

# 細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫 專案工作計畫

---

計畫執行期間:105 年 10 月 20 日至 106 年 12 月 31 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:	蕭大智	副教授
協同主持人:	許文昌	助理教授

行政院環境保護署 編印

## 細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫 專案工作計畫(修訂稿)

---

計畫經費:NT\$32,000,000

計畫執行期間:105 年 10 月 20 日至 106 年 12 月 31 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:	蕭大智	副教授
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

**「細懸浮微粒（PM<sub>2.5</sub>）化學成分監測與分析計畫」**  
**106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	106 年度	計畫編號	EPA-105-U102-03-A284	
丁、專案性質	應用研究			
戊、專案領域	環境監測及資訊處			
己、計畫屬性	<input checked="" type="checkbox"/> 科技類		<input type="checkbox"/> 非科技類	
庚、全程期間	105 年 10 月～ 106 年 12 月			
辛、本期期間	105 年 10 月～ 106 年 12 月			
壬、本期經費	叁仟貳佰萬元整			
	資本支出		經常支出	
	土地建築 0 元		人事費 7,369,946 元	
	儀器設備 9,199,600 元		業務費 12,521,363 元	
	其 他 0 千元		管理費 2,909,091 元	
癸、摘要關鍵詞（中英文各三則）	PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測、PM <sub>2.5</sub> 化學成分時間與空間分布特徵、推估 PM <sub>2.5</sub> 污染來源及能見度影響因子 PM <sub>2.5</sub> chemical speciation, temporal and spatial characteristics of PM <sub>2.5</sub> chemical speciation, source apportionment of PM <sub>2.5</sub> and visibility influencing factors			
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、報告指導及修改、監測技術資料收集及技術規範評估、實驗及數據分析及品質督導	中央大學環工所教授	14	03-4227151 ext 34657 ctlee@ncu.edu.tw
周崇光	計畫品保查核、金屬成分分析、碳成分分析技術諮詢	中央研究院環境變遷研究中心研究員	14	ckchou@rcec.sinica.edu.tw

張士昱	協助計畫品保查核、微粒水溶性離子分析技術諮詢	中山醫學大學公共衛生系教授	14	sychang@csmu.edu.tw
蕭大智	協助計畫品保查核、採樣儀器技術諮詢	中央大學環工所副教授	14	tchsiao@ncu.edu.tw
許文昌	協助計畫採樣、微粒金屬元素分析技術諮詢	大漢技術學院助理教授	14	
王 偉	協助資料彙整、進行 PMF 受體模式推估、協助報告撰寫	中央大學環工所專案經理	14	03-4227151 ext 34664
黃秋華	協助資料彙整、行政事項、協助報告撰寫、PM <sub>2.5</sub> 水溶性離子分析	中央大學環工所專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652 cilia0110@gmail.com
謝柏邨	進行 PM <sub>2.5</sub> 採樣、協助 PM <sub>2.5</sub> 碳成分分析	中央大學環工所專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652
侯宥琳	進行 PM <sub>2.5</sub> 採樣	中央大學環工所專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652
謝伯杰	進行 PM <sub>2.5</sub> 採樣	中央大學環工所專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652
謝坤龍	進行 PM <sub>2.5</sub> 採樣	中央大學環工所專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652
陳思穎	協助數據處理	中央大學環工所專任研究助理	2	03-4227151 ext 34664
孫紹恩	協助數據處理、PM <sub>2.5</sub> 碳成分分析	中央大學環工所兼任博士生研究助理	14	03-4227151 ext 34664
陳美君	協助 PM <sub>2.5</sub> 碳成分品保分析	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652



黃譚堯	協助 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素分析	中央研究院環境變遷研究中心專任研究助理	14	03-4227151 ext 34652
陳建安	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	14	03-4227151 ext 34652
宋昆霖	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	14	03-4227151 ext 34652
陳威任	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	14	03-4227151 ext 34652
陳彥銘	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣品保查核	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	14	03-4227151 ext 34652
林乃芸	協助 PM <sub>2.5</sub> 採樣品保查核	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	14	03-4227151 ext 34652
邱鈞煦	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	14	03-4227151 ext 34652
徐明康	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	14	03-4227151 ext 34652
翁子芩	協助 PM <sub>2.5</sub> 數據計算及彙整作圖、表	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	14	03-4227151 ext 34652
何怡慧	協助 PM <sub>2.5</sub> 數據計算及彙整作圖、表	中央大學環工所兼任碩士生研究助理	14	03-4227151 ext 34652
吳俊彥	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	14	03-4227151 ext 34652
楊孟樵	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	14	03-4227151 ext 34652

王韋智	協助 PM <sub>2.5</sub> 秤重	中央大學環工 所兼任碩士生 研究助理	5	03-4227151 ext 34652
胡詩茂	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	5	03-4227151 ext 34652
林寬昱	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	5	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：

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：

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

三、計畫編號：

EPA-105-U102-03-A284

四、執行單位：

國立中央大學

五、計畫主持人：(包括協同主持人)

李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智、許文昌

六、執行開始時間：

105/10/20

七、執行結束時間：

106/12/31

八、報告完成日期：

106/12/22

九、報告總頁數：

452

十、使用語言：

中文、英文

十一、報告電子檔名稱：

EPA-105- U102-03-A284.Adobe Acrobat.

十二、報告電子檔格式：

WORD 2007

十三、中文摘要關鍵詞：

PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測、PM<sub>2.5</sub> 化學成分時間與空間分布特徵、推估 PM<sub>2.5</sub> 污染來源及能見度影響因子

十四、英文摘要關鍵詞：

PM<sub>2.5</sub> chemical speciation, temporal and spatial characteristics of PM<sub>2.5</sub> chemical speciation, source apportionment of PM<sub>2.5</sub> and visibility influencing factors

## 十五、中文摘要：

本計畫執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測，於 2016 年 11 月底至 12 月初在斗六、嘉義、花蓮環保署空氣品質監測站進行連續 8 天任務型採樣，2017 年 1 月至 11 月，在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮測站進行每 6 天一次例行性採樣。這兩種型態採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署監測站連續監測濃度的時間變化趨勢具有一致性，顯示採樣結果具有代表性。

各站 2017 年 1 月至 11 月例行性採樣，由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度分別為 11、20、23、28、28、29  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。四季 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度變化，大致呈現夏季最低，秋季升高，冬、春濃度高於秋季。冬季小港站擴散條件較差，又受到上風區域污染傳輸影響，濃度為 6 站最高，春季濃度最高站點在斗六，嘉義站濃度非常接近，這兩個站點常有相近高污染濃度發生；夏季以板橋站濃度最高，秋季則以小港站濃度最高。採樣過程 PM<sub>2.5</sub> 化學成分會有揮發及吸附，若僅使用單張濾紙，水溶性無機離子將會低估  $\text{NH}_4^+$  濃度 6%~20%、低估  $\text{NO}_3^-$  濃度 4%~54%，也會低估  $\text{Cl}^-$  濃度 19%~62%。碳成分在高 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時則正干擾(吸附)影響較為顯著。各站各季節 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度占比最高化學成分：冬季板橋與忠明站為  $\text{SO}_4^{2-}$ ，斗六、嘉義、小港站為  $\text{NO}_3^-$ ，花蓮站為 OC；春季板橋、忠明、花蓮站為  $\text{SO}_4^{2-}$ ，斗六、嘉義、小港站為  $\text{NO}_3^-$ ；夏季板橋、忠明站為 OC，其餘各站為  $\text{SO}_4^{2-}$ ；秋季各站都是以  $\text{SO}_4^{2-}$  為主。以日平均濃度 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  為分界，採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 低濃度(日平均濃度為 17  $\mu\text{g m}^{-3}$ , n=266)相對於高濃度(日平均濃度為 46  $\mu\text{g m}^{-3}$ , n=70)樣本，PM<sub>2.5</sub>  $\text{NO}_3^-$  占比從 11% 增大到 24%，其他成分則縮小或不變，顯示 PM<sub>2.5</sub>  $\text{NO}_3^-$  前驅物  $\text{NO}_x$  排放源的管制應該加強。各站 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分最高兩種分別為 Na 和 K，顯示受海風、地殼塵土逸散、生質燃燒影響大。計算各站金屬元素富集因子，指出地殼、燃煤、交通排放為重要排放源。彙整各次採樣 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  事件污染來源，得出大部分事件都是區域傳輸、擴散不佳、發生光化學反應所造成，僅少數來自境外傳輸。

綜合 6 個測站 PMF 受體模式推估結果，各測站主要污染因子都以「二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這兩類富含衍生污染物的因子為主，其中，二次硝酸鹽於冬季占比較高，二次硫酸鹽則在夏季有較高占比，突顯各季節污染源變化特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放」這個因子在夏季有最高的污染占

比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。大氣能見度推估顯示各監測地區影響能見度最大的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分為  $\text{NH}_4^+$  或  $\text{SO}_4^{2-}$ ，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀。在  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分技術評估方面，本年度彙整 34 篇相關國際文獻。

**關鍵詞：** $\text{PM}_{2.5}$  化學成分監測、 $\text{PM}_{2.5}$  化學成分時間與空間分布特徵、推估  $\text{PM}_{2.5}$  污染來源及能見度影響因子

## 十六、英文摘要：

This study conducted an assigned mission of PM<sub>2.5</sub> chemical speciation monitoring at Douliu, Chiayi, and Hualien air quality monitoring sites of Environmental Protection Administration for continuous eight days from the end of November to early December in 2016. In contrast, regular PM<sub>2.5</sub> chemical speciation monitoring at Banqiao, Zongming, Douliu, Chiayi, Xiaogang, and Hualien were implemented on a shift of every 6 days starting from January to November in 2017. PM<sub>2.5</sub> mass concentrations from these two types of collection varied consistently with those of continuous monitoring stations which indicated the achievement of representative collections of PM<sub>2.5</sub>.

PM<sub>2.5</sub> daily averages, from January to November 2017, were 11, 20, 23, 28, 28, and 29  $\mu\text{g m}^{-3}$ , respectively, at the sites from east and north and south of Taiwan. Seasonal variations of PM<sub>2.5</sub> mass concentration are with a pattern of the lowest in summer, higher than summer in autumn, and further up in winter and spring. In the winter time, the Xiaogang site was with the highest concentration due to bad environmental ventilation and the influence from upstream transport. In spring, the Douliu site ranked the highest but Chiayi was close to it especially for high concentration events. The Banqiao site became the highest in summer, while Xiaogang site claimed the highest in autumn. Volatilization and adsorption of PM<sub>2.5</sub> chemical components were evaluated during collection. Underestimates of 6%~20% from  $\text{NH}_4^+$ , 4%~54% from  $\text{NO}_3^-$ , and 19%~62% from  $\text{Cl}^-$  were found if only a single filter was installed for PM<sub>2.5</sub> collection. Carbonaceous contents were with more negative interferences (volatilizations) in high PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in contrast to prominent positive interferences (adsorptions) in low PM<sub>2.5</sub> mass concentrations. The highest levels of PM<sub>2.5</sub> chemical component at each site for various seasons are as follows. In winter,  $\text{SO}_4^-$  was the highest chemical component at the Banqiao and Zongming sites,  $\text{NO}_3^-$  at the sites of Douliu, Chiayi and Xiaogang, and OC at the Hualien site, respectively. Whereas  $\text{SO}_4^-$  was the greatest component at the Banqiao, Zongming, and Hualien sites and  $\text{NO}_3^-$  at Douliu, Chiayi, and Xiaogang sites in spring. The OC was the highest component at the Banqiao and Zongming sites in contrast to  $\text{SO}_4^-$  at the other sites in summer. Interestingly, a unanimous highest  $\text{SO}_4^-$  level of chemical components was found for all sites in autumn. Splitting from daily average at 35  $\mu\text{g m}^{-3}$ , the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to PM<sub>2.5</sub> for low PM<sub>2.5</sub> concentrations (17  $\mu\text{g m}^{-3}$ )

$\text{m}^{-3}$ ,  $n=266$ ) relative to high  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations ( $46 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $n=70$ ) was elevated from 11% to 24% while other components shrank or unchanged. This indicates a need of stringent control of  $\text{NO}_x$  emission sources, which is  $\text{PM}_{2.5} \text{NO}_3^-$  precursor. The highest two of  $\text{PM}_{2.5}$  metal elements are Na and K with the implication of the significant influences of sea-salt, fugitive crustal dust, and biomass burning. The computations of enrichment factor across all sites showed that fugitive crustal dust, coal combustion, and traffic emissions were important sources. Summarizing all events of  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations greater than  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ , this study found most events were under the influence of regional transport, bad ventilation, and photochemical reactions with only few from transboundary transport.

In summarizing PMF receptor modeling results for the 6 sites, the major pollution factors across all sites are derivative types of factor such as secondary aerosol, secondary nitrate, and secondary sulfate. These factors have high  $\text{PM}_{2.5}$  contribution ratios mostly in spring and winter. The factor next to derivative type was traffic emissions with high but steady  $\text{PM}_{2.5}$  contribution ratio in summer which indicated traffic emissions was important in low  $\text{PM}_{2.5}$  time period. The estimation of atmospheric visibility showed that corrected  $\text{NH}_4^+$  or  $\text{SO}_4^{2-}$  was the major  $\text{PM}_{2.5}$  chemical species influencing visibility at each individual site. This implies that the effects from derivative pollutants on atmospheric visibility are significant. For the assessment of  $\text{PM}_{2.5}$  chemical speciation techniques, 34 related international papers were collected and reviewed.

# 目 錄

目 錄.....	I
第一章 背景.....	16
第二章 前言.....	18
2.1 計畫工作內容.....	18
2.2 目前工作進度及達成率.....	23
第三章 工作方法.....	24
3.1 建構國家級細懸浮微粒 PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測網.....	24
3.1.1 手動採樣器及成分採樣器購置.....	24
3.1.2 設備比對及測試方法.....	25
3.2 執行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業.....	26
3.2.1 採樣地點選擇及時程規劃.....	26
3.2.2 採樣及實驗分析人員及行程分配.....	35
3.2.3 細懸浮微粒採樣設備及方法.....	40
3.2.4 細懸浮微粒成分人工採樣去除大氣干擾物方法.....	49
3.2.5 PM <sub>2.5</sub> 水溶性離子檢驗分析方法.....	53
3.2.6 PM <sub>2.5</sub> 碳成分檢驗分析方法.....	55
3.2.7 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分檢驗分析方法.....	60
3.2.8 微粒採樣及質量濃度檢驗分析方法品管.....	64
3.2.9 實驗室檢測數據品保規劃簡要說明.....	74
3.3 解析時間與空間分布特徵及影響因素.....	86
3.3.1 高污染事件成因判別準則.....	86
3.3.2 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...88	
3.3.3 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觀測能見度之 PM <sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子.....	94
3.3.4 金屬元素污染來源.....	95
3.3.5 依上述分析結果，提供污染源管制策略評估之建議.....	97
3.4 評估微粒成分自動監測適宜性.....	98
第四章 結果與討論.....	100
4.1 採樣前儀器平行比對.....	102
4.1.1 採樣前平行比對各儀器等效性評估結果與 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度.....	104
4.1.2 採樣前平行儀器比對 PM <sub>2.5</sub> 化學成分濃度.....	107
4.2 任務型採樣 PM <sub>2.5</sub> 化學成分檢測.....	112
4.2.1 花蓮站.....	112
4.2.2 斗六站.....	123
4.2.3 嘉義站.....	133
4.3 例行性採樣 PM <sub>2.5</sub> 化學成分檢測.....	145
4.3.1 板橋站.....	146
4.3.2 忠明站.....	162
4.3.3 斗六站.....	178



4.3.4 嘉義站.....	194
4.3.5 小港站.....	211
4.3.6 花蓮站.....	232
4.4 PM <sub>2.5</sub> 化學成分特徵及引申意義.....	245
4.4.1 手動採樣 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度季節平均值區域及季節變化趨勢代表性.....	245
4.4.2 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及主要化學成分區域及季節變化.....	247
4.4.3 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分占比和富集因子區域及季節變化.....	254
4.4.4 PM <sub>2.5</sub> 採樣微粒揮發與有機氣體吸附修正.....	265
4.4.5 PM <sub>2.5</sub> 濃度大於 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 污染事件來源及判別特徵.....	270
4.4.6 區域污染事件成因差異探討.....	274
4.4.7 PM <sub>2.5</sub> 高濃度和低濃度 PM <sub>2.5</sub> 化學成分占比變化.....	296
4.4.8 樣本 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 與晨間交通尖峰時段 NO <sub>x</sub> 相關性.....	301
4.5 各監測地區污染來源與影響能見度的 PM <sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子.....	<b>錯誤! 尚未定義書籤。</b>
4.5.1 PMF 受體模式推估結果.....	<b>錯誤! 尚未定義書籤。</b>
4.5.2 PM <sub>2.5</sub> 成分及氣象因子與能見度多元迴歸模式.....	341
4.6 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.....	350
4.6.1 PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測技術發展.....	350
4.6.2 PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子.....	359
4.6.3 解析 PM <sub>2.5</sub> 化學成分受體模式污染來源.....	367
4.6.4 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度.....	373
4.6.5 執行 PM <sub>2.5</sub> 化學成分解析評估管制策略.....	378
4.7 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分自動採樣儀器適宜性評估.....	381
4.7.1 新舊儀器與手動採樣結果可比較性及相關性.....	382
4.7.2 自動儀器採樣誤差與數據完整性.....	392
4.8 細懸浮微粒採樣監測分析品保作業（見附錄光碟）.....	395
第五章 結論與建議.....	396
5.1 結論.....	396
5.2 建議.....	400
第六章 參考文獻.....	401
附錄一 「細懸浮微粒(PM <sub>2.5</sub> )化學成分監測及分析計畫」啟始會議審查意見及回覆.....	416
附錄二 「細懸浮微粒(PM <sub>2.5</sub> )化學成分監測及分析計畫」.....	417
附錄三 「細懸浮微粒(PM <sub>2.5</sub> )化學成分監測及分析計畫」.....	419
附錄四 「細懸浮微粒(PM <sub>2.5</sub> )化學成分監測及分析計畫」第 3 次工作報告會議審查意見及回覆.....	423
附錄五 「細懸浮微粒(PM <sub>2.5</sub> )化學成分監測及分析計畫」期末報告會議審查意見及回覆.....	428
附錄六 受體模式誤差檢測結果.....	431
附錄七 細懸浮微粒採樣監測分析品保作業、儀器查核記錄、採樣記錄、樣本接收單、天氣逆軌跡圖、逐日天氣因子圖、化學成分表(光碟附錄).....	432

## 圖目錄

圖 3.2.1 採樣監測站地理位置(■代表採樣地點，◎為成分分析實驗室) .....	27
圖 3.2.2 板橋站周圍環境影像.....	29
圖 3.2.3 忠明站周圍環境影像.....	30
圖 3.2.4 斗六站周圍環境影像.....	30
圖 3.2.5 嘉義站周圍環境影像.....	31
圖 3.2.6 小港站周圍環境影像.....	31
圖 3.2.7 花蓮站周圍環境影像.....	32
圖 3.2.8 計畫執行期間採樣監測時程規劃.....	33
圖 3.2.9 細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> ) 化學成分採樣檢測作業執行程序 .....	34
圖 3.2.10 採樣計畫管理及樣本採樣前處理流程.....	36
圖 3.2.11 樣本採集人員工作規劃.....	37
圖 3.2.12 樣品及數據分析人員工作規劃.....	38
圖 3.2.13 數據品保確認及報告人員工作規劃.....	39
圖 3.2.14 R&P 2300 成分採樣器外表構造.....	40
圖 3.2.15 R&P 2300 Speciation Sampler 的採樣配置 .....	41
圖 3.2.16 R&P 3500 Speciation Sampler 的採樣配置 .....	42
圖 3.2.17 BGI PQ200 PM <sub>2.5</sub> 採樣器內部構造示意圖.....	43
圖 3.2.18 BGI PQ200 PM <sub>2.5</sub> 採樣器的外觀與儀器操作面板.....	44
圖 3.2.19 R&P 2000 PM <sub>2.5</sub> 採樣器的外觀與儀器操作面板.....	45
圖 3.2.20 MetOne SASS PM <sub>2.5</sub> 成分採樣器的外觀與儀器操作面板 .....	46
圖 3.2.21 MetOne SASS PM <sub>2.5</sub> 成分採樣器採樣套管配置 .....	47
圖 3.2.22 MetOne E-FRM PM <sub>2.5</sub> 採樣器的外觀與儀器操作面板 .....	48
圖 3.2.23 R&P 2300 採樣器採集微粒水溶性離子揮發的硝酸氣、氨氣示意圖.....	50
圖 3.2.24 以石英濾採集微粒有機碳成分偏差示意圖(Turpin et al., 2000) .....	50
圖 3.2.25 R&P 2300 採樣器矯正濾紙微粒碳成分揮發及空氣中揮發性有機物干擾示意圖....	51
圖 3.2.26 離子層析儀分析系統.....	53
圖 3.2.27 碳分析儀 Model 2001A—氣膠有機碳、元素碳分析 .....	56
圖 3.2.28 DRI 2001A 碳分析儀分析結果圖譜.....	58
圖 3.2.29 DRI 2001A 碳分析儀分析結果數據.....	58
圖 3.2.30 Perkin-Elmer 公司型號 NexIon 300X 感應耦合電漿質譜儀 .....	60
圖 3.3.1 大尺度資料逆推軌跡(左圖)與中尺度資料污染物濃度分布(右圖)範例 .....	87
圖 3.3.2 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-基本模式 (Norris et al., 2014).....	90
圖 3.3.3 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-Fpeak 模式 (Norris et al., 2014).....	91
圖 3.3.4 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-限制模態 (Norris et al., 2014).....	92
圖 3.4.1 Cooper Environmental Services LLC 公司型號 Xact 625 環境元素自動監測儀主要組 件示意圖 (Cooper Environmental Services LLC, 2009) .....	99
圖 4.1.1 十部 MetOne SASS 成分採樣器平行比對設置情形.....	102
圖 4.1.2 六部 BGI PQ200 質量濃度採樣器平行比對設置情形.....	103
圖 4.1.3 十部 MetOne E-FRM 質量濃度採樣器平行比對設置情形 .....	103
圖 4.1.4 採樣前儀器平行比對期間 PM <sub>2.5</sub> 化學成分濃度隨時間變化.....	107
圖 4.2.1 花蓮站任務型採樣期間典型逆推軌跡線.....	113
圖 4.2.2 花蓮站任務型採樣期間天氣因子及污染物時間序列變化.....	115

圖 4.2.3 花蓮站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	117
圖 4.2.4 花蓮站任務採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	120
圖 4.2.5 斗六站任務型採樣期間典型逆推軌跡線.....	124
圖 4.2.6 斗六站任務型採樣期間天氣因子及污染物時間序列變化.....	126
圖 4.2.7 斗六站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	127
圖 4.2.8 斗六站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	130
圖 4.2.9 嘉義站任務型採樣期間典型逆推軌跡線.....	134
圖 4.2.10 嘉義站任務型採樣期間天氣因子及污染物時間序列變化.....	136
圖 4.2.11 嘉義站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	138
圖 4.2.12 嘉義站任務採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	142
圖 4.3.1 板橋站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡.....	150
圖 4.3.2 板橋站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化.....	155
圖 4.3.3 板橋站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	158
圖 4.3.4 板橋站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	161
圖 4.3.5 忠明站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡.....	166
圖 4.3.6 忠明站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化.....	171
圖 4.3.7 忠明站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	174
圖 4.3.8 忠明站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	177
圖 4.3.9 斗六站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡.....	182
圖 4.3.10 斗六站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化.....	187
圖 4.3.11 斗六站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	190
圖 4.3.12 斗六站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	193
圖 4.3.13 嘉義站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡.....	198
圖 4.3.14 嘉義站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化.....	204
圖 4.3.15 嘉義站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	207
圖 4.3.16 嘉義站 2017 年例行性採樣期間各金屬元素每日濃度.....	210
圖 4.3.17 小港站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡.....	216
圖 4.3.18 小港站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化.....	223
圖 4.3.19 小港站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	228
圖 4.3.20 小港站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度(中圖).....	231
圖 4.3.21 花蓮站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡.....	236
圖 4.3.22 花蓮站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化.....	239
圖 4.3.23 花蓮站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化.....	241
圖 4.3.24 花蓮站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度.....	244
圖 4.4.1 手動採樣數據(NCU)與環保署空氣品質監測站 PM <sub>2.5</sub> 濃度(EPA)季節變化趨勢比較.....	246
圖 4.4.2 各測站 2017 年例行性監測期間冬季和春季 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度變化與化學成分在 PM <sub>2.5</sub> 濃度占比.....	252
圖 4.4.3 各測站 2017 年夏季和秋季 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度季節變化與化學成分在 PM <sub>2.5</sub> 濃度占比.....	253
圖 4.4.4 各站例行性觀測期間 PM <sub>2.5</sub> 碳成分正、負干擾 (pos：濾紙吸附；neg：成分揮發)時間序列變化.....	269
圖 4.4.5 2017 年 1 月 7 日上午 8 時 (左) 23 時 (右) 風場模擬結果 .....	275
圖 4.4.6 2017 年 1 月 7 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	276

圖 4.4.7 2017 年 3 月 20 日上午 2 時(左)11 時(右)風場模擬結果 .....	277
圖 4.4.8 2017 年 3 月 20 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	278
圖 4.4.9 2017 年 4 月 13 日上午 8 時(左)下午 19 時(右)風場模擬結果 .....	279
圖 4.4.10 2017 年 4 月 13 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	281
圖 4.4.11 2017 年 4 月 25 日上午 2 時風場模擬結果(資料來源: <a href="https://earth.nullschool.net">https://earth.nullschool.net</a> ) .....	282
圖 4.4.12 2017 年 4 月 25 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	284
圖 4.4.13 2017 年 9 月 22 日上午 8 時(左)及下午 17 時(右)風場模擬結果 .....	286
圖 4.4.14 2017 年 9 月 22 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	287
圖 4.4.15 2017 年 1 月 13 日上午 2 時(左圖)及下午 14 時(右圖)風場模擬結果 .....	288
圖 4.4.16 2017 年 1 月 13 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	289
圖 4.4.17 2017 年 2 月 06 日上午 8 時(左圖)及下午 14 時(右圖)風場模擬結果 .....	291
圖 4.4.18 2017 年 2 月 6 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	292
圖 4.4.19 2017 年 2 月 18 日風場模擬結果(資料來源: <a href="https://earth.nullschool.net">https://earth.nullschool.net</a> ) .....	293
圖 4.4.20 2017 年 2 月 18 日台灣各地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度分布.....	294
圖 4.4.21 2017 年各事件典型風場圖.....	295
圖 4.4.22 採樣期間低濃度 PM <sub>2.5</sub> (<35 $\mu\text{g m}^{-3}$ ) .....	297
圖 4.4.23 採樣期間低濃度 PM <sub>2.5</sub> (<35 $\mu\text{g m}^{-3}$ ) .....	298
圖 4.4.24 PM <sub>2.5</sub> 低濃度群質量濃度及季節變化與化學成分在 PM <sub>2.5</sub> 濃度占比 .....	299
圖 4.4.25 PM <sub>2.5</sub> 高濃度時期質量濃度及季節變化與化學成分在 PM <sub>2.5</sub> 濃度占比 .....	300
圖 4.4.26 各站 PM <sub>2.5</sub> 修正後 NO <sub>3</sub> 濃度與上班日晨間(7:00~9:00) NO <sub>x</sub> 小時平均濃度相關性 .....	302
圖 4.5.1 板橋站 PMF 解析因子數與 Q <sub>true</sub> /Q <sub>exp</sub> 值關係 .....	304
圖 4.5.2 板橋站 PM <sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46).....	305
圖 4.5.3 板橋站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面 .....	307
圖 4.5.4 板橋站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢.....	308
圖 4.5.5 板橋站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源.....	308
圖 4.5.6 忠明測站 PMF 解析因子數與 Q <sub>true</sub> /Q <sub>exp</sub> 值關係 .....	310
圖 4.5.7 忠明測站 PM <sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46).....	311
圖 4.5.8 忠明站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面 .....	314
圖 4.5.9 忠明站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢.....	314
圖 4.5.10 忠明站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源.....	315
圖 4.5.11 斗六測站 PMF 解析因子數與 Q <sub>true</sub> /Q <sub>exp</sub> 值關係 .....	316
圖 4.5.12 斗六測站 PM <sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46).....	317
圖 4.5.13 斗六站 PMF 推估六個因子(污染源)剖面 .....	320
圖 4.5.14 斗六站 PMF 推估六個因子貢獻時間變化趨勢.....	320
圖 4.5.15 斗六站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源.....	321
圖 4.5.16 嘉義站 PMF 解析因子數與 Q <sub>true</sub> /Q <sub>exp</sub> 值關係 .....	323
圖 4.5.17 嘉義站 PM <sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=45).....	324
圖 4.5.18 嘉義站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面 .....	326
圖 4.5.19 嘉義站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢.....	327
圖 4.5.20 嘉義站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源.....	327
圖 4.5.21 小港站 PMF 解析因子數與 Q <sub>true</sub> /Q <sub>exp</sub> 值關係 .....	329
圖 4.5.22 小港站 PM <sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46).....	330
圖 4.5.23 小港站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面 .....	332
圖 4.5.24 小港站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢.....	333

圖 4.5.25 小港站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源.....	333
圖 4.5.26 花蓮站 PMF 解析因子數與 $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$ 值關係.....	335
圖 4.5.27 花蓮站 PM <sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46).....	336
圖 4.5.28 花蓮站 PMF 推估因子(污染源)剖面.....	339
圖 4.5.29 花蓮站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢.....	339
圖 4.5.30 花蓮站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源.....	340
圖 4.5.31 板橋站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係.....	343
圖 4.5.32 忠明站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係.....	344
圖 4.5.33 斗六站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係.....	345
圖 4.5.34 嘉義站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係.....	346
圖 4.5.35 小港站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係.....	347
圖 4.5.36 花蓮站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係.....	348
圖 4.7.1 手動、自動儀器金屬元素成分與 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度趨勢.....	384
圖 4.7.2 採樣期間自動儀器(Xact 625i)與手動採樣 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分迴歸分析 .....	388
圖 4.7.3 採樣期間自動儀器(Xact 625i)與手動採樣 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分小時值迴歸分析 ....	390

## 表 目 錄

表 3.2.1 採樣監測站相關資訊.....	28
表 3.2.2 微粒水溶性離子以離子層析儀分析的偵測極限.....	55
表 3.2.3 DRI 2001A 碳分析儀各加熱階段與溫度範圍.....	57
表 3.2.4 濾紙樣本第一階段微波消化升溫設定條件.....	61
表 3.2.5 濾紙樣本第二階段微波消化升溫設定條件.....	61
表 3.2.6 感應耦合電漿質譜儀分析設定參數.....	63
表 3.2.7 濾紙準備與分析檢查項目.....	66
表 3.2.8 現場採樣 QA/QC 檢查項目.....	68
表 3.2.9 採樣程序檢查項目方法和頻率.....	69
表 3.2.10 PM <sub>2.5</sub> 採樣器維護檢查項目.....	72
表 3.2.11 實驗室 QA/QC 檢查項目.....	73
表 3.2.12 各量測項目的數據品質目標.....	74
表 3.2.13 PM <sub>2.5</sub> 化學成分各量測項目的數據品質目標符合度 (李等, 2016).....	76
表 3.2.14 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素成分資料準確度與精密度 (李等, 2016).....	77
表 3.2.15 現場取樣作業樣品管制.....	78
表 3.2.16 檢驗室作業樣品管制.....	78
表 3.2.17 儀器校正頻率.....	81
表 3.2.18 績效查核與系統查核及頻率.....	83
表 3.2.19 改正措施之依據及步驟.....	84
表 3.3.1 PMF 濃度矩陣及不確定矩陣計算方法.....	89
表 4.1.1 MetOne SASS 成分採樣器等效性評估與質量濃度比對結果.....	105
表 4.1.2 BGI PQ200 質量濃度採樣器等效性評估與質量濃度比對結果.....	105
表 4.1.3 MetOne E-FRM 質量濃度採樣器等效性評估與質量濃度比對結果.....	106
表 4.1.4 (A) 採樣前平行比對 (12 月 19 日) PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度表.....	108
表 4.2.1 花蓮站任務型採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	114
表 4.2.2 花蓮站 PM <sub>2.5</sub> 任務型採樣期間質量濃度及化學成分濃度.....	118
表 4.2.3 花蓮站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素每日濃度 (ng m <sup>-3</sup> ).....	121
表 4.2.4 花蓮站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素每日富集因子數值.....	122
表 4.2.5 斗六站任務型採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	125
表 4.2.6 斗六站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度.....	128
表 4.2.7 斗六站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素每日濃度 (ng m <sup>-3</sup> ).....	131
表 4.2.8 斗六站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素每日富集因子數值.....	132
表 4.2.9 嘉義站任務型採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	135
表 4.2.10 嘉義站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度.....	139
表 4.2.11 嘉義站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素每日濃度 (ng m <sup>-3</sup> ).....	143
表 4.2.12 嘉義站任務型採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 金屬元素每日富集因子數值.....	144
表 4.3.1 板橋站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	148
表 4.3.2 忠明站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	164
表 4.3.3 斗六站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	180
表 4.3.4 嘉義站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	196
表 4.3.5 小港站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	214
表 4.3.6 花蓮站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子.....	234
表 4.4.1 各站 2017 年例行性採樣期間 PM <sub>2.5</sub> 主要化學成分濃度.....	251

表 4.4.2 各站例行性採樣期間冬季測站元素濃度平均值 ( $\text{ng m}^{-3}$ )與標準偏差.....	257
表 4.4.3 各站例行性採樣期間春季測站元素濃度平均值 ( $\text{ng m}^{-3}$ )與標準偏差.....	258
表 4.4.4 各站例行性採樣期間夏季測站元素濃度平均值 ( $\text{ng m}^{-3}$ )與標準偏差.....	259
表 4.4.5 各站例行性採樣期間秋季測站元素濃度平均值 ( $\text{ng m}^{-3}$ )與標準偏差.....	260
表 4.4.6 各站例行性採樣期間冬季元素濃度占修正後 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例.....	261
表 4.4.7 各站例行性採樣期間春季元素濃度占修正後 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例.....	262
表 4.4.8 各站例行性採樣期間夏季元素濃度占修正後 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例.....	263
表 4.4.9 各站例行性採樣期間秋季元素濃度占修正後 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例.....	264
表 4.4.10 2017 年 1 月至 11 月觀測期間各測站 $\text{PM}_{2.5}$ 水溶性離子揮發與修正.....	267
表 4.4.11 例行性採樣期間 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度大於 $35 \mu\text{g m}^{-3}$ 污染來源及判別特徵.....	271
表 4.4.12 例行性採樣期間 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度大於 $35 \mu\text{g m}^{-3}$ 污染來源及判別特徵(續).....	272
表 4.4.13 各測站修正後 $\text{NO}_3^-$ 濃度與晨間(7:00~9:00) $\text{NO}_x$ 濃度相關性(R) .....	302
表 4.5.1 板橋站 PMF 推估因子整年與季節貢獻占比.....	309
表 4.5.2 忠明站 PMF 推估因子整年與季節貢獻占比.....	315
表 4.5.3 斗六站 PMF 推估因子整年與季節貢獻占比.....	322
表 4.5.4 嘉義站推估因子整年與季節貢獻占比.....	328
表 4.5.5 小港站推估因子整年與季節貢獻占比.....	334
表 4.5.6 花蓮站推估因子整年與季節貢獻占比.....	340
表 4.5.7 各監測站大氣能見度迴歸模式 Backward Stepwise Regression 選取自變數及統計分析資訊(T, $^{\circ}\text{C}$ ), RH(%)) .....	342
表 4.6.1 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分監測技術發展.....	356
表 4.6.2 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分監測與影響因子.....	364
表 4.6.3 解析 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分受體模式污染來源.....	370
表 4.6.4 $\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度及化學成分與大氣能見度.....	376
表 4.6.5 執行 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分解析評估管制策略.....	380
表 4.7.1 Xact 625i、625、ICP-MS 可分析金屬元素種類比較 (◎代表可分析).....	383
表 4.7.2 新型與舊型自動儀器相關係數(R)比對結果(灰色代表相關係數大於 0.89).....	386
表 4.7.3 自動儀器(Xact 625 與 Xact 625i)分別與手動採樣(ICP-MS)元素相關係數 (灰色代表相關係數大於 0.6) .....	386
表 4.7.4 自動儀器日平均濃度與參考方法 (ICP-MS)差異百分比 (%).....	392
表 4.7.5 監測期間儀器運轉率相關資料.....	393
表 4.7.6 新舊型自動儀器各金屬元素物種低於偵測極限(BDL)占比 .....	394

計畫名稱: 細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分監測與分析計畫  
計畫編號: EPA-105-U102-03-A284

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、蕭大智、許文昌

計畫期程: 2016 年 10 月 20 日起至 2017 年 12 月 31 日止

計畫經費: 32,000,000 元

## 摘 要

本計畫執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測，於 2016 年 11 月底至 12 月初在斗六、嘉義、花蓮環保署空氣品質監測站進行連續 8 天任務型採樣，2017 年 1 月至 11 月，在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮測站進行每 6 天一次例行性採樣。這兩種型態採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署監測站連續監測濃度的時間變化趨勢具有一致性，顯示採樣結果具有代表性。

各站 2017 年 1 月至 11 月例行性採樣，由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度分別為 11、20、23、28、28、29  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。四季 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度變化，大致呈現夏季最低，秋季升高，冬、春濃度高於秋季。冬季小港站擴散條件較差，又受到上風區域污染傳輸影響，濃度為 6 站最高，春季濃度最高站點在斗六，嘉義站濃度非常接近，這兩個站點常有相近高污染濃度發生；夏季以板橋站濃度最高，秋季則以小港站濃度最高。採樣過程 PM<sub>2.5</sub> 化學成分會有揮發及吸附，若僅使用單張濾紙，水溶性無機離子將會低估  $\text{NH}_4^+$  濃度 6%~20%、低估  $\text{NO}_3^-$  濃度 4%~54%，也會低估  $\text{Cl}^-$  濃度 19%~62%。碳成分在高 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時則正干擾(吸附)影響較為顯著。各站各季節 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度占比最高化學成分：冬季板橋與忠明站為  $\text{SO}_4^{2-}$ ，斗六、嘉義、小港站為  $\text{NO}_3^-$ ，花蓮站為 OC；春季板橋、忠明、花蓮站為  $\text{SO}_4^{2-}$ ，斗六、嘉義、小港站為  $\text{NO}_3^-$ ；夏季板橋、忠明站為 OC，其餘各站為  $\text{SO}_4^{2-}$ ；秋季各站都是以  $\text{SO}_4^{2-}$  為主。以日平均濃度 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  為分界，採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 低濃度(日平均濃度為 17  $\mu\text{g m}^{-3}$ , n=266)相對於高濃度(日平均濃度為 46  $\mu\text{g m}^{-3}$ , n=70)樣本，PM<sub>2.5</sub>  $\text{NO}_3^-$  占比從 11% 增大到 24%，



其他成分則縮小或不變，顯示  $\text{PM}_{2.5}$   $\text{NO}_3^-$  前驅物  $\text{NO}_x$  排放源的管制應該加強。各站  $\text{PM}_{2.5}$  金屬元素成分最高兩種分別為 Na 和 K，顯示受海風、地殼塵土逸散、生質燃燒影響大。計算各站金屬元素富集因子，指出地殼、燃煤、交通排放為重要排放源。彙整各次採樣  $\text{PM}_{2.5}$  濃度大於  $35 \mu\text{g m}^{-3}$  事件污染來源，得出大部分事件都是區域傳輸、擴散不佳、發生光化學反應所造成，僅少數來自境外傳輸。

綜合 6 個測站 PMF 受體模式推估結果，各測站主要污染因子都以「二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這兩類富含衍生污染物的因子為主，其中，二次硝酸鹽於冬季占比較高，二次硫酸鹽則在夏季有較高占比，突顯各季節污染源變化特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放」這個因子在夏季有最高的污染占比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。大氣能見度推估顯示各監測地區影響能見度最大的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分為  $\text{NH}_4^+$  或  $\text{SO}_4^{2-}$ ，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀。在  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分技術評估方面，本年度彙整 34 篇相關國際文獻。

**關鍵詞：** $\text{PM}_{2.5}$  化學成分監測、 $\text{PM}_{2.5}$  化學成分時間與空間分布特徵、推估  $\text{PM}_{2.5}$  污染來源及能見度影響因子

## 英文摘要

### Abstract

This study conducted an assigned mission of PM<sub>2.5</sub> chemical speciation monitoring at Douliu, Chiayi, and Hualien air quality monitoring sites of Environmental Protection Administration for continuous eight days from the end of November to early December in 2016. In contrast, regular PM<sub>2.5</sub> chemical speciation monitoring at Banqiao, Zongming, Douliu, Chiayi, Xiaogang, and Hualien were implemented on a shift of every 6 days starting from January to November in 2017. PM<sub>2.5</sub> mass concentrations from these two types of collection varied consistently with those of continuous monitoring stations which indicated the achievement of representative collections of PM<sub>2.5</sub>.

PM<sub>2.5</sub> daily averages, from January to November 2017, were 11, 22, 23, 28, 28, and 29  $\mu\text{g m}^{-3}$ , respectively, at the sites from east and north and south of Taiwan. Seasonal variations of PM<sub>2.5</sub> mass concentration are with a pattern of the lowest in summer, higher than summer in autumn, and further up in winter and spring. In the winter time, the Xiaogang site was with the highest concentration due to bad environmental ventilation and the influence from upstream transport. In spring, the Douliu site ranked the highest but Chiayi was close to it especially for high concentration events. The Banqiao site became the highest in summer, while Xiaogang site claimed the highest in autumn. Volatilization and adsorption of PM<sub>2.5</sub> chemical components were evaluated during collection. Underestimates of 6%~20% from  $\text{NH}_4^+$ , 4%~54% from  $\text{NO}_3^-$ , and 19%~62% from  $\text{Cl}^-$  were found if only a single filter was installed for PM<sub>2.5</sub> collection. Carbonaceous contents were with more negative interferences (volatilizations) in high PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in contrast to prominent positive interferences (adsorptions) in low PM<sub>2.5</sub> mass concentrations. The highest levels of PM<sub>2.5</sub> chemical component at each site for various seasons are as follows. In winter,  $\text{SO}_4^-$  was the highest chemical component at the Banqiao and Zongming sites,  $\text{NO}_3^-$  at the sites of Douliu, Chiayi and Xiaogang, and OC at the Hualien site, respectively. Whereas  $\text{SO}_4^-$  was the greatest component at the Banqiao, Zongming, and Hualien sites and  $\text{NO}_3^-$  at Douliu, Chiayi, and Xiaogang sites in spring. The OC was the highest component at the Banqiao and Zongming sites in contrast to  $\text{SO}_4^-$  at the other sites in summer. Interestingly, a unanimous highest  $\text{SO}_4^-$  level of chemical components was found for all sites in autumn. Splitting from daily

average at  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ , the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{PM}_{2.5}$  for low  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations ( $17 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $n=266$ ) relative to high  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations ( $46 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $n=70$ ) was elevated from 11% to 24% while other components shrank or unchanged. This indicates a need of stringent control of  $\text{NO}_x$  emission sources, which is  $\text{PM}_{2.5}$   $\text{NO}_3^-$  precursor. The highest two of  $\text{PM}_{2.5}$  metal elements are Na and K with the implication of the significant influences of sea-salt, fugitive crustal dust, and biomass burning. The computations of enrichment factor across all sites showed that fugitive crustal dust, coal combustion, and traffic emissions were important sources. Summarizing all events of  $\text{PM}_{2.5}$  concentrations greater than  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ , this study found most events were under the influence of regional transport, bad ventilation, and photochemical reactions with only few from transboundary transport.

In summarizing PMF receptor modeling results for the 6 sites, the major pollution factors across all sites are derivative types of factor such as secondary aerosol, secondary nitrate, and secondary sulfate. These factors have high  $\text{PM}_{2.5}$  contribution ratios mostly in spring and winter. The factor next to derivative type was traffic emissions with high but steady  $\text{PM}_{2.5}$  contribution ratio in summer which indicated traffic emissions was important in low  $\text{PM}_{2.5}$  time period. The estimation of atmospheric visibility showed that corrected  $\text{NH}_4^+$  or  $\text{SO}_4^{2-}$  was the major  $\text{PM}_{2.5}$  chemical species influencing visibility at each individual site. This implies that the effects from derivative pollutants on atmospheric visibility are significant. For the assessment of  $\text{PM}_{2.5}$  chemical speciation techniques, 34 related international papers were collected and reviewed.

Keywords:  $\text{PM}_{2.5}$  chemical speciation, Temporal and spatial distribution of  $\text{PM}_{2.5}$  chemical components, Source apportionment of  $\text{PM}_{2.5}$  and visibility influencing factors

---

## 前 言

細懸浮微粒(氣動粒徑小於或等於 2.5  $\mu\text{m}$  懸浮微粒，或稱為  $\text{PM}_{2.5}$ )對於大氣環境變遷和國民健康危害影響重大，每年在秋、冬之際氣流滯留環境下，發生  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度往往引起民眾高度關注，人人期待各地  $\text{PM}_{2.5}$  能早日達到空氣品質標準。對於  $\text{PM}_{2.5}$  空氣品質改善，污染來源解析可以提供重要指引訂定污染源管制策略，以減少  $\text{PM}_{2.5}$  產生。然而，大氣環境中  $\text{PM}_{2.5}$  來源廣泛，各種不同來源的匯集使  $\text{PM}_{2.5}$  有不同化學成分，因此，剖析  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分為污染來源解析前必要的工作。為能確實監測大氣  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分，考量有些成分在量測時容易揮發或是受到前驅氣體干擾，必須審慎地進行採樣與實驗分析方能釐清其濃度。因此，進行微粒採樣及成分分析，需選擇能矯正  $\text{PM}_{2.5}$  某些易揮發化學成分及去除其前驅氣體干擾的方法，而且還要能偵測出大部份  $\text{PM}_{2.5}$  質量的化學成分。在過去，本計畫已使用能矯正各項成分干擾量測方法來監測大氣  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分(李等，2012; 2013; 2015; 2016)，並獲有相當成果，惟大氣  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分監測必須持續進行方能有效評估大氣環境變遷、國民健康效應、管制策略成效。本計畫旨在建構國家級細懸浮微粒( $\text{PM}_{2.5}$ )化學成分監測網、執行  $\text{PM}_{2.5}$  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、評估微粒成分自動監測適宜性。

## 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，解析其時間與空間分布特徵及影響因素，本年度有兩種採樣類型，分別是 2016 年 12 月份在斗六、嘉義、花蓮 3 站進行連續 8 天的「任務採樣」，2017 年 1 月份開始，每 6 天一次在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮站進行的「例行採樣」。本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、 $\text{PM}_{2.5}$  採樣設備及方法、去除大氣干擾物方法、 $\text{PM}_{2.5}$  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。

## 結 果

本章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：採樣前儀器平行比對、任務型採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、例行性採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、PM<sub>2.5</sub> 化學成分特徵及引申意義、各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源推估與影響能見度的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子、蒐集國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測經驗與最新技術發展、PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分自動採樣儀器適宜性評估、細懸浮微粒採樣監測分析品保作業等 8 個小節。

採樣前儀器平行比對顯示：10 部 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採樣器和 10 部 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣器都符合美國環保署 FRM 採樣器參考方法濃度變化規範。新購置 MetOne SASS 化學成分採樣器，使用前需將塗覆 MgO 蜂巢管進行清洗。使用前須將管壁上固體 MgO 碎屑去除，避免實驗分析時發生  $Mg^{2+}$  過高現象。任務型採樣期間，花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分以  $SO_4^{2-}$  濃度最高，斗六站化學成分以修正後有機碳為主，嘉義站以修正後有機碳為主，此外，嘉義站  $NO_3^-$  比其他兩站有較高濃度，顯示嘉義站受在地污染影響大。2017 年 1 月開始的例行性指出：由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度逐漸升高，冬季以小港站平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度最高，春季季節平均最高濃度為嘉義站，夏季各站都是各季節的最低濃度，以板橋站季節平均濃度最高，秋季季節平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度以小港站最高，花蓮站在任何季節平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度都是各站最低。6 個測站冬季以及春季化學成分占比：由北至南  $SO_4^{2-}$  占比明顯下降， $NO_3^-$  占比則呈現由北至南逐漸上升的趨勢，OC 占比變化趨勢與  $SO_4^{2-}$  同樣呈現由北至南逐漸下降趨勢。6 個測站夏季以及秋季  $SO_4^{2-}$  占比除了花蓮較高外，其餘西部各站占比相似，意謂全島背景  $SO_4^{2-}$  的存在， $NO_3^-$  占比在夏季明顯低於各季節，以中、南部測站較高，秋季  $NO_3^-$  占比各站都上升，以中、南部上升幅度較為明顯。各金屬元素季節及區域分布顯示，海鹽(Na、Mg)與塵土(Al、Fe、Ca)指標元素受季風影響，冬季北高南低，夏季小港、花蓮站高，北部較低；交通指標元素 Zn、Sb 在冬季忠明、斗六、嘉義站，有較高富集因子，夏季則是板橋有較高富集因子；燃油燃燒指標元素 V、Ni 則在小港站有較高濃度占比，且明顯高於其他測站；鋼鐵業指標元素 Pb 與 Mo 也有相似的現象，表示小港受到較多的工業污染影響。採樣過程中，樣本 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子和有機碳成分有不等程度揮發與吸附，若使用單張

濾紙採集水溶性離子將會低估  $\text{NH}_4^+$  濃度 6~20%、 $\text{NO}_3^-$  濃度 4~54%、 $\text{Cl}^-$  濃度 19~62%，夏季受到環境溫度高影響，揮發量最高；碳成分在高  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時正干擾(吸附)影響較為顯著，花蓮站樣本卻顯示都是正干擾(吸附)較為顯著，另外，各站各時期揮發性有機氣體吸附量都在  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  以內。彙整各地區污染事件( $\text{PM}_{2.5}$  濃度大於  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ )，天數明顯由北至南部遞增。主要污染來源分為在地排放、區域污染傳輸、以及境外污染傳輸三大類，北部板橋站與南部小港站大多以在地污染事件為主，在地污染事件大多與污染擴散不佳有關，中、南部(斗六和嘉義站)除了在地污染還受到區域污染傳輸影響。彙整高污染物濃度事件發現，東北風較弱時，中部污染物濃度明顯高於南部小港站，當東北風較強時，污染物由北可傳遞至南部，此時小港站污染物濃度受到在地與污染傳輸影響明顯高於雲嘉空品區。彙整採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )和低濃度( $< 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )樣本檢測的化學成分占  $\text{PM}_{2.5}$  濃度比例，發現： $\text{PM}_{2.5}$  高濃度族群比起低濃度族群，有明顯  $\text{NO}_3^-$  增大現象(24 % vs. 11 %)，與上兩年度結果相似，顯示  $\text{PM}_{2.5}$   $\text{NO}_3^-$  前驅  $\text{NO}_x$  排放源管制仍有待加強。監測金屬元素新型自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)在麥寮與大城地區共四季比對結果，相關性較佳( $R > 0.6$ )的金屬元素有 As、Ba、Ca、Cu、Ce、Fe、Ge、K、Mn、Pb、Sr、V、Zn，其中 V、As 相關係數(R)高達 0.9，斜率分別為 0.84 與 0.65 (ICP-MS 值為 X 軸)。金屬元素自動儀器與手動儀器量測值，Cu、Fe、K、Zn 有較大的斜率(ICP-MS 值為 X 軸)，斜率為 1.22~1.53，顯示各金屬元素自動儀器可能有 22~53%左右的高估，其餘相關性較佳的金屬元素則是有較小斜率，如 Sr、V、As，則出現低估；濃度低金屬元素差異大，顯示低濃度金屬元素在兩種儀器間穩定性較差。受體模式推估結果顯示各測站主要污染因子都以「二次氣膠、二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這三類富含衍生污染物的因子為主，這些因子大多在春季與冬季有較高占比，突顯污染濃度高的季節污染源特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放、交通衍生污染」這些因子主要在夏季有最高的污染占比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。大氣能見度推估結果顯示各監測地區影響能見度最大的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分為修正後  $\text{NH}_4^+$  或  $\text{SO}_4^{2-}$ ，呼應受體模式推估結果，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀；此外，氣象因子的環境相對濕度和溫度也有明顯的影響。在國際間  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分採樣檢測經驗與最新技術發展方面，本計畫彙整並解讀  $\text{PM}_{2.5}$  化學成

分監測技術、PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子、解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受體模式解析污染來源、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分些評估管制策略等 5 個議題共 34 篇文獻。

## 結 論

本計畫 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測及資料分析整體成果，各項結論呈現係依照年度工作目標順序，可濃縮歸納為：新購置儀器平行比對並無系統性偏差、例行性手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署測站連續監測濃度季節變化趨勢相當一致、北、中、南部 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度有季節變化趨勢、各站各季節 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度占比有區域性差異、若無干擾修正水溶性離子將低估、碳成分則高估、高濃度樣本 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 佔 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度比例增大、大部分 PM<sub>2.5</sub> 事件都是在地擴散不佳、區域傳輸的因素造成、PMF 受體模式和能見度模式推估指出「二次氣膠」是最主要污染類別、本年度有 34 篇國際文獻彙整。

本計畫已完成下列工作：2016 年 11 月底至 12 月初斗六、嘉義、花蓮 3 站任務型採樣、2017 年採樣前 MetOne SASS 成分採樣器的化學成分分析比對及 FRM 採樣器質量濃度比對、2017 年 1 至 11 月底例行性每 6 天北、中、南、東部 6 站同步採樣一次。各樣本 PM<sub>2.5</sub> 化學成分經分析後，彙整成果如下：

1. MetOne SASS 化學成分採樣器與 MetOne E-FRM 採樣器在儀器比對期間濃度無明顯差異，儀器標準偏差分別為 0.4~1.6  $\mu\text{g m}^{-3}$  以及 0.1~0.2  $\mu\text{g m}^{-3}$  ( $<2 \mu\text{g m}^{-3}$ )，相對標準偏差 RP<sub>j</sub> 值分別為 1.8~5.4% 以及 0.6~1.3% ( $<5\%$ )，並無系統性偏離，符合美國 FEM 等似儀器類型 I 規範。
2. 新購置 MetOne SASS 化學成分採樣器，所使用塗覆 MgO 蜂巢管使用前須將管壁上固體 MgO 碎屑去除，避免實驗分析時發生 Mg<sup>2+</sup> 過高現象。
3. 任務型採樣期間，花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度最高，其次為修正後有機碳，期間有受到北部或境外污染傳輸影響；斗六站化學成分以修正後有機碳為主，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，值得注意的是，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有相當高的占比，推測與在地污染源有關；嘉義站以修正後有機碳為主，其次為 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 或 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，此外，嘉義站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 比其他兩站有較高濃度，顯示嘉義站受在地污染影響大。
4. 2017 年 1 月至 11 月底例行性採樣結果顯示：由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度分別為 11、20、23、28、28、29  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。冬季西部地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度

由北至南逐漸遞增，以小港站平均  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度最高，春季季節平均最高濃度為嘉義站，斗六站濃度非常接近，最高日平均濃度且出現在斗六站；夏季各站都是各季節的最低濃度，以板橋站季節平均濃度最高；秋季季節平均  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度以小港站最高，其次為嘉義及斗六站，流場模式顯示本季東北季風強度不足，區域污染傳輸主要影響地區為斗六和嘉義站。花蓮站在任何季節平均  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度都是各站最低，花蓮站環境風速普遍高於  $2 \text{ m s}^{-1}$  以上，通風環境良好。

5. 從 6 個測站冬季以及春季化學成分占比變化可發現，由北至南  $\text{SO}_4^{2-}$  占比明顯下降，花蓮站  $\text{SO}_4^{2-}$  占比與板橋站相似，可由軌跡資料發現花蓮站氣流來向與北部有相當關連性； $\text{NO}_3^-$  占比則呈現由北至南逐漸上升的趨勢，表示由北至南在地污染源排放影響逐漸增加；OC 占比變化趨勢與  $\text{SO}_4^{2-}$  同樣呈現由北至南逐漸下降趨勢。
6. 從 6 個監測地區夏季以及秋季化學成分占比變化可發現， $\text{SO}_4^{2-}$  占比除了花蓮由於  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較低導致  $\text{SO}_4^{2-}$  占比較高外，其餘西部各站占比相似，意謂全島背景  $\text{SO}_4^{2-}$  的存在，秋季各站間變動則不如冬季與春季大； $\text{NO}_3^-$  占比在夏季受到環境氣溫上升影響，明顯低於各季節，以中、南部測站較高，秋季  $\text{NO}_3^-$  占比各站都上升，以中、南部上升幅度較為明顯，主要受到 9 月下旬與 10 月初污染事件影響，另外小港 11 月開始受到擴散條件不佳影響， $\text{NO}_3^-$  也有明顯增長。
7. 各金屬元素季節及區域分布顯示，海鹽(Na、Mg)與塵土(Al、Fe、Ca)指標元素受季風影響，冬季北高南低，夏季小港、花蓮站高，北部較低；交通指標元素 Zn、Sb 在冬季忠明、斗六、嘉義站，有較高富集因子，夏季則是板橋有較高富集因子；燃油燃燒指標元素 V、Ni 則在小港站有較高濃度占比，且明顯高於其他測站；鋼鐵業指標元素 Mo 也有相似的現象，表示小港受到較多的工業污染影響。
8. 採樣過程中，樣本  $\text{PM}_{2.5}$  水溶性離子和有機碳成分有不等程度揮發與吸附，若使用單張濾紙採集水溶性離子將會低估  $\text{NH}_4^+$  濃度 6~20%、 $\text{NO}_3^-$  濃度 4~54%、Cl 濃度 19~62%，夏季受到環境溫度高影響，揮發量最高；碳成分在高  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時正干擾(吸附)影響較為顯著，花蓮站樣本卻顯示都是正干擾(吸附)較為顯著，另外，各站



各時期揮發性有機氣體吸附量都在  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  以內。

9. 彙整各地區污染事件( $\text{PM}_{2.5}$  濃度大於  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ )，天數明顯由北至南部遞增。主要污染來源分為在地排放、區域污染傳輸、以及境外污染傳輸三大類，北部板橋站與南部小港站大多以在地污染事件為主，在地污染事件大多與污染擴散不佳有關，中、南部(斗六和嘉義站)除了在地污染還受到區域污染傳輸影響。
10. 彙整高污染物濃度事件發現，東北風較弱時，中部污染物濃度明顯高於南部小港站，污染物傳輸至雲嘉南空品區後就不再向南推送，而是往嘉義或中央山脈山邊累積；當東北風較強時，污染物由北可傳遞至南部，此時小港站污染物濃度受到在地與污染傳輸影響明顯高於雲嘉空品區。
11. 彙整採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )和低濃度( $< 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )樣本檢測的化學成分占  $\text{PM}_{2.5}$  濃度比例，發現： $\text{PM}_{2.5}$  高濃度族群比起低濃度族群，有明顯  $\text{NO}_3^-$  增大現象(24 % vs. 11 %)，與上兩年度結果相似，顯示  $\text{PM}_{2.5} \text{NO}_3^-$  前驅  $\text{NO}_x$  排放源管制仍有待加強。
12. 監測金屬元素新型自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)在麥寮與大城地區共 4 季比對結果，相關性較佳( $R > 0.6$ )的金屬元素有 As、Ba、Ca、Cu、Fe、K、Mn、Pb、Rb、Sr、Ti、V、Zn，其中 V、As 相關係數(R)高達 0.9，斜率分別為 0.84 與 0.65 (ICP-MS 值為 X 軸)。
13. 金屬元素自動儀器與手動儀器量測值，Cu、Fe、K、Zn 有較大的斜率(ICP-MS 值為 X 軸)，斜率為 1.22~1.53，顯示各金屬元素自動儀器可能有 22~53% 左右的高估，其餘相關性較佳的金屬元素則是有較小斜率，如 Sr、V、As，則出現低估；濃度低金屬元素差異大，顯示低濃度金屬元素在兩種儀器間穩定性較差。
14. 受體模式推估結果顯示各測站主要污染因子都以「二次氣膠、二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這三類富含衍生污染物的因子為主，這些因子大多在春季與冬季有較高占比，突顯污染濃度高的季節污染源特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放、交通衍生污染」這些因子主要在夏季有最高的污染占比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。
15. 大氣能見度推估結果顯示各監測地區影響能見度最大的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分為修正後  $\text{NH}_4^+$  或  $\text{SO}_4^{2-}$ ，呼應受體模式推估結果，顯示衍生污染物對於能見

度的影響相當可觀；此外，氣象因子的環境相對濕度和溫度也有明顯的影響。

16. 在國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術發展方面，本計畫彙整並解讀 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測技術、PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子、解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受體模式解析污染來源、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分評估管制策略等 5 個議題共 34 篇文獻。

### 建議事項

1. PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測在世界各國雖尚無標準實驗分析方法，本計畫的實驗分析方法建請有關單位參考建置為通用方法。
2. 本計畫監測的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分可提供細懸浮微粒健康風險評估及大氣模式模擬驗證評估，可進一步延伸應用層面。
3. 未來可考慮檢測 PM<sub>2.5</sub> 化合物型態，以尋找有機污染源排放指標化合物。

## 報告大綱

本報告分成六章，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。第一章「背景」，說明本計畫緣起、重要性、主要工作內容。第二章「前言」，列出本計畫四項主要目標、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」，包括分成 PM<sub>2.5</sub> 採樣計畫、實驗分析方法、數據分析方法。為執行細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分採樣檢測作業，解析其時間與空間分布特徵及影響因素，本年度有兩種採樣類型，分別是 2016 年 12 月份依照環保署指示，選擇在斗六、嘉義、花蓮 3 站進行連續 8 天的「任務採樣」，2017 年 1 月份開始，每 6 天一次在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮站進行的「例行採樣」。本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，內容呈現各項儀器比對量測量化成果，包括採樣前、後儀器平行比對、任務型與例行採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、PM<sub>2.5</sub> 化學成分特徵及引申意義、各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源與影響能見度的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子、蒐集國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測經驗與最新技術發展、評估微粒成分自動監測適宜性。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」。

# 執行摘要

## 計畫目的

本計畫旨在建構國家級細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測網；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；評估微粒成分自動監測適宜性。

## 成果

本章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：採樣前儀器平行比對、任務型採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、例行性採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、PM<sub>2.5</sub> 化學成分特徵及引申意義、各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源推估與影響能見度的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子、蒐集國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測經驗與最新技術發展、PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分自動採樣儀器適宜性評估、細懸浮微粒採樣監測分析品保作業等 8 個小節。

採樣前儀器平行比對顯示：10 部 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採樣器和 10 部 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣器都符合美國環保署 FRM 採樣器參考方法濃度變化規範。新購置 MetOne SASS 化學成分採樣器，使用前需將塗覆 MgO 蜂巢管進行清洗。使用前須將管壁上固體 MgO 碎屑去除，避免實驗分析時發生  $Mg^{2+}$  過高現象。任務型採樣期間，花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分以  $SO_4^{2-}$  濃度最高，斗六站化學成分以修正後有機碳為主，嘉義站以修正後有機碳為主，此外，嘉義站  $NO_3^-$  比其他兩站有較高濃度，顯示嘉義站受在地污染影響大。2017 年 1 月開始的例行性指出：由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度逐漸升高，冬季以小港站平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度最高，春季季節平均最高濃度為嘉義站，夏季各站都是各季節的最低濃度，以板橋站季節平均濃度最高，秋季季節平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度以小港站最高，花蓮站在任何季節平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度都是各站最低。6 個測站冬季以及春季化學成分占比：由北至南  $SO_4^{2-}$  占比明顯下降， $NO_3^-$  占比則呈現由北至南逐漸上升的趨勢，OC 占比變化趨勢與  $SO_4^{2-}$  同樣呈現由北至南逐漸下降趨勢。6 個測站夏季以及秋季  $SO_4^{2-}$  占比除了花蓮較高外，其餘西部各站占比相似，意謂全島背景  $SO_4^{2-}$  的存在， $NO_3^-$  占比在夏季明顯低於各季節，以中、南部測站較高，秋季

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占比各站都上升，以中、南部上升幅度較為明顯。各金屬元素季節及區域分布顯示，海鹽(Na、Mg)與塵土(Al、Fe、Ca)指標元素受季風影響，冬季北高南低，夏季小港、花蓮站高，北部較低；交通指標元素 Zn、Sb 在冬季忠明、斗六、嘉義站，有較高富集因子，夏季則是板橋有較高富集因子；燃油燃燒指標元素 V、Ni 則在小港站有較高濃度占比，且明顯高於其他測站；鋼鐵業指標元素 Pb 與 Mo 也有相似的現象，表示小港受到較多的工業污染影響。採樣過程中，樣本 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子和有機碳成分有不等程度揮發與吸附，若使用單張濾紙採集水溶性離子將會低估 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 濃度 6~20%、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度 4~54%、Cl<sup>-</sup> 濃度 19~62%，夏季受到環境溫度高影響，揮發量最高；碳成分在高 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時正干擾(吸附)影響較為顯著，花蓮站樣本卻顯示都是正干擾(吸附)較為顯著，另外，各站各時期揮發性有機氣體吸附量都在 1 µg m<sup>-3</sup> 以內。彙整各地區污染事件(PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35 µg m<sup>-3</sup>)，天數明顯由北至南部遞增。主要污染來源分為在地排放、區域污染傳輸、以及境外污染傳輸三大類，北部板橋站與南部小港站大多以在地污染事件為主，在地污染事件大多與污染擴散不佳有關，中、南部(斗六和嘉義站)除了在地污染還受到區域污染傳輸影響。彙整高污染物濃度事件發現，東北風較弱時，中部污染物濃度明顯高於南部小港站，當東北風較強時，污染物由北可傳遞至南部，此時小港站污染物濃度受到在地與污染傳輸影響明顯高於雲嘉空品區。彙整採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 高濃度(≥35 µg m<sup>-3</sup>)和低濃度(<35 µg m<sup>-3</sup>)樣本檢測的化學成分占 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例，發現：PM<sub>2.5</sub> 高濃度族群比起低濃度族群，有明顯 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 增大現象(24 % vs. 11 %)，與上兩年度結果相似，顯示 PM<sub>2.5</sub> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 前驅 NO<sub>x</sub> 排放源管制仍有待加強。監測金屬元素新型自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)在麥寮與大城地區共 4 季比對結果，相關性較佳(R>0.6)的金屬元素有 As、Ba、Ca、Cu、Ce、Fe、Ge、K、Mn、Pb、Sr、V、Zn，其中 V、As 相關係數(R)高達 0.9，斜率分別為 0.84 與 0.65 (ICP-MS 值為 X 軸)。金屬元素自動儀器與手動儀器量測值，Cu、Fe、K、Zn 有較大的斜率(ICP-MS 值為 X 軸)，斜率為 1.22~1.53，顯示各金屬元素自動儀器可能有 22~53%左右的高估，其餘相關性較佳的金屬元素則是有較小斜率，如 Sr、V、As，則出現低估；濃度低金屬元素差異大，顯示低濃度金屬元素在兩種儀器間穩定性較差。受體模式推估結果顯示各測站主要污染因子都以「二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這兩類富含衍生污染物的因子為

主，其中，二次硝酸鹽於冬季占比高，二次硫酸鹽則是在夏季占比高，突顯各季節污染源變化特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放」這個因子在夏季有最高的污染占比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。大氣能見度推估顯示各監測地區影響能見度最大的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分為 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 或 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀。在 PM<sub>2.5</sub> 化學成分技術評估方面，本年度彙整 34 篇相關國際文獻。

## 建議

1. PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測在世界各國雖尚無標準方法，但採樣及實驗分析使用的方法可參考本年度成果進行建置。
2. 本計畫監測的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分可提供大氣模式模擬進行驗證評估，以延伸應用層面。
3. 未來可考慮設置監測毒性空氣污染物如：戴奧辛、多環芳香烴監測網絡。

# 第一章 背景

## 章節摘要

本章簡述計畫背景，指出我國民眾關注 PM<sub>2.5</sub>，環保署也顯示決心改善 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質。對於 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質改善，有賴於合理污染源管制策略的訂定，因此，PM<sub>2.5</sub> 污染來源解析不可或缺。解析污染來源前必須精確分析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，對於大氣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分的精確分析，必須在微粒採樣及成分實驗分析方法選擇上，考量能矯正 PM<sub>2.5</sub> 某些易揮發化學成分及去除前驅氣體的干擾，而且還要能偵測出大部份 PM<sub>2.5</sub> 質量的化學成分，然後審慎地進行採樣與實驗分析方能釐清其濃度。本計畫旨在建構國家級細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測網、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、評估微粒成分自動監測適宜性。

細懸浮微粒(氣動粒徑小於或等於 2.5  $\mu\text{m}$  懸浮微粒，或稱為 PM<sub>2.5</sub>)對於大氣環境變遷和國民健康危害影響重大，自從 2012 年 5 月 14 日環保署正式發布細懸浮微粒空氣品質標準以來，各地 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度數值便引起全民重視。近年來，大陸持續發生霧霾事件，大陸中央電視台前記者柴靜的紀錄片「穹頂之下」吸引眾人目光注視環境污染，更加深我國民眾對於 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度關注程度，人人期望各地 PM<sub>2.5</sub> 能早日達到空氣品質標準。有鑒於此，環保署李應元署長 2016 年 4 月上任後宣布未來 2 年內，各縣市轄內空品測站發生紅色警戒日數（當日 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 54  $\mu\text{g m}^{-3}$ ）要減少 20%，4 年內減少 50%，降低民眾暴露在 PM<sub>2.5</sub> 危害等級的機會。對於 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質改善，有賴於合理污染源管制策略的訂定，因此，PM<sub>2.5</sub> 污染來源解析不可或缺。然而，大氣 PM<sub>2.5</sub> 來源廣泛，台灣地狹人稠，每個地方都有不同來源匯集，使 PM<sub>2.5</sub> 在不同的時間和地點有不同化學成分，因此，解析污染來源前必須精確分析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分。對於大氣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分的精確分析，必須考量有些化學成分在量測時容易揮發或是受到前驅氣體干擾，因此，在微粒採樣及成分實驗分析方法選擇上，需要考量能矯正 PM<sub>2.5</sub> 某些易揮發化學成分及去除前驅氣體的干擾，而且還要能偵測出大部份 PM<sub>2.5</sub> 質量的化學成分，然後審慎地進行採樣與實驗分析方能釐清其濃度。在過去，本計畫團隊使用能矯正各項干擾的量測方法監測大氣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分(李等，2012; 2013; 2015; 2016)，已經獲有相當成果，本年度將比往年

更擴增一倍採樣地點數目，並且每 6 天在 6 個地點同步進行例行性採樣一次，期能建構國家 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測網，有效評估大氣環境變遷、國民健康效應、污染源管制策略成效。

整體而言，本計畫旨在建構國家級細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測網、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、評估微粒成分自動監測適宜性。



## 第二章 前言

### 章節摘要

本章依據評選須知，列出年度工作目標含建構國家級細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測網、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業、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、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、評估微粒成分自動監測適宜性。

本計畫經費為 32,000,000 元，主要分為人事費、業務費、儀器購置費、及管理費等，其中人事費用包含計畫主持人、共同主持人、研究助理及兼任助理等人員費用，業務費則為細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分採樣及檢測儀器維護、維修、零件更換與樣本運送、辦公相關郵資影印費、人員差旅費用及雜支，儀器購置費包含 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採樣器 10 台、PM<sub>2.5</sub> 微粒成分濃度採樣器 10 台、採樣相關配件如：濾紙採樣罐、MgO 濾膜，管理費則為校務內部執行業務使用。

根據服務投標須知相關規定，本計畫的計畫目標如下：

- 一、建構國家級細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測網。
- 二、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業。
- 三、解析時間與空間分布特徵及影響因素。
- 四、評估微粒成分自動監測適宜性。

### 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下列各項：

#### (一) 各項工作內容說明

##### 一、建構國家級細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測站網

1. 購置 10 組 PM<sub>2.5</sub> 採樣設備（6 組常規、4 組備用），每組包含手動採樣器及成分採樣器各 1 台，應參考美國環保署 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣網(Speciation Trend Network/Chemical Speciation Network, STN/CSN)測站所使用之採樣器。設備歸屬為環保署所有，計畫結束後應送至環保署指定地點。

2. 於 105 年完成購置、比對及校正等作業，提交測試功能報告（含 1 年保固書，內容包含系統維護事項說明）經環保署核可後始得執行採樣作業。

## 二、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業

1. 採樣地點：
  - (1) 105 年：環保署斗六、嘉義及花蓮站（得視需要調整地點）同步執行採樣工作。
  - (2) 106 年：環保署板橋、忠明、斗六、嘉義、小港及花蓮站（得視需要調整地點）同步執行採樣工作。
2. 採樣儀器：
  - (1) 105 年：以環保署現有採樣器 Thermo R&P 2300 或由得標廠商自行準備並經環保署同意的採樣設備，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。
  - (2) 106 年：使用前述所購置之 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：
  - (1) 105 年：比照「104-105 年細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測計畫」，每個採樣地點連續採樣 7 次/季，每次採樣 24 小時，計有 1 季。
  - (2) 106 年：每個採樣地點每 6 天/次，高濃度季節視情況調整頻率。
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。

### 三、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觀測能見度之 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，並收集細懸浮微粒監測相關文獻至少 30 篇。

### 四、評估微粒成分自動監測適宜性

- 1. 於 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測站網或環保署指定測站擇 1 站與手動監測同步採樣，原則選定中部以南、高污染濃度地區，以評估自動監測可行性。

2. 採樣頻率為每季連續採樣 10 天，每次採樣 24 小時，共計 4 季。
3. 租用設備應與國際上 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣大多數測站使用的採樣器相同。

## (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) 105 年度部分，PM<sub>2.5</sub> 化學成分手動採樣儀器 (R&P2300 Speciation Sampler) 3 台為原則；環保署得視需求調整，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> 化學成分手動採樣儀器 (R&P2300 Speciation Sampler)，維護零件及相關耗材。
  - (2) 得標廠商應準備 R&P2300 Speciation Sampler 等同規格採樣設備至少 1 台，以確保採樣完整性。
  - (3) 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)
  - (4) 標準時鐘/計時器 ( $\leq\pm 5$  min)
  - (5) 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. 得標廠商需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，並提交第 1 次工作報告。
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. 得標商廠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）。

本計畫將在後續章節詳細敘述符合各項工作內容要求的工作方法。

## 2.2 目前工作進度及達成率

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	年別	105			106											
	月份	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 同步執行環保署斗六、嘉義及花蓮站 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業連續 7 次。			■													
2. 購置完成 10 組美國環保署 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣網 PM <sub>2.5</sub> 採樣設備，每組包含手動採樣器及成分採樣器各 1 台。				■	■											
3. 同步執行 6 站 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業，分析水溶性陰陽離子、碳成分及金屬元素，每 6 天執行 1 次。																
4. 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。																
5. 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。																
6. 完成微粒元素成分自動監測適宜性評估。						■			■		■		■			
7. 繳交第一次工作進度、期中、期末報告。		■				■					■				■	
預定進度累積百分比 (%)		10	20	30	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
查核點	預定完成時間				查核點內容說明											
第一次工作進度報告	得標後一個月內				採購 10 組 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣器、租借微粒元素自動監測儀、品保規劃書修正定稿											
第二次工作進度報告	完成 5 個月採樣				完成前 5 個月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析成果。											
第三次工作進度報告	完成 10 個月採樣				完成前 10 個月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析成果。											
期末報告	完成 15 個月採樣				完成前 15 個月 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分分析成果。											

## 第三章 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，包括：建構國家級細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測網所需購置手動採樣器及成分採樣器以及設備比對及測試方法，執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業的地點、時程、作業程序、PM<sub>2.5</sub> 採樣規畫、採樣儀器介紹、採樣去除大氣干擾物方法、實驗分析方法、實驗分析方法品管、檢測數據品保規劃說明、受體模式、能見度模式、以及評估微粒成分自動監測適宜性等項目。

為執行細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分採樣檢測作業，解析其時間與空間分布特徵及影響因素，本計畫有兩種採樣類型，分別是在 2016 年的斗六、嘉義、花蓮三站同步採樣一季 8 天次的「任務型採樣」，以及 2017 年每 6 天 1 次在板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮 6 站同步採樣的「例行性採樣」。

如前所述，本計畫目標包括：(一)、建構國家級細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測網；(二)、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業；(三)、解析時間與空間分布特徵及影響因素；(四)、評估微粒成分自動監測適宜性

底下本計畫簡要列出達成計畫目標的各種方法。

### 3.1 建構國家級細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測網

#### 3.1.1 手動採樣器及成分採樣器購置

美國環保署於西元 1997 年制定了國家空氣品質標準(National Ambient Air Quality Standard, NAAQS)，並於西元 2000 年成立國家 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測網 (Chemical Speciation Network, CSN)，監測站設置地區主要位於都會區與郊區，目的為透過監測網路制定更有效的管制策略。為了建立我國國家級監測網並考量台灣都會地區人口稠密特性，本計畫以美國監測都會區 PM<sub>2.5</sub> 化學成分的 CSN 做為參考依據，採購 CSN 使用的採樣器，在 CSN 監測網設置初期採樣器為 MetOne SASS (Spiral Ambient Speciation Sampler)、URG MAAS (Mass Aerosol Speciation Aampler)、Thermo Anderson RAAS (Reference Ambient Air Sampler)以及 R&P2300 Speciation Sampler，並於 2000 年至 2003 年進行儀器間

比對，最後於 2009 年中全面使用 MetOne SAAS，因此，本計畫成分採樣器採用 MetOne SASS 為 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣儀器。

### 3.1.2 設備比對及測試方法

正式進行採樣前，為了確認手動儀器結果的一致性及儀器狀況，本計畫將 PM<sub>2.5</sub> 成分採樣的 BGI PQ200 及 MetOne SASS 等儀器放置在中央大學工程四館頂樓，進行採樣前儀器平行比對。在整個實場採樣結束後，也將把各地採樣使用過的採樣器再搬回中央大學，進行採樣結束後平行比對。

為瞭解比對採樣儀器符合定量規範，本計畫採用美國規範 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度量測儀器等效性方法進行評估，其定量規範計算方法如公式(3.1)和(3.2)：

$$\bar{R}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{i,j} \quad \text{公式(3.1)}$$

i：採樣器數目編號，例如：第 i 部採樣器。

j：比對天數編號，例如：第 j 天次比對。

n：量測值總數量。

$\bar{R}_j$ ：第 j 天比對採樣器的平均濃度。

$R_{i,j}$ ：第 i 部採樣器在第 j 天量測濃度。

$$RP_j = \frac{1}{\bar{R}_j} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{i,j}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n R_{i,j})^2}{n-1}} \times 100\% \quad \text{公式(3.2)}$$

RP<sub>j</sub>：第 j 天比對的採樣器相對標準偏差。



## 3.2 執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業

### 3.2.1 採樣地點選擇及時程規劃

PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣計畫包括採樣地點選擇及時程規劃、細懸浮微粒採樣設備及方法、檢驗分析方法介紹、採樣前所有儀器比對、採樣及樣品檢測人員工作分配及時程規畫、採樣品保執行的簡要描述。根據服務投標須知相關規定，除了 2016 年在斗六、嘉義及花蓮測站以 R&P 2300 化學成分採樣器採樣一季外，2017 年開始將在板橋、忠明、小港、斗六、嘉義及花蓮測站以本計畫新購置採樣器每六天進行採樣一次，各採樣地點的地理位置如圖 3.2.1 所示。從民眾暴露 PM<sub>2.5</sub> 人數密度來看，板橋、忠明、小港站位於我國三大都會區，考量 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質標準的建立主要是保護民眾健康，從民眾暴露 PM<sub>2.5</sub> 人口密度及工業來源影響來看，板橋站為北部地區適當採樣站點，板橋站同時是環保署 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度常規監測站。忠明站位於台中都會區內，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 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度常規監測站，是相當適合採樣站點。小港站位於高雄市臨海重工業區，人口相當密集，可以同時反映民眾暴露於都市機動車輛和工業污染情形。斗六、嘉義地區的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，近年來在秋、冬季常有高濃度且比我國空氣品質標準日平均值高，常態監測這兩個站點，可瞭解兩個地區高濃度時期 PM<sub>2.5</sub> 污染特性。花蓮縣 PM<sub>2.5</sub> 接近空品標準，納入監測可做為與西部都會區比對的背景測站。各採樣地點位置、監測高度、空氣品質監測項目等資訊列於表 3.2.1。測站環境資料等資訊列於圖 3.2.2 至圖 3.2.7。

在採樣時程規劃上，本計畫依據評選須知要求，2016 年於 12 月份進行斗六、嘉義、花蓮三個測站每次採樣 24 小時，連續進行 7 天任務型採樣。2017 年 1 月 1 日開始，在每個採樣站進行每 6 天採樣 1 次的例行性採樣，高濃度季節再視情況調整頻率。依照前述規劃結果，列出採樣時程如圖 3.2.8。

為展現本計畫現場作業執程序，圖 3.2.9 將本計畫執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測作業地點、時程、工作量列出以供參考。

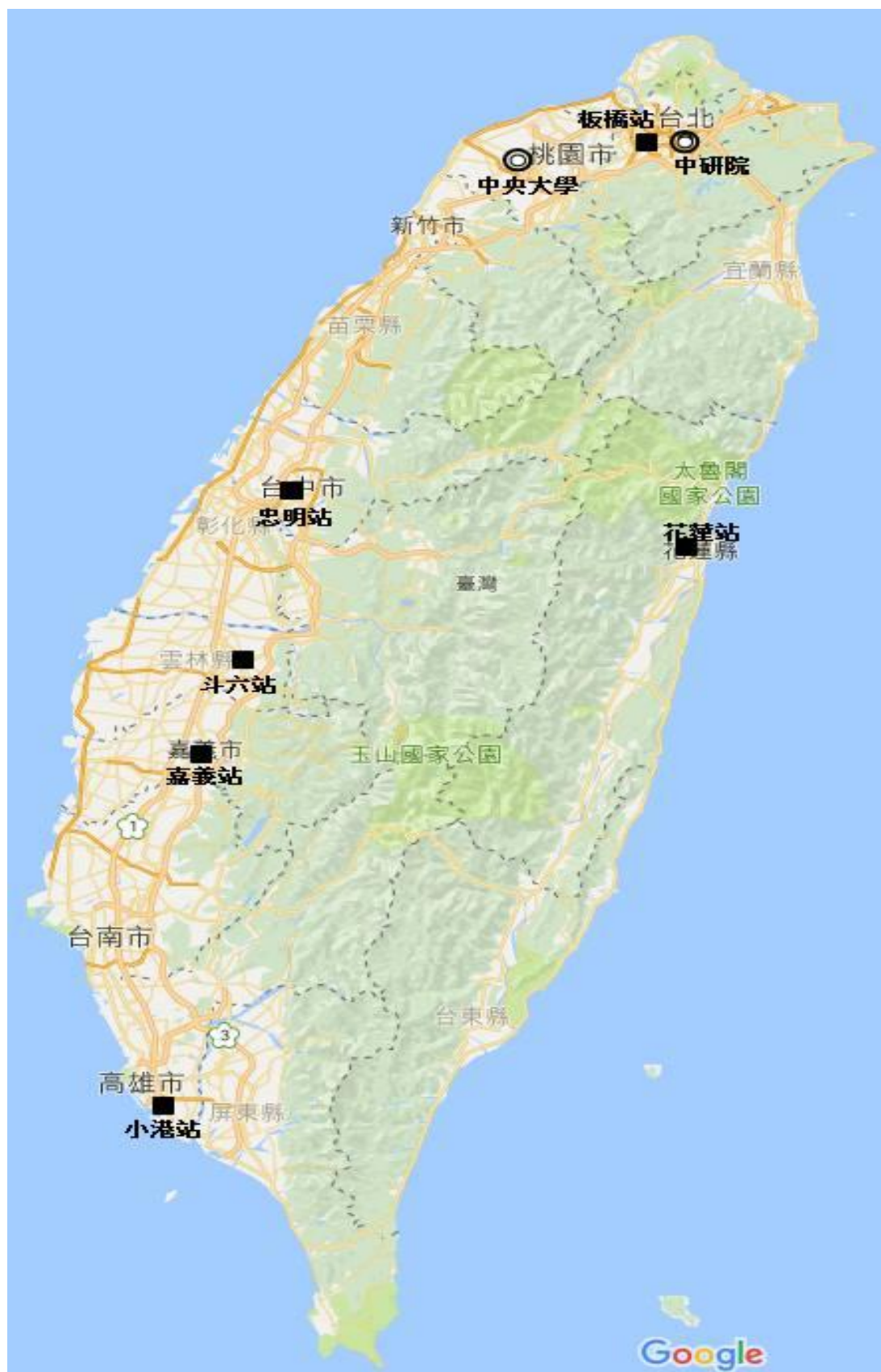


圖 3.2.1 採樣監測站地理位置(■代表採樣地點，◎為成分分析實驗室)

(地圖資料：<https://www.google.com.tw/maps>)

表 3.2.1 採樣監測站相關資訊

空品站 名稱	測站種類	監測項目	測站環 境高度	測站 位置	地 址
板橋	PM <sub>2.5</sub> 化學成分測站及質量濃度常規比對測站	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	15 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	PM <sub>2.5</sub> 化學成分測站及質量濃度常規比對測站	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	15 公尺	國立台中特殊教育學校	台中市南屯區公益路二段 296 號
斗六	PM <sub>2.5</sub> 化學成分測站及質量濃度常規比對測站	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	10 公尺	斗六高中	雲林縣斗六市民生路 224 號
嘉義	PM <sub>2.5</sub> 化學成分測站及質量濃度常規比對測站	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	13 公尺	國立嘉義大學新民校區	嘉義市西區新民路 580 號
小港	PM <sub>2.5</sub> 化學成分測站及質量濃度常規比對測站	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> , 溫度, 濕度, 風速, 風向, 酸雨, 雨量	15 公尺	小港國中	高雄市小港區平和南路 185 號
花蓮	PM <sub>2.5</sub> 化學成分測站及質量濃度常規比對測站	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	11 公尺	中正國小	花蓮縣花蓮市中正路 210 號

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

板橋站(圖 3.2.2)位於新北市立板橋高級中學校舍 4 樓樓層，屬於一般大氣測站，採樣口離地面約 19.5 公尺，測站南方有一教學大樓，其餘部分為校園。

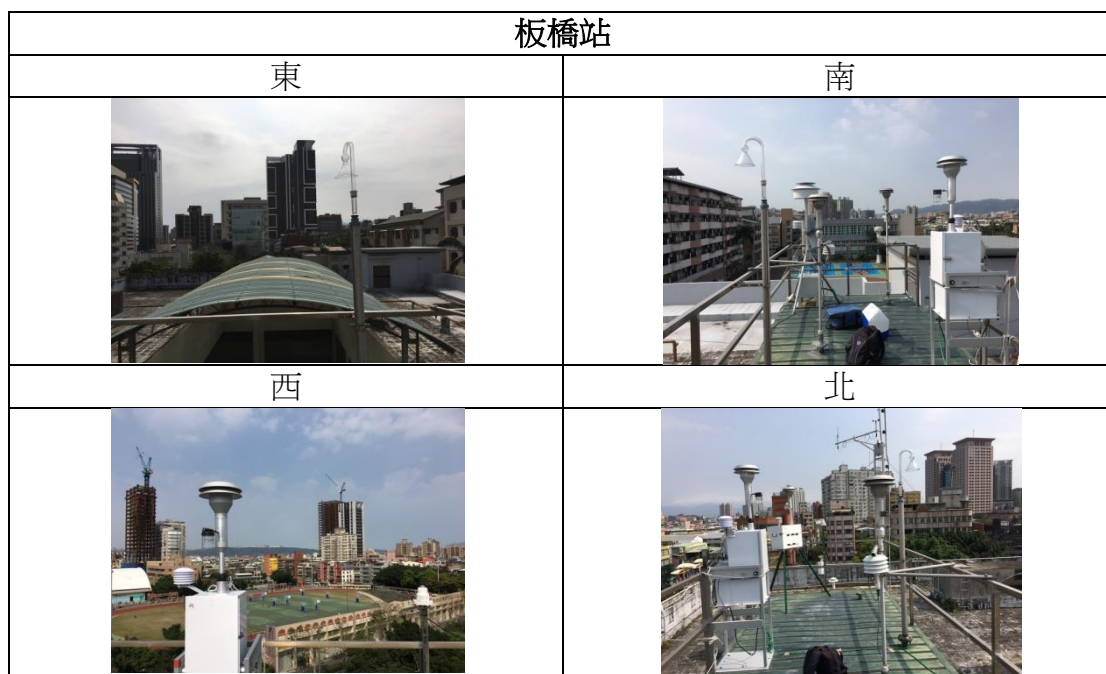


圖 3.2.2 板橋站周圍環境影像

## 2. 忠明站 (24°09'7.05"N，120°38'27.93"E)

忠明站(圖 3.2.3)位於台中市公益路與惠中路交叉口之特教學校三樓樓頂，測站西側約 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。

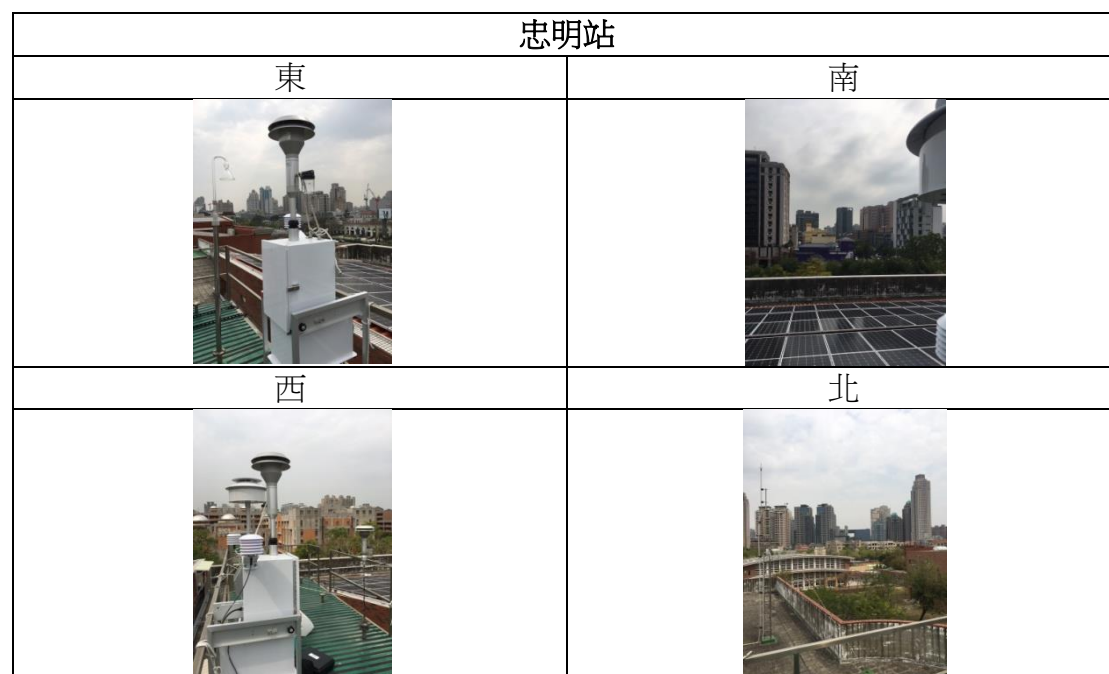


圖 3.2.3 忠明站周圍環境影像

## 3. 斗六站 (23°42'42.67"N，120°32'41.98"E)

斗六站(圖 3.2.4)位於雲林縣斗六市斗六高中三樓頂，屬一般大氣監測站，採樣口離地面高約 12 米，附近車流量受上、下學影響較大。



圖 3.2.4 斗六站周圍環境影像



#### 4. 嘉義站 (23°27'46"N，120°26'27"E)

嘉義站(圖 3.2.5) 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，採樣口離地面高約 13 米。



圖 3.2.5 嘉義站周圍環境影像

#### 5. 小港站 (22°33'57"N，120°20'15.85"E)

位於小港區小港國中四樓頂，小港站(圖 3.2.6)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，西南側是台電大林火力發電廠。

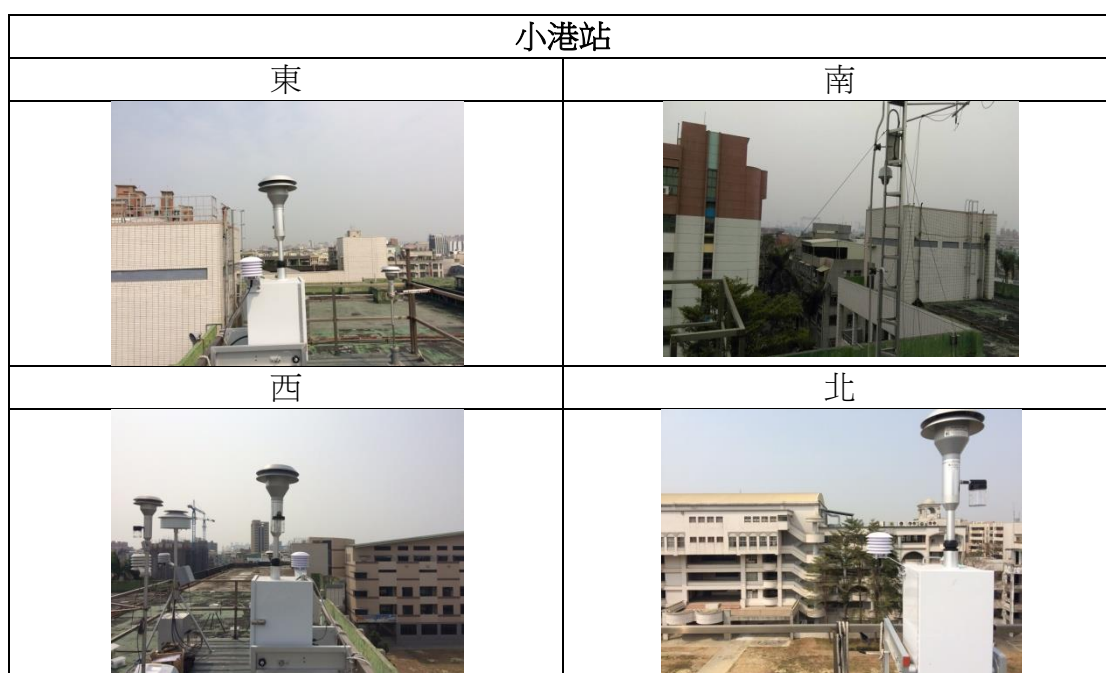


圖 3.2.6 小港站周圍環境影像

## 6. 花蓮站 (23°97'13.05"N，121°59'97.69"E)

花蓮站(圖 3.2.7)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。



圖 3.2.7 花蓮站周圍環境影像

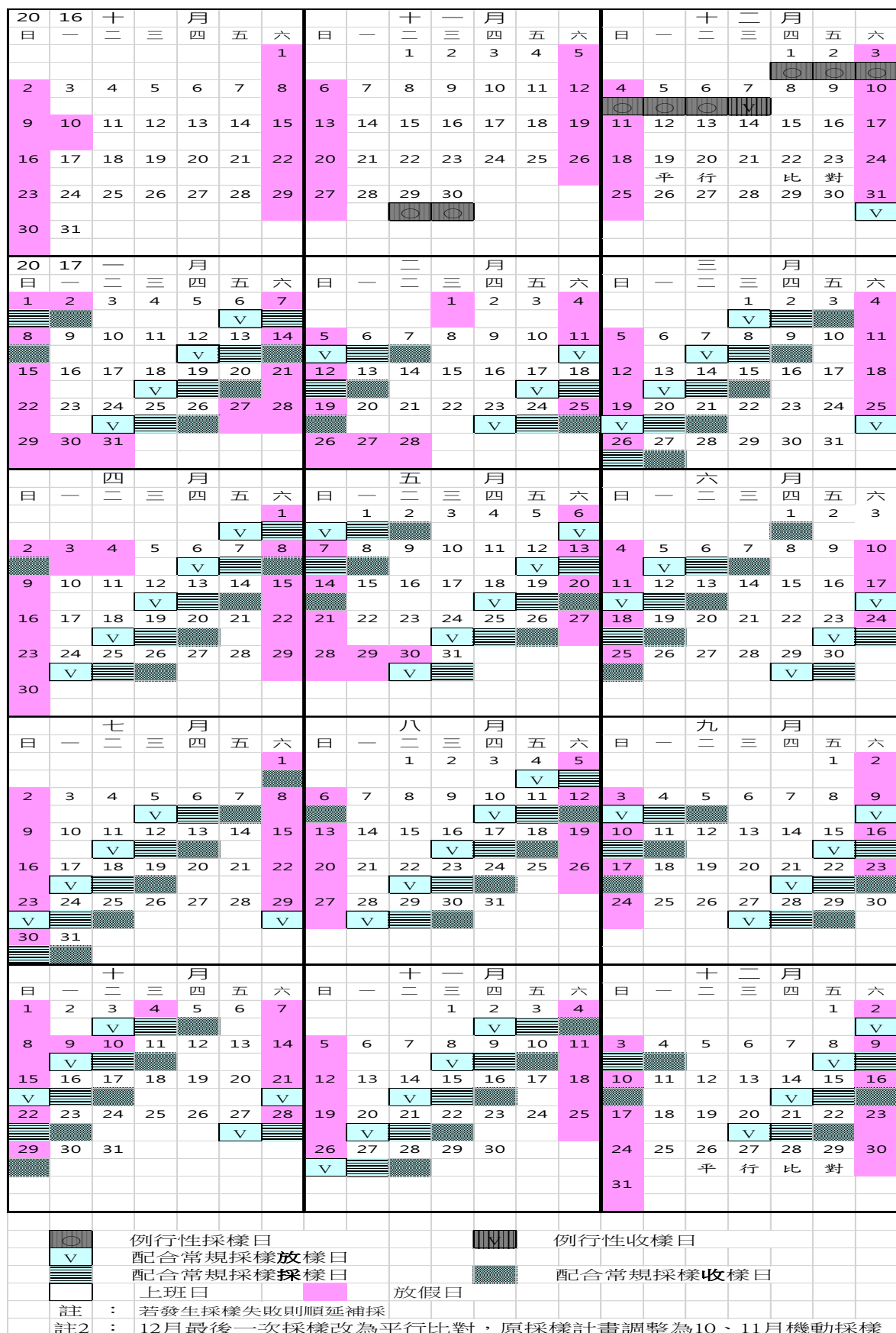


圖 3.2.8 計畫執行期間採樣監測時程規劃



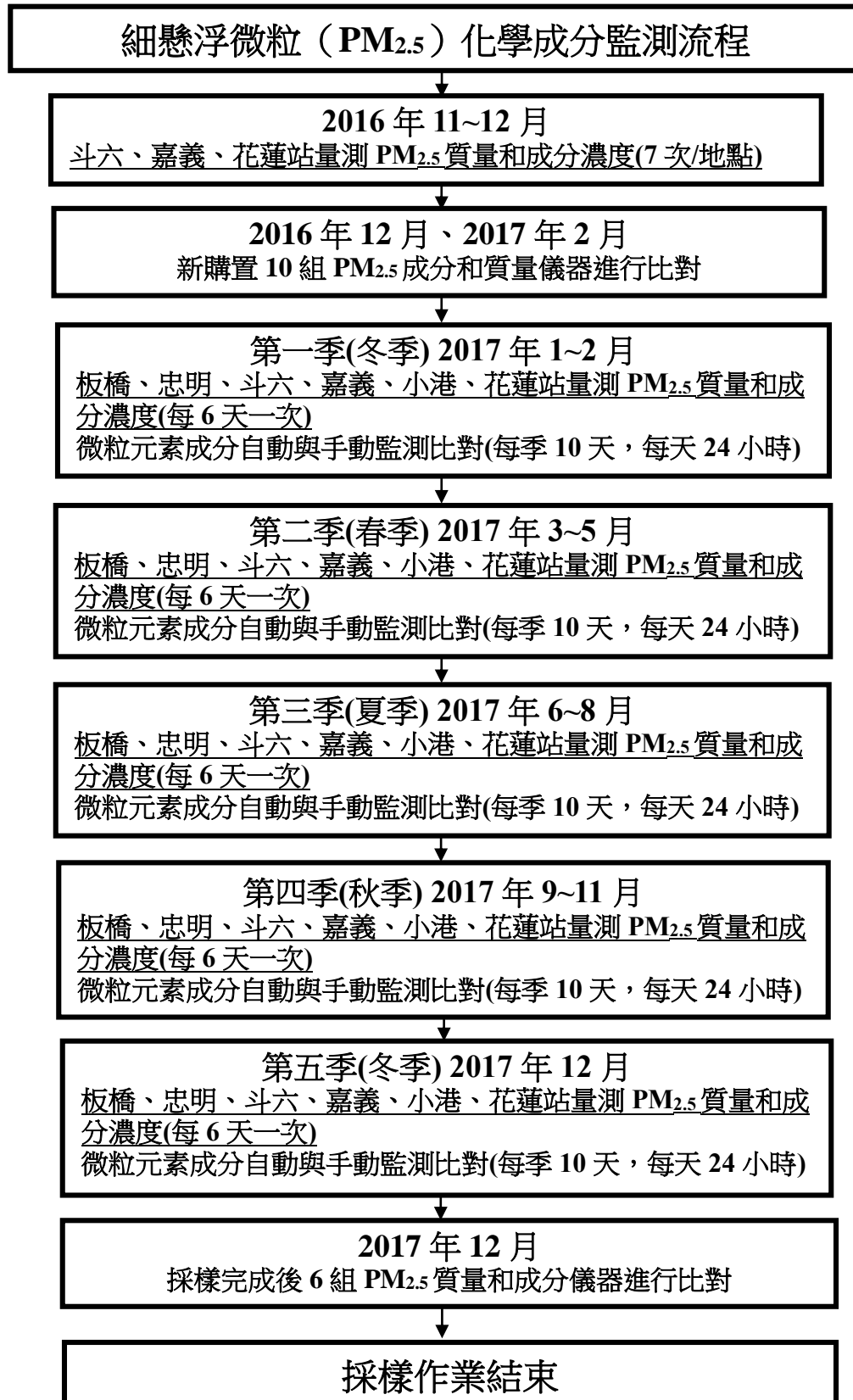


圖 3.2.9 細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 化學成分採樣檢測作業執行程序

### 3.2.2 採樣及實驗分析人員及行程分配

採樣前本計畫須先進行地點現勘，對於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，即可將採樣器運送至採樣地點。

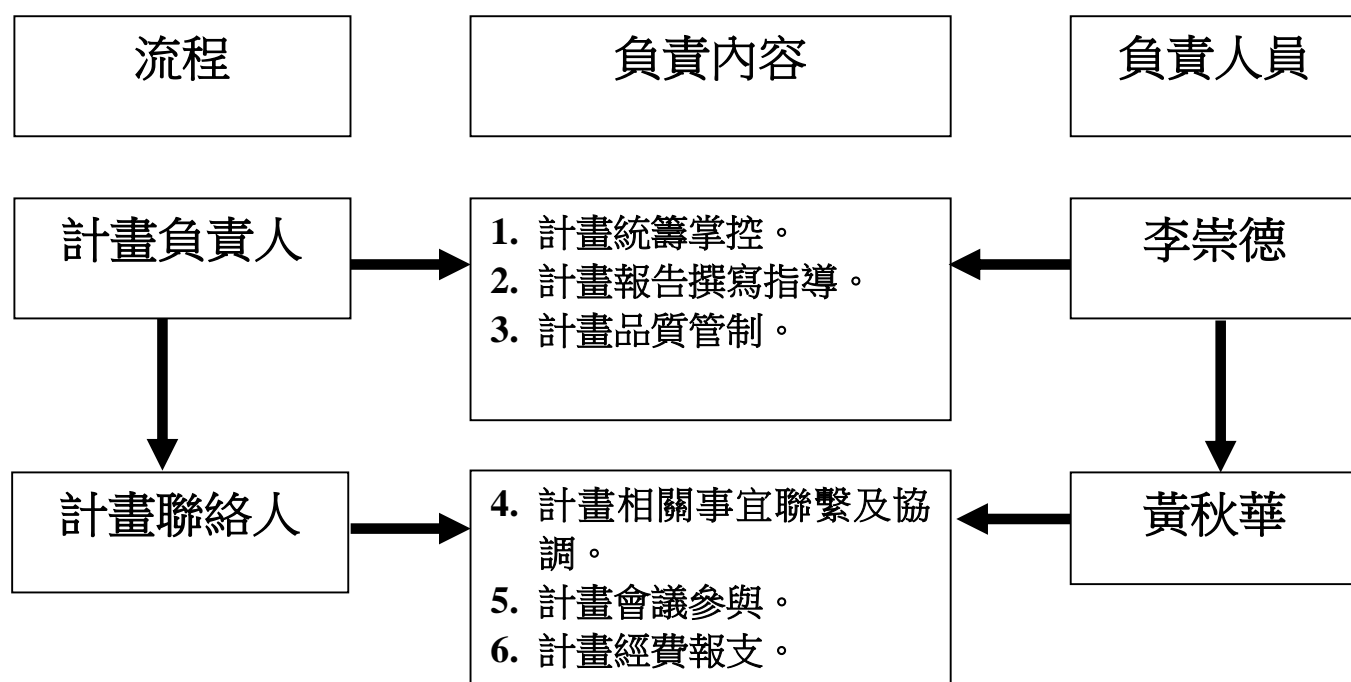
為採樣管理及樣本前處理流程，樣本採集人員安排如圖 3.2.10，圖中也列出各相關人員對應的主要工作項目。

本計畫每點次樣本採樣時間為 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> 質量濃度採樣器採樣空白等工作，本計畫在採樣前一天設置好採樣器定時裝置，於採樣天零點起動，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業程序，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，將樣本帶回中央大學實驗室。對於花蓮及台中採樣站樣本將以冷凍快捷郵遞方式寄送。

微粒濾紙在採樣前必須進行溫、濕度調理，採樣後也必須進行溫、濕度調理，然後秤重。圖 3.2.11 列出樣品運送及接收人員工作規劃，圖 3.2.12 列出樣本及數據分析人員工作規劃，圖 3.2.13 列出數據品保及報告人員工作規劃供參考。

本計畫另將成立機動小組，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、黃薇如，中央大學王偉、孫紹恩等人可提供協助。

## 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

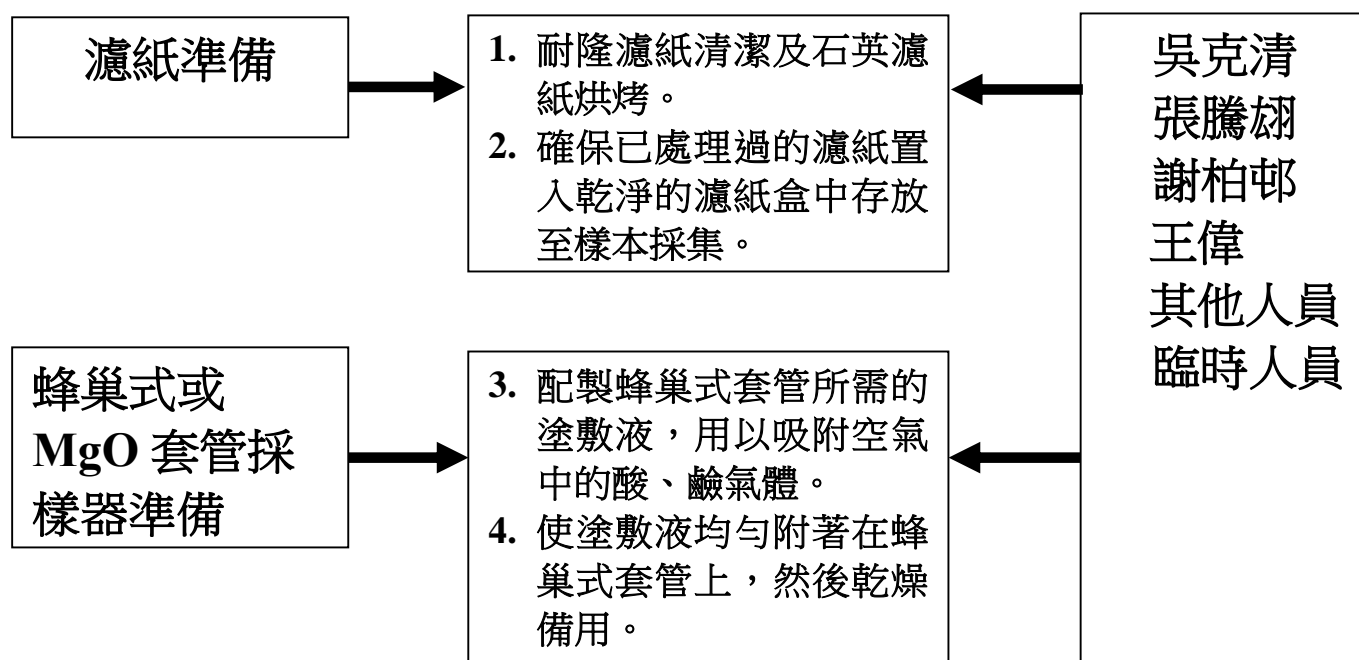


圖 3.2.10 採樣計畫管理及樣本採樣前處理流程

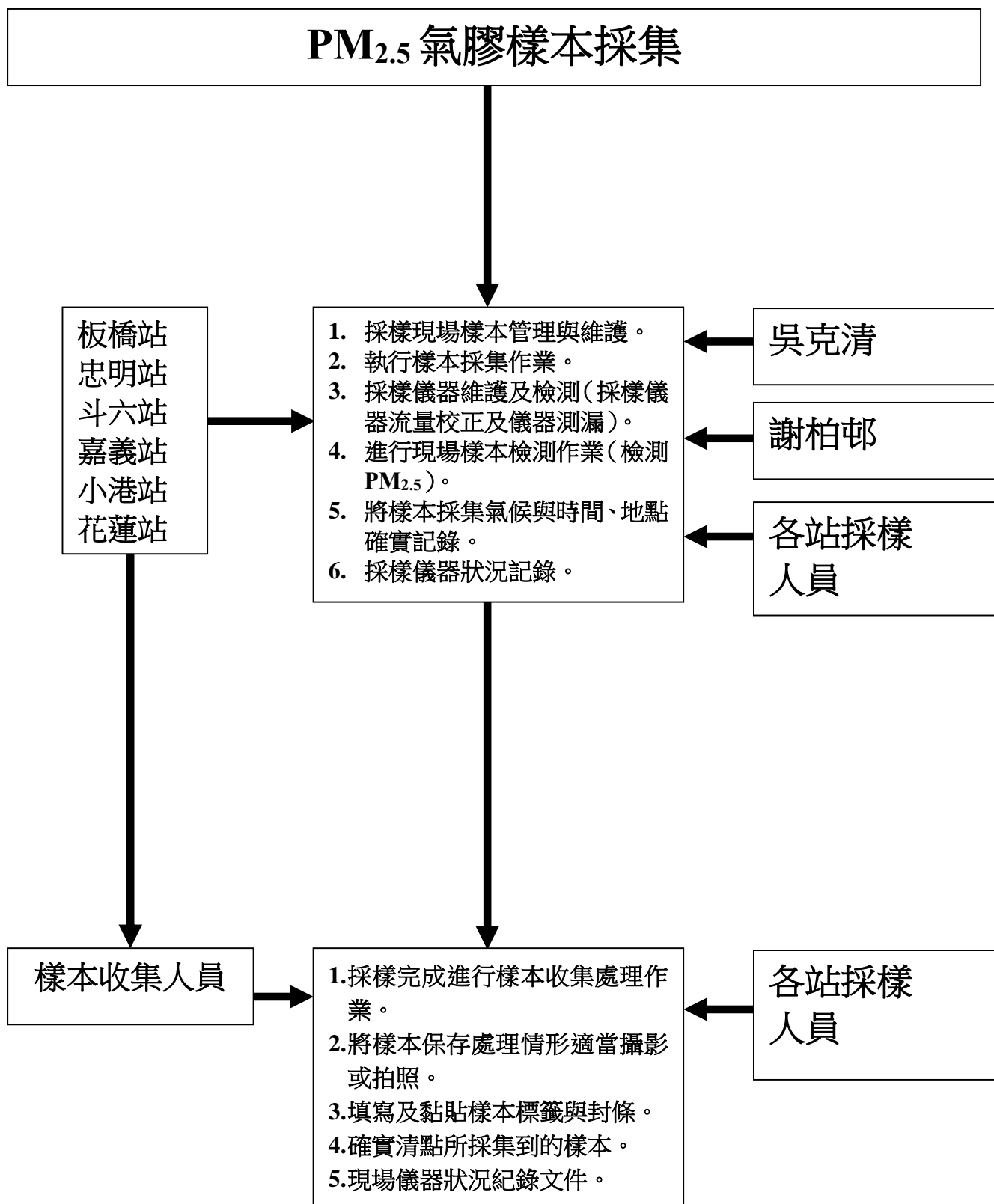


圖 3.2.11 樣本採集人員工作規劃

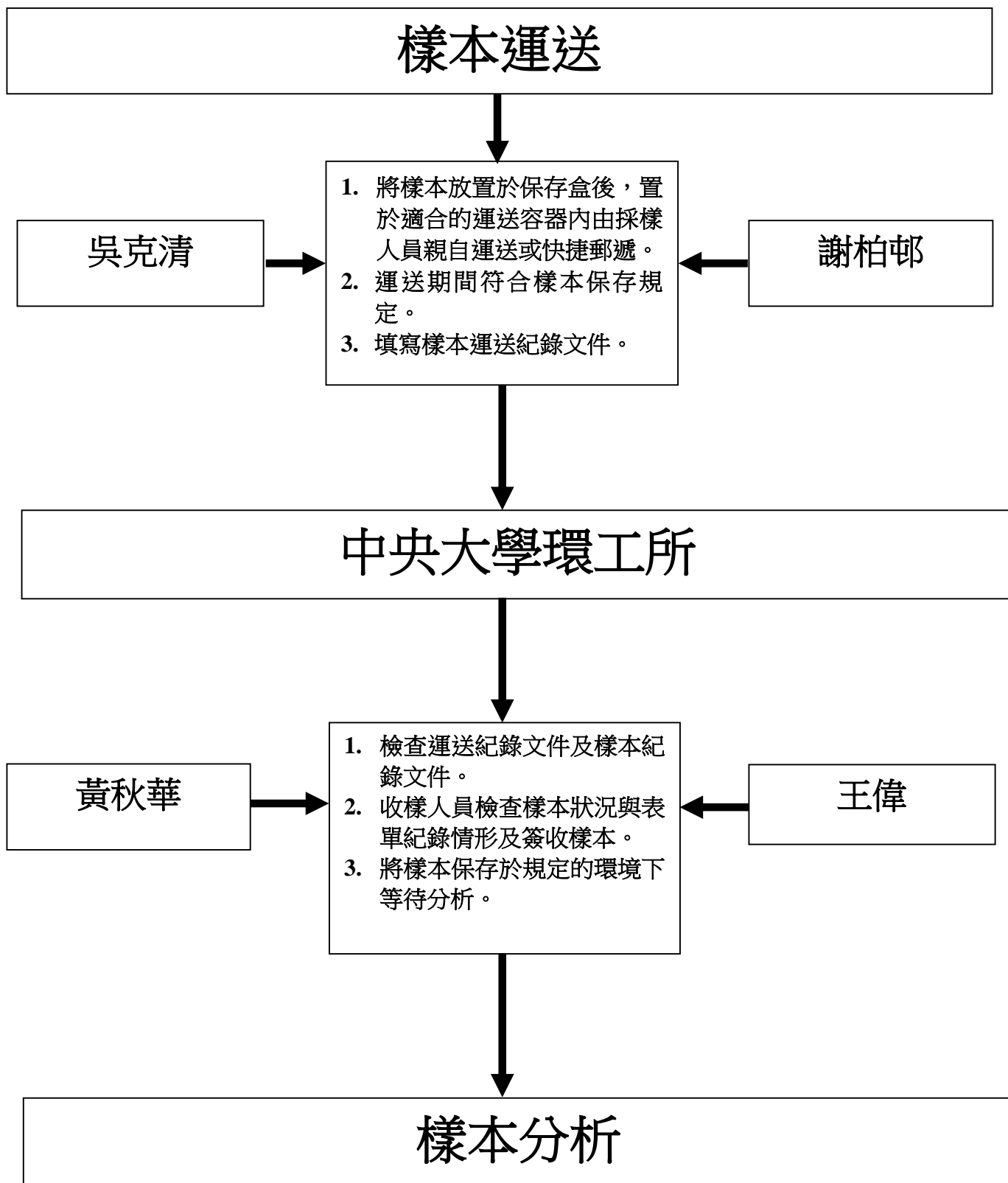


圖 3.2.12 樣品及數據分析人員工作規劃

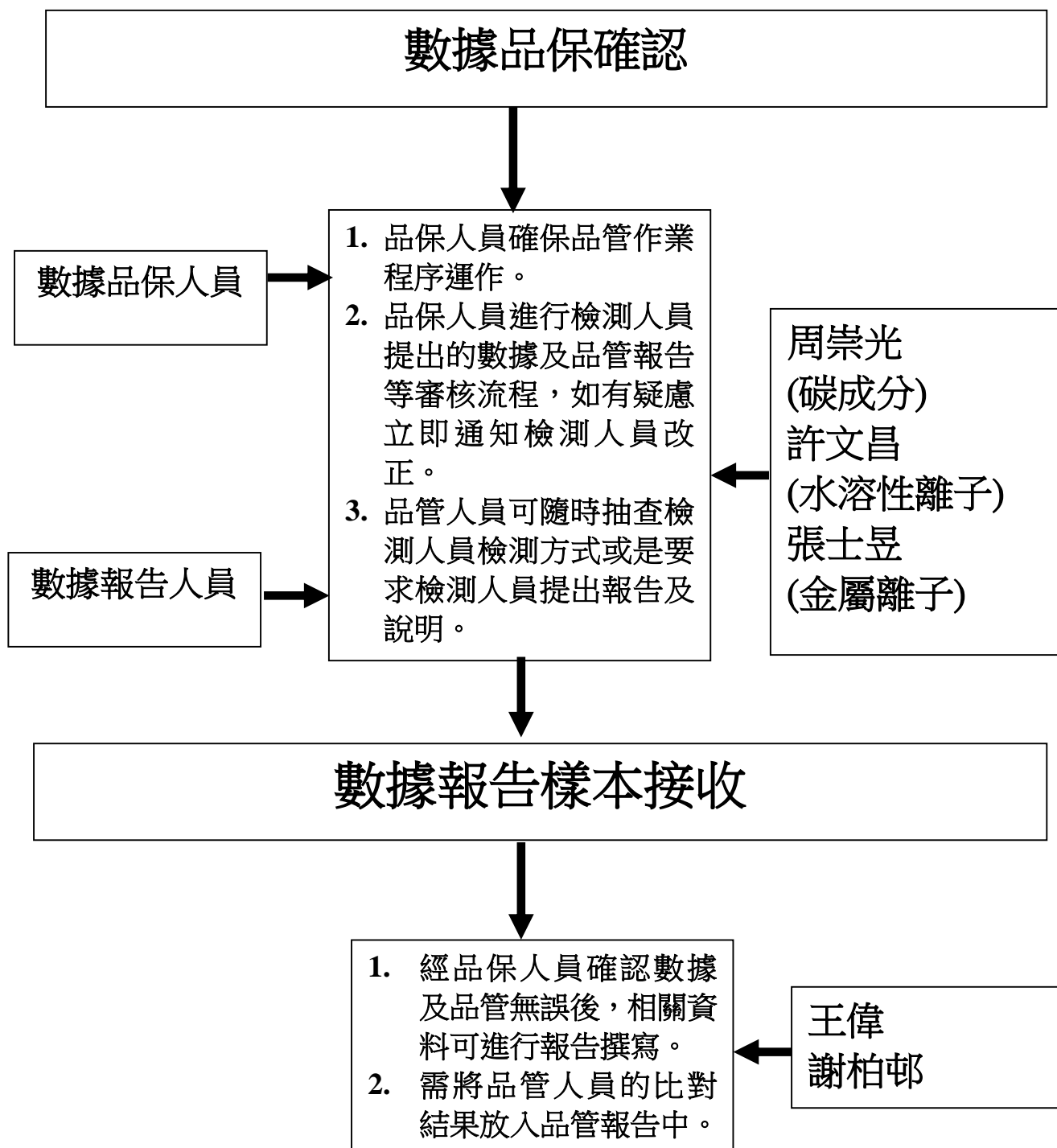


圖 3.2.13 數據品保確認及報告人員工作規劃

### 3.2.3 細懸浮微粒採樣設備及方法

本計畫依據李等(2015)年第一次研討會委員建議，為避免水溶性離子因等待秤重而有揮發損失，每站以 PM<sub>2.5</sub> FRM 採樣器採集微粒在鐵氟龍濾紙上，經過 A205.11C 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，然後進行元素成分分析，水溶性離子和碳成分則另外使用化學成分採樣器採樣後儘快進行實驗分析。2016 年執行斗六、嘉義、花蓮站同步採樣，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採用 BGIPQ200 及 R&P 2000 FRM 採樣器，化學成分仍沿用環保署提供的 R&P2300 Speciation Sampler，2017 年在新購置儀器可採樣後，以 MetOne E-FRM 和 SASS 採樣器執行板橋、忠明、斗六、嘉義、小港及花蓮站每 6 天的同步採樣。

#### 1. R&P 2300 採樣器儀器採樣原理

R&P 2300 採樣器的外表構造如圖 3.2.14，每次採樣時一共放置兩套 ChemComb™ 蜂巢套管(honeycomb denuder)採樣器進行同時採樣，採樣器的流量大小後採用的入流口有關，可為 16.7 Lpm 或 10 Lpm，本計畫採用 10 Lpm。



圖 3.2.14 R&P 2300 成分採樣器外表構造

圖 3.2.15 展現 R&P 2300 採樣器的內部配置，第一套採樣器後端三階的濾紙組，第一階通常放置 Gelman Science 公司出品（直徑 47 mm、孔徑 1  $\mu$ m）的鐵氟龍（Teflon）薄膜濾紙以收集粒徑小於 2.5  $\mu$ m 的細粒徑氣膠；第二階通常放置 Gelman Science 公司出品（直徑 47 mm、孔徑 1  $\mu$ m）的耐隆（Nylon）薄膜濾紙，以吸附第一階鐵氟龍濾紙上所收集的細粒徑氣膠因化學反應而揮發出的酸性氣體（以 HNO<sub>3</sub> 為主）；第三階通常放置 Pallflex 公司（2500 QAT-UP, Purtram, Conn, USA）出品（直徑 47 mm）的石英（Quartz）濾紙，在其表面塗敷檸檬酸溶液以吸附第一階鐵氟龍濾紙所收集的微粒因化學反應揮發出的鹼性氣體（以 NH<sub>3</sub> 為主）。在蜂巢式套管採樣器入流口放置 PM<sub>2.5</sub> 篩選器，採樣氣流

經過篩選器後，進入個別塗敷有檸檬酸及碳酸鈉的兩個蜂巢式套管，去除干擾微粒的揮發性酸、鹼氣體前驅物，所採集的氣膠可進行 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及 PM<sub>2.5</sub> 氣膠水溶性陰、陽離子分析。

第二套採樣器後端的三階濾紙組放置 3 張 Pallflex 公司（2500 QAT-UP, Purtram, Conn, USA）出品（直徑 47 mm）的石英濾紙收集氣膠碳成分，在蜂巢式套管採樣器入口放置 PM<sub>2.5</sub> 篩選器，採樣氣流經過篩選器後，進入玻璃套管，然後由第一階石英濾紙作為 PM<sub>2.5</sub> 氣膠的採集，第二階濾紙則作為 PM<sub>2.5</sub> 氣膠揮發碳成分的收集。由於石英濾紙會吸收空氣中揮發性有機氣體，假設空氣中這些氣體濃度充足，因此，第一階和第二階濾紙都會吸收空氣中揮發性有機氣體，必須放置第三階石英濾紙，以矯正第一階和第二階濾紙吸收的空氣中揮發性有機氣體。

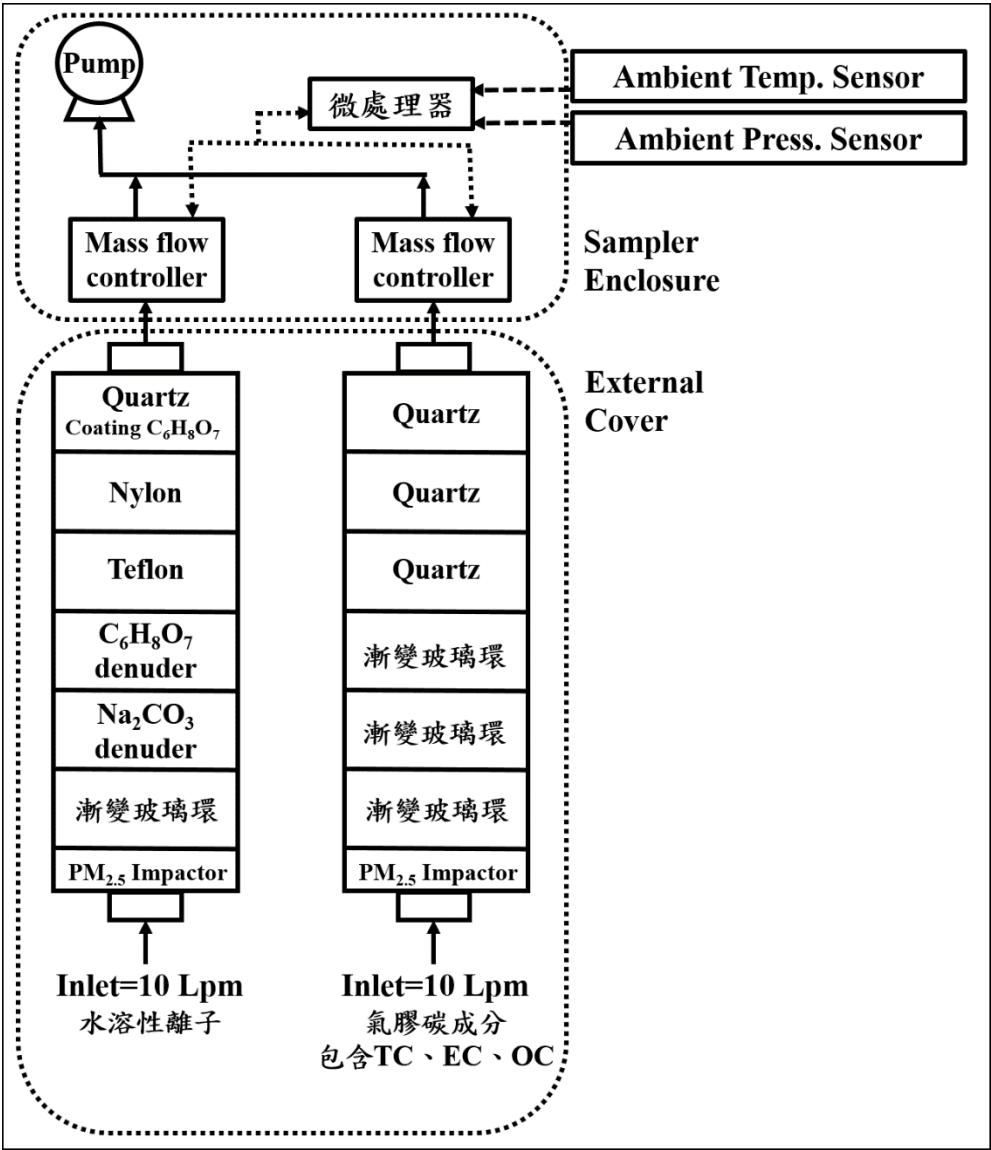


圖 3.2.15 R&P 2300 Speciation Sampler 的採樣配置，本示意圖可同時監測 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 氣膠水溶性離子和碳成分，本計畫只監測 PM<sub>2.5</sub>，但將分別放置水溶性離子和碳成分的採空白濾紙在原 PM<sub>10</sub> 氣膠採樣管，必要時也可進行其他比對採樣。



## 2. R&P 2300 PM<sub>2.5</sub> 成分採樣器標準操作步驟

本儀器的標準操作步驟包括：(1)溫度與壓力校正，(2)系統測漏，(3)流量測試與校正，(4)採樣器進行採樣需設定步驟，詳細內容列於本計畫的品保規畫書內。

在所有採樣作業進行以前，必須確認PM<sub>2.5</sub>成分採樣器採樣管道沒有漏氣的問題，才能確保儀器記錄的採樣體積是正確的，因此，必須做“測漏”的動作，當確認完成所有管線都沒有漏氣時，接著進行採樣流量確認，完成後確認儀器功能正確才進行採樣

## 3. R&P 3500 PM<sub>2.5</sub>成分採樣器標準操作步驟

本儀器為2016年任務型機動採樣的設備，主體是ChemComb™蜂巢套管後接濾紙匣，可以自行組合進行PM<sub>2.5</sub>不同成分採集，本採樣器與R&P 2300採樣器不同的地方在於無電腦主機進行溫度與壓力監測及質量流量控制，R&P 3500係以浮子流量計進行採樣流量的確認，架設與組裝如圖3.2.16。安裝標準操作步驟包括：(1)採樣器測漏，(2)流量測試與校正，(3)採樣器手動啟動和停止，詳細操作內容列於本計畫的品保規畫書內。



圖 3.2.16 R&P 3500 Speciation Sampler 的採樣配置，每種 PM<sub>2.5</sub> 成分監測需配一個腳架、流量計、幫浦。

4. BGI PQ200 PM<sub>2.5</sub>採樣器採樣原理

BGI 公司生產的 PQ200 PM<sub>2.5</sub> 採樣器對於細懸浮微粒質量濃度的採集，是使用標準的 PM<sub>10</sub> 採樣頭，將氣流導引進入採樣器，然後再以旋風集塵器進行 PM<sub>2.5</sub> 懸浮微粒的分徑。BGI 公司開發了 VSCC (Very Sharp CyClone) 替代 WINS 撞擊器，它的清洗週期能達到 30 天。

PM<sub>2.5</sub> 以 16.67 Lpm 的流量，經過 2 個符合美國環保署標準規範的微粒粒徑分離器如圖 3.2.17 所示，PM<sub>2.5</sub> 採集到 47 mm 鐵氟龍濾紙上，在採樣當時記錄環境溫度和大氣壓，5 分鐘實際真實溫度和氣壓狀況隨著採樣的體積流量、採樣濾紙的溫度、壓力也同時記錄進來。在基本操作方面，本儀器不需要使用濾紙匣固定片，只需要置入濾紙固定器到適當的位置，放置後需雙手握住把手逆時針旋轉至適當位置，圖 3.2.18 為 BGI PQ200 PM<sub>2.5</sub> 採樣器的外觀與儀器操作面板。

