估板橋與忠明站 OC 多為一次排放貢獻，這兩個地區 OC 的 PMF 受體模式顯示源自車輛排放貢獻多（李等，2021）。因此，持續加強管制燃油車排放、推廣公共運輸、鼓勵駕駛電動車輛，都可以改善現況。

圖 4.2.4（右）展現近六年各測站 EC 三種年平均濃度延伸趨勢線，EC 年平均濃度在 2018~2020 這三年，多數測站（花蓮站除外）彼此間變化不大，2019 年和 2020 年甚至微高於各種趨勢線延伸濃度，不過，2021 年 EC 濃度則明顯降低，這有別於該年度其他化學成分的反增現象，然而 2022 年 EC 濃度在斗六以南的測站持平或反升是否代表管制策略效果趨緩？值得注意。由於 2021 年濃度的降低，各測站拉出的 2017~2021 年「五年延伸趨勢線」都顯示出明顯下降趨勢，各趨勢線下降斜率較 OC 大。EC 常是柴油燃燒或是燃油鍋爐污染源排放指標，前述結果表示近年來主管機關推行柴油車汰舊以及補助污染防治設備成效顯著，到了 2022 年大多目標車輛可能已汰換完成。

根據前述化學成分年平均濃度延伸趨勢， $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度降低受能源轉換及鍋爐汰換政策影響。 $\text{NO}_3^-$ 於各測站都出現六年平均濃度下降趨勢減緩現象。 $\text{NH}_4^+$ 大多受到  $\text{SO}_4^{2-}$ 或  $\text{NO}_3^-$ 影響，斗六和嘉義測站  $\text{NH}_4^+$ 多由在地污染  $\text{NO}_3^-$ 所主導；除減少環境中  $\text{NH}_3$  逸散外，不論固定或是移動污染源  $\text{NO}_x$  排放仍需加強管制。2021 年  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 年平均濃度均有反增現象值得關注，可能是產業活動增強的影響。OC 近年來濃度改善幅度增大，特別是花蓮與雲嘉地區，然而北部與中部地區的濃度變化較大值得注意，建議可加強移動污染源管制措施。2022 年各測站前述主要污染物平均濃度大多落在下降的「六年濃度延伸趨勢線」，雖然疫情影響逐漸趨緩，各種活動回歸常態，但這反映出近年來污染源管制策略具有成效。EC 受益於近年來政府補助柴油車輛汰舊及裝設防制設備，各年度延伸趨勢線都是下降，然而在 2022 年斗六、嘉義和小港站的 EC 濃度持平，是否代表目標車輛都已獲得改善？若要持續改善，勢必進入到下一個階段的管制策略。

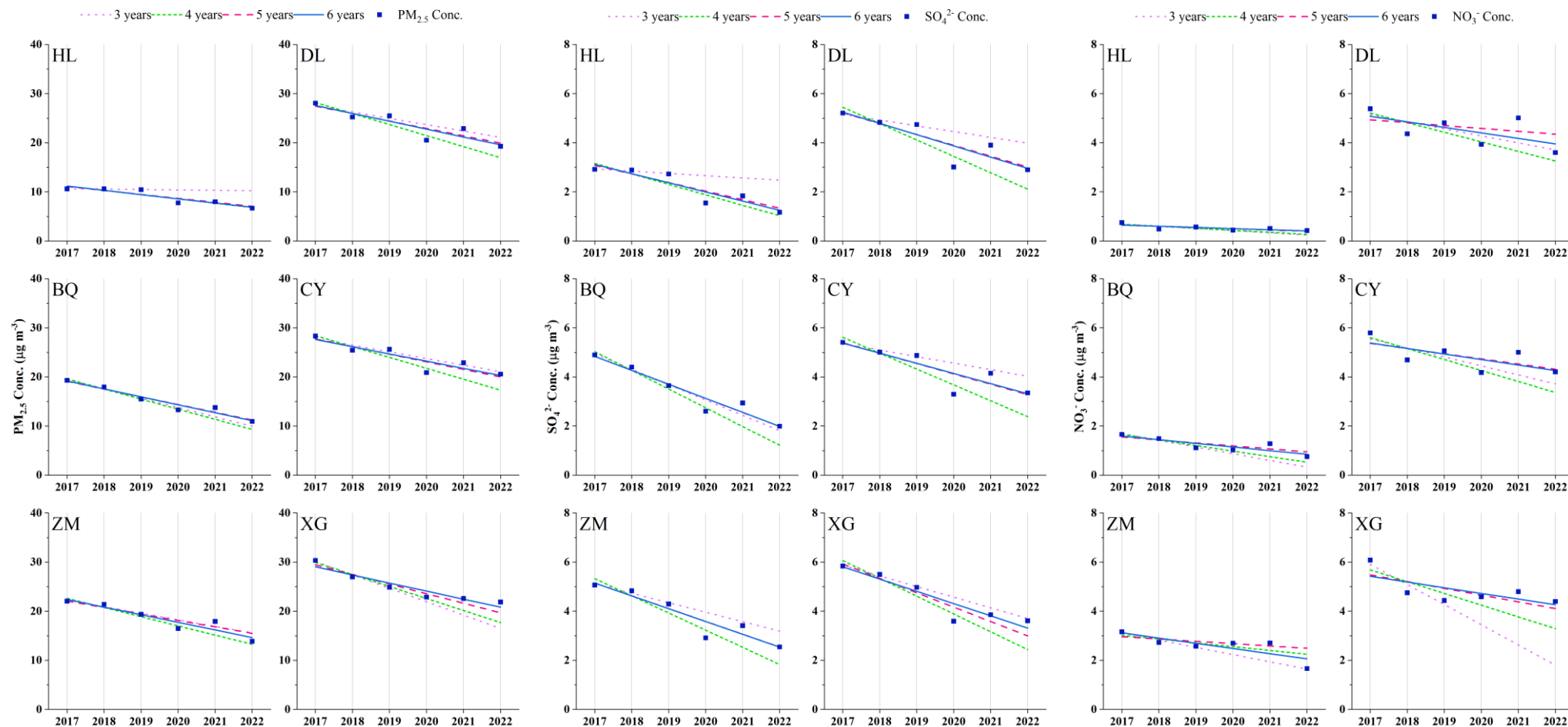


圖 4.2.3 近六年各測站  $\text{PM}_{2.5}$  (左)、 $\text{SO}_4^{2-}$  (中)、 $\text{NO}_3^-$  (右) 年平均濃度及不同年度延伸變化趨勢

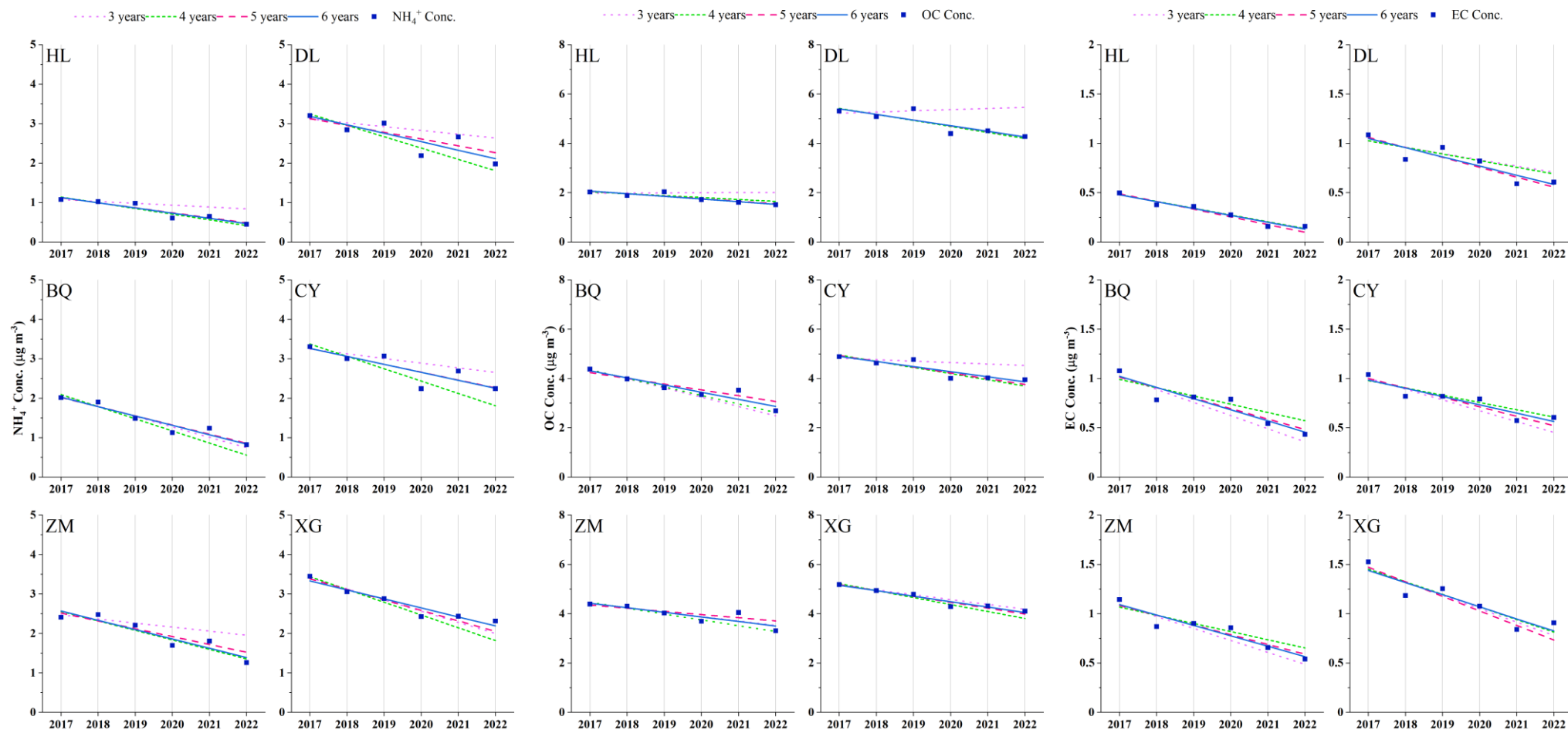


圖 4.2.4 近六年各測站  $\text{NH}_4^+$  (左)、OC (中)、EC (右) 年平均濃度及不同年度延伸變化趨勢

### 3. PM<sub>2.5</sub> 濃度年度、季度、測站濃度變化頻率分布

圖 4.2.5 為近六年各測站 PM<sub>2.5</sub> 年度、季度、測站濃度變化頻率分布盒鬚圖 (2022 年 Q4 數據到 11 月)，各測站都有逐年下降的趨勢，且盒鬚圖 25%~75% 的區間也縮小，代表 PM<sub>2.5</sub> 濃度頻率分布中間段變化越趨穩定，各站年平均濃度變化趨勢請參考 4.2.2 節的第 2 小節，每年季度平均濃度變化大多都是 Q1 最高 (2018 年花蓮站和 2017 年和 2019 年板橋站除外)，板橋與花蓮站近年的季度間差異逐漸縮小，忠明站以南的測站季度差異則依然顯著，Q4 為濃度次高的季度。整體來看，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度的減量在東部及北部的效果逐年趨緩；中、南部 Q2 及 Q3 的減量同樣較緩和，至於 Q1 及 Q4 還有較大的減量空間。

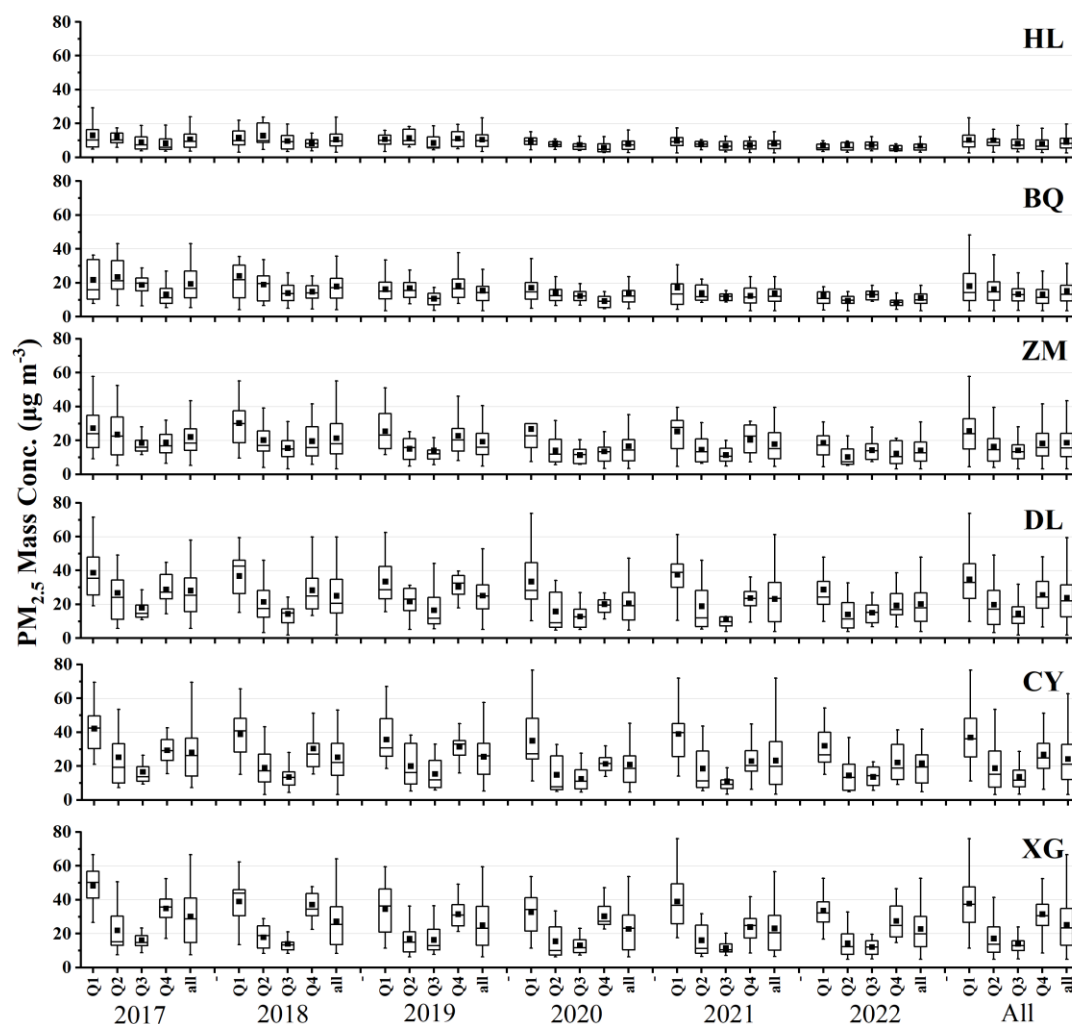


圖 4.2.5 六個測站 PM<sub>2.5</sub> 逐年與季度濃度變化頻率分布盒鬚圖

#### 4. PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分季度變化分析

受季節變換的影響，一年中各季度 PM<sub>2.5</sub> 化學成分會因而產生變化，表 4.2.5 彙整各測站各季度 2017 至 2022 年（2022 年數據到 11 月底）PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及主要化學成分（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、OC、EC）以及金屬元素（Metals）和其他次要成分（Others）平均質量濃度以及占 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例（括弧內），解析各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及主要化學成分濃度變化，評估各地污染源管制策略是否應考量季度影響而變動？空間分布顯示各測站 PM<sub>2.5</sub> 近六年季度平均質量濃度以 Q1 為最高，其次多為 Q4，再其次多為 Q2。碳成分（OC+EC）、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 近六年季度平均濃度和 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度相同，都是 Q1 為最高，其次是 Q4，再其次是 Q2，Q3 最低。

PM<sub>2.5</sub> 質量濃度在 Q1 以小港站濃度最高，Q2 以斗六站最高，Q3 以斗六站最高，Q4 又以小港站濃度最高。碳成分（OC+EC）近六年季度平均濃度 Q1 和 Q4 都是以小港站最高，Q2 和 Q3 以板橋站最高。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 近六年季度平均濃度 Q1 和 Q4 都是以小港站最高，Q2 和 Q3 最高濃度分別是嘉義和斗六站。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 近六年季度最高平均濃度 Q1 到 Q4 分別是嘉義、斗六、斗六、小港站；NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 近六年季度最高平均濃度 Q1 到 Q4 分別是小港、斗六、斗六、小港站最高。小港站是 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分各季度平均濃度，近六年出現最高值次數最多的測站。

進一步分析個別測站的季度間差異，做為背景測站的花蓮站四個季度 PM<sub>2.5</sub> 濃度都很低，主要化學成分在 Q1 多略高於其他季度（但 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 則是 Q2 最高），占 PM<sub>2.5</sub> 比例最高的化學成分是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（22~26%），其次是 OC（18~21%），變化非常小沒有明顯的季度差異。板橋站 PM<sub>2.5</sub> 以及主要化學成分平均質量濃度在季度間的變化較小，唯有 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在 Q1 與 Q3 差異較大，代表 PM<sub>2.5</sub> 在季度間出現明顯差異可能與 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 變化有關。不過占 PM<sub>2.5</sub> 比例較高的成分還是 OC 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 分別是 21~28% 和 21~25%；NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在 Q1（12%）占比是 Q3（4%）的 3 倍。忠明站開始以南的測站，PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分質量濃度都是 Q1 最高，其次是 Q4，濃度差異相對北部和東部測站明顯，不過 OC 占 PM<sub>2.5</sub> 比例仍然穩定在 20~23% 間，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的季節變動範圍上升到 6%（19~25%），兩者在 Q1 有最高平均濃度但占比最低，主要是受到 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的高濃度 4.89 μg m<sup>-3</sup> 影響，占比增加到 19% 相較於 Q3 的 7% 高出許多。斗六和嘉義站的 PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分季度平均最高濃度與忠明站相同都在 Q1，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占 PM<sub>2.5</sub> 比例在 Q1 為 24% 和 26% 超過 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 OC 的

15%和 18、16%，不過在 Q3 占比只有 8%和 9%，季度差異非常顯著。小港站，整體季節變化與忠明、斗六和嘉義站相似，PM<sub>2.5</sub> 和主要化學成分在 Q1 和 Q4 有較高的濃度，OC 占 PM<sub>2.5</sub> 比例沒有明顯的季度差異，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的質量濃度高低與占比高低成反比；NO<sub>3</sub><sup>-</sup>在 Q1 占 PM<sub>2.5</sub> 比例高達 25%與 Q3 的 7%同樣有非常大的反差。

整體來看，PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分的季度變化與質量濃度變化相同，由東部向北部往南部增大，季度空間分布顯示各測站 PM<sub>2.5</sub> 近六年季度平均質量濃度以 Q1 為最高，其次多為 Q4，再其次多為 Q2。碳成分（OC+EC）、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 近六年季度平均濃度和 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度相同。小港站是 PM<sub>2.5</sub> 質量和主要化學成分各季度平均濃度，近六年出現最高值次數最多的測站。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>占 PM<sub>2.5</sub> 比例最高（Q1）與最低（Q3）的季度差異從花蓮的 4%，增加到 26%（嘉義站），各主要化學成分濃度較高的季度為 Q1 和 Q4。管制 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>前趨污染源可大為改善 Q1 和 Q4 的 PM<sub>2.5</sub> 高濃度，OC 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的減量則是對各季度都有穩定降低 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度效果。以上是六年的 PM<sub>2.5</sub> 和各主要化學成分濃度平均濃度的比較結果，各年間的變化也須納入考量，可參考第 4.2.1 節的第 2 小節。



表 4.2.5 六個測站各季度 PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分濃度 (μg m<sup>-3</sup>) 及占 PM<sub>2.5</sub> 比 (%)

測站	季度	PM <sub>2.5</sub> 質量濃度	OC	EC	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Metals	Others
花蓮	平均	9	1.80 (20)	0.30 (3)	2.18 (24)	0.80 (9)	0.53 (6)	0.10 (1)	3.31 (37)
	Q1	10	2.14 (21)	0.38 (4)	2.36 (23)	0.93 (9)	0.70 (7)	0.13 (1)	3.66 (35)
	Q2	10	1.80 (18)	0.31 (3)	2.55 (25)	0.90 (9)	0.55 (5)	0.10 (1)	3.79 (38)
	Q3	8	1.72 (21)	0.26 (3)	2.14 (26)	0.74 (9)	0.34 (4)	0.08 (1)	2.82 (35)
	Q4	8	1.53 (20)	0.25 (3)	1.67 (22)	0.62 (8)	0.53 (7)	0.09 (1)	2.98 (39)
板橋	平均	15	3.59 (24)	0.74 (5)	3.41 (23)	1.43 (9)	1.22 (8)	0.24 (2)	4.49 (30)
	Q1	18	3.87 (21)	0.77 (4)	3.95 (22)	1.87 (10)	2.11 (12)	0.31 (2)	5.33 (29)
	Q2	16	3.85 (24)	0.81 (5)	3.77 (23)	1.56 (10)	1.19 (7)	0.22 (1)	4.80 (30)
	Q3	13	3.71 (28)	0.76 (6)	3.28 (25)	1.23 (9)	0.56 (4)	0.19 (1)	3.63 (27)
	Q4	13	2.93 (23)	0.62 (5)	2.64 (21)	1.07 (8)	1.03 (8)	0.25 (2)	4.19 (33)
忠明	平均	19	3.96 (21)	0.83 (4)	3.84 (21)	1.98 (11)	2.59 (14)	0.29 (2)	5.01 (27)
	Q1	26	5.02 (20)	1.10 (4)	4.75 (19)	2.94 (11)	4.89 (19)	0.41 (2)	6.52 (25)
	Q2	16	3.47 (21)	0.73 (5)	3.58 (22)	1.74 (11)	2.04 (12)	0.23 (1)	4.51 (28)
	Q3	14	3.24 (23)	0.65 (5)	3.57 (25)	1.45 (10)	0.99 (7)	0.21 (2)	4.07 (29)
	Q4	18	4.12 (23)	0.83 (5)	3.48 (19)	1.77 (10)	2.43 (14)	0.32 (2)	4.96 (28)
斗六	平均	24	4.83 (20)	0.82 (3)	4.10 (17)	2.65 (11)	4.52 (19)	0.29 (1)	6.38 (27)
	Q1	35	6.16 (18)	1.11 (3)	5.09 (15)	4.16 (12)	8.47 (24)	0.42 (1)	9.36 (27)
	Q2	20	3.95 (20)	0.70 (4)	3.80 (19)	2.27 (11)	3.72 (19)	0.20 (1)	5.11 (26)
	Q3	15	3.21 (22)	0.56 (4)	3.62 (25)	1.60 (11)	1.35 (9)	0.18 (1)	4.18 (28)
	Q4	25	6.00 (24)	0.89 (4)	3.88 (15)	2.57 (10)	4.52 (18)	0.34 (1)	6.87 (27)
嘉義	平均	24	4.38 (18)	0.77 (3)	4.35 (18)	2.76 (12)	4.82 (20)	0.32 (1)	6.56 (27)
	Q1	37	5.98 (16)	1.13 (3)	5.52 (15)	4.51 (12)	9.55 (26)	0.48 (1)	9.92 (27)
	Q2	19	3.37 (18)	0.62 (3)	3.82 (20)	2.14 (11)	3.37 (18)	0.21 (1)	5.18 (28)
	Q3	14	2.76 (20)	0.50 (4)	3.59 (26)	1.51 (11)	1.12 (8)	0.18 (1)	4.10 (30)
	Q4	26	5.40 (21)	0.85 (3)	4.46 (17)	2.88 (11)	5.24 (20)	0.39 (1)	7.04 (27)
小港	平均	25	4.60 (18)	1.13 (5)	4.56 (18)	2.76 (11)	4.84 (19)	0.44 (2)	6.58 (26)
	Q1	38	6.47 (17)	1.44 (4)	5.67 (15)	4.45 (12)	9.56 (25)	0.59 (2)	9.68 (26)
	Q2	17	3.19 (19)	0.92 (5)	3.75 (22)	1.76 (10)	2.25 (13)	0.32 (2)	4.91 (29)
	Q3	14	2.71 (20)	0.90 (7)	3.53 (26)	1.36 (10)	0.92 (7)	0.35 (3)	4.08 (29)
	Q4	31	6.03 (20)	1.27 (4)	5.29 (17)	3.47 (11)	6.63 (21)	0.52 (2)	7.64 (25)

備註：

1. 數據取自 2017-2022 年（至 11 月底）。

2. PM<sub>2.5</sub> 濃度為經過揮發修正的數值。

## 5. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素歷年各季度變化趨勢分析

本節討論各測站各季度金屬元素濃度時間與空間變化特性，列出 2017 年至 2022 年（Q4 至 11 月）金屬元素成分的季度變化，解析空間與季節分布特徵及這六年的變化趨勢。

圖 4.2.6 至圖 4.2.9 彙整六個測站 2017 年至 2022 年 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分四季平均濃度，圖左側比較歷年各站季度 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度（圖中★符號，濃度尺標列於下方）和金屬元素加總濃度（■符號，濃度尺標列於上方），中間及右側根據金屬元素濃度高低，分成高、中、低濃度三群的濃度變化。各季度的金屬元素加總濃度都是由東部往北部再往南部遞增，2021 年的金屬元素總濃度在 Q1~Q3 上升的幅度明顯大於 PM<sub>2.5</sub>，為 2017 年到 2022 年最高年度，可能與工業活動上升有關。2022 年各測站金屬元素總濃度降回到 2020 年的濃度甚至更低，Q4 與 Q1~Q3 沒有相同的趨勢，Q4 金屬元素總濃度在 2019 年除了小港站外都出現近五年來最高濃度，直到 2021 年才降回到接近 2017 年的濃度。Q1~Q3 各測站季度金屬元素總濃度最高年度為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。

在 Q1 季度，歷年各站高濃度金屬元素群都以 Na 和 K 為濃度最高成分，這兩個金屬元素除了被視為海鹽及生質燃燒指標外，也可能從工業鍋爐煙道排放（Yang et al., 2019；Yao et al., 2019）。花蓮站以外測站常出現的金屬元素除了 Na 和 K 外，還有中濃度元素群的 Ti、Mn、Cu、Pb 以及低濃度群的 Sr、Sn、As、Se、Zr 和 Rb，其中，Ti 及 Sr 常出現在塵土元素及水泥業排放（Rahn, 1999；周等，2014）；Cu 和 Pb 常同時出現在車輛排放的相關文獻中（Lin et al., 2015；Ledoux et al., 2017；Liu et al., 2019）；Sr 則是塵土元素、燃煤鍋爐、水泥及煙火炮竹的排放（Rahn, 1999；Reff et al., 2009；Chang et al., 2011；周等，2014）；Sn 則可能來自是車輛排放、鋼鐵業（電弧爐）以及玻璃製造產業（周等，2014；Lin et al., 2015；Ledoux et al., 2017），Mn、As、Se 等其他金屬元素常出現在鋼鐵業（Tian et al., 2010）和燃煤鍋爐排放（Reff et al., 2009）。花蓮、忠明和嘉義站在 2022 年出現相對其他年度高 Sr 濃度，可能受到 2 月 1 日春節慶典活動的煙火炮竹排放影響。2021 年西部各測站金屬元素濃度明顯上升的有 Na、K、Ti、Mn、Cu、Pb、Sr、Sn，As、Zr、Rb 濃度雖然不高，但也相對其他年度略高，這些金屬元素的濃度與指紋與 2018 年相似，可能受到工業活動量提升的影響。除了共

同出現的金屬元素高值，歷年嘉義站的 Ba 和 Pb 以及小港站的 Sn 都明顯比其他測站高，可能的來源分析呈現在第 4.1.2 節的第 2 小節。

Q2 季度各站金屬元素總濃度都明顯較低，主要成分在各測站與 Q1 的情況相似高濃度區間以 Na 和 K 為主；中濃度區間的 Ti、Mn、Cu、Pb 以及低濃度群的 Sr、Sn、As、Se、Zr 和 Rb，說明鄰近地區的污染源貢獻相似，即使季節風向轉換仍然有相似的污染指紋。

Q3 季度的金屬元素總濃度與 Q2 較接近，主要金屬元素也大同小異，但仍然有幾個現象需要注意，小港站的 Na 在歷年 Q3 的濃度不減反增（246.7→361.4  $\text{ng m}^{-3}$ ）；2019 年 Q3 的嘉義站出現異常高值 Ba，不過嘉義站 Q1 穩定有相對高濃度的 Ba，在 Q2 和 Q3 偶發的高值出現可能與採樣日的風向與當季盛行風不同或是風速較低污染物累積有關。

Q4 季度的金屬元素總濃度與高濃度成分與 Q1 較接近，各站 Q4 在 2019 年以後金屬元素總濃度明顯較 2017~2018 年高，可能與 Na 的濃度上升有關。除此之外，不論是哪一個季度，燃油指標金屬元素 V、Ni 濃度在 2019 年後明顯降低，各測站的 Q1~Q3 季度金屬元素 V 濃度在 2022 年相較於 2018 年減少的比例約為 79%~90%；Ni 則是 65%~91%（除小港 Q1 的 44%外）；Q4 的金屬元素 V 和 Ni 在 2021 年相較 2018 年的減少比例分別為 52%~72%（小港 Ni：12%），可能與燃油鍋爐的逐漸退場有關。

六年來各季度的金屬元素加總濃度都是由東部往北部再往南部遞增，2021 年的金屬元素總濃度為 2017 年到 2022 年最高年度，可能與工業活動上升有關。2022 年各測站金屬元素總濃度降低，Q1~Q3 各測站季度金屬元素總濃度最高年度為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。多數測站常出現的金屬元素除了 Na 和 K 外，還有 Ti、Mn、Cu、Pb 以及 Sr、Sn、As、Se、Zr 和 Rb。

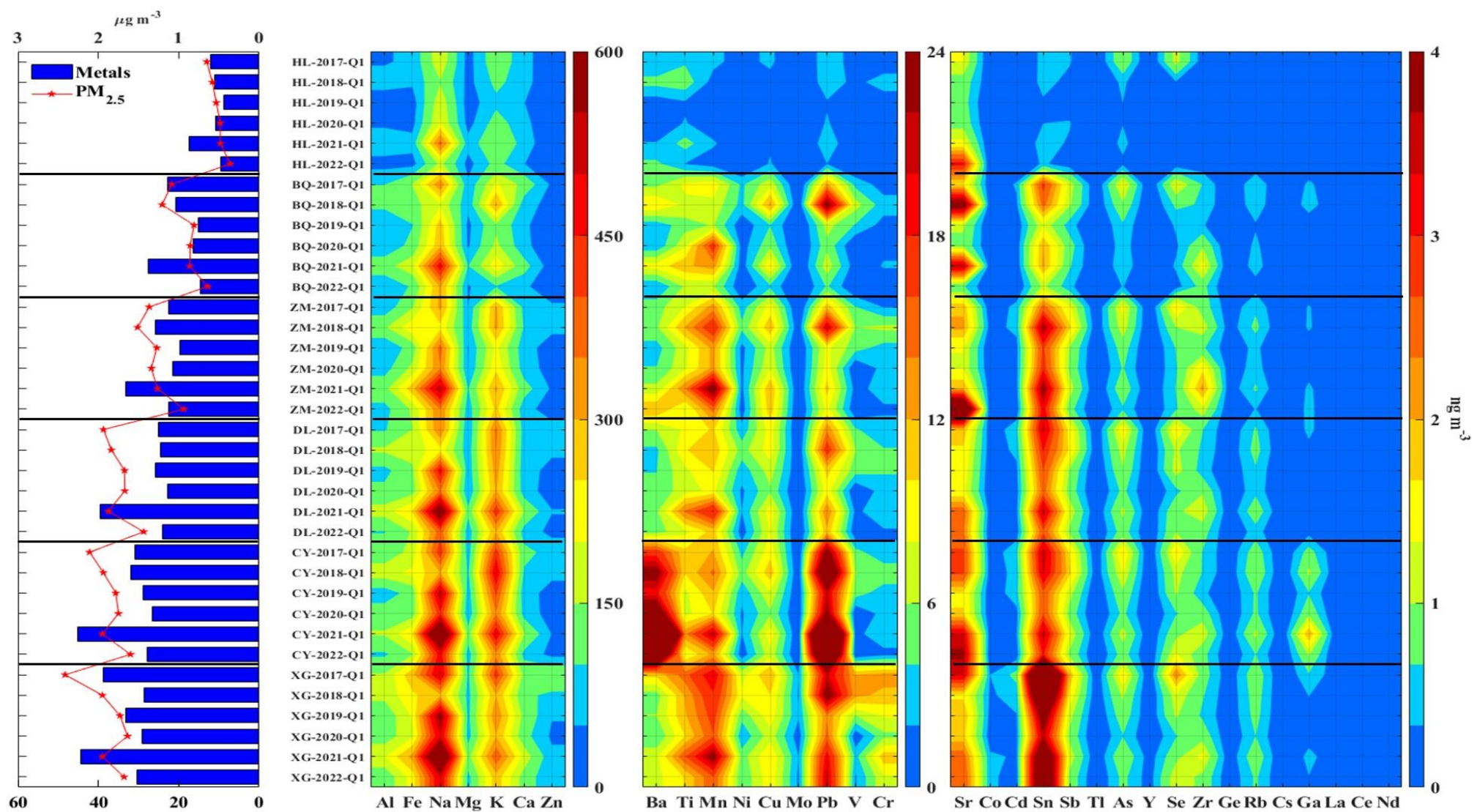


圖 4.2.6 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q1 平均濃度變化



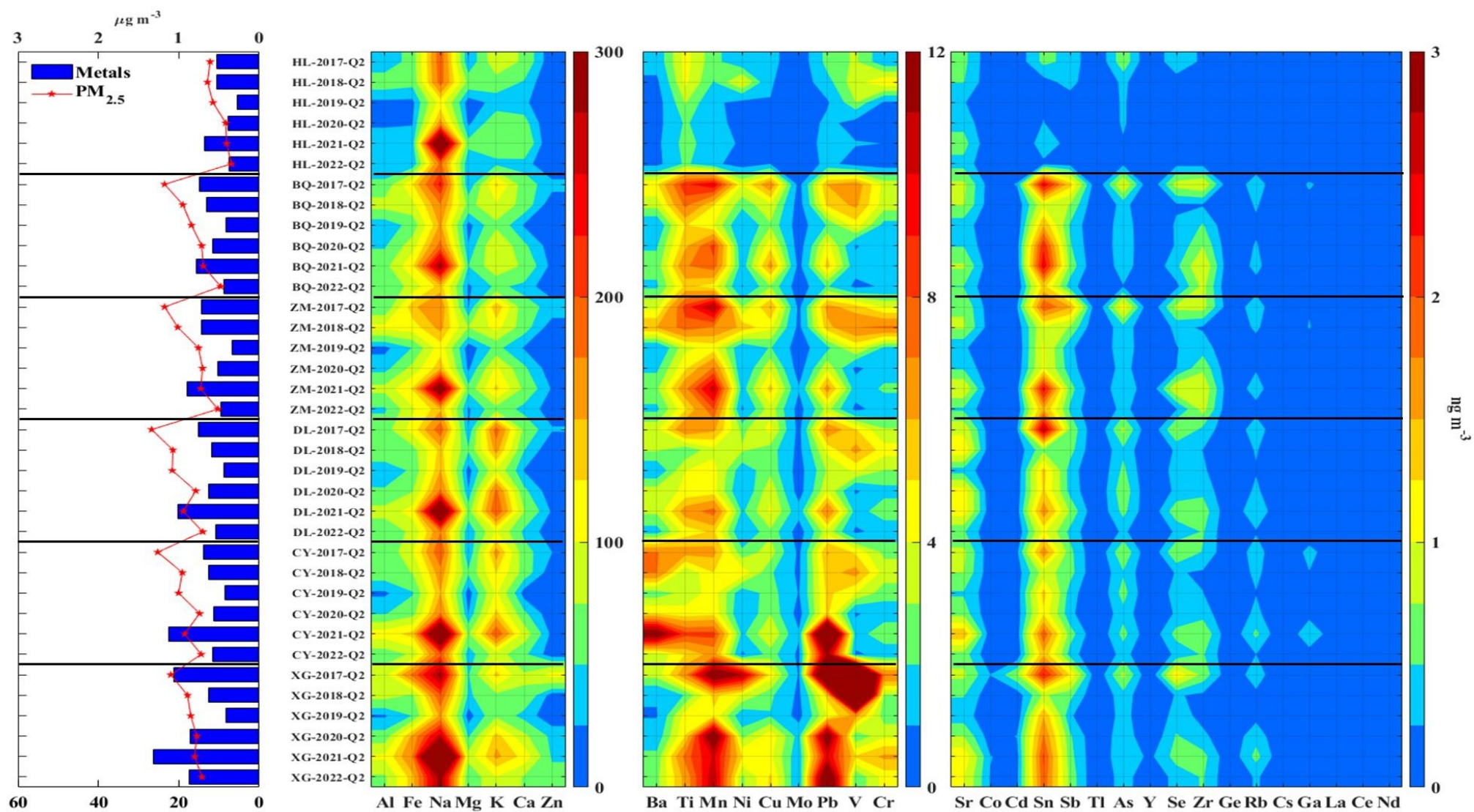


圖 4.2.7 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q2 平均濃度變化

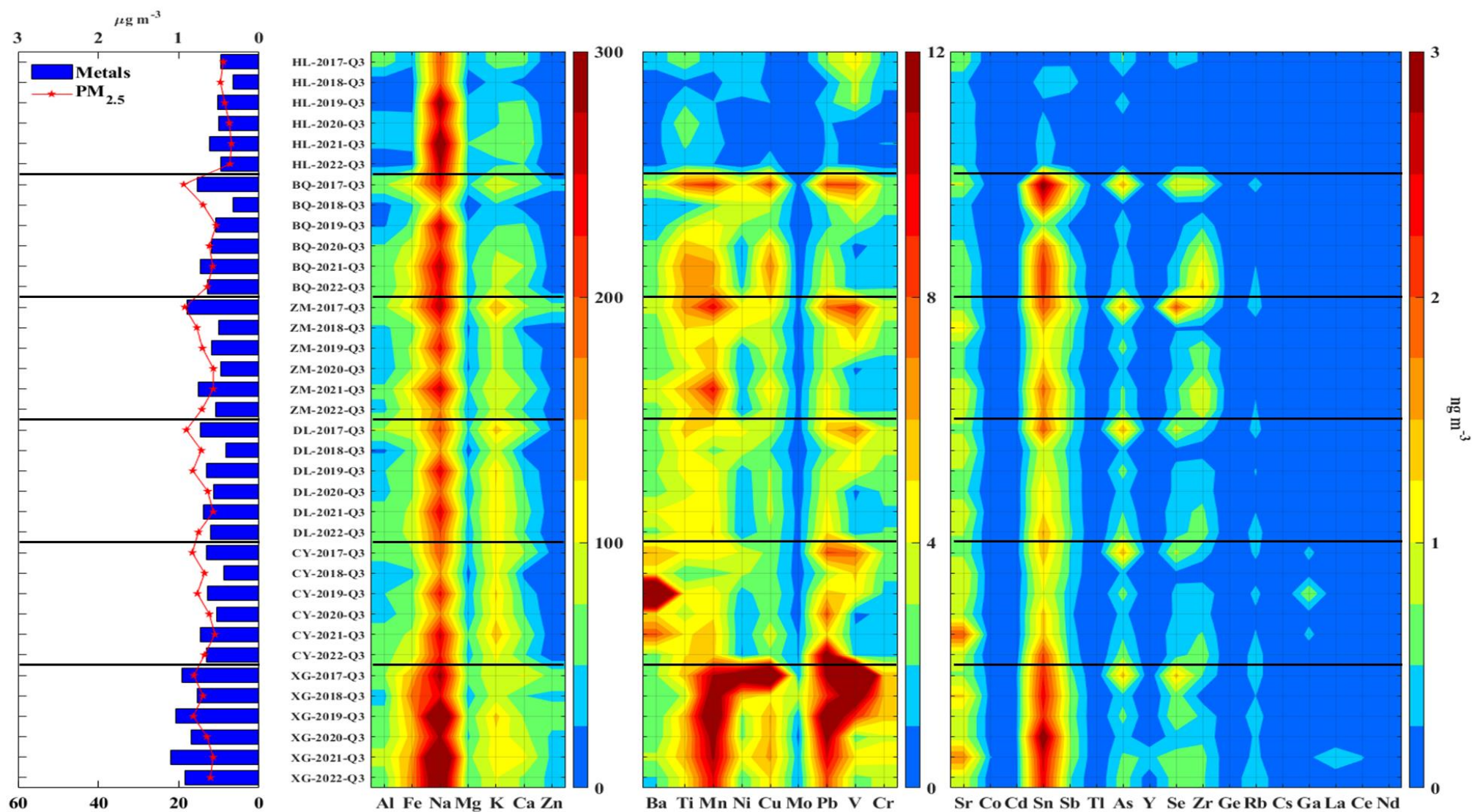


圖 4.2.8 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q3 平均濃度變化



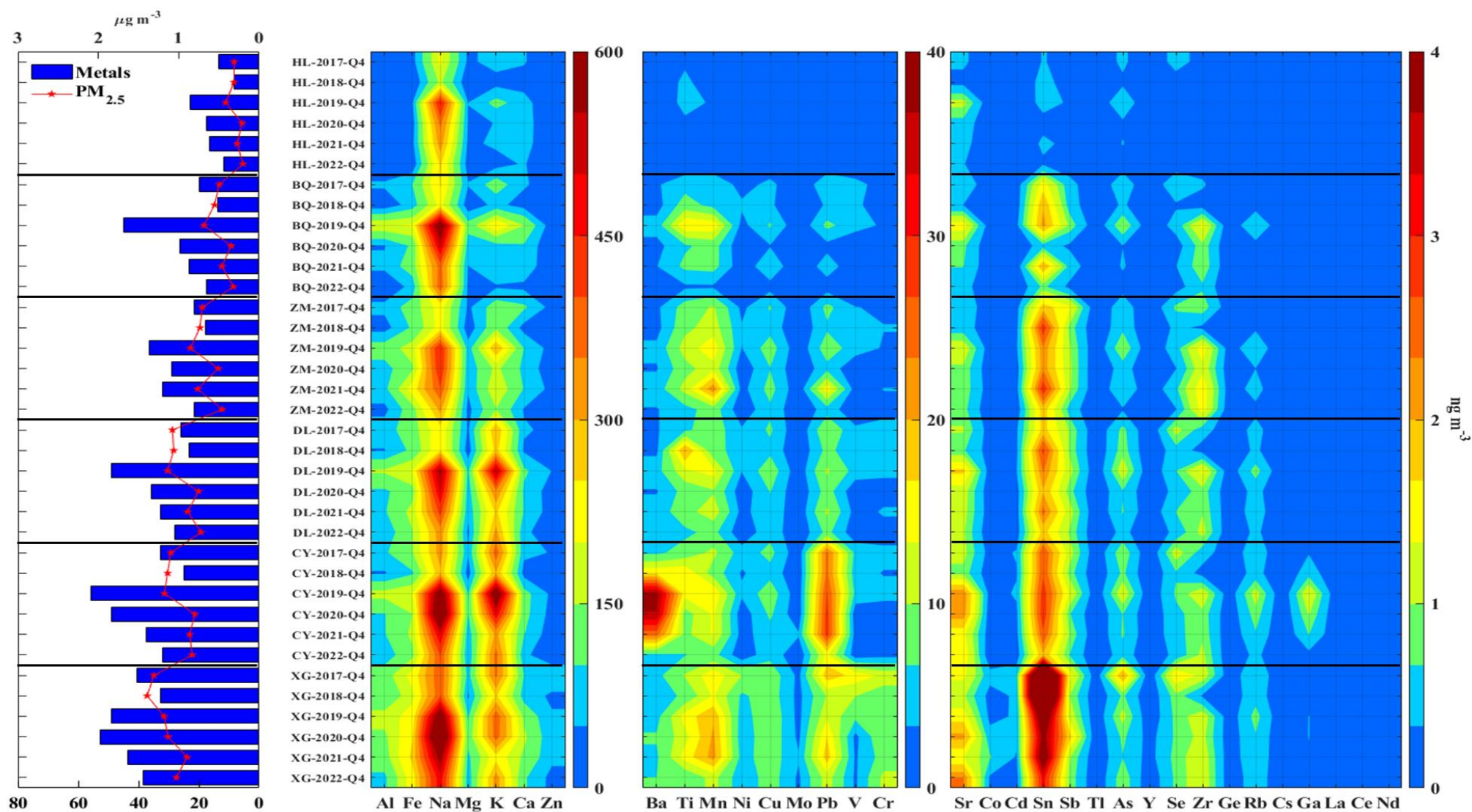


圖 4.2.9 2017 年至 2022 年各測站金屬元素 Q4 平均濃度變化

## 6. PM<sub>2.5</sub> 特定重金屬成分空間相似度分析

上年度分析近四個年度（2017 年 1 月至 2020 年 11 月）各測站間主要化學成分空間分布「相似度」，計算 CD 值與  $R^2$  值。本年度篩選 PM<sub>2.5</sub> 化學成分中較具健康風險疑慮的金屬元素，同時也是 2018 年空污費課徵新增項目的 Pb、As、Cd 及 Cr（本計畫無分析 Hg 元素），這些金屬元素根據本計畫所蒐集文獻，污染來源可能是燃煤燃燒（Pb、As、Cd、Cr），鋼鐵業或非鐵金屬冶煉（Pb、Cd、Cr），車輛零件磨耗（Cr、Cd）、垃圾焚化（Pb、As）等多項污染源的共同指標成分。這些金屬元素中，Cr 是本計畫過去採樣近交通源 PM<sub>2.5</sub>，發現很具交通源指標特性的成分（李等，2021）。

空間相似度篩選原則是：計算任意兩個測站（稱為**測站對**）的 CD 值與線性迴歸  $R^2$  值，當**測站對**的 CD 值小於 0.3 且  $R^2$  大於 0.49，表示兩測站污染來源具有相似度，可採用相近管制方略；位於區域以外的測站對，則表示兩測站污染來源不太相同，較具地方特性，在污染管制上需各視各測站地方污染源而定。圖 4.2.10 列出近六年來各**測站對**的 CD 與  $R^2$  值對應結果，圖中灰色網底表示相似度高的區域，表 4.2.6 列出各**測站對** CD 與  $R^2$  值相似度排序，排序數字越小的**測站對**表示相似度越高，各季度相關完整圖資詳列於附錄 9。

將金屬元素 Pb 的六年來量測值全部代入計算，只有忠明和斗六測站對座落在空間相似度高區域內，其他**測站對**並不在區域內（圖 4.2.10 左上）。

金屬元素 As 以六年來量測值全部代入計算，從忠明至嘉義站之間座落在空間相似度高區域內，其中又以斗六與嘉義**測站對**相似度最高，其次是忠明與斗六**測站對**（圖 4.2.10 右上）。不同季度間高相似度區域變化大，Q1 及 Q3 在忠明至小港間各測站相似度高，Q4 只有忠明和斗六**測站對**具有高相似度，至於 Q2 各**測站對**沒有高相似度，表示只受在地污染源影響（表 4.2.6）。As 的季度空間分布較廣，污染來源有燃煤和垃圾焚化，Q1 可能受強勁的盛行東北風影響，Q3 多為夏季，環境擴散良好，推測來源可能是大型固定污染源，因煙囪排放口設置較高，



易使污染向遠處擴散。

金屬元素 Cd 的六年來全部量測值代入計算，忠明與斗六測站對有明顯空間相似度（圖 4.2.10 左下）的測站對，Q1 與 Q3 分別有忠明與斗六測站對以及斗六與嘉義測站對座落於空間相似度高區域內，其他季度則是受到在地污染源影響（表 4.2.6）。Cd 污染來源有燃煤、金屬冶煉、車輛零件磨耗，含括各種規模污染源。

金屬元素 Cr 無論是六年全部數據或是以不同季度數據代入計算，沒有明顯空間相似度的測站對，顯示都是受在地污染源所貢獻（圖 4.2.10 右下及表 4.2.6），參閱附錄 9 各季圖譜可發現 Cr 空間相似度與其他金屬元素成分相異，各季度的 CD 值多大於 0.3， $R^2$  值都小於 0.4，在地污染影響特徵顯著。

綜合以上分析，金屬元素 Pb 與 Cd 在中部至雲林地區污染來源相似度高，As 則從中部至嘉義，甚至可遠達高雄地區間的污染來源具有高相似度，在高相似度區域內污染管制策略可以相近。金屬元素 Cr 六年來都呈現在地污染特徵，管制策略以因地制宜較具有效益。根據指標特徵及影響區域，本計畫推測相似度區域較廣金屬元素來源為大型工業鍋爐；另外，具有在地污染特徵的金屬元素，可能是受到移動污染源或各地特定工業製程所影響。

表 4.2.6 近六年各季度測站間空間相似度排序（2017 年 1 月至 2022 年 11 月）

項目	Pb	As						Cd	Cr
排序	1	1	2	3	4	5	6	1	1
六年	忠斗	斗嘉	忠斗	忠嘉				忠斗	
Q1		斗嘉	忠斗	忠嘉	嘉小	斗小	忠小	忠斗	
Q2									
Q3		斗嘉	忠嘉	忠斗	斗小	嘉小	忠小	斗嘉	
Q4		忠斗							

備註：各測站對（任意兩個測站）以兩測站首字做為代表，例如：斗嘉代表斗六與嘉義站。篩選 CD 值小於 0.3 且  $R^2$  大於 0.49 的測站對列入排序，排序數字較小代表相似度較高。排序原則為 CD 值較低的測站對優先，具有相同 CD 值測站對，以較高  $R^2$  者排序優先。空格表示該項目無測站對位於高相似度區域。其餘季度詳細數據請參閱附錄 9。

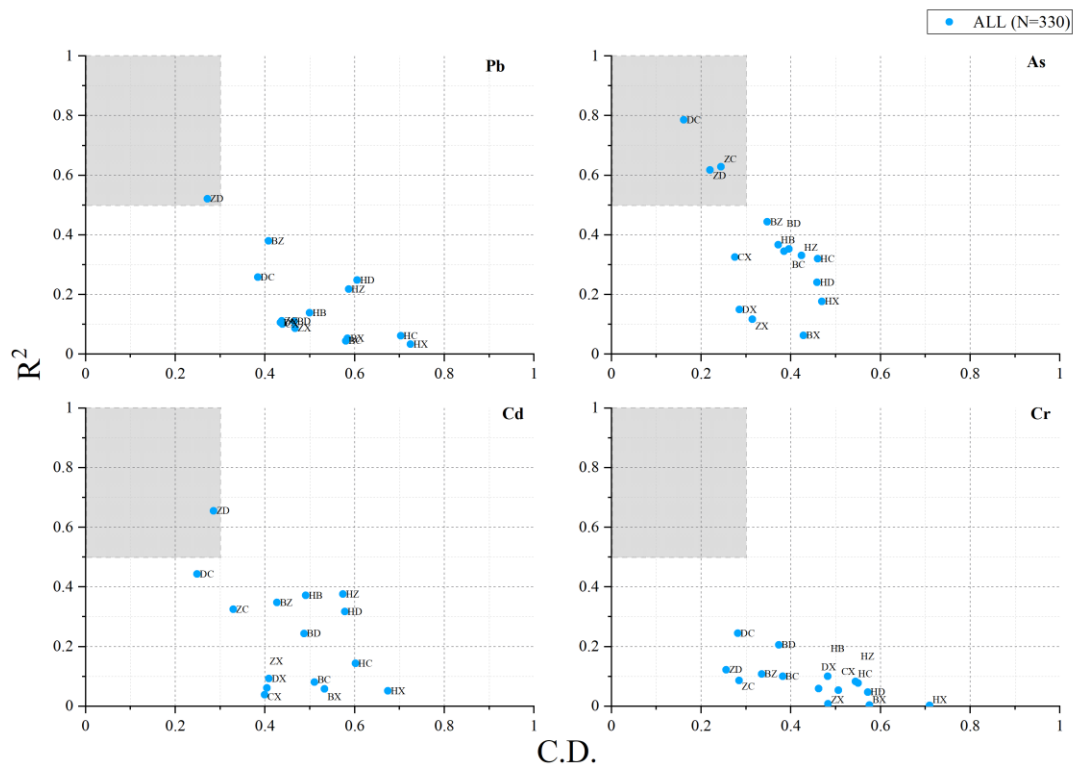


圖 4.2.10 六個測站 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素 Pb、As、Cr、Cd 空間相似度區域分布 (2017 年 1 月至 2022 年 11 月)

## 7. PM<sub>2.5</sub> 污染源解析與歷年主要貢獻污染因子變化

圖 4.2.11 展示各測站使用 PMF 分析 2017~2022 年 11 月的採樣數據，解析出 10 個污染因子（參考 4.1.4 節），並計算 2017~2022 年各污染因子歷年以及季度平均貢獻濃度，2022 年樣本各污染因子貢獻濃度時間變化，可參考 4.1.4 節。平均貢獻濃度較高的前三個污染因子大多是「硫酸鹽」、「硝酸鹽」和「車輛排放」，平均濃度由東部往北部再往南部增加，增加幅度以「硝酸鹽」最明顯。其次則是「燃油」、「工業 1」或「富含氯」，各測站之間「工業 1」的污染因子指紋雖然因測站鄰近工業不同有些許差異，但大多有燃煤（例如：As、Se...；周等，2014）以及垃圾焚化（例如：As、Cd、Pb...；Christian et al., 2010）指標金屬元素貢獻；「富含氯」則是指與工業（例如：垃圾焚化）有關的污染因子，中、南部濃度較高，特別是斗六與嘉義站。

近六年各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度在 2021 年以前多為下降趨勢，2021 年則有反升現象，主要是「硝酸鹽」因子濃度的增加較多（花蓮站除外），「硫酸鹽」因子年平均貢獻濃度在 2021 年是微增，由於「車輛排放」可能受疫情影響人流降低貢獻濃度降低，因此，2021 年 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度增加是工業活動量增加。2020 年 PM<sub>2.5</sub> 年平均質量濃度是五年來最低，各測站「硫酸鹽」因子貢獻濃度都有明顯降低，忠明站則是微降；「硝酸鹽」因子貢獻濃度在斗六和嘉義站降低較多，忠明和小港站則是微升；「車輛排放」因子貢獻濃度在西部測站都是微降。值得注意的是，「燃油」因子 2019 年之後貢獻量幾乎消失，可能與燃油機組逐漸退場有關。「車輛排放」可能受疫情影響人流降低貢獻濃度減少，中、南部的測站「工業 1」、「工業 2」和「富含氯」近五年沒有明顯的減少，反而忠明與斗六站「工業 2」的貢獻濃度有增加；非人為排放的「揚塵」與「海鹽」因子貢獻濃度同樣差異不大。各污染因子季度平均貢獻濃度都是 Q1 最高，花蓮和板橋站的次高季度是 Q2，忠明以南測站則是 Q4，可能的原因是 Q4 北部和東部受東北季風影響環境擴散條件較好，中、南部地區有時因中央山脈阻擋使背風側風速較低，環境擴散條件差導致污染物累積，季度變化也較東部和北部明顯。忠明站以南的測站

季度變化最明顯的污染因子都是「硝酸鹽」，Q1 最高 Q3 受環境溫度影響平均貢獻濃度非常低；「硫酸鹽」和「車輛排放」季度間差異相對較小，斗六和嘉義站甚至在 Q2 和 Q3 有較高的「硫酸鹽」，可能是受季節風向不穩定受南部污染源排放或是光化學反應較強影響。

綜合上述結果，2017 年~2020 年各污染因子的平均加總濃度呈現下降趨勢，特別是 2020 年濃度明顯最低，可能與各測站「硫酸鹽」因子貢獻濃度明顯降低、「硝酸鹽」因子貢獻濃度在斗六和嘉義站降低較多、「燃油」因子在 2019 年以後貢獻量驟減有。2021 年雖然受疫情影響人流減少「車輛排放」因子貢獻濃度降低，但工業活動反升，導致「硫酸鹽」「硝酸鹽」和「工業 1」有增加的情況。到 2022 年，整體污染物濃度又回到 2017-2020 年下降趨勢的延伸線上，主要的減量較多的污染因子為「硝酸鹽」，特別是在中部以南的測站，花蓮與板橋站則是「車輛排放」和「硫酸鹽」減量比較相對明顯各站污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 有最高濃度主要受到「硝酸鹽」的貢獻，代表  $\text{NO}_3^-$  以及前驅污染物的管制非常重要；「硫酸鹽」和「車輛排放」季度間差異相對小，說明對  $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 進行管制，對四季度的濃度都有穩定降低的效果。

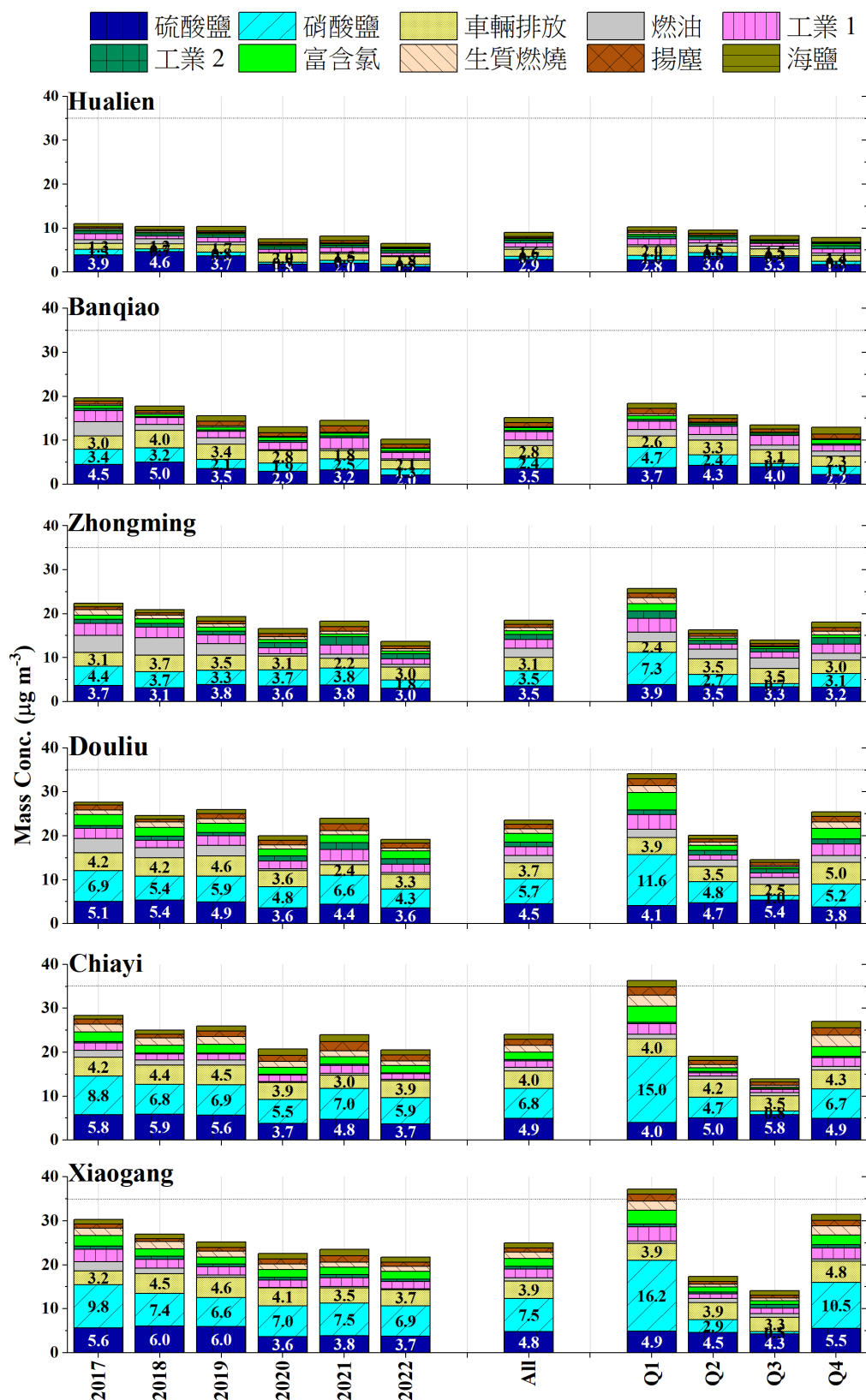


圖 4.2.11 各站受體模式推估污染因子歷年和季度平均貢獻濃度

### 4.2.3 PM<sub>2.5</sub> 一、二次有機碳成分時空分布特徵

表 4.2.7 以 2017 年至 2022 年 11 月數據，透過 High Edge EC-tracer 方法推估各測站一次有機碳（Primary Organic Carbon, POC）與二次有機碳（Secondary Organic Carbon, SOC）濃度。以總平均來看，各測站 POC 占 OC 比例約為 50%~71%，另外的 29%~50%則是 SOC。在空間分布上，花蓮、板橋、忠明、嘉義四站，季度間及總平均都以 POC 為 OC 主要型態，其中又以板橋站 POC 占比 71% 最高。斗六和小港站 Q2 和 Q3 以 POC 占比較高，Q1 和 Q4 則以 SOC 占比較高，顯示各站受到原生、衍生污染影響程度不一，可能與各地環境擴散條件、污染前驅氣體濃度的差異有關。

一般在夏季普遍認為有較旺盛的光化學作用，但是忠明以南各站 SOC 占比卻以 Q3 最低，表示環境擴散佳仍是影響環境中衍生污染物濃度的主導因素。綜合以上結果，除斗六和小港站以外，其他各站的 OC 主要為 POC，特別是板橋站有最高的占比（71%），表示多數測站 OC 主要源自於污染源的直接排放。

表 4.2.7 推估近六年各站 POC 與 SOC 總平均及季平均占 OC 比例

測站	季度	樣本數	OC ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	POC%	SOC%
花蓮	總平均	354	1.81	59	41
	Q1	95	2.13	57	43
	Q2	91	1.80	59	41
	Q3	88	1.70	57	43
	Q4	80	1.57	63	37
板橋	總平均	355	3.64	71	29
	Q1	96	3.84	67	33
	Q2	91	3.87	70	30
	Q3	89	3.70	70	30
	Q4	79	3.04	78	22
忠明	總平均	353	3.99	54	46
	Q1	95	5.02	50	50
	Q2	90	3.48	56	44
	Q3	88	3.21	56	44
	Q4	80	4.20	55	45
斗六	總平均	357	4.82	51	49
	Q1	97	6.15	44	56
	Q2	88	3.93	57	43
	Q3	92	3.17	62	38
	Q4	80	6.09	40	60
嘉義	總平均	354	4.38	50	50
	Q1	96	5.97	51	49
	Q2	91	3.38	51	49
	Q3	89	2.72	53	47
	Q4	78	5.51	45	55
小港	總平均	358	4.63	50	50
	Q1	98	6.46	40	60
	Q2	91	3.20	58	42
	Q3	89	2.72	64	36
	Q4	80	6.15	39	61

#### 4.2.4 PM<sub>2.5</sub> 高濃度成因及特徵解析

##### 1. 本年度高濃度案例成因統整與各站污染日統計

本計畫以環保署空氣品質監測站 PM<sub>2.5</sub>、臭氧濃度、氣象因子小時值數據及手動量測 PM<sub>2.5</sub> 濃度，針對各採樣日進行解析高濃度案例成因，計畫執行期間高濃度（PM<sub>2.5</sub> 日平均值超過 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  的採樣日）案例彙整如表 4.2.8 示。截至 11 月底高濃度日多集中於斗六以南各站，最高的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度發生在 3 月 3 日的斗六站（73  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）。採樣期間污染成因大多以在地污染主導，除嘉義站及 2 月 13 日的小港站外，各站 PM<sub>2.5</sub> 高濃度日當天小時濃度上升時段，都有七成以上受到在地污染影響，低風速環境使前日污染殘留，然後與採樣當日的污染疊加。另一方面，雲嘉地區於 12 月份的高濃度日也監測到較高的臭氧濃度，日間臭氧最高值達 94~98 ppb，光化學作用增加當日衍生污染物濃度導致污染事件。1 月 14 日、3 月 3 日污染特徵所混合的外地污染，也可能包含前日夜間所受境外污染影響。

彙整本段期間高濃度採樣日特徵，在地污染仍是影響空氣品質的主要因素，由於環境不利於污染擴散，使污染濃度累積增加。在污染時段各測站都因低風速累積污染濃度，然而，嘉義站污染時段的風速卻普遍較其他測站高，因此，除了在地污染影響，嘉義站還可能受到傳輸污染影響使濃度推升。



表 4.2.8 高濃度案例來源推論與氣象因子特徵

測站	日期 <sup>2</sup>	PM <sub>2.5</sub> <sup>1</sup> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	來源推論 <sup>3</sup>	增量原因 <sup>4</sup>	污染影響 <sup>5</sup> (Hour)	在地 <sup>6</sup> 比例	傳輸風向 與頻率 <sup>7</sup>	風速 <sup>8</sup> ( $\text{m s}^{-1}$ )
斗六	2021/12/15	42	外地、在地	光化 (98)	14 (3)	79%	NW (100%)	1.1
嘉義	2021/12/15	45	外地、在地	光化 (94)	11 (4)	64%	NNE (50%)	1.4
小港	2021/12/15	42	在地	殘留 (35)	13 (5)	100%	W (80%)	1.7
斗六	2022/01/14	38	*外地、在地	殘留 (49)	12 (3)	75%	NNE (33%)	1.2
嘉義	2022/01/14	42	*外地、在地	殘留 (48)	8 (5)	38%	NNE (40%)	1.8
小港	2022/01/14	39	在地	殘留 (42)	11 (4)	100%	W (60%)	1.5
小港	2022/01/20	38	在地		10 (3)	100%	W (100%)	1.4
嘉義	2022/01/26	41	外地、在地	殘留 (37)	14 (11)	21%	N (75%)	1.9
小港	2022/01/26	53	在地	殘留 (39)	12 (2)	100%	W (100%)	1.3
小港	2022/02/13	44	外地、在地	殘留 (42)	12 (7)	58%	NNW (43%)	1.8
嘉義	2022/02/16	40	外地、在地		12 (8)	33%	NNE (50%)	2.1
小港	2022/02/16	40	外地、在地	殘留 (44)	10 (6)	90%	WNW (43%)	1.9
忠明	2022/03/03	47	外地、在地	殘留 (45)	11 (3)	73%	NNE (33%)	1.2
斗六	2022/03/03	73	外地、在地	殘留 (80)	11 (3)	73%	N (33%)	1.0
嘉義	2022/03/03	67	外地、在地	殘留 (84)	14 (7)	50%	N (57%)	1.7
小港	2022/03/03	68	在地	殘留 (57)	9 (3)	100%	W (100%)	1.5
嘉義	2022/03/15	38	外地、在地		12 (8)	33%	N (50%)	2.3
斗六	2022/03/21	48	外地、在地	殘留 (49)	9 (2)	78%	NNW (50%)	1.1
嘉義	2022/03/21	54	外地、在地	殘留 (56)	8 (1)	88%	ENE (100%)	1.0
嘉義	2022/04/20	36	外地、在地	殘留 (63)	9 (4)	56%	ENE (25%)	1.6
嘉義	2022/11/13	41	外地、在地	殘留 (44)	10 (3)	70%	N (100%)	1.6
小港	2022/11/13	43	在地	殘留 (40)	10 (3)	100%	W (100%)	1.4
斗六	2022/11/19	39	外地、在地		9 (2)	78%	NNW (100%)	1.0
嘉義	2022/11/19	41	外地、在地		12 (5)	58%	N (60%)	1.4
小港	2022/11/19	47	在地		11 (3)	100%	W (100%)	1.3

## 備註:

1. PM<sub>2.5</sub> 數據為本計畫經揮發修正後數值。
2. 篩選日期：以 PM<sub>2.5</sub> 濃度超出  $35 \mu\text{g m}^{-3}$  為案例日期。
3. 來源推論：小時濃度上升時，風速大於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  且風向為其他空品區，則判定為外地傳輸，若軌跡路徑與高程來自境外，則標註【\*】，代表當日可能受到境外污染傳輸影響；其餘濃度上升則歸類於在地污染。
4. 增量原因：殘留意指【夜間污染殘留】，(括弧)內數值為前一日 22:00 至 23:00 PM<sub>2.5</sub> 監測平均值( $\mu\text{g m}^{-3}$ )；光化意指【光化學作用】，(括弧)內數值為當日臭氧最高濃度(ppb)。
5. 污染影響：數值為當日 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升小時數，(括弧)內數值為風速大於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  且 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升的小時數，代表受到外地傳輸影響小時數。
6. 在地比例：意指【風速小於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  且 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升時數 ÷ 當日 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升時數】。
7. 傳輸時段風向與頻率：當日小時 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升且風速大於  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  盛行風向，(括號)內數值為盛行風向於傳輸特徵時段吹拂頻率。
8. 風速：指 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升小時的風速平均值。
9. 參考資料：表列採樣日相關推估資料彙整於報告書附錄 7。

近年來污染季節 AQI 紅害日數已逐年遞減，顯示主管機關推動的管制策略已獲成效。為了瞭解高濃度日發生成因以持續減少發生頻率，本計畫彙整六年來自動監測及手動量測資料，解析六個測站高濃度日形成原因，並篩選其中在地污染日作為分析對象，透過 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及污染源推估模式，期望獲取最具效益的區域管制策略。

表 4.2.9 彙整六年來各測站採樣日從自動監測資料篩選的在地高濃度日結果，六個測站 PM<sub>2.5</sub> 高濃度日發生次數自 2017 年後逐漸減少，但是斗六以南各測站於 2021 年出現高濃度日次數反而增加，推測與產業活動量上升有關，2022 年截

至 11 月 PM<sub>2.5</sub> 高濃度日次數降回 2020 年的標準，甚至更少。分析不同污染類型發生頻率，顯示有五成以上是在地污染日（除嘉義站外），成為西部各站最常見的污染日類型，在地污染日環境擴散不佳，近距離的污染源影響空氣品質重大。另一方面，嘉義站受到區域污染傳輸影響的頻率較高，本年度 Q1 的 1 月 14 日及 1 月 26 日的高濃度日，嘉義站平均風速都高於其他測站。近六年西部各站在地污染日 PM<sub>2.5</sub> 平均濃度大致都是由北至南部增加，發生次數也是有相似的空間變化。

表 4.2.9 2017 年至 2022 年 11 月各測站在地高濃度日統計

測站年度	項目	高濃度日 (天)	在地高濃度日 (天)	在地高濃度日 占比(%)	在地高濃度日 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
板橋	近六年	15	10	67%	42
	2017 年	7	5	71%	38
	2018 年	3	3	100%	51
	2019 年	2	0	—	—
	2020 年	1	1	100%	40
	2021 年	2	1	50%	40
	2022 年	0	0	—	—
	近六年	37	25	68%	44
忠明	2017 年	9	5	56%	46
	2018 年	10	5	50%	44
	2019 年	9	7	78%	41
	2020 年	4	4	100%	53
	2021 年	4	3	75%	38
	2022 年	1	1	100%	47
	近六年	69	54	78%	47
	2017 年	17	12	71%	49
斗六	2018 年	15	10	67%	46
	2019 年	11	9	82%	45
	2020 年	7	7	100%	49
	2021 年	15	12	80%	46
	2022 年	4	4	100%	49
	近六年	73	33	45%	49
	2017 年	18	7	39%	53
	2018 年	14	8	57%	45
嘉義	2019 年	10	3	30%	37
	2020 年	7	3	43%	64
	2021 年	15	7	47%	49
	2022 年	9	5	56%	48
	近六年	88	74	84%	46
	2017 年	25	19	76%	46
	2018 年	16	13	81%	47
	2019 年	16	13	81%	44
小港	2020 年	11	9	82%	44
	2021 年	12	12	100%	48
	2022 年	8	8	100%	46

備註：

1. 高濃度日：PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度大於等於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$
2. 在地污染日：高濃度日的 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升小時，有五成以上的環境風速低於 1.6  $\text{m s}^{-1}$ 。