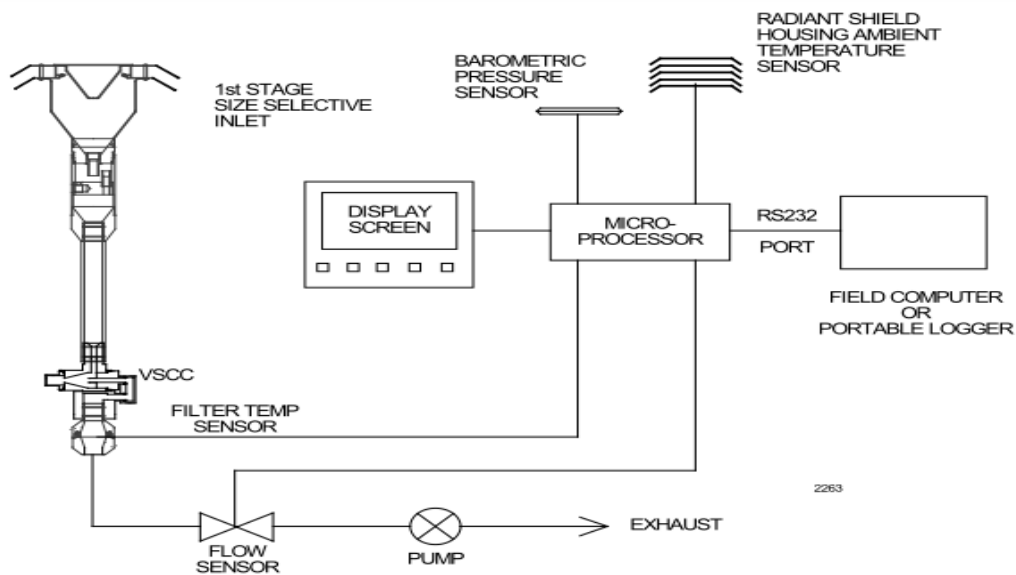


圖 3.2.17 BGI PQ200 PM<sub>2.5</sub> 採樣器內部構造示意圖

**5. BGI PQ200 PM<sub>2.5</sub> 採樣器標準操作步驟**

本儀器的標準操作步驟包括：(1)溫度與壓力校正，(2)系統測漏，(3)流量測試與校正，(4)採樣器進行採樣需設定步驟，詳細內容列於本計畫的品保規畫書內。



**圖3.2.18 BGI PQ200 PM<sub>2.5</sub>採樣器的外觀與儀器操作面板**

## 6. R&P 2000 PM<sub>2.5</sub> 採樣器採樣原理

R&P 2000採樣器也是符合我國環保署NIEA A205.11C方法的採樣器(如圖3.2.19)，R&P 2000採樣器使用標準的PM<sub>10</sub>採樣頭，將氣流導引進入採樣器，然後再以BGI 公司VSCC旋風集塵器進行PM<sub>2.5</sub>懸浮微粒的分徑。VSCC操作原理為藉著離心力，利用氣流進入VSCC旋風集塵器後，在每次氣流旋轉時，細懸浮微粒可以跟隨氣流旋轉，但粗懸浮微粒會偏離氣流一段距離，當氣流從VSCC旋風集塵器繞出來時，粗懸浮微粒偏離氣流所移動距離會到達器壁發生撞擊而被篩除。



圖3.2.19 R&P 2000 PM<sub>2.5</sub>採樣器的外觀與儀器操作面板

## 7. R&P 2000 PM<sub>2.5</sub> 採樣器標準操作步驟

本儀器的標準操作步驟包括：(1)溫度與壓力校正，(2)系統測漏，(3)流量測試與校正，(4)採樣器進行採樣需設定步驟，詳細內容列於本計畫的品保規畫書內。



## 8. 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，採樣器外觀與操作介面如圖3.2.20，MetOne SASS有8個採樣通道，但最多可使用5個採樣通道，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 Lpm，通道4與5使用臨界小孔(critical orifice)，流量為6.9 Lpm，5個通道入口口都設置有sharp cut cyclone篩分出2.5 μm的微粒進來。採樣器配置如圖3.2.21所示，通道1前端設置塗覆MgO的滌氣管去除大氣環境酸氣干擾，後端放置鐵氟龍後接耐隆濾紙，分析PM<sub>2.5</sub>氣膠水溶性離子成分及揮發的硝酸根和氯離子；通道2設置2張烘烤過石英濾紙，作為分析氣膠碳成分及揮發補償和有機氣體吸附干擾去除使用；通道3放置一張鐵氟龍濾紙與FRM採樣器比對質量濃度以供未來使用，通道4和5有氣流通過，可做為備用採樣，通道6放置1張石英濾紙，無氣流通過，作為現場空白及被動VOCs吸附濃度。



圖3.2.20 MetOne SASS PM<sub>2.5</sub>成分採樣器的外觀與儀器操作面板

(圖片來源: <http://www.metone.com>)

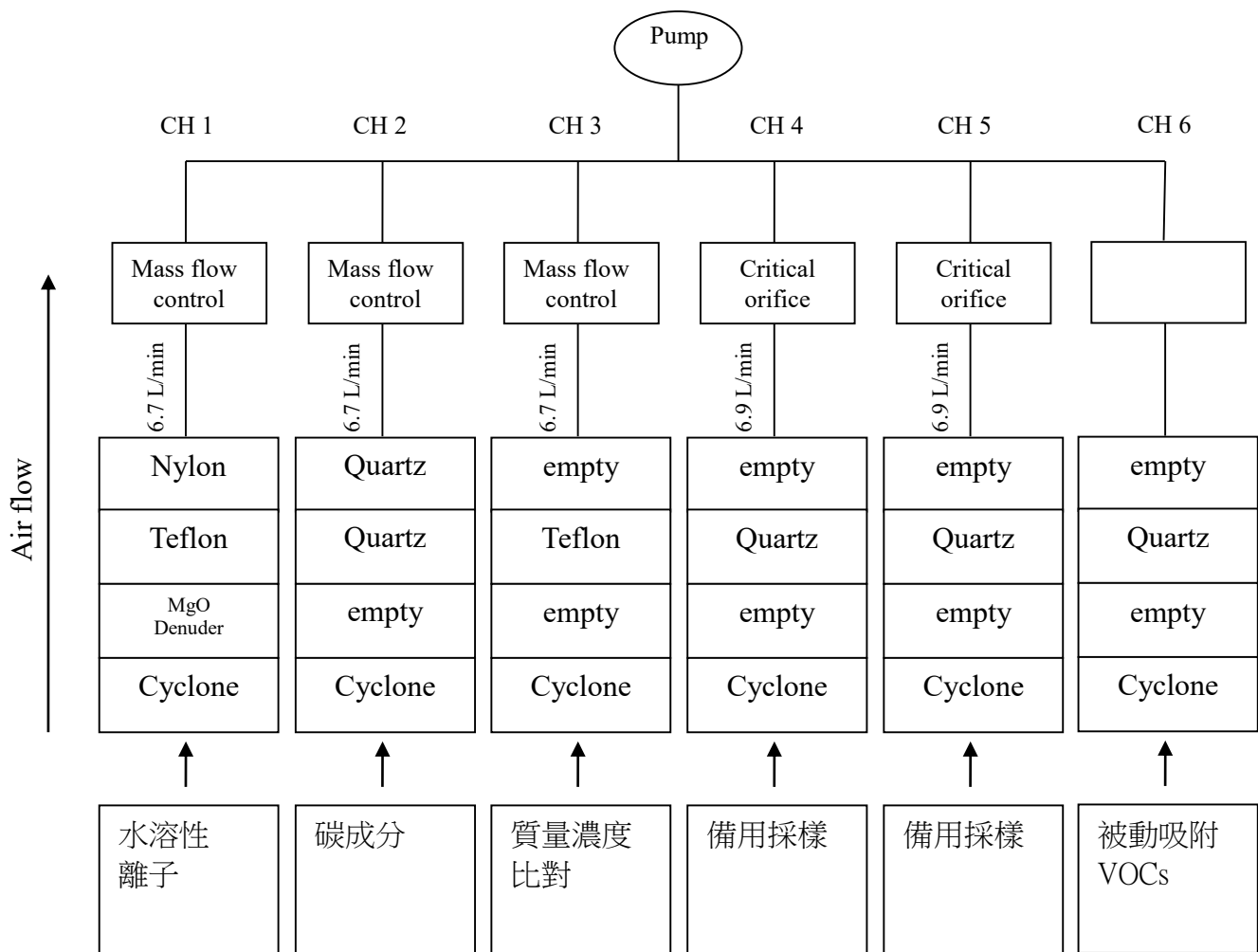


圖3.2.21 MetOne SASS PM<sub>2.5</sub>成分採樣器採樣套管配置

## 9. MetOne SASS PM<sub>2.5</sub> 採樣器標準操作步驟

本儀器的標準操作步驟包括：(1)系統測漏，(2)流量測試與校正，(3)採樣器進行採樣需設定步驟，詳細內容列於本計畫的品保規畫書內。

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

MetOne型號E-FRM採樣器(圖3.2.22)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)，採樣器設計原則為符合美國環保署參考方法的單次濾紙採樣，用以決定大氣每天PM<sub>2.5</sub>或PM<sub>10</sub>微粒濃度。儀器採用美國環保署放置單張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>準確)，樣本空氣抽進標準的PM<sub>10</sub>入流口後，可經由BGI VSCC<sup>TM</sup> (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，氣流然後經過濾紙，隨著時間經過，微粒被收集在濾紙上。採完樣後取下濾紙，送往實驗室進行溫度和濕度調理，經過± 1 µg靈敏度天平秤重後，和空白濾紙秤重值相減，以獲得大氣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口或USB虛擬串聯口或甚至直接以USB隨身碟下載。



圖3.2.22 MetOne E-FRM PM<sub>2.5</sub>採樣器的外觀與儀器操作面板

(圖片來源: <http://www.metone.com>)

#### 11. MetOne E-FRM PM<sub>2.5</sub>採樣器標準操作步驟

本儀器的標準操作步驟包括：(1)系統測漏，(2)流量測試與校正，(3)採樣器進行採樣需設定步驟，詳細內容列於本計畫的品保規畫書內。

### 3.2.4 細懸浮微粒成分人工採樣去除大氣干擾物方法

#### 1. R&P 2300

在 2016 年期間，本計畫以 R&P 2300 採樣器進行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣，這個儀器有 12 個通道，可同時採集多達 12 個樣本，本計畫在每次採樣時使用其中 4 個通道，分別採集 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子、放置 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子「現場空白」、PM<sub>2.5</sub> 碳成分、放置 PM<sub>2.5</sub> 碳成分「現場空白」。若為了進行相關測試，則可取代水溶性離子「現場空白」。

#### (1) 去除大氣酸、鹼氣體對細懸浮微粒水溶性離子干擾及採集微粒揮發的硝酸氣、氨氣

R&P 2300 採樣器經過多年使用，儀器有些老舊，經過維修後，目前還堪用，在收集 PM<sub>2.5</sub> 化學成分時，對於採樣時受到的大氣酸、鹼性氣體及揮發性高微粒成分如：硝酸銨、氯化銨揮發成硝酸氣、鹽酸氣和氨氣的干擾收集最完整。本採樣器裝配的蜂巢套管是直徑 47 mm、高度 38 mm 的圓柱體，內含 212 個內徑為 2 mm 的六角形玻璃管，總表面積為 508 cm<sup>2</sup>，第一段蜂巢套管(以 1%碳酸鈉：1%甘油的塗敷液可吸附酸性氣體)與第二段蜂巢套管(以 2%檸檬酸：1%甘油的塗敷液可吸附鹼性氣體)中間以一個 HDPE 塑膠分隔環分隔，整個蜂巢套管為一體成形的玻璃構造物，如此可避免氣態污染物的沈積損失 (Koutrakis et al., 1993; Sioutas et al., 1996)。在蜂巢套管後端都接上三階的濾紙匣，第一階濾紙放置 47 mm，孔徑為 1 μm 的鐵氟龍濾紙，主要在收集空氣中的 PM<sub>2.5</sub> 微粒；第二階濾紙放置直徑為 47 mm，孔徑為 1 μm 的耐隆(Nylon)薄膜濾紙，可吸附第一階鐵氟龍濾紙上氣膠硝酸銨和氯化銨揮發出來的硝酸氣和氨氣；第三階濾紙放置已塗敷檸檬酸溶液的 47 mm 石英濾紙，可吸附第一階鐵氟龍濾紙上氣膠硝酸銨和氯化銨揮發出來的氨氣。

本計畫在補償微粒揮發的硝酸氣、氨氣、氯氣時以第二階濾紙硝酸根和氯離子匹配第三階濾紙銨根離子等當量濃度最小者為準，計算相對應的硝酸根離子、氯離子、銨根離子質量濃度，再加回去第一階鐵氟龍濾紙的硝酸根離子、氯離子和銨根離子，以補償採樣過程揮發的硝酸銨和氯化銨氣膠質量濃度，採樣過程及意義如圖 3.2.23 說明。



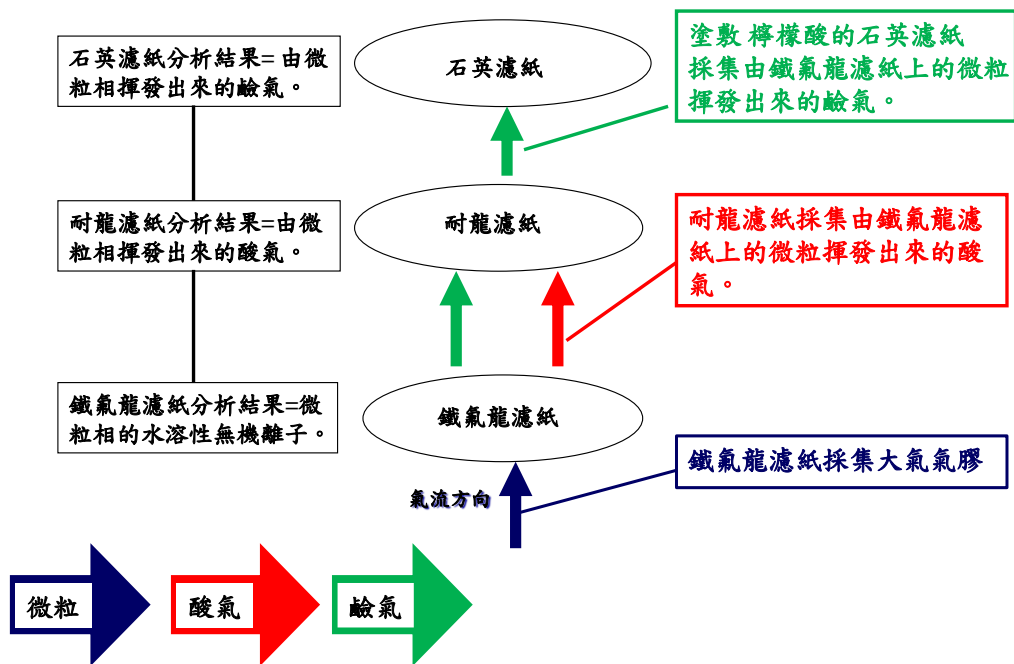


圖 3.2.23 R&P 2300 採樣器採集微粒水溶性離子揮發的硝酸氣、氨氣示意圖

## (2) 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)，兩者是  $PM_{2.5}$  的主要成分。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在收集到石英濾紙上後會繼續隨著採樣氣流揮發，造成微粒質量損失，這種現象稱為負偏差(negative artifact)；此外，空氣中的揮發性有機物(VOCs, Volatile Organic Carbons)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 3.2.24 所示。

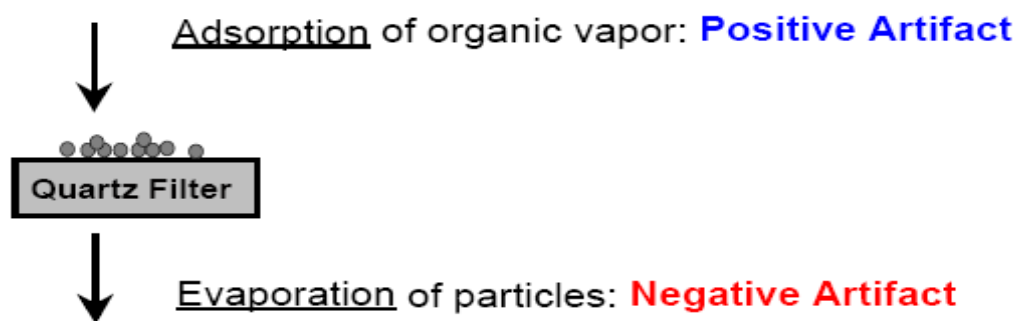


圖 3.2.24 以石英濾採集微粒有機碳成分偏差示意圖(Turpin et al., 2000)

本計畫在 2016 年為了矯正濾紙微粒揮發及空氣中揮發性有機氣體(VOCs)的吸附，在採樣收集微粒碳成分時，使用連續三張石英濾紙，第一張濾紙採集的微粒 OC 包含了微粒真正的 OC (POC)和從空氣中吸附的 VOCs (VOC1)，但在採樣過程會有微粒揮發 (PVOC)；放置於第一張濾紙後面的第二張石英濾紙量測到的 OC 分別代表負偏差和正偏差的和(PVOC+VOC2)，放置於第二張濾紙後面的第三張石英濾紙量測到的 OC 則只代表正偏差(VOC3)。本計畫假設在長時間的採樣(24 小時)三張石英濾紙吸附的空氣中 VOCs 會達到平衡或是都達到飽和(VOC1=VOC2=VOC3)。因此，以第二張濾紙量測到的 OC 扣減第三張石英濾紙量測到的 OC，就可獲得 OC 的負偏差(PVOC)；以第三張石英濾紙量測到的 OC (VOC3)可得到第一張石英濾紙吸附的 VOCs (VOC1)因此，從第一張石英濾紙分析得到的 OC 要加回去第一張石英濾紙揮發的 OC (PVOC)，再扣減第一張石英濾紙吸附的 OC (VOC1)，前述計算也可用第一張石英濾紙分析得到的 OC 加上第二張濾紙量測到的 OC，扣減 2 倍的第三張石英濾紙量測到的 OC。矯正的方式如圖 3.2.25 所示。

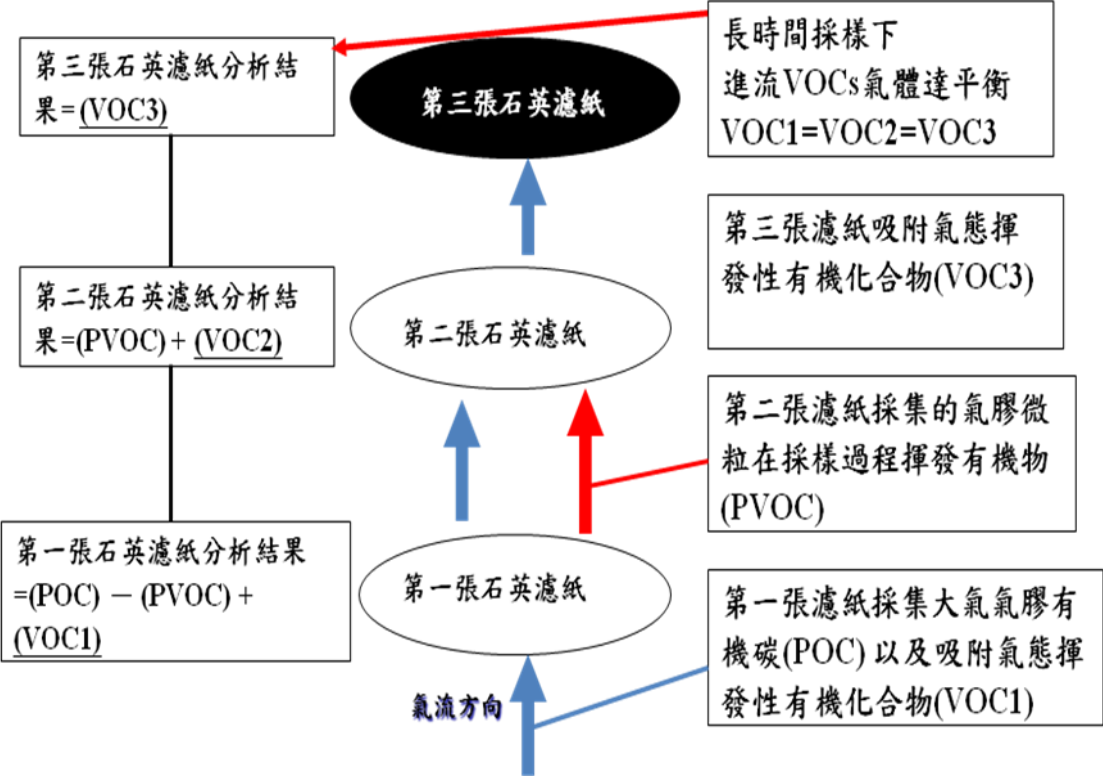


圖 3.2.25 R&P 2300 採樣器矯正濾紙微粒碳成分揮發及空氣中揮發性有機物干擾示意圖

## 2. MetOne SASS

MetOne SASS 採樣器有 8 個通道，每次採樣可同時採集 5 個樣本，本計畫在每次採樣時使用其中 2 個通道，分別採集 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子和 PM<sub>2.5</sub> 碳成分，對於 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及元素成分則使用 FRM 採樣器採集。

### (1) 去除大氣酸、鹼氣體對細懸浮微粒水溶性離子干擾及採集微粒揮發的硝酸氣、氨氣

MetOne SASS 只配備 MgO denuder 去除大氣酸性干擾氣體，對於大氣鹼性干擾氣體並無去除方法，微粒採集裝置則可串連兩張濾紙。本計畫對於水溶性無機離子成分採集，第 1 張濾紙裝設鐵氟龍濾紙，量測水溶性離子，第 2 張濾紙裝設 Nylon 濾紙，量測從第 1 張濾紙揮發的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和 Cl<sup>-</sup>，並補償加回到第 1 張濾紙採集分析的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和 Cl<sup>-</sup>。

### (2) 矯正濾紙微粒揮發及空氣中揮發性有機物干擾

碳成分採集配合實驗分析要求，需使用石英濾紙，但石英濾紙在採樣時會吸附空氣中揮發性有機氣體，已採集在濾紙上微粒又會在採樣過程揮發，本計畫將以放置現場空白和串聯兩張石英濾紙進行補償修正，修正方式根據過去研究 (李等，2016)發現台灣揮發性有機氣體濃度較多於微粒揮發濃度，得到較逼近三張濾紙修正結果為：

$$OC = OCQ1 + 0.25 * OCQ2。$$

### 3.2.5 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子檢驗分析方法

#### 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，當待測樣本通過分析管柱時，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，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、保護管柱和分離管柱、抑制器、導電度測定器及數據收集系統。

進行分析樣本前，需使用標準溶液進行標定。由已知標準濃度離子析出時間的尖峰面積與樣本的析出時間和尖峰面積比較，樣本中的離子濃度就可以確認及定量。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出的結果。圖 3.2.26 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：

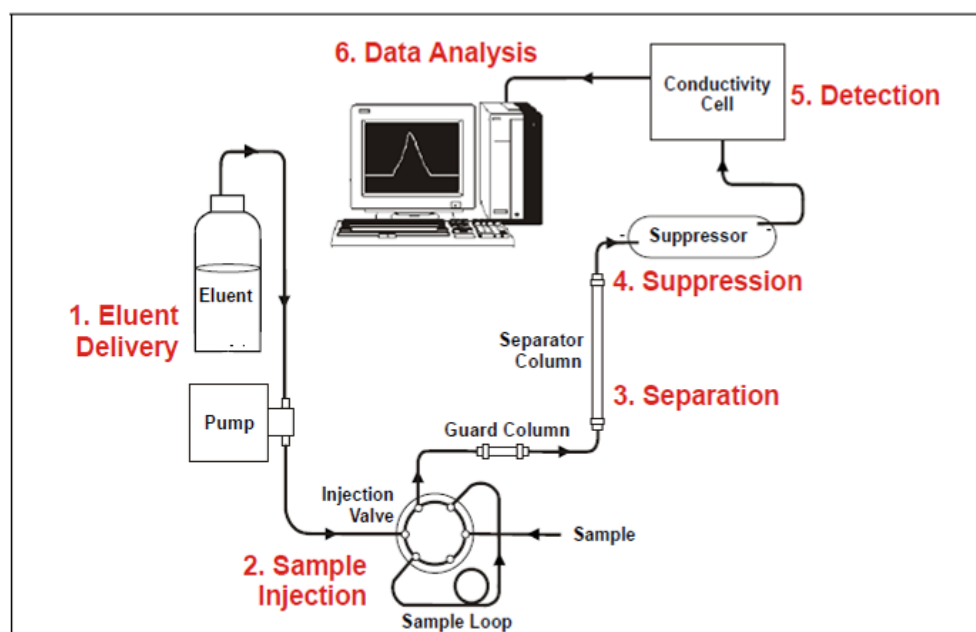


圖 3.2.26 離子層析儀分析系統

- (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液狀的樣本注入系統流路中，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(Guard Column)及分離管柱(Separator Column)，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進行分離樣本離子，此時稱為離子交換，這是假設不同的樣本離子經過分離管柱時，不同離子通過分離管柱的速度不同，這是因為不同離子與管柱內樹脂離子交換的交互作用有關。

- (4)抑制：在流洗液及樣本中的離子離開分離管柱後，它們流經抑制器(Suppressor)，抑制器會選擇性地加強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後，經過導電度偵測器(Conductivity Cell)量測樣本離子的導電度，然後產生一個化學或物理特性訊號。
- (6)數據收集及分析：導電度器會傳送量測的訊號到收集數據系統。數據收集系統確認離子物種析出時間，每一個物種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。

## 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。

### (1)離子層析儀大氣氣膠水溶性離子濃度計算

假設離子層析儀分析結果帶入檢量線可得出水溶性離子濃度  $X$  (ppm or  $\mu\text{g mL}^{-3}$ )，本計畫樣品中的水溶性離子係溶解在 10 mL 中，採樣時間為  $T$  小時，流量為  $R$  Lpm，則帶入下列公式 3.2.1 計算可獲得水溶液中各離子在空氣中的質量濃度：

$$\frac{X \times 10}{T \times 60 \times R \times 0.001} = \mu\text{g m}^{-3} \quad \text{公式(3.2.1)}$$

### (2)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」。

#### (a) 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，取在檢量線斜率呈現明顯變化濃度，亦即檢量線轉折處對應的濃度即為「儀器偵測極限」。

#### (b) 方法偵測極限(MDL)測定步驟

1. 本實驗室預估方法偵測極限，採用儀器偵測極限為預測濃度。
2. 取儀器偵測極限的一～五倍濃度值，進行七重複的分析。
3. 計算重複分析的變異數 ( $S^2$ ) 和標準偏差 ( $S$ ) 如公式 3.2.2 及 3.2.3 所示：

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n} \right] \quad \text{公式(3.2.2)}$$

$$S = (S^2)^{0.5}$$

公式(3.2.3)

4. MDL 的計算公式 3.2.4 如下：

$$MDL = 3S$$

公式(3.2.4)

表 3.2.2 為本計畫離子層析儀分析微粒水溶性離子的偵測極限。

表 3.2.2 微粒水溶性離子以離子層析儀分析的偵測極限

分析項目	分析方法	方法偵測極限值 MDL		空氣中濃度方法偵測極限值	
		方法偵測 極限值	濃度單位 (溶液中)	方法偵測 極限值	濃度單位 (空氣中)
Na <sup>+</sup>	IC	0.010	mg L <sup>-1</sup>	0.007	µg m <sup>3</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	IC	0.025	mg L <sup>-1</sup>	0.017	µg m <sup>3</sup>
K <sup>+</sup>	IC	0.010	mg L <sup>-1</sup>	0.007	µg m <sup>3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	IC	0.010	mg L <sup>-1</sup>	0.007	µg m <sup>3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	IC	0.010	mg L <sup>-1</sup>	0.007	µg m <sup>3</sup>
Cl <sup>-</sup>	IC	0.010	mg L <sup>-1</sup>	0.007	µg m <sup>3</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	IC	0.025	mg L <sup>-1</sup>	0.017	µg m <sup>3</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	IC	0.050	mg L <sup>-1</sup>	0.035	µg m <sup>3</sup>

3.2.6 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(如圖 3.2.27、表 3.2.3 所示)，本碳分析儀是以 TOR (Thermal Optical Reflectance)方法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，分析過程並以雷射矯正有機碳(OC, Organic Carbon)分析過程產生的裂解碳(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先在反應腔導入純氮氣，腔內溫度會依據表 3.2.3 設定的分段升溫至 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，再依據此濃度換算成在不同溫度下揮發出的“有機碳”各種成分(OC1~OC4)質量。

在樣品的加熱期間，一組 632.8 nm 雷射光源及偵測器將用於連續監測樣品表面對該雷射光束的反射量，依據 Chow et al. (1993)的研究結果，在 200°C以上時，雷射光反射強

度就會開始逐漸降低，顯示樣品中因為“元素碳”(EC, Elemental Carbon)含量增加導致對雷射光線吸收的加強，這些增加的“元素碳”含量其實是氣膠有機成分在缺氧環境中裂解“碳化”揮發所致。在 400~580°C間，雷射光反射量在急遽降低後達到穩定，顯示樣本中的氣膠有機成分已經完全揮發或碳化。在有機成分已經完全揮發或碳化後，儀器導入 2%的氧氣和 98%氮氣，這時，樣品中的“元素碳”將被氧化而自濾紙上揮發出來，揮發出的 CO<sub>2</sub> 經還原成 CH<sub>4</sub> 後再由 FID 偵測其濃度。此一氧化過程使樣品“元素碳”含量降低，將使雷射光反射量急遽增加，當雷射光反射量回復至實驗初始微粒樣本的反射量時，代表氣膠有機成分裂解而在微粒表面增加的“元素碳”含量已被去除，在這過程中 FID 測得的 CH<sub>4</sub> 濃度應該歸屬於有機碳的裂解碳值(OP, Pyrolyzed Organic Carbon)。

當雷射光反射量回復至初始樣本的反射量後，反應腔內的溫度逐步分段增加至 840 °C，在分段加溫過程中樣品中的“元素碳”會持續被氧化而自濾紙樣本中去除，雷射光反射量也會持續增加直到回復至空白濾紙的程度，此一過程中 FID 測得的 CH<sub>4</sub> 濃度可直接換算成各溫度條件下揮發出的“元素碳”質量。整個分析過程可獲得微粒樣品在不同溫度下“碳成分”的揮發質量，這個圖譜稱為“thermogram”。

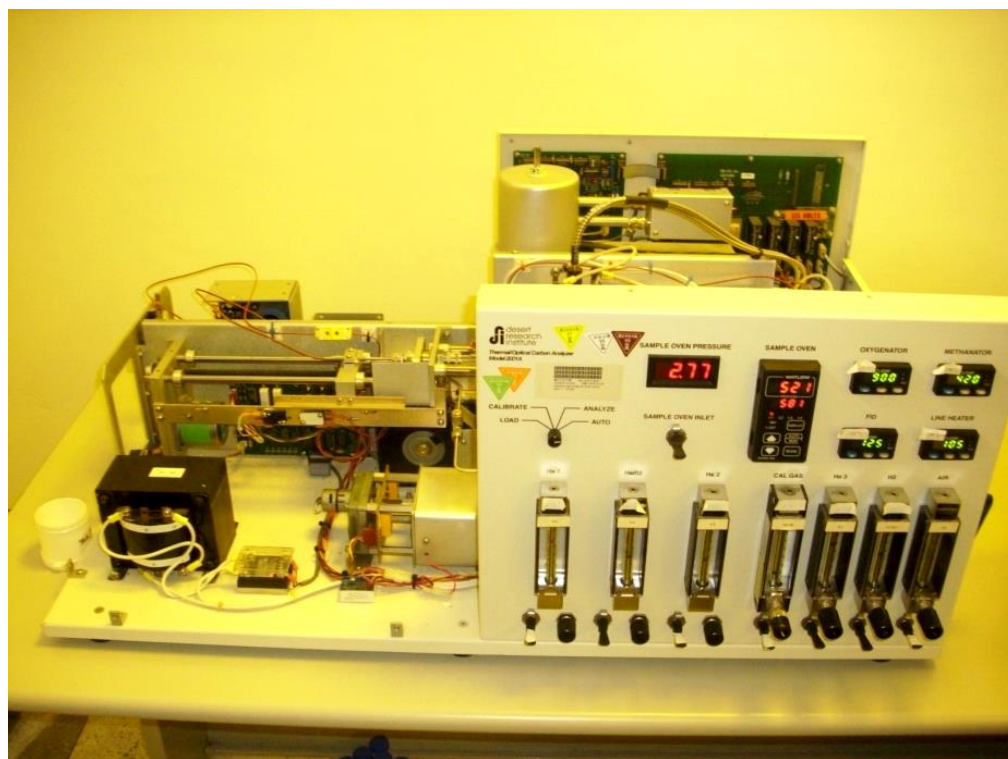


圖 3.2.27 碳分析儀 Model 2001A—氣膠有機碳、元素碳分析



表 3.2.3 DRI 2001A 碳分析儀各加熱階段與溫度範圍

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

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 3.2.28)及數據表(圖 3.2.29)、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

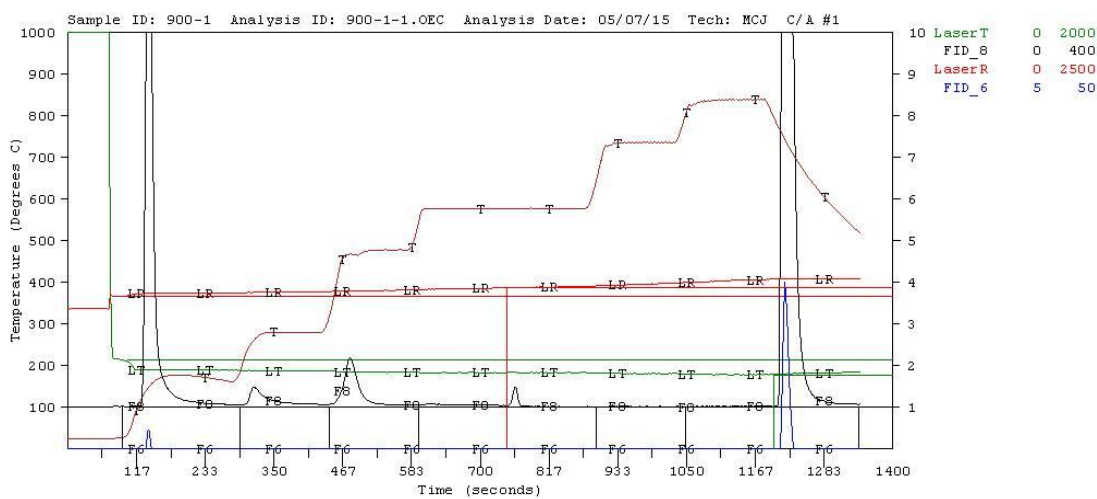


圖 3.2.28 DRI 2001A 碳分析儀分析結果圖譜

(2)分析結果數據表及大氣氣膠碳成分濃度計算

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. 大氣氣膠碳成分質量( $\mu\text{g C filter}^{-1}$ ) = 單位面積碳濃度( $\mu\text{g C cm}^{-2}$ ) $\times$ 採樣濾紙面積( $\text{cm}^2 \text{ filter}^{-1}$ )
- 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 + EC2 + EC3-OP
- e. 總碳(TC) = OC + EC

Sample ID : 900-1  
Punch area : 0.531 cm2  
Deposit area : 10.682 cm2 → 採樣濾紙面積

Analysis Start : 05/07/15 14:31  
Analysis Stop : 05/07/15 15:05  
Calculation : 05/07/15 15:05

Anal program ver: P6.0 (06/18/04)  
Calib. slope : 26.42 ug C/peak ratio  
Calib. intercept: 00.00 ug C  
Reflectance unc.: 010 counts  
Sample transit : 20 sec  
Parm file ver : V20040618  
Baseline time : 11 sec  
Transmission unc: 010 counts

Calibration peak area: 31159 millivolt-seconds  
Initial FID baseline : 40 millivolts  
Final FID baseline : 41 millivolts

Laser reflectance initial baseline : 917 millivolts  
Laser reflectance minimum : 917 millivolts at 93 sec  
Laser reflectance final baseline : 1017 millivolts  
Laser transmittance initial baseline : 429 millivolts  
Laser transmittance minimum : 354 millivolts at 1095 sec  
Laser transmittance final baseline : 357 millivolts

Reflect Split Time Laser FID Split Time  
Lower split : 726 sec 1242 millivolts 746 sec  
Regular split: 726 sec 1242 millivolts 746 sec  
Upper split : 726 sec 1242 millivolts 746 sec

Transmit Split Time Laser FID Split Time  
Lower split : 1179 sec 619 millivolts 1199 sec  
Regular split: 1179 sec 619 millivolts 1199 sec  
Upper split : 1179 sec 619 millivolts 1199 sec

單位面積(cm<sup>2</sup>)的碳成分濃度

Peak Area Carbon  
OC1 OC 8825 mv-secs 14.09 ug C/cm2 150.53 ug C/filter  
OC2 OC 870 mv-secs 1.39 ug C/cm2 14.83 ug C/filter  
OC3 OC 1528 mv-secs 2.44 ug C/cm2 26.05 ug C/filter  
OC4 OC 299 mv-secs 0.48 ug C/cm2 5.10 ug C/filter  
EC1 EC 200 mv-secs 0.32 ug C/cm2 3.41 ug C/filter  
EC2 EC 0 mv-secs 0.00 ug C/cm2 .00 ug C/filter  
EC3 EC 0 mv-secs 0.00 ug C/cm2 .00 ug C/filter  
LRPyMin Py 0 mv-secs .00 ug C/cm2 .00 ug C/filter  
LRPyMid Py 0 mv-secs .00 ug C/cm2 .00 ug C/filter  
LRPyMax Py 0 mv-secs .00 ug C/cm2 .00 ug C/filter  
ITPyMin Py 200 mv-secs .32 ug C/cm2 3.41 ug C/filter  
ITPyMid Py 200 mv-secs .32 ug C/cm2 3.41 ug C/filter

採樣濾紙的碳質量

圖 3.2.29 DRI 2001A 碳分析儀分析結果數據

### (3)偵測極限

#### a. DRI 2001A 碳分析儀最低可量測極限(LQL)

本計畫曾經利用同一張空白濾紙做9次重複分析，再將分析得到的碳成分質量除以採樣體積 $14.4 \text{ m}^3$  (24小時採樣，流量為 $10 \text{ L min}^{-1}$ )，可得到空氣中氣膠碳成分濃度( $N = 9$ )。

九次量測得到的結果如下：

$$\text{OC} \quad 0.09 \pm 0.040 \text{ } \mu\text{gC m}^{-3}$$

$$\text{EC} \quad 0.03 \pm 0.034 \text{ } \mu\text{gC m}^{-3}$$

$$\text{TC} \quad 0.12 \pm 0.055 \text{ } \mu\text{gC m}^{-3}$$

#### b. 方法偵測極限(MDL)

取 LQL 3 倍標準差值可獲得：

$$\text{OC} \quad 0.12 \text{ } \mu\text{gC m}^{-3}$$

$$\text{EC} \quad 0.10 \text{ } \mu\text{gC m}^{-3}$$

$$\text{TC} \quad 0.17 \text{ } \mu\text{gC m}^{-3}$$

### (4)大氣氣膠碳成分分析檢量線製作步驟

本分析系統以鄰苯二甲酸(KHP)為標準品，KHP 標準液檢量線製作係以 7 個不同的 KHP 濃度分別為 90 ppm C、180 ppm C、225 ppm C、450 ppm C、900 ppm C、1350 ppm C 及 1800 ppm C 進行。各標準液的理論計算濃度與儀器分析後的濃度誤差可接受範圍為：90 ppmC 可容許誤差百分比為 10%，其餘濃度誤差百分比為 5%，檢量線可接受標準為直線迴歸  $R^2$  達 0.995 以上。

### 3.2.7 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 公司出產型號為 NexIon 300X 感應耦合電漿質譜儀(Induced Couple Plasma Mass Spectrography, ICP-MS)進行分析，如圖 3.2.30，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，利用甲烷氣解除氫氣干擾，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，再以載送氣體輸送，將形成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，將電漿中待分析元素形成單價正離子，再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，再以電子倍增器加以檢測，並進行多元素的定性及定量。

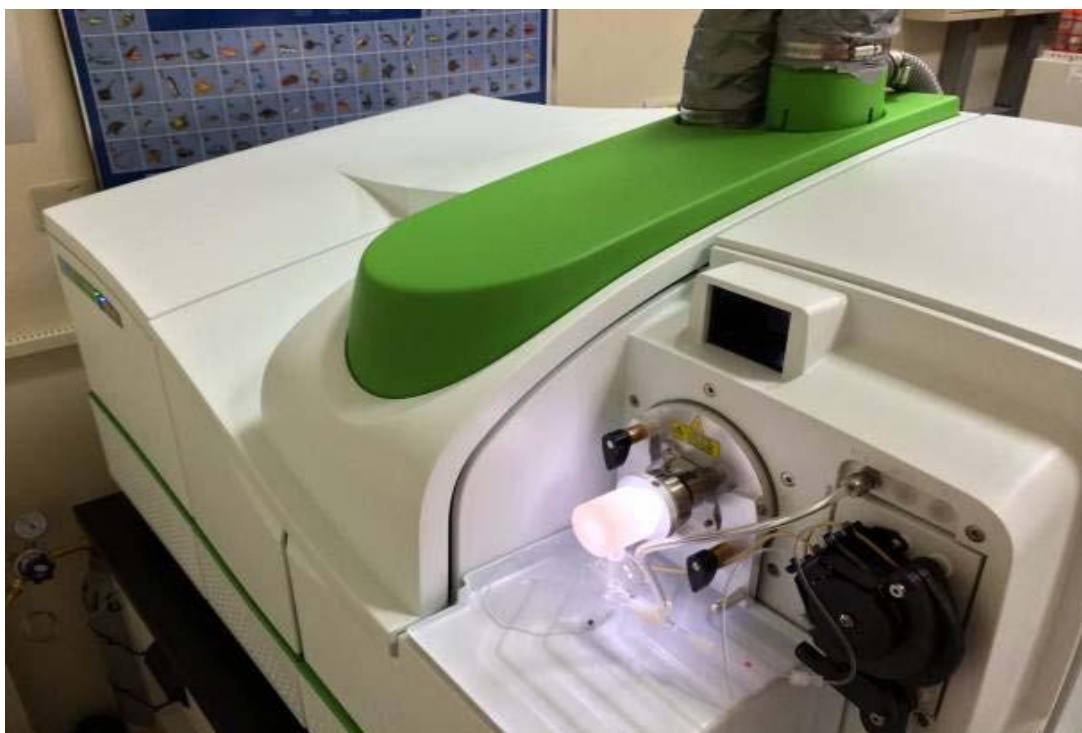


圖3.2.30 Perkin-Elmer公司型號NexIon 300X感應耦合電漿質譜儀

#### 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

在金屬元素分析上，將採完樣後的整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 1440 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，始可進行實際微粒樣本的消化。將濾紙樣本置入鐵氟龍消化瓶中，加入 4 mL

的硝酸(Merck, 60 % Ultrapur)與 2 mL 的氫氟酸(Merck, 48 % Ultrapur)，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 3.2.4 所示，共分兩階段加熱程序，第一階段功率設定在 1440 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，再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，再依序添加 2.0 mL 的硝酸(Merck, 60 % Ultrapur)至樣本中，進行第二階段消化，其消化功率與升溫條件如表 3.2.5。

表 3.2.4 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3.2.5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

待消化程序均已完成後，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，最後再以去離子水稀釋定量至50 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，並將實際微粒樣品的濃度扣除空白濾紙濃度即為樣品真實的濃度，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，再以去離子水淋洗且晾乾後方可使用，另避免不同離心管的容量互異，於定量前及定量後均需稱重，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)、釔(Y)、鋯(Zr)、銣(Rb)、鎵(Ga)、鍮(Ge)、銫(Cs)、鐳(La)、銻(Ce)、釷(Nd)及磷(P)等34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。上機分析檢量線標準液配製，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 % Ultrapur)稀釋配製成7種系列濃度，主量元素(Al、Fe、Na、Mg、K、Ca與P)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，另，稀土元素(La、Ce及Nd)的稀釋系列則分別為0.01、0.1及1 ppb。此外，於每一分析批次中(約20個樣本)會安插一個查核標準品(NIST SRM 1648消化液)，以確保分析數據的品質。

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)、Rh(銩)、鎘(Cd)、銦(In)、銻(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3.2.6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 3.2.6 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 ( $\text{L min}^{-1}$ )	15
載送氣流-氬氣氣體流速 ( $\text{L min}^{-1}$ )	0.7-0.9
輔助氣流-氬氣氣體流速 ( $\text{L min}^{-1}$ )	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)	$0.7 \pm 0.1$
掃描模式	多元素短暫快速掃描
樣品取樣速率 ( $\text{L min}^{-1}$ )	1.2
操作壓力 (torr)	$1.5 \times 10^{-6}$ - $2.5 \times 10^{-6}$
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

### 3.2.8 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.濾紙空白，5.採樣器維護檢查，以及 6.實驗室品保品管一般原則。

#### 1. 濾紙準備與分析檢查項目

##### 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：

- (1) 隨機選擇來自相同製造批號的濾紙3盒。
- (2) 在每一個濾紙盒隨機選擇3張濾紙。
- (3) 將濾紙放置在 Petrislides<sup>®</sup> 盒中，在秤重的環境下平衡24小時，然後再秤重。
- (4) 秤重完此9張濾紙放回 Petrislides<sup>®</sup> 盒中，使他們繼續在秤重的環境下又平衡24小時，然後再秤重。
- (5) 連續重複平衡 24小時後再秤重，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小時的平衡再秤重。
- (6) 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。
- (7) 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。
- (8) 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。

### **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：

- (1)針孔洞
- (2)濾紙與套環分離
- (3)粗糙表面或有閃光
- (4)鬆散的材質
- (5)濾紙脫色
- (6)濾紙不均勻性
- (7)其他怪異的情形

### **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 3.2.7)，詳細步驟均列於本計畫品保規畫書內。



表 3.2.7 濾紙準備與分析檢查項目

項目	方法與頻率	要求條件	沒有達到要求條件的動作
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，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，每 6 個月更換針( <sup>210</sup> Po)防靜電帶	丟棄處理不當的濾紙或老舊的防靜電帶
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	確定每一批新的濾紙正確的調理期間(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的穩定性，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 4°C以下，在這種情況下的秤重時間不得超過 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有正確和完整輸入。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 (2009) Quality Assurance Guidance Document, Quality Assurance Project Plan for the Federal PM<sub>2.5</sub> Performance Evaluation Program. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711.

## 2. 採樣流量校正與查證程序

進行現場採樣時，確保採樣器功能的正確是關鍵，表 3.2.8 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 3.2.8 現場採樣 QA/QC 檢查項目

項目 <sup>a</sup>	頻率	接受標準	CFR 文件	文件 2.12	提供的資料
<b>校正標準</b>					
流量傳輸標準	1 次/每年	±2% 的可追溯 NIST 標準	Part 50, App. L, Sec 9.1,9.2	Sec 6.3.3	可追溯的認證
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 和 8.3.2.1	可追溯的認證
野外氣壓計	1 次/每年	解析度 ±1 mmHg 準確度 ±5 mmHg		Sec 4.2.2 和 8.3.2.1	可追溯的認證
<b>校正/確認</b>					
流量校正	如果多點失敗	±2% 傳輸標準	Part 50, App. L, Sec 9.2	Sec 6.3	校正飄移和記憶效應
流量多點確認	每次手動, 1 次/每年	±2% 傳輸標準	Part 50, App. L, Sec 9.1,2	Sec 6.3 和 8.3	校正飄移和記憶效應
<b>流量單點確認</b>	1 次/每 4 星期	±2% 傳輸標準	Part 50, App. L, Sec 9.2.5		
外部測漏檢查	每採五個事件	80 mL/min	Part 50, App. L, Sec 7.4	Sec 6.3 和 8.3	採樣器功能
內部測漏檢查	每採五個事件	80 mL/min	Part 50, App. L, Sec 7.4	Sec 6.3 和 8.3	採樣器功能
溫度多點確認	安裝時, 然後 1 次/每年	±2°C	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 6.4	校正飄移和記憶效應
溫度單點確認	1/每 4 星期	±4°C	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 6.4 和 8.2	校正飄移和記憶效應
壓力校正	安裝時, 然後 1 次/每年	±10 mmHg	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 6.5	校正飄移和記憶效應
壓力確認	1 次/每 4 星期	±10 mmHg	Part 50, App L, Sec 9.3	Sec 8.2	校正飄移和記憶效應
時鐘定期確認	1 次/每 4 星期	1 分鐘/月	Part 50, App L, Sec 7.4	沒有描述	確認功能正常
<b>空白濾紙</b>					
現場空白	約 10%	± 30 µg	Part 50, App L, Sec. 8.3.7.1	Sec 7.7	量測系統受到污染
<b>精密度檢查</b>					
併行採樣器	每六天	CV<10%	Part 58, App A, Sec 3.5, 5.5	Sec 10.2.2	量測系統的精密度
<b>準確度</b>					
流量查核	1 次/每 2 周(自動儀器) 1 次/每 3 個月(手動儀器)	±4% 的查核標準	Part 58, App A, Sec 3.5.1	Sec 10.2.3	儀器偏差/準確度
外部測漏檢查	4 次/每年	<80 mL/min		Sec 6.6	採樣器功能
內部測漏檢查	4 次/每年	<80 mL/min	沒有描述	Sec 6.6	採樣器功能
溫度檢查	4 次/每年	±2°C	沒有描述	Sec 8.3	校正飄移和記憶效應
壓力檢查	4 次/每年	±10 mm Hg	沒有描述	Sec 8.3	校正飄移和記憶效應
<b>稽核(外部評估)</b>					
聯邦參考標準方法 (FRM) 績效評估	25% 的測站 4 次/每年	±10%	Part 58, App A, Sec.3.5.3	Sec 10.2.3	量測系統偏差
外部測漏檢查	1 次/每年或有要求時	<80 mL/min	沒有描述	Sec 6.6.1	採樣器功能
內部測漏檢查	1 次/每年或有要求時	<80 mL/min	沒有描述	Sec 6.6.2	採樣器功能
溫度檢查	1 次/每年	±2°C	沒有描述	Sec 10.2.5	校正飄移和記憶效應
壓力檢查	1 次/每年	±10 mmHg	沒有描述	Sec 10.2.5	校正飄移和記憶效應

<sup>a</sup> 項目欄中的**粗斜體** 指在更新版的 CFR (Code of Federal Register) 將會有改變

資料來源: U.S. Environment Protection Agency (2009) Quality Assurance Guidance Document, Quality Assurance Project Plan for the Federal PM<sub>2.5</sub> Performance Evaluation Program. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711.

### 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 3.2.9 列出採樣程序檢查項目方法和頻率。

**表 3.2.9 採樣程序檢查項目方法和頻率**

程序	方法與頻率	要求條件	沒有達到要求條件須採取的動作
濾紙安裝(不要將濾紙從濾紙夾中移除供檢查)	目視檢查濾紙，穩穩地關閉濾紙夾	濾紙必須要能獨特地辨識，已稱重的，未損壞的，而且是在濾紙夾	退出濾紙並在濾紙夾內安裝替代的濾紙
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	目視濾紙夾的濾紙是否撕裂、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	懷疑有洩漏時檢查是否有洩漏，或每第五個採樣日後檢的 WINS 衝擊器。	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，然後移除處理。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和貯存條件。

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2009) Quality Assurance Guidance Document, Quality Assurance Project Plan for the Federal PM<sub>2.5</sub> Performance Evaluation Program. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, 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 10 個樣品至少需進行 1 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，採樣後較採樣前之秤重值差超過 30 µg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。

NIEA A205.11C 方法又指出：每 10 個樣品至少需進行 1 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，採樣後較採樣前之秤重值差超過 30 µg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。

另外，每 10 個樣品至少需進行 1 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，採樣後較採樣前之秤重值差 15 µg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。

有關「現場空白」的做法，美國 Chemical Speciation Network/Speciation Trends Network (CSN/STN)(Chow et al., 2010)是於正式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。本計畫將以靜置 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，其餘處理步驟應該都要和採樣濾紙、「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，預計在所有 6 個 PM<sub>2.5</sub> 成分採樣站點，每次採樣的微粒質量濃度、水溶性離子、碳成分測定濾紙都對應有 1 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 1 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對應有 1 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。2016 年採樣工作使用 R&P 2300 成分採樣器，本計畫團隊對該類儀器有多年採樣經驗，另外，本計畫團隊也擁有備源的微粒碳成分分析儀一部和離子成分層析儀多部。

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將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

表 3.2.10 列出 PM<sub>2.5</sub> 採樣器應維護檢查項目，這些項目將依照不同採樣器進行調整。

**表 3.2.10 PM<sub>2.5</sub> 採樣器維護檢查項目**

頻率 <sup>a</sup>	維護項目 <sup>b</sup>
每 5 個採樣天次	1. 維護採樣器集水瓶
每月	1. 清潔採樣器入口表面 2. 清潔衝擊器外蓋和衝擊器噴嘴，檢查 O 型環 3. 清潔採樣器內部 4. 檢查採樣器內部時間準確性 5. 檢查樣本運送盒狀況
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. 檢查和維護衝擊器組件內的各 O 型環 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
其他周期性維護	1. 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

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2009) Quality Assurance Guidance Document, Quality Assurance Project Plan for the Federal PM<sub>2.5</sub> Performance Evaluation Program. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711.

## 7. 實驗室品保品管一般原則

表 3.2.11 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 3.2.11 實驗室 QA/QC 檢查項目

項目	頻率	接受標準	CFR, 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 µg 差異/每星期	Part 50, App. L, Sec. 8.2 2.12, Sec. 7.7	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 µg 的差異	Part 50, App. L, Sec. 8.2 2.12, Sec. 7.7	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	2.12, Sec. 7.2	設備操作的確認
實驗室的溫度校正	3 個月	±2°C	品保計畫規畫(QAPP), Sec. 13/16	設備操作的確認
實驗室的濕度校正	3 個月	±2 %	QAPP, Sec. 13/16	設備操作的確認
<b>準確度</b>				
天秤稽核	1 次/每年	±15 µg 未開封的濾紙	2.12, Sec. 10.2	實驗室人員技術操作
天秤檢查	秤重開始，每 10 個樣本，秤重結束	≤3 µg	2.12, Sec. 7.14	天秤的準確度/穩定度
<b>校正標準</b>				
工作質量標準	3-6 月	25 µg	2.12, Sec. 4.3 和 7.3	標準確認
主要質量標準	1 次/每年	25 µg	2.12, Sec. 4.3 和 7.3	主要標準確認
溫度標準	1 次/每年	±0.1°C 解析度 ±0.5°C 準確度	2.12, Sec.4.3.7 和 7.6	標準確認(檢查準確度)
相對濕度標準	1 次/每年	±0.5% 解析度 ±2% 準確度	2.12, Sec.4.3.7 和 7.6	標準驗證
<b>精密度</b>				
重複濾紙秤重	每次秤重	±15µg 差異	2.12, Table 7-1 QAPP, Sec. 13/16	秤重可重複性/濾紙的穩定性

資料來源：U.S. Environment Protection Agency (2009) Quality Assurance Guidance Document, Quality Assurance Project Plan for the Federal PM<sub>2.5</sub> Performance Evaluation Program. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711.

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。



### 3.2.9 實驗室檢測數據品質規劃簡要說明

#### 1. 數據品質目標

表 3.2.12 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 3.2.12 各量測項目的數據品質目標

檢測項目	檢測方法	精密度	準確度	完整性	方法偵測極限 (μg m <sup>-3</sup> )
質量濃度	NIEA A205.11C	<20%	80-120%	90%	2.0
Cl <sup>-</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.007
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.017
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.035
Na <sup>+</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.007
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.017
K <sup>+</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.007
Mg <sup>2+</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.007
Ca <sup>2+</sup>	NIEA W415.52B	<20%	80-120%	90%	0.007
有機碳(OC)	US IMPROVE A	<20%	80-120%	90%	0.12
元素碳(EC)	US IMPROVE A	<20%	80-120%	90%	0.10
總碳(TC)	US IMPROVE A	<20%	80-120%	90%	0.17
鉀(K)、磷(P)	NIEA A305.11C	<20%	80-120%	90%	0.005
鋁(Al)、鐵(Fe)、鈉(Na)、鈣(Ca)	NIEA A305.11C	<20%	80-120%	90%	0.002
鋇(Ba)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、鎂(Mg)	NIEA A305.11C	<20%	80-120%	90%	0.001
鈦(Ti)、錳(Mn)、鎳(Ni)、銅(Cu)、銻(Sb)、鉛(Pb)、釩(V)、砷(As)、硒(Se)、銦(Sr)、鉬(Mo)、鎘(Cd)、錫(Sn)、	NIEA A305.11C	<20%	80-120%	90%	0.0001

註1：實際方法偵測極限需小於方法偵測極限目標值

## 2. PM<sub>2.5</sub>成分分析數據精準度與準確度

PM<sub>2.5</sub>成分數據精確度是以重複樣品分析來確認分析儀器的精密度，本計畫每分析20個樣品後，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*)計算公式3.2.5如下。

$$RPD (\%) = \frac{|x_1 - x_2|}{\frac{1}{2}|x_1 + x_2|} \quad \text{公式(3.2.5)}$$

其中 *RPD* (%)為相對差異百分比， $x_1$  與  $x_2$  為同一樣品重覆分析兩次時，所得的測定值。

查核樣品分析是用來測定分析儀器準確度(Accuracy)，金屬元素是使用已知濃度標準樣品 NIST SRM 1648，本研究每分析20個樣品後，選取其中一個標準樣品進行查核樣品分析的查核以確保分析的品質，此兩組數據之差異百分比需小於20 %才可被接受，查核樣品分析回收率(Recovery, *R*)計算公式如式3.2.6。

$$R (\%) = \frac{X}{S} \times 100 \% \quad \text{公式(3.2.6)}$$

其中 *R* (%)為查核樣本回收率，*X* 為測定值，*S* 為標準樣品的濃度值。

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

表 3.2.13 彙整 2016 年計畫(李等，2016)PM<sub>2.5</sub> 化學成分各量測項目的數據品質目標符合度，顯示都符合目標值，表 3.2.14 則指出 2016 年微粒金屬元素成分分析樣本回收率與準確率都符合 NIEA A305.11C 規定須小於 20%內。

表 3.2.13 PM<sub>2.5</sub> 化學成分各量測項目的數據品質目標符合度 (李等，2016)

檢測項目	檢測方法	精密度	準確度	完整性	方法偵測極限(μg m <sup>-3</sup> )
質量濃度	NIEA A205.11C	0.3%	-	>95%	2.0
Cl <sup>-</sup>	NIEA W415.52B	1.6%	100%	>95%	0.007
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NIEA W415.52B	1.2%	95%	>95%	0.017
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NIEA W415.52B	1.6%	97%	>95%	0.035
Na <sup>+</sup>	NIEA W415.52B	1.5%	100%	>95%	0.007
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NIEA W415.52B	1.1%	98%	>95%	0.017
K <sup>+</sup>	NIEA W415.52B	2.0%	99%	>95%	0.007
Mg <sup>2+</sup>	NIEA W415.52B	3.9%	101%	>95%	0.007
Ca <sup>2+</sup>	NIEA W415.52B	2.5%	100%	>95%	0.007
有機碳(OC)	US IMPROVE A	8%	98%	>95%	0.12
元素碳(EC)	US IMPROVE A	10%	98%	>95%	0.10
總碳(TC)	US IMPROVE A	6%	98%	>95%	0.17
鉀(K)、磷(P)	NIEA A305.11C	3.3%	102%	>95%	0.004
鋁(Al)、鐵(Fe)、鈉(Na)、鈣(Ca)	NIEA A305.11C	2.0-2.4%	93-102%	>95%	<0.01
鋇(Ba)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、鎂(Mg)	NIEA A305.11C	1.8-4.4%	93-97%	>95%	<0.002
鈦(Ti)、錳(Mn)、鎳(Ni)、銅(Cu)、銻(Sb)、鉛(Pb)、釩(V)、砷(As)、硒(Se)、銦(Sr)、鉬(Mo)、鎘(Cd)、錫(Sn)	NIEA A305.11C	3.1-10%	94-107%	>95%	<0.0008

目標值：精密度<20%，準確度為 80-120%，完整性為 90%。

表 3.2.14 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分資料準確度與精密度 (李等, 2016)

	Certified Values	This Study	準確度(%)	精密度(%)
Al	3.42±0.11# %	3.24±0.08 %	95	2.4
Fe	3.91±0.10 %	3.65±0.07 %	93	2.0
Na	0.425±0.002 %	0.43±0.01 %	102	2.3
Mg	8000 mg/kg*	7789±341 mg/kg	97	4.4
K	1.05±0.01 %	1.07±0.04 %	102	3.3
Ca	---**	7.07±0.26 %	---	---
Sr	---**	254±2 mg/kg	---	---
Ba	737 mg/kg*	687±12 mg/kg	93	1.8
Ti	4000 mg/kg*	3780±139 mg/kg	94	3.7
Mn	860 mg/kg*	773±31 mg/kg	98	4.1
Co	18 mg/kg*	17±1 mg/kg	95	4.8
Ni	82±3 mg/kg	79±3 mg/kg	96	3.5
Cu	609±27 mg/kg	590±18 mg/kg	97	3.1
Zn	4760±140 mg/kg	4575±195 mg/kg	96	4.3
Mo	---**	20±1 mg/kg	---	---
Cd	75±7 mg/kg	72±3 mg/kg	96	3.6
Sn	---**	130±5 mg/kg	---	---
Sb	45 mg/kg*	47±2 mg/kg	105	4.6
Tl	---**	3±0.1 mg/kg	---	---
Pb	6550±80 mg/kg	6330±312 mg/kg	97	4.9
V	140±3 mg/kg	123±4 mg/kg	96	3.5
Cr	403±12 mg/kg	382±17 mg/kg	95	4.4
As	115±10 mg/kg	123±4 mg/kg	107	3.2
Y	---**	16±1 mg/kg	---	---
Se	27±1 mg/kg	28±3 mg/kg	105	10
Zr	---**	122±2 mg/kg	---	---
Ge	---**	12±1 mg/kg	---	---
Rb	52 mg/kg*	49±2 mg/kg	95	4.8
Cs	3 mg/kg*	3±0.04 mg/kg	109	1.1
Ga	---**	40±2 mg/kg	---	---
La	42 mg/kg*	39±1 mg/kg	94	1.8
Ce	55 mg/kg*	54±1 mg/kg	98	1.4
Nd	---**	32±0.24 mg/kg	---	---
P	---**	0.83±0.03 %	---	---

#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 3.2.15及表3.2.16，詳細敘述則列於本計畫品保規畫書。

表 3.2.15 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	R&P 2000 採樣器	1. 將濾紙夾取下，放置金屬盒內。 2. 放置冷藏櫃( $\leq 4^{\circ}\text{C}$ )。 3. 將樣本運送回實驗室
	BGI PQ200 採樣器	1. 將濾紙夾取下，放置金屬盒內。 2. 放置冷藏櫃( $\leq 4^{\circ}\text{C}$ )。 3. 將樣本運送回實驗室。
	R&P 2300 採樣器	1. 於 R&P 2300 儀器，取下採樣器並使用封口膜將採樣器入口與出口端密封。 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。
	MetOne SASS 採樣器	1. 於 MetOne SASS 儀器，取下採樣器並使用原廠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。

表 3.2.16 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. 進入微量天平秤重室，須先填寫天平室進出紀錄表。非實驗室人員需進入時，須由實驗室管理人同意並派實驗室人員陪同進入。 2. 須穿著乾淨的衣服和徹底清洗自己身體可能暴露在秤重的部位，進入微量天平室時，須穿著室內拖鞋。
	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. 天平室環境條件相對溼度須控制在 30-35%，溫度則須控制在 20-23°C。
	濾紙編號與調理濾紙	1. 新的一批濾紙必須給予新的批號，例如 14TA，14 取 2014 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，使用尼龍濾紙時代號為 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 14TB，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

		<p>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 14TA09 開始至 14TA50 結束。</p> <p>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。</p>
	濾紙初秤重	<p>1. 確認環境條件相對溼度控制在 30-35%，溫度控制在 20-23°C，才能繼續秤重。</p> <p>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。</p> <p>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，必須重新再去靜電、秤重。</p> <p>4. 第二人秤重至少間隔 24 小時，第二人秤重兩次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。</p>
	濾紙後秤重	<p>1. 採樣後濾紙盒以 3/4 開放至調理櫃中至少 72 小時之後進行秤重。</p> <p>2. 秤重方式與初秤重相同。</p>
檢驗室作業 (碳分析儀)	樣品保人員 確認樣品編號及數量	<p>1. 確認樣品編號是否有誤。</p> <p>2. 包裝是否完整密封。</p>
	將樣本妥善 冷藏保存	<p>1. 冷藏溫度約 4°C。</p> <p>2. 樣本可存放期限約 1 個月。</p>
	碳分析儀 分析前置作業	<p>1. 檢查鋼瓶是否足夠？並檢查氣閥及浮子是否正確</p> <p>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。</p>
	樣本分析	<p>1. 樣品至冷藏取出，並確認樣品編號。</p> <p>2. 於儀器分析頁面輸入樣品編號、次數、使用者名稱。</p> <p>3. 確認無誤，開始分析。</p>
	碳分析儀 校正作業	<p>1. 配製 KHP 標準液。</p> <p>2. 配製七點檢量線(<math>R^2 \geq 0.995</math>)。</p> <p>3. 標準液誤差百分比需低於 5%。</p>
檢驗室作業 (水溶性離子)	樣品保人員 確認樣品編號及數量	<p>1. 確認樣品編號是否有誤。</p> <p>2. 包裝是否完整密封。</p>

	將樣本妥善冷藏保存	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 冷藏溫度約 4°C。</li> <li>2. 樣本可存放期限約 1 個月。</li> </ol>
	樣本處理	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將樣本由冰箱中取出等待回溫。</li> <li>2. 樣本剪開後置入萃取瓶中，並加入酒精及純水進行萃取。</li> <li>3. 過濾萃取後的樣本液體等待分析。</li> <li>4. 確認儀器狀態無誤後開起操作軟體進行分析。</li> </ol>
	校正作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 配製陰陽離子標準液(配製流程詳見詳見 IC 標準程序)。</li> <li>2. 配製濃度合宜的檢量線(<math>R^2 \geq 0.995</math>)。</li> <li>3. 標準液誤差百分比需低於 10%。</li> </ol>
檢驗室作業 (金屬元素)	樣本品保人員確認樣品編號及數量	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 確認樣品編號是否有誤。</li> <li>2. 包裝是否完整密封。</li> </ol>
	將樣本妥善冷藏保存	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 冷藏溫度約 4°C。</li> <li>2. 樣本可存放期限約 3 個月。</li> </ol>
	樣本處理	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將樣本由冰箱中取出等待回溫。</li> <li>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。</li> <li>3. 將樣本液體定量、稀釋至適當濃度。</li> <li>4. 確認儀器狀態無誤後開起操作軟體進行分析。</li> </ol>
	校正作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 配製金屬元素標準液(配製流程詳見詳見金屬元素標準程序)。</li> <li>2. 配製濃度合宜的檢量線(<math>R^2 \geq 0.995</math>)。</li> <li>3. 標準液誤差百分比需低於 10%。</li> </ol>

## 5. 校正程序及頻率

在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 R&P 2000 採樣器、R&P 2300 成分採樣器、BGI PQ200 採樣器、Met One 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 3.2.17 所列。

表 3.2.17 儀器校正頻率

儀器設備名稱	校正項目	校正頻率	標準品	校正方法或備註
R&P 2000 採樣器	溫度	每年	專用且經校正的溫度計	由檢測人員執行
	相對溼度	每年	專用且經校正的相對溼度計	由檢測人員執行
	大氣壓力	每年	專用且經校正的大氣壓力計	由檢測人員執行
	採樣流量	每次	專用且經校正的氣體流量計	由檢測人員執行
BGI PQ200 採樣器	溫度	每年	專用且經校正的溫度計	由檢測人員執行
	相對溼度	每年	專用且經校正的相對溼度計	由檢測人員執行
	大氣壓力	每年	專用且經校正的大氣壓力計	由檢測人員執行
	採樣流量	每次	專用且經校正的氣體流量計	由檢測人員執行
R&P 2300 採樣器	溫度	每年	專用且經校正的溫度計	由檢測人員執行
	相對溼度	每年	專用且經校正的相對溼度計	由檢測人員執行
	大氣壓力	每年	專用且經校正的大氣壓力計	由檢測人員執行
	採樣流量	每次	專用且經校正的氣體流量計	由檢測人員執行
Met One SASS 採樣器	溫度	每年	專用且經校正的溫度計	由檢測人員執行
	相對溼度	每年	專用且經校正的相對溼度計	由檢測人員執行
	大氣壓力	每年	專用且經校正的大氣壓力計	由檢測人員執行
	採樣流量	每次	專用且經校正的氣體流量計	由檢測人員執行
微量分析電子天平	質量	每年或移動後	標準砝碼	由國家量測中心或 CNLA 認可的量測實驗室執行
	天平水平零點	每次使用前		檢驗室自行檢查



	再現性檢查	每半年	標準砝碼	檢驗室自行檢查
離子層析儀	檢量線	每次使用前	各種離子標準液	由檢測人員執行
	精密度	每次使用前	各種離子標準液	由檢測人員執行
	準確度	每次使用前	各種離子標準液	由檢測人員執行
	再現性	每 10 個樣品	與樣品濃度相近的標準品	由檢測人員執行
碳分析儀	檢量線	每月配製	各種濃度標準液	由檢測人員執行
	精密度	每月配製	各種濃度標準液	由檢測人員執行
	準確度	每月配製	各種濃度標準液	由檢測人員執行
	再現性	每 10 個樣品	與樣品濃度相近的標準品	由檢測人員執行
	流量校正	每季	專用且經校正的氣體流量計	由檢測人員執行
感應耦合電漿質譜儀	檢量線	每次使用前	各種金屬元素標準液	由檢測人員執行
	精密度	每次使用前	標準參考樣本	由檢測人員執行
	準確度	每次使用前	標準參考樣本	由檢測人員執行
	再現性	每 20 個樣品	標準參考樣本	由檢測人員執行

## 6. 績效查核與系統查核及頻率

績效查核如：盲樣測試、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 3.2.18。

表 3.2.18 績效查核與系統查核及頻率

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
<b>R&amp;P 2300 採樣器</b>	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。	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對
<b>R&amp;P 2000 採樣器</b>	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。	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對
<b>BGI PQ200 採樣器</b>	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。	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對
<b>MetOne SASS 採樣器</b>	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。	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對
<b>碳分析儀</b>	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。	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對或參與標準品盲樣測試
<b>離子層析儀</b>	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	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對或參與國際標準品盲樣測試
<b>感應耦合電漿質譜儀</b>	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	與品保人員實驗室進行實驗室間的相互比對或參與國際標準品盲樣測試

## 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 3.2.19。

表 3.2.19 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；或另行配置低濃度檢量線。
	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 $\text{Cl}^-$ ，使得基線升高，影響 $\text{Cl}^-$ 積分位置。	調整絕對酒精稀釋倍數降低。
	添加樣品分析的執行方式	1. 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。 2. 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。
	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

碳分析儀	檢量線未達標準( $R^2 \geq 0.995$ )	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，應重新配置標準液，予以施打。
	誤差百分比超過 5%	配製標準液，其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，需重新配置標準液。
	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觀測是否達到接受範圍。
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。	使其適用範圍可包含低濃度的樣品；或另行配置低濃度檢量線。
	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。	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。
	檢量線未達標準( $R^2 \geq 0.995$ )	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，應重新配置標準液，予以施打。
	同位素干擾	不同元素之同位素形成相同整數 (Nominal) 質荷比之單價或二價離子，而無法被質譜儀解析所造成。	選擇其他天然豐度較大之同位素。
	多原子離子干擾	因多個原子所形成之離子與待分析物之同位素具有相同之整數質荷比，而無法由質譜儀解析時。	此干擾亦可藉由質量分析器前之化學或碰撞反應室等相關設計消除。

### 3.3 解析時間與空間分布特徵及影響因素

本計畫檢測分析的各地 PM<sub>2.5</sub> 化學成分可用以推估其污染來源，影響一個地區能見度最重要的空氣污染物是 PM<sub>2.5</sub>，因此，結合 PM<sub>2.5</sub> 化學成分和氣象因子，可篩選出在監測時段具有顯著影響的化學成分和氣象因子，這些資訊可提供環保單位進行污染源管制策略訂定或評估的參考。

#### 3.3.1 高污染事件成因判別準則

為了區分污染物濃度上升的事件成因，本計畫利用三種不同尺度資料，包括模式模擬與環保署測站監測資料，解析污染物濃度上升原因，三種尺度資料如下方說明：

- (1) 大尺度資料：以 NOAA Air Resources Laboratory 所研發的 Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory 簡稱 HYSPLIT 模式，進行逆推氣流軌跡線繪製，追溯 72 小時前氣流行經路線(如圖 3.3.1 左)，用以評估氣流傳輸至觀測地區前可能經過區域。
- (2) 中尺度資料：利用環保署監測站每小時全台灣污染物濃度分布圖(如圖 3.3.1 右)瞭解污染物區域傳輸特性。
- (3) 小尺度資料：使用採樣地點環保署空氣品質監測站自動監測資料小時值，判讀污染物小時濃度變化趨勢，了解 PM<sub>2.5</sub> 濃度與氣象因子及污染前驅物之間變化趨勢。

透過上述三種不同尺度資料交互評估，將污染事件可能成因及傳輸劃分為境外傳輸事件、境內區域傳輸事件(由鄰近都會傳輸影響)以及在地污染三種類型。各類污染成因判別依據說明如下：

##### 1. 境外傳輸

若大尺度軌跡資料顯示氣流行經亞洲大陸且高度位在混合層下方，則可能攜帶污染物至觀測地區。若氣流行經高污染地區，測站將會受到境外污染物傳輸影響，中尺度資料的污染物濃度分布將會出現各區域污染物濃度有階段上升現象，小尺度監測資料則會出現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. 境內區域傳輸

發生境內區域傳輸時，大尺度軌跡來向為海面或是傳輸至觀測地區前未經過明顯污染地區，但可能行經台灣數個空品區，中尺度資料將顯示污染物濃度隨盛行風向發生跨區域階段延遲上升，小尺度監測資料則會出現  $\text{PM}_{2.5}$  濃度隨風速上升現象。

## 3. 在地污染事件

當大尺度軌跡來向為海面或是傳輸至觀測地區前未經過明顯污染地區，中尺度資料將顯示  $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升僅在個別空品區內，或是污染物移動範圍較小；小尺度資料風速一般低於  $2 \text{ m s}^{-1}$  並且  $\text{PM}_{2.5}$  濃度時常於日間或夜間交通尖峰時段與  $\text{NO}_x$  及  $\text{CO}$  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。除了擴散條件不佳，午後光化學作用也可能是污染物濃度上升原因，時常於日間臭氧濃度發生最大值後濃度升高。

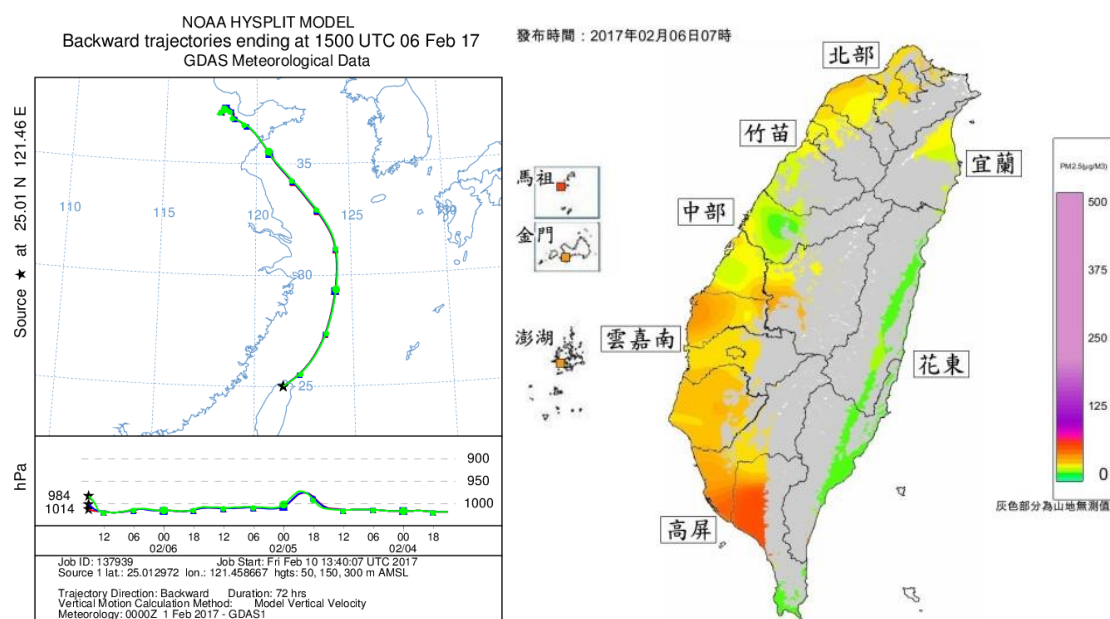


圖 3.3.1 大尺度資料逆推軌跡(左圖)與中尺度資料污染物濃度分布(右圖)範例

### 3.3.2 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

受體模型式是以受體的角度，透過周界量測的污染物物理與化學特性追溯污染來源。受體模式是由數學或統計程序建立的，利用化學物種的質量濃度與質量守恆的理論，識別及量化受體所在位置的空氣污染物來源。

美國於監管大氣模式支援中心的網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：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；多變量受體模式，像是因子分析模式(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到的數據即可建立污染來源解析，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 是一個獨立的加權因子分析模式，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，根據質量守恆理論，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，一般公式 3.3.1 表示(Norris et al., 2014)：

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \quad \text{公式(3.3.1)}$$

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

$p$ ：為解析出的因子總數，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  $k$  個因子矩陣中  $j$  成分所佔的指紋比例。

$e_{ij}$ ：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 3.3.1 表示：

表 3.3.1 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	$\sqrt{(\text{Error Fraction} \times \text{concentration})^2 + (0.5\text{MDL})^2}$
X<MDL	$\frac{1}{2}$ MDL	Uncertainty = $\frac{5}{6}$ MDL
缺值	濃度平均值	Uncertainty = $4 \times \text{平均濃度}$

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 X 100

若模式模擬得好，殘差應該會很小，不確定性低，模式才是穩定的，所以 PMF 的目標函數為最小的 Q 值，如公式 3.2.2 所示：

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \frac{e_{ij}}{u_{ij}} \right]^2 \quad \text{公式(3.3.2)}$$

其中  $u_{ij}$ ：第 i 個樣本中 j 成分的標準偏差，即為不確定性。

將式(3-2.1)的  $e_{ij}$  帶入(3.2.2)可得：

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2 \quad \text{公式(3.3.3)}$$

上面問題可以由加權最小平方法疊代求出 Q 的收斂解。

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 3.3.1)。

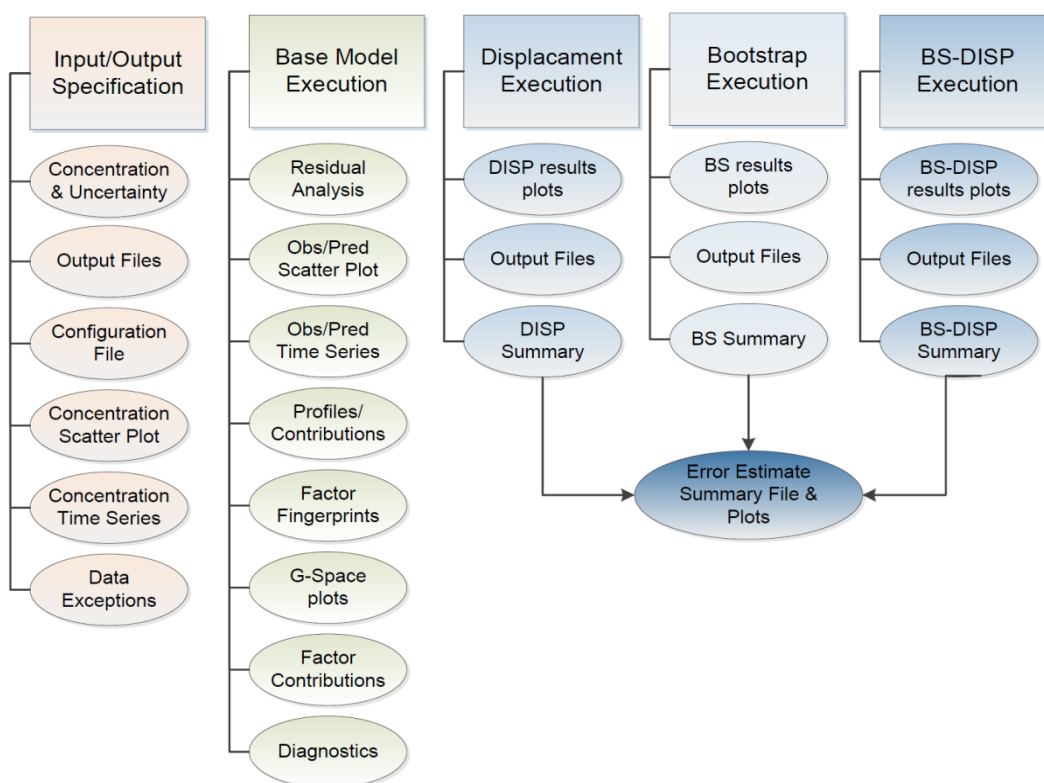


圖 3.3.2 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-基本模式 (Norris et al., 2014)

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 3.3.2)，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 3.3.4 所示：

$$G^*=GT \quad \text{和} \quad F^*=T^{-1}F \quad \text{公式(3.3.4)}$$

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樣本區塊，形成新的數據組合，然後跑 PMF，新的因子和 base run 的因子進行 mapping，比較因子的貢獻，如果兩個因子的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，PMF5.0 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 值變化區間內因子能彼此互換，則稱 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。

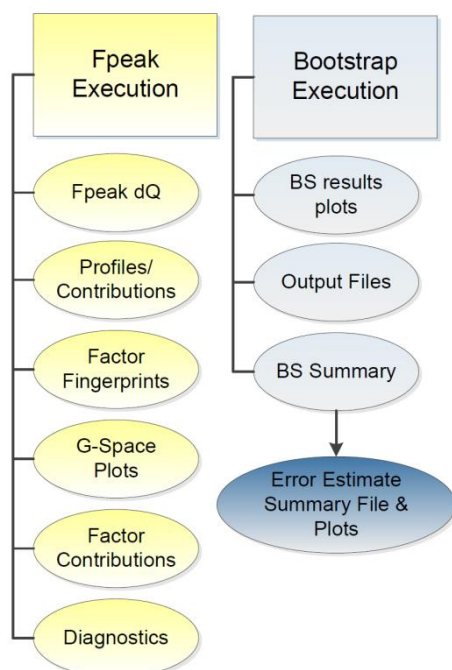


圖 3.3.3 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-Fpeak 模式 (Norris et al., 2014)

為了達到模式擬合良好的結果，PMF 提供了限制(Constraints)模式(圖 3.3.3)，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物種的貢獻度，來觀測模式結果的改變，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。

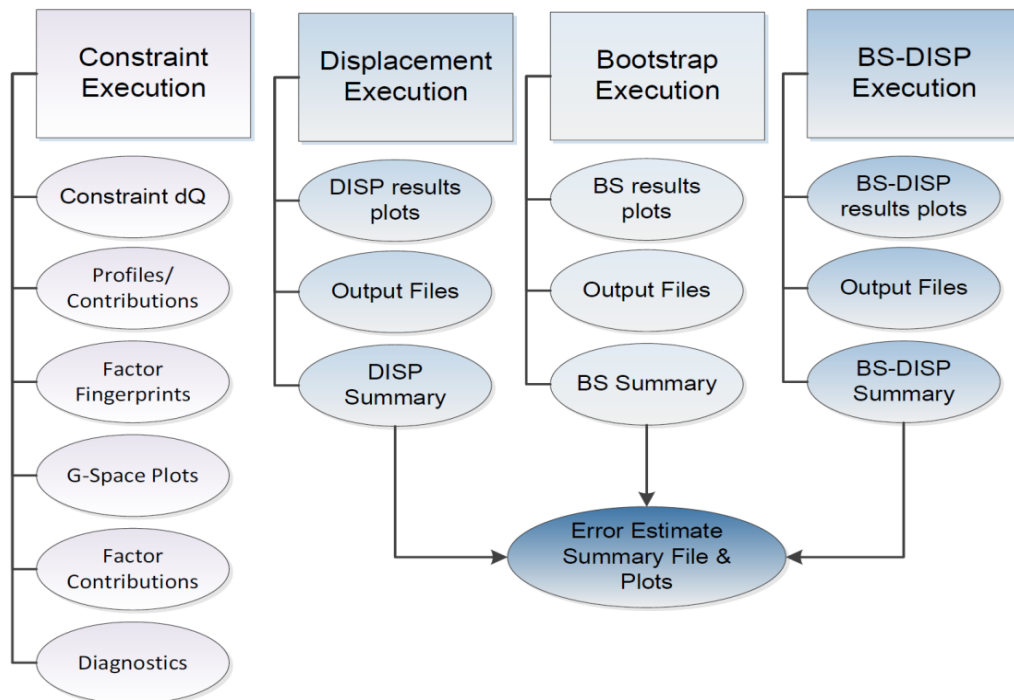


圖 3.3.4 美國環保署 PMF 5.0 版操作流程-限制模態 (Norris et al., 2014)

由於 PMF 只需要大氣污染物濃度資料即可解析，所以有越來越多的研究使用 PMF 模式做污染來源解析。Zhang et al. (2009)應用 PMF 模式(EPA PMF1.1)解析美國中西部測站，包含一個農村測站與四個城市測站，以  $\text{PM}_{2.5}$  一次與二次有機氣膠資料，解析出主要的污染源貢獻量。Wang et al. (2012)在美國紐約州第三大城市 Rochester，由二次無機離子、微量元素、碳物種和光吸收數據，以 PMF (EPA PMF, 4.1 版)模式調查  $\text{PM}_{2.5}$  的來源，結果解析出 8 個主要污染來源。Jeong et al. (2011)用加拿大五個城市測站的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分數據，進行 PMF 模式分析，定義出主要的污染來源並估算出它們對  $\text{PM}_{2.5}$  質量的貢獻量，在這個研究中，為了確定最有可能的污染源位置，還輔助運用條件機率函數(conditional probability function, CPF)和潛在源貢獻函數(potential source contribution function, PSCF)分析。CPF 是利用濃度較高時的特定風向推估，因此能更好地與在地污染源相聯結，PSCF 則是使用逆軌跡與全球網格氣象數據(EDAS gridded meteorological data)推估，有助於確定可能的長程傳輸來源地，並作為 PMF 分析模擬輔助推估來源貢獻。Belis et al. (2013)彙整 1994 到 2012 年歐洲使用受體模式文獻，各項污染來源推估顯示主要污染源類別分成：二次無機氣膠、交通源、工業點源、生質燃燒、地殼礦物塵土、海鹽。

為了輔助確認 PMF 解析的在地污染來源風向及污染源位置，Kim et al. (2003)以 Conditional Potential Function (CPF)解析發生高濃度污染的主要風向，推估貢獻污染來位置，並將推估的方式以公式 3.3.5 進行計算。

$$CPF = \frac{m_{\Delta\theta}}{n_{\Delta\theta}} \quad \text{公式(3.3.5)}$$

其中， $\Delta\theta$  為以小時風向  $22.5^\circ$  進行分割，共分成 16 個區塊，也就是 16 個風向(北、北北東、東北、東北東、東、東南東、東南、南南東、南、南南西、西南、西南西、西、西北西、西北、北北西)，接著進行小時風速小於  $1 \text{ m s}^{-1}$  的篩選，將採樣期間風速大於  $1 \text{ m s}^{-1}$  的風向留下來處理； $n_{\Delta\theta}$  為各個 PMF 解析的因子在整體採樣期間某個風向的總小時數； $m_{\Delta\theta}$  為篩選 PMF 解析各因子貢獻濃度前 15 % 採樣天同樣風向的小時數。經計算後，可得到各來源因子主要貢獻濃度的風向，並可藉由該風向實際存在污染源進行輔助驗證 PMF 推估結果的可靠性。例如：因子一在某一天貢獻濃度為該因子的前 15 %，當天有 15 小時吹東北風，於是  $m_{45}$  計數增加 15，當天有 9 小時吹北風，於是  $m_0$  計數增加 9。最後可統計出各因子發生高濃度比例高的風向，解釋為吹東北風(或北風)時，因子一發生前 15 %高濃度的機率，然後尋找該風向是否有與因子相關的重要污染源存在而獲得定性的確認。

### 3.3.3 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觀測能見度之 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子

以統計分析技術結合 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子推估地區能見度最廣被使用的方法是多元線性迴歸，例如：Lee and Shen (1995), Lee and Cheng (1996), Chan et al. (1999)等。目前氣象局有白天能見度人工觀測數據，每三個小時觀測一筆數據。環保署空品站則有能見度儀監測數據，每個小時一筆數據。

施(2013)比較環保署萬華站、西屯站、仁武站能見度儀監測數據分別和氣象局板橋站、台中站、高雄站人工觀測能見度數據，其 R<sup>2</sup> 分別為(0.78, n=63)、(0.62, n=61)、(0.83, n=57)，顯示能見度儀監測數據和人工觀測能見度有很好的線性相關，惟儀器監測能見度上限約 15 Km，當監測能見度在 15 Km 以上時，所對應的人工觀測能見度變動大；此外，儀器監測能見度數值多較人工觀測能見度高。考量 PM<sub>2.5</sub> 化學成分是 24 小時平均濃度，能見度儀在晚上仍有數據，可以呼應 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測數據。本計畫能見度監測數據選用中央氣象局在板橋、台中、嘉義、高雄、花蓮等觀測站數據，這六站的能見度資料(斗六氣象站無能見度資料，選用嘉義站)各監測站皆為人工觀測。本計畫篩選出影響監測地點能見度顯著的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子，然後進行多元迴歸統計模式。多元迴歸統計模式一般可表示如下：

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \cdots + a_nX_n + \varepsilon \quad \text{公式(3.3.6)}$$

Y：人工或儀器觀測能見度

a<sub>n</sub>：各項係數或常數

X<sub>n</sub>：PM<sub>2.5</sub> 化學成分或氣象因子

ε：能見度推估值和觀測值誤差

前述多元迴歸統計模式，也可使用 PMF 受體模式推估獲得的各因子(污染源)取代 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，篩選出影響監測地點能見度的因子(污染源)。結合 PMF 受體模式和能見度通估模式所獲得的各因子(污染源)或 PM<sub>2.5</sub> 化學成分，將有助於提供污染源管制策略評估建議。

### 3.3.4 金屬元素污染來源

在微粒的金屬成分中，大致可分為兩大類，一類為來自地殼元素以 Si、Fe、Al、Ca、Mg 為主要元素，另一部分則是來自人為活動所排放，以 Cr、Cd、Pb、Mn、Zn、Sn、Ni、V、Sb 等元素為主，這些元素可能來自化石燃料、煤碳以及工業添加成分(Aldabe et al., 2011; Huang et al., 2011; Ntziachristos et al., 2007)。

PM<sub>2.5</sub> 來自多種污染源排放或衍生，不同排放源所釋放出的微粒主要成分可能會相同，但也可能存在獨特成分，各污染源排放煙流在大氣經過混合後，到達採樣地點，分析採樣的微粒，如果受到主要污染源影響，其特定成分就會凸顯出來，因此，可以利用這些特定成分做為主要污染源追蹤指標(tracer)。金屬元素性質穩定，常被用作追蹤指標。舉例來說，塵土元素的指標元素為 Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Si、Sr 及 Ti 等 (Rahn, 1999)；海水飛沫的指標為 Na 及 Mg (Rahn, 1999)；交通排放源則有燃燒源及非燃燒源兩種，燃燒燃料則可利用 Cu、Pb、Zn 作為指標元素(Fang et al., 2006; Salvador et al., 2004; Weckwerth, 2001; Xia and Gao, 2011)，非燃燒燃料的排放源則是由輪胎、剎車或零件磨損所產生，可利用 Ba、Cd、Cr、Cu、Pb、Sb、Sn、Zn 等元素作為指標(Almeida et al., 2005; Birmili et al., 2006; Hjortenkrans et al., 2007; Reff et al., 2009)；鋼鐵業則可透過 As、Cu、Cr、Fe、Mn、Ni、Pb、Zn 等元素作為指標元素(Tian et al., 2010; Tsai et al., 2007; Yang et al., 2003)；煤碳燃燒在許多研究中發現其富含許多微量元素，大略可以 As、Cr、Cu、Hg、Sb、Se、Sn、Sr、Pb 等元素作為煤碳燃燒的指標元素(Querol et al., 2006; Reff et al., 2009)；垃圾焚化的指標元素則可使用 As、Cd、Pb、Sb、Zn 等元素作為指標(Christian et al., 2010)，其中 Hu et al. (2003)在研究中使用 Cd 做為台中地區焚化廠的排放指標。

PM<sub>2.5</sub> 化學成分中的金屬元素成分雖然僅占質量濃度的 1~4%，但這些元素常可當成來源追蹤成分，一般依據來源可區分為地殼塵土與人為來源，透過富集因子(Enrichment factor, EF)計算(如：公式 3.3.7)，再依據 EF 值可輔助界定元素來源是否來自於地殼塵土或是人為來源，本計畫根據 Taylor (1964)將玄武岩與花崗岩依特定比例混合做為地殼元素的礦物組成，透過文獻中所彙整的資

料，製作出各監測地區元素富集因子，選擇 Al 元素作為地殼元素代表，並以富集因子大於 10 時，代表受到人為源影響。

$$\text{Enrichment Factor} = \frac{\left(\frac{X}{Al}\right)_{\text{Sample}}}{\left(\frac{X}{Al}\right)_{\text{Crustal}}} \quad \text{公式(3.3.7)}$$

Sample: 樣本元素實際值

Crustal: 地殼元素參考值

X: 目標元素

### 3.3.5 依上述分析結果，提供污染源管制策略評估之建議

從上年度計畫受體模式推估結果顯示，北、中、南都會區測站都推估出廢棄物焚化來源，其中北部板橋站一年四季都有相當穩定的污染源占比，中、南部地區則可發現受到盛行風向影響或環境擴散條件較差的時期會有明顯污染占比。另外，針對各地區特有污染源，例如：中部的二次鋁冶煉業以及南部的鋼鐵業、煉油業、水泥業，可持續督導管制這些產業的排放以改善  $PM_{2.5}$  空氣品質。台灣夏季盛行西南風，氣流多來自海面，大氣環境擴散良好，各項污染物濃度為一年當中最底，但夏季也是確認檢視在地排放影響的季節。二次硝酸鹽相關污染源的影響在高  $PM_{2.5}$  濃度時期，如北部的冬季及春季、中部秋季、南部冬季，都有相當高占比(李等(2015；2016)，因此，硝酸鹽前驅物  $NO_x$  排放源應列為重要管制目標。對於污染貢獻來自外地傳輸或在地排放以及污染物是來自一次排放或是二次反應，單純從  $PM_{2.5}$  化學成分解析並無法區分出來，本計畫擬結合天氣系統、氣象因子和空品監測站氣體成分濃度變化推估區別前述污染貢獻及類別。



### 3.4 評估微粒成分自動監測適宜性

微粒成分自動監測在先前有微粒超級測站的設置(李等, 2008; 2009; 2010, 2011, 2012), 提供小時間尺度的微粒物理化學特性, 對於微粒在大氣環境演化及健康風險提供評估數據。在微粒超級測站運轉時期, 微粒元素濃度自動監測技術尚未成熟, 沒有商業化監測儀器, 目前已有數種微粒元素自動監測儀器問世, 由於微粒重金屬元素早已被公共衛生學者用於微粒健康風險評估, 如果這些儀器可以和手動採樣監測成果相匹配, 對於微粒健康風險和特定污染源排放影響評估將有很大助益。

#### 微粒元素成分自動監測可行性評估

環境中污染源排放受到大氣擴散及氣流傳輸影響, 變化迅速, 手動監測一筆數據長達 24 小時, 且需透過實驗分析相當耗時, 有效的自動監測儀器只需短時間即可獲得一筆數據, 更能反映出環境污染變化製訂出有效應變策略。

根據環保署要求, 需選擇環保署位於中、南部高污染物濃度地區一個測站, 租用自動監測儀器, 評估該儀器與手動採樣監測一致性。採樣頻率為一季連續監測 10 天, 每次監測 24 小時, 共計 4 季。

本計畫建議採用 Cooper Environmental Services LLC 公司型號 Xact 625 元素自動監測儀進行微粒元素成分監測, 儀器外觀及重要組件如圖 3.4.1 所示, 該監測設備透過入流口篩選粒徑小於  $2.5\ \mu\text{m}$  微粒, 微粒收集於濾帶上並透過 XRF (X-ray Fluorescence)設備分析所選定金屬元素濃度, 包括 Sb, As, Ba, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Hg, Mn, Ni, Se, Ag, Sn, Ti, Tl, V, Zn 等元素。該儀器採樣頻率可分為 15、30、60、120、180、240 min/次, 採樣流量為 16.7 Lpm, 分析單位為  $\text{ng m}^{-3}$ , 進行長時間監測(240 分鐘)時, 偵測極限最低可達  $0.014\ \text{ng m}^{-3}$ 。儀器可同時監測高達 24 種元素, 並且設有每種元素內標準品。由於儀器偵測極限和收集的微粒量有關, 本計畫擬儘量調整儀器一次可採樣時間, 以提升可比較性。

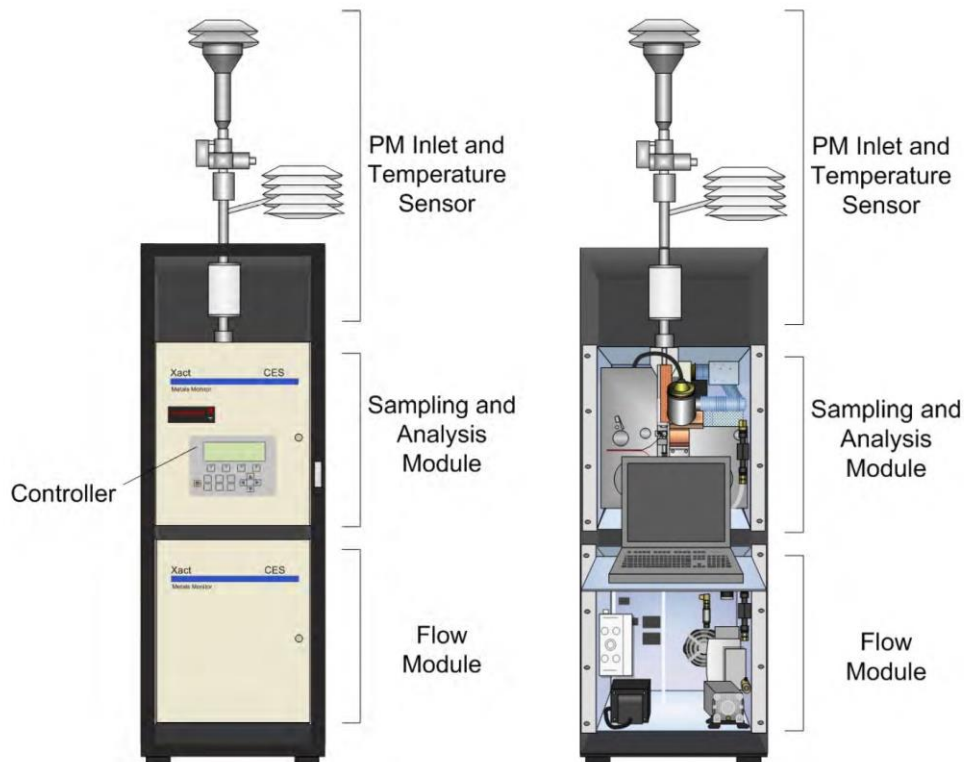


圖 3.4.1 Cooper Environmental Services LLC 公司型號 Xact 625 環境元素自動監測儀主要組件示意圖 (Cooper Environmental Services LLC, 2009)

儀器可行性評估成將參考該儀器商於 2012 年參與美國環保署的環境科技驗證計畫(Environmental Technology Verification, 簡稱 ETV) , 該計畫目的在於提升環境監測技術, 計畫期間儀器商與美國環保署於俄亥俄州設置比對站, 進行自動監測儀器 Xact 625 與手動儀器採樣並以 ICP-MS 分析進行比對, 並以下列五項因子評估儀器效能。

1. **可比較性**—評估各項選定元素在自動儀器與手動儀器日平均值間線性迴歸分析結果(斜率、截距)。
2. **相關性**—透過線性迴歸分析自動與手動儀器結果的相關係數, 並透過判定係數(the coefficient of determination,  $r^2$ )評估結果的相關性。
3. **誤差**—自動儀器日平均數據與參考方法(ICP-MS 分析結果)間的差距以百分比表示。
4. **數據完整性**—自動監測儀器所產生的有效數據以百分比表示, 使用有效小時數據, 每日須超過 12 小時(大於一半監測時間)數據稱為有效數據。
5. **操作因子**—由環保署人員評估儀器維護需求、操作便利性、數據採集有效性(effectiveness)。

## 第四章 結果與討論

### 章節摘要

本章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：採樣前儀器平行比對、任務型採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、例行性採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測、PM<sub>2.5</sub> 化學成分特徵及引申意義、各監測地區 PM<sub>2.5</sub> 污染來源推估與影響能見度的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子、蒐集國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測經驗與最新技術發展、PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分自動採樣儀器適宜性評估、細懸浮微粒採樣監測分析品保作業等 8 個小節。

採樣前儀器平行比對顯示：10 部 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採樣器和 10 部 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣器都符合美國環保署 FRM 採樣器參考方法濃度變化規範。新購置 MetOne SASS 化學成分採樣器，使用前需將塗覆 MgO 蜂巢管進行清洗。使用前須將管壁上固體 MgO 碎屑去除，避免實驗分析時發生 Mg<sup>2+</sup> 過高現象。任務型採樣期間，花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度最高，斗六站化學成分以修正後有機碳為主，嘉義站以修正後有機碳為主，此外，嘉義站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 比其他兩站有較高濃度，顯示嘉義站受在地污染影響大。2017 年 1 月開始的例行性指出：由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度逐漸升高，冬季以小港站平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度最高，春季季節平均最高濃度為嘉義站，夏季各站都是各季節的最低濃度，以板橋站季節平均濃度最高，秋季季節平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度以斗六站最高，花蓮站在任何季節平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度都是各站最低。6 個測站冬季以及春季化學成分占比：由北至南 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占比明顯下降，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占比則呈現由北至南逐漸上升的趨勢，OC 占比變化趨勢與 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 同樣呈現由北至南逐漸下降趨勢。6 個測站夏季以及秋季 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占比除了花蓮較高外，其餘西部各站占比相似，意謂全島背景 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的存在，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占比在夏季明顯低於各季節，以中、南部測站較高，秋季 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占比各站都上升，以中、南部上升幅度較為明顯。各金屬元素季節及區域分布顯示，海鹽(Na、Mg)與塵土(Al、Fe、Ca)指標元素受季風影響，冬季北高南低，夏季小港、花蓮站高，北部較低；交通指標元素 Zn、Sb 在冬季忠明、斗六、嘉義站，有較高富集因子，夏季則是板橋有較高富集因子；燃油燃燒指標元素 V、Ni 則在小港站有較高濃度占比，且明顯高於其他測站；鋼鐵業指標元素 Pb 與 Mo 也有相似的現象，表示小港受到較多的工業污染影響。採樣過程

中，樣本 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子和有機碳成分有不等程度揮發與吸附，若使用單張濾紙採集水溶性離子將會低估 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度 6~20%、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度 4~54%、Cl<sup>-</sup>濃度 19~62%，夏季受到環境溫度高影響，揮發量最高；碳成分在高 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時正干擾(吸附)影響較為顯著，花蓮站樣本卻顯示都是正干擾(吸附)較為顯著，另外，各站各時期揮發性有機氣體吸附量都在 1 µg m<sup>-3</sup> 以內。彙整各地區污染事件(PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35 µg m<sup>-3</sup>)，天數明顯由北至南部遞增。主要污染來源分為在地排放、區域污染傳輸、以及境外污染傳輸三大類，北部板橋站與南部小港站大多以在地污染事件為主，在地污染事件大多與污染擴散不佳有關，中、南部(斗六和嘉義站)除了在地污染還受到區域污染傳輸影響。彙整高污染物濃度事件發現，東北風較弱時，中部污染物濃度明顯高於南部小港站，當東北風較強時，污染物由北可傳遞至南部，此時小港站污染物濃度受到在地與污染傳輸影響明顯高於雲嘉空品區。彙整採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 高濃度(≥ 35 µg m<sup>-3</sup>)和低濃度(<35 µg m<sup>-3</sup>)樣本檢測的化學成分占 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例，發現：PM<sub>2.5</sub> 高濃度族群比起低濃度族群，有明顯 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>增大現象(24 % vs. 11 %)，與上兩年度結果相似，顯示 PM<sub>2.5</sub> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>前驅 NO<sub>x</sub> 排放源管制仍有待加強。監測金屬元素新型自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)在麥寮與大城地區共 4 季比對結果，相關性較佳(R>0.6)的金屬元素有 As、Ba、Ca、Cu、Ce、Fe、Ge、K、Mn、Pb、Sr、V、Zn，其中 V、As 相關係數(R)高達 0.9，斜率分別為 0.84 與 0.65 (ICP-MS 值為 X 軸)。金屬元素自動儀器與手動儀器量測值，Cu、Fe、K、Zn 有較大的斜率(ICP-MS 值為 X 軸)，斜率為 1.22~1.53，顯示各金屬元素自動儀器可能有 22~53%左右的高估，其餘相關性較佳的金屬元素則是有較小斜率，如 Sr、V、As，則出現低估；濃度低金屬元素差異大，顯示低濃度金屬元素在兩種儀器間穩定性較差。

受體模式推估結果顯示各測站主要污染因子都以「二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這兩類富含衍生污染物的因子為主，其中，二次硝酸鹽於冬季占比較高，二次硫酸鹽則在夏季有較高占比，突顯各季節污染源變化特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放」這個因子在夏季有最高的污染占比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。大氣能見度推估顯示各監測地區影響能見度最大的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分為 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>或 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀。在 PM<sub>2.5</sub> 化學成分技術評估方面，本年度彙整 34 篇相關國際文獻。

## 4.1 採樣前儀器平行比對

正式採樣前、後，為了確認相同廠牌手動儀器結果的一致性與儀器狀況，本計畫將 MetOne SASS PM<sub>2.5</sub> 成分採樣器十部、BGI PQ200 六部及 MetOne E-FRM PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採樣器一部放置在中央大學工程四館頂樓，進行採樣前儀器平行比對。由於新購置質量濃度採樣器(E-FRM)到貨時間較晚，因此採樣初期質量濃度採樣器仍使用 BGI PQ200，比對期間共分為兩段時間，第一段為 2016 年 12 月 19 日至 2016 年 12 月 22 日，每天有十部 MetOne SASS 氣膠成分採樣儀器和六部 BGI PQ200 FRM 採樣儀器及一部 MetOne E-FRM 採樣儀器共十七部儀器同時進行比對，共計獲得 68 個 24 小時樣本，其中 12 月 19 日儀器初次啟動採樣時編號六號與九號 SASS 成分採樣器所使用電源跳電，因此採樣時間短少三小時；第二段比對期間為 2017 年 2 月 6 日至 2 月 8 日，每天有十部 MetOne E-FRM 氣膠質量濃度採樣器，共計獲得 30 個 24 小時樣本。圖 4.1.1 至圖 4.1.3 為兩段平行比對期間各類型儀器擺設配置情形。



圖 4.1.1 十部 MetOne SASS 成分採樣器平行比對設置情形 (2016 年 12 月 19 日~12 月 22 日)





圖 4.1.2 六部 BGI PQ200 質量濃度採樣器平行比對設置情形 (2016 年 12 月 19 日~12 月 22 日)

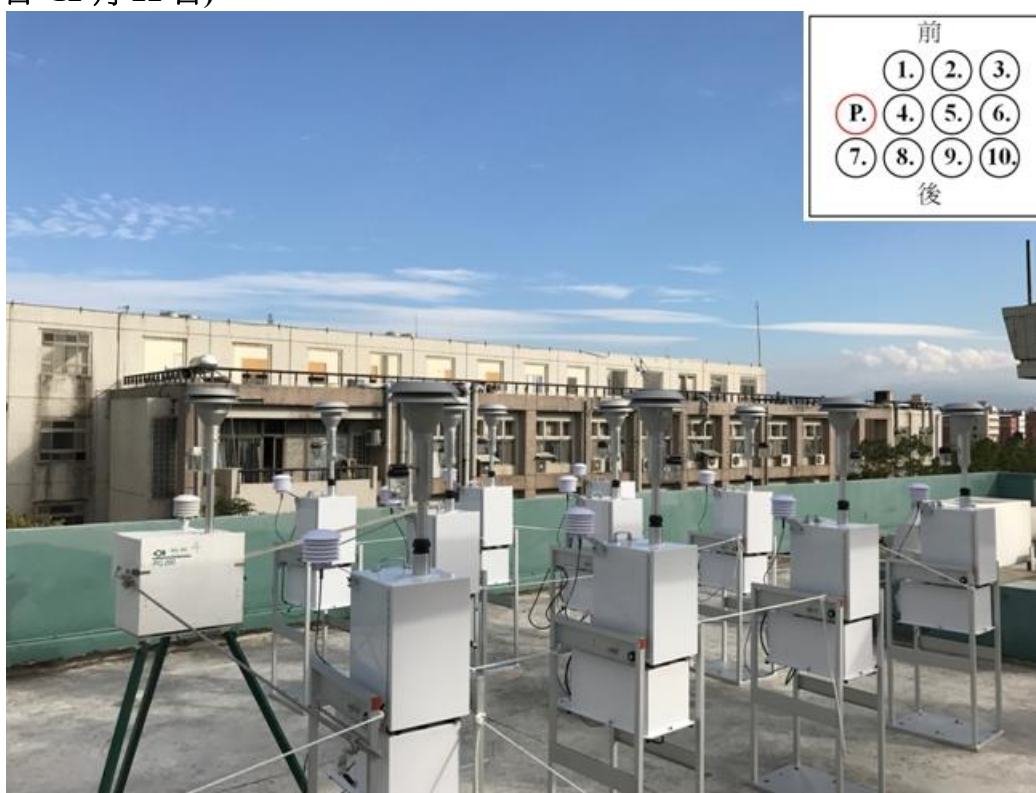


圖 4.1.3 十部 MetOne E-FRM 質量濃度採樣器平行比對設置情形 (2017 年 2 月 6 日~2 月 8 日)

### 4.1.1 採樣前平行比對各儀器等效性評估結果與 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度

為瞭解比對採樣儀器是否符合定量規範？本計畫採用美國規範 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度量測儀器等效性方法進行評估，其中定量規範如公式 4.1.1 和 4.1.2 式：

$$\bar{R}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{i,j} \quad \text{公式(4.1.1)}$$

i：FRM 採樣器數目編號，例如：第 i 部 FRM 採樣器，

j：比對天數編號，例如：第 j 次比對，

n：FRM 量測值總數量，

$\bar{R}_j$ ：第 j 天比對 FRM 採樣器的平均濃度，

$R_{i,j}$ ：第 i 部 FRM 採樣器在第 j 天量測濃度，

$$RP_j = \frac{1}{R_j} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{i,j}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n R_{i,j})^2}{n-1}} \times 100\% \quad \text{公式(4.1.2)}$$

$RP_j$ ：第 j 天比對的 FRM 採樣器相對標準偏差

表 4.1.1 至表 4.1.3 列出比對期間每日參考標準採樣儀器(Federal Reference Method, FRM)及成分採樣儀器，每天的平均質量濃度( $R_j$ )、相對標準偏差( $RP_j$ )、標準偏差以及各儀器所採集的質量濃度。根據美國評估規範，等似儀器類型 I 接受標準為  $RP_j = 5\%$  或標準偏差為  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ 。在 12 月 19 日至 12 月 22 日平行比對期間七部 FRM 都有良好的結果，符合參考方法規範，顯示 FRM 採樣儀器的穩定性；新購置的 SASS 成分採樣器在 12 月 19 日編號 6 與編號 9 兩台儀器受到電源跳電影響，採集過程短暫中止，導致質量濃度低於其他平行比對儀器，當日質量濃度標準偏差略高於其他比對日期， $RP_j$  值也受到微幅影響，但整體結果仍在規範標準內。12 月 20 日由於當日環境 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度較低因此有較高的  $RP_j$  值，不過標準差數值仍在規範  $2 \mu\text{g m}^{-3}$  的範圍內，整體而言，新購置的 SASS 成分採樣器在連續四日的比對結果都符合規範，顯示比對的採樣儀器具有相當穩定性；在第二段比對期間(2017 年 2 月 6 日至 2 月 8 日)新購置的 MetOne E-FRM 質量濃度採樣器比對結果相當良好，除了編號 5 號儀器主機板在比對第一天故障(目前已修護完成)，無法進行比對外，其餘儀器比對結果都相當良好，儀器標準偏差在  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{g m}^{-3}$ ， $RP_j$  值為  $0.6 \sim 1.3\%$ ，顯示儀器相

當穩定。

另一方面，如果將 MetOne SASS 成分採樣器視為候選等似儀器類型 II (Federal Equivalent Method, FEM)來評估(因為入流口規範並非 FRM 形態)，則標準偏差依舊符合規範的  $2 \mu\text{g m}^{-3}$  範圍內(符合 FEM 等似儀器類型 I 規範)， $\text{RP}_j$  則符合候選等似儀器類型 II 標準的 10% 內。由於比對期間部分日期質量濃度較低，些微濃度差異可能造成百分比的增大；前述比對並不是完整地根據美國評估規範進行測試，比對地點和次數還需要增加才能進行完整評估。

**表 4.1.1 MetOne SASS 成分採樣器等效性評估與質量濃度比對結果**

日期 質量濃度	19-Dec-16	20-Dec-16	21-Dec-16	22-Dec-16
平鎮站數值	36	10	—	21
1-SASS	40	15	52	25
2-SASS	39	14	50	25
3-SASS	39	17	50	25
4-SASS	40	15	50	26
5-SASS	39	15	50	25
6-SASS	35	15	50	25
7-SASS	40	15	49	25
8-SASS	40	16	49	26
9-SASS	37	16	51	24
10-SASS	39	16	49	25
標準偏差	1.6	0.8	0.9	0.4
$\text{R}_j (\mu\text{g m}^{-3})$	39	15	50	25
$\text{RP}_j$	4.0%	5.4%	1.8%	1.8%

註：灰色背景數字為受到跳電影響的機台及樣本

**表 4.1.2 BGI PQ200 質量濃度採樣器等效性評估與質量濃度比對結果**

日期 質量濃度	19-Dec-16	20-Dec-16	21-Dec-16	22-Dec-16
平鎮站數值	36	10	—	21
1-PQ200	39	15	50	25
2-PQ200	39	15	51	25
3-PQ200	39	15	50	25
4-PQ200	39	14	51	25
5-PQ200	39	15	50	25
6-PQ200	39	15	50	25
E-FRM	38	15	50	25
標準偏差	0.4	0.3	0.5	0.1
$\text{R}_j (\mu\text{g m}^{-3})$	39	15	50	25
$\text{RP}_j$	1.0%	2.0%	1.0%	0.3%



表 4.1.3 MetOne E-FRM 質量濃度採樣器等效性評估與質量濃度比對結果

日期 質量濃度	6-Feb-17	7-Feb-17	8-Feb-17
平鎮站數值	35	9	7
1- E-FRM	31	13	8
2- E-FRM	32	13	8
3- E-FRM	32	13	8
4- E-FRM	32	13	8
6- E-FRM	31	14	8
7- E-FRM	31	13	8
8- E-FRM	31	13	8
9- E-FRM	31	14	8
10- E-FRM	31	13	8
標準偏差	0.2	0.1	0.1
R <sub>j</sub> (μg m <sup>-3</sup> )	31	13	8
RP <sub>j</sub>	0.6%	0.6%	1.3%

#### 4.1.2 採樣前平行儀器比對 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度

圖 4.1.4 為採樣前平行比對 PM<sub>2.5</sub> 化學成分分析結果，除了前述質量濃度都符合儀器等似效能評估規範外，化學成分整體趨勢也相當一致。12 月 19 日 SASS 6 號與 9 號儀器受到電源跳電影響，採樣濃度低於其他儀器，造成分析結果有較大差異，其他時段採樣分析結果相當良好。12 月 19 日平行比對期間，發現 Mg<sup>2+</sup> 濃度在各儀器間有明顯差異，編號 4、5、7、8 及 10 儀器出現明顯高值，對照其他平行比對採樣時間的 Mg<sup>2+</sup> 濃度，確認這些數值有異，干擾來源為新購置 MgO denuder 該批次產品有掉屑現象，後續採樣在安裝新 MgO denuder 前會使用空壓機所產生零值氣體，將 MgO 固體碎屑吹除，降低樣本受干擾可能性。

表 4.1.4 (A)~(D) 是平行比對期間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度分析詳細數值，透過數值間的比較，可發現除了前述 Mg<sup>2+</sup> 濃度事件影響外，10 部待測儀器所採集樣本間並無明顯系統性差異，四日平行比對期間分析樣本濃度分別占修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度 77~87%、77~103%、81~86%、79~88%，第二天 PM<sub>2.5</sub> 濃度較低，編號 2 樣本有 Mg<sup>2+</sup> 濃度過高現象，造成成分占比過高成為 103%。

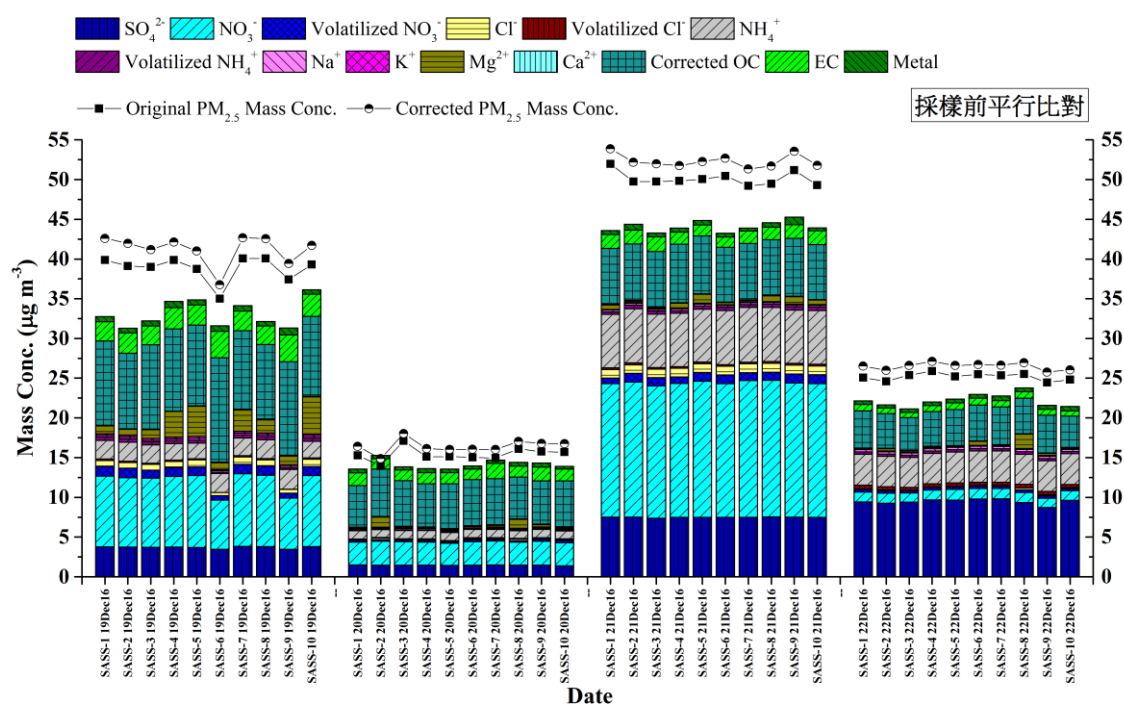


圖 4.1.4 採樣前儀器平行比對期間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度隨時間變化

表 4.1.4 (A) 採樣前平行比對 (12 月 19 日) PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度表

儀器編號		SASS-1	SASS-2	SASS-3	SASS-4	SASS-5	SASS-6	SASS-7	SASS-8	SASS-9	SASS-10
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	40	39	39	40	39	35	40	40	37	39
	Na <sup>+</sup>	0.18	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19	0.20	0.22	0.19
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.35	2.39	2.32	2.09	1.97	2.38	2.20	2.37	2.47	2.06
	K <sup>+</sup>	0.20	0.22	0.24	0.24	0.27	0.12	0.24	0.23	0.19	0.25
	Mg <sup>2+</sup>	0.98	0.78	1.11	3.21	3.78	0.87	2.67	1.66	1.10	4.76
	Ca <sup>2+</sup>	0.10	0.07	0.07	0.05	0.06	0.09	0.08	0.10	0.11	0.08
	Cl <sup>-</sup>	0.74	0.72	0.72	0.81	0.90	0.39	0.93	0.79	0.47	0.94
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.87	8.72	8.69	8.90	9.07	6.19	9.13	8.99	6.44	8.95
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.79	3.74	3.72	3.75	3.68	3.47	3.83	3.79	3.48	3.80
	未修正離子濃度	17.22	16.83	17.07	19.25	19.93	13.70	19.27	18.14	14.47	21.03
	未修正 OC	11.17	10.21	11.06	10.80	10.63	13.82	10.46	9.91	12.55	10.53
	EC	2.43	2.55	2.34	2.68	2.52	3.30	2.46	2.34	3.38	2.77
第二張濾紙	未修正碳成分濃度	13.60	12.76	13.40	13.47	13.14	17.12	12.91	12.25	15.92	13.30
	金屬元素濃度**	1.63	1.52	1.61	1.86	1.54	1.78	1.75	1.36	2.03	1.39
	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.45	0.44	0.37	0.39	0.38	0.17	0.43	0.41	0.19	0.41
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.23	1.21	1.02	1.07	1.06	0.56	1.20	1.13	0.62	1.12
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.18	0.17	0.14	0.15	0.15	0.02	0.17	0.17	0.03	0.17
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.81	2.82	2.69	2.48	2.35	2.55	2.64	2.79	2.67	2.47
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.11	9.93	9.71	9.97	10.12	6.74	10.34	10.13	7.06	10.07
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	0.93	0.89	0.87	0.96	1.05	0.41	1.09	0.95	0.50	1.11
	修正後離子濃度	19.08	18.64	18.60	20.86	21.52	14.44	21.07	19.85	15.31	22.74
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	11%	11%	9%	8%	8%	5%	9%	9%	6%	8%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	45%	44%	45%	49%	52%	39%	49%	47%	39%	55%
	第二張濾紙 OC	2.29	2.77	1.74	1.78	1.76	2.68	2.14	2.07	3.13	1.88
	揮發 OC	0.86	1.04	0.65	0.67	0.66	1.01	0.80	0.78	1.18	0.71
	修正後 OC	10.60	9.52	10.63	10.35	10.19	13.15	9.92	9.39	11.76	10.06
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-5%	-7%	-4%	-4%	-4%	-5%	-5%	-6%	-7%	-5%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	31%	29%	31%	31%	31%	45%	29%	28%	38%	31%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	7%	7%	6%	6%	6%	5%	7%	6%	5%	6%
	金屬元素濃度**	1.63	1.52	1.61	1.86	1.54	1.78	1.75	1.36	2.03	1.39
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	2%	1%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	2%	1%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	77%	75%	78%	82%	85%	86%	80%	75%	79%	87%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	43	42	41	42	41	37	43	43	39	42

註:

1. 揮發 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 假設耐隆濾紙所分析出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與 Cl<sup>-</sup>皆為 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>與 NH<sub>4</sub>Cl 推估而得。
2. \*\*金屬元素質量濃度: 包含和水溶性離子重複者, 但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時, 金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。
3. 修正後 OC: 第一張 OC 扣除 0.25 倍第二張 OC。
4. 揮發 OC: [(修正後 OC) - (第一張 OC - 第二張 OC)] / 2
5. PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度: PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得, 不會吸附 VOCs。
6. PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%): (揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

表 4.1.4 (B) 採樣前平行比對 (12 月 20 日) PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度表

儀器編號		SASS-1	SASS-2	SASS-3	SASS-4	SASS-5	SASS-6	SASS-7	SASS-8	SASS-9	SASS-10
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	15	14	17	15	15	15	15	16	16	16
	Na <sup>+</sup>	0.12	0.14	0.14	0.15	0.14	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.04	0.99	1.03	1.05	1.01	1.05	1.03	0.96	1.03	1.01
	K <sup>+</sup>	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
	Mg <sup>2+</sup>	0.08	1.28	0.12	0.03	0.10	0.07	0.22	1.13	0.29	0.14
	Ca <sup>2+</sup>	0.09	0.09	0.11	0.10	0.13	0.06	0.08	0.07	0.07	0.07
	Cl <sup>-</sup>	0.10	0.21	0.10	0.14	0.11	0.16	0.14	0.19	0.12	0.12
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.88	3.00	2.97	2.90	2.78	2.97	3.01	2.88	3.00	2.90
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.49	1.48	1.46	1.46	1.44	1.46	1.50	1.48	1.48	1.40
	未修正離子濃度	5.84	7.26	6.00	5.89	5.76	6.01	6.19	6.91	6.18	5.83
	未修正 OC	5.72	6.33	6.13	5.88	6.04	6.19	6.25	5.63	5.82	6.15
	EC	1.60	1.27	1.34	1.39	1.41	1.33	1.89	1.39	1.76	1.48
	未修正碳成分濃度	7.32	7.60	7.47	7.27	7.44	7.52	8.14	7.02	7.57	7.64
	金屬元素濃度**	1.10	1.08	0.95	1.22	1.18	0.86	1.02	1.07	1.22	0.87
第二張濾紙	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.11	0.09	0.09	0.10	0.08	0.12	0.10	0.10	0.12	0.13
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.22	0.19	0.20	0.20	0.16	0.23	0.20	0.20	0.24	0.26
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.08	0.08	0.10	0.10
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.15	1.09	1.13	1.15	1.09	1.17	1.13	1.06	1.15	1.13
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.09	3.18	3.17	3.10	2.94	3.21	3.22	3.08	3.24	3.15
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	0.19	0.28	0.17	0.22	0.18	0.25	0.22	0.28	0.21	0.22
	修正後離子濃度	6.25	7.61	6.36	6.27	6.07	6.45	6.57	7.29	6.64	6.31
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	7%	5%	6%	6%	5%	7%	6%	6%	7%	8%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	38%	51%	35%	39%	38%	40%	41%	43%	40%	38%
	第二張濾紙 OC	1.90	1.47	1.51	1.73	1.57	1.57	1.79	1.50	1.55	1.58
	揮發 OC	0.71	0.55	0.57	0.65	0.59	0.59	0.67	0.56	0.58	0.59
	修正後 OC	5.24	5.97	5.75	5.45	5.64	5.80	5.80	5.25	5.43	5.76
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-9%	-6%	-7%	-8%	-7%	-7%	-8%	-7%	-7%	-7%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	42%	49%	39%	42%	44%	44%	48%	39%	43%	43%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	7%	6%	5%	7%	6%	7%	7%	6%	7%	7%
	金屬元素濃度**	1.10	1.08	0.95	1.22	1.18	0.86	1.02	1.07	1.22	0.87
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	3%	3%	2%	3%	3%	2%	3%	3%	3%	2%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	83%	103%	77%	84%	85%	87%	92%	84%	85%	83%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	16	15	18	16	16	16	16	17	17	17

註:

1. 揮發 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 假設耐隆濾紙所分析出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與 Cl<sup>-</sup>皆為 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>與 NH<sub>4</sub>Cl 推估而得。
2. \*\*金屬元素質量濃度: 包含和水溶性離子重複者, 但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時, 金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。
3. 修正後 OC: 第一張 OC 扣除 0.25 倍第二張 OC。
4. 揮發 OC: [(修正後 OC) - (第一張 OC - 第二張 OC)] / 2
5. PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度: PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得, 不會吸附 VOCs。
6. PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%): (揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

表 4.1.4 (C) 採樣前平行比對 (12 月 21 日) PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度表

儀器編號		SASS-1	SASS-2	SASS-3	SASS-4	SASS-5	SASS-6	SASS-7	SASS-8	SASS-9	SASS-10
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	52	50	50	50	50	50	49	49	51	49
	Na <sup>+</sup>	0.21	0.20	0.20	0.21	0.22	0.20	0.21	0.20	0.20	0.21
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6.73	6.83	6.74	6.72	6.64	6.82	6.89	6.84	6.71	6.75
	K <sup>+</sup>	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11
	Mg <sup>2+</sup>	0.55	0.18	0.07	0.60	1.13	0.27	0.17	0.73	0.91	0.55
	Ca <sup>2+</sup>	0.10	0.10	0.06	0.06	0.05	0.05	0.09	0.09	0.05	0.07
	Cl <sup>-</sup>	1.06	1.08	1.06	1.10	1.11	1.09	1.12	1.12	1.13	1.10
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16.79	16.98	16.65	16.83	17.14	16.81	17.21	17.17	16.89	16.82
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.52	7.52	7.39	7.49	7.47	7.49	7.50	7.56	7.51	7.48
	未修正離子濃度	33.07	33.00	32.27	33.12	33.88	32.86	33.29	33.83	33.52	33.10
	未修正 OC	7.46	7.51	7.46	7.73	7.62	7.22	7.48	7.36	7.70	7.35
	EC	1.73	1.76	1.85	1.52	1.35	1.29	1.56	1.58	1.70	1.76
第二張濾紙	未修正碳成分濃度	9.19	9.27	9.31	9.25	8.97	8.52	9.04	8.94	9.40	9.11
	金屬元素濃度**	1.58	1.74	1.36	1.46	1.70	1.43	1.07	1.49	1.79	1.02
	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.32	0.45	0.40	0.35	0.43	0.42	0.39	0.40	0.44	0.45
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.70	1.10	1.03	0.82	1.10	1.10	0.98	1.02	1.12	1.13
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.23	0.25	0.20	0.22	0.21	0.20	0.20	0.21	0.23	0.23
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7.05	7.28	7.14	7.07	7.07	7.25	7.27	7.24	7.15	7.20
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17.49	18.08	17.68	17.66	18.24	17.92	18.20	18.19	18.01	17.95
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	1.29	1.33	1.26	1.31	1.32	1.29	1.32	1.34	1.36	1.33
	修正後離子濃度	34.32	34.80	33.90	34.51	35.62	34.59	34.86	35.47	35.31	34.91
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	4%	5%	5%	4%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	64%	67%	65%	67%	68%	66%	68%	69%	66%	67%
	第二張濾紙 OC	1.73	1.70	1.64	1.41	1.25	1.36	1.50	1.55	1.60	1.82
	揮發 OC	0.65	0.64	0.62	0.53	0.47	0.51	0.56	0.58	0.60	0.68
	修正後 OC	7.02	7.09	7.05	7.38	7.31	6.89	7.10	6.97	7.30	6.90
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-6%	-6%	-6%	-5%	-4%	-5%	-5%	-6%	-5%	-7%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	16%	17%	17%	17%	17%	16%	17%	17%	17%	17%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	4%	5%	5%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	5%
	金屬元素濃度**	1.58	1.74	1.36	1.46	1.70	1.43	1.07	1.49	1.79	1.02
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	1%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	81%	85%	83%	85%	86%	82%	86%	86%	85%	85%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	54	52	52	52	52	53	51	52	54	52

註:

1. 揮發 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 假設耐隆濾紙所分析出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與 Cl<sup>-</sup>皆為 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 與 NH<sub>4</sub>Cl 推估而得。
2. \*\*金屬元素質量濃度: 包含和水溶性離子重複者, 但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時, 金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。
3. 修正後 OC: 第一張 OC 扣除 0.25 倍第二張 OC。
4. 揮發 OC: [(修正後 OC) - (第一張 OC - 第二張 OC)] / 2
5. PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度: PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得, 不會吸附 VOCs。
6. PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%): (揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

表 4.1.4 (D) 採樣前平行比對 (12 月 22 日) PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度表