## 2. PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日與非事件日比較

雖然 PM<sub>2.5</sub> 品質逐年改善，但各測站（花蓮站除外）仍然偶有高濃度事件日（PM<sub>2.5</sub> > 35  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）發生，比較高濃度事件日與非事件日的 PM<sub>2.5</sub> 及各化學成分質量濃度差異百分比，可以瞭解高濃度事件日各化學成分質量濃度增加的幅度，因而可以根據增幅較大化學成分所代表的各污染源特徵，推論污染源。表 4.2.10 顯示，近六年花蓮站沒有任何高濃度事件日發生，其他五個測站的高濃度事件日主要發生在 Q1 和 Q4 季度。各測站高濃度事件日與非事件日天數由北部往南部增加，板橋站高濃度事件日最少，只有 15 天，占總採樣日的 4%，接著是忠明站 38 天（11%）；斗六、嘉義和小港站則分別是 71 天（20%）、77 天（22%）和 91 天（25%）。表 4.2.11 為 2017-2022 年（至 11 月底）採樣日，高濃度事件日與非事件日的 PM<sub>2.5</sub> 及化學成分平均濃度的差異百分比，受限於篇幅，只能呈現主要或有重大影響的化學成分，其餘化學成分列在完整報告中。

比較表 4.2.11 五個測站高濃度事件日與非事件日的 PM<sub>2.5</sub> 及化學成分平均質量濃度和差異百分比，板橋站高濃度事件日 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度為 41  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在各測站高濃度事件日平均濃度最高（9.0  $\mu\text{g m}^{-3}$ ），OC 和 EC 在各測站高濃度事件日也是平均濃度最高（分別為 8.0 和 1.9  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）。高濃度事件日與非事件日平均濃度差異，PM<sub>2.5</sub> 為 27  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，化學成分差異最大的是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（5.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ ），其次是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（5.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）和 OC（4.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ ），分別與外地傳輸、工業和車輛排放有關，其他化學成分平均濃度較低。高濃度事件日與非事件日平均濃度差異百分比，PM<sub>2.5</sub> 為各站最高（190%），PM<sub>2.5</sub> 以及許多化學成分在高濃度事件日的平均濃度都比非事件日高出 200% 上下，Pb、Sr、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 甚至超過 500%，其他較高的化學成分還有 K<sup>+</sup>、K、Al、Ba 等，上述高差異百分比化學成分 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Pb 與車輛和工業排放有關（Lin et al., 2015）；K、Sr、Ba、Pb 常出現在煙火和爆竹相關排放源（Chang et al., 2011）；Al 則與塵土逸散有關（Rahn, 1999）。各化學成分高差異百分比的原因，可能是因為非事件日這些化學成分濃度低，差異百分比容易增大。

忠明站高濃度事件日 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度為 43  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，高濃度事件日與非事件日平均濃度差異，PM<sub>2.5</sub> 為 27  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，化學成分差異最大的是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（7.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（5.1  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）和 OC（3.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ ），分別與車輛和工業排放、外地傳輸有關，其他化學成分平均濃度較低。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日與非事件日平均濃度的差異百分比為 171%，差異百分比最高的化學成分是車輛和工業排放指標的

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>達 404%，其他差異百分比較高的化學成分還有 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、V（燃油（Ledoux et al., 2017））、As（燃煤電廠（Yan et al., 1999））以及生質燃燒指標 K<sup>+</sup>。

斗六站高濃度事件日 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度為 46 μg m<sup>-3</sup>，高濃度事件日與非事件日平均濃度差異，PM<sub>2.5</sub> 為 28 μg m<sup>-3</sup>，化學成分差異最大的是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（8.8 μg m<sup>-3</sup>）其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（4.0 μg m<sup>-3</sup>）、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>和 OC（各為 3.8、3.6 μg m<sup>-3</sup>），分別與車輛和工業排放、外地傳輸有關，其他化學成分平均濃度較低。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日與非事件日平均濃度的差異百分比為 151%，差異百分比較大的化學成分有與車輛和工業排放有關的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>達 306%，金屬元素則是和車輛排放、鋼鐵廠和燃油指標元素有關的 Pb、Zn、Sn 和 V（Lin et al., 2015; Lin et al., 2014; 周等，2014），燃煤排放的 As 以及生質燃燒指標 K<sup>+</sup>。

嘉義站高濃度事件日 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度為 47 μg m<sup>-3</sup>，是各測站中濃度最高，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>在各測站高濃度事件日濃度最高（12.6 μg m<sup>-3</sup>），NH<sub>4</sub><sup>+</sup>在各測站高濃度事件日也是濃度最高（5.8 μg m<sup>-3</sup>），值得一提的是嘉義站的 Ba 濃度明顯較其他各站高，可能受到周遭廟宇燒香、製香舖、塗料製程影響；Pb 濃度在高濃度事件日也較其他各站高。高濃度事件日與非事件日平均濃度差異為 29 μg m<sup>-3</sup> 化學成分差異最大的化學成分是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（9.8 μg m<sup>-3</sup>）其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（3.9 μg m<sup>-3</sup>）、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>（3.9 μg m<sup>-3</sup>）和 OC（3.5 μg m<sup>-3</sup>），分別與車輛和工業排放、外地傳輸有關，其他化學成分平均濃度較低。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日與非事件日平均濃度的差異百分比為 161%，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>是差異百分比最大（351%）的化學成分，與車輛和工業排放有關，金屬元素則是生質燃燒指標 K<sup>+</sup>、K，車輛排放有關的 Pb、Zn，燃煤排放的 As 差異百分比較大。

小港站高濃度事件日 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度為 45 μg m<sup>-3</sup>，高濃度事件日與非事件日平均濃度差異，PM<sub>2.5</sub> 為 27 μg m<sup>-3</sup>，化學成分高濃度事件日與非事件日平均濃度差異最大的是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>（9.5 μg m<sup>-3</sup>）其次是 OC（3.7 μg m<sup>-3</sup>）和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（3.2 μg m<sup>-3</sup>）分別與車輛排放、工業排放或外地傳輸有關，微量化學成分以車輛排放和鋼鐵廠指標元素有關的 Zn（0.089 μg m<sup>-3</sup>）和 Sn（0.007 μg m<sup>-3</sup>）為各測站濃度最高，其他化學成分平均濃度較低。PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日與非事件日平均濃度的差異百分比為 147%，差異百分比較大的化學成分為與車輛和工業排放有關的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，還有 K<sup>+</sup>、K 和 Ba（分別與生質燃燒、煙火、爆竹拜香相關），鋼鐵廠指標元素 Sn（周等，2014）。

綜合以上結果，2017~2022 年五個測站高濃度事件日  $\text{PM}_{2.5}$  平均質量濃度變動範圍為  $41\sim 47\ \mu\text{g m}^{-3}$ ，高濃度事件日與非事件日天數由北部往南部增加， $\text{PM}_{2.5}$  高濃度事件日與非事件日平均濃度的差異在  $27\sim 29\ \mu\text{g m}^{-3}$ （差異百分比範圍：147~190%），各測站相當接近。雖然板橋站在各測站發生高濃度事件日天數最少，但化學成分差異百分比卻相當高，可能是非事件日這些化學成分濃度低，差異百分比容易增大。忠明站以南四個測站， $\text{NO}_3^-$  是發生高濃度事件日平均濃度最高的化學成分， $\text{NO}_3^-$  在五個測站的高濃度事件日與非事件日有非常高的差異百分比（306~542%），若要減少高濃度事件發生， $\text{NO}_3^-$  及前驅污染源的管制非常重要，僅次於  $\text{NO}_3^-$  的  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分為  $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC，雖然在高濃度事件日的差異百分比不及其他化學成分高，但在高濃度事件日平均濃度的差異上，對  $\text{PM}_{2.5}$  的影響仍然非常顯著。前述三個  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分代表車輛排放、工業或傳輸污染，是各測站最普遍發生的污染來源。

表 4.2.10 2017-2022 年各季度高濃度事件日數（ $\text{PM}_{2.5} > 35\ \mu\text{g m}^{-3}$ ）

		2017	2018	2019	2020	2021	2022
HL	Q1	0	0	0	0	0	0
	Q2	0	0	0	0	0	0
	Q3	0	0	0	0	0	0
	Q4	0	0	0	0	0	0
BQ	Q1	3	2	0	1	2	0
	Q2	4	0	1	0	0	0
	Q3	0	0	0	0	0	0
	Q4	0	1	1	0	0	0
ZM	Q1	3	5	5	3	4	1
	Q2	4	2	0	0	0	0
	Q3	1	0	1	0	0	0
	Q4	1	3	3	1	0	0
DL	Q1	8	8	6	6	11	3
	Q2	3	2	0	0	2	0
	Q3	1	0	1	0	0	0
	Q4	5	5	4	1	2	1
CY	Q1	9	10	5	7	12	6
	Q2	3	1	2	0	2	1
	Q3	1	0	0	0	0	0
	Q4	5	3	3	0	1	2
XG	Q1	13	9	9	7	11	6
	Q2	3	0	1	0	0	0
	Q3	0	0	1	0	0	0
	Q4	9	7	5	4	1	2

表 4.2.11 2017-2022 年（至 11 月底）板橋、忠明、斗六、嘉義和小港站 PM<sub>2.5</sub> 及化學成分在高濃度事件日與非事件日的平均濃度（ $\mu\text{g m}^{-3}$ ）與差異百分比

測站		次數	PM <sub>2.5</sub>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	OC	EC	Al	K	Sr	Ba	Zn	Sn	Pb	V	As
BQ	事件	15	41	0.26	9.02	4.87	6.53	7.95	1.88	0.281	0.544	0.006	0.016	0.061	0.005	0.033	0.010	0.002
	非事件	340	14	0.06	3.22	1.31	1.02	3.45	0.70	0.058	0.104	0.001	0.003	0.019	0.002	0.005	0.003	0.001
	差異百分比	-	190%	329%	180%	272%	542%	130%	168%	388%	422%	633%	413%	224%	207%	593%	226%	285%
ZM	事件	38	43	0.23	8.41	5.37	9.33	7.35	1.77	0.123	0.365	0.002	0.008	0.065	0.004	0.016	0.009	0.002
	非事件	315	16	0.09	3.34	1.60	1.85	3.58	0.72	0.064	0.147	0.001	0.004	0.028	0.002	0.006	0.003	0.001
	差異百分比	-	171%	161%	152%	235%	404%	105%	144%	92%	148%	78%	123%	135%	122%	144%	208%	195%
DL	事件	71	46	0.30	7.38	5.70	11.65	7.72	1.45	0.153	0.461	0.002	0.006	0.061	0.004	0.016	0.006	0.002
	非事件	285	18	0.12	3.35	1.95	2.87	4.11	0.66	0.067	0.192	0.001	0.003	0.024	0.002	0.006	0.003	0.001
	差異百分比	-	151%	151%	120%	192%	306%	88%	120%	129%	140%	78%	82%	158%	130%	155%	139%	147%
CY	事件	77	47	0.34	7.45	5.84	12.57	7.12	1.37	0.157	0.526	0.003	0.036	0.060	0.003	0.035	0.005	0.002
	非事件	276	18	0.13	3.53	1.95	2.79	3.63	0.61	0.067	0.208	0.001	0.013	0.023	0.002	0.014	0.003	0.001
	差異百分比	-	161%	156%	111%	199%	351%	96%	124%	136%	153%	101%	178%	165%	89%	147%	78%	149%
XG	事件	91	45	0.24	6.97	5.55	11.99	7.42	1.68	0.171	0.402	0.002	0.008	0.089	0.007	0.021	0.009	0.001
	非事件	267	18	0.10	3.78	1.86	2.54	3.68	0.95	0.086	0.166	0.001	0.003	0.051	0.003	0.012	0.009	0.001
	差異百分比	-	147%	136%	84%	198%	373%	102%	77%	98%	142%	87%	137%	74%	138%	77%	0%	90%

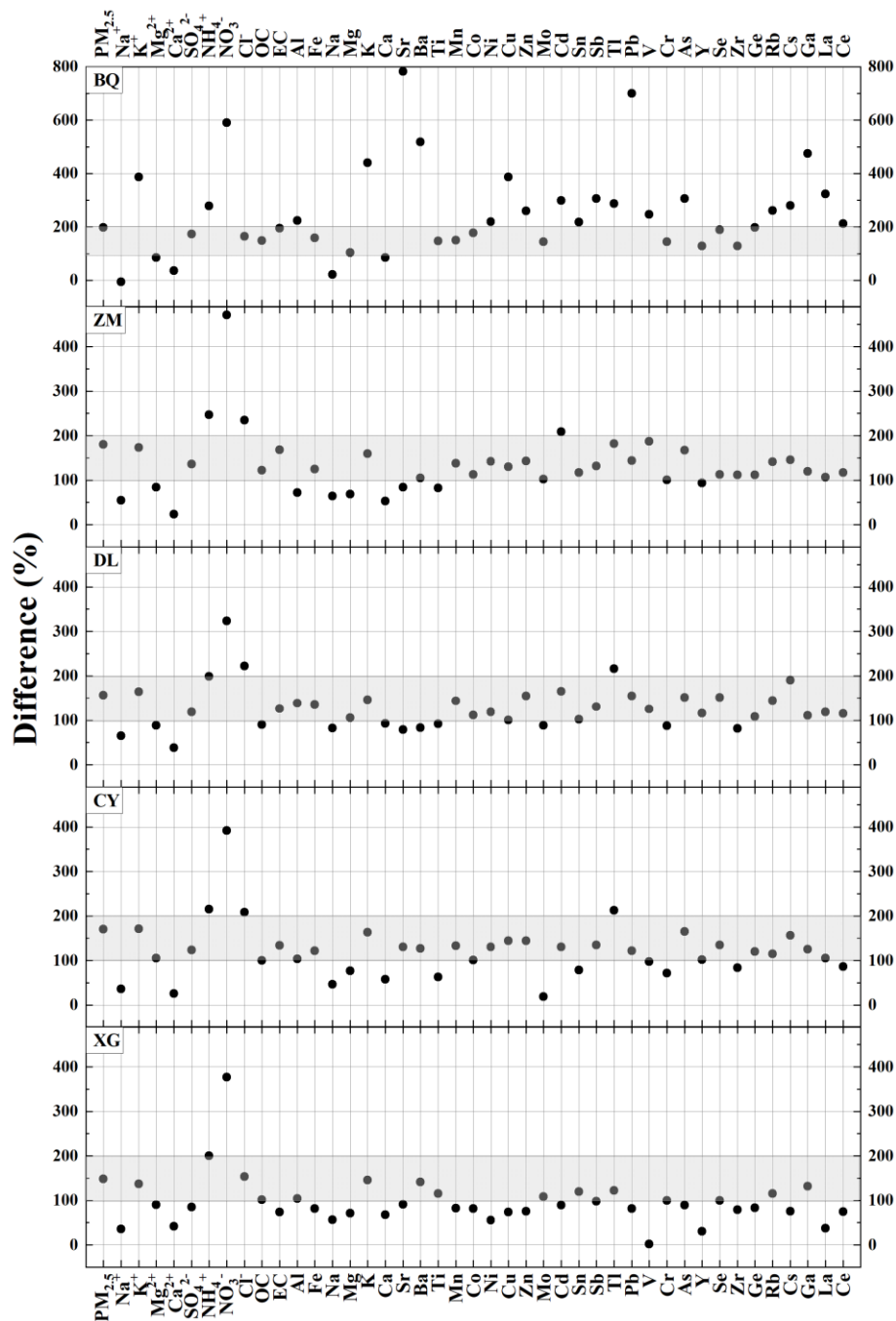
備註：差異百分比 = (事件日平均濃度 - 非事件日平均濃度) / 非事件日平均濃度

### 3.在地高濃度日化學成分特徵

圖 4.2.12 彙整近六年各測站發生在地高濃度日  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度與化學成分濃度差異百分比 $[(\text{在地高濃度日}-\text{非高濃度日})/\text{非高濃度日}]$ ，以呈現在地高濃度日突出成分。結果顯示：受到在地高濃度日影響，各站  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度增加約 148~198%，各站都以  $\text{NO}_3^-$  的增加 323~591% 幅度最大，其他增量成分除板橋站略有不同外，其餘各測站相似；差異百分比空間變化趨勢近似於  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度，由北向南逐漸降低，顯示空間越往南部推移，各地的非高濃度日濃度值逐漸增加。另外， $\text{NO}_3^-$  為最高差異成分，凸顯改善在地污染日首要目標仍以氮氧化物前驅污染源管制為主。

詳細分析各地化學成分變化特徵，板橋站除  $\text{NO}_3^-$  有近 591% 大幅增量外，水溶性無機離子  $\text{K}^+$ 、金屬元素  $\text{K}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Pb}$  及  $\text{Ga}$  增幅達 350% 以上並遠高於  $\text{PM}_{2.5}$  濃度的增幅。前述成分根據本計畫所彙整文獻顯示，可能受到生質燃燒（ $\text{K}$ 、 $\text{K}^+$ ）、炮竹煙火（ $\text{K}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Pb}$ ）、車輛非尾氣排放（ $\text{Ba}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Pb}$ ）、燃煤燃燒（ $\text{Ba}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Ga}$ ）等污染源影響較為顯著；此外，多項金屬元素也有 100% 以上增幅。由於非高濃度日板橋站空氣品質大致良好（濃度值較低），因此當環境擴條件轉差時，前述污染源排放會更顯突出。板橋站以外西部各測站化學成分變化幅度較低，此處匡列各站增幅再 100~200% 化學成分，例如：忠明站的  $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OC}$ 、 $\text{EC}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{K}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{V}$  及  $\text{As}$  等，前述成分可能來自生質燃燒、工業衍生污染的  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、柴油車（ $\text{EC}$ ）、捲揚或建築揚塵（ $\text{Ca}$ ）、非車輛尾氣排放（ $\text{Co}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ ）及工業鍋爐（ $\text{Co}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{As}$ ）。斗六站則有較高的  $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Cs}$ 、 $\text{Tl}$ ，顯示包含生質燃燒、工業衍生及水泥業（ $\text{Cs}$ 、 $\text{Tl}$ ）為可能污染源。嘉義站除  $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$  及  $\text{Cl}^-$  外，金屬元素成分僅  $\text{Sr}$  與  $\text{As}$  增幅約 100%，顯示在地污染日受到生質燃燒及鄰近的工業鍋爐影響較大。小港站相較於前述各站，突出成分較少，除  $\text{NO}_3^-$  外， $\text{NH}_4^+$  及  $\text{Cl}^-$  是相對突出成分，表示小港站於在地污染日主要受到在地排放所衍生污染影響較大。

綜合以上，各測站的在地高濃度日，除了顯示氮氧化物須持續管制外，工業鍋爐所產生的  $\text{Cl}^-$  為另一個重要污染源因子。另一方面，針對特定空間管制建議，北部板橋至忠明站因為有較低非高濃度日濃度值，因此高濃度日反而有較多凸出污染成分，反映出多項污染特徵，諸如生質燃燒、車輛尾氣衍生或非尾氣排放及工業鍋爐，都是影響明顯的管制對象；斗六以南區域則建議加強露天農廢燃燒稽查，以及人為活動產生的  $\text{Cl}^-$  來源稽查。



差異百分比： $[(\text{在地高濃度日}-\text{非高濃度日}) \div \text{非高濃度日}] \times 100\%$ ；灰色網底區塊及以上區域為濃度差異顯著成分。

圖 4.2.12 各站 PM<sub>2.5</sub> 質量與化學成分濃度在地高濃度日相比非高濃度日差異(%)



#### 4.在地高濃度日 PMF 污染因子歷年變化

延續上年度計畫成果，以 2017 至 2022 年 11 月檢測數據執行 PMF 受體模式解析，獲得硫酸鹽、硝酸鹽、車輛排放、生質燃燒、工業 1、工業 2、燃油、富含氯、揚塵及海鹽，總計十項不同的污染因子。本計畫對每個年度各測站採樣日推估污染因子貢獻度，篩選並計算各測站不同年度間在地高濃度日污染因子貢獻比例，藉此分析針對在地高濃度日較具效益管制對象，結果如圖 4.2.13 所示。

分析 2017 至 2022 年 11 月（圖中 All）數據顯示：西部各測站在地高濃度日貢獻比例前三高的污染因子分別是，板橋站的硝酸鹽（41%）、硫酸鹽（16%）及工業 1（12%）或燃油（12%）因子，忠明站依序是硝酸鹽（40%）、工業 1（12%）、硫酸鹽（11%）和燃油（11%），斗六以南的測站前兩高的因子為硝酸鹽（37~47%）和硫酸鹽（12~13%），其他第三至第六高污染因子貢獻比例較接近，有富含氯、工業 1、車輛排放以及生質燃燒因子。模式量化結果顯示各測站在地高濃度日都以衍生污染物為主。

檢視各測站在地高濃度日污染因子貢獻比例逐年變化：板橋站的「硝酸鹽」及「車輛排放」於 2020~2021 年分別出現持平與反增的變化，雖然案例較少可能會有偏差，但仍值得注意。另外，「燃油」鍋爐影響在 2019 年後明顯降低，顯示出鍋爐逐漸汰換政策成效，但仍需注意區域傳輸污染物如硫酸鹽所造成影響。忠明站逐年變化呈現「硝酸鹽」因子於 2020 年明顯增加。斗六站近年污染因子貢獻度出現「燃油」、「車輛排放」因子有下降趨勢，但近兩年「硝酸鹽」、「工業 1」因子貢獻度卻反增，其中「硝酸鹽」因子貢獻比例於 2021 年相比 2020 年雖有降低，但是仍高於 2018 年~2019 年間不少。嘉義站污染因子貢獻度變化與斗六相似，不過「工業」相關因子占比明顯低於斗六站，2020 年雖然「硝酸鹽」因子貢獻度大幅增加，但是隔年已有明顯改善，同時「車輛排放」因子也有近 5% 減量。小港站近六年變化顯示「工業」相關因子及「硝酸鹽」因子占比都有增加或變化持平，「硫酸鹽」及「車輛排放」因子則是貢獻比例逐漸降低，不過，2022 年尚有 12 月的數據尚未加入分析，這一個月也有可能發生在地污染事件。

為能大幅改善在地高濃度日污染，各測站都應持續強化硝酸鹽前驅污染源控制，由於在地高濃度日多為環境擴散條件不佳所致，各地工業中小型鍋爐低矮煙囪及移動污染源所排放氮氧化物都可能因長時間滯留於環境中，演化為硝酸鹽。針對各測站特定影響污染源管制建議：板橋站對於車輛尾氣排放應持續加強管制，

以減緩近年反增趨勢，忠明站及以南的工業相關製程、燃料鍋爐及含氯人為污染源，都是最近兩年影響增加的污染因子，可能與近年來產業活動量增加有關，需加以注意。同時，斗六及以南各測站生質燃燒，雖然相比 2017 年有所降低，但是近年來減少趨勢趨於平緩甚至反增，應加強稽查。

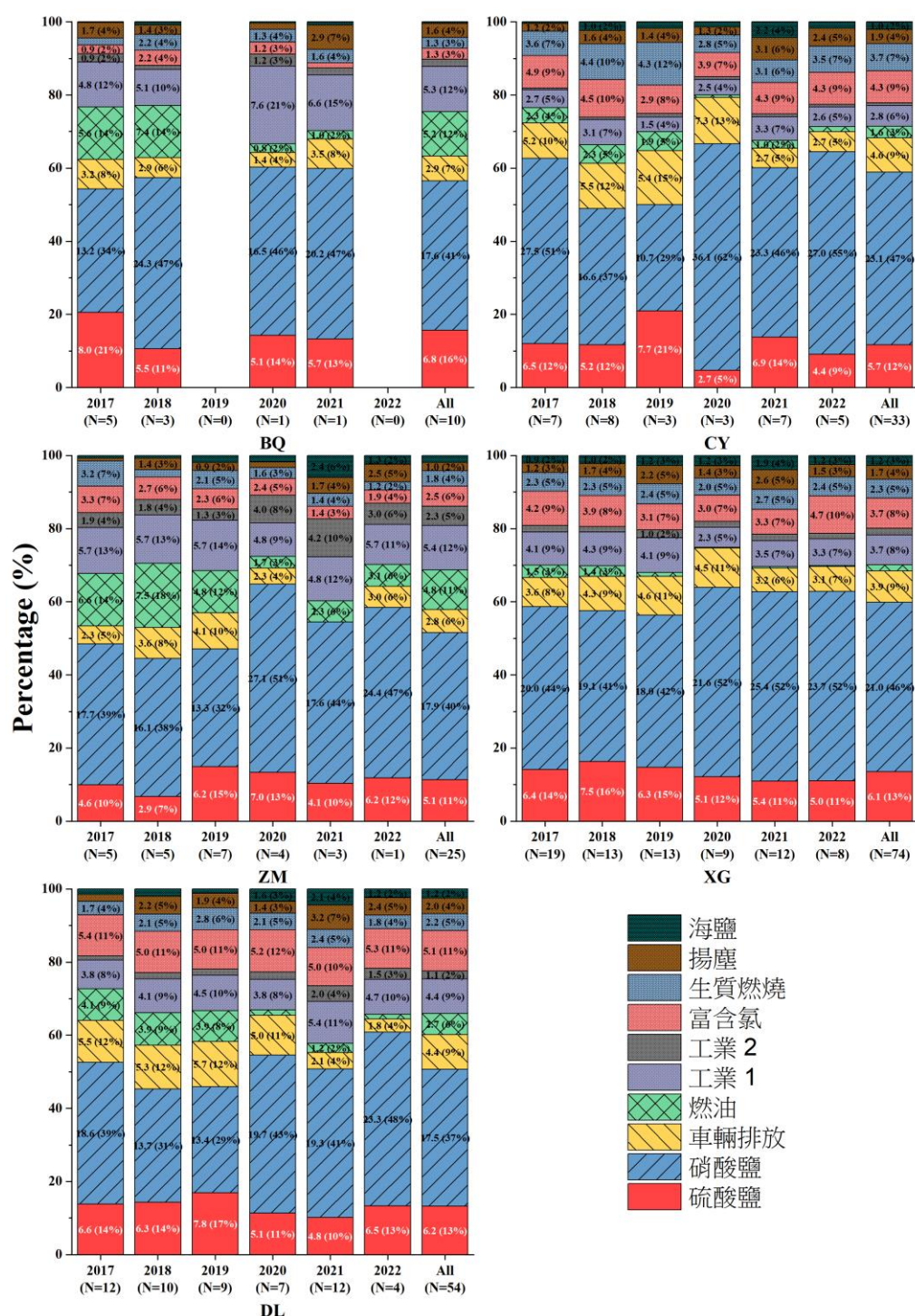


圖 4.2.13 在地高濃度污染日 PMF 受體模式推估污染因子占比逐年變化

## 4.2.5 能見度影響因子及科普宣傳

### 1. IMPROVE 修正方程式推估能見度

PM<sub>2.5</sub> 化學成分會影響大氣消光係數 ( $b_{\text{ext}}$ ) 導致大氣能見度下降，天氣因子的風速 (WS)、溫度 (T)、相對濕度 (RH) 以及氣體污染物 NO<sub>2</sub> 也都是影響大氣能見度的因子，為了瞭解監測地區 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與天氣因子和大氣能見度關係，本計畫使用 Revised IMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) 方程式以化學成分及環境因子推估大氣消光係數，再藉由 Koschmieder equation ( $\text{Visibility} = 3.912/b_{\text{ext}}$ ) 推算大氣能見度。

圖 4.2.14 彙整 2017 年至 2022 年 11 月份以六個測站的無降雨採樣日檢測資料應用前述方法推估大氣能見度並與氣象局人工觀測的大氣能見度比較。結果顯示斗六和嘉義站線性迴歸相關性較高， $R^2$  值大於 0.77，其他測站  $R^2$  在 0.66 以下，線性迴歸線斜率顯示推估大氣能見度較人工觀測大氣能見度高出許多，部分原因可能是人工觀測大氣能見度所選擇目標物的距離較近所導致，例如：PM<sub>2.5</sub> 濃度最低，大氣能見度最好的花蓮站，氣象局人工觀測大氣能見度最大值僅有 25 km (參考附錄 10)，導致相關性與斜率的推估都不如其他測站；人工觀測最遠距離可達 60 km 的斗六及嘉義站，顯然有相當不錯的線性關係。另一方面，造成差異原因可能是化學分量測和經由兩次推演計算大氣能見度所累積的誤差。

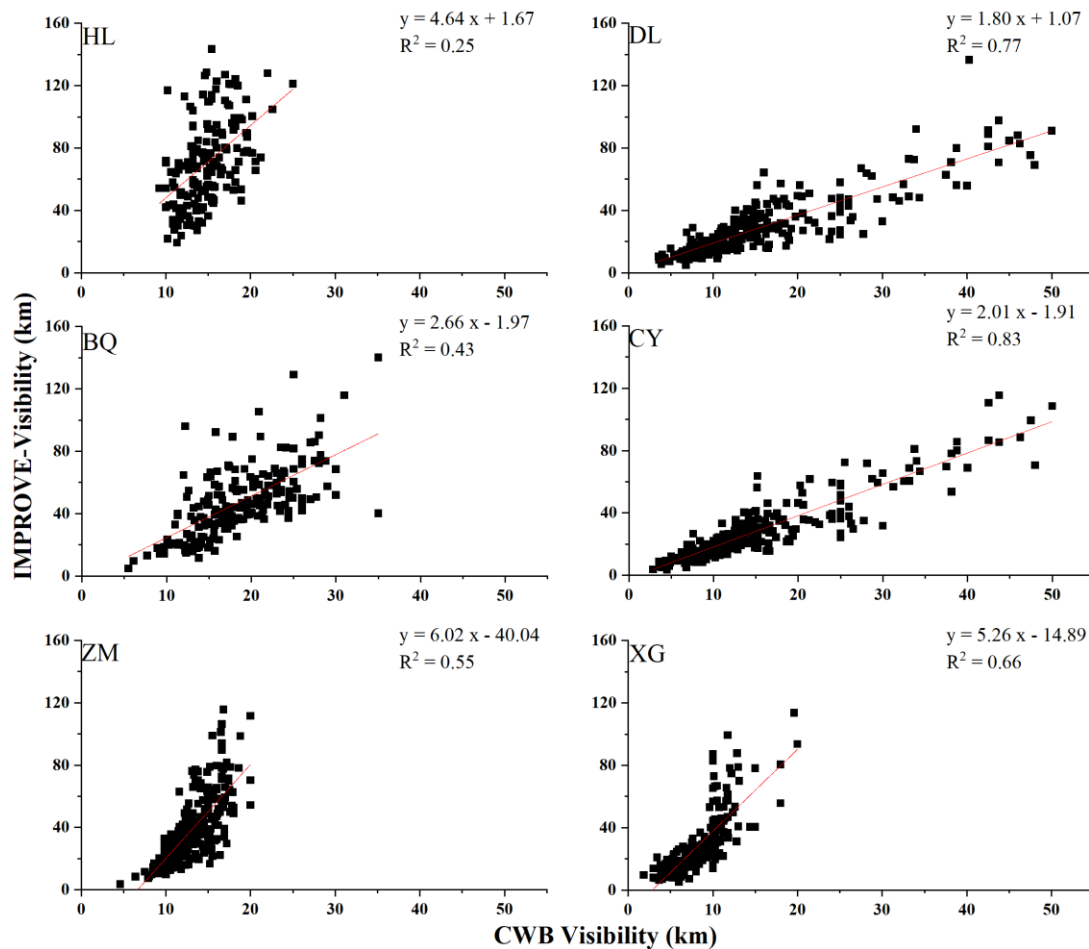


圖 4.2.14 中央氣象局觀測能見度與各測站 IMPROVE 修正方程式估算能見度比較

圖 4.2.15 彙整 2017 至 2022 年計畫執行期間使用 IMPROVE 修正方程式推估各測站年度與季度平均  $b_{ext}$ ，各測站近六年（除 2021 年外） $b_{ext}$  大致呈現下降及變動範圍縮小的趨勢，空間分布則與  $PM_{2.5}$  一致由東部往北部向南部遞增；最高的季度除花蓮站外都在 Q1，最低的季度大多在夏季的 Q3，各測站季度差異最大的是小港站。忠明和嘉義站在 2020 年 Q1 出現平均值與中位數差距較大，主要是受到 2020 年 1 月 4 日  $PM_{2.5}$  高濃度事件影響，忠明和嘉義站  $PM_{2.5}$  濃度分別是  $72 \mu g m^{-3}$  及  $77 \mu g m^{-3}$ ，當日除了有較高的  $NO_3$  濃度（忠明站： $29.5 \mu g m^{-3}$ ；嘉義站： $27.9 \mu g m^{-3}$ ）外，日平均相對濕度也高達 80% 左右，導致  $b_{ext}$  提升許多（忠明站： $1088 Mm^{-1}$ ；嘉義站： $1022 Mm^{-1}$ ），換算成大氣能見度也與氣象局觀測的大氣能見度非常接近，忠明站推估與觀測大氣能見度分別是 4 km 和 5 km，嘉義站則是 4 km 和 3 km，斗六站雖然也有高濃度，但由於當日缺乏  $PM_{10}$  濃度無法推估大氣消光係數，因此未列入計算。小港站 2020 年 1 月 4 日  $PM_{2.5}$  濃度

為  $53 \mu\text{g m}^{-3}$ ， $\text{NO}_3^-$  和日平均相對濕度分別是  $18.5 \mu\text{g m}^{-3}$  和 76.2%，IMPROVE 估算出來的大氣消光係數為  $497 \text{ Mm}^{-1}$ ，推估大氣能見度（8 km）與觀測大氣能見度（3 km）雖然相差 5 km，依然相近。

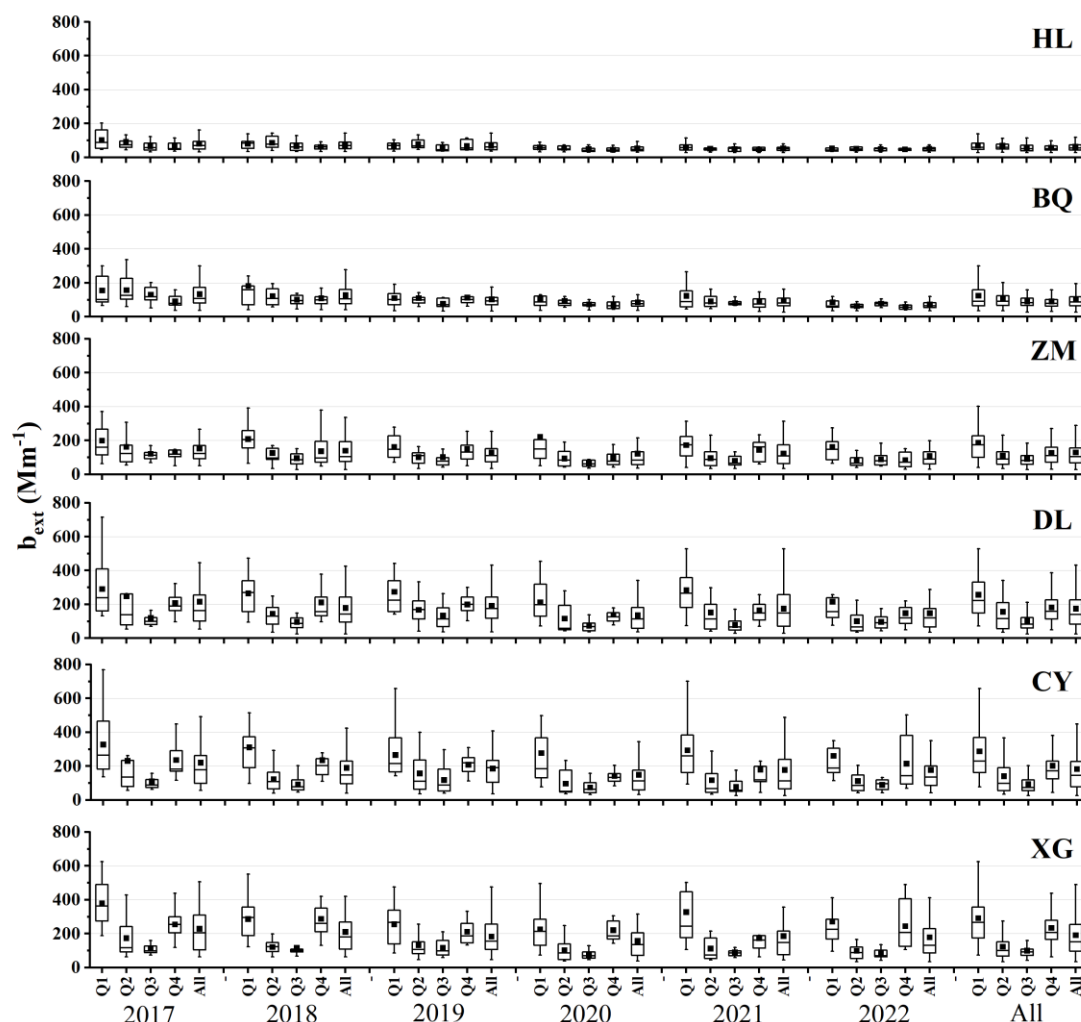


圖 4.2.15 以 IMPROVE 修正公式推估 2017-2022 年大氣消光係數

2017 年至 2022 年計畫執行期間各測站推估影響  $b_{\text{ext}}$  的各化學成分和相關因子貢獻比例呈現在圖 4.2.16，比較前三年（2017～2019 年）以及後三年（2020～2022 年），各測站的各季度都能看到硫酸鹽的貢獻比例有下降，上升的化學成分或因子有空氣分子的 Rayleigh Scattering、有機物、硝酸鹽，由於 Rayleigh Scattering 為定值，占比上升代表化學成分的影響降低，有機物與硝酸鹽占比上升則可能是因為 OC 與  $\text{NO}_3^-$  濃度近年削減的濃度沒有  $\text{SO}_4^{2-}$  高，季度間各化學成分及相關因子貢獻比例差異則由北部往南部增加。

花蓮和板橋站在 2017～2019 年間影響大氣能見度的主要化學成分是硫酸鹽（季度平均變化值為 30%～43%），其次是有機物（季度平均變化值 13%～25%），



在 2020~2022 年硫酸鹽的季度平均變化值下降到 25%~30%，下降的比例只有小部分由有機物以及硝酸鹽補上，大多是增加到 Rayleigh Scattering 上，說明整個環境污染物濃度都有下降，其中以硫酸鹽減量較大。從忠明站開始，硝酸鹽貢獻的比例顯著的上升，且有最顯著的季度變化，2017 年~2019 年硫酸鹽的季度平均變化值在 29%~40%之間，硝酸鹽在 9%~25%，有機物在 18%~23%；2020 年~2022 年硫酸鹽的季度平均變化些微減少到 21%~31%，硝酸鹽則是 8%~37%，有機物維持在 18%~24%沒有明顯變化，除了 Q1 硝酸鹽影響大氣能見度較大外，其他季度還是以硫酸鹽為主。斗六以及嘉義站各化學成分對大氣能見度的影響較相似，Q3 以外都以硝酸鹽影響最大，Q3 是夏季，大氣能見度是各季度最好，2017 年~2019 年硝酸鹽 Q3 以外的季度平均變化值約為 28%~42%，硫酸鹽約為 22%~28%，有機物則是 14%~25%，Q3 與其他季度不同在於貢獻較大的成分為硫酸鹽，其次是有機物，再其次是硝酸鹽。2020 年~2022 年硝酸鹽在 Q1 的季度平均占比上升到 44%~49%，貢獻將近一半的大氣消光係數，硫酸鹽與有機物在 Q1、Q2 和 Q4 的貢獻比例較接近，分別介於 18%~25%以及 14%~23%之間，Q3 從 Rayleigh Scattering 的占比上升可以知道大氣其他成分的消光係數貢獻較少，主要影響大氣能見度的化學成分是硫酸鹽（32%~33%）和有機物（21%~22%），硝酸鹽反而較低（10%~11%）甚至低於 Rayleigh Scattering 的 14%，雖然硝酸鹽較低是因為在高溫環境會揮發成氣態，但這也表示若硝酸鹽能大幅減量，將有效改善各測站的大氣能見度。小港站各化學成分以及相關因子對大氣能見度的影響大致上與斗六和嘉義地區接近，硝酸鹽貢獻較大的占比，唯一的分歧是在 Q2，小港站 Q2 在 2017 年~2019 年還是以硫酸鹽為主（36%），到 2020 年~2022 年雖然硫酸鹽占比有下降（24%）但仍略高於硝酸鹽（22%），有機物在近六年都穩定在 14%~20%的區間，若要改善大氣能見度最有效方法的還是對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制。

從 IMPROVE 推估的  $b_{ext}$  結果來看，近六年推估的大氣  $b_{ext}$  降低，大氣能見度有逐漸提升的趨勢，且測站相同季度採樣日的變動範圍縮小，空間變化則由東部向北部往南部增加，季度之間差異在忠明站（含）以南的四個測站較大。影響大氣能見度的化學成分與相關因子在花蓮站以硫酸鹽和 Rayleigh Scattering 為主，板橋站則是有機物與硫酸鹽，忠明站以南的四個測站硝酸鹽（Q3 除外）影響大氣能見度最大，其次是硫酸鹽以及有機物。分析結果顯示，對硝酸鹽及其前驅污

污染源進行管制能有效改善中、南部的大氣能見度，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度影響較明顯，有機物近六年雖然對大氣能見度的影響持平，但仍需持續減量才能有更好的大氣能見度。

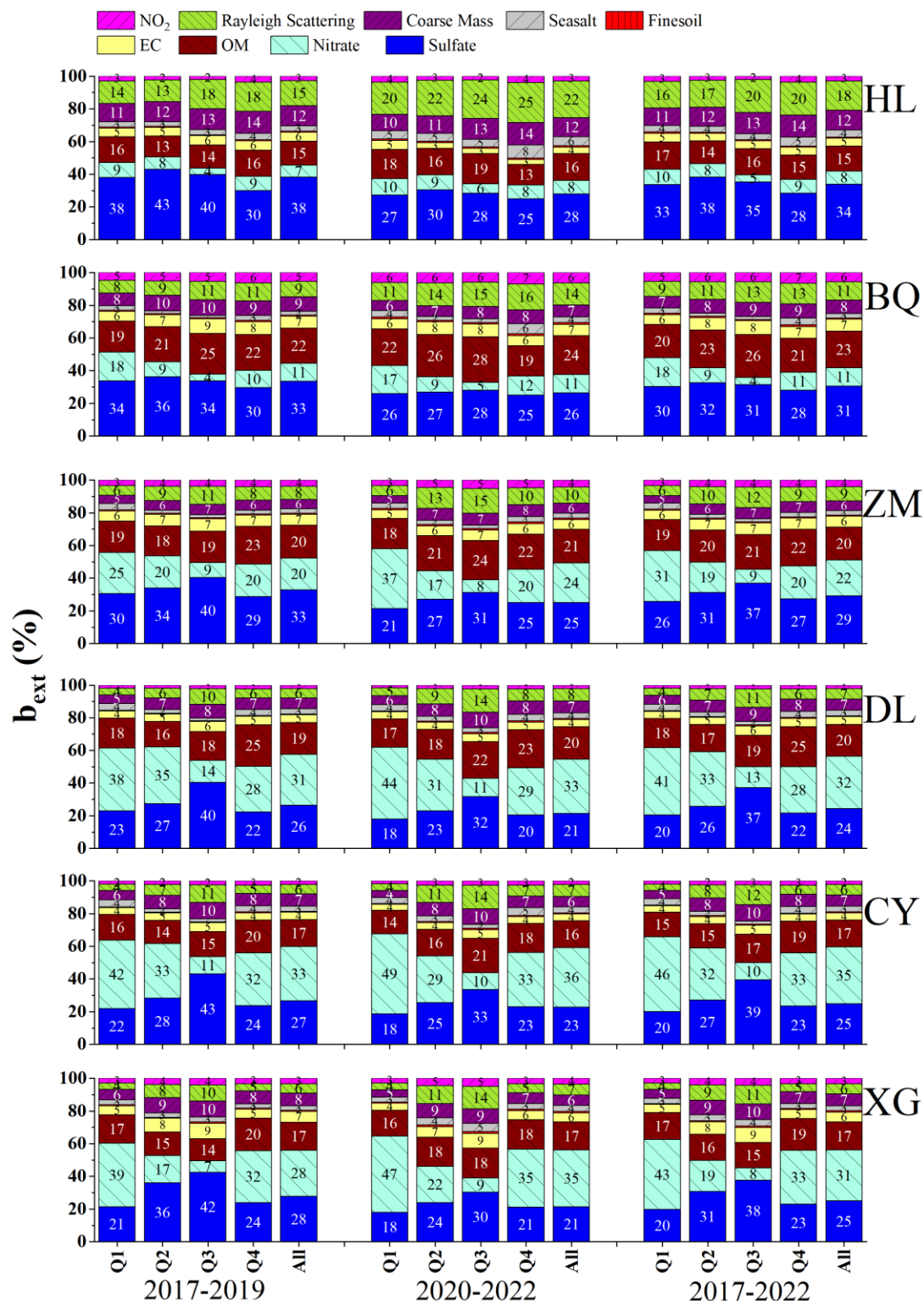


圖 4.2.16 以 IMPROVE 修正公式推估 2017-2022 年大氣消光係數與各影響因子貢獻占比 (%)

## 2. 多元迴歸分析能見度影響因子

本計畫使用多元迴歸分析的 Forward Stepwise Regression，篩選出對大氣能見度影響顯著的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及天氣因子，建立估算大氣能見度的多元迴歸模式。大氣能見度多元迴歸模式所篩選的 PM<sub>2.5</sub> 的化學成分包含：Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OC、EC，天氣因子包括：風速（WS）、環境溫度（T）、環境相對濕度（RH）。

六站多元迴歸推估（Estimated）和觀測（Observed）大氣能見度的關係呈現在圖 4.2.17、圖 4.2.18，將近六年分成 2017 年～2019 年和 2020 年～2022 年（2022 年數據分析到 11 月底）比較，發現除了斗六和嘉義站外，彼此間相關性都有下降，不過除了 2020 年～2022 年的花蓮和忠明站外，各測站 R<sup>2</sup> 都有 0.5 以上大致良好，2017 年～2019 年的小港站和 2020 年～2022 年的斗六和嘉義站較高（R<sup>2</sup>：0.73～0.77），最差的是 2020 年～2022 年的花蓮站（R<sup>2</sup>=0.26）。整體相關性下降的原因可能與近年大氣能見度變好有關，參考資料 10 顯示氣象局人工觀測目標物的距離，多數測站大氣能見度在 20 km 以下（板橋站 30 km 以下）有較多的目標物，但大於 20 km 的大氣能見度每個目標物大約間隔 5 km 以上；而且忠明和花蓮站目標物最遠距離只到 20 km 和 25 km，所以近年當大氣能見度大於 20 km 的採樣日增加時，會使觀測大氣能見度低估，斗六和嘉義站因為有最遠的目標物因此受到的影響較小，2020 年～2022 年隨著大氣能見度分布越廣，線性相關越好。嘉義、斗六和小港站的觀測和推估能見度的關係比起線性更接近對數或多項式相關（參考資料 10），在大氣能見度較高的時候斜率會趨緩；經不同方式去優化多元迴歸的結果，例如：加入高次方項自變數進行迴歸或以能見度 20 km 作為分界將低能見度跟高能見度分開進行迴歸，都沒辦法得到有物理意義或有效的改善，因此推測，大氣能見度 20 km 以上斜率趨緩的情況與上述的氣象局觀測目標物距離不夠和較遠目標物區間距離變大有關。

表 4.2.12 彙整各測站大氣能見度多元迴歸方程式，各項 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與天氣因子中影響大氣能見度較顯著的有 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OC、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、相對濕度（RH）和溫度（T）。花蓮站大氣能見度主要受 T、RH、Na<sup>+</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>影響。板橋站大氣能見度主要受 RH、T 還有硫酸鹽影響，雖然在近三年的迴歸方程式中出現 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>取代 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，可能與近年 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>減量明顯使 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>對大氣能見度的影響開始上升有關，但 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的影響還是存在，環境中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>主要是和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>結合，因此，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>



可代表  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  對大氣能見度共同的影響。忠明站與板橋站相同，近三年  $\text{NH}_4^+$  取代了  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ，另外，忠明站是六站中受溫度 (T) 影響較不明顯的測站，但仍然有受 RH 影響。斗六和嘉義站的大氣能見度主要受  $\text{SO}_4^{2-}$ 、OC、T 和 RH 影響，小港站在 2017 年～2019 年同樣有 OC、T 和 RH 的貢獻，不過近三年以 T 跟  $\text{NH}_4^+$  為主。各測站多元迴歸模式的推估大多有高的截距，這個數值和大氣能見度觀測平均值有關。

多元迴歸模式推估與 IMPROVE 修正方程式推估結果各有優勢，IMPROVE 推估法能提供各化學成分量化的貢獻，多元迴歸法的優勢在於提供篩選的化學成分和環境因子共同影響的量化參數。

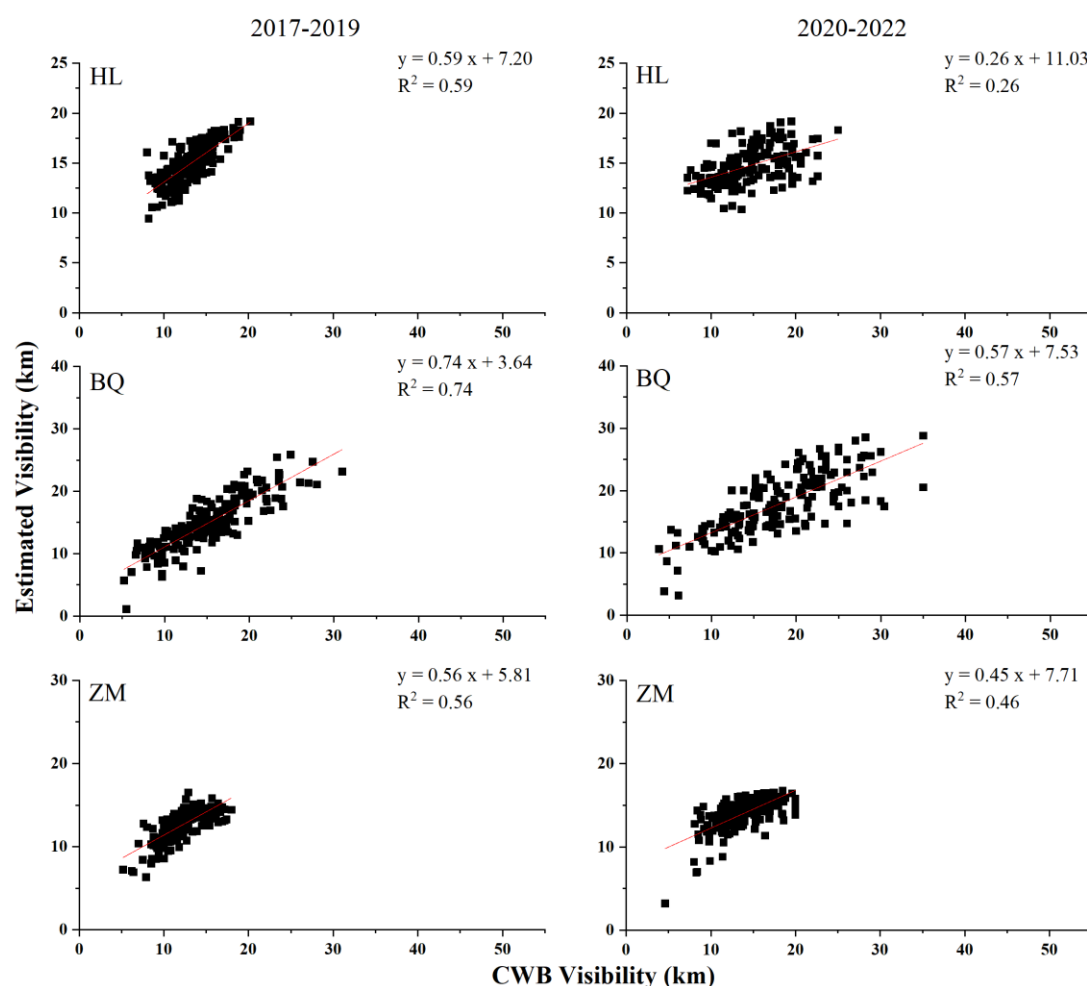


圖 4.2.17 花蓮、板橋、忠明站以迴歸方程式推估 (Estimated) 和觀測 (Observed) 能見度關係

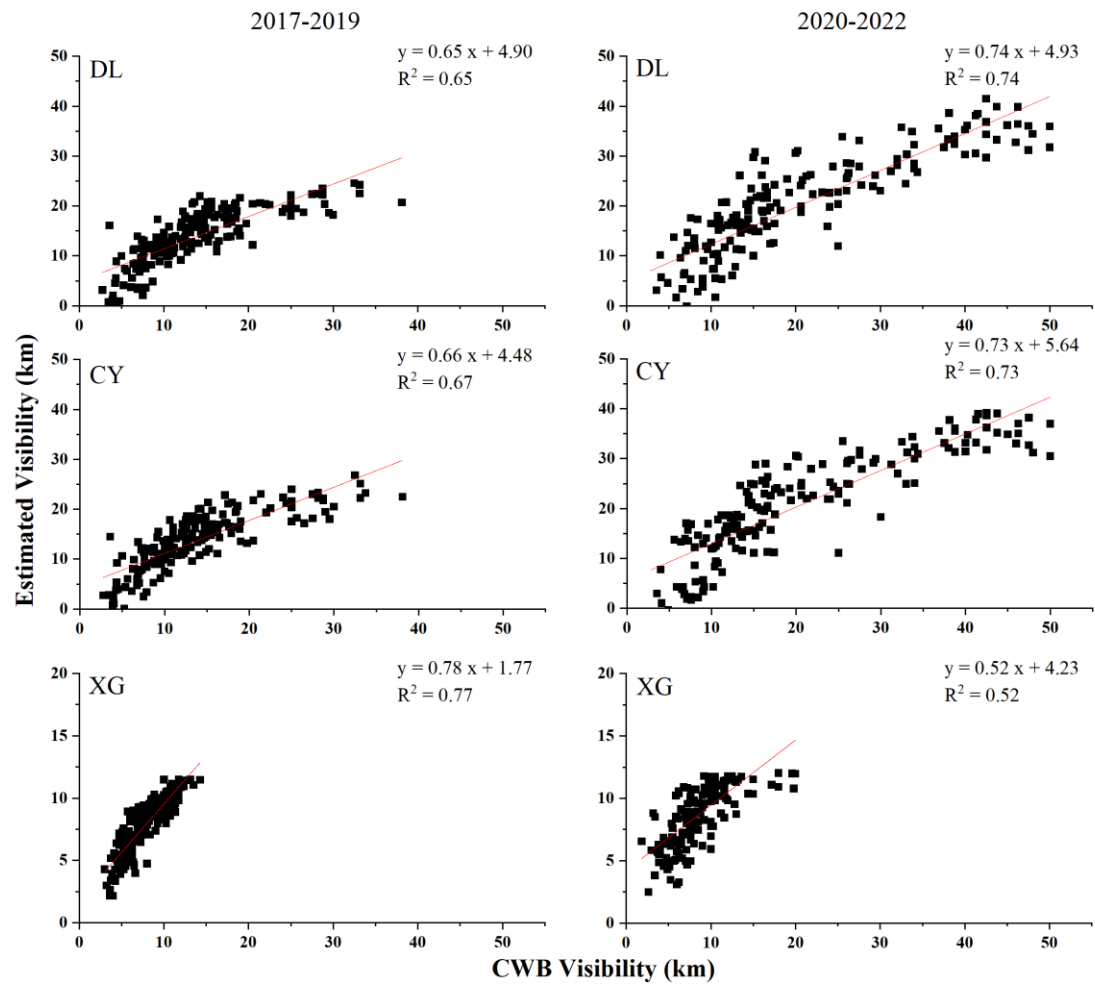


圖 4.2.18 斗六、嘉義、小港站以迴歸方程式推估 (Estimated) 和觀測 (Observed) 能見度關係

表 4.2.12 六站多元迴歸推估影響能見度因子方程式彙整

站名	數據取用	迴歸方程式	樣本數	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>
花蓮	2017-2019	Vis. = 25.54 + 0.26 T - 0.20 RH - 3.64 Na <sup>+</sup> - 0.34 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	183	0.59	0.58
	2020-2022/11	Vis. = 15.24 + 0.37 T - 0.10 RH - 5.22 Na <sup>+</sup> - 0.53 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	170	0.26	0.24
	2017-2022/11	Vis. = 16.30 + 0.31 T - 0.12 RH - 0.49 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	353	0.32	0.33
板橋	2017-2019	Vis. = 38.18 - 0.36 RH - 1.00 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.27 T	182	0.74	0.73
	2020-2022/11	Vis. = 43.00 - 0.40 RH - 2.63 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.28 T	171	0.57	0.56
	2017-2022/11	Vis. = 41.59 - 0.39 RH - 1.22 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.29 T	353	0.63	0.63
忠明	2017-2019	Vis. = 20.23 - 0.33 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.10 RH - 0.26 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.07 T	183	0.56	0.55
	2020-2022/11	Vis. = 20.64 - 1.35 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.06 RH	170	0.46	0.45
	2017-2022/11	Vis. = 20.89 - 1.16 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.08 RH	353	0.48	0.47
斗六	2017-2019	Vis. = 41.62 - 1.50 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.32 T - 0.36 RH - 0.53 OC - 8.27 Na <sup>+</sup>	183	0.65	0.64
	2020-2022/11	Vis. = 46.54 - 2.21 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 1.11 T - 0.52 RH - 1.78 OC	174	0.74	0.73
	2017-2022/11	Vis. = 44.70 - 1.79 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.78 T - 0.46 RH - 1.20 OC	357	0.64	0.64
嘉義	2017-2019	Vis. = 36.84 - 0.32 RH - 0.72 OC - 1.33 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.44 T	182	0.67	0.66
	2020-2022/11	Vis. = 40.28 - 0.32 RH - 2.10 OC - 2.05 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.77 T	172	0.73	0.73
	2017-2022/11	Vis. = 37.76 - 0.34 RH - 1.08 OC - 1.87 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.69 T	354	0.67	0.67
小港	2017-2019	Vis. = 17.54 - 0.62 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.10 RH - 0.37 OC + 0.07 T - 1.32 Na <sup>+</sup>	183	0.77	0.77
	2020-2022/11	Vis. = 4.88 - 0.85 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.23 T	174	0.52	0.52
	2017-2022/11	Vis. = 14.26 - 0.66 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.08 RH - 0.33 OC + 0.12 T	357	0.63	0.62

備註：

1. 使用 Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OC、EC、WS、T 及 RH 進行迴歸分析 (Forward Stepwise)
2. F to remove 選 2.7；F to enter 選 3.8。
3. 各測站迴歸式 F 檢定的 p < 0.005；各測項 p < 0.05

### 3. PM<sub>2.5</sub> 與能見度關係的科普宣傳

本計畫製作科普宣傳簡報說明 PM<sub>2.5</sub> 與大氣能見度的關聯，讓民眾更容易瞭解能見度不好時可能成因。繪製的圖卡上（圖 4.2.19 及圖 4.2.20）盡量以圖和圖上的文字解釋大氣中不同的相對濕度條件及不同 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度如何影響人眼所見的大氣能見度。當大氣能見度變差時，進入觀測者眼簾光線變少，目標物看起來模糊，觀測者對於同樣目標物需以手掌平放眼睛上面努力尋找。

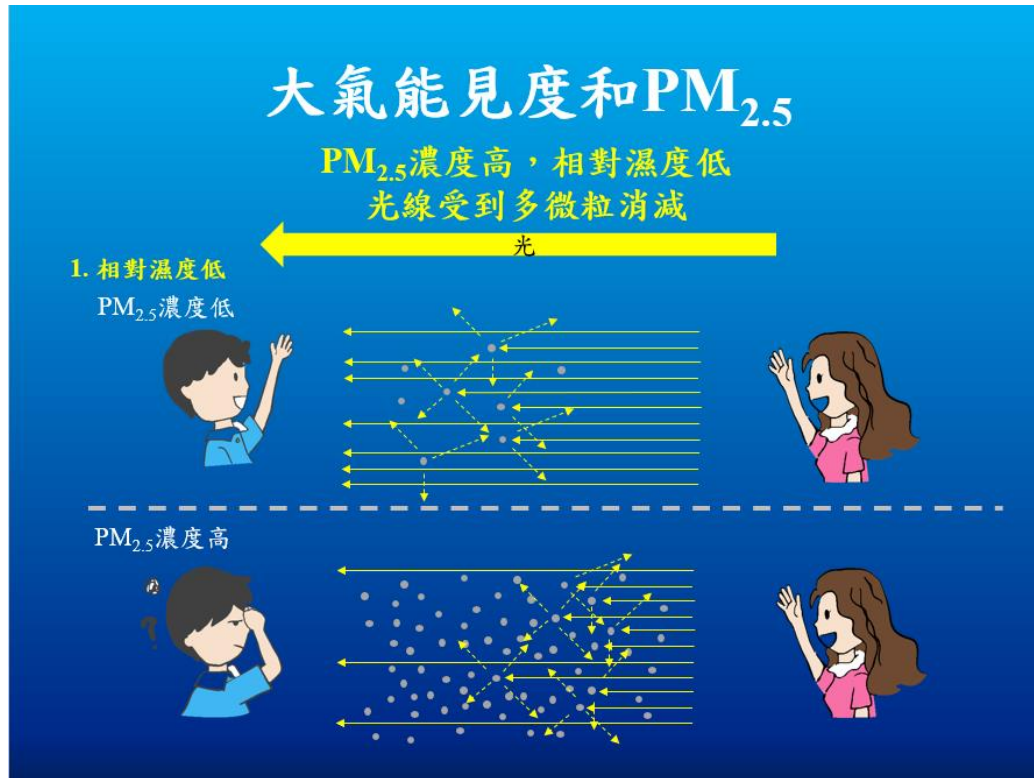


圖 4.2.19 科普宣傳示意圖（不同 PM<sub>2.5</sub> 濃度在低相對濕度的情況）

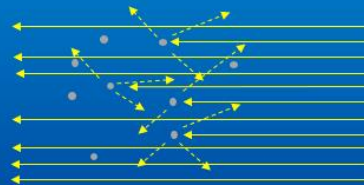
# 大氣能見度和PM<sub>2.5</sub>

PM<sub>2.5</sub>濃度相同，相對濕度高  
微粒吸水增大，光線受到增大微粒消滅



## 2. PM<sub>2.5</sub>濃度相同

相對濕度低



相對濕度高

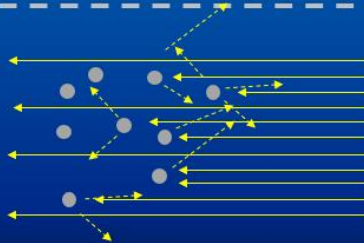


圖 4.2.20 科普宣傳示意圖（相同 PM<sub>2.5</sub> 濃度在不同相對濕度的情況）

## 4.2.6 專案分析

### 1. 2020～2021 年第一季度乾旱對空氣品質的影響

台灣在 2021 年 Q1 總降雨天數相對較其他年份同期少（參考附錄 11），若只統計本計畫有採樣的日子，2021 年 Q1 的總降雨量也略少於其他年同季度採樣日的雨量，代表大氣環境較為乾旱。本計畫想探討 2021 年 Q1 較乾旱的天氣對各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度和化學成分是否有影響？表 4.2.13 計算 2020 年到 2021 年 PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分的差異百分比，結果顯示除了各測站的 EC、小港站 PM<sub>2.5</sub>、（嘉義、小港、花蓮站）OC、小港站 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、忠明站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>外，其他化學成分濃度普遍都有上升的情況。考量 2021 年 Q1 較乾旱的影響，在扣除季節效應後，表 4.2.14 顯示 2021 較 2020 年 Q1 濃度增加比例，除了各測站 EC、忠明站、板橋和花蓮站 OC 外，其他測站 2021 年 Q1 濃度都明顯比 2020 年 Q1 高，特別是金屬元素在各站都出現 58%以上的增量，不過金屬元素濃度差異都在 0.5 μg m<sup>-3</sup> 以下。斗六、嘉義和小港站的 OC、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>相較於前一年高 13%以上，顯示乾旱對南部三個測站有較大的影響。

由於一個年度還有其他季度，本計畫發現 2021 年 Q2～Q4 的總量雨量以及總降雨天數與前一年的差異較小，PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分在 2021 年 Q2～Q4 可能濃度降低而補償 Q1 的較高濃度，比較 2021 年 Q2～Q4 和 2020 年 Q2～Q4 的主要化學成分濃度增量，表 4.2.15 所示，忠明、斗六及嘉義站的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>有非常接近的增量，範圍分別在 27%～34%、26%～29%以及 23%～34%，可能有相似的影響因子；但忠明站 2021 年 Q2～Q4 較 2020 年 Q2～Q4 高，小港站則是 2021 年 Q2～Q4 較 2020 年 Q2～Q4 低，可能會增高忠明站和降低小港站 2021 年平均濃度。

彙整上述成果，2021 年的 Q1 較乾旱的天氣對南部斗六、嘉義和小港站的 PM<sub>2.5</sub> 及主要化學成分濃度有較其他三站大的影響。

表 4.2.13 2021 年相較 2020 年 PM<sub>2.5</sub> 和化學成分濃度差異百分比

Yearly	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub>	4%	9%	12%	10%	-1%	3%
OC	5%	10%	3%	0%	1%	-7%
EC	-31%	-23%	-28%	-28%	-22%	-43%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13%	17%	30%	26%	7%	19%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	10%	6%	22%	20%	0%	7%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25%	0%	27%	20%	4%	16%
Metal	40%	59%	44%	46%	25%	27%
Others	-6%	12%	-1%	-1%	-10%	1%

備註：差異百分比計算公式為 (2021-2020)/2020

表 4.2.14 2021 年 Q1 相較 2020 年 Q1 濃度增加比例(正值表示 2021 年高於 2020 年濃度)

Q1	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub>	1%	-6%	12%	12%	19%	0%
OC	-9%	4%	17%	14%	27%	-9%
EC	-39%	-28%	-30%	-24%	-11%	-37%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13%	-6%	21%	24%	29%	12%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6%	-19%	13%	13%	21%	11%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23%	-16%	22%	17%	36%	43%
Metal	70%	63%	74%	72%	58%	75%
Others	-5%	4%	1%	1%	-3%	-7%

備註：差異百分比計算公式為 (2021 Q1-2020 Q1)/2020 Q1

表 4.2.15 Q2~Q4 的 2021 相較 2020 濃度增加比例(正值表示 2021 年高於 2020 年濃度)

Q2~Q4	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub>	5%	19%	11%	8%	-13%	4%
OC	12%	13%	-4%	-6%	-11%	-6%
EC	-27%	-20%	-27%	-30%	-27%	-47%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13%	30%	34%	27%	-2%	21%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	12%	29%	29%	26%	-13%	5%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26%	24%	34%	23%	-20%	5%
Metal	27%	56%	29%	32%	12%	8%
Others	-6%	16%	-2%	-2%	-14%	4%

備註：差異百分比計算公式為 (2021 (Q2~Q4)-2020 (Q2~Q4))/2020 (Q2~Q4)

## 2.都會區與非都會區測站差異分析

本計畫進行採樣的測站多在臺灣西部都會區中，只有花蓮站位在東部且  $PM_{2.5}$  及主要化學成分是六站中濃度最低，可視為本計畫非都會區測站。本計畫在 110 年度期末報告 4.2.4 節的圖 4.2.13 分析 2017~2020 年六個測站與環保署各空氣品質監測站  $PM_{2.5}$  質量濃度於相同採樣日的濃度差異 CD 值與濃度相關  $R^2$  值，其中 CD 值小於 0.3 且  $R^2$  大於 0.49，代表比較的兩個測站有較高的空間相似度。結果顯示非都會區的花蓮站除了與東部的宜蘭以及台東站有比較好的空間相似度外，與北、中、南部各測站的空間相似度都非常低，本計畫執行例行性  $PM_{2.5}$  採樣的臺灣西部五個測站分別可以代表北部、中部、斗嘉以及南部都會區的  $PM_{2.5}$  污染狀況。圖 4.2.21 為六個測站彼此間  $PM_{2.5}$  以及主要化學成分的 CD 及  $R^2$  值分布，灰色區域代表兩站空間相似度佳區域，非都會區的花蓮站  $PM_{2.5}$  及主要化學成分濃度與其他都會區測站的空間相似度都非常差，北部都會區的板橋站與中部及以南的都會區空間相似度也不佳， $PM_{2.5}$ 、 $SO_4^{2-}$  和 OC 在中部及以南的都會區都有較好的空間相似度，表示它們的污染源是地理範圍分布較廣的區域性污染； $NO_3^-$  在各都會區測站彼此間的相似度不太好，代表  $NO_3^-$  可能受在地影響較大。表 4.2.16 將非都會區的花蓮站與其他都會區的五個測站  $PM_{2.5}$  及化學成分濃度平均值使用統計 t-檢定進行兩兩項目差異顯著性分析，表格中 p-value 小於 0.05 代表非都會區的花蓮站和其他都會測站兩個比較項目平均值之間具有顯著性差異。如表所示，花蓮站除了來自海水飛沫的  $Na^+$  和  $Mg^{2+}$  與板橋、忠明及斗六站沒有顯著性差異外，大多數化學成分都有顯著性差異，特別是嘉義和小港站全部化學成分都和花蓮站有顯著性差異。

彙整以上結果，台灣東部空氣品質較佳，各項污染物濃度都較低，加上中央山脈的阻隔，環境氣象條件也有所不同，所以不論在空間相似度還是污染物平均濃度，和西部各測站都有顯著性差異。西部的北、中、斗嘉、南部都會區又以斗嘉和南部測站污染特性較相似，北部測站在某些化學成分的污染狀況較接近中部。 $PM_{2.5}$ 、 $SO_4^{2-}$  和 OC 在斗六、嘉義、小港站有不錯的空間相似度，可能受區域性的污染影響； $NO_3^-$  在各都會區間測站的空間相似度較低，應以受在地污染影響為主。



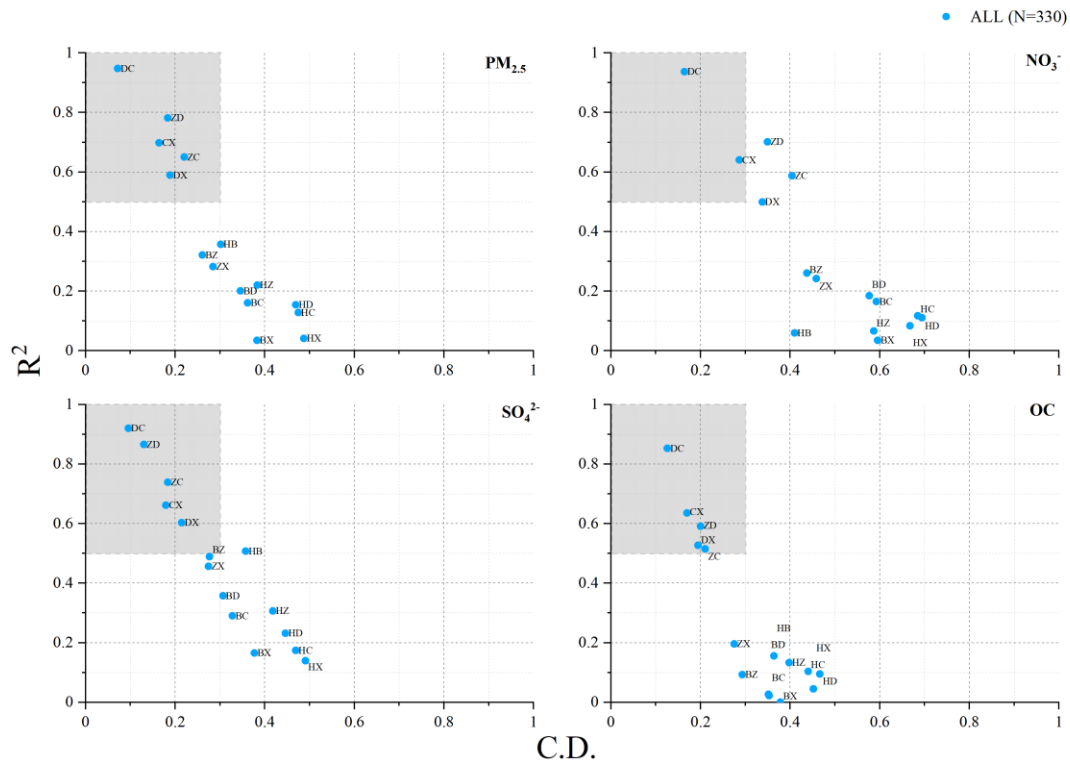


圖 4.2.21 各測站  $PM_{2.5}$  濃度與主要化學成分 CD 及  $R^2$  值分布（2017 年 1 月至 2022 年 11 月）

表 4.2.16 花蓮站（非都會區）與其他五個測站（都會區） $PM_{2.5}$  及化學成分濃度平均值差異顯著性分析（2017 年 1 月至 2022 年 11 月）。

t 檢定	花蓮				
p-value	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港
$PM_{2.5}$	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
$Na^+$	<b>0.43</b>	<b>0.68</b>	<b>0.64</b>	< 0.05	< 0.05
$NH_4^+$	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
$K^+$	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
$Mg^{2+}$	<b>0.11</b>	<b>0.14</b>	<b>0.17</b>	< 0.05	< 0.05
$Ca^{2+}$	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Cl <sup>-</sup>	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
$NO_3^-$	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
$SO_4^{2-}$	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
OC	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
EC	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Metal	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

\*p-value 小於 0.05 代表兩測站比較項目平均值具有顯著性的差異

## 4.2.7 分析結果提供污染源管制策略評估建議

本計畫按照期程完成本年度預定六個測站例行性採樣及實驗分析作業，各章節成果包含分析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分時空分布、污染源指標成分趨勢變化及污染情境成分特徵等項目，彙整如表 4.2.17 所示。

表 4.2.17 彙整分析結果對於 PM<sub>2.5</sub> 污染源管制策略評估與建議

建議項目	來源章節	內容概述	管制建議
污染管制方向	例行性化學成分檢測	2022 年發生 PM <sub>2.5</sub> 高濃度事件 (PM <sub>2.5</sub> ≥ 35 μg m <sup>-3</sup> ) 日數和金屬元素總和最高前三站都是位在南部。	各測站都應持續強化硝酸鹽前驅污染源控制，各地工業中小型鍋爐低矮煙囪及移動污染源所排放氮氧化物都可能因長時間滯留於環境中，演化為硝酸鹽。另一方面，針對特定空間管制建議，北部板橋站至忠明站有生質燃燒、車輛尾氣衍生或非尾氣排放、工業鍋爐等多項污染特徵，斗六以南區域則建議加強露天農廢燃燒稽查，以及人為活動產生的 Cl <sup>-</sup> 來源稽查。
	PM <sub>2.5</sub> 質量濃度與主要化學成分時間及空間變化	若要針對 Q1 和 Q4 的高濃度進行有效的改善，對 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 及前趨污染源的管制非常重要；OC 和 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 的減量則是對各季度都有穩定降低 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度效果。 各測站 2022 年相較 2017 年的 EC 削減比例最高，其次為 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 和 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ，OC 削減比例最低，這指出後續可以努力減量的前驅污染源。	伴隨能源轉型政策進行，燃油與燃煤鍋爐逐漸汰換為天然氣鍋爐，因此，環境中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 是否伴隨能源政策轉變而增量，是後續觀測重點。
	例行性化學成分檢測	2022 年小港、嘉義、斗六三站濃度相對高的金屬元素多屬於燃煤、鋼鐵業以及車輛排放貢獻特徵。	彙整整理各地較具效益管制標的分述如下。 東部：移動污染源與鄰近區域的 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 前驅污染。 北部：移動污染源及西南方零星的工業鍋爐。 中部：燃煤鍋爐、金屬工業 雲嘉：生質燃燒與化工產業 南部：金屬工業製程與鍋爐
	PM <sub>2.5</sub> 質量濃度與主要成分時間及空間變化	六年來致癌性金屬元素 Pb 與 Cd 在中部至雲林地區污染來源相似度高，As 則從中部至嘉義，甚至可遠達高雄地區間的污染來源具有高相似度，在高相似度區域內污染管制策略可以相近。金屬元素 Cr 六年來都呈現在地污染特徵，管制策略以因地制宜較具有效益。 2017 年至 2021 年各站污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 有最高濃度主要受到「硝酸鹽」的貢獻，代表 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 以及前驅污染物的管制非常重要；「硫酸鹽」和「車輛排放」季度間差異相對小，說明對 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 和 OC 進行管制，對四季度的濃度都有穩定降低 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度的效果。	
區域污染管制建議			

建議項目	來源章節	內容概述	管制建議
高污染管制建議	例行性化學成分檢測	PM <sub>2.5</sub> 高濃度季度，在中、南部各站持續觀測到高濃度 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ，顯示前驅污染源 NO <sub>x</sub> 管制的重要性。	為有效減少各地高 PM <sub>2.5</sub> 濃度日，燃料鍋爐仍是目前最佳管制標的。 持續加強 NO <sub>x</sub> 與 VOC 逸散排放管制。
區域能見度改善	PM <sub>2.5</sub> 質量濃度與主要成分時間及空間變化	對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制能有效改善中、南部的大氣能見度，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度影響較明顯。	對於區域能見度改善建議： 東部及北部減少區域固定污染源排放。 中部及以南各地加強氮氧化物排放管制。
其他建議	專案分析	六個測站的 PM <sub>2.5</sub> 及主要化學成分濃度在 2021 年 Q1 受乾旱影響較大的為南部的斗六、嘉義和小港站，OC、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 及 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 相較於 2020 年 Q1 高 13% 以上。	當進入乾早年，各污染物濃度都有提升的情形，可考慮污染源排放減量的預防措施以減少高濃度事件的發生。

## 4.2.8 各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術

### 1. PM<sub>2.5</sub> 高濃度占比成分特徵及生成機制

氣膠含水量是目前大多數 PM<sub>2.5</sub> 量測方法中容易被低估的部分，然而，氣膠含水量除了影響能見度外，還會影響二次無機氣膠生成。Zhang et al. (2021) 研究西安冬季（2015 年 1 月 9 日至 1 月 17 日）二次無機氣膠 (secondary inorganic aerosols, SIA) 生成受氣膠含水量的影響，採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 總質量濃度平均為 250  $\mu\text{g m}^{-3}$  比台灣高非常多，其中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$  分別占 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度的 19.0%、15.8% 和 13.2%。研究中使用 nitrogen oxidation ratio (NOR)、sulfur oxidation ratio (SOR) 以及 ammonium conversion ratio (NHR) 來評估 SIA 的生成與轉換率，數值越接近 1 則代表有更多的前驅氣體 ( $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ ) 形成 SIA，結果顯示 SOR 與 NOR 都和氣膠含水量有不錯的線性相關， $R^2$  分別是 0.81 和 0.55，NHR 則與 AWC 呈現對數相關 ( $R^2 = 0.65$ )，代表氣膠含水量有助於 SIA 的增加，特別是硫酸鹽。硫酸銨與硝酸銨為常見吸濕性較強的鹽類，在高相對濕度的環境容易吸濕潮解增加氣膠含水量，根據本研究，氣膠含水量又同時會增加 SIA 的生成，當進入這樣的循環會使 PM<sub>2.5</sub> 明顯上升；相反的，若能對  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{NH}_3$  等前驅氣體進行管制，PM<sub>2.5</sub> 減量除了衍化生成的濃度，還有連帶的氣膠含水量。

PM<sub>2.5</sub> 水溶性無機離子占了很大的部分，其中又以  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  為主，這些成分的生成與傳輸與天氣因子有很大關係。Zang et al. (2021) 分析大陸武漢 2015 年 1 月至 2018 年 12 月水溶性離子數據，發現所有的離子成分都有顯著的季節變化，在霧霾事件期間  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  等 SIA 濃度都大量增加，特別是  $\text{NO}_3^-$  增加最多。SIA 生成主要與擴散條件差（風速  $< 3 \text{ m s}^{-1}$ ）以及低溫高濕（ $T < 15^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} > 60\%$ ）的環境有關。除了在地污染外， $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  主要從西南西方傳輸來； $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  則是從西北方的塵土和生質燃燒等相關污染源傳來。作者認為  $\text{SO}_4^{2-}$  的生成來自兩個途徑，環境溫度大於  $30^\circ\text{C}$  時主要透過光化學氧化形成。低溫高濕（ $T < 15^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} > 80\%$ ）的環境  $\text{SO}_2$  經由水相氧化形成，同樣環境也適合  $\text{NO}_2$  水相反應形成  $\text{NO}_3^-$ 。研究結果建議管制二次污染物的前驅氣體以降低二次氣膠的生成。

在高 PM<sub>2.5</sub> 濃度事件中，SIAs 貢獻不小比例，Ma et al. (2021) 使用大陸北京的寶聯測站 2019 年 1 月 15 日至 3 月 6 日的 PM<sub>2.5</sub> 及氣體污染物（ $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、

O<sub>3</sub>) 量測數據，分析臭氧和環境相對濕度 (relative humidity, RH) 對 SIAs 形成的影響。結果顯示在霧霾事件發生前 NOR 以及 SOR 為 0.08 和 0.17，當霧霾事件發生後兩者分別上升到 0.23 和 0.37，代表 SIAs 在霧霾事件中明顯增加。其中，SOR 在 RH 低於 40 %時，受 O<sub>3</sub> 影響較明顯；但在 RH 大於 40%時，則與 RH 較有關連。NOR 則不論在哪個時段，都會受到 RH 和 O<sub>3</sub> 變化的影響。因此，當物霾發生前期 RH 較低時 SIAs 的形成是氣相反應主導，當物霾事件進入 RH 逐漸上升的階段，水相異質反應同時隨著上升。總結來說，不同的環境條件下，SIAs 的生成途徑不同，O<sub>3</sub> 對 SIAs 的形成，在低 RH 的環境仍有很大貢獻。

Park et al. (2022) 在韓國的瑞山測站以及牙山測站於 2020 年 4 月 24 日至 5 月 27 日 (春季) 以及 10 月 6 日至 11 月 9 日 (秋季) 進行採樣，除了探討 PM<sub>2.5</sub> 的氣膠化學成分以及二次氣膠形成條件，比較特別的是嘗試找出能提升鐵 (Fe) 溶解度的氣膠微粒。研究結果顯示這兩個地區的 OC 在春季主要由交通排放源貢獻，秋季則是受交通和生質燃燒影響。當環境處於低溫高濕有助於 SIA 形成而導致春、秋兩季的高濃度事件；春季污染事件中的強光化學反應也是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>可能的形成途徑。Fe 的溶解度在污染事件中明顯上升，並且 Fe 與 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/Fe 有非常好的相關性，代表二次酸性氣膠有助於提升 Fe 的溶解度。

表 4.2.18 PM<sub>2.5</sub> 高濃度占比成分特徵及生成機制

地點與結果	內涵	作者
本研究在 2015 年 1 月 9 日至 1 月 17 日(冬季)於大陸西安進行採樣，結果顯示 SOR、NOR 與氣膠含水量有良好的線性相關性，NHR 則是對數相關。對 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 以及 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 進行多元迴歸分析，顯示溫度和相對濕度對三者都有正向貢獻，但由於冬季氣溫較低，所以 RH 還是貢獻較大的參數。	硫酸銨、硝酸銨都是環境中常見氣膠吸濕性很好的成分，當相對濕度上升導致氣膠潮解含水量上升，會加強 NO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 和 NH <sub>3</sub> 等前驅氣體形成 SIA。由於無法控制環境 RH，所以若能有效控制前驅氣體的排放，對 SIA 減量會有顯著的幫助，進而降低 PM <sub>2.5</sub> 濃度和連帶的含水量。	Zhang et al. (2021)
本研究分析大陸武漢 2015 年 1 月至 2018 年 12 月的水溶性無機離子數數據。結果顯示離子成分有明顯的季節變化，在霧霾事件中 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 等二次無機離子濃度都有顯著升高，應受到 NO <sub>x</sub> 等前驅氣體貢獻。二次氣膠主要在環境擴散差 (風速 < 3 m s <sup>-1</sup> ) 以及低溫高濕 (T < 15 °C, RH > 60%) 的情況有關。若要有效控制細懸浮微粒，必須管制前驅氣體，特別是 NO <sub>x</sub> 。	在污染事件中，二次氣膠的占了很大比例，特別是在環境有利於二次氣膠生成的情況下 (例：低溫高濕)。然而，從提升空氣品質的角度來看，天氣因子無法控制、外地傳輸的污染也無法掌握，唯一能改善的就是減少前驅氣體的排放，才能達到降低污染物濃度的效果，如果還無法有效減量，至少可以預期甚麼樣的環境下，空氣品質會特別差並提出預警。	Zang et al. (2021)

地點與結果	內涵	作者
本研究分析大陸北京寶聯測站 2019 年 1 月 15 日至 3 月 6 日的 PM <sub>2.5</sub> 及氣體污染物 (NO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> ) 量測數據。結果顯示物霾事件前期 RH 較低的情況下，SOR 對 O <sub>3</sub> 較敏感，當 RH 高於 40%，SOR 則受 RH 影響較明顯。NOR 則整個期間都受 O <sub>3</sub> 和 RH 影響。	在霧霾事件中，不同環境會影響 SIA <sub>s</sub> 的生成途徑。在 RH < 40% 時，SIA <sub>s</sub> 的形成以氣相反應為主，同時硫酸鹽的生成效率較高；RH > 40% 時則以水相的異質反應為主，此時硫酸鹽的生成效率較硝酸鹽高。在眾多污染物受到管制而減少的過程中，O <sub>3</sub> 的減量相對不明顯；然而，O <sub>3</sub> 對 SIA <sub>s</sub> 生成的影響仍不能忽略，應納入管制策略當中。	Ma et al. (2021)
本研究於 2020 年 4 月 24 日至 5 月 27 日 (春季) 以及 10 月 6 日至 11 月 9 日 (秋季) 在韓國的瑞山測站以及牙山測站進行採樣，結果顯示春季與冬季 OC 都受到交通污染源影響，生質燃燒則發生在秋季。此外，在污染事件中 Fe 的溶解度明顯比其他沒污染的日子高，並且與 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/Fe 有非常好的相關性，說明二次酸性氣膠有助於 Fe 溶解度提升。	透過這個研究可以瞭解 SIA <sub>s</sub> 有助於 Fe 溶解，工業排放的 Fe 就有可能被吸入呼吸道對人體造成影響，因此，雖然量不多，但仍值得進一步研究。	Park et al. (2022)

## 2. 受體模式應用技術

PM<sub>2.5</sub> 來自多個污染源，具有複雜的化學成分以及物理特性，然而，透過不同分析方法可以整合出有用的資訊。Zhang et al. (2021) 於 2017 年 3 月至 2018 年 2 月在日本郊區的北九州市立大學進行採樣，使用 Positive matrix factorization (PMF) 受體模式分析可能的污染源、使用 HYSPLIT 逆推軌跡模式結合聚類分析探討長程傳輸的影響、使用熱力學模式 (ISORROPIA II, E-AIM) 分析氣膠酸鹼度以及含水量、配合 NOR 及 SOR 評估氣膠含水量對二次氣膠形成的影響、多元迴歸分析評估二次硫酸鹽及硝酸鹽的影響因子。結果顯示郊區可能的污染源包含工業燃燒和船舶排放 (26%)、二次硫酸鹽 (23%)、二次硝酸鹽和生質燃燒 (22%) 海洋氣膠 (19%) 與沙塵 (10%)，主要的高濃度事件來自在地污染源以及從亞洲大陸來的境外傳輸影響。二次氣膠形成則受到 O<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、HNO<sub>3</sub>、HCl、溫度和 RH 影響，氣膠含水量則是重要的介質。

Juda-Rezler et al. (2020) 為波蘭首次執行完整年度的 PM<sub>2.5</sub> 觀測任務，分析華沙地區 PM<sub>2.5</sub> 的水溶性無機離子、碳成分與 21 項金屬元素。觀測結果指出，年平均值約為 18.8 μg m<sup>-3</sup>，以夏季的 11.5 μg m<sup>-3</sup> 最低，冬天平均濃度 27.5 μg m<sup>-3</sup> 是濃度最高季節，期間日平均值更可達到 80 μg m<sup>-3</sup> 以上。另外指出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 與二次有機碳 (SOC) 受季節影響最大，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 則受季節影響最小。透過受體模式分析污染因子，並納入所推估的一次及二次有機碳協助判別因子特性，最後共分析六項污染

因子，分別是生活燃燒、車輛廢氣、車輛非廢氣、建築揚塵、高溫燃燒製程與鋼鐵製程。分析當地化學成分特徵還發現 SOC、Cl 與 As 是當地的生活燃燒污染指標， $\text{NH}_4^+$ 、Sb 及 POC 為移動污染源指標，Ca 及 Mg 受建築活動影響， $\text{SO}_4^{2-}$  則與長程傳輸有關。Manousakas et al. (2021) 為評估希臘雅典都市區域中，背景站與交通站所獲取相同污染源因子間差異。透過受體模式於前述兩地區解析出八項污染源因子，相同污染源因子有七項，分別是沙塵、非廢氣排放（類似零件逸散）、車輛尾氣、重油燃燒、硫酸鹽與有機物、海鹽、生質燃燒。另外，交通站與背景站分別特有的因子是硝酸鹽及老化海鹽。研究以兩種統計方式評估污染源因子間相似度，分別為相關係數（Pearson Correlation, PC）以及標準化特徵差異（Standardized Identity Distance, SID），並以高 PC 值與低 SID 值為高相似度污染源因子。結果顯示，六項中度至高度相關性的污染源因子中有部分因子 SID 值超出閾值，其中生質燃燒最為明顯。此結果顯示應用相關係數評估污染源因子相似度時常見的問題，相關係數易受到少數高濃度成分影響而失真，而 SID 值則可平衡各別成分權重以進行評估。因此，相較於應用單一工具作為相似度評估，兩項工具的結合更有助於避免結果失真。

應用多變數擴增的受體模式，有助於增加對於二次污染來源及機制的了解。Liao et al. (2021) 在台灣中部鄉村執行氣膠觀測計畫，透過自動監測技術以提升受體模式（PMF）準確度。最終推估出八項污染因子，包含：燃油燃燒、燃煤燃燒、二次氣膠相關、二次硝酸鹽、生質燃燒、工業/車輛、揚塵及二次有機物。其中，二次有機物占推估濃度 24% 是主要污染源因子，第二與第三高因子則是生質燃燒（19%）與二次硝酸鹽（18%）。研究指出，屬於二次生成的污染源因子約占 55% 氣膠質量，從增強模式發現，光化學作用、揮發性有機物的液相氧化以及來自都市的二次硝酸鹽傳輸作用都是潛在的生成機制。

PM<sub>2.5</sub> 污染源解析技術是透過分解大氣環境污染源的變數以獲取污染因子，然而氣象條件的變化也可能造成污染排放率變化以外的影響。其中，受體模式-正矩陣因子法就可能因為缺少前述資訊而造成影響。Dai et al. (2020) 將通風係數 (ventilation coefficient) 結合受體模式，建立分散標準化受體模式 (Dispersion Normalized PMF, DN-PMF)。觀測計畫於 Covid-19 疫情爆發前開始至疫情出現後，透過自動監測儀器獲取 PM<sub>2.5</sub> 成分逐時監測資料。研究透過 DN-PMF 進行污染源解析，發現這個方式可銳化日間的燃煤燃燒與尖峰時段交通排放峰值，同時降低，

揚塵、廢棄物燃燒與老化海鹽的影響。在疫情期間 SIA 占比 50.5% 成為主要污染因子。此外，交通排放在這個期間驟降 70%，是減量最多的污染因子。

受體模式廣泛用於探討大氣微粒來源，輸出結果可用於污染管制策略訂定以改善空氣品質，也時常用於探討污染源對於健康風險的影響。另一方面，世界衛生組織(WHO)針對 2014 年 8 月以前所發表的污染源推估研究，由 Karagulian 等人進行彙編，近期的報告已更新至 2019 年 12 月，並且包含了以微粒重金屬、碳成分以及水可溶成分的推估成果。Hopke et al. (2020) 提出未來污染源推估工作的發展及相關觀點，同時對於研究發表提出建議，使相關成果的使用者獲取必要的訊息，有利於應用成果在政策設計或是科學研究。

Souto-Oliveria et al. (2021) 2013 年冬季在巴西聖保羅大學的屋頂進行採樣，使用 PMF 結合 Multi-Isotopic Fingerprints (MIF) 分析可能的污染來源，MIF 主要是利用同位素作為污染源特徵指標，配合 PMF 解析出的污染因子能更準確的判斷污染來源，兩個方法的交叉比對，有助於提升 PMF 污染因子內高占比成分確立污染源特徵，同時也對確立污染源的 isotopes 與成分特徵有很大的幫助。Oduber et al. (2021) 在西班牙里昂大學進行為期一年的 PM<sub>10</sub> 採樣，時間是 2016 年 3 月 9 日至 2017 年 3 月 14 日，並結合 PMF 與天氣型態進行分析，結果顯示交通以及二次氣膠污染因子在混合熱氣旋天氣型態有較多的 PM<sub>10</sub> 貢獻；高壓型態影響下有高的二次氣膠、老化海鹽以及沙塵污染因子出現，接著，把 PMF 解析的污染因子結合天氣型態做多元迴歸分析，求得的多元迴歸方程式可以應用在污染量化預測上。

Kumar et al. (2022) 嘗試使用機器學習 (Machine Learning, ML) 搭配 k-means clustering (kMC) 以及 spectral clustering (SC) 兩個分析分法，分析印度 Cincinnati Childhood Allergy and Air Pollution Study (CCAAPS) 11 個測站的採樣數據並解析污染來源，輸入的資料有碳成分以及金屬元素，碳成分則使用 NIOSH 的溫度分階協定區分成兩大類 (OC、EC) 進一步細分八小類 (OC 有 5 類；EC 有 3 類)。結果顯示使用 ML 應用 SC 演算法的結果較佳，可以解析出 6~7 個因子，有燃燒、二次硫酸鹽、植物/木頭燃燒、柴油車、汽油車、塵土、交通以及金屬製程，並且與 PMF 分析出來的結果相似。此研究提供 ML 搭配 SC 作為受體模式的可能性，未來可以有更多的應用。



Saraga et al. (2021) 在 2017 年的冬季和夏季於歐洲希臘的雅典和賽薩洛尼基、捷克的布爾諾、斯洛維尼亞的盧布爾雅那以及西班牙的馬德里五個城市進行採樣，每個測站都有 60 個  $\text{PM}_{2.5}$  樣本，測站類型分成交通、都市背景以及郊區，分析的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分有碳成分、水溶性無機離子、PAHs 和重金屬。將上述大氣成分輸入 PMF 後推估出 8 個污染因子，分別命名為交通排放、交通非排放、生質燃燒、燃油燃燒、塵土、海鹽、二次硫酸鹽、二次氣膠。交通排放與交通非排放統稱交通相關污染源，其中，交通排放因子以 OC 和 EC 為主，OC/EC 介於 1.1-15.3 之間，郊區站比交通站有更高的比值可能是因為距離交通排放源較遠，有較高的 SOC 所導致；交通非排放因子主要成分為來自車輛零件耗損、輪胎以及道路揚塵等的無機離子以及金屬元素。燃油燃燒因子受到煉油廠活動及工業排放影響，主要成分有 OC、EC、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、K、 $\text{K}^+$ ，部分測站出現 Ni、V、Cu、Zn、Pb，在薩賽洛尼基的交通與都市背景站可能還受到船舶排放影響。生質燃燒因子除了與交通排放相同有較高的 OC 和 EC 占比外， $\text{K}^+$  也有較高占比，PAHs 雖然占 PM 的質量濃度較低，仍然是重要的指標。二次硫酸鹽以及二次氣膠兩個因子統稱為二次氣膠，二次硫酸鹽因子主要是硫酸鹽和有機物，通常與區域性的污染、長程傳輸以及老化氣膠有關；二次氣膠因子則是硫酸鹽以及富含硝酸鹽，可能來自鄰近的工業或是農業排放。塵土因子有較高的 Ca、Al、Fe，海鹽因子則是  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Na}^+$ 。整體分析結果顯示，交通相關污染源以及生質燃燒貢獻主要的  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度，前者在交通、都市背景、郊區站分別占  $\text{PM}_{2.5}$  的 25.9%、26.8% 以及 14.9%，後者的占比分別是 22%、30% 以及 28%。更進一步結合風速風向分析可以看到，交通、生質燃燒、燃油以及海鹽因子與風向有顯著的關連，相反的，二次氣膠和塵土因子則可能由在地污染源貢獻。

Groma et al. (2022) 在 2020 年 1 月 15 至 26 日匈牙利的布達佩斯進行採樣，採樣站設置在一樓離市中心主要交通幹道較近的位置，除了  $\text{PM}_{2.5}$  及化學成分的採樣，還有粒徑分布與黑碳 (BC) 的量測，最後將量測數據輸入 PMF 模式以及肺部沉降模式 Stochastic Lung Model (SLM) 分析可能的污染來源以及評估對人體健康的影響。這篇研究有別於一般將  $\text{PM}_{2.5}$  及主要化學成分輸入 PMF 進行污染源解析，還將粒徑分布加入一起模擬得到六個不同粒徑分布的污染因子，再透過化學成分指紋將污染因子命名為六個污染源，粒徑分布的峰值由小到大依序是二次交通、新鮮交通、生質燃燒、二次硫酸鹽、二次硝酸鹽和都市背景，配合 SLM

的分析結果顯示，所有污染因子的超細微粒大量沉降在肺的腺泡附近，其中又以車輛排放（二次交通和新鮮交通）的相關污染因子最顯著。本篇研究提到，接近50%的細與超細粒徑的氣膠來自於燃燒源，若是要進行常見的都市戶外活動（例如：慢跑、騎腳踏車），透過路線的規劃或使用智慧系統進行交通流量管制以提升空氣品質，都能減少受有害污染源對活動者的健康影響。

Celo et al. (2021) 在加拿大多倫多以及溫哥華進行 PM<sub>2.5</sub> 以及 PM<sub>10-2.5</sub> 採樣，兩個都市各取兩個站點，近道路站( near-road, NR )以及背景站( background, BG )，採樣期間大致為 2015 年至 2017，因站點不同開始與結束的月份不同。結果顯示，粗粒徑（PM<sub>10-2.5</sub>）中有較高的 Al、Si、Ti、K、Ca 和 Fe，主要來自地殼元素與道路揚塵，路邊也出現較高的車輛排放相關元素（例如：Ba、Fe、Sr、Sb、Cu、Ti 和 Mn）特別是剎車磨損相關元素（例如：Ba、Cu、Fe 和 Sb）在粗粒徑有顯著的增加；其他區域污染源相關元素（例如：S、As、Se 和 Cd）則沒有明顯的上升。使用 PMF 將 PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10-2.5</sub> 一起分析可以區分出 4 個主要污染源，包含非排放「礦物/揚塵」、「區域/在地工業」、非排放「剎車/輪胎磨損」、「未解析」。結果顯示交通相關非排放因子在粗、細粒徑都是主要貢獻源，區域和在地工業的貢獻主要是在細粒徑，在溫哥華的 NR 測站有 6%的貢獻與重油燃燒（海運；La、Ce 與 V）有關。近年也發現，隨著車輛排放改善技術提升，車輛排放污染逐漸降低，但車輛非排放的相關污染需要更多的重視。

表 4.2.19 受體模式應用技術

地點與結果	內涵	作者
本研究於 2017 年 3 月至 2018 年 2 月在日本郊區北九州市立大學進行採樣。PMF 解析出五個污染因子，占比由高到低依序為工業燃燒和船舶排放、二次硫酸鹽、二次硝酸鹽和生質燃燒、海洋氣膠與沙塵。其中，二次硝酸鹽及硫酸鹽的多元迴歸分析顯示主要因子有 O <sub>x</sub> 、NO <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub> 、HNO <sub>3</sub> 、HCl、T 和 RH。高濃度事件則主要受到本地污染及亞洲大陸的長程傳輸貢獻。	氣膠化學成分以及氣體污染物透過統計、模式分析可以幫助我們更瞭解污染源特性、有利於二次氣膠形成的環境條件，進而能擬定有效提升空氣品質管制策略，以及預警即將來臨的境外傳輸污染。	Zhang et al. (2021)
2016 年於波蘭華沙執行為期一年的 PM <sub>2.5</sub> 化學成分觀測，分析水溶性無機離子、碳成分與金屬元素，並透過 EC-tracer 推估一次與二次有機碳濃度。研究指出該地區 PM <sub>2.5</sub> 年平均值約 18.8 μg m <sup>-3</sup> ，相較於歐洲各國高，僅次於義大利北方城市。化學成分解析指出有機碳與無機離子占總濃度約 60%，總濃度的 45% 大多是二次污染物。SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 受季節影響最小，是主要的區域與傳輸污染物；SOC 與 NO <sub>3</sub> 則在季節間變化較大，並與在地污染有關。研究還發現，當地金屬元素 Ca 及 Mg 都有較高濃度，	這個研究所採用觀測方式及解析成分與本計畫大致相近，並利用所推估的一次與二次有機碳濃度納入受體模式取代原有的有機碳濃度，以此方法分析污染因子特性。另一方面，這個研究透過近 20 項金屬元素成分並結合無機離子及碳成分推估出八項污染因子，雖然污染因子特徵與本計畫不盡相同，但其指紋特徵成分應用對於本計畫污染源	Juda-Rezler et al. (2020)

地點與結果	內涵	作者
同時。其他濃度較高且較為富集的金屬大多與燃煤燃燒有關，其中，受到煤氣供暖而導致有較高濃度的成分還包含了 As 與 Cl <sup>-</sup> 。此外，也發現 Sb 與 Fe 季節變化穩定，應來自車輛相關污染源。研究將受體模式納入所推估的 POC 與 SOC 以期區分一次或二次污染因子，並發現 SOC 大多與都市內生活燃燒源(暖氣)有關，POC 則大多來自移動污染源。研究也指出當地較高的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ，可能與移動污染源的三元轉化系統有關。	判別或是成分特徵解釋仍有相當助益。其中，元素 Ga 於文獻中指出與燃煤燃燒或高溫燃燒製程有關，由於這個成分長期於本計畫嘉義站觀測到較高濃度，其特徵解析有助於本計畫執行期間數據解析作業。	
本研究於 2020 年 1 月至 2 月中旬於中國天津市進行觀測。觀測期間涵蓋春節前、中、後三階段，並且涵蓋 Covid-19 疫情爆發前後期間。應用自動監測儀器量測 PM <sub>2.5</sub> 水溶性無機離子、金屬元素及碳成分，再以改良後的 DN-PMF 模式進行污染源解析。研究指出：以環境因子修正後的受體模式 PMF，相較於傳統 PMF 更可凸顯部分人為污染因子特徵，同時減少如：揚塵、海鹽及廢棄物燃燒的貢獻。分析結果指出：春節期間煙火與生活燃燒活動為主要污染來源，共占污染總量的 60%。春節後則降低至 32%，其餘期間 SIAs 則是主要污染因子。在疫情爆發後，交通排放驟降 70%，揚塵等非人為因子也出現 68% 的減量，顯示車流量銳減所造成的影響。從各期間污染因子變化還發現，燃煤燃燒在疫情爆發後雖然有所減量，但是變化不大。同時，交通排放驟降導致 NO <sub>x</sub> 排放降低，這顯示硝酸鹽前驅污染物應為交通排放所貢獻。	本研究改進 PMF，透過環境風速與混合層高度修正每日污染因子貢獻度，可使所推估的污染因子消除環境條件差異所造成的干擾。另一方面，關於疫情期間的觀測數據，顯示當疫情發生時採取封城策略將使移動污染源排放驟降，然而固定污染源排放變化較小，此情況與台灣 2021 年五月份情況十分相似。	Dai et al. (2020)
本文提出未來污染源推估工作的發展及相關觀點，同時對於研究發表提出建議。CMB 成果需提供指紋資料來源及選擇依據。PMF 成果提供誤差檢測報告、因子數選擇、轉軸設定。Unmix 則須提供指紋數量及相關資料。此外，對於報表產出應提供圖片以外詳列數值的表格，內容包含不同地點平均數值及其比例。如此一來，更多制式的報告細節將有助於不同成果彙編或用於評估作業。	污染源推估廣泛應用於許多研究，本計畫所採用的 PMF 就是一項國際間常應用的模式。然而，許多報告呈現僅列出最終量化成果，卻無從獲取基礎數據 QA/QC 報告，以及推估因子統計資料，致使無從判別數據是否可靠。本文彙整報告所提供數據建議，可使成果輸出更加透明化和公式化，有助於相關工作者應用參考。同時，當各方成果產出模式統一時，數據間更具有可比性。	Hopke et al. (2020)
Liao et al. (2021) 於 2018 年在南投竹山鎮以自動及半自動儀器進行觀測計畫。研究以擴增 PMF 模式 (Expanded PMF modeling) 進行解析，並指出當地二次有機物因子占總質量 24% 為主要污染源因子。透過擴增模式分析，發現二次污染源因子與 VOCs 液相凝結反應有關，因此建議進一步調查二次有機氣膠指標。另一方面，第二高占比污染源因子為生質燃燒，主要源自露天燃燒影響，而第三高占比因子的二次硝酸鹽則可能來自上風處的都會區污染傳輸。研究還指出，對於污染源管制，應以區域間合作方可提高污染減量效益。	受體模式近年出現許多不同應用方式，如：納入天氣因子或是其他模式所推估的二次污染成分，都有助於提高污染解析的準確性同時降低不確定性。此研究為結合天氣因子及二次污染成分的擴增方法，雖然本計畫尚無法直接透過矩陣模式修改演算方式，然而，結合環境因子包含：風速、氧化物及環境相對濕度等參數，用以探討不同污染源因子生成機制與特性。另一方面，研究中使用的高流量自動採樣方式也為低濃度成分分析提供一替代方式。	Liao et al. (2021)

地點與結果	內涵	作者
Manousakas et al. (2021)在 2013 年夏季及冬季在希臘雅典市交通測站執行 PM <sub>2.5</sub> 及 PM <sub>10</sub> 成分觀測，背景觀測則執行長達整年。研究目的非探討污染源因子貢獻量，而是探討相鄰區域內污染源因子相似程度。透過相關係數 (Pearson Correlation, PC) 以及標準化特徵差異 (Standardized Identity Distance, SID)，可發現，若僅採用線性迴歸方法分析污染源因子指紋間相關係數時，可能因高濃度成分使結果失真。採用 SID 的優點則可避免前述現象，由於 SID 計算方式可使各成分權重相等，降低高濃度成分所造成影響。如果污染源因子間可同時達到 PD 值 0.6 以上且 SID 值小於 1 時，則顯示兩個不同地區的污染源因子具有高度相似性。	近年來各國廣泛使用受體模式推估污染源因子，然而各地所推估污染源因子指紋特徵都具有高度相似性，不同區域在相同名稱與特徵的污染源因子間相似度該如何驗證？本研究透過數學模型或統計驗證推估污染源因子間具有高相似度，則管制策略可以採相近方法。過去以統計迴歸相關係數分析時，可能因單一高濃度成分影響結果造成失真，如果加採 SID 值輔助驗證，則如同本計畫採用 CD 值分析化學成分空間相似度，可避免過高或過低濃度化學成分所造成的統計迴歸相關係數造成的偏差。	Manousakas et al. (2021)
本研究於 2013 年冬天在聖保羅大學的屋頂進行採樣，將採樣結果使用 MIF 以及 PMF 兩個模式分析主要污染源，其中，MIF 不容易定量污染源的貢獻，但定性上優於 PMF，因此結合兩者的特性交叉分析，有助於提升 PMF 污染因子鑑定的準確度。	PMF 已經廣泛被使用在污染源推估上，然而，在污染因子的命名上仍有待因子內高占比成分能確立污染源特徵，MIF 的優勢在於能定性污染源的徵，有助於 PMF 命名污染因子。透過與不同分析方法的結合，能有效的提升污染源解析能力，值得做為未來 PMF 應用上的參考。	Souto-Oliveira et al. (2021)
本研究於 2016 年 3 月 9 日至 2017 年 3 月 14 日進行 PM <sub>10</sub> 採樣，將化學成分導入 PMF 進行污染因子解析，再將解析結果配合天氣型態進行分類及多元迴歸分析，結果顯示交通以及二次氣膠污染因子在混合熱帶氣旋天氣型態有較多的 PM <sub>10</sub> 貢獻；高壓型態影響下有高的二次氣膠、老化海鹽以及沙塵污染因子出現，最後的多元迴歸方程式所推估的 PM <sub>10</sub> 濃度與採樣濃度相當一致，代表未來可使用化學成分質量濃度配合天氣型態來推估 PM <sub>10</sub> 濃度。	台灣各地的 PM <sub>2.5</sub> 濃度與氣象條件 (Ex：風速、風向等) 息息相關，透過與 PMF 解析的污染因子結合，可能可以更清楚的瞭解各污染因子在各天氣條件下的污染貢獻量，可以提供相關單位進行預報以及污染管制策略擬定。	Oduber et al. (2021)
本研究使用 ML 搭配 kMC 和 SC 兩個不同的演算法，分析印度 CCAAPS 中 11 個測站的採樣數據，嘗試建立新的受體模式解析污染源。文獻中的碳分析使用 NIOSH 溫度協定將碳成分分程 8 類，5 類為 OC；3 類為 EC，將上述碳成分分兩個方式（一種是輸入大類別 OC 和 EC；另一種是輸入 8 類細項）加上金屬元素成分輸入演算法推估污染因子。結果顯示 SC 演算法推估結果較佳，解析出 6~7 個因子，包含燃燒、二次硫酸鹽、植物/木頭燃燒、柴油車、汽油車、塵土、交通以及金屬製程，且因子的指紋與 PMF 的結果較一致，提供未來解析污染源時另一個可行的受體模式。	空氣污染研究中污染源的推估非常重要，目前大多在定點採樣分析化學成分後使用 PMF 受體模式推估污染因子，並藉由文獻和經驗判斷各因子可能代表的污染源，然而每種模式都會有使用上的限制，本研究提供新的污染源解析方法，並與 PMF 有一致性，未來在 PMF 無法很好應用的資料 (例如：天氣因子) 時，或許可以使用 ML 結合 SC 的方法嘗試分析。	Kumar et al. (2022)
本研究 2017 年夏季與冬季在歐洲的五個城市內各取三種不同類型的站點 (交通、都市背景、郊區)，總共 15 個測站進行 PM <sub>2.5</sub> 採樣，每個測站有 60 個樣本，分析水溶性無機離子、PAHs 和重金屬，使用 PMF 推估可能的污染源。結果顯示 PMF 推估出的污染因子有 8 項，分別是交通排放、交通非排	透過比較多個不同類型測站的 PMF 污染因子推估結果，可以更清楚的知道各污染因子在不同地區的貢獻量，以及不同類型地區的污染特性，進一步把風速風向加入分析，	Saraga et al. (2021)

地點與結果	內涵	作者
放、燃油燃燒、生質燃燒、二次硫酸鹽、二次氣膠，整個採樣期間平均貢獻較多 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度的污染因子為交通相關（排放+非排放）以及生質燃燒因子，兩者相加分別在交通、都市背景和郊區站占 47.9%、56.8%和 42.9%。搭配風速風向判斷可能的污染來向發現，交通、生質燃燒、燃油以及海鹽因子與風向有顯著關聯；二次氣膠和塵土因子則沒有，應以在地污染貢獻為主。	能更進一步幫助判斷污染源與採樣點的距離與來向。	
本研究 2020 年 1 月 15 至 26 日在匈牙利布達佩斯近市區交通主要幹道的一樓位置進行採樣，量測資料包含 PM <sub>2.5</sub> 及化學成分、粒徑分布和 BC，再將上述數據輸入 PMF 模式進行污染源解析得到 6 個污染因子，粒徑峰值由小到大分別是二次交通、新鮮交通、生質燃燒、二次硫酸鹽、二次硝酸鹽和都市背景。本研究進一步使用 SLM 模式模擬氣膠在人體肺部的沉降狀況。結果顯示所有污染源的超細氣膠大量沉降在肺的腺泡位置，特別是交通相關排放源。另外，本研究建議若要在都市慢跑或市騎腳踏車運動，可以透過路線規劃或是使用智慧系統控制交通流量，以改善空氣品質，減低有害污染源對人體健康的影響。	PMF 的使用上大多是輸入 PM <sub>2.5</sub> 及化學成分解析污染來源，本篇透過粒徑分布數據的輸入協助了解不同污染源可能的粒徑分布，並進一步應用到肺部沉降模式 SLM，評估這些污染源對人類呼吸系統的影響。結果顯示交通相關排放的粒徑較小，且近 50%的細和超細氣膠源自燃燒污染源，建議人們在都市運動時能盡可能避開有害污染源的影響。	Groma et al. (2022)
本篇研究在加拿大多倫多與溫哥華進行粗（PM <sub>10-2.5</sub> ）、細（PM <sub>2.5</sub> ）粒徑採樣，兩個都市各有兩個測站，近道路站與背景站。採樣結果顯示粗粒徑中有較高的地殼元素與道路揚塵相關金屬元素 Al、Si、Ti、K、Ca 和 Fe，臨近道路側站有較高的車輛量排放元素（Ba、Fe、Sr、Sb、Cu、Ti 和 Mn），其中，煞車磨損相關元素在粗粒徑有顯著的增加。將兩種粒徑的數據合併使用 PMF 進行污染源解析呈現 4 個主要因子：非排放的「礦物/揚塵」和「剎車/輪胎磨損」以及「區域/在地工業」和「未解析」，結果顯示交通相關非排放因子在兩個粒徑周是主要貢獻源，「區域/在地工業」在細粒徑有較高的貢獻。近年也發現隨著車輛排放改善技術提升，車輛排放污染逐漸降低，但車輛非排放的相關污染需要更多的重視。	交通相關污染源在各個都市都貢獻不是 PM 濃度，然而在交通污染源中有可以透過 PMF 分析根據主要成分不同區分為排放污染源以及非排放污染源，若要更進一步還可以將非排放污染源細分成道路揚塵以及零件逸散（例如：剎車、輪胎磨損），隨著車輛排放污染控制技術的提升，車輛排放污染近年有持續下降的趨勢，但車輛非排放的貢獻沒有明顯的改善，未來勢必要更加關注這方面的污染。	Celo et al. (2021)

### 3. 長期觀測資料庫建立及應用

Pitiranggon et al. (2021)使用 2002 年至 2018 年美國化學成分監測網( Chemical Speciation Network, CSN)及紐約市空氣品質調查資料( New York City Community Air Survey, NYCCAS)，利用 CSN 數據作為背景測站，評估區域傳輸影響。並假設區域污染物僅有硫酸銨與硝酸銨，並以此為下限，有機物質（Organic matter, OM）則作為上限考量。以這個方式評估該地 2018 年區域傳輸污染約占 PM<sub>2.5</sub> 總濃度的 25%~46%，相較於 2002 年的 46%~57%有顯著降低。此外，透過 CMAQ 模式模擬 2008 年、2011 年及 2018 年的二次生成 PM<sub>2.5</sub> 濃度占比分別為 56%、

35%、30%，這個結果與前述推估方法相似。從土地利用模式分析於 2002 至 2015 年間於紐約市 60 各處採集 PM<sub>2.5</sub> 濃度、硫、鈇、鎳與銅樣本，結果顯示剩餘油（residual oil）燃燒、車輛及船舶影響逐漸降低。在 2002 年至 2018 年間 PM<sub>2.5</sub> 下降近 55%，原因應與這個期間的管制策略及能源使用由煤轉換為天然氣有關，然而 OM 逐漸轉為主導 PM<sub>2.5</sub> 毒性主要因子，若要逐步改善空氣品質，則應該考量餐飲業、車輛及生活生質燃燒所造成的影響。

過去研究指出 PM<sub>2.5</sub> 濃度增加，伴隨慢性肺病或哮喘患者的就診率就有所上升。本研究透過病例交叉分析評估 2005 年至 2016 年間，伴隨 PM<sub>2.5</sub> 下降及成分改變是否對於濃度單位風險有所影響。從過去至今，PM<sub>2.5</sub> 濃度經過多項管制推動及經濟因素改變而有所降低。Hopke et al. (2019) 將研究期間劃分為前期(2005-2007)、中期(2008-2013)及後期(2014-2016)，整體資料呈現就診及急診人數伴隨 PM<sub>2.5</sub> 濃度降低而減少。然而，單位濃度就診率在後期明顯高於前期與中期，例如，PM<sub>2.5</sub> 每增加 6.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，前、中、後期就診率就分別增加 0.4%、0.3%及 2.7%，這顯示相同 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度所造成毒性於後期有明顯增加。

Yamagami et al. (2021)指出日本名古屋地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度經歷近 16 年各種污染減量策略推動，從 2003 年至 2018 年間質量濃度降低近 53%。元素碳（EC）是期間減量幅度最大的成分，減少近 4.3  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的 3  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。研究指出，EC 減量受益柴油總量排放的管制策略，OC 及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度下降則分別與與移動污染、固定污染源及建築機具的 VOCs 和 NO<sub>x</sub> 排放管制策略有關。同時也發現許多管制方法對於 PM<sub>2.5</sub> 濃度減量具有效益，但是也有部分的減量對策被發現在近年的污染管制中效果欠佳，主要因為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>受到境外傳輸、火山噴發及氣象條件影響，不受管制策略控制。

Jeong et al. (2022) 使用 2017 年 2 月至 2022 年 7 月的數據分析 COVID-19 封城對加拿大安大略省多倫多市的影響，採樣點位於加拿大 Southern Ontario Centre for Atmospheric Aerosol Research（SOCAAR）鄰近道路的監測站。本篇研究將封城期間（2020 年 3 月 22 至 5 月 23）的數據與 2017-2019 年相同期間的數據做比較，同時也有使用 PMF 解析出 9 個可能的污染因子，有「老化有機氣膠」（Age OA）、「二次有機氣膠」（Sec OA）、「二次硝酸鹽」（Sec Nitrate）、「工業相關燃煤」（Coal）、「烹飪排放」（Cooking）、「尾氣排放」（TE）、「道路揚塵相關非尾氣排放」（NTE\_RD）、「剎車磨損相關非尾氣排放」（NTE\_BD）以及「輪胎磨損相關

非尾氣排放與金屬工業」(NTE/Metal)。結果顯示，即使在封城期間都市站交通流量減少大約 60%，總 PM<sub>2.5</sub> 的減量非常少，主因是 PM<sub>2.5</sub> 受到季節差異比較明顯的主要化學成分（有機氣膠、硝酸鹽）貢獻，污染源貢獻差異比較可以顯現封城對都市空氣品質的影響。在封城期間，都市地區的烹飪排放減少了大約 61%，可能與當地餐廳受到嚴格的規定有關；交通相關污染源（含尾氣和非尾氣排放）則主要受到卡車數量減少而降低了 50%，這代表去除或是取代小比例的重度排放車輛，可以有效減少尾氣和非尾氣的排放。透過長期的監測可以在事件發生時，比較事件與非事件日的差異，結果能做為管制策略擬定的參考。

Pal et al. (2022) 整合 MODIS 衛星觀測資料以及地面監測資料分析印度四個城市（德里、孟買、加爾各答和清奈）受到 COVID-19 影響執行封城政策時（2020 年 3 月 24 日至 5 月 17 日）對當地空氣品質的影響。結果顯示封城期間空氣污染下降的程度超乎想像，與過去的幾年相比氣膠濃度（PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub>）在封城期間在四個大城減少了 -37.1-54.9%，明顯表示封城對印度的環境品質有正向的影響。另一方面，較低的污染濃度也使這段期間大城市的熱島效應降低，四個城市溫度約減少了 2-3°C。從封城對環境的影響，說明可以透過實施有計畫的管制改善空氣污染，也建議政府未來應有規律地進行管制來提升環境品質。

Cerquero-Vera et al. (2022) 在 2016 年 11 月至 2018 年 4 月於西班牙的格拉那達都市測站持續觀測當地氣膠數目通量與濃度的日夜、周間、季節和空間變化，其中，氣膠數目通量配合垂直風速資料向上呈現正值，向下則是負值。結果顯示，多是時間測站的氣膠數目通量為正值，僅有 12% 的時間為負值，說明格拉那達都市站對大氣環境為淨氣膠貢獻源。氣膠數目濃度日變化與通量與交通巔峰時間有關，在早晚各有一峰值，春、夏兩季有第三個峰值在中午，可能是與新氣膠生成有關。周間差異也非常顯著，假日的氣膠數目濃度與通量顯著低於工作日，與交通活動降低有關，冬季在氣膠數目濃度與通量比夏季高，主因是家用取暖和農廢燃燒以及冬季較弱的垂直混合。配合季節風向的分析結果顯示，冬季除了都市地區的交通、家用取暖貢獻，郊區的農廢燃燒也是影響格拉那達市區空氣品質的重要來源。

Wallington et al. (2022) 分析美國洛杉磯與芝加哥從 1960 年代開始到 2022 年車輛排放減量對空氣品質的提升。文中記錄車輛排放減量方法以及排放量的變化，還有 PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、VOCs 長期變化趨勢，結果顯示 2022 年的 NO<sub>x</sub> 與

CO 排放量相較於 1960 年分別減少了 145 和 280 倍之多，即使交通流量與車輛數都持續增加，車輛的絕對排放量仍然持續在下降。由於車輛排放以及固定污染源的排放減少，美國都市的空氣品質有顯著的改善，PM<sub>2.5</sub>、CO、NO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 平均濃度在 20-40 年前都高於國家標準值，現在已經全都低於標準。本研究也發現，隨著車輛排放大量的減少，其他污染源在都市的貢獻度逐漸上升，舉例來說，揮發性化學物質（個人護理產品、清潔劑等）目前大約占 50-80% 的排放量，餐廳的烹飪排放也成為主要的 PM 來源。放眼未來，車輛排放量在未來的 10-20 年仍然會持續減少，因為加入的新型車輛遠比老舊車輛乾淨，即使排放標準沒有限縮和電動車輛並未增加，車輛排放的減少趨勢還是會持續。



表 4.2.20 長期觀測資料庫建立及應用

地點與結果	內涵	作者
以 2002 年至 2018 年紐約市為背景，結合 EPA CSN、NYCCAS 以及 CMAQ 輸出資料，評估 PM <sub>2.5</sub> 濃度、組成及來源。從 CSN 觀測資料指出，PM <sub>2.5</sub> 濃度於 2018 年相較 2002 年由 15 $\mu\text{g m}^{-3}$ 降低至 8.3 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，其中硫化物為主要成分。近年燃料油逐漸替換為清潔燃料，雖然對於 PM <sub>2.5</sub> 影響有限，但對於指標元素如：Ni 或 V 減量卻較為顯著。伴隨多項污染成分減量，研究也發現 OC 逐漸成為 PM <sub>2.5</sub> 主導物種，這可能對於微粒毒性特徵造成影響，或與其他研究指出近年呼吸道相關臨床疾病就診率上升有關。若需持續改進健康風險與空氣品質，建議管制 OC 前驅污染源，如：車輛、烹調排放、生質燃燒等，藉此除了可改善空氣品質，也可同步將地硝酸鹽及元素碳等 PM <sub>2.5</sub> 主要成分濃度。	本研究利用十年以上觀測及模擬資料，分析污染源及成分變化，並從中探討環境變化及政策所帶來影響，其結果與上年度本計畫觀測略有相似處。其中，清潔燃料使用可使微粒含硫成分濃度下降少許，對於健康風險元素影響較為顯著。發電能源轉換，則使硫酸鹽顯著減量。最為特別處則是不論紐約或是近年台灣，都可發現 OC 逐漸成為主要污染成分，根據文獻建議，或可透過移動污染源及餐飲排放等管制達到減量，另外，該研究也引用其他文獻觀測資料，指出主成分的改變，也可能使微粒健康風險出現轉變。	Pitiranggon et al. (2021)
2006 年至 2016 年於紐約州以病例及自動監測資料交叉分析 PM <sub>2.5</sub> 濃度變化對於呼吸道疾病風險影響。結果顯示：慢性肺病及哮喘的急診或住院率於 2014—2016 年間明顯高於研究前期。對照近年同地區成分研究則發現：當地 PM <sub>2.5</sub> 濃度逐漸改善，但二次有機碳(SOC)濃度也逐漸上升，推測增加的 SOC 很可能使 PM <sub>2.5</sub> 單位濃度毒性增加，進而使慢性肺病患者就診率上升。	本研究背景雖然距今已相隔六年，然而持續的空氣品質改善加上微粒成分改變致使肺部疾病就診率增加，其背後因素值得關注。我國近年大力推動多項空氣品質管制策略，除收穫成效外，也發現主導成分逐漸改變為 OC，這個現象與美國近期研究十分相近，因而所帶來的健康風險變化也是主管機關應注意項目。	Hopke et al. (2019)
研究日本名古屋地區自 2003 年到 2018 年 PM <sub>2.5</sub> 及主要化學成分長期變化趨勢，這個期間 PM <sub>2.5</sub> 濃度降低約 53%，主要化學成分以 EC 減量最大，其次依序為 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、OC、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 及 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 。各化學成分減量趨勢呈現柴油排放管制對於 EC 濃度下降有高度影響；SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 受到國內管制策略影響較小，受到中國污染傳輸、火山及其他環境因子影響顯著；OC 濃度變化受到國內 VOCs 排放管制影響，有明顯改善；NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 減量受到車輛排放影響最大，其次為建築機具及固定污染源排放減量影響；NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度下降顯示與 SO <sub>2</sub> 及 NO <sub>x</sub> 排放減量有關。研究透過分析各污染源排放變化，分析管制策略成效，雖然大部分管制策略都有其功效，但是近年濃度變化也顯示 OC 相關管制策略影響在下降。	本研究除了顯示日本近 16 年 PM <sub>2.5</sub> 化學成分變化及減量特徵，還可借鏡評估我國污染管制策略。研究顯示柴油車排放減量已促成 EC 濃度大幅下降，與台灣近年 EC 濃度變化相似，同時 OC 減量趨緩同樣因多項污染源因子排放增加有關。另外，日本的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 近五成以上受到移動污染源及建築機具所排放前驅污染物影響，因此，針對移動污染源管制可有較高的管制效益，以持續改善我國空氣品質。	Yamagami et al. (2021)
本篇研究分析 2017 年 2 月至 2022 年 7 月加拿大安大略省多倫多市的採樣數據，評估因 COVID-19 封城對當地空氣品質的影響。PMF 解析出 9 個污染因子，分別命名為「老化有機氣膠」、「二次有機氣膠」、「二次硝酸鹽」、「工業相關燃煤」、「烹飪排放」、「尾氣排放」、「道路揚塵相關非尾氣排放」、「剎車磨損相關非尾氣排放」和「輪胎磨損相關非尾氣排放與金屬工業」，比較 2020 年 3 月 22 日至 5 月 23 日受 COVID-19 影響，封城期間與 2017-2019 年同時期比較，PM <sub>2.5</sub> 質量濃度沒有明顯的減少，主因是 PM <sub>2.5</sub>	長期觀測資料可以在事件發生時能掌握事件對空氣品質的影響。本研究透過比較 COVID-19 封城期間與過去同時期的數據，發現：重度排放車輛車流量減少能顯著地改善尾氣與非尾氣排放的貢獻，可以做為日後擬定相關管制策略的參考。	Jeong et al. (2022)

地點與結果	內涵	作者
<p>主要化學成分(有機氣膠、硝酸鹽)受季節影響較大,但是可以從在地污染物的貢獻看出差異,都市地區烹飪排放在封城期間減少 61%,可能與當地餐廳受到嚴格規定有關;交通相關污染源(含尾氣和非尾氣排放)則主要受到卡車數量減少降低了 50%,這代表去除或是取代小比例的重度排放車輛,可以有效減少尾氣和非尾氣的排放。</p>		
<p>本篇研究分析印度四大城市:德里、孟買、加爾各答和清奈的空氣品質受 2020 年 3 月 24 日至 5 月 17 日期間 COVID-19 封城政策的影響。結果顯示封城期間四大城市的氣膠濃度(<math>PM_{2.5}</math>和<math>PM_{10}</math>)下降了-37.1-54.9%,非常顯著,代表封城對於印度的空氣品質有正向的影響,在空氣品質變好的過程,大都市的熱島效應也降低,使都市溫度降較於過去幾年低 2-3°C,很可能對氣候造成影響。</p>	<p>在評估不同管制策略對空氣污染減量可能的影響時,有許多方法不能直接實行來觀察污染的變化,像是限制車流量或市停止工廠排放等,但透過持續的環境監測,當像 COVID-19 的事件生時,可以經由比較事件發生前後的污染變化,做為日後改善空氣品質管制策略的擬定參考。</p>	Pal et al. (2022)
<p>本篇研究在 2016 年 11 月至 2018 年 4 月於西班牙的格拉那達都市地區長期觀測氣膠數目濃度與通量,進一步分析日夜、周間、季節與空間變化。從日夜變化來看,氣膠數目濃度與通量一日間有兩個峰值分別出現在早晚交通尖峰時間,明顯受上下班交通影響,在春、夏兩季的中午則有第三個峰值出現,可能與新氣膠生成有關。周間的差異同樣受交通量影響,工作日的氣膠數濃度與通量明顯高於假日。季節變化上,冬季有較高的氣膠數目濃度與通量,主要受到家用取暖、農廢燃燒以及冬季較弱的垂直混合環境條件影響,配合季節風向的分析結果顯示,冬季除了都市地區的交通、家用取暖貢獻,郊區的農廢燃燒也是影響格拉那達市區空氣品質的重要來源。</p>	<p>氣膠數目濃度與通量的長期觀測在都市空氣品質監測領域相對少見,雖然大致上得到與質量濃度量測類似的結果,但若將兩者結合,可以找出數目濃度增加但質量濃度沒有明顯增加的事件,代表可能微粒大多粒徑較小,為新生成氣膠。更多的長期監測資料結合可以提供越完整的污染資訊提供管制策略擬定參考。</p>	Casquero-Vera et al. (2022)
<p>本研究彙整美國洛杉磯和芝加哥從 1960 年到 2022 年的<math>PM_{2.5}</math>、CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和 VOCs 的平均濃度變化及車輛排減量方法、排放量變化等資訊。結果顯示 2022 年 CO 和 NO<sub>x</sub> 相較於 1960 年分別減少了 145 和 280 倍多,即使車輛總數以及交通流量都在增加,車輛的排放量仍持續減少。由於車輛排放顯著降低,使其他污染源占都市排放量比例上升,像是餐廳烹飪排放逐漸成為洛杉磯市區的主要 PM 來源。從趨勢看來,車輛排放量在未來 10-20 年仍然會因為新型車輛的加入逐漸減量。</p>	<p>透過長期監測,可以看到隨著技術的發展以及管制策略實施,車輛排放量逐漸降低,同時也能發現在車輛排放貢獻明顯降低時,其他污染源若沒有相對應的減量,在污染排放的占比就會上升成為主要污染源,從長期趨勢變化還可估算未來的減量狀況。</p>	Wallington et al. (2022)

#### 4.淨零排碳與空氣品質改善協同性

在減緩全球環境變遷的背景下，中國正持續面對 CO<sub>2</sub> 排放以及 PM<sub>2.5</sub> 排放減量的雙重壓力。Dong et al. (2019)研究探討同時量化 PM<sub>2.5</sub> 減量措施對於 CO<sub>2</sub> 排放減量的影響。本研究使用 PM<sub>2.5</sub> 排放總量而非濃度作為單位，同時應用對數平均指數指標 (logarithmic mean division index, LMDI) 以分解 PM<sub>2.5</sub> 排放源對於 CO<sub>2</sub> 排放貢獻。研究共指出五項成果：(1) 多數的 PM<sub>2.5</sub> 排放減量都伴隨著 CO<sub>2</sub> 排放減量；(2) 經濟發展相較於能源密度提高以及人口增加來說是主要導致 PM<sub>2.5</sub> 排放增加的原因；(3) 模式模擬顯示所有 CO<sub>2</sub> 減量活動都將顯著的減少 PM<sub>2.5</sub> 排放；(4) 每減少 1 萬噸 CO<sub>2</sub> 排放將促使 PM<sub>2.5</sub> 排放減少 3.3 噸，不過在各省間略有差異；(5) 技術提升及人口密度增加（能源效率增加）對於 PM<sub>2.5</sub> 減量都有正面影響，然而單位 GDP 與 PM<sub>2.5</sub> 減量間則呈現倒 U 型趨勢。

由於電動車具有尾氣零排放特性，可作取代內燃機車輛的清潔方案。然而，電動車所需電力與能源來源還需審慎評估它們對環境的影響。Afkhami et al. (2022) 研究全美各州電力消耗過程所產生的溫室氣體、NO<sub>x</sub>、粒狀物質，同時以蒙地卡羅法 (Monte Carlo method) 進行駕駛模式能耗模擬，最後評估電動車與汽油車平均排放量差異。結果顯示，各州都可受益於能源車輛轉換，對相關排放物如溫室氣體、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>10</sub> 都有正面影響。然而，評估全美 50 州僅有加州、華盛頓及紐約州等 10 個州縣準備好面對相關轉換政策的推行。

表 4.2.21 淨零排碳與空氣品質改善協同性

地點與結果	內涵	作者
<p>本研究以 1998-2014 年間資料，以模式探討中國各省份 CO<sub>2</sub> 減量對於 PM<sub>2.5</sub> 排放影響，利用 LMDI 分解 PM<sub>2.5</sub> 排放相關變數（CO<sub>2</sub> 排放、能源排放密度、經濟發展及人口密度），並探討個別影響程度。結果指出 PM<sub>2.5</sub> 排放主要受到碳排放及能源強度兩項因子影響，經濟發展正是其背後主因。對於減少 PM<sub>2.5</sub> 排放，可透過減碳排放與能源強度改善以達成目標，而人口所造成的影響則相對較小。另外，技術提升以及人口密度增加都有助於降低 PM<sub>2.5</sub> 排放，特別是降低燃煤應用所得效益最高。對於國內政策則有五點建議，其一為強化減碳與 PM<sub>2.5</sub> 減量政策間協作，以減少政策支出。其二，有鑒於 GDP 與 PM<sub>2.5</sub> 減量間特殊趨勢，應加強防制設備及排放監管。其三，從能源特別是燃煤對於減碳及減 PM<sub>2.5</sub> 影響，應加強清潔能源發展並提高能源使用效率。其四，發展技術雖然有益於減碳及污染排放，但過程中仍可能造成 PM<sub>2.5</sub> 排放增加，因此應加強管末處理措施的投資與開發以防止直接污染排放。最後，研究顯示人口密度高的城市有較佳的能源使用效率，因此應加強能源使用效率，如提升供暖效率以減少霧霾發生。</p>	<p>國內近年除了關注空氣品質變化外，更受國際趨勢影響逐漸關注溫室氣體對環境變遷所造成影響。此研究量化兩議題間關聯，結果顯示不論是減碳或改善空品，最終都可達到相同目標。因此，對於溫室氣體管制及空氣品質改善，應格外著重政策的擬定，如何協作以避免政策重複支出造成浪費為一重要課題。另一方面，能源使用為影響碳排放及改善空品的重要因素，因此清潔能源的發展，提高能源使用效率等議題都有助於達到主管機關所關注的目標。</p>	Dong et al. (2019)
<p>由於電動車具有尾氣零排放特性，可成為取代內燃機車輛的清潔方案。然而，電動車所需電力與能源來源還需審慎評估它們對環境的影響。Afkhami et al. (2022) 研究全美各州電力消耗過程中所產生的溫室氣體、NO<sub>x</sub>、粒狀物質，同時以蒙地卡羅法(Monte Carlo method)進行駕駛模式能耗模擬，最後評估電動車與汽油車平均排放量差異。結果顯示，各州都可受益於能源車輛轉換，相關排放物如溫室氣體、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>10</sub> 都有正面影響。然而，評估全美 50 州現況，僅有加州、華盛頓及紐約等 10 個州縣準備好面對相關轉換政策的推行。</p>	<p>新能源車對於移動污染減量及溫室氣體排放減量都扮演著關鍵角色。本研究以模式量化汽油車對電動車在短、中、長期於美國各州所造成的差異。量化資料可明顯發現電動車對於都市區空氣品質改善具有相當正面影響。另外，考量電力業所造成溫室氣體及污染排放影響，採用電動車對於溫室氣體減量不論短、中、長期，都十分具有效益。</p>	Afkhami et al. (2022)

## 5.空氣品質與健康風險

空氣中重金屬成分受到時間空間分布影響，對於人體健康危害程度也略有不同。Hsu et al. (2021)在 2016 至 2018 年間調查與分析台灣北部都市、郊區、鄉村及工業區域 PM<sub>2.5</sub> 重金屬成分變化。並透過受體模式進行污染源因子分析，評估污染源因子暴露邊際 (margin of exposure, MOE) 及過多致癌風險 (excess cancer risk, ECR)，然後再根據管理優先程度給予建議。研究發現工業區域的金屬元素 Fe、Zn、V、Cu 及 Mn 等工業相關金屬元素都有較高的濃度，都市區域則有較高濃度的金屬元素 Ba、Cr、Ni、Mo、Co 等交通相關金屬元素。另外指出，四個測站金屬元素成分在冷季普遍濃度較高，但是屬於鄉村站花蓮地區則無此現象。關於金屬元素過多致癌風險，研究發現各站 Mn、Cr 及 Pb 都有較高的風險數值，特別是位於南台灣的高雄站受到鋼鐵業影響有較高的風險數值，需特別關注產業影響。整體而言，此研究根據 MOE 與 ERC 所制定管制優先層級將有助於管理 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素。

Yang et al. (2022) 在 2020 年 11 月 5 日至 2021 年 1 月 1 日在美國喬治亞理工大學使用低成本感測器 (Low-Cost Sensor, LCS) 量測氣體與氣膠污染物，並與研究等級的儀器進行比較。LCS 的各項量測數據使用非負值矩陣因子法 (non-negative matrix factorization, NMF) 分析可能的污染因子，同時比較把量測數據標準化以及未標準化的 NMF 分析，結果顯示標準化的分析結果較能夠辨識出不同的污染因子，也比未標準化分析較不會高估污染物的貢獻。經過標準化的數據在進行 NMF 分析可以解析出 4 個污染因子，未經過標準化的數據只有 1 個。不過，在使用 LCS 的分析上仍然有一些限制，像是氣體污染物的量測準確度仍然比研究等級的儀器差，以及 LCS 無法提供氣膠化學成分資料，會對污染源的解析造成影響。雖然如此，本研究提供 LCS 在污染源解析應用上新的可能性，隨著技術發展，更多的應用將可以提供更多污染源及大氣變化的資訊。

Tessum et al. (2022) 分析 2014 年全球 96 個城市的排放資料 (Community Emissions Data System, CEDS)，並將排放源區分為八的類別：非燃燒農業 (non-combustion agriculture, AGR)、能源轉換與汲取 (energy transformation and extraction, ENE)、工業燃燒與製程 (industrial combustion and processes, IND)、地面交通運輸 (surface transportation, TRA)、民用商業與其他 (residential, commercial, and other, RCO)、溶劑 (solvents, SLV)、廢棄物處置與處理 (waste disposal and

handling, WST)、國際航運(international shipping, SHP),再將數據輸入 Intervention Model for Air Pollution (InMAP; Tessum et al., 2017) 模式分析。本篇研究提供都市內部以及外部來源的粗略  $PM_{2.5}$  濃度估算、污染源組成以及貢獻,結果顯示許多城市  $PM_{2.5}$  最大的污染貢獻來自於工業以及能源相關污染源。然而作者也說明,雖然這方法能夠初步篩選出許多資訊提供管制策略擬訂的參考來提升大眾健康,但分析過程仍有許多不確定性包含在內,建議在政策實施前可以基於此分析方法的結果進一步使用時間或空間解析度更好的模式去模擬得到更精確的結果。

Park et al. (2020) 分析南韓首爾 2017 年 8 月至 2019 年 7 月的  $PM_{2.5}$  以及  $PM_{10}$  數據的地面觀測資料與衛星觀測 AOD 資料,嘗試找出市區植被覆蓋對鄰近地區 PM 減量的影響。本研究使用太空觀測 AOD 與地面量測 PM 的關係用模式去推算沒有地面量測區域的 PM 濃度,結果顯示一片較大的都市植被覆蓋區域比零散分布小塊植被覆蓋區域對 PM 減量有更大的正向影響,不過,使用衛星資料推估 PM 的模式仍需要更多相關因子去提升可信度,而都市 PM 的減量是否都跟都市植被覆蓋有關也需要去更進一步研究來了解這之間的減量機制。

表 4.2.22 空氣品質與健康風險

地點與結果	內涵	作者
本研究 2016 年至 2018 年於台灣北、中、南及東部四處不同類型測站監測 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素濃度、特徵、來源貢獻並分析健康風險。研究指出，較高的金屬元素濃度通常與區域環境特徵及地理特徵有關。根據 MOE (margin of exposure) 及 ECR (excess cancer risk) 所獲得金屬元素來源管制優先層級，有助於評估健康風險並進行管制。在四個研究地區中，發現高雄鋼鐵業相關金屬成分的暴露及致癌風險趨近閾值，在四個觀測地區中，有最高的管制優先層級，需特別注意。	PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分眾多，其中不乏具有高健康風險成分。因此，即使相同 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度也可能具有不同健康風險。本研究除根據採樣結果針對四個地區金屬元素成分進行風險推算外，也應用受體模式推估各地污染源因子，以污染源指紋特徵推估污染源因子健康風險。透過不同方法間的結合將有助於針對高健康風險污染源進行管制，進而提高污染源管制效益。	Hsu et al. (2021)
本研究在 2020 年 11 月 5 日至 2021 年 1 月 1 日在美國喬治亞理工大學使用低成本感測器 (LCS) 以及研究級設備進行採樣與比對。結果顯示 LCS 數據使用非負值矩陣因子法(NMF) 進行污染源解析時必須先將數據標準化才能有比較好的解析結果，經標準化的數據經由 NMF 解析出 4 個污染因子；未經標準化的數據只有 1 個，部分污染源與 ACSM 使用 PMF 解析污染源有一致的結果。然而，LCS 的分析上仍然有一些使用限制，像是氣體污染物的量測準確度仍然比研究等級的儀器差，以及 LCS 無法提供氣膠化學成分資料，會對污染源的解析造成影響。	低成本感測器的優勢在於能夠有更多的佈點協助分析可能的污染源，透過大量數據進行統計分析也更具有代表性。然而，在量測的準確度以及化學成分的解析上仍然較研究級的儀器差，若能互相配合彌補不足，仍然可以在相對的低成本下，有更多的量測數據提供分析，提供更準確的解析污染源。數據	Yang et al. (2022)
本篇研究分析 2014 年全球 96 個城市的排放資料，將排放源區分成 8 類非燃燒農業、能源轉換與汲取、工業燃燒與製程、地面交通運輸、民用商業與其他、溶劑、廢棄物處置與處理、國際航運，再使用 InMAP 模式分析推估各污染源對 PM <sub>2.5</sub> 的貢獻，結果顯示有許多城市最大的污染貢獻源來自工業與能源相關污染源。使用本篇研究的方法能夠初步的提供各城市重要的污染源對 PM <sub>2.5</sub> 的貢獻量，可以做為管制策略擬訂的參考，不過作者也說明，本研究方法是較粗略的結果，在政策實施前建議使用時間或空間解析度更高的模式去評估較佳。	排放源資料配合模式模擬可以初步的估算污染源對各地區的 PM <sub>2.5</sub> 貢獻，幫助了解各低區受何種污染源貢獻最大，同時也可以估算各個污染源的減量分別可以使 PM <sub>2.5</sub> 降低多少。然而，排放源資料僅限於有回報的資訊，環境中還有眾多未紀錄且無法估算的污染排放量同樣不能忽視。	Tessum et al. (2022)
本篇研究分析南韓首爾市區的地面觀測 PM <sub>2.5</sub> 與 PM <sub>10</sub> 以及衛星觀測 AOD 在 2017 年 8 月至 2019 年 7 月的資料。先分析地面量測 PM 與衛星觀測 AOD 的關聯再使用模式推估臨近地區的 PM 濃度，近一步分析都市植被覆蓋量對 PM 減量的影響，結果顯示植被覆蓋量大的區域相較於有零星植被覆蓋的大片區域對 PM 減量有更大的正向影響，不過，是否所有的 PM 減量影響都與植被覆蓋有關仍需要進一步的分析植被對 PM 減量的機制，而使用模式來將衛星資料推算地面 PM 濃度也需要更多因子來提升模式的可信度。	一個測站的架設與維護都需要大量的經費，然而有些地區的環境條件不適合建立採樣站，這時若能輔以衛星觀測資料推估大範圍的 PM 分布，對於污染傳遞的觀測以及各地 PM 減量的評估都能有很大的幫助。	Park et al. (2020)