儀器編號		SASS-1	SASS-2	SASS-3	SASS-4	SASS-5	SASS-6	SASS-7	SASS-8	SASS-9	SASS-10
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	25	25	25	26	25	25	25	26	24	25
	Na <sup>+</sup>	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.26	0.27
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.87	3.83	3.78	3.83	3.88	3.94	3.93	3.78	3.85	3.89
	K <sup>+</sup>	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.12	0.11	0.11
	Mg <sup>2+</sup>	0.04	0.26	0.17	0.10	0.04	0.51	0.05	1.81	0.26	0.06
	Ca <sup>2+</sup>	0.06	0.06	0.05	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07
	Cl <sup>-</sup>	0.10	0.10	0.05	0.06	0.10	0.07	0.10	0.22	0.14	0.13
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.24	1.25	1.17	1.25	1.33	1.32	1.29	1.27	1.16	1.22
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9.43	9.27	9.39	9.67	9.67	9.80	9.83	9.36	8.71	9.62
	未修正離子濃度	15.11	15.17	14.99	15.40	15.49	16.11	15.63	16.88	14.54	15.36
	未修正 OC	4.91	4.61	4.34	4.52	4.74	4.65	4.96	4.68	4.94	4.15
	EC	0.80	0.71	0.64	0.74	0.85	0.85	0.81	0.82	0.75	0.64
第二張濾紙	未修正碳成分濃度	5.71	5.32	4.99	5.26	5.59	5.50	5.77	5.49	5.69	4.79
	金屬元素濃度**	1.43	1.25	1.41	1.51	1.34	1.47	2.45	1.33	1.59	1.50
	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.33	0.29	0.27	0.30	0.30	0.29	0.29	0.33	0.30	0.27
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.29	0.29	0.24	0.30	0.31	0.31	0.28	0.33	0.32	0.26
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.48	0.41	0.40	0.42	0.42	0.41	0.41	0.47	0.42	0.39
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4.20	4.13	4.05	4.13	4.18	4.24	4.22	4.11	4.16	4.16
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.54	1.54	1.42	1.55	1.64	1.63	1.57	1.59	1.47	1.48
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	0.57	0.51	0.45	0.48	0.52	0.48	0.52	0.69	0.56	0.52
	修正後離子濃度	16.21	16.17	15.90	16.43	16.52	17.11	16.62	18.01	15.58	16.28
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	7%	7%	6%	7%	7%	6%	6%	7%	7%	6%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	61%	62%	60%	61%	62%	64%	62%	67%	60%	63%
	第二張濾紙 OC	0.92	0.98	0.81	0.58	0.90	0.59	0.83	0.81	0.75	0.80
	揮發 OC	0.35	0.37	0.31	0.22	0.34	0.22	0.31	0.30	0.28	0.30
	修正後 OC	4.68	4.36	4.14	4.37	4.52	4.50	4.75	4.47	4.75	3.95
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-5%	-6%	-5%	-3%	-5%	-3%	-4%	-5%	-4%	-5%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	21%	20%	18%	19%	20%	20%	21%	20%	21%	18%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	6%	6%	5%	5%	5%	5%	5%	6%	5%	5%
	金屬元素濃度**	1.43	1.25	1.41	1.51	1.34	1.47	2.45	1.33	1.59	1.50
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	84%	83%	79%	81%	84%	86%	85%	88%	84%	82%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	27	26	27	27	27	27	27	27	26	26

註:

1. 揮發 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 假設耐隆濾紙所分析出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與 Cl<sup>-</sup>皆為 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 與 NH<sub>4</sub>Cl 推估而得。
2. \*\*金屬元素質量濃度: 包含和水溶性離子重複者, 但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時, 金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。
3. 修正後 OC: 第一張 OC 扣除 0.25 倍第二張 OC。
4. 揮發 OC: [(修正後 OC) - (第一張 OC - 第二張 OC)] / 2
5. PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度: PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得, 不會吸附 VOCs。
6. PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%): (揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

## 4.2 任務型採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

### 4.2.1 花蓮站

花蓮縣空氣品質是少數符合空品標準的縣市之一，選擇花蓮站做為背景測站可以瞭解台灣空品良好地區 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度與其他觀測地區差異，任務型採樣期間為 2016 年 11 月 29 日至 12 月 6 日。

#### 1. 環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

圖 4.2.1 為任務型採樣期間，花蓮測站逆推氣流軌跡線，分別代表採樣期間每日典型氣流。逆推氣流軌跡圖顯示觀測期間氣流來自於蒙古高原傳輸至黃海最後經由海洋傳輸至測站，除了 12 月 4~5 日氣流來自日、韓南方海域外，整體來說，11 月 29 日至 12 月 5 日這段期間氣流長時間在海洋上方，因此，並未帶來明顯境外污染物。

12 月 6 日氣流起源於中國蒙古地區，沿途經過華中地區，並由上海出海，最後在 24 小時後傳輸至測站，推測這天氣流可能夾帶部分來自華中地區的污染。

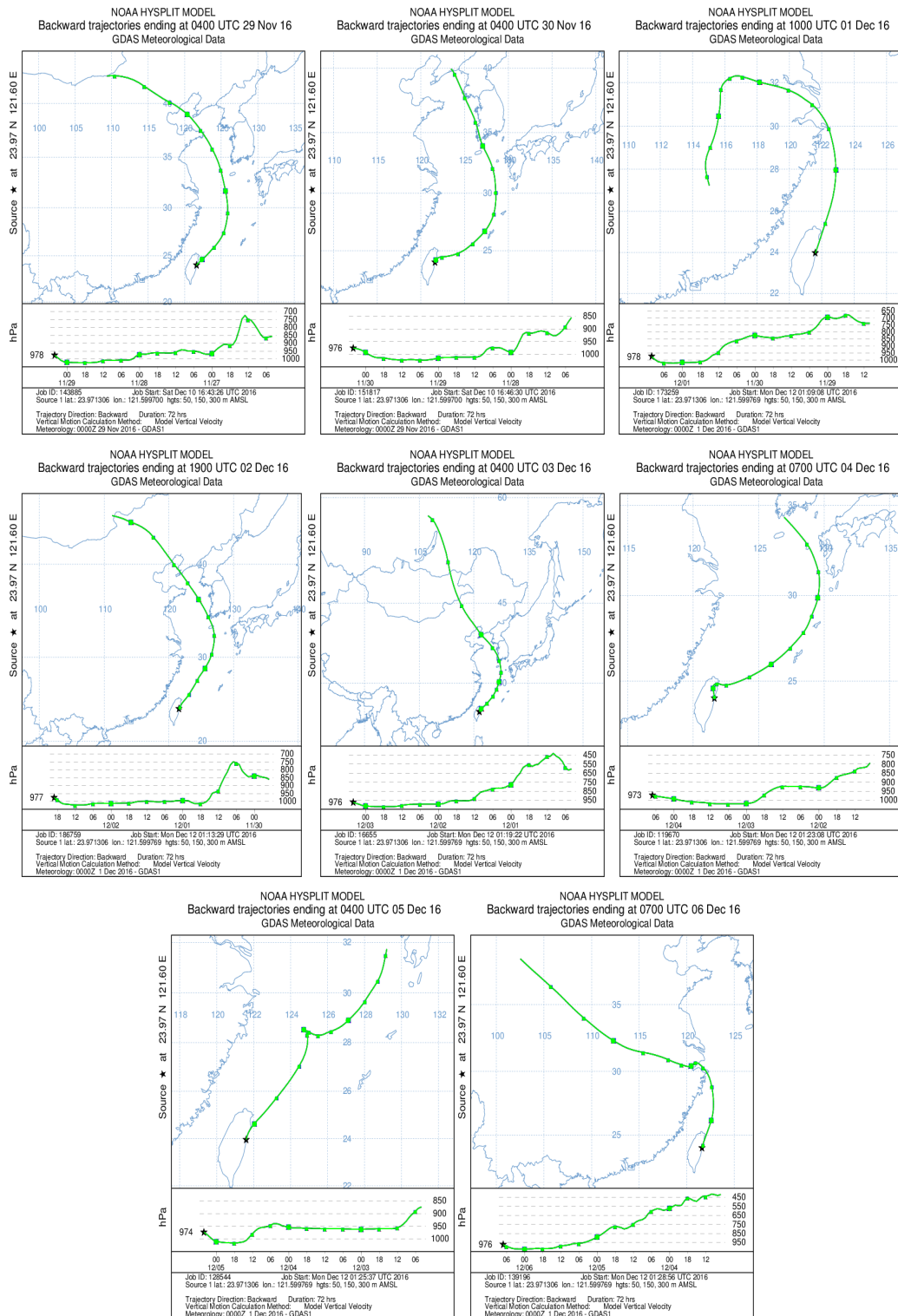


圖 4.2.1 花蓮站任務型採樣期間典型逆推軌跡線 (由左上角起至右下角分別為 11 月 29 日至 12 月 6 日典型逆推軌跡線)



表 4.2.1 顯示採樣期間花蓮空品站氣態污染物監測數值與天氣因子，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度日平均值顯示觀測期間除了 12 月 6 日達到 34  $\mu\text{g m}^{-3}$  外，其他時間日平均濃度約為 8~18  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，環境風速除了 11 月 29 日及 30 日低於 2  $\text{m s}^{-1}$  外，其他時段都大於 2  $\text{m s}^{-1}$  顯示環境擴散條件良好，各項污染數值都相當低，整體空氣品質良好。12 月 6 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度是觀測期間最高值，當日風速大於 2  $\text{m s}^{-1}$ ，前述軌跡線分析顯示氣流來自華中經由上海地區出海，可能傳輸大陸污染排放，造成 PM<sub>2.5</sub> 高濃度。

表 4.2.1 花蓮站任務型採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 (°C)	RH (%)	雨量 (mm)
29-Nov-16	花蓮	18	0.5	18.4	2.9	39	東北	1.7	21.1	78	1.0
30-Nov-16	花蓮	15	0.4	12.8	2.0	44	西南	1.9	22.4	83	3.2
01-Dec-16	花蓮	8	0.3	8.6	1.7	45	東北東	3.5	22.3	76	NR
02-Dec-16	花蓮	10	0.3	12.5	2.2	47	東北東	2.4	22.4	77	NR
03-Dec-16	花蓮	9	0.3	11.0	1.9	43	西南西	2.4	23.1	82	NR
04-Dec-16	花蓮	9	0.2	7.0	2.1	43	西南西	2.0	24.8	78	NR
05-Dec-16	花蓮	16	0.3	7.1	2.1	52	東北東	3.8	23.8	71	NR
06-Dec-16	花蓮	34	0.6	14.8	2.1	47	東北東	2.3	20.6	69	NR

註：NR 表示該時段無降雨，測站監測數據統計時間已隨採樣時間進行調整。

圖 4.2.2 顯示觀測期間花蓮地區整體空氣品質相當良好，除了 11 月 29 日採樣啟動時，PM<sub>2.5</sub> 濃度小時值達 25  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，從 CO 與 NO<sub>x</sub> 變化發現，這波晨間峰值主要受到上午交通尖峰時段影響。值得注意的是 12 月 6 日受到東北季風影響，花蓮地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯上升，監測濃度變化指出 12 月 5 日午後 PM<sub>2.5</sub> 濃度開始攀升，在 12 月 6 日中午達到最高濃度，18 時才開始下降。風速則從 12 月 5 日 8 時開始加大，一直到 12 月 6 日 8 時 (6  $\text{m s}^{-1}$ ) 才逐漸下降至 16 時的 2  $\text{m s}^{-1}$ 。顯示 12 月 6 日 PM<sub>2.5</sub> 高濃度除了東北風傳輸的 PM<sub>2.5</sub> 濃度外，風速逐漸下降期間，下班時間的機動車輛排放也助長了環境污染物的累積。

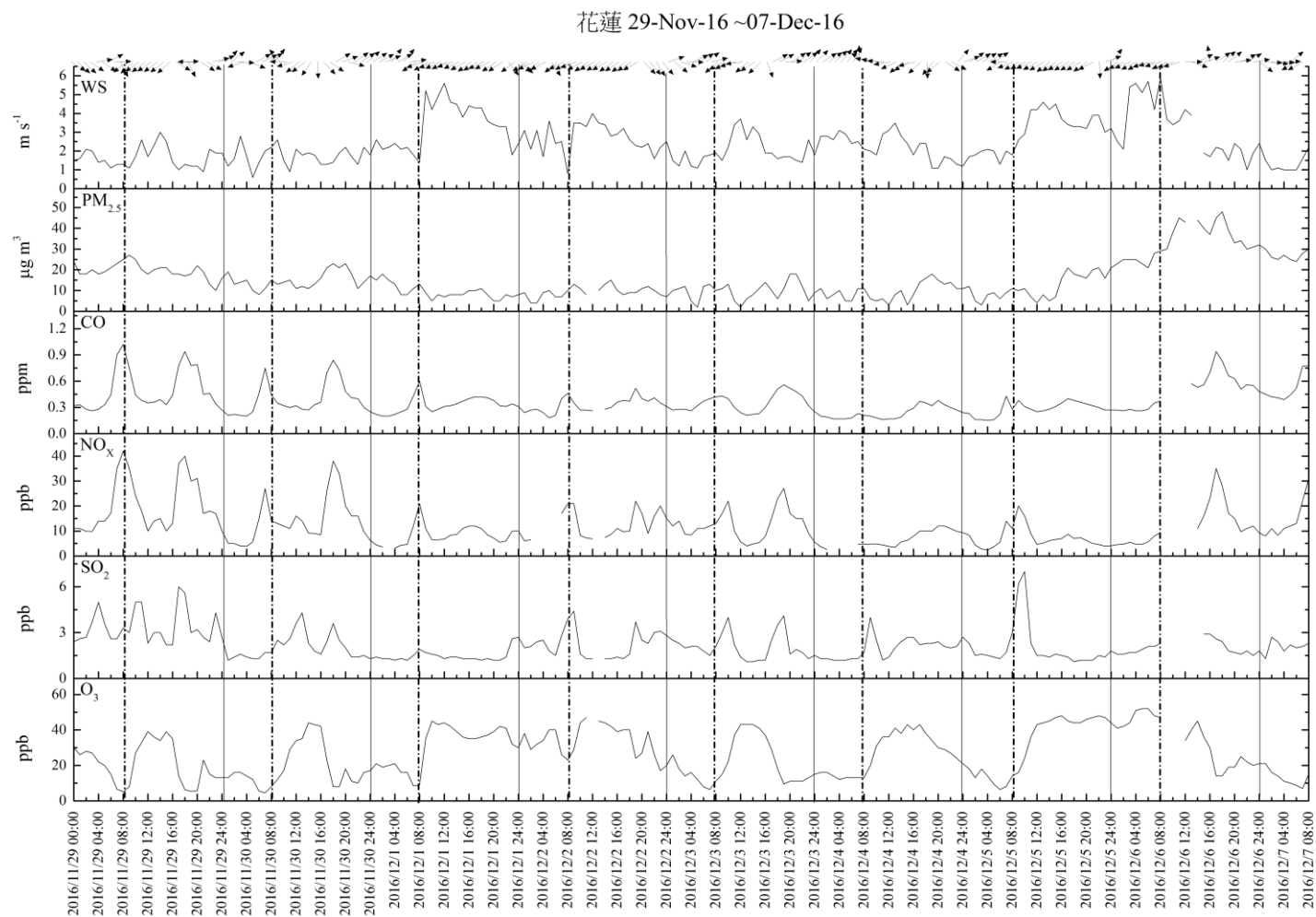


圖 4.2.2 花蓮站任務型採樣期間天氣因子及污染物時間序列變化

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.2.3 顯示任務型採樣期間花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分變化趨勢，整體而言手動採樣質量濃度與環保署花蓮測站監測值時間變化趨勢有很好的的一致性，修正的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度較未修正質量濃度高，這顯示採樣過程中有氣膠揮發損失。PM<sub>2.5</sub> 化學成分組成則以硫酸鹽為主，其次為修正後有機碳，高濃度硫酸鹽表示受到長程傳輸的影響。

表 4.2.2 為任務型採樣期間花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 各項化學成分濃度以及成分揮發與吸附修正結果。從水溶性離子分析結果可以看出占比最高的化學成分  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度增加趨勢與質量濃度有關，以 12 月 6 日這天最高，顯示受到華中地區長程傳輸的影響，當天風速由前一日高風速降低下來，污染物累積發生在傍晚以後，不會是光化學反應，加上環境濕度低，因此硝酸鹽濃度不高，修正後  $\text{NO}_3^-$  濃度為  $0.38 \sim 2.11 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這顯示花蓮地區的在地污染源明顯少於其他都會區。在離子揮發的部分顯示冬季環境溫度較低，揮發離子/未修正離子為 8 ~ 12%，整體占比變化相當穩定。碳成分分析結果顯示每日揮發量約為 0 ~ 10%，濾紙每日揮發有機氣體(VOCs)吸附量約為 11 ~ 36%，吸附占比較高的樣本質量濃度多較低，從吸附 VOCs 濃度變化  $0.67 \sim 1.08 \mu\text{g m}^{-3}$  顯示每日吸附濃度數值相當固定，綜合以上成分揮發與吸附結果發現：如果未使用第二層與第三層濾紙修正，將低估 4 ~ 9% PM<sub>2.5</sub> 質量濃度。在金屬元素分析方面，花蓮地區金屬元素濃度為  $0.47 \sim 1.92 \mu\text{g m}^{-3}$  約占修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度 1 ~ 3%。

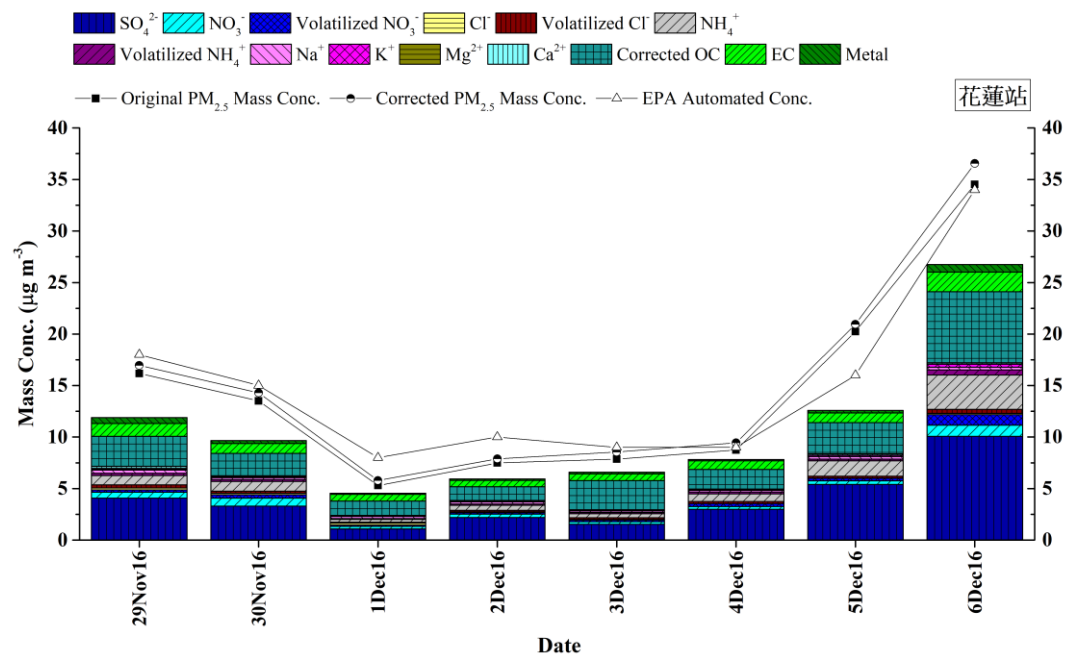


圖 4.2.3 花蓮站任務型採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  成分濃度隨時間變化

表 4.2.2 花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 任務型採樣期間質量濃度及化學成分濃度

Date		29Nov16	30Nov16	1Dec16	2Dec16	3Dec16	4Dec16	5Dec16	6Dec16
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	16	14	5	7	8	9	20	35
	Na <sup>+</sup>	0.31	0.18	0.20	0.21	0.13	0.16	0.23	0.25
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.90	0.93	0.26	0.49	0.40	0.73	1.49	3.33
	K <sup>+</sup>	0.10	0.07	0.02	0.04	0.04	0.03	0.12	0.28
	Mg <sup>2+</sup>	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04
	Ca <sup>2+</sup>	0.19	0.09	0.07	0.08	0.06	0.06	0.12	0.12
	Cl <sup>-</sup>	0.17	0.14	0.18	0.07	0.06	0.01	0.02	0.13
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.59	0.78	0.26	0.34	0.24	0.25	0.35	1.10
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4.07	3.29	1.08	2.19	1.54	2.99	5.40	10.06
	未修正離子濃度	6.39	5.51	2.09	3.45	2.50	4.26	7.78	15.31
	未修正 OC	3.91	3.21	1.87	1.99	3.18	2.84	3.41	7.64
	EC	1.69	1.31	0.65	0.66	0.96	1.11	1.36	2.90
	未修正碳成分濃度	5.60	4.52	2.52	2.65	4.14	3.94	4.77	10.53
	金屬元素濃度**	1.64	0.95	0.47	0.63	0.65	0.67	0.93	1.92
第二、三張濾紙	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.22	0.20	0.09	0.12	0.12	0.19	0.17	0.49
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.23	0.33	0.12	0.14	0.16	0.29	0.25	1.02
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.30	0.21	0.10	0.15	0.15	0.21	0.18	0.39
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.12	1.14	0.35	0.61	0.52	0.92	1.66	3.83
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.81	1.11	0.38	0.48	0.40	0.55	0.60	2.11
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	0.48	0.35	0.28	0.22	0.22	0.21	0.20	0.52
	修正後離子濃度	7.15	6.25	2.41	3.85	2.94	4.95	8.38	17.21
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	12%	13%	15%	12%	18%	16%	8%	12%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	42%	44%	42%	49%	34%	52%	40%	47%
	揮發 OC	0.05	0.06	0.18	0.00	0.24	0.01	0.11	0.13
	吸附 VOCs	0.95	1.08	0.67	0.71	0.59	0.76	0.52	0.87
	(揮發 OC)/未修正 OC(%)	1%	2%	10%	0%	8%	0%	3%	2%
	(吸附 VOCs)/未修正 OC(%)	24%	34%	36%	35%	19%	27%	15%	11%
	修正後 OC	3.01	2.19	1.38	1.29	2.83	2.08	3.00	6.89
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-30%	-46%	-35%	-55%	-12%	-36%	-14%	-11%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	28%	24%	35%	25%	44%	34%	21%	27%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	5%	6%	9%	5%	9%	8%	4%	6%
	金屬元素濃度**	1.64	0.95	0.47	0.63	0.65	0.67	0.93	1.92
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	3%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	2%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	73%	70%	78%	75%	81%	88%	62%	76%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	17	14	6	8	9	9	21	37

註: \*PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度= PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得，不會吸附 VOCs。

\*\*金屬元素質量濃度是包含和水溶性離子重複者，但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時，金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。

\*\*\* PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%)=(揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.2.4 為任務型採樣期間花蓮站各樣本各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子(Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間(左:最高、中:次高、右:低濃度)。

採樣時間為 2016 年 11 月 29 日至 12 月 6 日。根據 EF 值 10 以上為非來自塵土而是其他源的推論，濃度高元素群中，Al、Fe、Mg 多來自塵土，Na、K 和 Ca 元素 EF 值平均在 10 上下，顯示樣本分別來自塵土源和其他源，其中 Ca 濃度為  $300 \text{ ng m}^{-3}$  在這些元素中最高，另外 Zn 有最高的 EF 值顯示受到人為活動影響，Zn 來源有輪胎或路面磨損、鋅冶煉、二行程機動車廢氣、柴油引擎等；濃度中等元素群，Ba、Mn、Ti 的 EF 值多低於 10，其餘皆在 10 以上，其中 Pb 有次高濃度並且 EF 值接近 1000，Pb 來源有廢棄物焚化、煉鋼、燃煤、交通排放，顯示可能受到這些人為活動影響；低濃度元素群中特別是 Cd、Sb、Se 這些元素雖然濃度相當低，EF 值卻在 1000 以上，並且以 Se 及 As 濃度分別為最高與次高，這兩項元素皆可做為燃煤燃燒指標元素，顯示受到燃煤燃燒影響。

從每日 EF 值變化可發現 12 月 1 日至 4 日這段期間 Na 與 Ca 數值明顯高於其他時期，參照前述監測資料顯示這段期間污染物濃度相對低，PM<sub>2.5</sub> 濃度約為  $7 \sim 10 \mu\text{g m}^{-3}$ ，外來污染可能性低。Na 普遍認為與海水飛沫有關，Ca 污染源為塵土或水泥廠。在花蓮站污染物濃度較高時期，如 12 月 6 日，從元素 EF 值可以發現 Zn、Cd、Pb、Sb、Tl 數值明顯高於其他時期，顯示除了在地元交通排放來源，也可能受到長程傳輸影響，Tl 元素 EF 值上升可能與水泥廠有關連。

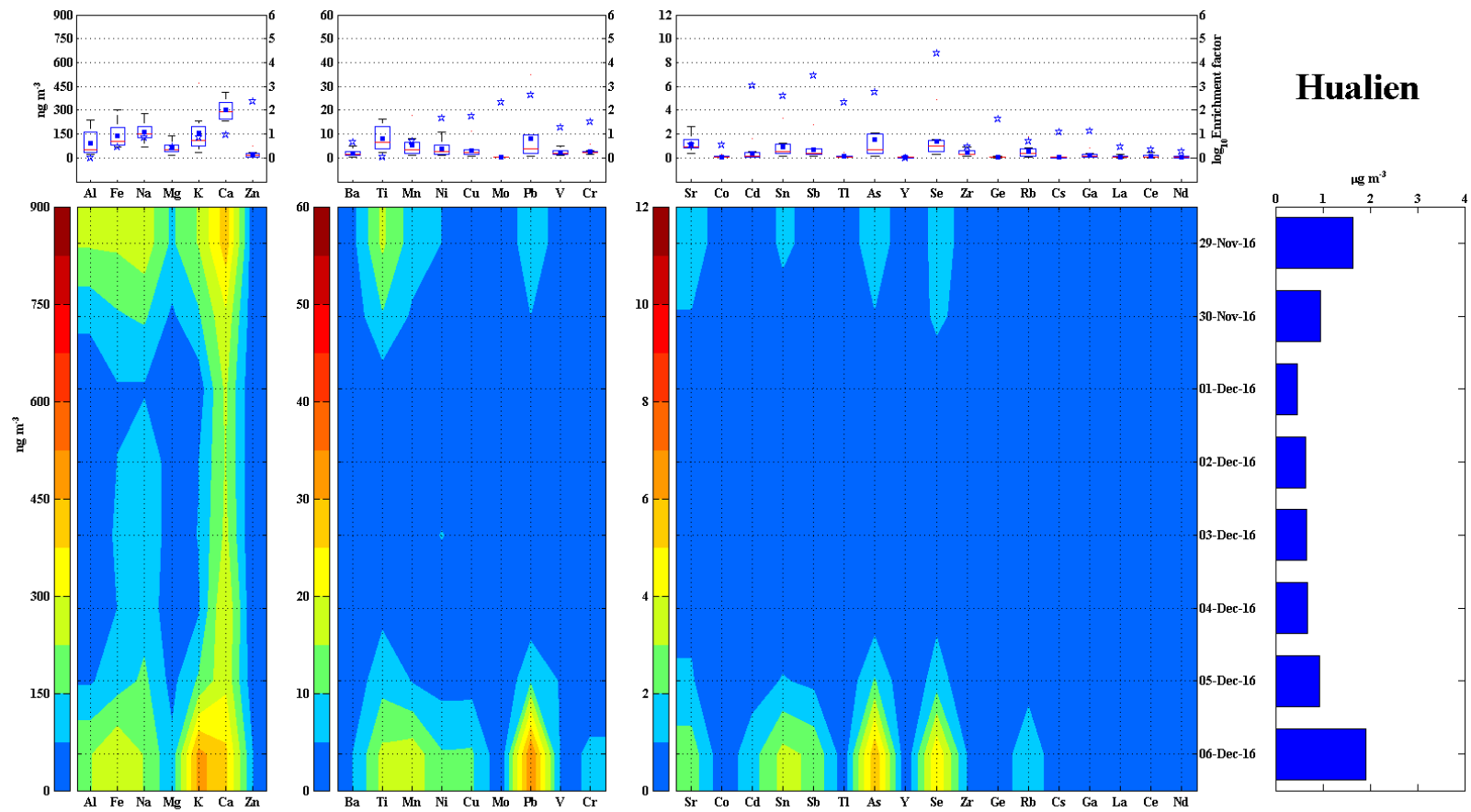


圖 4.2.4 花蓮站任務採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。

表 4.2.3 花蓮站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素每日濃度 (ng m<sup>-3</sup>)

日期 元素	29Nov16	30Nov16	01Dec16	02Dec16	03Dec16	04Dec16	05Dec16	06Dec16
Al	239.281	96.465	19.486	37.125	31.473	34.184	68.644	224.210
Fe	241.682	144.691	69.698	78.894	87.525	78.151	118.994	299.331
Na	277.095	164.644	69.579	131.710	131.525	122.323	168.525	222.881
Mg	139.327	62.412	18.973	45.120	41.533	34.897	51.969	97.202
K	233.119	141.145	34.909	75.363	80.788	68.486	163.322	474.094
Ca	413.647	290.748	240.978	233.462	246.434	305.284	284.502	392.227
Sr	1.956	0.936	0.360	0.833	0.778	0.840	1.095	2.590
Ba	3.502	1.760	0.341	0.926	1.103	1.047	1.616	5.089
Ti	15.966	9.989	2.146	4.668	3.543	3.776	8.566	16.360
Mn	8.113	4.376	1.065	2.335	2.029	1.403	5.016	17.967
Co	0.115	0.081	0.023	0.045	0.037	0.040	0.102	0.276
Ni	5.166	1.775	0.895	1.430	5.515	1.662	3.170	10.796
Cu	3.423	2.386	0.636	1.681	1.762	1.192	3.256	11.156
Zn	32.256	18.379	2.254	6.219	8.609	5.702	22.947	76.571
Mo	0.268	0.186	0.144	0.209	0.117	0.126	0.418	1.226
Cd	0.321	0.183	0.024	0.076	0.084	0.059	0.502	1.631
Sn	1.217	0.626	0.172	0.398	0.393	0.298	1.092	3.351
Sb	0.664	0.439	0.102	0.271	0.306	0.299	0.787	2.813
Tl	0.154	0.093	0.023	0.055	0.033	0.037	0.120	0.430
Pb	9.400	5.158	0.701	2.217	2.079	1.586	9.684	34.816
V	1.898	2.170	1.450	1.226	0.901	2.274	4.821	3.661
Cr	2.489	2.147	2.228	2.587	1.976	1.591	2.991	5.939
As	1.856	0.929	0.158	0.370	0.506	0.345	2.091	5.855
Y	0.078	0.035	0.007	0.019	0.015	0.014	0.032	0.076
Se	1.342	1.273	0.285	0.528	0.515	0.686	1.503	4.889
Zr	0.743	0.522	0.162	0.262	0.256	0.280	0.336	0.925
Ge	0.083	0.053	0.026	0.039	0.022	0.020	0.100	0.236
Rb	0.861	0.478	0.065	0.203	0.177	0.153	0.588	1.798
Cs	0.073	0.040	0.005	0.016	0.010	0.011	0.057	0.207
Ga	0.379	0.194	0.037	0.094	0.084	0.077	0.232	0.820
La	0.196	0.087	0.015	0.043	0.037	0.041	0.073	0.282
Ce	0.318	0.151	0.021	0.067	0.060	0.049	0.132	0.413
Nd	0.143	0.059	0.010	0.029	0.023	0.020	0.052	0.147



表 4.2.4 花蓮站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素每日富集因子數值

日期 元素	29Nov16	30Nov16	01Dec16	02Dec16	03Dec16	04Dec16	05Dec16	06Dec16
Al	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe	1	2	5	3	4	3	3	2
Na	4	5	11	11	13	11	8	3
Mg	2	2	3	4	5	4	3	2
K	4	6	7	8	10	8	9	8
Ca	3	6	25	12	16	18	8	3
Sr	2	2	4	5	5	5	4	3
Ba	3	4	3	5	7	6	5	4
Ti	1	1	1	1	1	1	1	1
Mn	3	4	5	5	6	4	6	7
Co	2	3	4	4	4	4	5	4
Ni	24	20	50	42	192	53	51	53
Cu	21	37	49	68	84	52	71	74
Zn	158	224	136	197	322	196	393	402
Mo	61	106	406	309	204	203	334	300
Cd	552	781	508	846	1104	707	3007	2994
Sn	209	267	363	441	514	359	655	615
Sb	1142	1875	2148	3000	4001	3595	4715	5163
Tl	117	176	217	273	191	200	320	351
Pb	259	352	237	393	435	305	929	1022
V	5	14	45	20	17	41	43	10
Cr	9	18	94	57	52	38	36	22
As	355	441	371	456	735	461	1393	1194
Y	1	1	1	1	1	1	1	1
Se	9235	21722	24054	23426	26929	33029	36033	35890
Zr	2	3	4	4	4	4	2	2
Ge	19	30	74	57	38	32	80	58
Rb	3	5	3	5	5	4	8	7
Cs	8	11	7	12	9	9	23	25
Ga	9	11	10	14	15	12	19	20
La	2	2	2	3	3	3	3	3
Ce	2	2	2	2	3	2	3	3
Nd	2	2	2	2	2	2	2	2

#### 4.2.2 斗六站

近年來，斗六地區的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時常在秋季與冬季高於我國空氣品質標準的日平均值，本計畫選擇在高污染時期進行 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度以及化學成分檢測，以瞭解斗六地區污染特性。

##### 1. 環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

圖 4.2.5 的逆推氣流軌跡顯示 11 月 29 日至 11 月 30 日斗六測站氣流主要來自黃海一帶，路徑上並未經過明顯污染源區，因此推測這段期間污染物主要影響為在地或鄰近都會區域。12 月 1 日氣流主要可分為來自華中地區或黃海地區，但傳輸高度較高，最後一天近地氣流由台灣北部南下，因此，斗六較可能受到台灣其他地區傳輸污染。12 月 2 至 4 日推氣流軌跡顯示斗六測站氣流主要來自於黃海海域以及台灣東北角海域，由於氣流大部分時間在海上，因此，推測這幾日污染物濃度主要來自在地影響。12 月 5 日及 12 月 6 日，氣流來自華中地區，但最後一天近地氣流由台灣北部南下，因此當天污染物濃度可能受到台灣其他地區傳輸污染影響。

表 4.2.5 環保署空氣品質監測資料顯示斗六測站在 11 月 29 日至 12 月 6 日觀測期間主要風向都來自東北方與北北東方，除了 11 月 29 日受到東北風影響帶來微弱雨量，其餘觀測期間並未受降雨影響。對比同時期花蓮測站，斗六地區在氣態污染物方面較花蓮地區高出一些，特別是 O<sub>3,max</sub>。監測資料顯示最高日平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度出現在 12 月 6 日，次高濃度則出現在 12 月 5 日及 4 日，12 月 1 日則受到環境風速較高(2.5 m s<sup>-1</sup>)，污染物擴散條件良好，因此 PM<sub>2.5</sub> 濃度為觀測期間最低值。

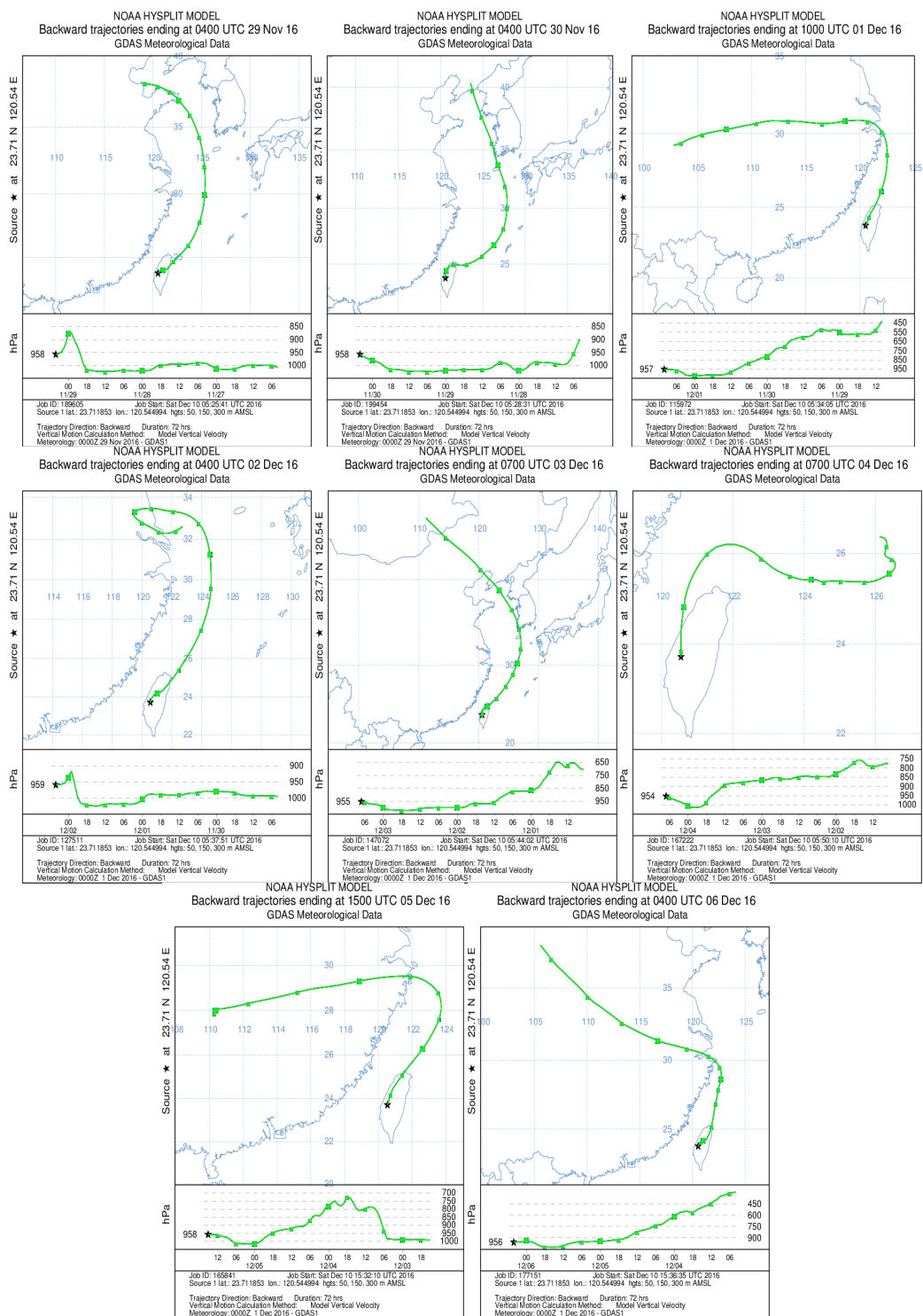


圖 4.2.5 斗六站任務型採樣期間典型逆推軌跡線 (由左上角起至右下角分別為 11 月 29 日至 12 月 6 日典型逆推軌跡線)

表 4.2.5 斗六站任務型採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
29-Nov-16	斗六	30	0.5	24.8	3.2	54	北北東	1.4	23.3	77	4.2
30-Nov-16	斗六	25	0.4	22.9	3.5	53	東北	1.6	22.8	85	NR
1-Dec-16	斗六	20	0.4	19.5	3.2	55	東北	2.5	21.9	77	NR
2-Dec-16	斗六	30	0.4	21.9	3.4	84	東北	1.8	21.8	79	NR
3-Dec-16	斗六	27	0.4	19.0	2.9	76	東北	1.5	23.1	81	NR
4-Dec-16	斗六	38	0.4	18.6	3.1	91	北北東	1.4	24.6	81	NR
5-Dec-16	斗六	39	0.4	20.1	4.0	87	北北東	2.1	24.1	74	NR
6-Dec-16	斗六	51	0.5	24.8	3.5	43	北北東	2.1	21.2	69	NR

註：NR 表示該時段無降雨，測站監測數據統計時間已隨採樣時間進行調整。

從圖 4.2.6 污染物時間序列可看出，觀測期間風向大多為東北風，除了 11 月 29 日與 12 月 3 日，在幾個風速較低的時段，風向較為混亂。11 月 29 日環境污染物濃度監測資料顯示，SO<sub>2</sub> 與 NO<sub>x</sub> 於夜間濃度逐漸累積，PM<sub>2.5</sub> 濃度從 0 時開始持續為 40  $\mu\text{g m}^{-3}$  並無明顯變動，直到上午 8 時前污染物濃度才隨著逐漸上升的風速而下降，下午 16 時開始，風速由 1  $\text{m s}^{-1}$  上升至 2  $\text{m s}^{-1}$ ，此時污染物並未隨風速下降，反而逐漸上升，顯示受到上風污染源影響。11 月 30 日觀測期間受到日平均風速較前日高出少許，因此整體污染物濃度略為下降，除了下午交通尖峰時段可以發現 PM<sub>2.5</sub> 濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 濃度變化趨勢相同外，有明顯上升趨勢，顯示受到在地的交通排放影響。12 月 2 日觀測期間，污染物濃度時間序列顯示中午 12 時過後，風速逐漸由 1.8  $\text{m s}^{-1}$  上升至 3.3  $\text{m s}^{-1}$ ，這段期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度與 O<sub>3</sub> 濃度逐漸上升，推測污染物濃度伴隨東北風傳輸而來，此外，逆推氣流軌跡顯示氣流來自台灣東北方向海洋，因此污染物可能來自台灣北部區域或更遠的上海地區傳輸過來。12 月 4 日至 12 月 6 日 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度達到事件等級 (質量濃度大於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$ )，從污染物時間變化發現，這段期間吹拂東北風並伴隨風速上升時，各項污染物都有上升趨勢，配合氣流軌跡分析，判斷污染物主要來自測站東北方向台灣其他地區污染傳輸影響。

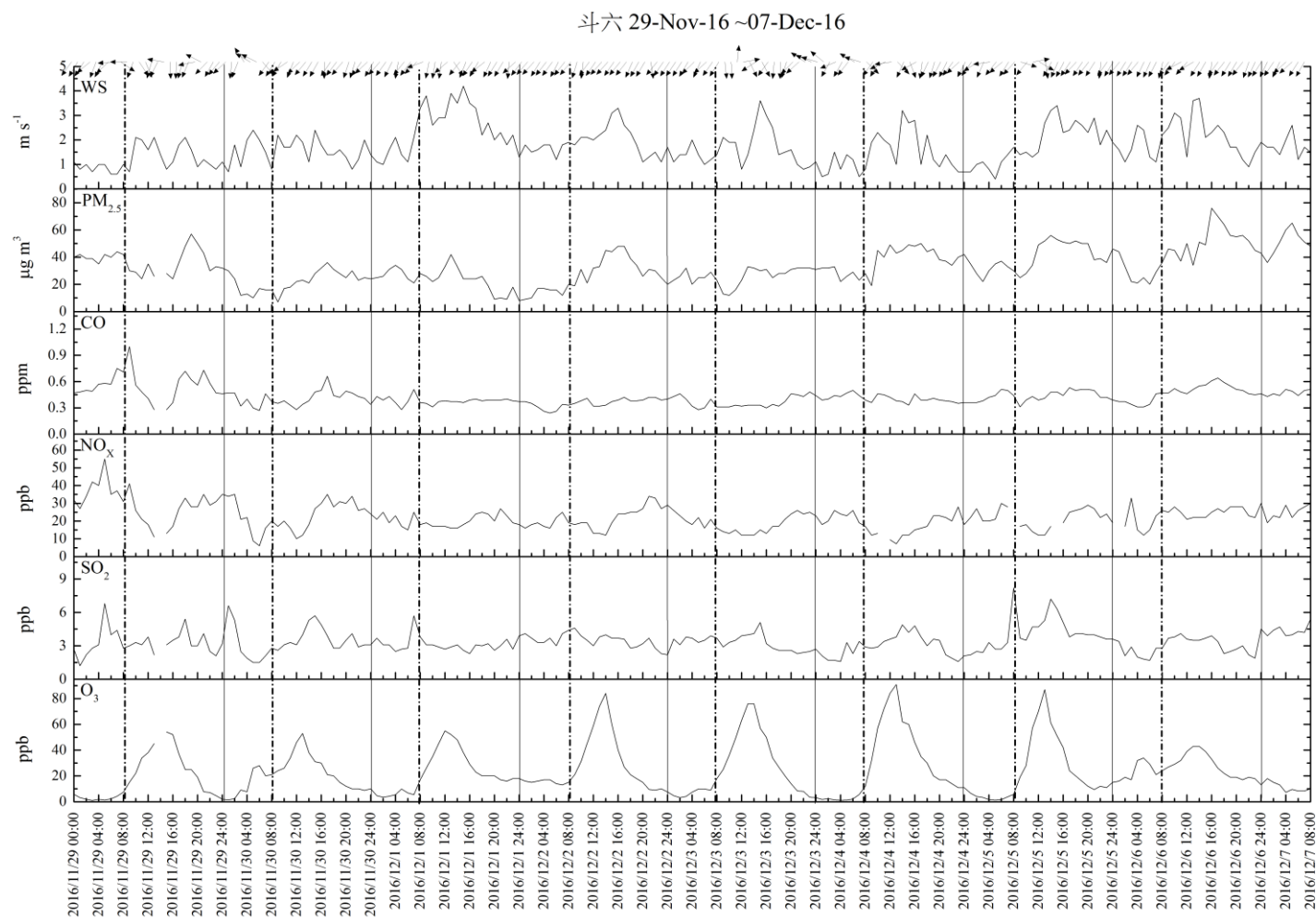


圖 4.2.6 斗六站任務型採樣期間天氣因子及污染物時間序列變化

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.2.7 顯示任務型採樣期間斗六站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分變化趨勢，修正後的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度相較於未修正質量濃度有較的數值，表示採樣過程中有氣膠揮發損失，從圖中可發現這些揮發性成分主要以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>為主。化學成分組成則以修正後有機碳為主，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，值得注意的是：修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>有相當高的占比，推測與在地的污染源有關。

表 4.2.6 為任務型採樣期間斗六站 PM<sub>2.5</sub> 各項化學成分濃度以及成分揮發與吸附修正結果。12 月 4 日這天 OC 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度高於 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>顯示在地污染影響大。12 月 6 日這天有最高的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度，化學成分中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>也有相當高的含量，然而當日環境監測數值的 SO<sub>2</sub> 濃度並沒有較前幾日有明顯的增加，顯示這些 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>可能經由東北風傳輸到觀測地區。在揮發離子/未修正離子的占比變化為 16 ~ 39%，整體約有 30%的離子濃度受揮發作用影響，其中揮發量最多的物種為 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，是在地污染排放的衍生物。碳成分的揮發與吸附修正結果顯示採樣期間每日約有 1 ~ 7%有機碳成分揮發、9 ~ 19%VOCs 吸附，顯示若未修正，碳成分受到吸附 VOCs 的影響會使 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度高估。整體而言，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度修正結果顯示去除吸附影響以及補足揮發性成分，將使質量濃度提升 7 ~ 11%，另外修正後 OC 除了 12 月 6 日外，都是斗六站占比最高物種。

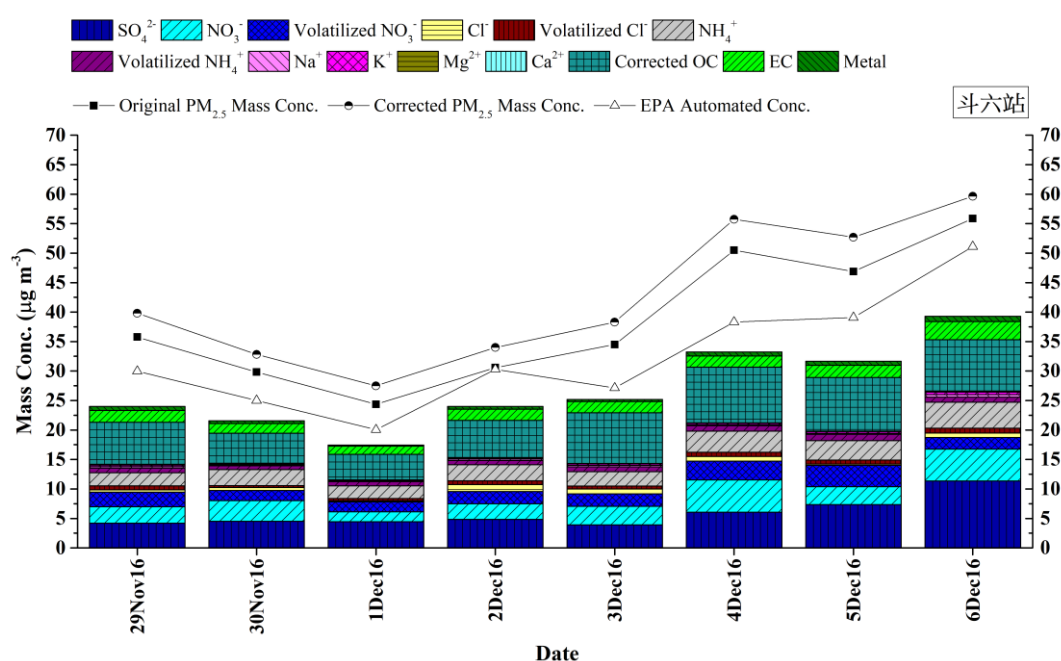


圖 4.2.7 斗六站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化

表 4.2.6 斗六站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度

Date		29Nov16	30Nov16	1Dec16	2Dec16	3Dec16	4Dec16	5Dec16	6Dec16
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	36	30	24	31	34	50	47	56
	Na <sup>+</sup>	0.26	0.19	0.16	0.25	0.26	0.17	0.20	0.43
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.22	2.71	2.14	2.74	2.43	3.59	3.28	4.40
	K <sup>+</sup>	0.24	0.11	0.08	0.15	0.25	0.25	0.27	0.41
	Mg <sup>2+</sup>	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07
	Ca <sup>2+</sup>	0.10	0.07	0.05	0.08	0.05	0.04	0.07	0.13
	Cl <sup>-</sup>	0.38	0.52	0.17	1.18	0.81	0.78	0.22	0.75
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.78	3.50	1.70	2.65	3.14	5.49	3.02	5.41
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4.20	4.53	4.44	4.84	3.91	6.06	7.36	11.36
	未修正離子濃度	10.21	11.65	8.75	11.91	10.87	16.39	14.43	22.95
	未修正 OC	8.02	5.76	4.89	7.51	9.23	9.99	9.45	9.95
	EC	2.59	2.14	1.91	2.61	2.60	2.96	2.99	3.27
	未修正碳成分濃度	10.60	7.90	6.80	10.12	11.83	12.95	12.44	13.22
	金屬元素濃度**	1.67	1.21	0.68	1.41	1.36	1.32	1.78	2.37
第二、三張濾紙	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.80	0.65	0.70	0.72	0.83	0.92	1.07	0.88
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.49	1.71	1.68	2.08	2.12	3.16	3.62	1.95
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.68	0.31	0.42	0.63	0.51	0.72	0.70	0.83
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.02	3.37	2.84	3.46	3.26	4.50	4.34	5.28
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.27	5.21	3.37	4.73	5.26	8.65	6.64	7.36
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	1.05	0.83	0.59	1.81	1.32	1.51	0.91	1.58
	修正後離子濃度	14.18	14.32	11.55	15.34	14.34	21.19	19.82	26.61
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	39%	23%	32%	29%	32%	29%	37%	16%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	36%	44%	42%	45%	37%	38%	38%	45%
	揮發 OC	0.14	0.34	0.34	0.08	0.34	0.44	0.44	0.13
	吸附 VOCs	0.95	0.97	0.91	1.13	1.00	0.98	0.83	1.32
	(揮發 OC)/未修正 OC(%)	2%	6%	7%	1%	4%	4%	5%	1%
	(吸附 VOCs)/未修正 OC(%)	12%	17%	19%	15%	11%	10%	9%	13%
	修正後 OC	7.20	5.12	4.32	6.45	8.57	9.45	9.06	8.76
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-11%	-12%	-13%	-16%	-8%	-6%	-4%	-14%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	25%	22%	23%	27%	29%	22%	23%	20%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	11%	10%	13%	11%	11%	10%	12%	7%
	金屬元素濃度**	1.67	1.21	0.68	1.41	1.36	1.32	1.78	2.37
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	62%	67%	65%	73%	68%	62%	62%	66%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	40	33	27	34	38	56	53	60

註: \*PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度= PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得，不會吸附 VOCs。

\*\*金屬元素質量濃度是包含和水溶性離子重複者，但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時，金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。

\*\*\* PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%)=(揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.2.8 為任務型採樣期間各樣本各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子 (Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間(左:最高、中:次高、右:低濃度)。

採樣時間從 2016 年 11 月 29 日至 12 月 6 日。根據 EF 值在 10 以上為非來自塵土而是其他源的推論，濃度較高元素群中(左側圖)，Al、Fe、Mg、Na 和 Ca 多來自塵土，除了 Zn 元素富集因子高達 1000 以上，其餘元素 EF 值平均在 10 上下，顯示樣本分別來自塵土源和其他非人為來源，值得注意的是，K 元素濃度高達  $318 \text{ ng m}^{-3}$ ，比這個期間背景對照的花蓮站明顯高出一倍，可能有生質燃燒貢獻。濃度中等的元素群 Pb、Mo、Cu 有較高 EF 值顯示受人為影響較多，其中 Pb 濃度  $18 \text{ ng m}^{-3}$  是此群元素中濃度最高者。濃度較低元素群(右側圖)，Sr、Y、Zr、La、Ce、Nd 的 EF 值多低於 10，Ge、Cs、Ga、Mn、Co、Rb 的 EF 值在 10 上下，其他元素 EF 值都在 10 以上，特別是 Cd、Sn、Pb、As、Sb、Se，EF 值都在 1000 以上，個濃度群中濃度相對較高，EF 值又突出的元素有 Pb、Zn，平均濃度分別為 18 和  $120 \text{ ng m}^{-3}$ ，Pb 來源有廢棄物焚化、煉鋼、燃煤、交通排放，Zn 來源有輪胎或路面磨損、鋅冶煉、二行程機動車廢氣、柴油引擎等。

每日 EF 值變化可發現 12 月 4 日這段期間 Zn、Cr、Sb、Pb 數值明顯高於其他時期，前述監測資料顯示這段期間環境擴散條件不佳，後推氣流軌跡線顯示來自斗六在地污染貢獻，元素 Zn 及 V 有較高濃度，從來源推估顯示與交通排放有關。值得注意的是斗六站燃煤指標元素 Se 平均值約有  $2 \text{ ng m}^{-3}$ ，對比背景測站花蓮高出約 1 倍，顯示該地區確實受到燃煤燃燒影響，若從單日 Se 與 As 這兩項燃煤燃燒指標元素來看，12 月 6 日個別濃度為 4.9 與  $4.1 \text{ ng m}^{-3}$ ，都是採樣期間最高濃度，前述結果推估這段期間受到台灣其他地區傳輸污染影響，這顯示上風污染源夾帶許多燃煤燃燒污染物。



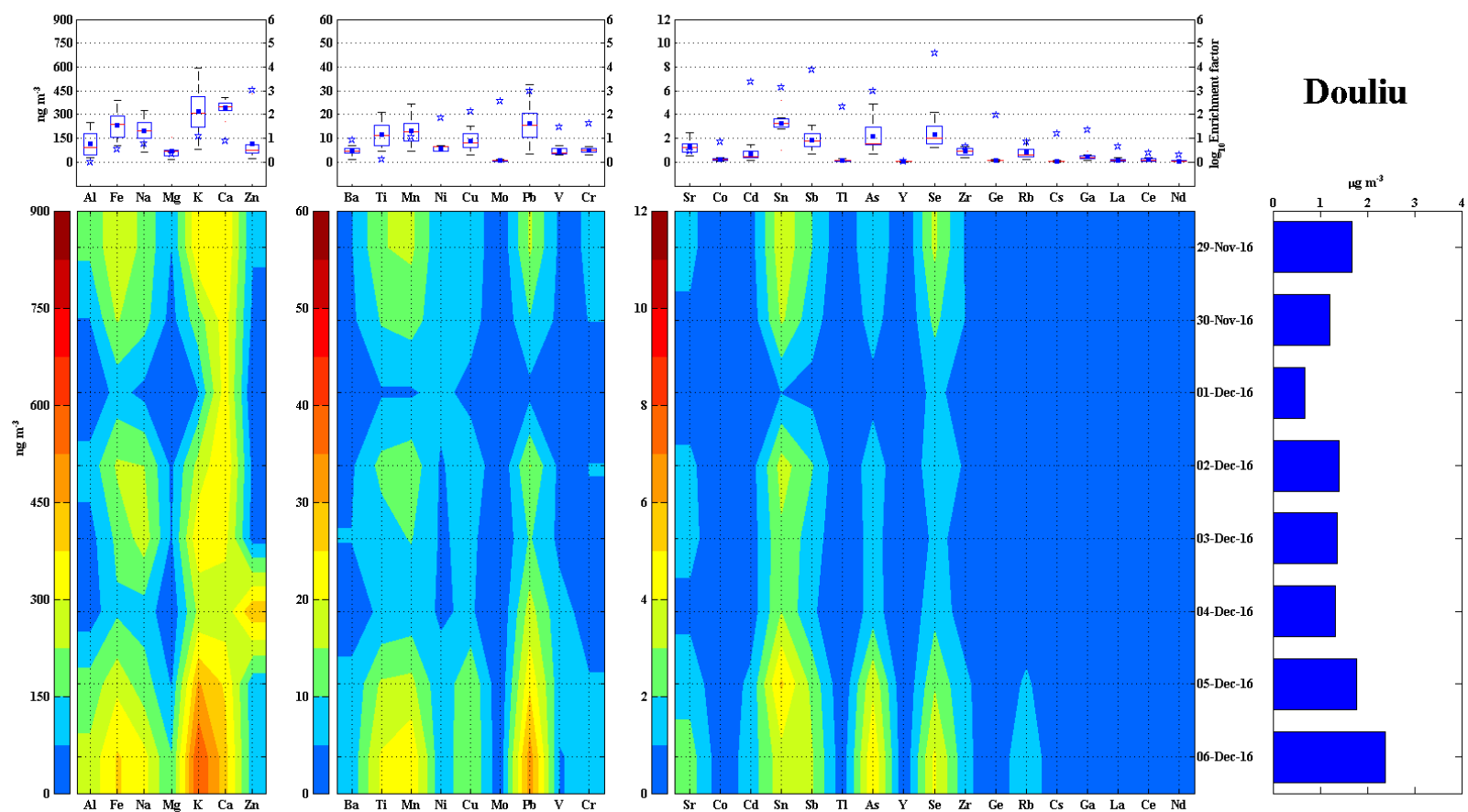


圖 4.2.8 斗六站任務型採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。

表 4.2.7 斗六站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素每日濃度 (ng m<sup>-3</sup>)

日期 元素	29Nov16	30Nov16	01Dec16	02Dec16	03Dec16	04Dec16	05Dec16	06Dec16
Al	169.212	79.216	30.105	107.096	55.624	39.797	185.434	251.625
Fe	296.124	234.799	101.992	243.385	170.663	139.887	280.284	387.857
Na	202.975	176.906	60.065	231.593	267.970	119.633	185.676	323.504
Mg	77.100	53.053	17.206	64.498	68.106	27.033	75.771	153.670
K	368.327	194.952	78.124	254.923	355.997	241.051	459.883	593.857
Ca	374.064	335.245	332.071	365.710	323.196	252.789	368.386	406.737
Sr	1.287	0.878	0.493	1.244	1.386	0.753	1.645	2.499
Ba	4.682	3.894	1.205	4.350	5.218	3.432	6.096	7.091
Ti	14.800	10.744	4.608	11.734	7.965	5.683	15.797	20.759
Mn	15.910	12.406	4.502	13.420	10.546	7.196	16.528	24.294
Co	0.254	0.223	0.076	0.230	0.168	0.102	0.311	0.408
Ni	6.428	6.991	6.643	4.605	4.557	4.588	6.566	6.742
Cu	8.672	7.321	3.059	8.928	6.402	5.849	14.692	14.995
Zn	88.274	62.945	22.170	59.324	50.837	432.925	104.043	111.415
Mo	0.728	0.663	0.316	0.643	0.492	0.378	0.857	1.139
Cd	0.545	0.368	0.135	0.469	0.501	0.430	1.284	1.453
Sn	3.711	3.140	1.029	3.429	2.819	2.989	5.191	3.635
Sb	2.021	1.460	0.713	2.119	1.576	1.211	2.700	3.114
Tl	0.150	0.097	0.039	0.108	0.052	0.053	0.198	0.319
Pb	15.857	9.970	3.518	15.216	10.613	17.021	23.918	32.605
V	3.656	3.550	3.174	3.339	3.858	6.808	6.606	4.820
Cr	5.609	5.160	3.442	5.144	4.848	2.988	5.506	6.516
As	2.012	1.474	0.659	1.620	1.476	1.497	3.800	4.907
Y	0.072	0.041	0.014	0.046	0.027	0.021	0.075	0.094
Se	3.212	2.285	1.365	1.742	1.238	1.756	2.890	4.180
Zr	0.931	1.007	0.411	0.926	0.730	0.488	1.259	1.291
Ge	0.151	0.147	0.141	0.154	0.099	0.106	0.183	0.316
Rb	0.968	0.588	0.209	0.688	0.560	0.385	1.208	1.838
Cs	0.068	0.044	0.018	0.054	0.031	0.024	0.104	0.201
Ga	0.429	0.315	0.140	0.403	0.326	0.200	0.575	0.915
La	0.194	0.129	0.051	0.175	0.103	0.082	0.257	0.335
Ce	0.227	0.148	0.057	0.181	0.115	0.080	0.320	0.402
Nd	0.093	0.059	0.023	0.070	0.043	0.030	0.120	0.154

表 4.2.8 斗六站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素每日富集因子數值

日期 元素	29Nov16	30Nov16	01Dec16	02Dec16	03Dec16	04Dec16	05Dec16	06Dec16
Al	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe	3	4	5	3	4	5	2	2
Na	4	7	6	7	15	9	3	4
Mg	2	2	2	2	4	2	1	2
K	9	10	10	9	25	24	10	9
Ca	4	8	22	7	12	13	4	3
Sr	2	2	4	3	5	4	2	2
Ba	5	10	8	8	18	17	6	5
Ti	1	1	2	1	2	2	1	1
Mn	8	14	13	11	16	16	8	8
Co	5	9	8	7	10	8	6	5
Ni	42	97	242	47	90	127	39	29
Cu	77	138	152	125	172	220	119	89
Zn	613	934	866	651	1075	12790	660	521
Mo	236	459	576	330	485	521	254	248
Cd	1325	1910	1839	1804	3704	4442	2849	2376
Sn	903	1631	1407	1318	2086	3090	1152	594
Sb	4915	7585	9749	8143	11660	12527	5992	5093
Tl	163	223	234	185	171	244	196	232
Pb	617	829	769	935	1256	2816	849	853
V	13	27	64	19	42	104	22	12
Cr	27	54	94	40	72	62	24	21
As	544	851	1000	691	1213	1720	937	892
Y	1	1	1	1	1	1	1	1
Se	31241	47486	74613	26778	36632	72626	25649	27347
Zr	3	6	7	4	7	6	3	3
Ge	49	102	257	79	97	147	54	69
Rb	5	7	6	6	9	9	6	7
Cs	11	15	16	14	15	16	15	22
Ga	14	22	26	21	32	28	17	20
La	3	4	5	4	5	6	4	4
Ce	2	3	3	2	3	3	2	2
Nd	2	2	2	2	2	2	2	2

### 4.2.3 嘉義站

近年來，嘉義地區的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度時常在秋季與冬季超過我國空氣品質標準的日平均值，受到民眾和媒體關注，本計畫在高污染時期對嘉義站進行 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度以及化學成分檢測，可瞭解嘉義地區污染源特性。

#### 1. 環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

圖 4.2.9 顯示任務型採樣期間嘉義站每日典型氣逆推氣流軌跡線，11 月 29 日至 11 月 30 日氣流主要經由黃海地區傳輸至測站，由於氣流行經地區並無明顯境外污染源，因此當日污染源推測來自在地排放。12 月 1 日部分時段氣流除了來自黃海地區，18 時以後氣流軌跡顯示由華中地區出海傳輸至測站，因此不排除當日嘉義所觀測的污染物濃度部分可能來自於境外傳輸。12 月 2 日至 3 日氣流軌跡線與 11 月 29 及 30 日相似，主要都來自黃海海面，因此當日污染受在地影響較多。12 月 4 日氣流軌跡較為凌亂，主要源區為台灣北方海域。12 月 5 日後氣流軌跡主要來自大陸湖北地區，傳輸至華中並由上海出海，但是氣流傳輸軌跡較高，嘉義站不會受到長程傳輸影響，因此受在地影響較多。12 月 6 日軌跡與 12 月 5 日相似，但是軌跡高程有所不同，可能會受到境外傳輸影響。

表 4.2.9 顯示嘉義測站環境污染物監測資料日平均值，11 月 29 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度為 35  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，這天環境日平均風速為 1.8  $\text{m s}^{-1}$ ，擴散條件普通，各項氣態污染物日平均濃度除了臭氧都是觀測期間最高值，顯示受到擴散條件與在地污染源影響使 PM<sub>2.5</sub> 濃度不低。11 月 30 日至 12 月 3 日觀測期間，由於環境風速約為 2  $\text{m s}^{-1}$  以上，直到 12 月 3 日下午風速逐漸下降，這幾日環境擴散條件良好，因此 PM<sub>2.5</sub> 濃度並無明顯高值。12 月 4 日以後氣流來向轉為華中地區，雖然與前一日有相似的環境條件(氣溫、風速及濕度)，但 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度有明顯上升。

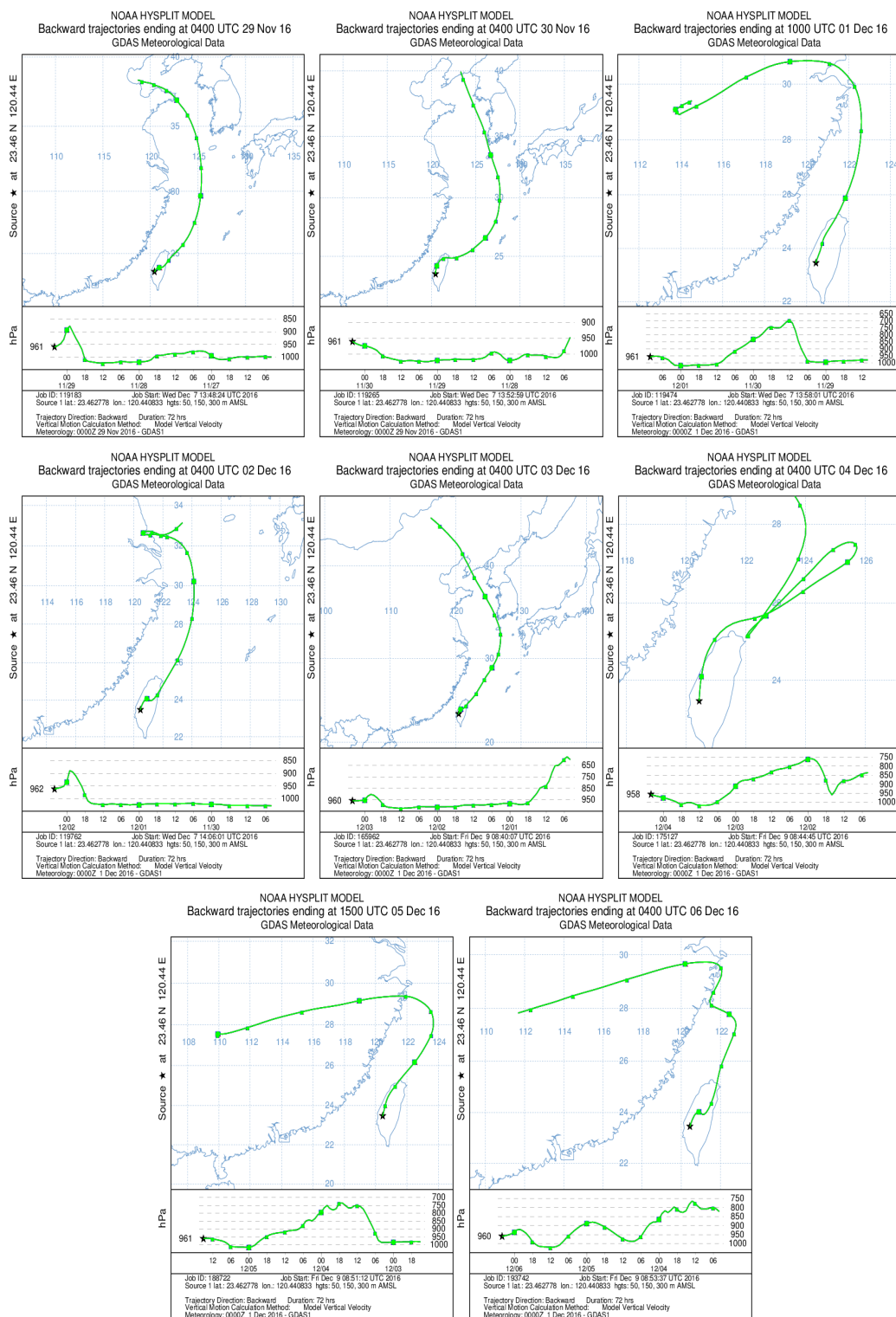


圖 4.2.9 嘉義站任務型採樣期間典型逆推軌跡線 (由左上角起至右下角分別為 11 月 29 日至 12 月 6 日典型逆推軌跡線)

表 4.2.9 嘉義站任務型採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
29-Nov-16	嘉義	35	0.7	30.2	5.7	54	北	1.8	22.4	72	0.6
30-Nov-16	嘉義	26	0.6	26.7	4.0	38	東北東	2.0	22.0	82	1.6
1-Dec-16	嘉義	26	0.5	21.7	4.3	62	西北	2.7	21.0	74	NR
2-Dec-16	嘉義	28	0.5	25.0	4.2	74	北	2.3	21.5	73.3	NR
3-Dec-16	嘉義	28	0.5	22.5	4.4	64	北北西	1.9	22.5	77.4	NR
4-Dec-16	嘉義	46	0.5	19.5	4.8	82	北北西	1.9	23.7	76.8	NR
5-Dec-16	嘉義	45	0.6	24.1	4.7	76	西北	2.5	23.5	69.2	NR
6-Dec-16	嘉義	53	0.6	28.6	3.8	49	北北西	2.2	20.9	63.0	NR

註：NR 表示該時段無降雨，測站監測數據統計時間已隨採樣時間進行調整。

圖 4.2.10 顯示觀測期間污染物隨時間變化，採樣起始時間為 11 月 29 日上午 8 時，受到採樣前環境低風速影響，因此各項污染物除了臭氧外都在上午 8 時達到當日峰值，爾後受到風速上升，環境擴散條件改善，污染物濃度逐漸下降，值得一提的是，當日嘉義測站 SO<sub>2</sub> 濃度在清晨 3 時及晚間 10 點時有明顯峰值，從當時風速風向判斷，這些峰值可能來自北方污染源影響。12 月 4 日至 12 月 5 日嘉義測站 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯高於環保署日平均污染物濃度標準，從污染物變化發現，除了風速上升時受到上風污染源的影響，每日上午 8 時及下午 17 時 NO<sub>x</sub> 與 CO 濃度同時上升顯示當地交通排放源影響不容忽視，此外，當污染前驅物消散時，臭氧濃度便逐漸上升，一直至中午達到最大值，當臭氧濃度開始下降時 PM<sub>2.5</sub> 濃度便逐漸上升 (12 月 4 日與 12 月 5 日)，因此推測當日污染物還可能受到光化學作用影響。12 月 6 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度主要延續前一日高值，中午 12 時風速由  $2.3 \text{ m s}^{-1}$  逐漸上升至  $3 \text{ m s}^{-1}$ ，此時 PM<sub>2.5</sub> 濃度伴隨風速一同上升 SO<sub>2</sub> 也有些微上升現象，從當時環境風向推測，污染物可能來自測站西北方污染源傳輸。

嘉義 29-Nov-16 ~07-Dec-16

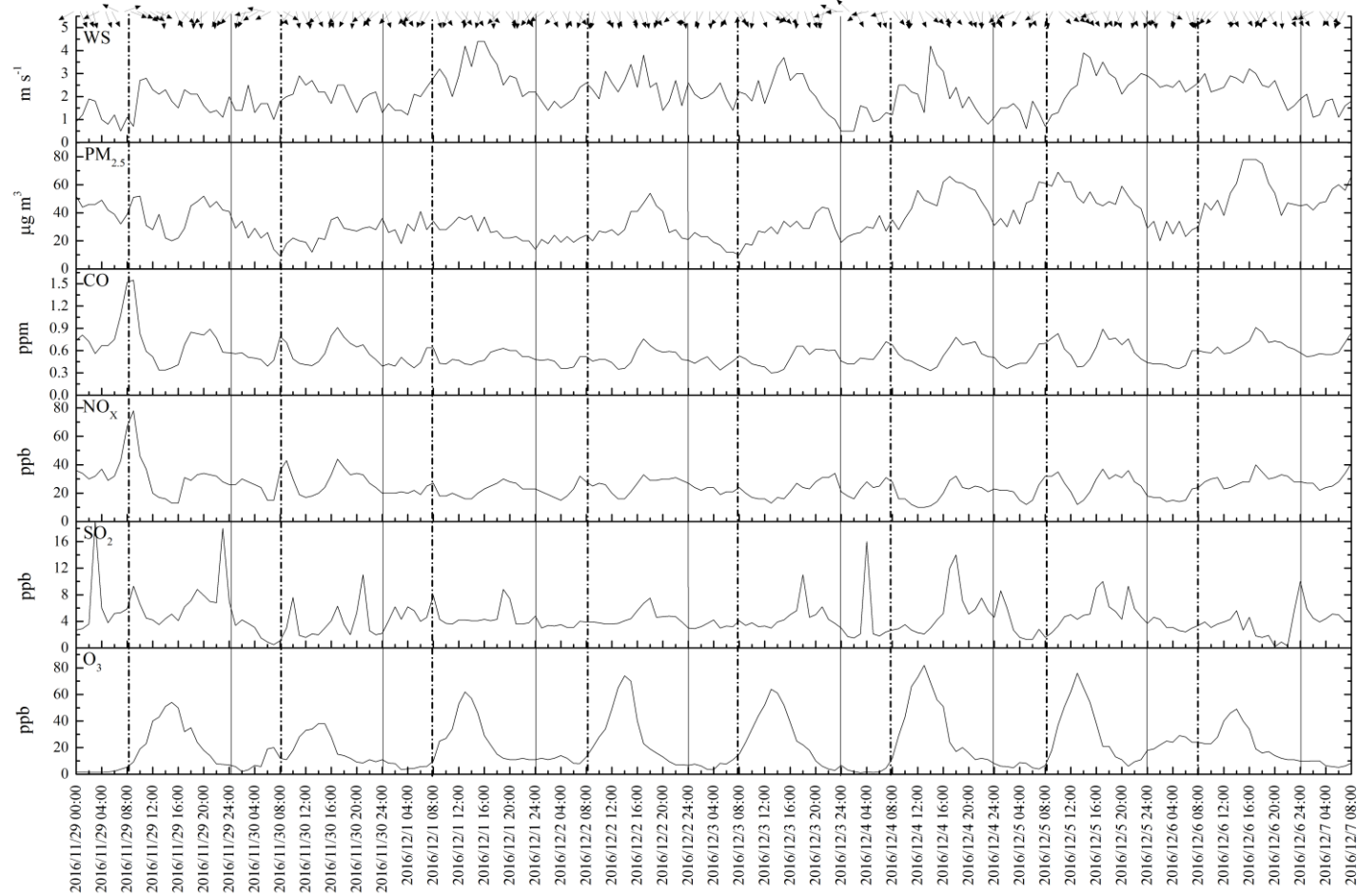


圖 4.2.10 嘉義站任務型採樣期間天氣因子及污染物時間序列變化

## 2. 嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.2.11 顯示任務型採樣期間嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分變化趨勢，手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署空氣品質監測站自動監測數值有一致的變化趨勢，從圖中可發現嘉義站化學成分組成主要為修正後有機碳成分，其餘如 12 月 4 日則以修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>為主，此外，嘉義站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>比斗六站以及花蓮站有明顯較高濃度，顯示嘉義站受到機動車輛排放影響大。

表 4.2.10 為任務型採樣期間嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 各項化學成分濃度以及成分揮發與吸附修正結果。觀測期間共八日，有五日修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度超過日平均值標準，12 月 4 日與 6 日是觀測期間污染物濃度最高的兩日，這兩日雖然 PM<sub>2.5</sub> 濃度相差約為 10  $\mu\text{g m}^{-3}$  但修正後離子濃度卻十分接近，分別為 27.68 與 27.67  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，但濃度較高的成分卻分別為修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，顯示這兩日污染型態的差異，由前述逆推氣流分析可發現 12 月 4 日氣流前半天主要來自台灣東北方海域，之後才轉來自華中地區，12 月 6 日則主要來自華中地區，從成分分析結果則可發現 12 月 4 日主要以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>為主，顯示受到在地污染源影響較多，12 月 6 日則可能帶有境外傳輸污染物 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。另外揮發離子/未修正離子占比則與斗六相似，有 19 ~ 38% 的離子成分揮發損失，其中以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>為主。碳成分揮發與吸附修正結果則顯示揮發有機碳約有 2 ~ 16%、吸附有機碳則占未修正有機碳的 11 ~ 25%，顯示碳成分在進行修正前吸附 VOCs 的影響會使結果高估。整體而言，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度修正顯示去除吸附影響以及補足揮發性成分，將使質量濃度提升 10 ~ 19%，這項結果區別出嘉義站成分組成與花蓮及斗六站的差異，由於任務型採樣期間，斗六、嘉義、花蓮測站日均溫度約為 20 ~ 24°C，並無明顯差異，可排除環境溫度對成分揮發的影響，較多的揮發損失推測主要來自較高的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度所致，彰顯出嘉義地區受在地機動車輛排放影響較其他地區嚴重。



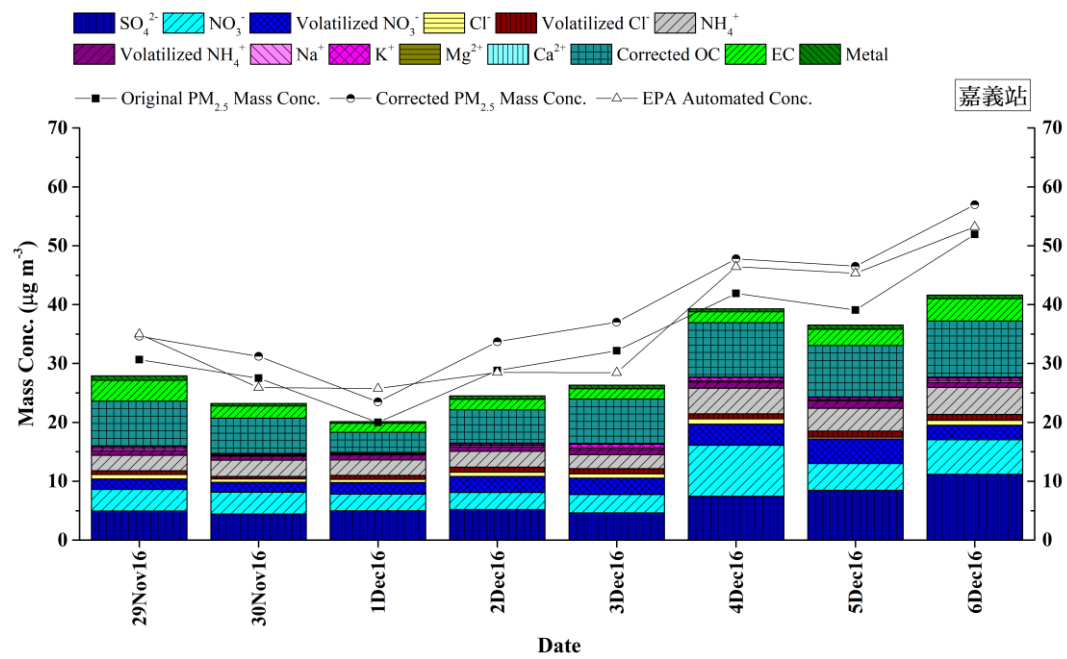


圖 4.2.11 嘉義站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化

表 4.2.10 嘉義站任務型採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分濃度

Date		29Nov16	30Nov16	1Dec16	2Dec16	3Dec16	4Dec16	5Dec16	6Dec16
濾紙類型及項目		( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
第一張濾紙	PM <sub>2.5</sub> 未修正濃度	31	27	20	29	32	42	39	52
	Na <sup>+</sup>	0.31	0.16	0.19	0.24	0.22	0.20	0.20	0.31
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.62	2.77	2.63	2.70	2.38	4.32	3.88	4.56
	K <sup>+</sup>	0.34	0.20	0.12	0.26	0.66	0.54	0.33	0.43
	Mg <sup>2+</sup>	0.03	0.01	0.03	0.03	0.07	0.03	0.02	0.04
	Ca <sup>2+</sup>	0.09	0.08	0.09	0.07	0.08	0.05	0.10	0.11
	Cl <sup>-</sup>	0.73	0.61	0.55	0.72	0.74	0.89	0.28	0.85
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.68	3.70	2.83	2.87	3.09	8.66	4.53	5.88
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4.93	4.45	4.99	5.21	4.63	7.45	8.46	11.16
	未修正離子濃度	12.73	11.97	11.41	12.11	11.88	22.13	17.79	23.34
	未修正 OC	8.16	6.04	4.74	6.33	8.41	9.97	9.00	10.17
	EC	3.55	2.51	1.95	2.53	2.33	2.83	3.38	3.82
	未修正碳成分濃度	11.71	8.55	6.70	8.86	10.74	12.80	12.38	14.00
	金屬元素濃度**	2.04	1.30	0.81	1.55	2.10	1.63	1.86	1.67
第二、三張濾紙	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.84	0.69	0.86	0.79	0.90	1.09	1.28	0.86
	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.78	1.66	1.96	2.73	2.79	3.59	4.20	2.47
	揮發 Cl <sup>-</sup>	0.64	0.41	0.66	0.85	0.87	0.86	1.04	1.00
	修正後的 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.46	3.46	3.48	3.49	3.28	5.41	5.16	5.42
	修正後的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.47	5.35	4.78	5.60	5.89	12.25	8.72	8.35
	修正後的 Cl <sup>-</sup>	1.37	1.01	1.21	1.58	1.61	1.75	1.32	1.85
	修正後離子濃度	15.99	14.71	14.89	16.48	16.44	27.67	24.31	27.68
	(揮發離子)/ 未修正離子(%)	26%	23%	30%	36%	38%	25%	37%	19%
	修正後離子/ PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度 (%)	46%	47%	63%	49%	44%	58%	52%	49%
	揮發 OC	0.71	0.97	0.09	0.54	0.53	0.34	0.94	0.69
	吸附 VOCs	1.28	1.02	1.20	1.23	1.06	1.05	1.19	1.34
	(揮發 OC)/未修正 OC(%)	9%	16%	2%	8%	6%	3%	10%	7%
	(吸附 VOCs)/未修正 OC(%)	16%	17%	25%	19%	13%	11%	13%	13%
	修正後 OC	7.59	6.00	3.64	5.64	7.87	9.26	8.75	9.53
	(修正 OC-未修正 OC)/ 修正 OC(%)	-8%	-1%	-30%	-12%	-7%	-8%	-3%	-7%
	修正後碳成分/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	32%	27%	24%	24%	27%	25%	26%	23%
	PM <sub>2.5</sub> 濃度修正 (%)***	13%	14%	18%	17%	16%	14%	19%	10%
	金屬元素濃度**	2.04	1.30	0.81	1.55	2.10	1.63	1.86	1.67
	金屬元素濃度/ PM <sub>2.5</sub> 修正濃度 (%)	2%	1%	1%	2%	2%	1%	2%	1%
	(修正離子+修正 OC+EC+金屬)/修正 PM <sub>2.5</sub>	81%	76%	88%	75%	73%	84%	80%	73%
	PM <sub>2.5</sub> 修正後濃度*	35	31	24	34	37	48	47	57

註: \*PM<sub>2.5</sub> 修正後濃度= PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度+揮發離子+揮發 OC。PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度是由鐵氟龍濾紙秤重獲得，不會吸附 VOCs。

\*\*金屬元素質量濃度是包含和水溶性離子重複者，但計算各成分加總佔 PM<sub>2.5</sub> 修正濃度百分比時，金屬元素質量濃度不包含和水溶性離子重複者。

\*\*\* PM<sub>2.5</sub> 濃度修正(%)=(揮發離子+揮發 OC)/ PM<sub>2.5</sub> 未修正濃度。

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.2.12 為任務型採樣期間嘉義站各樣本各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子(Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間(左:最高、中:次高、右:低濃度)。採樣時間為 2016 年 11 月 29 日至 12 月 6 日。高濃度元素群中，Al、Fe、Mg、Ca 的 EF 值在 10 以下，主要來自塵土，K 元素 EF 值平均在 10 以上，顯示樣本除了塵土來源也包含其他貢獻源，此外 K 元素濃度高達  $490 \text{ ng m}^{-3}$ ，比起可做為背景的花蓮站高出一倍，也比斗六站高，應該有生質燃燒貢獻；濃度中等元素群，只有 Ti 的 EF 值低於 10，顯示主要來自揚塵，其他元素 EF 值都在 10 以上，特別是 Pb 元素在嘉義站同樣具有高濃度與高 EF 值的特性，平均濃度分別為  $25 \text{ ng m}^{-3}$ ，Pb 來源有廢棄物焚化、煉鋼、燃煤、交通排放；濃度較低元素群，Sr、Co、Y、Zr、Rb、La、Ce、Nd 的 EF 值多低於 10，Ge、Cs、Ga 的 EF 值在 10 上下，其他元素 EF 值都在 10 以上，特別是 Cd、Sn、Sb、Se，EF 值更在 1000 以上，對比斗六站，嘉義站在燃煤指標元素 As 與 Se 的 EF 值明顯降低不少，顯示斗六地區燃煤排放源具有較高影響，另外。斗六站與嘉義站都是高污染地區，並且在質量濃度、水溶性離子及碳成分的組成十分相似，但是從每日 EF 值變化可發現整體色塊波紋與斗六站有一些差異，例如污染物濃度較低時間(12 月 1 日)，元素 V 與 Ni 卻有較高的 EF 值，顯示受到燃油排放影響。12 月 3 日雖然整體 PM<sub>2.5</sub> 濃度不如 12 月 6 日，日平均濃度監測值約為  $32 \mu\text{g m}^{-3}$ ，但當日金屬元素總濃度值卻是採樣期間最高，並且 Ba 元素當日 EF 值明顯較高，Ba 元素來源大多為交通排放，顯示這日嘉義污染與交通有關，除了受到交通排放影響外，元素 K、Sr 以及水溶性離子  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  及  $\text{Mg}^{2+}$  有明顯高於其他採樣日的現象，在文獻中指出，施放煙火時前述物種會有明顯躍升的現象(Chang et al., 2011)，經過比對 12 月 3 日這天嘉義市區曾有“嘉邑鎮巡會錢虎會三載圓香謁祖進香遶境大典”，可能受到廟會活動繞境時所施放的煙火炮竹影響。比較 12 月 4 日與 12 月 6 日，前述資料顯示 4 日這天在地影響大並

且  $\text{NO}_3^-$  濃度高，12 月 6 日則有較高的  $\text{SO}_4^{2-}$ ，在金屬元素成分濃度在這兩天雖然相近但是 12 月 4 日元素 Sr、Ba、Pb、V 濃度較高顯示與交通排放有關，12 月 6 日則以 Se 及 As 濃度較高顯示與傳輸的燃煤燃燒污染物有關。

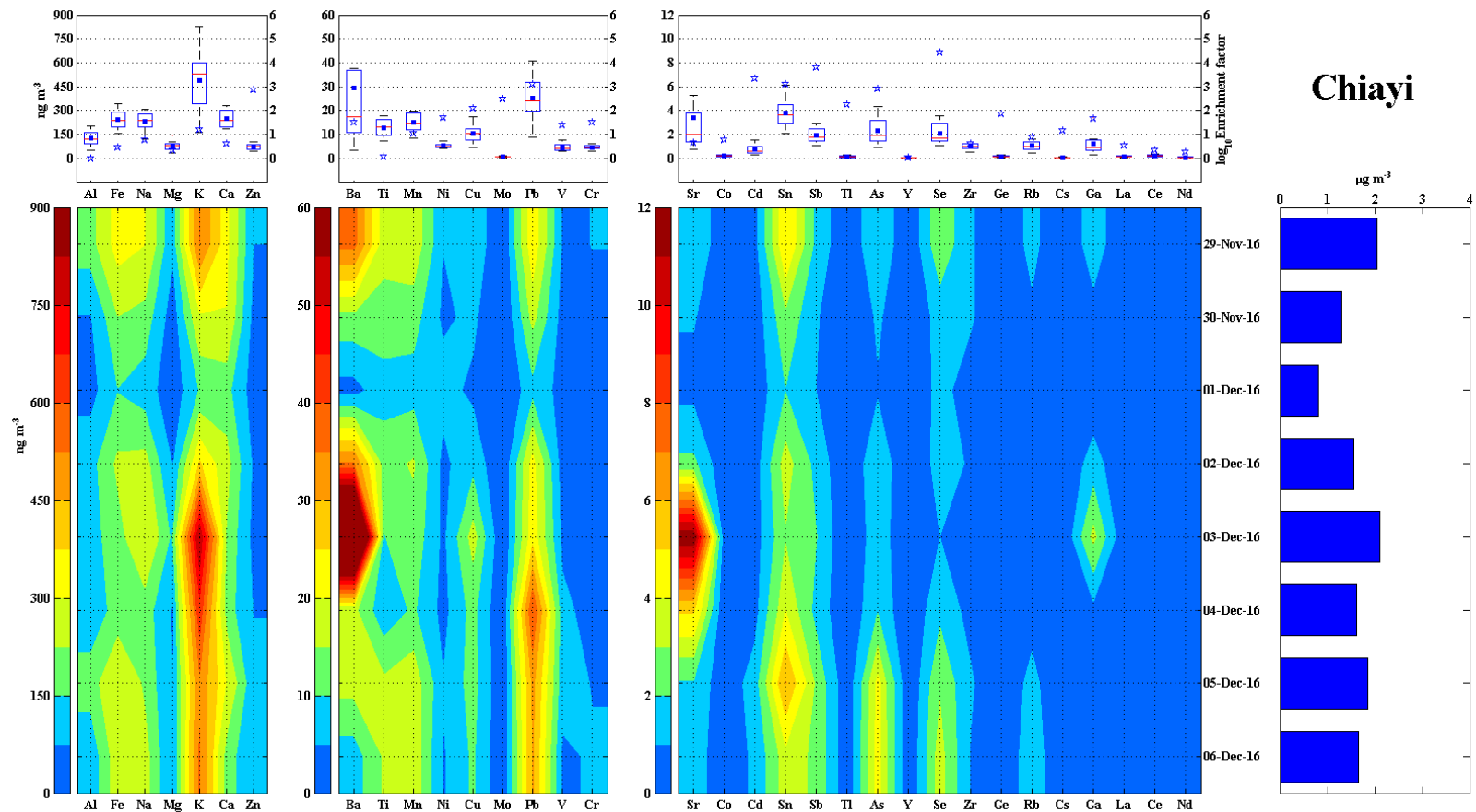


圖 4.2.12 嘉義站任務採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。

表 4.2.11 嘉義站任務採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素每日濃度 (ng m<sup>-3</sup>)

日期 元素	29Nov16	30Nov16	01Dec16	02Dec16	03Dec16	04Dec16	05Dec16	06Dec16
Al	201.662	78.000	50.127	135.195	131.660	112.619	194.070	106.416
Fe	342.705	228.112	156.828	242.084	202.054	187.894	300.283	277.421
Na	308.252	202.943	122.429	256.111	306.734	194.850	214.543	255.863
Mg	101.630	43.917	31.199	80.979	146.059	78.672	81.734	75.573
K	535.528	296.903	162.289	384.860	829.787	653.026	518.607	542.452
Ca	329.149	303.461	182.633	256.664	218.766	198.775	304.576	195.825
Sr	1.960	1.142	0.742	2.318	11.971	5.234	1.979	1.614
Ba	37.500	14.060	3.547	36.277	102.304	17.067	17.610	7.812
Ti	17.777	13.166	8.506	13.453	10.444	7.358	16.700	15.960
Mn	19.616	12.376	8.629	16.127	13.501	11.364	19.051	19.019
Co	0.267	0.220	0.121	0.208	0.182	0.153	0.312	0.303
Ni	5.665	4.901	7.227	4.457	4.682	4.272	5.985	4.920
Cu	9.243	6.478	4.562	8.952	17.466	12.158	12.503	11.303
Zn	80.747	56.772	42.506	68.479	61.416	77.764	101.203	88.796
Mo	0.739	0.563	0.493	0.580	0.627	0.563	0.990	0.954
Cd	0.663	0.373	0.292	0.503	0.520	0.671	1.530	1.258
Sn	5.017	2.869	2.059	3.583	3.032	3.992	6.131	3.654
Sb	1.779	1.162	1.050	1.748	2.120	1.729	2.923	2.888
Tl	0.172	0.089	0.061	0.117	0.061	0.074	0.201	0.273
Pb	24.464	17.025	8.788	22.505	23.575	40.670	32.111	31.227
V	4.522	3.243	3.665	3.205	4.022	7.187	7.548	4.634
Cr	5.607	4.562	4.342	4.015	4.136	3.011	5.240	6.117
As	2.082	1.227	0.953	1.833	1.672	2.012	4.283	4.377
Y	0.091	0.036	0.026	0.055	0.056	0.037	0.073	0.046
Se	2.855	1.493	1.399	1.470	1.056	1.849	2.976	3.577
Zr	1.193	1.192	0.537	0.950	1.019	0.685	1.205	0.978
Ge	0.171	0.124	0.136	0.143	0.099	0.098	0.197	0.264
Rb	1.382	0.841	0.429	1.021	0.987	0.667	1.359	1.634
Cs	0.088	0.046	0.035	0.062	0.041	0.044	0.108	0.152
Ga	1.610	0.690	0.277	1.530	3.400	0.754	1.012	0.738
La	0.235	0.108	0.080	0.176	0.136	0.125	0.252	0.164
Ce	0.285	0.171	0.106	0.199	0.168	0.137	0.349	0.239
Nd	0.117	0.063	0.041	0.079	0.063	0.050	0.128	0.090

表 4.2.12 嘉義站任務採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素每日富集因子數值

日期 元素	29Nov16	30Nov16	01Dec16	02Dec16	03Dec16	04Dec16	05Dec16	06Dec16
Al	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe	2	4	5	3	2	2	2	4
Na	5	8	8	6	7	5	3	8
Mg	2	2	2	2	4	2	1	3
K	10	15	13	11	25	23	11	20
Ca	3	8	7	4	3	4	3	4
Sr	2	3	3	4	20	10	2	3
Ba	36	35	14	52	150	29	18	14
Ti	1	2	2	1	1	1	1	2
Mn	8	14	15	10	9	9	9	15
Co	4	9	8	5	5	4	5	9
Ni	31	69	158	36	39	42	34	51
Cu	69	124	136	99	199	162	96	159
Zn	471	856	997	596	548	812	613	981
Mo	201	396	540	236	261	274	280	492
Cd	1353	1968	2394	1530	1625	2451	3244	4863
Sn	1024	1514	1690	1090	948	1459	1300	1413
Sb	3630	6129	8623	5321	6626	6318	6197	11168
Tl	156	208	224	158	85	121	190	470
Pb	799	1437	1154	1096	1179	2378	1089	1932
V	14	25	45	14	19	39	24	27
Cr	23	48	71	24	26	22	22	47
As	472	719	869	620	581	817	1009	1881
Y	1	1	1	1	1	1	1	1
Se	23303	31503	45953	17903	13197	27023	25244	55321
Zr	3	8	5	4	4	3	3	5
Ge	46	88	148	58	41	48	56	136
Rb	6	10	8	7	7	5	6	14
Cs	12	16	19	13	8	11	15	39
Ga	44	49	30	62	142	37	29	38
La	3	4	4	4	3	3	4	4
Ce	2	3	3	2	2	2	2	3
Nd	2	2	2	2	1	1	2	2

### 4.3 例行性採樣 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

MetOne SASS 成分採樣器、MetOne E-FRM 及 PQ200 質量濃度採樣器在中央大學完成比對後，本計畫挑選儀器彼此間差異最小的六部儀器，搬運至板橋、忠明、斗六、嘉義、小港及花蓮測站，從 2017 年 1 月 1 日開始，每六天採集一次 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分，每次採樣由 0 時啟動，收集 24 小時的一整天 PM<sub>2.5</sub> 樣本，然後進行秤重及水溶性離子、碳成分、元素成分化學分析。由於新購置儀器 MetOne E-FRM 到貨時間與 MetOne SASS 不同，因此 1 月 1 日至 2 月 18 日這段期間 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度採集都使用 BGI PQ200 進行。

每部成分採樣器與質量濃度採樣器都在每批次採樣前進行溫度、壓力、流量校正，採集質量濃度的鐵氟龍濾紙於控溫控濕的天平室進行調理及前秤重，耐隆和石英濾紙則是進行前處理後，放置於天平室，待採樣前取出裝於採樣器中。採樣前進行的採樣器測漏及單點流量確認都記錄於採樣紀錄紙，並保存以供日後參考。

下列各監測站環境影響及空氣品質概述係選擇各季節手動採樣修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度大於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  樣本進行討論，由於夏季擴散條件良好，各監測地區空氣污染物濃度明顯降低，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度普遍在 20  $\mu\text{g m}^{-3}$  以內，為了能夠瞭解夏季天氣型態，因此各測站將會篩選出部分夏季 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度較高日進行討論，藉此瞭解夏季 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升原因，其中空品站監測資料日平均值為行政院環保署公告值，本計畫手動採樣修正後濃度列於「質量濃度及化學成分濃度表」中，事件外其餘採樣期間軌跡與監測資料時序圖則列於附錄五光碟片中

下列各監測站環境影響及空氣品質概述係選擇各季節手動採樣修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度大於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  樣本進行討論，由於夏季擴散條件良好，各監測地區空氣污染物濃度明顯降低，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度普遍在 20  $\mu\text{g m}^{-3}$  以內，為了能夠瞭解夏季天氣型態，因此各測站將會篩選出部分夏季 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度較高日進行討論，藉此瞭解夏季 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升原因，其中空品站監測資料日平均值為行政院環保



署公告值，本計畫手動採樣修正後濃度列於「質量濃度及化學成分濃度表」中，事件外其餘採樣期間軌跡與監測資料時序圖則列於附錄五光碟片中。

### 4.3.1 板橋站

#### 1.影響及空氣品質監測站污染物濃度

表 4.3.1 為板橋站採樣期間污染物日平均濃度與氣象因子，圖 4.3.1 為採樣期間污染物濃度較高時期氣流逆推軌跡，本計畫結合監測與軌跡模擬資料，判讀各月份污染物濃度較高時期可能的污染成因，1 月份採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度日平均值以 1 月 7 日濃度  $28 \mu\text{g m}^{-3}$  為最高，當日平均風速僅  $1.7 \text{ m s}^{-1}$  為一月份採樣期間最低日平均風速，顯示環境擴散條件不佳，氣流主要來向為測站東北方海域，從軌跡圖氣壓值可發現氣流幾乎位於海面，因此較不可能夾帶境外污染物至量測地點，因此這天污染物主要受本地排放影響。二月份板橋測站污染濃度最高日在 2 月 6 日， $\text{PM}_{2.5}$  濃度為  $31 \mu\text{g m}^{-3}$ ，值得注意的是當日氣態污染物濃度並不如 2 月 18 日與 2 月 24 日高， $\text{O}_3, \text{max}$  也不高，從天氣因子可發現當日風速高達  $4.1 \text{ m s}^{-1}$ ，推測是因為環境擴散良好因此氣態污染物濃度較低，軌跡資料顯示氣流出海位置與中國污染地區相近，氣流軌跡線傳輸高度低，因此這段期間上海附近若有污染，可能傳輸至測站。板橋站三月份採樣期間污染物濃度最高出現在 3 月 2 日及 3 月 26 日， $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度都是  $29 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這兩日有相似的軌跡資料，但是在日平均風速與降雨資料上則有所差異，從風速資料顯示 3 月 2 日環境擴散條件良好風速高達  $2.9 \text{ m s}^{-1}$ ，3 月 26 日環境風速低，卻有降雨，低風速可使在地污染物濃度累積，但微粒可能受到濕沉降影響降低濃度，導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度不至於過高，這兩天氣流軌跡皆由華中地區出海並傳輸至測站，由於氣流出海前路徑低，因此可能受到境外污染物傳輸影響。四月份板橋站污染物濃度最高發生在 4 月 7 日及 25 日，濃度都為  $34 \mu\text{g m}^{-3}$ ，雖然這兩日氣流軌跡雖有差異，不過風速低，判定為在地污染影響，監測資料資料也顯示這兩日氣態污染濃度為四月份最高與次高，：6 月 6 日、30 日這兩天臭氧濃度分別達 80 及 104 ppb，推測午後光化學反

應將產生污染。九月份開始正式進入秋季，環境優勢風向漸漸轉變成北風風系，PM<sub>2.5</sub> 濃度比夏季有上升趨勢，其中 9 月 22 日及 28 日這兩天為採樣期間最高與次高，兩日平均風速皆為  $2 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示擴散條件並不差，但氣態污染物及臭氧濃度相當高，分別為 111 及 96 ppb 不排除受到午後光化學作用影響，軌跡資料則顯示 9 月 22 日氣流來自東部海面，經由花蓮宜蘭傳輸至北部，軌跡路徑不高，可能受到區域污染物影響，9 月 28 日氣流上半天先由西部海面傳輸至測站，夜間來向轉為大陸華北地區，若當地有高污染濃度則可能影響到板橋地區採樣濃度。十月份採樣期間板橋站空氣品質大致良好，濃度較高的日期都出現在 10 月下旬，這段期間受到東北季風增強影響，環境風速普遍大於  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ ，各項污染物濃度因此低於其他採樣日，另一方面這兩日軌跡路線十分相似，氣流來向為黃海海域，10 月 22 日氣流路徑傳輸至台灣前有先經過上海地區，28 日則否，不過從監測資料顯示，這段期間可能屬於在地污染型態。11 月份採樣期間，板橋站空氣品質良好，濃度僅 6 至  $16 \mu\text{g m}^{-3}$ ，濃度最高的一天為 11 月 9 日，這天板橋站為高風速 ( $2.9 \text{ m s}^{-1}$ ) 的東北風，軌跡資料顯示氣流來自華中沿海，從氣流起始位置判斷，可能受到華中沿岸都會區污染物傳輸影響，或是東北風傳輸至北部時將上風處污染物傳輸至板橋站，另外對比其他濃度較低且同樣是風速較高東北風時期的採樣日 11 月 21 日及 27 日，這兩天軌跡來向則較靠近多來自海面。

表 4.3.1 板橋站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
1-Jan-17	板橋	5	0.4	19.6	5.8	36	東北東	2.5	23	27	62.3	NR
7-Jan-17	板橋	28	0.6	31.7	5.0	53	西	1.7	23	26	77.7	NR
13-Jan-17	板橋	10	0.6	27.5	3.0	36	東	2.3	17	19	82.9	8.0
19-Jan-17	板橋	8	0.5	20.7	2.4	37	西北西	2.2	20	21	81.2	0.8
25-Jan-17	板橋	12	0.4	25.7	2.6	42	東	2.2	16	17	72.5	NR
31-Jan-17	板橋	6	0.2	11.9	2.1	42	東北東	3.6	17	19	75.9	NR
6-Feb-17	板橋	31	0.5	15.4	2.5	52	東北東	4.1	18	20	59.8	NR
12-Feb-17	板橋	10	0.4	17.6	1.2	41	東北東	1.7	15	16	55.7	NR
18-Feb-17	板橋	-	0.6	-	3.8	46	西南	2.0	19	22	73.2	NR
24-Feb-17	板橋	9	0.6	31.3	2.6	39	東北東	2.1	14	15	84.8	39.0
2-Mar-17	板橋	29	0.6	27.7	3.1	50	東北東	2.9	16	17	56.4	NR
8-Mar-17	板橋	25	0.7	34.9	3.1	56	東北東	1.4	15	16	75.0	1.8
14-Mar-17	板橋	13	0.5	20.9	0.7	57	東北東	2.2	15	16	73.0	9.6
20-Mar-17	板橋	28	1.1	49.3	6.3	45	西北西	1.4	23	26	78.6	NR
26-Mar-17	板橋	29	0.6	28.0	3.1	49	東南	1.4	15	17	73.7	13.8
1-Apr-17	板橋	-	0.5	20.1	2.0	69	東南東	1.9	16	19	63.8	13.0
7-Apr-17	板橋	34	1.0	49.2	6.8	59	西南西	1.5	25	29	71.0	0.2
13-Apr-17	板橋	20	0.5	25.0	2.1	74	東北東	2.2	20	23	69.5	7.0
19-Apr-17	板橋	30	0.9	35.2	4.5	66	東南	1.4	27	30	79.6	6.8
25-Apr-17	板橋	34	1.1	56.3	6.9	71	西南西	1.3	25	28	75.9	NR
1-May-17	板橋	24	0.6	27.7	2.6	103	西南西	1.5	26	31	57.0	NR
7-May-17	板橋	18	0.4	17.0	3.5	53	東北東	3.2	25	27	71.7	NR
13-May-17	板橋	16	0.6	26.9	4.1	41	西北西	1.6	27	27	81.0	7.2
19-May-17	板橋	15	0.5	22.6	1.5	52	東北	2.1	26	28	70.2	4.4
25-May-17	板橋	16	0.5	26.8	2.0	37	東	1.2	24	25	79.3	1.4
31-May-17	板橋	14	0.4	19.2	5.1	49	西南西	2.7	29	33	73.4	1.0
6-Jun-17	板橋	25	0.7	30.3	6.9	80	西	1.7	30	34	73.7	NR
12-Jun-17	板橋	11	0.7	32.5	3.5	53	東南東	1.5	28	34	78.7	19.0
18-Jun-17	板橋	5	0.6	29.9	1.5	41	東北	0.8	25	27	87.6	18.6
24-Jun-17	板橋	10	0.4	17.2	4.2	48	西南西	2.8	31	34	65.2	NR
30-Jun-17	板橋	25	0.5	28.8	5.1	104	西南	1.7	29	34	73.4	13.0

註：NR 表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

表 4.3.1 板橋站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子(續)

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
6-Jul-17	板橋	6	0.4	23.8	5.3	53	西南	1.6	30	35	68.0	NR
12-Jul-17	板橋	18	0.8	37.8	6.5	64	西南西	1.5	30	34	75.4	65.0
18-Jul-17	板橋	16	0.5	24.3	8.0	79	西南西	2.0	32	35	67.0	NR
24-Jul-17	板橋	16	0.3	20.8	3.1	72	西南	2.1	32	35	68.1	0.2
5-Aug-17	板橋	15	0.4	15.3	4.6	65	西南	3.0	32	36	66.0	NR
11-Aug-17	板橋	12	0.4	21.7	3.6	63	西南	2.4	33	37	61.4	NR
17-Aug-17	板橋	18	0.4	29.6	6.5	69	西南西	1.8	32	36	68.3	NR
23-Aug-17	板橋	9	0.4	20.6	2.3	68	東南	1.6	31	34	66.8	NR
29-Aug-17	板橋	6	0.3	16.7	2.7	23	東	2.8	32	35	63.9	NR
4-Sep-17	板橋	13	0.7	30.9	4.7	57	東北	1.2	29	32	78.3	2.2
10-Sep-17	板橋	17	0.4	22.3	4.0	56	西	1.6	30	33	73.1	0.4
16-Sep-17	板橋	17	0.4	22.1	5.0	56	西南	2.2	30	33	59.0	NR
22-Sep-17	板橋	28	0.5	27.7	8.2	111	東北東	2.0	32	35	67.5	NR
25-Sep-17	板橋	15	0.4	22.2	3.7	77	西	1.8	31	35	66.6	NR
28-Sep-17	板橋	25	0.5	26.5	5.9	96	北	2.0	31	34	67.0	NR
04-Oct-17	板橋	9	0.4	16.0	3.3	44	東	2.8	27	29	80.0	1.2
10-Oct-17	板橋	4	0.2	12.1	1.6	20	東	2.5	31	34	67.3	NR
16-Oct-17	板橋	9	0.5	28.3	3.3	71	東北東	2.0	29	33	78.2	NR
22-Oct-17	板橋	23	0.5	14.8	2.4	70	北	2.9	22	24	53.9	NR
28-Oct-17	板橋	22	0.4	14.6	2.6	67	北	2.6	23	24	70.0	0.2
03-Nov-17	板橋	13	0.6	-	2.4	40	東南	1.5	24	25	84.3	12.4
09-Nov-17	板橋	16	0.4	19.2	2.3	49	東北東	2.9	24	25	80.7	0.2
15-Nov-17	板橋	10	0.4	19.2	3.0	44	東	2.2	24	26	75.0	NR
21-Nov-17	板橋	6	0.6	29.3	2.5	37	東北東	2.2	22	24	84.5	7.8
27-Nov-17	板橋	8	0.4	18.9	1.7	41	東北東	2.9	22	24	79.8	0.4

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

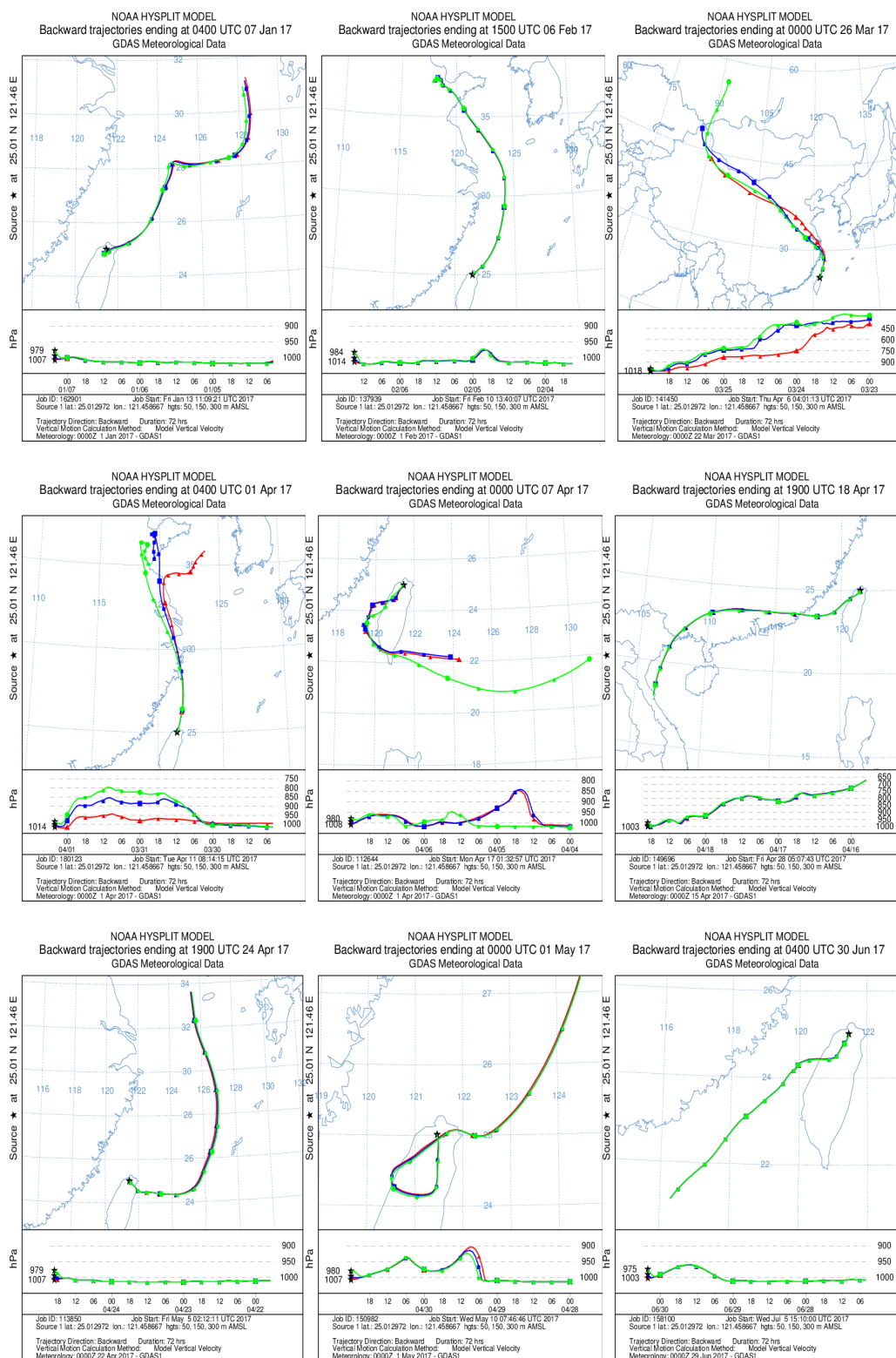


圖 4.3.1 板橋站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (由左上至右下分別為 1 月 7 日、2 月 6 日、3 月 26 日、4 月 1 日、4 月 7 日、4 月 19 日、4 月 25 日、5 月 1 日、6 月 30 日)

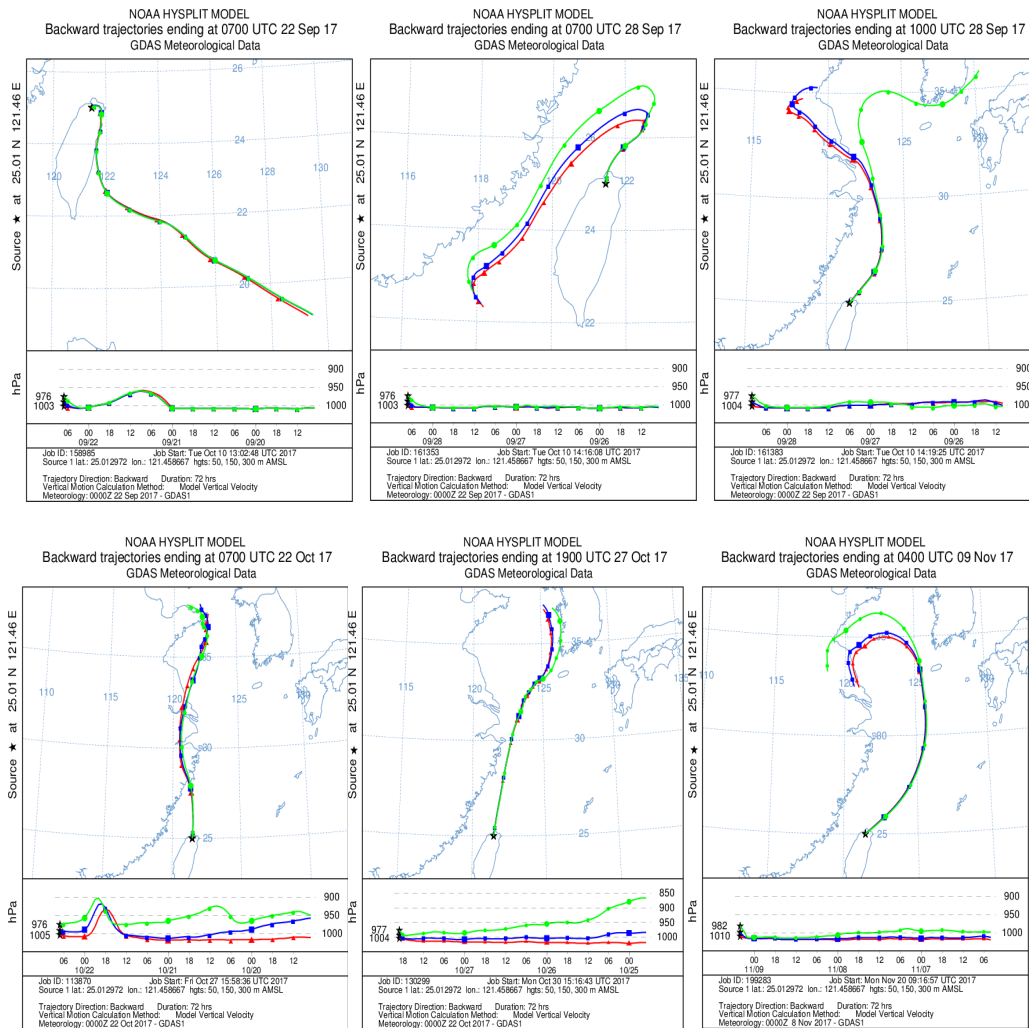


圖 4.3.1 板橋站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (續) (由左至右分別為 9 月 22 日、9 月 28 日、10 月 22 日、10 月 28 日、11 月 9 日)

圖 4.3.2 顯示板橋站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化，一月份採樣期間空氣品質相當良好，PM<sub>2.5</sub> 濃度最高日出現在 1 月 7 日，當日 0 時至中午 12 時環境風速持續降低，PM<sub>2.5</sub> 濃度則逐漸上升，值得注意的是當日 SO<sub>2</sub> 變化趨勢與 PM<sub>2.5</sub> 濃度增加趨勢十分相近，當吹拂西風與西南風時 SO<sub>2</sub> 與 PM<sub>2.5</sub> 濃度都一同上升，推測西方或西南方可能存在潛在污染源，另外，當日下午 16 時風速逐漸降低一直至 20 時環境風速降至 1.5 m s<sup>-1</sup>，這段期間包含 PM<sub>2.5</sub> 在內以及其他氣態污染物都有明顯上升趨勢，顯示環境擴散條件不佳造成污染物濃度累積。2 月 6 日可以明顯地由圖中看出清晨 3 時以後，各項污染物濃度伴隨風速逐漸上升，當時風向主要為東北東，推測這一段期間污染物濃度由境外傳輸所貢獻，這時段污染物濃度在上午 10 時達到高峰。3 月 26 日同樣是低風速，PM<sub>2.5</sub> 濃度從清晨開始累積上升，午後達到高值，並維持到晚上，CO 與 NO<sub>x</sub> 濃度雖有升高，但不是很明顯。4 月 1 日污染物濃度在上午 8 時過後可以發現有上升趨勢，此時風向為北風且風速正逐漸上升，配合軌跡資料推測可能受到境外污染物影響，在 10 時以後監測資料中斷因此無法更詳細判斷。4 月 7 日污染物濃度受到前日環境擴散不佳影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度由 0 時起有 35 μg m<sup>-3</sup>，由 2 時開始濃度逐漸降低至 21 μg m<sup>-3</sup>，在 7 時開始風向轉為西南風，此時風速約為 1 m s<sup>-1</sup>，這段期間除了 O<sub>3</sub> 外所有污染物濃度明顯累積上升，一直到 11 時達到當日最高濃度；這段期間可能受到晨間交通尖峰時段影響，另外 SO<sub>2</sub> 的驟升可能與工業鍋爐排放有關，11 時過後風速上升至 3.1 m s<sup>-1</sup>，風向轉為東北風，污染物濃度下降，顯示午後擴散條件改變有助於污染物濃度稀釋，晚上 18 時過後 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化呈現兩波峰值，並且與 CO、NO<sub>x</sub> 以及 SO<sub>2</sub> 有相同變化趨勢，代表除了交通排放外，這兩段期間可能受到工業排放影響。4 月 19 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度呈現三波峰值，CO 與 NO<sub>x</sub> 濃度與 PM<sub>2.5</sub> 濃度時間變化一致，表示受到在地污染排放影響，但中午 PM<sub>2.5</sub> 濃度高值和 O<sub>3</sub> 尖峰值發生時間一致，可能受到光化學反應影響。4 月 25 日雖然與 4 月 7 日有相似的監測資料日平均值，但從小時值發現，當日 PM<sub>2.5</sub> 濃度呈現逐漸累積上升的趨勢，風速資料顯示僅有上午 8 時與下午 14 至 15 時有高於

$2 \text{ m s}^{-1}$ ，其餘時段皆在  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  甚至  $1 \text{ m s}^{-1}$  之下，顯示環境擴散條件並不理想，從氣態污染物的變化趨勢發現  $\text{SO}_2$  也呈現逐漸累積上升的趨勢，另外  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  除了濃度逐漸上升，在交通尖峰時段的上升更為明顯，推測當天污染來源主要以在地排放為主。5 月 1 日污染物濃度是五月份採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較高的一天，當天清晨由於環境風速較低，污染物擴散條件不佳， $\text{PM}_{2.5}$  濃度累積至  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，早上 8 時受到晨間交通尖峰時段影響，污染物濃度微幅上升，午後由於風速由  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  逐漸上升至  $3 \text{ m s}^{-1}$ ， $\text{PM}_{2.5}$  濃度降低約  $10 \mu\text{g m}^{-3}$ ，直到 14 時，受到午後光化學作用影響， $\text{O}_{3, \text{max}}$  達 103 ppb， $\text{PM}_{2.5}$  濃度再度回升至  $28 \mu\text{g m}^{-3}$ 。6 月 6 日及 6 月 30 日污染物濃度小時值變化十分相似，兩日中午都有較高風速值與臭氧濃度，然而  $\text{PM}_{2.5}$  濃度的變化較不明顯，顯示污染物擴散稀釋與污染物生成速率相等，從日間與夜間交通尖峰時段可以發現， $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  與  $\text{PM}_{2.5}$  濃度都有上升趨勢，這兩日的差異在於 6 月 6 日夜間  $\text{SO}_2$  有明顯峰值出現可能受到工業污染源影響。9 月 22 日這天除了前日夜間累積的污染物外， $\text{PM}_{2.5}$  濃度在 16 時有一波峰值，小時濃度接近  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間為高風速的東風， $\text{SO}_2$  值相當高，可能受到上風處污染源影響，由於前述軌跡顯示氣流行經路線為台灣東方海面傳入基隆，再由基隆傳至台北，因此可能受到上風處污染源影響。9 月 28 日這天為 9 月份監測濃度次高日，上午受到交通排放以及當時低風速共同影響， $\text{PM}_{2.5}$  濃度由  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  上升至  $33 \mu\text{g m}^{-3}$ ，然而這波上升趨勢並未受到中午的高風速影響而降低，反而持續上升，對照前述軌跡圖，當日 13 時軌跡路徑為台灣西方海域繞行至台灣北端傳輸至測站，顯示並未受到境外傳輸影響，污染可能為測站北方本地排放源。10 月 22 日與 28 日這兩日監測資料小時值皆十分相似，日間風向為北風，風速普遍大於  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ ，環境擴散條件良好，因此各項污染物濃度曲線相當平緩，到了 16 時過後，風速逐漸下降，方向轉變為西風或西北風，此時  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度皆與  $\text{PM}_{2.5}$  濃度一起上升，顯示受到交通排放影響，這兩日分別為星期日與星期六，周末交通排放影響較平日低。11 月 9 日這天中午之前主要風向為東風，風速約在  $2 \text{ m s}^{-1}$  左右，受到晨間交通排放影響  $\text{PM}_{2.5}$  濃度有些微提



升，10 時過後風向轉為高風速東北風，此時污染物濃度不減反增，顯示受到傳輸污染物影響，下午 17 時過則可發現 PM<sub>2.5</sub> 濃度與 CO 及 NO<sub>x</sub> 有相似變化趨勢，顯示受到下班時間的交通排放影響。

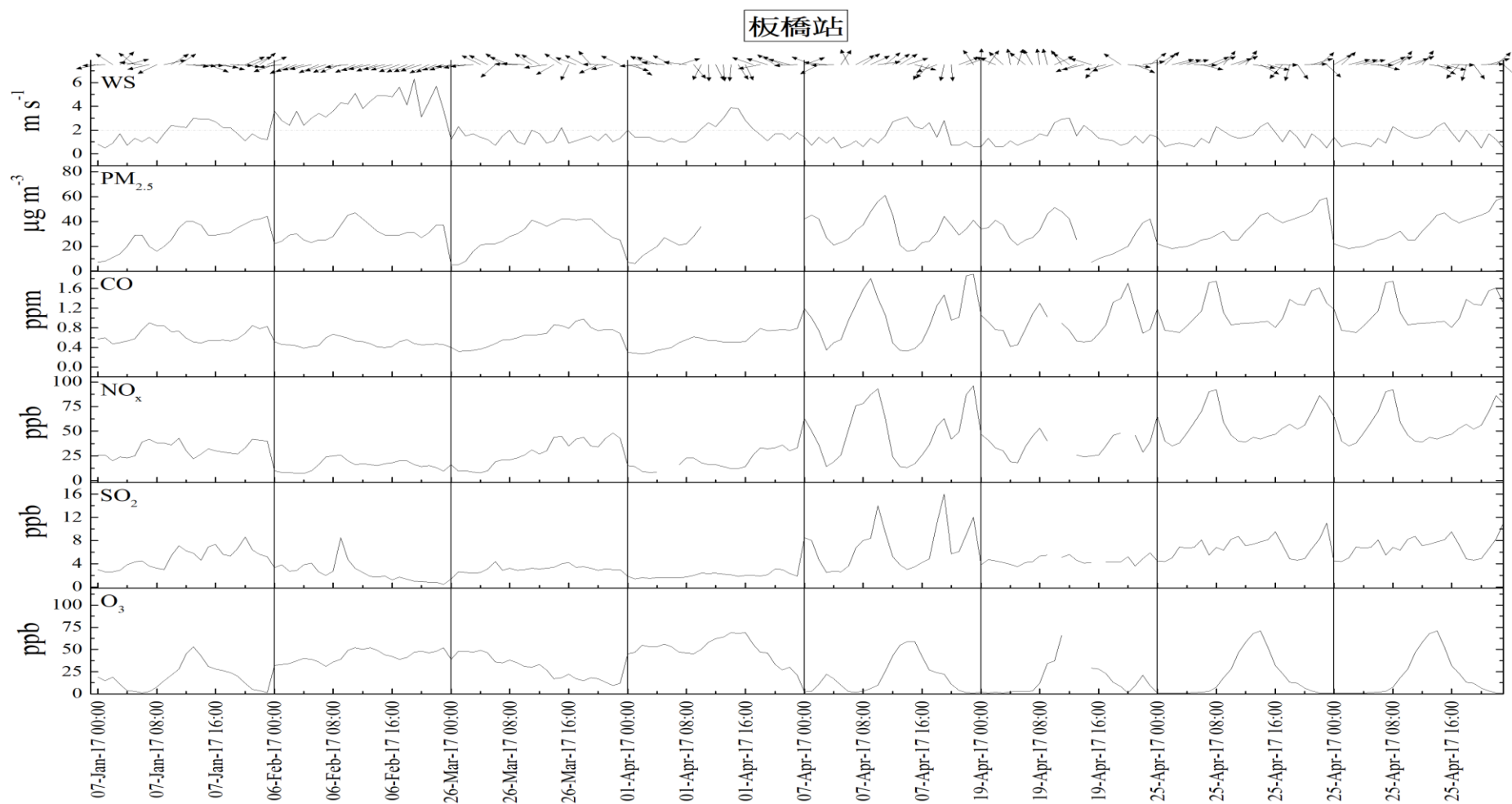


圖 4.3.2 板橋站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化

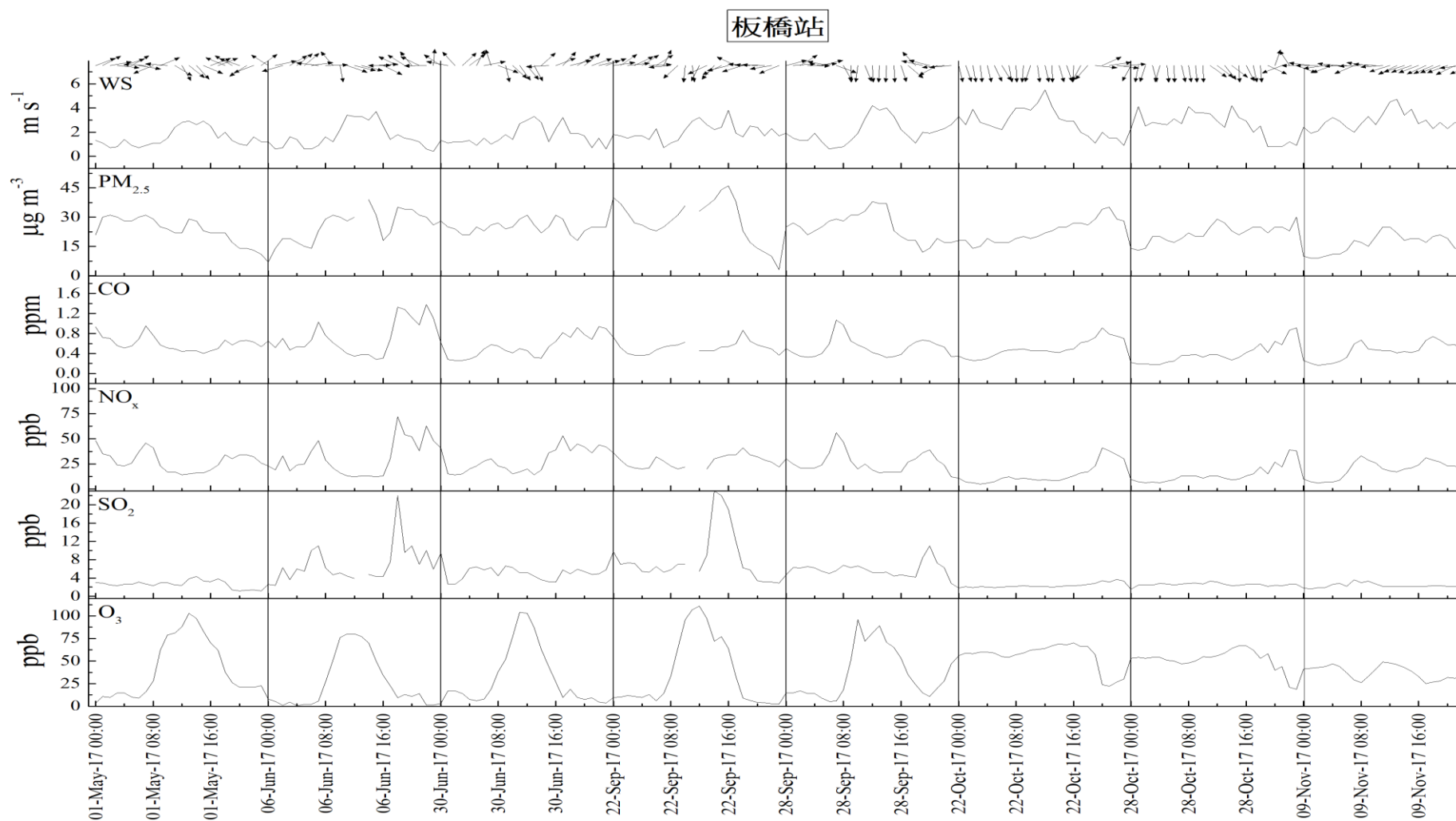


圖 4.3.2 板橋站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化(續)

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.3.3 呈現板橋站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度時間變化趨勢，以及原始質量濃度(■)、修正後質量濃度(●)與環保署手動採樣濃度(Δ)比對結果，整體來說，冬季 (1~2 月) PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度變化趨勢相當一致，原始質量濃度與環保署公告手動採樣數據幾乎重疊，顯示兩者並無明顯差異。PM<sub>2.5</sub> 濃度較高的樣本中，1 月 7 日、2 月 6 日、2 月 18 日有不同的化學成分占比，1 月 7 日的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度明顯高於 2 月 6 日和 2 月 18 日，EC 也明顯較高，相反地，後兩日的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>顯著高於 1 月 7 日，表示這些採樣日分別受到不同污染源的影響造成 PM<sub>2.5</sub> 化學成分差異，結合前述軌跡圖與監測數據小時值可發現，1 月 7 日主要受在地污染源影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>這個在地污染源指標因而凸顯，2 月 6 日在前述分析判別污染由境外傳輸所貢獻，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>也顯示出高濃度，印證 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>可作為遠距離污染源傳輸指標。

春季(3~5 月)板橋站原始 PM<sub>2.5</sub> 濃度與環保署手動監測數據濃度變化趨勢相當一致，春季板橋站有較冬季多的 PM<sub>2.5</sub> 高濃度樣本，並且集中於 3、4 月份，PM<sub>2.5</sub> 濃度較高的樣本中，3 月 2 日、3 月 8 日、3 月 20 日、3 月 26 日、4 月 1 日、4 月 7 日、4 月 19 日、4 月 25 日化學成分主要以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>為主要物種，其次為修正後 OC，從前述軌跡路徑推測受境外或區域傳輸污染物影響的日期中，3 月 2 日、4 月 1 日都有受到境外傳輸影響，因此 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度較高，另一方面在地污染較嚴重時期如 4 月 25 日 EC、修正後 OC 以及總 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度則明顯提升許多。在濃度較低的時期如 5 月份，可發現板橋站在這段時期 PM<sub>2.5</sub> 化學成分仍以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>為主，其次為修正後 OC，表示受到區域背景氣膠或是一次污染源排放影響。

夏季(6~8 月)，PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度變化趨勢依舊與環保署手動監測數據一致，僅有 7 月 24 日由於環保署例行手動採樣數據缺值，因此與自動採樣器日平均值有較大差異，在夏季採樣期間，PM<sub>2.5</sub> 濃度普遍低於 20 µg m<sup>-3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 化學成分主要以修正後 OC 為主要物種，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，另外受到夏季環境溫度較高影響，採集到的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度較低，比較 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高與較低的日期可以發現，污染物濃度低的採樣日，修正後 OC 有相當高濃度，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>則明顯低了許多，顯示夏季擴散良好，污染排放後迅速分布稀釋，8 月 23 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度低，但鎂離子有較高濃度，可能受到新更換的 MgO 擴散管掉落碎屑影響。

秋季(9~11 月)期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度比起夏季有微幅上升，PM<sub>2.5</sub> 濃度較高時約在 25  $\mu\text{g m}^{-3}$  左右，10 月上旬即 11 月下旬空氣品質相當良好，比較採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高的兩段時期，9 月 22、28 日，10 月 22、28 日可以發現，10 月下旬環境溫度相較於九月明顯下降約攝氏 10 度，因此 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度上升；另外兩時期所受到的污染成因略有差異，9 月 22 日與 28 日主要受到上風工業排放污染影響，此外，這兩天 O<sub>3</sub> 濃度分別為 111 與 96 ppb 顯示有光化學反應的影響，從化學成分也可看出 9 月 22 日與 28 日有較高 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，10 月則為傍晚交通排放與環境擴散不良所致，由於環境溫度降低以及受到交通排放影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>成分占比明顯提升。

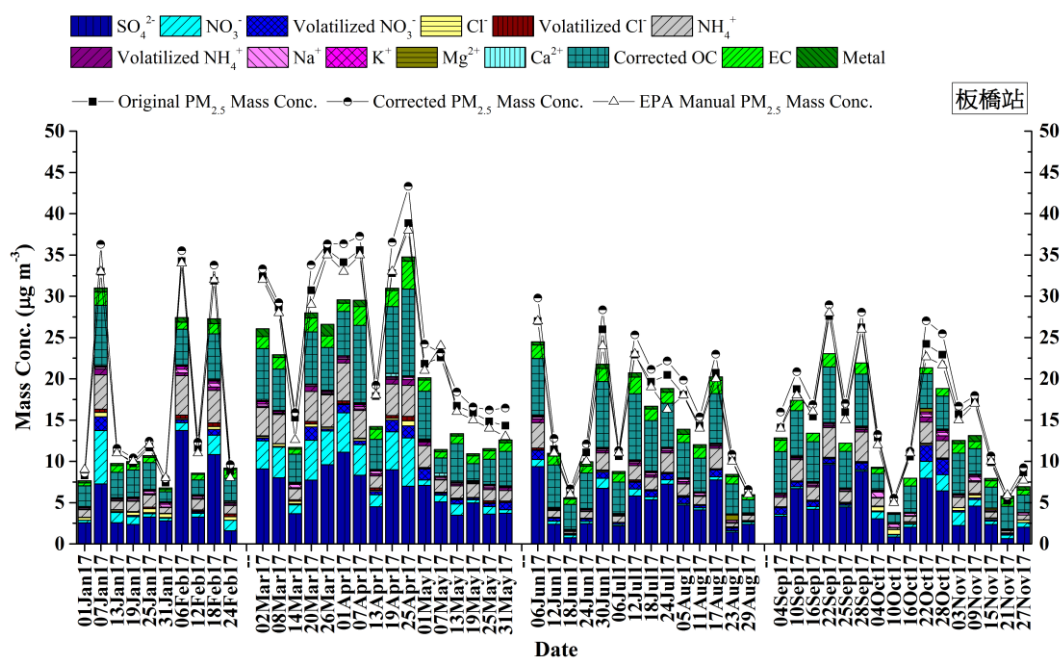


圖 4.3.3 板橋站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 成分濃度隨時間變化 (3 月 14 日、7 月 24 日環保署例行手動採樣數據缺值，圖中使用自動儀器監測數據)

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.3.4 為板橋站採樣期間各樣本各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子 (Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間，高濃度金屬元素只有 Zn 的富集因子接近 1000 ( $\log_{10}1000=3$ )，顯示受到人為影響程度相當高，Zn 為常見交通排放、輪胎和剎車磨損、垃圾焚化、二次冶煉指標金屬元素。中間區間的金屬元素濃度大多在  $5 \sim 60 \text{ ng m}^{-3}$ ，以燃煤和工業排放指標金屬元素 Pb 及交通排放或鋼鐵工業指標金屬元素 Mo 有相對較高的富集因子，可能與監測地區高交通密集度或周遭鄰近工業有關，其他受人為活動影響金屬元素 Ni、V 及 Cu 也有大於 10 的富集因子，其中 Ni 及 V 主要來自燃油燃燒，金屬元素 Cu 則可能來自工業影響或是汽車剎車墊片磨損產生。低濃度金屬元素以採樣期間濃度在  $12 \text{ ng m}^{-3}$  以下的金屬元素為主，以 Sn、Se、Sr 濃度含量最高，這些金屬元素主要與工業鍋爐所使用的燃料有關。

採樣期間板橋站冬季受到東北季風影響，Na、Se、Pb 濃度在這季節中最为明顯，除了顯示強勁季風使海鹽與地殼金屬元素含量提升，似乎也將板橋站上風處或是境外污染源的燃煤污染傳輸至監測區，在 1 月 7 日這天金屬元素 Pb、Se 等金屬元素有明顯濃度，這天主要為本地污染型態，因此指標金屬元素應該來自本地的燃煤燃燒，除了燃煤影響外，也可從圖中發現 Cu、Sb 等交通指標金屬元素出現採樣期間較高濃度，顯示除了工業污染影響，交通排放也是一項重要影響因素。3 月 2 日這天金屬元素總濃度為採樣期間最高，這天主要受到強東北風影響，日平均風速  $2.9 \text{ m s}^{-1}$ ，高濃度金屬元素如 Na、Ca 有相當高的濃度，顯示受到海鹽與塵土影響較多，此外中濃度區的塵土金屬元素 Ti 也有同樣現象，顯示這天的金屬元素高濃度主要受到強風帶起的揚塵有關。3 月 26 日這天金屬元素濃度僅次於 3 月 2 日，這天環境風速僅  $1.4 \text{ m s}^{-1}$ ，由於環境擴散不佳導致 PM<sub>2.5</sub> 濃度達到  $36 \mu\text{gm}^{-3}$ ，從金屬元素組成發現這天塵土金屬元素 Al、Fe、Ca、Ti 有較高濃度，屬於剎車墊片磨損的指標金屬元素 Sb、Ba、Cu 也出

現明顯濃度，顯示當天污染可能與本地交通排放有關，並且車輛移動所帶起的揚塵對空氣品質也具有一定影響。夏季採樣期間金屬元素濃度普遍低於冬季與春季，金屬元素組成主要以塵土類金屬元素為主，比較特別的是金屬元素 Sn、Zr 在夏季皆有較明顯濃度出現，金屬元素 Sn 廣泛應用於各類工業製程，金屬元素 Zr 來源則有待查證，另外來自交通的指標金屬元素 Sb，Cu 在夏季採樣期間同樣具有相當穩定的濃度，甚至高於春季，顯示低污染時期，揚塵與交通排放成為主要污染源。9 月過後東北季風轉強，金屬元素 Se 濃度明顯較夏季有上升趨勢，同樣的現象在同為燃煤指標金屬元素的 As 濃度也可發現，在 9 月 16 日與 9 月 28 日，燃煤指標金屬元素濃度為秋季期間最高，由於軌跡數據顯示這段期間並未受到境外傳輸污染物影響，顯示板橋站受到燃煤燃燒影響時大多與吹拂強勁東北季風時期有關，但也可能是板橋站東北方存在特定污染源因而影響到下風處的監測站點，另外，11 月 9 日這天元素濃度為秋季最高，從圖可發現主要受到高濃度族群元素影響，顯示這天東北季風增強時段，夾帶不少揚塵，同時元素 Se 也有上升現象，不排除與上風處燃煤燃燒有關。

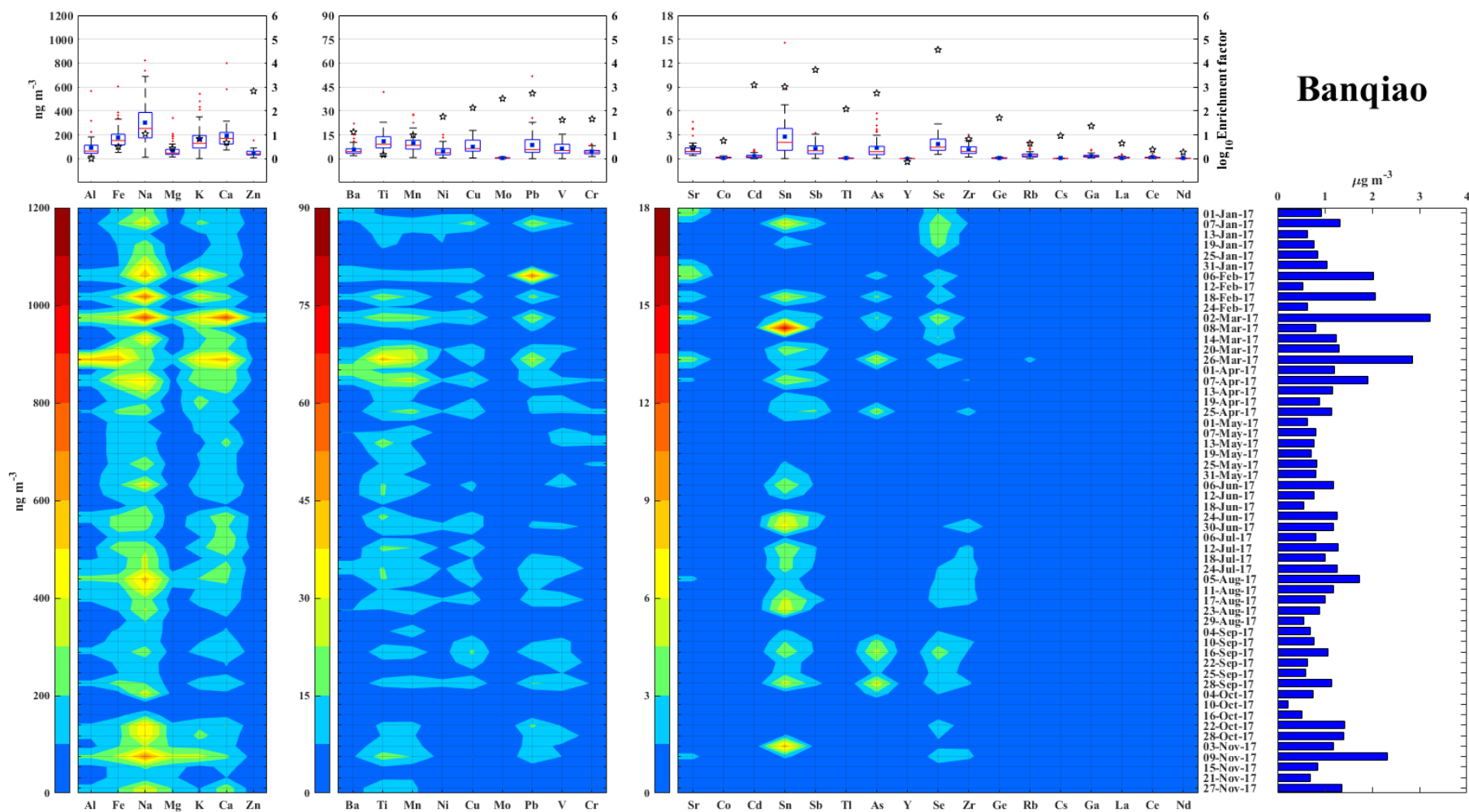


圖 4.3.4 板橋站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。



### 4.3.2 忠明站

#### 1.環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

表 4.3.2 為忠明站採樣期間污染物日平均濃度與氣象因子，圖 4.3.5 為採樣期間污染物濃度較高時期氣流逆推軌跡，在一月份採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度為  $9 \sim 50 \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中以 1 月 7 日  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度最高，其次為 1 月 1 日，從氣態污染物  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  濃度值發現這兩日相較於一月份其他採樣日明顯高出許多，日平均風速僅有  $1.3 \sim 1.4 \text{ m s}^{-1}$ ，表示環境擴散條件十分不理想，導致污染物濃度累積，氣流來向為台灣東北方及周邊海域，氣流主要行經海面，傳輸到忠明站時較不易夾帶境外污染物，因此這兩日主要受在地污染源影響。二月份採樣期間以 2 月 18 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高，濃度為  $49 \mu\text{g m}^{-3}$ ，氣流軌跡路徑主要由黃海海面傳輸至採樣地區，因此，當日污染物受到境外污染源影響可能相對較低；當日有較高的  $\text{NO}_x$  濃度，盛行風為西北風，和一月份相同，當風向為西北風時有較高的  $\text{PM}_{2.5}$  濃度，可持續關注測站西北方是否有重大污染源對  $\text{PM}_{2.5}$  濃度造成影響。三月份忠明站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高日期出現在 3 月 2 日，監測資料顯示當天有較高的日平均風速以及  $\text{SO}_2$  濃度，軌跡路徑高度在傳入台灣前位於混合層上方，因此受到境外污染物影響可能較低，推測當天主要受到北部污染傳輸影響。四月份採樣期間除了 4 月 1 日外，其餘採樣日  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度都超過  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ ，從監測資料可發現 7 日、13 日、25 日平均風速約  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  顯示擴散條件較差，另外  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  濃度也明顯高於 4 月 1 日及 19 日，軌跡資料顯示這幾日軌跡主要行經路線為海面與測站鄰近都會區，因此推測這段期間污染物濃度主要來自在地排放。4 月 19 日與其他三日同為污染物濃度較高的日期，監測資料顯示這天平均風速為  $2.1 \text{ m s}^{-1}$  明顯高於其他日期，另外與污染物濃度較低的 4 月 1 日相比較，可發現這兩日有相近的  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度以及環境風速，不過  $\text{SO}_2$  濃度以及盛行風向卻有所差異，由於當日軌跡行經南部都會區，因此可能受到南部區域污染傳輸影響。4 月 25 日氣流軌跡推測主要以在地與北部污染傳輸為主，但風速低，氣態污染物濃度高，

在地污染排放影響可能較大。五月份忠明站污染物濃度明顯低於前幾個月份，5月1日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度為五月份採樣日濃度最高的一天，主要受到低風速影響，日平均風速約  $1.5 \text{ m s}^{-1}$ ，軌跡資料顯示當天氣流主要由測站西北方海面傳入，推測這天為污染物濃度主要受本地排放影響。六至八月進入夏季後， $\text{PM}_{2.5}$  濃度範圍為  $8\sim 21 \mu\text{g m}^{-3}$ ，濃度最高日出現在8月29日，這天風速不高，約  $1.8 \text{ m s}^{-1}$ ，但臭氧最大值為 82 ppb，比起其他夏季採樣日高出不少，可能受到午後光化學作用影響，軌跡資料則顯示氣流來向為東部宜花地區，受到區域污染影響可能較低。9月份採樣期間以9月22日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高，其餘採樣日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度也都高於夏季期間，除了風向有所差異外，天氣因子與夏季相似，但污染物濃度稍高，顯示上風污染源可能與這段期間污染物濃度上升有關，軌跡資料則顯示9月22日氣流來向為台灣東部海域，氣流繞過台灣北端進入後，再由測站北方傳入，有可能夾帶上風處污染至採樣區，需要透過小時監測值判別是否受區域污染傳輸影響。十月份採樣期間以10月10日  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度為最高，這天監測資料顯示風速平均值僅  $1.5 \text{ m s}^{-1}$ ，各項污染物濃度皆為十月份採樣期間最高值，此外臭氧最大值也有 97 ppb，推測當天  $\text{PM}_{2.5}$  濃度可能受到午後光化學作用影響，另外從軌跡資料顯示這天氣流來向為台灣東方海域，因此這天污染物受到境外或其他都會區污染傳輸影響可能較低，主要為在地污染。11月採樣期間，濃度變化差異不大，濃度約  $12\sim 20 \mu\text{g m}^{-3}$ ，以11月9日這天濃度最高，這天污染前驅物濃度並不算採樣期間最高時期， $\text{O}_{3,\text{max}}$  較高，從軌跡資料判斷，當天路徑低，且由北至南傳輸可能受到北部污染物傳輸影響。

表 4.3.2 忠明站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
1-Jan-17	忠明	31	0.7	38.5	2.6	65	西北	1.4	21	25	80.1	NR
7-Jan-17	忠明	50	0.7	38.5	3.0	56	西北	1.3	23	27	76.8	NR
13-Jan-17	忠明	15	0.5	22.7	2.3	23	北	2.5	19	20	77.1	NR
19-Jan-17	忠明	22	0.4	22.6	1.8	46	東北	2.1	21	26	75.3	NR
25-Jan-17	忠明	14	0.3	19.7	2.1	44	東北	2.3	17	22	69.1	NR
31-Jan-17	忠明	9	0.3	12.3	1.3	49	東北	2.3	19	23	67.7	NR
6-Feb-17	忠明	30	0.5	15.6	2.0	66	東北	2.6	20	25	63.3	NR
12-Feb-17	忠明	23	0.3	14.7	2.5	62	東北	1.8	16	20	55.4	NR
18-Feb-17	忠明	49	0.5	21.4	2.8	59	西北	2.4	20	24	72.6	NR
24-Feb-17	忠明	10	0.4	21.0	1.6	28	東北	2.9	14	16	77.1	1.4
2-Mar-17	忠明	36	0.5	22.3	3.1	65	東北	2.5	18	22	53.4	NR
8-Mar-17	忠明	23	0.5	28.5	2.5	41	東北	1.6	15	16	78.8	7.8
14-Mar-17	忠明	14	0.4	14.7	2.0	46	東北	3.1	16	19	71.9	1.2
20-Mar-17	忠明	31	0.6	30.0	3.4	70	東北	1.6	24	28	71.8	NR
26-Mar-17	忠明	21	0.4	18.4	2.0	47	東北	2.0	15	17	74.6	12.0
1-Apr-17	忠明	24	0.4	14.1	2.0	79	北北西	2.5	18	21	57.2	5.8
7-Apr-17	忠明	37	0.6	26.0	3.1	54	東南	1.4	25	27	74.9	4.4
13-Apr-17	忠明	36	0.8	38.2	1.9	61	東北	1.4	19	21	84.1	9.2
19-Apr-17	忠明	40	0.4	13.7	2.8	90	南	2.1	28	33	72.4	NR
25-Apr-17	忠明	49	0.7	33.3	3.5	61	西北	1.5	25	28	75.9	NR
1-May-17	忠明	31	0.5	26.1	2.3	74	西北西	1.5	26	30	55.8	NR
7-May-17	忠明	29	0.4	16.1	2.5	74	西北西	2.0	27	32	68.3	NR
13-May-17	忠明	15	0.3	18.1	2.4	33	南	1.6	29	30	69.0	NR
19-May-17	忠明	25	0.6	30.6	2.6	65	西北西	1.4	26	30	74.7	18.0
25-May-17	忠明	13	0.3	17.4	1.9	61	西北	2.2	26	31	73.1	NR
31-May-17	忠明	12	0.3	16.1	1.8	52	南	1.7	29	33	77.9	4.2
6-Jun-17	忠明	15	0.4	18.0	2.0	67	南	1.7	30	35	71.3	NR
12-Jun-17	忠明	8	0.4	17.8	1.8	50	南	1.8	30	34	72.6	18.4
18-Jun-17	忠明	8	0.3	16.7	1.1	14	東南	1.4	25	26	93.6	70.6
24-Jun-17	忠明	10	0.2	10.1	1.6	35	南	2.4	31	35	67.9	NR
30-Jun-17	忠明	19	0.4	18.2	3.4	87	西北	1.8	28	33	69.1	18.6

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

表 4.3.2 忠明站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子(續)

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
6-Jul-17	忠明	16	0.4	19.6	2.2	65	南	1.6	28	33	78.9	30.6
12-Jul-17	忠明	14	0.3	17.0	3.9	52	南	1.8	28	32	69.5	NR
18-Jul-17	忠明	20	0.2	15.9	2.2	68	北	2.1	29	32	72.7	NR
24-Jul-17	忠明	19	0.3	18.6	6.1	51	南南東	2.0	29	32	71.2	NR
5-Aug-17	忠明	14	0.3	11.1	2.2	37	南	2.0	29	32	72.5	NR
11-Aug-17	忠明	13	0.2	11.5	2.0	38	南	2.4	29	32	72.8	NR
17-Aug-17	忠明	15	0.3	19.5	4.4	79	西北	1.8	30	34	64.6	NR
23-Aug-17	忠明	15	0.5	23.7	1.7	59	南	1.4	30	34	83.0	6.6
29-Aug-17	忠明	21	0.3	13.2	2.7	82	南	1.8	32	36	72.5	0.2
4-Sep-17	忠明	16	0.4	15.4	2.0	65	南南西	1.7	31	35	75.6	NR
10-Sep-17	忠明	22	0.4	19.0	6.9	48	西北西	1.6	31	33	71.7	NR
16-Sep-17	忠明	27	0.5	19.3	4.1	99	西北	1.7	31	35	66.1	NR
22-Sep-17	忠明	44	0.5	20.3	4.1	96	西北	1.9	32	35	68.5	NR
25-Sep-17	忠明	23	0.4	22.0	5.6	53	西北西	1.6	31	34	71.8	NR
28-Sep-17	忠明	24	0.3	17.2	3.9	78	南	2.0	31	35	72.0	NR
04-Oct-17	忠明	19	0.3	13.8	2.1	40	北北東	1.9	29	31	76.4	NR
10-Oct-17	忠明	37	0.6	22.1	6.1	97	南南西	1.5	31	35	68.5	NR
16-Oct-17	忠明	12	0.3	18.7	2.0	42	北北西	1.9	28	31	85.8	NR
22-Oct-17	忠明	24	0.4	13.2	1.8	72	北北東	3.2	23	27	52.7	NR
28-Oct-17	忠明	25	0.2	14.2	2.0	58	北北東	2.8	23	27	68.5	NR
03-Nov-17	忠明	12	0.3	15.0	1.4	53	北北東	2.6	24	25	80.5	0.2
09-Nov-17	忠明	20	0.5	23.7	1.7	79	北北東	1.8	27	32	73.3	NR
15-Nov-17	忠明	16	0.5	24.3	2.6	62	北	1.7	25	30	76.3	NR
21-Nov-17	忠明	12	0.4	27.1	2.2	53	北北西	1.8	24	29	78.6	NR
27-Nov-17	忠明	12	0.4	24.1	2.5	53	西北	1.7	23	27	76.8	NR

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

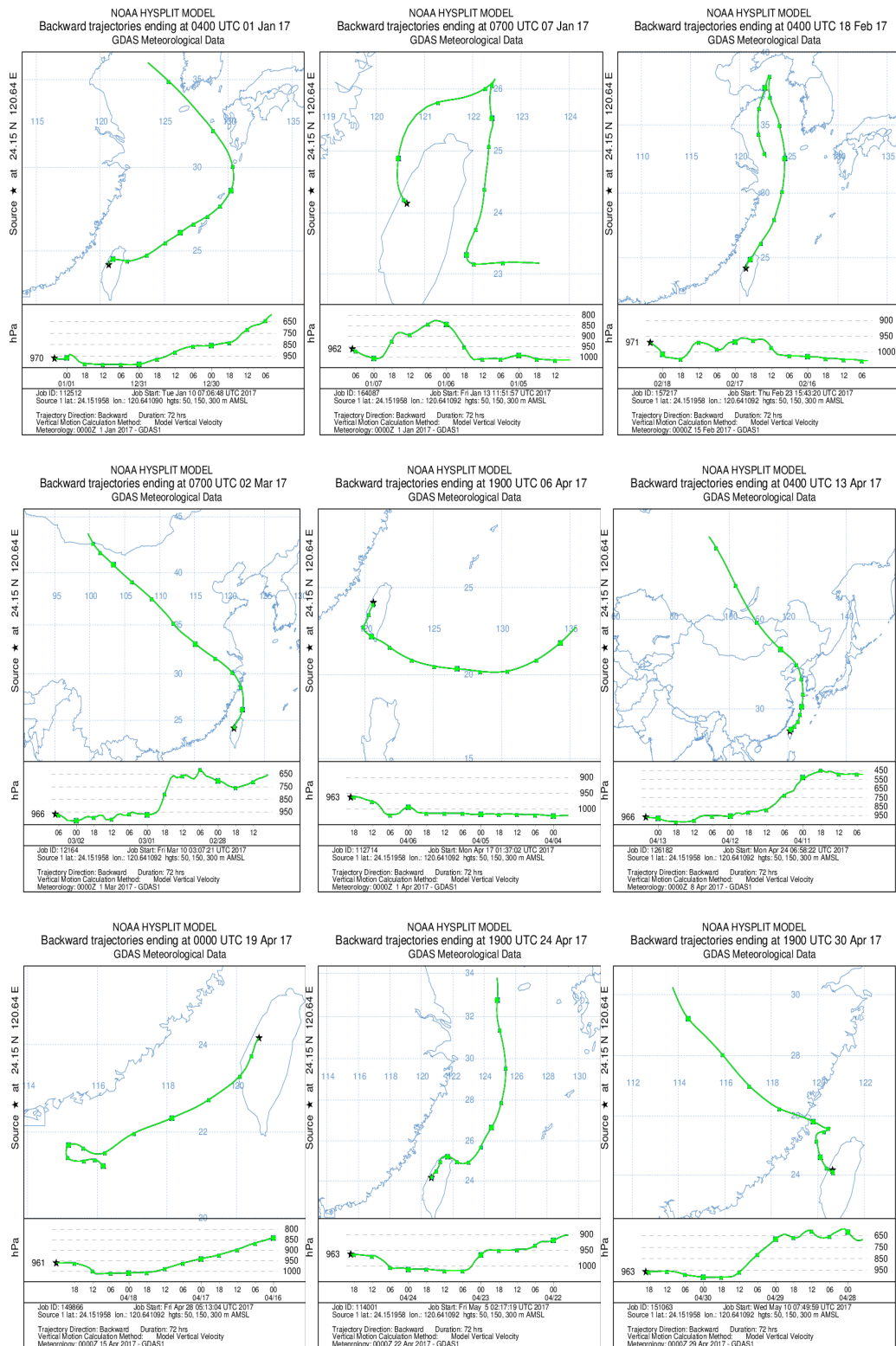


圖 4.3.5 忠明站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (由左上至右下分別為 1 月 7 日、2 月 18 日、3 月 2 日、4 月 7 日、4 月 13 日、4 月 19 日、4 月 25 日、5 月 1 日)

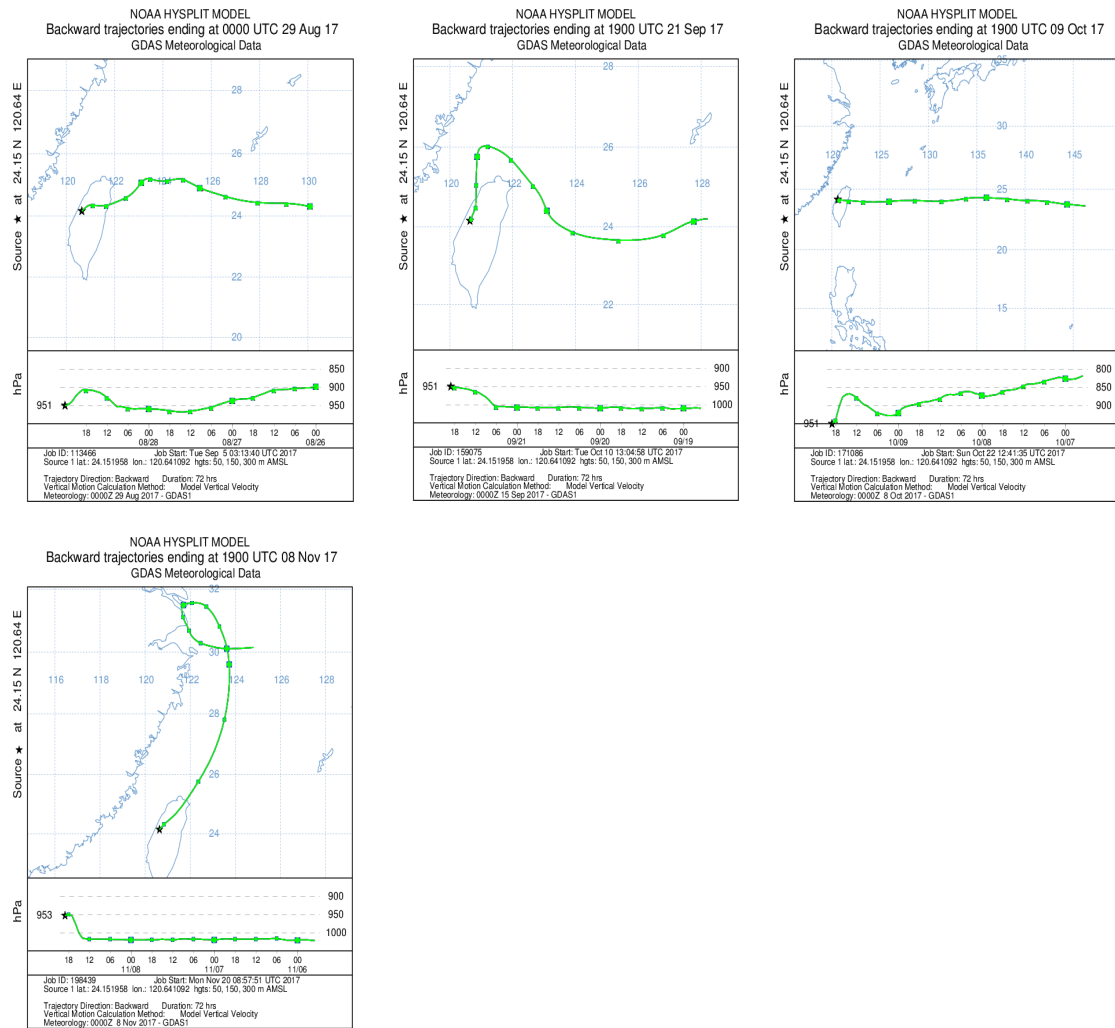


圖 4.3.5 忠明站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡(續) (由左至右分別為 8 月 29 日、9 月 22 日、10 月 10 日、11 月 9 日)

前述資料顯示 1 月 7 日這天有明顯的污染物濃度，從圖 4.3.6 污染物隨時間變化顯示，1 月 7 日從 0 點開始環境風速僅有  $1.1 \text{ m s}^{-1}$ ，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約在  $49 \mu\text{g m}^{-3}$ ，接著濃度上升至 8 時，風向由南風轉回西北風，這時污染物濃度有逐漸下降趨勢，不過 16 時開始，風速再次下降， $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  以及  $\text{SO}_2$  在這段時間都有明顯上升趨勢，顯示受到擴散條件不良的影響，污染物濃度逐漸累積上升。除了 1 月 7 日的  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度污染，1 月 1 日清晨至上午 8 時  $\text{PM}_{2.5}$  監測濃度約有  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間主要受到環境風速僅有  $1.3 \text{ m s}^{-1}$  影響，環境擴散條件不佳，推測污染物主要由在地污染貢獻，上午 8 時過後，隨著風速逐漸上升， $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  濃度明顯降低，不過  $\text{SO}_2$  與  $\text{O}_3$  則出現上升的趨勢，此時風向為西北風，可能與上風處污染源傳輸有關。2 月 18 日這天  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度為二月份採樣期間最高，當日 0 時起風向主要為東北風，風速約有  $2 \text{ m s}^{-1}$ ，其他污染物除了  $\text{O}_3$ ，都與  $\text{PM}_{2.5}$  濃度變化呈現相反趨勢， $\text{PM}_{2.5}$  濃度高峰時段風向為西北風，推測這段期間污染物濃度上升可能與鄰近都會區傳輸作用有關或是前一日污染物前驅物於環境中累積反應生成二次污染物所造成。4 月 7 日 0 時起  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就有  $58 \mu\text{g m}^{-3}$ ，當時環境風速只有  $1 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示環境擴散條件不佳，前一日有污染物殘留於環境中，污染物濃度直到中午過後，風向轉為風速不高的西風才逐漸降低，由於  $\text{O}_3$  濃度不高，這天污染物濃度可能受到前一日衍生污染物以及在地排放所影響。4 月 13 日整日環境風速不高，顯示擴散條件不佳， $\text{PM}_{2.5}$  濃度受到早上與下午交通尖峰期影響，濃度整日維持一定數值，污染物來源主要來自在地排放。4 月 19 日環境風速從上午 4 時至 9 時，由 1 上升至  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示環境擴散條件明顯優於前兩次採樣日，上午交通尖峰時段， $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度並未受到影響有明顯變化，但  $\text{PM}_{2.5}$  濃度在上午 8 時過後伴隨風速上升仍有些微成長，由於早晨  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度不高，因此，雖然  $\text{O}_3$  最大值很高，但  $\text{PM}_{2.5}$  濃度只是稍有增高，從監測資料與軌跡資料接顯示這段期間盛行風向主要為南風，氣流軌跡由台南向北傳輸，當天污染物濃度可能受到測站南方區域污染傳輸影響。4 月 25 日污染物濃度變化趨勢與風速變化呈現明顯的相反趨勢，0 點開始環境風速僅  $0.6$

$\text{m s}^{-1}$ ， $\text{PM}_{2.5}$  濃度由 49 累積至  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ ，一直到上午 7 時風速上升至  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  才有所改善，第二段峰值出現在 20 時過後，同樣受到低風速影響，污染物濃度逐漸累積，因此這天污染物來源主要來自前日的衍生物染物以及在地排放所貢獻。

5 月 1 日則是五月採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度最高的一天，當天污染物濃度變化明顯與風速呈現相反趨勢，清晨至上午，由於受到前一日污染物累積影響，因此  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約有  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，一直至上午 9 時過後污染物濃度明顯下降至  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ，下午 17 時過後受到夜間交通尖峰時段影響，可以發現  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  濃度變化有相同趨勢， $\text{O}_{3,\text{max}}$  只有 74 ppb，顯示這段期間主要受到在地交通排放影響，清晨與上午的高濃度則可能為前日殘留的衍生污染污染物。8 月 29 日監測資料小時值顯示晚上 20 時過後，有一明顯峰值可能與夜間低風速導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度受到交通放影響上升，這天的污染物濃度主要來自在地排放。9 月 22 日為 9 月採樣期間濃度最高日，這天從 0 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就高達  $51 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間風速僅有  $1 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示擴散條件相當差，到了日間受到上午交通排放影響，濃度持續保持峰值，不過上午 10 時以後風向轉為西北，風速約  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ ，環境擴散條件改善，因此污染物濃度在這以後明顯下降，這天污染源推測來自本地排放源，以及前日污染殘留。10 月 10 日這天上午主要風向為南風，上午 8 時以前  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約在  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，8 時過後風向轉為北風及西北風，此時氣態污染物並沒有明顯變化，但  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{O}_3$  濃度有明顯上升趨勢，顯示受到上風污染源影響，這波污染物濃度上升，在中午過後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度持續增加，此時濃度約為  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ，雖然當時環境風速提升，但是受到環境中高臭氧濃度影響，顯示有午後光化學作用導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度並未受到風速提升而擴散稀釋，另一方面值得注意的是下午 15 時有一明顯  $\text{SO}_2$  峰值，可能與西北方工業排放有關。11 月 9 日這天上午忠明第區空氣品質相當良好，接接近中午時，風向由西南轉西北，同時風速上升至  $3.3 \text{ m s}^{-1}$ ，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度由  $18 \mu\text{g m}^{-3}$  驟升至  $36 \mu\text{g m}^{-3}$ ， $\text{SO}_2$  濃度也隨著些微上升，顯示受到上風污染傳輸影響，但這段時間過後污染物濃度隨風速同



步下降，受到傳輸污染物影響時間不長，下午 17 時過後風速降至  $1.3 \text{ m s}^{-1}$  以下，加上交通尖峰時段受到本地排放影響， $\text{PM}_{2.5}$  濃度再次上升至  $46 \mu\text{g m}^{-3}$ 。

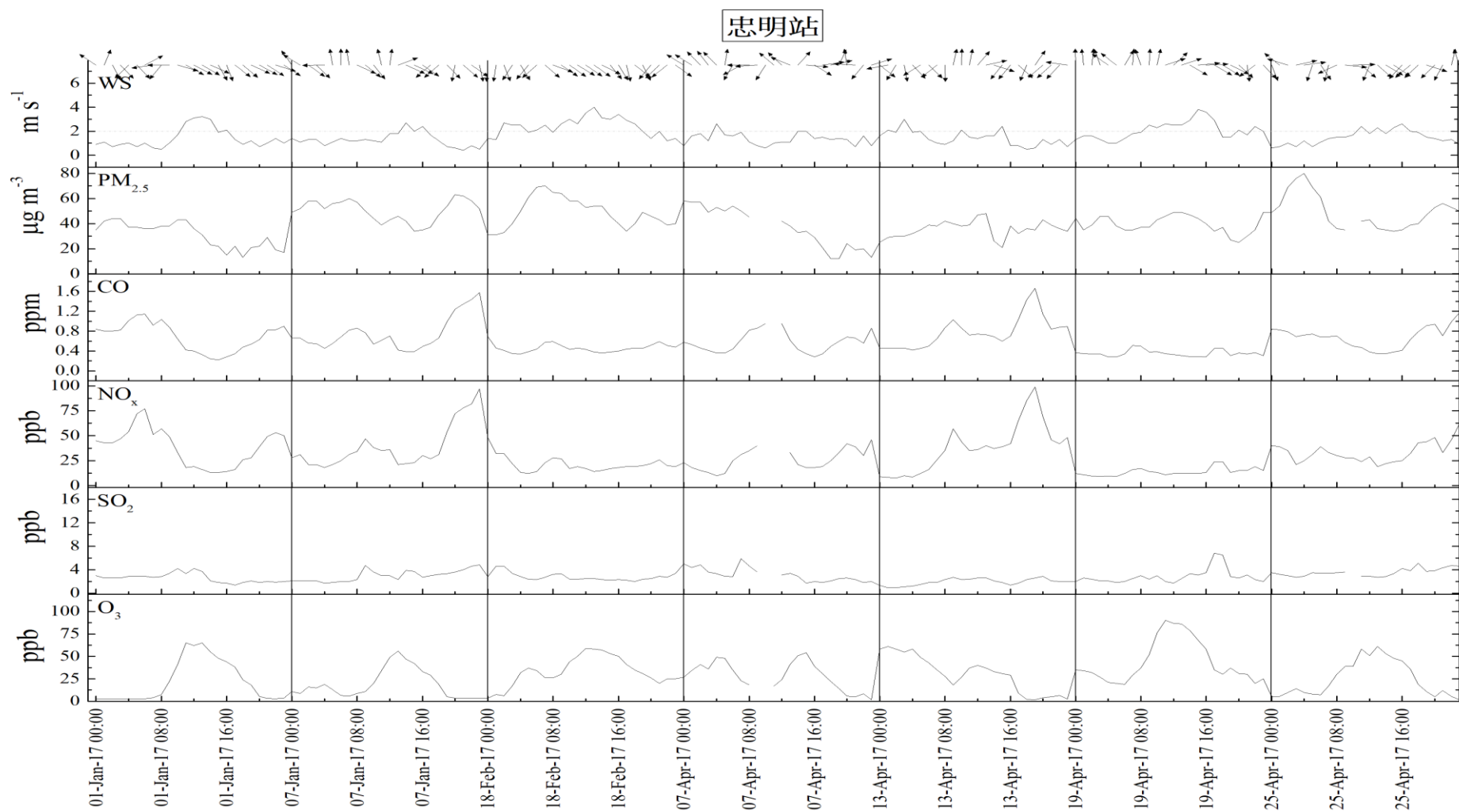


圖 4.3.6 忠明站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化

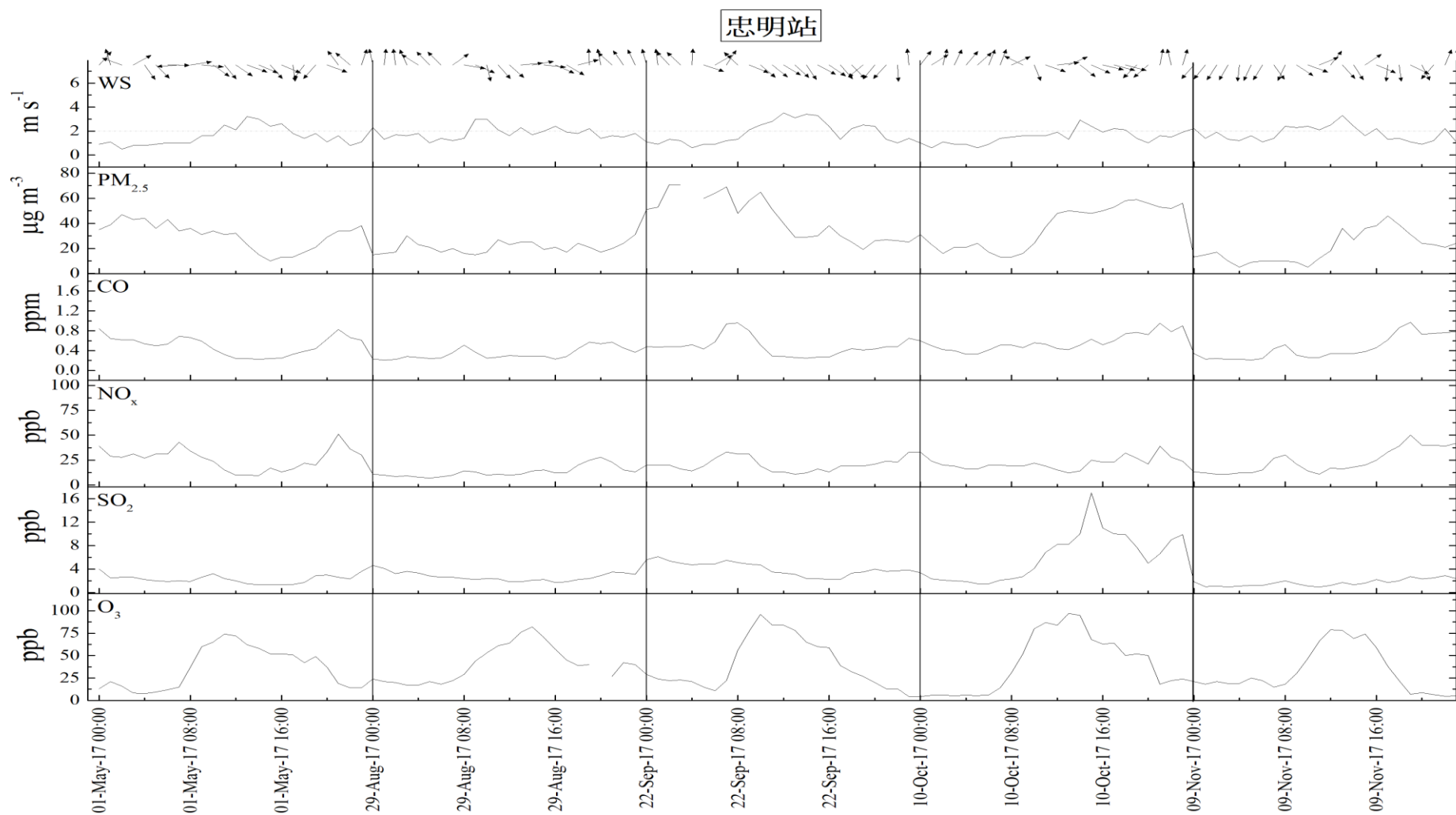


圖 4.3.6 忠明站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化(續)

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.3.7 顯示忠明站採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與化學成分組成時間變化趨勢，圖中同時包含與環保署 PM<sub>2.5</sub> 手動採樣比對結果，從濃度變化趨勢顯示本計畫採樣結果與環保署手動採樣結果相當一致，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 仍為主要成分，其次為修正後 OC 或 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。1 月 7 日為 1 月份採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度最高日期，從化學成分中可發現當日 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度十分明顯，顯示當日污染源與在地排放源有關，前述空品監測數據分析指出 2 月 6 日與 18 日可能受到區域污染傳輸影響，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占比較高，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占比明顯較少。

春季採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署手動結果仍然相當一致，但受到種種不利因子影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度逐漸上升。化學成分大多數時間以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 為主要成分，其次為修正後 OC 或 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，但 4 月 13 日與 4 月 25 日 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有最高濃度，這兩日從前述軌跡數據顯示主要受到擴散條件不佳以及在地污染物排放源影響，因此有相當高的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度，此外，4 月 19 日與 4 月 25 日揮發 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 也有較高的濃度，從監測數據可以發現，4 月 19 日過後，環境溫度明顯上升至 25 度以上，受到溫度上升影響，有較高的微粒揮發濃度。

夏季採樣期間，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署例行手動採樣數據相當一致，主要化學成分為修正後 OC 與 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，受到環境最高溫度普遍大於攝氏 32 度影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度相較於前一季明顯降低，採樣期間空氣品質良好，PM<sub>2.5</sub> 濃度普遍低於 20 µg m<sup>-3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 濃度最高的一天為 8 月 29 日，這天受到午後光化學作用影響，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度明顯高於修正後 OC，同時有夏季最高 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度，前述監測數據指出：“8 月 29 日晚上 20 時過後，有一明顯峰值可能與夜間低風速導致 PM<sub>2.5</sub> 濃度受到交通放影響上升有關”，推測本日 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 可能為夜間污染物濃度上升時有化學反應所導致。

秋季採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度比夏季採樣期間有明顯增加趨勢，尤其 9 月 22 日及 10 月 10 日這兩天修正後濃度分別為 38 µg m<sup>-3</sup> 與 41 µg m<sup>-3</sup>，化學成分以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 為主要成分，其次為 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，從前述逐時監測數據發現這兩日雖然有相似環境因子，但 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升時期略有差異，前者為前日污染物殘留，後者則是受到午後西北風將西北方工業污染物傳入，顯示 9 月 22 日前一日可能受到工業污染影響較多，因為有較高 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，而 10 月 10 日這天的高 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度可能除了交通排放外，也包含了鄰近工業區的衍生污染物。

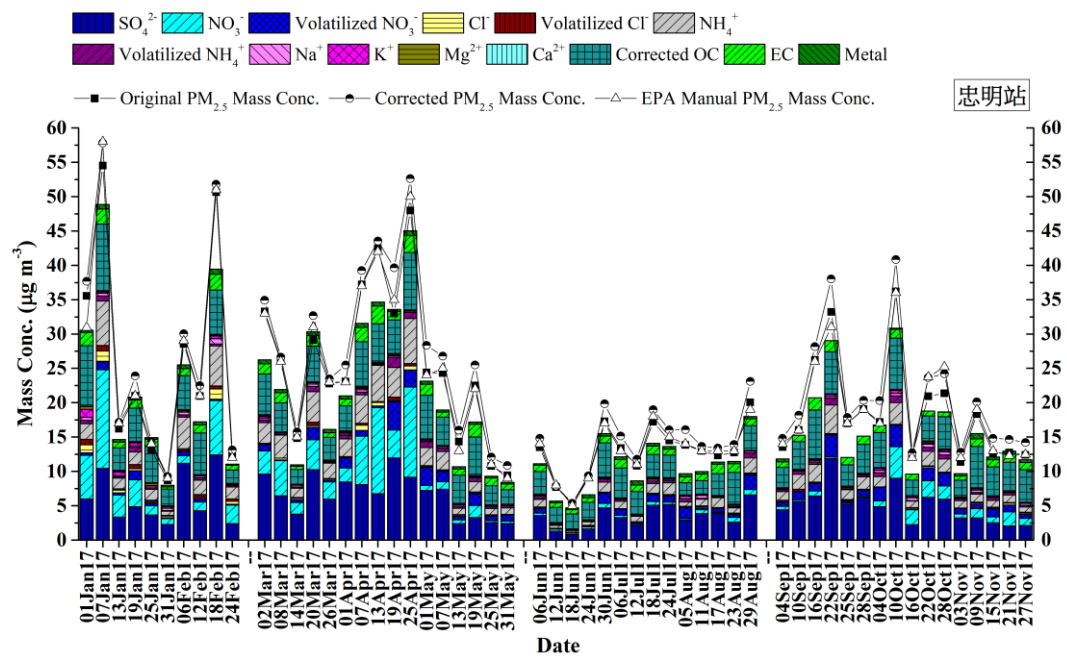


圖 4.3.7 忠明站 2017 年例行性採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  成分濃度隨時間變化 (1 月 1 日環保署例行手動採樣數據缺值，圖中使用自動儀器監測數據)

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.3.8 為忠明站採樣期間每日各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子(Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間，高濃度金屬元素只有金屬元素 Zn 的富集因子接近 1000 ( $\log_{10}1000=3$ )，顯示受到人為影響程度相當高，Zn 為常見交通排放、輪胎和剎車磨損、垃圾焚化、二次冶煉指標金屬元素。中間區間的金屬元素濃度大多在  $5 \sim 60 \text{ ng m}^{-3}$ ，並以交通排放或鋼鐵工業指標金屬元素 Mo (但濃度相當低)及燃煤及工業排放指標金屬元素 Pb 有相對較高的富集因子，可能與監測地區高交通密集度或周遭鄰近工業有關，其他受人為活動影響金屬元素 Ni、V 及 Cu 也有大於 10 的富集因子，其中 Ni 及 V 主要來自燃油燃燒，金屬元素 Cu 則可能來自工業影響或是汽車剎車墊片磨損產生。低濃度金屬元素則是以採樣期間濃度在  $12 \text{ ng m}^{-3}$  以下的金屬元素為主，以 Sn、Sr、Se 濃度含量最高，這些金屬元素主要與工業鍋爐所使用的燃料有關。

忠明站冬季採樣期間 1 月 1 日及 1 月 7 日主要受到環境擴散條件不佳影響，有較高 PM<sub>2.5</sub> 濃度，金屬元素成分顯示 1 月 1 日有較高的金屬元素 K、Cu、Sr 濃度與微量的 Se 濃度，從金屬元素組成顯示，當天有捕捉到農廢燃燒的影響，因此有較高的金屬元素 K 濃度，此外金屬元素 Cu 除了塵土來源，也可能來自機動車剎車磨損產生，另外燃煤指標金屬元素 Sr 與 Se 在這天有較高濃度也顯示，當天受到燃煤燃燒污染元的影響。1 月 7 日同樣受到燃煤燃燒影響外，來自生質燃燒得影響似乎較少，但金屬元素 Sn、Pb、Mn 的濃度在這天明顯增加，此外燃油指標金屬元素 V 也有同樣濃度上升現象，顯示這天受到工業污染源的影響明顯高於前一次採樣日，另一方面這天 PM<sub>2.5</sub> 濃度也較 1 月 1 日高出不少。2 月 18 日這天金屬元素濃度為冬季採樣期間最高，金屬元素組成與 1 月 7 日相似，燃煤與燃油指標金屬元素在這天皆有不低的濃度，由於當天吹拂西北風，因此忠明站可能受到上風處工業鍋爐污染物排放影響，此外，高濃度金屬元素 Na 與 K 濃度顯示除了工業來源外，當日高 PM<sub>2.5</sub> 濃度也受到海鹽與生質燃燒貢獻。

春季採樣期間由於東北季風逐漸減弱，燃煤燃燒指標金屬元素 Se 濃度似乎也降低不少，到了 5 月時濃度皆在  $1.5 \text{ ng m}^{-3}$  以下，從同為工業排放與燃煤燃燒的指標金屬元素 Pb 濃度變化同樣可發現相似的現象；春季採樣期間金屬元素濃度最高日出現在 4 月 7 日，這天忠

明站由於擴散條件不佳出現污染事件，由金屬元素成分顯示，工業指標金屬元素 Sr、Pb、Sn 有較高的濃度，交通排放指標金屬元素 Sb、Cu 同樣有此現象，不過對照冬季污染事件，受到燃煤燃燒影響似乎降低不少，而塵土金屬元素 Mn、Fe 則有較高的濃度。夏季的 6 至 8 月，環境污染物濃度明顯降低，主要金屬元素為 Fe、Ca、Ti 等塵土金屬元素，另外 7 月 24 日這天金屬元素 Sb、Cu 有明顯濃度，其中 Sb 濃度相當高顯示受到當地交通排放源影響。

秋季燃煤與燃油燃燒污染物濃度逐漸上升，顯示進入污染季節後，工業排放影響正逐漸加劇，在 9 月 16 日與 9 月 22 日這兩天金屬元素 Se、As、Sn 以及 V、Ni 等燃油與燃煤燃燒影響為秋季採樣期間最明顯兩日，這段時其主要為北北東風，顯示與污染傳輸或是忠明站北方工業排放有關，另外，9 月 16 日及 11 月 9 日總金屬元素濃度相當高，9 月 16 這天除了前述燃油與燃煤燃燒影響外，K 濃度約有  $500 \text{ ng m}^{-3}$  顯示受到農廢燃燒影響，Na 也有不低的濃度，與冬季時相似，強盛東北風時期 Na 濃度明顯上升，而 11 月 9 日這天元素濃度主要受到高濃度族群的地殼元素影響較多，除了前述的 Na 及 K 外，元素 Fe、Ti 等塵土元素都有不低的濃度。

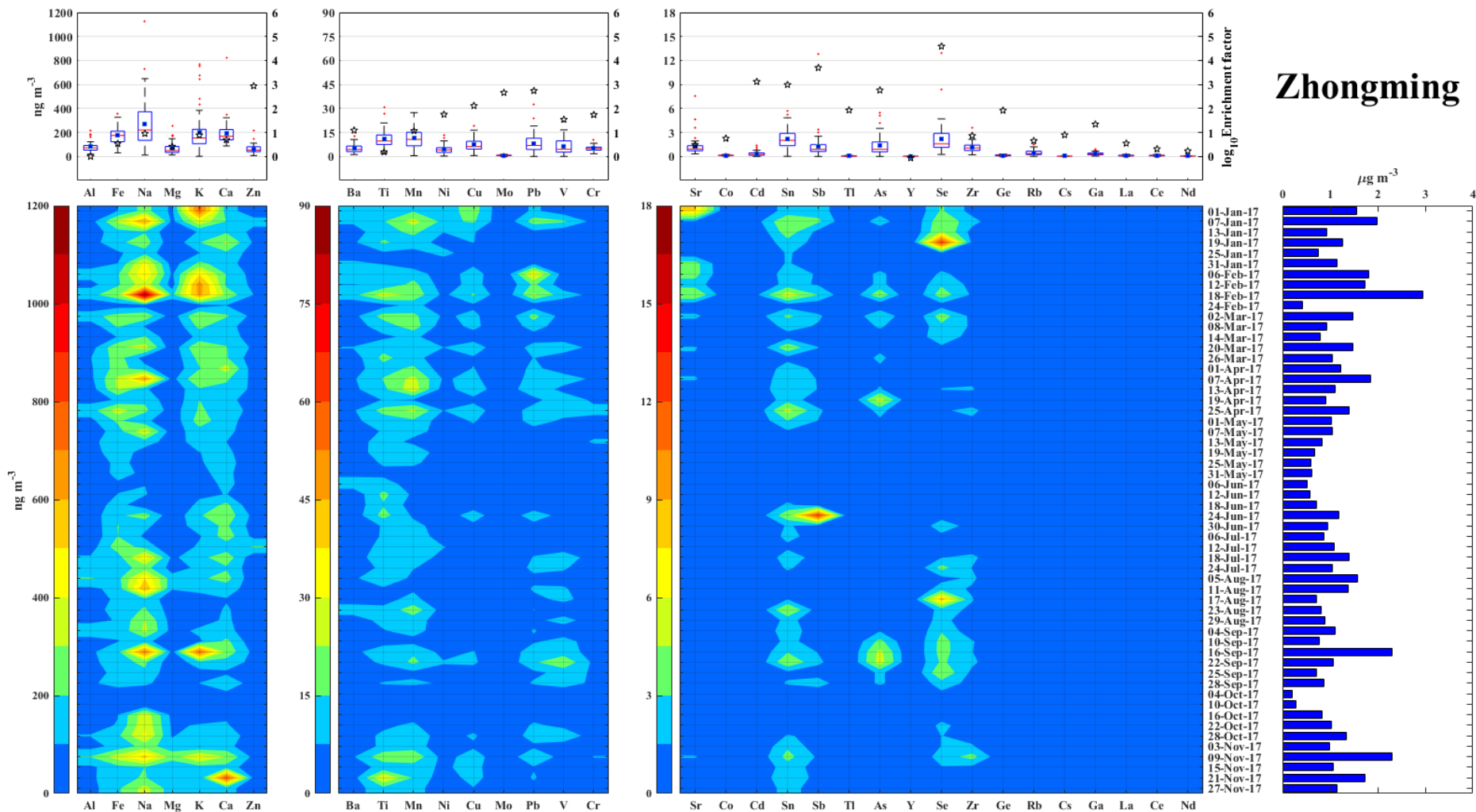


圖 4.3.8 忠明站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。



### 4.3.3 斗六站

#### 1.環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

表 4.3.3 為斗六站採樣期間空氣污染物日平均濃度與氣象因子，圖 4.3.9 為採樣期間污染物濃度較高時期氣流逆推軌跡，結合監測與軌跡模擬資料，本計畫判讀各月份 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高時期可能的污染成因。一月份採樣期間 1 月 1 日、1 月 7 日以及 1 月 19 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度都相當高，濃度分別為 41、68 以及 35  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，逆推氣流軌跡發現這三天氣流主要來自台灣北方海域，雖然可能受到北部污染傳輸影響，但由於日平均風速低，推測這三天主要污染來源為在地，從氣態污染物日平均值發現 1 月 1 日有較明顯的 O<sub>3, max</sub>，其他氣態污染物日平均值並無明顯差異，因此詳細的污染成因可能需要透過由污染物小時值與化學成分資料判斷。二月份採樣期間，2 月 6 日、18 日 PM<sub>2.5</sub> 都出現明顯高值，濃度分別為 43、59  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間主要盛行東北風，從氣態污污染物資料顯示，各項污染物濃度並沒有明顯特別高，除了 2 月 6 日 O<sub>3, max</sub> 濃度為 84 ppb 明顯高於二月份其他日期外，從氣流軌跡資料推測，這段期間污染物濃度高值可能受到台灣區域污染傳輸影響。斗六站三月份污染物濃度以 3 月 20 日最高，3 月 2 日以及 3 月 8 日也有超出日平均標準的濃度值。3 月 2 日從氣流軌跡推估結果顯示當日可能受到北部污染傳輸影響，因此環境風速雖然大於 2  $\text{m s}^{-1}$ ，但仍有不低的 PM<sub>2.5</sub> 濃度。3 月 8 日環境風速低，顯示環境擴散條件不良，另外 NO<sub>x</sub> 與 CO 濃度皆為三月份採樣期間最高日平均濃度，當天污染源可能主要來自在地污染，但是受到微弱降雨的影響，污染物濃度有所降低。3 月 20 日當天 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度高達 50  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，日平均風速與 3 月 8 日相近，顯示環境擴散條件不良，前述氣流軌跡資料指出當日主要受在地污染源影響，污染物濃度比 3 月 8 日高的原因可能與當日臭氧濃度較高以及當天並無降雨有關。四月份 PM<sub>2.5</sub> 濃度以 4 月 25 日最高，濃度高達 72  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，另外 4 月 13 日及 19 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度同樣超出空氣品質標準，濃度分別為 38 與 37  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，從軌跡資料可以得知 4 月 13 日與 25 日氣流軌跡皆由台灣北部傳輸至測站，不過 13 日當天受到降雨影響，濃度可能有所降低，此外，這兩天環境中 CO

與  $\text{NO}_x$  也明顯高出 4 月份其他採樣日，顯示除了傳輸污染物外也包含了在地排放污染影響。4 月 19 日氣流由台灣西南方海域傳輸至測站，當天日平均風速為  $1.8 \text{ m s}^{-1}$ ，風速略高於 13 日與 25 日，稍微提升的環境擴散能力以及不受傳輸污染物影響的氣流軌跡，使 19 日污染物濃度低於其餘兩事件日。五月份斗六站監測資料顯示，5 月 7 日  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度為當月最高，濃度為  $38 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這個狀況和板橋及忠明站稍有不同。5 月 7 日  $\text{SO}_2$  日平均濃度為 5.4 ppb 為五月份採樣期間最高，軌跡資料顯示當天可能受到北、中部污染傳輸或在地污染源影響，推測與工業排放源有關。六至八月份全台進入夏季天氣型態，環境污染物濃度大幅降低，在這段採樣期間斗六站僅有 8 月 29 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度超過  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ，當日風速僅  $1.4 \text{ m s}^{-1}$ ，不過對照夏季採樣期間相似監測資料的其他採樣日， $\text{PM}_{2.5}$  濃度也不如這天高，從軌跡資料發現當天氣流由東部跨過山脈由測站北方傳入，可能將測站北邊污染物夾帶至採樣區，受到區域污染物傳輸影響。九月份斗六站污染物濃度最高日為 9 月 22 日， $\text{PM}_{2.5}$  濃度高達  $48 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這天所有氣態污染物濃度皆是九月份最高，環境風速為  $1.6 \text{ m s}^{-1}$ ，與其他九月份採樣日並無太大差異，軌跡資料顯示，氣流在到達測站前，經由台中及彰化等都會區傳輸至測站，不排除當日受到區域污染物傳輸影響。十月份採樣期間以 10 月 4 日與 28 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較高，兩日分別為 35 及  $31 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這兩天各項氣態污染物與天氣因子十分相似，但 10 月 4 日這天有較高的  $\text{SO}_2$  濃度與較低的環境風速，推測可能受到上風工業污染影響較多，另外這兩天的軌跡路徑也十分相似，氣流來向皆為黃海海域，由黃海向南傳輸至台灣後由北至南往監測地區傳輸，因此傳輸過程中可能夾帶上風都會區污染物， $\text{PM}_{2.5}$  濃度可能受到區域污染傳輸影響。11 月採樣期間， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與 10 月接近，風向有北風轉為北北東風，濃度最高的一天在 11 月 9 日，這天平均風速僅  $1.2 \text{ m s}^{-1}$ ，同時  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  濃度為期間最高，推測環境擴散稀釋條件較差，受到本地交通排放影響，另外，軌跡資料顯示，斗六站位於東北風背風側，因此環境風速較低，路徑則顯示，高度不高，但可能將中央山脈周遭累積的污染物往斗六站傳輸。

表 4.3.3 斗六站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
1-Jan-17	斗六	41	0.5	23.1	4.1	87	北北東	1.3	22	27	78.3	NR
7-Jan-17	斗六	68	0.5	23.0	3.6	57	北北東	1.5	23	27	81.4	NR
13-Jan-17	斗六	26	0.5	23.0	2.4	36	北北東	2.3	20	23	80.2	NR
19-Jan-17	斗六	35	0.4	25.3	3.2	69	北北東	2.1	22	28	78.0	NR
25-Jan-17	斗六	24	0.3	20.3	3.1	55	東北	2.1	18	23	73.1	NR
31-Jan-17	斗六	18	0.3	10.0	2.1	58	北北東	1.9	19	24	73.3	NR
6-Feb-17	斗六	43	0.5	19.5	1.9	84	北北東	1.8	20	27	72.6	NR
12-Feb-17	斗六	37	0.4	16.1	3.7	65	北北東	1.4	16	21	62.5	NR
18-Feb-17	斗六	59	0.4	19.8	2.4	77	東北	2.0	21	27	74.4	NR
24-Feb-17	斗六	18	0.4	21.0	2.1	25	東北	2.4	15	16	79.5	0.4
2-Mar-17	斗六	47	0.4	21.8	3.1	84	東北	2.2	19	25	59.7	NR
8-Mar-17	斗六	35	0.5	27.4	3.1	25	東北	1.4	16	16	87.6	12.2
14-Mar-17	斗六	24	0.3	16.4	1.8	47	東北	2.8	19	21	75.0	2.4
20-Mar-17	斗六	50	0.4	17.7	2.9	70	北北東	1.4	25	29	77.3	NR
26-Mar-17	斗六	25	0.4	17.2	2.3	39	北北東	1.9	16	17	86.2	9.0
1-Apr-17	斗六	33	0.3	13.8	1.2	89	東北	3.2	19	24	67.6	6.8
7-Apr-17	斗六	30	0.4	14.8	3.2	70	西	1.4	26	31	73.5	NR
13-Apr-17	斗六	38	0.6	25.1	2.7	44	東北	1.1	19	21	92.0	24.4
19-Apr-17	斗六	38	0.3	10.7	2.2	103	西南西	1.8	29	34	75.1	5.2
25-Apr-17	斗六	72	0.6	24.5	5.4	89	北北東	1.5	26	30	77.3	0.2
1-May-17	斗六	25	0.3	13.8	3.0	73	東北	1.5	26	32	61.5	NR
7-May-17	斗六	38	0.5	16.5	5.4	72	北北東	1.8	28	33	73.4	NR
13-May-17	斗六	20	0.3	15.0	2.8	35	東北	1.5	29	33	75.1	NR
19-May-17	斗六	34	0.4	13.4	2.1	83	東北	1.7	27	31	80.0	0.8
25-May-17	斗六	19	0.3	15.8	2.2	68	北北東	1.7	28	33	77.4	0.2
31-May-17	斗六	8	0.3	12.2	3.9	49	西	1.5	29	33	78.6	NR
6-Jun-17	斗六	13	0.3	8.8	1.9	60	東南東	1.4	30	36	75.3	NR
12-Jun-17	斗六	14	0.2	11.0	3.3	48	西南	2.0	33	38	66.3	1.0
18-Jun-17	斗六	7	0.2	11.7	0.8	18	東北	1.1	26	26	94.0	49.0
24-Jun-17	斗六	9	0.2	8.0	2.3	41	東南東	2.0	32	37	68.4	NR
30-Jun-17	斗六	14	0.2	11.0	2.0	90	東	1.4	29	38	75.7	88.2

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

表 4.3.3 斗六站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子(續)

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
6-Jul-17	斗六	16	0.2	9.7	2.8	70	東南東	1.5	30	37	81.9	70.4
12-Jul-17	斗六	14	0.2	8.1	2.3	68	東南東	1.7	30	38	74.8	1.0
18-Jul-17	斗六	16	0.2	8.5	2.2	104	東南東	1.7	32	39	70.3	NR
24-Jul-17	斗六	16	0.2	8.1	3.0	58	東南東	1.6	31	35	72.5	NR
5-Aug-17	斗六	11	0.2	9.6	2.1	37	東南	1.5	30	34	71.8	NR
11-Aug-17	斗六	14	0.2	7.9	2.4	39	南南西	1.8	31	35	70.4	NR
17-Aug-17	斗六	16	0.2	9.4	2.1	72	北	1.6	31	35	67.3	NR
23-Aug-17	斗六	8	0.2	9.6	3.0	51	東北	1.2	29	35	79.0	1.6
29-Aug-17	斗六	25	0.3	8.5	3.2	79	南	1.4	32	36	71.6	NR
4-Sep-17	斗六	13	0.3	8.2	1.5	62	東南東	1.3	30	36	74.9	NR
10-Sep-17	斗六	15	0.2	8.5	2.5	62	北	1.3	30	34	74.8	NR
16-Sep-17	斗六	27	0.3	8.8	3.9	102	北北東	1.5	31	37	66.3	NR
22-Sep-17	斗六	48	0.4	15.0	6.7	106	北	1.6	32	35	70.2	NR
25-Sep-17	斗六	19	0.2	9.5	2.5	65	北	1.6	31	35	72.6	NR
28-Sep-17	斗六	18	0.2	10.3	2.8	61	東南東	1.7	31	36	71.1	NR
04-Oct-17	斗六	35	0.4	14.1	3.7	64	北北東	1.6	30	33	77.8	NR
10-Oct-17	斗六	25	0.3	12.1	3.7	88	北	1.3	31	37	69.6	NR
16-Oct-17	斗六	12	0.3	14.7	3.3	51	北	1.6	29	33	82.3	NR
22-Oct-17	斗六	26	0.3	12.3	1.7	84	北	2.5	24	29	57.8	NR
28-Oct-17	斗六	31	0.3	14.3	1.9	75	北北東	2.0	25	30	66.1	NR
03-Nov-17	斗六	15	0.3	17.5	2.4	51	北北東	2.5	26	30	78.3	0.6
09-Nov-17	斗六	32	0.5	27.3	3.4	77	北北東	1.2	27	32	72.5	NR
15-Nov-17	斗六	24	0.4	25.7	2.3	77	北北東	1.4	25	31	78.2	NR
21-Nov-17	斗六	19	0.4	22.8	4.6	65	北北東	1.6	24	30	77.2	NR
27-Nov-17	斗六	22	0.3	18.1	1.9	77	北	1.4	23	29	78.2	NR

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

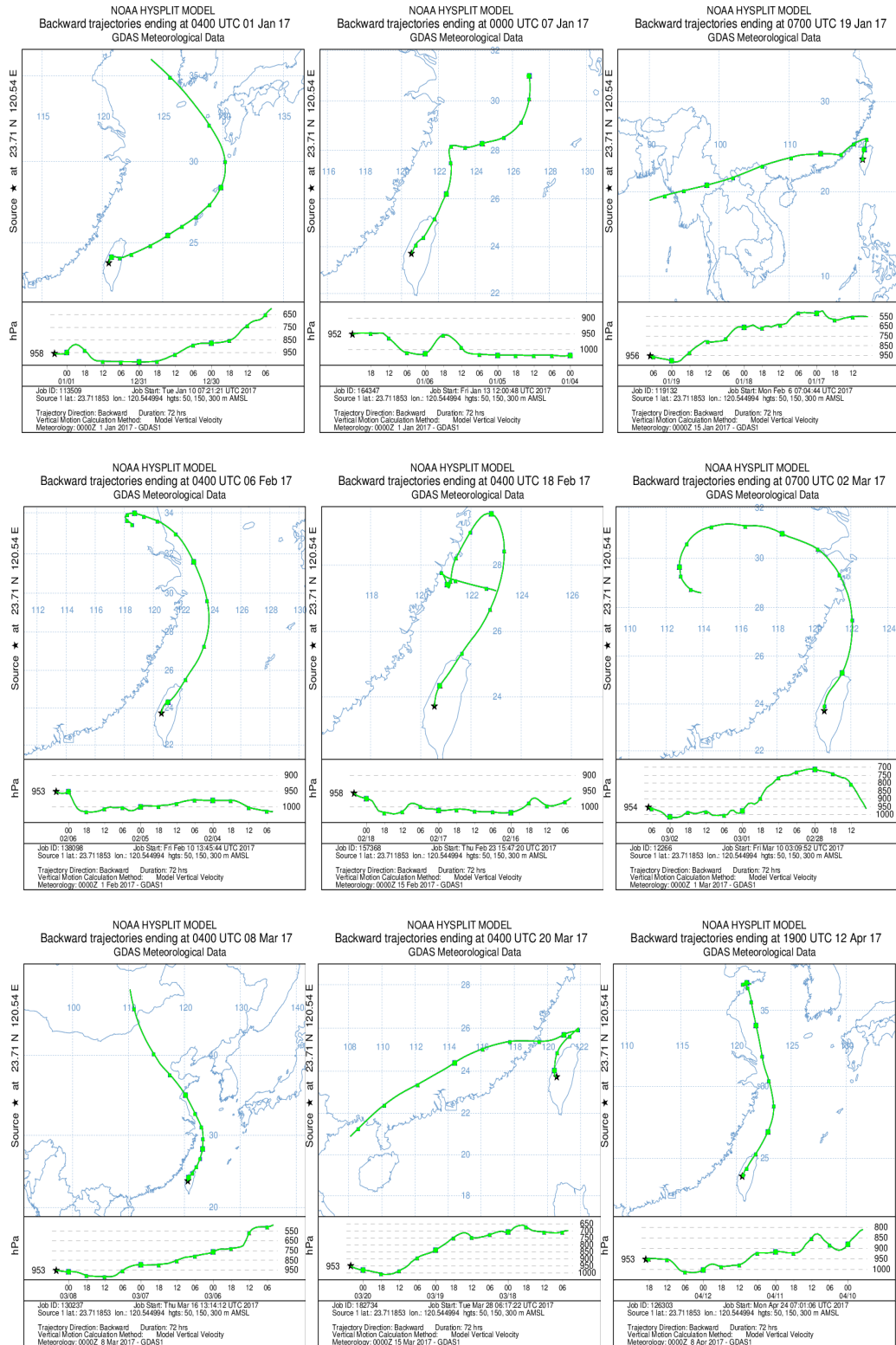


圖 4.3.9 斗六站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (由左上至右下分別為 1 月 1 日、1 月 7 日、1 月 19 日、2 月 6 日、2 月 18 日、3 月 2 日、3 月 8 日、3 月 20 日、4 月 7 日、4 月 13 日)

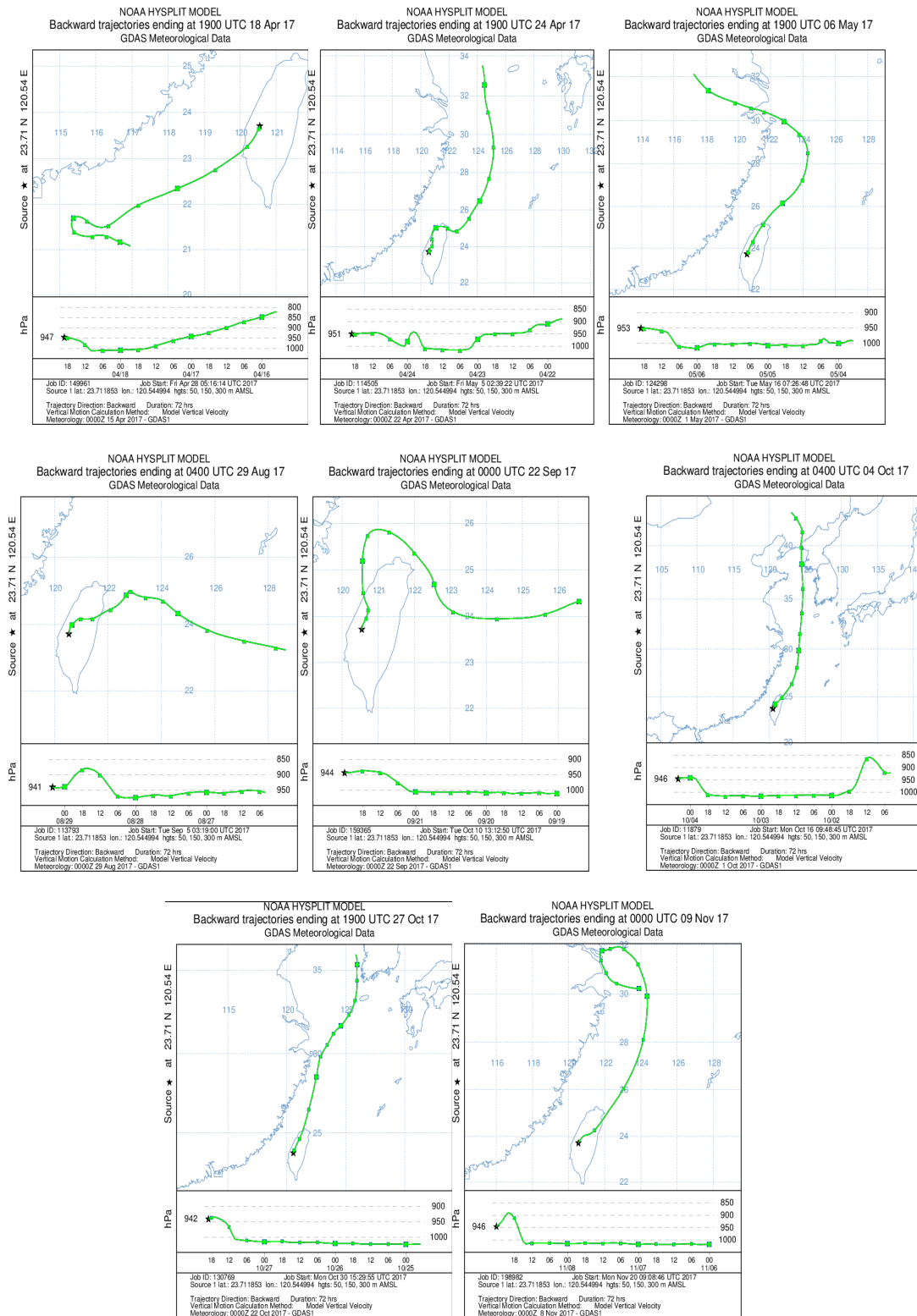


圖 4.3.9 斗六站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (續) (由左上至右下分別為 4 月 19 日、4 月 25 日、5 月 7 日、8 月 29 日、9 月 22 日、10 月 4 日、10 月 28 日、11 月 9 日)

圖 4.3.10 污染物隨時間變化顯示 1 月 1 日 0 時至 8 時測站資料缺值，因此圖表有部分空白，不過從現有資料中發現，1 月 1 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度有兩段峰值，第一段峰值出現在下午 14 時，當時環境風速微幅上升至  $2.2 \text{ m s}^{-1}$ ，同時各項氣態污染物(特別是  $\text{O}_3$ )都出現上升趨勢，當時風向為北北東風，因此推測北北東方的鄰近污染源對監測地區造成影響；第二段  $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升從 17 時開始，從監測資料發現  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  都有微幅上升趨勢以及環境風速降低的現象，顯示這段濃度上升主要受到在地交通排放影響。1 月 7 日這天出現一月份採樣期間最高的污染物濃度，在早上 7 時起， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  先後上升，當時環境風速僅有  $1 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示擴散條件不佳加劇了污染物的累積作用，這段時間  $\text{O}_3$  濃度也隨著升高與  $\text{PM}_{2.5}$  同時達到峰值(雖然不是很高)，中午 12 時  $\text{PM}_{2.5}$  峰值雖然受到逐漸提升的風速影響( $1.5 \text{ m s}^{-1}$  上升至  $2.8 \text{ m s}^{-1}$ )， $\text{PM}_{2.5}$  濃度由  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  降低至  $46 \mu\text{g m}^{-3}$ ，但是午後風速降低，各項污染物濃度再次逐漸累積上升， $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升至  $94 \mu\text{g m}^{-3}$ ， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  濃度同時上升，本日除了受到車輛排放擴散條件不佳影響外，光化學反應也扮演一個次要影響角色。2 月 6 日與 2 月 18 日監測資料小時值顯示這兩日污染物濃度變化有相同趨勢，上午受到北北東或東北風風速上升影響， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{O}_3$  濃度逐漸累積上升，推測這兩天  $\text{PM}_{2.5}$  濃度都受到鄰近區域污染傳輸作用影響，此外 2 月 6 日 13 時過後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度持續維持高值，推測可能受到午後光化學作用影響，環境中有在地衍生污染物的形成。3 月 2 日  $\text{PM}_{2.5}$  受到前夜殘留污染物濃度影響從 0 時開始濃度便高達  $55 \mu\text{g m}^{-3}$ ，隨後三小時內雖然有明顯降幅，但是 3 時過後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度伴隨風速再度上升，並在當天中午達到當日最高濃度的  $75 \mu\text{g m}^{-3}$ ，從前述氣流軌跡線資料推測這段時間可能受到北部污染物傳輸影響，污染物濃度達到當日最大值後的兩小時， $\text{PM}_{2.5}$  濃度迅速降低至  $26 \mu\text{g m}^{-3}$  後又再度上升，上升的原因則從當日午後臭氧濃度明顯偏高推測受到午後光化學作用影響。3 月 8 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度日平均值依舊偏高，從監測資料發現當日風速相當低，整日維持在  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  上下，顯示受到環境擴散條件不良影響導致污染物濃度居高不下。3 月 20 日污染物濃度為三月份採樣期

間最高一天，氣流軌跡線資料推測當日污染物主要來自在地，再從監測資料發現環境擴散條件不良，另一方面環境中  $O_3$  濃度在上午交通尖峰時段後逐漸上升，並且在臭氧濃度降低時， $PM_{2.5}$  濃度有微幅上升，顯示此時污染物濃度可能受到光化學作用影響有衍生污染物生成。4 月 13 日  $PM_{2.5}$  濃度以及氣態污染物濃度受到環境擴散條件不佳影響，自上午交通尖峰時段過後就不斷累積，上午 11 時濃度達  $58 \mu g m^{-3}$  為當天第一次峰值，下午 17 時再次受到交通尖峰時段影響，濃度在 20 時達到第二段高值，從  $PM_{2.5}$  與  $CO$  及  $NO_x$  變化趨勢發現， $PM_{2.5}$  濃度與這兩類氣態污染物變化一致，顯示與在地交通排放有關。4 月 19 日  $PM_{2.5}$  於 0 時起就有  $44 \mu g m^{-3}$ ，當時風速僅  $1 m s^{-1}$ ，顯示這些污染物為前一日環境擴散條件不佳所殘留，上午 8 時至中午 12 時風速與  $PM_{2.5}$ 、 $CO$  及  $SO_2$  的變化趨勢十分相似，當時吹拂西南風，顯示污染物濃度受到測站西南方都會區工業排放傳輸影響，此外當日中午臭氧最高濃度達 103 ppb，但  $PM_{2.5}$  濃度並沒有出現更高濃度，推測受到午後光化學作用影響不大。4 月 25 日受到前日夜間殘留影響 0 時開始環境  $PM_{2.5}$  濃度就高達  $75 \mu g m^{-3}$ ，由環境風速在上午 9 時之前趨近於無風狀態，污染物累積濃度相當高，加上交通尖峰時段  $CO$  與  $NO_x$  的排放，使得這期間污染物濃度最高達到  $93 \mu g m^{-3}$ ，中午受到風速上升影響，污染物濃度明顯下降，16 時過後除了交通尖峰時段帶來的高  $CO$  與  $NO_x$  濃度， $SO_2$  濃度也明顯上升，推測  $SO_2$  濃度的上升與當時高風速的東北風有關，可能受測站東北方工業排放傳輸影響，整日污染物濃度變化顯示發生污染事件的影響因子為環境擴散條件不佳，使前日污染物殘留形成衍生污染物以及在地交通與上風工業排放傳輸。5 月 7 日清晨開始  $PM_{2.5}$  濃度約有  $38 \mu g m^{-3}$ ，主要受到當時低風速影響，導致污染物於環境中累積，上午 10 時風速逐漸上升， $PM_{2.5}$  濃度也上升至  $57 \mu g m^{-3}$ ，當時風向為西北風與西風，推測可能是受到北、中部污染傳輸影響，中午過後風速依然維持在  $2.3 m s^{-1}$  上下，風向轉為北北東，此時  $SO_2$  濃度明顯上升，不過  $PM_{2.5}$  濃度並未受到影響，反而有明顯下降趨勢，當天第二波峰值出現在 20 時過後，當時風速僅  $1 m s^{-1}$  上下，各類氣態污染物如  $SO_2$ 、 $CO$  及  $NO_x$  都明顯上升，顯示這段期間環境擴散條



件變差再加上交通尖峰時段影響使污染物濃度快速累積。8 月 29 日由監測資料小時值可發現，當天風速長時間於  $1 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示擴散條件較不理想，另外夜間低風速時段 CO 與 NO<sub>x</sub> 濃度與 PM<sub>2.5</sub> 變化一致，顯示受到交通排放影響。9 月 22 日軌跡資料顯示可能受到區域污染傳輸影響，受到前日夜間殘留影響 0 時開始環境 PM<sub>2.5</sub> 濃度就高達  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  左右，從小時值變化顯示在中午 12 時，PM<sub>2.5</sub> 濃度確實與高風速的北風有一同上升趨勢，顯示受採樣地區北方污染傳輸影響，值得注意的是上午 6 時 SO<sub>2</sub> 濃度高達 54 ppb 是否為監測資料異常又或是當時有特定污染源排放造成？10 月 4 日軌跡資料顯示可能受到上風污染傳輸影響，監測資料顯示，0 時至 10 時之前並沒有明顯高風速值，顯示環境擴散條件普通，此時各項污染物濃度大多呈現微幅上升，PM<sub>2.5</sub> 濃度約在  $21\sim39 \mu\text{g m}^{-3}$  左右，上午 11 時風速驟升至  $3.1 \text{ m s}^{-1}$ ，此時 PM<sub>2.5</sub> 濃度由 21 上升至  $46 \mu\text{g m}^{-3}$ ，另外臭氧濃度也出現兩段峰值，顯示受到上風污染傳輸影響，下午 16 時過後 PM<sub>2.5</sub> 濃度由  $33 \mu\text{g m}^{-3}$  上升至  $52 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間 NO<sub>x</sub> 與 CO 同樣有相似變化趨勢，顯示受到夜間交通排放影響，此外風速於夜間降低至  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  也是導致濃度上升的成因。10 月 28 日這天上午 PM<sub>2.5</sub> 濃度約在  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，8 時至 16 時這段期間環境風速約  $2\sim4 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示擴散條件良好，下午 16 時過後風速雖然微幅降低，此時 PM<sub>2.5</sub> 濃度有明顯上升趨勢，推測除了受到夜間交通排放影響外也受到上風污染傳輸影響。11 月 9 日這天上午低風速，各項污染前驅物濃度皆呈現不斷累積上升的趨勢，中午之前 PM<sub>2.5</sub> 濃度約在  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ ，中午過後風速一度上升至  $1.9 \text{ m s}^{-1}$ ，但 PM<sub>2.5</sub> 濃度不減反增，達到  $52 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這波濃度上升約持續 3 小時，下午 16 時過後，風速降低至  $1.3 \text{ m s}^{-1}$  以下，擴散條件變差導致濃度依舊居高不下，PM<sub>2.5</sub> 濃度維持在  $45 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，這天污染物濃度主要上風污染傳輸及本地排放影響。

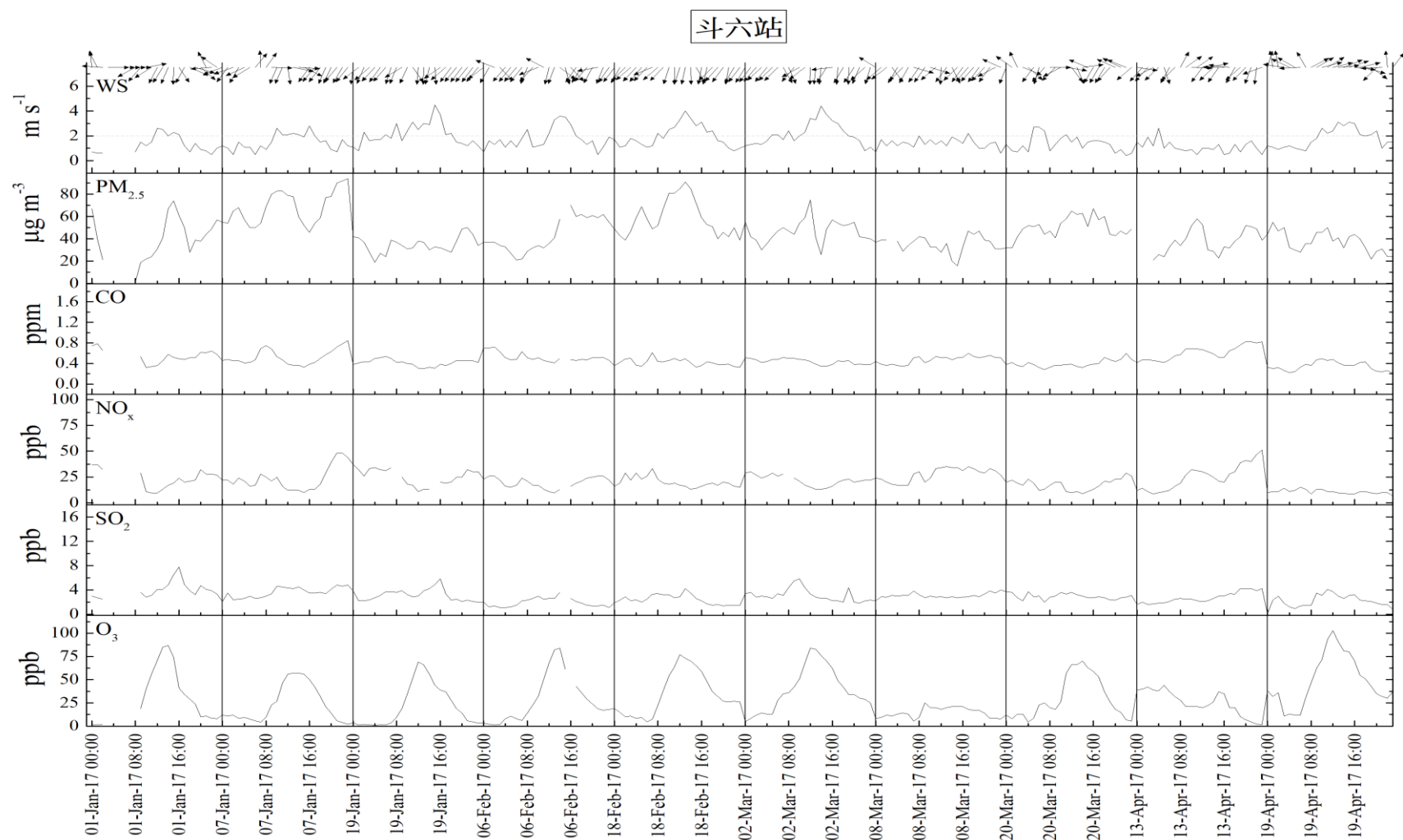


圖 4.3.10 斗六站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化

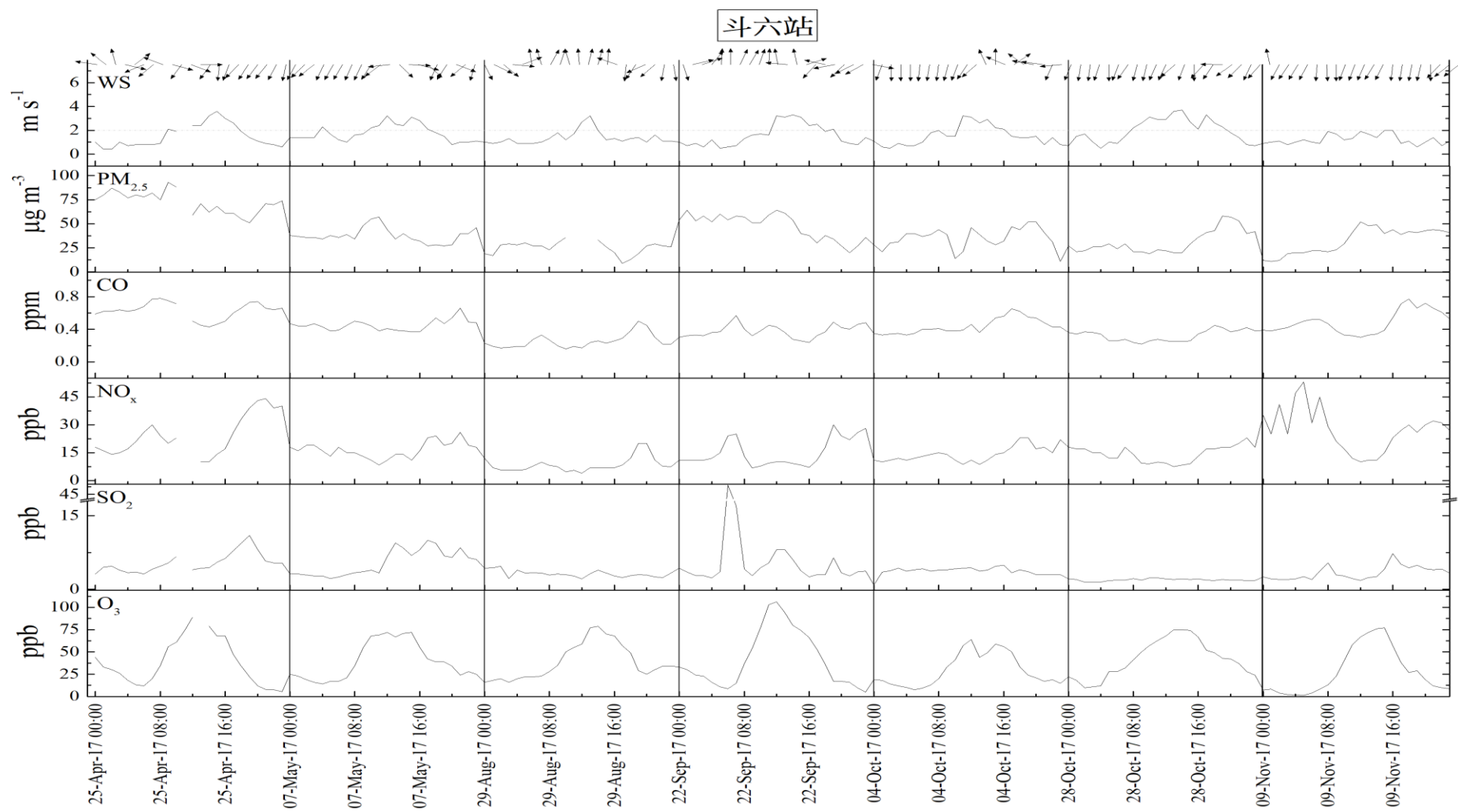


圖 4.3.10 斗六站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化(續)

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.3.11 為斗六站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分組成與質量濃度變化趨勢，本計畫手動採樣數值與環保署例行手動採樣數值十分接近，顯示採樣結果良好具有可信度。化學成分濃度指出冬季 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在每個樣本都有明顯占比，表示斗六站普遍受到在地污染影響，如 1 月 1 日及 1 月 7 日化學成分以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 為主，其次為修正後 OC 及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。除了在地影響外，2 月 6 日可以發現 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占比最高，其次為 OC，這天污染物濃度主要受到鄰近區域傳輸作用以及午後光化學作用影響。2 月 18 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度同樣受到了區域污染傳輸影響，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度僅次於 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度。斗六站大多時候 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 OC 濃度則是互有高低。

春季與冬季相似的現象，PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分為 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，其次為修正後 OC 及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，這種現象在污染物濃度較高時候更為明顯，特別在 4 月 25 日，可以發現有相當高的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度(31.57 μg m<sup>-3</sup>)，從軌跡與監測數據推斷這天污染源屬於在地排放影響，另外因環境擴散條件不佳，因此產生大量衍生污染物。前述使用軌跡數據推測污染來源時，指出春季採樣期間 3 月 2 日、4 月 19 日、5 月 7 日除了在低污染外，還受到區域污染物傳輸影響，從化學成分中也可發現此現象，3 月 2 日 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度與 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度十分接近，4 月 19 日與 5 月 7 日則 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度明顯較高，這顯示有區域污染傳輸現象時，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度有較高趨勢，在地污染排放則有較大量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。將區域與在地污染源化學成分特徵相互比較，可以發現斗六站在地污染排放較大。

夏季採樣期間斗六站化學成分主成與冬季及春季有相當大的不同，主要物種由 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 轉變為 CO 或 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，主要原因與環境天氣因子改變以及環境擴散條件改善有關，盛行風向已由冬季與春季的東北風轉為東南風，也減少來自北部的區域污染傳輸。前述空氣品質監測數據顯示這段時期污染源主要來自本地交通排放源，但是受到夏季高溫影響硝酸銨容易揮發，因此 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度降低，從夏季化學成分組成發現，這段期間交通與工業排放的影響各占一半。8 月 29 日為夏季污染物濃度最高的樣本，有明顯增加的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度，這項結果與忠明站 8 月 29 日相似，監測數據顯示傍晚交通排放高峰時期，PM<sub>2.5</sub> 濃度有明顯上升趨勢，推測推測本日 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 可能為夜間污染物濃度上升時有化學反應所導致。

秋季採樣期間斗六站化學成分與質量濃度變化趨勢一致，期間有四個樣本修正後濃度大於 35 μg m<sup>-3</sup>，污染成因都為本地與區域傳輸污染混合型，由於 9

月 22 日污染物濃度最高時段由前述空氣品質監測數據顯示為前日殘留與晨間交通排放污染物，此處相當高的揮發  $\text{NO}_3^-$  應為晨間與前夜殘留的交通排放污染物，另一方面 9 月 22 這天受到工業排放影響較 10 月份污染事件時嚴重，因此  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度也明顯高於 10 月 4 日及 10 日，另外 10 月份  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高與次高的兩個樣本，雖然同樣受到傳輸污染影響，但影響程度小於 9 月份的污染事件，這兩個樣本受到傍晚交通排放影響，有相當明顯的  $\text{NO}_3^-$  濃度。11 月的污染事件濃度較 10 月更低出少許，主要物種為  $\text{NO}_3^-$ ，雖然前述監測資料指出 11 月 9 日這天受到區域污染物傳輸影響，但時間短暫，因此  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度較低，當天污染源以本地排放為主。

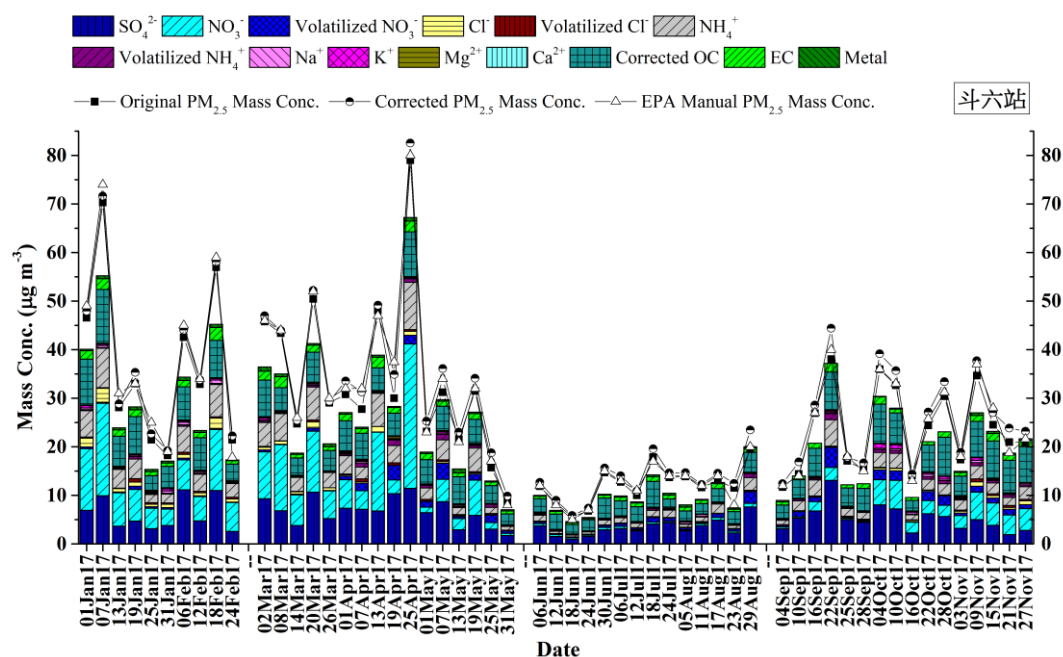


圖 4.3.11 斗六站 2017 年例行性採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  成分濃度隨時間變化 (2 月 24 日、4 月 19 日、8 月 23 日環保署例行手動採樣數據缺值，圖中使用自動儀器監測數據)

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.3.12 為斗六站採樣期間每日各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子(Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間，高濃度金屬元素只有元素 Zn 的富集因子接近 1000 ( $\log_{10}1000=3$ )，顯示受到人為影響程度相當高，Zn 為常見交通排放、輪胎和剎車磨損、垃圾焚化、二次冶煉指標金屬元素。中間區間的金屬元素濃度大多在  $5 \sim 60 \text{ ng m}^{-3}$ ，並以交通排放或鋼鐵工業指標金屬元素 Mo 及燃煤及工業排放指標金屬元素 Pb 有相對較高的富集因子，可能與監測地區高交通密集度或周遭鄰近工業有關，其他受人為活動影響金屬元素 Ni、V 及 Cu 也有大於 10 的富集因子，其中 Ni 及 V 主要來自燃油燃燒，金屬元素 Cu 則可能來自工業影響或是汽車剎車墊片磨損產生。低濃度金屬元素則是以採樣期間濃度在  $12 \text{ ng m}^{-3}$  以下的金屬元素為主，以 Sn、Sr、Se 濃度含量最高，這些金屬元素主要與工業鍋爐所使用的燃料有關。

冬季斗六站金屬元素總濃度普遍大於  $1500 \text{ ng m}^{-3}$ ，金屬元素中 Na、K 這兩類高濃度金屬元素為主要質量貢獻源，顯示受到農廢燃燒與海鹽影響，此外，這段期間工業污染指標金屬元素也有不低的濃度，例如 1 月 7 日，這天除了燃煤金屬元素 Se、Sn、Pb 以及燃油指標金屬元素 V、Ni 有明顯濃度出現外，機動車輛剎車磨損指標金屬元素 Sb、Cu 同樣有較明顯濃度，對比 1 月 19 日這天雖然同樣有污染事件，但是 1 月 7 日受到交通排放影響似乎較多，1 月 19 日則是燃煤燃燒影響較為明顯，兩日都為東北風，但 1 月 19 日風速較大，強東北風似乎較容易傳輸燃煤燃燒污染物至監測站。

春季採樣期間，與忠明與板橋站相似，工業污染指標金屬元素普遍降低，不過在 3 月 2 日這天污染事件日中，仍可看見常見工業污染指標金屬元素，由於這天污染物濃度主要受到東北風傳輸影響，顯示斗六站上風處燃煤相關排放源，確實為造成當地污染事件的影響因子。

夏季金屬元素濃度與各站結果相似，各類指標金屬元素濃度明顯降低，主要以塵土金屬元素為主，金屬元素 Ti、Ca 為這段時期，高、中、低金屬元素區間中的主要物種。

秋季採樣期間 9 月開始東北季風逐漸轉強，在 9 月 22 日時斗六站受到區域污染傳輸影響，當天為污染事件，各濃度區間指標金屬元素濃度變化顯示，高濃度區間以 Fe、Na、K、Ca 等金屬元素為主，這些金屬元素主要來自塵土或海鹽，金屬元素 Zn 則顯示受到交通或工

業製程影響，中濃度區間的燃油指標金屬元素 V、Ni 同樣在這天有較高濃度而低濃度區間的燃煤指標金屬元素同樣有這種情況出現，顯示強東北季風除了夾帶大量揚塵外，也將斗六以北或測站北方的工業鍋爐廢氣傳輸至監測站。

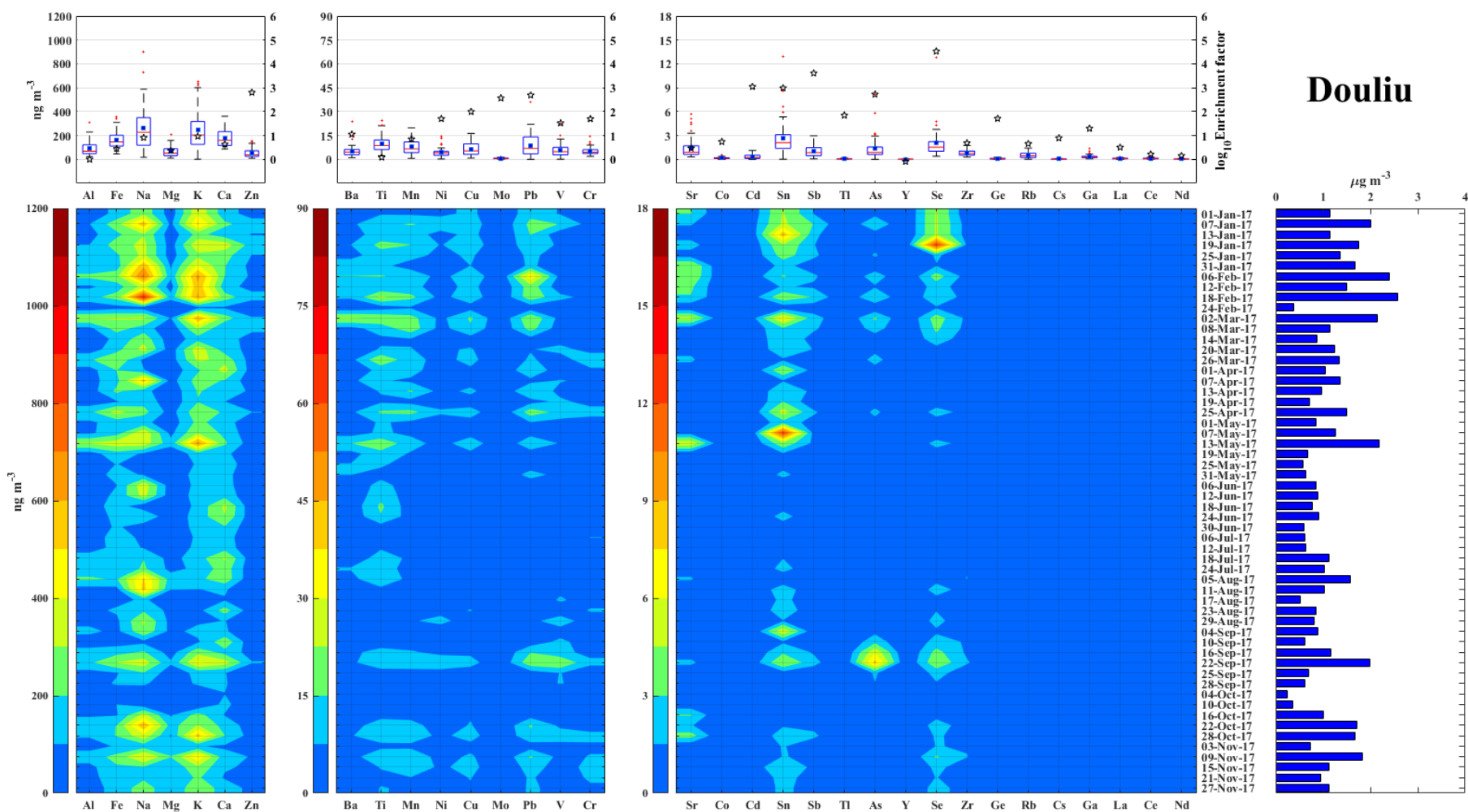


圖 4.3.12 斗六站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。



#### 4.3.4 嘉義站

##### 1.環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

表 4.3.4 嘉義站採樣期間污染物日平均濃度與氣象因子，圖 4.3.13 為採樣期間污染物濃度較高採樣日氣流逆推軌跡，本計畫結合監測與軌跡模擬資料，判讀各月份污染物濃度較高時期可能的污染成因。1 月份採樣期間，除了 1 月 25 日外其餘四個採樣日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度普遍偏高，分別達 43、61、35 及 34  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，並且可發現 1 日及 7 日濃度高於後兩次採樣，主要的差異為環境風速，前兩日環境風速僅有 1.3 及 1.7  $\text{m s}^{-1}$ ，擴散條件較差，因此污染物濃度明顯較高，另外，軌跡資料顯示四段採樣期間，除了 13 日可能受到境外污染源影響外，這四天都可能受到區域污染物傳輸影響，詳細資料需要透過監測資料小時值進行評估。2 月份採樣期間 2 月 6 日、12 日及 18 日有較高  $\text{PM}_{2.5}$  濃度，濃度分別為 45、38 及 62  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，由於 CO 和  $\text{NO}_x$  濃度與低  $\text{PM}_{2.5}$  濃度時期並無明顯較高，從逆推軌跡資料推測，當日污染物可能與鄰近區域污染傳輸有關，此外，環境中的高臭氧濃度也可能造成衍生污染物的增量，使這些樣本  $\text{PM}_{2.5}$  濃度超標。三月份的 3 月 2 日、8 日、20 日  $\text{PM}_{2.5}$  日平均值明顯高於期間其他採樣日，軌跡資料顯示 3 月 2 日受到北、中部氣流傳輸影響，當天除了有較高的風速外， $\text{SO}_2$  與臭氧都為三月份採樣期間日平均值最高值。3 月 8 日整體環境風速對比 3 月 2 日有明顯降低，氣流軌跡線顯示當日雖然沒有境外污染源影響，從軌跡路徑判斷當天污染物濃度可能受到北、中部污染傳輸影響，氣態污染物組成與 3 月 2 日有所差異， $\text{NO}_x$  明顯高出少許，不排除當日污染物濃度受到在地污染源影響。3 月 20 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度為三月份採樣期間最高值，氣流軌跡線推測當天污染源主要來自在地，從監測資料也可發現當天日平均風速為三月份採樣期間最低值，顯示環境擴散條件不良導致污染物濃度偏高。四月份採樣期間有 4 月 13 日和 25 日  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度明顯超出空氣品質標準值，其中 4 月 25 日更高達 76  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，從監測資料的低環境風速以及 CO 和  $\text{SO}_2$  濃度明顯高於其四月份他採樣日， $\text{NO}_x$  和  $\text{O}_3\text{max}$  濃度則是四月份採

樣日次高濃度，顯示在環境擴散條件差的情況下，污染物濃度受到在地交通與工業排放影響。五月份嘉義站採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度以 5 月 7 日最高，其次為 5 月 19 日，兩者分別為  $35$  與  $31 \mu\text{g m}^{-3}$ ，其他日期濃度皆在  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，顯示空氣品質相當良好。5 月 7 日氣流軌跡路徑可能受到上海附近及北、中部都會區區域傳輸影響，當天有較高的風速與  $\text{SO}_2$  濃度，推測也受到鄰近都會區工業排放影響。5 月 19 日監測資料顯示有五月份採樣期間最高的  $\text{CO}$  濃度以及次高的  $\text{NO}_x$  濃度，推測與在地交通排放源有關。六至八月份夏季採樣期間，嘉義站空氣品質相當良好， $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度為  $7$  至  $19 \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中濃度較高的採樣日為 8 月 29 日，當天風速僅  $1.5 \text{ m s}^{-1}$ ，各項污染前驅物除了  $\text{SO}_2$  濃度為  $4 \text{ ppb}$ ，高出其他採樣日少許，其他物種並沒有特別突出高值，可能受到鄰近工業排放影響，另外，軌跡資料則顯示當天氣流來向為東部外海，經由宜花地區傳入嘉義站，氣流軌跡短，當天風速並不高，因此污染源應為在地排放。九月份污染物濃度最高日為 9 月 22 日， $\text{PM}_{2.5}$  濃度高達  $52 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這天所有氣態污染物濃度皆是九月份最高，環境風速為  $1.8 \text{ m s}^{-1}$ ，與其他九月份採樣日並無太大差異，另外比較忠明、斗六站數據可以發現，這天嘉義站濃度最高，顯示污染可能順著風向往南傳輸，軌跡資料也有相似的現象，因此這天可能受到區域污染物傳輸影響。十月份採樣期間污染物濃度最高日為 10 月 4 日，這天  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度為  $45 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這天各項氣態污染物並沒有比其他採樣日高，環境風速也有約  $2 \text{ m s}^{-1}$ ，從軌跡資料推測，當天污染物可能來自嘉義站北方，主要來自區域污染物傳輸影響，除了 10 月 4 日，10 月 28 日也有不低的濃度， $\text{PM}_{2.5}$  日平均值為  $34 \mu\text{g m}^{-3}$ ，10 月 28 日比 10 月 4 日有更高的  $\text{NO}_x$  與  $\text{SO}_2$  濃度，軌跡路徑與 10 月 4 日相似，同樣有可能受到區域污染物傳輸影響。11 月採樣期間，嘉義站最高濃度出現在 11 月 9 日，濃度為  $36 \mu\text{g m}^{-3}$ ，污染前驅氣體皆為採樣期間最高，同時環境風速  $1.5 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示受到擴散條件較差影響，導致污染物濃度提升，另外軌跡資料則顯示氣流來向為黃海海面，但傳輸到台灣後由台灣東北角向南傳輸，前述監測資料顯示由北至南風速遞減，但軌跡路徑低，可能受到區域污染物傳輸影響。

表 4.3.4 嘉義站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
1-Jan-17	嘉義	43	0.6	19.2	3.4	81	北北西	1.3	20	25	77.8	NR
7-Jan-17	嘉義	61	0.6	22.3	3.9	64	北北西	1.7	22	26	75.9	NR
13-Jan-17	嘉義	35	0.6	24.6	2.9	42	北北西	2.3	20	23	75.5	NR
19-Jan-17	嘉義	34	0.6	23.9	4.5	57	東北	2.6	21	27	74.3	NR
25-Jan-17	嘉義	24	0.4	23.5	2.8	51	東北	2.7	17	23	68.7	NR
31-Jan-17	嘉義	21	0.4	13.5	2.4	58	北北西	2.5	18	23	69.0	NR
6-Feb-17	嘉義	45	0.7	23.0	4.5	79	西北	2.1	20	25	68.4	NR
12-Feb-17	嘉義	38	0.5	20.8	4.2	61	北北西	1.8	16	20	59.9	NR
18-Feb-17	嘉義	62	0.5	19.8	3.8	72	西北	2.8	20	25	70.0	NR
24-Feb-17	嘉義	22	0.6	28.9	2.8	18	東北	2.6	15	16	74.2	NR
2-Mar-17	嘉義	45	0.6	25.9	4.7	88	西北	3.0	19	24	54.9	NR
8-Mar-17	嘉義	42	0.7	33.0	2.9	24	西北	1.9	15	16	85.5	10.0
14-Mar-17	嘉義	25	0.5	20.3	3.4	46	西北	3.1	19	22	67.4	NR
20-Mar-17	嘉義	50	0.5	20.1	2.7	62	西北	1.8	24	28	70.7	NR
26-Mar-17	嘉義	25	0.6	-	1.5	35	東北	2.2	16	17	81.9	5.2
1-Apr-17	嘉義	33	0.5	15.9	4.2	81	東北	3.3	18	23	61.7	4.2
7-Apr-17	嘉義	28	0.4	15.0	3.2	74	西南	1.7	25	29	66.0	NR
13-Apr-17	嘉義	45	0.8	29.0	5.9	40	東北	1.5	19	21	84.3	9.2
19-Apr-17	嘉義	34	0.3	10.3	3.3	115	西南	2.2	28	33	68.3	4.2
25-Apr-17	嘉義	76	0.7	23.0	6.5	86	西北西	1.8	26	30	72.9	NR
1-May-17	嘉義	17	0.4	12.4	1.7	65	西北	1.8	26	31	53.5	NR
7-May-17	嘉義	36	0.4	13.9	6.6	73	西北西	2.3	27	32	70.0	NR
13-May-17	嘉義	16	0.3	11.6	3.1	33	東南東	1.7	29	33	68.0	NR
19-May-17	嘉義	31	0.5	15.1	2.0	77	西北西	1.9	26	30	76.8	1.0
25-May-17	嘉義	16	0.4	16.4	3.7	55	西南	1.6	27	30	80.6	17.4
31-May-17	嘉義	10	0.2	5.6	2.6	48	西南	1.8	28	32	76.3	NR
6-Jun-17	嘉義	11	0.2	8.1	3.0	56	東	1.8	30	34	69.7	NR
12-Jun-17	嘉義	8	0.2	7.5	2.9	51	南南西	2.7	31	35	60.9	5.8
18-Jun-17	嘉義	7	0.4	12.6	2.7	19	東	1.4	25	27	90.3	3NR
24-Jun-17	嘉義	8	0.1	7.8	2.8	48	東南東	2.0	30	34	66.3	NR
30-Jun-17	嘉義	15	0.2	10.0	2.5	90	東北	1.6	29	36	68.3	28.2

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

表 4.3.4 嘉義站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子(續)

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
6-Jul-17	嘉義	13	0.2	8.9	3.1	52	東	1.5	28	32	79.7	125.8
12-Jul-17	嘉義	12	0.2	8.4	2.6	63	東	1.6	29	34	68.7	NR
18-Jul-17	嘉義	18	0.3	9.5	2.4	85	東	1.7	29	36	72.5	38.2
24-Jul-17	嘉義	12	0.2	5.9	3.6	39	東	1.8	29	33	71.3	NR
5-Aug-17	嘉義	10	0.1	3.2	2.9	34	西南西	1.8	30	33	70.3	NR
11-Aug-17	嘉義	11	0.2	4.5	2.6	35	西南	1.9	30	34	69.7	NR
17-Aug-17	嘉義	13	0.2	6.2	2.2	62	西南西	1.8	31	35	60.7	NR
23-Aug-17	嘉義	9	0.3	9.2	1.6	52	西南	1.7	29	34	73.5	NR
29-Aug-17	嘉義	19	0.2	7.2	4.0	65	東	1.5	29	34	77.1	1.8
4-Sep-17	嘉義	12	0.3	9.3	1.8	49	西北西	1.7	29	33	76.2	1.2
10-Sep-17	嘉義	11	0.3	9.1	3.0	48	西北	1.5	29	32	76.2	NR
16-Sep-17	嘉義	24	0.3	10.4	3.8	89	東南東	1.8	30	35	64.1	NR
22-Sep-17	嘉義	52	0.5	14.5	5.1	98	西北	1.8	31	35	66.3	NR
25-Sep-17	嘉義	19	0.3	10.5	2.5	58	東南東	1.5	30	34	73.2	0.2
28-Sep-17	嘉義	20	0.3	10.2	3.5	57	東	1.8	30	33	74.0	NR
04-Oct-17	嘉義	45	0.4	12.0	3.5	74	北北西	2.0	29	32	77.1	NR
10-Oct-17	嘉義	24	0.3	11.3	4.2	93	東	1.4	30	35	68.0	NR
16-Oct-17	嘉義	11	0.3	15.9	3.6	47	北北西	1.9	27	32	83.9	NR
22-Oct-17	嘉義	29	0.4	13.9	3.8	83	北	3.1	23	28	55.2	NR
28-Oct-17	嘉義	34	0.4	16.9	4.2	76	北	2.9	23	27	68.3	NR
03-Nov-17	嘉義	22	0.3	19.1	2.3	55	北	2.9	24	28	82.3	NR
09-Nov-17	嘉義	36	0.6	22.2	3.8	71	北北西	1.5	25	29	77.0	NR
15-Nov-17	嘉義	32	0.5	29.7	4.3	66	北北西	1.8	24	29	80.8	NR
21-Nov-17	嘉義	22	0.5	25.2	4.6	63	北	2.1	23	28	77.8	NR
27-Nov-17	嘉義	20	0.5	24.0	4.5	58	北	1.8	24	31	76.4	0.6

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

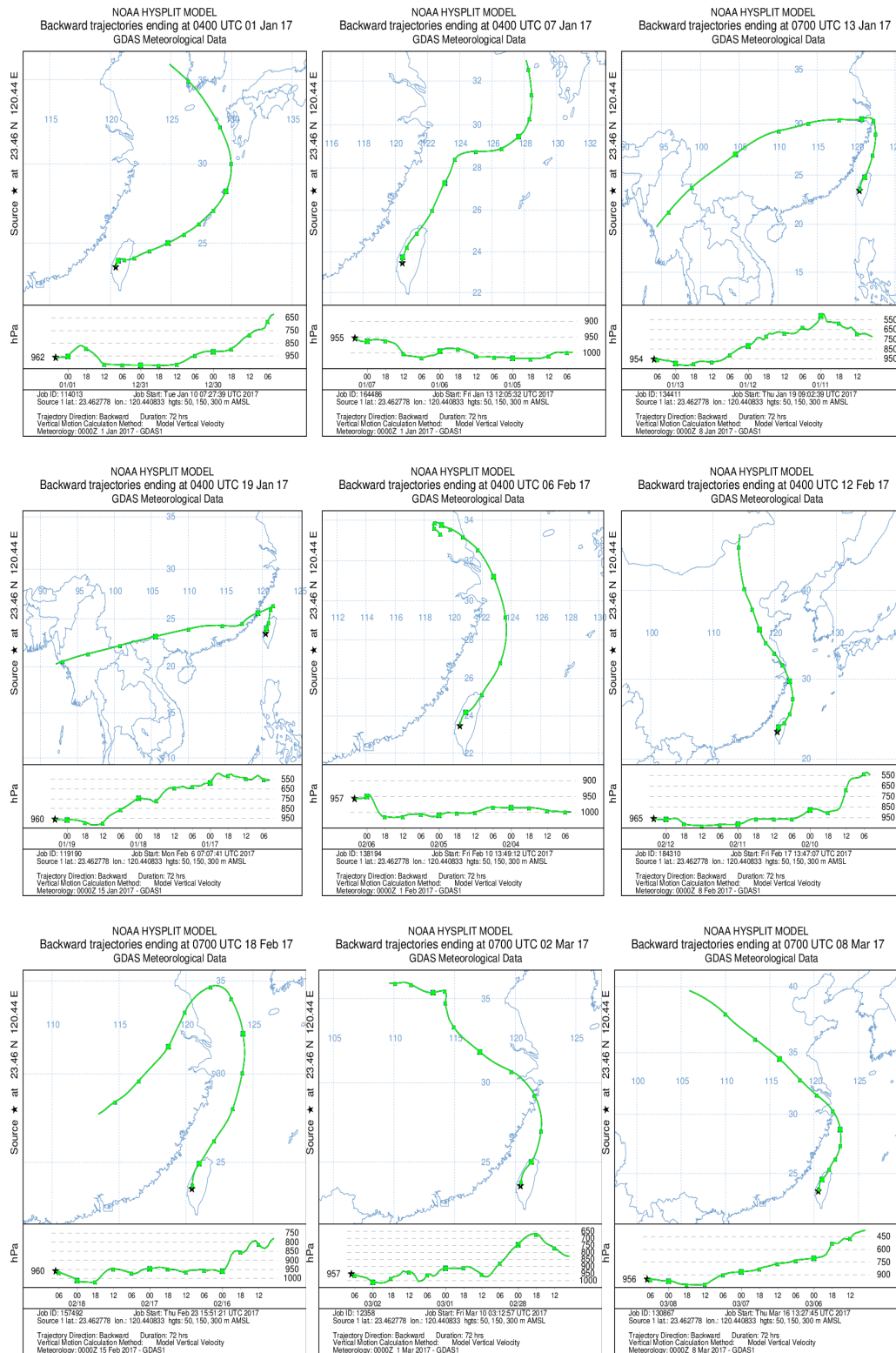


圖 4.3.13 嘉義站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (由左上至右下分別為 1 月 1 日、1 月 7 日、1 月 13 日、1 月 19 日、2 月 6 日、2 月 12 日、2 月 18 日、3 月 2 日、3 月 8 日)

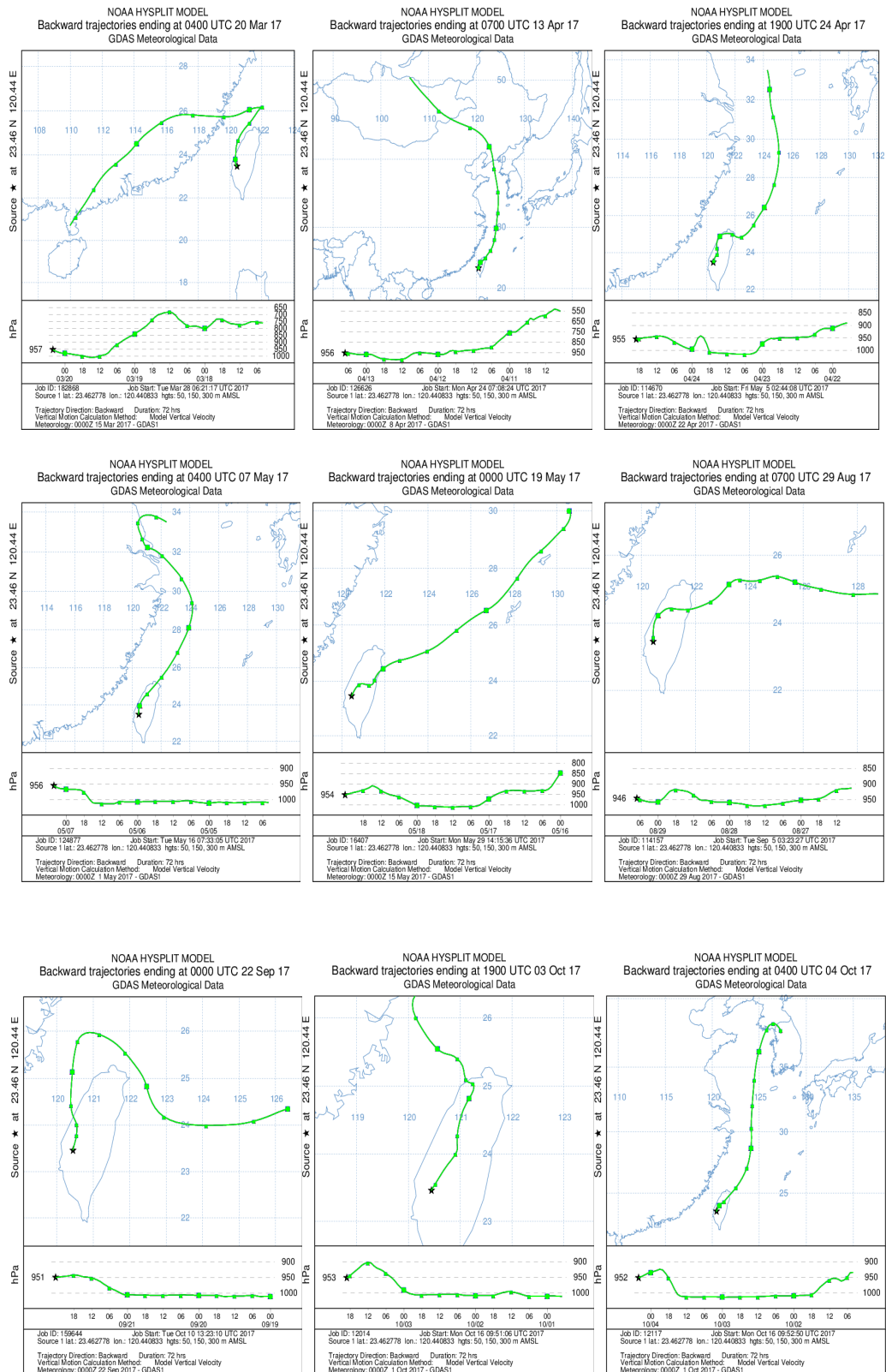


圖 4.3.13 嘉義站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (續 1) (由左上至右下分別為 3 月 20 日、4 月 13 日、4 月 25 日、5 月 7 日、8 月 29 日、9 月 22 日、10 月 4 日)

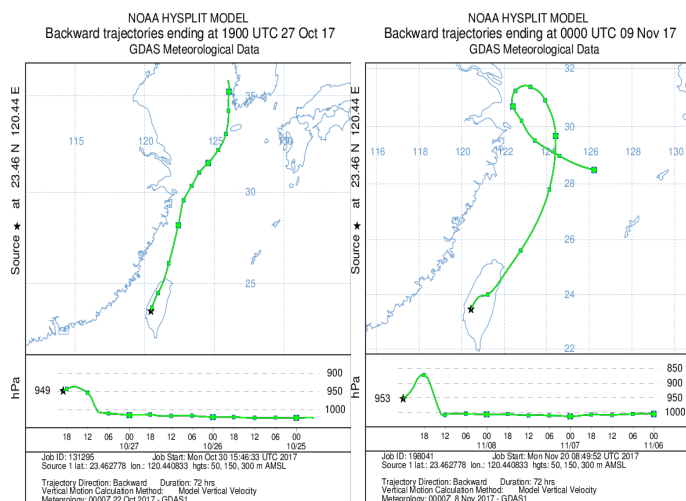


圖 4.3.13 嘉義站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡(續 2) (由左至右分別為 10 月 27 日、11 月 9 日)

圖 4.3.14 的各主要監測項目時間序列變化顯示，1 月 1 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度從 8 時至 15 時由  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  迅速上升至  $79 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間風速與  $\text{SO}_2$  及  $\text{O}_3$  都出現相同的上升趨勢， $\text{O}_{3,\text{max}}$  達到 81 ppb，主要風向為北北西風，推測污染物傳輸來自北北西方。1 月 7 日這天  $\text{PM}_{2.5}$  日平均濃度是 1 月份採樣期間最高的一天，當日有兩段濃度高峰，第一段在清晨 4 時開始，環境低風速有利污染物累積，6 時  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  濃度明顯上升，顯示受到在地交通源排放影響，一直到 8 時達到第一段  $\text{PM}_{2.5}$  濃度高值  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ ，第二段高值從 16 時以後，受到環境低風速影響， $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  濃度明顯上升，受到在地交通源排放影響，光化反應可能也扮演一個次要角色。1 月 19 日 18 時  $\text{SO}_2$  雖然有尖峰濃度，對  $\text{PM}_{2.5}$  濃度影響不大， $\text{O}_3$  每天也都有不高的尖峰濃度。2 月 6 日、12 日、18 日這三天， $\text{PM}_{2.5}$  日平均值都高於空氣品質標準， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{O}_3$  濃度都隨風速上升有明顯上升趨勢，並且污染物濃度上升時風向主要為西北風，但  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度時間  $\text{CO}$  和  $\text{NO}_x$  並沒有特別高值，推測  $\text{PM}_{2.5}$  濃度受到上風區域污染排放影響。另外，從  $\text{SO}_2$  濃度的變化特性發現，1 月 19 日、2 月 6 日以及 2 月 12 日，這幾日 18 時，風向為西北風時都出現明顯  $\text{SO}_2$  濃度尖峰值，顯示與西北方向鄰近污染排放源有關。3 月 2 日當天  $\text{PM}_{2.5}$  日平均值高達  $45 \mu\text{g m}^{-3}$ ，從 0 時開始就可發現環境中仍有前一日殘留的污染物濃

度，雖然 1 至 2 時，PM<sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升有所下降，但是 4 時起，污染物濃度隨風速逐漸上升，這種現象持續到上午 10 時才停止，除了 PM<sub>2.5</sub> 外，SO<sub>2</sub> 也有相同的現象發生，當時風向為北風，推測這段期間污染物濃度上升受到北、中部污染傳輸影響；中午過後 PM<sub>2.5</sub> 濃度又再度隨風速逐漸上升，這時臭氧濃度也累積至當日尖峰濃度的 88 ppb 這段期間除了污染傳輸影響也受到光化學作用的影響。

3 月 8 日上午期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度均維持 40  $\mu\text{g m}^{-3}$  左右波動，16 時過後 PM<sub>2.5</sub> 濃度逐漸上升，同時 CO 與 NO<sub>x</sub> 有相似的變化趨勢，推測這段期間受到在地交通排放影響，當 CO 與 NO<sub>x</sub> 降低後 PM<sub>2.5</sub> 仍舊持續上升，顯示當環境擴散條件不佳，污染物於環境中持續累積。3 月 20 日監測資料小時值顯示環境風速時高時低跳動十分明顯，風向也呈現較為凌亂的型態，因此污染物濃度並無法有效擴散稀釋，濃度不斷累積上升，上午 8 時 CO 與 NO<sub>x</sub> 明顯同步上升，顯示在地交通排放量提升，這些原因致使濃度不斷累積，中午過後風向轉為西北風並且趨於穩定，風速也維持在 2  $\text{m s}^{-1}$  以上，環境擴散條件的改變使污染物濃度明顯降低，不過在 16 時之後受到交通排放的影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯再度上升，從污染物時間變化顯示這日污染物的累積明顯與在地排放有關。4 月 1 日在 8 時以前受到高風速影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度甚低，但 8 時過後，污染濃度開始累積，由於風向來自北方，呼應前述氣流軌跡線分析，有北、中部都會區污染物傳輸至測站。4 月 13 日整日環境風速幾乎低於 2  $\text{m s}^{-1}$ ，顯示環境擴散條件並不理想，從氣態污染物與 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化趨勢則可發現 CO 與 NO<sub>x</sub> 與 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化一致，顯示微粒濃度上升與交通排放有關，另外 17 時開始 SO<sub>2</sub> 濃度急遽上升，幅度十分明顯，這段期間各項污染物濃度都明顯上升，顯示這段期間的污染除了交通排放源也可能包含了工業鍋爐的排放。4 月 25 日污染物濃度在上午 8 時前居高不下，平均達 95  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間風速約為 1  $\text{m s}^{-1}$ ，環境擴散條件不佳，高濃度來自前日污染物殘留，從濃度變化趨勢還可發現上午 7 時還有微幅上升趨勢，與 CO 及 NO<sub>x</sub> 濃度變化相吻合，顯示同時受到交通排放疊加影響；午後由於風速上升，環境擴散條件改善，氣態污染物濃度與 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯下降，17 時過後受到下午交通尖峰時段影響污