## 6.含氯氣膠貢獻源

近年使用 Positive matrix factorization (PMF) 受體模式分析可能的污染源發現在六站都出現「富含氯」的因子，並且與「海鹽」因子有所差異，因此希望透過文獻了解氯可能的污染來源。Zhang et al. (2022) 彙整 1960-2014 年的氯態 HCl 以及氣膠態 Cl<sup>-</sup> (pCl) 在六大來源（能源生產、工業製程、居家排放、開放式垃圾焚燒、開放式生質燃燒、農業活動）35 個分類中的排放量，其中，pCl 主要的來源為生質燃料（29%）以及開放式生質燃燒（44%）。本篇研究提到內陸排放的 HCl 以及 pCl 對於夜間含氯氣膠吸收 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 反應生成 ClNO<sub>2</sub> 有潛在的影響力，而早晨 ClNO<sub>2</sub> 的光解會產生氯自由基進而與 VOCs 迅速反應影響臭氧以及二次有機氣膠的生成，這些反應不只發生在沿海地區，內陸排放的 HCl 和 pCl 同樣是重要的含氯氣膠的來源。Peng et al. (2021) 於 2016 年 12 月到 2017 年 11 月在日本北九州市立大學進行採樣，並使用統計方法搭配逆軌跡分析、potential pollution source contribution function (PSCF) 和 concentration-weighted trajectory (CWT) 等方法估算人為/非海鹽貢獻 Cl<sup>-</sup>，結果顯示採樣期間有 72% 的天數（263 天）有量測到人為/非海鹽貢獻 Cl<sup>-</sup>，其中，濃度高於 20 nmol m<sup>-3</sup> 的天數 14%（50 天），可能的污染源包含火山噴發、都市垃圾焚燒、民生用煤炭燃燒以及境外傳輸，統計分析結果進一步顯示境外傳輸主要來自於中國東北及南方、蒙古、俄羅斯和日本海。

表 4.2.23 含氯氣膠貢獻源

地點與結果	內涵	作者
本研究分析 1960-2014 年全球已發表的排放源資料，分析氯態 HCl 以及氣膠態 pCl 的主要來源，結果顯示 pCl 主要的來源為生質燃料（29%）以及開放式生質燃燒（44%）。非臨海地區污染源排放的 HCl 以及 pCl 對於夜間含氯氣膠吸收 N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 反應生成 ClNO <sub>2</sub> 有潛在的影響力，而早晨 ClNO <sub>2</sub> 的光解會產生氯自由基進而與 VOCs 迅速反應影響臭氧以及二次有機氣膠的生成。	有別於以往認知大多數含氯氣膠源自於海鹽貢獻，許多人為活動也是重要的排放源，包含能源生產、工業製程以及農業活動中的生質燃燒，因此在污染來源推估時，含氯因子可能也受到上述排放源貢獻。	Zhan et al. (2022)
本研究在 2016 年 12 月至 2017 年 11 月的日本北九州大學進行採樣，著重在分析人為/非海鹽貢獻 Cl <sup>-</sup> 的濃度及來源，結果顯示採樣期間有 72% 的天數量測到人為/非海鹽貢獻 Cl <sup>-</sup> ，14% 的天數濃度高於 20 nmol m <sup>-3</sup> ，可能的污染源有火山噴發、都市垃圾焚燒、民生用煤炭燃燒以及境外傳輸，其中，境外傳輸主要來自於中國東北及南方、蒙古、俄羅斯和日本海。	本篇研究著於人為排放以及非海鹽貢獻的 Cl <sup>-</sup> ，對於氯在海鹽以外的貢獻源提供參考，另外，透過 PSCF、CWT 等方法，推估人為排放以及非海鹽貢獻的 Cl <sup>-</sup> 除了本地污染外，仍可能有境外傳輸的貢獻。	Peng et al. (2021)



## 7.大氣能見度相關研究

Ting et al. (2022) 在 2017 年 12 月 1 日到 2018 年 11 月 31 日於台灣台中的東海大學進行半連續採樣，分析  $\text{PM}_{2.5}$  化學與光學特性，文獻中量測的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分有水溶性無機離子 ( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$ )、碳成分 (OC 和 EC) 以及金屬元素 (Si、Ti、Fe 等)；光學量測有吸光與消光係數。結果顯示， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  雖然在 IMPROVE 的方程式中 (Feng et al., 2016; Malm et al., 1994; Watson, 2002) 貢獻最多的消光係數，但  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  占  $\text{PM}_{2.5}$  比例與消光係數相關性較好，代表  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  的減量對大氣能見度的提升效率較佳。文獻中還指出，在 60%~90% 相對濕度的環境，水分使消光係數增加了 2~6 倍，主要是受到水溶性無機鹽類影響。另外，考量相對濕度影響的大氣能見度相較於乾大氣能見度更接近人眼觀測的大氣能見度，說明氣膠的吸濕特性對大氣能見度的影響應列入考量，這也同時解釋了監測數據與大眾感受之間的差異。最後再次強調， $\text{NH}_4\text{NO}_3$  及其前驅物的污染源（例如：交通、發電廠和工業活動）排放減量有助於提升空氣品質以及大氣能見度。

表 4.2.24 大氣能見度相關研究

地點及結果	內涵	文獻
本研究在 2017 年 12 月 1 日到 2018 年 11 月 31 日在台灣台中的東海大學進行採樣，分析 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分及光學特性。結果顯示，從 IMPROVE 方程式的估算結果來看， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 貢獻較多的消光係數，然而消光係數與 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 在 $\text{PM}_{2.5}$ 的占比有較好的相關性，代表 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 的減量對大氣能見度的提升影響相對顯著。在能見度的估算中，考量相對濕度的結果比乾氣膠估算結果與人工估測的大氣能見度更接近，說明相對濕度、氣膠吸濕特性對大氣能見度的影響不容忽視。	近年 $\text{PM}_{2.5}$ 的監測數據呈現下降的趨勢，然而大眾對空氣污染的感受卻覺得差異不大，這中間的差異顯示實際大氣能見度的改善很重要。除了 $\text{PM}_{2.5}$ 外，環境相對濕度對大氣能見度的間接影響應列入考量，特別是高相對濕度的環境下氣膠吸濕增長對大氣能見度的影響更為顯著。這個研究在台中地區，文中提到若能減少 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 及其前驅物的排放，對於空氣品質及大氣能見度的提升會有很大的幫助，呼應了本計畫多年來一再重申應該降低 $\text{PM}_{2.5}$ $\text{NO}_3^-$ 的前驅污染源排放。	Ting et al. (2022)

## 8. 污染傳輸

Srivastava et al. (2021) 分析印度恆河平原上的德里城市站以及古瓦帕哈里 (Gual Pahari) 近郊背景站在 2008 年 1 月至 12 月的  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  和氣膠光學等數據，探討上風處的德里市區對下風處的古瓦帕哈里近郊的影響。結果顯示下風處古瓦帕哈里測站的  $\text{PM}_{10}$  比上風處的德里站低 30%，但水溶性離子卻比上風處高 23%，細部來看，主要水溶性二次無機離子 ( $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{NH}_4^+$ ) 在下風處高 52% 左右；上風處則是塵土成分 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$ ) 高約 76%。光學數據顯示，上風處的德里站相較於下風處的古瓦帕哈里站有較多的吸光氣膠，吸光係數前後分別為  $147 \pm 63 \text{ Mm}^{-1}$  和  $73 \pm 26 \text{ Mm}^{-1}$ ，進一步推估兩站輻射驅動力 (radiative forcing) 在大氣層頂端 (Top of the atmosphere, TOA)、地表以及大氣中的數值，上風處的輻射驅動力分別大於下風處 63%、53% 和 55%。雖然文中並未總結兩站的差異，但仍可看出經過傳輸後氣膠老化使主要化學成分占比產生變化，因而對大氣輻射效應有不同的影響；塵土相關成分可能因質量較大，在傳輸過程中沉積。透過上下風污染的分析，可以瞭解污染物在傳輸過程的變化，也可以用來評估各地傳輸污染的貢獻。

表 4.2.25 污染傳輸

地點及結果	內涵	文獻
本篇研究分析 2008 年 1 月至 12 月印度恆河平原的德里城市測站以及古瓦帕哈里近郊站的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 以及光學數據等數據。結果顯示 $\text{PM}_{10}$ 在下風處低於上風處 30%，水溶性無機離子成分中與二次氣膠相關成分 ( $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{NH}_4^+$ ) 在下風處較高約 52%；塵土相關成分在上風處高約 76%。從光學特性來看，上風處的德里市相較於下風處的古瓦帕哈里站有較多的吸光氣膠，進一步估算在大氣頂層、中層與地表的輻射驅動力，上風處分別高於下風處 63%、55%、53%。	解析各地污染源往往都能發現外地污染傳輸的貢獻，透過上、下風污染特性的比較，可以瞭解外地污染貢獻量以及污染物在傳輸過程的變化與減量狀況，提供在地空氣品質改善政策上的參考。	Srivastava et al. (2021)

### 4.3 細懸浮微粒採樣監測分析品保作業

本計畫執行 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度和化學成分分析作業，分析項目包括：質量濃度秤重、PM<sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽離子層析儀分析、PM<sub>2.5</sub> 碳成分熱光學分析、金屬元素感應耦合電漿質譜儀，本節針對相對應的各項品保作業分別敘述如下。

#### 4.3.1 PM<sub>2.5</sub> 質量秤重品保作業

PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採樣所使用的鐵氟龍濾紙，需要在恆溫恆濕環境進行秤重，以獲得 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，採樣期間所有鐵氟龍濾紙都在中央大學環工所天平室進行秤重。

##### 1. 中央大學環工所天平室溫度和相對濕度監控

本計畫在進行 PM<sub>2.5</sub> 成分檢測時，係以鐵氟龍濾紙採集 PM<sub>2.5</sub>，在天平室進行恆溫恆濕調理後進行秤重，秤完重濾紙再進行金屬元素成分分析。鐵氟龍濾紙於採樣前、後都經過溫、濕度調理，並依據環保署環檢所方法 NIEA A205.11C，天平室須保持於 20°C~23°C，且 24 小時內平均溫度變化在±2%；相對濕度保持在 30%~40%之間，且 24 小時內小時平均相對濕度變化在±5%。本計畫以每五分鐘一筆監控數據進行小時平均計算，當溫、濕度的小時平均值變化超過各日平均值的管制上、下限值時，代表天平室的監控不穩定，需瞭解原因並排除問題，此時不能秤重；當溫、濕度的小時平均值於管制上、下限值範圍內變動，代表天平室溫、濕度監控良好。

表 4.3.1 為計畫執行期間天平室溫、濕度跳動原因說明，當溫、濕度跳動不穩定時，本計畫不進行樣本秤重，除了天平室所在大樓例行性停電維護外，所有問題經排除後，且環境條件符合作業標準，方可再次進行秤重。

圖 4.3.1 為計畫執行期間天平室溫度和相對濕度監控，本計畫天平室是使用除濕機、冷氣機及暖氣機將溫度維持在 20°C~23°C，相對濕度 30%~40%的控制範圍內，整體而言，日平均值溫度、濕度大部分時間都在控制範圍內跳動。

表 4.3.1 計畫執行期間天平室溫、濕度跳動原因說明

日期	天平室溫、濕度跳動原因
2021 年 12 月 27-29 日	外部氣溫驟降，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 01 月 12-13 日	外部氣溫驟降，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 01 月 31 日	外部氣溫驟降，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 02 月 03-06 日	因適逢過年，人員休假，外部氣溫驟降，期間暫停分析。
2022 年 04 月 03-04 日	凌晨因外部氣溫驟降，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 5 月 2 日	外部氣溫驟降，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 5 月 5 日	外部氣溫回升，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 07 月 20 日	例行性清潔作業。
2022 年 07 月 24 日	環境濕度偏低，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 7 月 30 日	高壓電力系統維護停電復電後待監測穩定重啟分析。
2022 年 8 月 16 日	環境溫度偏低，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 8 月 29 日	環境溫度偏高，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 9 月 2 日	例行性清潔作業。
2022 年 10 月 4 日	電燈更換，停止分析
2022 年 10 月 18 日	外部氣溫驟降，溫控重新調整，期間暫停分析。
2022 年 10 月 19 日	除濕機管線堵塞，排除後待系統穩定重啟作業。

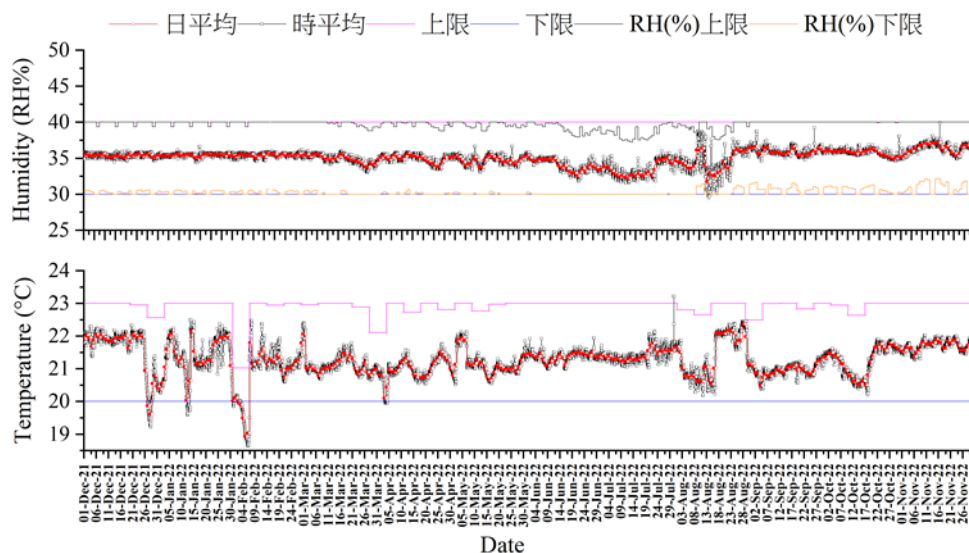


圖 4.3.1 2021 年 12 月~2022 年 11 月期間天平室溫度和相對濕度監控資料

## 2. 中央大學環工所天平室空白濾紙秤重

為了評估天平室秤重系統的穩定性，本計畫每個月使用 5 張空白濾紙分別進行 5 次秤重，2021 年 12 月 1 日至 2022 年 11 月 30 日空白濾紙秤重結果列於圖 4.3.2，共秤了 60 張空白濾紙，濾紙選用 Whatman 廠牌，每張濾紙重量分別從 116  $\mu\text{g}$  到 128  $\mu\text{g}$ ，變化率範圍為 99.998%至 100.003%，每張濾紙的變化都在變化率範圍內，無正或負偏斜，顯示天平室溫度、濕度控制和天平的穩定度對濾紙秤重數值變動在合理範圍內。

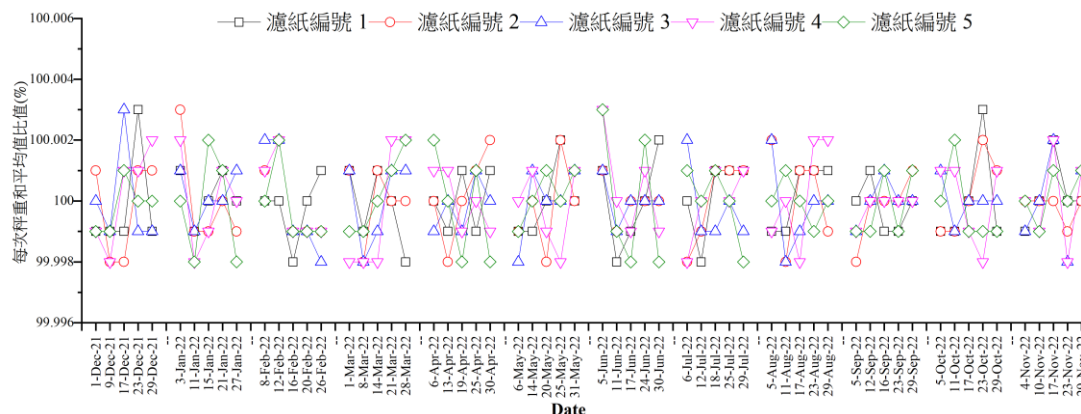


圖 4.3.2 空白濾紙重量變化

### 4.3.2 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子分析品保作業

PM<sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽離子分析品保作業包括陰、陽離子當量濃度平衡比、檢量線及方法偵測極限、重複樣品分析、添加樣品分析、空白分析、查核樣品分析、績效查核等，各項實驗分析依照環檢所規定應包含基質(濾紙)，因此本計畫將各標準品加入濾紙分析，並比照一般樣本處理方式進行萃取，然後進行上機分析。

#### 1. PM<sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽無機離子當量濃度平衡比

當大氣環境混合均勻，測站附近沒有明顯污染源排放時，PM<sub>2.5</sub> 的水溶性陰、陽無機離子應該維持在電性平衡狀態。圖 4.3.3 為板橋、忠明、斗六、嘉義、小港及花蓮各成分監測站在各次採樣的陰、陽水溶性無機離子當量濃度平衡比。各成分監測站水溶性陰、陽無機離子當量平衡濃度比幾乎都落在數據品質目標的 0.8 與 1.2 間，少數不在平衡濃度比範圍值內的數據經過重新再分析後，結果與原先的數據差距不大，因此沿用第一次分析結果，這些少數樣本 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度相對較低，使水溶性無機離子濃度較接近偵測極限，變動性較大，因而未達平衡。由於沒有系統性偏差，在檢核儀器無明顯缺失後，繼續進行分析。

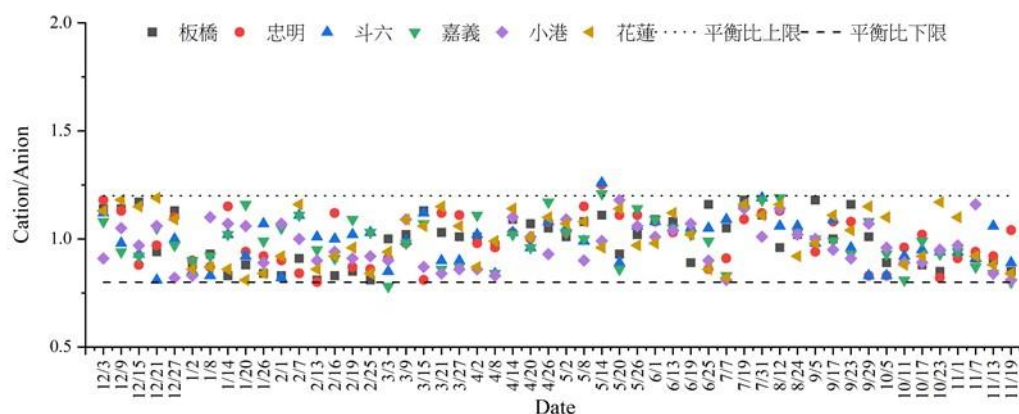


圖 4.3.3 六站水溶性陰、陽無機離子當量濃度平衡比

## 2. PM<sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽無機離子檢量線及分析方法偵測極限

本計畫每個月都配製新檢量線，以含濾紙方式進行萃取分析，陰、陽無機離子檢量線各成分相關性達到  $R \geq 0.995$  後，才會進行樣本上機分析，這個標準也符合 NIEA-PA103 規定須  $R \geq 0.995$ ，2022 年 11 月份檢量線如圖 4.3.4。其餘各月份檢量線呈列於附錄光碟。

為依據環保署環境檢驗所「環境檢驗方法偵測極限測定指引」（NIEA-PA107）規定，估算的本計畫陰、陽無機離子分析方法偵測極限表中各成分 ppm 為水樣中儀器的偵測極限，本計畫每次樣本分析萃取成 10 mL 水溶液，上機分析水溶性無機離子，得出溶液中濃度後，乘上 10 mL 得出水溶性無機離子質量，再除以採樣體積（約 9.648 m<sup>3</sup>），換算得出在空氣中濃度。

表 4.3.2 PM<sub>2.5</sub> 水溶性陰、陽無機離子分析方法偵測極限（2022 年 11 月更新）

偵測極限	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
ppm (水溶液濃度)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01
μg m <sup>-3</sup> (空氣中濃度)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01

\*方法偵測極限為 2022 年 11 月進行分析，歷次儀器進行維護後更新。

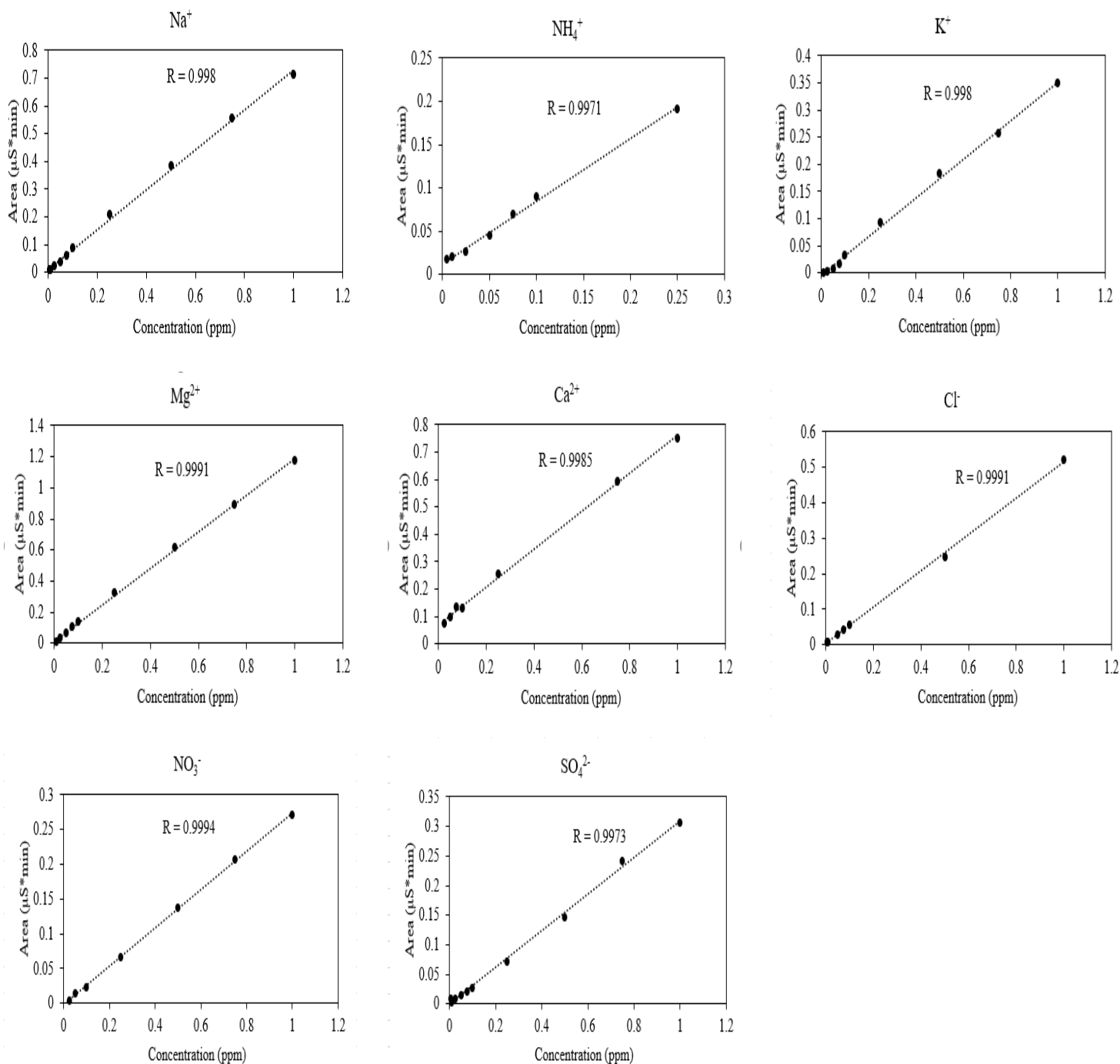


圖 4.3.4 2022 年 11 月份離子層析儀陰、陽無機離子檢量線

### 3. 內部品質管制要求

#### (1) 空白樣品分析

空白濾紙分析值應小於二倍方法偵測極限，大部份水溶性無機離子濃度都低於兩倍方法偵測極限，批次樣本空白分析結果詳列附錄光碟。

#### (2) 查核樣品分析

批次樣本分析中以每 10 個樣本(批次)加入一個查核標準品，該標準品以 1

ppm 濃度進行查核，圖 4.3.5 a.為水溶性無機離子查核樣品回收率計算如公式 4.3.1，符合 NIEA-W415.54B 規定介於 85~115%上下限範圍內。

$$R(\%) = \frac{X}{S} \times 100\%$$

公式 4.3.1

其中 R (%)為查核樣本回收率，X 為測定值，S 為標準物質的濃度值。

### (3) 重複樣品分析

重複樣品分析是為了瞭解樣品均勻性及人員操作精確性，因此將相對差異百分比訂在 20%內，同樣以批次樣本每 10 個樣本重複分析，以公式 4.3.2，分析結果如圖 4.3.5 b.所示。大部分樣品的相對差異百分比符合 NIEA-W415.54 B 規定須小於 20%內。

$$RPD(\%) = \frac{\frac{|X_1 - X_2|}{\frac{1}{2}|X_1 + X_2|}}{1} * 100\%$$

公式 4.3.2

其中 RPD (%)為相對差異百分比，X<sub>1</sub> 與 X<sub>2</sub> 為同一樣品重覆分析兩次時，所得測定值。

### (4) 添加樣品分析

本計畫以 2.5 ppm 查核標準品進行每 10 個樣本添加樣品批次分析，在進行 PM<sub>2.5</sub> 的多成分分析時，由於待測樣品中成分間濃度的差距過大，因此本計畫在陽離子方面以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、陰離子以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>為主，雖然 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在分析中更是主要成分，但是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度值多數高於 2.5 ppm 查核標準品，比較不符合添加濃度需為待測物濃度的一至五倍規定，因此只列出做為參考，計算公式如公式 4.3.3，樣本回收率為 80~120%，列出的主要成分都符合這個範圍規定；圖 4.3.5 c.-g.為主要水溶性陽、陰無機離子添加樣品標準品管制圖，各離子都在管制範圍內。

$$R(\%) = \left( \frac{X_2 - X_1}{S_1} \right) * 100\%$$

公式 4.3.3

其中 R (%)為添加樣本回收率，X<sub>1</sub> 為未添加標準品前樣本濃度、X<sub>2</sub> 為添加標準品後樣本濃度，S<sub>1</sub> 為添加的標準品濃度。



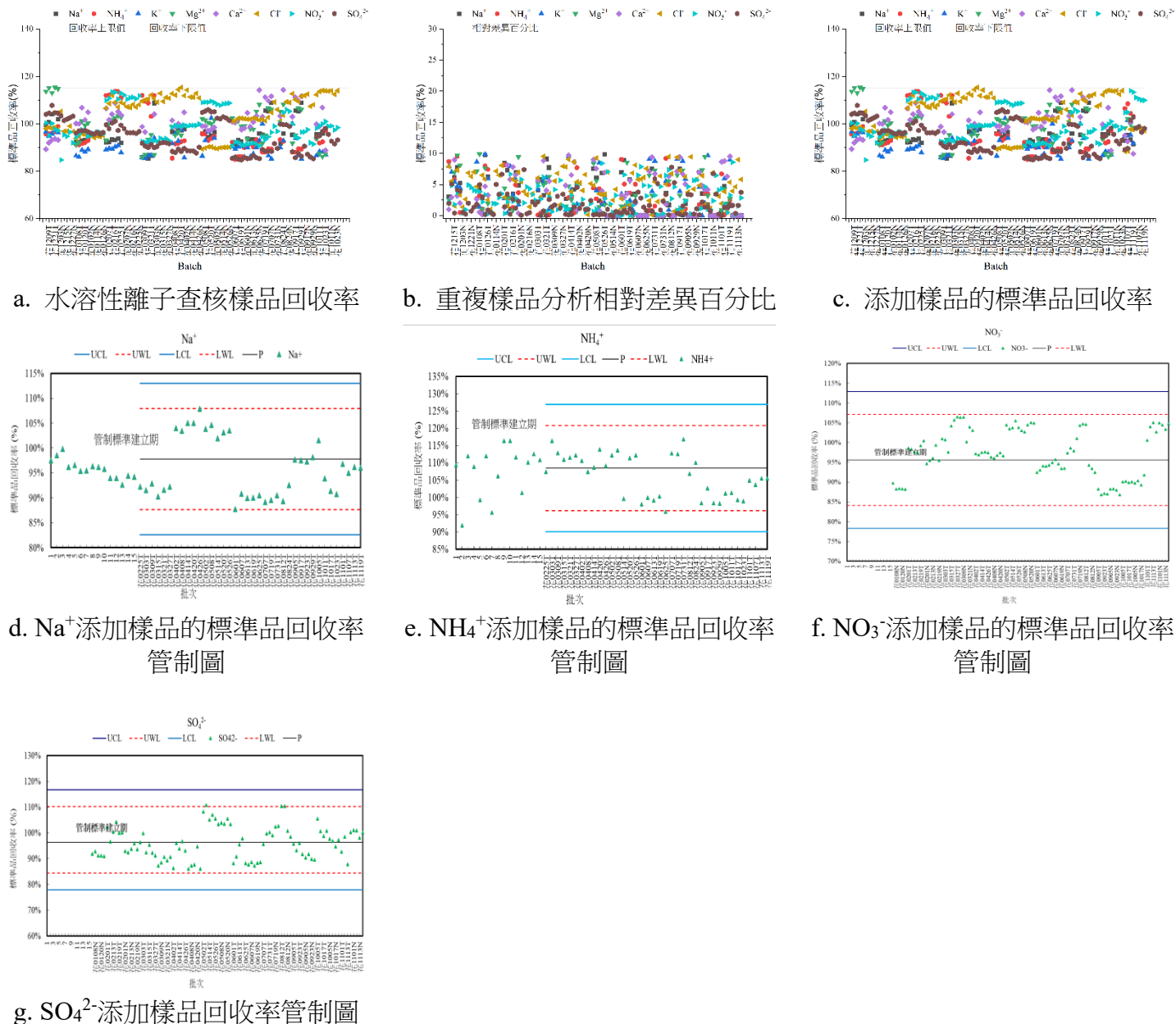


圖 4.3.5 水溶性無機離子查核、重複、添加樣本管制圖

### (5) 績效評估樣品測試查核

本計畫的績效評估樣品分別於 2022 年 1 月及 11 月取自中央大學大氣科學學系林能暉教授雲與氣膠實驗室所參與的 WMO (World Meteorological Organization) 國際比對績效評估樣品測試樣本，兩次績效評估樣品都有 3 種不同濃度，結果如表 4.3.3 至表 4.3.8 所示，分別將所有績效評估樣品測試成分進行重複分析 3 次後與 WMO 標準實驗室所分析結果比對，1 月及 11 月分析所得到的誤差百分比皆在 $\pm 10\%$ 內。

表 4.3.3 WMO (World Meteorological Organization)績效評估樣品 1 比對結果  
(2022 年 1 月)

量測項目	單位	WMO 標準實驗室	中大實驗室	差異百分比 (%)	重覆 1	重覆 2	重覆 3	平均
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.108	0.102	6%	0.102	0.099	0.104	0.102
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.247	0.238	4%	0.241	0.236	0.236	0.238
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.032	0.035	-10%	0.035	0.035	0.035	0.035
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.038	0.035	9%	0.037	0.035	0.031	0.035
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.194	0.176	9%	0.175	0.178	0.174	0.176
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.175	0.180	-3%	0.179	0.181	0.180	0.180
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.747	0.774	-4%	0.775	0.777	0.772	0.774
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.664	0.694	-4%	0.685	0.696	0.699	0.694

備註：差異百分比= (績效評估樣品-實驗室檢測)÷[0.5\*(績效評估樣品+實驗室檢測)]

表 4.3.4 WMO (World Meteorological Organization)績效評估樣品 2 比對結果  
(2022 年 1 月)

量測項目	單位	WMO 標準實驗室	中大實驗室	差異百分比 (%)	重覆 1	重覆 2	重覆 3	平均
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.215	0.207	4%	0.212	0.203	0.206	0.207
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.482	0.487	-1%	0.491	0.478	0.492	0.487
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.060	0.061	-1%	0.065	0.059	0.058	0.061
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.066	0.072	-9%	0.072	0.071	0.073	0.072
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.327	0.321	2%	0.235	0.356	0.371	0.321
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.433	0.433	0%	0.431	0.435	0.433	0.433
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.164	1.157	1%	1.148	1.166	1.157	1.157
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.954	0.957	0%	0.953	0.959	0.959	0.957

備註：差異百分比= (績效評估樣品-實驗室檢測)÷[0.5\*(績效評估樣品+實驗室檢測)]

表 4.3.5 WMO (World Meteorological Organization)績效評估樣品 3 比對結果  
(2022 年 1 月)

量測項目	單位	WMO 標準實驗室	中大實驗室	差異百分比 (%)	重覆 1	重覆 2	重覆 3	平均
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.412	0.397	4%	0.358	0.373	0.461	0.397
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.600	0.613	-2%	0.611	0.612	0.617	0.613
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.128	0.122	5%	0.117	0.125	0.123	0.122
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.099	0.101	-2%	0.101	0.101	0.101	0.101
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.339	0.338	0%	0.372	0.323	0.317	0.338
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.764	0.727	5%	0.722	0.732	0.727	0.727
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.837	1.763	4%	1.758	1.767	1.764	1.763
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	2.499	2.264	9%	2.273	2.253	2.267	2.264

備註：差異百分比= (績效評估樣品-實驗室檢測)÷[0.5\*(績效評估樣品+實驗室檢測)]

表 4.3.6 WMO (World Meteorological Organization)績效評估樣品 1 比對結果  
(2022 年 11 月)

量測項目	單位	WMO 標準實驗室	中大實驗室	差異百分比 (%)	重覆 1	重覆 2	重覆 3	平均
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.083	1.128	-4%	1.126	1.126	1.131	1.128
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.369	0.334	9%	0.332	0.337	0.334	0.334
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.197	0.206	-5%	0.210	0.204	0.205	0.206
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.111	0.109	2%	0.095	0.113	0.118	0.109
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.25	0.251	0%	0.247	0.247	0.259	0.251
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.955	1.919	2%	1.920	1.917	1.922	1.919
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.943	0.963	-2%	0.967	0.959	0.962	0.963
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.88	1.823	3%	1.840	1.778	1.849	1.823

備註：差異百分比= (績效評估樣品-實驗室檢測)÷[0.5\*(績效評估樣品+實驗室檢測)]

表 4.3.7 WMO (World Meteorological Organization)績效評估樣品 2 比對結果  
(2022 年 11 月)

量測項目	單位	WMO 標準實驗室	中大實驗室	差異百分比 (%)	重覆 1	重覆 2	重覆 3	平均
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.000	1.030	-3%	1.030	1.029	1.030	1.030
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.436	0.398	9%	0.388	0.415	0.389	0.398
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.164	0.172	-5%	0.176	0.169	0.172	0.172
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.112	0.121	-8%	0.120	0.121	0.121	0.121
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.216	0.220	-2%	0.230	0.215	0.216	0.220
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.55	1.500	3%	1.493	1.488	1.519	1.500
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.198	1.234	-3%	1.235	1.238	1.230	1.234
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	2.347	2.434	-4%	2.435	2.443	2.424	2.434

備註：差異百分比= (績效評估樣品-實驗室檢測)÷[0.5\*(績效評估樣品+實驗室檢測)]

表 4.3.8 WMO (World Meteorological Organization)績效評估樣品 3 比對結果  
(2022 年 11 月)

量測項目	單位	WMO 標準實驗室	中大實驗室	差異百分比 (%)	重覆 1	重覆 2	重覆 3	平均
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.133	0.129	3%	0.128	0.131	0.127	0.129
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.275	0.274	0%	0.282	0.269	0.273	0.274
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.075	0.075	-1%	0.072	0.073	0.081	0.075
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.052	0.056	-8%	0.056	0.056	0.056	0.056
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.135	0.124	8%	0.120	0.124	0.126	0.124
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.279	0.283	-1%	0.283	0.282	0.284	0.283
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.695	0.712	-3%	0.715	0.711	0.711	0.712
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.097	1.034	6%	1.045	1.016	1.040	1.034

備註：差異百分比= (績效評估樣品-實驗室檢測)÷[0.5\*(績效評估樣品+實驗室檢測)]

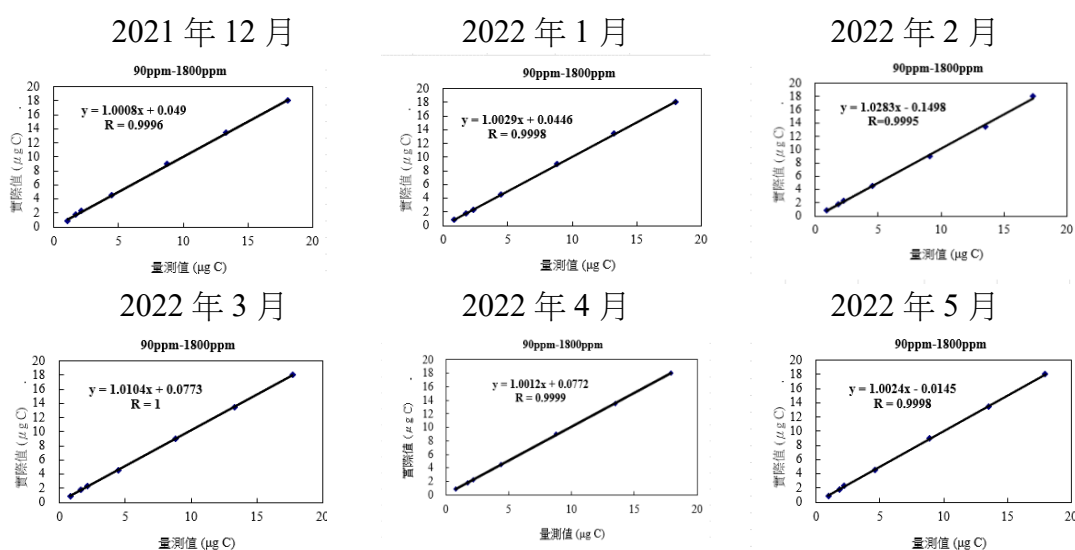
### 4.3.3 PM<sub>2.5</sub> 碳成分分析品保作業

本實驗室對氣膠有機碳 (OC) 及元素碳 (EC) 分析的品保品管作業細節詳述於計畫的品保規劃書中，主要的品質監控機制包括儀器的定期校正和儀器穩定度的追蹤管理兩大部分，以下分別為本計畫執行期間的相關紀錄。

#### 1. PM<sub>2.5</sub> 碳成分分析檢量線及分析方法偵測極限

本分析系統以鄰苯二甲酸 (KHP) 為標準品配製有機碳標準液，並以不同濃度的標準液建立儀器測量訊號與分析樣品濃度間的線性檢量關係。檢量線配製以 KHP 標準液，配製濃度分別為 90、180、225、450、900、1350、1800 ppm C。換算成一張濾紙的碳成分質量濃度介於 1.9~37.5  $\mu\text{g m}^{-3}$  (用 MetOne SASS 採樣流率 6.7 L min<sup>-1</sup> 計算，24 小時採樣體積為 9.648 m<sup>3</sup>)，這個檢量線濃度範圍可涵括所有樣本濃度。利用上述配製好濃度後的標準液再使用碳分析儀逐一分析不同濃度的標準品，並以注入標準品相當的總碳質量對儀器輸出訊號與內標準品訊號積分面積比值進行線性迴歸，檢量線 R 應達到 0.995 以上。依據本計劃的品保規劃書，碳分析儀每個月校正一次。圖 4.3.6 為計畫執行期間碳分析儀 2021 年 12 月至 2022 年 11 月 R 都是 0.995 以上，都符合計畫的品質標準。

碳分析儀方法偵測極限 (MDL) 最近建立日期為 2022 年 11 月份，透過 7 重複分析檢量線最低點濃度 90 ppm，每張石英濾紙的平均值±標準差為 18.25 ± 1.20  $\mu\text{gC filter}^{-1}$ ，以 3 倍標準差 3.59  $\mu\text{gC filter}^{-1}$  為每張濾紙的 MDL，若換算成每次濾紙採集的質量濃度，方法偵測極限則是 0.37  $\mu\text{g m}^{-3}$  (3.59  $\mu\text{gC}$  除以採樣體積 9.648 m<sup>3</sup>)。



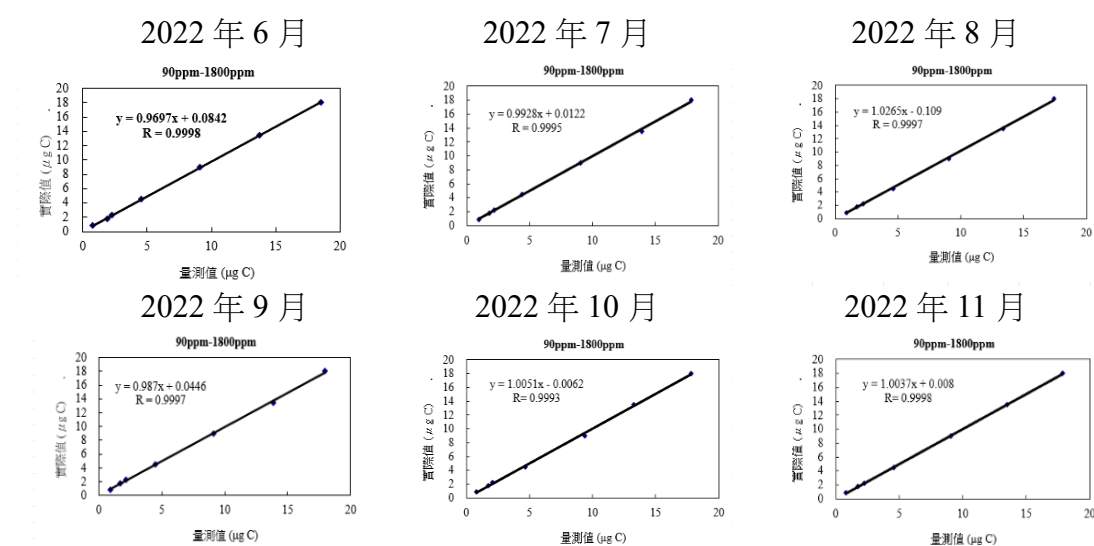


圖 4.3.6 碳分析儀檢量線

## 2.內部品質管制要求

### (1) 空白樣品分析

在檢測樣品前，應運用相同設備及檢測方法先操作空白分析，以確定儀器狀況。儀器對空白樣品的訊號應在雜訊範圍內，亦即不得高於兩倍方法偵測極限，本儀器碳分析偵測極限以每平方公分濾紙上的碳含量為  $0.319 \mu\text{g C cm}^{-2}$ ，2 倍偵測極限  $0.638 \mu\text{g C cm}^{-2}$  即為儀器空白測試的管制值。圖 4.3.7 為本計畫 2021 年 12 月 3 日~2022 年 11 月 19 日，每一批次樣本的空白管制圖，所有空白值都維持在管制值以下，顯示儀器分析過程應無污染疑慮。

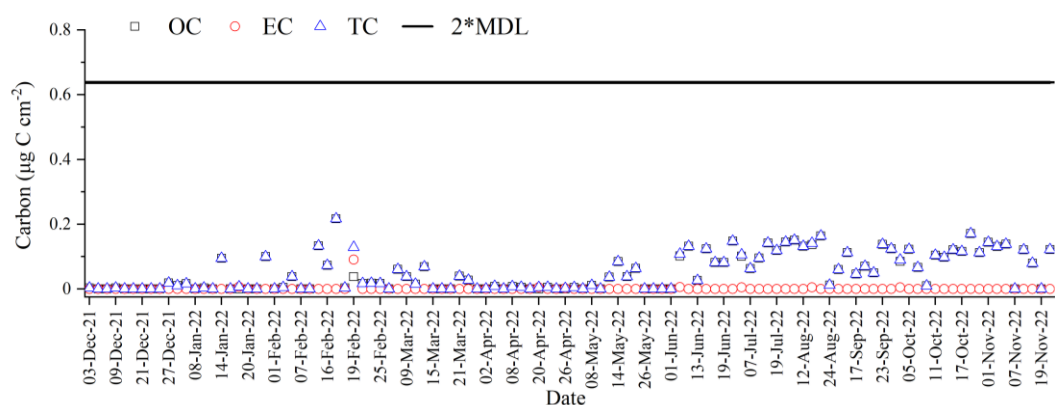


圖 4.3.7 碳成分儀器空白品質管制圖

### (2) 查核樣品分析

本計畫以  $10 \mu\text{L}$  900 ppm KHP 標準液注射在空白濾紙上，作為碳分析查核樣品。在檢測樣品前，完成空白分析後，即進行查核樣品分析以確定儀器狀況。依

據本計畫品保規劃書，應累積 15 個查核樣品測定值，並計算其平均值(Mean)及標準偏差( $\sigma$ )，並訂出品質管理的參考值：

$$\text{UWL (警告上限值)} = \text{Mean} + 2\sigma$$

$$\text{LWL (警告下限值)} = \text{Mean} - 2\sigma$$

$$\text{UCL (管制上限值)} = \text{Mean} + 3\sigma$$

$$\text{LCL (管制下限值)} = \text{Mean} - 3\sigma$$

圖 4.3.8 呈現查核樣品管制圖，本計畫取 2021 年 12 月 3 日至 2022 年 11 月 19 日樣品分析結果作為建立管制標準的基礎。以 110 次分析數據計算出查核樣品 TC 的平均值和標準偏差，以此計算出 UWL、LWL、UCL、LCL，分別為 9.52  $\mu\text{g}$ 、8.56  $\mu\text{g}$ 、9.76  $\mu\text{g}$ 、8.31  $\mu\text{g}$ 。建立此管制標準後，各次分析結果大部分維持在管制範圍內。

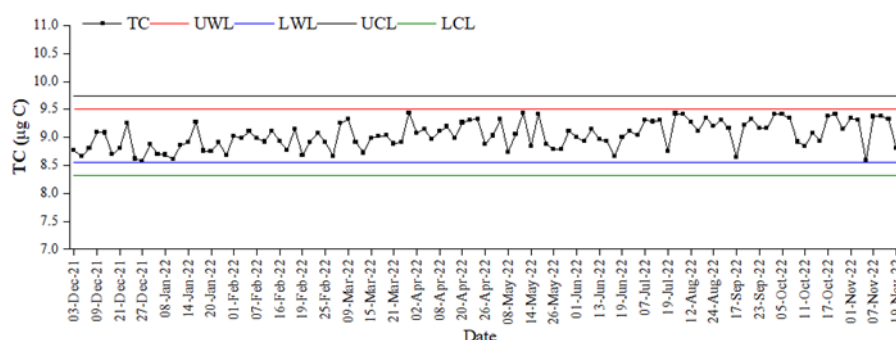
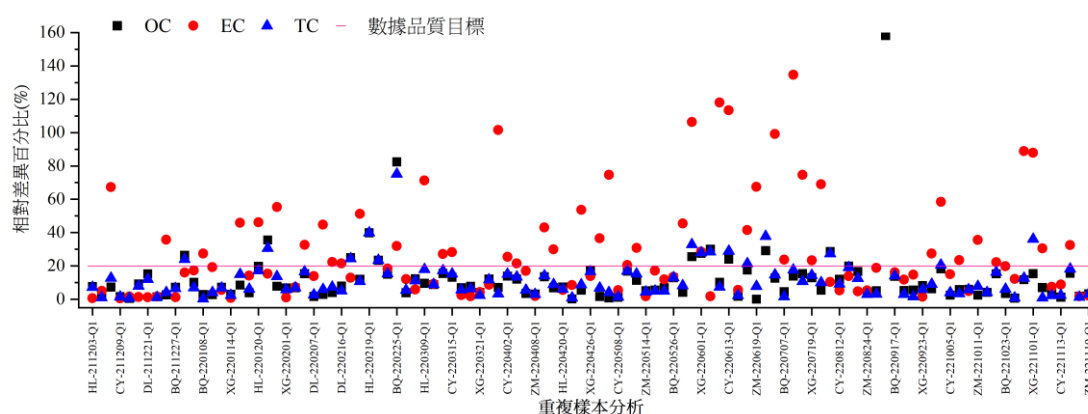


圖 4.3.8 碳成分查核樣本品質管制圖

### (3) 重複樣品分析

本計畫碳成分樣本查核作業於每批次樣本執行一次，相同樣本相對差異百分比計算方式如公式 4.3.2 所示，圖 4.3.9 呈現本階段碳成分樣本重複分析結果，其中圖 a 與圖 b 分別是實驗室與中研院重複分析數值。批次樣本 OC 與 TC 大多符合所設定品質目標相對差異百分比 20%，惟儀器老化感度下降，加上近年環境 EC 濃度下降，致使 EC 重複分析差異百分比數值放大。

### (a) 實驗室重複分析



### (b) 中研院重複分析

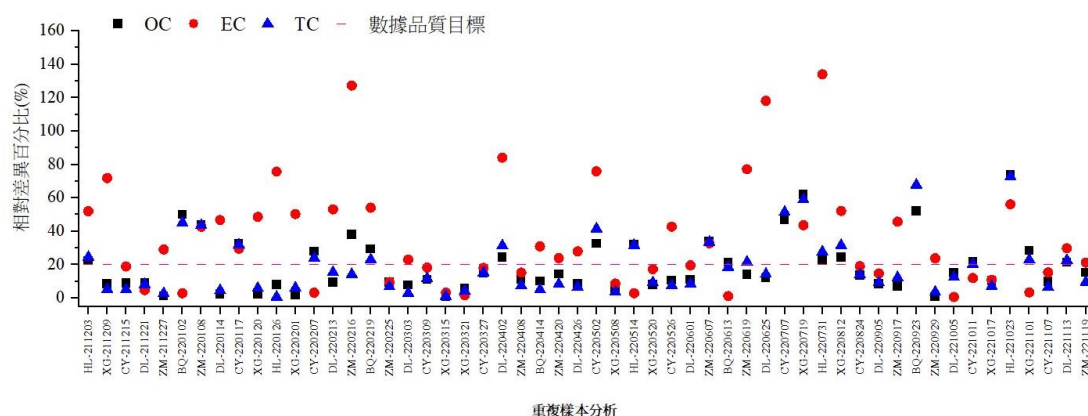


圖 4.3.9 碳成分重複樣本分析

## 4.3.4 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素分析品保作業

### 1. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素檢量線及方法偵測極限

表 4.3.9 為金屬元素檢量線配製成果及方法偵測極限數值，其中，金屬元素成分檢量線標準液配製，係將 Merck 公司出產各金屬元素原始標準液（濃度為 1000 ppm）混合，再依懸浮微粒中各金屬元素的豐富度，區分主量金屬元素、次量金屬元素、微量金屬元素及稀土元素，以 1 % 的硝酸（Merck, 60 % Ultrapure）稀釋配製成 7 種系列濃度，主量元素（Al、Fe、Na、Mg、K 與 Ca）的稀釋系列分別為 0.1、1、10、100、200、500 及 1000 ppb，次量金屬元素及微量金屬元素（Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn、Sb、Tl、Pb、V、Cr、As、Se、Y、Zr、Rb、Ga、Ge 與 Cs）的稀釋系列則分別為 0.01、0.1、1、10、20、50 及 100 ppb，稀土元素（La、Ce 及 Nd）的稀釋系列則分別為 0.01、0.1 及 1

ppb。配製頻率為批次分析前執行檢量線配製作業，下表為 11 月份所建立檢量線 R 值，各元素皆達到 0.995 以上。

金屬元素成分方法偵測極限，估算方法為以 1/2 張濾紙進行消化，消化液定量至 15 mL，取得各金屬元素於每張空白濾紙的含量（ng），除以濾紙面積求得單位面積含量，將 7 張空白濾紙消化處理後，取得 7 次數據的標準偏差，乘上 3 倍標準偏差數值，採樣體積以 24 m<sup>3</sup> 計算。

**表 4.3.9 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分檢量線（2022.11 建立）線性程度(R)與方法偵測極限(MDL)（2022.11 建立）**

元素	R	MDL (ng m <sup>-3</sup> )	元素	R	MDL (ng m <sup>-3</sup> )
Al	0.99997	3.92	Sb	0.99960	0.004
Fe	0.99965	0.96	Tl	0.99980	0.0002
Na	0.99988	1.84	Pb	0.99973	0.01
Mg	0.99986	0.36	V	0.99954	0.004
K	0.99963	0.69	Cr	0.99939	0.17
Ca	0.99999	18.52	As	0.99989	0.002
Sr	0.99985	0.05	Y	0.99979	0.001
Ba	0.99992	0.06	Se	0.99968	0.01
Ti	0.99949	0.22	Zr	0.99998	0.03
Mn	0.99992	0.04	Ge	0.99998	0.001
Co	0.99981	0.02	Rb	0.99987	0.002
Ni	0.99991	0.06	Cs	0.99994	0.0003
Cu	0.99986	0.04	Ga	0.99995	0.003
Zn	0.99961	0.46	La	0.99992	0.001
Mo	0.99995	0.03	Ce	0.99983	0.003
Cd	0.99963	0.001	Nd	0.99978	0.001
Sn	0.99957	0.02			

## 2.內部品質管制要求

### (1) 空白樣品分析

本計畫空白樣品分析資料分為現場空白、運送空白及實驗室空白，如表 4.3.10 至表 4.3.12 所示。分析頻率為每 10 個或批次樣品至少執行一個空白樣品分析，分析值須低於二倍方法偵測極限方可接受。各金屬元素成分大致符合標準。

### (2) 查核樣品分析

本計畫在每 20 個樣品選取一個樣品添加標準物質（SRM 1648）進行查核分析，以確保分析品質，查核樣品分析回收率（Recovery, R）應在 75~125%範圍內才可接受，查核樣品分析回收率計算如公式 4.3.1。回收率如表 4.3.13 所示。

若待分析金屬元素不在標準物質（SRM 1648）所能提供的微量元素檢測數



據表列，則利用標準溶液取代參考物質執行此項品管步驟。回收率應在 80～120% 範圍內。各批次樣本查核結果如表 4.3.14 所示，各檢測項目皆符合查核樣品規範要求。

### (3) 重複樣品分析

本計畫每分析 10 個樣品或完成批次樣品檢測後，選取其中一個樣品進行重複樣品分析查核工作，以確保分析品質，此兩組數據差異百分比需小於 20 % 才可被接受，重複樣品分析測定相對差異百分比 (Relative Percent Difference, RPD) 計算如公式 4.3.2。成果彙整如表 4.3.15。

### (4) 添加樣品分析

本計畫每 20 個或每批次樣品至少執行一個添加標準品分析，並求其回收率。回收率應在 75%～125% 範圍內，添加樣品回收率 (Recovery, R) 計算如公式 4.3.3。分析資料如表 4.3.15。

表 4.3.10 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素分析－現場空白樣品 (ng mL<sup>-1</sup>)

項目	批次／批號	現場空白樣品																																		
		Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd		
	MDL	6.07	2.96	7.79	1.60	4.87	27.26	0.14	0.11	0.73	0.16	0.01	0.30	0.60	1.52	0.03	0.01	0.12	0.02	0.00	0.05	0.03	0.20	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	211203 FB	12.69*	2.74	1.53	3.02	1.11	15.77	0.01	0.02	0.30	0.18	0.02	0.27	0.22	ND	0.01	0.00	0.34*	0.01	0.00	0.03	0.01	0.18	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211209 FB	2.77	3.70	1.05	2.63	0.68	16.67	0.02	0.13	0.33	0.16	0.02	0.11	0.10	ND	0.01	ND	0.39*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.17	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211215 FB	1.92	2.82	2.27	2.62	0.73	15.59	0.02	0.02	0.17	0.14	0.01	0.25	0.09	ND	0.01	ND	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211221 FB	6.82	2.99	1.65	2.54	0.68	13.64	0.02	0.02	0.71	0.13	0.01	0.12	0.44	ND	0.01	ND	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.10	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211227 FB	2.35	4.40	1.81	3.34*	0.81	14.46	0.02	0.04	0.33	0.15	0.01	0.06	0.08	ND	0.01	ND	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.17	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220102 FB	3.18	4.00	2.51	2.99	1.88	14.97	0.02	0.06	0.24	0.15	0.01	0.07	0.17	ND	0.01	ND	0.09	0.00	ND	0.00	0.00	0.19	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220108 FB	2.43	2.08	1.00	2.97	0.45	13.25	0.03	0.02	0.19	0.11	0.01	0.09	0.09	0.10	0.01	0.00	0.06	0.01	ND	0.02	0.01	0.16	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220114 FB	2.93	2.32	0.85	3.05	0.47	16.95	0.04	0.02	0.44	0.13	0.01	0.06	0.38	0.21	0.01	0.00	0.05	0.00	ND	0.04	0.01	0.17	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220117 FB	2.26	1.61	2.98	0.70	1.31	17.87	0.01	0.14	0.20	0.13	0.00	0.04	0.06	0.57	0.01	0.00	0.04	0.00	ND	0.03	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220120 FB	1.44	1.72	2.02	0.66	0.62	14.54	0.01	0.02	0.15	0.11	0.00	0.04	0.16	0.16	0.00	ND	0.04	0.00	ND	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220126 FB	1.97	3.25	1.58	0.62	0.66	15.18	0.02	0.02	0.31	0.12	0.00	0.06	0.11	0.21	0.00	ND	0.04	0.00	ND	0.03	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220201 FB	3.51	2.40	1.97	0.69	0.78	25.19	0.05	0.04	0.26	0.12	0.00	0.10	0.11	0.28	0.01	ND	0.03	0.00	ND	0.03	0.01	0.20	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220207 FB	1.00	2.00	1.46	0.56	0.65	14.39	0.01	0.01	0.14	0.10	0.00	0.04	0.07	0.11	0.00	ND	0.28*	0.00	ND	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220213 FB	2.20	1.79	0.62	0.22	0.35	13.33	0.01	0.02	0.17	0.13	0.01	0.08	0.07	0.13	0.01	ND	0.24*	0.00	ND	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220216 FB	2.64	1.66	0.52	0.23	0.23	13.82	0.01	0.04	0.12	0.13	0.01	0.07	0.07	0.11	0.01	ND	0.06	0.00	ND	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220219 FB	7.87	2.35	1.55	0.33	0.72	25.15	0.01	0.03	0.13	0.14	0.01	0.11	0.10	0.12	0.01	ND	0.03	0.00	ND	0.01	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.02	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220222 FB	3.20	2.32	1.99	0.61	1.29	35.89	0.02	0.02	5.65*	0.16	0.01	0.08	0.08	0.61	0.01	ND	0.13	0.00	ND	0.01	0.01	0.10	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220225 FB	4.90	2.84	1.30	0.95	0.74	29.98	0.02	0.04	4.38*	0.16	0.01	0.11	0.07	0.24	0.01	ND	0.10	0.00	ND	0.01	0.01	0.19	0.00	0.00	0.00	0.02	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220303 FB	7.60	3.45	1.46	0.80	1.44	29.09	0.05	0.06	10.3*	0.14	0.01	0.08	0.36	0.29	0.01	ND	0.03	0.00	ND	0.02	0.01	0.14	0.00	0.00	0.01	0.03	ND	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
	220309 FB	2.14	1.59	1.87	0.48	1.05	28.75	0.02	0.02	0.45	0.14	0.01	0.10	0.11	0.76	0.01	0.00	0.08	0.01	ND	0.01	0.01	0.10	0.00	0.00	0.01	0.07*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	220315 FB	1.25	1.33	1.25	0.27	0.68	25.68	0.00	0.06	0.17	0.13	0.00	0.04	0.21	0.90	0.00	0.00	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	220318 FB	1.37	2.31	0.79	0.31	0.20	20.29	0.00	0.01	0.11	0.13	0.00	0.08	0.10	0.03	0.01	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	220321 FB	1.43	0.73	0.60	0.24	0.05	12.30	0.01	0.00	0.14	0.10	0.00	0.05	0.07	0.14	0.00	0.00	0.16	0.00	ND	ND	0.00	0.07	0.00	0.03*	0.00	1.07*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220327 FB	1.33	1.20	0.94	0.22	0.20	13.03	0.01	0.02	0.12	0.13	0.00	0.13	0.12	0.12	0.00	ND	0.02	0.00	ND	ND	0.00	0.17	ND	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220402 FB	1.26	1.38	0.90	0.27	0.34	19.80	0.00	0.03	0.16	0.13	0.00	0.06	0.10	0.05	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220408 FB	1.22	0.97	1.32	0.35	0.39	18.85	0.01	0.03	0.13	0.13	0.00	0.16	0.48	0.40	0.00	0.00	0.02	0.00	ND	0.03	0.01	0.07	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220414 FB	4.21	1.12	1.29	0.56	0.73	26.90	0.07	0.02	0.42	0.12	0.00	0.06	0.13	0.31	0.03	ND	0.03	0.00	ND	0.02	0.01	0.10	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220420 FB	1.50	3.29	1.06	0.23	0.32	19.81	0.01	0.02	0.17	0.12	0.00	0.07	0.03	0.92	0.00	ND	0.03	0.00	ND	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220426 FB	2.04	1.19	1.02	0.21	0.37	23.16	0.02	0.04	0.11	0.12	0.00	0.07	0.05	0.03	0.01	0.00	0.05	0.00	ND	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0.		

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd
	220905 FB	1.59	1.29	5.07	0.97	12.4*	47.85	0.03	0.08	0.82	0.12	0.02	0.03	0.12	0.77	0.01	ND	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220917 FB	1.17	2.49	1.31	0.45	0.39	40.35	0.02	0.05	0.27	0.17	0.09*	0.10	0.25	0.43	0.02	ND	0.29*	0.01	0.00	0.02	0.01	0.38	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220923 FB	1.82	1.40	1.33	0.40	0.36	33.59	0.01	0.09	0.15	0.14	0.06*	0.10	0.25	0.12	0.03	0.00	0.18	0.00	0.00	0.02	0.00	0.17	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	220929 FB	0.86	1.01	0.97	0.44	0.25	28.58	0.01	0.04	0.08	0.12	0.04*	0.05	0.70	0.25	0.01	ND	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.18	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221005 FB	1.82	1.43	2.76	0.43	2.02	28.14	0.02	0.05	0.14	0.27	0.05*	0.08	0.25	ND	0.02	ND	0.05	0.00	ND	ND	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221008 FB	1.50	0.99	0.99	0.28	0.41	26.40	0.02	0.02	0.12	0.19	0.04*	0.02	0.09	ND	0.01	ND	0.03	0.00	ND	0.02	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221011 FB	1.62	1.10	0.94	2.49	0.37	24.07	0.02	0.01	1.57*	0.17	0.03*	0.05	0.03	ND	0.00	ND	0.04	0.00	ND	ND	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221017 FB	1.94	1.67	1.39	0.88	1.05	22.72	0.03	0.08	0.19	0.17	0.01	0.03	0.06	ND	0.01	ND	0.13	0.00	ND	ND	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.05*	0.00	0.01	0.01*	0.01	0.00	0.00	0.00
	221023 FB	1.70	2.07	0.49	0.59	1.00	22.52	0.02	0.05	0.14	0.15	0.01	0.03	0.08	ND	0.01	ND	0.19	0.00	ND	ND	0.01	0.13	0.00	0.00	0.01	0.06*	0.00	0.01	0.01*	0.00	0.00	0.00	0.00
	221101 FB	0.90	1.18	1.88	0.36	0.37	42.09	0.01	0.03	0.21	0.16	0.02*	0.10	0.07	0.14	0.01	ND	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221107 FB	19.42*	1.80	1.54	0.70	0.81	44.63	0.01	0.11	0.11	0.19	0.02	0.13	0.16	0.27	0.01	ND	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01	0.34	0.00	0.00	0.01	0.05*	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	221113 FB	3.25	5.42	2.35	0.56	1.33	37.06	0.03	0.06	0.35	0.47*	0.02	0.36	0.12	0.84	0.01	ND	0.08	0.00	ND	0.01	0.01	1.12*	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	221119 FB	1.45	1.77	1.54	0.39	0.57	28.29	0.00	0.02	0.04	0.40*	0.01	0.04	0.05	ND	0.01	ND	0.13	0.00	ND	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AVG	2.81	1.95	1.47	0.91	0.87	25.95	0.02	0.05	0.58	0.20	0.02	0.08	0.16	0.31	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2*MDL	12.14	5.91	15.58	3.20	9.74	54.52	0.29	0.23	1.46	0.32	0.02	0.59	1.20	3.03	0.05	0.01	0.23	0.03	0.01	0.11	0.06	0.40	0.03	0.00	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01

備註：\*星號表示元素空白大於兩倍方法偵測極限

表 4.3.11 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素分析－運送空白樣品 (ng mL<sup>-1</sup>)

項目	批次／批號	運送空白樣品																																
		Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd
	MDL	6.07	2.96	7.79	1.60	4.87	27.26	0.14	0.11	0.73	0.16	0.01	0.30	0.60	1.52	0.03	0.01	0.12	0.02	0.00	0.05	0.03	0.20	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	211203 TB	3.09	2.46	1.03	2.51	1.83	15.02	0.01	0.03	0.17	0.16	0.02	0.06	0.15	ND	0.01	ND	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00	0.11*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211209 TB	2.15	2.22	0.91	2.40	0.51	18.42	0.01	0.01	0.35	0.16	0.01	0.07	0.11	ND	0.01	ND	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211215 TB	1.80	3.54	1.64	2.45	0.97	16.36	0.02	0.03	0.20	0.13	0.01	0.06	0.26	0.46	0.01	ND	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211221 TB	3.54	4.36	3.09	4.28*	1.19	31.58	0.05	0.04	0.35	0.17	0.01	3.68*	0.31	0.02	0.01	ND	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01	0.25	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211227 TB	2.88	3.80	4.93	3.26*	2.36	17.65	0.03	0.03	0.29	0.48*	0.01	0.04	0.10	ND	0.00	ND	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.11	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220102 TB	2.06	4.10	2.32	3.09	1.15	16.96	0.01	0.03	0.26	0.14	0.01	0.07	0.13	ND	0.01	ND	0.03	0.00	ND	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220108 TB	2.99	2.19	3.76	3.35*	0.64	14.99	0.02	0.03	0.20	0.12	0.01	0.06	0.07	0.17	0.01	0.00	0.03	0.01	ND	0.02	0.00	0.13	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220114 TB	1.94	2.35	0.93	2.91	0.57	15.31	0.01	0.02	0.15	0.12	0.00	0.06	0.46	0.19	0.01	ND	0.04	0.00	ND	0.04	0.00	0.12	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220117 TB	3.61	1.69	1.47	0.49	0.53	14.03	0.01	0.02	0.23	0.12	0.00	0.04	0.11	0.20	0.01	ND	0.02	0.01	ND	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220120 TB	1.66	1.46	1.99	0.56	0.91	17.70	0.02	0.01	0.22	0.11	0.00	0.04	0.16	0.30	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220126 TB	1.34	1.35	1.46	0.50	0.54	13.62	0.02	0.02	0.18	0.10	0.00	0.08	0.09	0.11	0.00	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220201 TB	1.11	2.73	1.40	0.63	0.42	14.99	0.01	0.02	0.14	0.11	0.00	0.05	0.09	0.09	0.00	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220207 TB	1.28	1.27	1.43	0.57	0.65	15.15	0.01	0.02	0.38	0.10	0.00	0.02	0.12	0.14	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	ND	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220207 TB	0.86	1.12	1.21	0.49	0.31	12.73	0.01	0.01	0.08	0.11	0.00	0.02	0.10	0.09	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220207 TB	2.05	1.82	1.54	0.83	0.66	16.40	0.03	0.02	0.20	0.12	0.00	0.06	0.13	0.13	0.00	ND	0.03	0.00	ND	0.03	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220213 TB	0.71	1.23	0.38	0.16	0.18	12.43	0.01	0.01	0.13	0.13	0.01	0.06	0.05	0.04	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	ND	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220216 TB	2.03	1.57	0.54	0.33	0.16	13.82	0.03	0.05	0.22	0.12	0.01	0.05	0.07	0.12	0.01	ND	0.02	0.03	ND	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220219 TB	1.21	1.66	1.10	0.24	0.47	21.97	0.01	0.07	0.89	0.13	0.01	0.07	0.23	0.18	0.02	ND	0.03	0.01	ND	0.02	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.27*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220222 TB	2.17	1.01	1.34	0.45	0.43	24.39	0.02	0.03	6.08*	0.13	0.01	0.04	0.17	0.14	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220225 TB	3.11	1.76	2.07	0.50	0.98	35.11	0.02	0.04	5.02*	0.14	0.01	0.03	0.46	0.46	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220303 TB	6.20	2.81	1.43	1.08	2.73	29.93	0.03	0.05	4.32*	0.29	0.01	0.04	0.10	0.59	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220309 TB	2.50	1.61	1.72	0.56	1.18	31.45	0.03	0.04	0.51	0.14	0.00	0.05	0.11	0.62	0.01	0.00	0.02	0.01	ND	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220315 TB	1.45	0.87	0.99	0.31	0.36	26.83	0.01	0.01	0.16	0.11	0.00	0.03	0.55	0.27	0.00	0.00	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.04	ND	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220318 TB	1.87	0.91	1.03	0.20	0.48	18.43	0.02	0.04	0.15	0.12	0.00	0.51	0.15	0.12	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220321 TB	2.09	0.66	1.01	0.32	0.20	12.53	0.01	0.01	0.13	0.11	0.00	0.09	0.25	0.17	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.05	ND	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220327 TB	0.51	0.69	6.50	0.16	0.04	11.52	ND	0.00	0.12	0.11	0.00	0.03	0.05	0.04	0.00	ND	0.01	0.00	ND	ND	0.00	0.04	ND	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND	ND
	220402 TB	3.10	1.92	2.03	0.66	1.26	25.91	0.04	0.05	0.52	0.15	0.00	0.11	0.09	0.46	0.01	0.00	0.02	0.00	ND	0.01	0.01	0.37	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220408 TB	2.29	1.31	1.75	0.47	1.82	20.50	0.02	0.09	0.25	0.13	0.00	0.11	0.10	0.27	0.00	0.00	0.02	0.00	ND	0.01	0.01	0.09	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220414 TB	1.28	0.79	0.86	0.23	0.52	19.34	0.02	0.01	0.16	0.12	0.00	0.03	0.20	0.21	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220420 TB	1.38	0.71	1.35	0.29	0.50	20.11	0.02	0.02	0.14	0.12	0.00	0.03	0.04	0.11	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220426 TB	1.12	0.72	1.07	0.25	0.45	23.26	0.01	0.01	0.10	0.13	0.00	6.69*	0.06	0.33	0.01	ND	0.01	0.00	ND														

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd	
	220625 TB	0.70	0.34	0.75	0.26	0.11	20.16	0.01	0.02	0.20	0.11	0.01	0.09	0.22	ND	0.01	0.00	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	220707 TB	1.74	1.43	0.73	1.51	ND	24.60	0.01	0.07	0.40	0.15	0.06*	0.03	0.15	ND	0.02	ND	0.04	0.00	ND	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.04*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220719 TB	5.76	1.95	2.18	1.72	0.36	28.04	0.02	0.09	0.40	0.16	0.05*	0.05	0.13	3.43*	0.01	ND	0.05	0.00	ND	0.01	0.00	0.12	0.00	0.00	0.01	0.04*	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
	220731 TB	2.57	3.14	3.76	1.63	1.57	26.54	0.04	0.06	0.34	0.19	0.03*	0.21	0.17	0.19	0.02	0.00	0.04	0.01	ND	0.02	0.01	0.45*	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220812 TB	1.30	0.91	0.93	1.37	0.14	21.89	0.01	0.05	0.27	0.12	0.02*	0.01	0.17	ND	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.05	ND	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
	220824 TB	1.40	1.78	1.56	0.53	0.97	25.61	0.01	0.09	0.17	0.12	0.03*	0.08	0.11	0.20	0.01	ND	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.24	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220905 TB	1.30	1.19	3.57	0.64	8.99	35.97	0.02	0.07	0.28	0.12	0.02	0.24	0.10	0.35	0.01	ND	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220917 TB	0.66	1.00	0.70	0.32	0.24	41.14	0.01	0.05	0.11	0.15	0.08*	0.19	0.09	ND	0.01	ND	0.08	0.02	0.00	0.04	0.00	0.12	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220923 TB	0.82	1.26	0.92	0.41	0.26	42.30	0.01	0.03	0.13	0.13	0.06*	0.04	0.17	0.12	0.01	ND	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.13	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220929 TB	1.52	0.87	1.80	0.50	0.50	21.17	0.03	0.05	0.15	0.10	0.04*	0.03	0.82	0.60	0.01	ND	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221005 TB	0.97	1.14	1.03	0.28	0.44	25.86	0.00	0.03	0.71	0.24	0.04*	0.01	0.05	ND	0.01	ND	0.01	0.00	ND	ND	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221008 TB	0.98	0.76	1.26	0.28	0.36	33.46	0.01	0.01	0.12	0.22	0.03*	0.02	0.12	ND	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221011 TB	1.13	1.22	1.11	0.35	0.64	23.54	0.01	0.05	0.16	0.18	0.03*	0.03	2.41*	ND	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	ND	
	221017 TB	1.09	1.09	1.14	0.60	1.06	21.33	0.02	0.05	0.15	0.16	0.01	0.02	0.04	ND	0.00	ND	0.08	0.00	ND	ND	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.05*	0.00	0.00	0.01*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221023 TB	1.37	1.48	1.07	0.68	1.08	18.26	0.03	0.05	0.18	0.16	0.01	0.01	0.05	ND	0.00	ND	0.08	0.00	ND	ND	0.01	0.08	0.00	0.00	0.01	0.06*	0.00	0.01	0.01*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221101 TB	0.99	1.05	0.82	0.47	0.36	40.06	0.01	0.04	0.14	0.16	0.02*	0.02	0.05	0.10	0.01	ND	0.04	0.02	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221107 TB	1.66	1.00	1.70	0.43	0.65	45.25	0.02	0.09	0.12	0.17	0.02	0.07	0.08	0.23	0.02	ND	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.04*	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	221113 TB	1.21	1.04	1.00	0.30	0.37	25.30	0.00	0.02	0.03	0.38*	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221119 TB	2.47	1.20	2.11	0.38	0.75	28.47	0.01	0.08	0.09	0.33*	0.01	0.05	0.22	0.06	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.02	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AVG	1.79	1.47	1.57	0.84	0.80	25.19	0.01	0.03	0.47	0.15	0.01	0.24	0.19	0.31	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2*MDL	12.14	5.91	15.58	3.20	9.74	54.52	0.29	0.23	1.46	0.32	0.02	0.59	1.20	3.03	0.05	0.01	0.23	0.03	0.01	0.11	0.06	0.40	0.03	0.00	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