染物濃度再度上升，這段期間還可發現  $\text{SO}_2$  濃度同步上升，顯示除了交通排放影響也包含了工業排放的影響，值得注意的是嘉義站本日  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  濃度從 16 時候濃度急遽升高現象和同日斗六站相類似，但濃度更高，風速變化也類似，回顧板橋和忠明站 4 月 25 日 16 時過後也有各項污染物濃度急遽升高現象，只是沒有斗六和嘉義站高。五月份嘉義測站風速和污染物濃度隨時間變化形態，5 月 7 日是五月份採樣期間日平均濃度最高的一天，這天  $\text{PM}_{2.5}$  濃度從 0 時開始就有約  $45 \mu\text{g m}^{-3}$ ，上午 6 時左右，風速由  $0.8 \text{ m s}^{-1}$  提升至  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ ， $\text{PM}_{2.5}$  濃度 47 降至  $38 \mu\text{g m}^{-3}$ ，上午 7 時至 8 時這段期間風速再度下降， $\text{PM}_{2.5}$  濃度回升至  $43 \mu\text{g m}^{-3}$ ，到了上午 9 時過後風速由  $0.7 \text{ m s}^{-1}$  上升至  $2.9 \text{ m s}^{-1}$ ，這兩小時之中  $\text{PM}_{2.5}$  濃度由 43 上升至  $51 \mu\text{g m}^{-3}$ ， $\text{SO}_2$  濃度也出現微幅上升，這段期間風向由北北西轉為西西北，推測受到上風處工業排放影響導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度隨風速回升，中午過後風向轉為西北風，風速也明顯變大， $\text{PM}_{2.5}$  濃度逐漸下降，這天污染物受到短暫境外及北、中部都會區傳輸影響，主要來自前日污染物累積與在地工業排放。5 月 19 日受到前日污染物累積影響，0 點開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就有約  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，上午 6 時受到交通尖峰時段影響， $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  濃度同步上升，中午 12 時  $\text{PM}_{2.5}$  以及  $\text{SO}_2$  濃度隨風速風向有明顯上升，濃度由  $40 \mu\text{g m}^{-3}$  上升至  $48 \mu\text{g m}^{-3}$ ，顯示受到上風處工業排放影響，隨後風向由西北轉為東北， $\text{PM}_{2.5}$  濃度再度降低，中午濃度上升的情況與 5 月 7 日上午十分相似，受到西北方污染源影響導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升，顯示測站西北方可能存在潛在污染源。8 月 29 日為夏季採樣期間污染物濃度較高的一天，監測資料顯示當日風速長時間位於  $1 \text{ m s}^{-1}$  以下，顯示主要成為環境擴散條件不佳。9 月 22 日西部各測站皆出現污染物濃度偏高的現象，從軌跡線推測可能受到區域污染物傳輸影響，但監測資料可發現 0 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度高達  $74 \mu\text{g m}^{-3}$ ，環境風速低於  $1 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示受到前日夜間污染殘留影響，不過這段峰值在上午 3 時降低至  $34 \mu\text{g m}^{-3}$ ，此時風速並未有明顯提升，上午 4 時至 9 時， $\text{PM}_{2.5}$  濃度再度上升至  $81 \mu\text{g m}^{-3}$ ，此時風向為東北風，可能為低風速東北風將靠近山腳的污染物吹往嘉義市中心，這波峰值一直到 10 時過後，受到逐

漸增強的西北風影響，濃度才開始降低。10 月 4 日監測資料小時值顯示 0 時開始環境中  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約有  $32 \mu\text{g m}^{-3}$ ，一直到上午 8 時之前，由於環境風速僅  $0.6\sim 2 \text{ m s}^{-1}$ ，因此污染物於這段期間累積至  $51 \mu\text{g m}^{-3}$ ，9 時至 12 時受到風速上升影響，污染物濃度逐漸降低，15 到 18 時這段期間，風速約在  $3 \text{ m s}^{-1}$  以上，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度由  $26 \mu\text{g m}^{-3}$  上升至  $55 \mu\text{g m}^{-3}$ ，此外，CO 與  $\text{NO}_x$  皆同步上升，考量風速不低的情況下污染物濃度同時上升，表示這段期間除了交通排放影響，也可能包含上風區域傳輸影響。10 月 28 日上午 8 時開始風速由  $3.3 \text{ m s}^{-1}$  上升至  $4.6 \text{ m s}^{-1}$ ， $\text{PM}_{2.5}$  濃度同樣由  $19 \mu\text{g m}^{-3}$  上升至  $38 \mu\text{g m}^{-3}$ ，各項氣態污染物並沒有明顯濃度值，顯示受到北風夾帶區域污染物傳輸影響，下午 17 時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度出現另一波峰值，此時 CO 與  $\text{NO}_x$  有相似變化趨勢，這段期間  $\text{PM}_{2.5}$  上升可能受到交通排放影響，這天的污染物濃度主要來自區域傳輸與在地排放。11 月 9 日這天清晨  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，上午 7 時左右，約有一段風速較高的東北風，使  $\text{PM}_{2.5}$  濃度降低至  $15 \mu\text{g m}^{-3}$ ，因此  $\text{PM}_{2.5}$  濃度並未受到晨間交通排放影響而上升，不過 9 時過後， $\text{PM}_{2.5}$  濃度似乎伴隨逐漸上升的風速不斷攀高，這段期間風速最高為  $3.1 \text{ m s}^{-1}$ ，同時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度為  $51 \mu\text{g m}^{-3}$ ，顯示受到污染物傳輸影響，到了 16 時過後，上風污染物傳輸的現象才停止，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與風速一同下降，不過晚間 19 時，擴散條件明顯較差，可以發現各項污染前驅物濃度於夜間不斷累積上升，這段時間污染來源應為本地排放。

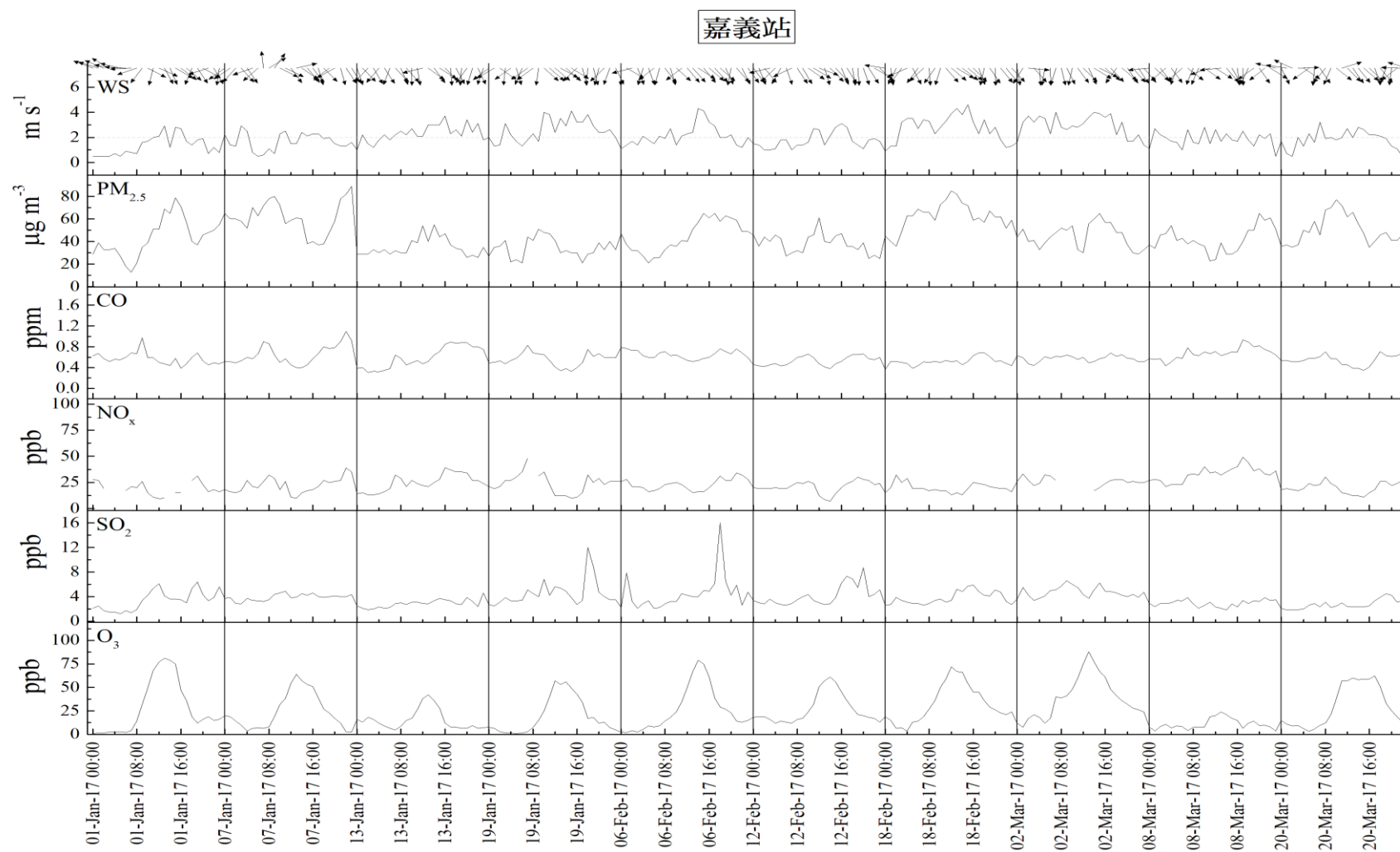


圖 4.3.14 嘉義站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化

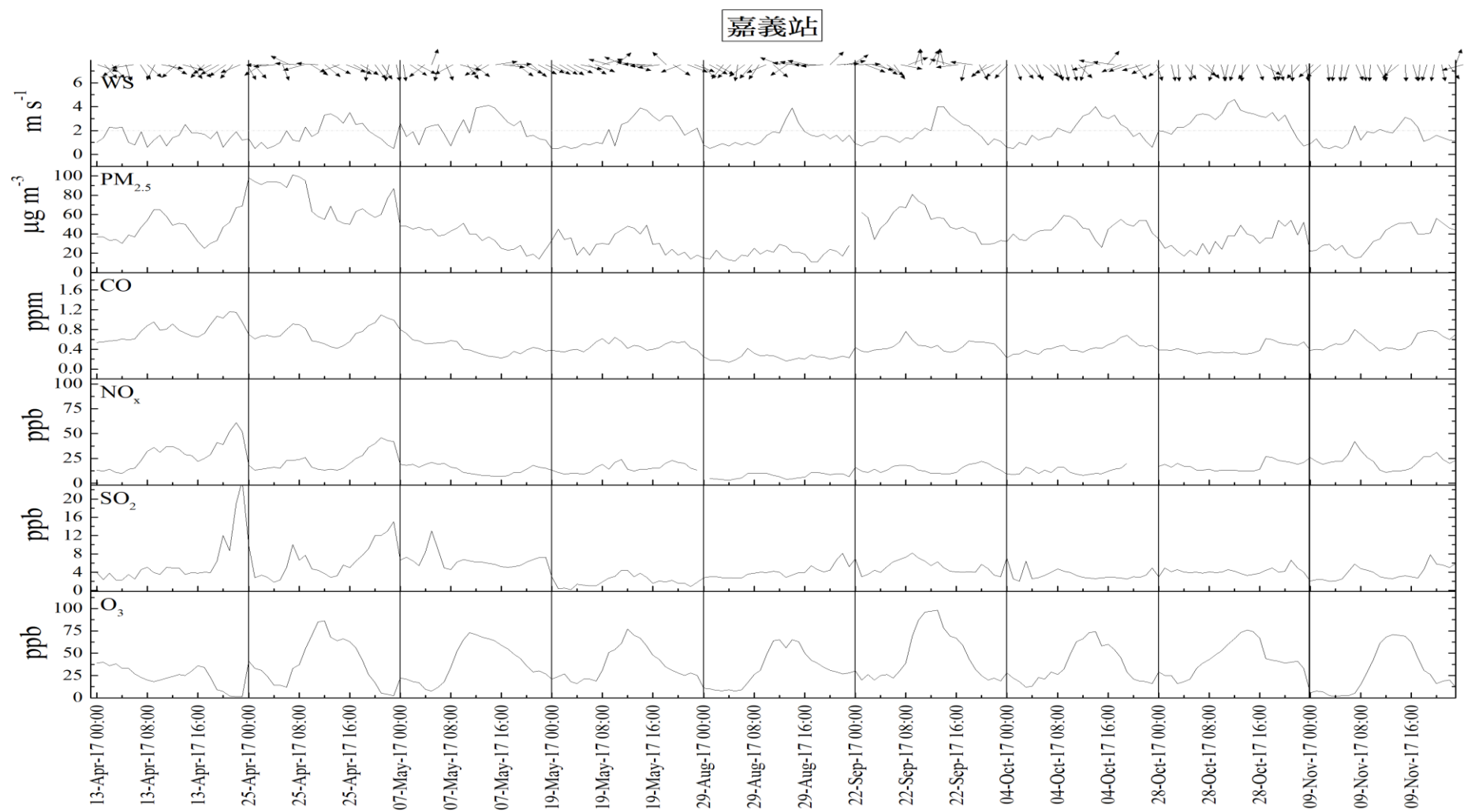


圖 4.3.14 嘉義站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化(續)

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.3.15 為嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度變化趨勢，採樣期間本計畫採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署公告例行手動採樣濃度相當吻合，顯示採樣結果良好具有可比性。1 月 19 日 MetOne SASS 化學成分採樣器主機板異常，導致採集水溶性離子的通道在啟動後隨即中止運轉，因此，當日樣本損失水溶性離子成分，造成解析百分比低。嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度變化與斗六站極為相似，1 月 1 日主要受到在地污染源影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 濃度。1 月 7 日受到在地車輛排放影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 濃度。2 月 6 日 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度高出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度，由前述氣流軌跡及空品監測數據推測，嘉義測站主要受在地及上風區域傳輸影響，另外也受到午後光化學作用的影響。

春季採樣期間，嘉義站化學成分與斗六站組成十分相似，顯示兩個地區污染物來源相類似，主要組成以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 OC 濃度，此外 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>揮發濃度在 4 月下旬有明顯增加趨勢，顯示春季中期環境溫度提升，揮發 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度明顯增加。

夏季採樣期間化學成分與質量濃度也與斗六站相似，PM<sub>2.5</sub> 濃度為一年中最低，受到擴散條件與盛行風向等環境因子改變，主要物種由 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>轉變為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，空氣品質監測與氣流軌跡數據顯示這段期間污染物大多來自本地污染源，主要以交通排放污染為主，但是受到環境溫度升高影響，揮發性成分占比大量降低，其中以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>減少幅度最為明顯。

秋季採樣期間嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯上升，化學成分在 11 月中前以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>為主，不過 10 月 4 日與 10 日這兩日則以修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>為主，差異的主因與污染來源有關，以 9 月 22 日為例，當天受到前日污染物殘留影響，環境中有相當高的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，這顯示前日的污染物與燃燒石化燃料有關，推測為嘉義周遭工業排放廢氣，由於低風速，擴散稀釋速度慢，於環境中生成許多衍生污染物，10 月 4 日與 10 月 10 日則受到日間與夜間交通尖峰時段影響，因此 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>有相當高濃度，另外可以發現 10 月下旬過後，環境溫度降低約 5 度，硝酸銨與氯化銨等易揮發物種所採集到的濃度明顯高於 9 月上旬與夏季，另外 11 月份修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度明顯高於 10 月及九月份污染事件，除了環境溫度影響外，也可能與受到區域污染物傳輸影響時段有關，前述監測資料顯示 11 月受到污染傳輸影響時，時間較

短，且風速不高，因此帶來的區域污染物濃度較低，此外 11 月各日  $\text{NO}_x$  濃度明顯高於 9 月及 10 月份，顯示本地污染前驅物濃度較高，可能與秋末擴散條件變差有關。

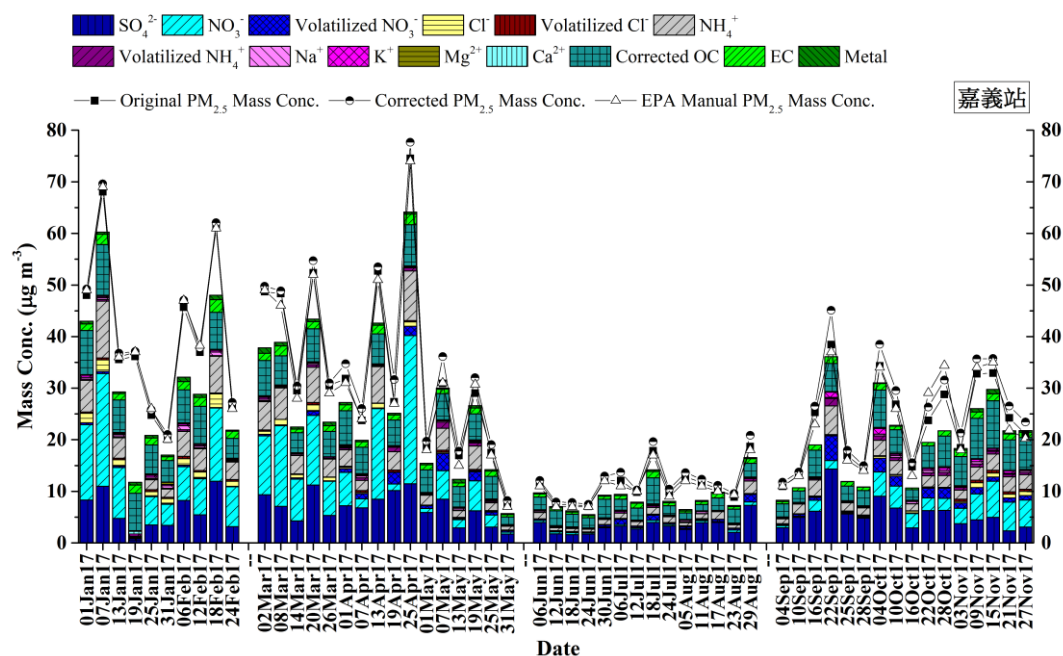


圖 4.3.15 嘉義站 2017 年例行性採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  成分濃度隨時間變化(2 月 12 日、5 月 19 日環保署例行手動採樣數據缺值，圖中使用自動儀器監測數據)

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.3.16 為嘉義站採樣期間各樣本金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子 (Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間，高濃度金屬元素只有金屬元素 Zn 的富集因子接近 1000 ( $\log_{10}1000=3$ )，顯示受到人為影響程度相當高，Zn 為常見交通排放、輪胎和剎車磨損、垃圾焚化、二次冶煉指標金屬元素。中間區間的金屬元素濃度大多在  $5 \sim 60 \text{ ng m}^{-3}$ ，並以交通排放或鋼鐵工業指標金屬元素 Mo 及燃煤及工業排放指標金屬元素 Pb 有相對較高的富集因子，可能與監測地區高交通密集度或周遭鄰近工業有關，其他受人為活動影響金屬元素 Ni、V 及 Cu 也有大於 10 的富集因子，其中 Ni 及 V 主要來自燃油燃燒，金屬元素 Cu 則可能來自工業影響或是汽車剎車墊片磨損產生。低濃度金屬元素則是以採樣期間濃度在  $12 \text{ ng m}^{-3}$  以下的金屬元素為主，以 Sn、Sr、Se 濃度含量最高，這些金屬元素主要與工業鍋爐所使用的燃料有關。

嘉義站冬季採樣期間金屬元素組成與斗六站十分相似，但是嘉義站各天金屬元素 Ba、Pb、Sb 濃度明顯高於斗六測站，顯示嘉義站的交通排放源影響似乎大於斗六，另外 2 月 6 日與 12 日金屬元素 K 與金屬元素 Na 濃度同樣有這種現象，由於這兩個樣本有受到區域污染傳輸影響，上風污染影響與本地污染物相互疊加因此濃度較高，這種現象以金屬元素 Pb 最為明顯，2 月 6 日這天金屬元素 Pb 濃度高達  $90 \text{ ng m}^{-3}$  為採樣期間最高濃度。

春季採樣期間除 3 月份金屬元素 Ba 與 Pb 濃度較高外，其他各類指標金屬元素皆明顯下降，這段期間濃度較高金屬元素主要以交通與塵土指標金屬元素為主。

夏季與其餘各站相似，高濃度占比金屬元素以塵土元素為主，中濃度區間僅剩下金屬元素 Ti 有約  $13 \text{ ng m}^{-3}$ ，顯示夏季擴散條件良好，污染物濃度受到稀釋降低許多，並且以揚塵為主。

秋季開始，燃煤指標金屬元素 Pb、Se、As 濃度便逐漸上升，9 月 22 日這

天濃度最高，燃油指標金屬元素 V 同樣在這天濃度最高，這天嘉義站受到區域與本地污染影響，出現秋季以來第一次高濃度污染事件，與冬季及春季相似，各類鍋爐若在此期間降低負載量，或許可降低污染程度。10 月下旬開始，嘉義站元素濃度明顯上升，金屬元素 Na、K、Fe 等非人為活動指標元素濃度明顯增加，此外 11 月 9 日、15 日這段時間有相當高的 Pb 濃度，顯示受到工業鍋爐排放影響，相似的現象在 9 月 22 日這天也可發現。



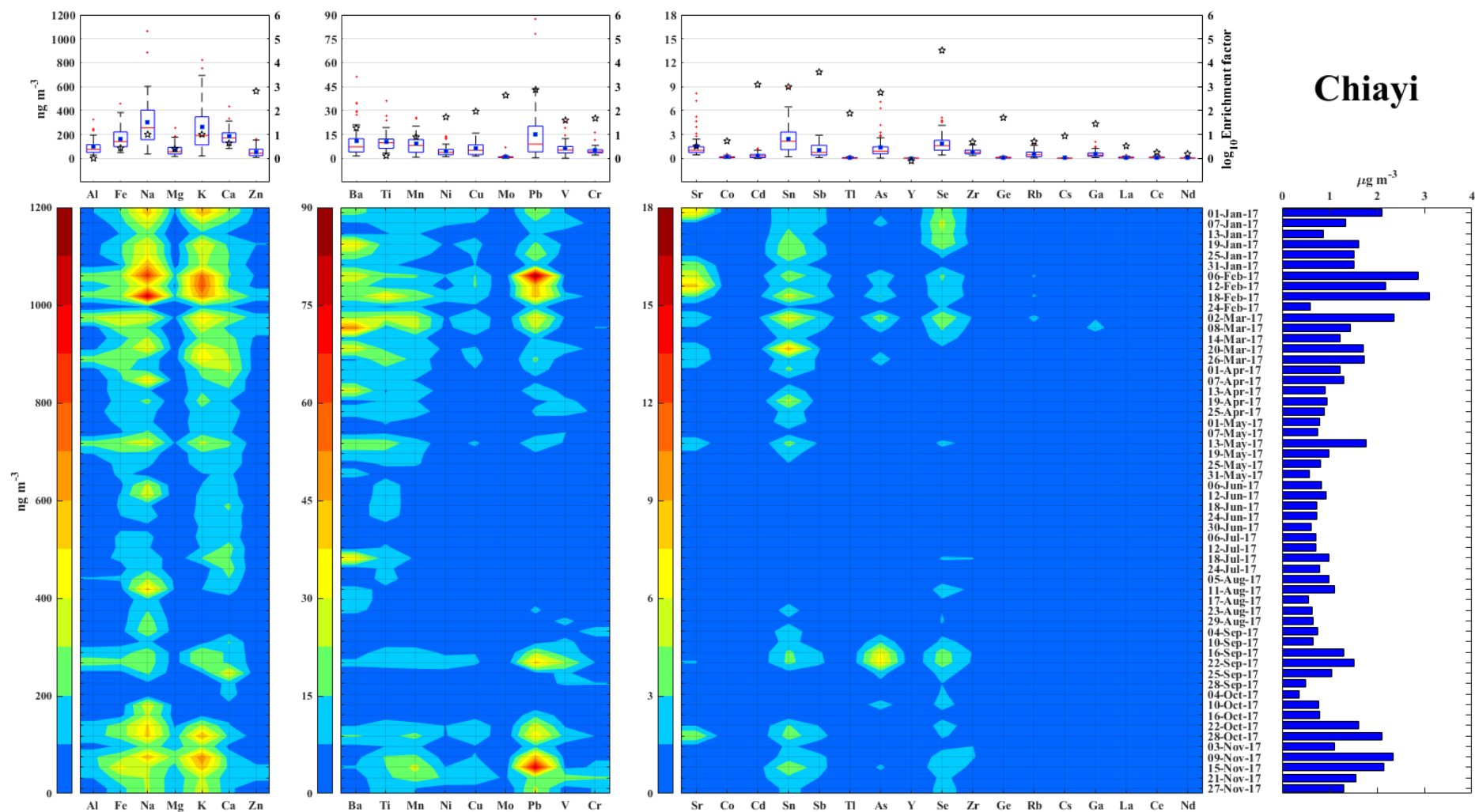


圖 4.3.16 嘉義站 2017 年例行性採樣期間各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。

### 4.3.5 小港站

#### 1.環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

表 4.3.5 小港站採樣期間污染物日平均濃度與氣象因子，圖 4.3.17 為採樣期間污染物濃度較高時期氣流逆推軌跡，本計畫結合兩者資料以推衍各月份 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高成因。在一月份的 6 次採樣日，PM<sub>2.5</sub> 濃度都高於日平均空氣品質標準，各日濃度範圍在 36 ~ 62  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，以 1 月 13 日濃度最高，另外，1 月 13 日 CO、NO<sub>x</sub>、O<sub>3,max</sub> 濃度明顯高於這段期間其他樣本濃度，顯示當天受到在地污染及衍生污染物的影響都相當嚴重，從軌跡資料可發現這幾次採樣日氣流軌跡都未受到境外污染源影響，氣流傳輸至台灣前，位於混合層上方，傳入台灣後經由北部及中部區域再傳入小港站，因此這段期間較有可能受到區域污染傳輸影響。二月份監測資料日平均值顯示小港地區環境擴散條件較不理想，環境風速僅 1.7 ~ 1.8  $\text{m s}^{-1}$ ，氣態污染物濃度明顯高於其他採樣地區，導致 PM<sub>2.5</sub> 濃度在這段採樣期間內都高於空氣品質標準，濃度值為 42 ~ 61  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，二月份採樣期間氣流軌跡主要來向為中國大陸華中或華北地區，傳輸至台灣後由北部及中部區域傳入小港站，因此這段期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度除了受到擴散條件不佳影響外，還可能受到區域污染傳輸影響。三月份小港站監測資料日平均值，顯示 3 月 2 日、8 日以及 14 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度都超過日平均標準值，軌跡資料顯示 3 月 2 日及 8 日主要受到北、中部氣流傳輸影響，不過這兩日監測資料仍有些差異，3 月 2 日當天有較高的 SO<sub>2</sub> 濃度以及平均風速較高，顯示與傳輸污染物較有關連，3 月 8 日則是 CO 以及 NO<sub>x</sub> 有較高濃度，另外，風速也明顯低於前次採樣期間，因此污染來源與在地排放較有關。四月份採樣期間小港站空氣品質相當不錯，僅有 4 月 25 日 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度超出空氣品質標準值，軌跡資料顯示氣流傳入台灣後風速明顯降低，由中部傳輸至小港站耗時約 48 小時，當天環境風速僅 1.6  $\text{m s}^{-1}$ ，顯示環境擴散條件不佳，氣態污染物濃度也大多高於四月份其他採樣日，另一方面氣流行經其他都會區時路徑高，因此受到區域污染物影響可能較低，顯示在地污染為主要污染來源。五月

份監測資料顯示五月份約有一半時間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度在  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  上下，另一半採樣時間空氣品質相當良好都在  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  以內。從監測資料發現 5 月 1 日、7 日、19 日這幾天風速相對於其他空氣品質好的採樣日較低，另外，當日臭氧最大值都高過 70 ppb，顯示可能與環境擴散條件差異與光化學衍生污染物的影響有關；5 月 25 日當天日平均風速雖然相當低，但是受到降雨影響， $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯降低。進入夏季以後小港站空氣品質相當良好， $\text{PM}_{2.5}$  濃度約為  $8\sim 22 \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中濃度最高的一天為 7 月 18 日，當天臭氧濃度明顯高於其他夏季採樣日，臭氧最大值為 97 ppb，顯示當天可能受到午後光化學作用影響，軌跡資料顯示當日氣流來向為台灣東南方海域，經由台東從小港站東北方傳入，不至於帶來傳輸污染，因此應為在地排放影響。9 月份進入秋季後小港站在 6 次的採樣日中， $\text{PM}_{2.5}$  濃度與夏季差異不明顯，只有 9 月 22 日污染物濃度明顯高於其他採樣日， $\text{PM}_{2.5}$  濃度為  $32 \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中  $\text{NO}_x$  以及  $\text{SO}_2$  濃度明顯高於其他同月份採樣日，從軌跡資料可以發現，9 月 22 上半天氣流來向主要為東部海域，跨過台東傳輸至小港，這段期間污染物可能主要仍為高雄在地排放源，進入下半年後氣流來向轉變，改由小港北方傳入，不排除這時候夾帶區域污染物至小港站，值得注意的是，9 月 22 日這天，由中部至南部都有明顯高濃度，顯示這天屬於全台灣的污染事件，將在後續章節持續探討。10 月份採樣期間，小港站與斗六、嘉義測站相似，濃度較高日期都在 10 月 4 日與 28 日，但是這段時期，小港站濃度並非各測站間最高，此外比較 10 月 4 日與 10 月 28 日監測資料可以發現，這兩天雖然日平均  $\text{PM}_{2.5}$  濃度都是  $37 \mu\text{g m}^{-3}$ ，但是氣態污染物組成則有差異，10 月 4 日有較高的  $\text{SO}_2$  日平均值，10 月 28 日則為  $\text{NO}_x$  濃度較高，兩者差異可能與盛行風向不同有關，10 月 4 日主要為西風，小港站西方至西北邊較多大型工業，因此  $\text{SO}_2$  濃度可能受工業或港區船舶排放影響，這兩天的軌跡顯示 10 月 4 日軌跡路徑短，且由東部海面傳輸至小港站，不至於帶來傳輸污染，污染物來源較可能為本地排放，10 月 28 日受到強勁東北季風影響，軌路來向為韓國南方海域，氣流傳輸至台灣後，由北向南傳輸，這天可能受到上風處都會區的區域污染傳輸影響。11 月採樣期間小港站

環境擴散條件轉差，污染物濃度明顯高於 10 月份，採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度皆在  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  以上，平均風速皆小於  $2 \text{ m s}^{-1}$ ，其中，濃度最高的一天出現在 11 月 15 日， $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度為  $41 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這天前區污染物濃度並不算期間最高，顯示  $\text{PM}_{2.5}$  濃度可能主要來自於衍生污染物，軌跡資料則顯示這天氣流來向為台灣東北方海面，氣流傳輸至台灣後由北向南傳輸，軌跡高度低因此有可能將上風都會區污染物向南傳輸，這天是否受到傳輸污染物影響，則需要後續監測資料輔助判讀。另一方面其 11 月 3 日、9 日這兩天同樣日平均濃度大於  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這兩天同樣受到低風速影響，因此污染物濃度較高，此外軌跡圖則與 11 月 15 日相似，大環境皆以東北風為主，但氣流傳輸至南部後風速降低，因此不利污染物擴散，若將濃度較高得這三天相互比較，則顯示西風頻率較高的採樣日則有較高的  $\text{SO}_2$  濃度。

表 4.3.5 小港站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
1-Jan-17	小港	51	0.6	27.5	5.0	69	西	1.8	22	25	79.3	NR
7-Jan-17	小港	58	0.6	39.5	7.7	58	東北	1.7	24	26	73.8	NR
13-Jan-17	小港	62	0.8	46.6	5.0	89	西北	1.9	23	27	74.9	NR
19-Jan-17	小港	37	0.5	37.0	5.0	79	東北	1.8	24	28	70.6	NR
25-Jan-17	小港	44	0.6	43.4	6.1	67	東北	2.1	20	24	67.5	NR
31-Jan-17	小港	36	0.6	30.6	6.5	49	東北	1.5	21	23	71.1	NR
6-Feb-17	小港	61	0.7	37.9	6.1	70	西	1.8	22	25	74.1	NR
12-Feb-17	小港	47	0.6	30.2	6.5	63	東北	1.8	18	21	67.3	NR
18-Feb-17	小港	61	0.7	36.3	5.6	82	東北東	1.8	22	26	67.5	NR
24-Feb-17	小港	42	0.8	48.2	6.1	51	西北	1.7	21	24	68.5	NR
2-Mar-17	小港	53	0.6	32.0	6.6	78	東	2.4	21	24	55.6	NR
8-Mar-17	小港	53	0.8	52.3	5.2	22	東北東	1.7	19	19	79.4	NR
14-Mar-17	小港	39	0.5	36.3	6.3	48	東北東	1.8	23	25	72.0	NR
20-Mar-17	小港	25	0.4	25.7	7.8	43	西	1.9	26	28	75.0	NR
26-Mar-17	小港	23	0.6	30.1	3.4	34	東北東	1.8	19	20	75.8	NR
1-Apr-17	小港	22	0.4	23.1	4.4	62	東北東	2.4	20	23	68.3	4.8
7-Apr-17	小港	15	0.3	21.5	12.2	58	南	2.5	26	29	73.0	NR
13-Apr-17	小港	34	0.7	39.4	7.2	66	西	1.5	23	24	84.6	10
19-Apr-17	小港	24	0.3	22.7	11.3	53	南南西	2.1	28	30	80.2	4.4
25-Apr-17	小港	41	0.6	30.5	11.3	85	西	1.6	27	29	72.5	NR
1-May-17	小港	25	0.4	19.0	7.4	73	西	1.9	27	30	60.4	NR
7-May-17	小港	24	0.3	20.3	10.7	80	西	2.0	29	30	74.7	NR
13-May-17	小港	9	0.2	13.9	4.6	40	西北西	2.6	29	31	72.0	NR
19-May-17	小港	27	0.5	25.8	4.6	71	東北東	1.7	27	29	78.7	2.2
25-May-17	小港	8	0.3	25.5	9.8	29	南南西	1.6	27	30	86.2	71.4
31-May-17	小港	6	0.2	21.2	9.0	41	西	2.3	29	31	79.2	5.0
6-Jun-17	小港	12	0.2	20.5	11.0	23	南南西	1.8	30	33	77.5	NR
12-Jun-17	小港	13	0.4	20.8	18.7	23	南	2.3	31	33	73.5	9.4
18-Jun-17	小港	11	0.2	14.7	7.7	19	南南西	1.8	29	31	83.5	4.0
24-Jun-17	小港	8	0.1	13.4	7.4	25	西	2.3	30	32	76.0	NR
30-Jun-17	小港	9	0.3	21.0	11.8	33	南	2.6	30	34	71.9	NR

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

表 4.3.5 小港站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子(續)

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
6-Jul-17	小港	11	0.4	18.1	14.2	38	南	2.5	31	34	70.7	NR
12-Jul-17	小港	9	0.2	19.8	6.9	42	東北東	1.9	31	35	67.3	NR
18-Jul-17	小港	22	0.3	21.6	7.4	97	東北東	1.8	31	34	71.4	NR
24-Jul-17	小港	13	0.3	17.0	6.9	39	東北東	1.8	30	33	75.4	NR
5-Aug-17	小港	19	0.2	13.6	4.6	28	西	2.1	31	33	75.7	NR
11-Aug-17	小港	13	0.2	11.7	5.3	28	西	2.5	32	34	73.8	NR
17-Aug-17	小港	19	0.2	18.9	9.5	81	西南西	1.8	32	34	66.5	NR
23-Aug-17	小港	16	0.5	25.3	21.4	21	南	3.2	31	34	65.5	0.8
29-Aug-17	小港	17	0.3	15.6	5.3	59	西	2.0	30	33	76.0	NR
4-Sep-17	小港	15	0.2	15.8	8.4	38	西南西	1.9	31	33	76.3	1.8
10-Sep-17	小港	14	0.2	11.3	6.2	35	西	2.2	31	33	73.9	NR
16-Sep-17	小港	25	0.3	13.2	6.3	66	西	2.4	31	33	70.6	NR
22-Sep-17	小港	32	0.3	26.1	11.4	58	西	1.8	32	34	65.5	0.2
25-Sep-17	小港	15	0.2	17.6	8.6	28	西南西	1.6	32	34	75.6	0.2
28-Sep-17	小港	12	0.2	15.5	7.3	30	西	2.2	31	33	73.3	NR
04-Oct-17	小港	37	0.4	17.9	8.7	73	西	1.8	31	33	75.8	NR
10-Oct-17	小港	21	0.3	14.5	7.3	56	西	2.0	31	34	73.5	NR
16-Oct-17	小港	13	0.4	24.0	6.1	55	西	2.0	29	32	81.2	3.6
22-Oct-17	小港	31	0.5	21.1	6.1	87	北	1.8	26	29	59.1	NR
28-Oct-17	小港	37	0.5	28.4	5.0	81	北北東	1.9	26	30	64.0	NR
03-Nov-17	小港	37	0.5	33.4	5.6	77	北北東	1.5	27	30	76.3	0.2
09-Nov-17	小港	35	0.5	32.1	9.3	84	西	1.8	28	30	73.4	0.2
15-Nov-17	小港	41	0.5	37.7	7.4	55	西	1.5	28	30	75.8	NR
21-Nov-17	小港	34	0.6	41.2	7.2	75	北北東	1.9	25	28	72.3	NR
27-Nov-17	小港	32	0.5	36.2	7.0	75	西	1.6	25	29	75.5	NR

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

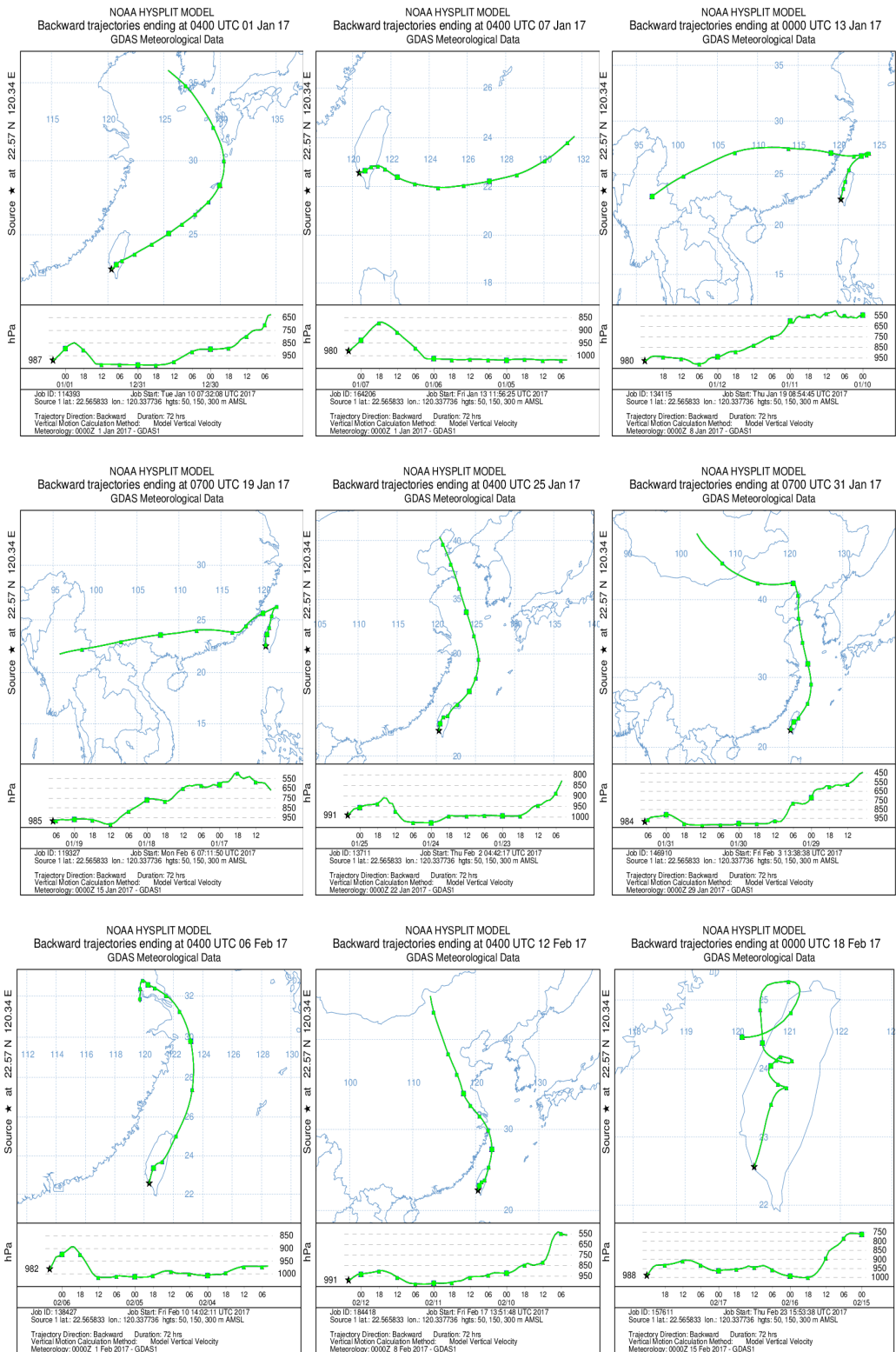


圖 4.3.17 小港站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (由左上至右下分別為 1 月 1 日、1 月 7 日、1 月 13 日、1 月 19 日、1 月 19 日、2 月 6 日、2 月 12 日、2 月 18 日)

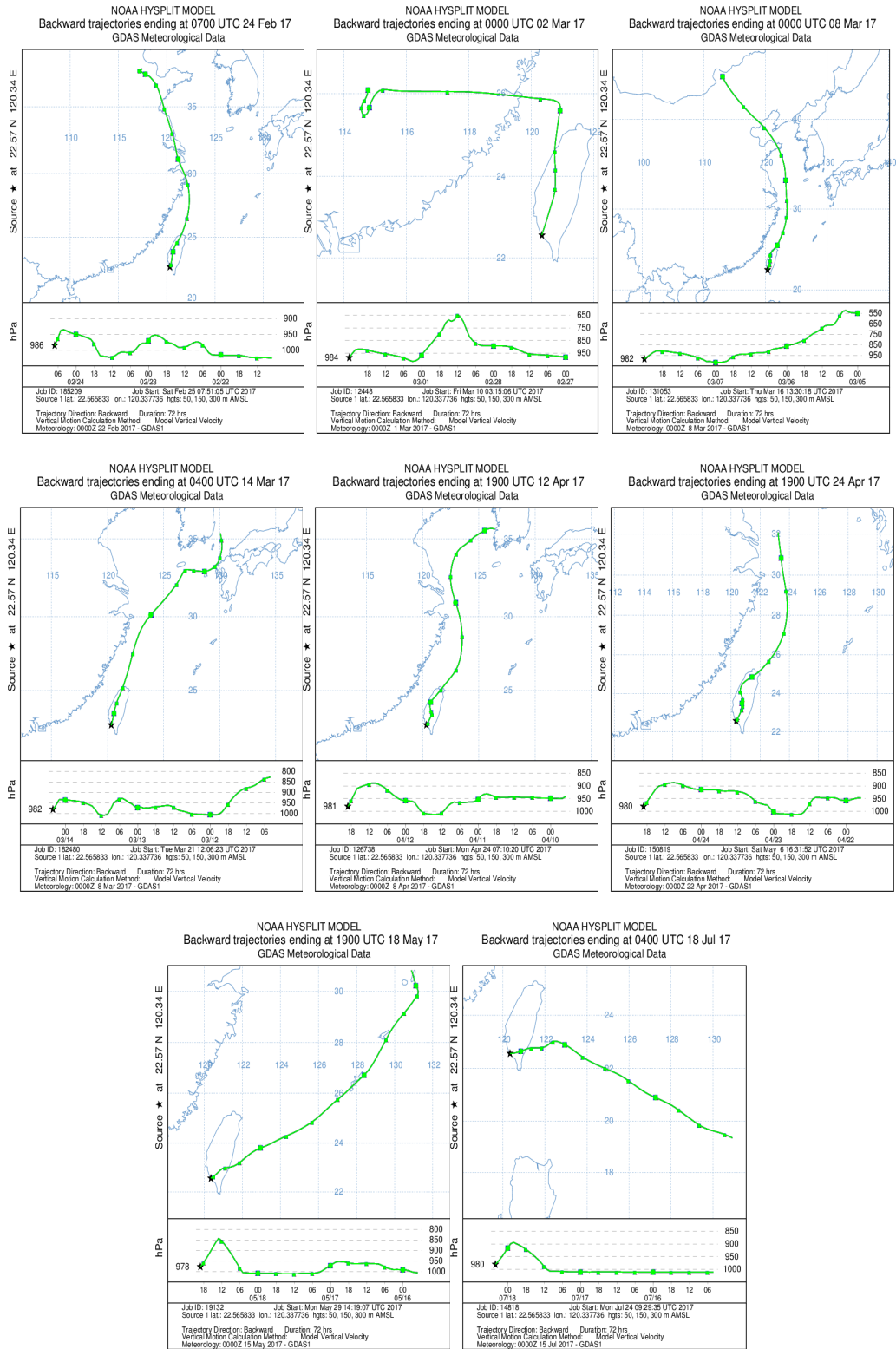


圖 4.3.17 小港站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (續 1) (由左上至右下分別為 2 月 24 日、3 月 2 日、3 月 8 日、3 月 14 日、4 月 13 日、4 月 25 日、5 月 19 日、7 月 18 日)



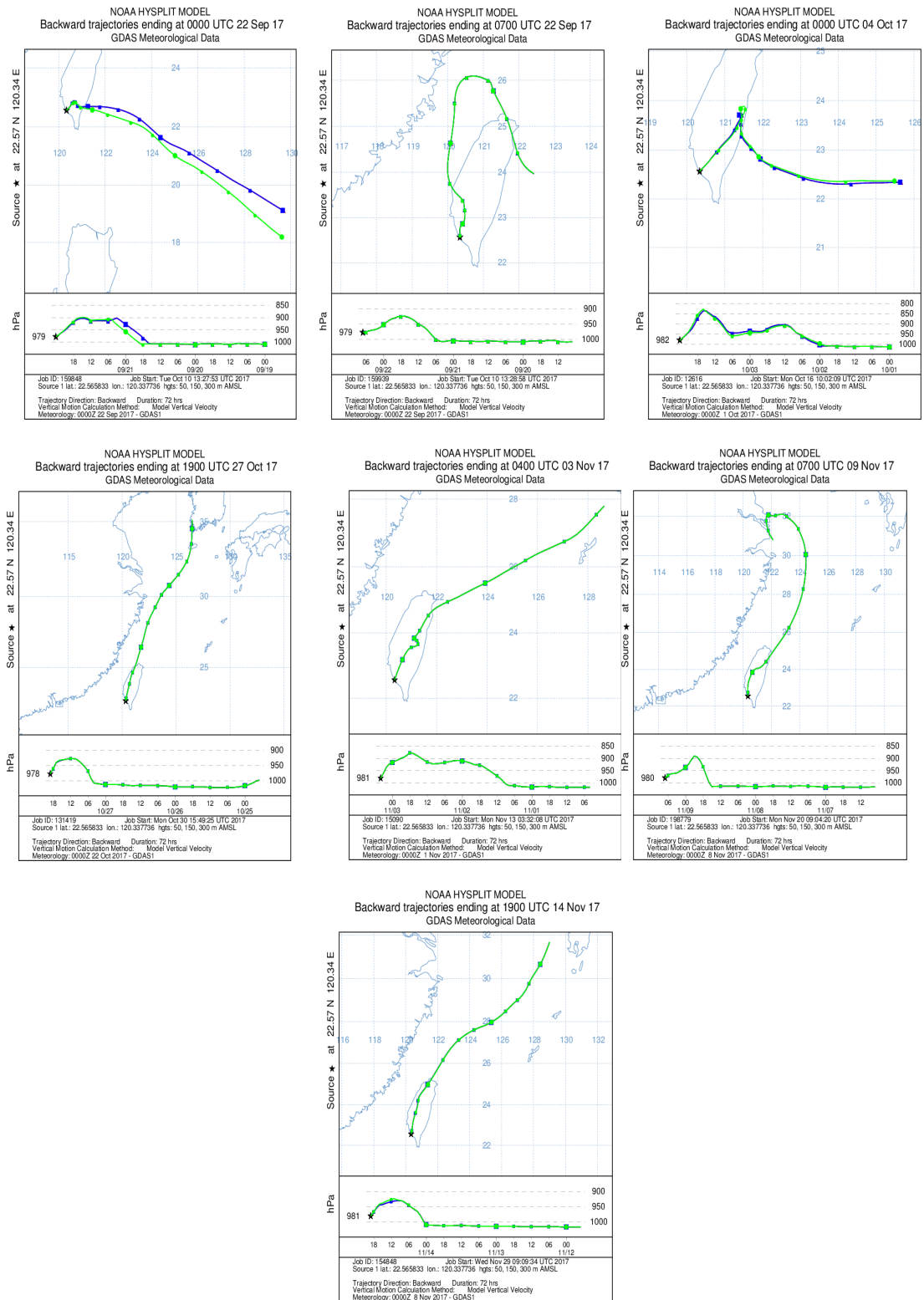


圖 4.3.17 小港站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (續 2) (由左上至右下分別為 9 月 22 日、10 月 4 日、10 月 28 日、11 月 3 日、11 月 9 日、11 月 15 日)

圖 4.3.18 展現小港站採樣期間氣象因子與空氣污染物隨時間的變化，1 月 1 日 0 時至 5 時，PM<sub>2.5</sub> 濃度由 40 上升至 80  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，當時環境風速僅 1.6  $\text{m s}^{-1}$  顯示擴散條件不佳，6 時起 CO 與 NO<sub>x</sub> 濃度逐漸上升，PM<sub>2.5</sub> 濃度也有微幅上升趨勢，顯示受到在地交通排放影響，8 時後由於風速逐漸上升，各項污染物濃度於是逐漸降低。1 月 7 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化趨勢與 1 月 1 日相似，PM<sub>2.5</sub> 濃度於半夜環境擴散條件不佳而累積，8 時受到風速上升污染物濃度逐漸下降，值得注意的是風速上升時，風向轉為西南風與西風，此時 SO<sub>2</sub> 濃度與 NO<sub>x</sub> 有明顯上升趨勢且達到尖峰值，PM<sub>2.5</sub> 濃度則微幅上升，顯示可能受到西南方向工業排放影響，午後隨著風速下降，環境擴散條件變差，PM<sub>2.5</sub> 濃度於 16 時後由 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  迅速上升至 70  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間 NO<sub>x</sub> 與 CO 有相同的變化趨勢，推測這波濃度上升主要受到在地交通排放影響。1 月 13 日由於整日擴散條件不佳，PM<sub>2.5</sub> 濃度在 59 ~ 80  $\mu\text{g m}^{-3}$  變動，雖然中午過後，風速明顯提升至 2.3  $\text{m s}^{-1}$ ，然而 PM<sub>2.5</sub> 濃度並未明顯下降，由於當時臭氧濃度高達 80 ppb 因此光化學作用對於 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化應也造成影響，16 時以後風向由西風轉為較弱的東北風，PM<sub>2.5</sub> 濃度持續下降，雖然該時段交通排放較為旺盛，但對於 PM<sub>2.5</sub> 濃度影響不明顯。1 月 19 日、25 日及 31 日污染物濃度並無明顯變動，濃度變動趨勢與風速成反比，且隨上午及下午交通尖峰時段有微量上升，推測主要受到在地排放以及擴散條件不佳影響。2 月 6 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度整日維持在 60  $\mu\text{g m}^{-3}$  高值以上，8 時風速由 1.2  $\text{m s}^{-1}$  上升至 2.9  $\text{m s}^{-1}$ ，這段期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度由 59  $\mu\text{g m}^{-3}$  上升至 80  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，顯示是受到上風污染源區域傳輸作用的影響，16 時過後 PM<sub>2.5</sub> 濃度由 57  $\mu\text{g m}^{-3}$  上升至 67  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間除了風速明顯下降，也可能包含午後光化學作用與交通尖峰時段的影響。2 月 12 日 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化趨勢明顯與風速呈現反比，並且與 CO 與 NO<sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似，顯示受到當地交通排放源與擴散較差影響。2 月 18 日當日風速約在 1 ~ 2  $\text{m s}^{-1}$  間變化，除了 11 至 12 時風速由 1.3 上升至 2.6  $\text{m s}^{-1}$ ，這段期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度由 60 上升至 89  $\mu\text{g m}^{-3}$  顯示受到區域污染物傳輸影響，13 時風速再度上升至 2.9  $\text{m s}^{-1}$ ，雖然與前一小時風向都是西風，但造成 PM<sub>2.5</sub> 濃度略微下降外，推測前段

時間污染物濃度上升與區域污染物傳輸有關，其餘時間風速偏低，環境擴散條件不佳，導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度緩慢累積，由於  $\text{PM}_{2.5}$  濃度變化趨勢與上午及下午交通尖峰時段  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度變化相似，顯示受到交通排放源影響，當日  $\text{O}_3$  max 達 82 ppb，在  $\text{O}_3$  尖峰濃度過後， $\text{PM}_{2.5}$  濃度有明顯上升趨勢，顯然也有受到光化學作用影響。2 月 24 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度則是受到上、下班  $\text{CO}$  和  $\text{NO}_x$  排放影響。

3 月 2 日從 0 時開始，小港測站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就相當高，濃度達  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ，顯示受到前一日污染物殘留影響，另外環境風速於 16 時前普遍高於  $2 \text{ m s}^{-1}$ ，顯示環境擴散條件並不差，然而這段期間污染物濃度居高不下，可能受到北、中部污染傳輸影響，除了傳輸污染物的影響外，在上午 7 時交通尖峰時段， $\text{PM}_{2.5}$  濃度微幅上升，趨勢與  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  變化趨勢相符，顯示此時污染物濃度受到交通排放影響，同樣的情況在 16 時過後風速開始下降時更為明顯；本日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度居高不下，早晨交通源排放後，午後高濃度應來自光化學反應的影響。3 月 8 日污染物濃度受到前一日污染累積影響，0 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就高達  $53 \mu\text{g m}^{-3}$ ，上午 6 時  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  出現明顯驟升現象，顯示與交通排放及低風速有關，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度也逐漸上升，中午時段風速短時間內驟升，污染物濃度快速下降至  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ ，此後風速維持在  $1.7 \text{ m s}^{-1}$  以內， $\text{PM}_{2.5}$  濃度變化也趨緩，晚間  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度在交通尖峰時段雖有明顯增加，不過  $\text{PM}_{2.5}$  濃度並無明顯增加，這種現象和忠明站 3 月 20 日及 4 月 13 日類似，是否因為這些採樣日  $\text{O}_3$  沒有很高，游離基濃度不高所致？有待確認。本日污染物濃度主要為前日殘留污染物與當地污染源排放所貢獻。四月份小港站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度並不高，4 月 13 日主要受到環境風速低及下班時段車輛排放所致。4 月 25 日由於前一天環境擴散條件較差，污染物於環境中持續累積，因此 0 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就有  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ，上午 6 時開始  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  濃度明顯上升，顯示受到晨間交通排放影響，這段期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度微幅上升至  $61 \mu\text{g m}^{-3}$ ，8 時過後環境風速明顯提升至  $2.4 \text{ m s}^{-1}$ ，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度降低至  $38 \mu\text{g m}^{-3}$ ，但是 9 時開始風向由北轉向吹拂西風， $\text{SO}_2$  濃度與  $\text{NO}_x$  濃度明顯上升，此時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度再次上升至  $58 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間的變化顯示受

到小港測站西方與西南方的工業或船舶排放影響，使污染物濃度同步上升，下午 14 時過後由於風速持續上升至  $3 \text{ m s}^{-1}$ ，環境擴散能力改善， $\text{PM}_{2.5}$  濃度由  $52 \mu\text{g m}^{-3}$  降低至  $29 \mu\text{g m}^{-3}$ ，一直到夜間風速減弱才又再度上升，前述結果顯示 4 月 25 日小港站污染物來源主要為在地原生與衍生污染物。5 月份小港站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度比忠明、斗六、嘉義站都好， $\text{PM}_{2.5}$  濃度較高的幾天如 19 日這天 0 時開始，環境中就有前一日殘留  $\text{PM}_{2.5}$  濃度，顯示受到低風速、環境擴散條件差所造成，並且這幾日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度在午後風速逐漸上升時就出現相反趨勢逐漸降低。進入夏季的 6 至 8 月後小港空氣品質有時甚至優於北部地區， $\text{PM}_{2.5}$  濃度較高的一天如 7 月 18 日，當天盛行風向為東北東風，雖然 0 時開始環境中就殘留前夜所留下污染物，但是清晨 4 時前已降低至  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  左右，上午 8 至 12 時受到盛行風向轉為西南風，風速上升( $1.8$  上升至  $3.7 \text{ m s}^{-1}$ )，推測夏季日出後環境溫度上升較為快速，受到海風影響，將測站西南方工業或船舶排放污染物吹往測站，由監測資料小時值可發現，除了  $\text{PM}_{2.5}$  外各項污染前驅物都有明顯上升。9 月 22 日這天小港與其他西部測站相，都出現  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度，但是比較斗六、嘉義等站，污染程度較輕微，從 0 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約有  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ ，上午 4 時過後逐漸降低，然而上午 8 時過後風向由東北轉為西南，與 7 月 18 當天相似， $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  以及  $\text{PM}_{2.5}$  濃度隨風向及風速轉變同步上升，顯示受到西南方工業或船舶排放影響，這波污染一直到中午風速上升至  $3.7 \text{ m s}^{-1}$ ，風向轉為西風後才逐漸降低。10 月 4 日上午 0 時至 8 時風速約  $0.4\sim 1.7 \text{ m s}^{-1}$ ，擴散條件較差導致各項污染物濃度明顯累積，尤其上午 7~8 時， $\text{PM}_{2.5}$  濃度達到  $49 \mu\text{g m}^{-3}$ ，從氣態污染物監測資料顯示，這段期間可能受到交通與工業排放共同影響，到了 10 時過後由於風速上升，因此污染物濃度明顯下降，下午 17 時過後受到除了夜間交通排放量增加，導致  $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升外， $\text{SO}_2$  與  $\text{O}_3$  在這段期間也呈現峰值，當時風向為西南風，可能受到西南方工業或船舶排放影響。10 月 28 日前述軌跡資料顯示受到東北季風影響，軌跡路徑橫跨台灣西部，不過由監測資料小時值可發現， $\text{PM}_{2.5}$  濃度變化並未隨風速上升，顯示較不可能受到傳輸污染物

影響，這天  $\text{PM}_{2.5}$  在上午及下午交通尖峰時段與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  相似有上升趨勢，此外這兩段時間風速較低，致使污染物累積，另一方面，由於 10 月 28 日為周六，因此日間交通排放的影響較小， $\text{PM}_{2.5}$  濃度上升幅度較不明顯。11 月 3 日這天上午 7 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度變化趨勢與  $\text{NO}_x$  及  $\text{CO}$  相似，顯示受到晨間交通交鋒時段機動車排放影響，這段風速也皆在 1.5 以下，中午過後風向轉為西風，風速高於上午，約在  $1.8\sim 2\text{ m s}^{-1}$ ，此時污染物濃度有明顯下降趨勢，但可發現吹拂西風時帶來較高的  $\text{SO}_2$  濃度。11 月 9 日這天，北部板橋至嘉義站受到東北季風影響，不過影響範圍只到雲嘉地區風速就明顯下降，從小港站監測資料顯示，當天風速不高，只有中午過後有明顯上升，顯示環境擴散條件不佳， $\text{PM}_{2.5}$  濃度整日皆維持在  $30\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$  左右。11 月 15 日清晨開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就高達  $43\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$ ，一直到上午風速都相當低，最低風速為  $0.5\text{ m s}^{-1}$ ，因此污染物無法藉由對流擴散稀釋，到了晨間交通尖峰時段  $\text{PM}_{2.5}$  最高小時濃度達到  $58\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$ ，中午過後風速逐漸上升，污染物濃度下降，但到了 16 時過後風速則低於  $1.3\text{ m s}^{-1}$ ，加上此時交通排放量再次上升，因此  $\text{PM}_{2.5}$  濃度再次增加。

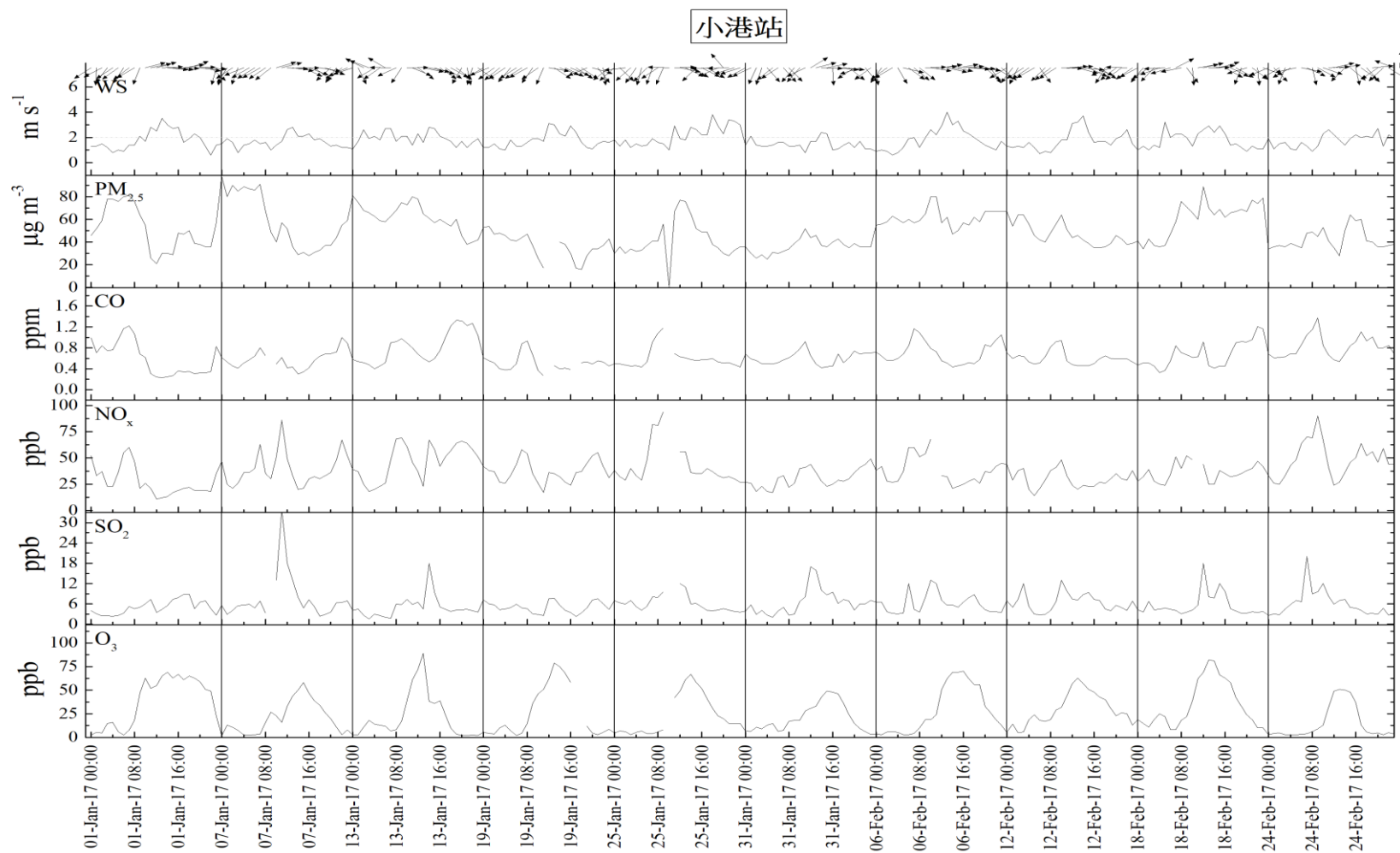


圖 4.3.18 小港站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化

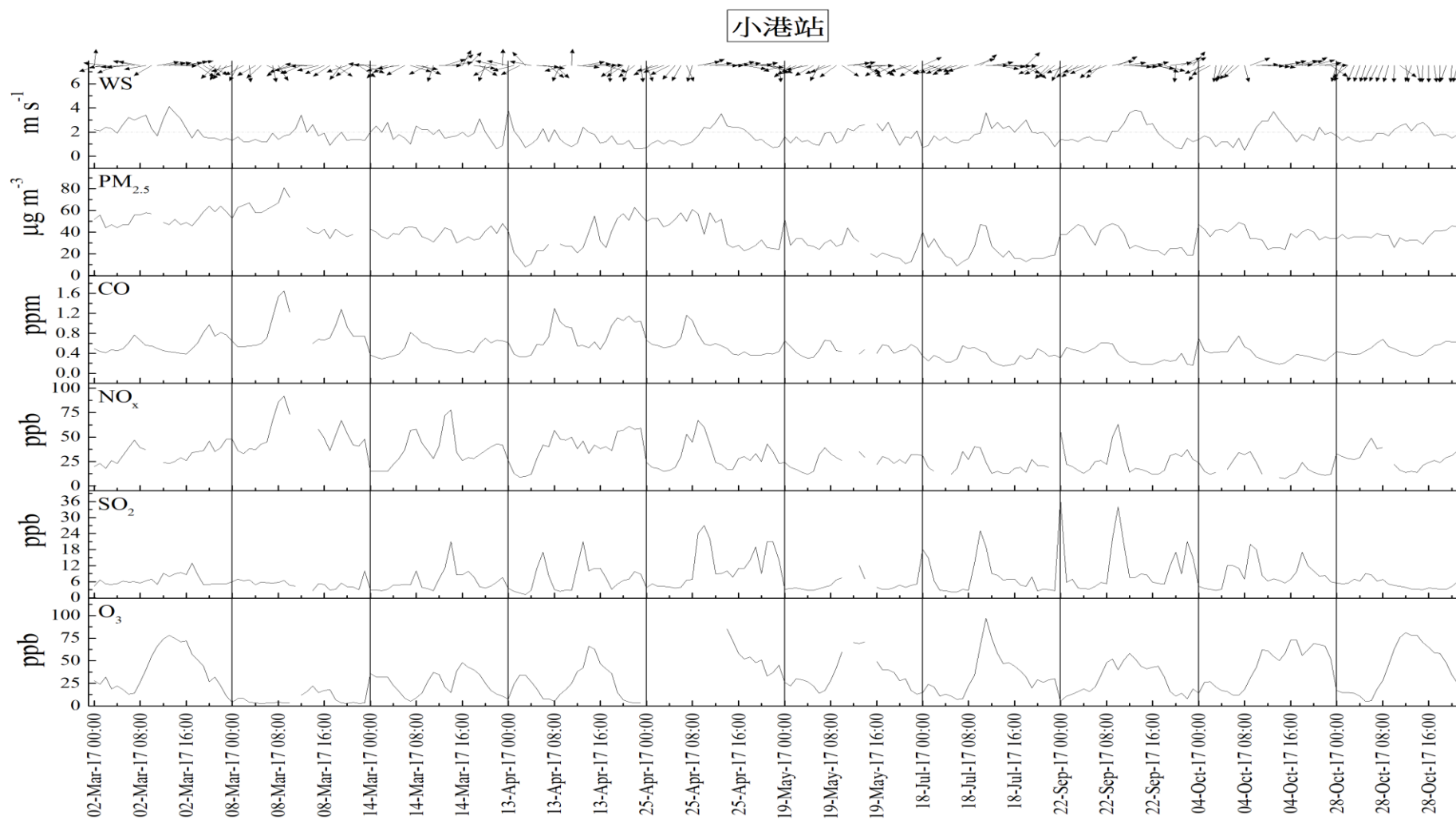


圖 4.3.18 小港站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化(續)

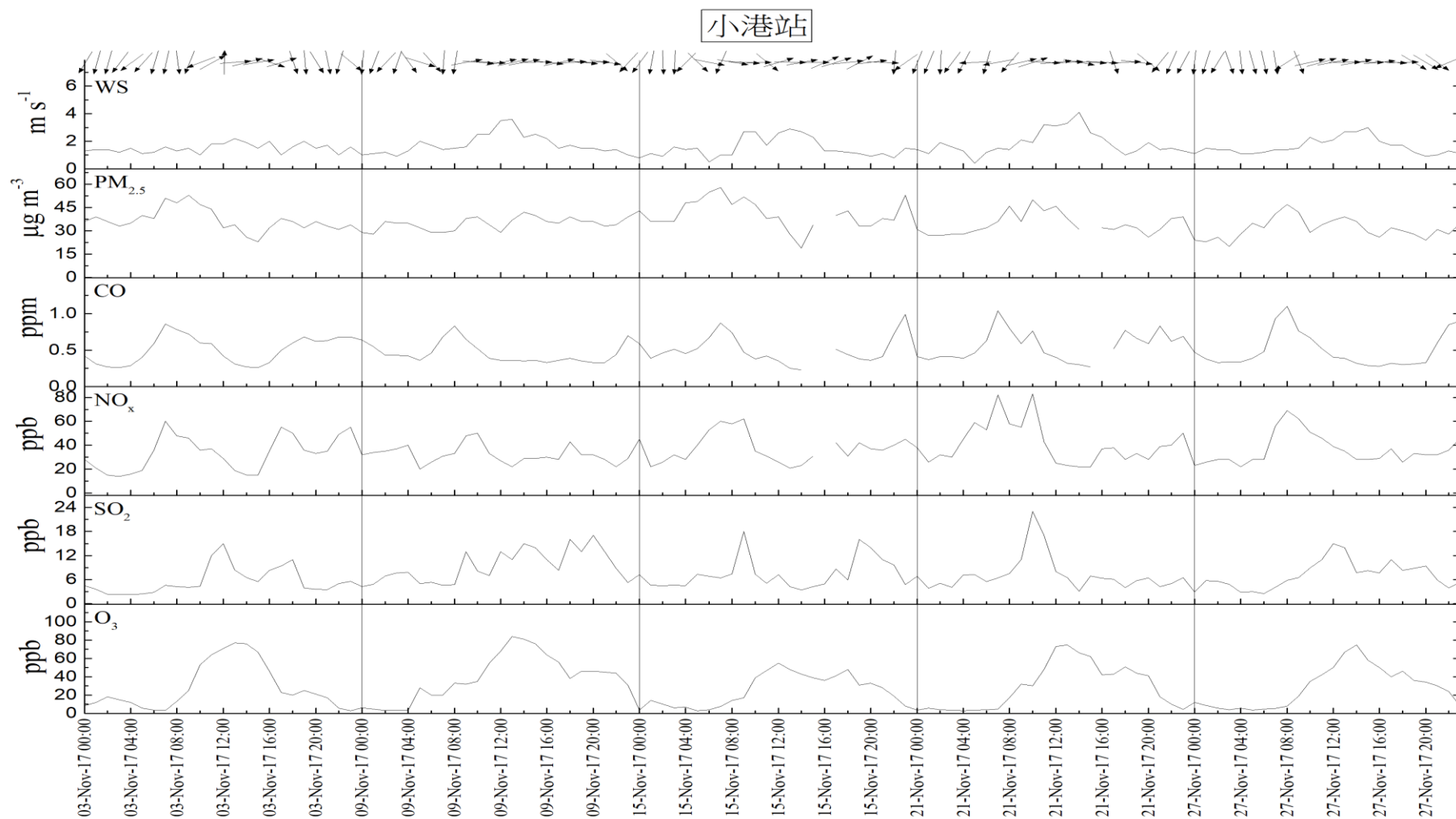


圖 4.3.18 小港站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化(續)



## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.3.19 顯示小港站採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度變化趨勢，由於小港站並無環保署手動採樣數據可做為比對，因此使用該測站自動儀器監測數據作為對比輔助，整體來說，採樣結果相當一致，但差異較其他測站例行手動採樣方法高。

小港站冬季主要化學成分為 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，從前述天氣因子數據以及逆推氣流軌跡都顯示冬季小港地區環境擴散條件不良，污染物濃度主要受在地排放源影響，因此 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 是主要化學成分。1 月 1 日與 7 日主要受到在地交通排放影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。1 月 13 日除了受到北部污染物傳輸影響外，低風速及光化學反應為主要影響，當天 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高，此外 EC 濃度甚高，顯示受到交通源如柴油車或是一次燃燒源的影響。1 月 25 日 Mg<sup>2+</sup> 濃度較高，值得注意。2 月 6 日以在地及區域傳輸污染型態為主，受到上風污染傳輸作用以及午後光化學作用與交通尖峰時段影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度也相當接近，接著是 OC 濃度。2 月 18 日受到在地交通排放與光化學作用及區域污染傳輸影響，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，污染物組成與 2 月 6 日相似，但有更高的 EC 濃度，顯示柴油車或一次燃燒源影響顯著。

春季採樣期間整體質量濃度與化學成分變化趨勢依舊相當一致，還可發現修正後質量濃度與修正前質量濃度差異有所增加，這是因為環境溫度由 4 月中旬的攝氏 22 度左右，提升至約 27 度，導致成分揮發損失，其中以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 揮發濃度增加最為明顯，在 3 月 20 日、4 月 19 日過後都有明顯提升，這幾天平均溫度都超過攝氏 25 度。3 月份整體 PM<sub>2.5</sub> 濃度有逐漸降低的趨勢，4 月中旬受到在地污染影響又有些微提升，五月份開始的 5 月 7 日受到區域污染傳輸影響，修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度超過 30 µg m<sup>-3</sup>，5 月 19 日受到前日殘留及擴散不佳影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度為 37 µg m<sup>-3</sup>，以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高。春季主要化學成分在污染物濃度較高時期，如 3 月 2 日、3 月 8 日、4 月 13 日、4 月 25 日，主要是以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度最高，其次為修正後 OC 或 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，3 月 2 日受到污染物傳輸影響 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度占

比有明顯提升，另外小港站在盛行風向為西風與西南風時， $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度也會明顯提升，如4月19日、4月25日、5月1日、5月7日有相似現象。

夏季採樣期間小港站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度相當低，由於夏季環境擴散條件良好，污染物濃度大幅下降，前兩季主要化學成分  $\text{NO}_3^-$ ，在夏季只採集到相當微量的  $\text{NO}_3^-$  濃度，僅在7月18日這天有較明顯的揮發  $\text{NO}_3^-$ ，這天主要受到前日夜間擴散不良污染累積，以及日間海陸風交替將港區污染物傳輸至測站，此外 EC 濃度也明顯高於其他採樣日，可能受到日間交通排放及港區原生污染物影響，其他採樣日主要化學成分為修正後 OC 與  $\text{SO}_4^{2-}$  這兩類，在不同日期各有高低。

秋季9至11月份採樣期間，化學成分與質量濃度變化趨勢一致，其中9月22日西部各監測地區都處於擴散不佳環境條件中，小港站這天各地污染物濃度明顯較9月上旬高出不少，但小港站受到雲嘉南空品區污染傳輸影響較小，因此  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較中部地區低，從化學成分組成中可發現有高達60%成分為水溶性無機離子，其中以硫酸鹽類為主，顯示這次的高濃度主要受到工業排放影響最多，前述天氣因子監測數據也顯示，受到西風影響時有相當高的  $\text{SO}_2$  往監測站點傳輸，當時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與這波  $\text{SO}_2$  峰值有相同變化趨勢，這項結果與此處化學成分數據相互驗證，顯示受到西方工業廢氣影響。10月份採樣期間則在4日與28日有較高  $\text{PM}_{2.5}$  濃度，這兩日的監測數據差異為10月4日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度變化趨勢與  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  相似，而10月28日變化趨勢僅與  $\text{NO}_x$  及 CO 相似，顯示10月4日這天受到工業影響較多，從化學成分組成也可發現10月4日有較高的  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度。11月採樣期間，小港站平均  $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯提升不少，前述監測資料顯示小港站都處於平均風速較低的情況，導致污染物不易擴散稀釋，從化學成分中明顯增加的修正後 OC 及  $\text{NO}_3^-$  顯示與本地污染排放的影響相當顯著。

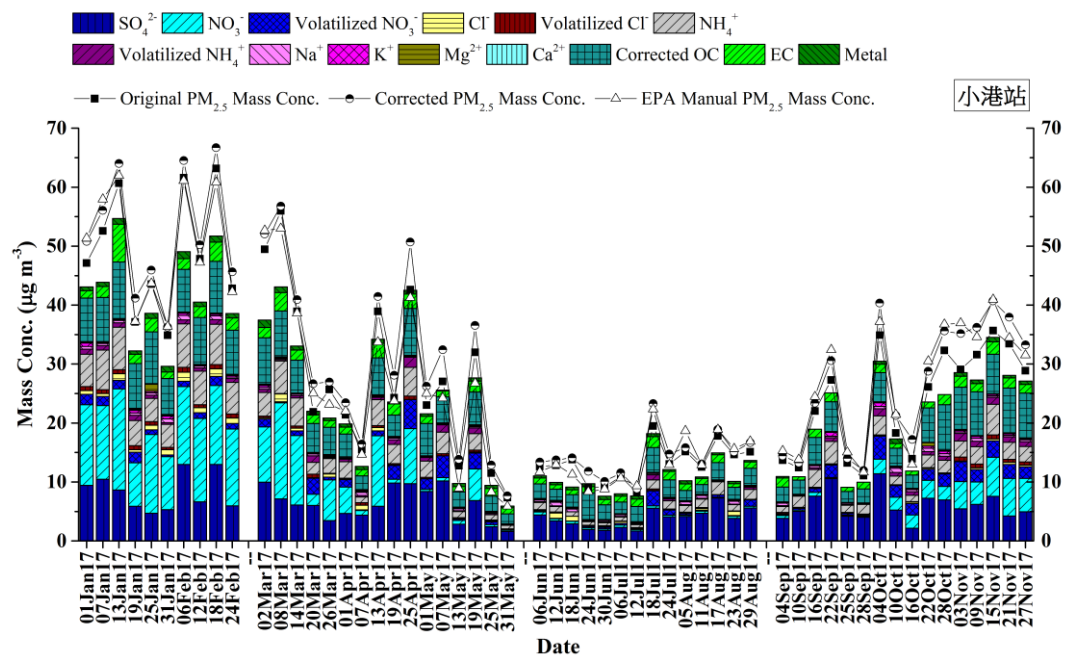


圖 4.3.19 小港站 2017 年例行性採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  成分濃度隨時間變化

### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.3.20 為小港站採樣期間每日各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子 (Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間，高濃度金屬元素只有金屬元素 Zn 的富集因子接近 1000 ( $\log_{10}1000=3$ )，顯示受到人為影響程度相當高，Zn 為常見交通排放、輪胎和剎車磨損、垃圾焚化、二次冶煉指標金屬元素。中間區間的金屬元素濃度大多在  $5 \sim 60 \text{ ng m}^{-3}$ ，並以交通排放或鋼鐵工業指標金屬元素 Mo 及燃煤及工業排放指標金屬元素 Pb 有相對較高的富集因子，可能與監測地區高交通密集度或周遭鄰近工業有關，其他受人為活動影響金屬元素 Ni、V 及 Cu 也有大於 10 的富集因子，其中 Ni 及 V 主要來自燃油燃燒，並且小港站富集因子約在 100 上下，高於北部、中部及花蓮站，顯示小港地區受到燃油排放影響高於其他都會區，金屬元素 Cu 則可能來自工業影響或是汽車剎車墊片磨損產生。低濃度金屬元素則是以採樣期間濃度在  $12 \text{ ng m}^{-3}$  以下的金屬元素為主，以 Sn、Sr、Se 濃度含量最高，這些金屬元素主要與工業鍋爐所使用的燃料有關。

冬季小港站與其他西部各監測站相似，時常發生污染事件，在金屬元素成分上有更高的 Fe、Pb、Sn、V、Mn 等指標金屬元素濃度，這顯示小港站除了受到工業鍋爐排放影響外，高濃度的 Pb、Mn、Fe 似乎與小港在地重工業較多有關。

春季採樣期間，屬於燃煤燃燒指標金屬元素逐漸降低，但是金屬元素 Mn、V、Zn 等金屬元素濃度則高於冬季，由於東北風減弱，受到區域污染物傳輸影響降低，這時污染型態以本地排放為主，這些指標金屬元素也顯示出小港站工業污染源特性，以燃油或鋼鐵工業等污染源為主，不過金屬元素 Zn 與 Mn 也可能來自交通與揚塵等來源。

夏季整體金屬元素濃度相當低，受到海風影響，金屬元素 Na 有較高濃度，此外，金屬元素 V、Ni 濃度明顯高於其他監測度區，顯示高雄夏季污染物

特性除了交通外，燃油鍋爐或鄰近的港口船舶也是潛在污染源，另一方面，從現場採樣人員採樣紀錄中指出，測站周遭建築物施工，因此夏季採樣期間受到施工粉塵影響，受影響樣本包括 6 月 12 日、6 月 30 日、7 月 6 日、7 月 12 日及 8 月 23 日這段期間樣本受到塵土污染並且以 8 月 23 日這天受污染最為嚴重。

秋季與其他西部測站相似，受到環境擴散條件變差影響，污染物濃度逐漸升高，由於這段期間東北季風強度不足，因此小港站較少受到其他都會污染物傳輸影響較小，上升的燃煤指標金屬元素 Se，As 濃度，應該為本地燃煤鍋爐所貢獻，另外受到擴散條件變差影響，金屬元素 V 濃度也有明顯上升，另外 10 月下旬開始，小港站元素 K、Mn、Pb 等濃度明顯較夏季提升不少，特別是元素 K，可能來自生質燃燒以外的本地污染源，這在 1 月份至 3 月初時有類似現象，這兩段期間都屬於本地污染較為嚴重時期  $PM_{2.5}$  濃度皆在  $30 \mu g m^{-3}$  以上。

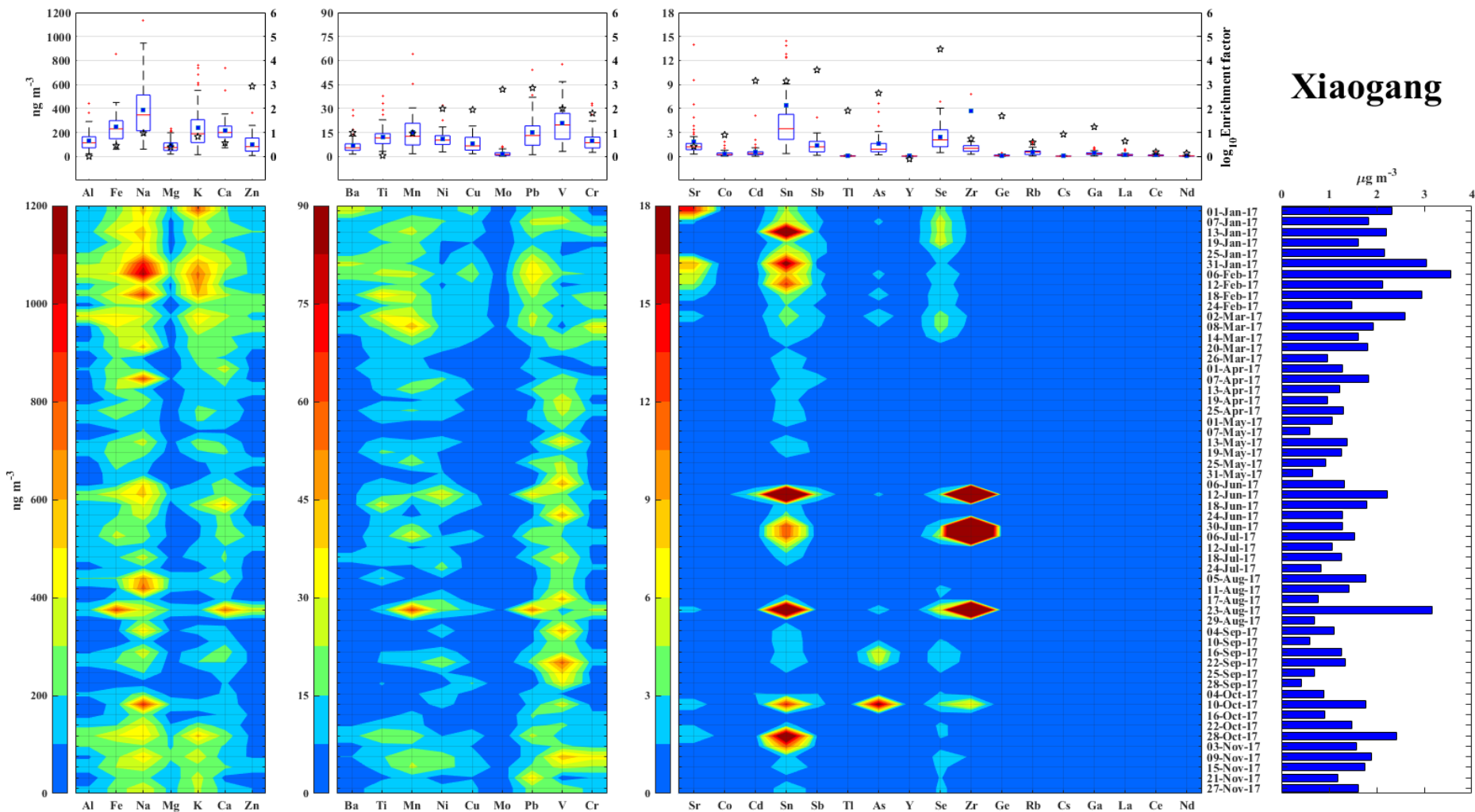


圖 4.3.20 小港站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。

### 4.3.6 花蓮站

#### 1.環境影響及空氣品質監測站污染物濃度

表 4.3.6 為採樣期間污染物日平均濃度與氣象因子，圖 4.3.21 為採樣期間污染物濃度較高時期氣流逆推軌跡，本計畫結合兩者資料推衍找出造成各月份 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高成因。花蓮站作為本次採樣地區中的背景測站，從一月分開始就可發現整體污染物濃度低於西部五個監測站，一月份 PM<sub>2.5</sub> 濃度僅 8~14  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，並且氣態污染物濃度也低於其他採樣點，從天氣因子中可發現花蓮站有較高的平均風速，平均風速約為 1.9~2.7  $\text{m s}^{-1}$ ，顯示花蓮站擴散條件良好。二月份花蓮測站監測資料日平均值顯示，採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度不算好，有兩日濃度較高，濃度最高為 2 月 6 日的 25  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，當日風速為 3.5  $\text{m s}^{-1}$ ，配合軌跡線推測：污染物可能來自境外或台灣東北部都會區。2 月 18 日為這段期間濃度 22  $\mu\text{g m}^{-3}$  為次高日期，氣體濃度與 2 月 6 日監測資料相似，當日風速為 3.3  $\text{m s}^{-1}$ ，除了逆推軌跡有些微差異外，這兩日污染物可能與上風污染源傳輸有關。三月份採樣期間花蓮站每日空氣品質都符合標準，5 次採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度多在 20  $\mu\text{g m}^{-3}$  以內。3 月 2 日有較高的 28  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，當天環境資料與 3 月 14 日十分相似，前述軌跡資料也發現 3 月 2 日和 3 月 14 日同受北部和宜蘭污染傳輸，空氣品質狀況應該類似，後續的逐時監測數據顯示 3 月 2 日受前一日殘留污染影響，因此有較高的 PM<sub>2.5</sub> 濃度。四月份採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度相對較高，濃度最高出現在 4 月 13 日，前述軌跡資料顯示當天主要為在地污染型態，環境中 NO<sub>x</sub>、CO 以及 O<sub>3max</sub> 為四月份採樣日最高，表示當天受到在地交通排放影響。由於日平均風速僅 1.7  $\text{m s}^{-1}$ ，環境擴散條件較差，有造成污染事件的客觀條件，但受到東北風夾帶水氣影響有零星降雨，PM<sub>2.5</sub> 濃度沒有竄升。五月份花蓮站監測資料顯示當月 6 次採樣日空氣品質都相當良好，PM<sub>2.5</sub> 濃度約在 15  $\mu\text{g m}^{-3}$  上下，這段期間軌跡線資料顯示氣流主要由海面傳輸，因此傳輸污染物影響減少，而且日平均風速也較高，少數幾天日平均風速低於 2  $\text{m s}^{-1}$  的採樣日由於受到零星降雨的影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度低，

整個環境條件有利於污染物稀釋，因此花蓮測站並未出現明顯污染事件。在進入夏季之後，六月份  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度約在  $6\sim 11\ \mu\text{g m}^{-3}$ 、七月份  $4\sim 10\ \mu\text{g m}^{-3}$ ，整體空氣品質相當良好，八月份以後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約為  $8\sim 19\ \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中濃度比較高的採樣日在 8 月 5 日，各項監測資料比起其他採樣日並無太大差異，從軌跡資料發現氣流路徑短，顯示風速不高，氣流來向主要為海面，因此受到區域污染物影響機會較小，污染物濃度應該受到本地排放影響，詳細成因需要透過小時值變化趨勢瞭解。9 月份花蓮站各採樣日空氣品質延續夏季空氣品質，依舊相當良好，期間平均風速在  $1.9\sim 2.3\ \text{m s}^{-1}$ ，顯示擴散條件良好，其中 9 月 28 日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度為這段期間最高日，濃度為  $14\ \mu\text{g m}^{-3}$ ，當天  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  及  $\text{O}_3$  同為期間最高濃度，軌跡資料顯示當天上午氣流主要來自東方海面，下午氣流來向轉變為北部都會區，可不過這天氣流軌跡路徑短，顯示風速不高，因此較不可能傳輸北部污染物至花蓮站，詳細結果將透過小時監測值再行確認。十月份花蓮站依舊維持著相當良好的空氣品質，日平均風速都在  $2\ \text{m s}^{-1}$  以上，這段期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度約為  $3\sim 20\ \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中濃度最高的一天出現在 10 月 22 日，這天軌跡資料顯示氣流來向為黃海，氣流傳輸至台灣後由東北角向南傳輸至花蓮測站，由於氣流路徑低，因此可能夾帶基隆與宜蘭等地污染物至花蓮站。11 月採樣期間花蓮站空氣品質相當良好，各採樣日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度皆在  $10\ \mu\text{g m}^{-3}$  以下，並未受到任何污染物影響。



表 4.3.6 花蓮站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
1-Jan-17	花蓮	11	0.2	7.9	1.5	48	西南	2.4	21	23	62.0	0.2
7-Jan-17	花蓮	10	0.3	8.4	0.9	40	西南	2.4	23	26	75.0	NR
13-Jan-17	花蓮	9	0.4	10.3	1.5	42	東北	2.7	19	21	85.0	1.8
19-Jan-17	花蓮	14	0.3	11.9	1.4	42	西南	2.0	21	22	82.8	0.2
25-Jan-17	花蓮	9	0.4	15.6	1.5	43	東北東	1.9	18	20	82.0	2.8
31-Jan-17	花蓮	8	0.3	7.7	1.0	47	東北東	2.7	19	20	76.6	0.2
6-Feb-17	花蓮	25	0.4	6.0	1.1	59	東北東	3.5	20	21	67.2	NR
12-Feb-17	花蓮	15	0.4	12.4	1.5	42	西南西	1.9	13	16	83.6	4.4
18-Feb-17	花蓮	22	0.3	5.7	1.2	61	東北東	3.3	21	24	74.3	NR
24-Feb-17	花蓮	9	0.5	13.8	1.9	45	東北東	2.0	17	19	81.6	3.8
2-Mar-17	花蓮	28	0.4	10.7	1.4	56	東北東	2.6	17	19	72.5	NR
8-Mar-17	花蓮	16	0.4	15.6	1.9	54	西北	1.9	15	16	89.9	20.6
14-Mar-17	花蓮	12	0.3	10.5	1.2	55	東北東	3.0	18	20	79.5	1.4
20-Mar-17	花蓮	10	0.3	9.3	1.0	44	南南東	2.0	24	26	84.3	NR
26-Mar-17	花蓮	16	0.4	10.7	0.9	55	西南西	1.9	16	17	86.6	11.4
1-Apr-17	花蓮	25	0.3	9.9	1.6	59	西南西	2.4	17	18	81.8	12.8
7-Apr-17	花蓮	11	0.2	6.8	2.5	39	西南	2.1	24	27	77.0	NR
13-Apr-17	花蓮	29	0.5	12.5	1.7	70	西南	1.7	19	21	85.5	3.6
19-Apr-17	花蓮	22	0.3	8.8	1.7	44	西南	1.6	26	28	80.8	0.4
25-Apr-17	花蓮	14	0.3	6.6	1.5	54	西南	2.1	25	28	76.2	NR
1-May-17	花蓮	14	0.2	4.1	1.1	53	南南西	2.6	24	27	72.6	NR
7-May-17	花蓮	18	0.3	6.2	1.2	58	東北東	2.2	26	27	83.0	1.4
13-May-17	花蓮	13	0.2	8.4	1.5	54	東北東	2.3	27	28	80.5	0.2
19-May-17	花蓮	16	0.3	9.5	1.2	48	西北西	1.7	23	25	84.9	14.4
25-May-17	花蓮	7	0.3	8.8	1.3	45	西南西	1.9	24	25	86.0	10.2
31-May-17	花蓮	10	0.2	8.0	2.5	45	東南東	1.8	27	29	79.9	NR
6-Jun-17	花蓮	11	0.2	5.9	2.3	43	西南	1.9	29	31	75.4	NR
12-Jun-17	花蓮	8	0.2	7.9	1.8	38	西南	2.1	29	32	75.8	1.8
18-Jun-17	花蓮	8	0.3	12.1	2.2	40	西南	1.3	25	27	88.3	6.0
24-Jun-17	花蓮	9	0.2	6.7	2.2	43	西南	2.2	30	32	73.6	NR
30-Jun-17	花蓮	6	0.1	4.9	1.2	25	西南	3.0	28	32	77.5	7.0

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

表 4.3.6 花蓮站 2017 年例行性採樣期間空氣污染濃度和氣象因子(續)

Date	測站	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3max</sub> (ppb)	風向	風速 ( $\text{ms}^{-1}$ )	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	RH (%)	雨量 (mm)
6-Jul-17	花蓮	4	0.1	3.0	1.7	20	西南	2.9	30	32	71.2	NR
12-Jul-17	花蓮	6	0.1	4.5	1.5	24	南南東	2.7	31	32	71.5	NR
18-Jul-17	花蓮	9	0.1	5.4	1.2	21	南南東	1.9	31	33	71.0	NR
24-Jul-17	花蓮	10	0.1	3.8	1.9	21	東南	2.0	32	33	72.6	NR
5-Aug-17	花蓮	19	0.2	5.9	2.4	44	東南	1.9	31	32	76.3	NR
11-Aug-17	花蓮	17	0.2	8.5	2.6	54	西南西	2.0	32	34	67.5	NR
17-Aug-17	花蓮	12	0.2	7.4	2.6	31	東南東	2.0	31	32	69.0	NR
23-Aug-17	花蓮	6	0.2	7.3	1.8	29	西南	2.3	29	32	78.8	12.0
29-Aug-17	花蓮	8	0.2	7.2	1.4	22	東北	2.0	31	34	65.7	NR
4-Sep-17	花蓮	7	0.3	6.9	2.0	44	東北東	1.9	29	32	75.3	NR
10-Sep-17	花蓮	11	0.2	3.7	1.7	28	西南西	2.1	29	31	74.3	NR
16-Sep-17	花蓮	12	0.2	4.3	1.0	62	東	2.3	29	32	67.3	NR
22-Sep-17	花蓮	7	0.1	4.6	1.7	22	西南	2.1	29	32.0	75.2	NR
25-Sep-17	花蓮	7	0.1	2.6	1.8	19	西南	2.2	30	31.0	75.0	NR
28-Sep-17	花蓮	14	0.2	8.0	2.5	74	東北	2.3	30	32.0	73.4	NR
04-Oct-17	花蓮	12	0.3	8.2	2.0	43	東北	2.7	27	29	81.2	49.2
10-Oct-17	花蓮	8	0.2	7.9	1.6	22	西南	2.0	28	31	77.0	1.4
16-Oct-17	花蓮	3	0.2	7.0	2.0	25	西南	2.0	27	30	81.1	NR
22-Oct-17	花蓮	20	0.3	5.9	1.5	69	西南	2.2	24	25	64.4	NR
28-Oct-17	花蓮	16	0.2	5.8	1.6	61	西南	2.7	24	27	67.5	NR
03-Nov-17	花蓮	9	0.3	13.2	2.1	49	西南西	1.7	24	26	85.5	27.2
09-Nov-17	花蓮	4	0.3	11.1	1.7	41	東北	1.6	23	24	76.6	26.2
15-Nov-17	花蓮	5	0.3	11.2	2.0	46	東北	2.3	24	26	82.2	0.4
21-Nov-17	花蓮	7	0.3	12.5	1.9	42	東北	1.9	23	26	79.5	0.4
27-Nov-17	花蓮	7	0.3	9.8	1.8	44	東北	2.3	23	25	83.7	2.2

註：「NR」表示該時段無降雨；「-」表示監測資料筆數不足

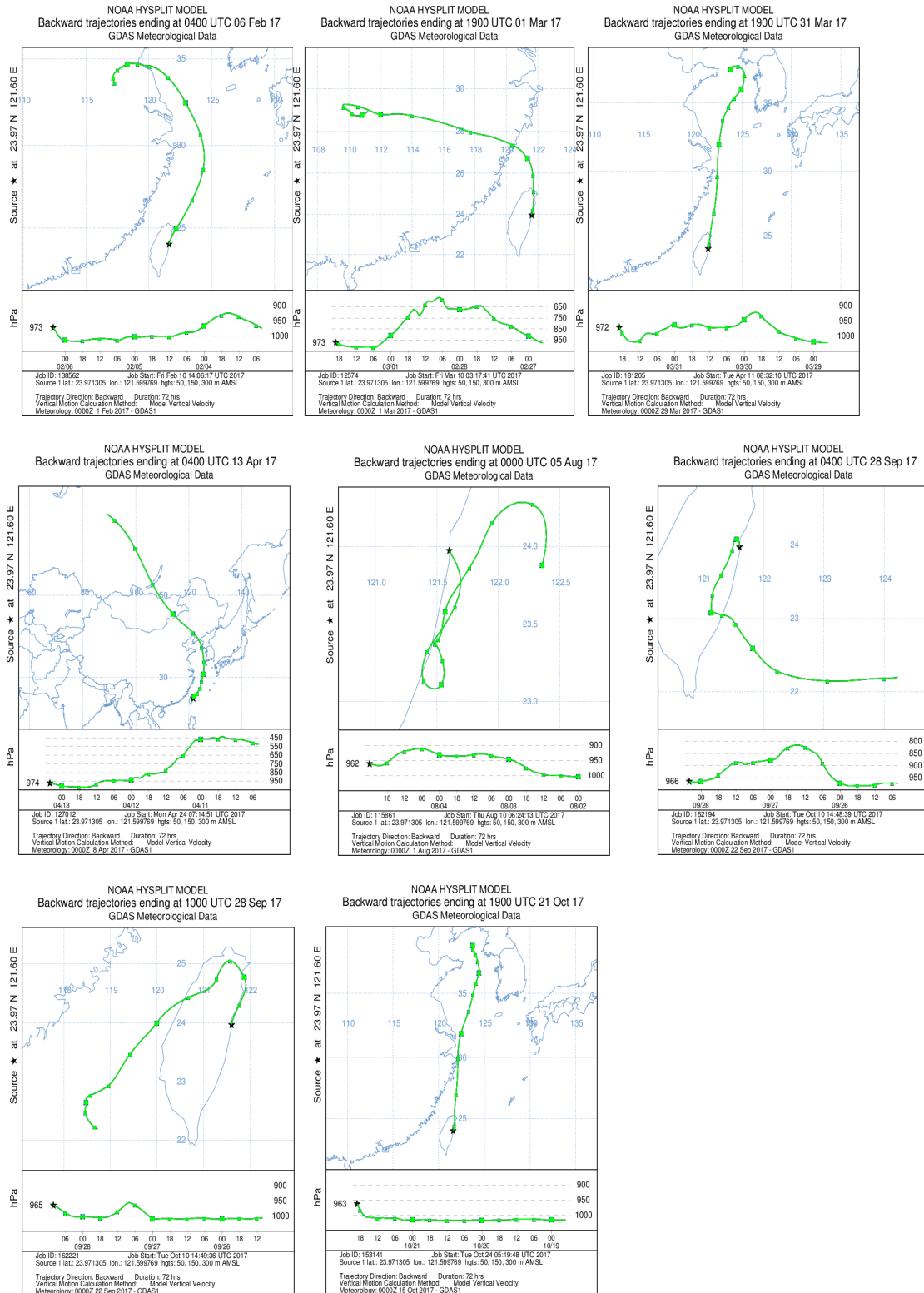


圖 4.3.21 花蓮站污染物濃度較高期間典型氣流軌跡 (由左上至右下分別為 2 月 6 日、3 月 2 日、4 月 1 日、4 月 13 日、8 月 5 日、9 月 28 日、10 月 22 日)

圖 4.3.22 為採樣期間各時期較具代表性污染物及氣象因子時間序列變化，其餘資料陳列於附錄，2 月 6 日為二月份採樣期間污染物濃度最高日期，從監測資料顯示整日環境風速約為  $3 \text{ m s}^{-1}$ ，上午 8 時開始  $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯上升，由  $11 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$  上升至  $40 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ，這段期間  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  也有些微增加， $\text{O}_3$  濃度並沒有日變化，從 8 時以後維持 60 ppb 濃度，顯示這段期間東北風夾帶上風區域污染物傳輸至花蓮站。三月份濃度較高的採樣日則為 3 月 2 日，從 0 時開始，環境中  $\text{PM}_{2.5}$  濃度就有  $24 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ，顯示污染物來自前一日污染殘留，這段期間風速約為  $2 \text{ m s}^{-1}$  上下，環境主要盛行西南風，上午 6 時起  $\text{CO}$  與  $\text{NO}_x$  濃度驟升，這段期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度也受到影響而上升，表示與在地交通排放有關，上午 8 時以後風速由  $1 \text{ m s}^{-1}$  驟升上升至  $5 \text{ m s}^{-1}$ ，臭氧濃度在這段期間明顯上升，此時風向轉為東北風，配合前述氣流軌跡線資料顯示氣流由北部都會區和宜蘭傳輸，因此濃度上升可能與上風區域傳輸有關。4 月 1 日風速在  $2 \text{ m s}^{-1}$  上下，風向多為西南風，臭氧濃度整日維持在 55 ppb 上下，從中午過後直到深夜， $\text{PM}_{2.5}$  濃度突然從 10 釐升到  $50 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ，情形較為奇特。4 月 13 日從 0 時開始環境中  $\text{PM}_{2.5}$  濃度為  $36 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ，除了  $\text{PM}_{2.5}$  也可發現當時臭氧濃度約有 60 ppb，這些污染物可能為前日所累積的衍生污染物，另外受到環境風速偏低的影響，整日污染物濃度不太下降；從上午與下午交通尖峰時段可以發現  $\text{NO}_x$  與  $\text{CO}$  變化趨勢相同，顯示這天的污染物濃度主要受到前日夜間殘留衍生物影響以及在地交通污染源排放影響。進入夏季後花蓮站空品依舊良好，少數幾日如 8 月 5 日這天  $\text{PM}_{2.5}$  濃度略高於其他採樣日，從監測資料顯示當天風向主要為西南或東南風，風速變化也不明顯， $\text{PM}_{2.5}$  濃度僅在上午及下午交通尖峰時段有些微上升現象，顯示受到交通排放影響，另外，上午 8 時  $\text{SO}_2$  濃度有一波峰值，雖然濃度不高，但指出可能受到工業排放影響。9 月份花蓮站空氣品質依舊良好，濃度最高日的監測資料日平均值也僅有  $14 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ，當天日間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{NO}_x$  及  $\text{CO}$  有同樣變化趨勢，顯示受到晨間交通排放影響，16 時過後風速明顯降低，污染物累積速率上升，這天污染物來源為本地排放。10 月 22 日這天  $\text{PM}_{2.5}$  濃度與  $\text{CO}$  及  $\text{NO}_x$  變化趨勢相似，從上午 4 時開始就

不斷累積上升，雖然這段期間風速一度達到  $3.2 \text{ m s}^{-1}$ ，但污染物濃度依舊逐漸上升，這段期間風向主要為東北風，顯示受到上風污染物傳輸影響，相似的情況在 2 月 6 日、3 月 2 日都有出現，顯示當軌跡路徑經過測站北部區域時就會出現這種濃度上升的情形。

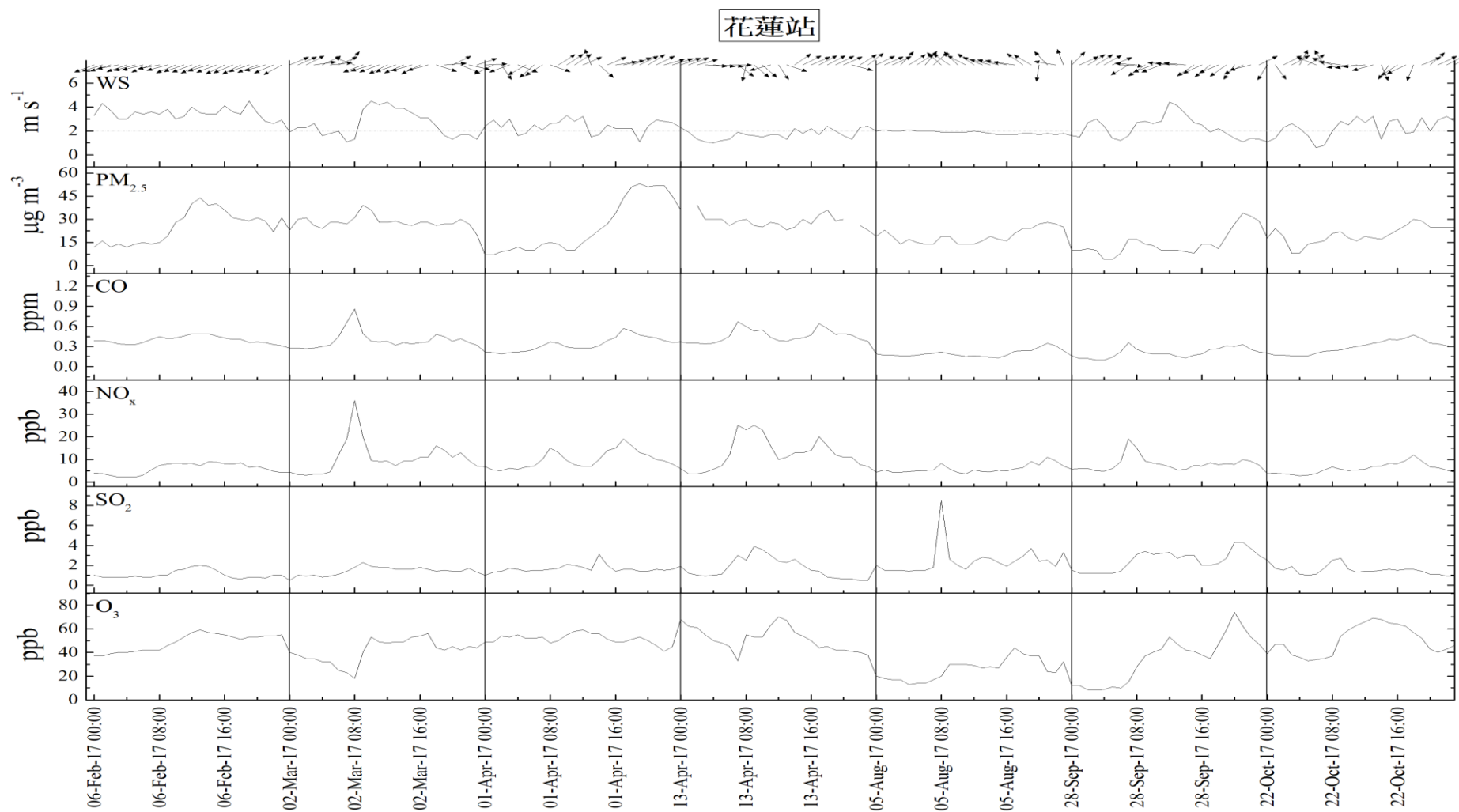


圖 4.3.22 花蓮站污高污染物濃度時期氣象因子及空氣污染物時間序列變化

## 2. PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測

圖 4.3.23 顯示花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分與質量濃度變化趨勢，整體來說，化學成分與質量濃度變化趨勢十分一致，本計畫 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署例行手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度兩者間並無明顯差異。從成分圖顯示 PM<sub>2.5</sub> 化學成分主要為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，其次為修正後 OC。污染物濃度較高的 2 月 6 日以及 2 月 18 日就有相當高的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>與 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，顯示當時環境中主要污染物種為硫酸銨，推測這兩天花蓮地區受到傳輸的衍生污染物所影響。前述氣流軌跡數據判斷 2 月 6 日氣流可能夾帶境外污染物傳輸過來，2 月 18 日氣流軌跡線判斷境外污染傳輸可能性較低，從監測數據可發現 CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 濃度在上午 8 時有明顯激增，顯示與上風污染源傳輸有關。

春季採樣期間質量濃度與環保署例行手動採樣質量濃度以及質量濃度與化學成分變化趨勢都十分一致。PM<sub>2.5</sub> 濃度相較於冬季有些微提升趨勢，與冬季化學成分相似主要為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，其次為修正後 OC，採樣期間兩次濃度較高時期 3 月 2 日以及 4 月 13 日分別受到北部區域污染物傳輸以及在地交通排放影響，可以發現主成分中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>以及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>根據污染成因差異有明顯不同，發生傳輸污染時如 3 月 2 日，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度明顯提升許多，在地污染較為嚴重時，如 4 月 13 日 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度則明顯提升，另外 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度也同樣上升不少，顯示這些污染物可能為硝酸銨，冬季幾次濃度較高時期也有同樣現象，另一方面還可發現花蓮站與板橋站化學成分頗為相似，尤其在東北風較為強勁時期，不過花蓮站濃度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度比例對比板橋站低了不少，可能原因應該與花蓮站受到交通排放源影響比板橋少了許多，因此相關衍生污染含量也降低不少。

夏季採樣期間花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 濃度相當低，僅有一天濃度超過 15 µg m<sup>-3</sup>，其餘採樣日大多在 15 µg m<sup>-3</sup> 以下，化學成分與 PM<sub>2.5</sub> 趨勢大致良好，除了 8 月 5 日解析成分濃度較低，因此趨勢略差，主要受到碳成分濃度較低所影響，另一方面主要化學成分除了 6 月 30 日至 7 月 18 日這段期間是以修正後 OC 為主，其餘採樣期間皆為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>為主要化學成分，由於夏季本身較少受到傳輸污染物影

響的可能，因此在 8 月 5 日~8 月 17 日這段期間的  $\text{SO}_4^{2-}$  是否也顯示背景時期花蓮本地的工業排放影響？

秋季採樣期間花蓮站整體  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度與夏季差異不大，主要化學成分依然為  $\text{SO}_4^{2-}$  低濃度時期則以修正後 OC 為主，不過 10 月 16 日這天較為特殊，當天由於  $\text{PM}_{2.5}$  濃度相當低，手動採樣結果與環保署手動結果相比對約有  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  差異，並且受到當日  $\text{NO}_3^-$  與 OC 修正後濃度較高影響，修正後質量濃度增加約 22%，當天監測數據顯示風向主要為西南風，這天主要受到交通排放影響，因此有較高的 OC 與  $\text{NO}_x$  濃度，另一方面濃度最高日期出現在 10 月 22 日這天以東北風為主，與過去春季高濃度時期相似，受到北部都會傳輸影響，另外夜間交通排放也是導致濃度上升的主因。

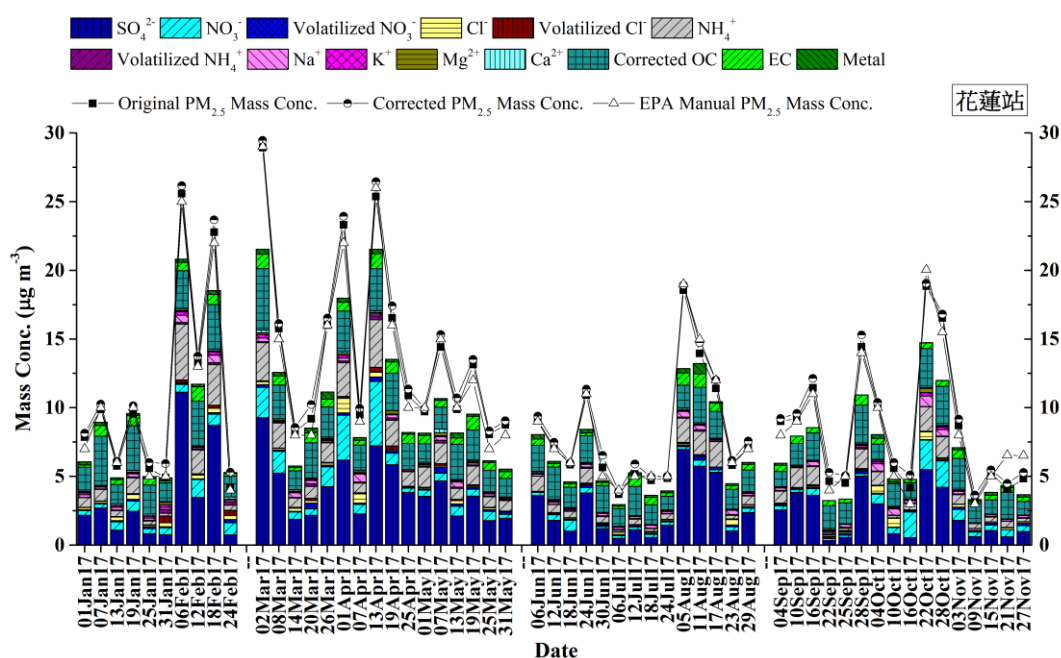


圖 4.3.23 花蓮站 2017 年例行性採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  成分濃度隨時間變化



### 3. PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分分析

圖 4.3.24 為花蓮站採樣期間每日各金屬元素濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )變化及富集因子 (Enrichment factor, ☆)平均值，金屬元素濃度高低差異甚大，為了容易檢視，本計畫根據金屬元素濃度劃分為三段濃度區間，高濃度金屬元素只有金屬元素 Zn 的富集因子接近 1000 ( $\log_{10}1000=3$ )，顯示受到人為影響程度相當高，Zn 為常見交通排放、輪胎和剎車磨損、垃圾焚化、二次冶煉指標金屬元素。中間區間的金屬元素濃度以交通排放或鋼鐵工業指標金屬元素 Mo 及燃煤及工業排放指標金屬元素 Pb 有相對較高的富集因子，不過花蓮站金屬元素 Mo 富集因子為六站中最低，顯示受人為活動影響相對較小，其他受人為活動影響金屬元素 Ni、V 及 Cu 也有大於 10 的富集因子，Ni 及 V 主要來自燃油燃燒，金屬元素 Cu 則可能來自工業影響或是汽車剎車墊片磨損產生。低濃度金屬元素則是以採樣期間濃度在  $12 \text{ ng m}^{-3}$  以下的金屬元素為主，以 As、Se 濃度含量最高，這些金屬元素主要與工業鍋爐所使用的燃料有關。

花蓮站冬季比其他西部監測地區各類金屬元素物種濃度相當低，整個冬季在途中僅可發現金屬元素 Na、K、Ca、Sr、Se 等金屬元素濃度變化，顯示僅受到海鹽、揚塵與燃煤燃燒的影響，由冬季氣流軌跡來向時常由北部都會區，或是中國華中污染地區傳輸至花蓮站，推測這段時期人為污染物主要經由傳輸而來。

春季與冬季相似，金屬元素 Se 的濃度變化較為明顯，另外由於東北風來向逐漸由華中、華北地區轉至海面，氣流經過地區較少污染物，因此金屬元素 Se 濃度逐漸下降，同是揚塵指標金屬元素 Ca、Ti 逐漸上升，另外，在春季採樣期間金屬元素 K 濃度有明顯上升趨勢，可能與生質燃燒有關。

到了污染物濃度最低的夏季，富集因子較高的指標金屬元素幾乎無法從圖中被發現，僅剩下 Na、Ca、Ti 等揚塵與海鹽指標金屬元素。

秋季開始塵土金屬元素濃度下降，燃煤指標金屬元素濃度再次上升，對照西部監測地區，這段期間西部各地區受到盛行風向轉變影響，開始發生污染事

件，從花蓮站金屬元素成分濃度變化也可發現金屬元素 **Se**、**Pb** 濃度開始出現，雖然這段期間整體濃度還是低於冬季時期，顯示在非強東北季風時期，花蓮站金屬元素來源主要以地殼金屬元素為主。

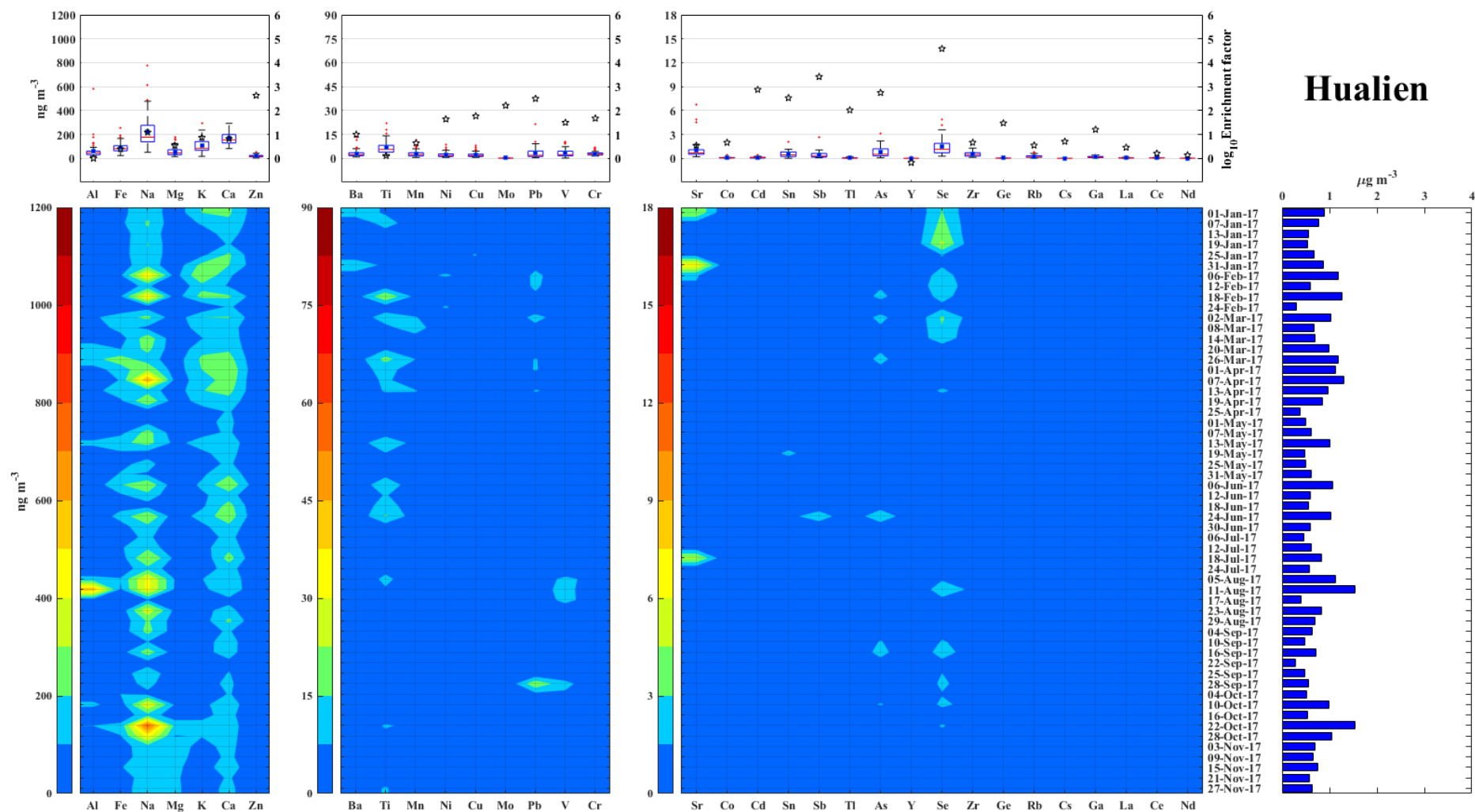


圖 4.3.24 花蓮站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 各金屬元素每日濃度(中圖)，(上圖)的盒鬚為每個金屬元素在採樣期間濃度( $\text{ng m}^{-3}$ )分布，星號表示每個金屬元素在採樣期間富集因子(Enrichment Factor, EF)平均數值，(右圖)為採樣期間每個樣本全部金屬元素濃度 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )。

## 4.4 PM<sub>2.5</sub> 化學成分特徵及引申意義

### 4.4.1 手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度季節平均值區域及季節變化趨勢代表性

計畫期間採樣頻率為六天一次，環保署監測站幾乎是不間斷，為了瞭解手動採樣的 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化趨勢與環保署自動監測 PM<sub>2.5</sub> 濃度是否具有相同的季節變化特性？本計畫下載 2017 年 1 月至 10 月採樣期間，同址環保署空氣品質監測站 PM<sub>2.5</sub> 連續監測數據進行比對，結果如圖 4.4.1 所示，橫坐標的 S1 為 2016 年冬季 (2017 年 1~2 月)，S2 為 2017 年春季，S3 為 2017 年夏季，S4 為 2017 年秋季。六個監測站手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 濃度(NCU)與環保署自動監測濃度(EPA)比對，得出各測站與環保署自動監測 PM<sub>2.5</sub> 濃度季節變化趨勢相當一致，不過板橋站手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 季節平均濃度在 S2 與 S3 相較於環保署自動監測 PM<sub>2.5</sub> 濃度稍有高估。從右側各季節樣本濃度頻率分布顯示，手動採樣 S1 即 S2 期間有較大四分位範圍 (quarter range)，表示手動樣本頻率分布 25~75%濃度的分布範圍較大，亦即，六天一次的樣本採到這兩個季節樣本濃度差異較多。其他監測比對結果顯示手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 濃度與環保署自動監測濃度相當一致，顯示雖然手動採樣頻率為六天一次，但仍可代表幾乎不間斷監測的環保署自動測站獲得的 PM<sub>2.5</sub> 濃度。

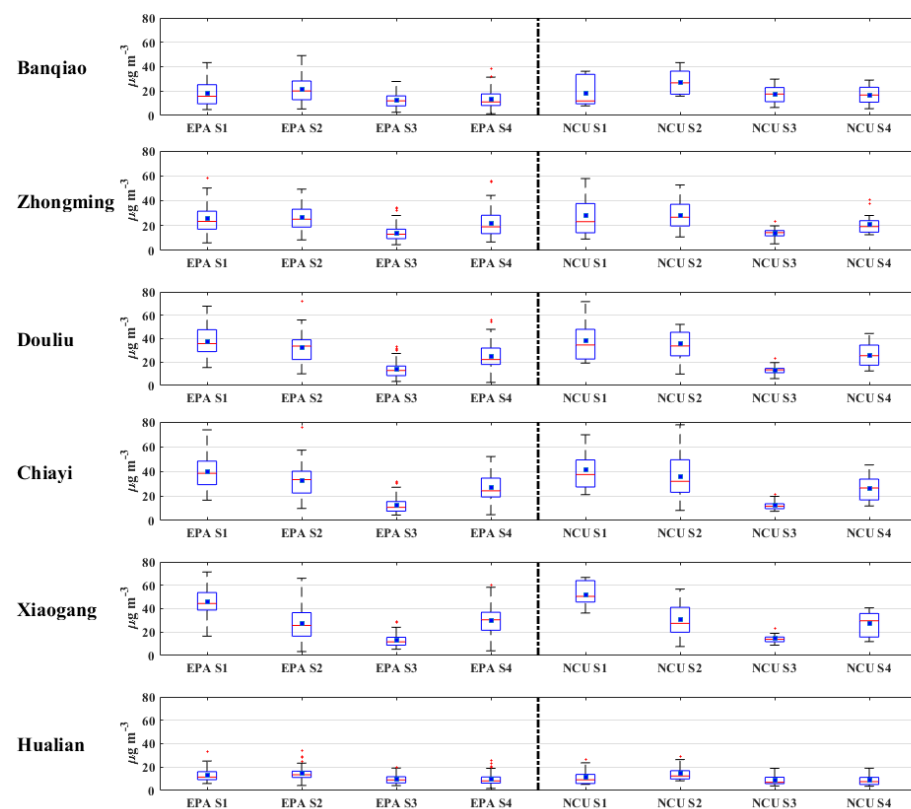
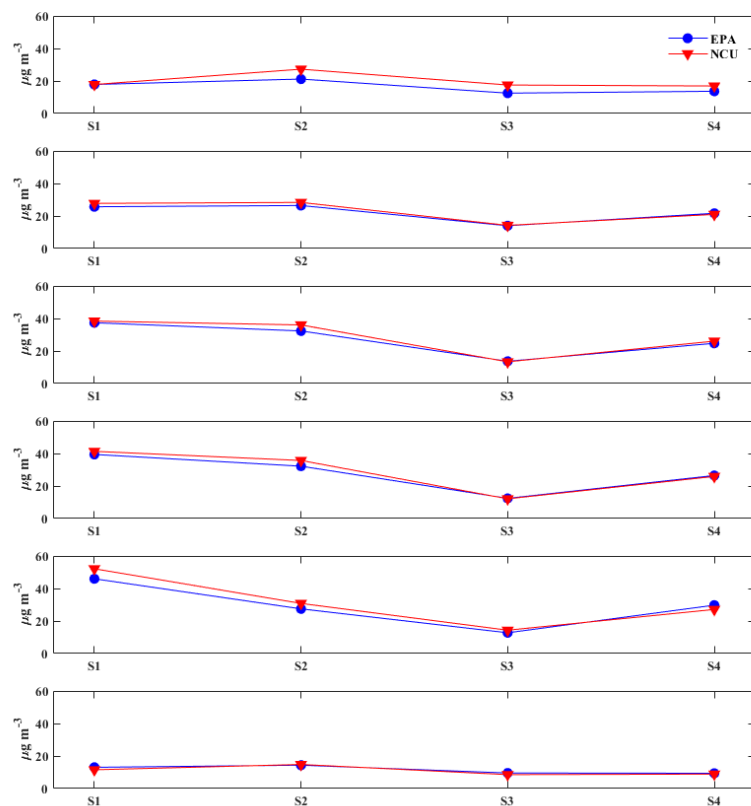


圖 4.4.1 手動採樣數據(NCU)與環保署空氣品質監測站 PM<sub>2.5</sub> 濃度(EPA)季節變化趨勢比較(左圖為季節平均濃度比較，右圖為各季節樣本濃度頻率分布比較)

#### 4.4.2 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及主要化學成分區域及季節變化

圖 4.4.2 與圖 4.4.3 上方區塊為各測站 2017 年 PM<sub>2.5</sub> 季節質量濃度盒鬚圖，HL 代表花蓮站，BQ 代表板橋站，ZM 代表忠明站，DL 代表斗六站，CY 代表嘉義站，XG 代表小港站。從各監測站質量濃度變化趨勢發現 2017 年由東而北而南各測站 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度分別為 11、20、23、28、28、29  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，冬季 PM<sub>2.5</sub> 濃度由北至南逐漸遞增，以小港站 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度最高，春季最高平均濃度則變為斗六站，嘉義站濃度和斗六站非常接近，最高濃度樣本則出現在嘉義測站。春季下雨日子較冬季多，小港站在 5 月 19, 25, 31 日都是下雨，PM<sub>2.5</sub> 質量濃度低，造成春季較冬季濃度降低許多。夏季六個採樣站 PM<sub>2.5</sub> 平均濃度都低於 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，除了板橋站四分位範圍較大之外，其餘各測站四分位差都很小，表示 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化不大，夏季板橋站污染來源主要與交通尖峰時段有關，從監測資料顯示夏季板橋站 CO 濃度較中、南部各地區高，若遇到尖峰時段風速偏低時，污染物濃度就會明顯累積提升。秋季開始，各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化趨勢與春季相似，斗六站平均值略高於嘉義站，兩個監測站點地區有相似的平均濃度，但最高樣本濃度還是出現在嘉義站。南部小港站春季時主要受到降雨影響，有較低平均濃度，夏季時雖然南部降雨日子同樣較多，但進入秋季的 9 月下旬與 10 月初西部地區的高濃度時期，由於東北季風較弱，因此透過傳輸影響到小港站的污染較少，小港站主要受到本地工業排放污染影響。另一方面，花蓮站不論冬季或春季 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度都明顯低於西部各監測地區，花蓮站監測資料顯示環境風速普遍高於 2  $\text{m s}^{-1}$  以上，環境通風良好因而達到不錯的 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質。

除了顯示質量濃度區域與季節變化外，圖 4.4.2 與圖 4.4.3 還可比較已解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分占比在各監測站點間的差異，由於各地區在不同季節受到氣流來源影響可能不同，如果採樣環境的大氣經過充分混合，並且污染源變動不大，則 PM<sub>2.5</sub> 化學成分在 PM<sub>2.5</sub> 濃度占比可視為該地區特定季節指紋特徵。如果污染

來源不變，當  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度雖然因環境擴散而增大或減少時，成分濃度也會跟著增加或降低，但成分濃度占比不會改變；然而，當污染來源改變時，化學成分濃度占比將無法保持原有比例，透過此特徵可辨別可能的污染源型態變化。從圖 4.4.2 六個監測站點冬季以及春季化學成分占比變化可發現，由北至南  $\text{SO}_4^{2-}$  占比明顯下降，但是花蓮站  $\text{SO}_4^{2-}$  占比介於北中之間相似，從先前軌跡資料可發現不論冬季或春季，花蓮站時常受到來自北部都會區氣流影響，因此，化學成分占比和北部地區較為相似。 $\text{NO}_3^-$  占比則呈現由北至南逐漸上升的趨勢，表示越往南部地區，各監測地區本地燃燒源排放影響逐漸加大；值得注意的是小港站冬季總  $\text{NO}_3^-$  占比(26.8%)高於春季(17.8%)，由於春季多雨，這似乎顯示了下雨的效應。修正後 OC 占比較  $\text{SO}_4^{2-}$  低，但變化趨勢與  $\text{SO}_4^{2-}$  同樣呈現由北至南逐漸下降趨勢，OC 來源可能是交通排放、燃煤燃燒或來自生質能，造成北部占比較高的原因或許與當地交通排放有關，從 EC 占比也可發現板橋站有較高的數值，EC 通常來自一次燃燒源所貢獻，交通排放為常見的一次燃燒源；揮發  $\text{NO}_3^-$  的區域與季節變化則顯示，此物種十分容易受到環境溫度改變影響，冬季時，小港站揮發  $\text{NO}_3^-$  約有 2.3%，這可能與當地較高的  $\text{NO}_3^-$  總濃度有關，以及南部地區溫度通常略高於中部地區，不過到了春季，這種現象更為明顯，由北至南揮發量逐漸遞增，其中小港站最為明顯(4.8%)。從整體化學成分組成可以發現，冬季以及春季採樣期間，似乎板橋與花蓮站、斗六與嘉義站都有十分相似的組成比例，這顯示這些地區的污染物之間都有關聯性，從軌跡資料也可發現相同現象，花蓮在東北風較強時期，時常受到東北部污染物傳輸影響；斗六與嘉義站，雖然相隔約 35 公里，但是從下節污染物濃度分布圖可發現嘉義站污染物濃度時常受到斗六地區污染物影響。

圖 4.4.3 顯示夏季與秋季六站  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度及化學成分占比差異，夏季板橋站平均濃度最高，占比最高物種以修正後 OC 為主，占比高達 30%，而 OC 變化趨勢與春季冬季一樣呈現北至南降低的趨勢。同樣的，板橋站 EC 占比低於小港站並且與忠明站十分接近，由於 EC 通常為一次燃燒所源貢獻，顯示在

夏季低污染時期，交通排放為北部地區主要污染來源，而秋季依然可發現類似的碳成分組成，表示一次燃燒所造成的污染在四季都對板橋地區空氣品質造成不可忽視的影響。 $\text{SO}_4^{2-}$ 占比在夏季期間花蓮占比為各站最高 26.5%，其餘監測地區約在 24~26%變動，夏季盛行風向主要為西南風，在乾淨的花蓮站有各測站最高的  $\text{SO}_4^{2-}$  占比，似乎意味著台灣全島背景  $\text{SO}_4^{2-}$  的存在；秋季時各站間變動同樣不如春季與冬季明顯， $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度依然有四分之一以上來自  $\text{SO}_4^{2-}$  前驅污染源。 $\text{NO}_3^-$  占比在夏季受到環境高溫影響，所採集到的濃度明顯較低，濃度占比以中、南部測站較高，可能為當地燃燒源較多所致；到了秋季後各監測地區  $\text{NO}_3^-$  占比上升，以中南部測站較為明顯，板橋站占比稍有增大，從前述天氣因子觀測資料推測，夏季與秋季板橋站濃度較高時都是低風速與交通排放影響，在影響空氣品質因子相同下， $\text{PM}_{2.5}$  化學成分組成差異較小，中、南部測站則受到 9 月下旬與 10 月初污染事件影響， $\text{NO}_3^-$  占比相對於夏季提升較多。

表 4.4.1 中顯示各測站季節主要化學成分濃度值，前述  $\text{SO}_4^{2-}$  是區域分布的  $\text{PM}_{2.5}$  成分，冬季  $\text{SO}_4^{2-}$  平均濃度由北部板橋站至南部小港站分別為 5.02、6.08、6.16、5.98、8.29  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，濃度值由北至南逐漸上升，數值差異不大，除了小港高出較多外，印證出  $\text{SO}_4^{2-}$  為區域性污染物。春季時也有相似的現象由北至南  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度分別為 6.62、6.61、6.73、6.86、6.21  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，整體濃度變化更小，小港站較低的濃度可能與五月份下雨有關；另一方面花蓮站由於與西部都會區有高山阻隔，因此受到西部都會區污染影響較小，雖然前述化學成分指紋與板橋站相似，但整體濃度較低。夏季時  $\text{SO}_4^{2-}$  由北部板橋站至南部小港站分別為 4.48、3.42、3.32、3.23、3.84  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，由於夏季主要盛行西南風， $\text{SO}_4^{2-}$  濃度不再由北至南遞增，同時呈現背景時期各監測站的  $\text{SO}_4^{2-}$  背景濃度。秋季時則可發現與春季時相似的現象，由北至南  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度分別為 4.33、5.08、5.26、5.51、6.04  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，雲嘉地區似乎受到東北風增強影響，區域傳輸污染物傳輸由北至南累積上升。 $\text{NO}_3^-$  可代表在地污染，冬季由北至南分別為 1.81、4.81、8.52、9.34、13.87  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，春季由北至南分別為 3.29、5.06、8.75、8.84、6.55



$\mu\text{g m}^{-3}$ ，冬季板橋站較低濃度可能與季風將污染物向南傳輸有關，本地較少污染物累積，進入春季後擴散條件改變，因此受在地污染影響比例增加，中部忠明及斗六測站也有同樣現象，嘉義站冬季較高的濃度可由區域污染物分布做解釋，嘉義站除了受到北部污染物傳輸影響，污染物受到地形影響，容易在嘉義地區累積，因此冬季  $\text{SO}_4^{2-}$  與  $\text{NO}_3^-$  濃度都高於春季，另外，南部小港站冬季  $\text{NO}_3^-$  約為春季兩倍，占比也提高了約 6%，應該是受到春季五月份下雨較多影響。夏季  $\text{NO}_3^-$  濃度則受到氣溫影響，由北至南各監測站濃度為 0.97、1.11、0.93、0.74、0.79  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，花蓮站為 0.42  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，各地區差異不大，花蓮站  $\text{NO}_3^-$  濃度又低於西部測站。到了秋季  $\text{NO}_3^-$  濃度對比夏季有了明顯得提升，由北至南各監測站濃度為 1.18、2.51、4.05、4.11、4.32，顯示污染季來臨時，本地污染物濃度影響逐漸升高。

表 4.4.1 各站 2017 年例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 主要化學成分濃度 (µg m<sup>-3</sup>)及 PM<sub>2.5</sub> 占比 (括弧內數字)

季節與測站	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
冬 - 板橋	18	5.02 (27%)	1.81 (9%)	2.27 (12%)	3.51 (22%)	0.82 (5%)
春 - 板橋	27	6.62 (24%)	3.29 (11%)	2.96 (11%)	5.29 (19%)	1.40 (5%)
夏 - 板橋	18	4.48 (24%)	0.97 (5%)	1.58 (8%)	5.01 (30%)	1.20 (7%)
秋 - 板橋	17	4.33 (23%)	1.18 (7%)	1.72 (9%)	3.91 (25%)	0.95 (6%)
冬 - 忠明	28	6.08 (22%)	4.81 (16%)	3.22 (12%)	5.38 (21%)	1.26 (5%)
春 - 忠明	28	6.61 (23%)	5.06 (16%)	3.41 (12%)	4.67 (17%)	1.38 (5%)
夏 - 忠明	14	3.42 (23%)	1.11 (7%)	1.32 (9%)	3.20 (24%)	0.97 (7%)
秋 - 忠明	21	5.08 (24%)	2.51 (12%)	2.19 (10%)	4.52 (22%)	1.06 (5%)
冬 - 斗六	38	6.16 (16%)	8.52 (22%)	4.57 (12%)	6.65 (18%)	1.39 (4%)
春 - 斗六	36	6.73 (19%)	8.75 (21%)	4.46 (12%)	5.21 (16%)	1.28 (4%)
夏 - 斗六	13	3.32 (24%)	0.93 (6%)	1.28 (9%)	2.92 (23%)	0.67 (5%)
秋 - 斗六	26	5.26 (20%)	4.05 (14%)	2.80 (11%)	5.73 (22%)	1.03 (4%)
冬 - 嘉義	41	5.98 (14%)	9.34 (22%)	4.62 (10%)	6.65 (17%)	1.54 (4%)
春 - 嘉義	36	6.86 (20%)	8.84 (21%)	4.43 (12%)	5.18 (16%)	1.17 (4%)
夏 - 嘉義	12	3.23 (26%)	0.74 (6%)	1.18 (9%)	2.49 (22%)	0.66 (6%)
秋 - 嘉義	26	5.51 (22%)	4.11 (14%)	2.87 (11%)	5.01 (19%)	0.93 (4%)
冬 - 小港	52	8.29 (16%)	13.87 (27%)	6.36 (12%)	7.85 (15%)	2.35 (4%)
春 - 小港	31	6.21 (21%)	6.55 (18%)	3.49 (11%)	4.83 (16%)	1.60 (6%)
夏 - 小港	14	3.84 (26%)	0.79 (5%)	1.31 (9%)	2.61 (19%)	1.08 (8%)
秋 - 小港	27	6.04 (24%)	4.32 (14%)	3.08 (11%)	4.95 (18%)	1.32 (5%)
冬 - 花蓮	12	3.41 (24%)	0.74 (8%)	1.38 (10%)	2.42 (25%)	0.52 (5%)
春 - 花蓮	15	4.11 (27%)	1.38 (8%)	1.59 (10%)	2.26 (16%)	0.66 (5%)
夏 - 花蓮	9	2.60 (27%)	0.42 (6%)	0.84 (9%)	1.76 (23%)	0.46 (6%)
秋 - 花蓮	9	2.19 (21%)	0.79 (10%)	0.82 (9%)	1.75 (23%)	0.38 (5%)

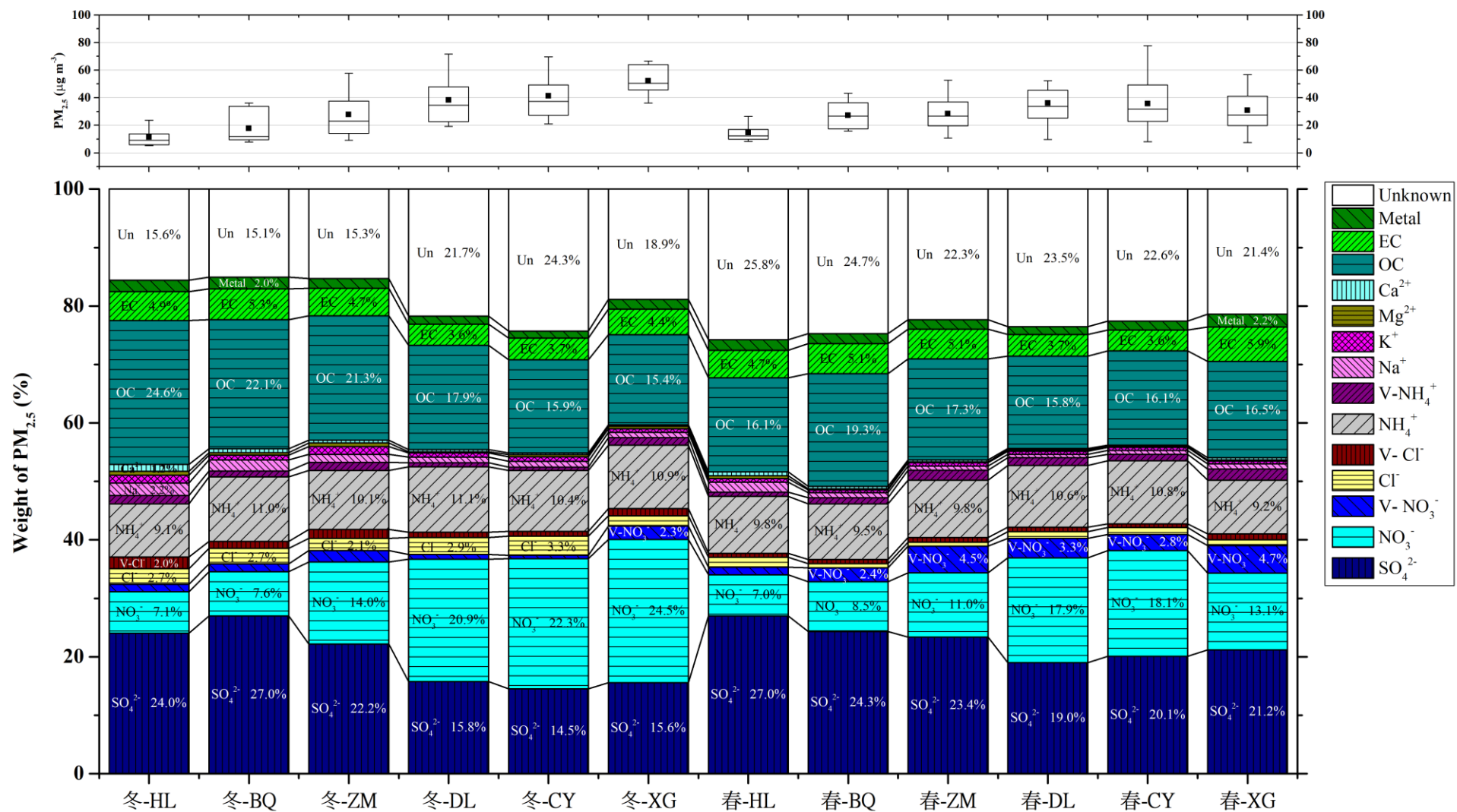


圖 4.4.2 各測站 2017 年例行性監測期間冬季和春季  $PM_{2.5}$  質量濃度變化與化學成分在  $PM_{2.5}$  濃度占比

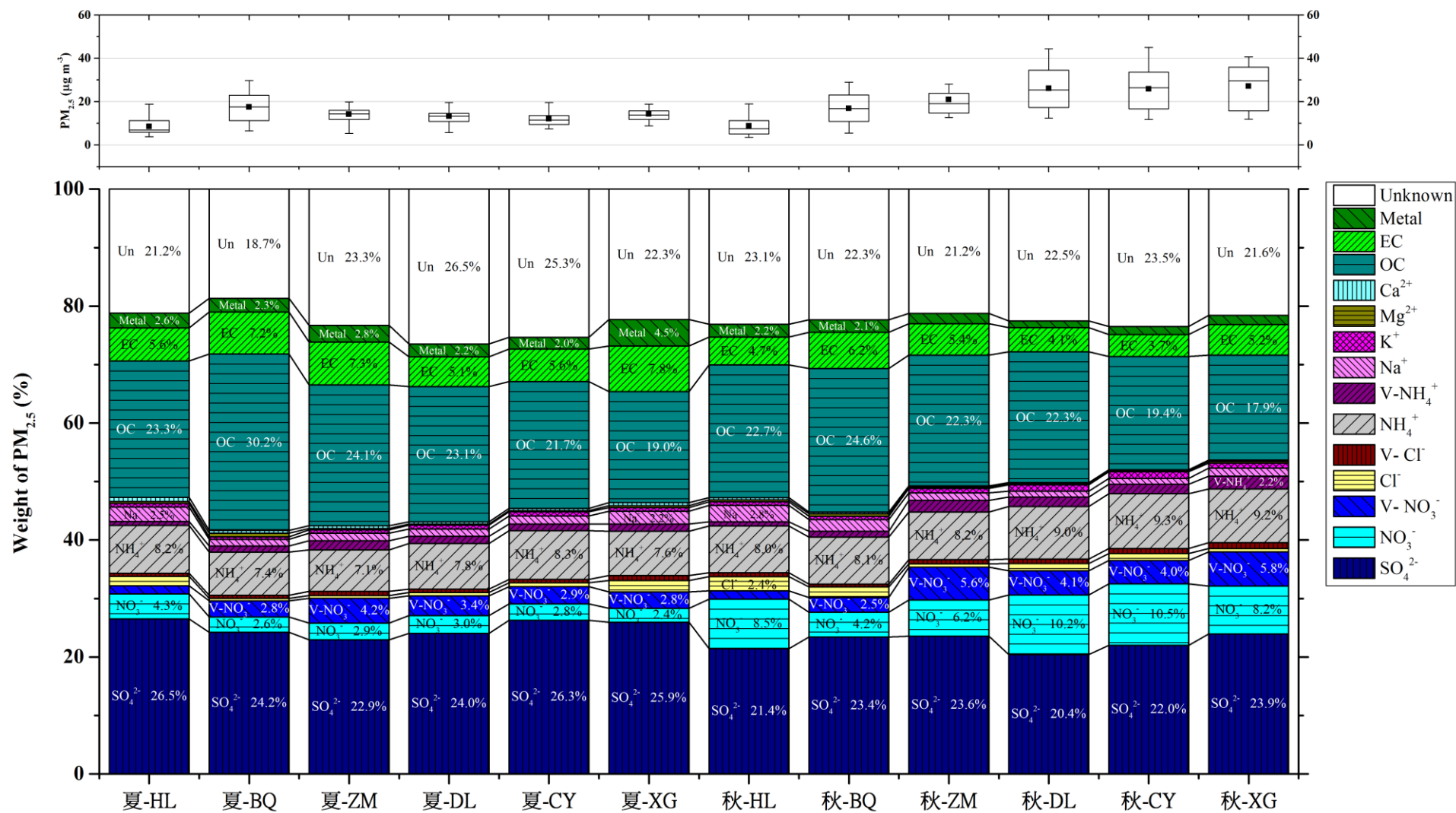


圖 4.4.3 各測站 2017 年夏季和秋季 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度季節變化與化學成分在 PM<sub>2.5</sub> 濃度占比

#### 4.4.3 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分占比和富集因子區域及季節變化

表 4.4.2 ~表 4.4.5 為各監測站四季元素濃度變化與標準偏差，表 4.4.6 ~表 4.4.9 為元素濃度占比與富集因子數值，透過比對各季節及各監測站之間元素濃度值、占比差異以及富集因子數值，可由這些指標元素差異瞭解測站間潛在污染源特性差異，透過找出污染源差異可用以制定各空品區適合的管制策略。冬季時受到東北季風增強影響，部分元素濃度占比出現由北至南遞減的現象，如塵土元素 Al、Fe、Ca，海鹽指標元素 Na、Mg，這些元素 EF 直接在 10 左右，顯示主要來自自然來源，而人為活動產生的指標元素，如燃煤燃燒指標元素 Se、As、Ni，在冬季呈現板橋與花蓮站占比明顯高於中、南部測站，富集因子同樣高於其他觀測地區，顯示位於東北季風迎風面的北部地區受到廣泛性境外污染源影響較為明顯；另一方面指標元素在地區間互有高低者，如交通來源指標元素 Zn、Sb，這些元素在忠明、斗六、嘉義站有較高富集因子，顯示受到交通排放源影響較為嚴重，從污染事件判斷中顯示多數擴散不良時期都受到交通來源影響，結果與此處相似；有些元素則具有地區特性，如燃油指標元素 V，在小港站有明顯較高的濃度值(12.6 ng m<sup>-3</sup>)、占比及富集因子數值，由於冬季高雄地區環境擴散條件較差，受到本地污染排放影響相當嚴重，從指標元素推測，使用燃油鍋爐及船舶排放等影響造成此處的差異，除此之外，元素 Mo 同樣在小港站有較高濃度占比及富集因子值，富集因子值更明顯大於其他測站兩倍以上，Mo 除了汽油燃料添加劑外，也常用於鋼鐵工業，顯示這段時期這類污染源的排放對小港站影響較為明顯，應採取減排措施以改善空氣品質。

春季採樣期間由於東北季風開始轉弱，區域污染傳輸現象也明顯降低，主要以本地污染影響較為明顯，從元素組成顯示隨著東北季風減弱，海鹽指標元素的元素占比分布，不再由北至南遞減，同樣的塵土元素的 Al、Fe、Ti 也有此現象，皆呈現板橋與花蓮占比最高，其次為嘉義及小港站；燃煤燃燒指標元素 Se、As 呈現花蓮最高，其次為忠明，第三高者為板橋站，對比冬季這項差異可能受到季風減弱，雖然花蓮站仍受到傳輸污染物影響，但忠明站除了北部的傳輸污染物外，還包括了本地的污染排放源，因此忠明站富集因子高於板橋；鋼鐵工業的指標元素與燃油標元素在春季時依舊由小港站同時具有高濃度、高占比及高富集因子值的特性，這時期污染事件皆為本地排放污染，顯示污染源確實有管制必要。

夏季採樣期間全台各地空氣品質相當良好，各地區元素組成較不同於冬季與春季，會有遞增或遞減占比趨勢，並且各站元素間差異較不明顯，不過仍有少數指標元素具有區域分布特性，如海鹽指標元素 Na、Mg 受到盛行風向轉變的緣故，在小港站與花蓮站都有較高濃度占比；燃油指標元素 V、Ni 在小港站依舊為一項相當明顯的物種，占比 1.8‰，對比其他測站 0.36~0.46‰ 明顯高出不少，此外元素 V 與 Ni 富集因子分別為 146 與 123，也倍數於其餘測站，除燃油鍋爐燃燒的影響外，也應與船舶排放有關。燃煤指標元素 Se 與 As 的濃度占比在忠明站有較高占比與濃度，其中元素 Se 占比及富集因子皆為六站中最高，富集因子 48,835 明顯高於其他地區的 27,699~32,274，元素 As 則有六站次高占比與富集因子值，濃度則為最高，顯示夏季忠明地地區似乎受到燃煤燃燒影響的程度明顯大於其他觀測區。交通排放指標元素 Zn、Cu、Sb，這些物種大多來自剎車墊片磨損，元素 Zn 在忠明及板橋站有較高的占比，小港站高占比及數值可能受到少數樣本受污染所影響，標準偏差高達  $92.1 \text{ ng m}^{-3}$ ，元素 Sb、Cu 同樣在板橋與忠明站有最高與次高濃度、占比及富集因子，這些特徵顯示夏季板橋與忠明站的交通排放影響明顯大於其他觀測地區。

秋季採樣期間，樣本中仍可看出秋季受到東北季風逐間增強影響，塵土(Al、Fe)與海鹽(Na、Mg)指標元素，以花蓮站為最高，塵土指標元素占比由北至中有遞減現象，海鹽指標元素較為分歧；交通排放指標元素如元素 Zn，以小港濃度最高，但占比則以板橋最高，而西部測站則有較明顯富集因子數值(584~793)，同樣的現象也在元素 Cu、Sb 上可發現；另外鋼鐵工業及交通指標元素 Mo，在小港站各項數值皆為六站中最高；燃煤指標元素 Se、As 受到盛行風向轉變影響，元素 Se 雖然在小港站有最高濃度，但板橋站與花蓮站元素 Se 濃度占比再由夏季至秋季分別上升約 0.05‰ 及 0.07‰，濃度分別上升約 0.6 與  $0.5 \text{ ng m}^{-3}$ ，元素 As 雖然在小港站有較高濃度與占比，但板橋站與花蓮站元素 As 同樣有上升趨勢，顯示秋季開始，燃煤燃燒影響對於板橋與花蓮正逐漸增加

從各季節及測站間的金屬元素變化趨勢可以發現，在各時期塵土元素皆在花蓮站有最高濃度及占比，顯示花蓮站大多數元素來源主要以揚塵為主。吹拂東北季風時，燃煤指標元素於北部及花蓮站影響明顯大於中、南部地區，反之東北風減弱後或是夏季各測站間燃煤燃燒影響差異較小。在各測站間特殊污染源的指標元素以小港站的鋼鐵工業與燃油及船舶排放影響，一年四季中皆可發現明顯的指標元素數值，板橋與忠明站則在一般時期皆有明顯的交通

排放貢獻，另外，斗六與嘉義站似乎沒有明顯的季節及測站間的差異性，兩測站間元素組成占比十分相似，這可能暗示這兩個地區污染源具有相同的特性。

表 4.4.2 各站例行性採樣期間冬季測站元素濃度平均值 (ng m<sup>-3</sup>)與標準偏差

冬	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
Al	67.0 ± 51.3	78.8 ± 48.6	104.2 ± 56.6	113.3 ± 72.2	188.3 ± 84.3	40.3 ± 13.6
Fe	137.1 ± 53.0	175.7 ± 78.4	187.6 ± 64.8	185.5 ± 67.5	328.2 ± 73.5	72.8 ± 21.7
Na	350.9 ± 187.7	401.6 ± 288.9	440.0 ± 238.0	522.4 ± 266.5	628.4 ± 252.2	228.7 ± 133.5
Mg	54.4 ± 33.6	68.9 ± 44.9	67.8 ± 36.3	85.1 ± 55.2	111.4 ± 60.2	37.9 ± 15.6
K	194.2 ± 150.7	367.1 ± 243.8	411.3 ± 173.1	464.8 ± 223.0	501.9 ± 185.5	149.0 ± 88.7
Ca	167.4 ± 40.8	200.9 ± 57.7	198.4 ± 74.2	196.6 ± 65.7	247.3 ± 59.2	165.5 ± 46.5
Zn	46.1 ± 19.7	78.9 ± 32.0	94.5 ± 36.4	92.6 ± 31.0	171.6 ± 43.7	32.6 ± 14.4
Ba	6.8 ± 3.8	8.0 ± 3.9	7.8 ± 3.6	17.2 ± 8.6	14.2 ± 7.3	4.6 ± 3.9
Ti	9.0 ± 4.4	11.8 ± 6.2	12.1 ± 5.6	12.9 ± 8.2	19.0 ± 7.7	7.4 ± 5.3
Mn	7.3 ± 3.9	13.8 ± 6.5	11.0 ± 4.1	11.6 ± 4.3	20.5 ± 4.9	2.8 ± 1.3
Ni	6.8 ± 4.2	6.6 ± 3.5	5.7 ± 2.8	6.6 ± 3.9	10.0 ± 2.8	4.6 ± 2.6
Cu	7.9 ± 4.5	10.6 ± 4.8	10.1 ± 2.5	10.2 ± 3.5	13.8 ± 3.3	4.2 ± 1.8
Mo	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.4	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.3	3.0 ± 1.1	0.2 ± 0.1
Pb	12.2 ± 14.7	12.7 ± 9.4	15.6 ± 8.3	28.0 ± 22.9	24.2 ± 7.6	4.4 ± 3.0
V	4.0 ± 2.6	4.9 ± 4.7	5.3 ± 4.0	5.7 ± 3.9	12.6 ± 6.6	1.8 ± 1.2
Cr	2.8 ± 0.9	4.1 ± 1.5	4.1 ± 1.2	3.9 ± 1.0	12.9 ± 5.0	2.0 ± 0.6
Sr	1.9 ± 1.5	2.7 ± 2.1	2.4 ± 1.4	3.3 ± 2.6	4.6 ± 4.1	1.9 ± 1.9
Co	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.1 ± 0.0
Cd	0.3 ± 0.3	0.5 ± 0.4	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.3	0.9 ± 0.3	0.1 ± 0.1
Sn	2.0 ± 1.9	2.7 ± 1.4	3.8 ± 2.1	3.3 ± 1.2	10.1 ± 7.2	0.5 ± 0.3
Sb	1.1 ± 0.8	1.6 ± 1.0	1.8 ± 0.7	1.8 ± 0.6	2.3 ± 0.5	0.4 ± 0.2
Tl	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
As	1.1 ± 1.0	1.4 ± 1.2	1.6 ± 0.9	1.5 ± 0.9	1.7 ± 0.6	0.9 ± 0.6
Y	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Se	2.7 ± 1.1	3.7 ± 3.3	4.1 ± 3.2	3.2 ± 1.3	4.0 ± 1.3	2.7 ± 1.2
Zr	0.7 ± 0.4	1.0 ± 0.5	0.8 ± 0.3	0.8 ± 0.2	1.1 ± 0.2	0.3 ± 0.1
Ge	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Rb	0.5 ± 0.4	0.6 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.9 ± 0.5	1.0 ± 0.3	0.3 ± 0.2
Cs	0.0 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Ga	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.8 ± 0.4	0.8 ± 0.3	0.2 ± 0.1
La	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0
Ce	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.0
Nd	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0



表 4.4.3 各站例行性採樣期間春季測站元素濃度平均值 (ng m<sup>-3</sup>)與標準偏差

春	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
Al	110.1 ± 136.5	77.7 ± 43.8	104.9 ± 89.4	104.3 ± 84.0	111.2 ± 96.4	68.7 ± 53.5
Fe	228.1 ± 128.3	222.2 ± 72.1	202.5 ± 81.2	204.9 ± 77.5	258.0 ± 88.2	122.7 ± 48.9
Na	283.2 ± 179.2	203.9 ± 149.4	216.6 ± 136.4	238.5 ± 128.1	284.2 ± 184.9	203.0 ± 133.7
Mg	59.9 ± 47.6	43.8 ± 15.7	49.6 ± 29.8	50.8 ± 23.4	58.1 ± 23.7	43.7 ± 17.8
K	209.0 ± 114.0	206.0 ± 70.2	278.3 ± 150.1	266.7 ± 120.2	220.1 ± 108.0	135.8 ± 53.1
Ca	253.4 ± 181.1	180.2 ± 56.0	179.2 ± 61.2	206.3 ± 69.4	208.1 ± 68.9	183.6 ± 52.7
Zn	50.7 ± 35.0	56.8 ± 24.1	55.2 ± 34.1	62.1 ± 41.4	96.9 ± 66.2	17.4 ± 10.3
Ba	7.0 ± 5.0	4.8 ± 1.6	6.7 ± 5.2	15.0 ± 12.2	5.4 ± 2.7	2.7 ± 1.5
Ti	14.2 ± 8.9	11.9 ± 3.9	11.3 ± 5.3	11.9 ± 6.0	12.4 ± 6.6	7.5 ± 3.8
Mn	13.0 ± 7.4	14.4 ± 6.8	9.6 ± 5.3	11.0 ± 6.1	15.6 ± 10.2	4.5 ± 3.0
Ni	4.6 ± 3.2	4.1 ± 2.0	4.2 ± 1.8	3.9 ± 1.5	9.4 ± 3.6	1.5 ± 0.5
Cu	7.8 ± 4.5	7.5 ± 3.2	7.4 ± 4.1	6.7 ± 3.5	6.6 ± 3.6	2.5 ± 1.6
Mo	0.6 ± 0.3	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.2	0.9 ± 0.4	1.7 ± 1.4	0.2 ± 0.1
Pb	9.0 ± 6.9	8.4 ± 4.6	10.2 ± 6.0	11.3 ± 7.8	11.1 ± 6.8	3.9 ± 3.1
V	6.4 ± 3.1	5.9 ± 4.2	5.7 ± 3.1	5.6 ± 2.8	18.9 ± 9.1	3.0 ± 1.4
Cr	5.4 ± 2.3	5.5 ± 1.8	5.6 ± 2.9	5.1 ± 1.2	10.0 ± 7.0	3.1 ± 1.5
Sr	1.3 ± 1.0	1.0 ± 0.5	1.5 ± 1.5	1.4 ± 0.8	1.2 ± 0.6	0.8 ± 0.4
Co	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.1 ± 0.0
Cd	0.4 ± 0.3	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.3	0.4 ± 0.3	0.2 ± 0.1
Sn	2.9 ± 3.2	2.3 ± 1.2	3.6 ± 2.8	3.1 ± 2.0	2.9 ± 1.1	0.8 ± 0.4
Sb	1.6 ± 0.9	1.1 ± 0.5	1.2 ± 0.5	1.1 ± 0.6	1.3 ± 0.7	0.5 ± 0.3
Tl	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0
As	1.6 ± 1.3	1.5 ± 1.3	1.3 ± 0.7	1.3 ± 0.9	1.1 ± 0.8	0.9 ± 0.6
Y	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Se	1.5 ± 1.1	1.4 ± 0.9	1.5 ± 1.0	1.5 ± 1.1	1.6 ± 1.4	1.1 ± 1.0
Zr	1.0 ± 0.5	1.0 ± 0.4	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.3	0.4 ± 0.2
Ge	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1
Rb	0.7 ± 0.5	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.3	0.7 ± 0.4	0.6 ± 0.4	0.4 ± 0.2
Cs	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Ga	0.5 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.7 ± 0.5	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.1
La	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.1 ± 0.1
Ce	0.2 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1
Nd	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0

表 4.4.4 各站例行性採樣期間夏季測站元素濃度平均值 ( $\text{ng m}^{-3}$ )與標準偏差

夏	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
Al	92.4 ± 52.5	78.5 ± 47.0	78.0 ± 53.9	59.7 ± 25.9	130.0 ± 56.7	83.9 ± 139.5
Fe	165.6 ± 66.7	163.8 ± 44.1	120.2 ± 32.8	101.9 ± 23.0	239.1 ± 191.1	83.2 ± 43.4
Na	297.8 ± 114.0	246.9 ± 159.4	231.9 ± 156.0	228.5 ± 121.9	377.8 ± 180.7	241.9 ± 116.3
Mg	59.0 ± 35.9	57.1 ± 37.8	52.8 ± 37.8	44.7 ± 24.7	90.2 ± 51.0	50.0 ± 28.3
K	127.4 ± 48.6	122.8 ± 50.4	121.5 ± 31.0	115.5 ± 39.5	123.7 ± 49.2	82.4 ± 29.7
Ca	193.1 ± 61.9	188.6 ± 60.7	201.1 ± 78.5	172.8 ± 53.0	270.9 ± 165.4	189.1 ± 56.4
Zn	48.2 ± 16.2	62.4 ± 47.2	24.7 ± 7.9	22.4 ± 4.8	97.7 ± 92.1	20.0 ± 8.1
Ba	5.1 ± 2.5	4.7 ± 3.1	3.3 ± 1.8	7.0 ± 8.5	5.1 ± 2.5	2.6 ± 1.9
Ti	12.2 ± 4.1	11.1 ± 3.7	9.3 ± 4.0	8.5 ± 3.1	11.3 ± 6.0	7.3 ± 3.8
Mn	9.4 ± 3.3	8.9 ± 4.1	4.3 ± 1.5	4.1 ± 1.6	14.7 ± 15.3	2.2 ± 0.9
Ni	4.7 ± 2.6	3.8 ± 1.8	3.4 ± 2.1	2.8 ± 1.4	13.1 ± 6.6	2.5 ± 1.4
Cu	8.1 ± 3.3	5.2 ± 2.1	3.2 ± 1.6	2.1 ± 0.6	5.8 ± 4.3	1.3 ± 0.5
Mo	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.3	1.1 ± 1.5	0.1 ± 0.1
Pb	7.1 ± 4.1	5.9 ± 3.2	3.1 ± 1.7	3.8 ± 2.1	14.2 ± 14.0	2.1 ± 1.4
V	6.9 ± 3.8	6.1 ± 3.2	5.0 ± 2.8	5.1 ± 2.1	25.0 ± 11.8	4.3 ± 3.2
Cr	4.5 ± 1.3	4.9 ± 1.1	4.8 ± 1.6	3.7 ± 0.8	7.8 ± 5.7	3.0 ± 1.1
Sr	1.0 ± 0.4	0.9 ± 0.2	0.8 ± 0.3	0.8 ± 0.2	1.2 ± 0.5	1.0 ± 1.1
Co	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.1 ± 0.1
Cd	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.6 ± 1.3	0.1 ± 0.1
Sn	3.5 ± 2.0	1.9 ± 1.2	1.5 ± 0.7	1.0 ± 0.5	9.2 ± 13.0	0.4 ± 0.2
Sb	1.3 ± 0.7	1.6 ± 3.1	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2	1.0 ± 1.1	0.5 ± 0.7
Tl	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
As	0.7 ± 0.4	0.8 ± 0.3	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.2	1.0 ± 0.8	0.6 ± 0.7
Y	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Se	1.4 ± 0.5	2.1 ± 1.9	1.1 ± 0.5	1.1 ± 0.5	2.4 ± 1.8	0.9 ± 0.6
Zr	1.6 ± 0.7	1.2 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.8 ± 0.4	19.4 ± 29.5	0.7 ± 0.3
Ge	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
Rb	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.1
Cs	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Ga	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1
La	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.3	0.1 ± 0.0
Ce	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
Nd	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

表 4.4.5 各站例行性採樣期間秋季測站元素濃度平均值 (ng m<sup>-3</sup>)與標準偏差

秋	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
Al	87.5 ± 48.8	91.0 ± 45.9	92.9 ± 48.7	108.8 ± 61.2	113.5 ± 64.6	56.5 ± 28.3
Fe	149.3 ± 70.3	155.5 ± 70.1	143.3 ± 69.4	166.1 ± 104.9	180.3 ± 93.8	73.7 ± 25.3
Na	280.1 ± 168.9	283.6 ± 180.0	238.1 ± 148.2	301.8 ± 148.0	355.5 ± 192.0	228.6 ± 174.7
Mg	102.4 ± 81.0	91.3 ± 62.1	89.0 ± 53.8	99.4 ± 59.7	111.4 ± 61.3	86.9 ± 49.9
K	115.4 ± 83.4	167.8 ± 182.8	227.5 ± 156.4	268.8 ± 209.0	205.1 ± 144.9	70.8 ± 25.4
Ca	143.6 ± 54.0	204.2 ± 170.6	149.8 ± 71.2	160.1 ± 78.7	164.1 ± 49.9	134.6 ± 20.8
Zn	41.9 ± 17.0	51.7 ± 23.3	48.3 ± 28.6	53.8 ± 36.5	69.4 ± 36.2	16.7 ± 8.9
Ba	4.1 ± 1.3	4.1 ± 1.5	4.4 ± 1.5	5.7 ± 3.2	5.2 ± 2.7	2.8 ± 1.1
Ti	8.0 ± 3.9	9.6 ± 6.9	7.1 ± 3.3	8.8 ± 4.2	9.3 ± 4.8	4.5 ± 1.9
Mn	7.6 ± 3.9	9.9 ± 5.5	7.0 ± 4.3	9.7 ± 6.9	10.5 ± 6.9	2.4 ± 1.9
Ni	3.5 ± 2.3	3.8 ± 2.2	4.2 ± 3.2	5.6 ± 3.4	10.5 ± 5.2	1.7 ± 0.8
Cu	7.1 ± 4.3	6.5 ± 3.2	5.9 ± 3.2	6.8 ± 4.2	7.2 ± 3.9	1.8 ± 0.6
Mo	0.5 ± 0.3	0.7 ± 0.4	0.6 ± 0.4	1.1 ± 1.6	1.6 ± 1.3	0.2 ± 0.1
Pb	7.9 ± 5.4	7.7 ± 4.2	8.4 ± 6.1	21.1 ± 19.9	14.2 ± 8.3	3.5 ± 4.9
V	7.1 ± 4.0	6.7 ± 5.7	6.5 ± 5.1	8.3 ± 5.6	25.4 ± 14.8	3.6 ± 2.7
Cr	4.2 ± 1.5	5.1 ± 1.8	5.6 ± 2.7	6.5 ± 3.6	10.3 ± 7.5	3.4 ± 1.2
Sr	0.9 ± 0.4	0.9 ± 0.3	1.1 ± 1.0	1.2 ± 1.0	1.3 ± 0.9	0.6 ± 0.3
Co	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.4 ± 0.5	0.1 ± 0.1
Cd	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.5	0.1 ± 0.1
Sn	2.3 ± 2.1	2.1 ± 1.2	2.0 ± 1.5	2.2 ± 1.3	5.2 ± 6.2	0.4 ± 0.3
Sb	0.8 ± 0.5	1.0 ± 0.6	0.9 ± 0.6	1.0 ± 0.7	1.2 ± 0.6	0.3 ± 0.2
Tl	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1
As	1.8 ± 1.7	1.6 ± 1.7	1.8 ± 2.1	1.9 ± 2.0	2.7 ± 4.5	0.8 ± 0.6
Y	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Se	2.0 ± 0.8	2.2 ± 1.0	2.1 ± 0.9	2.1 ± 0.8	2.3 ± 0.8	1.4 ± 0.4
Zr	1.1 ± 0.5	1.3 ± 0.7	1.0 ± 0.4	1.0 ± 0.4	1.5 ± 1.7	0.7 ± 0.2
Ge	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Rb	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.3	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.4 ± 0.3	0.1 ± 0.1
Cs	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Ga	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.1 ± 0.0
La	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1
Ce	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
Nd	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

表 4.4.6 各站例行性採樣期間冬季元素濃度占修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例 (%)及富集因子 (括號內數值)

冬季	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	18	28	38	41	52	12
Al	3.91 (1)	3.20 (1)	2.98 (1)	2.82 (1)	3.70 (1)	4.28 (1)
Fe	9.10 (4)	7.16 (4)	5.29 (3)	4.72 (3)	6.36 (3)	7.56 (3)
Na	23.21 (18)	15.92 (16)	12.25 (14)	13.40 (17)	12.33 (11)	21.24 (19)
Mg	3.54 (3)	2.70 (3)	1.91 (2)	2.09 (3)	2.22 (2)	3.88 (3)
K	11.14 (11)	13.84 (20)	11.34 (18)	11.79 (18)	9.83 (11)	14.30 (14)
Ca	12.24 (6)	9.26 (6)	5.92 (4)	5.18 (4)	4.93 (3)	19.68 (9)
Zn	3.16 (1040)	3.23 (1342)	2.67 (1222)	2.36 (1226)	3.36 (1038)	3.64 (983)
Ba	0.48 (22)	0.34 (22)	0.23 (16)	0.46 (33)	0.29 (15)	0.56 (21)
Ti	0.59 (2)	0.48 (2)	0.34 (1)	0.32 (1)	0.37 (1)	0.72 (2)
Mn	0.44 (11)	0.54 (17)	0.30 (10)	0.29 (10)	0.40 (10)	0.27 (6)
Ni	0.43 (140)	0.29 (123)	0.16 (71)	0.15 (77)	0.19 (63)	0.57 (114)
Cu	0.48 (203)	0.42 (224)	0.29 (167)	0.27 (154)	0.27 (112)	0.50 (163)
Mo	0.02 (371)	0.02 (473)	0.01 (325)	0.01 (356)	0.06 (918)	0.02 (232)
Pb	0.55 (1020)	0.47 (1013)	0.42 (1095)	0.69 (1522)	0.48 (854)	0.39 (700)
V	0.24 (45)	0.16 (41)	0.13 (37)	0.13 (42)	0.24 (48)	0.16 (29)
Cr	0.20 (46)	0.17 (48)	0.12 (38)	0.10 (36)	0.25 (54)	0.21 (42)
Sr	0.14 (6)	0.11 (8)	0.07 (6)	0.09 (7)	0.09 (6)	0.24 (10)
Co	0.01 (5)	0.01 (6)	0.00 (6)	0.00 (6)	0.01 (8)	0.01 (4)
Cd	0.02 (2028)	0.02 (2921)	0.02 (2997)	0.02 (2662)	0.02 (2106)	0.01 (1490)
Sn	0.11 (1379)	0.11 (1629)	0.11 (2003)	0.09 (1590)	0.20 (2363)	0.06 (606)
Sb	0.07 (7672)	0.06 (9324)	0.05 (8021)	0.05 (7928)	0.04 (5625)	0.04 (4146)
Tl	0.00 (200)	0.00 (169)	0.00 (179)	0.00 (155)	0.00 (105)	0.01 (290)
As	0.05 (690)	0.05 (799)	0.04 (734)	0.04 (696)	0.03 (435)	0.08 (1033)
Y	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)
Se	0.19 (95806)	0.15 (96236)	0.11 (80644)	0.08 (69315)	0.08 (41788)	0.30 (139192)
Zr	0.04 (6)	0.04 (7)	0.02 (4)	0.02 (4)	0.02 (3)	0.03 (4)
Ge	0.00 (72)	0.01 (129)	0.00 (72)	0.00 (71)	0.00 (54)	0.00 (57)
Rb	0.02 (6)	0.02 (7)	0.02 (7)	0.02 (8)	0.02 (5)	0.02 (6)
Cs	0.00 (18)	0.00 (15)	0.00 (15)	0.00 (15)	0.00 (12)	0.00 (17)
Ga	0.02 (35)	0.02 (34)	0.01 (26)	0.02 (41)	0.02 (23)	0.02 (30)
La	0.01 (6)	0.01 (5)	0.00 (4)	0.00 (4)	0.00 (4)	0.01 (4)
Ce	0.01 (3)	0.01 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.01 (2)
Nd	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)

表 4.4.7 各站例行性採樣期間春季元素濃度占修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例 (%)及富集因子 (括號內數值)

春季	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	27	28	36	36	31	15
Al	3.72 (1)	2.77 (1)	3.28 (1)	3.51 (1)	3.82 (1)	5.14 (1)
Fe	8.41 (4)	8.53 (5)	6.48 (4)	7.07 (4)	10.28 (5)	8.97 (3)
Na	11.38 (13)	7.46 (10)	6.72 (9)	7.98 (10)	11.95 (11)	16.05 (14)
Mg	2.30 (3)	1.76 (2)	1.72 (2)	1.93 (2)	2.48 (3)	3.40 (3)
K	7.51 (11)	7.76 (13)	8.76 (13)	8.71 (13)	7.86 (10)	9.69 (10)
Ca	9.80 (6)	7.39 (6)	6.06 (5)	7.13 (5)	8.40 (5)	13.90 (8)
Zn	1.76 (731)	2.09 (1082)	1.52 (855)	1.86 (900)	3.42 (1448)	1.18 (385)
Ba	0.25 (19)	0.19 (15)	0.24 (16)	0.47 (40)	0.19 (12)	0.19 (10)
Ti	0.53 (2)	0.46 (2)	0.36 (1)	0.40 (2)	0.45 (2)	0.56 (1)
Mn	0.47 (15)	0.51 (20)	0.27 (11)	0.34 (12)	0.55 (17)	0.30 (8)
Ni	0.17 (73)	0.15 (70)	0.12 (62)	0.13 (58)	0.41 (135)	0.11 (36)
Cu	0.27 (153)	0.27 (173)	0.22 (135)	0.21 (122)	0.23 (119)	0.17 (65)
Mo	0.02 (495)	0.03 (699)	0.02 (594)	0.04 (763)	0.05 (1038)	0.01 (229)
Pb	0.30 (683)	0.29 (782)	0.32 (879)	0.34 (853)	0.41 (932)	0.24 (422)
V	0.26 (68)	0.21 (55)	0.18 (51)	0.18 (50)	0.95 (180)	0.23 (41)
Cr	0.22 (76)	0.22 (75)	0.18 (62)	0.19 (65)	0.34 (105)	0.24 (57)
Sr	0.05 (3)	0.04 (3)	0.05 (3)	0.05 (3)	0.05 (3)	0.06 (3)
Co	0.01 (7)	0.01 (9)	0.01 (9)	0.01 (8)	0.01 (11)	0.01 (6)
Cd	0.01 (2121)	0.01 (2099)	0.01 (1992)	0.01 (1912)	0.01 (1862)	0.01 (1088)
Sn	0.11 (1917)	0.08 (1413)	0.11 (1928)	0.10 (1546)	0.10 (1402)	0.06 (646)
Sb	0.05 (8919)	0.04 (6849)	0.03 (6383)	0.03 (5449)	0.05 (6067)	0.03 (3591)
Tl	0.00 (203)	0.00 (163)	0.00 (147)	0.00 (141)	0.00 (110)	0.00 (211)
As	0.06 (863)	0.05 (950)	0.04 (735)	0.04 (697)	0.03 (506)	0.06 (717)
Y	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)
Se	0.06 (34952)	0.06 (41079)	0.04 (31658)	0.05 (30533)	0.05 (29626)	0.08 (43198)
Zr	0.04 (7)	0.04 (9)	0.02 (5)	0.03 (5)	0.03 (4)	0.03 (3)
Ge	0.00 (71)	0.01 (151)	0.00 (82)	0.00 (79)	0.00 (76)	0.00 (49)
Rb	0.02 (7)	0.02 (7)	0.02 (7)	0.02 (7)	0.02 (6)	0.02 (6)
Cs	0.00 (20)	0.00 (17)	0.00 (16)	0.00 (15)	0.00 (13)	0.00 (14)
Ga	0.02 (33)	0.01 (29)	0.01 (28)	0.02 (51)	0.01 (22)	0.01 (19)
La	0.01 (7)	0.01 (6)	0.00 (5)	0.01 (5)	0.01 (7)	0.01 (4)
Ce	0.01 (3)	0.01 (3)	0.00 (2)	0.01 (2)	0.01 (2)	0.01 (2)
Nd	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (2)

表 4.4.8 各站例行性採樣期間夏季元素濃度占修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例 (%)及富集因子  
(括號內數值)

夏季	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	18	14	13	12	14	9
Al	5.75 (1)	5.89 (1)	5.93 (1)	5.09 (1)	9.61 (1)	8.40 (1)
Fe	9.99 (3)	13.05 (4)	10.42 (3)	9.30 (3)	17.78 (3)	10.77 (3)
Na	19.44 (12)	17.45 (10)	18.41 (12)	20.36 (13)	27.27 (10)	30.99 (16)
Mg	3.97 (2)	4.06 (3)	4.04 (3)	3.79 (3)	6.43 (3)	6.38 (3)
K	7.72 (6)	10.01 (7)	10.45 (9)	10.50 (9)	9.12 (4)	10.65 (8)
Ca	12.56 (5)	15.34 (6)	18.12 (7)	15.81 (7)	19.93 (4)	26.27 (10)
Zn	3.11 (758)	4.82 (1223)	2.02 (491)	1.97 (508)	7.49 (871)	2.59 (562)
Ba	0.33 (13)	0.35 (16)	0.27 (9)	0.53 (22)	0.36 (9)	0.32 (10)
Ti	0.77 (2)	0.97 (2)	0.87 (2)	0.80 (2)	0.85 (1)	0.95 (2)
Mn	0.58 (11)	0.66 (13)	0.34 (6)	0.35 (7)	1.08 (10)	0.27 (4)
Ni	0.26 (64)	0.27 (64)	0.25 (61)	0.23 (58)	0.94 (123)	0.31 (54)
Cu	0.48 (152)	0.41 (127)	0.25 (78)	0.19 (62)	0.43 (66)	0.17 (46)
Mo	0.03 (367)	0.05 (564)	0.04 (545)	0.05 (595)	0.08 (484)	0.02 (175)
Pb	0.39 (502)	0.44 (546)	0.24 (310)	0.33 (450)	1.04 (677)	0.26 (275)
V	0.40 (51)	0.41 (55)	0.36 (49)	0.42 (56)	1.80 (149)	0.46 (51)
Cr	0.27 (49)	0.38 (69)	0.41 (73)	0.35 (62)	0.57 (53)	0.40 (62)
Sr	0.07 (3)	0.07 (3)	0.07 (3)	0.07 (3)	0.08 (2)	0.16 (5)
Co	0.01 (6)	0.01 (6)	0.01 (6)	0.01 (5)	0.02 (7)	0.01 (8)
Cd	0.02 (1380)	0.02 (1272)	0.01 (756)	0.01 (697)	0.05 (1413)	0.01 (815)
Sn	0.20 (1767)	0.15 (1256)	0.12 (1032)	0.09 (832)	0.69 (2345)	0.04 (350)
Sb	0.07 (6255)	0.15(10527)	0.03 (3064)	0.03 (3089)	0.07 (2812)	0.05 (4461)
Tl	0.00 (103)	0.00 (56)	0.00 (42)	0.00 (44)	0.00 (68)	0.00 (118)
As	0.04 (394)	0.06 (631)	0.05 (501)	0.05 (545)	0.07 (341)	0.07 (699)
Y	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)
Se	0.09 (27699)	0.15 (48835)	0.08 (28746)	0.09 (32274)	0.18 (31741)	0.11 (28456)
Zr	0.09 (9)	0.09 (9)	0.06 (5)	0.07 (7)	1.57 (62)	0.09 (7)
Ge	0.00 (49)	0.01 (72)	0.00 (34)	0.00 (36)	0.01 (43)	0.00 (26)
Rb	0.02 (4)	0.02 (4)	0.02 (4)	0.02 (4)	0.03 (3)	0.02 (3)
Cs	0.00 (8)	0.00 (6)	0.00 (5)	0.00 (6)	0.00 (8)	0.00 (4)
Ga	0.02 (24)	0.02 (27)	0.02 (18)	0.03 (37)	0.02 (15)	0.02 (17)
La	0.01 (5)	0.01 (3)	0.01 (3)	0.01 (3)	0.03 (7)	0.01 (3)
Ce	0.01 (2)	0.01 (2)	0.01 (2)	0.01 (2)	0.01 (1)	0.01 (2)
Nd	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)

表 4.4.9 各站例行性採樣期間秋季元素濃度占修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例 (%)及富集因子  
(括號內數值)

秋季	板橋	忠明	斗六	嘉義	小港	花蓮
PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	17	21	26	26	27	9
Al	5.83 (1)	4.82 (1)	3.83 (1)	4.19 (1)	4.17 (1)	7.57 (1)
Fe	10.12 (3)	8.22 (3)	5.48 (2)	6.22 (2)	6.29 (2)	9.73 (2)
Na	18.68 (11)	15.12 (10)	10.44 (8)	12.54 (10)	14.56 (12)	27.74 (13)
Mg	7.47 (4)	5.18 (4)	3.66 (4)	3.92 (4)	4.05 (4)	12.67 (6)
K	6.95 (5)	7.91 (7)	8.66 (9)	9.41 (9)	6.87 (7)	9.14 (6)
Ca	10.50 (4)	11.00 (5)	6.11 (4)	7.02 (4)	6.92 (4)	19.59 (6)
Zn	3.01 (638)	2.72 (704)	1.89 (637)	2.06 (584)	2.50 (793)	2.15 (374)
Ba	0.31 (11)	0.22 (10)	0.19 (10)	0.23 (11)	0.21 (10)	0.43 (12)
Ti	0.57 (1)	0.53 (1)	0.29 (1)	0.34 (1)	0.35 (1)	0.60 (1)
Mn	0.52 (8)	0.53 (10)	0.28 (7)	0.37 (8)	0.37 (8)	0.26 (4)
Ni	0.21 (45)	0.20 (50)	0.18 (56)	0.22 (60)	0.42 (121)	0.22 (40)
Cu	0.43 (127)	0.35 (111)	0.23 (98)	0.26 (94)	0.29 (114)	0.23 (52)
Mo	0.03 (347)	0.03 (448)	0.02 (381)	0.05 (642)	0.06 (773)	0.02 (201)
Pb	0.42 (534)	0.39 (562)	0.32 (547)	0.72 (1118)	0.49 (949)	0.31 (414)
V	0.41 (54)	0.33 (53)	0.29 (49)	0.36 (53)	1.22 (192)	0.38 (48)
Cr	0.29 (44)	0.28 (50)	0.22 (56)	0.28 (58)	0.37 (85)	0.50 (65)
Sr	0.06 (2)	0.05 (2)	0.05 (3)	0.05 (3)	0.05 (3)	0.08 (3)
Co	0.01 (6)	0.01 (5)	0.01 (6)	0.01 (6)	0.01 (12)	0.01 (5)
Cd	0.01 (1063)	0.01 (1138)	0.01 (1238)	0.01 (1282)	0.02 (1901)	0.01 (596)
Sn	0.13 (1126)	0.11 (980)	0.09 (895)	0.09 (851)	0.19 (1778)	0.05 (333)
Sb	0.05 (3953)	0.05 (4471)	0.03 (3830)	0.04 (3481)	0.04 (4794)	0.03 (2240)
Tl	0.00 (108)	0.00 (84)	0.00 (72)	0.00 (79)	0.00 (115)	0.01 (157)
As	0.09 (957)	0.07 (857)	0.07 (822)	0.08 (827)	0.12 (1403)	0.09 (802)
Y	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)
Se	0.13 (42933)	0.11 (46637)	0.09 (43108)	0.08 (37538)	0.09 (42440)	0.18 (50000)
Zr	0.08 (7)	0.07 (8)	0.04 (6)	0.04 (5)	0.06 (8)	0.10 (8)
Ge	0.00 (46)	0.01 (84)	0.00 (63)	0.00 (50)	0.00 (57)	0.00 (37)
Rb	0.02 (3)	0.02 (4)	0.02 (4)	0.02 (4)	0.02 (4)	0.02 (2)
Cs	0.00 (10)	0.00 (8)	0.00 (8)	0.00 (8)	0.00 (8)	0.00 (5)
Ga	0.02 (16)	0.01 (15)	0.01 (15)	0.01 (17)	0.01 (16)	0.02 (15)
La	0.01 (3)	0.00 (3)	0.00 (2)	0.00 (2)	0.00 (3)	0.01 (3)
Ce	0.01 (2)	0.01 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.01 (1)
Nd	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)	0.00 (1)

#### 4.4.4 PM<sub>2.5</sub> 採樣微粒揮發與有機氣體吸附修正

##### 1. 水溶性離子揮發與修正

2017 年 1 月至 10 月觀測期間各測站水溶性離子揮發與修正結果如表 4.4.10 所示，環境溫度季節變化趨勢明顯，都呈現冬季<春季<秋季<夏季的趨勢，半揮發水溶性離子有  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  三種成分， $\text{Cl}^-$  原始濃度最低， $\text{NO}_3^-$  濃度最高，但板橋站與花蓮站則是  $\text{NH}_4^+$  有較高濃度，整體揮發占比以濃度最低的  $\text{Cl}^-$  為最高，冬季為 14~45%，春季 33~56%，夏季 32~58%，秋季 29~62%，除了冬季其他季節揮發占比大致相似，台灣四面環海，雖然受到海鹽影響比例高，但  $\text{Cl}^-$  還有可能來自生質燃燒或塑膠製品焚化等來源，透過修正可避免  $\text{Cl}^-$  總濃度的 19~62% 被低估。

PM<sub>2.5</sub>  $\text{NO}_3^-$  在溫度較低的冬季與春季期間各測站揮發占比分別為：板橋站 16~24%、忠明站 15~36%、斗六站 4~21%、嘉義站 3~19%、小港站 9~35%、花蓮站 14~18%，春季環境溫度普遍較冬季高約攝氏 3~5 度，因此揮發占比明顯提升，到了夏季與秋季環境溫度相較於冬季提升了攝氏 10 度以上，除了花蓮站外，西部各測站揮發占比也明顯提升至 21~54%，顯示  $\text{NO}_3^-$  具有季節變化特性。但是從殘留(retained)在前置濾紙  $\text{NO}_3^-$  濃度來看，似乎揮發量與殘留濃度間並無直接關聯性，例如：斗六、嘉義、小港三個站，不論冬季或春季，殘留  $\text{NO}_3^-$  濃度在六個觀測地區中，都分別為前三高濃度，但是冬季揮發占比卻僅有 10% 以內，雖然可能與環境溫度有關，但是更為北端的板橋及忠明測站卻有 15~16% 冬季揮發占比，推測造成差異的原因可能還與硝酸鹽類化合物結合型態及環境濕度有關。

PM<sub>2.5</sub>  $\text{NH}_4^+$  在冬季和春季各站揮發占比為：板橋站 8~10%、忠明站 12~15%、斗六站 6~12%、嘉義站 6~9%、小港站 11~16%、花蓮站 7~15%，各測站揮發占比呈現冬季低春季高的情況，不過花蓮站則出現相反趨勢，主要原因可能是受到冬季花蓮站有幾日採樣期間污染物濃度明顯高於其他時期，受到



少數濃度較高樣本影響，導致揮發占比有偏高趨勢，從較高的標準偏差數值也可發現此現象。在夏季與秋季等環境溫度較高的季節中，各監測站揮發占比為：板橋站 11~13%、忠明站 18~19%、斗六站 14~15%、嘉義站 12~15%、小港站 14~20%、花蓮站 9~11%，夏季與秋季比春季與冬季有明顯上升趨勢，但是整體變化幅度不如  $\text{NO}_3^-$  與  $\text{Cl}^-$  明顯，可能因為部分  $\text{NH}_4^+$  多與相對穩定  $\text{SO}_4^{2-}$  相結合有關。另一方面各揮發成分占比與環境溫度有關，表示只使用單張濾紙分析化學成分，將有部分成分濃度受到揮發損失影響。

表 4.4.10 2017 年 1 月至 11 月觀測期間各測站 PM<sub>2.5</sub> 水溶性離子揮發與修正

測季 站節	原始 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μg m <sup>-3</sup> )	原始 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg m <sup>-3</sup> )	原始 Cl <sup>-</sup> (μg m <sup>-3</sup> )	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μg m <sup>-3</sup> )	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg m <sup>-3</sup> )	揮發 Cl <sup>-</sup> (μg m <sup>-3</sup> )	揮發 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	揮發 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	揮發 Cl <sup>-</sup> (%)
板冬	2.06 (1.57)	1.48 (1.87)	0.34 (0.15)	0.20 (0.21)	0.33 (0.51)	0.21 (0.17)	8% (4%)	16% (9%)	36% (23%)
橋春	2.67 (1.18)	2.63 (1.90)	0.19 (0.15)	0.29 (0.21)	0.66 (0.54)	0.19 (0.14)	10% (6%)	24% (19%)	50% (20%)
夏	1.38 (0.86)	0.45 (0.31)	0.06 (0.04)	0.20 (0.12)	0.52 (0.32)	0.10 (0.06)	13% (4%)	53% (14%)	58% (21%)
秋	1.53 (1.07)	0.67 (0.65)	0.19 (0.18)	0.19 (0.18)	0.52 (0.60)	0.08 (0.04)	11% (6%)	41% (28%)	40% (25%)
忠冬	2.87 (2.01)	4.31 (4.25)	0.62 (0.57)	0.35 (0.22)	0.50 (0.41)	0.41 (0.25)	12% (6%)	15% (11%)	45% (18%)
明春	2.94 (1.67)	3.79 (4.01)	0.21 (0.22)	0.47 (0.37)	1.27 (1.09)	0.21 (0.15)	15% (9%)	36% (26%)	55% (27%)
夏	1.05 (0.55)	0.40 (0.21)	0.07 (0.04)	0.26 (0.20)	0.71 (0.63)	0.11 (0.06)	18% (10%)	54% (25%)	58% (21%)
秋	1.76 (0.92)	1.25 (1.17)	0.10 (0.08)	0.43 (0.26)	1.26 (0.92)	0.13 (0.07)	19% (7%)	53% (23%)	60% (23%)
斗冬	4.33 (2.05)	8.25 (4.94)	1.17 (0.80)	0.24 (0.12)	0.28 (0.15)	0.31 (0.17)	6% (4%)	4% (3%)	25% (13%)
六春	4.04 (2.37)	7.71 (7.50)	0.45 (0.38)	0.42 (0.36)	1.04 (1.01)	0.23 (0.17)	12% (10%)	21% (21%)	41% (29%)
夏	1.08 (0.62)	0.38 (0.13)	0.06 (0.04)	0.20 (0.20)	0.55 (0.60)	0.08 (0.05)	14% (6%)	49% (22%)	54% (20%)
秋	2.35 (1.07)	2.83 (1.97)	0.31 (0.27)	0.45 (0.30)	1.22 (1.01)	0.19 (0.15)	15% (6%)	35% (20%)	43% (20%)
嘉冬	4.42 (3.15)	9.13 (6.27)	1.31 (0.76)	0.20 (0.09)	0.21 (0.14)	0.27 (0.12)	6% (3%)	3% (1%)	19% (7%)
義春	4.07 (2.45)	7.96 (7.76)	0.47 (0.40)	0.36 (0.33)	0.88 (0.93)	0.20 (0.15)	9% (7%)	19% (20%)	39% (26%)
夏	1.02 (0.50)	0.33 (0.13)	0.07 (0.05)	0.16 (0.14)	0.42 (0.41)	0.07 (0.04)	12% (6%)	48% (21%)	52% (18%)
秋	2.41 (1.07)	2.89 (2.11)	0.32 (0.29)	0.46 (0.35)	1.22 (1.22)	0.22 (0.19)	15% (6%)	34% (20%)	44% (19%)
小冬	5.69 (1.34)	12.68 (2.71)	0.91 (0.35)	0.67 (0.18)	1.19 (0.49)	0.64 (0.12)	11% (3%)	9% (5%)	43% (10%)
港春	2.92 (1.55)	5.06 (5.25)	0.30 (0.36)	0.57 (0.47)	1.49 (1.42)	0.27 (0.16)	16% (9%)	35% (29%)	56% (26%)
夏	1.12 (0.50)	0.32 (0.09)	0.26 (0.31)	0.20 (0.21)	0.47 (0.66)	0.12 (0.06)	14% (8%)	46% (25%)	48% (27%)
秋	2.43 (1.11)	2.58 (2.27)	0.15 (0.11)	0.65 (0.41)	1.75 (1.15)	0.28 (0.24)	20% (9%)	46% (17%)	62% (17%)
花冬	1.27 (1.30)	0.64 (0.31)	0.23 (0.10)	0.11 (0.09)	0.10 (0.05)	0.16 (0.17)	15% (19%)	14% (6%)	33% (23%)
蓮春	1.49 (0.82)	1.20 (1.23)	0.24 (0.27)	0.10 (0.07)	0.18 (0.12)	0.10 (0.09)	7% (4%)	18% (13%)	33% (18%)
夏	0.79 (0.60)	0.31 (0.17)	0.10 (0.09)	0.05 (0.03)	0.11 (0.07)	0.04 (0.02)	9% (6%)	28% (13%)	32% (16%)
秋	0.77 (0.56)	0.69 (0.67)	0.19 (0.20)	0.05 (0.02)	0.10 (0.06)	0.05 (0.03)	11% (11%)	21% (17%)	29% (21%)

註:

1.各成分括弧內數字為各季節樣本濃度的標準偏差，各成分修正後成分=原始成分+揮發成分

2.揮發(%)=揮發成分/修正後成分

## 2. PM<sub>2.5</sub> 碳成分吸附與揮發修正

圖 4.4.4 顯示六個測站於 2017 年 1 月至 10 月底採樣期間，各樣本 PM<sub>2.5</sub> 碳成分正干擾(吸附)與負干擾(揮發損失)時間序列變化，由於 4 月 1 日前採樣過程是使用兩張石英濾紙配置，並參考上一年度計畫結果(李等，2016)，使用第一張石英濾紙(Q1)扣除 0.25 倍第二張石英濾紙(Q2)作為修正後碳成分，以評估濾紙中揮發與吸附成分，4 月 1 日以後本計畫另行放置空白石英濾紙以被動吸附方式，進行 VOCs 吸附修正，方法如前圖 3.2.25 的 VOC3 所示。從結果中可發現整體正干擾數值雖有起伏，相對穩定，變動幅度不如負干擾明顯。另外，負干擾的變化趨勢似乎與當日 PM<sub>2.5</sub> 濃度及污染型態有關，以板橋站負干擾最高兩日 4 月 19 日及 4 月 25 日來說，從污染事件成因中判別這兩天污染物來源與本地交通污染源影響有關，各測站污染物濃度相對較高樣本也多是負干擾較高，另外小港站 6 月 24 日有異常高負干擾，樣本經重複分析後數質變異不大，推測當日第二層濾紙可能受到污染。在樣本濃度較低期間，則是以正干擾影響較為顯著。比較特別的是花蓮站，幾乎所有樣本都是正干擾大於負干擾，未來樣本數量更為充足時，可對於各區域樣本分別進行評估，或許可找出適合各地區成分修正經驗式，另外，對於各站正干擾濃度約在 0.3~1  $\mu\text{g m}^{-3}$  之間，是否為石英濾紙吸附極限？後續可做相關實驗加以驗證。

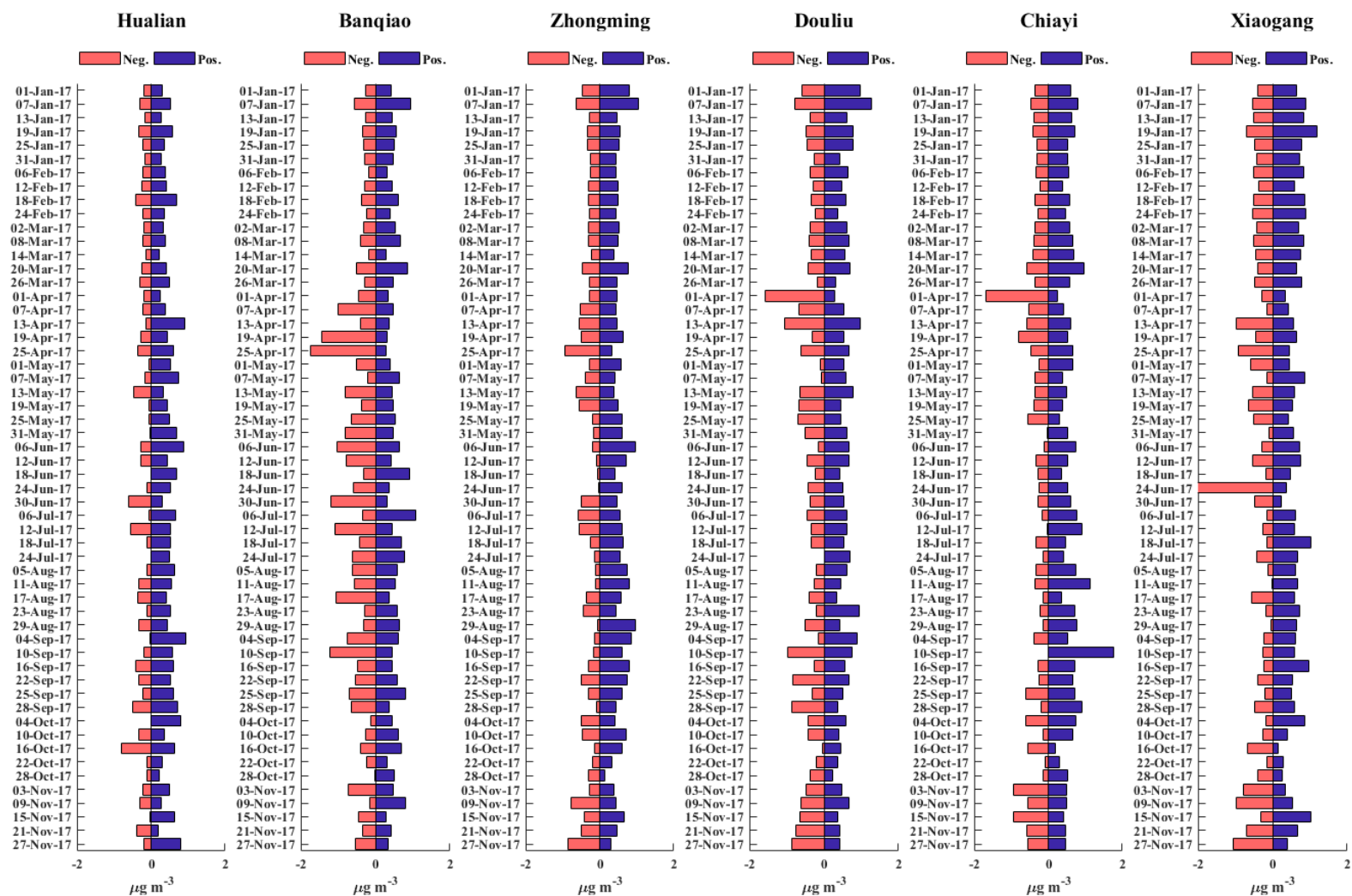


圖 4.4.4 各站例行性觀測期間 PM<sub>2.5</sub> 碳成分正、負干擾 (pos：濾紙吸附；neg：成分揮發) 時間序列變化

#### 4.4.5 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 污染事件來源及判別特徵

為掌握 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  污染來源及判別依據，表 4.4.11 ~表 4.4.12 彙整採樣期間利用逆推軌跡以及監測站氣象因子和污染物監測資料所推論污染成因與判別依據。六個測站中，只有花蓮站在採樣期間空氣品質相當良好，並未發生任何 PM<sub>2.5</sub> 濃度超過 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  事件（以下簡稱高濃度事件），另外五個監測地區，發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件天數明顯由北至南遞增。主要污染來源分為三大類，在地排放源、區域污染物傳輸以及境外污染物傳輸，從表中可發現北部板橋站污染源主要與在地污染排放有關，僅有兩天與境外污染傳輸有關，但是污染物濃度與在地污染事件發生時並沒有明顯差異，顯示今年上半年台灣受到大陸污染傳輸影響有限；當發生區域污染物傳輸現象時，污染物濃度將明顯由北至南逐漸遞增，顯示盛行風向影響傳輸。中部三個測站(忠明、斗六及嘉義)發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日主要與在地污染和區域污染物傳輸有關。南部小港站發生 PM<sub>2.5</sub> 高濃度事件日則主要與在地污染有關，並且從污染特徵發現這些採樣日環境擴散條件都不佳。發生高濃度事件還是以在地污染累積影響較大，例如：2 月 6 日、2 月 18 日、3 月 2 日小港、斗六、嘉義站同受到在地和區域污染傳輸影響，但小港站污染物濃度明顯高於斗六與嘉義兩站，顯示小港地區的在地污染較斗六和嘉義地區高。區域污染傳輸除了在東北風較強時期會將北部及中部污染物向雲嘉南及高屏地區傳輸外，若強度不足，傳輸現象僅影響至嘉義站，例如：2 月 12 日、3 月 2 日、4 月 19 日、5 月 7 日、10 月 4 日及 10 月 28 日。另外，即使只有在地污染，若前天有污染殘留，在擴散不佳的情況下，容易發生高濃度事件，如：忠明、斗六、嘉義、小港站的 1 月 7 日和 4 月 25 日。

表 4.4.11 例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35 µg m<sup>-3</sup> 污染來源及判別特徵  
(灰色為濃度大於 54.5 µg m<sup>-3</sup>)

板橋站			
日期	濃度	來源	特徵
2017/1/7	36	在地	擴散不佳
2017/2/6	36	在地+境外	PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速風向上升
2017/3/26	36	在地	擴散不佳
2017/4/1	37	在地+境外	PM <sub>2.5</sub> 濃度伴隨風速風向上升
2017/4/7	37	在地	擴散不佳+氣態污染物與 PM <sub>2.5</sub> 濃度變化一致(整日)
2017/4/19	37	在地	PM <sub>2.5</sub> 濃度與 NO <sub>x</sub> 及 CO 變化一致+光化學
2017/4/25	43	在地	擴散不佳
忠明站			
日期	濃度	來源	特徵
2017/1/1	38	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似
2017/1/7	58	在地	前日殘留+擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 變化相似
2017/2/18	52	在地+區域	PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(上午)
2017/4/7	39	在地	前日累積+擴散不佳
2017/4/13	44	在地	擴散不佳
2017/4/19	40	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升
2017/4/25	53	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似
2017/9/22	38	在地	前日殘留+擴散不佳
2017/10/10	41	在地	擴散不佳+午後西風傳輸 PM <sub>2.5</sub> 、O <sub>3</sub> 、SO <sub>2</sub> 上升+光化學
斗六站			
日期	濃度	來源	特徵
2017/1/1	48	在地+區域	PM <sub>2.5</sub> 與 SO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 濃度隨北風上升(下午)+擴散不佳(夜間)
2017/1/7	72	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似+光化學
2017/1/19	35	在地	PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似
2017/2/6	44	在地+區域	擴散不佳(上午)+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(下午)+光化學
2017/2/18	58	在地+區域	擴散不佳(上午)+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(下午)+光化學
2017/3/2	47	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升
2017/3/8	44	在地	擴散不佳
2017/3/20	52	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似
2017/4/13	49	在地	擴散不佳
2017/4/19	35	在地+區域	前日殘留+污染物濃度隨風速上升+PM <sub>2.5</sub> 與 CO 濃度變化趨勢相似
2017/4/25	83	在地	前日殘留+擴散不佳
2017/5/7	36	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升(上午)+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化趨勢相似(夜間)
2017/9/22	44	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升
2017/10/4	39	在地+區域	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升(下午)+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化趨勢相似(夜間)
2017/10/10	36	在地+區域	PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升(下午)+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似
2017/11/9	38	在地+區域	擴散不佳(上午、夜間)+PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升(中午)

表 4.4.12 例行性採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 35  $\mu\text{g m}^{-3}$  污染來源及判別特徵(續)  
(灰色為濃度大於 54.4  $\mu\text{g m}^{-3}$ )

嘉義站			
日期	濃度	來源	特徵
2017/1/1	49	在地+區域	擴散不佳(清晨)+PM <sub>2.5</sub> 、SO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 濃度隨風速上升(日間)
2017/1/7	70	在地	前日殘留+擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 、CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似
2017/1/13	37	在地+區域	PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升
2017/1/19	37	在地	PM <sub>2.5</sub> 、CO、NO <sub>x</sub> 變化趨勢相似
2017/2/6	47	在地+區域	擴散不佳(清晨)+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(下午)
2017/2/12	38	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(中午)
2017/2/18	62	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(日間)
2017/3/2	50	在地+區域	前日殘留+污染物濃度隨風速上升+光化學
2017/3/8	49	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似
2017/3/20	55	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似
2017/4/13	55	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似
2017/4/25	78	在地	前日殘留+擴散不佳
2017/5/7	36	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 濃度與風速及 SO <sub>2</sub> 變化趨勢相似
2017/9/22	45	在地+區域	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升
2017/10/4	38	在地+區域	擴散不佳+ PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(下午)
2017/11/9	36	在地+區域	擴散不佳(上午、夜間)+ PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升(中午)
2017/11/15	36	在地+區域	擴散不佳(上午)+ PM <sub>2.5</sub> 隨風速上升(中午)+ PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似(夜間)
小港站			
日期	濃度	來源	特徵
2017/1/1	51	在地	擴散不佳且 PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 同時上升(上午)
2017/1/7	56	在地	前日殘留+擴散不佳(上午)
2017/1/13	64	在地+區域	前日殘留+擴散不佳+軌跡傳輸路徑
2017/1/19	41	在地	擴散不佳
2017/1/25	46	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 與 CO、NO <sub>x</sub> 變化趨勢相似(上午)+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(中午)
2017/1/31	36	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 變化相似(上午)
2017/2/6	65	在地+區域	前日殘留+擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(中午)+光化學
2017/2/12	50	在地	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化相似(上午)
2017/2/18	67	在地+區域	PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升(中午)+PM <sub>2.5</sub> 、CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似+光化學
2017/2/24	46	在地	PM <sub>2.5</sub> 、CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化趨勢相似+光化學
2017/3/2	52	在地+區域	前日殘留+污染物濃度隨風速上升(上午)
2017/3/8	57	在地	前日殘留+污染物濃度與 NO <sub>x</sub> 及 CO 變化一致
2017/3/14	41	在地	擴散不佳
2017/4/13	41	在地	擴散不佳+污染物濃度與 NO <sub>x</sub> 及 CO 變化相似
2017/4/25	51	在地	前日殘留+PM <sub>2.5</sub> 濃度變化與 NO <sub>x</sub> 、CO、SO <sub>2</sub> 相似

2017/5/19	37	在地	前日殘留+擴散不佳
2017/10/4	40	在地	擴散不佳+吹西風時受到工業排放影響
2017/10/28	40	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度變化與 NO <sub>x</sub> 、CO 相似
2017/11/3	35	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化相似(上午、 夜間)
2017/11/9	36	在地	擴散不佳+吹西風時 PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升
2017/11/15	41	在地	擴散不佳+PM <sub>2.5</sub> 濃度與 CO、NO <sub>x</sub> 濃度變化相似(上午)
2017/11/21	38	在地	擴散不佳+吹西風時 PM <sub>2.5</sub> 濃度隨風速上升

---



#### 4.4.6 區域污染事件成因差異探討

採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  濃度大於  $54.4 \mu\text{g m}^{-3}$  (AQI 紅色層級)的採樣地區主要發生於中部與南部，可能中部與南部污染源以及測站所在位置污染擴散條件有關，此外，當全台空氣品質都為不良時，南部通常為污染物濃度最高的地區，然而本次計畫採樣期間卻發現並非所有採樣日都是如此，例如：1 月 7 日各測站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度都超過日平均標準值  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ ，中南部採樣地區更是達 AQI 紅色層級，各站以斗六站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度達  $72 \mu\text{g m}^{-3}$  為最高，這天小港站卻只有  $56 \mu\text{g m}^{-3}$ 。此外，3 月 20 日、4 月 13 日、4 月 25 日同樣在嘉義或斗六站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度高達  $55 \mu\text{g m}^{-3}$ ，但小港站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯低了不少。歸納前表結果，發現當  $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯高於  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  的事件日與中、南部區域污染物傳輸有關時，小港站的  $\text{PM}_{2.5}$  濃度才會明顯大於中部地區，在所有採樣日中僅有 5 月 7 日這天中部出現區域傳輸污染現象，但小港站濃度卻未超過  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ ，另外大多數時期的發生在地污染時也是以小港站濃度較高。因此，本計畫將中部監測地區  $\text{PM}_{2.5}$  濃度大於南部小港站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度的 1 月 7 日、3 月 20 日、4 月 13 日、4 月 25 日、9 月 22 日共五次事件日稱類型一；小港站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較高且發生區域污染傳輸的 1 月 13 日、2 月 6 日、2 月 18 日共三次事件日稱為類型二。將兩類型事件分別透過行政院環境保護署-空氣品質監測網所提供的全台 24 小時  $\text{PM}_{2.5}$  濃度分布以及全台環境風場模擬結果(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)進行深入解析。

##### 1. 類型一 (中部監測地區 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度大於南部小港站 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度)

###### (1) 2017 年 1 月 7 日

從前節監測資料時間序列可以發現，這天斗六與嘉義站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高的時間都出現在上午 8 時過後與夜間 22 時，小港站則在上午 8 時過後污染物濃度逐漸降低，另外從圖 4.4.5 風場資料顯示這天風速明顯較低(白色線條顏色淺)，因此各地  $\text{PM}_{2.5}$  濃度受擴散條件不佳影響。再從圖 4.4.6  $\text{PM}_{2.5}$  濃度分布可發

現，色塊呈現紫色區域為高  $\text{PM}_{2.5}$  濃度區，在上午時候出現在鄰近小港的前鎮地區及高屏交界處，接近中午時分小港地區  $\text{PM}_{2.5}$  濃度逐漸消散，中部雲林縣靠近麥寮處出現  $\text{PM}_{2.5}$  高值，晚間 20 時過後可以發現  $\text{PM}_{2.5}$  似乎從雲林縣邊界向嘉義地區擴散，而嘉義上空  $\text{PM}_{2.5}$  濃度色塊呈現紫色。

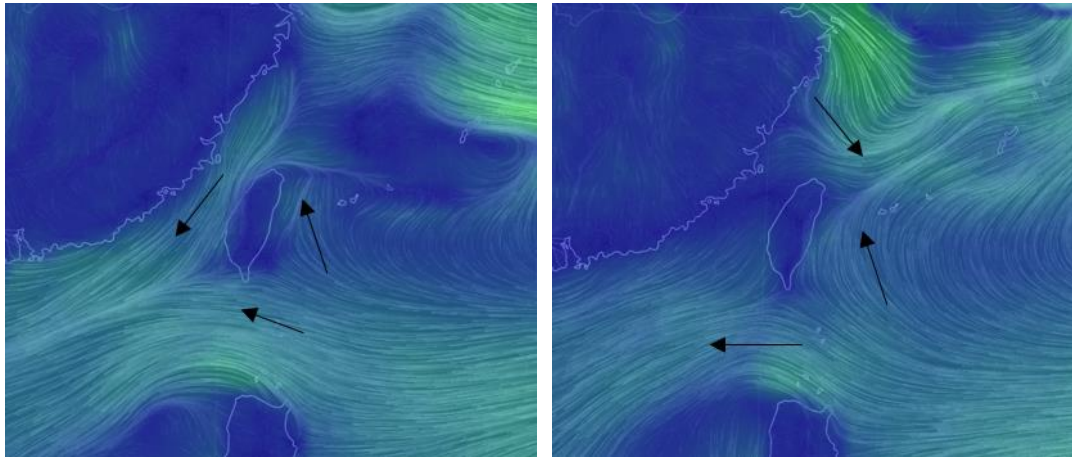
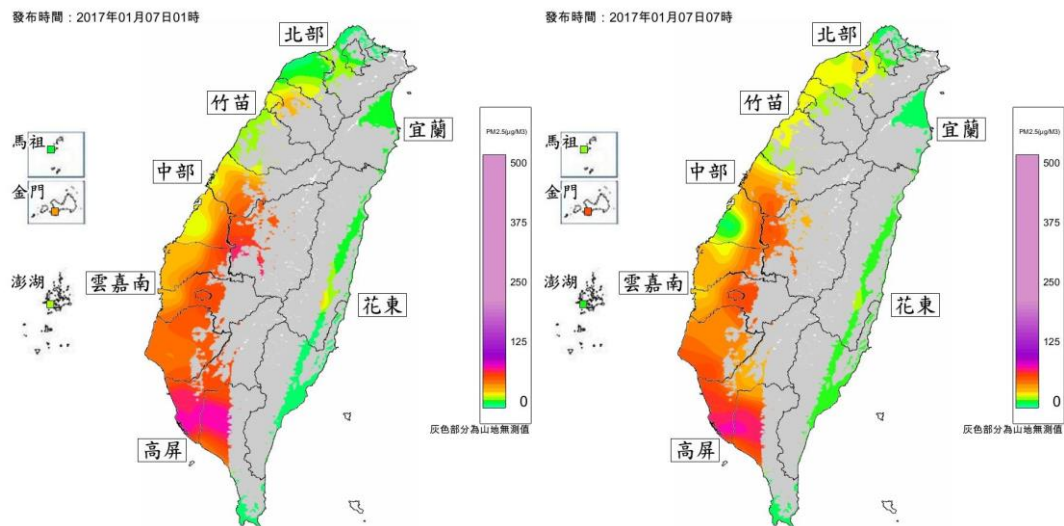


圖 4.4.5 2017 年 1 月 7 日上午 8 時 (左) 23 時 (右) 風場模擬結果  
(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)



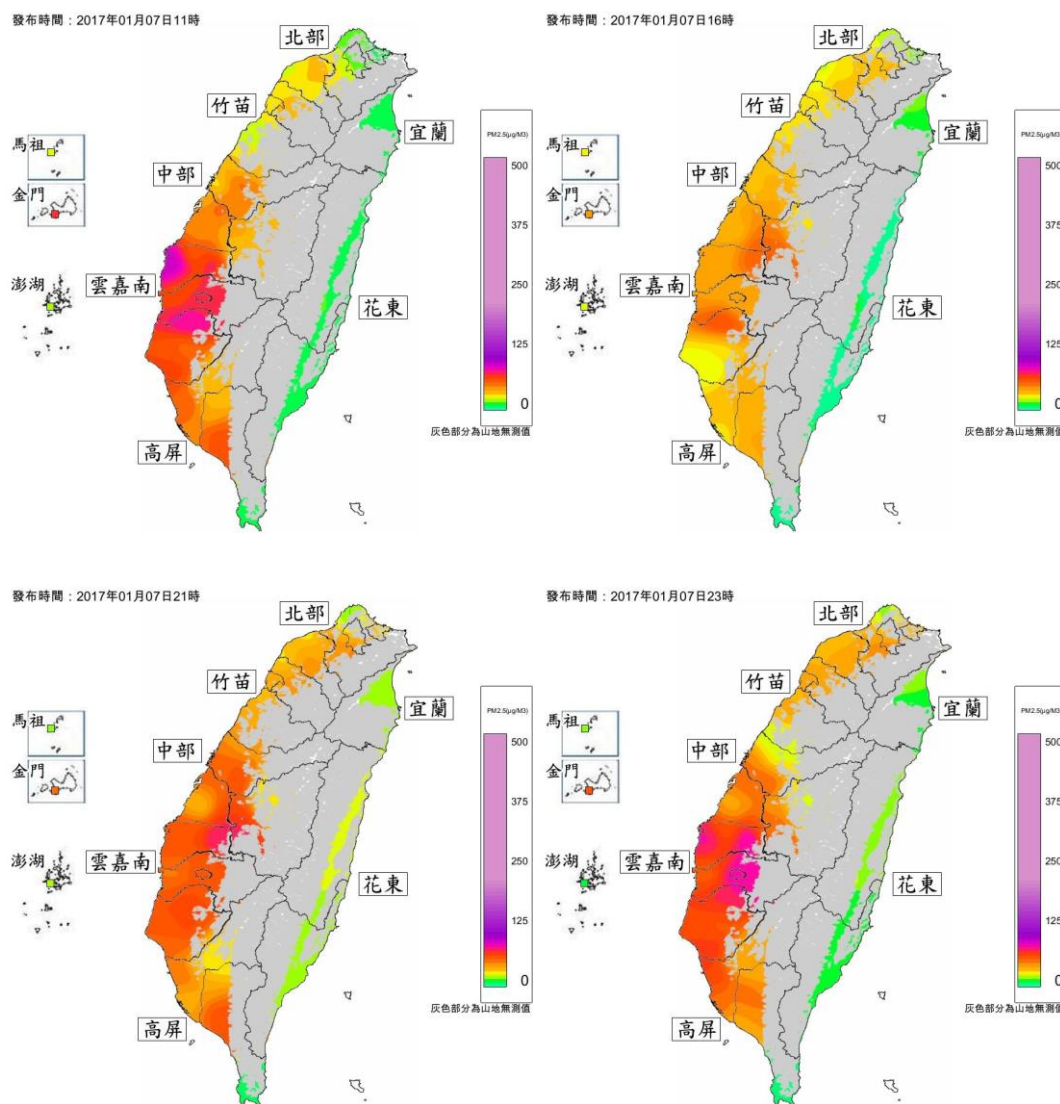


圖 4.4.6 2017 年 1 月 7 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

## (2) 2017 年 3 月 20 日

本案例在先前 PM<sub>2.5</sub> 與天氣因子時間序列關係顯示當天嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 濃度於中午達到最高值，小港站則在清晨 2 時 PM<sub>2.5</sub> 濃度就逐漸下降，比較這兩個時段環境風場圖可以發現中部的風場與南部風場是屬於不同來向，南部風場氣流主要來自台灣東部海域，而中部地區則是由台灣海峽吹入內陸地區，在中部地區形成環流(如下圖 4.4.7 放大圖所示)，另外從 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布圖(圖 4.4.8)也可以發現類似的現象，上午 6 時以前高屏地區呈現橘色色塊，受到乾淨的海洋氣流影響，PM<sub>2.5</sub> 濃度逐漸降低，上午 6 時已轉為綠色，反觀嘉義地區，各來向氣

流皆往內陸傳輸，因此  $\text{PM}_{2.5}$  擴散條件不理想，上午 10 時過後就呈現橘紅色，最後轉為紫紅色。

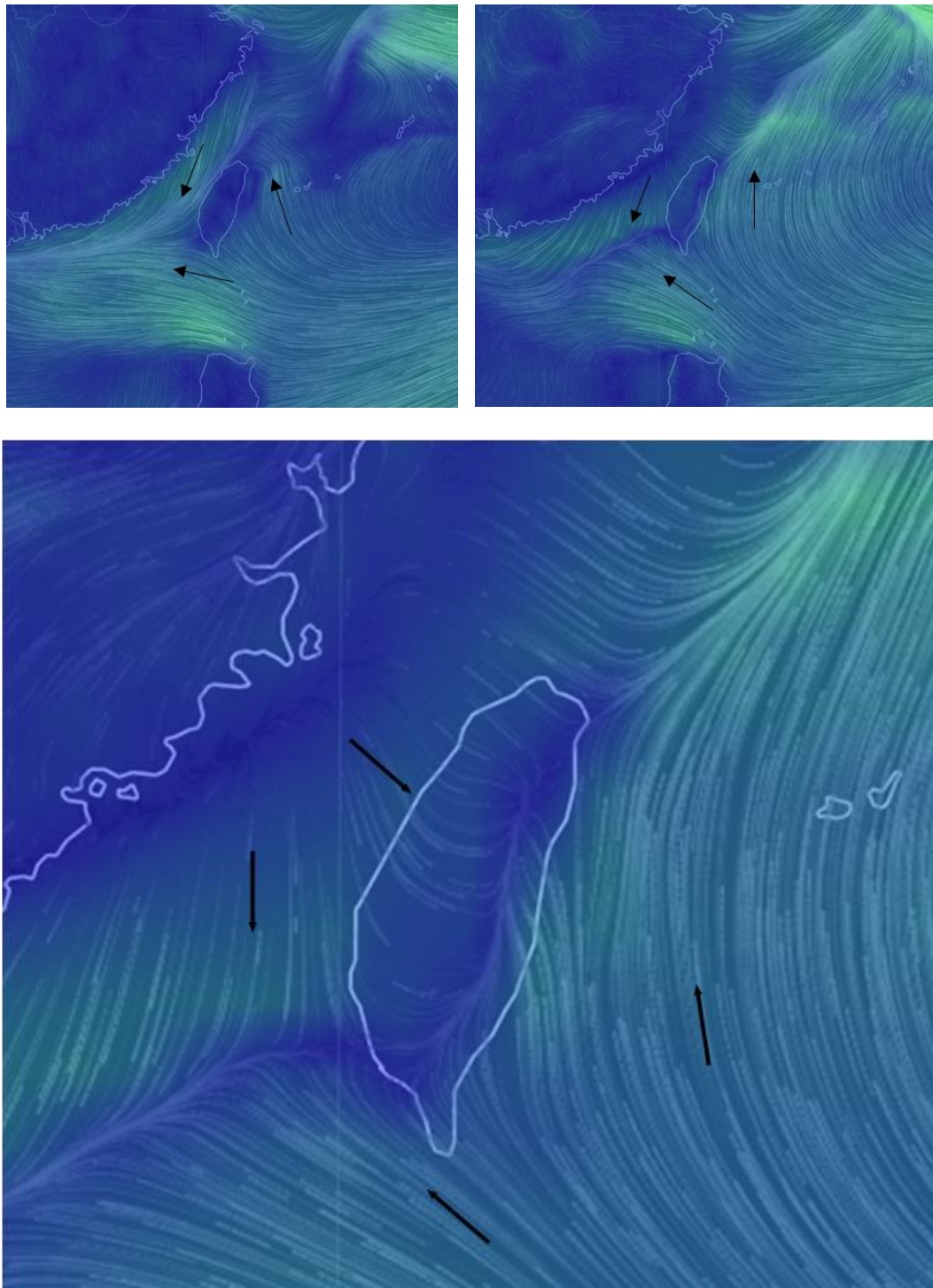
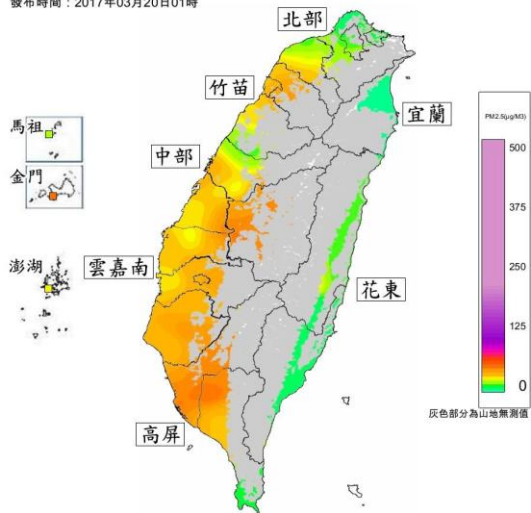


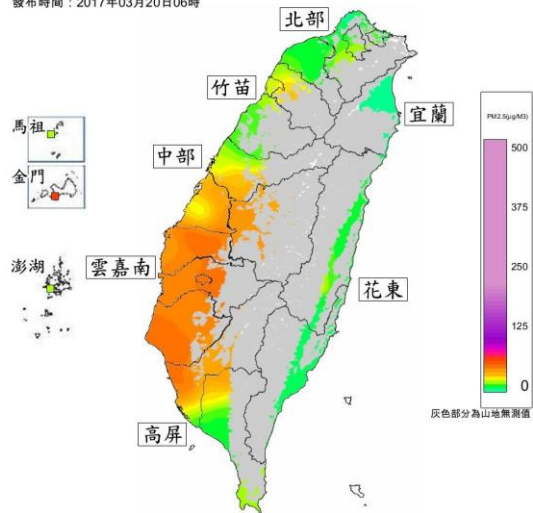
圖 4.4.7 2017 年 3 月 20 日上午 2 時(左)11 時(右)風場模擬結果  
(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)



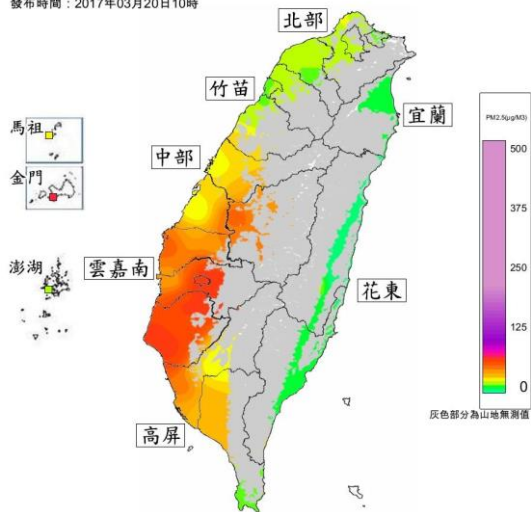
發布時間：2017年03月20日01時



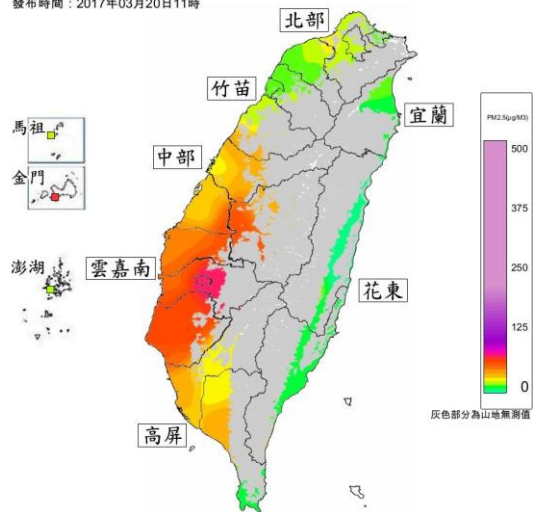
發布時間：2017年03月20日06時



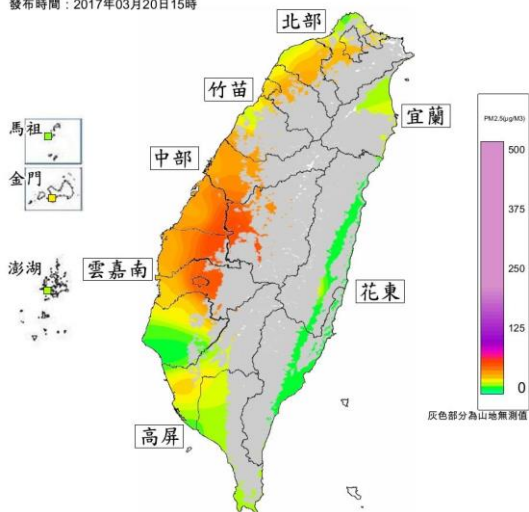
發布時間：2017年03月20日10時



發布時間：2017年03月20日11時



發布時間：2017年03月20日15時



發布時間：2017年03月20日20時

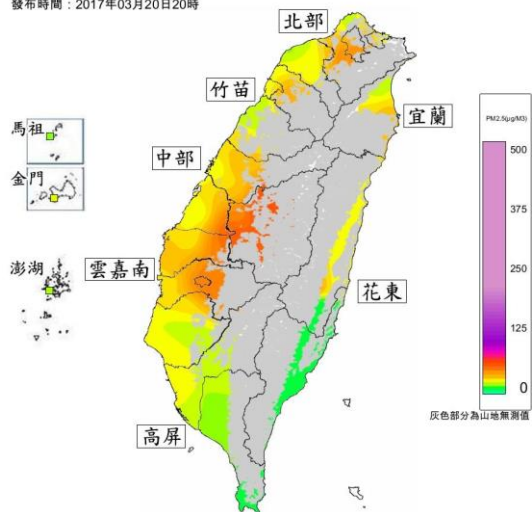


圖 4.4.8 2017 年 3 月 20 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

### (3) 2017 年 4 月 13 日

從監測資料時間變化序列顯示，嘉義站與斗六站上午 9 時就出現當日  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最大值，小港站則是出現在夜間，這天各站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度由北至南分別為 50、55、43  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，並且從  $\text{PM}_{2.5}$  達到峰值時間顯示中部與南部  $\text{PM}_{2.5}$  並無直接關聯性，透過圖 4.4.9 顯示當天各站  $\text{PM}_{2.5}$  濃度最高小時的環境風場，可以發現上午 8 時中部地區雖然風速不高，但氣流走向有從北往南傳輸的趨勢，因此可能受到上風  $\text{PM}_{2.5}$  影響，而小港站氣流路徑較不明顯，到了晚上(右圖)氣流路徑更是不明顯，顯示擴散條件不佳。再從圖 4.4.10 可發現清晨 3 時雲林麥寮地區色塊呈現紫色顯示  $\text{PM}_{2.5}$  濃度相當高，數小時後可發現橘色塊面積逐漸增大， $\text{PM}_{2.5}$  逐漸向南邊的嘉義市擴散，另外下午 17 時開始高屏沿海同樣出現橘色色塊，數小時之後色塊則遍布高屏內陸，從  $\text{PM}_{2.5}$  濃度分布圖發現，當天小港濃度之所以低於中部，主要因為嘉義測站受到雲林  $\text{PM}_{2.5}$  傳輸影響，而小港站污染源主要來自於在地。

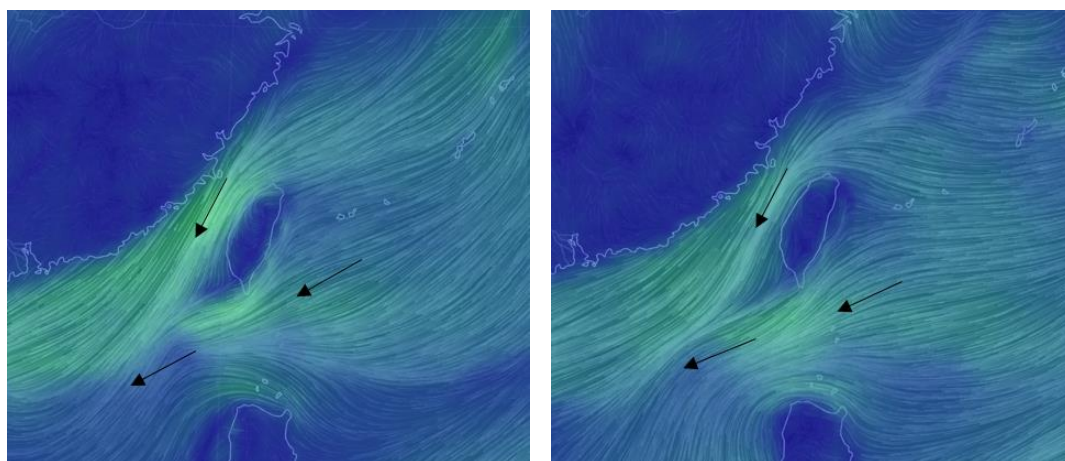
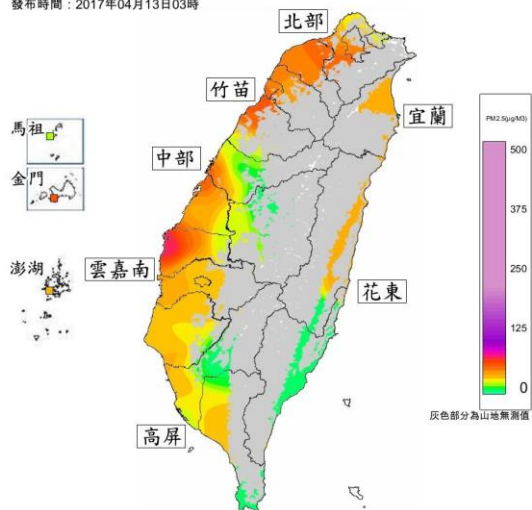
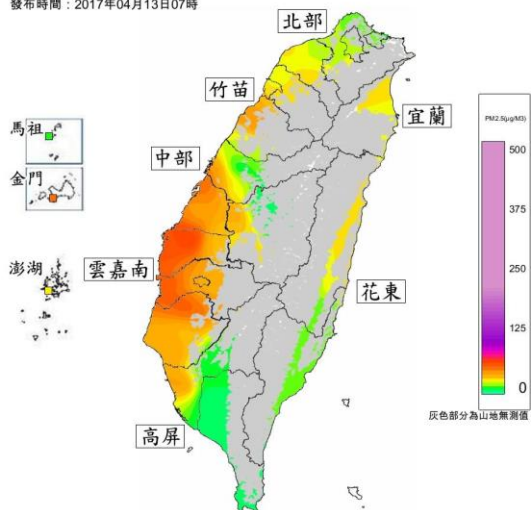


圖 4.4.9 2017 年 4 月 13 日上午 8 時(左)下午 19 時(右)風場模擬結果  
(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)

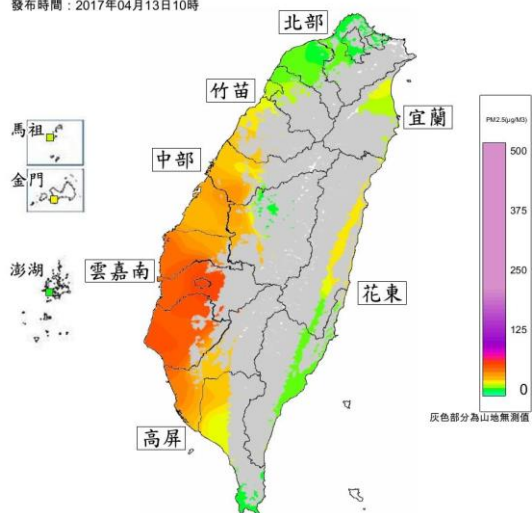
發布時間：2017年04月13日03時



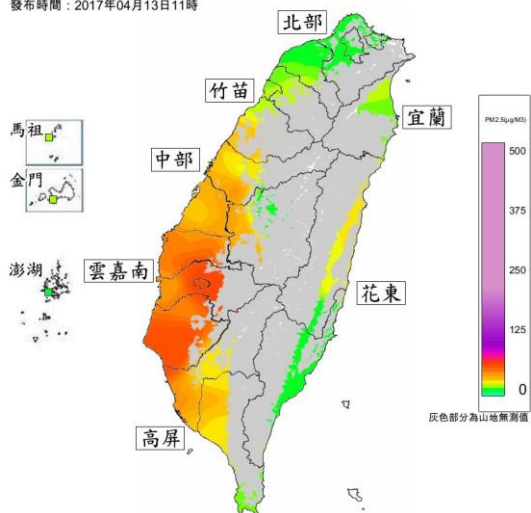
發布時間：2017年04月13日07時



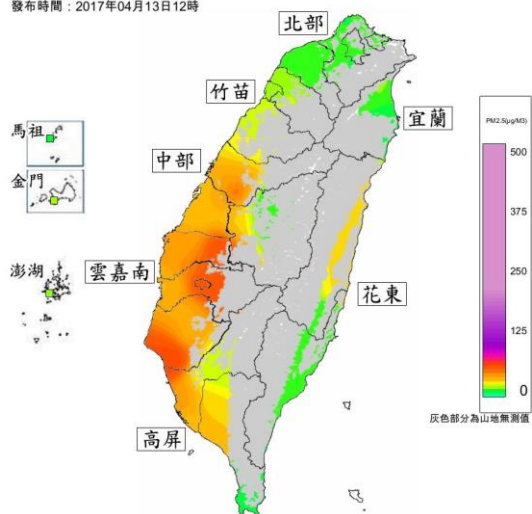
發布時間：2017年04月13日10時



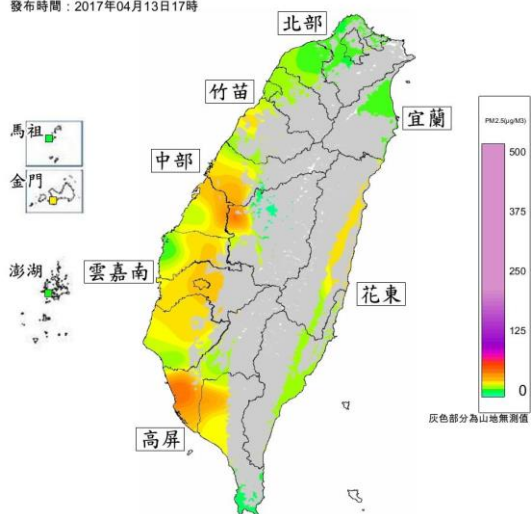
發布時間：2017年04月13日11時



發布時間：2017年04月13日12時



發布時間：2017年04月13日17時



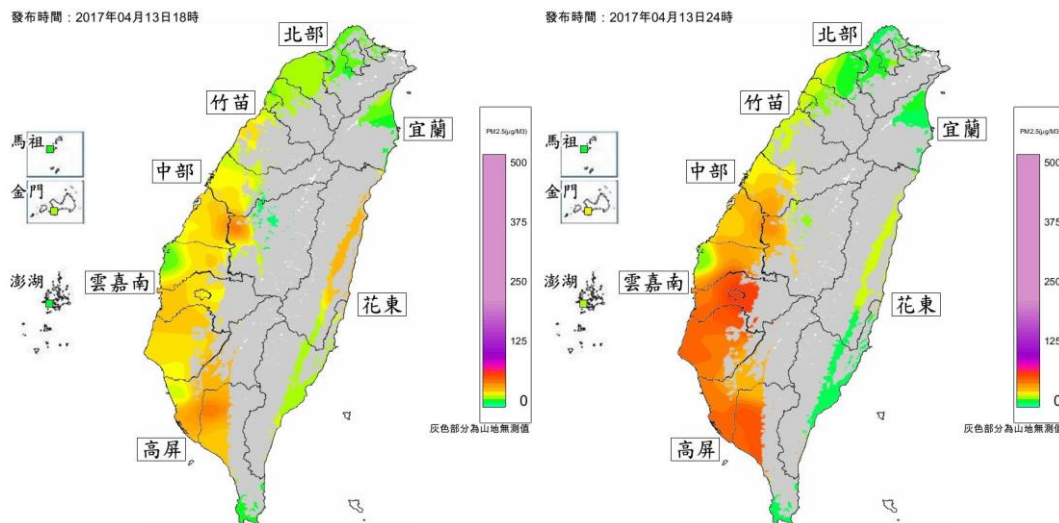


圖 4.4.10 2017 年 4 月 13 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

#### (4) 2017 年 4 月 25 日

這天 PM<sub>2.5</sub> 濃度最高出現在斗六站，修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度高達  $84 \mu\text{g m}^{-3}$ ，嘉義站也高達  $79 \mu\text{g m}^{-3}$ ，小港站則為  $52 \mu\text{g m}^{-3}$ ，從圖 4.4.11 顯示，當天 2 時的風場與 4 月 13 日事件十分相似，氣流緩慢掠過斗六嘉義一帶，反觀小港地區則氣流軌跡明顯較少，這顯示氣流行經地區可能受到上風污染源影響。從圖 4.4.12 可以發現 4 月 24 日 23 時開始，斗六站就有相當明顯的 PM<sub>2.5</sub> 濃度，25 日清晨受到環境風場影響，似乎有往嘉義市傳輸的趨勢，從 1 點到 4 點這段期間，可以發現 PM<sub>2.5</sub> 紫色區塊向台南沿海延伸，上午 9 時雲嘉南地區 PM<sub>2.5</sub> 色塊轉為橘色時，嘉義上方依舊呈現紫色顯示當地可能擴散條件較差 PM<sub>2.5</sub> 並未稀釋，由於嘉義市位處中央山脈旁，當氣流向內陸推擠時，可能使 PM<sub>2.5</sub> 擴散不易，另一方面當天在晚上 22 時，斗六站與前日相同，PM<sub>2.5</sub> 濃度也逐漸累積升高，由於紫色區塊位置皆靠近山腳，是否受到環境風場影響，使 PM<sub>2.5</sub> 向內陸累積不易擴散？此外小港站這天 PM<sub>2.5</sub> 似乎皆與港邊排放源有關，下午 15 時前，港邊色塊明顯較深，15 時過後顏色較深的區塊往內陸以及屏東移動，可能受到海風影響。綜合以上結果可以發現嘉義及斗六站的 PM<sub>2.5</sub> 以及小港站的 PM<sub>2.5</sub> 來源並不相同，皆屬於各空



品區特有的在地污染源排放。

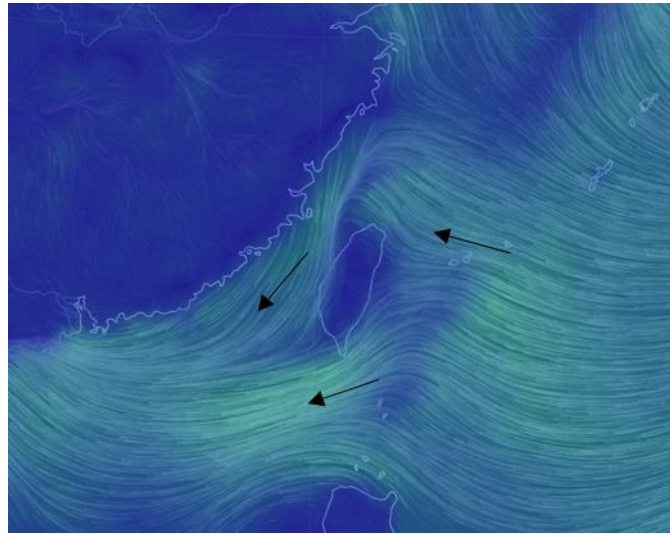
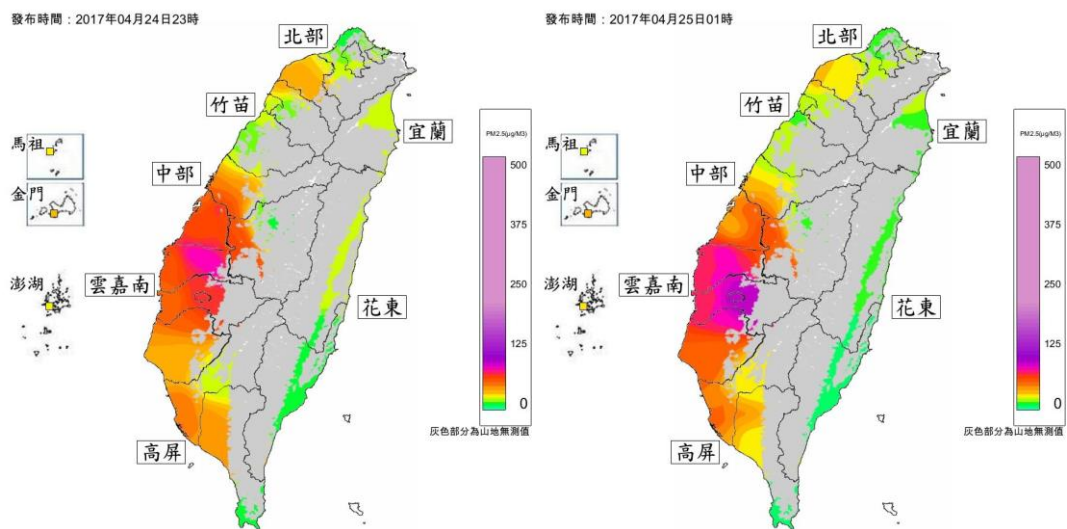
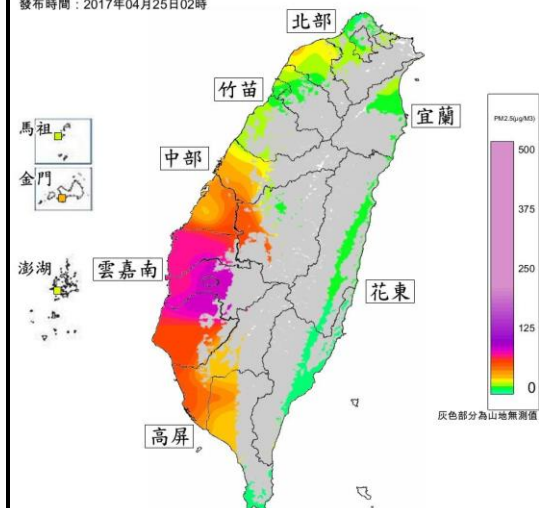


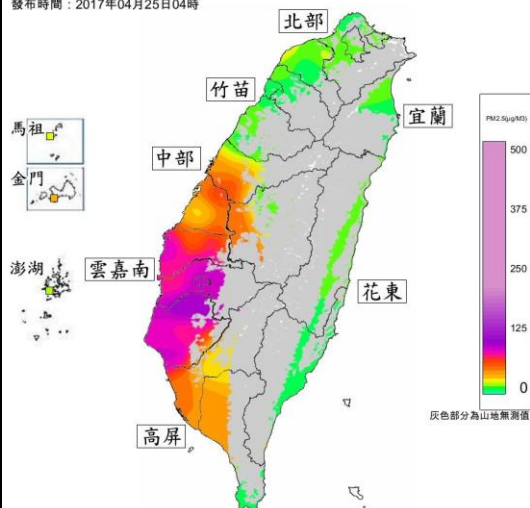
圖 4.4.11 2017 年 4 月 25 日上午 2 時風場模擬結果(資料來源:  
<https://earth.nullschool.net>)



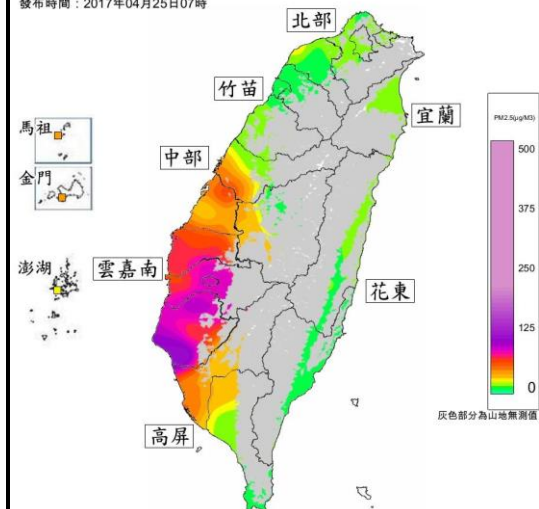
發布時間：2017年04月25日02時



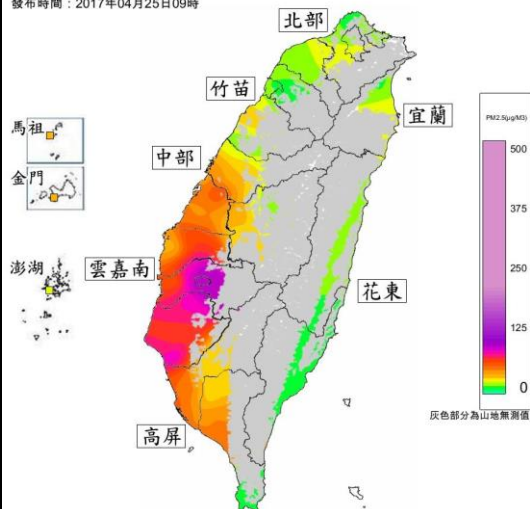
發布時間：2017年04月25日04時



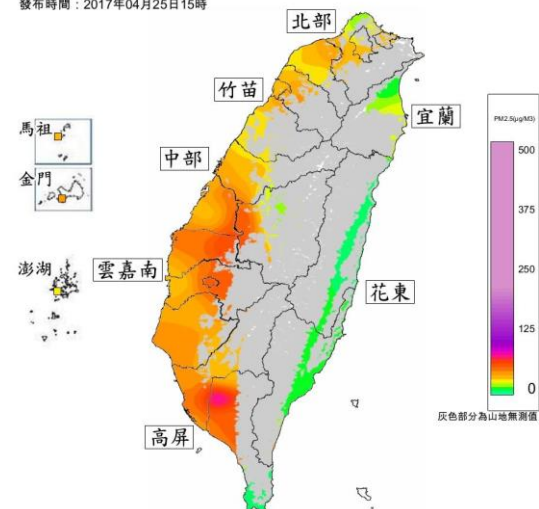
發布時間：2017年04月25日07時



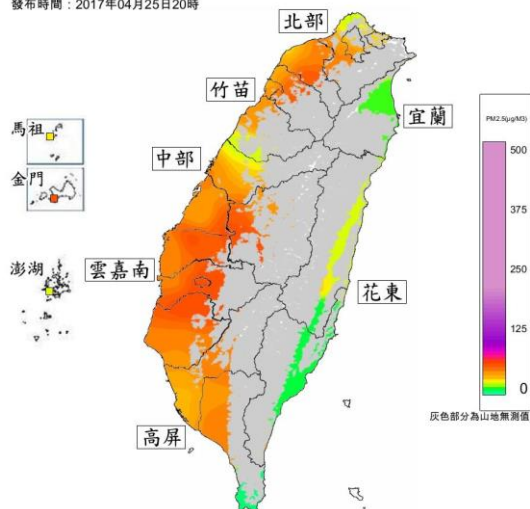
發布時間：2017年04月25日09時



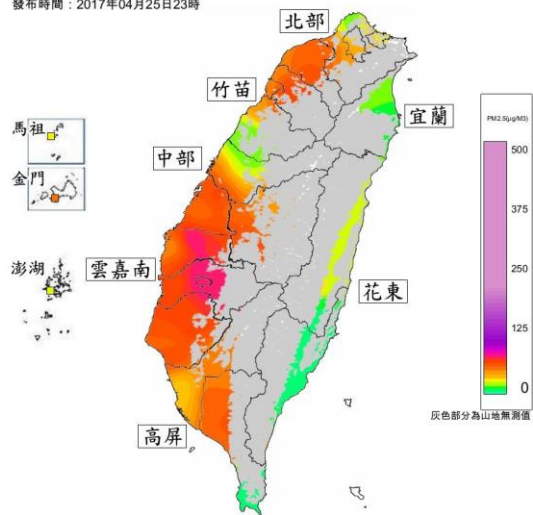
發布時間：2017年04月25日15時



發布時間：2017年04月25日20時



發布時間：2017年04月25日23時



發布時間：2017年04月25日24時

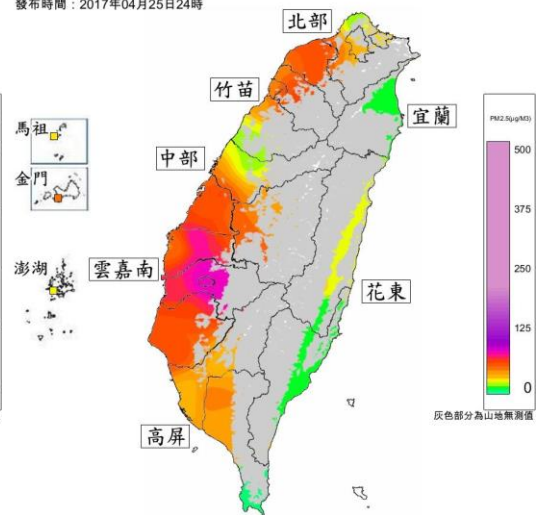


圖 4.4.12 2017 年 4 月 25 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub>濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

### (5) 2017 年 9 月 22 日

秋季採樣期間九月份各站最高  $\text{PM}_{2.5}$  濃度出現在 9 月 22 日，這天全台都出現類似的高濃度現象，污染物濃度由北部至中部逐漸上升，小港站則略高於板橋站，各站濃度分別為 29、38、44、45、31  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，當天環境風場如圖 4.4.13 所示，左圖為上午 8 時、右圖為下午 17 時，從上午 8 時風場圖可以發現氣流軌跡線較不明顯，顯示環境風速低，如圖 4.4.14 監測資料結果，上午之前各監測站已有前日所殘留污染物，下午過後風速明顯上升，雲嘉地區有明顯流線經過，顯示污染物可能透過氣流傳輸至下風區，南部小港站則同樣吹拂西北風，但氣流主要經由海面傳輸至測站，此外，北部板橋站則不論上午或下午都呈現地形環流，從風場圖中顯示北部氣流似乎並未往中部都會區傳輸。圖 4.4.14 為 9 月 22 全台  $\text{PM}_{2.5}$  濃度分布，清晨開始全台各都會區空氣品質皆呈現黃色色塊，其中彰化及雲林縣則呈現橘紅色，顯示中部地區  $\text{PM}_{2.5}$  濃度清晨就相當高。北部地區除了上午 9~10 時呈現往桃園地區擴散的現象外，其餘時段污染物濃度變化不大。中部及雲嘉地區則可發現自 0 時開始污染物濃度逐漸由彰化往雲嘉移動，一直至上午 10 時，嘉義地區呈現紫紅色，顯示有相當高  $\text{PM}_{2.5}$  濃度，同時也顯示嘉義及斗六這段期間受到區域污染物傳輸影響，10 時過後隨著東北風增強，污染物濃度開始明顯降低。南部高雄地區同樣從清晨開始就有不低的污染物濃度，然而整日的濃度變化並不如雲嘉地區明顯，似乎受到雲嘉污染物傳輸影響較小，從污染物時間分布圖可發現，來自雲嘉南空品區的污染物，影響範圍僅到高雄市區北部，下午過後受到海風增強，污染物明顯往西傳至屏東，因此，小港站在這天似乎僅受到當地排放影響，當西風增強時，海港或傳輸至海面的污染可能會造成影響。

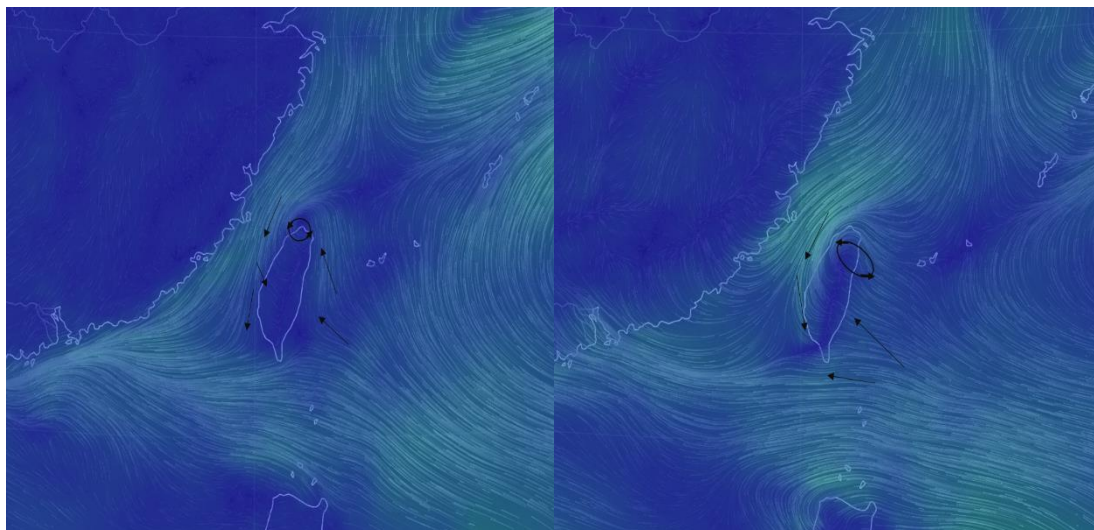
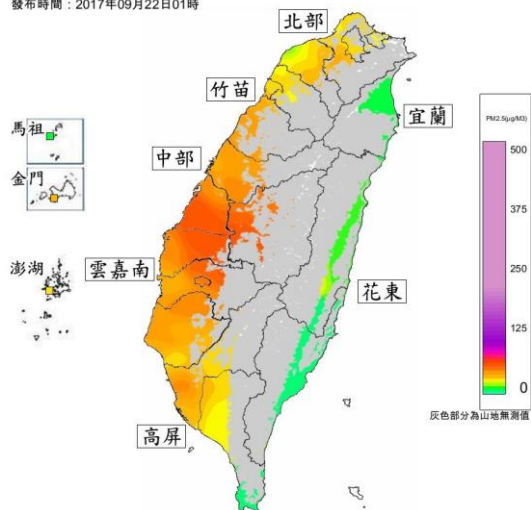


圖 4.4.13 2017 年 9 月 22 日上午 8 時(左)及下午 17 時(右)風場模擬結果

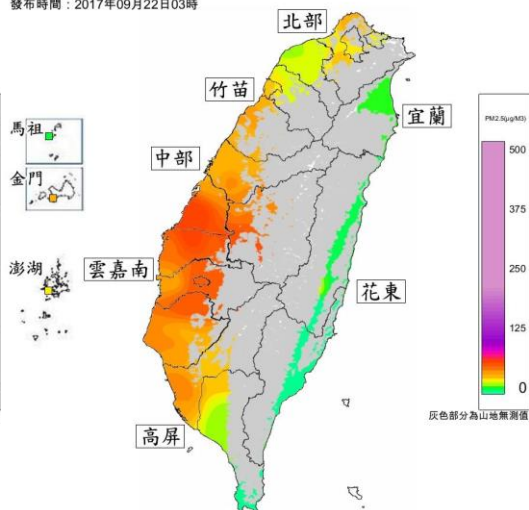
(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)



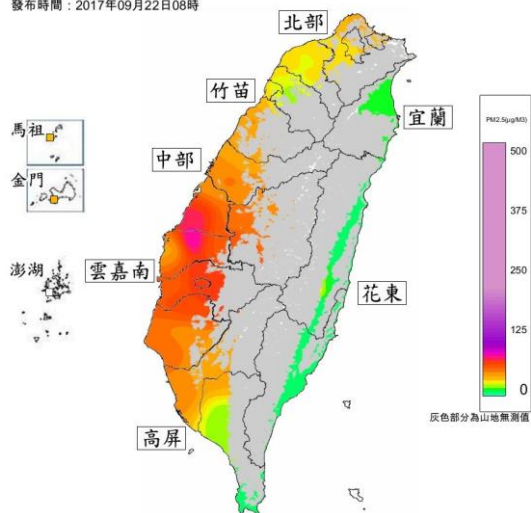
發布時間：2017年09月22日01時



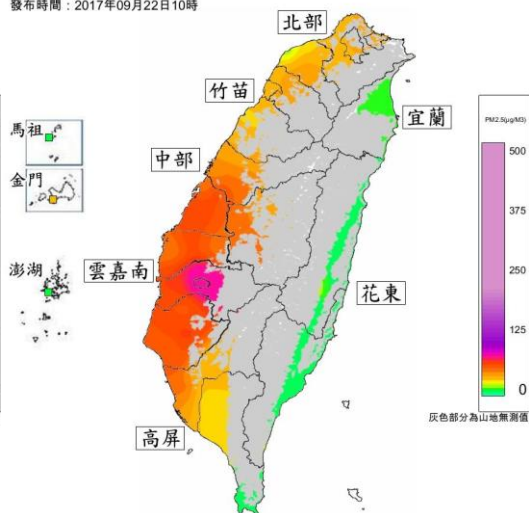
發布時間：2017年09月22日03時



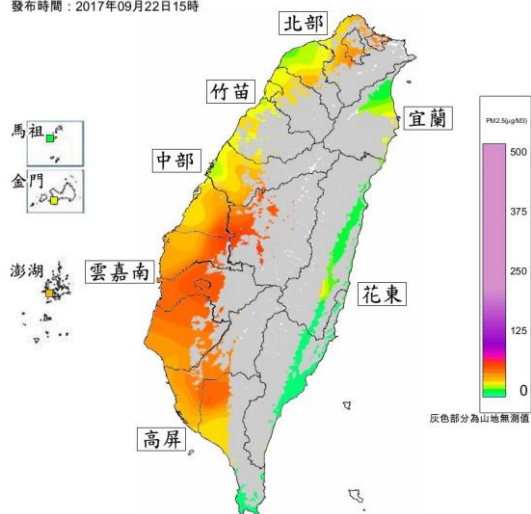
發布時間：2017年09月22日08時



發布時間：2017年09月22日10時



發布時間：2017年09月22日15時



發布時間：2017年09月22日18時

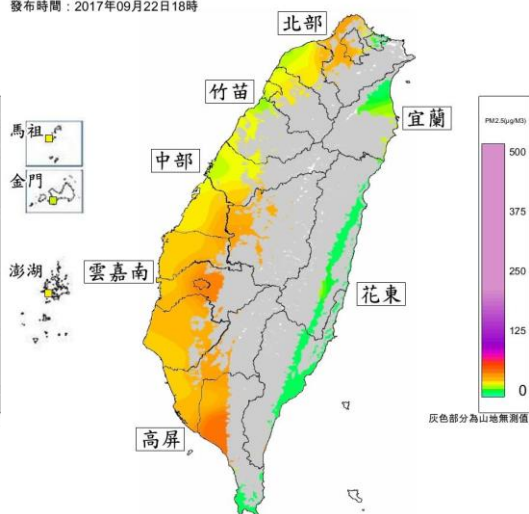


圖 4.4.14 2017 年 9 月 22 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

## 2. 類型二 (小港站 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高且發生區域污染傳輸)

### (1) 2017 年 1 月 13 日

這天由北部板橋站至南部小港站 PM<sub>2.5</sub> 濃度由北向南遞增，各站修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度分別為 12、17、29、37 及 64  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，前述結果顯示當天 PM<sub>2.5</sub> 型態為區域 PM<sub>2.5</sub> 傳輸類型，因此 PM<sub>2.5</sub> 可能受傳輸影響，逐漸往南累積。透過下圖 4.4.15，環境風場可以發現當天氣流流速相當高，並且可看見由北至南傳輸的現象，氣流行經中部至雲嘉南地區時可能受到地形影響產生環流如右圖所示，另外由圖 4.4.16 則可以發現從 0 時開始高屏空品區就存在相當高的 PM<sub>2.5</sub> 濃度，顯示前天有污染殘留，並且以沿海港區有較高的 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布，中部地區 PM<sub>2.5</sub> 則受到地形環流影響，累積在南投與彰化交界，當天上午 10 時過後高屏空品區 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高地區明顯由沿岸轉往內陸人口較稠密地區，其中以屏東市區濃度最為明顯，8 點至 11 點這段期間小港站 PM<sub>2.5</sub> 濃度則可能受到上風污染源傳輸影響。另一方面中部地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度則受到氣流影響，明顯往嘉義以及埔里地區累積，因此從這天結果可以發現小港站以北監測站 PM<sub>2.5</sub> 濃度較低的原因是因為當天 PM<sub>2.5</sub> 累積情況並沒有小港站嚴重，此外小港站除了在地的污染源排放，還受到鄰近都會區影響。嘉義站則受到部分來自雲林地區的 PM<sub>2.5</sub> 影響。