備註：\*星號表示元素空白大於兩倍方法偵測極限

表 4.3.12 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素分析－實驗室空白樣品 (ng mL<sup>-1</sup>)

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd
	MDL	6.07	2.96	7.79	1.60	4.87	27.26	0.14	0.11	0.73	0.16	0.01	0.30	0.60	1.52	0.03	0.01	0.12	0.02	0.00	0.05	0.03	0.20	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	211203 LB	3.33	2.32	1.97	2.89	1.17	22.97	0.05	0.02	0.32	0.17	0.02	0.05	0.10	ND	0.01	ND	0.06	0.01	0.00	0.01	0.01	0.13	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211209 LB	1.70	2.37	0.83	2.32	0.42	13.88	0.01	0.01	0.15	0.14	0.01	0.04	0.10	ND	0.01	ND	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.12	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211215 LB	2.10	3.04	1.65	2.51	0.61	15.81	0.01	0.05	0.22	0.14	0.01	0.89*	0.16	ND	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211221 LB	1.88	3.52	1.74	2.53	0.45	13.42	0.01	0.01	0.16	0.14	0.01	0.12	0.55	ND	0.01	ND	0.05	0.00	0.00	0.02	0.01	0.11	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	211227 LB	1.87	3.68	1.76	2.86	0.72	15.66	0.01	0.01	0.17	0.14	0.01	0.05	0.08	ND	0.00	ND	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220102 LB	3.30	3.83	1.84	3.09	0.82	19.33	0.04	0.03	0.48	0.13	0.01	0.09	0.20	ND	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.01	0.11	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220108 LB	2.15	2.51	1.01	3.09	0.80	16.50	0.01	0.04	0.26	0.14	0.01	0.06	0.20	0.25	0.01	ND	0.05	0.01	ND	0.04	0.00	0.13	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220114 LB	2.43	2.45	1.63	3.20*	0.82	14.52	0.02	0.02	0.26	0.13	0.01	0.07	0.19	0.43	0.01	0.00	0.04	0.00	ND	0.04	0.01	0.16	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220117 LB	1.84	1.29	1.48	0.49	0.65	15.99	0.03	0.01	0.15	0.11	0.00	0.04	0.11	0.23	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220120 LB	1.54	1.53	1.92	0.74	0.90	16.56	0.01	0.02	0.27	0.12	0.00	0.03	0.18	0.17	0.00	ND	0.02	0.00	ND	0.02	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220126 LB	1.36	1.33	1.18	0.46	0.46	12.78	0.02	0.12	0.15	0.10	0.00	0.06	0.05	0.12	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220201 LB	1.26	1.21	1.24	0.47	0.57	14.67	0.02	0.01	0.14	0.11	0.00	0.05	0.08	0.13	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220207 LB	1.22	1.18	1.39	0.59	0.51	14.52	0.02	0.02	0.17	0.11	0.00	0.08	0.06	0.11	0.00	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220213 LB	0.93	2.60	0.60	0.15	0.19	18.00	0.01	0.02	0.16	0.17	0.01	0.25	0.25	0.13	0.02	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.42*	0.00	0.00	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220216 LB	1.79	4.08	2.52	0.27	1.10	16.91	0.02	0.02	0.25	0.13	0.01	0.09	0.05	0.07	0.02	ND	0.02	0.00	ND	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220219 LB	0.92	1.63	1.12	0.17	0.43	21.26	0.01	0.06	0.10	0.13	0.01	0.07	0.10	0.13	0.02	ND	0.02	0.00	ND	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220222 LB	4.61	4.62	2.57	0.75	1.40	32.71	0.03	0.08	8.90*	0.13	0.01	0.07	0.09	0.86	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.02	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
實驗室空白樣品	220225 LB	2.75	2.58	1.52	0.84	0.71	32.99	0.02	0.02	10.1*	0.15	0.01	0.07	0.38	0.21	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220303 LB	3.85	2.52	1.10	0.89	0.50	26.64	0.03	0.03	2.73*	0.12	0.01	0.03	0.07	0.24	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.05	ND	0.00	0.00	0.02	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220309 LB	2.31	1.50	1.32	0.35	0.56	38.60	0.01	0.03	0.23	0.14	0.00	0.06	0.11	0.25	0.01	0.00	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220315 LB	2.66	1.79	1.89	0.50	0.77	34.17	0.01	0.09	0.28	0.13	0.00	0.09	0.13	0.34	0.01	0.00	0.03	0.00	ND	0.01	0.00	0.13	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	220318 LB	1.02	1.62	0.88	0.32	0.23	17.53	0.01	0.01	0.12	0.13	0.00	0.02	0.07	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220321 LB	1.71	1.26	1.39	0.34	0.62	24.75	0.01	0.10	0.17	0.13	0.00	0.09	1.02	0.50	0.01	ND	0.02	0.01	ND	0.02	0.00	0.14	ND	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	220327 LB	0.74	0.74	0.65	0.16	0.02	15.18	ND	0.01	0.10	0.11	0.01	0.04	0.15	0.08	0.00	ND	0.01	0.00	ND	ND	0.00	0.05	ND	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND	0.00
	220402 LB	1.71	1.05	1.41	0.40	0.72	21.56	0.02	0.02	0.28	0.13	0.00	0.05	0.14	0.42	0.00	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220408 LB	2.10	1.19	2.71	0.60	1.59	28.50	0.03	0.03	0.28	0.13	0.00	0.09	0.11	0.42	0.00	0.00	0.02	0.00	ND	0.02	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220414 LB	0.99	0.74	1.18	0.27	0.55	18.59	0.01	0.01	0.13	0.12	0.00	0.04	0.14	0.13	0.00	0.00	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220420 LB	1.41	0.96	1.16	0.26	0.44	26.92	0.01	0.03	0.15	0.12	0.00	0.09	0.06	0.12	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.02	ND	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220426 LB	0.94	0.63	1.34	0.22	0.66	21.65	0.01	0.01	0.10	0.13	0.00	0.03	0.05	0.19	0.00	ND	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220502 LB	0.80	0.38	0.88	0.29	0.42	44.36	0.01	0.01	0.08	0.13	0.01	0.04	0.04	0.68	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220508 LB	12.5*	0.56	0.66	0.46	0.32	53.73	0.01	0.01	0.25	0.12	0.01	0.01	0.08	0.61	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220514 LB	0.93	0.76	1.00	0.18	0.32	41.01	0.00	0.01	0.11	0.11	0.00	0.02	0.09	0.03	0.01	ND	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
	220520 LB	1.27	0.94	1.66	0.31	0.48	42.67	0.01	0.02	0.25	0.11	0.00	0.04	0.11	0.05	0.00	ND	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220526 LB	0.91	0.65	0.82	0.21	0.27	33.70	0.00	0.01	0.07	0.11	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	ND	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220601 LB	1.08	1.50	1.06	0.22	0.28	31.70	0.01	0.01	0.07	0.12	0.01	0.66*	0.04	0.06	0.01	ND	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.34	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220607 LB	0.77	0.46	1.02	0.35	0.13	34.49	0.01	0.03	0.09	0.14	0.01	0.05	0.06	ND	0.01	0.00	0.05	0.00	ND	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220613 LB	0.78	0.35	0.61	0.30	0.07	42.02	0.01	0.02	0.06	0.12	0.01	0.02	0.07	ND	0.01	0.00	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220619 LB	0.73	0.24	0.70	0.20	0.02	21.82	0.00	0.02	0.09	0.12	0.01	0.02	0.03																				

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd
	220719 LB	2.78	1.76	3.21	1.60	0.14	33.25	0.03	0.09	0.29	0.15	0.07*	0.06	0.08	ND	0.02	ND	0.06	0.00	ND	0.01	0.01	0.09	0.00	0.00	0.01	0.05*	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	220731 LB	1.59	1.14	3.03	1.58	0.33	25.91	0.02	0.05	0.19	0.12	0.02*	0.04	0.15	ND	0.01	ND	0.01	0.00	ND	0.00	0.00	0.10	ND	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220812 LB	2.00	2.05	1.21	0.47	1.75	29.15	0.02	0.04	0.20	0.12	0.02	0.12	0.15	0.37	0.01	ND	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.18	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220824 LB	2.20	1.04	1.60	0.50	0.50	34.96	0.04	0.04	0.20	0.11	0.02	0.04	0.13	0.20	0.01	ND	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220905 LB	0.84	1.15	1.15	0.39	0.28	28.96	0.01	0.02	0.14	0.13	0.02	0.04	0.37	0.25	0.01	ND	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.12	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220917 LB	1.02	1.10	1.25	0.39	0.50	49.47	0.03	0.08	0.18	0.15	0.07*	0.04	0.08	0.06	0.01	ND	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	220923 LB	0.74	0.90	0.68	0.33	0.41	37.67	0.01	0.03	0.09	0.12	0.06*	0.04	0.19	0.02	0.01	ND	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	220929 LB	2.42	1.19	2.14	0.72	0.88	32.97	0.04	0.04	0.61	0.13	0.03*	0.05	0.27	0.38	0.03	ND	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.09	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221005 LB	1.64	1.45	7.61	0.45	1.06	29.18	0.02	0.19	0.22	0.23	0.04*	0.02	0.13	ND	0.01	ND	0.01	0.01	ND	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	221008 LB	1.35	0.98	1.28	0.27	0.51	31.51	0.02	0.03	0.21	0.20	0.03*	0.02	0.08	ND	0.03	ND	0.01	0.00	ND	ND	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221011 LB	5.72	0.96	0.96	0.26	0.32	22.55	0.00	0.01	0.11	0.19	0.03*	0.01	0.08	ND	0.00	ND	0.01	0.00	ND	ND	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221017 LB	1.15	1.21	0.69	0.59	1.19	30.85	0.03	0.10	0.17	0.16	0.01	0.03	0.11	ND	0.00	ND	0.07	0.00	ND	ND	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05*	0.00	0.01	0.01*	0.01	0.00	0.00	0.00
	221023 LB	1.14	1.08	0.83	0.64	0.96	28.12	0.02	0.05	0.16	0.15	0.02	0.02	0.03	ND	0.01	ND	0.07	0.00	ND	ND	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06*	0.00	0.01	0.01*	0.00	0.00	0.00	0.00
	221101 LB	1.12	0.77	0.80	0.38	0.27	48.27	0.01	0.04	0.10	0.16	0.02	0.02	0.08	0.07	0.01	ND	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.04*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221107 LB	1.44	2.35	1.19	0.50	0.55	55.6*	0.01	0.02	0.11	0.17	0.02	0.09	0.08	0.16	0.07*	ND	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.11	0.00	0.00	0.02	0.04*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	221113 LB	1.33	1.37	1.36	0.32	0.46	27.17	0.00	0.06	0.04	0.37*	0.01	0.03	0.29	0.05	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	221119 LB	2.45	1.87	2.01	0.45	1.08	29.81	0.01	0.03	0.12	0.33*	0.01	0.03	0.06	0.11	0.01	ND	0.02	0.00	ND	0.01	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	AVG	2.03	1.66	1.48	0.81	0.60	27.72	0.02	0.04	0.56	0.14	0.01	0.08	0.15	0.22	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2*MDL	12.14	5.91	15.58	3.20	9.74	54.52	0.29	0.23	1.46	0.32	0.02	0.59	1.20	3.03	0.05	0.01	0.23	0.03	0.01	0.11	0.06	0.40	0.03	0.00	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01

備註：\*星號表示元素空白大於兩倍方法偵測極限

表 4.3.13 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分參考物質(SRM 1648)檢測結果 (N=29)

SRM 1648				SRM 1648			
元素	Urban Particulate Matter		回收率(%)	元素	Urban Particulate Matter		回收率(%)
	確認值	檢測值			檢測值	確認值	
Al	3.42±0.11# %	3.20±0.19 %	93	Sb	45 mg/kg*	45±6 mg/kg	99
Fe	3.91±0.10 %	4.12±0.44 %	105	Tl	---**	3±0.4 mg/kg	---
Na	0.425±0.002 %	0.38±0.03 %	89	Pb	6550±80 mg/kg	7118±622 mg/kg	109
Mg	8000 mg/kg*	7292±435 mg/kg	91	V	127±3 mg/kg	125±5 mg/kg	98
K	1.05±0.01 %	1.07±0.10 %	102	Cr	403±12 mg/kg	417±49 mg/kg	103
Ca	---**	5.75±0.26 %	---	As	115±10 mg/kg	110±15 mg/kg	95
Sr	---**	219±15 mg/kg	---	Y	---**	16±1 mg/kg	---
Ba	737 mg/kg*	762±66 mg/kg	103	Se	27±1 mg/kg	27±4 mg/kg	100
Ti	4000 mg/kg*	3754±176 mg/kg	94	Zr	---**	99±3 mg/kg	---
Mn	786 mg/kg*	769±33 mg/kg	98	Ge	---**	13±0.72 mg/kg	---
Co	18 mg/kg*	17±1 mg/kg	95	Rb	52 mg/kg*	47±3 mg/kg	90
Ni	82±3 mg/kg	88±7 mg/kg	108	Cs	3 mg/kg*	3±0.37 mg/kg	104
Cu	609±27 mg/kg	572±33 mg/kg	94	Ga	---**	37±3 mg/kg	---
Zn	4760±140 mg/kg	4612±392 mg/kg	97	La	42 mg/kg*	36±3 mg/kg	86
Mo	---**	17±1 mg/kg	---	Ce	55 mg/kg*	51±5 mg/kg	94
Cd	75±7 mg/kg	75±4 mg/kg	100	Nd	---**	29±5 mg/kg	---
Sn	---**	113±12 mg/kg	---				

#一個標準偏差； \*該元素僅提供參考值； \*\*該元素無提供 NIST SRM 1648 認證值或參考值



表 4.3.14 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素分析－查核樣品回收率（%）

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg*	K	Ca^	Sr^	Ba*	Ti*	Mn*	Co*	Ni	Cu	Zn	Mo^	Cd	Sn^	Sb*	Tl^	Pb	V	Cr	As	Y^	Se	Zr^	Ge^	Rb*	Cs*	Ga^	La*	Ce*	Nd^	
查核樣品	No.1	87	90	86	85	95	84	96	114	86	95	88	102	93	92	91	93	77	78	84	109	97	90	77	100	77	80	112	95	121	94	81	87	85	
	No.2	87	87	78	84	94	85	99	113	87	96	87	103	94	93	92	92	78	79	81	106	96	88	78	100	74	79	117	95	120	94	81	88	87	
	No.3	87	84	83	84	94	84	97	114	86	96	89	106	94	92	97	93	78	78	83	106	95	85	78	100	71	78	115	96	120	93	80	88	87	
	No.4	91	103	81	92	99	87	99	106	90	102	95	110	96	99	99	99	80	109	113	124	99	104	77	108	82	75	119	97	112	95	86	92	89	
	No.5	91	113	76	89	107	89	107	105	93	106	101	116	100	105	100	98	79	107	122	120	103	115	76	113	81	77	123	104	110	99	85	90	89	
	No.6	93	112	78	92	106	93	108	107	96	107	103	117	102	105	102	98	80	109	124	122	106	114	77	117	81	79	118	104	116	100	86	93	93	
	No.7	90	112	87	86	105	83	88	100	91	93	83	92	95	90	96	97	79	78	115	104	91	115	80	94	95	81	114	86	102	100	88	94	92	
	No.8	88	113	86	86	106	83	86	102	91	93	85	98	95	90	92	98	79	76	123	105	90	117	79	92	97	76	116	84	103	100	90	95	94	
	No.9	88	113	86	85	108	84	85	101	90	93	86	101	93	90	100	97	79	79	115	105	90	117	82	92	105	75	112	84	104	98	88	94	94	
	No.10	100	113	110	104	106	95	79	125	93	102	108	119	106	116	79	108	97	116	85	110	97	102	119	80	82	76	100	93	106	90	111	124	120	
	No.11	104	118	109	106	111	95	80	120	94	105	97	113	111	122	89	110	96	121	123	110	100	110	121	76	96	75	99	92	112	94	108	121	115	
	No.12	87	95	93	89	94	80	94	111	89	95	93	116	90	99	99	109	103	112	84	93	95	95	105	103	109	78	114	93	112	83	94	99	119	
	No.13	93	108	98	94	107	85	88	108	93	99	96	109	94	104	94	104	100	106	84	123	99	108	112	94	108	78	115	88	109	85	89	95	113	
	No.14	91	115	96	91	114	85	86	104	95	98	92	93	96	103	91	104	102	103	91	124	100	117	112	92	118	77	115	87	104	86	87	93	113	
	No.15	85	97	85	87	91	78	97	104	88	92	98	98	90	99	101	111	103	110	99	95	92	95	101	106	106	77	109	90	84	79	91	96	116	
	No.16	96	116	91	92	112	87	95	104	100	102	98	112	94	96	94	103	102	112	89	117	103	115	105	101	108	82	122	89	85	87	89	98	119	
	No.17	95	119	92	91	115	86	95	107	99	99	98	112	93	95	97	106	105	115	89	118	100	118	102	102	108	81	117	90	86	84	90	99	121	
	No.18	103	125	94	94	120	87	95	107	99	100	97	111	95	97	101	105	105	112	93	120	102	124	105	100	114	83	116	91	84	86	91	100	121	
	No.19	89	97	89	87	91	81	93	104	94	95	101	96	91	94	91	100	100	103	124	115	97	96	100	100	101	83	111	88	79	83	85	95	117	
	No.20	95	118	93	91	109	86	94	102	101	99	94	104	96	99	95	102	98	105	121	116	102	117	107	99	104	76	118	89	79	84	83	93	115	
	No.21	95	90	91	95	94	87	87	96	98	102	89	111	90	99	83	96	88	92	78	101	99	84	98	83	110	75	100	84	100	82	80	89	103	
	No.22	104	96	96	99	105	88	90	95	100	102	98	107	91	100	94	107	90	96	83	107	101	91	99	94	104	76	118	92	108	88	82	88	106	
	No.23	98	105	90	95	99	86	93	89	99	97	99	110	91	92	94	94	91	95	104	103	103	98	97	97	105	75	111	84	105	85	76	84	83	
	No.24	99	106	91	96	99	86	94	89	99	98	96	110	91	93	92	94	91	96	99	104	104	99	101	98	108	76	114	86	109	87	75	85	85	
	No.25	100	106	90	95	99	86	96	92	99	96	100	122	91	93	98	97	92	97	107	106	101	99	98	103	112	75	113	87	111	87	76	86	86	
	No.26	94	109	84	89	102	83	92	96	93	93	96	109	86	88	94	94	93	97	97	97	97	95	105	93	99	123	75	102	82	103	83	80	89	82
	No.27	95	113	85	90	104	83	92	99	94	95	90	105	86	89	96	97	96	99	107	97	97	108	93	97	123	76	106	84	105	86	82	91	86	
	No.28	94	100	86	91	97	81	88	95	93	93	98	124	89	90	92	97	96	101	108	104	96	91	97	101	112	76	111	81	113	87	78	87	81	
	No.29	93	83	80	85	76	83	92	88	93	96	104	101	89	85	78	98	91	92	85	93	98	81	98	99	84	80	109	88	99	82	93	82	76	

備註：\*該元素僅提供參考值；^該元素無提供認證值或參考值

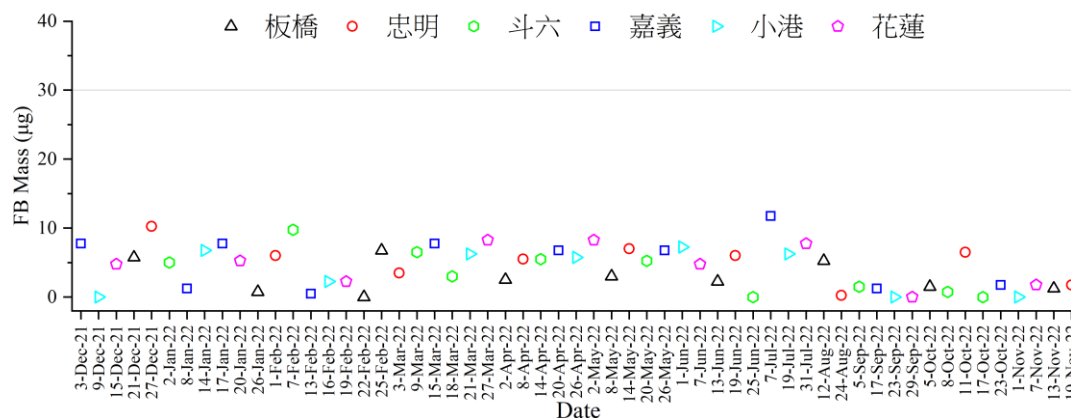
表 4.3.15 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素分析－重複樣品相對差異百分比（%）和添加樣品回收率（%）

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd
重複樣品	嘉 211203T	0.1	2.2	0.4	0.0	3.6	3.4	3.2	0.9	0.7	0.9	1.4	1.1	0.4	0.3	0.4	0.7	1.6	2.2	3.5	10.5	0.1	2.5	0.3	0.8	6.8	0.5	0.1	4.4	2.5	0.8	2.1	2.9	3.1
	嘉 211215T	1.3	3.5	0.7	2.3	3.7	3.4	5.1	0.4	3.2	3.4	0.1	4.9	3.4	4.6	0.5	2.9	0.2	0.9	2.0	1.9	3.2	3.1	5.8	4.8	2.2	8.2	3.2	4.4	2.1	2.1	1.4	0.9	4.2
	嘉 211227T	1.2	6.8	0.6	0.4	4.4	9.7	5.4	1.7	3.5	5.1	0.6	6.9	4.4	6.2	0.4	0.9	0.9	0.4	3.3	9.2	2.7	5.5	5.9	5.0	0.1	8.4	8.1	4.5	0.4	4.4	1.2	1.2	1.0
	嘉 220108T	1.1	3.9	3.6	2.1	2.9	8.4	6.9	0.9	3.2	3.1	0.9	4.9	3.0	4.9	1.1	0.8	1.5	0.3	7.9	1.4	1.4	4.6	3.0	6.6	3.9	20.3	5.5	6.1	0.4	3.3	2.3	1.5	5.4
	嘉 220117T	1.8	0.2	3.9	1.0	0.3	5.5	3.1	0.8	0.9	2.9	2.1	1.3	3.1	2.1	2.2	0.4	1.6	0.3	0.8	0.5	1.5	0.4	3.6	4.0	0.6	2.2	2.7	2.4	2.5	1.2	0.4	1.1	1.0
	忠 220201T	2.1	1.4	2.2	0.5	0.5	3.4	0.5	1.4	1.0	0.5	1.7	1.3	0.9	0.3	0.9	3.7	0.7	0.4	3.8	0.0	1.0	0.4	1.0	2.3	4.7	0.0	0.9	2.5	3.0	1.0	1.5	1.0	1.4
	嘉 220213T	2.5	5.8	2.7	2.5	4.3	4.1	0.8	2.2	1.2	1.2	3.7	1.9	0.3	1.2	4.4	3.1	2.9	3.2	5.5	0.9	0.9	5.5	4.5	3.5	6.2	5.6	0.2	2.4	4.3	2.4	2.3	0.9	7.5
	板 220219T	3.7	6.2	2.0	2.2	5.5	5.7	2.2	0.7	4.0	2.7	1.4	0.3	1.1	2.1	1.7	5.1	0.0	0.9	1.2	1.3	2.9	5.3	3.4	0.4	6.1	3.6	0.0	1.5	1.6	0.9	0.2	0.2	4.9
	忠 220225T	1.5	4.2	3.2	3.8	5.0	6.4	1.7	4.7	0.4	1.0	1.0	2.8	3.0	2.2	0.5	4.2	5.4	4.2	12.5	2.3	0.9	5.3	5.1	0.9	13.2	2.3	3.5	0.7	5.2	1.5	2.9	5.0	12.7
	嘉 220309T	4.2	4.0	3.0	5.4	3.3	7.1	0.2	0.4	1.5	0.6	0.9	0.6	1.1	1.0	1.2	3.5	2.9	3.9	9.5	1.4	1.2	4.6	0.1	0.0	0.1	3.5	6.1	2.4	3.4	0.3	3.2	2.7	4.2
	嘉 220321T	1.0	3.7	2.4	1.9	3.6	5.7	3.0	1.8	0.2	0.2	0.8	2.6	1.5	0.8	1.6	0.0	0.7	3.5	2.8	3.7	0.4	3.7	2.1	1.4	0.2	0.2	1.6	0.9	2.1	1.1	3.2	3.9	4.5
	板 220402T	3.0	1.1	3.9	4.5	1.3	2.2	1.9	1.1	0.3	1.0	2.2	0.8	4.2	1.3	3.2	2.9	3.0	1.4	7.0	0.3	2.2	1.2	3.7	2.8	12.7	2.5	1.0	2.4	1.1	6.1	1.4	0.2	6.1
	嘉 220408T	6.5	2.9	8.1	6.5	0.5	1.7	0.3	4.4	3.2	2.8	3.4	2.1	4.7	3.4	2.4	0.1	0.4	0.1	0.1	2.2	0.2	3.8	3.8	1.1	8.3	4.1	1.8	0.3	0.0	4.5	1.1	1.8	1.5
	嘉 220420T	2.4	6.1	2.6	10.3	4.1	4.5	1.0	0.4	1.0	0.8	0.1	1.0	1.3	0.4	1.2	2.0	1.7	1.9	0.3	1.1	1.4	7.3	0.5	2.7	10.5	9.9	4.3	0.3	0.6	1.9	1.5	0.7	0.5
	嘉 220502T	2.2	12.4	5.8	4.5	9.6	15.1	3.8	0.4	1.1	0.9	15.0	3.2	0.9	2.1	3.2	2.9	0.0	2.5	9.5	1.1	0.1	12.2	5.2	6.8	16.9	4.0	0.2	1.0	1.6	2.8	1.5	0.8	0.3
	嘉 220514T	1.0	2.6	3.0	3.6	6.6	6.3	1.6	0.5	0.6	2.8	13.4	0.4	1.0	1.3	0.0	5.6	1.5	1.6	24.4	0.2	0.1	0.9	2.1	0.9	3.9	6.8	11.1	0.7	2.8	1.0	0.6	1.1	0.3
	嘉 220526T	0.9	5.3	2.0	2.4	3.2	3.4	1.5	1.3	0.8	1.0	1.9	4.1	1.7	0.6	7.1	2.5	0.2	6.5	30.1	0.9	0.8	2.5	0.1	2.3	12.6	13.2	1.9	1.3	1.2	1.3	0.5	1.5	3.7
	嘉 220607T	1.2	9.2	0.9	1.4	7.3	3.5	1.7	0.0	5.1	2.1	13.2	5.8	3.2	2.5	0.4	2.7	2.1	4.3	72.5	1.2	3.9	7.8	2.7	1.5	6.5	4.5	0.9	1.3	8.1	0.3	0.1	0.4	0.6
	嘉 220619T	1.0	6.7	1.1	2.1	3.4	2.4	3.0	0.1	0.8	0.5	5.3	0.9	0.6	2.1	0.2	5.1	0.7	3.3	42.4	0.6	0.1	6.9	1.4	0.6	15.2	4.8	8.2	2.7	1.7	1.1	0.6	0.9	0.3
	嘉 220707T	0.8	7.4	0.3	0.8	6.4	7.2	0.3	1.0	0.2	0.0	23.1	0.9	1.7	1.2	0.5	3.2	0.6	0.7	3.3	1.3	0.7	6.7	3.4	0.5	23.0	5.2	5.0	1.5	0.3	0.5	0.8	1.4	2.0
	嘉 220731T	4.4	3.2	0.4	0.7	4.3	10.2	10.4	3.3	0.1	2.3	5.3	3.6	3.8	4.1	7.1	11.6	1.6	2.7	9.6	5.8	1.8	5.1	5.7	0.7	5.1	8.2	0.4	4.2	6.0	3.0	3.0	1.3	3.0
	斗 220824T	0.9	5.3	1.0	0.7	3.8	7.2	5.0	0.3	0.2	1.0	12.4	0.4	2.1	1.7	2.7	2.2	0.6	0.5	1.5	0.0	1.0	5.2	3.1	2.6	4.1	7.5	1.8	2.6	0.5	3.0	0.2	0.0	7.8
	嘉 220917T	3.5	1.2	4.3	2.1	0.7	2.0	5.5	0.0	0.8	2.9	19.4	3.4	4.4	5.0	2.1	0.9	0.7	0.4	1.4	0.2	2.8	0.5	3.5	6.1	4.2	10.7	3.3	4.5	0.8	5.7	0.7	0.8	1.1
	花 220929T	0.9	5.0	0.3	0.1	5.5	0.4	0.1	0.2	1.4	1.3	8.9	1.2	2.3	2.4	8.6	3.3	1.2	3.4	0.7	0.3	0.7	1.3	5.4	3.5	9.7	1.5	18.4	3.2	3.7	1.2	1.9	0.8	1.7
	斗 221005T	1.9	5.1	1.0	0.4	3.6	14.5	1.9	1.2	1.9	2.1	13.3	2.1	2.2	3.4	1.9	2.2	0.9	1.1	0.9	0.5	1.9	2.8	3.8	1.4	4.1	5.3	8.5	2.0	1.2	3.5	0.5	0.5	1.9
	嘉 221017T	2.8	6.0	0.8	2.1	7.1	6.6	1.8	1.7	0.4	0.1	16.2	1.6	3.1	2.2	2.8	0.7	0.9	0.2	0.2	0.9	1.3	6.0	0.2	2.8	13.4	4.5	7.7	0.7	0.5	2.4	2.2	0.1	10.4
	嘉 221101T	0.6	7.9	0.3	2.4	4.9	5.6	0.5	0.2	1.3	0.6	12.6	3.6	2.5	2.7	4.2	1.6	0.1	0.7	3.2	1.5	1.4	7.4	5.1	2.4	7.5	0.4	2.5	2.2	1.3	6.6	0.5	0.7	2.5
	嘉 221113T	0.8	1.9	0.7	3.0	0.3	5.4	0.6	0.1	0.7	2.1	4.4	2.8	3.2	3.2	2.1	2.0	2.3	2.1	0.9	0.0	0.1	2.6	2.5	1.2	2.6	4.2	9.7	0.4	0.3	3.6	0.1	0.6	0.4
添加樣品	斗 211209T	100	102	105	100	108	99	97	91	101	100	97	96	99	101	96	97	95	94	96	71	97	99	96	95	100	97	98	96	92	99	89	86	87
	斗 211221T	100	102	101	98	102	101	96	93	101	101	97	96	99	105	97	97	97	96	97	79	97	99	97	96	98	96	96	96	95	95	93	91	94
	斗 220102T	100	101	103	102	103	102	99	92	103	102	101	101	102	104	99	101	99	98	100	80	102	99	101	101	103	101	101	99	98	102	90	88	92
	斗 220114T	100	99	101	96	101	99	100	91	101	102	100	98	101	103	97	98	95	96	97	74	98	98	99	98	100	97	100	100	95	101	82	80	78
	小 220120T	94	95	94	93	96	93	91	87	94	94	92	94	94	95	93	94	92	92	94	67	94	94	92	92	93	91	93	90	90	92	93	114	104
	板 220207T	100	100	99	99	104	97	99	89	100	99	98	100	101	100	98	96	96	96	97	83	98	99	99	99	98	100	99	100	96	98	107	106	118
	斗 220216T	95	94	95	97	94	96	98	98	97	96	101	99	98	97	100	100	98	99	97	88	99	94	100	99	96	101	100	99	99	99	97	97	97
	嘉 220219T	99	97	97	99	98	97	99	99	98	97	100	99	98	96	99	99	98	100	99	92	99	96	99	100	100	99	99	99	99	98	99	99	101

項目	批次／批號	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Ge	Rb	Cs	Ga	La	Ce	Nd	
板	220303T	93	97	95	96	98	92	97	97	96	96	98	98	97	96	98	99	97	98	98	87	98	96	97	98	97	98	98	98	98	98	96	96	96	
斗	220315T	85	85	84	89	85	88	94	93	87	87	94	94	89	82	93	96	93	94	94	96	90	91	94	95	99	94	94	95	94	94	94	95	94	95
斗	220327T	88	85	83	94	86	89	94	93	88	88	95	93	88	78	95	99	94	97	92	93	92	93	94	97	101	95	95	94	96	94	96	94	95	
花	220402T	98	98	97	100	99	96	96	96	98	97	98	98	98	100	97	98	96	98	95	96	98	97	99	99	98	98	97	100	95	97	97	99	98	
斗	220414T	96	98	96	98	96	97	96	98	98	97	98	99	98	98	97	99	96	99	94	91	99	98	99	97	102	97	98	99	98	97	99	98	99	
斗	220426T	97	97	97	98	99	98	96	99	100	98	99	96	98	102	96	100	98	101	98	94	97	100	99	96	100	96	99	97	99	96	99	101	100	
斗	220508T	104	106	97	107	105	102	110	106	107	105	110	108	104	97	108	109	107	108	104	94	108	112	110	109	112	109	109	110	107	109	94	95	97	
斗	220520T	94	96	89	94	94	93	99	95	93	93	98	97	95	90	101	100	99	100	95	86	97	101	98	99	102	101	98	99	97	97	92	92	92	
斗	220601T	98	97	95	100	98	98	99	95	98	98	97	97	98	98	99	98	97	97	93	92	99	98	96	100	97	98	98	99	97	97	98	97	99	
斗	220613T	102	100	99	101	101	99	100	99	101	100	101	101	101	103	101	98	100	99	97	94	101	101	98	100	98	101	100	100	99	101	98	98	99	
斗	220625T	94	96	92	96	94	92	94	95	92	92	93	94	95	96	94	96	95	96	94	90	94	99	94	95	98	95	95	95	95	93	93	92	95	
斗	220719T	103	101	104	102	102	100	102	100	103	99	98	101	101	119	102	100	100	100	99	101	102	99	101	102	98	102	102	101	102	100	100	100	100	
斗	220812T	93	89	92	92	94	92	97	94	93	90	98	96	96	109	96	99	96	98	99	94	96	93	96	100	93	99	101	98	100	102	99	100	100	
忠	220905T	83	87	89	79	90	78	78	80	83	85	90	81	81	90	102	76	78	79	76	86	78	78	81	77	77	97	72	77	75	99	80	77	84	
斗	220923T	85	88	88	84	87	81	83	83	84	85	86	76	81	90	112	80	83	83	75	84	79	80	79	82	81	100	74	81	79	99	84	81	89	
忠	220929T	84	88	92	86	87	80	81	84	87	91	91	84	87	92	108	79	85	86	86	90	83	80	78	81	79	102	76	79	78	102	83	79	88	
板	221011T	98	98	96	98	102	97	99	98	95	96	98	96	97	101	101	101	100	100	100	95	100	90	100	102	103	101	99	101	101	102	101	100	100	
斗	221023T	89	88	87	88	89	85	94	91	89	88	99	94	90	90	97	100	92	94	99	89	97	97	97	98	105	96	101	97	100	97	100	100	100	
斗	221107T	95	94	94	95	95	93	96	93	95	92	101	99	93	92	100	101	95	98	102	95	98	97	97	101	97	101	101	99	101	99	102	101	102	
斗	221119T	98	90	99	99	92	99	99	103	97	96	96	97	95	97	97	100	101	101	97	89	97	88	96	98	88	102	96	99	95	97	96	96	98	

### 4.3.5 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度和成分的現場空白與旅運空白變化

為了評估 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度和成分於採樣及運送過程是否遭受污染，本計畫於各類型採樣任務中均進行「現場空白」及「旅運空白」。PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分「現場空白」於採樣前裝於採樣器中，靜置 15 分鐘再運送回中央大學環工所。PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與成分的「旅運空白」是放置於濾紙匣中，帶至現場後不取出，待採樣結束後送回實驗室進行分析。所有現場空白與旅運空白是根據環檢所公告空氣中細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)檢測方法「手動採樣標準方法 (NIEA A205.11C)」，每 10 個樣本至少需進行 1 個現場空白 (Field Blank) 和旅運空白 (Trip Blank)，前述兩類空白量測值於採樣前後差值不得超過 30 µg，否則表示運送過程中遭受污染。計畫執行期間現場空白與旅運空白彙整資料呈現於下方圖 4.3.10~圖 4.3.11 呈現各天現場與旅運空白都低於標準規範，顯示在現場採集和運送過程中並無遭受污染。



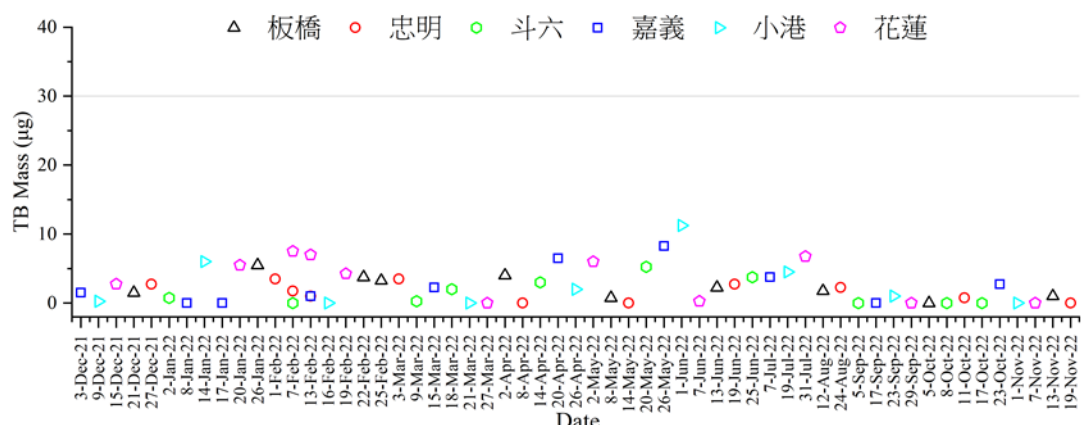


圖 4.3.11 2021 年 12 月至 2022 年 11 月質量濃度旅運空白隨時間變化

#### 4.3.6 採樣期間 E-FRM 質量濃度採樣器儀器查核結果

例行採樣期間板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮成分採樣器的流量查核狀況，以下為 2022 年 11 月結果（圖 4.3.12），由非採樣負責人員進行查核。其餘採樣設備查核資料與歷史資料詳見附錄光碟。

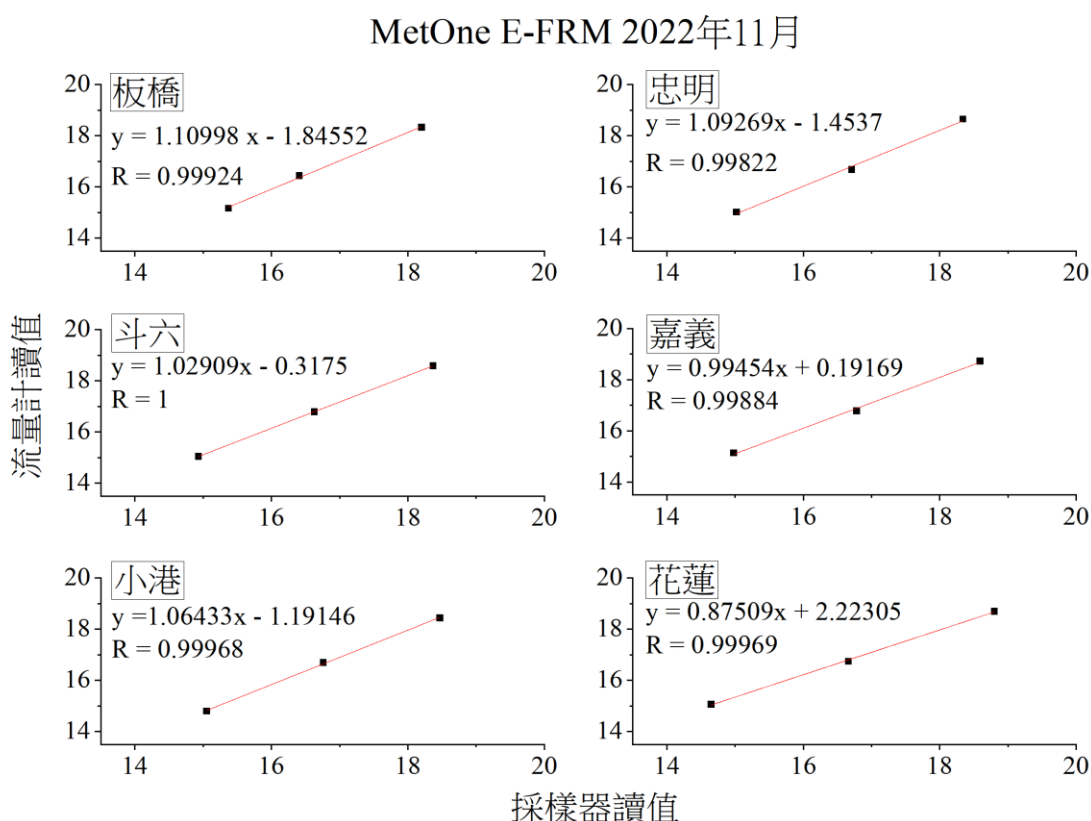


圖 4.3.12 2022 年 11 月採樣期間六站 E-FRM 三點流量校正

## 五、結論與建議

### 章節摘要

本章節呈現 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測及資料分析整體成果，可濃縮歸納為：本計畫手動採樣與環保署常規手動採樣兩相比對無顯著差異，同時本計畫成分解析比例 76~93% 足以解釋質量濃度變化特徵，各項數據追蹤與查核結果多符合品管目標。2022 年發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件 ( $\text{PM}_{2.5} \geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) 日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源管制的重要性。2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六各站都高於忠明、板橋、花蓮各站，且多項金屬元素出現高濃度，污染源多具有燃煤、鋼鐵業以及車輛排放貢獻特徵。2022 年有兩個較大高濃度事件分別是 3 月 3 日和 3 月 21 日，中、南部測站同時有高濃度。統計近六年雙層濾紙採樣修正成果，可避免 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度平均被低估 5%~8.3%。各測站 2022 年相較 2017 年以 EC 削減比例最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，OC 削減比例最低。近六年 PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分的季度變化與質量濃度變化相同，由東部向北部往中、南部增大，季度空間分布顯示各測站 PM<sub>2.5</sub> 近六年季度平均質量濃度以 Q1(第一季度(1-3 月))為最高，其次多為 Q4(第四季度(10-12 月))，再其次多為 Q2(第二季度(4-6 月))。分析 PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分三到六年年平均濃度延伸趨勢，各測站 PM<sub>2.5</sub> 質量及主要化學成分濃度都呈現下降趨勢，各趨勢線以 EC 各趨勢線下降斜率最陡峭。近六年各站 PMF 受體模式污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 有最高濃度主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」。近六年各化學成分對大氣能見度影響顯示：中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。斗六、嘉義、小港測站 PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 OC 有不錯的空間相似度，可能受區域性污染影響；NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在各都會區間測站的空間相似度較低，應以受在地污染影響為主。本年度彙整各國家執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術文獻 33 篇，涵括 PM<sub>2.5</sub> 高濃度占比成分特徵及生成機制、受體模式應用技術等八個面向資訊。

## 5.1 結論

本年度在六個測站，每六天（第三季為每十二天）同步執行一次 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測，同時持續彙整最近六年觀測數據執行數據解析作業，各項成果分成「例行檢測作業（2022 年）」及「化學成分時間與空間分布特徵及影響因素（2017 年至 2022 年）」兩方面，彙整如底下結論。

### 例行性檢測作業（2022 年）

1. 本計畫例行採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，與環保署相同採樣日常規採樣數據具有可比性，兩種手動採樣在各測站的季度平均濃度差異在 $\pm 1 \mu\text{g m}^{-3}$ 以內，濃度比值的季度平均值分布範圍為 0.91~1.09，相對差異百分比的季度平均值都在 3% ~ 14%範圍內。各站化學成分解析比例平均為 76%~93%，所解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度足以解釋各採樣日質量濃度變化特徵。
2. 例行性採樣截至 2022 年 11 月底，各採樣日 PM<sub>2.5</sub> 濃度及化學成分空間變化特徵顯示，發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件（ $\text{PM}_{2.5} \geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ ）日數最高前三站依序為嘉義、小港、斗六站，化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源管制的重要性，雖然有些採樣日受境外污染傳輸影響，但高濃度事件日發生原因多為環境擴散不佳導致污染物累積。
3. 2022 年各站金屬元素濃度總和，小港、嘉義、斗六各站都高於忠明、板橋、花蓮各站，且多項金屬元素出現高濃度，顯示污染源眾多；其中，濃度相對高的金屬元素多具有燃煤、鋼鐵業以及車輛排放貢獻特徵。
4. 2022 年 3 月 3 日忠明、斗六、嘉義以及小港站高濃度事件主要是當天持續低風速導致的在地污染，但也受到 3 月 2 日境外污染傳輸和在地污染導致的前夜污染殘留影響。3 月 21 日嘉義與斗六測站的高濃度事件主要受到環境擴散不佳的在地污染影響，部分時間受到交通排放和外地污染傳輸影響。

### 化學成分時間與空間分布特徵及影響因素（2017 年至 2022 年）

5. 彙整 2017 年至 2022 年 11 月透過雙層濾紙採樣進行修正，各測站六年平均水溶性無機離子濃度占修正 PM<sub>2.5</sub> 濃度可避免低估 2.6%~6.4%，有機碳成分占修正 PM<sub>2.5</sub> 濃度可避免高估 0.4%~3.3%，兩者加總平均可避免 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度被低估約 5.0%~8.3%。

6. 各測站 2022 年相較 2017 年的  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、OC、EC 削減比例平均分別為 34%、48%、39%、45%、25%、51%，以 EC 削減比例最高，其次為  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NH}_4^+$ ，OC 削減比例最低，這指出後續可以努力減量的前驅污染源。
7.  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分的季度變化與質量濃度變化相同，由東部向北部往中、南部增大，季度空間分布顯示各測站  $\text{PM}_{2.5}$  近六年季度平均質量濃度以 Q1 為最高，其次多為 Q4，再其次多為 Q2。管制  $\text{NO}_3^-$  前趨污染源可大為改善 Q1 和 Q4 的高濃度，OC 和  $\text{SO}_4^{2-}$  的減量則是對各季度都有穩定降低  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度效果。
8. 2017 年到 2022 年各季度的金屬元素加總濃度都是由東部往北部再往中、南部遞增，2021 年的金屬元素濃度總和為六年中最高年度，可能與工業活動上升有關。2022 年各測站金屬元素濃度總和降低，Q1~Q3 各測站季度金屬元素濃度總和最高年度為 2021 年，Q4 則多為 2019 年。
9. 六年來危害性金屬元素 Pb 與 Cd 在中部至雲林地區污染來源相似度高，As 則從中部至嘉義，甚至可遠達高雄地區間的污染來源具有高相似度，在高相似度區域內污染管制策略可以相近。金屬元素 Cr 六年來都呈現在地污染特徵，管制策略以因地制宜較具有效益。
10. 分析  $\text{PM}_{2.5}$  主要化學成分三到六年年平均濃度延伸趨勢，各測站  $\text{PM}_{2.5}$  質量及主要化學成分濃度都呈現下降趨勢，各趨勢線多以三年延伸趨勢斜率最平緩，四年延伸趨勢斜率最陡峭，顯示各主要化學成分前驅污染源受到減量成效差異和環境因素不相等程度的影響，EC 各趨勢線下降斜率最陡峭，可能受益於近年來政府補助柴油車輛汰舊及裝設防制設備， $\text{SO}_4^{2-}$  各趨勢線下降斜率陡峭度次之，可能受能源轉換及鍋爐汰換政策影響。 $\text{NO}_3^-$  和 OC 各趨勢線下降斜率相對平緩，顯示需要再加強的管制策略。
11. 六年來  $\text{PM}_{2.5}$  一、二次有機碳成分時空分布特徵顯示除斗六和小港站以外，其他各站的 OC 主要為一次有機碳，特別是板橋站有最高的占比（71%），表示多數測站 OC 主要源自於污染源的直接排放。
12. 2017 年至 2022 年各站 PMF 受體模式污染因子季度貢獻變化顯示 Q1 有最高濃度主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」，說明除了  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和 OC 也需要進行管制。



13. 分析 IMPROVE 方程式推估的 2017 至 2022 年 11 月各化學成分對大氣能見度影響顯示：中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯，有機物近六年雖然對大氣能見度的影響持平，但仍需持續減量才能有更好的大氣能見度。
14. 六個測站的  $\text{PM}_{2.5}$  及主要化學成分濃度在 2021 年濃度增高，南部的斗六、嘉義和小港站部分原因是受 Q1 乾旱影響， $\text{OC}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 及  $\text{NO}_3^-$ 相較於 2020 年 Q1 高 13%以上。
15. 花蓮站位於東部非都會區空氣品質良好，各項污染物濃度都較低，和西部測站空間相似度低。斗六、嘉義、小港測站  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和  $\text{OC}$  有不錯的空間相似度，可能受區域性污染影響； $\text{NO}_3^-$ 在各都會區間測站的空間相似度較低，應以受在地污染影響為主。
16. 本年度彙整各國家執行  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分採樣檢測經驗與最新技術文獻 33 篇，涵括  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度占比成分特徵及生成機制、受體模式應用技術、長期觀測應用庫資料及建立、空氣品質與健康風險等八個面向資訊。

## 5.2 政策效益及建議

本計畫透過長期檢測 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及結合環保署即時監測資料，探討污染事件成因及釐清各種污染來源貢獻度，並從 2017~2022 年檢測的化學成分變化趨勢，評估污染源管制成效及提供策略推動建議，本年度政策建議如下：

1. 2022 年 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日數最高前三站都在南部，化學成分特徵持續彰顯出 NO<sub>x</sub> 污染源需持續加緊管制。
2. 對於減少 PM<sub>2.5</sub> 高濃度日發生頻率與提升中南部大氣能見度，建議持續加強 NO<sub>x</sub> 與 VOCs 排放管制。
3. 最近六年數據分析顯示，每年 Q1 PM<sub>2.5</sub> 濃度最高，主要受到「硝酸鹽」的貢獻，其次是「硫酸鹽」和「車輛排放」，為降低 Q1 PM<sub>2.5</sub> 濃度，建議持續管制 NO<sub>x</sub> 排放源、重視固定源凝結性 PM<sub>2.5</sub> 的排放與管制、持續管制車輛排放及 VOCs 逸散源。
4. 近六年各化學成分對大氣能見度影響顯示：中、南部要有效改善大氣能見度，需對硝酸鹽及其前驅污染源進行管制，硫酸鹽的減量則對東部及北部的大氣能見度改善較明顯。

## 六、參考文獻

- Afkhami, B., Akbarian, B., Ansari, E., 2022. Adoption of battery electric vehicles for reduction of greenhouse gases and air pollutant emissions: A case study of the United States. *Energy Storage* 4, e280.
- Cabada, J.C., Pandis, S.N., Subramanian, R., Robinson, A.L., Polidori, A., Turpin, B., 2004. Estimating the secondary organic aerosol contribution to PM<sub>2.5</sub> using the EC tracer method special issue of aerosol science and technology on findings from the fine particulate matter supersites program. *Aerosol Science and Technology* 38, 140-155.
- Casquero-Vera, J.A., Lyamani, H., Titos, G., Moreira, G.d.A., Benavent-Oltra, J., Conte, M., Contini, D., Järvi, L., Olmo-Reyes, F., Alados-Arboledas, L., 2022. Aerosol number fluxes and concentrations over a southern European urban area. *Atmospheric Environment* 269, 118849.
- Celo, V., Yassine, M.M., Dabek-Zlotorzynska, E., 2021. Insights into elemental composition and sources of fine and coarse particulate matter in dense traffic areas in Toronto and Vancouver, Canada. *Toxics* 9, 264.
- Chang, S.-C., Lin, T.-H., Young, C.-Y., Lee, C.-T. (2011). The impact of ground-level fireworks (13 km long) display on the air quality during the traditional Yanshui Lantern Festival in Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 172, 463-479.
- Christian, T.J., Yokelson, R., Cárdenas, B., Molina, L., Engling, G., Hsu, S.-C., 2010. Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10, 565-584.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Pritchett, L.C., Pierson, W.R., Frazier, C.A., Purcell, R.G., 1993. The DRI Thermal/Optical Reflectance Carbon Analysis System: Description, Evaluation and Applications in U.S. Air Quality Studies. *Atmospheric Environment* 27, 1185-1201.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.-W.A., Rice, J., Frank, N.H., 2010. Quantification of PM<sub>2.5</sub> Organic Carbon Sampling Artifacts in US Networks. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10, 5223-5239.
- Dai, Q., Bi, X., Song, W., Li, T., Liu, B., Ding, J., Xu, J., Song, C., Yang, N., Schulze, B.C., 2019. Residential coal combustion as a source of primary sulfate in Xi'an, China. *Atmospheric Environment* 196, 66-76.
- Dai, Q., Liu, B., Bi, X., Wu, J., Liang, D., Zhang, Y., Feng, Y., Hopke, P.K., 2020.

- Dispersion normalized PMF provides insights into the significant changes in source contributions to PM<sub>2.5</sub> after the COVID-19 outbreak. *Environmental science & technology* 54, 9917-9927.
- Day, M.C., Zhang, M., Pandis, S.N., 2015. Evaluation of the ability of the EC tracer method to estimate secondary organic carbon. *Atmospheric Environment* 112, 317-325.
- Dionex, 2005. ICS-100 Ion chromatography system operator's manual, Document No. 031879 Revision 02.
- Dong, F., Yu, B., Pan, Y., 2019. Examining the synergistic effect of CO<sub>2</sub> emissions on PM<sub>2.5</sub> emissions reduction: Evidence from China. *Journal of cleaner production* 223, 759-771.
- Groma, V., Alföldy, B., Börcsök, E., Czömpöly, O., Fűri, P., Kéri, A.H., Kovács, G., Török, S., Osán, J., 2022. Sources and health effects of fine and ultrafine aerosol particles in an urban environment. *Atmospheric Pollution Research* 13, 101302.
- Hopke, P.K., Croft, D., Zhang, W., Lin, S., Masiol, M., Squizzato, S., Thurston, S.W., van Wijngaarden, E., Utell, M.J., Rich, D.Q., 2019. Changes in the acute response of respiratory diseases to PM<sub>2.5</sub> in New York State from 2005 to 2016. *Science of the Total Environment* 677, 328-339.
- Hopke, P.K., Dai, Q., Li, L., Feng, Y., 2020. Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. *Science of The Total Environment* 740, 140091.
- Hsu, C.-Y., Chi, K.-H., Wu, C.-D., Lin, S.-L., Hsu, W.-C., Tseng, C.-C., Chen, M.-J., Chen, Y.-C., 2021. Integrated analysis of source-specific risks for PM<sub>2.5</sub>-bound metals in urban, suburban, rural, and industrial areas. *Environmental Pollution* 275, 116652.
- Jeong, C.-H., Yousif, M., Evans, G.J., 2022. Impact of the COVID-19 lockdown on the chemical composition and sources of urban PM<sub>2.5</sub>. *Environmental Pollution* 292, 118417.
- Juda-Rezler, K., Reizer, M., Maciejewska, K., Błaszczak, B., Klejnowski, K., 2020. Characterization of atmospheric PM<sub>2.5</sub> sources at a Central European urban background site. *Science of the Total Environment* 713, 136729.
- Kumar, V., Sahu, M., Biswas, P., 2022. Source Apportionment of Particulate Matter by Application of Machine Learning Clustering Algorithms. *Aerosol and Air Quality Research* 22, 210240.

- Kong, S., Ding, X., Bai, Z., Han, B., Chen, L., Shi, J., Li, Z. (2010). A seasonal study of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> in five typical cities of Liaoning Province, China. *Journal of Hazardous Materials*, 183, 70-80.
- Ledoux, F., Kfoury, A., Delmaire, G., Roussel, G., El Zein, A., Courcot, D., 2017. Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM<sub>2.5</sub> at an urban site in northern France. *Chemosphere*, 181, 713-724.
- Lewis, C.W., Norris, G.A., Conner, T.L., Henry, R.C., (2003). Source Apportionment of Phoenix PM<sub>2.5</sub> Aerosol with the Unmix Receptor Model *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53, 325-338.
- Lin, Y.C., Tsai, C.J., Wu, Y.C., Zhang, R., Chi, K.H., Huang, Y.T., Lin, S.H., Hsu, S.C., 2014. Characteristics of trace metals in traffic-derived particles in Hsuehshan Tunnel, Taiwan: size distribution, fingerprinting metal ratio, and emission factor. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 14, 13963-14004.
- Lin, Y.-C., Tsai, C.-J., Wu, Y.-C., Zhang, R., Chi, K.-H., Huang, Y.-T., Lin, S.-H., Hsu, S.-C., 2015. Characteristics of trace metals in traffic-derived particles in Hsuehshan Tunnel, Taiwan: size distribution, potential source, and fingerprinting metal ratio. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 4117-4130.
- Liao, H.-T., Chuang, M.-T., Tsai, P.-W., Chou, C.C.-K., Wu, C.-F., 2021. Enhanced Receptor Modeling Using Expanded Equations with Parametric Variables for Secondary Components of PM<sub>2.5</sub>. *Aerosol and Air Quality Research* 21, 200549.
- Liu, J., Chen, Y., Chao, S., Cao, H., Zhang, A., 2019. Levels and health risks of PM<sub>2.5</sub>-bound toxic metals from firework/firecracker burning during festival periods in response to management strategies. *Ecotoxicology and environmental safety*, 171, 406-413.
- Ma, P., Quan, J., Jia, X., Liao, Z., Wang, Q., Cheng, Z., Dou, Y., Su, J., Pan, Y., 2021. Effects of ozone and relative humidity in secondary inorganic aerosol formation during haze events in Beijing, China. *Atmospheric Research* 264, 105855.
- Manousakas, M., Diapouli, E., Belis, C., Vasilatou, V., Gini, M., Lucarelli, F., Querol, X., Eleftheriadis, K., 2021. Quantitative assessment of the variability in chemical profiles from source apportionment analysis of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> at different sites within a large metropolitan area. *Environmental research* 192, 110257.
- Norris, G., Vedantham, R., Wade, K., Brown, S., Prouty, J., Foley, C., Martin, L., 2014. EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide. National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency,

- EPA 600/R-14/108, Research Triangle Park, NC 27711, U.S.A.
- Oduber, F., Calvo, A.I., Castro, A., Blanco-Alegre, C., Alves, C., Calzolari, G., Nava, S., Lucarelli, F., Nunes, T., Barata, J., 2021. Characterization of aerosol sources in León (Spain) using Positive Matrix Factorization and weather types. *Science of the Total Environment* 754, 142045.
- Paatero, P., Tapper, U., 1993. Analysis of different modes of factor-analysis as least squares fit problems. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 18, 183-194.
- Paatero, P., Tapper, U., 1994. Positive Matrix Factorization - a nonnegative factor model with optimal utilization of error-estimates of data values. *Environmetrics* 5, 111-126.
- Paatero, P., Hopke, P.K., 2003. Discarding or downweighting high-noise variables in factor analytic models. *Analytica Chimica Acta* 490, 277-289.
- Pal, S.C., Chowdhuri, I., Saha, A., Ghosh, M., Roy, P., Das, B., Chakraborty, R., Shit, M., 2022. COVID-19 strict lockdown impact on urban air quality and atmospheric temperature in four megacities of India. *Geoscience Frontiers*, 101368.
- Park, J., Lee, P.S.-H., 2020. Relationship between Remotely Sensed Ambient PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> and Urban Forest in Seoul, South Korea. *Forests* 11, 1060.
- Park, S., Son, S.-C., Lee, K.-Y., 2022. Chemical characteristics of PM<sub>2.5</sub> during spring and fall at two sites in Chungcheongnam-do, South Korea; insight into Fe solubility and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> formation. *Atmospheric Pollution Research*, 101350.
- Peng, Y., Suzuki, M., Nguyen, L.K., Zhang, X., Aikawa, M., 2021. Presence and source attribution of airborne anthropogenic/non-sea-salt inorganic chloride determined by filter-pack method at Eastern Edge in East Asia. *Water, Air, & Soil Pollution* 232, 1-14.
- Pitchford, M., Malm, W., Schichtel, B., Kumar, N., Lowenthal, D., Hand, J., 2007. Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data. *Journal of the Air & Waste Management Association* 57, 1326-1336.
- Pitiranggon, M., Johnson, S., Haney, J., Eisl, H., Ito, K., 2021. Long-term trends in local and transported PM<sub>2.5</sub> pollution in New York City. *Atmospheric Environment* 248, 118238.
- Rahn, K.A., 1999. A graphical technique for determining major components in a mixed aerosol. I. Descriptive aspects. *Atmospheric Environment* ,33, 1441-1455.

- Reff, A., Bhawe, P.V., Simon, H., Pace, T.G., Pouliot, G.A., Mobley, J.D., Houyoux, M., 2009. Emissions inventory of PM<sub>2.5</sub> trace elements across the United States. *Environmental science & technology* ,43, 5790-5796.
- RTI, 2009a. Standard Operating Procedure for PM<sub>2.5</sub> Anion Analysis, Revision 7. RTI International: Research Triangle Park, NC, USA.
- RTI, 2009b. Standard Operating Procedure for PM<sub>2.5</sub> Cation Analysis, Revision 7. RTI International: Research Triangle Park, NC, USA.
- Saraga, D., Maggos, T., Degrendele, C., Klánová, J., Horvat, M., Kocman, D., Kanduč, T., Dos Santos, S.G., Franco, R., Gómez, P.M., 2021. Multi-city comparative PM<sub>2.5</sub> source apportionment for fifteen sites in Europe: The ICARUS project. *Science of The Total Environment* 751, 141855.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 1998. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. A Wiley-Interscience publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, U.S.A.
- Sofowote, U.M., Su, Y., Dabek-Zlotorzynska, E., Rastogi, A.K., Brook, J., Hopke, P.K., 2015. Sources and temporal variations of constrained PMF factors obtained from multiple-year receptor modeling of ambient PM<sub>2.5</sub> data from five speciation sites in Ontario, Canada. *Atmospheric Environment* 108, 140-150.
- Souto-Oliveira, C.E., Kamigauti, L.Y., Andrade, M.d.F., Babinski, M., 2021. Improving source apportionment of urban aerosol using multi-isotopic fingerprints (MIF) and positive matrix factorization (PMF): cross-validation and new insights. *Frontiers in Environmental Science* 9, 623915.
- Srivastava, A.K., Thomas, A., Hooda, R.K., Kanawade, V.P., Hyvärinen, A.-P., Bisht, D.S., Tiwari, S., 2021. How secondary inorganic aerosols from Delhi influence aerosol optical and radiative properties at a downwind sub-urban site over Indo-Gangetic Basin? *Atmospheric Environment* 248, 118246.
- Tessum, M.W., Anenberg, S.C., Chafe, Z.A., Henze, D.K., Kleiman, G., Kheirbek, I., Marshall, J.D., Tessum, C.W., 2022. Sources of ambient PM<sub>2.5</sub> exposure in 96 global cities. *Atmos. Environ.* 286, 119234.
- Tessum, C.W., Hill, J.D., Marshall, J.D., 2017. InMAP: A model for air pollution interventions. *PloS one* 12, e0176131.
- Tian, H., Wang, Y., Xue, Z., Cheng, K., Qu, Y., Chai, F., Hao, J., 2010. Trend and characteristics of atmospheric emissions of Hg, As, and Se from coal combustion in China, 1980–2007. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10, 11905-11919.

- Ting, Y.-C., Young, L.-H., Lin, T.-H., Tsay, S.-C., Chang, K.-E., Hsiao, T.-C., 2022. Quantifying the impacts of PM<sub>2.5</sub> constituents and relative humidity on visibility impairment in a suburban area of eastern Asia using long-term in-situ measurements. *Science of The Total Environment* 818, 151759.
- Turpin, B.J., Saxena, P., Andrews, E., 2000. Measuring and simulating particulate organics in the atmosphere: problems and prospects. *Atmospheric Environment* 34, 2983-3013.
- U.S. Environment Protection Agency, 2012. Report to congress on black carbon. Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, EPA-450/R-12-001, Research Triangle Park, NC 27711, U.S.A.
- U.S. Environment Protection Agency, 2016. Quality Assurance Guidance Document 2.12, Monitoring PM<sub>2.5</sub> in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods. Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division, NC 27711, U.S.A.
- U.S. Environment Protection Agency 2017 Quality Assurance Guidance Document, QA Handbook Volume II, Appendix D Measurement Quality Objectives and Validation Templates, 1~54.
- Uria-Tellaetxe, I., Carslaw, D.C., 2014. Conditional bivariate probability function for source identification. *Environmental Modelling & Software* 59, 1-9.
- Watson, J.G., 2002. Visibility: Science and Regulation. *Journal of the Air & Waste Management Association* ,52, 628-713.
- Wallington, T.J., Anderson, J.E., Dolan, R.H., Winkler, S.L., 2022. Vehicle Emissions and Urban Air Quality: 60 Years of Progress. *Atmosphere* 13, 650.
- Wongphatarakul, V., Friedlander, S., Pinto, J. (1998). A comparative study of PM<sub>2.5</sub> ambient aerosol chemical databases. *Environmental Science & Technology*, 32, 3926-3934.
- Yamagami, M., Ikemori, F., Nakashima, H., Hisatsune, K., Ueda, K., Wakamatsu, S., Osada, K., 2021. Trends in PM<sub>2.5</sub> Concentration in Nagoya, Japan, from 2003 to 2018 and Impacts of PM<sub>2.5</sub> Countermeasures. *Atmosphere* 12, 590.
- Yan, R., Lu, X., Zeng, H., 1999. Trace Elements in Chinese Coals and their Partitioning During Coal Combustion. *Combustion Science and Technology* ,145, 57-81.
- Yang, L.H., Hagan, D.H., Rivera-Rios, J.C., Kelp, M.M., Cross, E.S., Peng, Y., Kaiser, J., Williams, L.R., Croteau, P.L., Jayne, J.T., 2022. Investigating the Sources of



- Urban Air Pollution Using Low-Cost Air Quality Sensors at an Urban Atlanta Site. *Environmental Science & Technology* 56, 7063-7073.
- Yang, H.-H., Gupta, S.K., Dhital, N.B., Lee, K.-T., Hsieh, Y.-S., Huang, S.-C., 2019. Establishment of indicator metals for filterable and condensable PM<sub>2.5</sub> emitted from important stationary emission sources. *Energy & Fuels* 33, 10878-10887.
- Yao, S., Cheng, S., Li, J., Zhang, H., Jia, J., Sun, X., (2019). Effect of wet flue gas desulfurization (WFGD) on fine particle (PM<sub>2.5</sub>) emission from coal-fired boilers. *Journal of Environmental Sciences* 77, 32-42.
- Zang, L., Zhang, Y., Zhu, B., Mao, F., Zhang, Y., Wang, Z., 2021. Characteristics of water-soluble inorganic aerosol pollution and its meteorological response in Wuhan, Central China. *Atmospheric Pollution Research* 12, 362-369.
- Zhang, T., Shen, Z., Su, H., Liu, S., Zhou, J., Zhao, Z., Wang, Q., Prévôt, A., Cao, J., 2021. Effects of Aerosol Water Content on the Formation of Secondary Inorganic Aerosol during a Winter Heavy PM<sub>2.5</sub> Pollution Episode in Xi'an, China. *Atmos. Environ.*, 118304.
- Zhang, X., Murakami, T., Wang, J., Aikawa, M., 2021. Sources, species and secondary formation of atmospheric aerosols and gaseous precursors in the suburb of Kitakyushu, Japan. *Science of The Total Environment* 763, 143001.
- 李崇德、吳義林、周崇光、張士昱，2012。細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)質量濃度與成分人工採樣分析先驅計畫(暨後續擴充)。總結報告，環保署 EPA-100-FA11-03-A088，台北，101年6月。
- 李崇德、周崇光、張士昱，2013。細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)儀器比對及化學成分採樣網規劃作業計畫。期末報告(定稿本)，環保署 EPA-101-FA11-03-A262，台北，102年11月。
- 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智，2015。細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測計畫。期末報告(定稿本)，環保署 EPA-103-FA11-03-A119，台北，104年3月。
- 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智，2016。104-105年細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分專案工作計畫。期末報告(定稿本)，環保署 EPA-104-L102-02-103，台北，105年12月。
- 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智、許文昌，2017。細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫。期末報告(定稿本)，環保署 EPA-105-U102-03-A284，台北，106年12月。
- 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智、許文昌，2018。107年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫。期末報告(定稿本)，環保署 EPA-107-L101-02-

A024，台北，107 年 12 月。

李崇德、王家麟、周崇光、張士昱、蕭大智、莊銘棟、許文昌，2019。108 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫。期末報告，台北，108 年 12 月。

李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智、莊銘棟、許文昌，2020。109 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫。期末報告初稿，台北，109 年 11 月。

李崇德、周崇光、張士昱、莊銘棟、許文昌，2021。110 年度細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫。期末報告，台北，110 年 12 月。

周崇光；林煜棋；林順信；練建國；陳馥韻；黃譯檣；胡淑娟；黃昭豪（2014）。懸浮微粒污染源特徵指標技術之建置與評析(2014)，期末報告，台北，103 年 12 月。

楊錫賢、陳俐禎、陳恩諭、蕭亦辰、徐嘉佑，2014，工業鍋爐細懸浮微粒排放特性與化學成份分析研究，朝陽科技大學環境工程與管理系，專題期末報告。

環保署環境檢驗所 (2019) 水中陰離子檢測方法－離子層析法(NIEA W415.54B)，中華民國 108 年 02 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2005) 環境樣品採集及保存作業指引(NIEA-PA102)，中華民國 94 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2005) 環境檢驗檢量線製備及查核指引(NIEA-PA103)，中華民國 94 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2005) 環境檢驗品管分析執行指引(NIEA-PA104)，中華民國 94 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2005) 環境檢驗品管制圖建立指引(NIEA-PA105)，中華民國 94 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2005) 環境檢驗器皿清洗及校正指引(NIEA-PA106)，中華民國 94 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2005) 環境檢驗品方法偵測極限測定指引(NIEA-PA107)，中華民國 94 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2012) 空氣中懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)檢測方法－手動採樣法(NIEA A205.11C)，中華民國 102 年 1 月 15 日起實施。

環保署環境檢驗所 (2013) 空氣中粒狀污染物之微量元素檢測方法－感應耦合電漿質譜儀法(NIEA A305.11C)，中華民國 102 年 10 月 15 日起實施。

羅鈞，鄭玟芩，陳怡伶，2018。我國固定污染源細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>) 排放特性之研究分析。中興工程, 47-62.