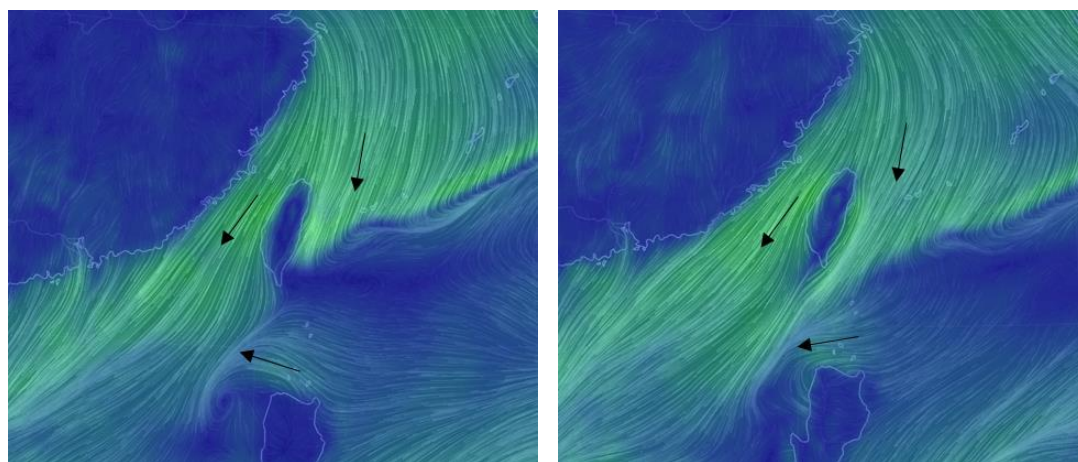
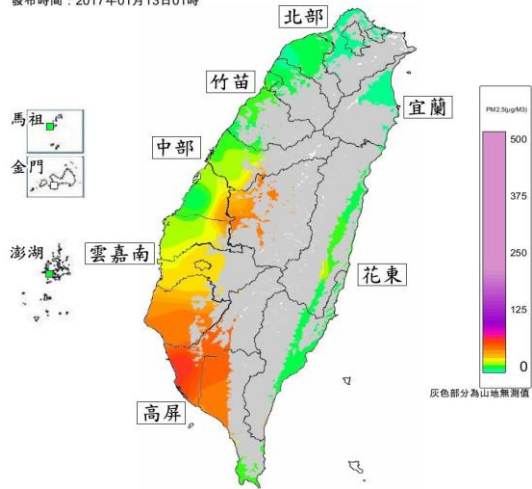
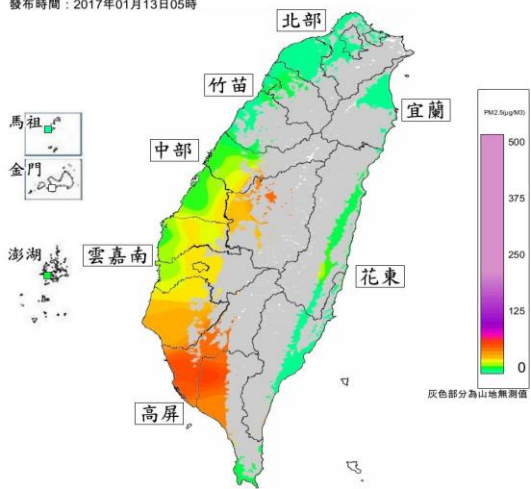


圖 4.4.15 2017 年 1 月 13 日上午 2 時(左圖)及下午 14 時(右圖)風場模擬結果  
(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)

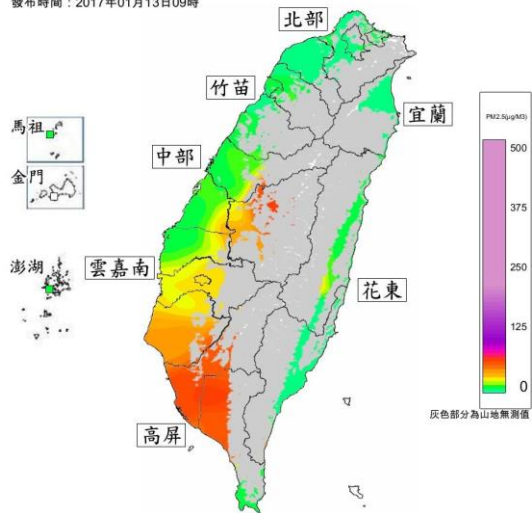
發布時間：2017年01月13日01時



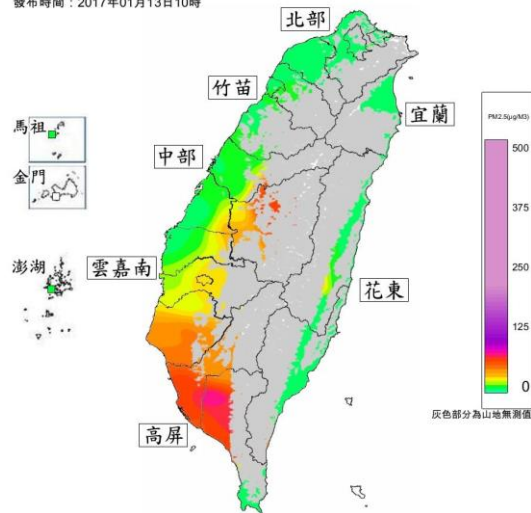
發布時間：2017年01月13日05時



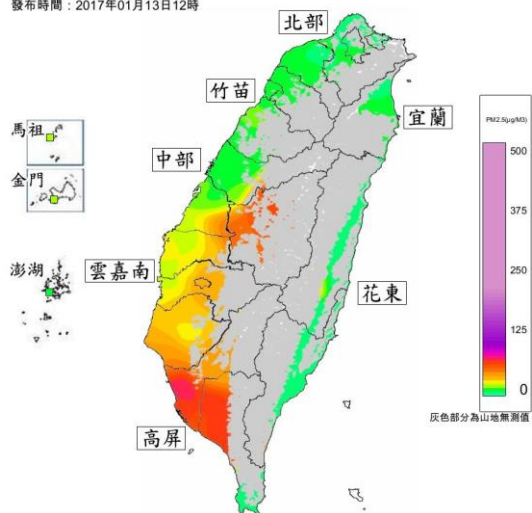
發布時間：2017年01月13日09時



發布時間：2017年01月13日10時



發布時間：2017年01月13日12時



發布時間：2017年01月13日14時

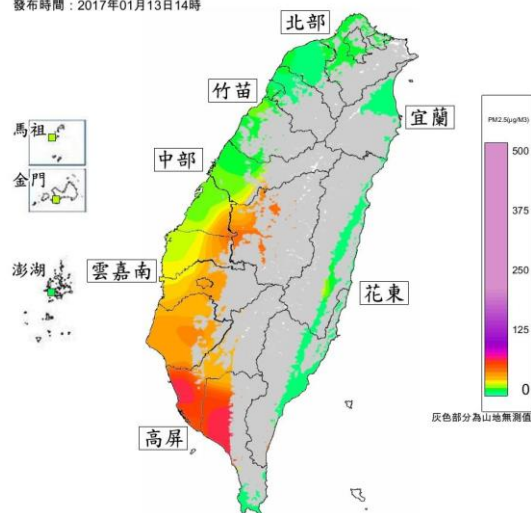


圖 4.4.16 2017 年 1 月 13 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)



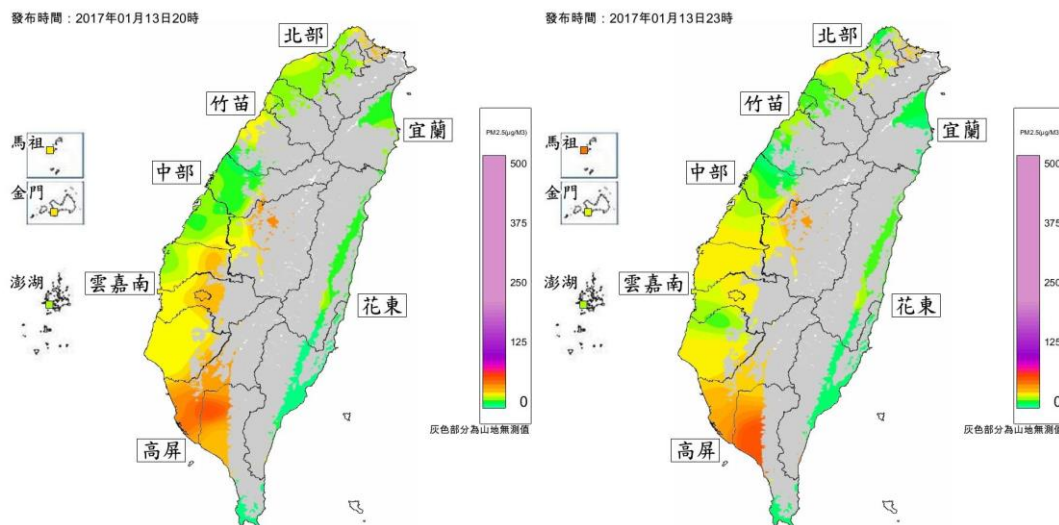


圖 4.4.16 2017 年 1 月 13 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布(續)  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

## (2) 2017 年 2 月 6 日

這天西部監測地區的五個測站修正後 PM<sub>2.5</sub> 濃度皆超過  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ ，其中南部小港站  $65 \mu\text{g m}^{-3}$  最高，前述監測資料顯示北部板橋站在上午 8 時之後 PM<sub>2.5</sub> 濃度受到境外污染源影響有明顯上升趨勢，其餘中、南部各站 PM<sub>2.5</sub> 濃度也在這個時間以後逐漸上升。圖 4.4.17 顯示當天上午 8 時以及下午 14 時環境風場，全台都受到東北季風影響，氣流路徑明顯橫跨西半部都會區，顯示 PM<sub>2.5</sub> 濃度將受到區域污染源影響，並且氣流由北往南傳輸速率明顯在傳輸至南部時減緩(氣流路徑顏色轉淡)，再由圖 4.4.18 可看出各區域 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布，當天清晨開始雲嘉南以及高屏地區由於擴散條件不佳都呈現橘色色塊，上午 9 時過後受到境外污染源影響，北部明顯由綠轉橘，這段期間雲林及高屏沿海 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯高於其他地區，可能受到在地排放及區域傳輸 PM<sub>2.5</sub> 加乘作用影響，其中又以高屏地區最為嚴重，造成差異的原因除了中、南部地區固定污染源所處位置外，也可能與氣流傳輸至南部時速率減緩使 PM<sub>2.5</sub> 累積在此有關。

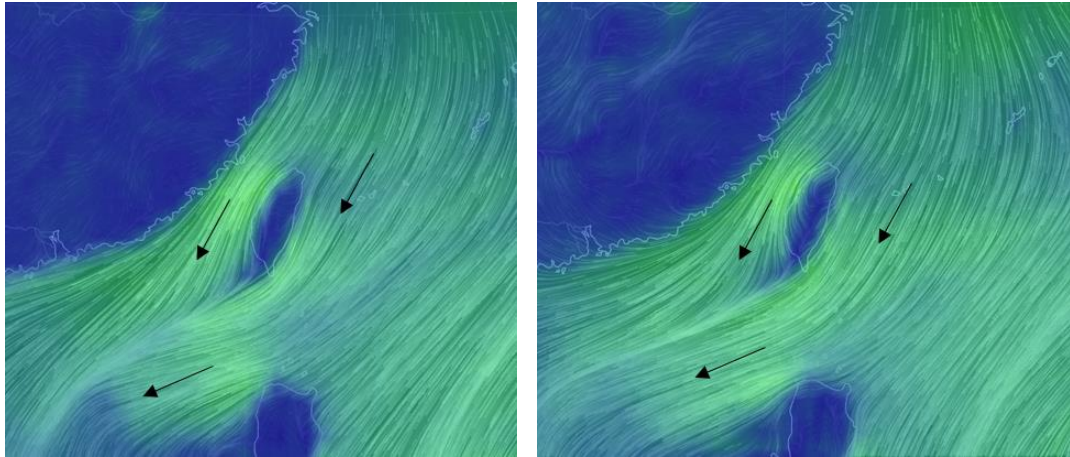
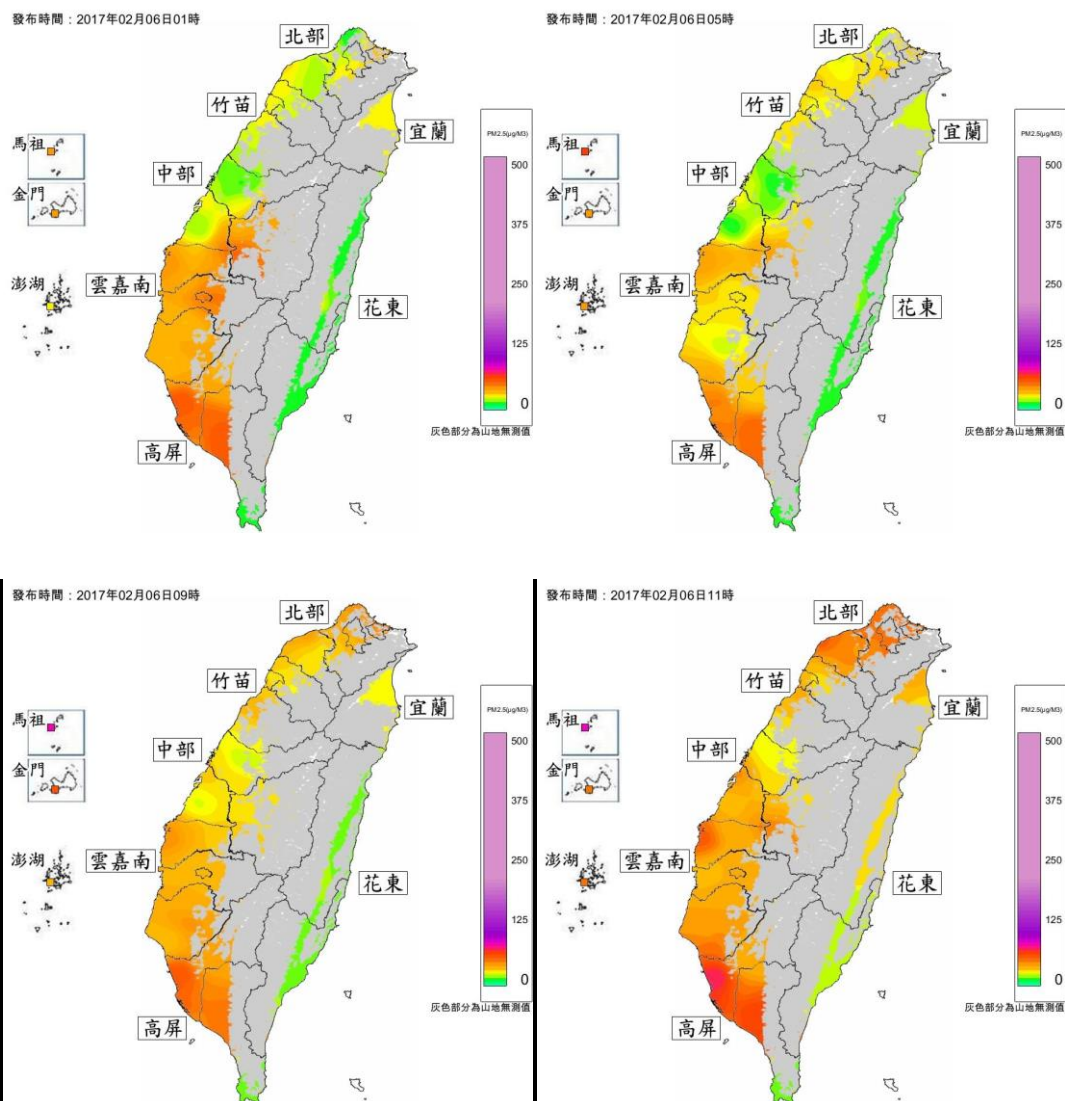


圖 4.4.17 2017 年 2 月 06 日上午 8 時(左圖)及下午 14 時(右圖)風場模擬結果  
(資料來源: <https://earth.nullschool.net/>)



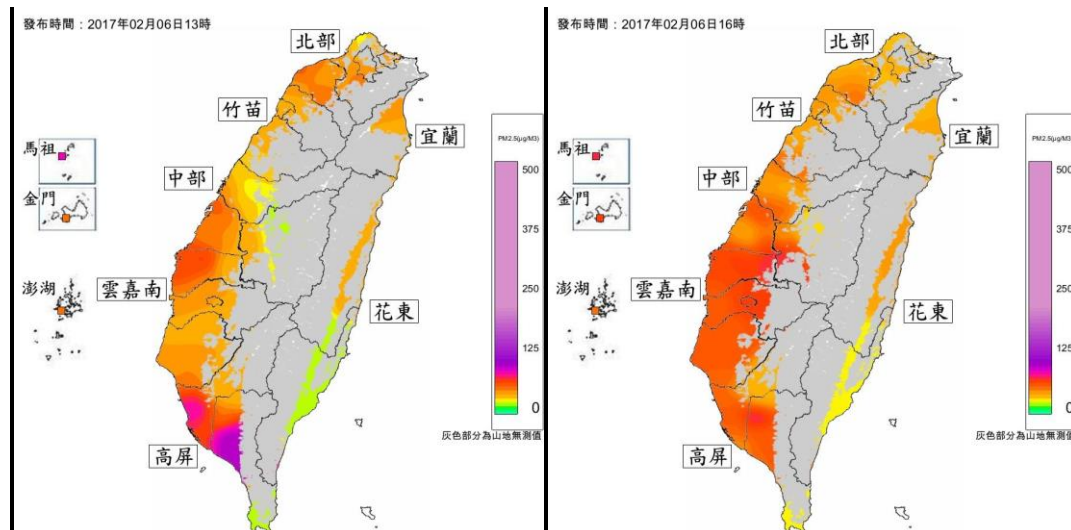


圖 4.4.18 2017 年 2 月 6 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

### (3) 2017 年 2 月 18 日

這天全台各地 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布與 2 月 6 日十分相似，同樣受到來自大陸華北地區氣流影響，中南部各地區有明顯區域 PM<sub>2.5</sub> 傳輸現象，不過北部板橋站 PM<sub>2.5</sub> 濃度較不明顯，可能受到境外 PM<sub>2.5</sub> 影響程度較小。從圖 4.4.19 可以發現氣流路徑由竹苗外海切入並且由中部向南部傳輸。當天 PM<sub>2.5</sub> 濃度最高時期為上午至中午時段，從圖 4.4.20 各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布可以看見 4 時左右各地區由於 PM<sub>2.5</sub> 擴散部家都呈現橘色色塊，上午 6 時開始，中部及雲嘉南沿海色塊顏色加深，顯示 PM<sub>2.5</sub> 濃度增加，其中以台中龍井以及雲林麥寮最為明顯，此後的五小時色塊明顯向南移動，顯示受到環境風場影響，PM<sub>2.5</sub> 跨區傳輸，這種現象一直到下午 14 時候才減緩，PM<sub>2.5</sub> 轉往靠中央山脈都會區，如南投及嘉義，入夜後中部及雲嘉地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度逐漸降低，高屏地區則受到在地排放影響，在高屏沿岸可發現 PM<sub>2.5</sub> 濃度逐漸上升。從這些結果發現這天南部小港站 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高的主因與區域 PM<sub>2.5</sub> 傳輸以及在地污染源夜間排放有關。

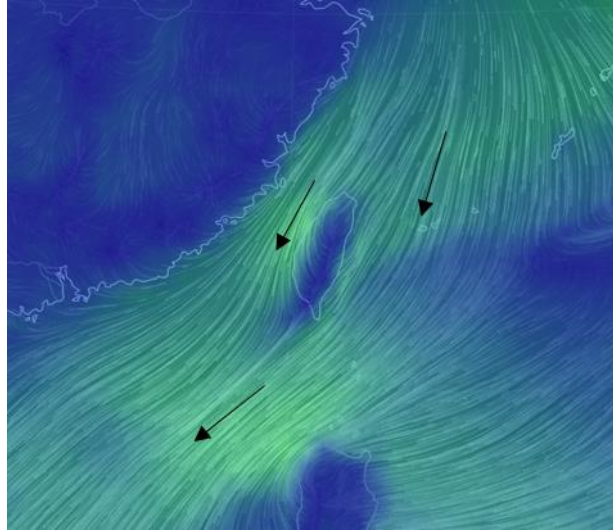
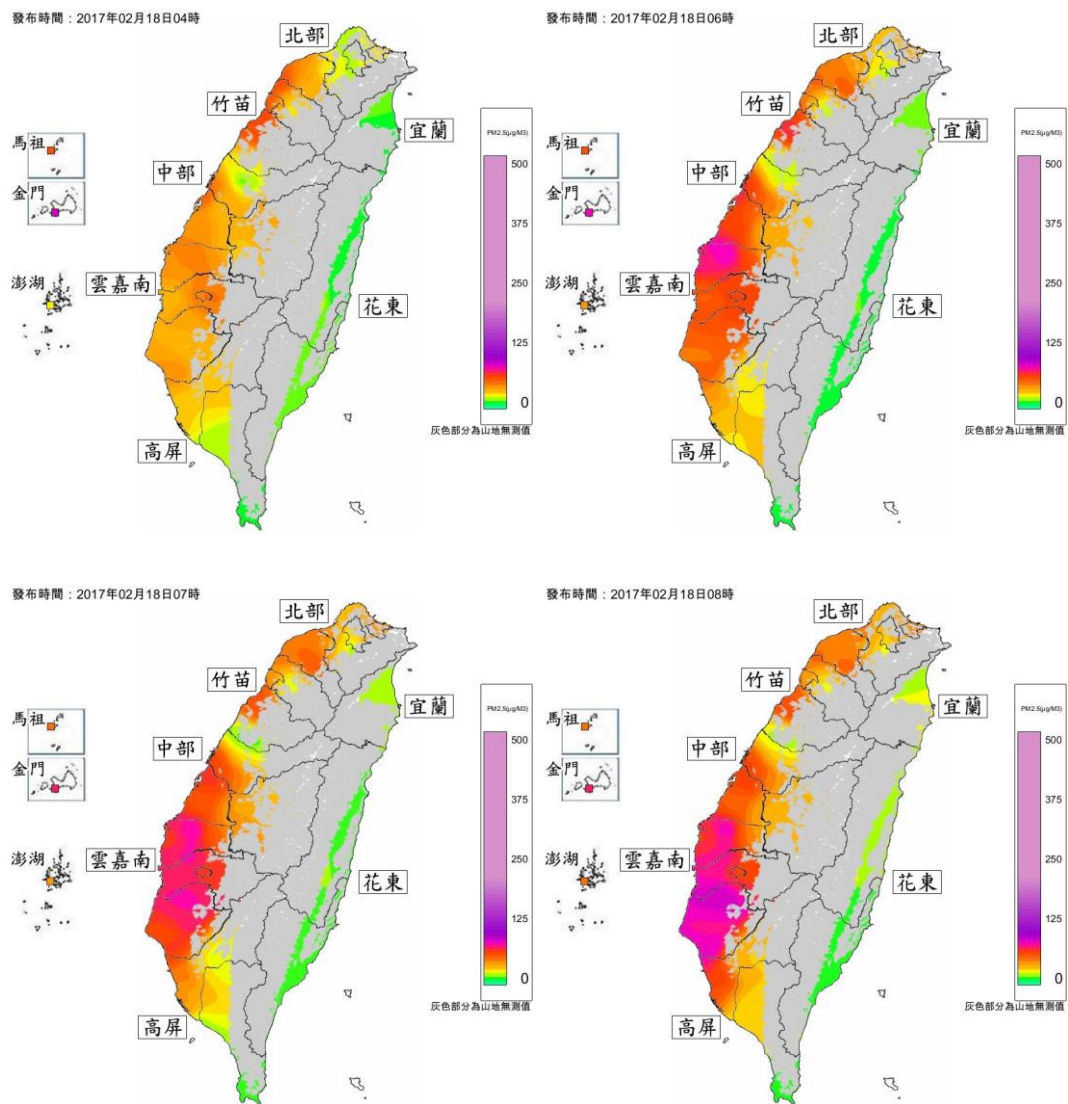


圖 4.4.19 2017 年 2 月 18 日風場模擬結果(資料來源: <https://earth.nullschool.net>)





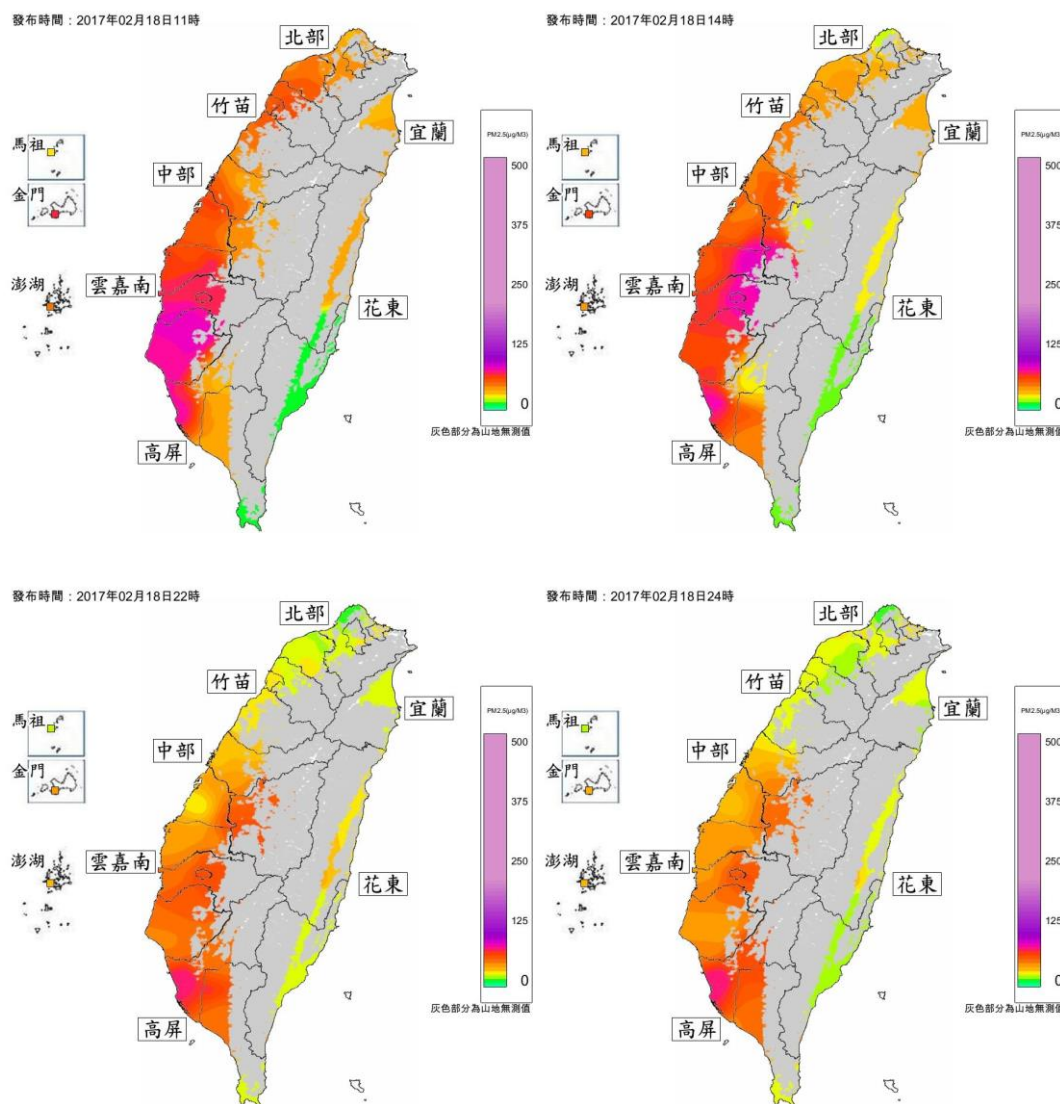


圖 4.4.20 2017 年 2 月 18 日台灣各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度分布  
(環保署 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/ContourMap.aspx>)

綜合兩類型事件比較結果可以發現：類型一大多以春季為主，類型二以冬季為主，兩者最主要的差異在於環境風場，當東北風強度較強時，PM<sub>2.5</sub> 將隨季風由北至南傳輸，並且當傳輸至南部時風速趨緩，因此區域傳輸 PM<sub>2.5</sub> 與當地排放源 PM<sub>2.5</sub> 相乘累積，使得南部監測地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯增高，另一方面，東北季風較弱時期，環境風場會呈現如下右圖 4.4.21 所示，各地區氣流流速明顯較低，雲嘉地區 PM<sub>2.5</sub> 除了在地排放還可能受跨區傳輸影響，而高屏地區 PM<sub>2.5</sub> 則主要來自在地排放源，此外風場呈現雲嘉為一區塊，高屏則為另一區塊的現

象，雲嘉地區氣流主要來自東海，高屏地區氣流則主要來自菲律賓海及太平洋地區，因此在這個時期，雲嘉地區  $PM_{2.5}$  濃度明顯高於南部監測地區。

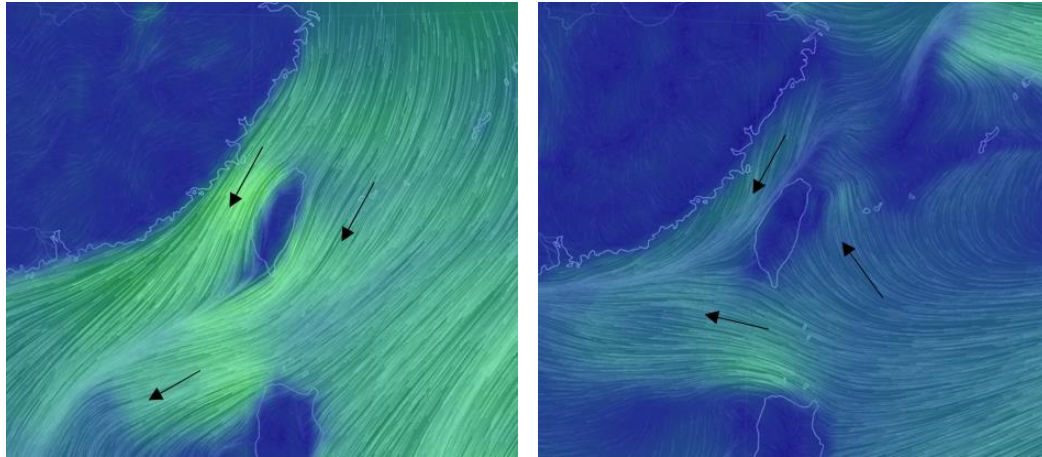


圖 4.4.21 2017 年各事件典型風場圖，事件類型一，東北風強度較強（左圖）與類型二，東北風強度較弱（右圖）

#### 4.4.7 PM<sub>2.5</sub> 高濃度和低濃度 PM<sub>2.5</sub> 化學成分占比變化

在過去兩年度計畫(李等，2015；李等，2016)彙整採樣期間 PM<sub>2.5</sub> 低濃度 (<35  $\mu\text{g m}^{-3}$ )和高濃度( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )樣本檢測的化學成分占 PM<sub>2.5</sub> 濃度比例，發現：PM<sub>2.5</sub> 高濃度群比起低濃度群，有明顯 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>增大現象，其餘化學成分占比大多為縮小或比例不變。本年度目前收集十個月樣本數據，結果如圖 4.4.22 所示，低濃度群樣本數有 266 筆，高濃度群樣本數則為 70 筆，兩濃度群 PM<sub>2.5</sub> 平均濃度分別為 17  $\mu\text{g m}^{-3}$  及 46  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，比較低濃度和高濃度群，各項化學成分占比只有 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (包含揮發 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)有明顯增大現象(11 % vs. 24%)、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>微幅增大(9% vs. 11%)、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>縮小(24% vs.18%)、OC 縮小(20% vs. 16%)、EC 微幅縮小(5% vs. 4%)，結果與過去兩年相似。圖 4.4.23 為修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度、修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度分別和修正後 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度關係，可明確看出 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度在 PM<sub>2.5</sub> 低濃度群斜率小於高濃度群，但 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度和修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度在 PM<sub>2.5</sub> 低濃度群斜率是稍大於或小於高濃度群，這表示在高 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度事件中，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度增加不是只依照 PM<sub>2.5</sub> 低濃度(< 35  $\mu\text{g m}^{-3}$ )時的占比增加，而是更擴增其濃度及其在 PM<sub>2.5</sub> 所佔比例，另一方面，只有修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與高濃度 PM<sub>2.5</sub> 在相關性有明顯提升( $r^2 = 0.61 \rightarrow 0.76$ )，除了顯示兩者具有一定關聯性外，確認高濃度 PM<sub>2.5</sub> 和硝酸根離子濃度關係更強烈，因此，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>前驅氮氧化物排放源的管制應該更加強。

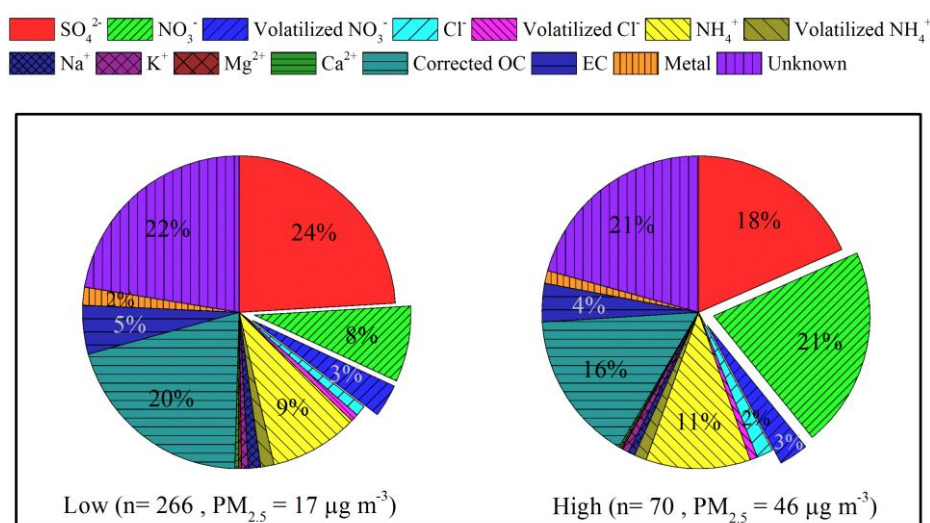


圖 4.4.22 採樣期間低濃度  $\text{PM}_{2.5}$  ( $<35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) (左圖) 和高濃度 ( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) (右圖) 樣本檢測的化學成分占  $\text{PM}_{2.5}$  濃度比例 ( $\text{NH}_4^+$  係指第一張濾紙量測的銨根離子，其餘類推；Volatilized  $\text{NH}_4^+$  係指揮發銨根離子，其餘類推)。

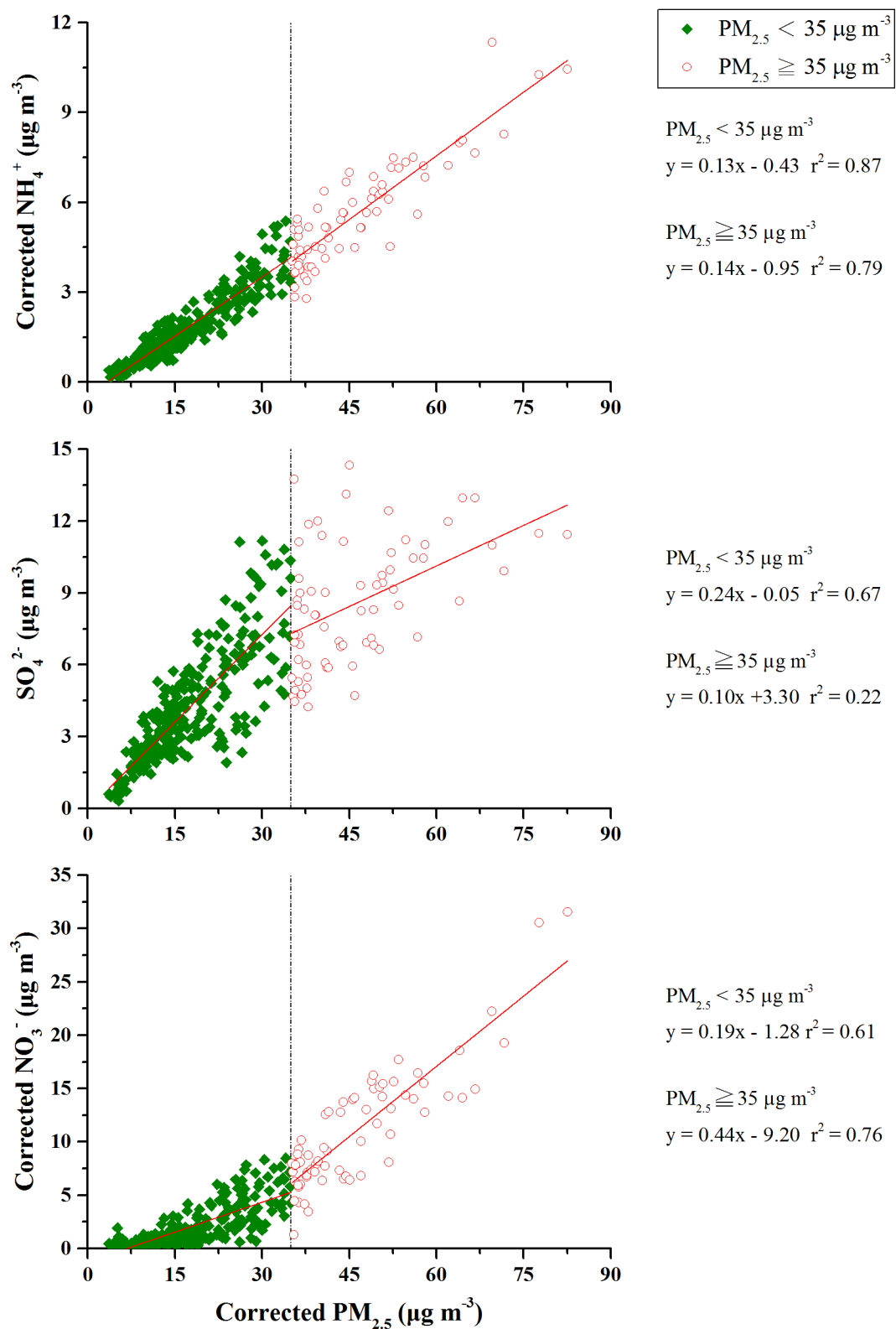




圖 4.4.23 採樣期間低濃度  $\text{PM}_{2.5}$  ( $<35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) (左圖)和高濃度 ( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ ) (右圖)樣本檢測的修正後硝酸根離子、硫酸根離子、修正後銨根離子和修正後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度相關性

將高濃度與低濃度群  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分按照採樣季節劃分後，結果如圖 4.4.24 及圖 4.4.25 所示，在低濃度時期化學成分占比由高至低為  $\text{SO}_4^{2-}$ 、修正後 OC、修正後  $\text{NO}_3^-$ ，其中夏季  $\text{NO}_3^-$  濃度明顯因為環境溫度高揮發成氣態而占比降低；高濃度群除了秋季外，最高占比物種都是  $\text{NO}_3^-$ ，另外，在同樣屬於低溫的冬季與春季，高濃度群  $\text{NO}_3^-$  占比分別提升 10% 與 13%，顯示低濃度群  $\text{NO}_3^-$  占比低，雖然是受到夏季  $\text{NO}_3^-$  揮發而占比低，但在低溫的冬季與春季，高濃度群  $\text{NO}_3^-$  占比仍然是比低濃度群  $\text{NO}_3^-$  占比高出許多，因此，高濃度群  $\text{NO}_3^-$  占比提升是很明確的。

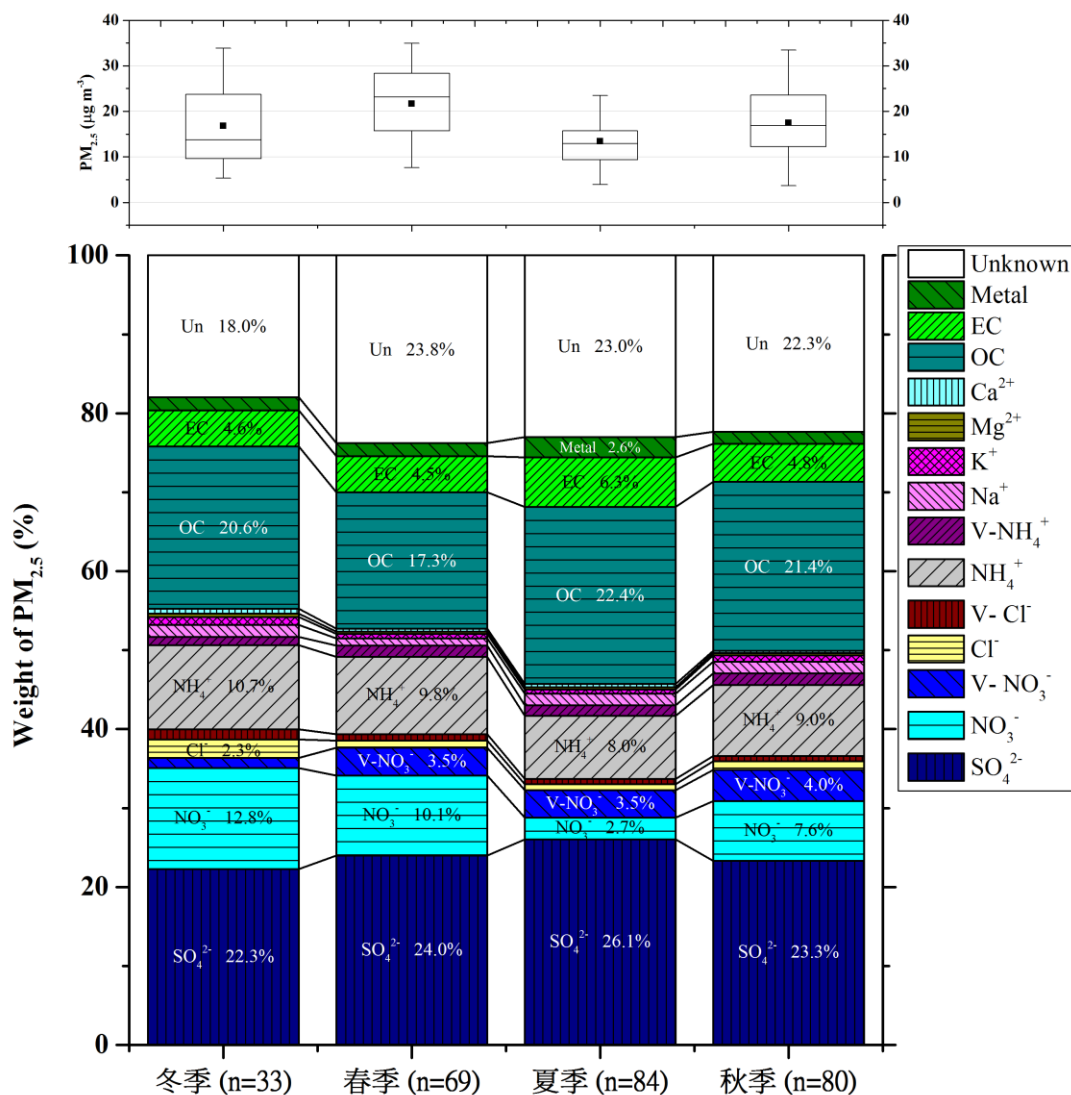


圖 4.4.24  $\text{PM}_{2.5}$  低濃度群質量濃度及季節變化與化學成分在  $\text{PM}_{2.5}$  濃度占比

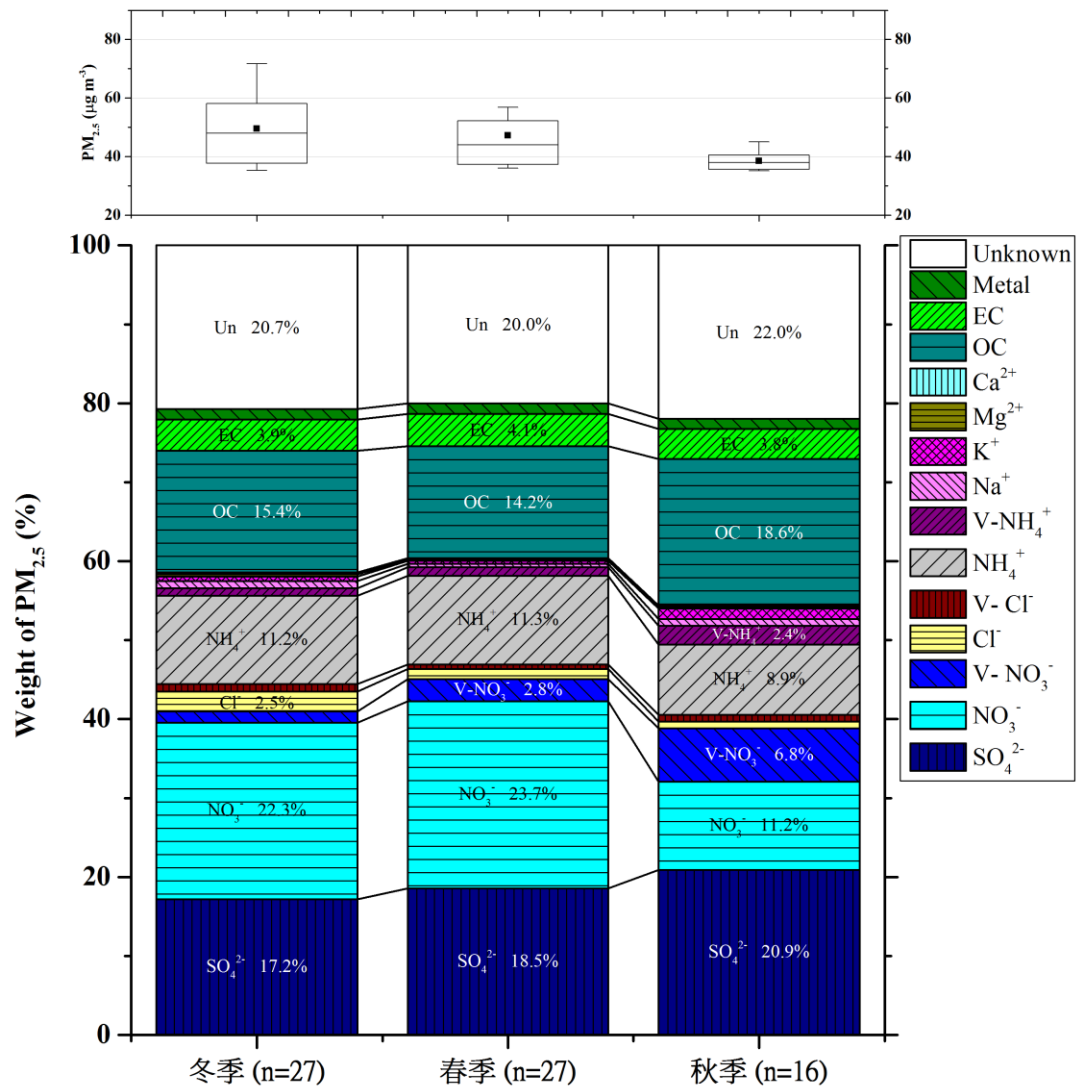


圖 4.4.25 PM<sub>2.5</sub> 高濃度時期質量濃度及季節變化與化學成分在 PM<sub>2.5</sub> 濃度占比

#### 4.4.8 樣本 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>與晨間交通尖峰時段 NO<sub>x</sub> 相關性

從前述資料可以發現高濃度群 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度占比會顯著提升，顯示管制其前驅氣體有其必要性，NO<sub>x</sub> 主要來源為交通排放源，其次為固定燃燒源，如果修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與 NO<sub>x</sub> 相關性高，代表 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>來自在地 NO<sub>x</sub> 轉化，為了推演各監測站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>來源，本計畫將每個樣本修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與非假日晨間交通尖峰時段 (7:00~9:00) NO<sub>x</sub> 小時平均濃度(這個時間段 NO<sub>x</sub> 與 CO 相關性高)進行相關性分析，得出修正後 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與 NO<sub>x</sub> 相關性及散布圖如表 4.4.13 及圖 4.4.26 所示，從表中可看出若不依照季節來看，小港地區 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與晨間交通時段的 NO<sub>x</sub> 有最高的相關性，而相關性最差的地區則在忠明站，表示忠明站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度由在地移動污染源排放轉化的貢獻較低，其餘測站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與 NO<sub>x</sub> 相關係數呈現中度相關，表示這些測站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度較有受到晨間交通排放影響。由各季節來看，則顯示各站在 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高的季節（冬季或春季），NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與 NO<sub>x</sub> 相關係數普遍高於其他季節，如：板橋站冬季與春季都呈現中度相關，忠明站在冬季相關係數高達 0.86，斗六站則與板橋站相似，冬季與春季都呈現中度相關，嘉義站則是在春季有較高的相關係數，小港站在春季同樣有相當高的相關性，比較特別的是花蓮站，花蓮站在春季與夏季都出現相當高的相關性，夏季相關係數更高達 0.91，將此結果對照前節事件成因分類，可發現板橋由於受到上風污染傳輸或境外傳輸影響，因此 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與 NO<sub>x</sub> 相關係數較低；忠明站在冬季事件大多為擴散不佳導致高濃度的本地移動污染源排放影響；斗六站與板橋相似，兩個季節的高濃度成因大多受到本地與區域污染傳輸共同影響；嘉義站則在春季本地污染事件發生次數較多；南部小港站在冬季較強的東北季風影響下，較常受到來自雲嘉南空品區的污染物傳輸影響，春季時大多為本地污染排放，因此春季 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度與 NO<sub>x</sub> 有較高的相關係數；東部花蓮站在春季與冬季時的情況大致與嘉義及小港站相似，但夏季花蓮站出現較高的相關性，似乎顯示晨間交通排放影響相當明顯外，但也有可能是花蓮 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>產生機制與西部監測地區相異？

因為從其他測站在夏季與秋季等環境溫度較高的季節中， $\text{NO}_3^-$ 大多揮發為硝酸氣，導致相關性相當低甚至負相關。

表 4.4.13 各測站修正後  $\text{NO}_3^-$  濃度與晨間(7:00~9:00) $\text{NO}_x$  濃度相關性(R)

	整年 (n=38)	冬 (n=7)	春 (n=11)	夏 (n=12)	秋 (n=8)
板橋	0.52 (0.000)	0.57 (0.001)	0.60 (0.000)	0.40 (0.000)	-0.35 (0.001)
忠明	0.38 (0.000)	0.86 (0.002)	0.33 (0.000)	-0.01 (0.000)	-0.16 (0.000)
斗六	0.52 (0.000)	0.67 (0.005)	0.65 (0.004)	-0.46 (0.000)	0.14 (0.000)
嘉義	0.64 (0.000)	0.30 (0.004)	0.66 (0.001)	0.31 (0.000)	0.07 (0.000)
小港	0.80 (0.000)	0.44 (0.000)	0.87 (0.000)	0.31 (0.000)	-0.26 (0.000)
花蓮	0.42 (0.000)	0.10 (0.002)	0.73 (0.000)	0.91 (0.000)	-0.39 (0.003)

\*註:括號中數值為迴歸式顯著性 P 值

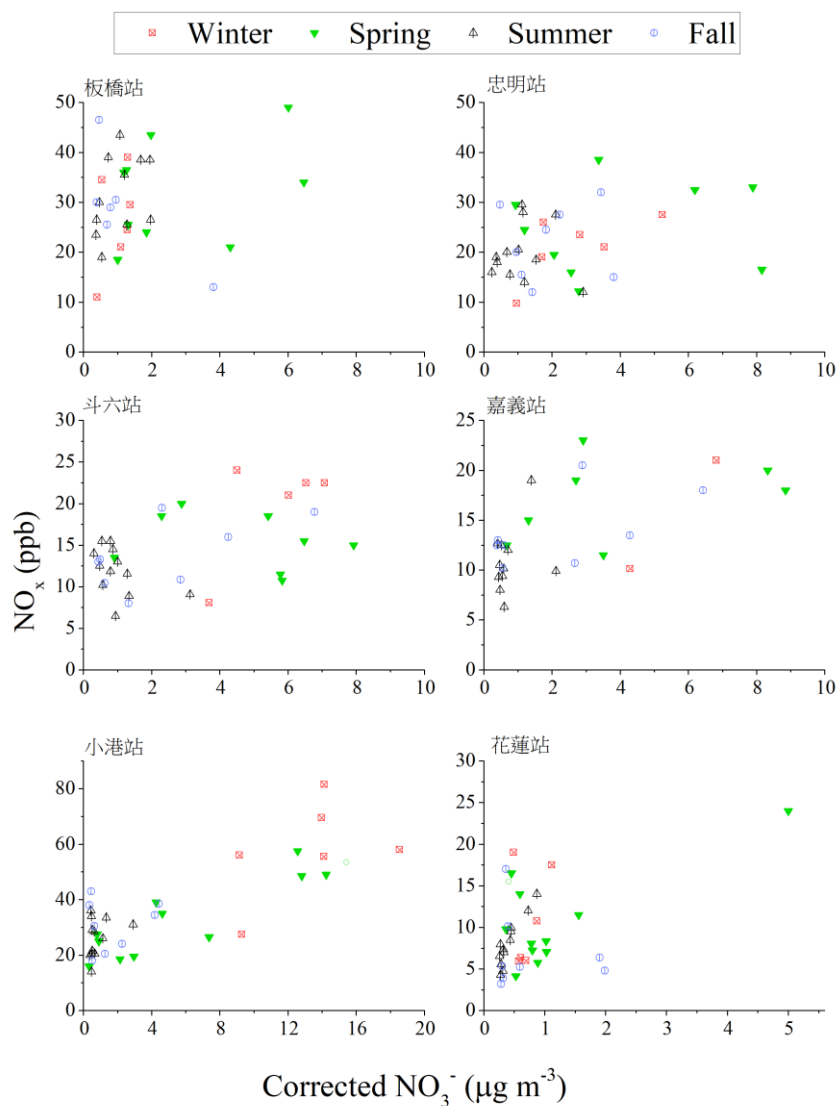


圖 4.4.26 各站  $\text{PM}_{2.5}$  修正後  $\text{NO}_3^-$  濃度與上班日晨間(7:00~9:00)  $\text{NO}_x$  小時平均濃度相關性

## 4.5 各監測地區污染來源與影響能見度的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及氣象因子

### 4.5.1 PMF 受體模式推估結果

本計畫利用 PMF 受體模式推估北部(板橋)、中部(忠明)、雲嘉(斗六、嘉義)、高屏(小港)共六個空品區可能污染來源(因子)，六個測站都推估出五個因子，每個因子都以 PM<sub>2.5</sub> 化學成分占比最高成分(指標成分)主要污染來源作為命名依據，由於環境中污染源繁多，每項因子除了主要指標成分來源外，還包含其他次要成分來源，本次報告中各測站樣本數，除了嘉義站 1 月 19 日因儀器故障損失離子成分樣本，只有 55 筆樣本外，其餘各監測站都有 56 筆樣本。

因子數選取是根據受體模式實際臨界參數  $Q_{true}$  與預期臨界參數  $Q_{exp}$  ( $Q_{exp} = \text{樣本數} \times \text{成分數} - \{(\text{樣本數} \times \text{因子數}) + (\text{成分數} \times \text{因子數})\}$ ) 間的比值作為選取依據，當兩者比值變化幅度越小，所對應的因子數或其前、後即為可能的因子數。當選取因子後還需透過 PMF 5.0 版所提供的檢測方法，評估模式可能出現的隨機誤差與轉軸模糊現象是否在 PMF 使用手冊所規定的合理範圍內 (亦即，Bootstrap 檢測結果，經重複取樣後，因子間相關性大於 0.6 者超過取樣次數的 80%；DIPS 限制 Q 值變化區間內，未曾發生過因子換位現象)，誤差分析結果皆於附錄中，各測站推估污染源結果敘述如下：

#### 1.板橋站 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

##### (1) 因子數選取

板橋站因子數評估結果與模式實際臨界參數  $Q_{true}$  與預期臨界參數  $Q_{exp}$  比值如圖 4.5.1 所示，從結果中可以看見，當因子數由 4 至 5 時，臨界參數比值出現明顯驟降趨勢，顯示可能因子數為 5 或 5 以後，透過模式誤差檢測(見附錄)最後選擇 5 個因子，由圖 4.5.2 可看見使用 5 個因子所預測的質量濃度與實際採樣所觀測的質量濃度間有良好的相關性， $R^2$  達 0.95 顯示模式預測結果相當良好。

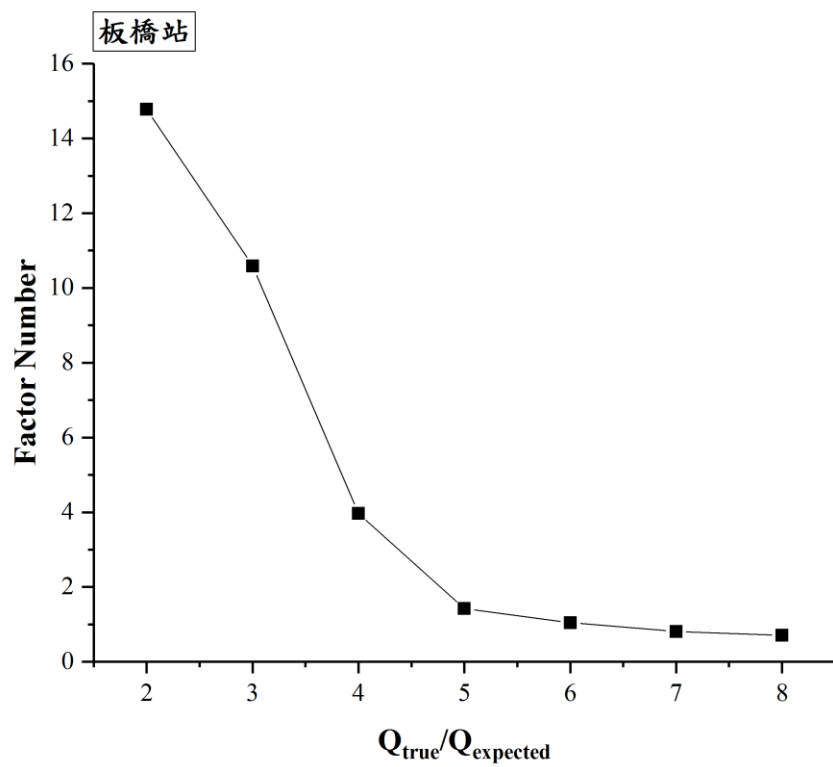


圖 4.5.1 板橋站 PMF 解析因子數與  $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$  值關係

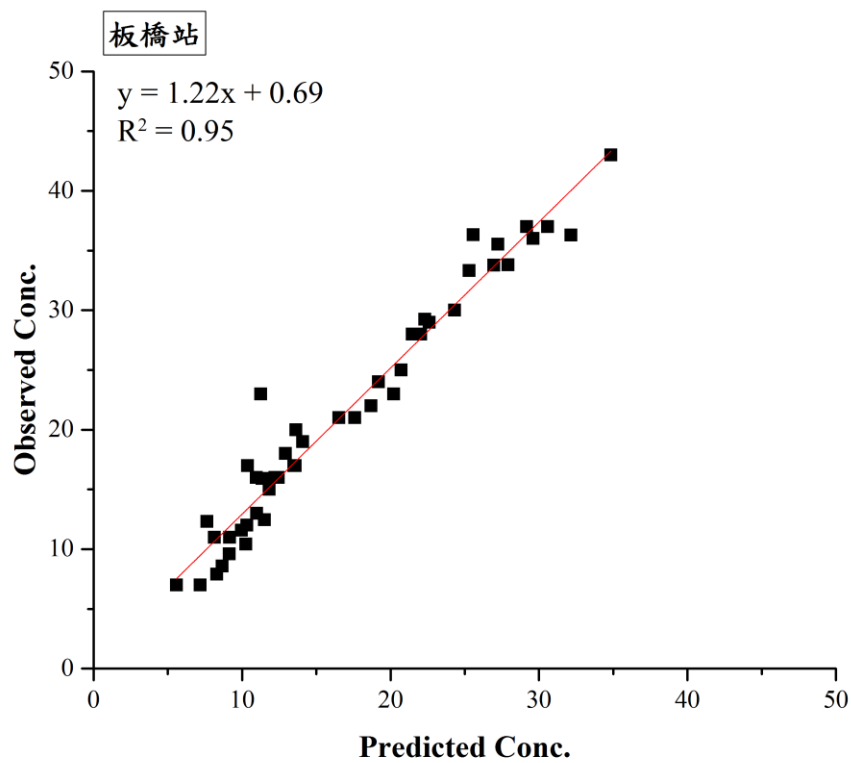


圖 4.5.2 板橋站 PM<sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46)

## (2) 因子剖面

圖 4.5.3 顯示因子一(F1)中高占比物種為  $\text{SO}_4^{2-}$  (79%)、 $\text{NH}_4^+$  (62%)、As (65%)、Se (73%)，前兩項物種顯示物種為硫酸銨，高占比指標元素顯示受燃煤燃燒影響，另外，燃油燃燒指標元素 V (33%) 同樣有不低占比，顯示此因子主要來自工業鍋爐及其污染衍生物，因此命名為「二次硫酸鹽與燃煤鍋爐」。因子二(F2)高占比物種為  $\text{NO}_3^-$  (71%)、 $\text{NH}_4^+$  (33%)、Cl<sup>-</sup> (28%)，顯示物種為硝酸銨以及氯胺等具有半揮發特性的衍生污染物，因此命名為「二次硝酸鹽」。因子三(F3)有高占比的 OC (49%)及 EC (50%)，主要來自一次或二次燃燒源，由於因子中並無屬於工業排放的  $\text{SO}_4^{2-}$ ，推測主要燃燒行為主要為交通排放，此外，因子中有不低的 Al (29%)、Fe (40%)、Mn (45%)等塵土元素，可能受到揚塵的影響，由於其他指標元素皆與揚塵指標元素有較好相關性(皆出現於同一因子中)，因此這些指標元素主要來自塵土而非人為，故名命名因子三為「交通排放與揚塵」。因子四(F4)因子組成較為單純，主要物種為高占比的  $\text{Na}^+$  (46%)與 Cl<sup>-</sup> (59%)，顯示物種為氯化鈉，故命名為「海鹽」。因子五(F5)主要物種僅有  $\text{K}^+$ ， $\text{K}^+$ 為常見的生質燃燒指標物種，由於此處並無 Cl<sup>-</sup>無貢獻占比，僅有  $\text{NO}_3^-$ 占比為 15%，顯示此處結合型態為硝酸鉀，屬於老化氣膠，因此命名「生質燃燒」，另一方面，文獻中指出 K 除了生質燃燒外也有可能受到為垃圾焚化廠影響(Christian et al., 2010)，值得注意的是此處  $\text{K}^+$ 與其他指標金屬元素如 Sr (15%)，也可能是煙火指標成分(Chang et al., 2011; Vecchi et al., 2008)。



### (3) 因子季節變化趨勢與可能污染源位置

圖 4.5.4 為板橋站五個因子時間變化趨勢，表 4.5.1 為年度與季節占比，從各因子變化趨勢顯示，因子一「二次硫酸鹽與燃煤鍋爐」為整年占比最高因子，占比達 41%，顯示工業鍋爐所造成的衍生污染物對於環境空氣品質影響最大，並且因子一除了春季外，為其餘三季節貢獻最高因子，顯示地區中仍有許多鍋爐類潛在污染源，若加以管制，可有效降低北部污染物濃度，值得注意的是這類因子構成物種並無半揮發物種，因子受到環境溫度影響較少，故夏季時仍有相當高占比，與交通排放源同為夏季高貢獻污染源；因子二「二次硝酸鹽」為板橋地區占比次高因子，主要來源可能為交通或固定污染源衍生污染物，特別在環境溫度較低的冬季與春季有較高占比，特別在這兩個季節污染事件時(1 月 7 日、3 月 20 日、4 月 25 日)可發現因子二有相當高占比，雖然占比可能受模式推估中誤差影響有所高估，但這幾日皆為本地污染型態，顯示擴散不佳時期，若能有效控制前驅氣體排放源，則可大幅降低污染事件發生頻率；因子三「交通排放與揚塵」屬於板橋站整年占比第三高污染源，年占比 21%，因子特別在夏季低污染時期有最高貢獻占比，顯示低污染時期，板橋站除了本地鍋爐外，交通排放源的影響同樣需要注意；因子四「海鹽」，由於台灣屬於海島型國家，季風吹拂時期特別容易受到海鹽影響，不過影響比例較不明顯，從占比較高的季節顯示，東北風時期似乎來自海鹽的影響較高；因子五「生質燃燒」，整年貢獻占比為 5%，四季變化不明顯，四季貢獻占比為 4~7%，由於北部地區較少受到燃燒農廢影響，此處生質燃燒貢獻度可能受到周遭焚化爐廢氣排放影響。

圖 4.5.5 為板橋站條件機率函數推估結果，因子一「二次硫酸鹽與燃煤鍋爐」主要來自板橋測站四周，皆有 20%機會受到影響，這顯示是台灣的工業區分布，皆位於都會區外圍，才會出現此種來向分布；因子二「二次硝酸鹽」為頻率最高來向為南方，此外，吹北風時也有約 28%機率帶來因子二的影響，測站北部除了幹道外也有三個工業區，而受到風高頻率的影響也顯示出 CPF 推估衍生污染物來向的問題，由於衍生污染物出現時期大多於風速較低環境擴散條件不佳時，因

此較難以 CPF 結果作準確推斷，加上台灣地形複雜，因此容易有誤判的可能，此處高頻率南風主要原因還受到南風在採樣期間發生頻率較低，因此容易有高估的現象；因子三「交通排放與揚塵」主要來向為測站北部及西南方，測站北方屬於交通較繁忙路段西南方則為樹林工業區，可能受到通勤車輛排放影響；因子四「海鹽」，主要來向為測站東東北方，將近 30%的頻率帶來海鹽的影響，從前述資料也顯示，東北風時期海鹽貢獻比例明顯較高；因子五「生質燃燒」，主要來向為測站北方，約有 37%機率受到因子五影響，此外風向來自東東北方時同樣有約 30%機會受到影響，這些除工業區外，洽有焚化設施，顯示此污染因子潛在來源可能為都會區外圍焚化爐所貢獻。

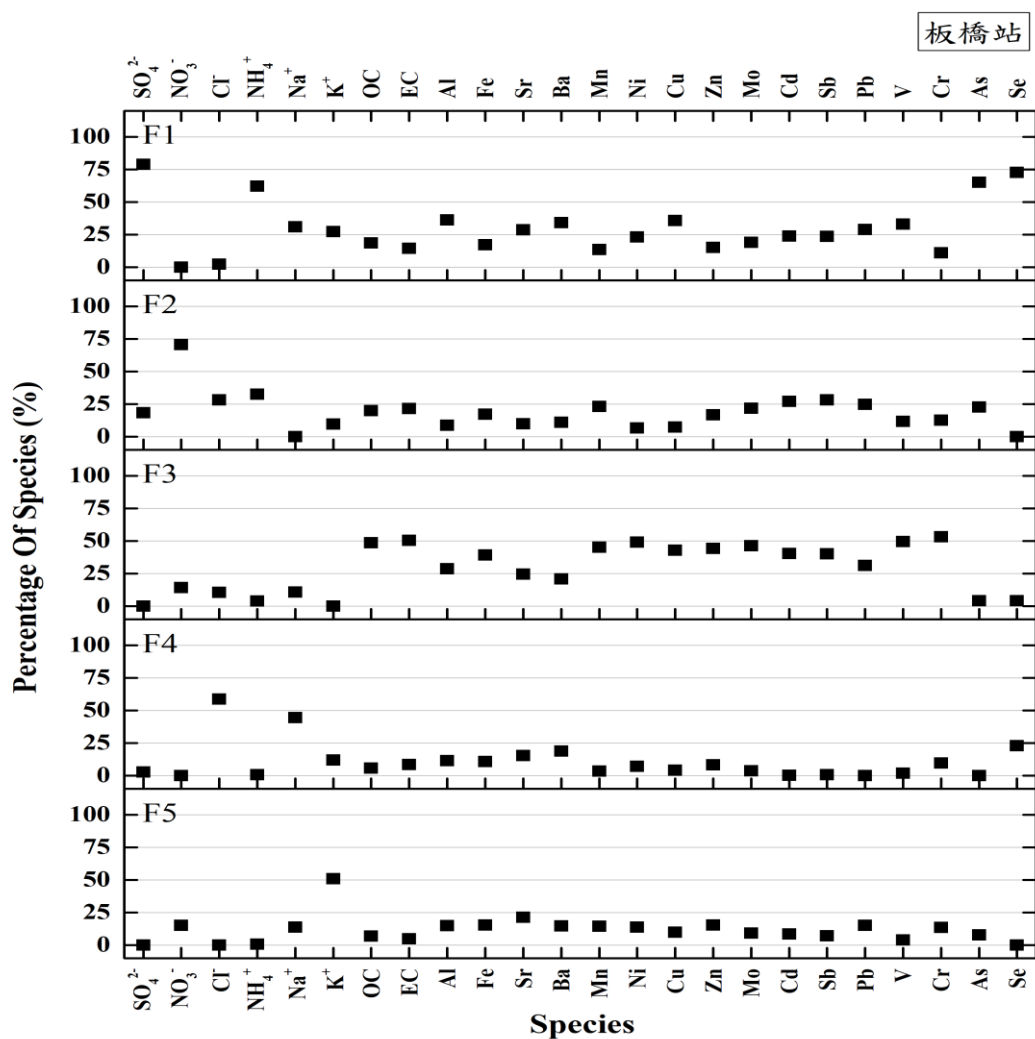


圖 4.5.3 板橋站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面

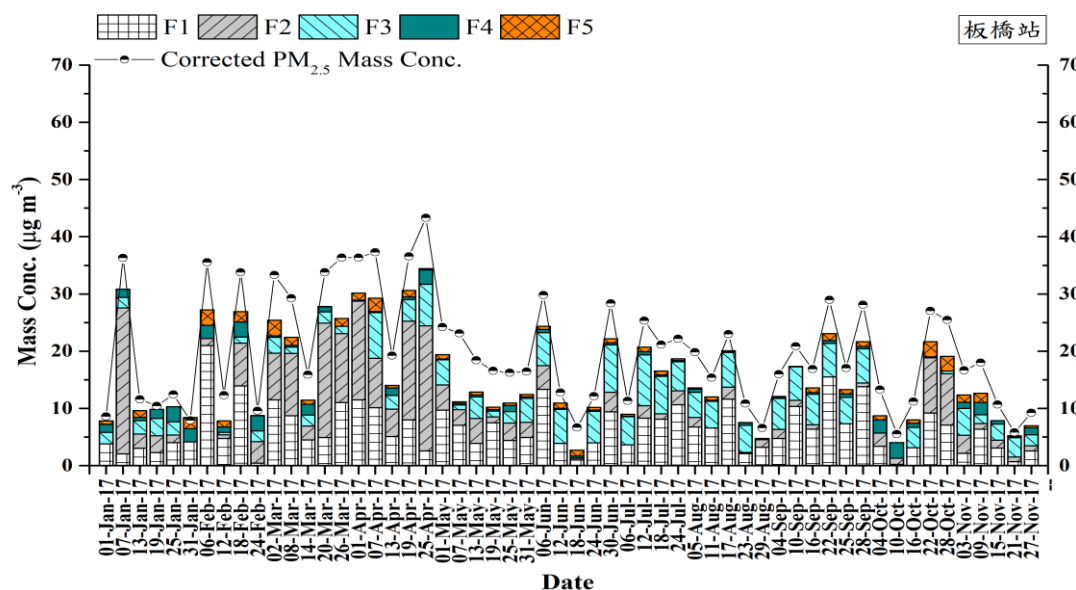


圖 4.5.4 板橋站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢

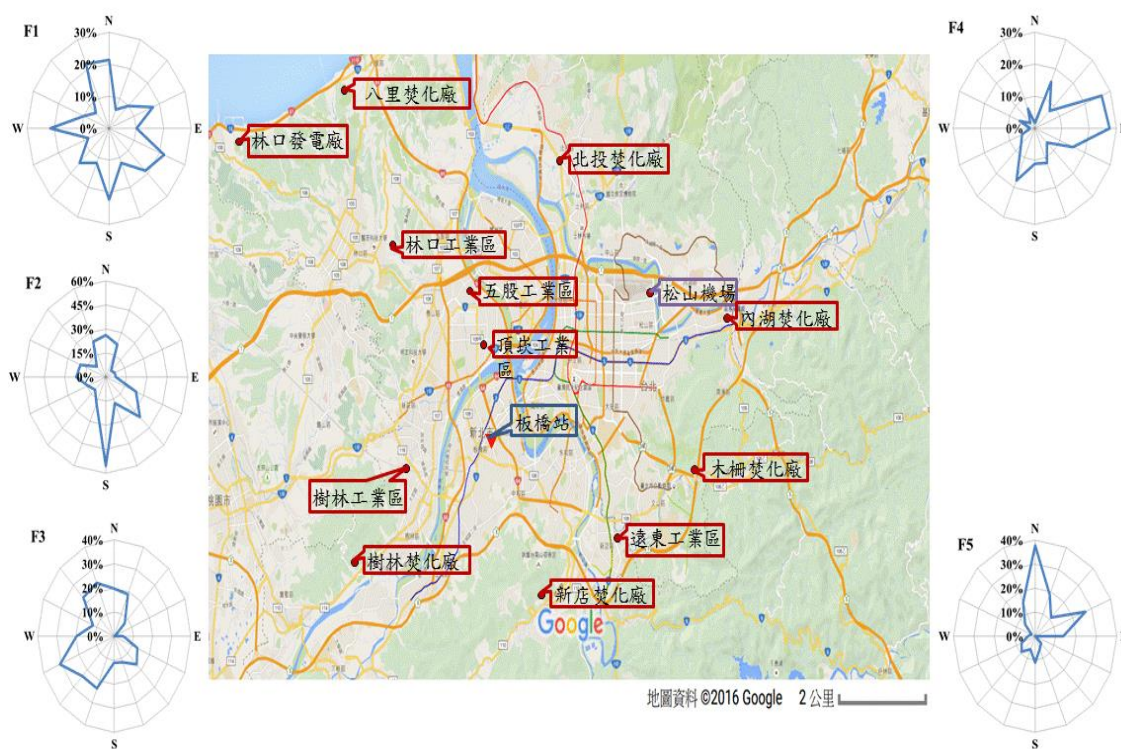


圖 4.5.5 板橋站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源

表 4.5.1 板橋站 PMF 推估因子整年與季節貢獻占比

季節	F1 二次硫酸鹽 燃煤鍋爐	F2 二次硝酸鹽	F3 交通排放 揚塵	F4 海鹽	F5 生質燃燒
整年	41%	27%	21%	5%	5%
冬季	40%	31%	10%	13%	6%
春季	35%	43%	14%	3%	4%
夏季	48%	10%	37%	2%	4%
秋季	46%	16%	25%	6%	7%

## 2. 忠明站 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

### (1) 因子數選取

忠明站 PMF 因子數與模式實際臨界參數  $Q_{\text{true}}$  與預期臨界參數  $Q_{\text{exp}}$  比值如圖 4.5.6 所示，從結果中可以看出，當因子數由 4 增加至 5 時，臨界參數比值出現明顯驟降趨勢，並在 5 以後趨於平緩，顯示可能因子數為 5 或以上，透過模式誤差檢測(見附錄)最後選擇 5 個因子，由圖 4.5.7 可看見使用 5 個因子所預測的質量濃度與實際採樣所觀測的質量濃度間有良好的相關性， $R^2$  達 0.96 顯示模式預測結果相當良好。

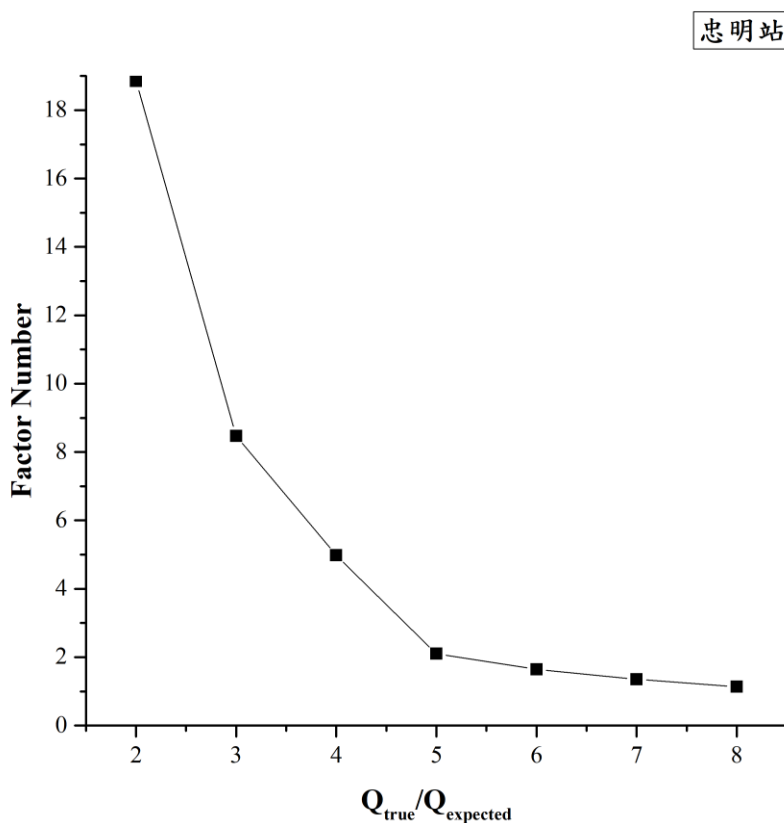


圖 4.5.6 忠明測站 PMF 解析因子數與  $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$  值關係

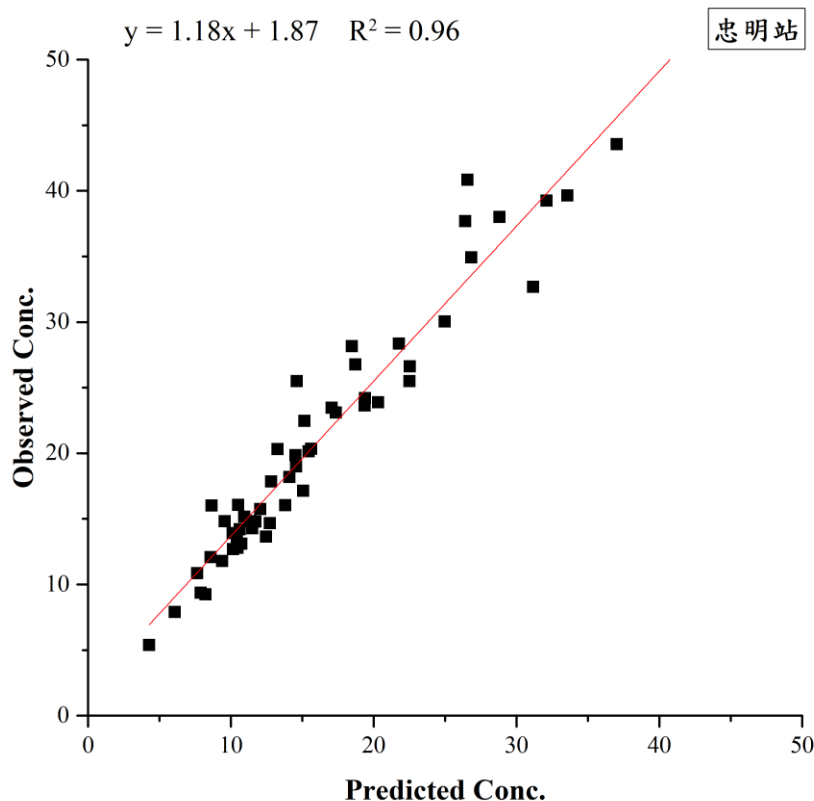


圖 4.5.7 忠明測站 PM<sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46)

## (2) 因子剖面

圖 4.5.8 顯示因子一(F1)高占比物種有  $\text{SO}_4^{2-}$  (29%)、 $\text{NO}_3^-$  (72%)、 $\text{NH}_4^+$  (43%)、 $\text{Cl}^-$  (18%)，這些物種皆有相當高的貢獻比例，並且明顯高於其他指標元素，從物種結合型態推測，此處為硫酸銨、硝酸銨、氯銨等衍生污染物，顯示不只受到二次硝酸鹽的影響，因此命名為「二次硝酸鹽」；因子二(F2)占比較高物種為  $\text{Na}^+$  (52%)、 $\text{K}^+$  (25%)及  $\text{Al}$  (20%)，由於此處並無  $\text{Cl}^-$ ，顯示並非受到海鹽影響，主要物種除了老化生質燃燒氣膠外，還可能受到揚塵影響，因此命名為「生質燃燒」；因子三(F3)高占比物種為  $\text{SO}_4^{2-}$  (70%)、 $\text{NH}_4^+$  (49%)，其他如生質燃燒指標物種  $\text{K}^+$ 、揚塵指標元素  $\text{Al}$ 、燃煤指標元素  $\text{Se}$ ，皆有不低占比，顯示此處硫酸鹽可能來自區域燃料鍋爐所貢獻，因此命名為「二次硫酸鹽」；因子四(F4)高占比物種為  $\text{OC}$  (49%)、 $\text{EC}$  (52%)，顯示受到交通排放影響，此外揚塵指標元素  $\text{Al}$  (45%)、 $\text{Fe}$  (75%)，具有相當高占比，其餘指標元素則可能同樣受到揚塵影響及輪胎或剎車磨損而產

生，因此有較高占比，故命名為「交通排放與揚塵」；因子五(F5)高占比因子只有  $\text{Cl}^-$  (69%)，由於因子有微量  $\text{Na}^+$ ，顯示可能受到海鹽的影響，其餘也包含工業或垃圾焚化指標元素如 As、Pb、Sb，顯示除了海鹽的影響外，也可能受到垃圾焚化廢氣影響，因此命名為「垃圾焚化與海鹽」。

### (3) 因子季節變化趨勢與可能污染源位置

圖 4.5.9 及表 4.5.2 為各推估因子每日占比變化及年度與季節占比變化，結果顯示因子一「二次硝酸鹽」整年占比為 33%，為五個因子中第二高占比因子，在冬季與春季皆有最高占比，夏季受到溫度影響明顯降低，秋季又逐漸上升，由於因子中主要物種以具有半揮發特性的硝酸銨為主，因此受到溫度影響特別明顯，從逐日變化可發現，占貢獻量的日期為 1 月 7 日、4 月 13 日、4 月 25 日，這幾日皆判定為在地污染事件，顯示擴散條件不好時，受到二次氣膠影響相當顯著；因子二「生質燃燒」，因子整年占比 7%，各季節變動不明顯，不過春季占比最低，似乎與盛行風向變化有關，逐日變化則顯示 2 月 18 日這天最高占比，前節污染事件成因推估顯示，這天主要受到區域與本地排放影響屬，推測因子二可能由測站上風處皆由東北風傳輸而來；因子三「二次硫酸鹽」，年占比最高因子，占比為 34%，由冬季至秋季占比變化為 26%、29%、48%、42%，為夏秋季最主要污染因子，這段期間主要污染源皆來自本地，顯示背景時期本地的二次硫酸鹽對於忠明地區空氣品質影響甚多；因子四「交通排放與揚塵」年占比第三高因子，在濃度相對較低的夏季有次高的占比，各季節變化約為 13%~29%，變化幅度與二次硫酸鹽相似，都變化不大，顯示各季節都有穩定影響，因此交通及工業鍋爐的排放仍為首要管制目標；因子五「垃圾焚化與海鹽」為忠明站年占比最低因子，最高占比於冬季達 12%，推測受到揮發特性所影響，另外忠明站不論冬夏，皆容易受到海鹽影響，此處占比差異較為明顯，除了揮發特性外，此處氯離子也可能來自工業或焚化廢氣。

表 4.5.2 為條件機率函數(CPF)推估結果，因子一「二次硝酸鹽」主要來向為忠明站西北及東偏東東南方，風向來自這兩方位時，有 20%以上的頻率夾帶二次氣膠，由於忠明站西北方設有多處工業區與大型工業，因此位於下風處的忠明站可能受到影響，另外，來自東方的衍生污染物則可能受到東風分母較少所出現的高估，或者春季東北季風轉弱時期，中央山脈背風側可能堆積較多污染物，此時將藉由微弱的東風影響至監測地區；因子二「生質燃燒」，當吹拂北北東風時有較高頻率(40%)影響忠明站，似乎驗證前述推論，此污染因子可能主要來自冬季東北風較強時，藉由傳輸，將上風污染傳輸至監測地區；因子三「二次硫酸鹽」，主要來向為測站西北(27%)及東北(25%)，並可發現來自西偏北的方位時頻率普遍較高，這顯示忠明站容易受到西北方各類工業鍋爐排放影響；因子四「交通排放與揚塵」，CPF 推估結果顯示幾乎來自東東南至北北東方約有 20%的機率帶來此污染，對照地圖可發現，忠明站東側為台中市區，由於市區交通流量較大，因此帶來影響的頻率較高；因子五「垃圾焚化與海鹽」，推估結果顯示當風象為東風時影響頻率高達 50%，但僅限於東風，因此受到推估時低分母數值影響可能相當高，這可能為推估所造成的高估，若不考量東風影響，圖譜顯示風象為西北風時影響頻率則為最高，代表此因子卻時除了海鹽外，可能受到各類工業排放污染物所影響。



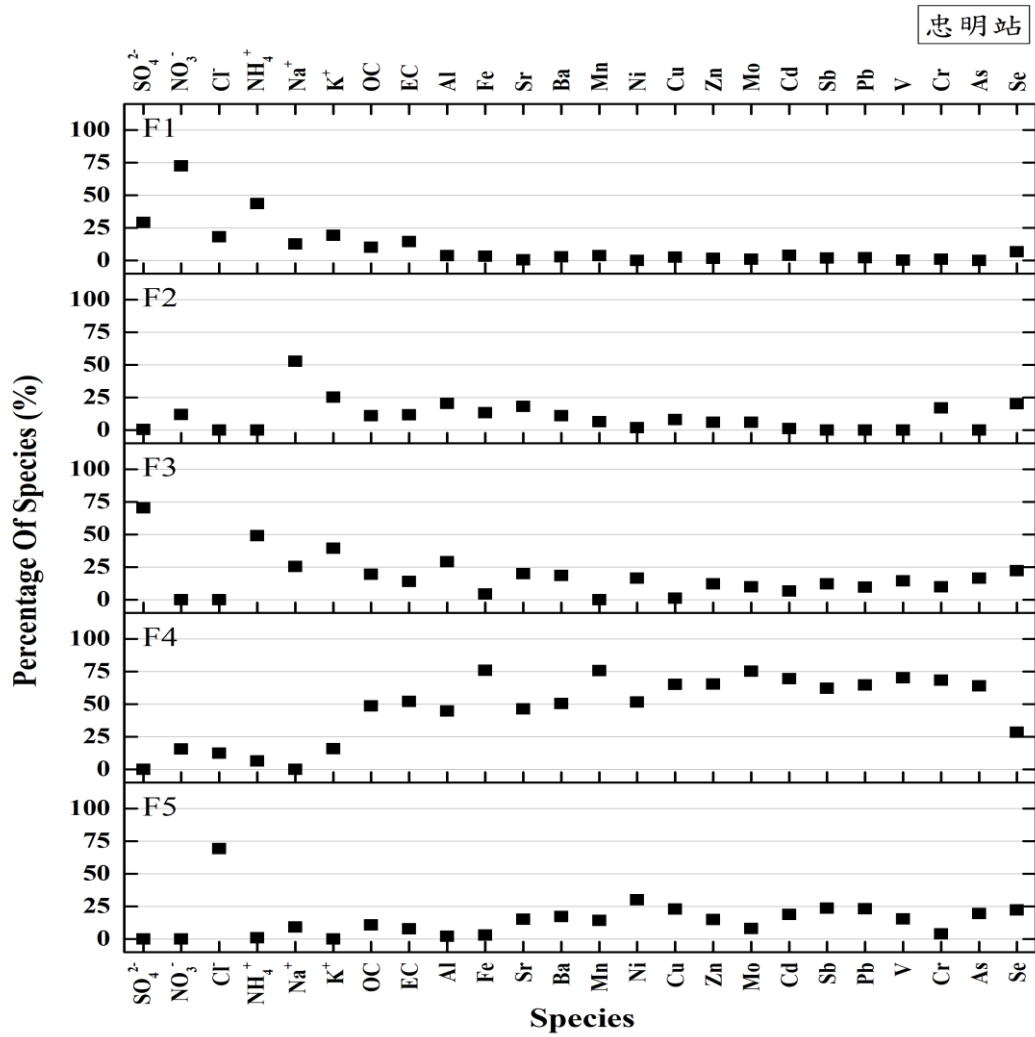


圖 4.5.8 忠明站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面

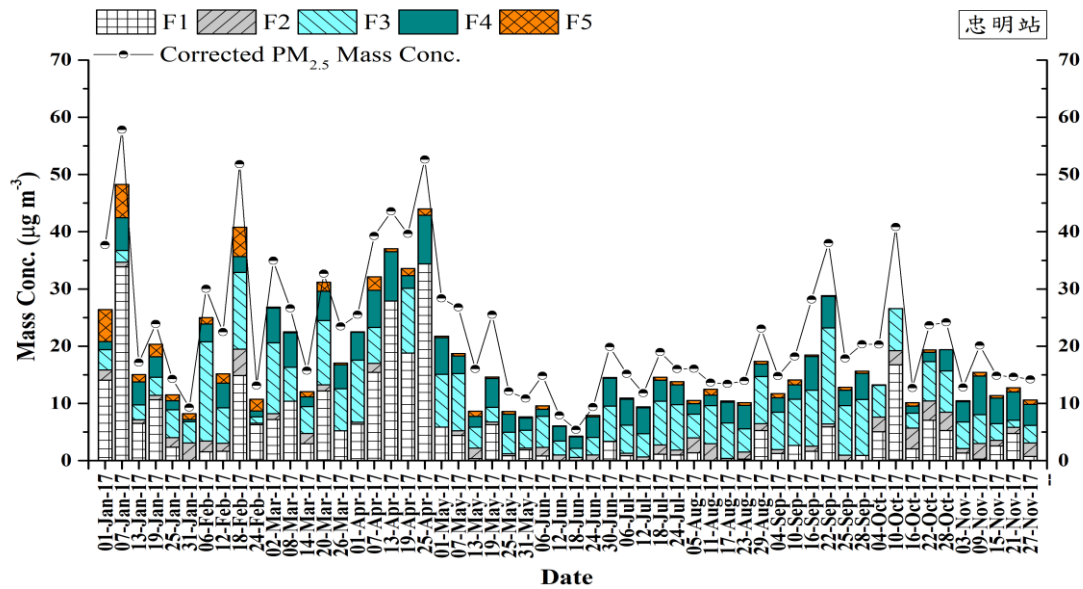


圖 4.5.9 忠明站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢

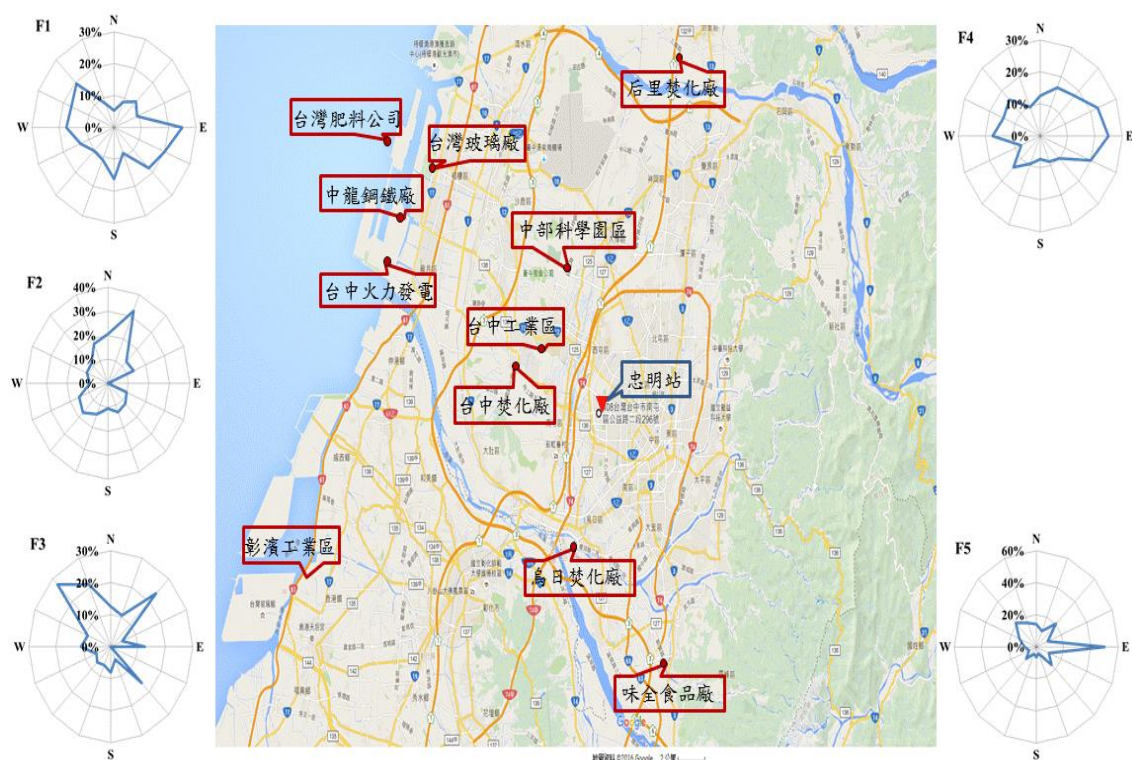


圖 4.5.10 忠明站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源

表 4.5.2 忠明站 PMF 推估因子整年與季節貢獻占比

季節	F1 二次硝酸鹽	F2 生質燃燒	F3 二次硫酸鹽	F4 交通排放 揚塵	F5 垃圾焚化 海鹽
整年	33%	7%	34%	20%	5%
冬季	41%	8%	26%	13%	12%
春季	45%	3%	29%	21%	3%
夏季	10%	10%	48%	29%	3%
秋季	23%	10%	42%	21%	3%

### 3.斗六站 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

#### (1) 因子數選取

斗六站因子數評估結果與模式實際臨界參數  $Q_{\text{true}}$  與預期臨界參數  $Q_{\text{exp}}$  比值如圖 4.5.11 所示，從結果中可以看出，當因子數由 4 至 5 時，臨界參數比值出現明顯驟降趨勢，顯示可能因子數為 5 或 5 以後，透過模式誤差檢測(見附錄)最後選擇 5 個因子，由圖 4.5.12 可看見使用 5 個因子所預測的質量濃度與實際採樣所觀測的質量濃度間有良好的相關性， $R^2$  達 0.98 顯示模式預測結果相當良好。

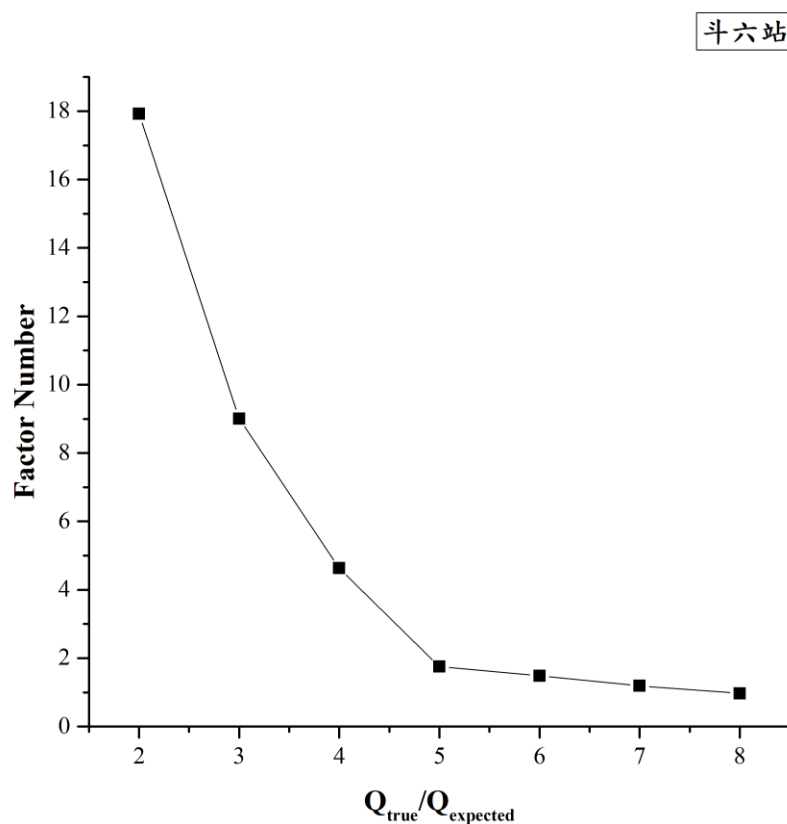


圖 4.5.11 斗六測站 PMF 解析因子數與  $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$  值關係

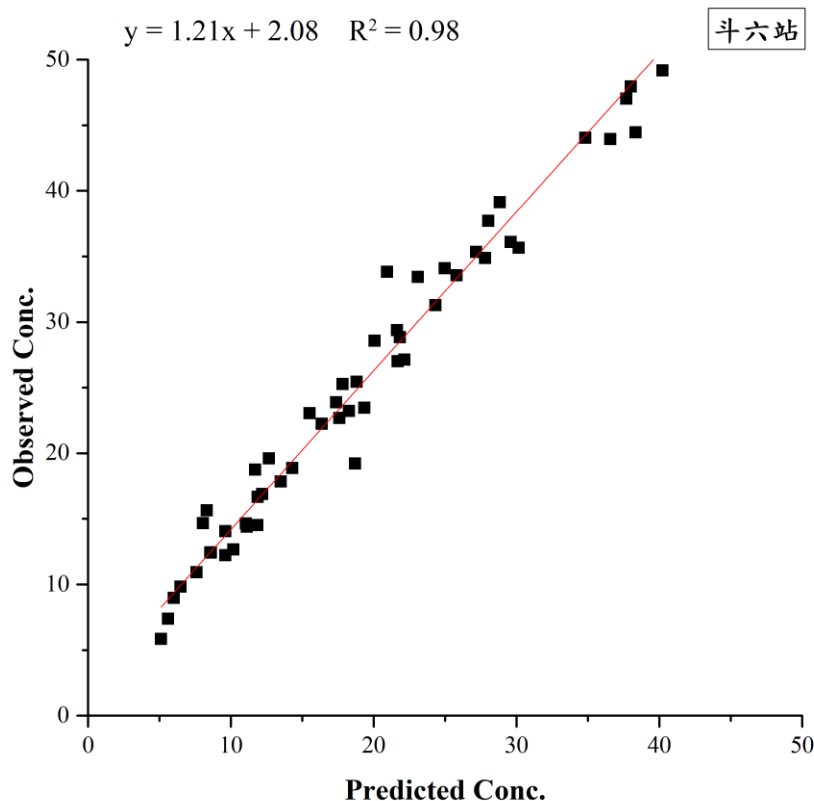


圖 4.5.12 斗六測站 PM<sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46)

## (2) 因子剖面

圖 4.5.13 斗六站因子一(F1)高占比物種為  $\text{SO}_4^{2-}$  (28%)、 $\text{NO}_3^-$  (67%)、 $\text{NH}_4^+$  (48%)，從高占比離子成分推測結合型態為硫酸銨與硝酸銨等衍生污染物，另外也有不低的  $\text{Cl}^-$ ，除此之外，因子中 Al、Fe 貢獻占筆相當低，但存在其他工業指標元素如 Mn、Cu、Cd、Sb 等，EC 也具有 24% 占比，顯示此處為工業及交通衍生污染物，由於硝酸鹽占比相當高，因此命名為「二次硝酸鹽」；因子二(F2)主要物種為 Al (72%)、Fe (79%)、Mn (71%)，由於塵土元素占比相當高，其餘指標元素皆可能來自塵土影響，此外因子中 OC (45%)、EC (34%)，顯示可能受到交通排放影響，因此前述揚塵可能為車輛行進時所帶起的揚塵，故命名為「交通排放與揚塵」；因子三(F3)高占比物種以  $\text{Cl}^-$  (63%)、 $\text{Na}^+$  (28%) 這兩項離子為主，因此命名為「海鹽」；因子四(F4)高占比物種以  $\text{K}^+$  為主，其他物種如  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  同樣有 20% 以上占比，推測此因子除了受生質燃燒影響外，同時包含了其他老化氣膠，

因此命名為「生質燃燒」；因子五(F5)高占比物種為  $\text{SO}_4^{2-}$  (48%)、 $\text{NH}_4^+$  (25%)，顯示主要物種為硫酸銨，屬於衍生污染物，另外 Sr (29%)、V (45%)、As (24%) 同樣有不低的占比，顯示受到燃煤與燃油燃燒影響，並且以燃油為主，顯示來源可能為燃油鍋爐，因此命名為「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」。

### (3) 因子季節變化趨勢與可能污染源位置

圖 4.5.14 為斗六站各因子隨時間變化，表 4.5.3 為各因子年度與與季節占比，從結果中顯示，因子一「二次硝酸鹽」為年占比最高因子，並且於冬季與春季有較高占比，由於因子中高貢獻物種為硝酸鹽，因此易受環境溫度影響，夏季占比僅剩 12%，將事件成因與因子逐日貢獻濃度對照，可以發現本地污染事件時，因子一有相當高占比，特別是 1 月 7 日與 4 月 25 日這兩個採樣期間濃度最高與次高採樣日，顯示因子一屬於本地污染衍生物；因子二「交通排放與揚塵」年占比只有 14%，但是在夏季時有季節第二高占比，其他季節占比相當穩定，約在 12~16%，變動量較小，為監測地區背景污染物；因子三「海鹽」為占比最低因子，年占比 8%，在冬季有較高濃度，其他季節僅有約 4~6% 占比，顯示受到季風或因子構成成分影響，溫度與盛行風向都是因子增減的影響要素；因子四「生質燃燒」年占比 22%，為監測地區年占比第二高因子，秋季占比 41% 是四季占比最高時期，不過秋季的高占比主要受到 10 月 4 日與 10 日兩日所影響，受體模式原始資料顯示這兩日推估值有誤差，因子占比可能高估，造成原因可能為當日原始資料  $\text{K}^+$  有較高濃度導致，有可能受到秋季燃燒農費所影響，另一方面，逐日資料顯示 1 月 1 日、11 月 9 日等採樣日皆有受到零星區域污染物傳輸影響，這些採樣日貢獻濃度明顯增加，顯示因子主要來向受盛行方向影響，可待條件機率函數結果驗證；因子五「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」年占比 20%，略低於因子四，在夏季時有最高占比，占比高達 50%，由因子構成物種推測，屬於鍋爐所產生，從季節與逐時處資料顯示，夏季背景時期，因子五占比明顯較高，顯示斗六在低污染時期，受到工業排放影響仍高於交通排放。

圖 4.5.15 顯示五個因子條件機率函數推估結果，因子一「二次硝酸鹽」污染物主要來向為斗六站西西北方，其次為東東北方，這兩方位分別有 25%及 20%機率受到影響，測站西測主要以大型工業及發電廠等污染源為主，東側則有斗六工業區；因子二「交通排放與揚塵」污染來向為測站北方，約有 20%以上機會吹北風時帶來污染，其餘方位也有約 10~15%影響頻率；因子三「海鹽」來向為測站北北西方至東東北，約有 30%機受到海鹽影響，由於測站位置較靠近中央山脈，距離海已有段距離，風向分布範圍較廣可能受到地形風影響；因子四「生質燃燒」主要來向為北北西至北北東方，頻率為 20~30%，由於測站北面幾乎為田地，秋末冬初時恰好為農廢燃燒忘記，此時盛行風向也正為北風，因此影響頻率較高；因子五「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」風向為南風時有最高影響頻率，方向為西北風時頻率也有約 20%，另外，風象為東東北時也有約 21%頻率，對照地圖資料顯示，這些方位恰為各工業區所處位置，顯示因子五主要為各工業區鍋爐所貢獻。

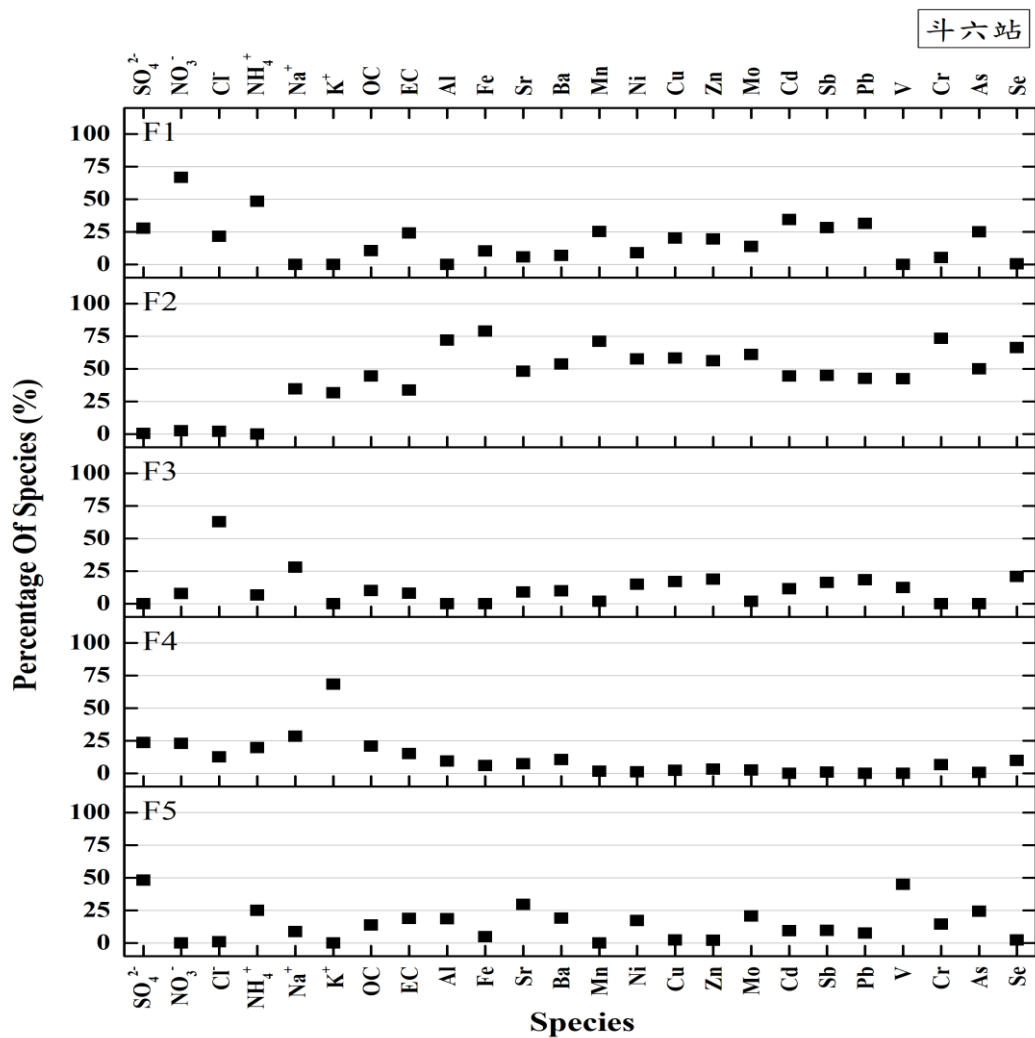


圖 4.5.13 斗六站 PMF 推估六個因子(污染源)剖面

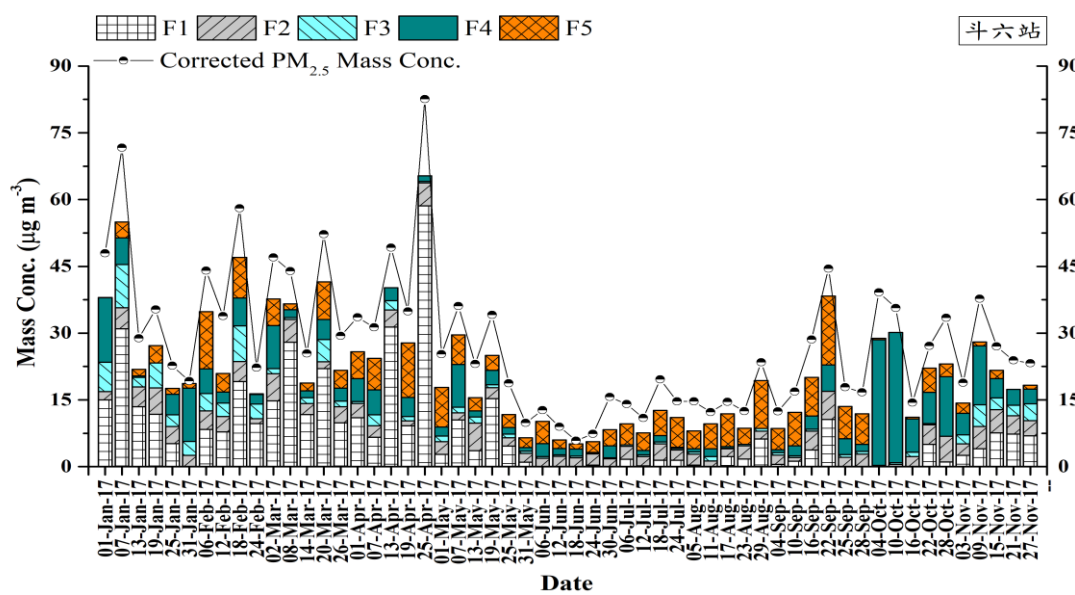


圖 4.5.14 斗六站 PMF 推估六個因子貢獻時間變化趨勢





圖 4.5.15 斗六站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源



表 4.5.3 斗六站 PMF 推估因子整年與季節貢獻占比

季節	F1 二次硝酸鹽	F2 交通排放 揚塵	F3 海鹽	F4 生質燃燒	F5 二次硫酸鹽 燃油鍋爐
整年	36%	14%	8%	22%	20%
冬季	41%	12%	16%	18%	13%
春季	54%	12%	5%	13%	17%
夏季	12%	24%	4%	11%	50%
秋季	16%	16%	6%	41%	21%

#### 4.嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

##### (1) 因子數選取

嘉義站因子數評估結果與模式實際臨界參數  $Q_{\text{true}}$  與預期臨界參數  $Q_{\text{exp}}$  比值如圖 4.5.16 所示，從結果中可以看出，當因子數由 5 之後趨於平緩，顯示可能因子數為 5 至 6 這區間，透過模式誤差檢測(見附錄)最後選擇 5 個因子，由圖 4.5.17 可看見使用 5 個因子所預測的質量濃度與實際採樣所觀測的質量濃度間有良好的相關性， $R^2$  達 0.99 顯示模式預測結果相當良好。

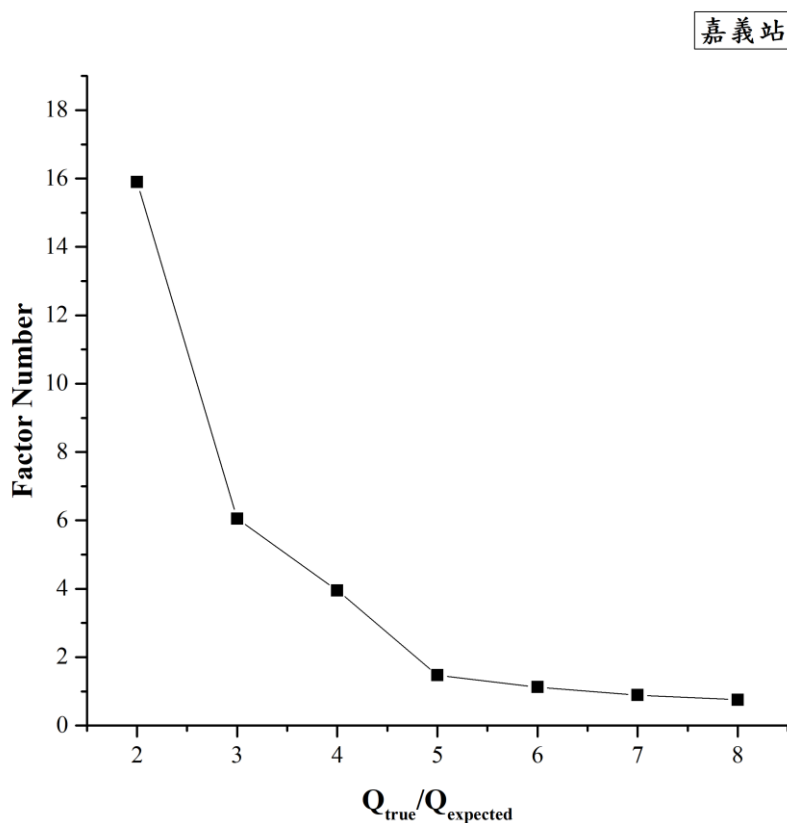


圖 4.5.16 嘉義站 PMF 解析因子數與  $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$  值關係

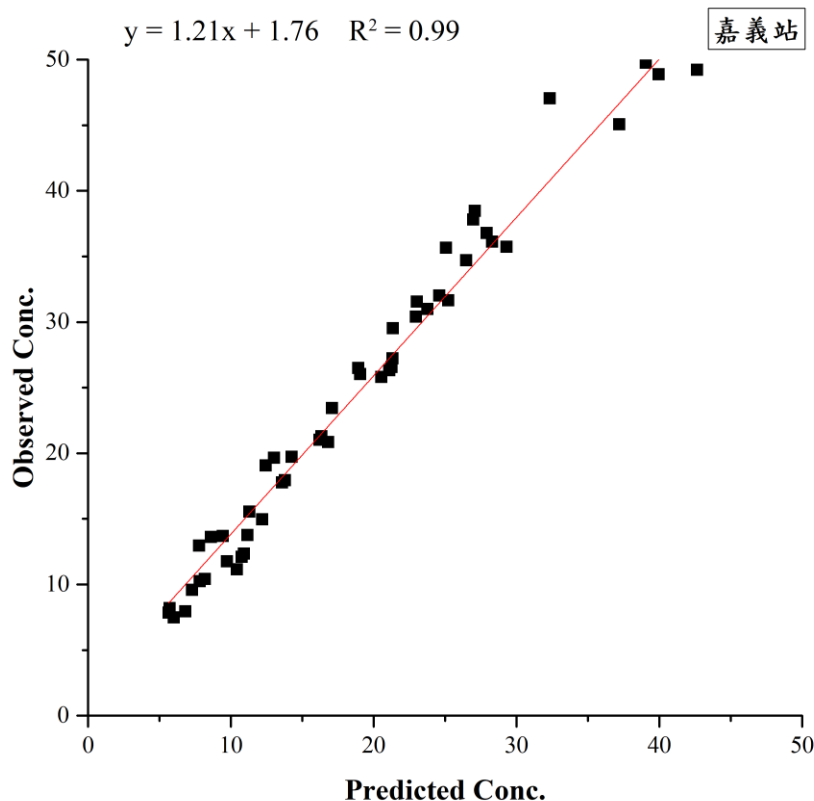


圖 4.5.17 嘉義站 PM<sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=45)

## (2) 因子剖面

圖 4.5.18 嘉義站因子一(F1)高占比物種為  $\text{SO}_4^{2-}$  (63%)、 $\text{NH}_4^+$  (35%)，顯示主要物種為硫酸銨等衍生污染物，因此命名為「二次硫酸鹽」；因子二(F2)高占比種為  $\text{NO}_3^-$  (72%)、 $\text{NH}_4^+$  (45%)，另外， $\text{Cl}^-$  (21%)與  $\text{SO}_4^{2-}$  (26%)同樣有不低的占比，顯示主要物種為硝酸銨，此外也受到其他工業污染物影響，因此有氯銨及硫酸銨等衍生污染物，由於硝酸銨比例最高，因此命名為「二次硝酸鹽」；因子三(F3)主要物種為高占比的  $\text{Cl}^-$  (56%)，由於因子中無  $\text{Na}^+$ 貢獻占比，但有微量  $\text{NH}_4^+$ ，推測此處  $\text{Cl}^-$ 來自工業廢氣，其他高占比指標元素為 Cu、Zn、Cd、Pb 皆有 30%以上貢獻比例，可能受到工業排放影響，因子命名為「工業排放富含氯」；因子四(F4)高占比物種僅有  $\text{Na}^+$  (61%)，另外有微量的  $\text{Cl}^-$  (15%)、 $\text{K}^+$  (18%)及 Al (21%)，另外因子中存有零星硫酸鹽與硝酸鹽貢獻占比，推測因子主要受生質燃燒老化氣膠與海鹽影響，因此命名為「生質燃燒」；因子五(F5)高占比物種為 OC (30%)、EC

(22%)，以及微量的  $\text{NO}_3^-$  (18%)，這些離子與碳成分可能來自生質燃燒與交通排放源及其衍生污染物，另外元素物種皆有相當高占比，不過因子中塵土指標元素占比相當高 Al (49%)、Fe (59%)，顯示指標元素可能受揚塵影響，因此命名為「交通排放與衍生污染」。

### (3) 因子季節變化趨勢與可能污染源位置

圖 4.5.19 及表 4.5.4 為各因子逐日及季節占比變化，因子一「二次硫酸鹽」是年占比第二高污染源，占比為 29%，特別在夏季有最高的貢獻占比，顯示低污染時期受到工業排放衍生污染物影響最為明顯，另外秋季的污染事件 9 月 22 日，似乎顯示受到本地工業鍋爐的影響明顯高於其他因子濃度；因子二「二次硝酸鹽」為年占比最高因子，年占比達 39%，春季與冬季占比皆在 50%以上，由於因子主要物種為硝酸鹽，因此夏季受到環境溫度影響，占比僅剩 2%，從每日因子貢獻濃度中可發現，在本地污染事件時，如 1 月 7 日、4 月 13 日、4 月 25 日，都有相當高貢獻濃度；因子三「工業排放富含氯」年占比僅有 8%，是五個因子中年占比最低的，在冬季有較高占比，季節變化特性與前述三測站的海鹽十分相似，此因子可能受到傳輸過程中所經過的工業排放影響；因子四「生質燃燒」年占比僅高於因子三 1%，各季節占比穩定，約有 4~15%貢獻濃度；因子五「交通排放」為嘉義站年占比第三高物種，因子於夏季時占比較高，僅次於二次硫酸鹽，與各監測地區相似，交通排放源屬於變化較為穩定的因子，不過冬季時較低占比原因應該為原生交通排放污染物皆轉換為衍生污染物所致。

圖 4.5.20 顯示嘉義站 CPF 推估各因子潛在來向，因子一「二次硫酸鹽」主要來向為監測地區南方，南方為焚化廠，顯示受到焚化廢氣影響；因子二「二次硝酸鹽」主要來向為測站西北與東北方，皆有約 25%頻率，由於此處二次氣膠構成物種主為硝酸銨，可能來自將通排放衍生污染物，測站北側為嘉義市區，車流量較為密集，擴散條件不佳時，容易生成這類衍生污染物；因子三「工業排放富含氯」污染來向與因子二相似，並且當風相為西北方時有 30%機會受到上風污染源影響，對照地圖嘉義站西北方除工業區外尚有塑化廠，因子中較高的氯可能除了

海鹽，也包含了這類工業排放；因子四「老生質燃燒」污染源來向為測站北方，可能受到測站北方農廢燃燒或來自雲林地區傳輸污染物影響，因此北風時有較高頻率；因子五「交通排放」影響頻率最高方位為測站北方，與因子三原因似乎相同，主要受到測站北方嘉義市區的高交通流量所影響。

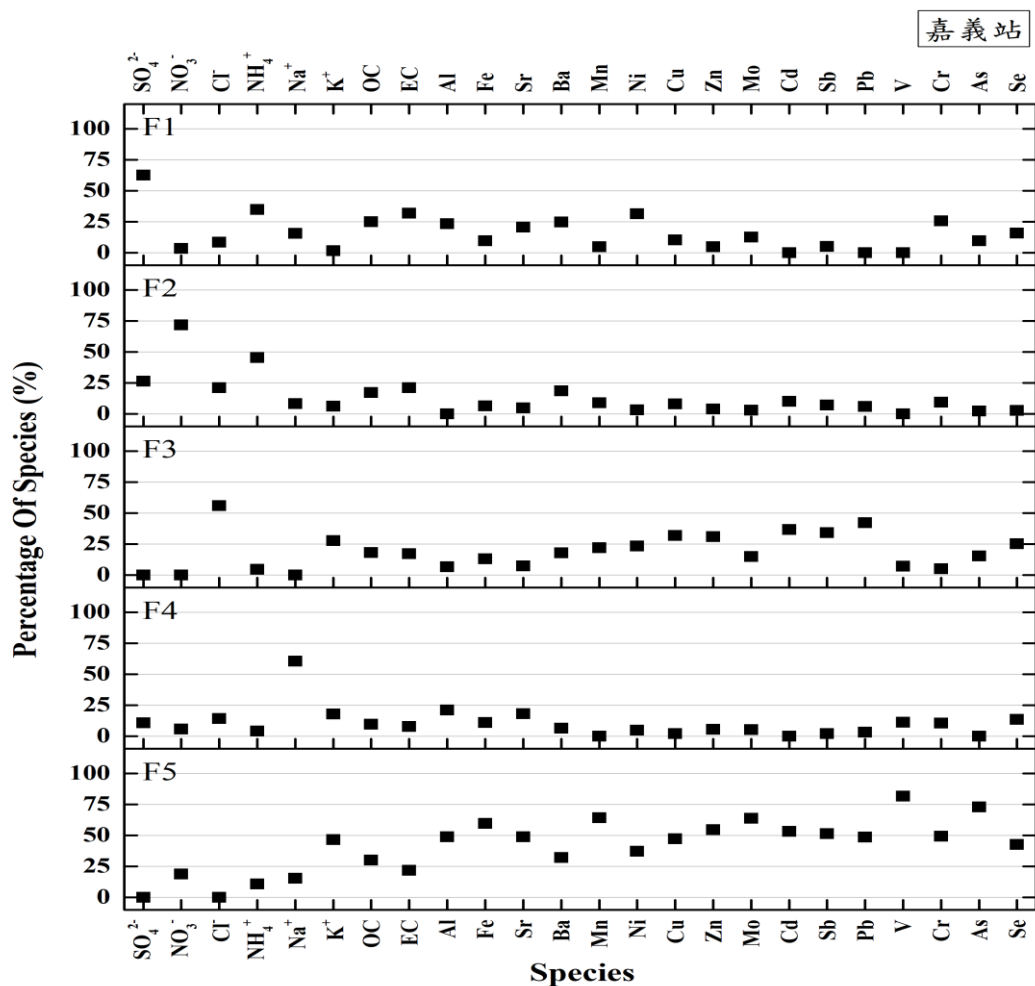


圖 4.5.18 嘉義站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面

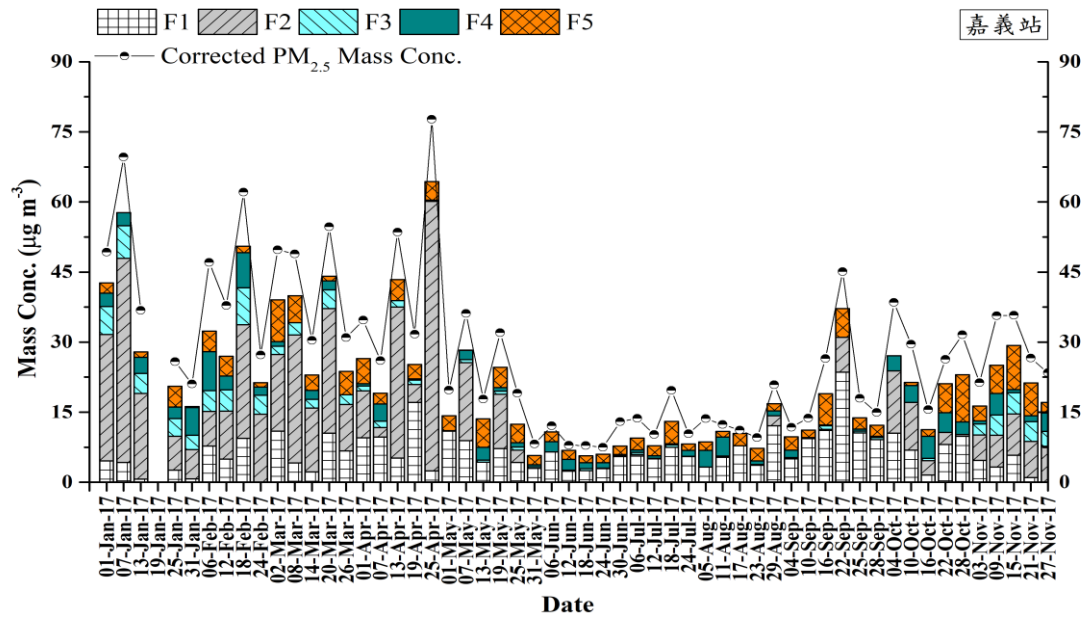


圖 4.5.19 嘉義站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢

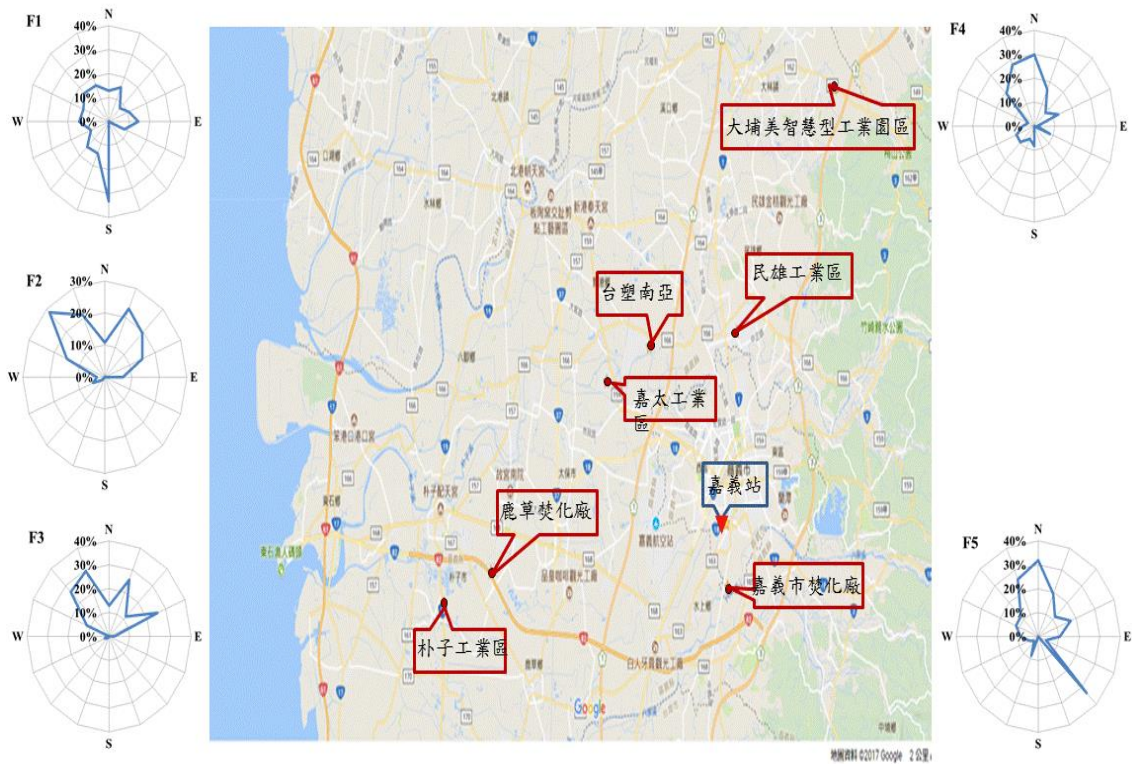


圖 4.5.20 嘉義站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源

表 4.5.4 嘉義站推估因子整年與季節貢獻占比

季節	F1 二次硫酸鹽	F2 二次硝酸鹽	F3 工業排放 富含氮	F4 生質燃燒	F5 交通排放
整年	29%	39%	8%	9%	15%
冬季	12%	54%	15%	13%	6%
春季	26%	52%	5%	4%	14%
夏季	58%	2%	2%	15%	23%
秋季	38%	23%	7%	10%	22%

## 5.小港站 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

### (1) 因子數選取

小港站因子數評估結果與模式實際臨界參數  $Q_{\text{true}}$  與預期臨界參數  $Q_{\text{exp}}$  比值如圖 4.5.21 所示，從結果可以看見，當因子數為 5 以後趨於平緩，顯示可能因子數為 5 或 6 區間，透過模式誤差檢測(見附錄)最後選擇 5 個因子，由圖 4.5.22 可看見使用 5 個因子所預測的質量濃度與實際採樣所觀測的質量濃度間有良好的相關性， $R^2$  達 0.98 顯示模式預測結果相當良好。

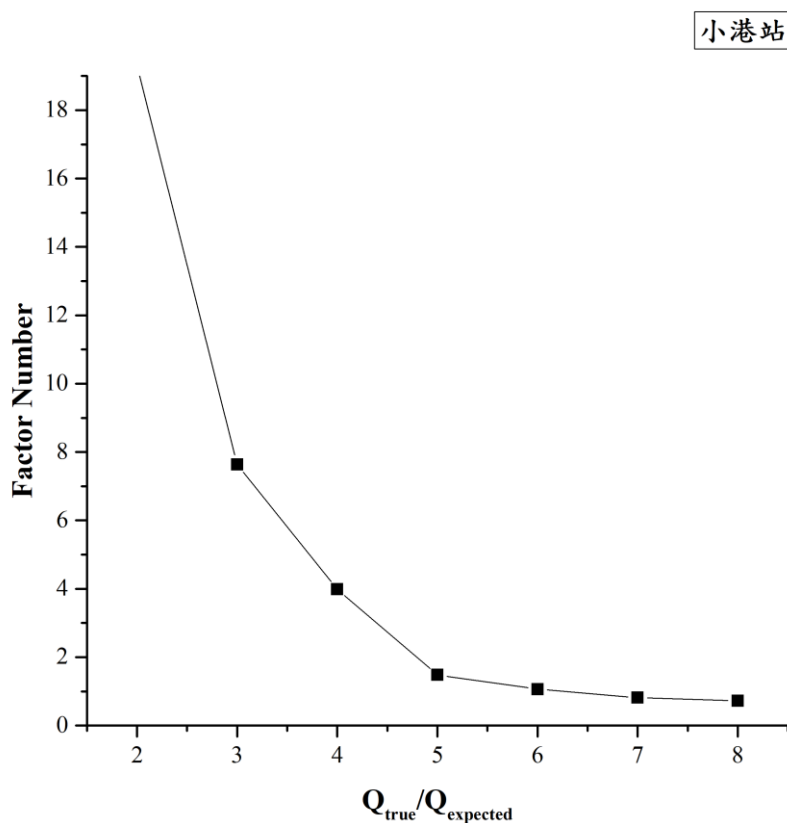


圖 4.5.21 小港站 PMF 解析因子數與  $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$  值關係