## 附錄 1 第一次工作報告審查意見回覆

審查意見	回覆內容
1. 本處污染解析大多靠模式模擬來解讀，本計畫分析的數據其實與模式模擬相當一致，對政策的執行很有幫助。因為政策推動與執行是滾動檢討、循環管理，如大型柴油車汰舊的推動，以各站分析不同時間區間的變化，可以看到不同污染物或不同站的污染降幅斜率，但不見得每個地區的車輛數及污染強度是一致，請執行團隊協助就污染物的降低與政策推動提出對應關係、結果，以作為後續政策的調整參考。	有關污染物降低與政策推動的對應關係目前最明顯的關聯是 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 EC 濃度的降低趨勢，顯示使用更乾淨燃料、固定源污染防治設施進化、柴油車汰舊換新補助、柴油車濾煙器裝設及調修對於兩種 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分的減量是有助益。事實上，各地環保單位推動的各種污染源稽查管制計畫都能有效降低 $\text{PM}_{2.5}$ 及其化學成分濃度，只是每項管制計畫可能同時對不同化學成分濃度有不等的降低效應，能否有明確的政策推動對應關係？有賴空保處提供具體管制策略施行時間及規模，方能進行更詳細解析。
2. 報告中提到斗六以南各站 $\text{NH}_3$ 也是很重，但目前尚未確定如何處理去除或削減 $\text{NH}_3$ ，未來當污染減量技術達到一個極限，請執行團隊就原本可能貢獻比例不高的污染因子，提供相關管制方向建議。	$\text{NH}_3$ 來源有動物排泄物、農作施肥、固定污染源和柴油車裝設 SCR 操作的逸氨、工業製程排氣逸散等來源， $\text{NH}_3$ 並非法規污染物，雖然各地應該有相當豐富濃度，但確切濃度尚缺乏監測資料，因此較難以與其他前驅污染物進行評估以區分潛在污染源，現階段的管制方向可針對各地來源，進行管制。
3. 報告中提到嘉義站可能受爆竹或工業區污染影響，另透過感測器污染熱區分析，也可看出鄰近工業區常有高值發生，建議蒐集嘉義市的土壤採樣資料加以分析，或許可以先確認爆竹影響的比例。	本計畫工作內容並不包括分析土壤化學成分，後續有機會將蒐集嘉義市土壤化學成分分析數據，以評估是否有炮竹煙火相關化學成分？
環檢所	
1. .P.82、P.84的 $\text{NO}_3^-$ 平均濃度於部分區域，西元（下同）2021年值高於2019年值，建議後續可併 $\text{NO}_x$ 前驅物變化情形進一步比較探討。另2021年及2019年 $\text{NO}_3^-$ 總量建議納入探討，釐清係僅 $\text{NO}_3^-$ 於 $\text{PM}_{2.5}$ 中占比變化，抑或總排放質量有增加？以作為後續政策管制之參考。	有關 $\text{NO}_3^-$ 與 $\text{NO}_x$ 變化趨勢，目前已開始進行分析，以評估前驅污染物和 $\text{NO}_3^-$ 濃度變化關係。有關 $\text{NO}_3^-$ 總量的計算是將濃度乘上採樣體積，2021 年及2019 年樣本數量大約相同，所以濃度平均可以代表總量。本計畫對於 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分不同年平均濃度進行分析，發現都呈現下降趨勢，但下降趨勢較和緩的

	化學成分如： $\text{NO}_3^-$ ，在 $\text{PM}_{2.5}$ 的占比就會逐年增大，後續對於各種污染源排放的 $\text{NO}_x$ 需要做更有效益的管制。
2. 本案如前有召開評選會，建議就評選意見及回覆情形一併納入期中報告。	評選會議審查意見與答覆先前已經由本計畫承辦人員協助彙整至合約書中，相關資料如附件一所示。
3. 就部分局部污染高濃度情形（例如：嘉義 Ba 濃度），後續是否可由逆軌跡模式嘗試推估其可能來源。	現階段考量氣流軌跡資料仍受限於模式解析尺度較大，僅可用於辨別境外或大尺度污染傳輸來向，對於小尺度污染溯源解析度不足。基於委員所提類似概念，本計畫將針對特定金屬元（例如：嘉義 Ba 濃度），以雙條件機率函數 (CBPF) 進行解析，相關成果將呈現於成果報告書內。
4. 忠明、斗六之 Pb 空間相似度高，報告中建議可採相同管制策略一節，建議後續可釐清係相同 $\text{PM}_{2.5}$ 污染源產生模式，抑或是同一污染源之跨境傳輸所造成。	本計畫空間相似度分析是以兩測站隊的濃度差異小和相關性高為依據，如需進一步釐清污染源，仍須仰賴源擴散模式進行解析。目前可採行 CBPF 解析兩測站 Pb 高濃度來向發生頻率及風速是否具有一致性，進而提出相關建議。
5. P.94 建議各地硝酸鹽前驅物污染源管制一節，除 VOCs 管制外，如涉及 $\text{NO}_x$ 管制，建議一併討論總量之增減，可充分作為能源、燃料使用政策規劃使用。	有關 $\text{NO}_x$ 管制建議，本計畫 2021 年由協同主持人莊銘棟博士以 CMAQ 模式針對各前驅氣體進行模擬，發現：對於 $\text{NO}_3^-$ 可藉由直接減少前驅氣體 $\text{NO}_x$ 達到減量，也可在 $\text{NO}_x$ 濃度不變的情況下，透過減少 NMHC 達到減量。此外，控制 $\text{NH}_3$ 也可得到相似的成果。尤其在板橋及忠明站最為顯著，甚至超越控制 $\text{NO}_x$ 的成效，顯示都會區 $\text{NO}_3^-$ 主要結合型態為硝酸銨 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) (圖 1)。對於全國能源、燃料使用政策規劃已超出本計畫工作範圍。
監資處	
1. 附錄2逆軌跡圖的高度是以壓力 (hPa) 呈現，建議改以 Meters AGL(Above Ground Level)較易理解。另藉由逆軌跡研判氣團來源可能為境外污染，但部分軌跡有經過	有關逆軌跡圖譜以壓力 (hPa) 呈現是為避免地表具有高程，如果氣流軌跡經過地點高程不大，可以使用 AGL 呈現。有關以逆軌跡研判氣團來源可能為

<p>臺灣陸地，是否完全是受境外影響應留意說明。</p>	<p>境外污染，但部分軌跡有經過臺灣陸地，是否完全是受境外影響？這方面尚須注意氣流軌跡行經路徑高度，若經過臺灣陸地但高程大，則陸地影響小；反之，則影響大，後需判讀時會留意並說明。</p>
<p>2. 2021年斗六以南各站高濃度日增加，主要應是發生在1-3月，除報告推測產業活動量上升，天氣型態影響也是關鍵。該期間多數時間天氣穩定，且分析結果亦提到主要是在地污染，剛好可有對應，建議可以再補充天氣影響說明。</p>	<p>基本上，污染的產生是污染源排放和天氣因子及天氣型態共同造成的影響，有關 2021 年第一季斗六以南各站的高濃度，主要是在地污染，氣象因子影響很大，但產業活動的影響也不容忽視。</p>
<p>3. 報告中提到嘉義站除了在地污染，另有較大比例是外地傳輸，但以地理位置來看屬偏內陸，理論上風速應不至於會太大，是否可探討可能的原因？如地形影響等。另透過感測器分析，鄰近嘉義市的工業區高污染告警次數常名列前茅，且金屬成分亦可看出可能受工業污染排放影響，建議可再深入分析確認。</p>	<p>有關嘉義站污染日概況，雖然該站位處平原且相較於其他站更靠近內陸，但從過往監測資料與手動量測資料顯示，當發生高 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 濃度時，嘉義站平均風速都高於其他西部站。以今年度為例，1 月 14 日、1 月 26 日及 2 月 16 日等濃度較高的採樣日，嘉義站日平過風速多為 <math>1.9\sim 2.1\text{ m s}^{-1}</math>，分析近年在地污染日，嘉義站低風速所導致濃度上升時段的小時數同樣低於其他西部站，相關特徵將持續評估。另外，有關嘉義站工業排放特徵，本計畫曾尋求嘉義縣環保局協助過濾影響測站固定污染源使用的原物料，以評估當地濃度較高金屬成分，如 Pb 及 Ba，期望會有結果。</p>
<p>4. 2022年3月21日中南部地區有突然高污染濃度值(<math>\text{PM}_{2.5}</math>)，但本處空品預報模式卻未有模擬到，且模式在突發高值之前幾日皆呈現有高估情形，推測3月21日高值應是有未知的污染排放造成。該日可能有相關宗教活動，請執行團隊後續分析樣本時，確認是否有受宗教活動影響，如有，未來也可回饋到特殊宗教節日時，且天氣型態較穩定的情況時，本處在空品預報作業時應多加留意。</p>	<p>2022 年 3 月 21 日案例分析列於期中報告 4.1.3 節中 (P.89-91)。分析結果顯示，斗六、嘉義站的高濃度主要受到環境擴散條件不佳污染物累積導致，嘉義站 3 月 20 日接近午夜有觀世音菩薩誕辰慶祝活動，從 3 月 21 日 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 化學成分觀察，雖然炮竹煙火排放相關金屬元素濃度沒有大為升高，可能原因是(1) 觀音菩薩誕辰慶典對高濃度事件影響不大；(2) 由於採樣為 24 小時，後半日採樣未受到慶典影響，日平均濃度降低。</p>

	另外，斗六則除了本地影響外，還受到外地污染傳輸貢獻。
5. 報告中提到去(2021)年氯離子增加，因為疫情關係可能會有些含氯的東西直接進到焚化爐燒，是否為可能的原因？	2017年即有很多含氯離子的污染因子，當時命名為海鹽跟垃圾焚化，只有嘉義站在 2017 年有工業、富含氯因子，但從 2019 年開始，各測站都出現富含氯污染因子，本計畫檢視五年來 $PM_{2.5}$ 氯離子濃度，初步發現 2021 年並沒有特別增高，後續會再評估疫情期間各採樣站上風焚化爐於採樣日對測站氯離子濃度的影響。
6. 報告中提到因產業活動增加，去年硝酸鹽、硫酸鹽、氨相對於前幾年都有增加，原因可能是疫情趨緩，大家都在國內活動，交通排放增加等，請執行團隊就可能污染來源提出對應，並整理記錄以作為未來對疫情期間空品變化的回顧。	回顧上年度五月份至七月份受到國內疫情爆發影響，本計畫曾以歷年同期 $PM_{2.5}$ 質量濃度及化學成分進行比對，結果如圖 2 所示，Covid-19 疫情對於北部 $PM_{2.5}$ 濃度影響相較於其他地區顯著，主要是移動污染源貢獻量減少。板橋站以外地區，移動污染源活動雖然也降低，但固定污染源活動降低有限，導致 $PM_{2.5}$ 濃度變化不大甚至反增(李等，2021)。
7. 因2024年開始新的空氣污染防制方案，在2023年之前要針對監測站、監測項目進行檢討調整，尤其持續推動柴油車汰換對 $PM_{2.5}$ 的減量、電動車輛增加與目前推廣固體再生燃料(SRF)對空品影響變化等，後續再請執行團隊提供相關監測之建議。	柴油車汰換可能降低 $PM_{2.5}$ EC 與 $NO_x$ 濃度，但將增加柴油車 SCR 處理 $NO_x$ 氨氣逸散及貴金屬排放的可能。電動車輛增加對於車輛排放的 $PM_{2.5}$ OC 及 CO 濃度將大為降低，但對於車輛非尾氣排放可能變化不大，甚至與電池相關金屬元素排放會增加。SRF 將依做成燃料的垃圾組成而定，燃燒後會有與垃圾組成相關的金屬元素排放；至於燃燒產生的 CO 和 $NO_x$ 或其他微量成分現時較難評估。

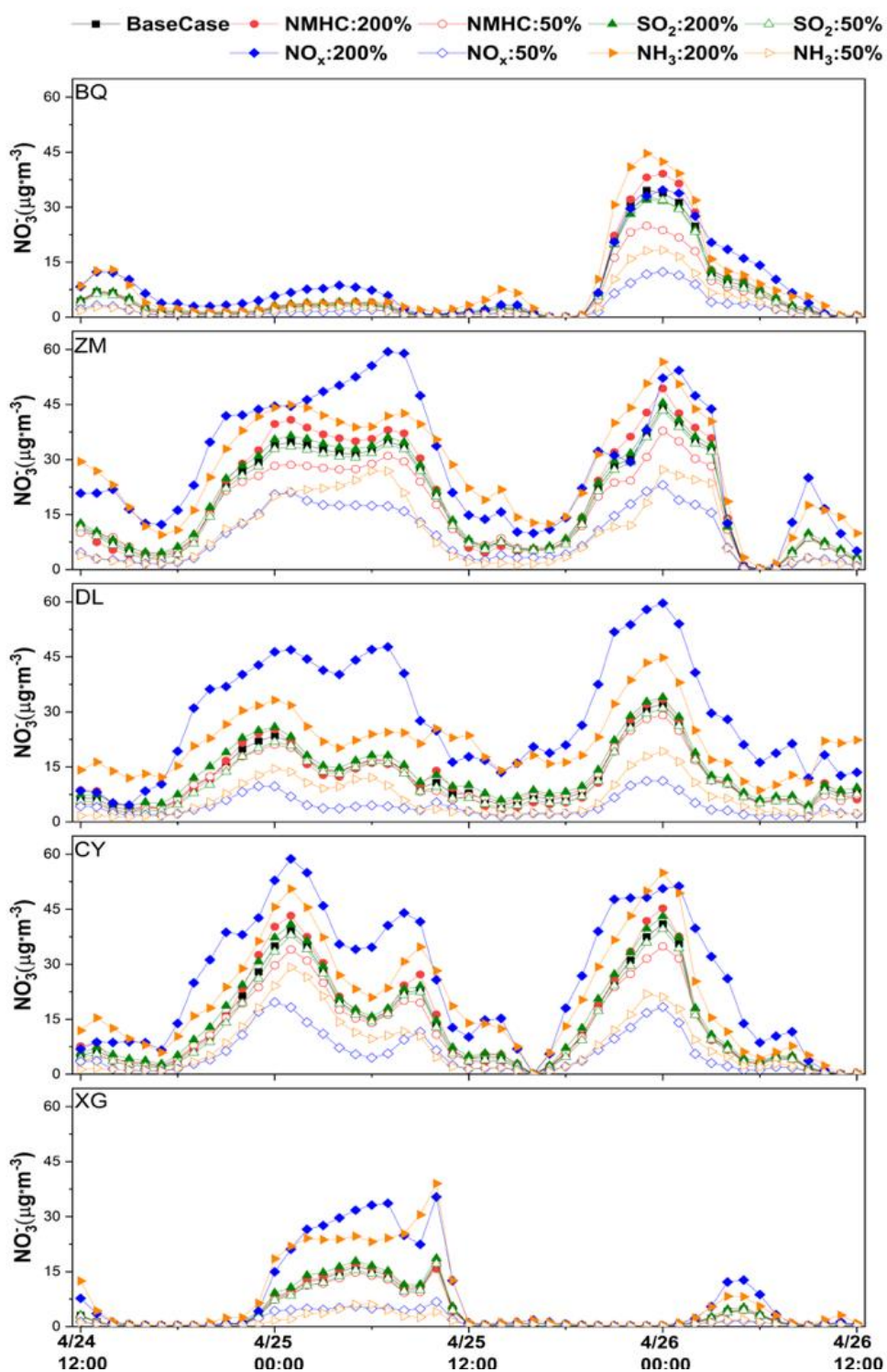


圖 1 前驅氣體排放增加(200%)及減少(50%)對各站 NO<sub>3</sub> 成分影響

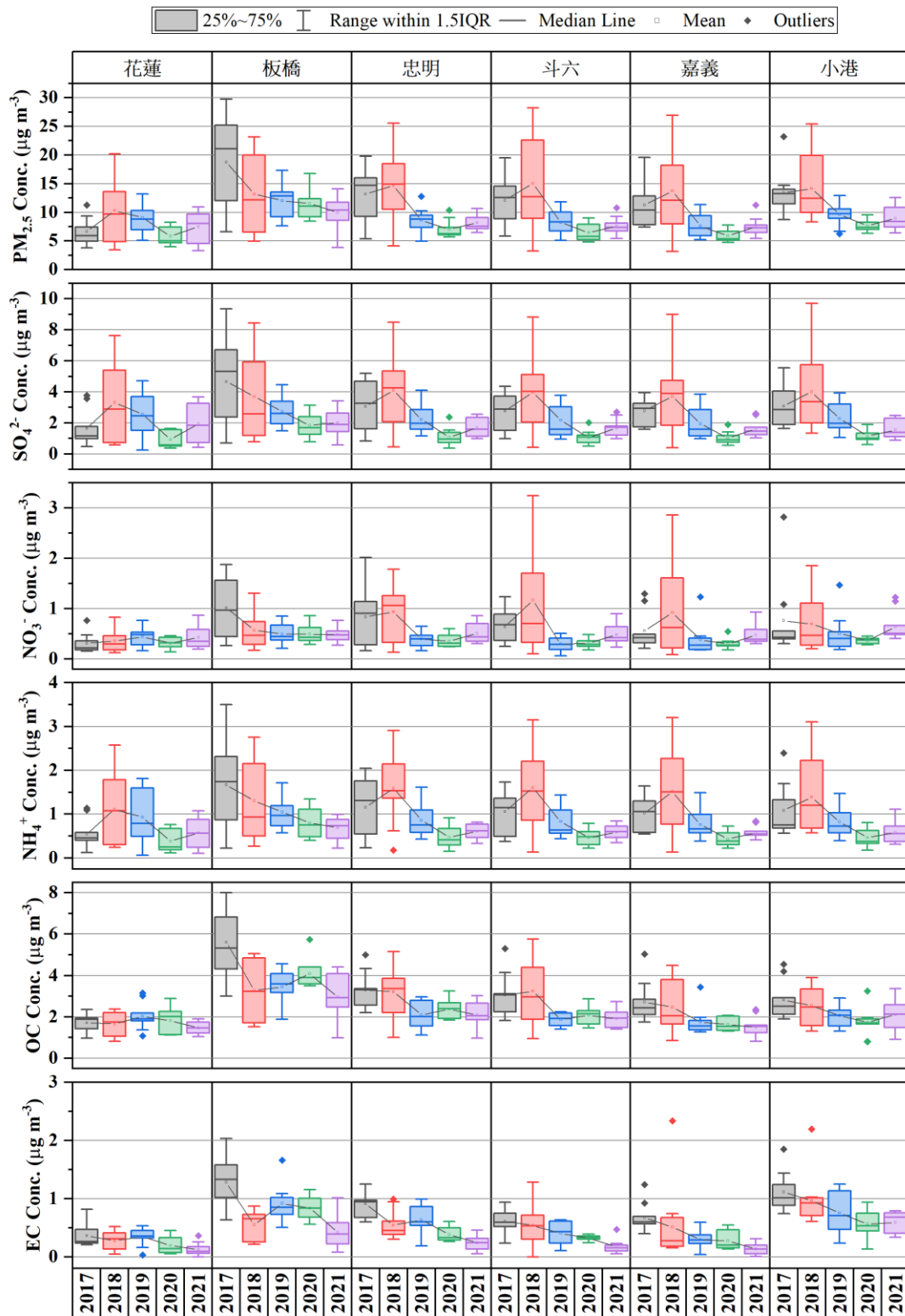


圖 2 國內疫情期間(6-7 月)PM<sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分濃度對照過往同期



## 附錄 2 第二次工作報告審查意見回覆

審查意見	回覆內容
1. 觀察今年，每波東北季風影響時間可能較長，使境外污染會分批移入，如報告中分析111年3月3日即可看出北部沿海測站亦有高值發生，此現象可供執行團隊後續分析時參考，另也建議可增加逆軌跡分析。	感謝建議，已將逆軌跡分析資料以及光達資料都加到附錄 6 中。
2. 科普內容建議可加入 PM <sub>2.5</sub> 成分等元素，以符合本計畫工作內容；另本處及空保處皆有能見度計畫執行，如能將各計畫成果整合做成科普宣導，會有更好的結果。	感謝建議，會再思考如何將 PM <sub>2.5</sub> 化學成分以淺顯易懂的方式呈現讓民眾了解。
3. 由分析結果可知相對濕度對 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 影響大，在相對濕度超過60%就易有潮解使顆粒增大，因此高濃度除了風弱，在起霧的時候，是否可證明也應考量其重要性。	一般起霧的時候相對濕度較高，比起微粒可能有更多是霧滴（水滴）影響能見度，但若相對濕度較高且未達起霧的條件下，NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 相關鹽類（硝酸銨、硝酸鈉等）以及其他吸濕性較高的鹽類（硫酸銨、氯化鈉等）對能見度的影響確實應列入考量。
4. 報告中提到中南部污染情形是境外與本土累積的疊加，請執行團隊思考在期中報告有更詳細說明。	感謝委員建議，已將詳細內容列入報告 4.1.3 節中。
5. 由今（2022）年第1季度顯示花蓮站不論質量濃度或其他成分，濃度皆下降不少，是否與境外污染減少有關？	關於 2022 年 Q1 花蓮站 PM <sub>2.5</sub> 與主要化學成分濃度目前沒有很好的方法去量化是否因境外污染的貢獻是否下降而減少，但近年主管單位對於空污改善的努力，例如補助柴油車汰換，也對台灣各地的 EC 的降低有明顯的幫助，在花蓮站 2022 年 Q1 的 EC 相較於 2017 年 Q1 減量了一半左右的濃度。
6. 請執行團隊能對 OC 的污染管制策略提出建議。	OC 的減量應著重在車輛排放管制、固定污染源 VOCs 揮發逸散管制、商用或建築塗料儘量採用水性基底塗料、餐飲業油煙排放管制等。
7. 報告中可知斗六及嘉義 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 占比較 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 高，而 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 也會受相對溼度影響使能見度變差，請執行團隊再說明 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 較高的原因。	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 主要應來自前驅物 NO <sub>x</sub> 的轉化，也就是與交通污染源的貢獻有關，當然也有部分來自於工業的排放，不過近年的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度同樣有持續下降的趨勢，只是減少幅度沒有 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 顯著，導致占 PM <sub>2.5</sub> 比例以及對能見度的貢獻被動的上升，並非污染排放量增加影響。

## 附錄 3 期中報告工作報告審查意見回覆

審查意見	回覆內容
江委員鴻龍	
1. 請說明 P.37與 P.50 MDL 不同的原因？	感謝委員的建議與提醒，P.38 表 3.1.7 的金屬元素方法偵測極限以及 P.50 表 3.1.15 的 MDL 是一樣的，只是表 3.1.15 中金屬元素的呈現的 MDL 為檢測項目欄內所有金屬元素中取 MDL 最低者表示，並且單位為 $\mu\text{g m}^{-3}$ 與前表的 $\text{ng m}^{-3}$ ，在成果報告中會加上註記標明。
2. 請說明第二季微粒樣品成分解析（73-84%）部分測站較第一季（80-90%）少的原因（簡報的 P.11）	<p>一般而言，未解析成分有幾種可能：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計畫中碳成分分析儀分析的有機碳為（OC）為有機物（OM）中的碳（C）的質量，要乘上一個係數回推有機物的質量，本計畫參考文獻的建議在都市地區的係數固定為 1.6，但實際會因各季節有不同的污染狀況產生些微的差異。</li> <li>2. 雖然採樣後的濾紙在秤重前在相對濕度控制在 30%-40%的天秤室進行調理，仍然會有一些已潮解氣膠保有微量水分，在化學成分分析中無法被分析出而影響解析比例。</li> <li>3. 金屬元素在實際上是氧化物呈現，本計畫各化學成分加總只包括單獨的金屬元素濃度。</li> <li>4. 目前分析方法中沒有解析出的成分。</li> </ol> <p>上述情況都有可能因不同季度的成分差異導致兩季間的 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 解析比例有些微不同。</p>
3. 請解析微粒歷年組成變化之因素（如部分測站硝酸鹽、總有機碳占比增加）。	如期中報告 4.2.1 節所示，硫酸鹽在近年主管單位的管制策略執行下有顯著的降低，而相較之下有機碳與硝酸鹽的減量就少，因此在 $\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度中的占比增加，並不一定有新的污染源出現導致兩者的占比增加。
4. 請說明忠明站之能見度迴歸因子（P.117）與其他站較不同之因	基本上，本計畫用來做能見度迴歸的能見度值為氣象局的目測數據，然而，

<p>素（有 <math>\text{NO}_3^-</math> 等）。</p>	<p>氣象局的能見度受限於目標物的選擇，較無法準確表達實際大氣能見度，可能導致迴歸分析過程所選擇的影響因子產生差異。</p> <p>在多元迴歸分析過程中，各站化學成分和氣象因子會因為能解釋能見度（應變數）的變化而被篩選成為模式自變數，三個性質相近的自變數（例如：<math>\text{NH}_4^+</math>、<math>\text{SO}_4^{2-}</math>、<math>\text{NO}_3^-</math>；一般來說，<math>\text{NH}_4^+</math>常和 <math>\text{SO}_4^{2-}</math> 及 <math>\text{NO}_3^-</math> 結合成化合物，所以，<math>\text{NH}_4^+</math> 往往能代表 <math>\text{SO}_4^{2-}</math> 及 <math>\text{NO}_3^-</math>）會由當下最能解釋能見度數值變化而被選入模式，另外兩個化學成分則被剔除，因此，篩選進模式自變數在不同測站或是相同測站不同年代會有不同。</p>
<p>5. 請加強說明氣象條件與微粒濃度組成的關聯性。</p>	<p>有關氣象條件與微粒濃度組成的關聯性，在報告 3.2.1 節說明本計畫依風速（<math>1.6 \text{ m s}^{-1}</math> 為閾值）以及 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 濃度上升狀況做為判斷外地污染傳輸以及在地污染的依據，報告 4.1.3 節的 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 高濃度事件分析中，詳盡說明氣象條件（環境擴散條件、境外傳輸）對污染狀況的影響以及採樣日的 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 組成。報告表 4.2.3 列出採樣期間高濃度事件發生時的主要風向及其發生頻率和日平均風速。在成果報告中，會結合 PMF 以及 CBPF 並進一步解析各污染因子可能的來源及其主要成分。</p>
<p>6. 請加強說明污染源排放特性與微粒濃度組成的關聯性。</p>	<p>微粒的 <math>\text{SO}_4^{2-}</math> 大多來自燃燒化石燃料含硫份，較與固定污染源排放有關；<math>\text{NO}_3^-</math> 雖說來自燃燒產生的氮氧化物，在都會地區一般多視為是來自移動污染源的排放；<math>\text{NH}_4^+</math> 多來自肥料施肥、畜養動物、柴油車逸氨，<math>\text{NH}_4^+</math> 常和 <math>\text{SO}_4^{2-}</math> 及 <math>\text{NO}_3^-</math> 結合成化合物。<math>\text{OC}</math> 在都會區多認為來自汽油車排放，<math>\text{EC}</math> 則視為是柴油車指標污染物。金屬元素因為種類多，更是來自多元排放源，詳細資料及引用文獻在報</p>

	告中多有敘述。本計畫使用 PMF 受體模式推估可能的污染因子時，前述相關資訊都將用於污染因子的命名。
<b>林委員伯雄</b>	
1. 本年度之 PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測及分析計畫，期中報告之撰寫格式及執行進度，除金屬元素分析進度因儀器故障維修而有落後，其他分析監測項目皆符合合約之要求。	有關金屬元素分析進度因儀器故障維修而有落後的情況，分析儀器在 7 月中已經完成維修，並分析樣本趕上應有進度。
2. 依第四章 P.146 及 P.147 有關現場空白及運送空白樣本檢出部分金屬元素，如 Al、Ti、Mg、Mn 等元素大於 2 倍之方法偵測極限值，後續對於同批次之樣本數據之處置方式為何？以及可能污染成因為何？	感謝委員的提醒，本計畫執行採樣分析過程有做三種空白樣本，分別是實驗室空白、現場空白以及運送空白，並且取三個空白中濃度最低者扣除。若空白濾紙有顯著的污染，本計畫會進行檢討作業流程的細節尋找可能的污染源，若沒有找到明顯的原因，會繼續觀察情況；若同樣狀況持續發生，將會停止採樣檢討至查出原因為止。
3. 同上，實驗空白樣本少數金屬濃度大於 2 倍偵測極限是否有排除可能污染源？	如上所述，當發現可能的污染源，一定會進行檢討並排除，但若沒有找到可能的原因，且後續沒有再發生同樣的情況，則會繼續進行採樣分析。
4. SRM 1648 參考物質成分分析皆落在回收率 89-110% 之間（P.149），建議可持續定期分析。	感謝委員的建議，後續會保持定期分析。
<b>張委員小萍</b>	
1. 依 P.5 執行進度期中報告之查核點，為完成今（111）年 1 月至 5 月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析。另依 P.8 圖 3.1.1 本計畫執行架構圖中，質量濃度亦屬於單獨項目，故建議在表 2.2.1 之執行進度表 1 項下加列 1.4 細項為 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度檢測。	感謝委員的建議，在成果報告中 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度分析會獨立列在進度表 2.2.1 的項目 1 中加列 1.4 細項 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度分析。
2. 在 P.134-139，計畫報告中，回應 110 年期中報告審查意見的	感謝委員的提醒，成果報告中將會把「盲樣」改名為「績效評估樣品」。

建議，增加水溶性陰陽離子之外購品管樣品分析等品保作業；建議將「盲樣」改名為「績效評估樣品」。	
3. 有關 P.139-143 碳成分分析品保作業，亦回應了 110 年期末報告審查意見，建議增列檢量線及方法偵測極限的資料。但 P.141 的查核樣品分析，以 65 次數據計算出 TC 的平均值及標準偏差，未能計算出 QC 一般要求的平均回收率(是管制圖的觀念)，建議補列回收率數據。	感謝委員的建議，目前文獻中及現行檢測方法中尚無可行的做法與規定，會再思考比較適當的分析方法補足。
4. P.136 水溶性陰陽離子之空白分析「空白濾紙分析值應小於儀器 2 倍方法偵測極限」，請改為「應小於 2 倍方法偵測極限」，另外 P.135 第 2 段的儀器偵測極限亦同。	感謝委員的建議，成果報告中將會把「空白濾紙分析值應小於儀器 2 倍方法偵測極限」修正為「應小於 2 倍方法偵測極限」。
5. P.136 (1) 空白樣品分析，...大部分水溶性無機離子濃度都低於 2 倍 MDL。以實驗室品質管制要求，是否須查明或探討不符合要求之原因？或建立管制圖進行品管措施？	本計畫若發現空白濾紙不符合管制要求，會檢討作業流程細節，尋找可能的污染源，沒有找到明顯的原因，會繼續觀察情況；若同樣狀況持續發生，將會停止採樣檢討至查出原因為止。
6. 本報告中檢量線「配置」，皆須修正為「配製」。例如 P.140 第一行、第二行及 P.143 金屬元素配置。另報告中 ultrapur 是否為 ultrapure?	感謝委員細心的指證，在成果報告中，檢量線「配置」，皆會修正為「配製」，報告中的 ultrapur 會修改為 ultrapure。
<b>華委員梅英</b>	
1. 中央大學團隊已依規定進行各項工作，結果具相當豐富之成果，實驗之 QAQC 詳細、圖示清楚呈現分析結果，均符合預期內容，工作值得肯定。	感謝委員的肯定，本計畫將會保持同樣的品質執行計畫。

2. 報告書 P.6 之進度查核說明中，實際執行情形僅介於 20%-33% 似有低估，請再檢視。	感謝委員的細心指證，刊誤會在期末告統一修正。
3. 在改正措施之依據及步驟所列（P.55 表 3.1.21），其中 IC 部分請說明絕對酒精項、空白濾紙廠牌項之狀況，另請問所列之改正措施是否均為本年度之問題？	表 3.1.21 的內容，並非都是本年度的問題，而是從過去到現在所遭遇過的問題以及改正方法的紀錄。目前將絕對酒精減量後 Cl <sup>-</sup> 出現的時間以及峰值就不會影響到後續的成分分析，目前空白濾紙與採樣的濾紙都統一使用 Whatman 濾紙。
4. 由圖 4.1.1 西元 2021 年至 2022 年採樣期間各站 PM <sub>2.5</sub> 質量與主要化學成分濃度變化中，可明顯看出同日各測站結果之比較狀況，是否與其他主要污染物之變化趨勢相同？（錄音檔中委員是詢問與前驅污染物的趨勢是否相同）	基本上，NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 等前驅污染物要經過一些化學反應才會形成 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 或 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ，這之間的關聯需要透過模式模擬才能比較清楚的呈現。本計畫的 PM <sub>2.5</sub> 主要化學成分濃度與 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度變化都會有一致的變化，但占比會因各成分前驅污染物濃度改變有所變化。
5. 由 3/2-3/3 六測站結果之比較（報告 P.85、簡報 P.15 與 P.16），其中 3/3 觀音、平鎮、新竹、斗六、嘉義於 18:00 開始增高，而中部則無此現象，可否由所分析項目探源結果予以解釋。	圖 4.1.6、4.1.7 顯示只有斗六、嘉義、台南 3/3 日 18:00 之後有濃度明顯增加的情況，觀音、平鎮、新竹以及忠明站雖然也有些微的上升，但相較於斗六及嘉義站低許多。從氣象因子可以看到斗六及嘉義站在下午過後風速逐漸降低，同時 PM <sub>2.5</sub> 濃度上升，明顯受到在地污染累積影響。嘉義站午後 13-16:00 短暫出現風速與 PM <sub>2.5</sub> 濃度同時上升的現象，說明可能先受到傳輸污染影響，16:00 後風速下降導致傳輸污染累積在當地，代表嘉義站濃度相較中部以北測站高可能同時受到外地傳輸污染以及本地污染累積貢獻，斗六站雖然受到停電影響有缺值，但整體污染狀況與嘉義站相似。
6. 由 PM <sub>2.5</sub> 濃度與主要成分時間與空間變化斜率，是否受疫情影響？	期中報告中 4.2.1 節的第 1 小節的結果顯示，2020 年可能受到疫情爆發的影響各主要成分濃度都有較低的情況，2021 年則除了人流受到比較大的影響外，工業動能看起來沒有受到影響，反

	而有上升的情況，導致 2021 年的污染物濃度上升（李，2021），今年同樣有受到另一波疫情的影響，詳細分析以及與去年的數據比較結果將會在期末報中呈現。
7. 科普圖卡之主要提供對象為何？其中 P.70 移動污染源污染是否考量圖中化學分子之中文名稱；P.118-119（簡報 P.29）是否考量增加消光後之光線變化比較（增加左側進入眼睛粗光箭頭，如每張圖卡上半粗光線由右邊三條變成左邊二條、下半粗光線由右邊三條變成一條），以明顯呈現消光狀況之比較。	感謝委員的建議，P.70 移動污染源污染是去年計畫的成果，圖中化學分子當初考量對象是國中及以上程度學生，如果對象是小學生以下程度，將使用中文名稱。感謝委員建議以進入眼睛光線粗細來代表消光現象，本計畫會將委員的意見納入考量，思考改進製作更簡潔明瞭的科普資訊。
<b>空保處</b>	
1. 計畫分析空品與政策之間關係值得參考，其他陸續推動之政策，也請後續關注是否有對應物種改善。	感謝貴處的肯定！本計畫會持續關注其他政策推動是否有對相關 PM <sub>2.5</sub> 化學成分的改善。
2. 110-111 年可能因疫情及乾旱影響，是否會影響這兩年 PM <sub>2.5</sub> 成分組成？	110-111 年是否受疫情及乾旱影響 PM <sub>2.5</sub> 化學成分？本計畫將持續分析。
<b>監資處</b>	
1. 去（110）年成果報告有提到西元 2021 年春季 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度的反彈，可能與疫情減緩後工業動能上升所造成的影響，因去年與今年差不多都是在 5 月疫情爆發，今年是否有發現相似情況？後續夏季及秋季的 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 亦請持續關注。	本計畫今年會持續關注疫情爆發是否對空氣污染造成同去年一樣的影響？並進一步分析造成近兩年空氣污染狀況相同與不同的原因。
2. 本年度因在第一次工作進度報告、期中報告及期中報告、期末報告之間，皆須加開工作會議，前已於 5 月底召開，請將會議意見回覆說明亦納入後續成果報告中。	感謝貴處提醒，本計畫會將每一次會議的審查意見回覆都加入成果報告中呈現。

## 附錄 4 第三次工作報告審查意見回覆

審查意見	回覆內容
1. 本計畫成果豐富，並可作為空污管制策略參考。	非常感謝委員的肯定。
2. 目前第3季（7-9月）採樣是每12天採樣一次，後續請執行團隊留意相關統計與歷年的比較，並請在期末及成果報告敘明與歷年之差異。	感謝委員提醒，相關比較請參考成果報告 4.1.1 節的第 3 小節。今年 Q3 季度各站 12 天採樣一次相較於往年同期與環保署常規量測（三天採樣一次）的平均濃度差異略高，但仍在可接受範圍，且 Q3 PM <sub>2.5</sub> 濃度較低，對各站污染分析，以及管制策略方向建議的影響較小。
3. 簡報分析乾旱對 PM <sub>2.5</sub> 成分的影響，並提到 Q2-Q4 部分成分相較前一年高，也會增強 Q1 對 2021 年影響。延伸今年是最晚有颱風影響，而前（109）年是未有颱風侵襲臺灣的情況，請執行團隊後續可探討、分析少颱對 PM <sub>2.5</sub> 成分變化的影響。	颱風對空氣品質的影響除了帶來大量降雨對空氣品質有洗淨作用外，不同路徑影響區域風場而影響台灣不同地區的環境氣象因子，進一步影響空氣污染狀況。若要探討颱風對 PM <sub>2.5</sub> 以及成分變化的影響，可能需要先釐清颱風如何影響 PM <sub>2.5</sub> 化學成分變化的因果關係，本研究團隊會再思考可行的方法。



## 附錄 5 成果報告初稿審查意見回覆

審查意見	回覆內容
<b>江委員鴻龍</b>	
1. 應請說明 P.82中高中低濃度之分類依據。	金屬元素濃度高低差異很大，本計畫為容易分辨各種狀況凸顯的金屬元素，依據金屬元素的平均濃度分布進行分類，以小港站為例，近六年在高濃度區間的金屬元素平均濃度大約在 $50 \text{ ng m}^{-3}$ 以上；中濃度區間的金屬元素平均濃度則落在 $5 \sim 50 \text{ ng m}^{-3}$ ，低濃度區間則是 $5 \text{ ng m}^{-3}$ 以下。本項說明將補充在本計畫成果報告定稿中的 4.1.2 節第 2 小節。
2. 應請說明微粒組成中揮發性離子(忠明及小港測站等)OC(花蓮及板橋測站等)變異性較大之可能影響因子。	揮發離子主要受到溫度影響，根據過去的經驗，當環境溫度在攝氏 15 度以上，會有半揮發性無機鹽(如：硝酸鹽和氯鹽揮發)。然而，有機物種類繁多，揮發有機碳的特性也較為複雜難以掌握影響揮發因素，目前尚未找到規律的變化，以協助判斷可能影響因子。
3. P.114建議圖之 Y 軸尺度可以一致以利比較。	感謝委員建議，本計畫將在成果報告定稿統一圖 4.2.5 的 Y 軸尺度。
4. P.129應請說明 Q3硝酸鹽貢獻濃度極低之可能因素。	Q3 硝酸鹽濃度較低的主要原因是夏季環境溫度較高，使半揮發性硝酸鹽揮發成氣態而非氣膠態，所以不容易被採集到。
5. 表4.2.8應請歸納說明在地比例貢獻之差異性特別是嘉義(21-88%)及小港(58-100%)測站。	在地比例是統計風速小於 $1.6 \text{ m s}^{-1}$ 且 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度上升時數 ÷ 當日 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度上升時數。(請參考表4.2.8備註6)，各測站在地比例較高的高濃度日化學成分特徵以及 PMF 污染因子歷年變化可以參考4.2.3節的第3與第4小節。
6. 本研究執行諸多文獻回顧應可建議有關大氣中微粒或空氣污染未來於台灣地區的研究方向。	感謝委員的建議，請參考定稿本 4.2.7 節。
<b>林委員伯雄</b>	
1. 計畫執行進度大致符合合約要求，工作成果豐碩，值得肯定。	感謝委員的肯定。
2. P.109有關2021年 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度突增之現象，有否參考氣象局之資料解讀2021年之異常現象。	針對 2021 年氣象條件與污染濃度相關的分析可以參考 4.2.6 節第 1 小節，本計畫分析 2021 年 Q1 乾旱對六個測站 $\text{PM}_{2.5}$ 及主要化學成分濃度的影響，發現乾旱對斗六、嘉義和小港站的 $\text{PM}_{2.5}$ 及

	主要化學成分濃度有較大的影響，整年度濃度上升可能也受到其他非氣象條件的原因影響，例如工業活動的增加（基於 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 以及金屬元素總濃度的增加）。
3. 氣膠含水率之干擾，是否可以提供校正之流程及參考文獻，請於報告中予以補充濕度對氣膠質量測量之校正。	<p>本計畫量測的 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 質量濃度的鐵氟龍濾紙在秤重前，需先在相對濕度 30~40% 的環境進行調理，讓濾紙上的氣膠接近乾燥狀態。在這樣的相對濕度區間，若氣膠在原來環境中處於未潮解的狀態下，即使有含水量也非常低（Mochida et al., 2004; Sun et al., 2021）；若氣膠在原來環境中已經潮解，採集在濾紙後，雖然在相對濕度 30~40% 環境進行調理下，氣膠仍可能保有一些含水量。從本研究團隊發表的文獻 Sun et al. (2022) 指出：小港站採樣的 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 濃度在 <math>40 \mu\text{g m}^{-3}</math> 左右的樣本，於相對濕度 30~40% 的環境下調理，氣膠含水量約在 <math>3 \mu\text{g m}^{-3}</math>。</p> <p>本計畫量測 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 質量濃度係採用 NIEAA205.11C，在國內以及美國，都是使用相同的 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 質量濃度量測方法，這個方法量測的質量濃度已經接近乾氣膠，量測結果具有可比較性，因此，建議維持不必對氣膠含水量干擾進行修正。</p>
4. P.40請加註 NIEAA205.11C 之方法未包含部分，所參考之美國聯邦政府公告之方法。	感謝委員提醒！本計畫在成果報告定稿前會檢核相關註解，若有缺漏將予以補充。
<b>張委員小萍</b>	
1. 本成果報告出稿內容，依表 2.2.2 之「本計畫實際執行進度及查核點說明」，已依預定進度完成相關採樣及成分分析工作。	感謝委員的肯定。
2. P.192，圖 4.3.3 $\text{PM}_{2.5}$ 碳成分分析品保作業，第 1 之文字敘述圖 4.3.6 為「2021.12-2022.10 檢量線 R 值都是 0.9999，符合品質標準」。但檢視 2021.12-2022.6 之 R 值範圍為 0.9995-0.9998，不符合上列敘述，建議修正之。	感謝委員提醒！本計畫在成果報告定稿會將報告內 R 值改為 0.995，並將各圖以 R 值呈現。
3. p.194，圖 4.3.9(a)及(b)分別是中央及中研院碳成分之重複分析之 RPD(%)。EC 重複分析之差	感謝委員提醒，EC 數值大多在 $3 \mu\text{g/filter}$ 變動範圍內，由於每次分析只在

<p>異百分比大多高於數據品質目標之 20%，是否未來可考量用管制圖顯示變化情形？</p>	<p>濾紙上打一個 <math>0.531\text{ cm}^2</math> (直徑約 <math>0.822\text{ cm}</math>) 洞，然後上機分析，整張濾紙有 <math>10.683\text{ cm}^2</math>，因此，每次分析樣本面積占濾紙總面積比例並不大。微粒沉降在濾紙如果不均勻，會造成較大重複性不佳問題。</p> <p>本計畫將重複分析 EC 濃度相差大於 <math>3\text{ }\mu\text{g/filter}</math> 樣本（如附圖 1），取出再打洞進行三重複或四重複分析（最多四次重複，另外，有些濾紙已經送中研院就無法再拿出來重複分析），結果如附表 1 所示。顯示，微粒沉降在濾紙有不均勻現象。</p>
<p>4. P.212 結論與建議的第 13 點與第 15 點重複，建議刪去第 15 點。</p>	<p>感謝委員提醒！本計畫在成果報告定稿會將重複的第 15 點刪除。</p>
<p style="text-align: center;"><b>華委員梅英</b></p>	
<p>1. 中央大學團隊已依規定執行各項工作，本年度之採樣亦已完成，並將結果進行彙整分析，工項均符合預期內容，值得肯定。</p>	<p>感謝委員的肯定。</p>
<p>2. 由 P.107 表 4.2.4 之 2017~2022 六年測站資料顯示，各測站均有明顯 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 濃度降低趨勢，然金屬元素的質量濃度卻無明顯增減，得知主要管制策略可能對金屬元素較沒有受到影響。建議能再就金屬元素物種及其主要來源加以檢視，以作為後續管制策略擬定之參考。</p>	<p>在本計畫所分析的金屬元素成分中，有許多金屬元素來自多元污染源，例如：各測站都有高濃度的 Na 除了來自海鹽（Rahn, 1999），還可能由煤灰（楊等, 2014；羅等, 2018）、柴油車（Yang et al., 2019）、稻草燃燒（周等, 2017）、煉油廠（周等, 2017）所貢獻，使用 PMF 受體模式結合相關文獻，可以推定這些金屬元素可能的貢獻來源類型，但也有可能混雜在或被其他更重要污染源所掩蓋。不過，在明年度的計畫中將增加量測凝結粒狀物，希望可以更加瞭解污染源的化學成分指紋，提供管制策略擬定參考。</p>
<p>3. P.117 表 4.2.5 就六測站六年各季度主要污染物之占比進行統計，其中 Q3 之硫酸根離子占比均為各季度最高(但濃度變化並不明顯最低)，同時硝酸根離子與金屬元素均最低且濃度亦遠</p>	<p>Q3 季度為 7~9 月，包含夏季，環境擴散較佳，所以 <math>\text{PM}_{2.5}</math> 及主要化學成分濃度都較其他季度為低，硝酸鹽則因環境溫度較高，大多處於氣態非氣膠態，無法被採集到，硫酸鹽和多數金屬元素不具有揮發性，因此，即使在 Q3 硫酸根離子的濃度同樣為四個季度中最低，占</p>

低於其他季度，請協助探討其原因。	PM <sub>2.5</sub> 比例仍被動上升。
4. P.114 圖中之 2017 年 all 呈現之合理性，請再加以檢視。	感謝委員提醒！這個圖的 2017 年數據已經修正，正確的圖在成果報告定稿中將更新。
5. 在品管中之管制圖，因環檢所以指引所涵蓋之項目除管制上下限外，另有三項查核之項目，如在平均值同側連續七點等，請再加檢視本研究之結果。	有關品管管制圖，發生平均值同側連續七點現象，較多出現在水溶性無機離子的「添加樣品回收率管制圖」，本計畫處理原則是：如果儀器沒有出現異常狀況、量測數值合理，則繼續執行樣本分析。
6. 對於重複分析 P.194 相對差異大於 20% 以上者，為濃度及儀器老化感度下降所致，請說明後續之處理方式。	感謝委員提醒，EC 數值大多在 3 µg/filter 變動範圍內，本計畫再重複分析這些濾紙樣本，發現採樣微粒在濾紙分布不均勻可能會是造成差異大的原因，後續將提出應對方式。詳細說明請參閱張小萍委員問題 3 的回覆。
<b>空保處</b>	
1. 簡報 P.22 北部由 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 變為 OC，SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 有轉變，OC 的管制方面，有甚麼建議改善的方式？是否依照結果進行調整？	OC 的前驅來源非常廣泛，包含工廠作業揮發性有機氣體逸散、工業製程油管洩漏逸散、汽車排放、營建工程表面塗裝源逸散、加油站油氣逸散和儲油槽揮發、餐廳油煙排放、林木逸散揮發性有機氣體等等，目前各縣市都有相關計畫執行稽查管制，建議可加強污染源集氣效率及採用具有效益的防控措施。
2. 結論第三點指出，部分測站之 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分濃度偏高，且多為燃煤、鋼鐵業以及車輛排放貢獻特徵，而近年政府大力推動能源轉換（如煤轉氣）、加強鋼鐵業管制以及推動綠色運具等政策，能否透過 PM <sub>2.5</sub> 內之金屬成分濃度變化情形以對應各項政策對其變化之影響或貢獻？	在本計畫所分析的金屬元素成分中，有許多金屬元素來自多元污染源，例如：各測站都有高濃度的 Na 除了來自海鹽（Rahn, 1999），還可能由煤灰（楊等, 2014；羅等, 2018）、柴油車（Yang et al., 2019）、稻草燃燒（周等, 2017）、煉油廠（周等, 2017）所貢獻，近年來政府大力推動能源轉換（如煤轉氣）、加強鋼鐵業管制以及推動綠色運具等政策，均屬降低金屬元素的有效策略，預計在來年的 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素檢測，應該可以觀察到各項政策對應的變化。
3. 簡報 P.33，斗六以南，建議加強水泥業，是我們認知上的水泥業嗎？	本計畫在解析 2017~2022 年「在地高 PM <sub>2.5</sub> 濃度成因及特徵」指出：斗六站以南建議加強水泥業稽查，是根據金屬元素 Tl 和 Cs 經過〔(在地高濃度日-非高濃度日)÷非高濃度日〕×100 %計算，顯示發生在地高 PM <sub>2.5</sub> 濃度事件，斗六、

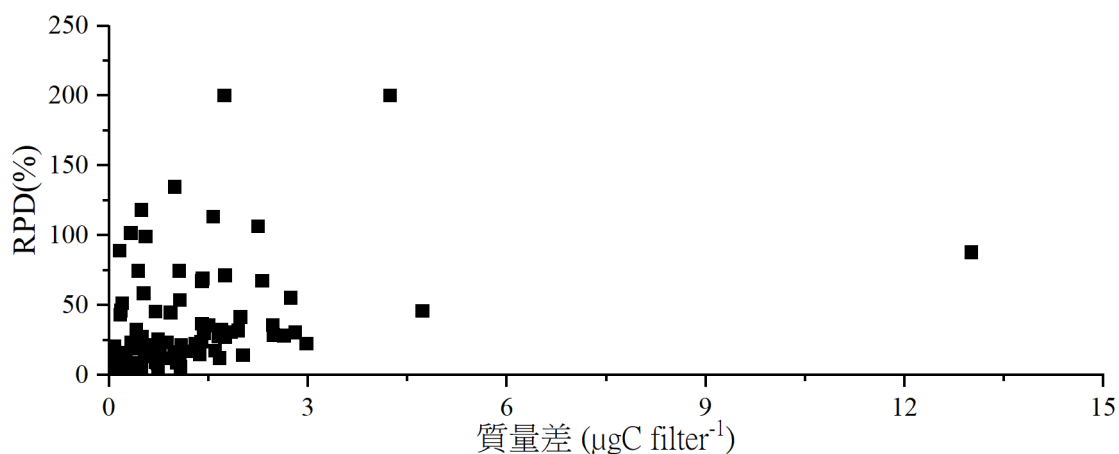
	嘉義、小港站都有超過 100%的增幅。金屬元素 Tl 在 Reff et al. (2009)及周等(2014)，金屬元素 Cs 在周等(2014)均指出為水泥業排放特徵元素，本計畫推測除了是來自水泥製程外，也有可能是來自營建工程逸散水泥灰微粒。
4. 有關污染源分析，後續定稿報告可否請執行團隊於內文將相關限制作描述，以避免讀者不必要的誤會。	感謝貴單位提醒！本計畫在成果報告定稿會斟酌相關用詞敘述。
<b>監資處</b>	
1. 簡報 P.42 中南部管制對象，在 PM <sub>2.5</sub> 管制的重要性能否有排序。	中南部管制對象最重要的是 NO <sub>x</sub> 排放源，除了目前各縣市均有的固定、移動、營建逸散、柴油車定檢空污費管制計畫外，對於低矮煙囪的關注、含 Cl <sup>-</sup> 來源的稽查、農廢露天燃燒稽查都具有重要性。
2. 簡報 P.22 各成分變化，OC 在近 5 年不明顯，所占比例也和 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 差不多，是否有管制重點建議。	OC 的前驅來源非常廣泛，包含工廠作業揮發性有機氣體逸散、工業製程油管洩漏逸散、汽車排放、營建工程表面塗裝源逸散、加油站油氣逸散和儲油槽揮發、餐廳油煙排放、林木逸散揮發性有機氣體等等，目前各縣市都有相關計畫執行稽查管制，建議可加強污染源集氣效率及採用具有效益的防控措施。。
3. 未來衍生性污染物為管制重點，而 PM <sub>1</sub> 以下粒徑是主要影響能見度，能否說明對 PM <sub>1</sub> 的管制重點為何。	影響大氣能見度氣膠粒徑範圍在 0.1~1.0 μm，管制 PM <sub>1</sub> 或 PM <sub>2.5</sub> 衍生性氣膠前驅污染排放源都可以降低二次氣膠的生成或是揮發性氣體的核凝。除了目前推動的各項空污費管制計畫外，建議可以加強降低工業製程凝結性氣膠的產生，減少 VOCs 逸散和 NO <sub>x</sub> 排放以降低大氣 O <sub>3</sub> 濃度而降低大氣氧化能力，對於柴油車 SCR 裝置的逸氨及過多氨氣加以關注，至於 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 近年減量非常顯著，可持續執行相關管制措施。
4. 由歷年成分變化趨勢顯示，各濃度都是呈現下降，惟 2021 年推測可能因疫情趨緩，工業活動增加而上升，但 2022 年相對疫情是更開放，而各濃度也還是呈現降低，是否表示 2021 年可能有其他因素影響，如氣候或是突然增加工業活動動能有關？	2022 年國內疫情嚴峻，但產業影響似乎不大，唯國際經濟景氣步入通膨及美國升息循環，我國產業以出口為導向，工業活動可能較去年稍有緊縮。然而，每個年度影響 PM <sub>2.5</sub> 及主要化學成分濃度的因素即使相同，在不同年度的影響程度也可能不同。2021 年的 Q1 乾旱對斗六、嘉義和小港站的 PM <sub>2.5</sub> 及主要化

	學成分濃度有較大的影響，但工業動能增加也是影響因素。2022 年至 10 底 PM <sub>2.5</sub> 及主要化學成分濃度較 2021 年為低，重要的產業或氣象影響因子（例如：降雨）值得探討。
5. 報告中文字部分可再以中性文字來敘述。	感謝委員提醒！本計畫在成果報告定稿會斟酌相關用詞敘述。

附表 1 碳成分重複分析結果

樣本名稱	OC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	EC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	TC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	樣本名稱	OC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	EC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	TC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	樣本名稱	OC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	EC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )	TC ( $\mu\text{gC filter}^{-1}$ )
DL 220905*	3.9	0	3.9	CY 220117*	51.93	12.7	64.6	XG 221101*	39.61	21.3	60.9
	33.45	4.24	37.7		47.69	7.93	55.6		33.96	8.29	42.3
BQ 220225	19.57	1.81	21.4	BQ 220526	21.96	4.01	26	ZM 220824	47.31	7.12	54.4
	51.13	7.09	58.2		27.98	8.33	36.3		105.4	12.9	118
	21.28	5.14	26.4		24.98	4.59	29.6		45.3	7.51	52.8
ZM 220923	33.31	4.66	38	DL 220731	25.36	1.34	26.7	DL 221107	65.2	14	79.2
	38.86	8.6	47.5		35.04	4.63	39.7		45.05	10.6	55.7
	36.76	9.97	46.7		26.79	2.75	29.5		48.33	7.8	56.1
CY 221227	32.13	5.67	37.8	HL 220929	18.65	3.74	22.4				
	25.15	2.29	27.4		12.56	0.63	13.2				
	31.27	8.14	39.4		15.08	1.15	16.2				
ZM 220114	39.07	4.48	43.6	ZM 220321	40.79	5.33	46.1	DL 220120	50.77	5.1	55.9
	54.28	13.6	67.9		51.21	9.88	61.1		56.71	9.3	66
	112.6	10.5	123		39.82	13.4	53.2		56.06	15.2	71.3
	50.51	12.9	63.4		43.04	13.6	56.7		53.88	13.2	67.1
XG 220213	71.44	20.5	92								
	60.68	6.73	67.4								
	60.8	14.8	75.6								
	58.4	11.8	70.2								

備註：\*送中研院重複分析



附圖 1 碳成分重複分析結果

## 附錄 6 監測地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度與天氣因子日平均數值

資料備註：

1. 溫度格式：日平均值 (最小值~最大值)
2. 符號「—」：監測數據缺值大於 8 筆
3. PM<sub>2.5</sub>：環保署測站自動監測值

例行採樣環境因子

測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
花蓮	03-Dec-21	-	0.3	12	1	55.2	北 (29%)	1.8	18 (17~20)	58	0
板橋	03-Dec-21	15	0.6	39	1	53.9	東北 (17%)	1.4	16 (13~20)	62	0
忠明	03-Dec-21	12	0.3	15	2	57.4	北北東 (43%)	2.2	17 (14~22)	54	0
斗六	03-Dec-21	19	0.3	18	2	61.6	北 (38%)	2.0	18 (14~24)	53	0
嘉義	03-Dec-21	20	0.3	21	4	59.5	北 (46%)	2.4	18 (15~24)	59	0
小港	03-Dec-21	30	0.5	37	2	65.3	西北 (33%)	1.7	20 (16~24)	59	0
花蓮	09-Dec-21	9	0.3	9	1	45.5	西南 (33%)	1.8	20 (17~24)	71	0
板橋	09-Dec-21	10	0.4	21	1	42.3	東北東 (38%)	1.6	22 (20~23)	74	0
忠明	09-Dec-21	25	0.6	42	2	63.4	東北 (21%)	1.0	21 (18~26)	77	0
斗六	09-Dec-21	25	0.4	16	2	88.3	東 (17%)	1.1	21 (18~26)	59	0
嘉義	09-Dec-21	24	0.4	16	3	78.9	東南東 (21%)	1.2	21 (18~26)	76	0
小港	09-Dec-21	24	0.4	27	2	67.5	西北 (21%)	1.6	23 (20~26)	67	0
花蓮	15-Dec-21	-	0.3	7	0	36.8	西南 (33%)	1.7	21 (19~25)	90	9.5
板橋	15-Dec-21	11	0.7	42	1	38.1	東南東 (22%)	0.9	22 (18~28)	74	0
忠明	15-Dec-21	25	0.5	32	2	66.4	西北 (25%)	1.1	22 (18~27)	84	0
斗六	15-Dec-21	34	0.4	13	2	97.6	北北西 (25%)	1.2	22 (18~28)	77	0
嘉義	15-Dec-21	36	0.4	17	4	94.2	北 (29%)	1.4	22 (20~28)	81	0
小港	15-Dec-21	35	0.5	31	3	66.8	西 (29%)	1.8	23 (21~27)	76	0
花蓮	21-Dec-21	7	0.2	10	1	29.5	西南 (33%)	1.5	21 (19~23)	88	1.5
板橋	21-Dec-21	26	0.6	40	2	33.2	西南西 (29%)	1.1	19 (18~20)	91	16.0
忠明	21-Dec-21	16	0.4	25	2	29.7	北 (39%)	1.2	19 (18~20)	94	16.5
斗六	21-Dec-21	23	0.4	18	1	21.9	北 (46%)	1.1	19 (18~21)	89	22.0
嘉義	21-Dec-21	29	0.5	24	3	20.2	北北東 (30%)	1.5	19 (18~20)	93	20.0
小港	21-Dec-21	31	0.8	37	7	25.8	南南東 (25%)	1.5	23 (19~27)	87	0.5
花蓮	27-Dec-21	-	0.3	10	1	41.4	西北西 (25%)	2.0	18 (16~19)	73	0
板橋	27-Dec-21	8	0.3	20	1	39.7	東南東 (71%)	2.2	13 (13~14)	84	2.5
忠明	27-Dec-21	9	0.3	17	2	31.0	北北東 (52%)	1.9	14 (13~15)	89	1.0
斗六	27-Dec-21	11	0.3	14	2	26.1	北 (50%)	1.8	15 (13~16)	77	1.0
嘉義	27-Dec-21	13	0.3	20	3	26.0	北 (50%)	2.3	15 (14~16)	84	0.5
小港	27-Dec-21	21	0.5	37	2	21.5	西北 (38%)	1.4	18 (16~20)	73	0
花蓮	02-Jan-22	9	0.3	7	1	41.7	西南 (25%)	1.7	19 (17~22)	82	1.0
板橋	02-Jan-22	12	0.4	18	1	50.1	東南東 (54%)	1.3	17 (16~19)	77	0
忠明	02-Jan-22	14	0.3	15	-	50.0	北 (35%)	1.8	19 (15~24)	75	0
斗六	02-Jan-22	25	0.3	12	2	54.5	北 (38%)	1.7	18 (14~25)	71	0
嘉義	02-Jan-22	26	0.4	15	3	61.7	北北東 (35%)	2.0	19 (15~25)	74	0
小港	02-Jan-22	25	0.5	24	3	54.1	西北西 (25%)	1.5	21 (17~25)	69	0
花蓮	08-Jan-22	7	0.3	10	1	40.4	西南西 (29%)	1.3	18 (17~19)	88	1.5
板橋	08-Jan-22	10	0.3	14	1	37.5	東南東 (50%)	1.8	17 (16~18)	75	0
忠明	08-Jan-22	12	0.3	15	-	44.1	北 (33%)	1.9	17 (15~22)	80	0.5
斗六	08-Jan-22	19	0.3	12	2	58.1	北 (33%)	1.6	18 (15~24)	73	0.5
嘉義	08-Jan-22	21	0.3	18	3	54.9	北 (57%)	2.0	18 (15~24)	76	0
小港	08-Jan-22	30	0.5	31	3	63.9	西 (42%)	1.8	21 (18~24)	72	0



測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
花蓮	14-Jan-22	20	0.5	14	1	38.7	西北西 (29%)	1.5	15 (14~17)	82	0
板橋	14-Jan-22	18	0.4	22	1	43.1	東北東 (42%)	1.9	15 (13~18)	58	0
忠明	14-Jan-22	30	0.4	19	1	54.0	東北 (39%)	1.7	16 (12~21)	68	0
斗六	14-Jan-22	41	0.5	16	2	62.3	北北東 (35%)	1.2	15 (11~21)	69	0
嘉義	14-Jan-22	41	0.5	20	3	66.1	北 (17%)	1.9	16 (12~22)	67	0
小港	14-Jan-22	39	0.6	39	4	60.0	西 (33%)	1.7	18 (14~21)	62	0
嘉義	17-Jan-22	24	0.4	17	4	54.5	北 (46%)	2.8	20 (17~23)	81	0
花蓮	20-Jan-22	-	0.2	8	1	49.0	東北 (50%)	2.3	18 (17~20)	93	27.0
板橋	20-Jan-22	10	0.3	15	1	43.3	東南東 (42%)	2.2	17 (16~19)	79	0.5
忠明	20-Jan-22	12	0.4	26	-	45.6	東北 (33%)	1.4	20 (15~25)	77	0
斗六	20-Jan-22	21	0.4	22	2	26.1	北北西 (30%)	1.0	19 (15~26)	73	0
嘉義	20-Jan-22	26	0.4	22	3	60.7	北 (30%)	1.7	19 (16~25)	78	0
小港	20-Jan-22	35	0.5	38	3	71.5	西 (50%)	1.5	21 (18~24)	81	0
花蓮	26-Jan-22	-	0.3	9	1	45.5	西南西 (25%)	1.4	21 (18~23)	88	0
板橋	26-Jan-22	13	0.5	26	2	38.6	東北東 (38%)	1.4	21 (19~25)	79	0
忠明	26-Jan-22	19	0.4	20	1	47.9	北 (33%)	1.5	20 (18~26)	90	0
斗六	26-Jan-22	35	0.5	17	2	70.9	北北西 (43%)	1.7	21 (18~27)	77	0
嘉義	26-Jan-22	40	0.5	19	2	63.8	北 (57%)	2.1	21 (18~27)	83	0
小港	26-Jan-22	45	0.7	40	5	62.7	西北西 (29%)	1.5	22 (20~25)	86	0
花蓮	01-Feb-22	13	0.3	6	1	44.2	西南 (50%)	1.9	18 (15~22)	80	2.0
板橋	01-Feb-22	10	0.3	14	1	40.7	東北 (25%)	1.1	17 (16~19)	85	14.0
忠明	01-Feb-22	21	0.4	16	2	29.0	北 (38%)	1.2	17 (16~19)	95	3.5
斗六	01-Feb-22	27	0.4	11	1	31.7	北 (30%)	1.4	17 (15~18)	79	0.5
嘉義	01-Feb-22	27	0.4	12	2	34.1	北北東 (42%)	2.2	18 (16~20)	82	0
小港	01-Feb-22	26	0.4	15	4	58.4	西北 (33%)	1.8	21 (18~25)	68	0
花蓮	07-Feb-22	7	0.3	10	1	40.7	西南西 (33%)	1.7	19 (17~22)	84	0.5
板橋	07-Feb-22	10	0.4	20	1	38.9	西南西 (38%)	1.6	18 (14~23)	79	9.0
忠明	07-Feb-22	15	0.4	25	3	37.5	北北西 (17%)	1.5	17 (14~24)	86	1.0
斗六	07-Feb-22	19	0.4	12	1	46.9	北 (25%)	1.8	17 (13~22)	75	1.0
嘉義	07-Feb-22	18	0.3	15	2	50.3	東北 (21%)	2.1	18 (15~23)	80	0
小港	07-Feb-22	26	0.5	36	4	32.9	西北 (33%)	1.5	20 (17~26)	78	4.0
花蓮	13-Feb-22	8	0.3	5	1	53.5	東北 (29%)	2.1	22 (19~25)	81	1.0
板橋	13-Feb-22	7	0.4	13	2	41.0	東北東 (42%)	1.5	19 (16~21)	84	15.0
忠明	13-Feb-22	15	0.4	14	3	45.1	北 (38%)	1.9	19 (16~23)	94	10.0
斗六	13-Feb-22	27	0.5	11	2	56.5	北 (29%)	1.6	19 (16~24)	79	0.5
嘉義	13-Feb-22	29	0.4	13	4	61.5	北 (58%)	2.1	19 (17~24)	85	1.5
小港	13-Feb-22	39	0.6	27	3	58.5	北北西 (29%)	1.9	22 (20~26)	79	0
花蓮	16-Feb-22	10	0.3	5	1	54.2	東北 (38%)	2.7	19 (16~22)	83	2.5
板橋	16-Feb-22	16	0.4	18	1	44.5	東南東 (29%)	1.4	17 (16~19)	82	0
忠明	16-Feb-22	18	0.4	16	1	58.3	北北東 (33%)	1.9	18 (16~23)	87	0
斗六	16-Feb-22	34	0.4	13	1	73.1	北北西 (33%)	1.7	18 (15~23)	75	0
嘉義	16-Feb-22	34	0.4	15	3	68.4	北北東 (38%)	2.2	19 (16~23)	80	0
小港	16-Feb-22	37	0.4	24	3	59.0	西 (33%)	1.9	21 (17~25)	72	0
花蓮	19-Feb-22	6	0.2	6	1	47.6	東北東 (50%)	3.0	19 (18~20)	87	11.5
板橋	19-Feb-22	-	0.4	17	1	39.2	東 (25%)	1.3	16 (13~18)	89	19.0
忠明	19-Feb-22	-	0.3	12	1	38.7	北 (41%)	2.2	16 (13~19)	98	9.0
斗六	19-Feb-22	10	0.3	9	1	33.7	北 (50%)	2.3	16 (14~20)	84	10.0
嘉義	19-Feb-22	14	0.3	13	2	32.2	北北東 (50%)	2.7	17 (14~20)	93	20.5
小港	19-Feb-22	32	0.4	23	2	58.7	西北 (33%)	1.8	20 (17~25)	85	0.5
板橋	22-Feb-22	6	0.3	19	1	41.1	東南東 (71%)	2.0	15 (15~16)	90	23.5
花蓮	25-Feb-22	8	0.3	7	1	52.9	西南西 (25%)	1.6	19 (16~22)	76	0

測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
板橋	25-Feb-22	8	0.5	22	1	38.4	東北東 (29%)	1.4	17 (14~20)	79	0
忠明	25-Feb-22	11	0.4	20	1	57.2	北北東 (29%)	1.5	17 (14~22)	84	0
斗六	25-Feb-22	20	0.4	14	2	54.2	北 (43%)	1.6	17 (13~23)	75	0
嘉義	25-Feb-22	21	0.3	17	4	61.9	北 (42%)	2.0	17 (14~23)	83	0
小港	25-Feb-22	29	0.5	34	3	67.2	西北西 (25%)	1.8	20 (16~24)	79	0
花蓮	03-Mar-22	18	0.5	10	1	73.0	西南西 (25%)	1.5	22 (19~25)	87	0
板橋	03-Mar-22	25	0.7	23	-	66.4	東北東 (43%)	1.7	22 (18~26)	73	0
忠明	03-Mar-22	41	0.7	31	2	74.2	北北東 (21%)	1.2	22 (19~29)	80	0
斗六	03-Mar-22	73	0.6	16	2	80.0	北 (32%)	1.2	21 (19~26)	75	0
嘉義	03-Mar-22	67	0.6	17	3	75.2	北 (39%)	1.7	23 (19~29)	76	0
小港	03-Mar-22	59	0.6	27	-	68.4	西 (39%)	1.5	23 (22~26)	85	0
花蓮	09-Mar-22	8	0.2	5	1	58.9	西南西 (21%)	2.1	20 (17~24)	56	0
板橋	09-Mar-22	11	0.4	23	2	57.3	東 (25%)	1.4	21 (14~26)	53	0
忠明	09-Mar-22	17	0.4	27	2	72.4	北北西 (33%)	1.5	19 (16~23)	74	0
斗六	09-Mar-22	22	0.4	16	2	74.6	北北西 (33%)	1.7	20 (17~24)	63	0
嘉義	09-Mar-22	20	0.3	14	3	76.4	北 (29%)	2.0	20 (16~25)	62	0
小港	09-Mar-22	20	0.3	20	2	72.7	西北 (25%)	2.1	22 (18~26)	55	0
花蓮	15-Mar-22	11	0.2	5	0	47.1	西南 (29%)	2.1	23 (20~27)	78	0
板橋	15-Mar-22	15	0.4	24	2	45.5	東北東 (33%)	1.6	24 (20~30)	67	0
忠明	15-Mar-22	25	0.5	30	1	75.6	西北 (25%)	1.5	24 (21~30)	78	0
斗六	15-Mar-22	34	0.3	13	2	79.3	北北西 (33%)	1.5	24 (21~30)	69	0
嘉義	15-Mar-22	38	0.4	16	4	68.5	北 (33%)	1.9	25 (22~30)	71	0
小港	15-Mar-22	30	0.4	36	3	92.3	西 (42%)	1.8	27 (24~29)	71	0
板橋	18-Mar-22	16	0.4	18	2	40.8	東南東 (33%)	1.9	21 (19~24)	78	0
斗六	18-Mar-22	27	0.4	14	2	72.4	北北西 (55%)	1.7	25 (23~28)	74	0.5
小港	18-Mar-22	23	0.3	17	2	56.0	西北西 (50%)	2.6	27 (25~29)	77	0
花蓮	21-Mar-22	7	0.3	6	1	39.7	西南 (33%)	1.6	24 (22~26)	92	2.0
板橋	21-Mar-22	27	0.6	25	2	59.9	北 (38%)	1.4	23 (21~26)	84	2.5
忠明	21-Mar-22	24	0.5	22	1	67.4	北北西 (21%)	1.7	25 (22~31)	86	0.5
斗六	21-Mar-22	45	0.4	9	2	81.0	北北西 (22%)	1.3	25 (22~30)	78	1.5
嘉義	21-Mar-22	51	0.5	12	3	71.0	北 (25%)	1.5	25 (22~30)	85	1.5
小港	21-Mar-22	27	0.7	28	6	50.4	南南東 (33%)	1.6	26 (24~28)	86	5.0
花蓮	27-Mar-22	8	0.3	5	1	55.7	東北 (42%)	2.4	21 (19~23)	89	3.0
板橋	27-Mar-22	11	0.3	12	1	54.8	東南東 (71%)	2.4	17 (16~18)	86	44.0
忠明	27-Mar-22	-	0.3	16	1	42.7	北 (38%)	2.0	19 (17~23)	95	39.5
斗六	27-Mar-22	17	0.3	8	2	46.3	北北西 (42%)	1.6	21 (18~25)	79	2.5
嘉義	27-Mar-22	20	0.3	10	3	48.0	北北東 (38%)	1.9	23 (20~26)	86	1.0
小港	27-Mar-22	17	0.3	22	1	45.3	西 (46%)	1.5	27 (25~30)	78	0
花蓮	02-Apr-22	7	0.3	7	1	55.1	西南西 (35%)	2.0	19 (17~21)	78	2.5
板橋	02-Apr-22	9	0.3	17	1	48.7	東南東 (46%)	1.2	15 (14~16)	88	38.0
忠明	02-Apr-22	-	0.3	13	1	51.0	北北東 (52%)	2.0	15 (14~16)	93	18.0
斗六	02-Apr-22	11	0.2	8	1	44.2	北 (57%)	2.3	15 (14~17)	82	14.0
嘉義	02-Apr-22	12	0.3	13	1	40.8	北北東 (79%)	2.8	16 (15~17)	89	8.0
小港	02-Apr-22	20	0.4	23	1	29.7	西北 (30%)	1.9	18 (17~20)	80	0
花蓮	08-Apr-22	12	0.2	7	1	50.1	西南 (38%)	1.9	21 (19~25)	86	10.0
板橋	08-Apr-22	11	0.3	12	1	44.8	東南東 (46%)	2.2	23 (21~26)	62	0
忠明	08-Apr-22	20	0.5	31	3	84.1	南南西 (21%)	1.2	25 (22~29)	71	0
斗六	08-Apr-22	32	0.3	13	2	85.2	北 (21%)	1.2	24 (21~29)	69	0
嘉義	08-Apr-22	31	0.4	16	3	77.1	北 (21%)	1.2	24 (21~28)	74	0
小港	08-Apr-22	28	0.3	19	2	72.6	西 (46%)	2.0	25 (23~28)	72	0.5
花蓮	14-Apr-22	9	0.2	5	1	54.6	東北東 (33%)	2.3	25 (22~33)	79	0

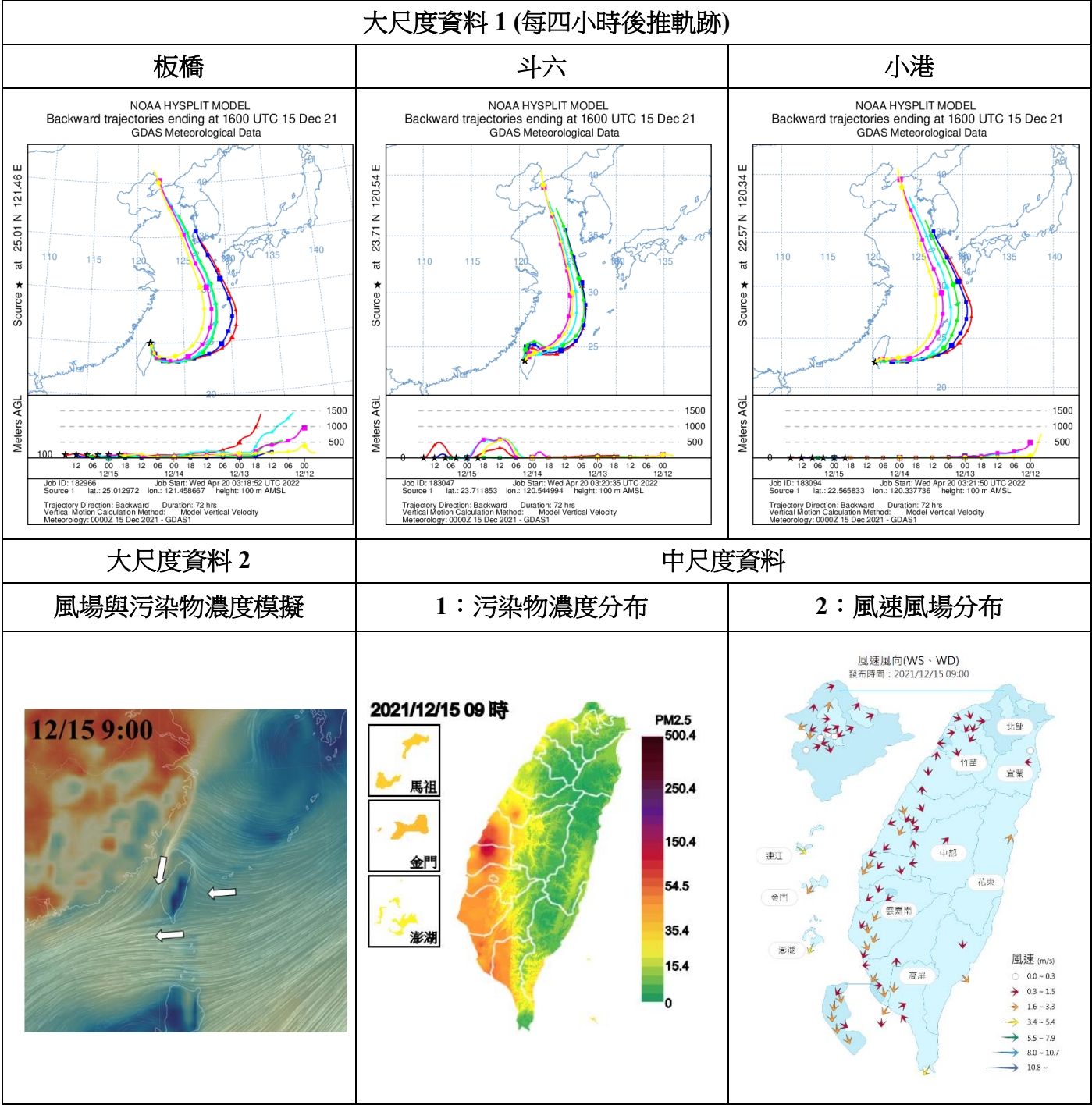
測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
板橋	14-Apr-22	13	0.4	21	1	35.2	東南東 (21%)	1.4	23 (21~25)	81	48.5
忠明	14-Apr-22	13	0.3	17	1	57.8	北 (25%)	1.9	26 (22~30)	76	0
斗六	14-Apr-22	19	0.3	9	2	63.5	北北西 (29%)	2.0	26 (22~30)	71	0
嘉義	14-Apr-22	19	0.3	11	2	59.9	北 (42%)	2.3	27 (23~30)	75	0
小港	14-Apr-22	14	0.2	15	1	44.9	西 (29%)	2.9	28 (25~30)	72	0
花蓮	20-Apr-22	21	0.3	8	1	65.2	西南西 (29%)	1.4	21 (19~23)	83	0
板橋	20-Apr-22	14	0.6	31	1	56.5	東北東 (46%)	1.3	20 (17~23)	78	3.0
忠明	20-Apr-22	14	0.4	21	1	65.6	北北西 (46%)	1.5	22 (18~27)	88	2.0
斗六	20-Apr-22	34	0.4	14	2	66.3	北北西 (42%)	1.4	23 (18~27)	77	0
嘉義	20-Apr-22	37	0.4	13	3	66.4	北 (29%)	1.7	23 (20~27)	81	0
小港	20-Apr-22	32	0.5	26	3	86.5	西北西 (29%)	2.0	26 (24~28)	71	0
花蓮	26-Apr-22	7	0.1	4	1	18.4	南 (33%)	2.6	28 (25~31)	86	0
板橋	26-Apr-22	16	0.4	19	2	60.5	西北西 (25%)	1.6	29 (25~34)	73	0
忠明	26-Apr-22	9	0.2	15	1	50.0	南南西 (33%)	1.7	29 (25~35)	82	0
斗六	26-Apr-22	10	0.2	8	1	56.3	西南西 (29%)	1.8	29 (25~34)	72	0
嘉義	26-Apr-22	11	0.2	8	2	54.6	西南西 (42%)	2.4	29 (26~33)	77	0
小港	26-Apr-22	9	0.2	13	6	19.1	南南東 (50%)	2.3	30 (28~33)	83	0
花蓮	02-May-22	7	0.3	7	1	58.6	東北 (42%)	2.0	19 (18~20)	91	12.0
板橋	02-May-22	11	0.3	15	1	54.2	東南東 (42%)	2.1	16 (16~17)	87	23.5
忠明	02-May-22	-	0.3	12	1	47.4	北 (52%)	1.7	17 (16~19)	99	22.0
斗六	02-May-22	13	0.2	9	1	43.5	北北西 (48%)	1.7	18 (17~19)	89	20.0
嘉義	02-May-22	14	0.3	12	2	41.1	北 (52%)	2.1	18 (17~19)	97	25.0
小港	02-May-22	11	0.4	18	-	31.9	西北 (38%)	1.8	21 (20~24)	91	19.5
花蓮	08-May-22	9	0.2	6	1	49.5	西南 (25%)	1.8	26 (23~29)	84	0.5
板橋	08-May-22	8	0.3	11	1	40.7	東南東 (33%)	1.7	26 (24~30)	81	0
忠明	08-May-22	11	0.3	13	1	57.8	東北 (38%)	1.6	26 (24~30)	85	0
斗六	08-May-22	23	0.3	9	2	82.9	北北東 (25%)	1.6	26 (24~31)	81	0
嘉義	08-May-22	21	0.3	11	4	87.3	北 (42%)	2.1	27 (24~30)	84	0
小港	08-May-22	21	0.3	16	3	62.8	西北西 (25%)	1.6	28 (26~30)	78	0
花蓮	14-May-22	-	0.3	6	1	45.2	東北 (33%)	1.7	24 (23~26)	97	47.0
板橋	14-May-22	-	0.3	12	1	41.8	東南東 (54%)	1.5	22 (22~24)	89	28.5
忠明	14-May-22	-	0.3	19	-	23.2	東北 (29%)	1.0	24 (22~26)	98	40.5
斗六	14-May-22	8	0.2	9	1	19.1	東 (26%)	0.8	24 (23~25)	91	17.5
嘉義	14-May-22	-	0.2	8	1	24.6	東南東 (33%)	1.0	24 (24~26)	95	35.0
小港	14-May-22	14	0.3	21	4	20.1	東南東 (17%)	1.2	27 (26~29)	90	31.5
花蓮	20-May-22	-	0.2	5	1	46.4	東北東 (42%)	2.1	26 (23~29)	90	0.5
板橋	20-May-22	6	0.3	13	-	40.6	東南東 (25%)	1.5	25 (23~27)	82	0
忠明	20-May-22	12	0.3	18	1	66.3	北北東 (29%)	1.8	27 (25~32)	83	0
斗六	20-May-22	28	0.3	9	2	80.4	北 (39%)	1.8	27 (24~32)	85	0
嘉義	20-May-22	24	0.3	10	2	74.4	北 (48%)	2.1	28 (25~32)	83	0
小港	20-May-22	16	0.3	17	1	66.2	西 (29%)	2.2	28 (25~31)	86	7.5
花蓮	26-May-22	-	0.2	7	1	53.2	東北 (25%)	1.5	25 (24~29)	96	3.5
板橋	26-May-22	7	0.5	27	-	40.2	東南東 (21%)	0.9	24 (22~29)	94	59.0
忠明	26-May-22	-	0.3	18	1	33.0	南南西 (21%)	1.3	27 (25~31)	95	53.0
斗六	26-May-22	6	0.2	6	1	30.7	南南西 (38%)	1.7	27 (25~31)	88	15.5
嘉義	26-May-22	-	0.1	7	1	28.1	東南東 (29%)	1.4	27 (25~30)	93	20.5
小港	26-May-22	8	0.2	20	4	20.7	南南東 (21%)	1.0	28 (26~31)	94	27.0
花蓮	01-Jun-22	5	0.1	5	1	28.5	東南東 (17%)	2.0	28 (25~31)	89	0
板橋	01-Jun-22	9	0.3	17	1	52.9	西南西 (21%)	1.7	30 (25~33)	74	0
忠明	01-Jun-22	3	0.2	12	1	44.9	南 (29%)	1.9	30 (27~34)	79	0
斗六	01-Jun-22	6	0.2	7	2	48.3	西 (29%)	1.7	30 (26~33)	84	0

測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
嘉義	01-Jun-22	6	0.1	6	2	48.2	西南西 (25%)	2.0	30 (26~33)	81	0
小港	01-Jun-22	7	0.1	17	2	28.5	西 (54%)	1.8	31 (29~34)	76	0
花蓮	07-Jun-22	6	0.2	5	1	52.6	東北 (33%)	2.0	26 (24~28)	95	39.5
板橋	07-Jun-22	9	0.5	25	1	41.1	東北東 (33%)	1.0	24 (21~26)	87	58.5
忠明	07-Jun-22	5	0.3	16	0	26.5	南 (25%)	1.1	27 (25~28)	96	57.0
斗六	07-Jun-22	7	0.2	7	1	25.8	南 (21%)	1.2	27 (26~29)	90	36.5
嘉義	07-Jun-22	4	0.2	8	1	21.3	東南東 (25%)	1.3	27 (25~29)	96	42.0
小港	07-Jun-22	6	0.2	20	4	25.4	東北 (17%)	1.1	28 (26~31)	95	69.5
花蓮	13-Jun-22	7	0.2	4	1	30.0	東北 (25%)	2.1	29 (25~32)	83	0
板橋	13-Jun-22	11	0.4	19	1	49.3	西 (38%)	2.1	29 (25~35)	73	0
忠明	13-Jun-22	6	0.2	10	1	30.3	南 (46%)	2.0	30 (26~34)	71	0
斗六	13-Jun-22	6	0.2	7	1	43.0	南南西 (25%)	2.3	30 (27~34)	80	0
嘉義	13-Jun-22	5	0.1	-	2	41.2	西南 (42%)	2.3	30 (27~33)	74	0
小港	13-Jun-22	8	0.2	16	3	21.4	西 (50%)	1.6	31 (28~34)	71	0
花蓮	19-Jun-22	9	0.1	3	1	32.4	東南東 (25%)	2.0	29 (26~32)	82	0
板橋	19-Jun-22	12	0.3	12	1	51.0	東南東 (21%)	1.3	30 (27~35)	70	0
忠明	19-Jun-22	11	0.2	9	1	39.7	南南西 (46%)	1.9	30 (26~34)	69	0
斗六	19-Jun-22	12	0.1	5	1	42.2	東南東 (42%)	1.8	30 (26~34)	68	0
嘉義	19-Jun-22	11	0.1	5	2	49.6	西南 (29%)	2.0	31 (28~34)	72	0
小港	19-Jun-22	15	0.1	15	3	23.3	西 (58%)	1.9	31 (28~35)	69	0
花蓮	25-Jun-22	3	0.1	3	1	23.5	西南 (50%)	2.6	29 (27~32)	82	4.0
板橋	25-Jun-22	7	0.4	18	1	62.0	西 (21%)	1.2	28 (26~34)	77	56.0
忠明	25-Jun-22	5	0.3	16	1	42.3	北北西 (17%)	1.1	27 (25~34)	86	37.0
斗六	25-Jun-22	6	0.2	8	2	33.2	東南東 (29%)	1.2	27 (25~32)	78	5.0
嘉義	25-Jun-22	2	0.2	6	1	31.1	東南東 (33%)	1.4	29 (27~33)	81	0.5
小港	25-Jun-22	4	0.2	9	6	21.2	南南東 (63%)	2.6	31 (29~33)	71	0
花蓮	07-Jul-22	3	0.1	3	1	20.5	西南 (33%)	2.2	30 (27~32)	82	0
板橋	07-Jul-22	13	0.4	22	1	81.5	西南西 (21%)	1.4	30 (28~35)	77	4.0
忠明	07-Jul-22	8	0.2	14	1	53.9	西 (25%)	1.4	30 (26~34)	76	0
斗六	07-Jul-22	5	0.2	6	1	41.0	東南東 (33%)	1.1	29 (26~35)	74	35.0
嘉義	07-Jul-22	5	0.2	5	1	37.7	東南東 (38%)	1.6	30 (27~34)	79	6.0
小港	07-Jul-22	6	0.2	12	3	15.3	南南東 (46%)	1.9	31 (27~35)	74	0
花蓮	19-Jul-22	8	0.1	3	0	24.6	南南東 (42%)	2.2	30 (28~32)	83	0
板橋	19-Jul-22	10	0.4	19	1	61.1	東南 (29%)	1.6	31 (29~35)	73	0.5
忠明	19-Jul-22	10	0.2	12	1	38.2	南 (42%)	1.7	30 (28~35)	77	0
斗六	19-Jul-22	7	0.2	8	1	40.8	東南東 (21%)	1.3	31 (28~35)	75	0.5
嘉義	19-Jul-22	5	0.2	5	1	46.5	西南西 (25%)	1.7	31 (28~34)	80	0.5
小港	19-Jul-22	7	0.1	12	5	13.0	南南東 (71%)	2.2	32 (29~34)	76	0
花蓮	31-Jul-22	5	0.1	5	1	25.4	西南 (46%)	2.7	29 (26~33)	83	58.0
板橋	31-Jul-22	6	0.3	13	1	60.2	西南西 (25%)	1.8	32 (28~36)	64	0
忠明	31-Jul-22	9	0.2	10	1	57.1	東南 (21%)	1.5	30 (27~35)	71	0
斗六	31-Jul-22	9	0.2	5	2	53.6	東南東 (38%)	1.5	30 (28~36)	74	0
嘉義	31-Jul-22	8	0.2	5	2	42.0	東南東 (25%)	1.4	30 (27~33)	77	0
小港	31-Jul-22	12	0.2	9	3	69.5	東北東 (29%)	2.0	31 (28~34)	76	0
花蓮	12-Aug-22	3	0.1	4	0	23.5	西南 (33%)	2.1	30 (28~33)	76	0
板橋	12-Aug-22	12	0.4	18	1	65.9	西南西 (25%)	1.4	31 (29~35)	72	3.0
忠明	12-Aug-22	9	0.2	11	1	56.7	南南西 (38%)	1.8	30 (28~34)	75	0
斗六	12-Aug-22	7	0.2	6	2	52.6	東南東 (42%)	1.2	29 (27~34)	82	21.5
嘉義	12-Aug-22	6	0.2	6	1	45.1	東南東 (50%)	1.0	28 (27~33)	89	17.5
小港	12-Aug-22	8	0.2	14	2	56.3	西 (33%)	1.8	29 (26~33)	84	6.0
花蓮	24-Aug-22	7	0.1	4	1	23.8	南南西 (33%)	2.7	30 (28~33)	78	0

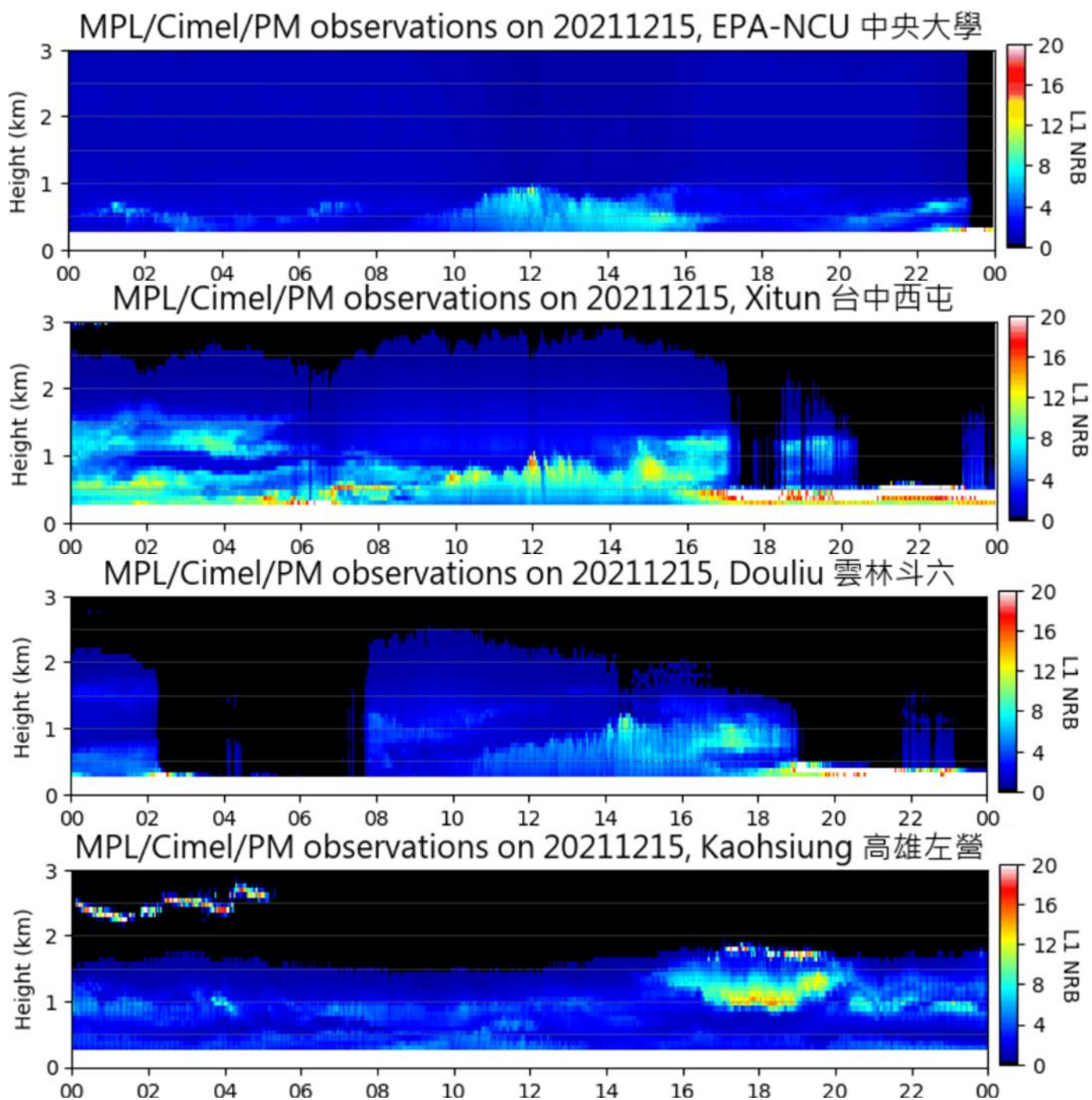
測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
板橋	24-Aug-22	9	0.3	16	1	70.0	東南東 (21%)	1.7	32 (29~38)	63	14.0
忠明	24-Aug-22	16	0.3	15	1	73.1	南南西 (21%)	1.4	30 (28~35)	74	0
斗六	24-Aug-22	14	0.2	6	2	63.3	東南東 (29%)	1.3	30 (29~34)	82	1.0
嘉義	24-Aug-22	11	0.2	6	1	57.8	東南東 (17%)	1.4	31 (29~34)	82	0.5
小港	24-Aug-22	10	0.4	23	8	19.4	南南東 (38%)	2.7	31 (29~33)	75	1.5
花蓮	05-Sep-22	9	0.2	4	0	42.9	西南 (25%)	1.9	30 (27~33)	82	0
板橋	05-Sep-22	10	0.4	14	1	73.5	西南西 (17%)	2.3	30 (27~34)	73	0
忠明	05-Sep-22	13	0.3	11	1	65.7	南南西 (29%)	2.0	30 (27~33)	74	0
斗六	05-Sep-22	14	0.3	7	1	65.3	南南西 (29%)	1.7	30 (28~34)	78	0
嘉義	05-Sep-22	12	0.3	5	2	71.1	西南 (46%)	1.8	30 (27~33)	82	0
小港	05-Sep-22	17	0.3	17	2	70.6	西 (38%)	1.7	30 (29~33)	87	3.5
花蓮	17-Sep-22	12	0.2	4	1	72.3	西南 (46%)	2.2	28 (25~31)	78	0
板橋	17-Sep-22	16	0.4	15	1	78.7	北 (17%)	1.6	28 (25~32)	69	0
忠明	17-Sep-22	19	0.4	16	1	73.0	北 (17%)	1.6	29 (25~32)	69	0
斗六	17-Sep-22	23	0.3	6	2	87.8	北北西 (33%)	1.4	29 (26~34)	71	0
嘉義	17-Sep-22	19	0.3	8	2	83.1	東南東 (29%)	1.7	29 (26~34)	69	0
小港	17-Sep-22	21	0.3	12	2	79.3	西北西 (46%)	2.5	30 (27~32)	67	0
花蓮	23-Sep-22	11	0.2	4	1	60.4	東北東 (42%)	3.0	27 (23~31)	68	0
板橋	23-Sep-22	8	0.3	17	1	59.1	東南東 (25%)	1.8	27 (23~31)	56	0
忠明	23-Sep-22	14	0.3	19	2	73.7	北 (21%)	2.0	27 (24~33)	57	0
斗六	23-Sep-22	18	0.3	9	2	88.9	北北西 (29%)	1.6	28 (24~33)	65	0
嘉義	23-Sep-22	17	0.3	10	3	87.7	北 (21%)	1.9	28 (25~32)	67	0
小港	23-Sep-22	18	0.2	15	2	69.5	北北東 (17%)	1.7	29 (26~32)	76	0
花蓮	29-Sep-22	8	0.1	4	1	29.1	東南東 (17%)	1.9	28 (26~31)	81	0
板橋	29-Sep-22	9	0.3	14	1	67.5	東 (25%)	1.5	31 (28~35)	63	0
忠明	29-Sep-22	26	0.4	18	2	70.7	南 (21%)	1.5	29 (27~33)	73	0
斗六	29-Sep-22	24	0.2	7	2	58.0	西 (21%)	1.2	30 (27~33)	76	0
嘉義	29-Sep-22	18	0.2	8	2	48.9	西南西 (25%)	1.3	30 (27~33)	75	0
小港	29-Sep-22	18	0.2	15	1	45.9	西 (25%)	2.1	30 (28~32)	73	0
花蓮	05-Oct-22	8	0.2	6	1	32.4	東北 (25%)	2.1	28 (26~31)	75	0
板橋	05-Oct-22	10	0.3	12	1	36.7	東北東 (54%)	2.2	28 (25~29)	78	5.5
忠明	05-Oct-22	22	0.3	15	1	83.1	西北 (21%)	1.4	29 (27~34)	66	0
斗六	05-Oct-22	26	0.3	8	2	81.6	東南東 (13%)	1.4	30 (26~34)	68	0
嘉義	05-Oct-22	22	0.2	6	2	76.8	西南 (21%)	1.5	30 (27~33)	75	0
小港	05-Oct-22	21	0.2	-	-	61.1	西 (58%)	2.0	30 (27~32)	72	0
斗六	08-Oct-22	13	0.3	8	2	73.5	西北西 (21%)	1.3	28 (25~33)	75	1.5
花蓮	11-Oct-22	7	0.2	5	0	51.0	東北 (42%)	3.3	23 (22~24)	70	0
板橋	11-Oct-22	8	0.3	17	2	46.8	東南東 (75%)	2.0	22 (21~22)	65	0
忠明	11-Oct-22	8	0.2	13	2	50.4	東北 (50%)	2.7	23 (21~27)	58	0
斗六	11-Oct-22	12	0.2	9	1	74.7	北 (46%)	1.6	24 (21~28)	59	0
嘉義	11-Oct-22	12	0.3	15	3	64.4	北 (42%)	2.1	24 (22~27)	62	0
小港	11-Oct-22	23	0.4	24	3	74.2	北 (25%)	1.3	25 (23~28)	65	0
花蓮	17-Oct-22	7	0.2	5	1	54.7	東北 (50%)	3.5	25 (25~27)	91	8.0
板橋	17-Oct-22	4	0.3	14	1	41.2	東南東 (43%)	1.0	24 (21~26)	84	2.5
忠明	17-Oct-22	3	0.2	9	1	49.5	北北東 (50%)	2.6	25 (21~28)	78	0
斗六	17-Oct-22	7	0.2	10	1	58.5	北 (33%)	2.1	26 (22~31)	82	0
嘉義	17-Oct-22	7	0.3	-	2	63.8	北北東 (42%)	2.9	26 (23~31)	81	0
小港	17-Oct-22	15	0.3	20	2	41.6	西北 (29%)	1.7	28 (25~31)	80	1.0
花蓮	23-Oct-22	6	0.2	4	0	36.9	東北 (33%)	2.5	24 (22~26)	96	40.0
板橋	23-Oct-22	7	0.3	13	1	38.1	東北東 (17%)	1.0	23 (23~25)	83	7.5
忠明	23-Oct-22	8	0.2	8	1	33.4	北北東 (50%)	2.0	24 (22~26)	84	2.5

測站	日期	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3, max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
斗六	23-Oct-22	16	0.2	8	1	49.0	北 (63%)	1.6	25 (23~29)	86	1.5
嘉義	23-Oct-22	13	0.2	9	3	46.4	北 (54%)	2.0	25 (23~28)	85	0
小港	23-Oct-22	30	0.4	19	2	68.7	西 (25%)	1.4	28 (26~31)	77	0
花蓮	01-Nov-22	4	0.2	5	1	44.5	東北 (58%)	3.3	24 (22~25)	89	8.0
板橋	01-Nov-22	6	0.3	14	1	37.1	東南東 (42%)	1.6	21 (20~23)	86	15.5
忠明	01-Nov-22	2	0.2	9	1	41.9	北北東 (42%)	2.4	24 (21~29)	68	0.5
斗六	01-Nov-22	5	0.2	9	1	72.7	北北西 (33%)	1.4	25 (21~30)	76	1.5
嘉義	01-Nov-22	5	0.2	11	2	66.1	北 (33%)	2.0	24 (22~29)	78	0.5
小港	01-Nov-22	15	0.4	28	2	47.7	北 (21%)	1.2	25 (22~29)	89	0.5
花蓮	07-Nov-22	4	0.3	9	1	36.4	西南西 (42%)	1.4	22 (21~24)	99	11.0
板橋	07-Nov-22	5	0.3	13	1	37.1	東北東 (67%)	2.4	23 (22~25)	82	0
忠明	07-Nov-22	10	0.3	18	1	56.7	東北 (17%)	1.5	24 (21~28)	79	0
斗六	07-Nov-22	16	0.3	14	2	73.6	西北 (33%)	0.9	24 (21~30)	82	0
嘉義	07-Nov-22	14	0.3	13	2	55.5	北 (29%)	1.6	24 (21~28)	83	0
小港	07-Nov-22	24	0.4	24	3	81.2	西 (42%)	1.6	26 (23~29)	82	0
花蓮	13-Nov-22	7	0.2	4	1	49.1	東北東 (21%)	2.1	26 (23~29)	81	3.5
板橋	13-Nov-22	11	0.4	16	2	45.6	東北東 (29%)	1.9	25 (23~28)	80	0
忠明	13-Nov-22	17	0.4	20	1	61.0	北 (25%)	1.4	25 (22~30)	81	0
斗六	13-Nov-22	28	0.4	13	2	78.3	北 (29%)	1.0	26 (22~31)	82	0
嘉義	13-Nov-22	34	0.4	14	3	76.7	北 (42%)	1.7	25 (23~30)	86	0
小港	13-Nov-22	38	0.5	20	1	75.4	西 (21%)	1.4	28 (25~31)	83	0
花蓮	19-Nov-22	6	0.2	5	1	42.8	東北 (21%)	1.8	25 (22~28)	86	0
板橋	19-Nov-22	7	0.3	14	1	40.3	東北東 (38%)	1.7	26 (24~29)	76	0
忠明	19-Nov-22	18	0.4	16	1	61.3	北 (25%)	1.6	24 (22~29)	82	0
斗六	19-Nov-22	32	0.4	11	2	81.1	北 (25%)	1.2	25 (23~30)	85	0
嘉義	19-Nov-22	32	0.4	12	3	75.2	北 (42%)	1.6	25 (23~29)	86	0
小港	19-Nov-22	41	0.5	31	4	85.4	西 (29%)	1.5	27 (24~29)	83	0

附錄 7 PM<sub>2.5</sub> 污染事件日



2021 年 12 月 15 日

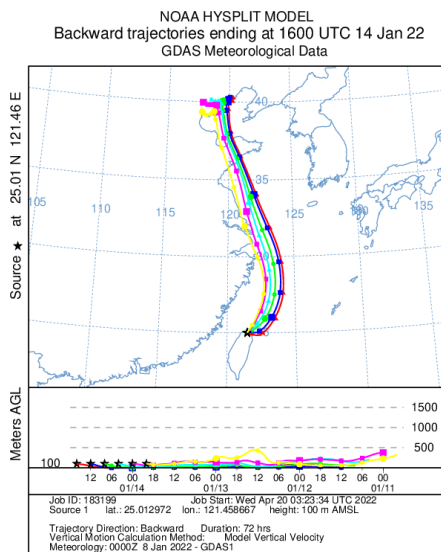


2021年12月15日光達監測資料（由上而下：中央大學、台中西屯、雲林斗六、高雄左營；NRB: normalized relative backscattering）

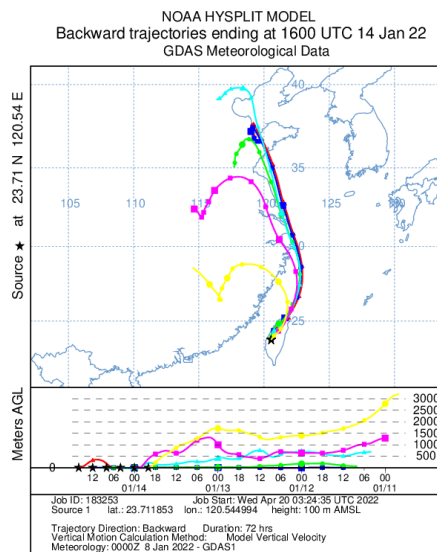


## 大尺度資料 1 (每四小時後推軌跡)

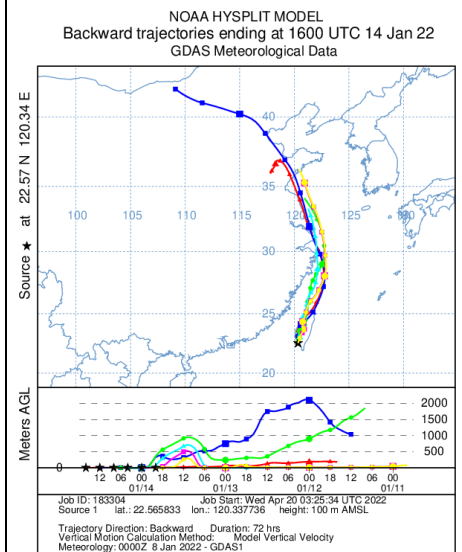
### 板橋



### 斗六

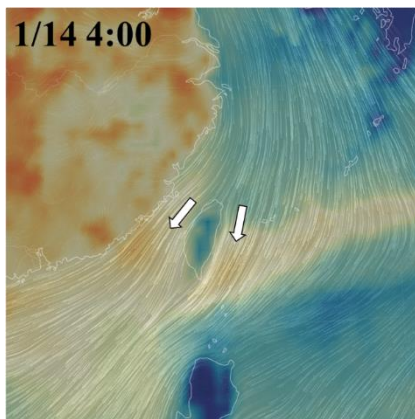


### 小港



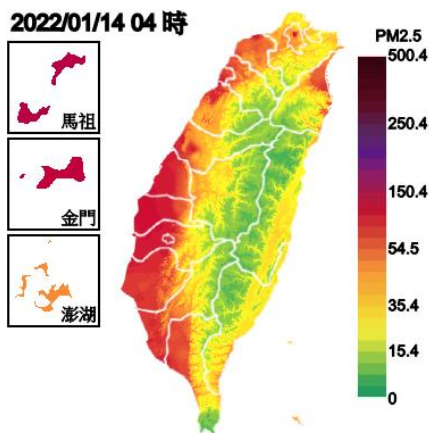
## 大尺度資料 2

### 風場與污染物濃度模擬



## 中尺度資料

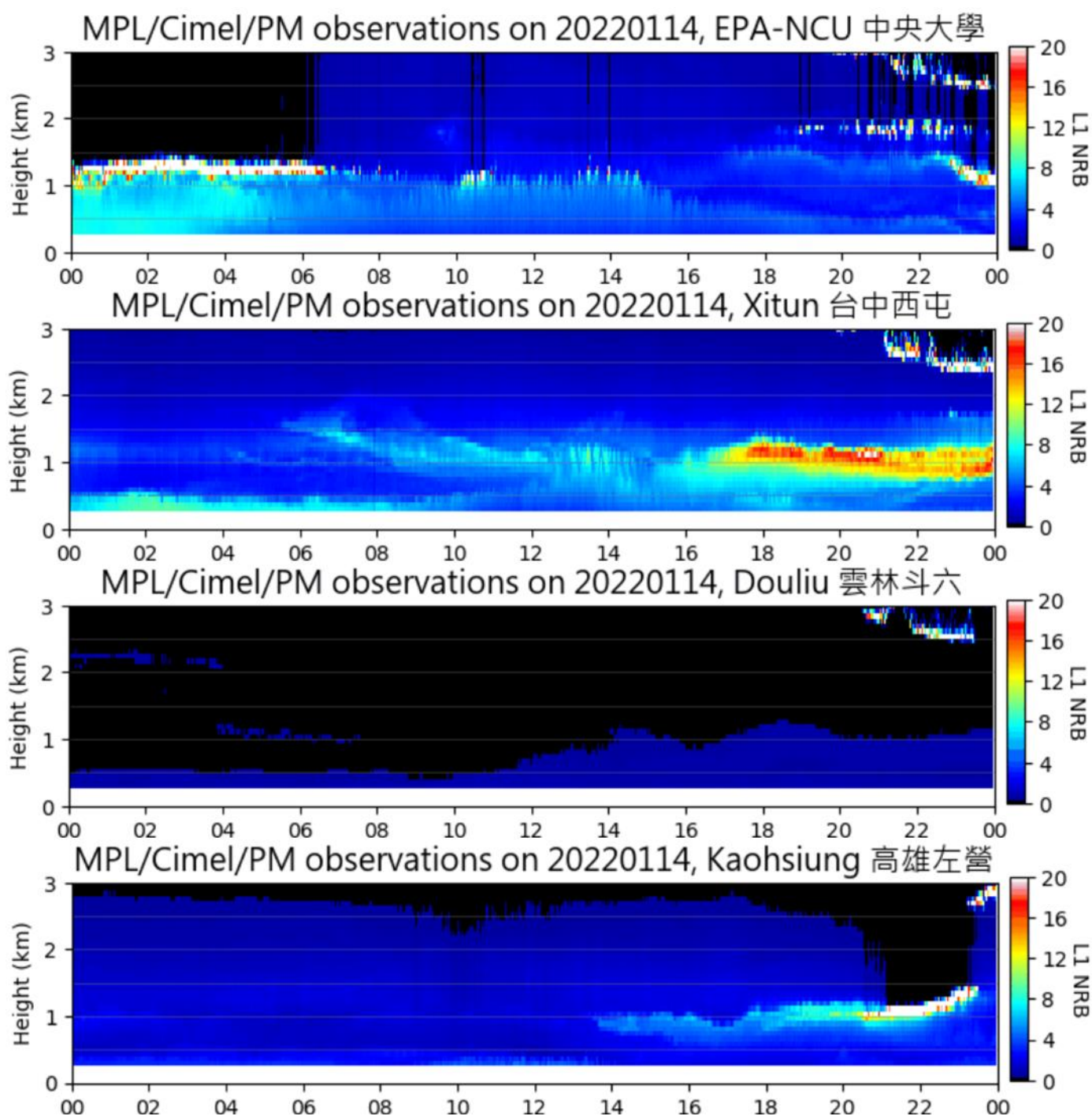
### 1：污染物濃度分布



### 2：風速風場分布



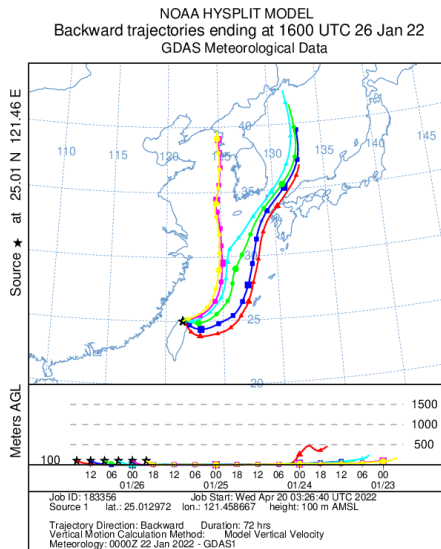
2022 年 1 月 14 日



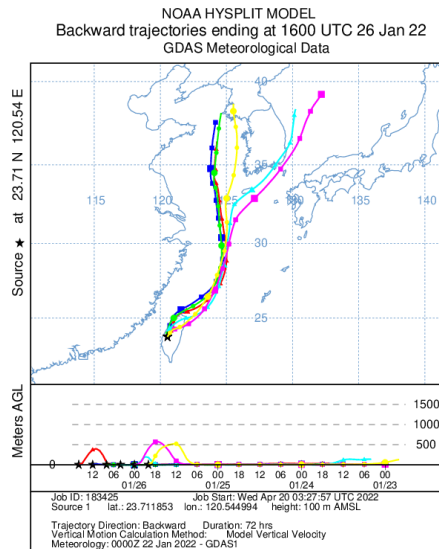
2022年1月14日光達監測資料(由上而下:中央大學、台中西屯、雲林斗六、高雄左營;NRB: normalized relative backscattering)

## 大尺度資料 1 (每四小時後推軌跡)

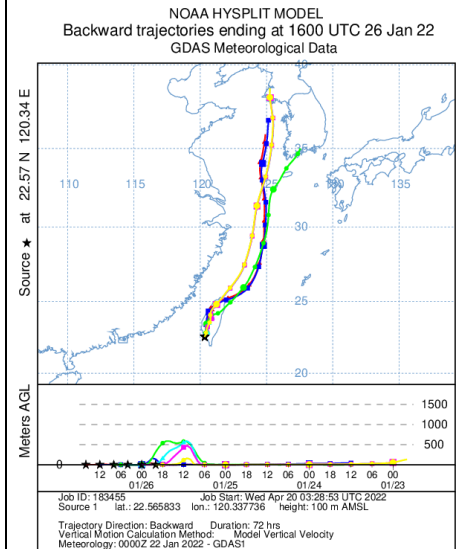
### 板橋



### 斗六

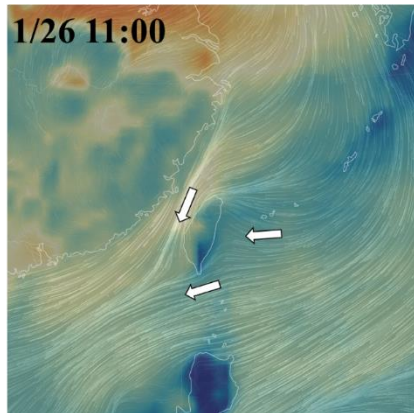


### 小港



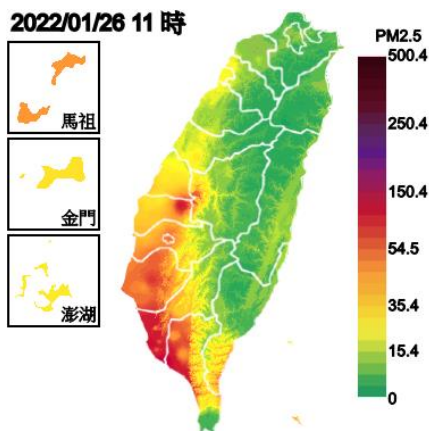
## 大尺度資料 2

### 風場與污染物濃度模擬



## 中尺度資料

### 1：污染物濃度分布

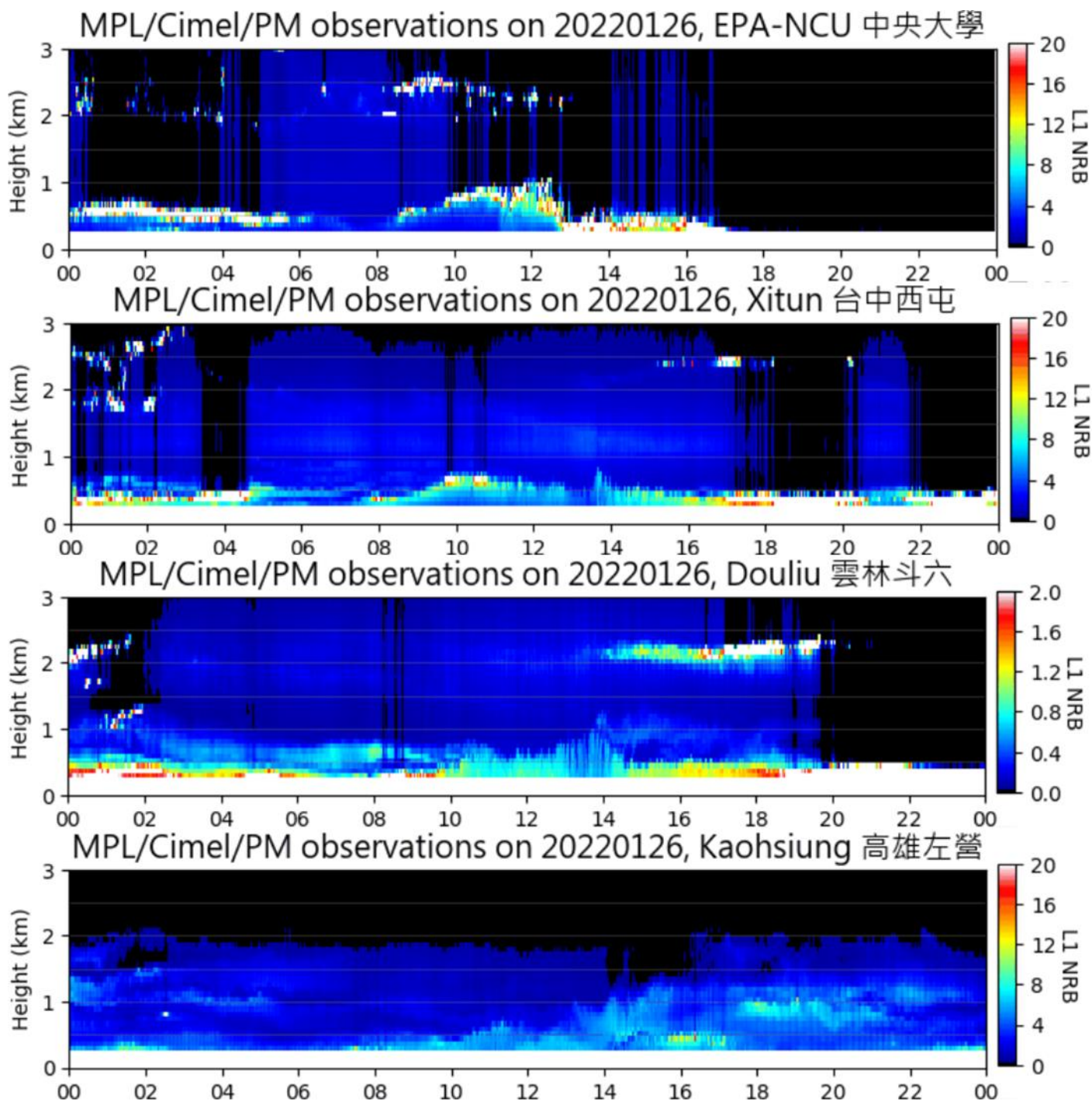


### 2：風速風場分布



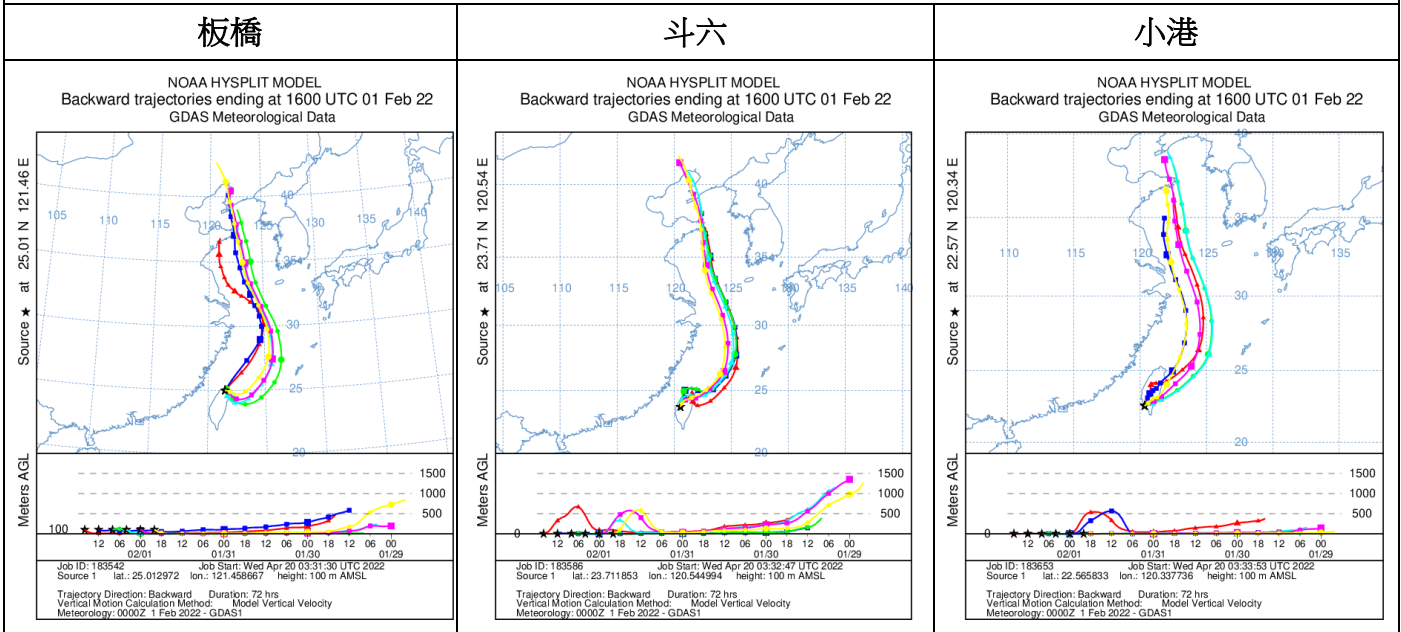
2022 年 1 月 26 日





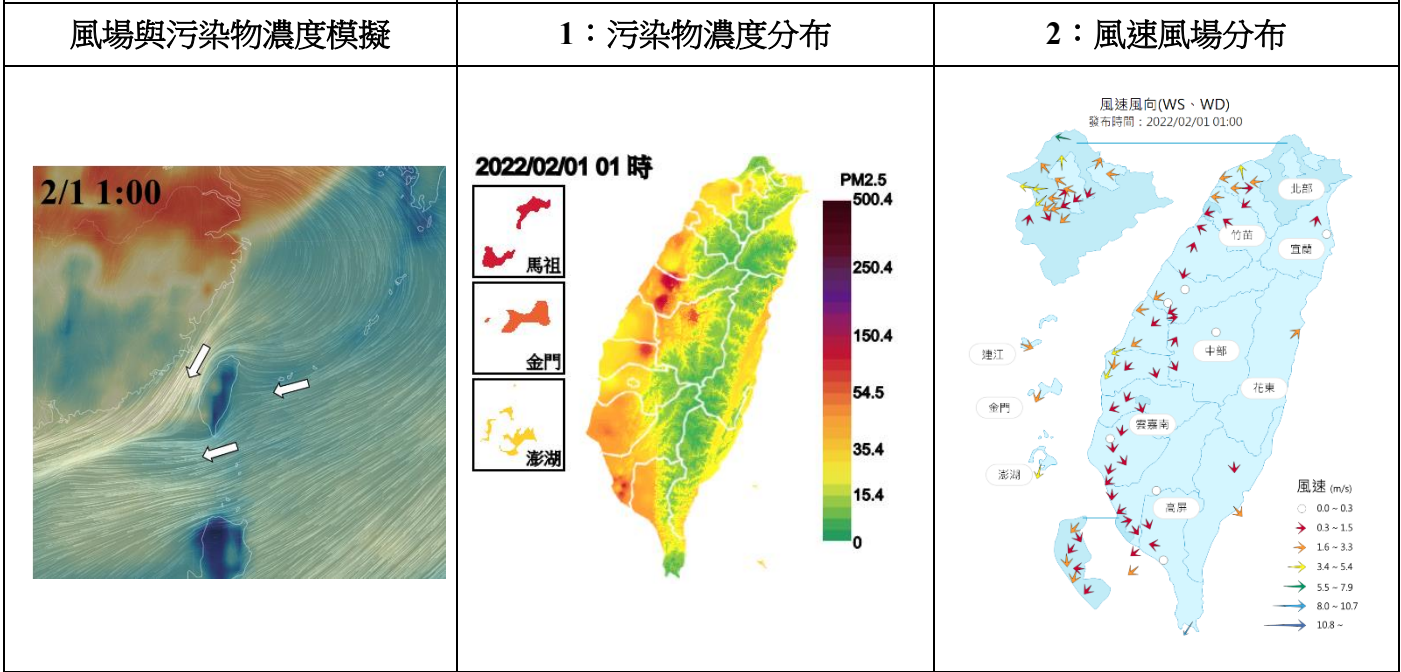
2022 年 1 月 26 日光達監測資料（由上而下：中央大學、台中西屯、雲林斗六、高雄左營；NRB: normalized relative backscattering）

大尺度資料 1 (每四小時後推軌跡)



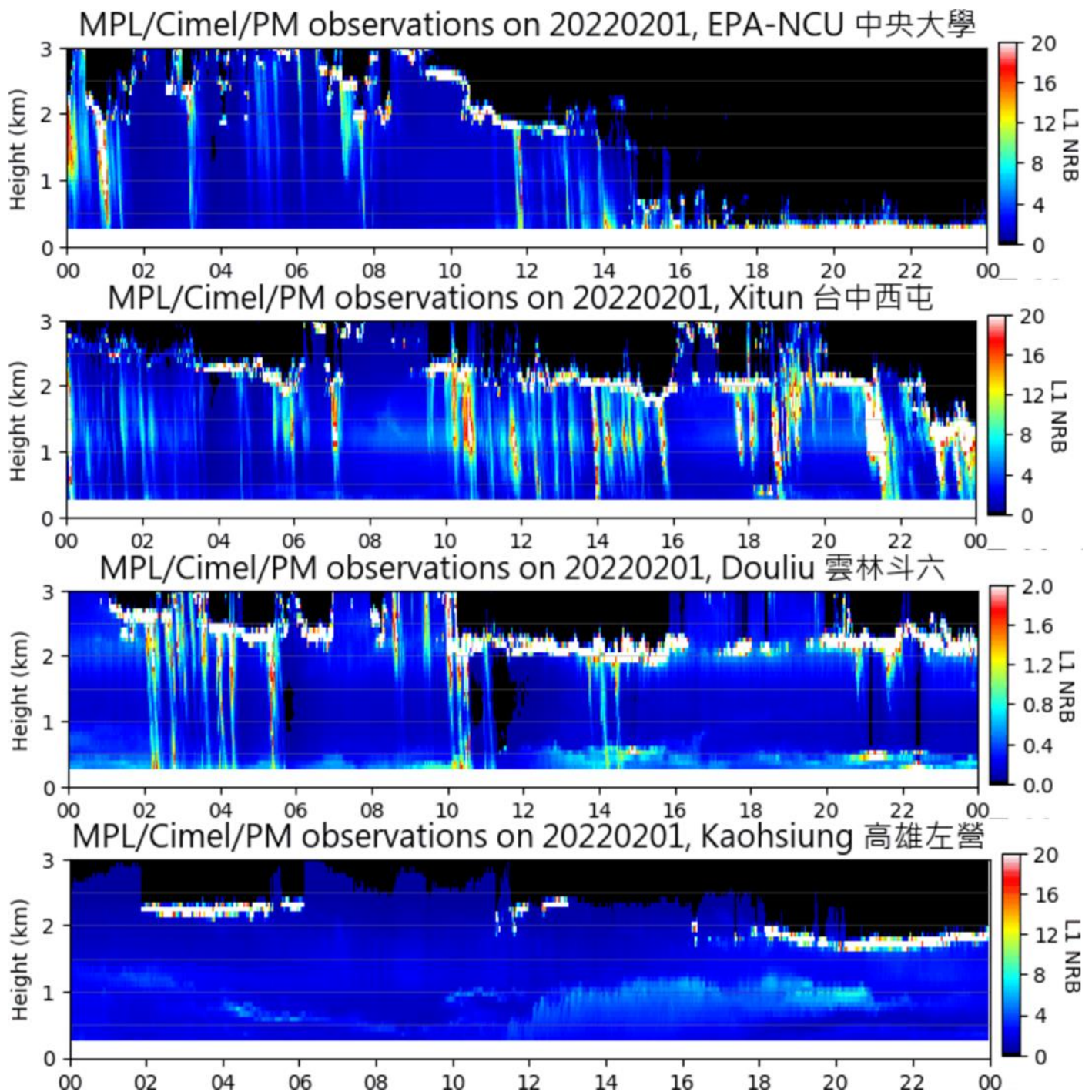
大尺度資料 2

中尺度資料



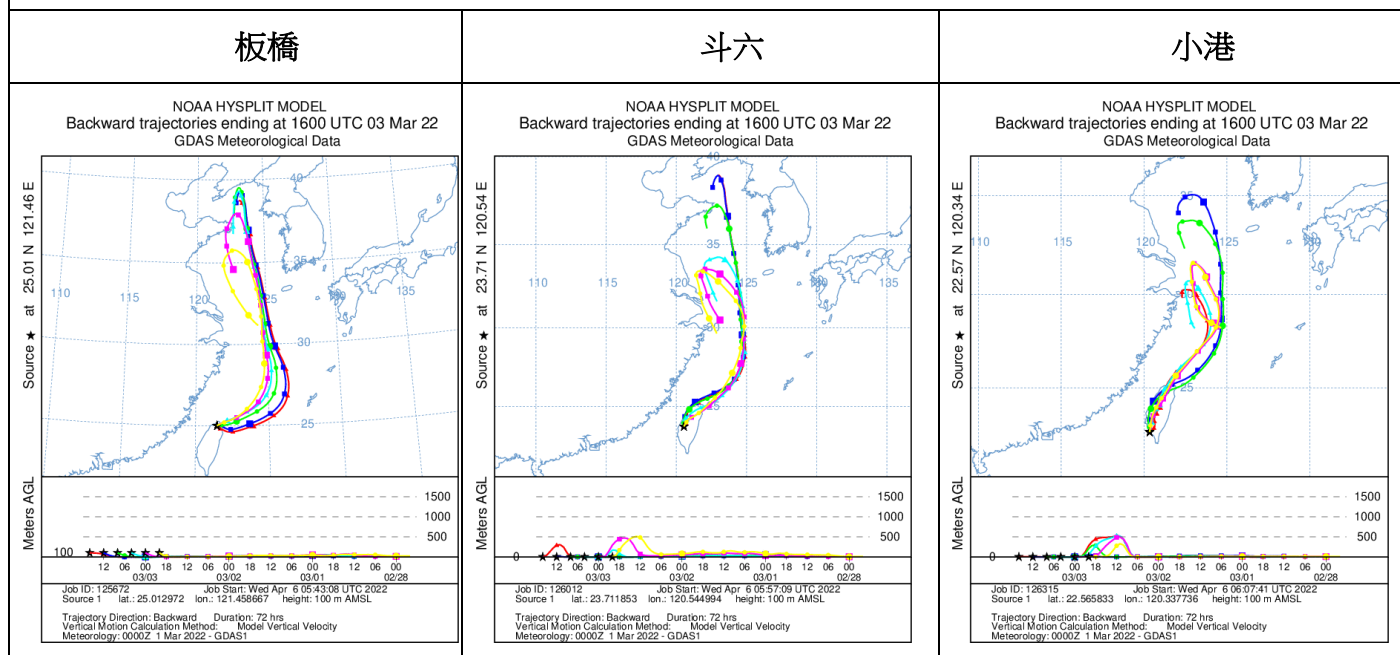
2022 年 2 月 1 日





2022年2月1日光達監測資料(由上而下:中央大學、台中西屯、雲林斗六、高雄左營;NRB: normalized relative backscattering)

## 大尺度資料 1 (每四小時後推軌跡)



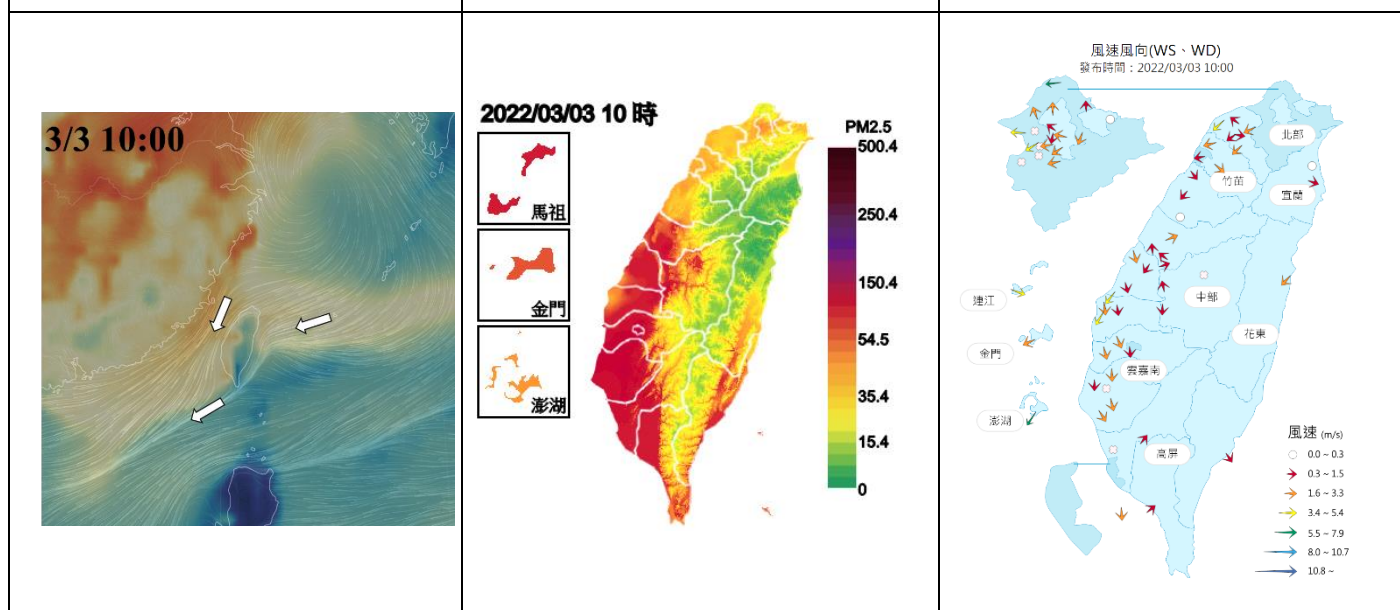
## 大尺度資料 2

## 中尺度資料

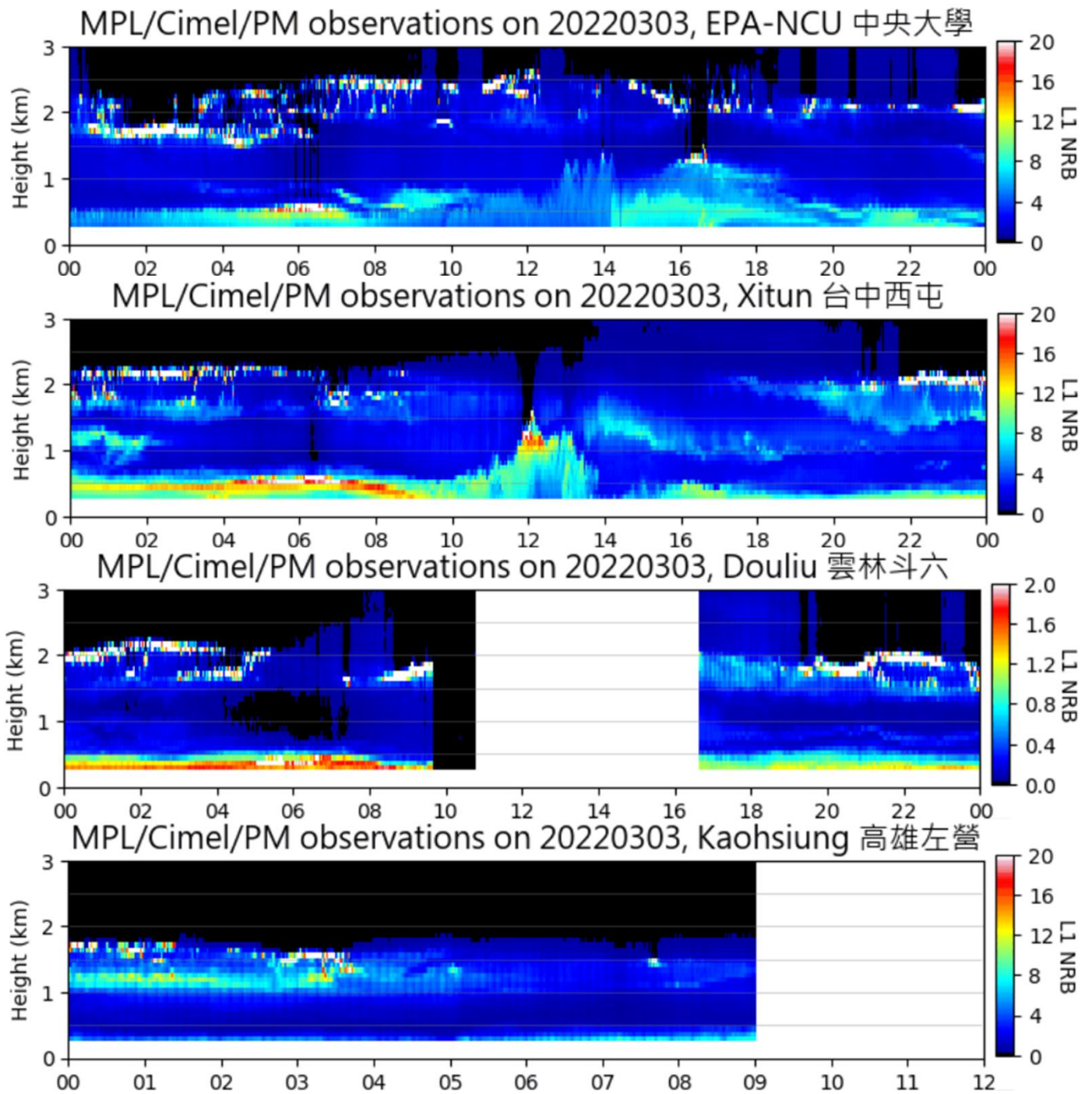
### 風場與污染物濃度模擬

### 1：污染物濃度分布

### 2：風速風場分布



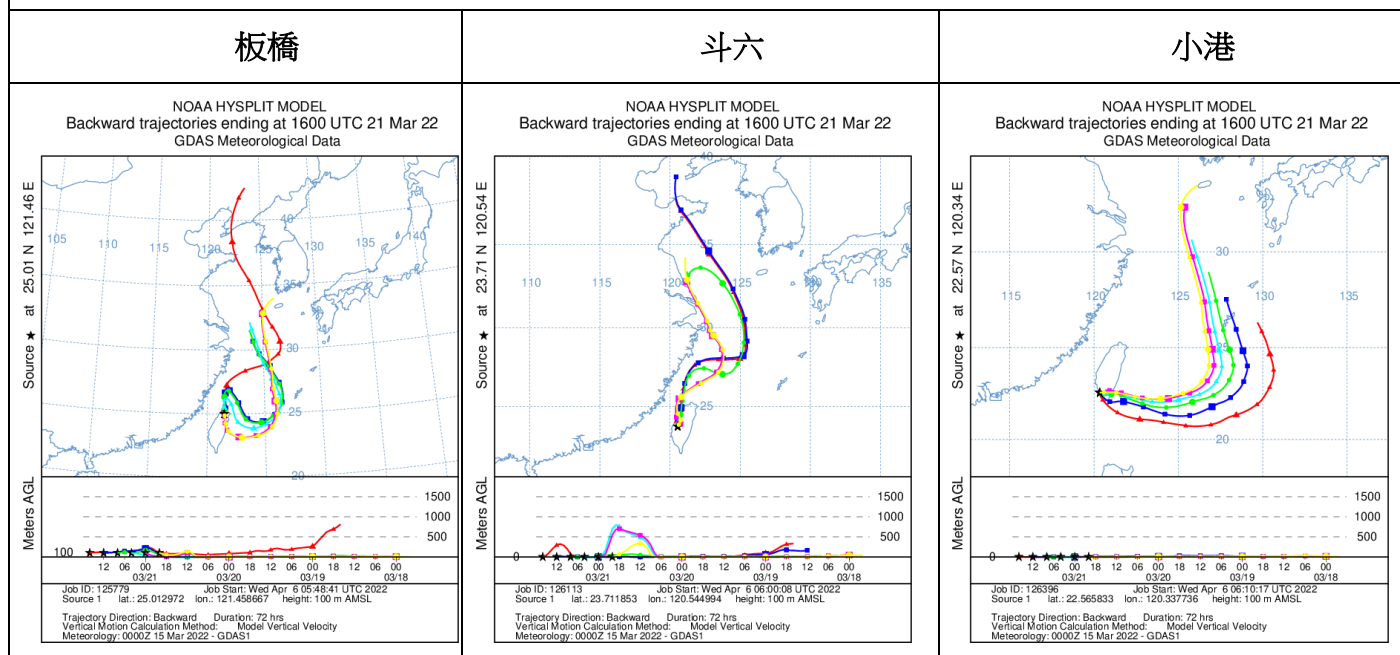
2022 年 3 月 3 日



2022年3月3日光達監測資料(由上而下:中央大學、台中西屯、雲林斗六、高雄左營;NRB: normalized relative backscattering)



## 大尺度資料 1 (每四小時後推軌跡)



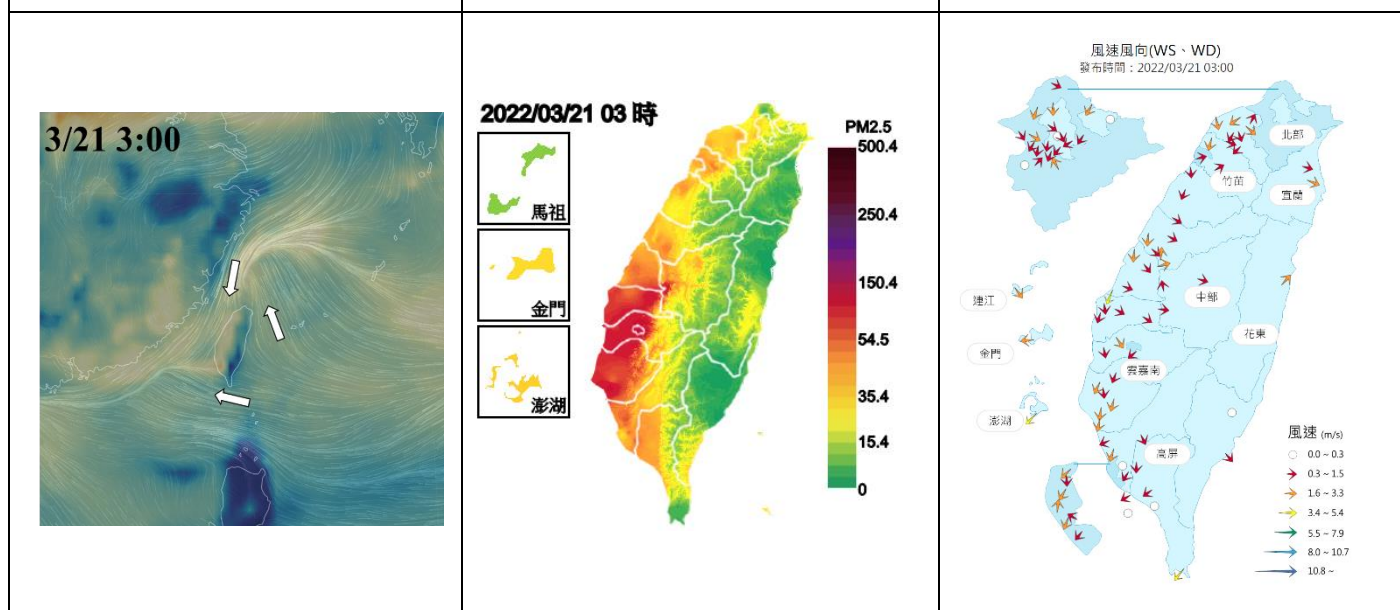
## 大尺度資料 2

## 中尺度資料

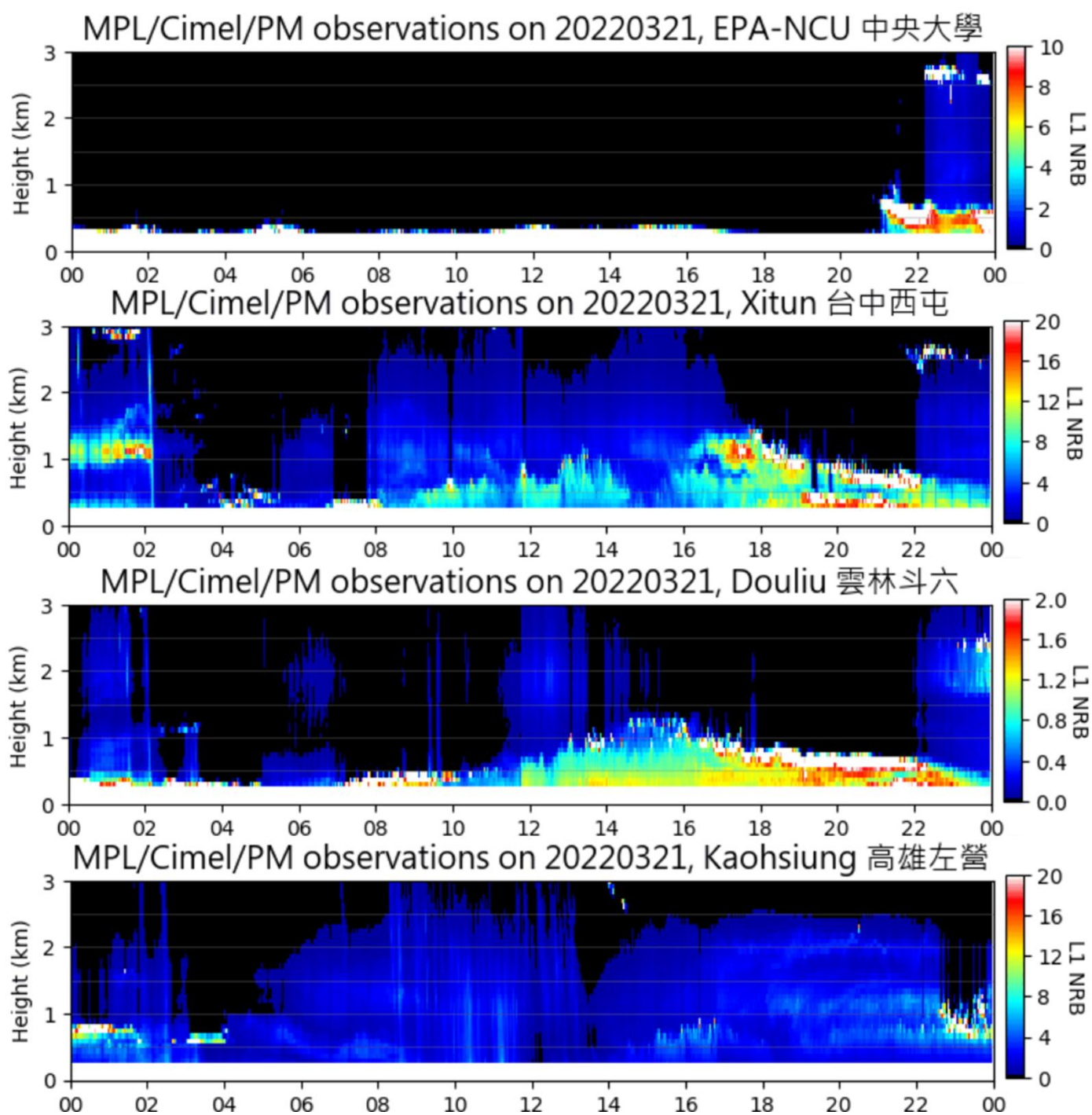
### 風場與污染物濃度模擬

### 1：污染物濃度分布

### 2：風速風場分布



2022 年 3 月 21 日



2022 年 3 月 21 日光達監測資料（由上而下：中央大學、台中西屯、雲林斗六、高雄左營；NRB: normalized relative backscattering）

附錄 8 2017 至 2022 年各測站揮發水溶性無機離子濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) 及占修正後水溶性無機離子濃度比例 (%)

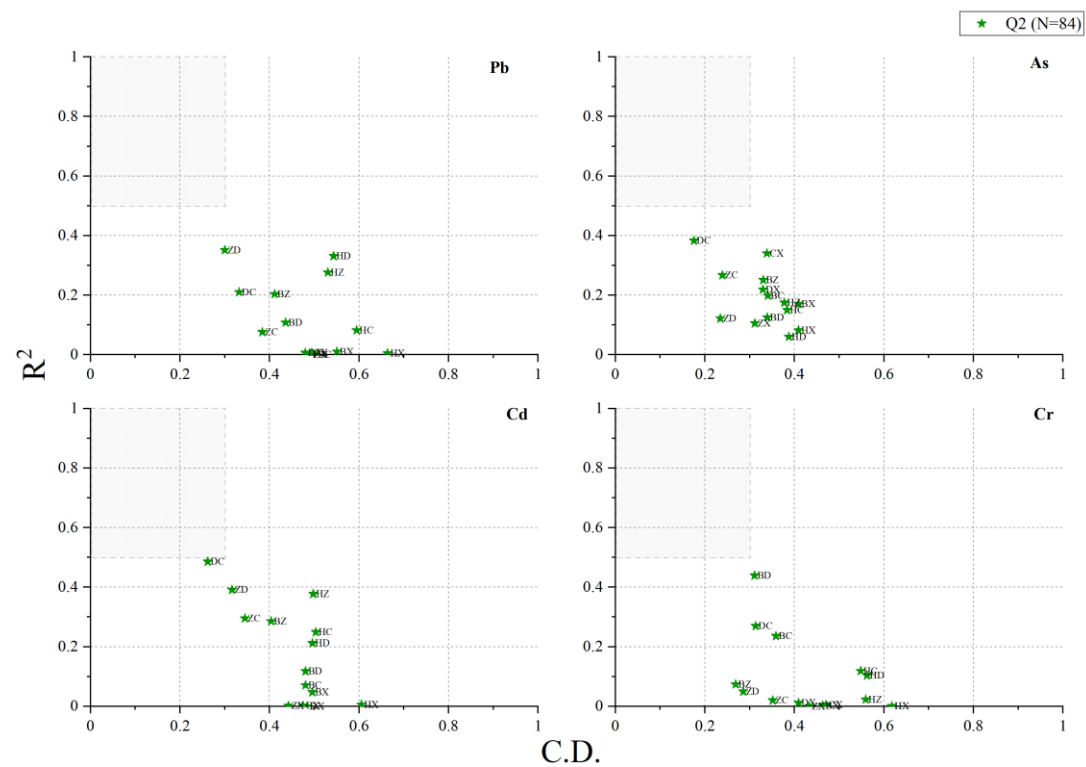
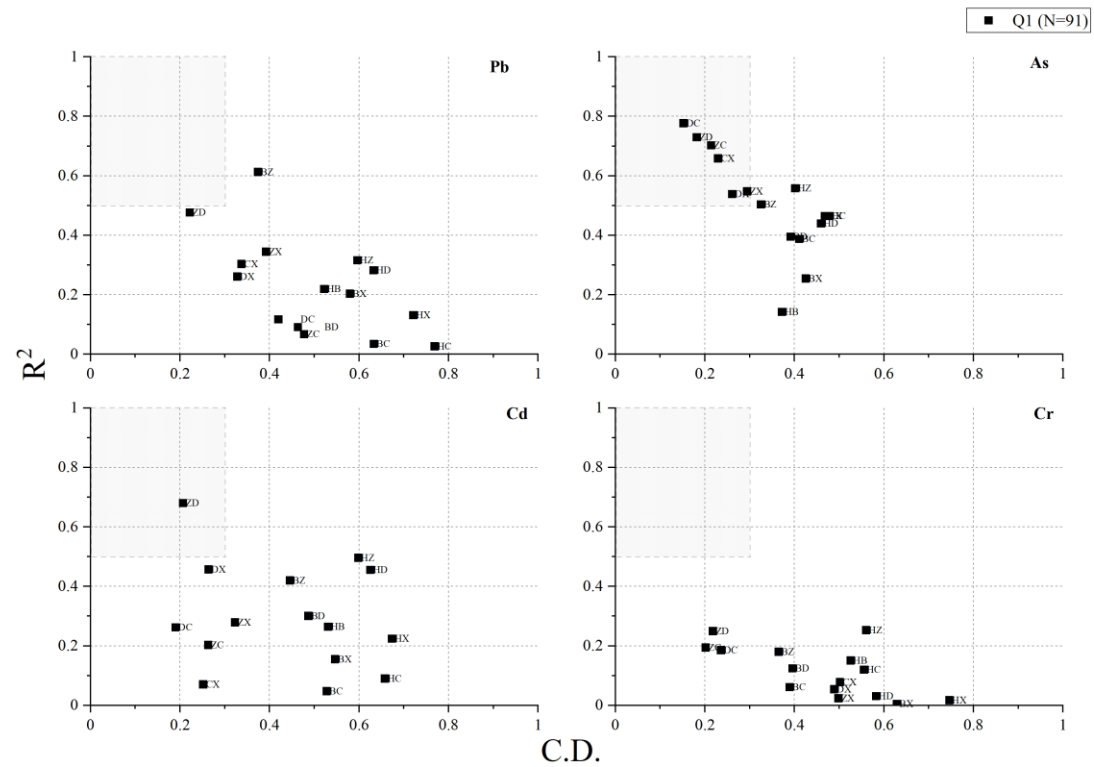
項目 測站 季度	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	濃度平均值 (標準差) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )				占比平均值 (標準差) (%)		
花蓮	9 (5)	0.06 (0.06)	0.09 (0.10)	0.07 (0.07)	12 (12)	18 (12)	35 (24)
Q1	10 (5)	0.09 (0.07)	0.12 (0.12)	0.10 (0.10)	14 (14)	18 (12)	40 (24)
Q2	10 (5)	0.07 (0.06)	0.11 (0.12)	0.07 (0.06)	12 (13)	21 (14)	38 (22)
Q3	8 (4)	0.04 (0.03)	0.05 (0.04)	0.05 (0.05)	10 (10)	17 (12)	37 (23)
Q4	8 (4)	0.05 (0.04)	0.08 (0.06)	0.06 (0.05)	12 (12)	16 (11)	26 (23)
板橋	15 (9)	0.16 (0.18)	0.33 (0.44)	0.12 (0.13)	12 (10)	30 (21)	52 (28)
Q1	18 (12)	0.20 (0.22)	0.37 (0.51)	0.17 (0.16)	13 (9)	19 (14)	45 (26)
Q2	16 (8)	0.20 (0.20)	0.44 (0.48)	0.13 (0.14)	14 (10)	37 (22)	62 (23)
Q3	13 (5)	0.11 (0.07)	0.24 (0.20)	0.08 (0.05)	10 (6)	41 (21)	61 (25)
Q4	13 (7)	0.14 (0.17)	0.29 (0.47)	0.10 (0.09)	13 (12)	22 (16)	37 (29)
忠明	19 (11)	0.31 (0.30)	0.72 (0.81)	0.19 (0.18)	16 (9)	34 (23)	60 (24)
Q1	26 (13)	0.36 (0.26)	0.69 (0.55)	0.30 (0.24)	14 (7)	18 (12)	50 (22)
Q2	16 (10)	0.32 (0.33)	0.80 (0.93)	0.16 (0.15)	18 (10)	41 (22)	65 (23)
Q3	14 (7)	0.23 (0.22)	0.54 (0.65)	0.13 (0.11)	15 (8)	47 (23)	70 (21)
Q4	18 (10)	0.34 (0.36)	0.86 (1.04)	0.17 (0.16)	18 (10)	32 (21)	53 (26)
斗六	24 (14)	0.28 (0.24)	0.58 (0.66)	0.20 (0.15)	12 (9)	23 (21)	47 (25)
Q1	35 (15)	0.21 (0.14)	0.32 (0.27)	0.22 (0.15)	6 (5)	5 (6)	29 (22)
Q2	20 (13)	0.30 (0.29)	0.67 (0.72)	0.19 (0.17)	14 (8)	27 (19)	55 (23)
Q3	15 (8)	0.25 (0.29)	0.63 (0.83)	0.13 (0.12)	14 (8)	40 (21)	63 (20)
Q4	26 (10)	0.36 (0.21)	0.76 (0.61)	0.25 (0.13)	16 (10)	21 (14)	43 (21)
嘉義	24 (15)	0.27 (0.24)	0.54 (0.63)	0.21 (0.17)	12 (9)	22 (21)	47 (25)
Q1	37 (15)	0.24 (0.15)	0.36 (0.30)	0.25 (0.16)	7 (6)	6 (9)	29 (22)
Q2	19 (13)	0.25 (0.27)	0.55 (0.67)	0.17 (0.17)	13 (9)	27 (20)	53 (22)
Q3	14 (8)	0.22 (0.29)	0.53 (0.82)	0.12 (0.13)	12 (9)	38 (21)	61 (20)
Q4	27 (10)	0.38 (0.21)	0.76 (0.59)	0.30 (0.17)	16 (9)	19 (15)	45 (23)
小港	25 (14)	0.44 (0.36)	0.98 (0.97)	0.28 (0.20)	17 (11)	30 (24)	56 (26)
Q1	38 (14)	0.52 (0.27)	1.04 (0.74)	0.39 (0.19)	14 (9)	17 (17)	50 (23)
Q2	17 (10)	0.35 (0.40)	0.84 (1.11)	0.19 (0.16)	18 (13)	35 (24)	56 (29)
Q3	14 (6)	0.23 (0.26)	0.49 (0.72)	0.15 (0.12)	16 (10)	39 (27)	56 (26)
Q4	31 (10)	0.68 (0.33)	1.59 (0.95)	0.40 (0.19)	21 (10)	30 (19)	63 (22)

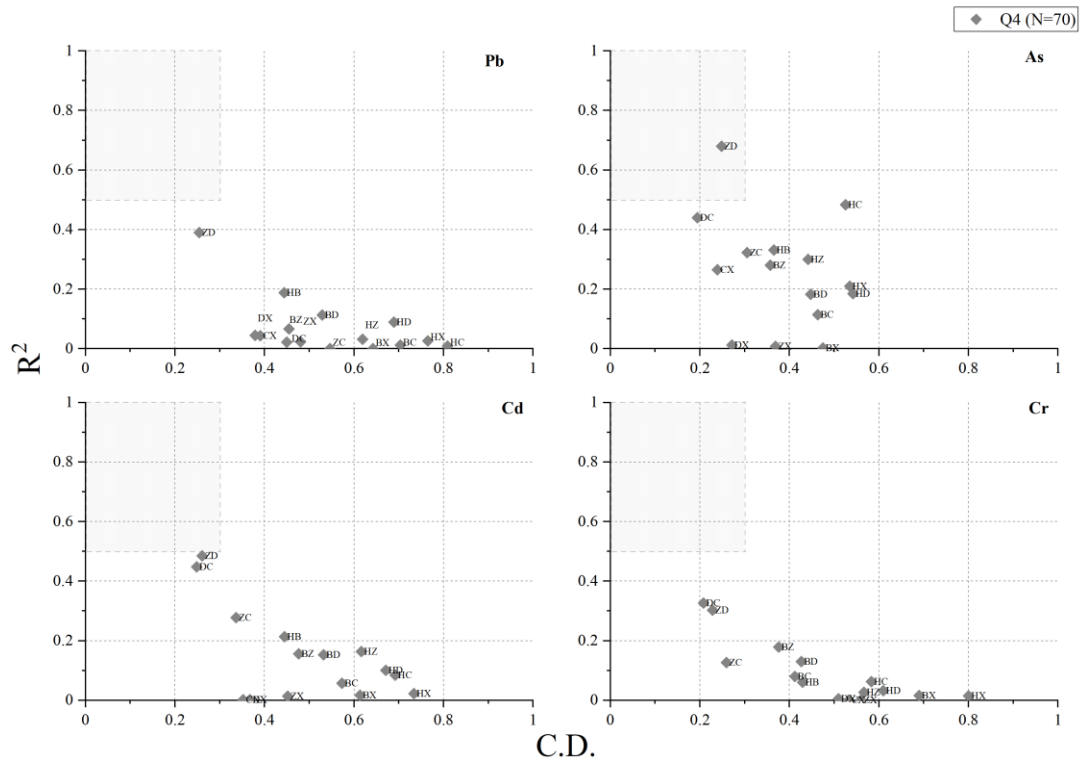
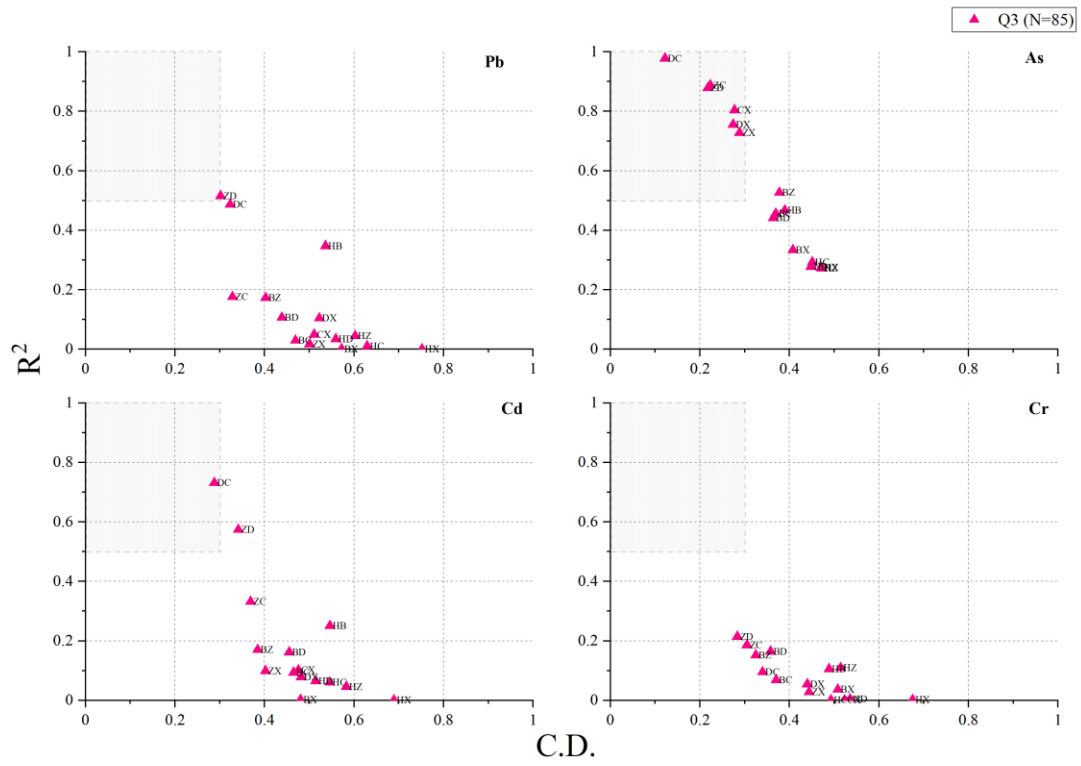
備註：

1.數據期間：2017.1~2022.11

2.占比為揮發 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/修正 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，揮發 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/修正 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，揮發 Cl<sup>-</sup>/修正 Cl<sup>-</sup>

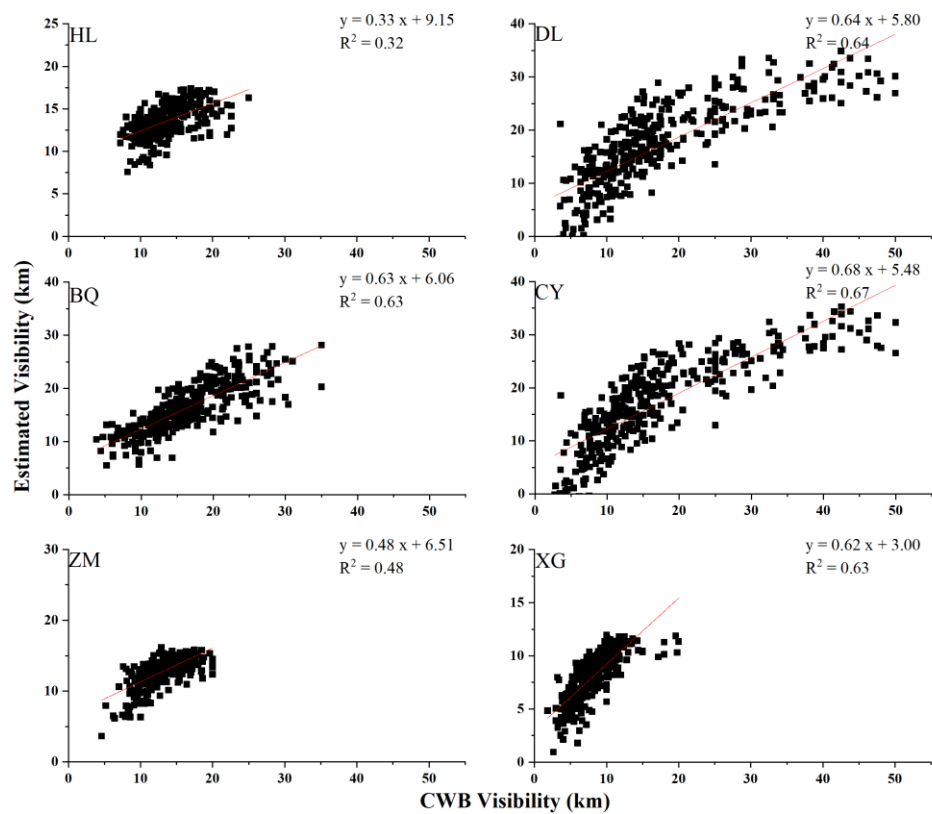
## 附錄 9 各季度特定重金屬空間相似度分析





## 附錄 10 氣象站大氣能見度觀測距離與迴歸方程式推 估和觀測能見度關係

板橋	台中	嘉義	高雄	花蓮
1.3	1	0.1	1	3
2	1.2	0.2	1.2	4
2.1	1.5	0.3	1.5	5
2.5	1.8	0.4	2	6
3	2	0.5	3	7
3.5	2.2	0.6	3.5	8
4	2.5	0.7	4	8.2
4.5	3	0.8	4.5	9
5	4	0.9	5	10
6	5	1	6	12
7	6	1.1	6.5	15
8	7	1.2	7	18
9	8	1.5	8	20
10	9	1.7	9	25
11	10	1.8	10	
12	10.1	2	11	
13	11	2.5	12	
14	12	3	13	
15	13	3.5	14	
16	14	4	15	
17	15	5	16	
18	18	6	18	
20	20	7	30.2	
21		8	33	
22		9	60	
23		10		
24		11		
25		12		
28		13		
29		14		
30		15		
32		16		
35		17		
40		18		
45		20		
		22		
		22.1		
		25		
		28		
		30		
		35		
		40		
		45		
		50		
		54		
		55		
		60		



六站以迴歸方程式推估（Estimated）和觀測（Observed）能見度關係

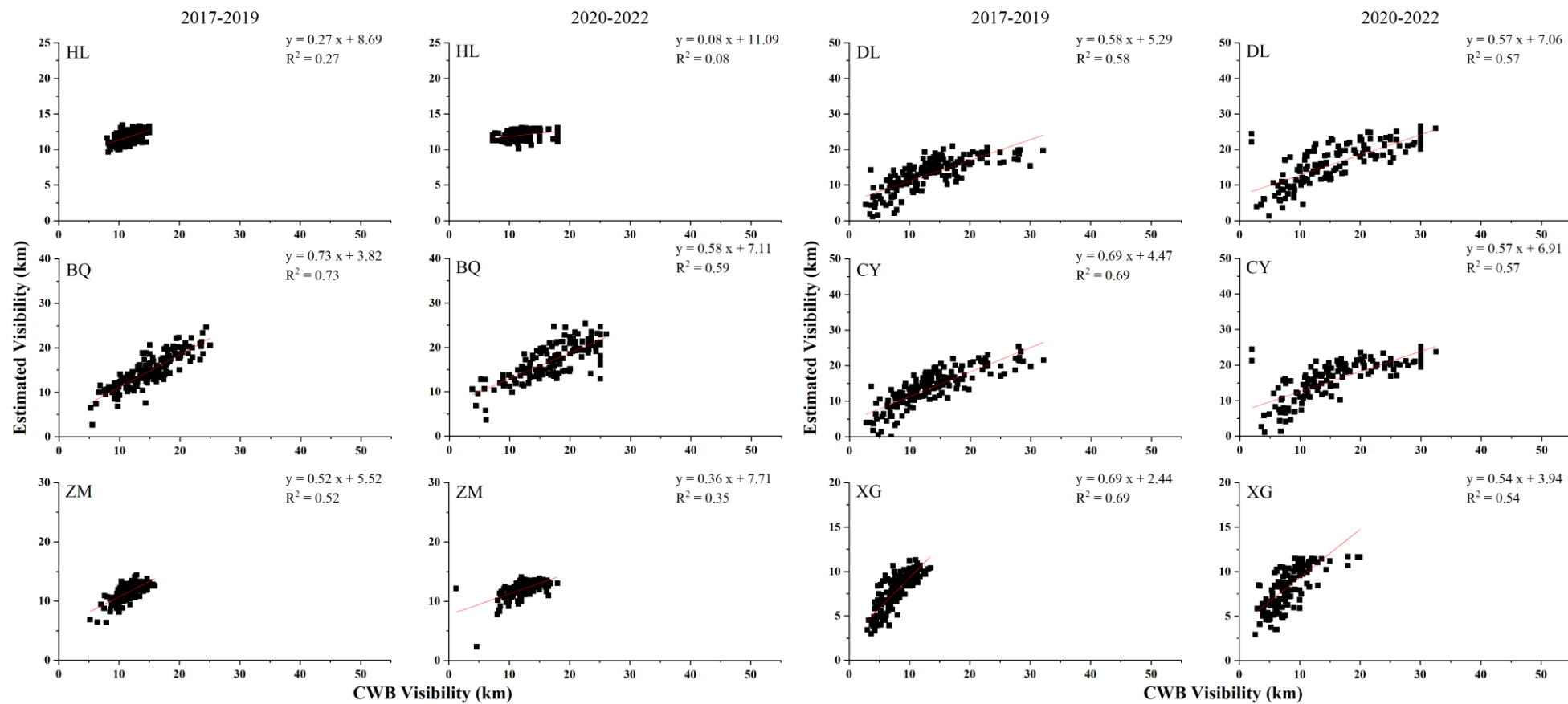
## 下方資料為 2017~2022 年 7 月，將能見度資料以不同條件進行多元迴歸推估的結果

六站多元迴歸推估影響能見度因子方程式彙整(能見度去除小時極大值)

站名	數據取用	迴歸方程式	樣本數	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>
板橋	2017-2019	Vis. = 33.40 - 0.32 RH - 0.82 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.24 T + 0.83 WS	173	0.73	0.73
	2020-2022/7	Vis. = 35.26 - 0.31 RH - 1.19 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 0.23 T	151	0.59	0.58
忠明	2017-2019	Vis. = 18.29 - 0.37 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.08 RH	176	0.52	0.51
	2020-2022/7	Vis. = 17.40 - 0.35 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.06 RH	149	0.35	0.34
斗六	2017-2019	Vis. = 43.21 - 0.54 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.31 RH - 0.86 OC	178	0.58	0.57
	2020-2022/7	Vis. = 31.46 - 0.91 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.29 RH + 0.45 T	148	0.57	0.56
嘉義	2017-2019	Vis. = 36.44 - 0.30 RH - 0.76 OC - 1.13 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.36 T	174	0.69	0.68
	2020-2022/7	Vis. = 40.69 - 2.48 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.25 RH	145	0.57	0.56
小港	2017-2019	Vis. = 7.49 - 0.37 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 1.22 WS	176	0.69	0.68
	2020-2022/7	Vis. = 4.23 - 0.75 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.24 T	160	0.54	0.53
花蓮	2017-2019	Vis. = 15.19 - 0.08 RH + 0.11 T	173	0.27	0.26
	2020-2022/7	Vis. = 8.18 + 0.16 T	145	0.08	0.07

1. 使用 Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OC、EC、WS、T、RH 跑迴歸分析(Forward Stepwise)。
2. F to remove 選 2.7；F to enter 選 3.8。
3. 各測站迴歸式 F 檢定的 p < 0.005；各測項 p < 0.05
4. 能見度去除小時極大值(去除板橋 ≥ 30 km；忠明 ≥ 20 km；斗六 ≥ 40 km；嘉義 ≥ 40 km；小港 ≥ 30 km；花蓮 ≥ 20 km)

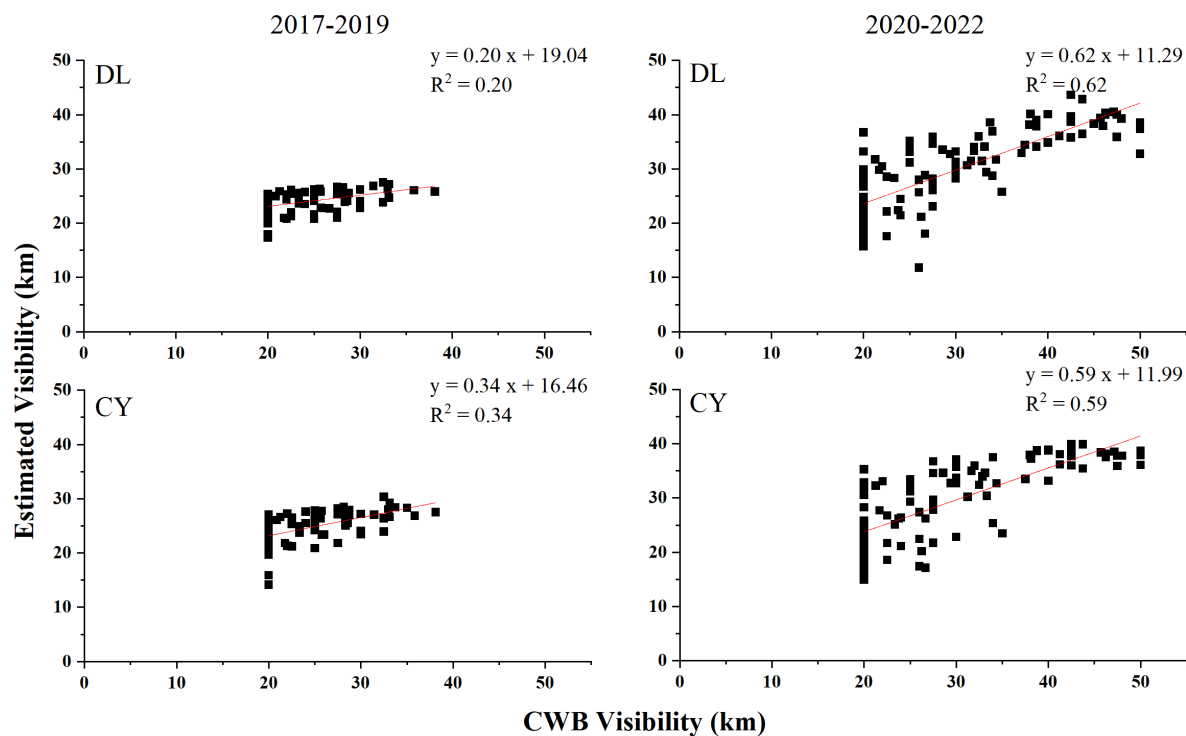




六站多元迴歸推估影響能見度因子方程式彙整(取  $20 \leq \text{Vis.} < 60 \text{ km}$ )

站名	數據取用	迴歸方程式	樣本數	$R^2$	Adj. $R^2$
斗六	2017-2019	$\text{Vis.} = 18.81 - 0.79 \text{SO}_4^{2-} + 0.30 \text{T}$	89	0.20	0.19
	2020-2022/7	$\text{Vis.} = 29.41 + 1.14 \text{T} - 3.21 \text{SO}_4^{2-} - 0.28 \text{RH}$	104	0.62	0.61
嘉義	2017-2019	$\text{Vis.} = 27.85 - 1.22 \text{SO}_4^{2-} + 0.36 \text{T} - 0.11 \text{RH}$	88	0.34	0.31
	2020-2022/7	$\text{Vis.} = 12.40 - 3.06 \text{SO}_4^{2-} + 0.96 \text{T}$	102	0.59	0.58

1. 使用  $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、OC、EC、WS、T、RH 跑迴歸分析(Forward Stepwise)。
2. F to remove 選 2.7；F to enter 選 3.8。
3. 各測站迴歸式 F 檢定的  $p < 0.005$ ；各測項  $p < 0.05$
4. 能見度取  $20 \leq \text{Vis.} < 60 \text{ km}$



六站多元迴歸推估影響能見度因子方程式彙整(一般項)

站名	數據取用	迴歸方程式	樣本數	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>
板橋	2017-2019	Vis. = 38.18 - 0.36RH - 1.00 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.27T	182	0.74	0.73
	2020-2022/7	Vis. = 43.72 - 0.40 RH - 2.75 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.27 T	157	0.59	0.58
	2017-2022/7	Vis. = 41.06 - 0.38RH - 1.04 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.31T - 1.64EC	339	0.65	0.65
忠明	2017-2019	Vis. = 20.23 - 0.33NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.10RH - 0.26 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.07T	183	0.56	0.55
	2020-2022/7	Vis. = 20.73 - 1.30 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.06 RH	156	0.45	0.44
	2017-2022/7	Vis. = 21.28 - 0.87NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.08RH - 1.06EC	339	0.50	0.49
斗六	2017-2019	Vis. = 41.62 - 1.50NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.32 T - 0.36RH - 0.53OC - 8.27Na <sup>+</sup>	183	0.65	0.64
	2020-2022/7	Vis. = 43.99 - 2.38SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 1.22 T - 0.52 RH - 1.50 OC	159	0.76	0.76
	2017-2022/7	Vis. = 44.97 - 1.84 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.80 T - 0.47RH - 1.14OC	342	0.65	0.65
嘉義	2017-2019	Vis. = 36.84 - 0.32RH - 0.72 OC - 1.33 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.44T	182	0.67	0.66
	2020-2022/7	Vis. = 39.92 - 0.33RH - 2.05 OC - 2.09 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.81T	158	0.75	0.74
	2017-2022/7	Vis. = 38.26 - 0.34RH - 1.06OC - 1.88 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.69 T	340	0.68	0.68
小港	2017-2019	Vis. = 17.54 - 0.62NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.10RH - 0.37OC + 0.07 T - 1.32Na <sup>+</sup>	183	0.77	0.77
	2020-2022/7	Vis. = 5.14 - 0.69NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.23 T - 1.32Na <sup>+</sup>	160	0.55	0.54
	2017-2022/7	Vis. = 14.56 - 0.62NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.09RH - 0.34OC + 0.13 T	343	0.64	0.63
花蓮	2017-2019	Vis. = 25.54 + 0.26T - 0.20RH - 3.64Na <sup>+</sup> - 0.34 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	183	0.59	0.58
	2020-2022/7	Vis. = 4.80 + 0.32T - 6.14Na <sup>+</sup> + 1.35WS	156	0.21	0.20
	2017-2022/7	Vis. = 18.82 + 0.29T - 0.14RH - 4.18Na <sup>+</sup> - 0.41 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	339	0.35	0.34

1. 使用 Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OC、EC、WS、T 及 RH 跑迴歸分析(Forward Stepwise)。
2. F to remove 選 2.7；F to enter 選 3.8。
3. 各測站迴歸式 F 檢定的 p < 0.005；各測項 p < 0.05

六站多元迴歸推估影響能見度因子方程式彙整(一般項及各測項的平方項)

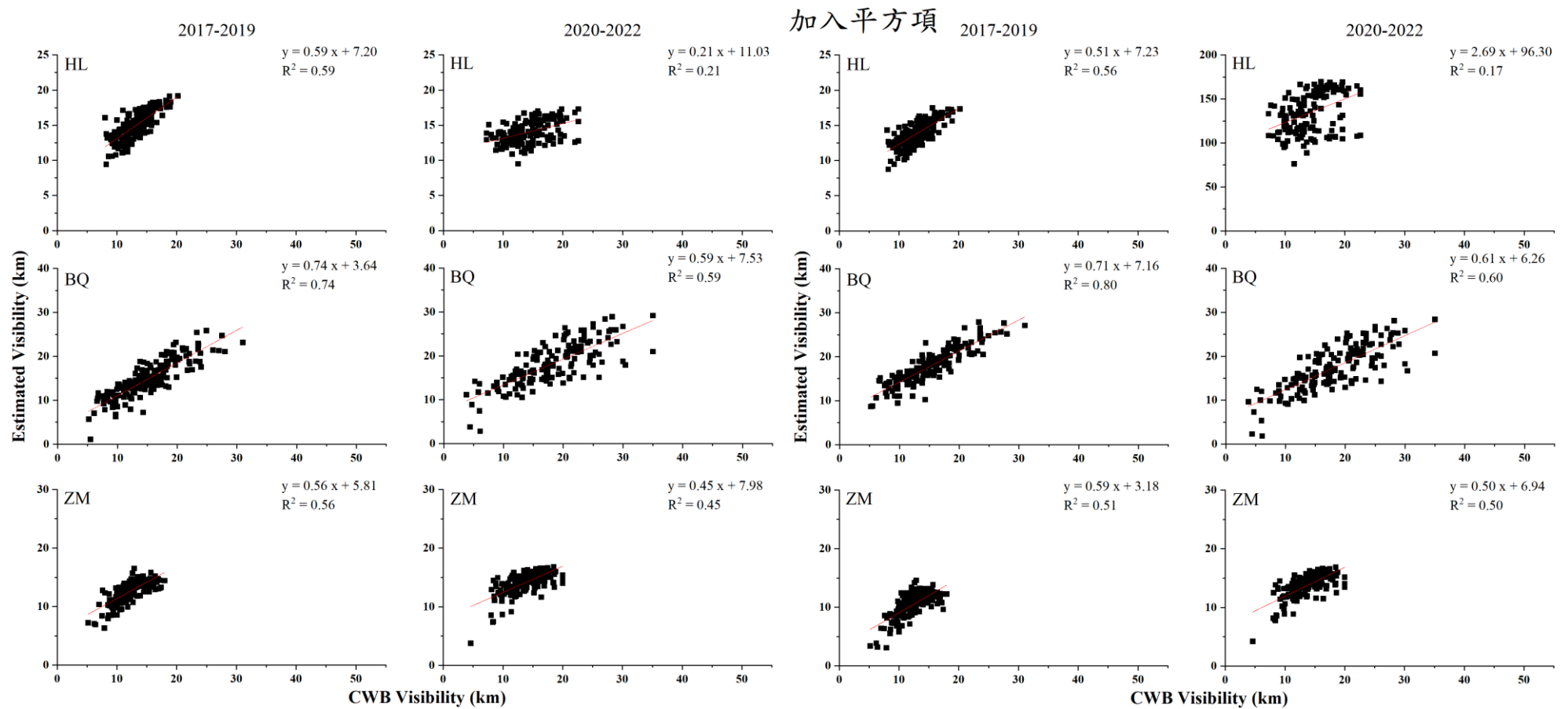
站名	數據取用	迴歸方程式	樣本數	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>
板橋	2017-2019	Vis. = 29.28 - 0.002(RH) <sup>2</sup> - 0.81 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.27 T - 1.67 OC + 0.12 (OC) <sup>2</sup>	182	0.79	0.79
	2020-2022/7	Vis. = 30.54 - 0.003(RH) <sup>2</sup> - 2.82 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.25 T	157	0.60	0.59
	2017-2022/7	Vis. = 29.41 - 0.002(RH) <sup>2</sup> - 1.27 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.27 T	339	0.65	0.65
忠明	2017-2019	Vis. = 17.03 - 0.52 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.001 (RH) <sup>2</sup>	183	0.53	0.52
	2020-2022/7	Vis. = 18.98 - 1.18 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.0005 (RH) <sup>2</sup> - 7.21 (Na <sup>+</sup> ) <sup>2</sup>	156	0.50	0.49
	2017-2022/7	Vis. = 21.28 - 0.87 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.0005 (RH) <sup>2</sup>	339	0.48	0.48
斗六	2017-2019	Vis. = 31.55 - 4.83 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.007 (T) <sup>2</sup> - 0.002 (RH) <sup>2</sup> + 0.34 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>2</sup>	183	0.68	0.67
	2020-2022/7	Vis. = 74.83 + 0.03 (T) <sup>2</sup> - 0.62 RH - 5.49 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - 4.65 OC + 0.35 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) <sup>2</sup> + 0.37 (OC) <sup>2</sup>	159	0.82	0.82
	2017-2022/7	Vis. = 40.48 - 8.40 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.70 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>2</sup> - 0.003 (RH) <sup>2</sup> + 0.01 (T) <sup>2</sup>	342	0.67	0.67
嘉義	2017-2019	Vis. = 36.54 - 5.59 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.37(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>2</sup> - 0.002(RH) <sup>2</sup>	182	0.68	0.68
	2020-2022/7	Vis. = 55.13 - 0.003 (RH) <sup>2</sup> - 6.54 OC + 0.53 (OC) <sup>2</sup> - 4.84 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 0.01 (T) <sup>2</sup> + 0.26 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) <sup>2</sup>	158	0.84	0.83
	2017-2022/7	Vis. = 38.16 - 7.88 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.61(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>2</sup> - 0.002(RH) <sup>2</sup> + 0.01 (T) <sup>2</sup>	340	0.70	0.70
小港	2017-2019	Vis. = 17.72 - 0.64 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 0.001(RH) <sup>2</sup> - 1.21 OC + 0.07 (OC) <sup>2</sup>	183	0.79	0.78
	2020-2022/7	Vis. = 33.74 - 0.60 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.05(T) <sup>2</sup> - 2.44 T + 1.07 WS	160	0.61	0.60
	2017-2022/7	Vis. = 27.80 - 1.60 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 0.03(T) <sup>2</sup> - 1.28 T - 0.0006(RH) <sup>2</sup> + 0.10(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>2</sup>	343	0.67	0.67
花蓮	2017-2019	Vis. = 17.70 + 0.005 (T) <sup>2</sup> - 0.001 (RH) <sup>2</sup> - 0.38 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	183	0.57	0.56
	2020-2022/7	Vis. = 39.22 + 0.06 (T) <sup>2</sup> - 2.46 T - 1.29 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	156	0.26	0.24
	2017-2022/7	Vis. = 15.18 + 0.01 (T) <sup>2</sup> - 0.47 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - 0.001 RH	339	0.33	0.33

1. 使用 Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、OC、EC、WS、T、RH、(Na<sup>+</sup>)<sup>2</sup>、(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)<sup>2</sup>、(K<sup>+</sup>)<sup>2</sup>、(Mg<sup>2+</sup>)<sup>2</sup>、(Ca<sup>2+</sup>)<sup>2</sup>、(Cl<sup>-</sup>)<sup>2</sup>、(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)<sup>2</sup>、(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)<sup>2</sup>、(OC)<sup>2</sup>、(EC)<sup>2</sup>、(WS)<sup>2</sup>、(T)<sup>2</sup>及(RH)<sup>2</sup>跑迴歸分析(Forward Stepwise)。

2. F to remove 選 2.7；F to enter 選 3.8。

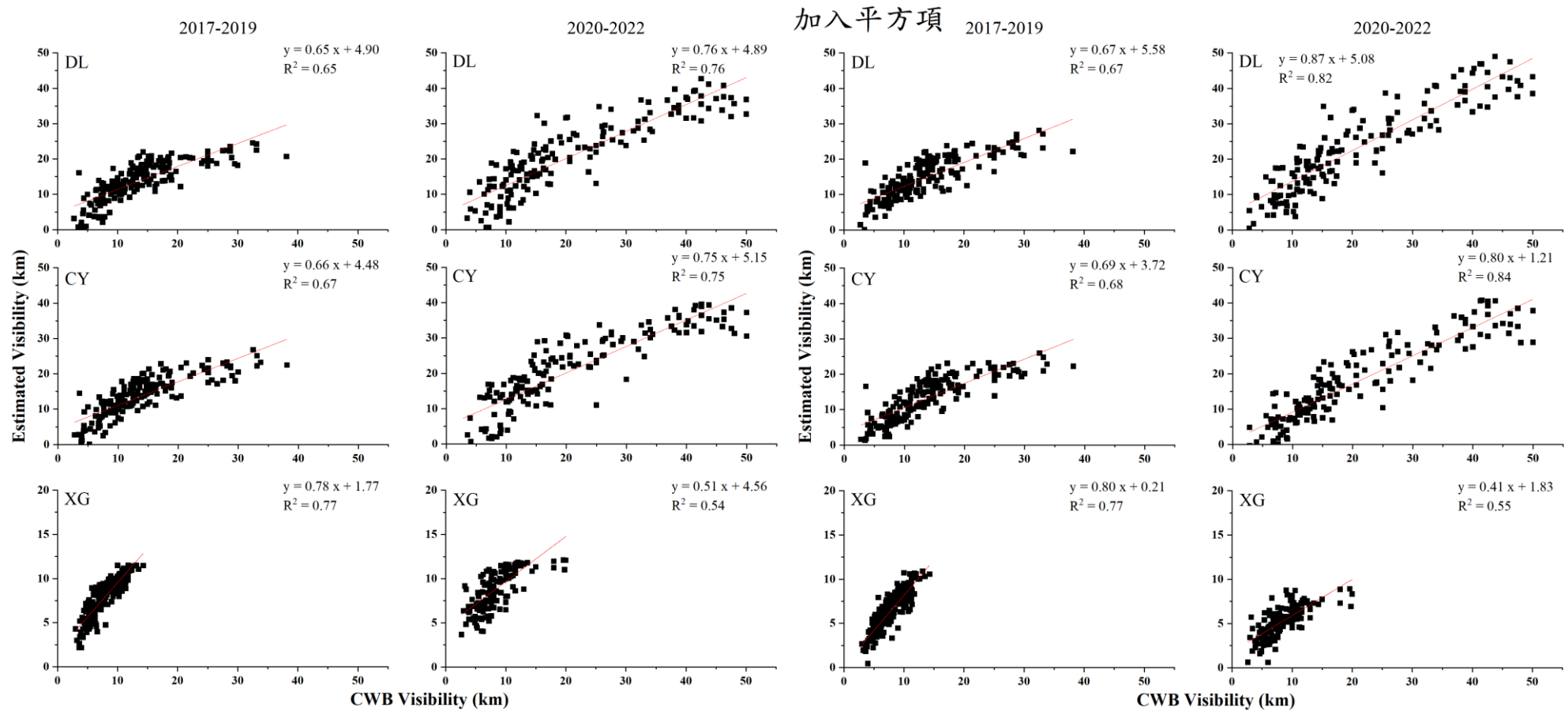
3. 各測站迴歸式 F 檢定的 p < 0.005；各測項 p < 0.05

## 比較一般項 vs 加入平方項的迴歸方程式



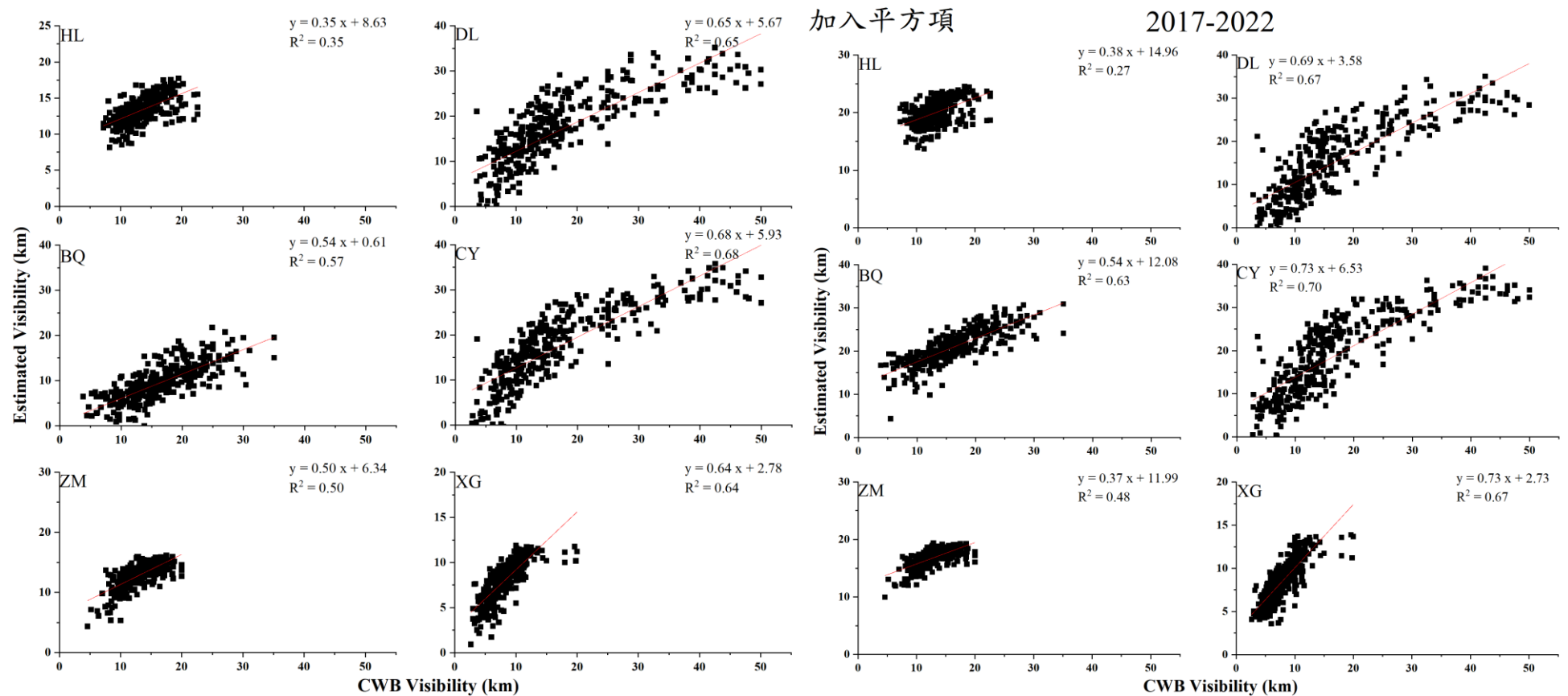
比較一般項(左圖)及加入平方項(右圖)之迴歸方程式相關性(花蓮、板橋、忠明)

## 比較一般項 vs 加入平方項的迴歸方程式



比較一般項(左圖)及加入平方項(右圖)之迴歸方程式相關性(斗六、嘉義、小港)

## 比較一般項 vs 加入平方項的迴歸方程式



比較一般項(左圖)及加入平方項(右圖)之迴歸方程式相關性(六站 2017-2022/7)

加入平方項的迴歸方程式，方程式使用二次項

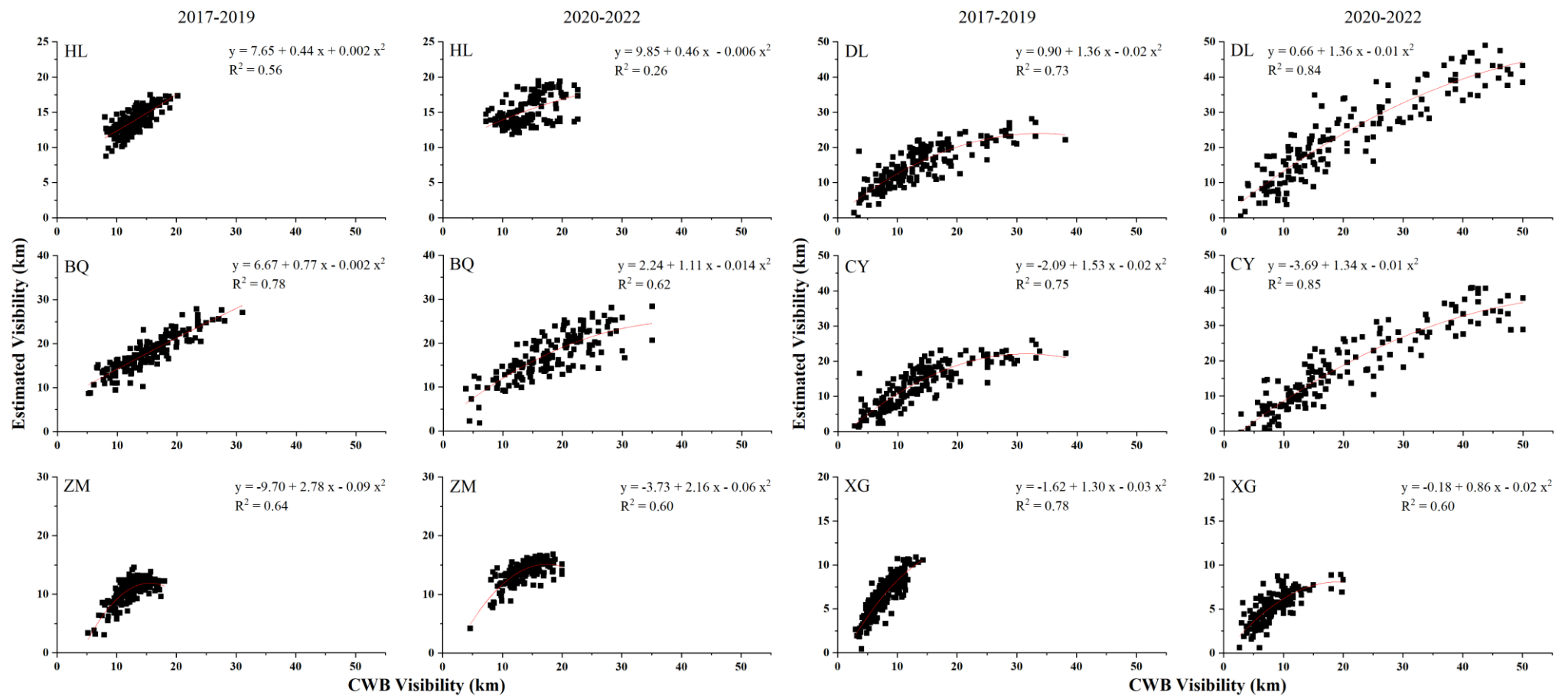


圖 六站以迴歸方程式推估（Estimated）和觀測（Observed）能見度關係(2017-2019 年 vs 2020-2022/7)



加入平方項的迴歸方程式，方程式使用二次項

2017-2022

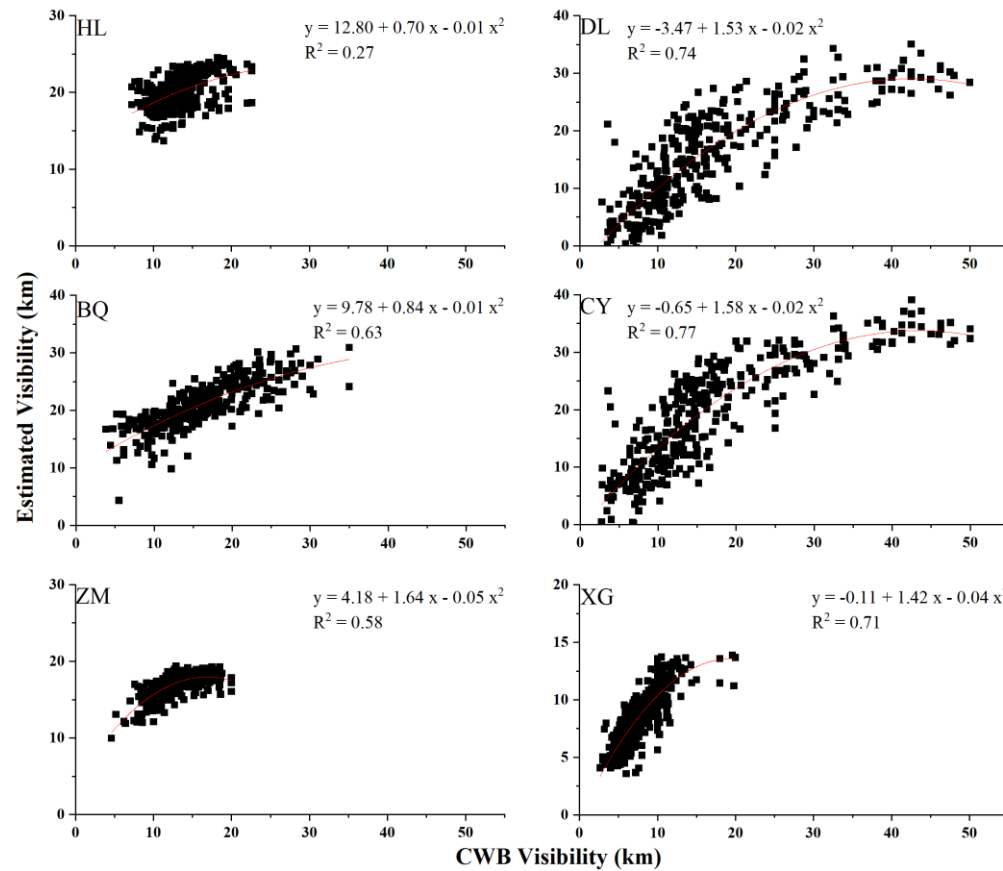
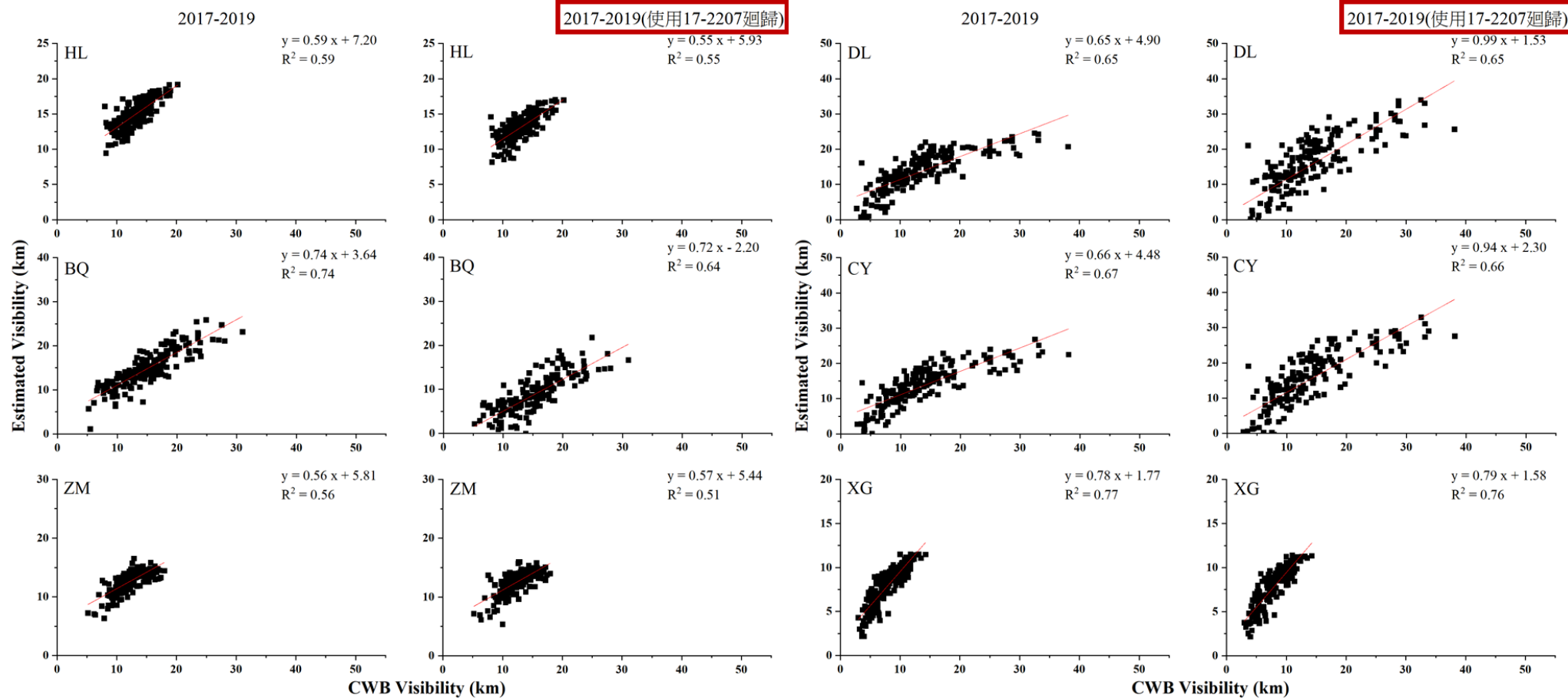


圖 六站以迴歸方程式推估（Estimated）和觀測（Observed）能見度關係(2017-2022/7)

將一般項的迴歸式，帶入不同年份進行比較

右側為使用 2017-2207 迴歸式，推估 2017-2019 年能見度

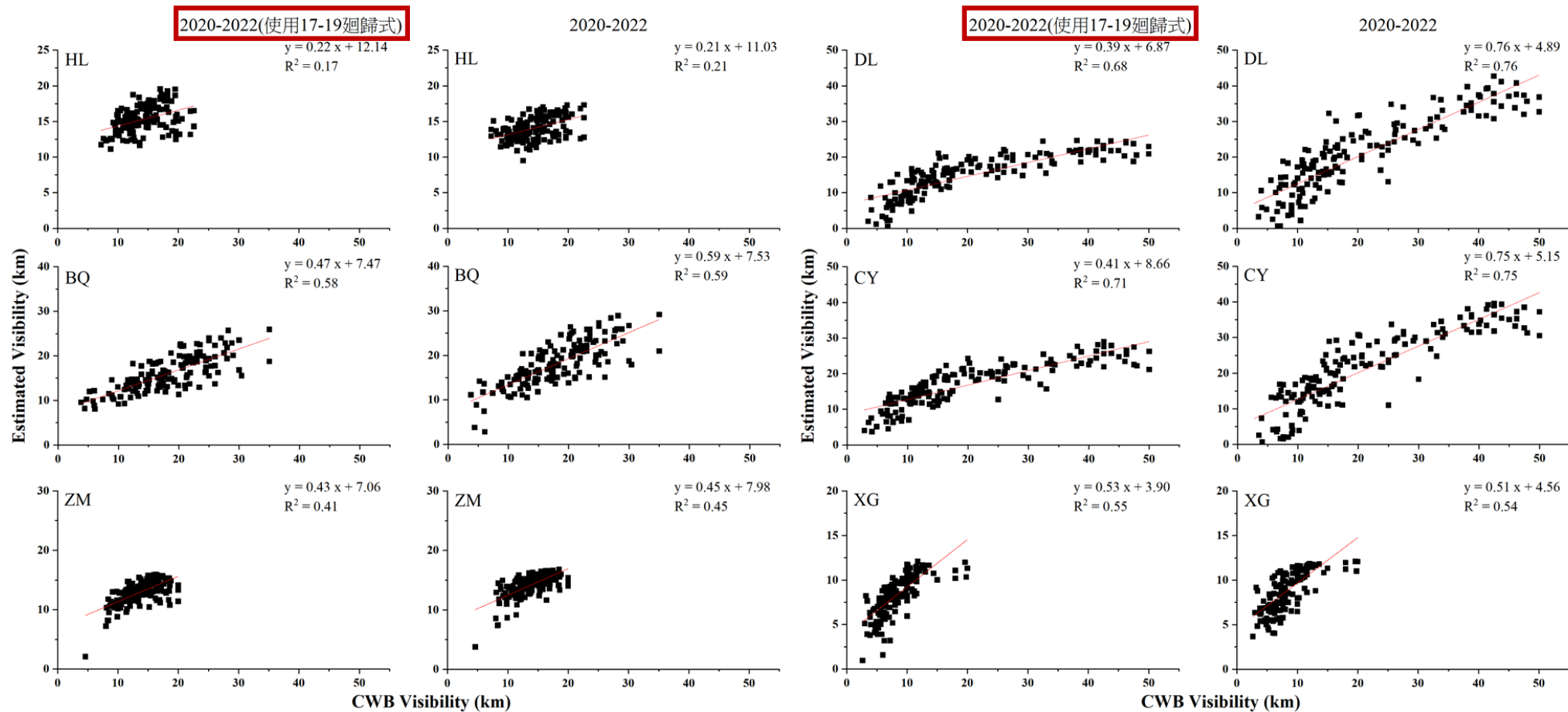
而使用原 2017-2019 推估的相關性較佳



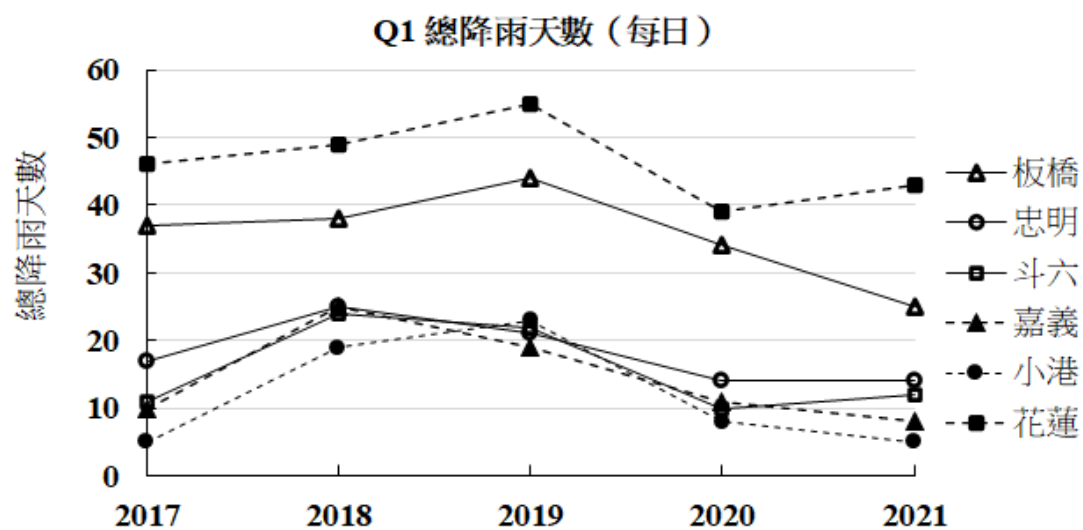
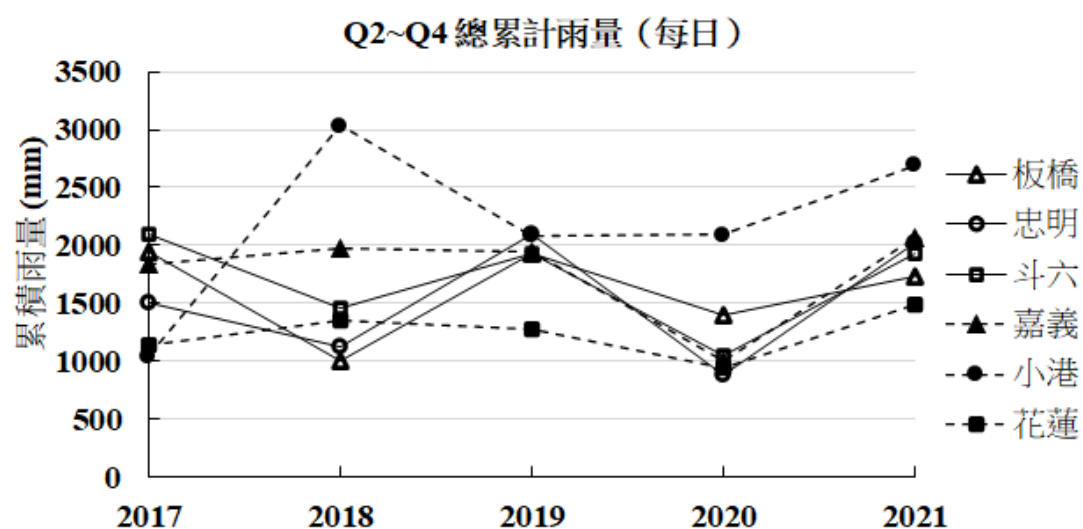
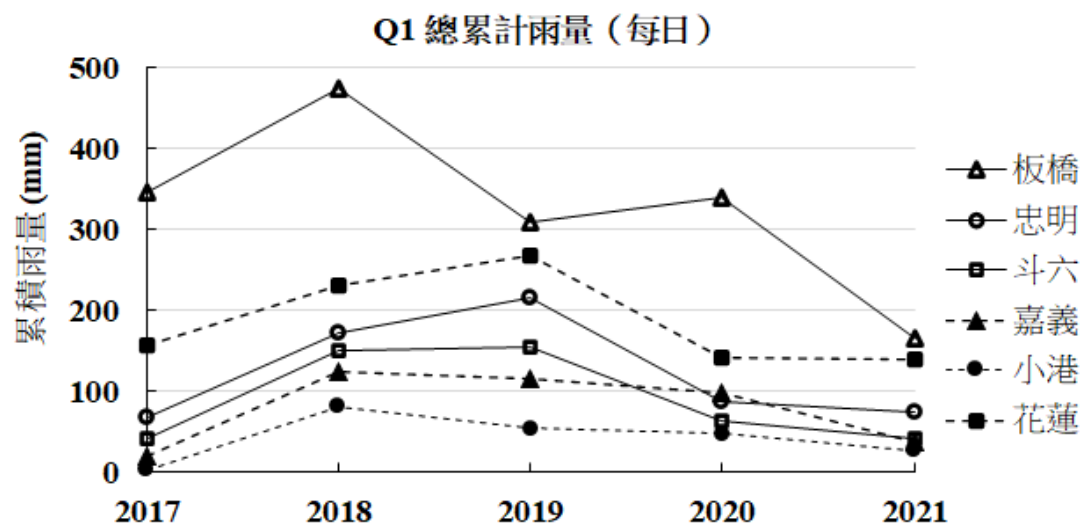
將一般項的迴歸式，帶入不同年份進行比較

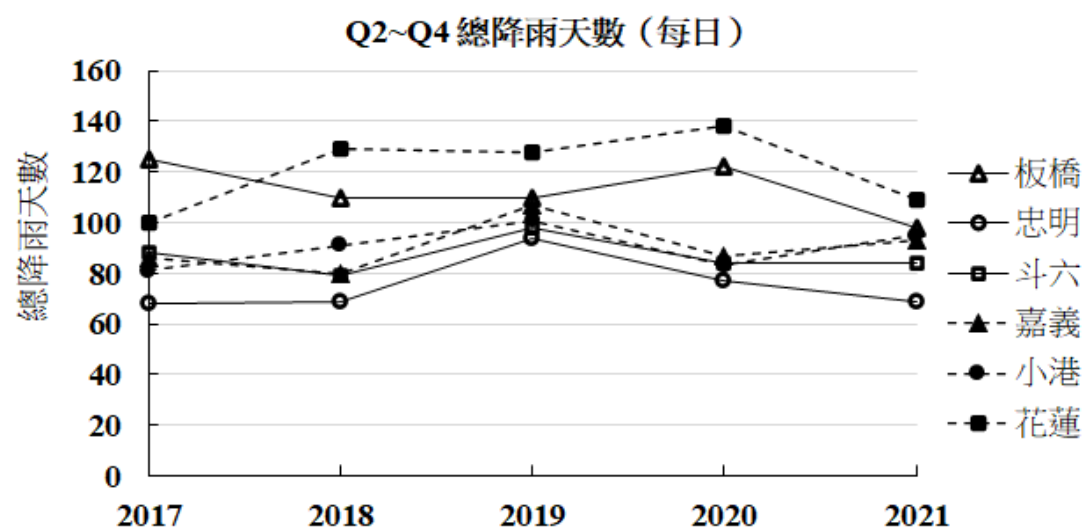
左側為使用 2017-2019 迴歸式，推估 2020-2022 年能見度

而使用原 2020-2022 推估的相關性較佳



# 附錄 11 2017 年至 2021 年 Q1 以及 Q2~Q4 季度總降雨量以及降雨天數





## 附錄光碟 目錄

1. 採樣儀器查核
  - 1.1 儀器年度查核及維護
  - 1.2 儀器月查核表
2. 分析儀器查核
  - 2.1 離子層析儀查核表(水溶性離子)
  - 2.2 碳成分分析儀查核表
  - 2.3 感應耦合電漿質譜儀(金屬元素)
3. 採樣紀錄表
  - 3.1 例行性採樣-E-FRM
  - 3.2 例行性採樣-SASS
4. 例行性採樣-樣本簽收單
  - 4.1 樣本轉移紀錄紙(樣本濾紙)
  - 4.2 樣本轉移紀錄紙(空白濾紙)
5. 樣本移交簽收單
  - 5.1 金屬元素分析
  - 5.2 碳成分分析
6. 軌跡圖
7. 採樣監測分析品保作業
  - 7.1 離子各月檢量線及品保表格
  - 7.2 金屬元素各批次檢量線
  - 7.3 E-FRM 質量濃度採樣器月查核圖