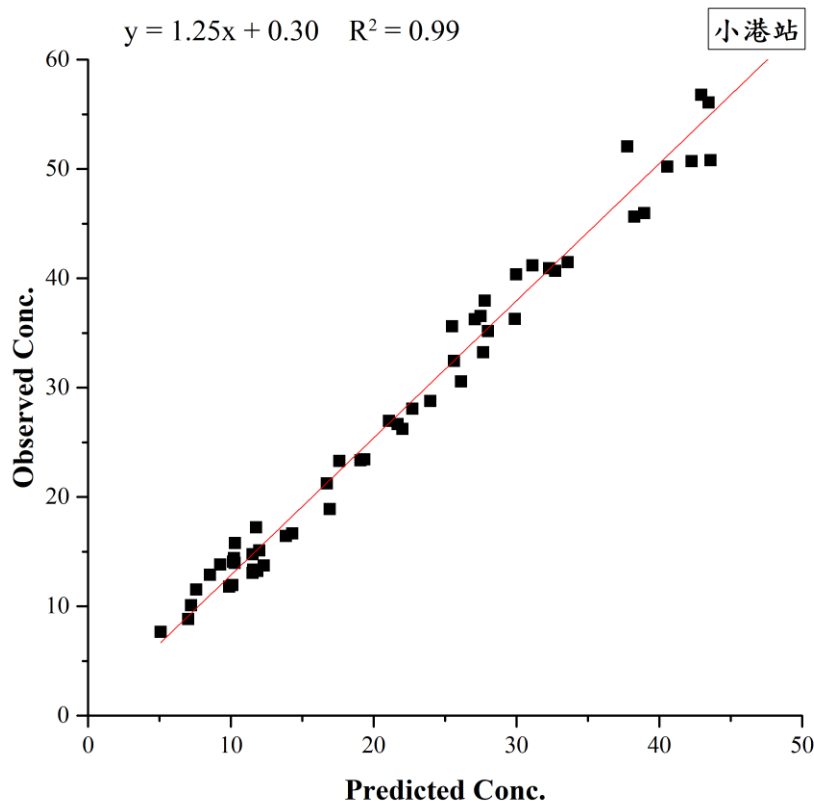


圖 4.5.22 小港站 PM<sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46)

## (2) 因子剖面

圖 4.5.23 小港站因子一(F1)主要成分為  $\text{SO}_4^{2-}$  (58%)、 $\text{NH}_4^+$  (38%)、V (71%)，顯示主要物種為硫酸銨，透過指標元素顯示可能受到燃油燃燒影響，此外較高的 EC 貢獻量顯示與一次燃燒有關，推測此處二次硫酸鹽可能部分來自煙道凝結性微粒，因此命名因子為「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」；因子二(F2)成分組成為  $\text{NO}_3^-$  (78%)、 $\text{NH}_4^+$  (50%)、 $\text{Cl}^-$  (31%)、 $\text{SO}_4^{2-}$  (23%)，除了高占比水溶性離子外還有高占比的碳成分 OC (40%)、EC (40%)，由於因子中揚塵指標元素 Al 較低，但有較高的 Cu、Zn、Sd 等機動車剎車或輪胎磨損的指標元素，同時也包含燃煤燃燒指標元素 Se 等物種，推測污染源可能為交通與工業排放源衍生污染物，由於硝酸銨與 OC、EC 皆有 40%以上高占比，因此命名為「二次硝酸鹽富含有機氣膠」；因子三(F3)高占比物種為  $\text{Cl}^-$  (56%)、 $\text{Na}^+$  (47%)，顯示物種為 NaCl，可能受到海鹽影響，因此命名為「海鹽」；因子四(F4)有相當高占比的 OC (31%)、EC (25%)，可能受到交通排放影響，另外揚塵指標元素 Al (36%)與

Fe (32%)都有 30%以上占比，因子中雖然 Ni 有高占比，但元素 V 貢獻量較低，顯然並非受到燃油燃燒影響，此處 Ni 可能來自道路磨損，因此命名因子四為「交通排放」；因子五(F5)成分組成以  $K^+$  (56%)為主，因子中還包含少量的  $SO_4^{2-}$ 與  $NO_3^-$ ，推測可能為老化氣膠，故命名為「生質燃燒」。

### (3) 因子季節變化趨勢與可能污染源位置

圖 4.5.24 為小港站五個因子時間變化趨勢，表 4.5.5 為小港站推估因子季節變化貢獻占比，因子一「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」年占比 30%是小港站占比的二高的因子，四季占比變化以冬季最低，夏季最高，顯示因子一屬於小港站當地工業污染，由於燃油燃燒指標元素在因子中有相當高貢獻量，以及夏季盛行風向多為西南風，此因子可能除了受鍋爐影響，還可能受到當地船舶排放所影響；因子二「二次硝酸鹽富含有機氣膠」為年占比最高因子，占比高達 46%，由於因子中主要成分為硝酸鹽，因此受溫度影響，冬季與春季占比高(67%、52%)，夏季占比最低(4%)，秋季逐漸上升，從每日貢獻濃度資料顯示 1 月、2 月及 11 月份本的污染事件時，因子二有相當高占比，由於小港冬季採樣日多屬於本地污染型態，顯示這些衍生污染物大多來自於本地排放源；因子三「海鹽」，年占比為 4%，一年四季占比變化相當穩定，約在 3~7%，其中、夏季與冬季占比略高，可能受到風速上升所影響；因子四「交通排放」年占比 9%，四季中以夏季有最高占比，並且為當季貢獻占比的二高的因子，顯示夏季低濃度時期，鍋爐與交通排放源為主要污染物來源，約占 80%污染物濃度來自此二因子；因子五「生質燃燒」年占比與因子四接近，但是在秋季有最高占比，占比達 21%，由於因子主要物種為  $K^+$ ，主要受到燃燒生質能所影響，可能與秋季較多農廢燃燒有關，由於因子包含硫酸鹽與硝酸鹽等高質量占比物種，因此會有較高的濃度貢獻。

圖 4.5.25 為小港站各因子條件機率函數(CPF)推估結果，因子一「二次硫酸鹽與燃油鍋爐」主要來自測站的西側，吹拂西北至西南風時皆有 20%左右貢獻頻率，小港站西側多大型工業，推測受到這些工業燃料鍋爐所影響；因子二

「二次硝酸鹽富含有機氣膠」推估結果顯示，主要受東南風時有較高影響頻率，但此處東南風及可能為受到分母數較少所造成的高估，若不計東南風影響，污染源主要來自測站四周，且分布均勻，顯示受到衍生污染物影響時多屬於低風速的型態，風向變化也受到地形影響較多，因此沒有較為一致的方位；因子三「海鹽」，主要來向為測站南方與東南方，頻率為 40~60%，與前一個因子相似，東南風分母較少，導致數值會有高估可能，另外西北風時也有約 20% 機會受到到影響；因子四「交通排放」主要受到北風影響頻率最高，吹拂北風時約有 40% 機會受到影響，從地圖資料可得知，測站北方有機場、快速道路，以及高雄市區等交通較繁忙地區；因子五「生質燃燒」主要來向同樣為測站北方，由於因子較多老化氣膠，推測可能為傳輸污染物。

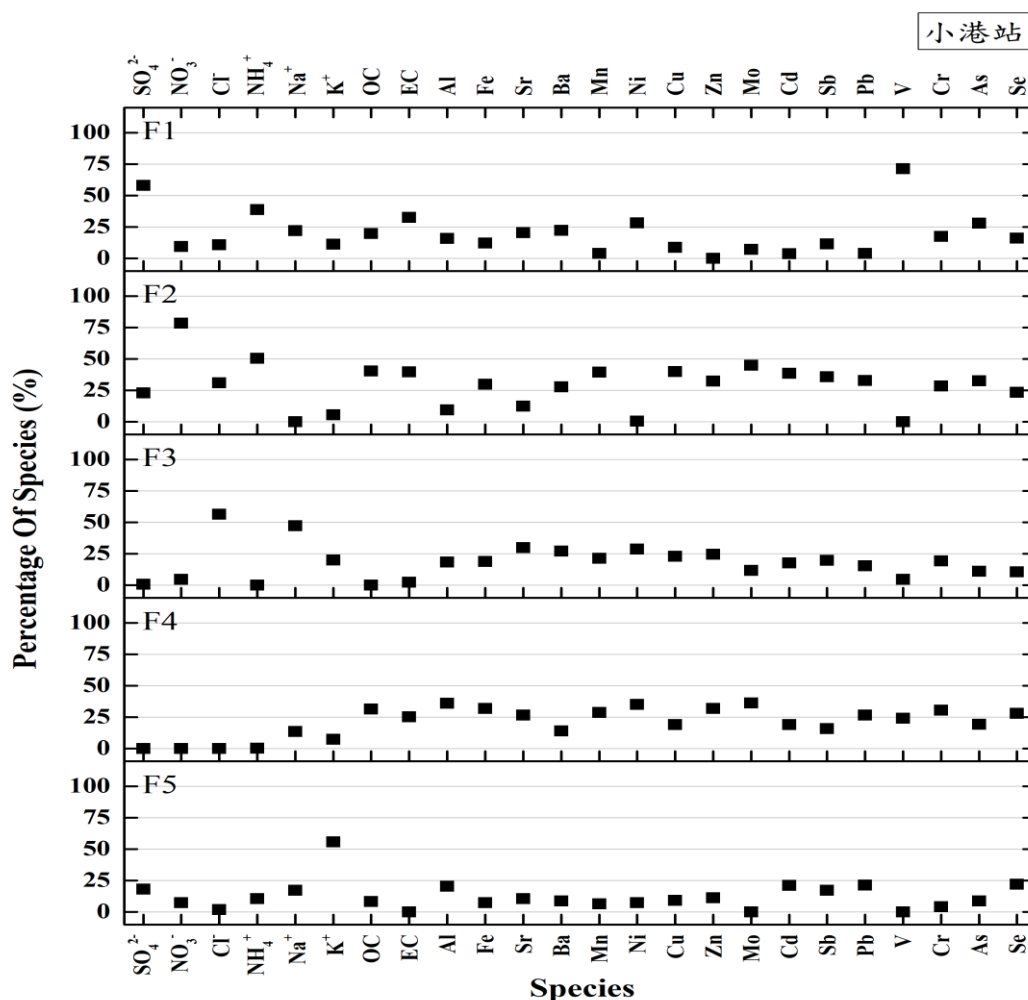


圖 4.5.23 小港站 PMF 推估五個因子(污染源)剖面

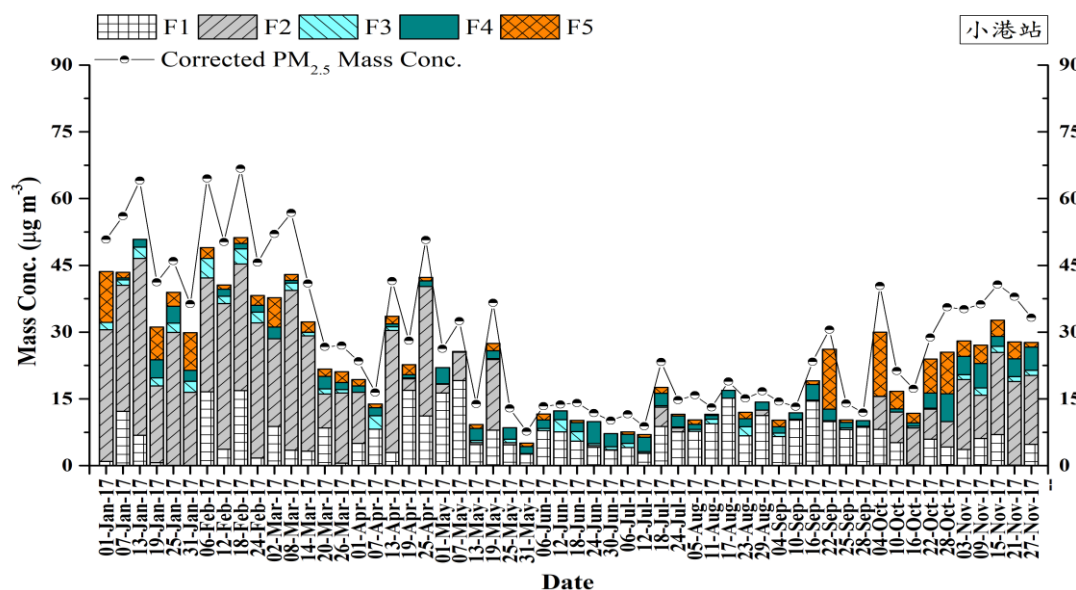


圖 4.5.24 小港站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢

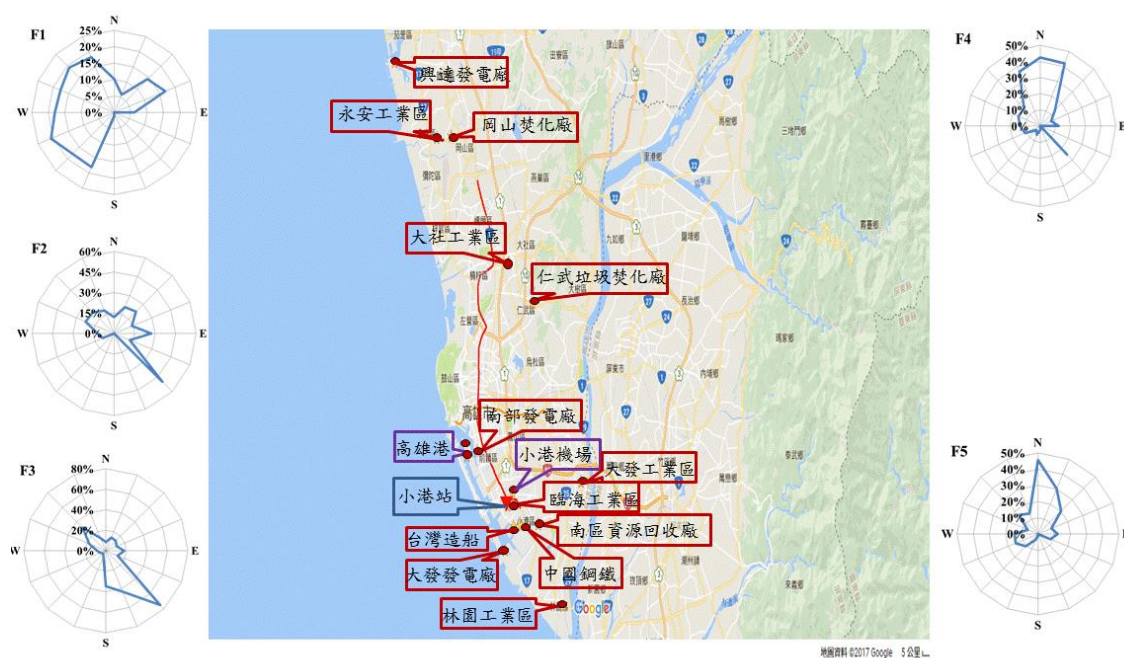


圖 4.5.25 小港站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源

表 4.5.5 小港站推估因子整年與季節貢獻占比

季節	F1 二次硫酸鹽 燃油鍋爐	F2 二次硝酸鹽 富含有機氣膠	F3 海鹽	F4 交通排放	F5 生質燃燒
整年	30%	46%	4%	9%	11%
冬季	14%	67%	6%	4%	9%
春季	32%	52%	3%	7%	6%
夏季	64%	4%	7%	20%	5%
秋季	30%	33%	3%	13%	21%

## 6.花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 污染來源

### (1) 因子數選取

花蓮站因子數評估結果與模式實際臨界參數  $Q_{\text{true}}$  與預期臨界參數  $Q_{\text{exp}}$  比值如圖 4.5.26 所示，從結果中可以看出，當因子數 5 以後趨於平緩，顯示可能因子數為 5 至 6 區間，透過模式誤差檢測(見附錄)最後選擇 5 個因子，由圖 4.5.27 可看見使用 5 個因子所預測的質量濃度與實際採樣所觀測的質量濃度間有良好的相關性， $R^2$  達 0.97 顯示模式預測結果相當良好。

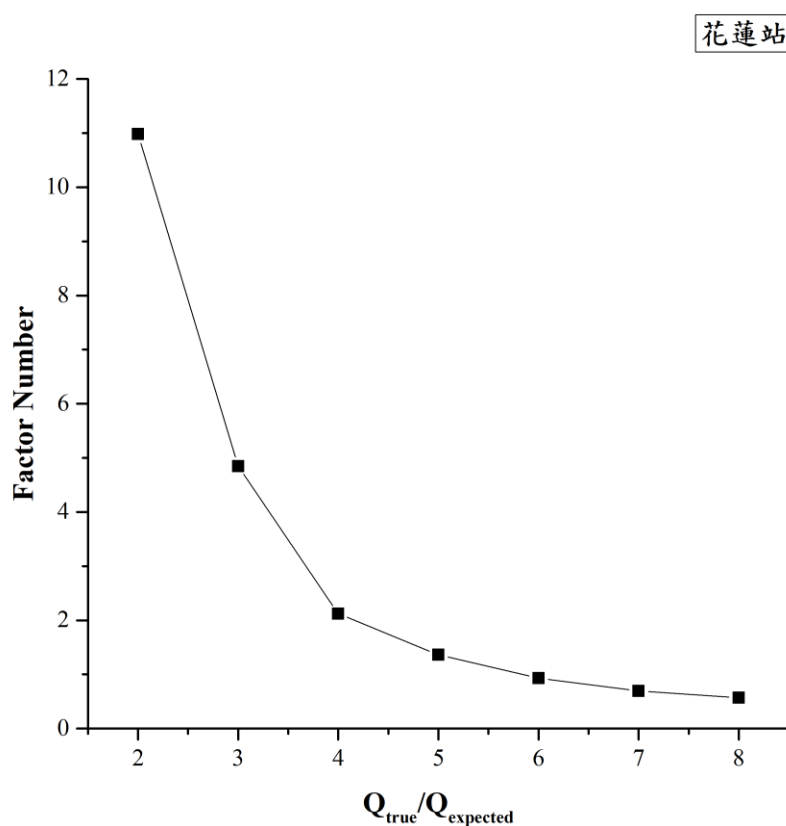


圖 4.5.26 花蓮站 PMF 解析因子數與  $Q_{\text{true}}/Q_{\text{exp}}$  值關係

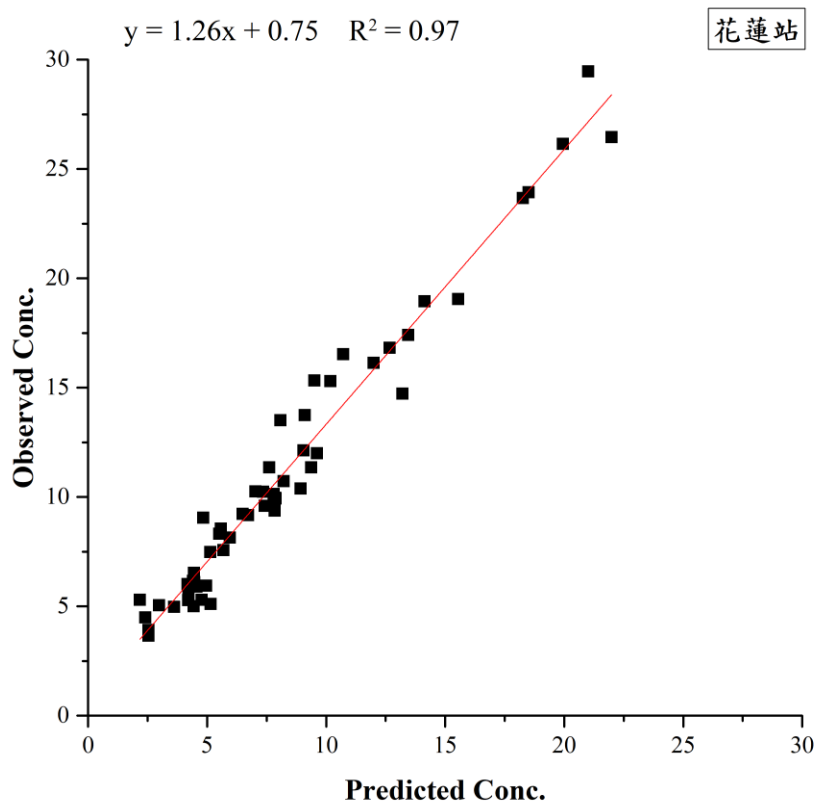


圖 4.5.27 花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 觀測濃度和 PMF 模式模擬濃度關係 (n=46)

## (2) 因子剖面

花蓮站各因子剖面如圖 4.5.28 所示，因子一(F1)主要成分為  $\text{Cl}^-$  (70%)、 $\text{Na}^+$  (22%)，從物種推測主要受到海鹽影響，因此命名為「海鹽」；因子二(F2)主要成分為  $\text{NO}_3^-$  (62%)其餘成分貢獻占比則較不明顯，此外，因子中還包含微量的  $\text{NH}_4^+$  (12%)，不過透過計算顯示  $\text{NH}_4^+$  足夠中和因子中的硝酸鹽，因此命名因子為「二次硝酸鹽」；因子三(F3)主要成分為高貢獻占比的  $\text{SO}_4^{2-}$  (74%)以及  $\text{NH}_4^+$  (69.5%)，同時較高的 EC (34%)，以及 V、Pb、As，顯示可能然自燃油燃燒影響，由於因子硫酸銨占比相當高，因此命名為「二次硫酸鹽」；因子四(F4)高占比物種僅有  $\text{K}^+$  (68%)、另外水溶性離子除了  $\text{Cl}^-$  皆有約 15%，從離子組成推測為老化生質燃燒氣膠，其餘指標元素皆有約 25%貢獻占比，並無特別突出者，主要來自揚塵，因此命名為「生質燃燒」；因子五(F5)主成物種為高占比的 OC(46%)、EC (49%)，顯然受到交通排放影響，另外地殼元素 Al、Fe 等皆有 40%以上占比，其餘指標元素占比皆不低，但同時與高占比塵土元素分布於同一因子，似乎受到揚塵影響較

多，因此命名為「交通排放與揚塵」。

### (3) 因子季節變化趨勢與可能污染源位置

圖 4.5.29 為花蓮站推估因子隨時間變化，表 4.5.6 為各因子季節占比變化，因子一「海鹽」與各監測地區海鹽因子季節變化趨勢相似，冬季有較高占比，年占比均為最低的因子；因子二「二次硝酸鹽」年占比 13%，春季與秋季時有較高占比，特別在 4 月 13 日這天貢獻濃度最高，占當天污染物濃度約一半；因子三「二次硫酸鹽」為花蓮站占比最高因子，年占比達 47%，並且於各季節皆有約 40%以上占比，不過較高的占比也可能與當地污染物濃度較低有關，由於花蓮本身較少大型污染源，因此這些污染物可能受到船舶放或是北部區域傳輸所影響；因子四「生質燃燒」，在冬季有較高占比，可能與北部傳輸有關，從因子在各採樣日分布可發現，2 月 6 日及 10 月 22 日這幾個採樣期間，主要受到較強的東北季風影響，顯示因子確實可能來自於上風處污染傳輸；因子五「交通排放與揚塵」年占比的二高因子，特別在下季低污染濃度時有較高貢獻量，與各監測地區相似，交通排放為僅次於衍生污染物的第二項主要污染因子，從每日貢獻濃度顯示，交通排放在各採樣日中貢獻濃度皆相當穩定。

圖 4.5.30 為花蓮站各因子條件機率函數推估結果，因子一「海鹽」主要來向為測站北北東方，約有 40%機會受到影響，此方位主要為海洋，因此在季風較強時，確實容易受到海風影響；因子二「二次硝酸鹽」主要來向為測站西側，當風象為西風時約有 30%機會受到影響，可能為來自市區的衍生污染物；因子三「二次硫酸鹽」因子潛在位置分布較為凌亂，高頻率的東南風與東東南風影響推測可能污染源為船舶燃料油，來自測站西側的影響則可能與因子二相似，屬於衍生污染物；因子四「生質燃燒」，主要來向為測站東北東方，該方位除了工業區外還設有水泥廠，由於因子主要物種為  $K^+$ ，除了生質燃燒外，也可能與水泥廠有關，不過另一項水泥廠指標元素由於濃度較低，穩定性不足，並未使用在受體模式中；因子五「交通排放與揚塵」污染主要來向為測站東方至南方，約有 30~40%的頻率受到影響，由於花蓮站位處都會中心，各處皆屬於交通繁忙路段，此處於冬至



南方有較高頻率顯然受到夏季季風影響，對照同樣可能為交通衍生污染物的因子一，則顯示冬季擴散條件較差，因子北風時期較高頻率屬於交通衍生污染物。

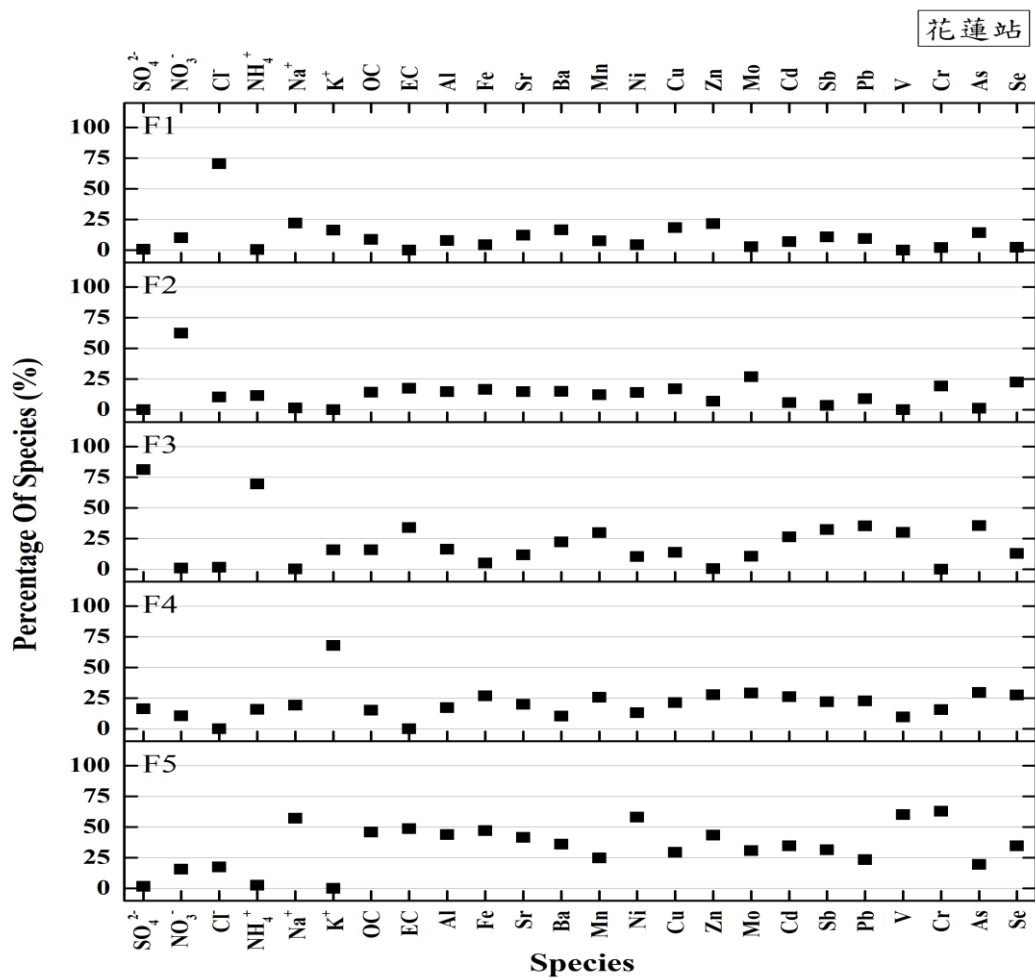


圖 4.5.28 花蓮站 PMF 推估因子(污染源)剖面

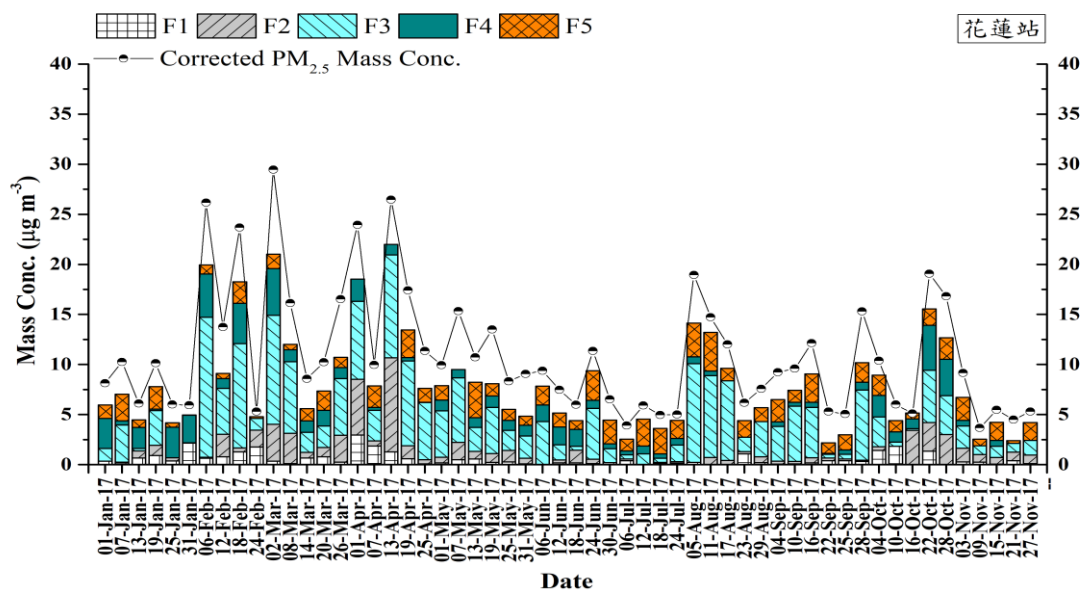


圖 4.5.29 花蓮站 PMF 推估五個因子貢獻時間變化趨勢

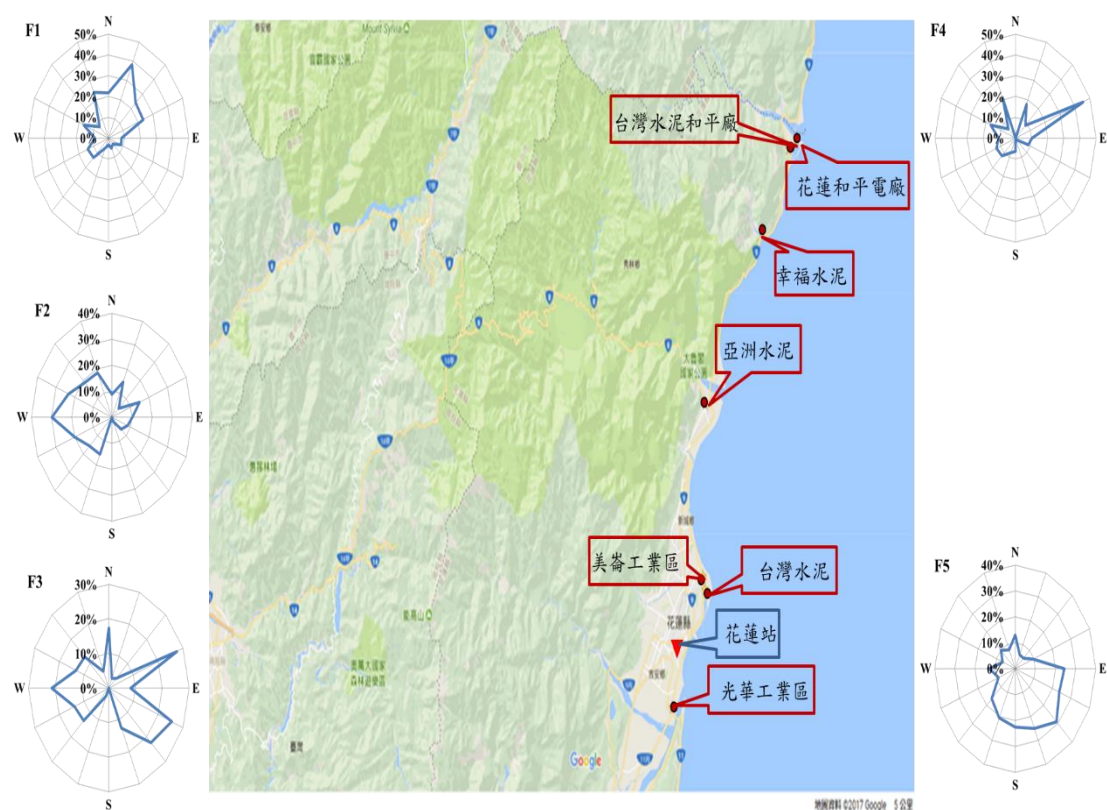


圖 4.5.30 花蓮站條件機率函數(CPF)驗證 PMF 推估結果與測站四周可能污染源

表 4.5.6 花蓮站推估因子整年與季節貢獻占比

	F1	F2	F3	F4	F5
季節	海鹽	二次硝酸鹽	二次硫酸鹽	生質燃燒	交通排放 揚塵
整年	7%	13%	47%	15%	19%
冬季	11%	8%	45%	24%	13%
春季	6%	20%	50%	12%	12%
夏季	3%	5%	51%	11%	31%
秋季	7%	15%	39%	15%	24%

#### 4.5.2 PM<sub>2.5</sub> 成分及氣象因子與能見度多元迴歸模式

PM<sub>2.5</sub> 化學成分會導致能見度下降，天氣因子的風速(WS)、溫度(T, °C)、相對濕度(RH)及氣體污染物 NO<sub>2</sub> 也是造成能見度降低的因素之一，為了瞭解監測地區(板橋、忠明、斗六、嘉義、小港、花蓮)PM<sub>2.5</sub> 化學成分與天氣因子和大氣能見度的關係，本計畫使用多元迴歸分析的 Backward Stepwise Regression，篩選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為自變數，再進行多元迴歸分析，建立能估算大氣能見度的多元迴歸模式。

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： $Mg^{2+}$ 、 $Cl^{-}$ 、修正  $NH_4^{+}$ 、修正  $NO_3^{-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、EC、修正 OC，天氣因子包括：風速、環境溫度、環境相對濕度。能見度監測數據選用中央氣象局在板橋、台中、嘉義、高雄、花蓮等觀測站所觀測的數據，這六站的能見度資料(斗六缺乏氣象站，使用嘉義站資料)五個觀測站皆為人工觀測站，根據觀測站點鄰近標的物(通常以山脈為主)作為能見度判別依據，因此各觀測站所能觀測到最遠能見度有所差異，最低與最高分別為花蓮站 25 Km 以及嘉義站 60 Km。表 4.5.7 為各監測站數據經由 Backward Stepwise Regression 分析，所選取的自變數及統計結果。

表 4.5.7 各監測站大氣能見度迴歸模式 Backward Stepwise Regression 選取自變數及統計分析資訊(T, °C), RH(%)

站名	自變數	R	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	F
板橋	修正後 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、T、RH	0.83	0.69	0.67	38.64
忠明	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、修正後 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、RH	0.77	0.59	0.56	24.80
斗六	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、RH、T、修正後 OC	0.82	0.68	0.65	26.53
嘉義	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、RH、T	0.87	0.75	0.74	51.22
小港	修正後 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、修正後 OC、RH	0.94	0.89	0.88	136.86
花蓮	T、RH、Na <sup>+</sup>	0.81	0.66	0.64	33.52

註:各測站檢測結果  $p < 0.0000$ ；各測項  $p < 0.05$ ；灰底為影響能見度最高物種

### 1. 板橋站能見度與 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及天氣因子多元迴歸模式

公式(4.5.1)為板橋站能見度多元迴歸模式，得出影響能見度的顯著自變數有修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、溫度、及相對濕度，修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>每增加 1  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，能見度會降低 1.72 Km，溫度每增加 1 °C，能見度會增加 0.13 Km，環境相對濕度每增加 1%，會導致能見度降低 0.31 Km，各自變數以修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>對能見度影響最大。圖 4.5.31 為板橋站推估(Predicted)和觀測(Observed)關係，彼此相關性對應相當良好， $R^2 = 0.69$ ，採樣期間最低能見度約為 7.9 公里，最高為 25.6 公里。

$$\text{Vis. (Km)} = 37.2 - 1.72 \text{ 修正後 NH}_4^+(\mu\text{g m}^{-3}) + 0.13T(^{\circ}\text{C}) - 0.31RH(\%)$$

公式(4.5.1)

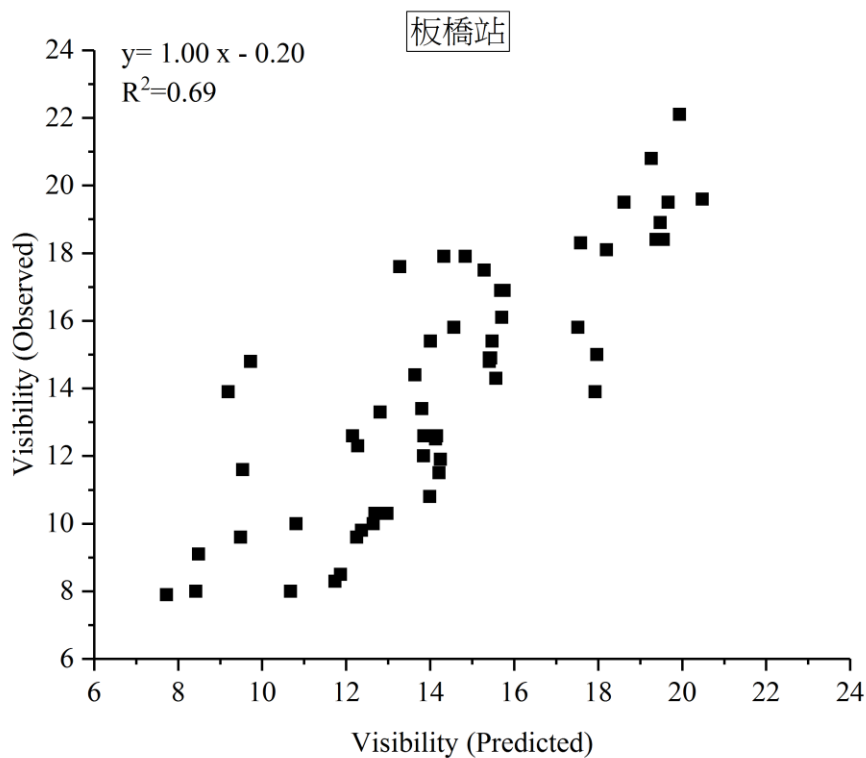


圖 4.5.31 板橋站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係

## 2 忠明站能見度與 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及天氣因子多元迴歸模式

忠明站得出影響能見度公式(4.5.2)的顯著自變數為  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 、修正後  $\text{NO}_3^-$  及相對濕度， $\text{nss-SO}_4^{2-}$  每增加  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，能見度會減少 0.26Km，修正後  $\text{NO}_3^-$  每增加  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，能見度會減少 0.28 Km，環境相對濕度每增加 1%，會導致能見度降低 0.13 Km，各自變數以修正後  $\text{NO}_3^-$  對能見度影響最大。圖 4.5.32 為忠明站推估(Predicted)和觀測(Observed)關係，彼此相關性對應尚稱良好， $R^2 = 0.59$ ，採樣期間最低能見度約為 5.1 公里，最高為 16.8 公里。

$$\text{Vis. (Km)} = 23.24 - 0.26 \text{ nss-SO}_4^{2-} (\mu\text{g m}^{-3}) - 0.28 \text{ 修正後 NO}_3^- (\mu\text{g m}^{-3}) - 0.13\text{RH}(\%)$$

公式(4.5.2)

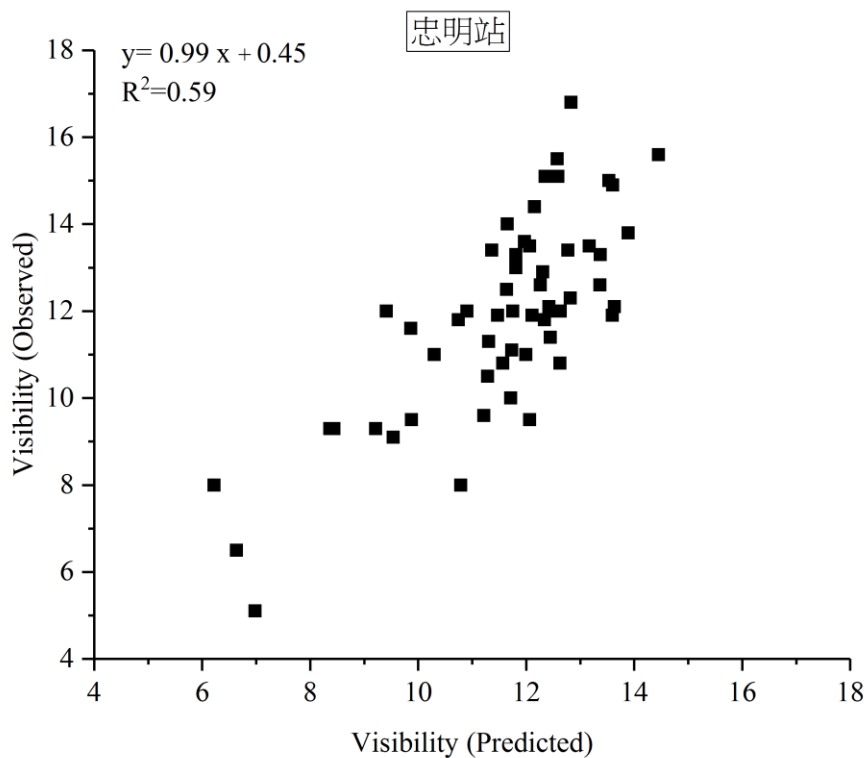


圖 4.5.32 忠明站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係

### 3 斗六站能見度與 $\text{PM}_{2.5}$ 化學成分及天氣因子多元迴歸模式

公式(4.5.3)列出斗六站影響能見度的自變數為  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 、相對濕度、溫度、修正後 OC， $\text{nss-SO}_4^{2-}$  每增加  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，能見度會減少 1.05 Km，環境相對濕度每增加 1%，會導致能見度降低 0.44 Km，環境溫度每增加  $1^\circ\text{C}$ ，能見度會增加 0.43 Km，修正後 OC 每增加  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，能見度會減少 1.02 Km，各自變數以  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  對能見度影響最大。圖 4.5.33 為斗六站推估(Predicted)和觀測(Observed)關係，彼此相關性對應相當良好， $R^2 = 0.68$ ，採樣期間最低能見度約為 2.8 公里，是各站最低能見度，最高為 36.7 公里。

$$\text{Vis. (Km)} = 46.5 - 1.05\text{nss-SO}_4^{2-}(\mu\text{g m}^{-3}) - 0.44\text{RH}(\%) + 0.43\text{T}(^\circ\text{C}) - 1.02 \text{ 修正後 OC}(\mu\text{g m}^{-3})$$

公式(4.5.3)

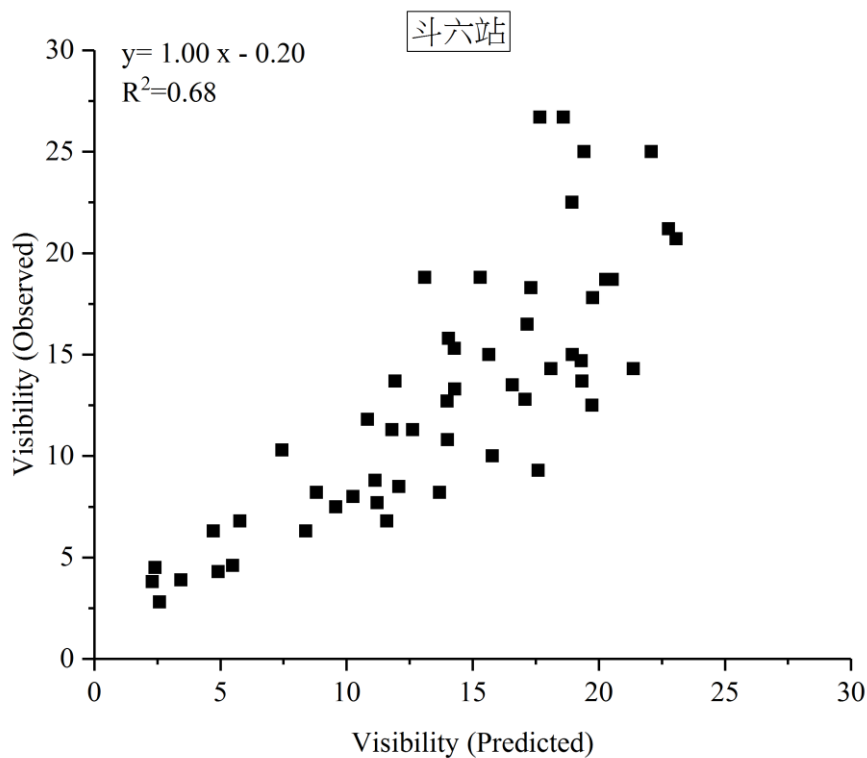


圖 4.5.33 斗六站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係

#### 4 嘉義站能見度與 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及天氣因子多元迴歸模式

公式(4.5.4)列出影響嘉義站能見度的自變數為 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、環境濕度及相對溫度，其中 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>每增加 1 μg m<sup>-3</sup>，能見度會減少 1.59 Km，環境相對濕度每增加 1%，會導致能見度降低 0.46Km，環境溫度每增加 1 °C，能見度會增加 0.62 Km，各自變數以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>對能見度影響最大。圖 4.5.34 為嘉義站推估(Predicted)和觀測(Observed)關係，彼此相關性對應相當良好，R<sup>2</sup> = 0.75，採樣期間最低能見度約為 2.8 公里，最高為 36.7 公里。

$$\text{Vis. (Km)} = 39.9 - 1.59\text{nss-SO}_4^{2-}(\mu\text{g m}^{-3}) - 0.46\text{RH}(\%) + 0.62\text{T}(\text{°C})$$

公式(4.5.4)



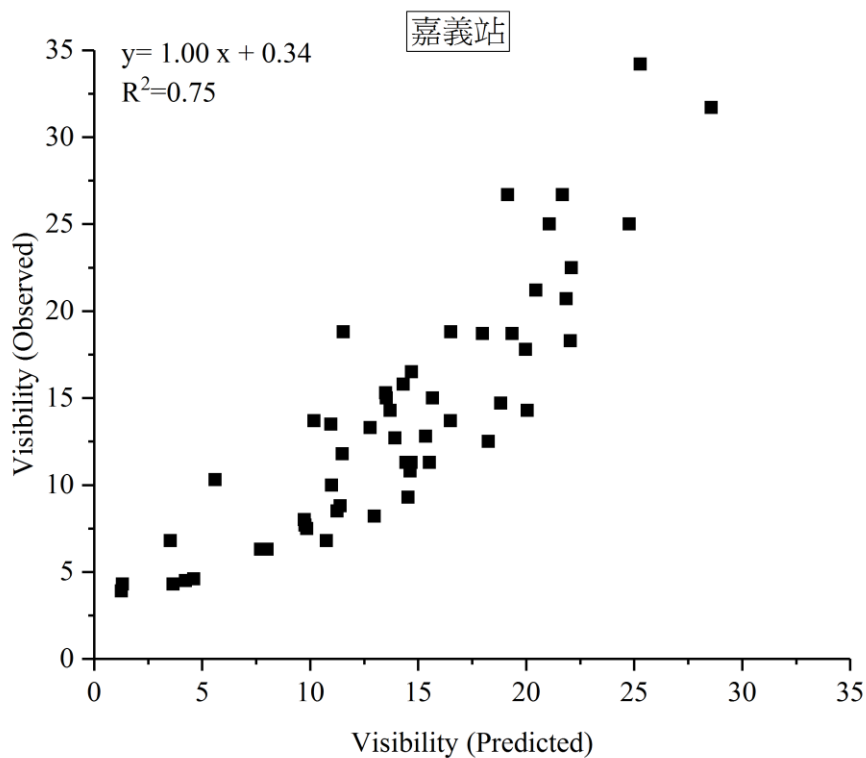


圖 4.5.34 嘉義站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係

#### 5 小港站能見度與 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及天氣因子多元迴歸模式

小港站公式(4.5.5)影響能見度的自變數為修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、修正後 OC 及相對濕度，其中修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>每增加 1 μg m<sup>-3</sup>，能見度會減少 0.67 Km，修正後 OC 每增加 1 μg m<sup>-3</sup>，能見度會減少 0.54Km，環境相對濕度每增加 1%，會導致能見度降低 0.12，各自變數以修正後 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>對能見度影響最大。圖 4.5.35 為小港站推估(Predicted)和觀測(Observed)關係，彼此相關性對應非常顯著，R<sup>2</sup> = 0.89 為六站最高，採樣期間最低能見度約為 3.2 公里，最高為 13.2 公里。

$$\text{Vis. (Km)} = 21.3 - 0.67 \text{ 修正後 NH}_4^+(\mu\text{g m}^{-3}) - 0.54 \text{ 修正後 OC}(\mu\text{g m}^{-3}) - 0.12\text{RH}(\%)$$

公式(4.5.5)

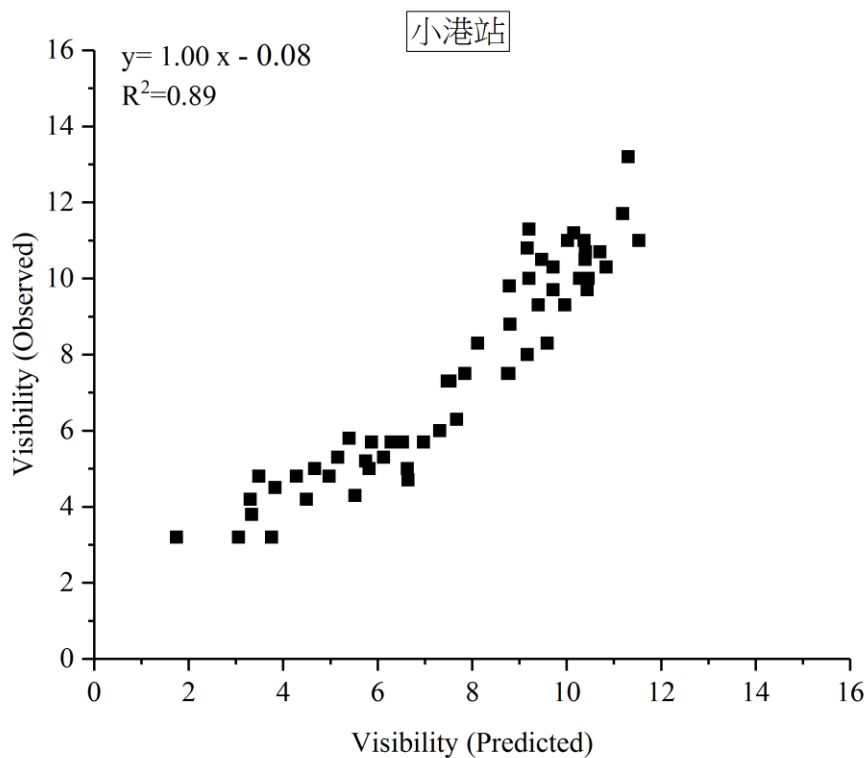


圖 4.5.35 小港站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係

## 6 花蓮站能見度與 PM<sub>2.5</sub> 化學成分及天氣因子多元迴歸模式

公式(4.5.6)為花蓮站影響能見度的多元迴歸模式，顯著自變數為溫度、相對濕度、Na<sup>+</sup>，其中溫度每增加 1 μg m<sup>-3</sup>，能見度會增加 0.31 Km，環境相對濕度每增加 1%，會導致能見度降低 0.21 Km，Na<sup>+</sup>每增加 1 μg m<sup>-3</sup>，能見度會降低 4.86 Km，各自變數以 Na<sup>+</sup>對能見度影響最大。圖 4.5.36 為花蓮站推估(Predicted)和觀測(Observed)關係，彼此相關性對應相當良好，R<sup>2</sup> = 0.66，採樣期間最低能見度約為 8 公里，最高為 19.4 公里。

$$\text{Vis. (Km)} = 22.0 + 0.31T(^{\circ}\text{C}) - 0.21\text{RH}(\%) - 4.86\text{Na}^+(\mu\text{g m}^{-3})$$

公式(4.5.6)

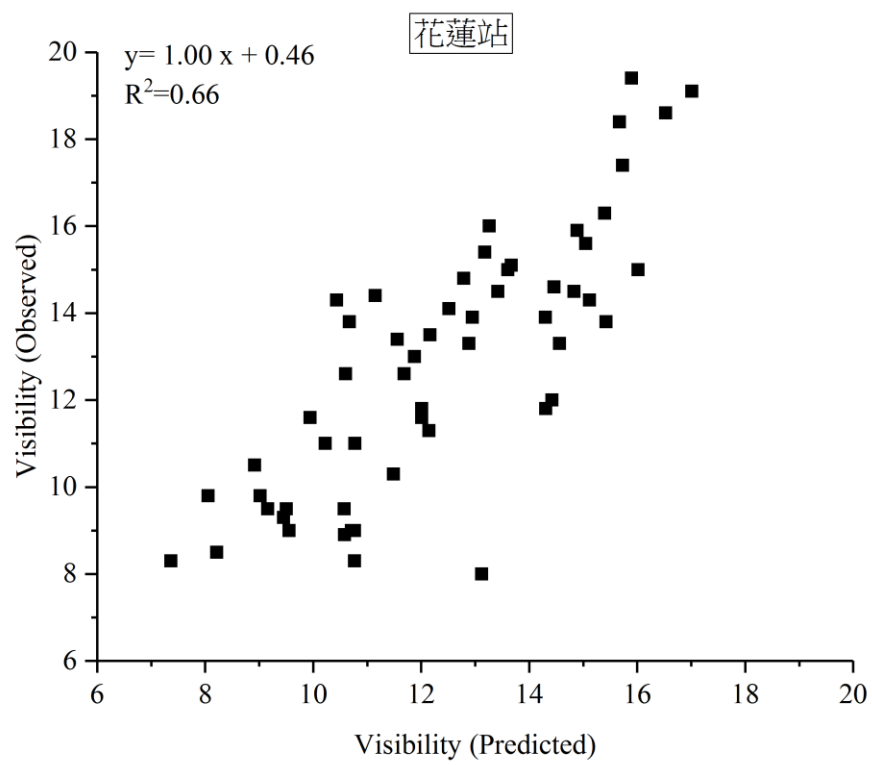


圖 4.5.36 花蓮站推估(Predicted)和觀測(Observed)能見度關係

大氣能見度受到大氣氣膠及環境狀況影響很大，大氣氣膠會對太陽輻射消光使能見度降低，但大氣氣膠散布受到環境狀況影響，Chen et al. (2014)、Kim (2015)、Xiao et al. (2014)分別在台中地區、韓國首爾都會區、中國四川省寶雞市(長達 33 年)研究大氣氣膠消光係數，發現大氣氣膠硝酸銨和硫酸銨成分及相對濕度是大氣氣膠消光係數主要影響因子。本計畫在  $PM_{2.5}$  化學成分多數測站多篩選出  $NH_4^+$ 、 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ ，與前述文獻結果相似，此外， $NH_4^+$ 主要是與  $SO_4^{2-}$ 結合，有多餘  $NH_4^+$ 才會與  $NO_3^-$ 結合成化合物(Mwaniki et al., 2014)，因此， $NH_4^+$ 是大氣氣膠硝酸銨和硫酸銨的代表，在六個地區能見度迴歸模式中，相對濕度和溫度分別扮演降低以及增高能見度角色，與 Lin et al. (2014)在中國上海地區對霧霾研究，發現低溫、低風速、高相對濕度有利於霧霾形成，大氣氣膠成分以二次無機氣膠污染影響能見度最大的研究成果一致。值得一提的是，本計畫在六個地區見度迴歸模式都有相當大的截距，截距代表迴歸模式自變數都是零時候的能見度，斗六站截距數值最大，當沒有污染及氣象因子干擾時能見度最高；反之，小港站截距數值最小，即使是沒有污染及氣象因子干擾時能見度仍然最小，應依方面截距差異可能受到各地區人工觀測標的物差異所影響，如花蓮最遠僅 25 公里，但斗六與嘉義站所使用的嘉義氣象站觀測資料最遠則為 40 公里以上。

## 4.6 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

### 4.6.1 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測技術發展

表4.6.1彙整列出PM<sub>2.5</sub>化學成分監測技術發展相關文獻，Niu et al. (2010)在加拿大安大略溫莎地區的研究在室內和室外進行微粒採樣，然後以ED-XRF 和 ICP-MS分別分析比對，在所比對元素中，當有70%樣本某特定元素濃度超過偵測低限(定義為8-12個空白樣本的量測濃度3倍標準偏差)則ED-XRF和ICP-MS分析結果相關性可達 $R^2 \geq 0.7$ ，這些元素為Fe, Mn, Zn, Pb, Cu。ED-XRF對於採集24小時樣本的S, Ca, Mn, Fe和Zn分析不確定性低，有78%-100%重複採樣樣本可以通過品質標準。針對採集24小時樣本使用ICP-MS分析，Li, Na, K, Ca, Si, Al, V, Fe, Mn, Co, Cu, Mo, Ag, Zn, Pb, As, Mg, Sb, Sn, Sr, Th, Ti, Tl,和U都可以通過品質標準。前述品質標準為室內、室外、個人採樣器同址量測樣本相同元素相對百分比差異(RPD)在20%以內。ICP-MS可以量測很微量元素，但容易在處理樣本過程受到污染，須儘量減少濾紙樣本的前處理。為使兩種儀器量測結果具有一致性，可以採用校正係數。較長採樣時間獲得的較大採樣體積通常會有較高的量測相關性和較低不確定性，但也會降低時間解析度和污染源專一性。

Rouillon和Taylor(2016)針對澳洲雪梨北方小鎮Boolaroo土壤樣本的量測，ICP-MS對於標準樣本的Mn和Pb ( $R^2 \geq 0.999$ )，Cu, Zn, Cd則為 $R^2 \geq 0.995$ 。野外可攜式XRF (field portable X-ray fluorescence, pXRF)比ICP-MS在Ti, Cr, Fe量測效能較好，在Mn, Cu, Zn, Sr, Cd, Pb相當，但對於Ni, As的量測效能則較差。XRF量測樣本須有較高濃度(5~10 g)，ICP-MS只需要~0.5 g，對於Ni的量測，兩種方法相關性極差，在較高濃度則較佳。

Han et al. (2015)於2012年4月到2013年10月在韓國春川市(旅遊城市)及寧越郡(有兩座大水泥廠的小鎮)的PM<sub>2.5</sub>採樣，得到相近PM<sub>2.5</sub>質量濃度，但彼此間的

化學成分卻明顯不同。春川市塵土元素濃度顯著地高於寧越郡，但寧越郡人為源排放的金屬元素濃度則普遍高於春川市。藉由變異係數(標準偏差/算數平均值)較高代表在地污染源影響較大的計算，春川市的變異係數得到0.60，寧越郡則得到0.82，顯示寧越郡受到當地污染源影響較大。塵土元素通常在春天高風速下濃度高，但水泥工業區大多數金屬元素在冬天都有增強。主成分分析辨識出春川市的PM<sub>2.5</sub>主要來源是塵土再懸浮、交通相關污染源、柏油水泥生產；寧越郡的主要污染源則是水泥工業、鎳-鉻電鍍業以及其他工業活動。值得注意的是，水泥煉製輔助燃料常常使用廢棄木頭、廢棄樹脂、廢棄塑膠，因此，廢棄會排放含Cr以及Ni, Zn, As, Pb等重金屬。

Wang et al. (2017)於中國寶雞的研究，採樣期間為2014年2月26日至3月27日。作者們使用ACSM實時採集分析數據，該地區非耐火亞微米氣溶膠(NR-PM<sub>1</sub>)成分主要為有機物(55%)，其次是硫酸鹽(16%)、硝酸鹽(15%)、銨(11%)和氯化物(3%)。相對於離線採樣分析，在線分析氣溶膠質譜法(Aerosol mass spectrometry)經過長時間發展後技術日漸純熟。氣膠化學物種偵測儀(Aerodyne Aerosol Chemical Speciation Monitor, ACSM)與氣膠質譜儀([Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer, AMS](#))都屬於這種應用技術。此技術能夠實時測量非耐火亞微米氣膠顆粒(non-refractory sub-micron aerosol particles)的質量濃度和化學成分。實時測量可以解決離線分析的一些侷限性，例如樣品的揮發損失及化學變化等等。非耐火的定義係指真空中，600°C以下能夠快速汽化的氣膠粒子，包括有機物、硫酸鹽、硝酸鹽、銨及氯化物等。

細懸浮微粒的含水量不僅是質量量測的干擾因子，對於微粒在大氣中的物理化學行為也有重要的影響。Parworth et al. (2017)於2013年冬季在美國加州聖華金谷，採用了一套完整的氣膠化學監測系統，結合AMS、Denuder和PILS-IC，提供高解析度的細懸浮微粒化學資訊，進而以E-AIM計算環境中的氣膠含水量。除了提供豐富完整的氣膠化學資料之外，這篇論文最重要的結果為：平均微粒含水量高達 $19.2 \pm 18.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ，貢獻原大氣濕度平衡狀態PM<sub>2.5</sub>質量的36%。如此高

的含水量，充分解釋了細懸浮微粒與濕度的交互作用以及霾害的產生過程。台灣的學術機構已經有足夠的能力執行相同的調查研究，應當納入後續的工作中，以協助解釋 PM<sub>2.5</sub> 對能見度的影響。

對於碳成分分析，Chow et al. (2015)評估了修改美國環保署 IMPROVE 碳成分分析協定，取代了原先只使用 633 nm 雷射波長來修正裂解碳的裝置，改裝設從 405 到 980 nm 有 7 個波長(含 635 nm)的雷射。新儀器以非色散紅外線光譜儀 (NDIR)直接分析碳成分燃燒後的 CO<sub>2</sub>，且研究中使用了由沉積在濾紙微粒構成的傳輸標準(transfer standards)並以 UV/VIS 光譜儀來標定(calibrate)這些傳輸標準。新儀器的反射(Reflectance, R)和透射(Transmittance, T)標定值不受大氣不同污染源(如：柴油車排放微粒、明火生質燃燒、煙煙生質燃燒)樣本的影響。和先前量測儀器比較，從都市和非都市樣本的總碳、OC、EC 濃度具有等似性以及針對 633 nm 和 635 nm 重複分析後精密度的符合性。其他多出波長可多獲得：(1)多波長遙控感應器的在地觀測可靠性，(2)改進對地球輻射觀測估算，(3)結合特定有機物的光吸收特性，(4)分辨出黑碳和褐碳的來源。

Wehner et al. (2004)於 2000 年 8、11 月在德國 Aachen 市距離高速公路旁 50 公尺處，以揮發性串聯式電移動度分徑系統(VTDMA)量測個別粒徑所含揮發性與非揮發性物質所佔比例，結果發現：非揮發性微粒的占比隨著微粒粒徑的增加而增加。在 30 奈米時，非揮發性的微粒數目僅佔總微粒數目的 26%；50 奈米時，非揮發性的微粒數目佔總微粒數目的比例增加至 77%。前述結果可能的原因是交通排放產生的氣膠微粒若介於 50 至 80 奈米之間，其成份主要為元素碳與有機碳。然而，粒徑介於 10 至 30 奈米之間氣膠微粒可能是排放後所形成衍生性氣膠微粒。元素碳揮發性低，衍生性氣膠揮發性高。

Furger et al. (2017)於 2015 年 7 月 23 日到 8 月 13 日在瑞士 Härkingen 地方比對 Xact 625 元素自動監測儀和手動採樣 ICP-OES 或 ICP-MS 量測值。Xact 625 測量元素的 MDL 採樣時間是以每小時為基礎，手動採樣器則是以 24 時為基準，若數據有超過 80%的值低於三倍偵測極限則將其排除。結果有 11 種元素

(鉀(K)、鈣(Ca)、鈦(Ti)、錳(Mn)、鐵(Fe)、銅(Cu)、鋅(Zn)、錫(Sn)、銻(Sb)、鋇(Ba)、鉛(Pb))的濃度大於 XRF 和離線方法之 MDL；7 種元素(釩(V)、鈷(Co)、砷(As)、硒(Se)、鎘(Cd)、鉑(Pt)、鉍(Bi))的濃度小於 XRF 之 MDL；3 種元素(鉻(Cr)、鎘(Cd)、汞(Hg))的濃度小於離線方法之 MDL。Xact 對硫(S)、矽(Si)和氯(Cl)三個元素的 MDL 尚未能確定。量測數據以 10 個 24 小時平均的 Xact 數據和 PM<sub>10</sub> 24 小時濾紙數據，並以 ICP-OES 分析主要元素，ICP-MS 分析微量元素來比較。10 個元素(S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Pb)有很好的相關性( $r^2$  值  $\geq 0.95$ )，但迴歸線斜率(以 ICP-OES 或 ICP-MS 量測值為 X 軸)在 0.97 到 1.8 之間變動，亦即，Xact 元素量測值較高於 ICP 量測值。XRF 的干擾包括較輕元素的自吸收以及兩種元素間的譜線干擾，系統的平均差異在 25 %到 30 % 之間是由於實驗設定不同所造成，包括：採樣入口的不同、入口與採樣環境的距離以及不同分析方法的不確定性。本篇文獻以煙火期的高金屬濃度排放事件討論 Xact 的高時間分辨率採樣的優勢。對煙火期的峰值進行小時值的間接比較，當 Xact 數據從 24 小時值進行校正迴歸後，與總質量有良好的一致性。結果顯示在高時間分辨率下，使用 Xact 量測多項金屬元素濃度並進行環境監測是可行的。

Wang et al. (2017)使用高解析度的 UHPLC-HESI-Orbitrap-MS 分析上海市 2014 年 7 月和 10 月以及 2015 年 1 月和 4 月的 PM<sub>2.5</sub>，在各個樣品中，正、負離子質譜分別分析出了 860-1790 及 810-1510 個分子訊號，充分顯示出 PM<sub>2.5</sub> 所含有機物組成的複雜性。質譜分析的結果顯示：冬季的有機氣膠濃度高且組成複雜，推測是受到華北空氣污染傳輸的影響；夏季的氣膠組成則相對較單純。有機氧化物(CHO)和有機硫氧化物(CHOS)皆呈現明顯的日夜差異，因此推測這兩類氣膠的生成是由光化學反應所主導，同時含有氮、硫的有機物(CHONS)濃度呈現夜間較高的現象，推測其生成機制主要與 NO<sub>3</sub> 自由基的化學反應有關。本研究分析鑑識出的有機化學組成顯示：上海的有機氣膠來源涵蓋生質燃燒、油料燃燒或汽機車排氣、生物源有機物氧化等，此項結果與一般對都市有機氣膠的認知相同。



本研究特殊的貢獻在於由質譜分析的結果研判上海市區有機氣膠生成的關鍵機制，研究結果指出：光化學反應中的環氧中間物與有機硫化物的生成有重要關聯，氨氣和羰基的反應系統以及夜間  $\text{NO}_3$  自由基的反應則與有機氮化物的生成有關。高解析度的有機化學分析確實可以對有機氣膠的生成機制提供重要的科學資訊，然而，絕大多數的有機分子都無法獲得定量用的標準品，因此，類似 Wang et al. (2017) 的研究僅能以分子組成的特徵和質譜偵測器的相對訊號豐富度進行污染現象解析，無法對特定污染源的影響程度進行定量評估。

Zhu et al. (2017) 於 2011 年冬季和 2012 年春季在中國北京市使用 1 秒鐘解析度的粒徑分析資料探討北京街谷中氣膠微粒的生成現象。透過高時間解析度的分析，本研究提出兩項重要的觀測結果：(1) 街谷中新微粒的生成可能僅維持 10-20 分鐘，而且不一定會伴隨顯著的粒徑增長；(2) 新生微粒的成長會先經過一個緩慢的過程 ( $< 0.6 \text{ nm hr}^{-1}$ )，之後急遽加快至  $2.2\text{-}9.3 \text{ nm hr}^{-1}$ 。研究結果顯示：雖然街谷中較高的微粒濃度和建築物表面積可能壓抑微粒的生成，但是由汽機車排出的有機物及胺類物質可能強化街谷中硫酸分子轉化為新微粒及持續成長的過程，這個現象在冬季特別顯著；反之，在街谷上方，由於冬季的生物源有機物排放減少，區域尺度的新微粒生成率相對較低。此外，本研究推測微粒成長過程的急遽變化是氣膠組成分子的相平衡轉化所致，亦即氣膠前驅物的氧化產物濃度超過了系統的平衡點，因而轉換至微粒相，造成微粒濃度急遽增加，空氣品質也隨之惡化。基於對民眾健康的保護，街谷中的微粒濃度越來越受到關注，Zhu et al. (2017) 的研究顯示車輛排氣產生氣膠的過程具有獨特的物理化學機制，無論是傳統的區域尺度大氣模式或是原生性車輛微粒排放資料中，都缺少相關的參數，由此推測，現有的各種評估資料或工具必然低估了汽機車排氣衍生的  $\text{PM}_{2.5}$ 。都市街谷中複雜的大氣化學反應亟需要進一步的研究。

Nakayama et al. (2017) 開發出一種新的手掌大小光學  $\text{PM}_{2.5}$  感測器，其量測原理是考慮微粒光散射強度與微粒粒徑之間的關係，利用光散射強度的分佈計算  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度。實驗室測試的結果表明，該  $\text{PM}$  感測器可以檢測直徑小至 0.3

$\mu\text{m}$  的微粒，並且可以測量高達  $600 \mu\text{g m}^{-3}$  的  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度。本研究在福岡，Kadoma，春日井和日本東京的四個城市和郊區城市進行了全年的環境觀測。日均  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度資料與 Kadoma 站的標準儀器量測數據具有一致性，斜率為  $1.07\sim 1.16$ ，相關係數 (R) 為  $0.90\sim 0.91$ 。另與距觀測點 1.7-4.1 公里最近的日本環境部監測站數具相比，斜率為  $0.97\text{-}1.23$ ，R 值  $0.89\text{-}0.95$ 。除東京以外，冬季觀察到的斜坡略大於夏季，這可能是由於光化作用形成較小的二次微粒。在較高的相對濕度條件下 ( $> 70\%$ ) 時，與標準儀器相比，此微型 PM 感測器有可能高估  $\text{PM}_{2.5}$  的質量濃度(除了福岡外)，這可能是由於微粒的吸濕性增長。本研究顯示，該微型 PM 感測器可在城市和郊區環境中提供合理的  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度數據，並應用於  $\text{PM}_{2.5}$  環境和健康影響的研究。

表 4.6.1 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測技術發展

議題	地點及結果	意涵	文獻
監測技術發展	在加拿大安大略溫莎地區的微粒採樣以 ED-XRF 和 ICP-MS 分別分析比對，較高濃度元素 ED-XRF 和 ICP-MS 相關性可達 $R^2 \geq 0.7$ ，這些元素為 Fe, Mn, Zn, Pb, Cu。ED-XRF 對於採集 24 小時樣本的 S, Ca, Mn, Fe 和 Zn 分析不確定性低，有 78%-100% 重複採樣樣本可以通過品質標準。ICP-MS 對很多元素分析都可以通過品質標準。	ICP-MS 可以量測很微量元素，但容易在處理樣本過程受到污染，須儘量減少濾紙樣本的前處理。較長採樣時間獲得的較大採樣體積通常會有較高的量測相關性和較低不確定性。	Niu et al. (2010)
	在澳洲雪梨北方小鎮 Boolaroo 針對土壤樣本的量測，ICP-MS 對於標準樣本的 Mn 和 Pb ( $R^2 \geq 0.999$ )，Cu, Zn, Cd 則為 $R^2 \geq 0.995$ 。野外可攜式 XRF (field portable X-ray fluorescence, pXRF) 比 ICP-MS 在 Ti, Cr, Fe 量測效能較好，在 Mn, Cu, Zn, Sr, Cd, Pb 相當，但對於 Ni, As 的量測效能則較差。	XRF 量測樣本須有較高濃度(5~10 g)，ICP-MS 只需要~0.5 g，對於 Ni 的量測，兩種方法相關性極差，在較高濃度則較佳。	Rouillon 和 Taylor(2016)
	2012 年 4 月到 2013 年 10 月在韓國春川市(旅遊城市)及寧越郡(有兩座大水泥廠的小鎮)的 PM <sub>2.5</sub> 採樣，得到相近 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度，但彼此間的化學成分卻明顯不同。春川市塵土元素濃度顯著地高於寧越郡，但寧越郡人為源排放的金屬元素濃度則普遍高於春川市。塵土元素通常在春天高風速下濃度高，但水泥工業區大多數金屬元素在冬天都有增強。主成分分析辨識出春川市的 PM <sub>2.5</sub> 主要來源是塵土再懸浮、交通相關污染源、柏油水泥生產；寧越郡的主要污染源則是水泥工業、鎳-鉻電鍍業以及其他工業活動。	藉由變異係數(標準偏差/算數平均值)較高代表在地污染源影響較大的計算，春川市的變異係數得到 0.60，寧越郡則得到 0.82，顯示寧越郡受到當地污染源影響較大。值得注意的是，水泥煉製輔助燃料常常使用廢棄木頭、廢棄樹脂、廢棄塑膠，因此，廢棄會排放含 Cr 以及 Ni, Zn, As, Pb 等重金屬。	Han et al. (2015)
	2014 年 2 月 26 日至 3 月 27 日於中國寶雞的研究。該地區非耐火亞微米氣溶膠(NR-PM <sub>1</sub> )成分主要為有機物(55%)，其次是硫酸鹽(16%)、硝酸鹽(15%)、銨(11%)和氯化物(3%)。	相對於離線採樣分析，實時測量可以解決離線分析的一些限制，例如樣品的揮發損失及化學變化等等。	Wang et al. (2017)
	2013 年冬季在美國加州聖華金谷，採用了一套完整的氣膠化學監測系	如此高的氣膠含水量，充分解釋了細懸	Parworth et al.

統，結合 AMS、Denuder 和 PILS-IC，提供高解析度的細懸浮微粒化學資訊，進而以 E-AIM 計算環境中的氣膠含水量。計算結果發現：氣膠平均含水量高達 $19.2 \pm 18.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ，貢獻原大氣濕度平衡狀態 $\text{PM}_{2.5}$ 質量的 36%。	浮微粒與濕度的交互作用以及霾害的產生過程。台灣應當將氣膠含水量納入後續的工作中，以協助解釋 $\text{PM}_{2.5}$ 對能見度的影響。	(2017)
本文評估了修改美國環保署 IMPROVE 碳成分分析協定，取代了原先只使用 633 nm 雷射波長來修正裂解碳的裝置，改裝設從 405 到 980 nm 有 7 個波長(含 635 nm)的雷射。和先前量測儀器比較，從都市和非都市樣本的總碳、OC、EC 濃度具有等似性以及針對 633 nm 和 635 nm 重複分析後精密度的符合性。	除了多波長雷射外，新儀器以非色散紅外線光譜儀(NDIR)直接分析碳成分燃燒後的 $\text{CO}_2$ ，研究中且使用了由沉積在濾紙微粒構成的傳輸標準(transfer standards)並以 UV/VIS 光譜儀來標定(calibrate)這些傳輸標準。	Chow et al. (2015)
本文於 2000 年 8、11 月在德國 Aachen 市距離高速公路旁 50 公尺處，以揮發性串聯式電移動度分徑系統(VTDMA)量測個別粒徑所含揮發性與非揮發性物質所佔比例，結果發現：非揮發性微粒的占比隨著微粒粒徑的增加而增加。在 30 奈米時，非揮發性的微粒數目僅佔總微粒數目的 26%；50 奈米時，非揮發性的微粒數目佔總微粒數目的比例增加至 77%。	由於交通排放產生的氣膠微粒若介於 50 至 80 奈米之間，其成份主要為元素碳與有機碳。然而，粒徑介於 10 至 30 奈米之間氣膠微粒可能是排放後所形成衍生性氣膠微粒。元素碳揮發性低，衍生性氣膠揮發性高。	Wehner et al. (2004)
本研究於 2015 年 7 月 23 日到 8 月 13 日在瑞士 Härkingen 地方比對 Xact 625 元素自動監測儀和手動採樣 ICP-OES 或 ICP-MS 量測值。結果有 10 個元素(S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Pb)有很好的相關性( $r^2$ 值 $\geq 0.95$ )，但迴歸線斜率(以 ICP-OES 或 ICP-MS 量測值為 X 軸)在 0.97 到 1.8 之間變動，亦即，Xact 元素量測值較高於 ICP 量測值。	本研究發現 Xact 625 元素自動監測儀和手動採樣 ICP-OES 或 ICP-MS 量測值。結果有 10 個元素(S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Pb)有令人驚訝的優良相關性( $r^2$ 值 $\geq 0.95$ )，顯示即使在高時間分辨率下，使用 Xact 量測多項金屬元素濃度並進行環境監測是可行的。	Furger et al. (2017)
使用高解析度的 UHPLC-HESI-	本研究特殊的貢獻在	Wang et al.

<p>Orbitrap-MS 分析上海市 2014 年 7 月和 10 月以及 2015 年 1 月和 4 月的 PM<sub>2.5</sub>，結果顯示：冬季的有機氣膠濃度高且組成複雜，推測是受到華北空氣污染傳輸的影響；夏季的氣膠組成則相對較單純。有機氧化物(CHO)和有機硫氧化物(CHOS)皆呈現明顯的日夜差異，因此推測這兩類氣膠的生成是由光化學反應所主導，同時含有氮、硫的有機物(CHONS)濃度呈現夜間較高的現象，推測其生成機制主要與 NO<sub>3</sub> 自由基的化學反應有關。</p>	<p>於由質譜分析的結果 (2017) 研判上海市區有機氣膠生成的關鍵機制，研究結果指出：光化學反應中的環氧中間物與有機硫化物的生成有重要關聯，氮氣和羰基的反應系統以及夜間 NO<sub>3</sub> 自由基的反應則與有機氮化物的生成有關。</p>
<p>本研究於 2011 年冬季和 2012 年春季在中國北京市使用 1 秒鐘解析度的粒徑分析資料探討北京街谷中氣膠微粒的生成現象。結果發現：(1) 街谷中新微粒的生成可能僅維持 10-20 分鐘，而且不一定會伴隨顯著的粒徑增長；(2) 新生微粒的成長會先經過一個緩慢的過程 (<math>&lt; 0.6 \text{ nm hr}^{-1}</math>)，之後急遽加快至 <math>2.2\text{-}9.3 \text{ nm hr}^{-1}</math>。</p>	<p>雖然街谷中較高的微粒濃度和建築物表面積可能壓抑微粒的生成，但是由汽機車排出的有機物及胺類物質可能強化街谷中硫酸分子轉化為新微粒及持續成長的過程，這個現象在冬季特別顯著。 Zhu et al. (2017)</p>
<p>本研究開發出一種新的手掌大小光學 PM<sub>2.5</sub> 感測器，其量測原理是考慮微粒光散射強度與微粒粒徑之間的關係，利用光散射強度的分佈計算 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度。本研究亦在福岡，Kadoma，春日井和日本東京的四個城市和郊區城市進行了全年的環境觀測，日均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度資料與 Kadoma 站的標準儀器量測數據具有一致性，斜率為 1.07~1.16，相關係數 (R) 為 0.90~0.91。另與距觀測點 1.7-4.1 公里最近的日本環境部監測站數具相比，斜率為 0.97-1.23，R 值 0.89-0.95。</p>	<p>在較高的相對濕度條件下 (&gt; 70%) 時，與標準儀器相比，此微型 PM 感測器有可能高估 PM<sub>2.5</sub> 的質量濃度(除了福岡外)，這可能是由於微粒的吸濕性增長。本研究顯示，該微型 PM 感測器可在城市和郊區環境中提供合理的 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度數據，並應用於 PM<sub>2.5</sub> 環境和健康影響的研究。 Nakayama et al. (2017)</p>

#### 4.6.2 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子

表 4.6.2 精簡列出 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子相關文獻，北京常受到 PM<sub>2.5</sub> 污染的嚴重影響，尤其在冬天已成為重大關切議題。Cheng et al. (2016)發現冬季期間北京每日 PM<sub>2.5</sub> 跟隨每日相對濕度而變化，隨著 PM<sub>2.5</sub>(或相對濕度)的增加，水溶性成分(特別是無機離子)變得更增強，且水溶性有機碳相對於有機碳的比例增加。硝酸鹽相對於硫酸鹽的比例也表現出依相對濕度而定，且較十年前的比例高，這與氮氧化物排放的增加趨勢一致。在高相對濕度下，水不可溶有機碳與元素碳的比例顯著增加，可能原因為不溶水的二次有機氣膠生成。此外，在 1996 至 2013 期間北京偶有潮濕的冬季發生，預期在高 PM<sub>2.5</sub> 濃度將有利於空氣污染事件的生成。

Rattanavaraha et al. (2016)分析 2013 年夏季 Southern Oxidant and Aerosol Study (SOAS)在 Birmingham 測站(Alabama, USA)進行的氣膠實驗數據，探討人為污染對 isoprene 氧化為有機氣膠的影響。實驗期間 isoprene 氧化物平均貢獻有機氣膠質量 7%，最高達 20%。研究結果顯示：isoprene 的指標氧化物在夜間的濃度與 NO<sub>3</sub> 自由基生成率間存在顯著的相關性，因此人為的 NO<sub>x</sub> 污染可促進 isoprene 在夜間氧化，增加有機氣膠的生成率。除了 NO<sub>3</sub> 自由基的夜間反應，O<sub>3</sub> 在日間與 isoprene 的反應也應對有機氣膠的生成具有重要的貢獻，但是研究數據中 isoprene 氧化物與 O<sub>3</sub> 濃度的相關性並不高，本研究反而發現氣膠中硫酸根離子的濃度與 isoprene 氧化物濃度間存在顯著的相關性，作者們推論硫酸鹽微粒在高濕度環境潮解後，經由增加氣膠中的水分促進 isoprene 氧化物溶入氣膠，和提供質子促進 isoprene 的酸催化開環反應，這都對氣膠的生成量具有關鍵性。本研究的結果顯示：人為污染造成的 O<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 NO<sub>3</sub> 自由基等污染物都可以促進 isoprene 被氧化生成有機氣膠的反應過程，因而增加大氣中生物源有機氣膠的負荷。

二次有機氣膠(Secondary Organic Aerosols, SOA)是細懸浮微粒的重要組成之

一，SOA 不僅在形成機制中牽涉複雜的相轉化過程，其在大氣中的相態(液態或固態)對於 SOA 的物理化學性質和大氣中的傳輸行為都有極重要的影響。傳統的模式中通常假設 SOA 為均勻混和的液態物質，可能獨立存在或凝結在其他微粒的表面。Shiraiwa et al. (2017)首先發展出以 SOA 分子特徵為基礎的參數方法，較精確地估計 SOA 的相轉化溫度  $T_g$  (指將物質由固態轉為非平衡之半固態所需的溫度)，進而評估 SOA 在全球的相態分布。以分子量約 300 的 SOA 分子而言，相轉化溫度  $T_g$  剛好在台灣的氣溫範圍(280–300 °K)，以此推測，台灣地區 SOA 的相態分布和物理化學性質應當存在十分複雜的季節和日夜變化，後續研究應思考如何將此參數納入大氣化學模式之中。

Arakaki et al. (2014)在日本沖繩縣從西向東的三個小島採集總懸浮微粒，評估氣流傳輸對氣膠濃度的影響。作者們發現受亞洲大陸沙塵傳輸影響時， $Mg^{2+}/Na^+$  比值會增大。非海鹽硫酸鹽(nss  $SO_4^{2-}$ )濃度從西往東降低，但  $NO_3^-$  濃度在西向東的三個小島不大變動。推測原因是  $SO_2$  很快會被吸附到液相氣膠或雲滴(亨利常數  $K_H = 1.2 \text{ M atm}^{-1}$ )，和  $H_2O_2$  及  $O_3$  反應形成  $H_2SO_4$ 。大部分的  $SO_2$  從亞洲大陸傳輸到沖繩縣已經氧化成 nss  $SO_4^{2-}$ ，這些 nss  $SO_4^{2-}$  主要存在於細微粒，因為粗微粒較容易發生乾、濕沉降，在沒有新的  $SO_2$  排放源下，所形成的 nss  $SO_4^{2-}$  就會隨著傳輸距離增加而降低濃度。至於  $NO_2$  的亨利常數  $K_H = 1 \times 10^{-2} \text{ M atm}^{-1}$ ，所以  $NO_x$  在大氣反映主要是經由氣相與 OH 反應，經觀察在長程傳輸後，大氣  $NO_y$  存在量仍大，這些  $NO_y$  會轉化成  $HNO_3$  吸附到液相形成  $NO_3^-$ 。由於  $HNO_3$  不斷生成，補充乾、濕沉降損失，因此，經傳輸相當距離後， $NO_3^-$  濃度相對於 nss  $SO_4^{2-}$  濃度變動不大。

Fu et al. (2015)的研究發現：提高大氣中酸度可能會影響衍生性有機碳的生成，進而影響  $PM_{2.5}$  濃度。依據實地量測與熱力學模式模擬，珠江三角洲地區自 2007 至 2012 年在秋冬季  $PM_{2.5}$  總酸度與現址酸度皆顯著減少，遞減率分別為  $-32 \pm 1.5 \text{ nmol m}^{-3} \text{ year}^{-1}$  與  $-9 \pm 1.7 \text{ nmol m}^{-3} \text{ year}^{-1}$ 。酸度的變化主要來自  $PM_{2.5}$  成分改變，由於硫酸鹽的減少速率大於增加速率使得硝酸鹽成長，導致總

酸度與現址酸度減少速率。作者們將資料分為非霾害期間低酸度、非霾害期間高酸度、霾害期間低酸度、霾害期間高酸度等四個區間。在非霾害期的高酸度樣本中，有機物質與硫酸鹽濃度皆略高於低酸度的樣本；硝酸鹽、銨鹽、元素碳、其他則沒有明顯的差異。霾害期間高酸度與低酸度各成分差異的趨勢大致與非霾害期間相似，只有有機物質的濃度差異異常明顯。在遭遇霾害且大氣環境為高酸度的情形下，其有機物質濃度較同為霾害期但大氣酸度不高時的濃度高出 50% 以上，而有機物質成分中增加最明顯的為衍生性有機碳。作者提到許多實驗室觀察發現衍生性有機碳會隨氣膠酸度而增加，脂肪醛的酸催化非均相反應可以讓有機物質的形成增加 5 倍。整體而言，某些地區高污染期間使大氣酸度上升，而當酸度上升時可能會誘發一些大氣化學反應形成更多的衍生性污染物，導致空氣品質更加惡化。

亞洲沙塵與 PM<sub>2.5</sub> 污染事件已對於台灣空氣品質造成明顯的影響，然而氣象型態與大氣狀況在亞洲沙塵與 PM<sub>2.5</sub> 污染事件中並不全然相似。Lai et al. (2015) 利用天氣型態、長程傳輸路徑與發生 PM<sub>2.5</sub> 事件的靜滯條件闡明天氣特徵，空氣品質與氣象資料為 2006 至 2013 年由政府單位所量測，並以 Nozaki planetary boundary layer height (PBLH) 計算混合層高度，基於 NASA's GMAO (Global Modeling Assimilation Office) 與 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 軌跡分析作為逆軌跡模擬網格分析數據。作者們將 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度高於 62  $\mu\text{g m}^{-3}$  者定義為 PM<sub>2.5</sub> 事件日，共 64 天；PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度低於 25  $\mu\text{g m}^{-3}$  者為低濃度水平日，共 216 天。事件日混合層平均高度為 601.95 m，低濃度日為 995.18 m；事件日平均風速為 1.59  $\text{m s}^{-1}$ ，低濃度日為 3.01  $\text{m s}^{-1}$ ；事件日平均雨量為 2.37  $\text{mm day}^{-1}$ ，低濃度日為 7.00  $\text{mm day}^{-1}$ ；事件日平均日照量為 10.52  $\text{MJ m}^{-2}$ ，低濃度日為 6.82  $\text{MJ m}^{-2}$ 。結果顯示，氣象條件在低混合層高度、低風速、低降雨量、強日照等天氣特徵有利於誘導 PM<sub>2.5</sub> 事件發生。此外，進一步研究事件日資料，在 64 個 PM<sub>2.5</sub> 事件日中，多數事件日的氣象特徵為低混合層、低風速；但有 9 次事件發生時混合層高度大於 1000 m 且風速明顯較平常高，此可能



是受到污染物傳輸進入的影響。87.5%的  $\text{PM}_{2.5}$  事件發生於冬季，並導致較高濃度，並非所有沙塵事件都會伴隨  $\text{PM}_{2.5}$  事件發生。在  $\text{PM}_{2.5}$  事件日中，80%的天氣型態為台灣天氣條件受到極地大陸高壓主導，當高壓系統自中國大陸移動至海上，其高壓中心未通過  $125^\circ\text{E}$ ，此時靜滯鋒面自華南至東海發展並向東移動。

Gao et al. (2015)研究北京兩次霾事件中  $\text{PM}_{2.5}$  及  $\text{PM}_{10}$  的化學特徵，分別為秋季(2011 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)和冬季(2013 年 1 月 27 日至 31 日)。作者們提到霾事件日的空氣品質比正常日差很多，可能是相對低的風速和高相對濕度造成原生性污染物累積在大氣中，並形成二次衍生污染物，使大氣微粒子濃度上升。在霧霾事件中，氣膠的衍生性離子所佔比率較平常日更多，並且在  $\text{PM}_{2.5}$  貢獻的比率高於  $\text{PM}_{10}$ 。在不同粒徑下  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  比值變化顯示，北京市區移動污染源的貢獻比例隨交通工具數目快速成長而增加。此外，作者利用 HYSPLIT 模式解釋由境外傳輸污染來源的可能性，兩次事件期間的逆軌跡主要來源方向為西方與南方：由西方輸入的污染物夾帶大量地殼元素，而由南方輸入則有較高比例的人為污染物組成。作者推論此二次霧霾事件是由於北京地區大氣凝滯，加上北京周遭污染物傳輸所造成的綜合影響。

Ricciardelli et al. (2017)自 2011 年起在義大利寶谷(Po Valley)南方四個站點執行連續 3 年以上的  $\text{PM}_{2.5}$  採樣，並分析主要化學成分。寶谷地區是歐洲污染最嚴重的地區之一。寶谷地區氣膠含量和成分受各種因素的影響：該地區人口眾多工業發達，同時道路運輸所造成的貢獻也很可觀；此外，該地區盆地土壤肥沃，農業活動與畜牧業亦發達。寶谷周遭地形和氣候進一步加劇了這種情況。阿爾卑斯山脈和亞平寧山脈經常限制義大利北部和歐洲大陸其他地區之間的氣流交流。這些條件導致該地區內的空氣停滯，從而促進大氣化學反應導致二次衍生污染物的形成。此外，該地區冬季  $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯較夏季高，而冬季  $\text{PM}_{2.5}$  主要成分之一為硝酸銨。作者提到氨氣的貢獻量充足與否為形成硝酸銨的限制條件之一，大氣中氨氣的主要來源為農業；因寶谷地區農業發達，同時又有發達的工業及道路運輸，造成異常豐富的硝酸銨冬季濃度。

本研究(Souri et al., 2017)主要是以 CMAQ 模式評估生質燃燒對於美國細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)中無機氣膠濃度的影響。研究中以 CO 濃度的增幅區隔生質燃燒的程度，分析結果顯示：中低程度的生質燃燒(CO 增量在 5 – 20 ppbv 之間)可造成硫酸離子(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)增加  $1.16 \pm 0.32 \text{ nmol/m}^3$ ，硝酸離子(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)和銨離子(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)的增加量分別為  $0.36 \pm 0.63$  及  $2.70 \pm 0.92 \text{ nmol/m}^3$ ；但是在 CO 增加超過 20ppbv 的嚴重事件中，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的增加量可分別達到  $6.57 \pm 4.65$ 、 $4.70 \pm 7.05$ 、 $17.82 \pm 15.17 \text{ nmol/m}^3$ ，對空氣品質的影響是不可忽略的。導致此項影響主要的機制包括：1.) 生質燃燒增加了大氣中臭氧、OH 自由基和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等氧化劑濃度，因而提升了 S(IV)氧化為 S(VI)的速度以及硫酸鹽微粒的生成；2.) 生質燃燒增加了大氣中 NH<sub>3</sub> 和 HNO<sub>3</sub> 的濃度，進而增加了硝酸銨微粒的生成。近期的許多研究皆指出生質燃燒是台灣中、南部重要的 PM<sub>2.5</sub> 來源之一，但是通常僅著重在討論對原生性碳微粒的影響，此項研究顯示經由提高大氣的氧化能力，生質燃燒也可以影響硫酸鹽和硝酸鹽等二次無機氣膠的濃度。此外，本研究在應用模式前，採用了大量的監測資料進行模式驗證，相對而言，我國對於模式驗證的要求以及能提供模式驗證的氣膠化學資料都還需要加強，才能執行類似的定量污染評估研究。

表 4.6.2 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子

議題	地點及結果	意涵	文獻
PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子	冬季期間北京每日 PM <sub>2.5</sub> 跟隨每日相對濕度而變化，隨著 PM <sub>2.5</sub> (或相對濕度)的增加，水溶性成分(特別是無機離子)變得更增強，且水溶性有機碳相對於有機碳的比例增加。	硝酸鹽相對於硫酸鹽的比例也表現出依相對濕度而定，且較十年前的比例高，這與氮氧化物排放的增加趨勢一致。在高相對濕度下，水不可溶有機碳與元素碳的比例顯著增加，可能原因為不溶水的二次有機氣膠生成。	Cheng et al. (2016)
	2013 年夏季在 Birmingham 測站(Alabama, USA)進行的氣膠實驗數據，探討人為污染對 isoprene 氧化為有機氣膠的影響。研究結果顯示：isoprene 的指標氧化物在夜間的濃度與 NO <sub>3</sub> 自由基生成率間存在顯著的相關性。另外，氣膠中硫酸根離子的濃度與 isoprene 氧化物濃度間存在顯著的相關性，作者們推論硫酸鹽微粒在高濕度環境潮解後，經由增加氣膠中的水分促進 isoprene 氧化物溶入氣膠，和提供質子促進 isoprene 的酸催化開環反應，這都對氣膠的生成量具有關鍵性。	本研究的結果顯示：人為污染造成的 O <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 和 NO <sub>3</sub> 自由基等污染物都可以促進 isoprene 被氧化生成有機氣膠的反應過程，因而增加大氣中生物源有機氣膠的負荷。	Rattanavara et al. (2016)
	本研究發展全球模式，針對以 SOA 分子特徵為基礎的參數方法，較精確地估計 SOA 的相轉化溫度 T <sub>g</sub> (指將物質由固態轉為非平衡之半固態所需的溫度)，進而評估 SOA 在全球的相態分布。	以分子量約 300 的 SOA 分子而言，相轉化溫度 T <sub>g</sub> 剛好在台灣的氣溫範圍(280 – 300 °K)，後續研究應思考如何將此參數納入大氣化學模式之中。	Shiraiwa et al. (2017)
	本文在日本沖繩縣從西向東的三個小島採集總懸浮微粒，評估氣流傳輸對氣膠濃度的影響。發現受亞洲大陸沙塵傳輸影響時，Mg <sup>2+</sup> /Na <sup>+</sup> 比值會增大。非海鹽硫酸鹽 (nss SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )濃度從西往東降低，但 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度在西向東的	推測原因是 SO <sub>2</sub> 很快會被吸附到液相氣膠或雲滴，大部分的 SO <sub>2</sub> 從亞洲大陸傳輸到沖繩縣已經氧化成 nss SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ，在沒有新的 SO <sub>2</sub> 排放源下，所形成的 nss SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 就會隨著傳輸距離增加而降低濃度。經觀察在長程傳輸	Arakaki et al. (2014)

三個小島不大變動。	後，大氣 $\text{NO}_y$ 存在量仍大，這些 $\text{NO}_y$ 會轉化成 $\text{HNO}_3$ 吸附到液相形成 $\text{NO}_3^-$ 。由於 $\text{HNO}_3$ 不斷生成，補充乾、濕沉降損失，因此，經傳輸相當距離後， $\text{NO}_3^-$ 濃度相對於 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度變動不大。	
自 2007 至 2012 年在中國珠江三角洲地區研究發現：遭遇霾害且大氣環境為高酸度的情形下，其有機物質濃度較同為霾害期但大氣酸度不高時的濃度高出 50% 以上，而有機物質成分中增加最明顯的為衍生性有機碳。	高污染期間使大氣酸度上升，誘發一些大氣化學反應形成更多的衍生性污染物，導致空氣品質更加惡化。	Fu et al. (2015)
Lai et al. (2015) 利用 2006 至 2013 年由政府單位所量測空氣品質與氣象資料，分析天氣型態、長程傳輸路徑與發生 $\text{PM}_{2.5}$ 事件關係。結果顯示，氣象條件在低混合層高度、低風速、低降雨量、強日照等天氣特徵有利於誘導 $\text{PM}_{2.5}$ 事件發生。	在 64 個 $\text{PM}_{2.5}$ 事件日中，多數事件日的氣象特徵為低混合層、低風速；但有 9 次事件發生時混合層高度大於 1000 m 且風速明顯較平常高，此可能是受到污染物傳輸進入的影響。	Lai et al. (2015)
針對北京 2011 年秋季和 2013 年冬季兩次霾事件中 $\text{PM}_{2.5}$ 及 $\text{PM}_{10}$ 的化學特徵比較，發現：在霧霾事件中，氣膠的衍生性離子所佔比率較平常日更多，並且在 $\text{PM}_{2.5}$ 貢獻的比率高於 $\text{PM}_{10}$ 。	這二次霧霾事件是由於北京地區大氣凝滯，加上北京周遭污染物傳輸所造成的綜合影響。	Gao et al. (2015)
2011~2014 年在義大利寶谷 (Po Valley) 南方四個站點執行 $\text{PM}_{2.5}$ 採樣，並分析主要化學成分，指出：冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度明顯較夏季高，而冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 主要成分之一為硝酸銨。	氨氣貢獻量充足將造成氣膠硝酸銨的形成，大氣中氨氣的主要來源為農業，因寶谷地區農業發達，同時又有發達的工業及道路運輸，造成異常豐富的硝酸銨冬季濃度。	Ricciardelli et al. (2017)
本研究以 CMAQ 模式評估 2012~2014 年 4 月至 10 月美國化學成分監測網 (CSN) 數據，探討生質燃燒對於美國細懸浮微粒 ( $\text{PM}_{2.5}$ ) 中無機	導致此項影響主要的機制包括：1.) 生質燃燒增加了大氣中臭氧、OH 自由基和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 等氧化劑濃度，因而提升了 S(IV) 氧化為 S(VI) 的速度以	Souri et al., 2017

---

氣膠濃度的影響。分析結果顯示：中低程度的生質燃燒(CO 增量在 5 – 20 ppbv 之間)可造成  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  適量增加，但是在 CO 增加超過 20ppbv 的嚴重事件中， $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的增加量大為增加，對空氣品質的影響是不可忽略的。

---

及硫酸鹽微粒的生成；2.) 生質燃燒增加了大氣中  $\text{NH}_3$  和  $\text{HNO}_3$  的濃度，進而增加了硝酸銨微粒的生成。

#### 4.6.3 解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受體模式污染來源

表 4.6.3 整理出解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受體模式污染來源相關文獻，Brown et al. (2015)使用 2003 至 2009 年美國化學成分監測網 (CSN) 在加州沙加緬度市的數據、2006 年威斯康辛州密爾瓦基市的水質樣本以及 2008 年內華達州拉斯維加斯市的有機氣膠監測數據三種不同類型數據帶入 PMF 5.0 版本中作為操作示範，並提出操作過程中的建議。PMF 5.0 版本提供三種誤差評估方法 Bootstrap (BS)、Displacement (DISP)、Bootstrap-Displacement (BS-DISP)，這三種方法可對模式執行過程中產生的隨機誤差以及轉軸模糊進行評估，過程中會輸出診斷資料，使用者可利用各因子中物種的四分位差，藉此評估物種在因子中的穩定性。文中也提出可透過 PMF 輸出的臨界參數  $Q$  以及  $Q_{\text{expected}}$  (樣本\*物種)-(因子數\*樣本+因子數\*物種) 兩者的比值藉此評估模式穩定性；若比值出現過大數值，表示模式結果沒有良好擬合。對於“總質量”在權重上的處理，部分文獻考量“總質量”在分析過程中包含了多種可能的誤差，因此會降低其權重，然而在受體模式中“總質量”並無法幫助解釋因子，而且也可能導致錯誤結果。對於 PMF 的 constraint 功能，如果針對 G-Space(貢獻量矩陣)圖直接進行貢獻量更改，可能會導致結果錯誤，因為污染物因子很少是完全獨立的，除非將已知特定污染源關閉，則指定貢獻源才可能設為 0。對於三種誤差評估方法，BS 則可以用做評估隨機誤差以及部分的轉軸模糊；DISP 可用做評估轉軸模糊；BS-DISP 雖然能捕捉到 DISP 與 BS 無法發現的因子換位現象，但是 BS-DISP 需要相當長的計算時間。

Manousakas et al. (2017)在希臘南方帕特雷市進行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測，監測地區為有 16 萬人居住的中型沿海城市，主要污染源來自交通車輛排放，該研究使用美國環保署 2014 年所釋出的 PMF 5.0 進行污染源推估。結果顯示 PMF 5.0 版本所提供的檢測工具對於較少數量樣本非常有用，透過新版本所提供的工具能有效降低推估因子間的轉軸模糊現象(rotational ambiguity)。最後推估出六

項可能的潛在污染源，各項污染源與其觀測期間占比分別為二次硫酸鹽類(34%)、機動車排放(34%)、生質燃燒(11%)、船舶(10%)、海鹽(9%)、沙塵(2%)，其中船舶排放源是該地區首次利用受體模式推估出的污染源。研究中使用新版本受體模式所提供的 **Constraint** 工具對於 **Base Model** 結果進行校正，校正方法分為兩類，第一類：強制提升已知指紋的污染源指標物種，例如生質燃燒因子中的物種 **BC (black carbon)** 透過工具強制提升占比，使其他因子 **BC** 降低；第二類則透過因子中指標元素固定組成，如文獻中使用 **V** 與 **Ni** 比值為 3 作為船舶污染源因子指紋，利用這項方法使其他指紋矩陣或是貢獻矩陣存在更多 0 值，就可降低轉軸模糊的發生。

Zong et al. (2016)於 2014 年 1 – 2 月間在渤海海濱的龍口環境監測站進行 **PM<sub>2.5</sub>** 採樣，化學分析項目除了包括水溶性離子、有機碳、元素碳、以及主要的金屬元素外，並且對選出的樣品分析其中水溶性有機碳、非水溶性有機碳、以及元素碳的放射性碳同位素(<sup>14</sup>C)含量。研究中使用 **PMF** 分析微粒化學組成數據推估出 8 種主要污染源對 **PM<sub>2.5</sub>** 的貢獻度，並特別對其中碳的來源加以分類，進而和 <sup>14</sup>C 的分析結果進行比較。Zong et al. (2016)的研究結果顯示：由山東半島傳至龍口的 **PM<sub>2.5</sub>** 中，生質燃燒約貢獻 52 – 59 %的 **OC** 及 49 – 52 %的 **EC**；由京津冀傳來的 **PM<sub>2.5</sub>** 中，生質燃燒約貢獻 41 – 45 %的 **OC** 及 33 – 38 %的 **EC**。兩者的差異反映出山東較多的生質燃燒和京津冀較多的車輛與燃煤污染源。**PMF** 推估的生質燃燒貢獻度略低於以 <sup>14</sup>C 推估的現代碳源貢獻度，考慮兩種方法分析內涵的差異和誤差，**PMF** 和 <sup>14</sup>C 分析結果的差異在合理的範圍內，此為首次有文獻對 **PMF** 和 <sup>14</sup>C 的分析結果進行相互驗證。

Han et al. (2015)比較 2002 至 2004 年與 2011 至 2013 年在北京地區各季節 **PM<sub>2.5</sub>** 濃度及其成分的監測數據

Wang et al. (2017)將有機氣膠成分代入 **PMF** 模式，來源解析可辨別為：烴類(hydrocarbon-like OA, HOA)、烹飪(cooking OA, COA)、生質燃燒(biomass burning OA, BBOA)、燃煤(coal combustion OA, CCOA)、輕度氧化(less-oxidized OOA, LO-

OOA) 和高度氧化(more-oxidized OOA, MO-OOA)，其貢獻分別為 20%、14%、13%、9%、23%和 21%。二次衍生物的貢獻由乾淨日至污染日呈現遞增趨勢，顯示二次氣膠生成過程對於導致微粒空氣污染的重要性。LO-OOA 與 MO-OOA 的生成主要來自光化學反應，但在大氣氧化能力低的期間顯著受到液相化學反的影響。

由於 PM<sub>2.5</sub> 可能造成嚴重的健康問題，在東南亞熱帶地區，PM<sub>2.5</sub> 對健康影響受到重視，然而 PM<sub>2.5</sub> 的濃度與來源強烈受到西南與東北方向季風的影響而改變。Khan et al. (2016)在馬來西亞吉隆坡近郊使用高量採樣器在 2013 年 9 月和 2014 年 1~2 月收集市郊地區 24 小時的 PM<sub>2.5</sub> 樣本，並以 ICP-MS 與 IC 分別分析微量元素與水溶性離子，數據分析後以 PMF 5.0 模式與質量閉合模式進行污染來源探討，藉由選擇特定金屬元素評估對人體的健康風險。該研究中分別有 48%與 19% 的樣本超過世界衛生組織 24 小時 PM<sub>2.5</sub> 的準則與美國 24 小時 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質標準，PM<sub>2.5</sub> 濃度在東北季風期間相對在西南季風期間略高，主要的微量金屬元素為 As、Pb、Cd、Ni、Mn、V 與 Cr，主要水溶性離子為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>與 Na。由質量閉合模式可辨別出 4 種主要污染源，共佔 PM<sub>2.5</sub> 質量組成 55%，4 種主要污染源為塵土物質(35%)、二次無機氣膠(11%)、海鹽(7%)與微量元素(2%)；PMF 可辨別出汽機車排放與生質燃燒(31%)、海洋/硫酸鹽氣膠(20%)、燃煤(19%)、硝酸鹽氣膠(17%)與塵土/揚塵(13%)。PM<sub>2.5</sub> 中選擇四種金屬(Pb、As、Cd 與 Ni)的危害商數，最高來自燃煤，最低為塵土/揚塵。就致癌風險而言，主要致癌風險來自 As，其他重金屬(Ni、Pb 與 Cd) 在目前 PM<sub>2.5</sub> 濃度下並不具顯著的致癌風險。整體而言，在該地區因 PM<sub>2.5</sub> 暴露有關的終身癌症風險為每百萬人中有 3-4 人。

Souto-Oliveira et al. (2016)在南美洲最大的都市(兩千萬人)——聖保羅——進行環境觀測實驗，其主要探討參數包含活化率和活化粒徑。在所有拉丁美洲的田野實驗中，探討城市氣膠對雲凝結核活化參數的影響的研究並不多，此為第一個在南美洲討論地區污染、遠地來源和新顆粒生成(NPF)對雲凝結核活化性質影響的研究。量測期間介於 2014 年的 8~9 月，量測過飽和度自 0.2%-1.0%的雲凝結核濃



度、總微粒濃度、總微粒分布、追蹤元素濃度和黑碳質量濃度。本研究主要著重在於探討地區排放、遠地汙染以及新顆粒生成(NPF)事件對雲凝結核(CCN)活化的影響。觀測期間新微粒生成(NPF)事件佔了 35%，結合正數矩陣分解(PMF)、光達資料和後推軌跡模式(HYSPLIT)，分析出幾乎觀測期間都有車輛排放汙染，而有 28%和 21%的時間為長程海鹽傳輸和生質燃燒排放。

研究結果顯示，日間的微粒濃度數量較高且粒徑較小，導致雲凝結核(CCN)活化率較低，並從活化率下降和能被活化粒徑上升可以得到驗證。作者認為這主要是受到交通尖峰時期新鮮高密度車流量排放和新微粒生成(NPF)的影響。晚間則量測到較低的微粒數量濃度和較大的粒徑，可能是受到微粒的老化或後期微粒吸附造成的成長。再者，作者還發現海鹽、工業排放和生質燃燒對能被活化粒徑並無太大影響。例如晚上時，有受生質燃燒和交通排放的活化率明顯比海鹽、工業排放和無事件時為低。以此兩參數對遠地汙染事件進行雲凝結核活化程度分析，顯示白天交通排放汙染物造成雲凝結核(CCN)活化程度的減少，會比來自遠地汙染物造成的減少為多。

表 4.6.3 解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受體模式汙染來源

議題	地點及結果	意涵	文獻
受體 模式 解析 汙染 來源	利用 PMF 5.0 受體模式執行過去在美國各州的監測數據，數據包含空氣化學成分、水質、有機物等不同類型數據做為新版 PMF 軟體的操作示範，並指出新版本所提供各項參數比值或是相關統計資料可用作模式因子數目判別指標，以及因子中物種擬合是否良好的判別依據，藉此提升受體模式解析結果的正確性。	提供新軟體各項新功能的操作建議，包括“總質量”在權重上的處理，貢獻量矩陣更改等，建立評估數據的方法與使用正確參數確保 PMF 輸出結果能有最少的誤差。	Brown et al. (2015)
	在希臘帕特雷市使用 PMF5.0 辨別汙染源，利用模式提供的 Constraint 功能，解析出過去無法解析的汙染源“船舶排放”，以及其他五項因子，這些因子分別為二次硫酸鹽類、機動車排放、生質燃燒、船舶、海鹽、沙塵，	新版本軟體對於較少數量樣本提供更好的解析能力。新工具能更直覺地透過對於汙染源認知而提升模式解析與穩定性。	Manousakas et al. (2017)

<p>分別在監測期間占質量濃度的 34%，34%、11%、10%、9%、2%。</p>		
<p>2014 年 1 – 2 月間在渤海海濱的龍口環境監測站進行 PM<sub>2.5</sub> 採樣，研究結果使用 PMF 分析微粒化學組成數據推估出 8 種主要污染源對 PM<sub>2.5</sub> 的貢獻度，並特別對其中碳的來源加以分類，進而和 <sup>14</sup>C 的分析結果進行比較。由山東半島傳至龍口的 PM<sub>2.5</sub> 中，生質燃燒約貢獻 52 – 59 % 的 OC 及 49 – 52 % 的 EC；由京津冀傳來的 PM<sub>2.5</sub> 中，生質燃燒約貢獻 41 – 45 % 的 OC 及 33 – 38 % 的 EC。</p>	<p>加入 <sup>14</sup>C 的分析反映出山東較多的生質燃燒和京津冀較多的車輛與燃煤污染源。PMF 推估的生質燃燒貢獻度略低於以 <sup>14</sup>C 推估的現代碳源貢獻度，但兩者分析結果的差異在合理的範圍內，此為首次有文獻對 PMF 和 <sup>14</sup>C 的分析結果進行相互驗證。</p>	<p>Zong et al. (2016)</p>
<p>比較 2002 至 2004 年與 2011 至 2013 年在北京地區各季節 PM<sub>2.5</sub> 濃度及其成分的監測數據。測得的各成分濃度經統計因子分析探討污染來源，北京地區 2002 至 2004 年，Factor 1 佔解釋量 46.01%，為煤、石油燃燒，工業、汽機車排放；Factor 2 佔解釋量 17.98%，為礦物氣膠，如道路揚塵、沙塵暴等等；Factor 3 佔解釋量 12.48%，為工業排放；Factor 4 佔解釋量 6.81%，為煤、石油燃燒及交通排放後的產生的二次衍生性氣膠；Factor 5 佔解釋量 5.26%，為生質燃燒；總解釋量為 88.55%。</p>	<p>2011 至 2013 年的污染類型與貢獻 Factor 1 佔解釋量 24.09%，為二次衍生性氣膠及燃煤；Factor 2 佔解釋量 23.08%，為礦物氣膠，如道路、施工揚塵以及沙塵傳輸；Factor 3 佔解釋量 11.55%，為汽機車排放；Factor 4 佔解釋量 9.63%，為工業排放；Factor 5 佔解釋量 8.62%，為生質燃燒；Factor 6 佔解釋量 7.32%，為工業排放；總解釋量為 84.31%。</p>	<p>Han et al. (2015)</p>
<p>2014 年 2 月 26 日至 3 月 27 日於中國寶雞的研究。作者將有機氣膠成分代入 PMF 模式，來源解析可辨別為：烴類 (hydrocarbon-like OA, HOA)、烹飪 (cooking OA, COA)、生質燃燒 (biomass burning OA, BBOA)、燃煤 (coal combustion OA, CCOA)、輕度氧化 (less-oxidized OOA, LO-OOA) 和高度氧化 (more-oxidized OOA,</p>	<p>二次衍生物的貢獻由乾淨日至污染日呈現遞增趨勢，顯示二次氣膠生成過程對於導致微粒空氣污染的重要性。LO-OOA 與 MO-OOA 的生成主要來自光化學反應，但在大氣氧化能力低的期間顯著受到液相化學反的影響。</p>	<p>Wang et al. (2017)</p>

<p>MO-OOA)，其貢獻分別為 20%、14%、13%、9%、23%和 21%。</p>	
<p>2013 年 9 月和 2014 年 1~2 月在馬來西亞吉隆坡近郊收集市郊地區 24 小時的 PM<sub>2.5</sub> 樣本，主要的微量金屬元素為 As、Pb、Cd、Ni、Mn、V 與 Cr，主要水溶性離子為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 與 Na。由質量閉合模式可辨別出 4 種主要污染源，共佔 PM<sub>2.5</sub> 質量組成 55%，4 種主要污染源為塵土物質(35%)、二次無機氣膠(11%)、海鹽(7%)與微量元素(2%)；PMF 可辨別出汽機車排放與生質燃燒(31%)、海洋/硫酸鹽氣膠(20%)、燃煤(19%)、硝酸鹽氣膠(17%)與塵土/揚塵(13%)。</p>	<p>PM<sub>2.5</sub> 中選擇四種金屬 (Pb、As、Cd 與 Ni) 的危害商數，最高來自燃煤，最低為塵土/揚塵。就致癌風險而言，主要致癌風險來自 As，其他重金屬 (Ni、Pb 與 Cd) 在目前 PM<sub>2.5</sub> 濃度下並不具顯著的致癌風險。整體而言，在該地區因 PM<sub>2.5</sub> 暴露有關的終身癌症風險為每百萬人中有 3-4 人。</p> <p>Khan et al. (2016)</p>
<p>2014 年 8~9 月在南美洲最大的都市(兩千萬人)——聖保羅——進行環境觀測實驗，量測過飽和度自 0.2%-1.0% 的雲凝結核濃度、總微粒濃度、總微粒分布、追蹤元素濃度和黑碳質量濃度以及探討參數包含雲凝結核活化率和活化粒徑。觀測期間新微粒生成 (NPF) 事件佔了 35%。研究結果顯示，日間的微粒濃度數量較高且粒徑較小，這要是受到交通尖峰時期新鮮高密度車流量排放和新微粒生成(NPF)的影響。晚間則量測到較低的微粒數量濃度和較大的粒徑，可能是受到微粒的老化或後期微粒吸附造成的成長。</p>	<p>觀測期間新微粒生成 (NPF) 事件佔了 35%，結合正數矩陣分解 (PMF)、光達資料和後推軌跡模式 (HYSPLIT)，分析出幾乎觀測期間都有車輛排放污染，而有 28% 和 21% 的時間為長程海鹽傳輸和生質燃燒排放。</p> <p>Souto-Oliveira et al. (2016)</p>

#### 4.6.4 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度

表 4.6.4 綜整出 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度相關文獻，Shen et al. (2016)使用 2004 年 1 月 1 日至 2007 年 12 月 31 日的 PM<sub>2.5</sub> 和環境能見度數據建立兩個變量間的指數迴歸模型。再以 2008 年至 2011 年的數據用於評估所建立的模型。然後利用指數迴歸模型以推估 1979 年至 2003 年的歷史 PM<sub>2.5</sub> 數據，之後與 2004 年至 2011 年的量測數據一並進行分析長期趨勢。鑑於高濕度將會顯著影響能見度，本研究也以低 RH (<80%) 天的能見度及對應的 PM<sub>2.5</sub> 數據用於建立迴歸模型。本研究共收集滿足低 RH 條件的 1164 筆 PM<sub>2.5</sub> 及能見度數據。測試了線性迴歸和指數迴歸方式，此兩種迴歸模型的顯著性水平 (P) 都低於 0.0001，顯示 PM<sub>2.5</sub> 和能見度是強相關。指數迴歸的相關係數 ( $R^2$ ) (0.4237) 高於線性回歸 (0.3844)，所以選用指數迴歸進行 PM<sub>2.5</sub> 和能見度的擬合。1979 年至 2011 年期間，年均 PM<sub>2.5</sub> 呈現三種不同變化趨勢。第一種呈現 PM<sub>2.5</sub> 濃度的下降趨勢，1979 年至 1996 年平均每年下降  $4.6 \mu\text{g m}^{-3}$ 。第二個呈現急劇增加的趨勢，1997 - 2006 年平均每年增加  $8.8 \mu\text{g m}^{-3}$  第三個呈現再下降趨勢，2007 - 2011 年平均每年下降  $12.1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，這些 PM 增加和減少的趨勢與西安工業發展的演變一致。改變產業結構應是有效降低大陸西安或其他中國大陸城市的 PM<sub>2.5</sub> 濃度的方法。

大氣氣膠中的褐碳(Brown Carbon)具有吸收短波長可見光的特性，是影響大氣輻射收支和能見度的關鍵污染物之一。傳統的研究中，褐碳通常被歸類為生質燃燒的產物，本篇論文以 2013 年在北京的實驗結果為基礎，研究中應用放射性碳同位素( $^{14}\text{C}$ )分析技術將 PM<sub>2.5</sub> 中的有機碳(OC)、水溶性有機碳(WSOC)、非水溶有機碳(WIOC)分類為化石源及非化石源(包括生質燃燒和生物源)，並分析兩類有機碳對藍光(365 nm)的吸收係數，結果證實化石源有機碳同樣具有吸收藍光的特性。另外，穩定性碳同位素( $^{13}\text{C}$ )分析的結果則顯示北京冬季的細微粒碳主要源自於固態化石燃料，也就是煤炭。研究結論提出燃燒煤炭是北京冬季

的主要褐碳污染源，這項結論顯示現行污染物排放清單中褐碳的產生源需要大幅度修正。

Park and Son (2017)在韓國光州城市的 2015 年 1~2 月收集了 24 小時平均 PM<sub>2.5</sub> 樣品，並分析 OC、EC、WSOC (Water-soluble OC)、HULIS (Humic Like Substance，是一種褐碳類別，其特性類似於 WSOC 的疏水部分)和水溶性離子的濃度。元素碳通常稱為黑碳(BC)，被認為是具有最有效吸光性的含碳氣膠，其所吸收從紫外光(UV)到紅外光(IR)所有範圍的太陽輻射，且吸收係數較不易受波長影響(Bond and Bergstrom, 2006; Lack and Langridge, 2013)。然而，最近發現某些種類的有機碳在靠近紫外光與可見光區域的波長輻射具有強烈的吸收性(Andreae and Gelencsér, 2006; Laskin et al., 2015)，具有光吸收特性的有機碳通常被稱為褐碳(BrC)。相較於黑碳，其光吸收光譜受光波長影響更顯著。因此，可以透過 Absorption Å ngström Exponent(AAE)來區分 BC 與 BrC。舉例來說，來自化石燃燒所產生黑碳的 AAE 值通常會接近 1，而由生物質燃燒所產生的褐碳，其 AAE 值則超過 1 (Kirchstetter et al., 2004)。Park and Son (2017)研究褐碳光吸收與 OC、水不可溶性 OC 和 HULIS 衍生物之間的關係。另外，討論高 EC，高 OC 和亞洲沙塵微粒的三個污染事件，分別探討三個事件中氣膠與光吸收特性。在研究期間 WSOC/OC 和 HULIS-C/WSOC 平均值分別為 0.53 和 0.52。K<sup>+</sup>/EC 和 K<sup>+</sup>/OC 表示含碳氣膠和 K<sup>+</sup>的可能來自生質燃燒排放。

HULIS、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、草酸鹽、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、K<sup>+</sup>、CO 和  $\Delta BC (= BC@370nm - BC@880nm)$  之間高相關性，意味除了生質燃燒排放外，二次衍生性氣膠是另一個 HULIS 的重要貢獻者。AAE 分析上，量測 370-950 nm 和 590-950 nm 波長下 AAE 平均值分別為 1.29 和 1.18。但在近紫外波長範圍下 (370-520nm) 的 AAE 值則相對較高，平均為 1.51 (0.76-2.36)，這表示冬季氣膠光吸收特徵受生質燃燒以及交通排放的影響。高 EC、高 OC 和亞洲沙塵事件中，所測得 370-520 nm 波段下 AAE 值分別為 1.42±0.10 (1.26-1.59)、1.44±0.15 (1.16-1.68) 和 1.90±0.28 (1.54-2.36)。而亞洲沙塵事件期間，370-520 nm 波段下所量測 AAE 值相對於其他兩起污染事件要來的高，歸因於塵粒的影響。另外，370 nm 波段下氣膠的光吸收係數與 OC ( $R^2 = 0.76$ )、水不溶性 OC ( $R^2 = 0.70$ ) 和水溶性 HULIS ( $R^2 = 0.64$ ) 具有高相

關性。這些相關性表明 OC 水不溶性部分以及水溶性 BrC 可能是氣膠光吸收的重要貢獻者。上述結果已有效證明，可以利用氣膠光吸收特性結合有機氣膠的成分來表徵包括黑碳、有機碳以及灰塵顆粒的光吸收特性。然而，前面已有提到利用水萃取所得到的 BrC 可能會低估環境中的輻射收支的影響，應進一步研究水不溶性 BrC 對氣膠光吸收的影響。

Tiwari et al. (2015)研究印度新德里懸浮微粒濃度的時空變化。作者們自 2011 年 11 月 1 日至 2013 年 6 月 30 日期間在新德里市區內選擇分別代表嚴重交通污染、輕微交通污染與都市背景的測站，進行高時間解析的 PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 的量測，在輕微交通污染的測站並另外研究氣膠光學厚度(aerosol optical depth, AOD)與 Angstrom exponent (AE)。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>2.5-10</sub> 與 PM<sub>10</sub> 的平均濃度分別為  $118.3 \pm 81.7$ 、 $113.6 \pm 70.4$  與  $232.1 \pm 131.1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，PM<sub>2.5</sub> 濃度空間的分布受到交通污染排放的影響，在嚴重交通污染的測站濃度較高，而 PM<sub>2.5-10</sub> 與 PM<sub>10</sub> 則在非嚴重交通污染的測站有相對高值。在時間上，PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 在每日夜間有較高濃度發生，PM<sub>2.5</sub> 濃度在週末相對於週間為高，但 PM<sub>10</sub> 則在週間有較高濃度。將 PM<sub>2.5</sub> 濃度與氣象因子做相關性比對，與混合層高度、溫度、能見度、風速皆為顯著負相關，分別為-0.39、-0.48、-0.76、-0.45，濕度則為正相關但未顯著。作者們進一步將樣品區分為雨季前(4-6 月)、雨季(7-9 月)、雨季後(10-11 月)、冬季(12-3 月)做比對。混合層高度與 PM<sub>2.5</sub> 濃度的相關性在雨季後(-0.47)與冬季(-0.44)呈現顯著負相關，說明此二季節混合層高度下降可能是導致 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升的原因之一；但雨季前與雨季期間則與 PM<sub>2.5</sub> 濃度相關性不高，可能是受到沙塵暴(雨季前)以及降雨(雨季)的影響。風速的相關性在雨季後(-0.51)與冬季(-0.54)呈現顯著負相關，說明 PM<sub>2.5</sub> 高污染濃度期間仰賴風力將污染物移除；但雨季前該地區受沙塵暴影響，雨季期大氣顆粒物被雨水去除，因此跟風速相關性較低。相對溼度的相關性僅在冬季呈現正相關(0.19)。能見度的相關性除了雨季外，其餘皆為顯著負相關，分別為季風前(-0.37)、季風後(-0.51)、冬季(-0.71)，明顯因為雨水去除了懸浮微粒使能見度上升。

Guan et al. (2017)研究中國甘肅省氣膠的時空變化，依據 2014 年的 PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 逐時濃度量測結果，在蘭州、金昌、嘉峪關的年均 PM<sub>10</sub> 濃度分別為 115、104 與 114  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，年平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度則分別為 57、38 與 32  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，都高於中國國家大氣空氣品質標準。PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 通常在春季與冬季可發現較高濃度，在夏季與秋季則濃度較低。此外將溫度分為 5 個區間，攝氏 1 度以下、1 度至 7 度、7 度至 13 度、13 度至 19 度、19 度以上，3 個地點的 PM<sub>2.5</sub> 濃度都隨溫度下降而升高，其原因為當溫度下降時，含塵土的空氣伴隨著冷鋒，冷暖氣團之間的相互作用引起大氣湍流，容易將鬆散的土壤吹散，有助於微粒濃度的增加。將相對濕度分為 5 個區間，相對溼度 20%以下、20%至 40%、40%至 60%、60%至 80%、80%至 100%，本研究沒有發現相對濕度和 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化有顯著相關性，但蘭州相對濕度 40%以下的區間，超標事件相對較多，金昌濃度超標最多則發生於相對濕度 80 至 100%區間。這一觀察結果表明，相對濕度對不同地區有不同的影響，相對濕度與 PM<sub>2.5</sub> 之間的關係也可能受到其他因素的影響。

表 4.6.4 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度

議題	地點及結果	意涵	文獻
PM <sub>2.5</sub> 與大氣能見度	本研究使用 2004 年 1 月 1 日至 2007 年 12 月 31 日的 PM <sub>2.5</sub> 和環境能見度數據建立兩個變量間的指數迴歸模型。再利用指數迴歸模型以推估 1979 年至 2003 年的歷史 PM <sub>2.5</sub> 數據，之後與 2004 年至 2011 年的量測數據一並進行分析長期趨勢。鑑於高濕度將會顯著影響能見度，本研究也以低 RH (<80%) 天的能見度及對應的 PM <sub>2.5</sub> 數據用於建立迴歸模型。本研究共收集滿足低 RH 條件的 1164 筆 PM <sub>2.5</sub> 及能見度數據。測試了線性迴歸和指數迴歸方式，此兩種迴歸模型的顯著性水平 (P) 都低於 0.0001，顯示	1979 年至 2011 年期間，年均 PM <sub>2.5</sub> 呈現三種不同變化趨勢。第一種呈現 PM <sub>2.5</sub> 濃度的下降趨勢，1979 年至 1996 年平均每年下降 4.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。第二個呈現急劇增加的趨勢，1997 - 2006 年平均每年增加 8.8 $\mu\text{g m}^{-3}$ 第三個呈現再下降趨勢，2007 - 2011 年平均每年下降 12.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，這些 PM 增加和減少的趨勢與西安工業發展的演變一致。改變產業結構應是有效降低大陸西安或其他中國大陸城市的	Shen et al. (2016)

PM <sub>2.5</sub> 和能見度是強相關。指數迴歸的相關係數 ( $R^2$ ) (0.4237) 高於線性回歸 (0.3844)，所以選用指數迴歸進行 PM <sub>2.5</sub> 和能見度的擬合。	PM <sub>2.5</sub> 濃度的方法。	
本篇論文以 2013 年在北京的實驗結果為基礎，研究中應用放射性碳同位素( <sup>14</sup> C)分析技術將 PM <sub>2.5</sub> 中的有機碳(OC)、水溶性有機碳(WSOC)、非水溶有機碳(WIOC)分類為化石源及非化石源(包括生質燃燒和生物源)，並分析兩類有機碳對藍光(365 nm)的吸收係數，結果證實化石源有機碳同樣具有吸收藍光的特性。	穩定性碳同位素( <sup>13</sup> C)分析的結果則顯示北京冬季的細微粒碳主要源自於固態化石燃料，也就是煤炭。研究結論提出燃燒煤炭是北京冬季的主要褐碳污染源，這項結論顯示現行污染物排放清單中褐碳的產生源需要大幅度修正。	Yan et al. (2017)
2015 年 1~2 月在韓國光州城市的 24 小時平均 PM <sub>2.5</sub> 樣品，並分析 OC、EC、WSOC (Water-soluble OC)、HULIS 成分，發現含碳氣膠和 K <sup>+</sup> 的可能來自生質燃燒排放。除了生質燃燒排放外，二次衍生性氣膠是另一個 HULIS 的重要貢獻者。冬季氣膠光吸收特徵受生質燃燒以及交通排放的影響。	OC 水不溶性部分以及水溶性褐碳可能是氣膠光吸收的重要貢獻者。上述結果已有效證明，可以利用氣膠光吸收特性結合有機氣膠的成分來表徵包括黑碳、有機碳以及灰塵顆粒的光吸收特性。	Park and Son (2017)
作者們在印度新德里自 2011 年 11 月 1 日至 2013 年 6 月 30 日期間選擇分別代表嚴重交通污染、輕微交通污染與都市背景的測站，進行高時間解析的 PM <sub>2.5</sub> 與 PM <sub>10</sub> 的量測。將 PM <sub>2.5</sub> 濃度與氣象因子做相關性比對，與混合層高度、溫度、能見度、風速皆為顯著負相關。	混合層高度下降可能是導致 PM <sub>2.5</sub> 濃度上升的原因之一；PM <sub>2.5</sub> 高污染濃度期間仰賴風力將污染物移除；能見度的相關性除了雨季外，其餘皆為顯著負相關，明顯因為雨水去除了懸浮微粒使能見度上升。	Tiwari et al. (2015)
2014 年在中國甘肅省蘭州、金昌、嘉峪關 PM <sub>2.5</sub> 與 PM <sub>10</sub> 逐時濃度量測結果，發現：春季與冬季可發現較高濃度，夏季與秋季則濃度較低。	當溫度下降時，含塵土的空氣伴隨著冷鋒，冷暖氣團之間的相互作用引起大氣湍流，容易將鬆散的土壤吹散，有助於微粒濃度的增加。相對濕度對不同地區有不同的影響。	Guan et al. (2017)



#### 4.6.5 執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分析評估管制策略

表 4.6.5 歸納出執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分析評估管制策略相關文獻，2014 年中國舉辦亞太經貿會議(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)時，中國政府透過對污染源排放管制，使會議期間北京地區天空呈現“APEC 藍”現象，Wen et al. (2016)進行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分分析與模式評估研究，觀測期間分別評估燃煤排放源與交通排放源進行管制成效，並區分為排放管制前、管制中、管制中止等三個階段，在進行排放管制前北京與其鄰近石家莊、唐山日平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度分別為 123、166、127  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，進行排放管制後北京、石家莊、唐山地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度則分別降至 46、102、79  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。另外，對於碳成分濃度在管制前後的變化，北京、唐山、石家莊地區 OC 濃度分別降低 54%、15%、41%，同時 EC 也有相似的降低趨勢，然而在管制期間北京地區 SOC 卻上升 50%，研究指出與管制期間受到光化學作用有關，同時顯示北京地區的潛在污染物為臭氧。進一步了解前驅物控管的效益，研究結合觀測與模式模擬結果發現降低 1% SO<sub>2</sub> 濃度可減少 0.65~0.75% SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度，降低 1% NO<sub>x</sub> 濃度則可減少 0.55~0.65% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度。

河北省省會石家莊在過去幾十年內歷經快速的經濟發展、人口擴張和都市化，隨之而來遭逢嚴重的 PM<sub>2.5</sub> 空氣污染問題。2015 年 9 月 3 日因紀念中日戰爭七十週年在北京市舉辦閱兵，期間為確保空氣污染得到控制和降低，北京周邊地區(包含石家莊)採取一系列有效的減排措施。Wang et al. (2017) 為了瞭解 PM<sub>2.5</sub> 與排放減量之間的關係，分別在實施空氣污染控制前(13 天)、中(7 天)、後(11 天)進行 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與主要化學組成量測分析。結果顯示 PM<sub>2.5</sub> 在空氣污染控制前受到沒有減排措施與不利天氣條件的影響，出現兩個具有高濃度的典型污染事件；在空氣污染控制期間則沒有嚴重污染發生。PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度在實施空氣污染控制期間為 26.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ ，約為實施空氣污染控制前與後期間 PM<sub>2.5</sub> 平均質量濃度的 57.0%與 51.1%。此外，PM<sub>2.5</sub> 中 23 種金屬元素與 10 種水溶性離子主要化學

組成的分析結果顯示，在實施污染控制期間，金屬元素與水溶性離子亦量測到最低濃度，金屬元素佔  $\text{PM}_{2.5}$  質量組成的比例在實施控制措施前、中與後分別為 6.8%、8.4%與 5.9%。水溶性離子在空氣污染控制期間的平均濃度分別較空氣污染控制前與後期間平均濃度減少 64.2%與 57.1%。二次無機離子為水溶性離子的主要組成，在實施空氣污染控制前、中與後二次水溶性離子在  $\text{PM}_{2.5}$  質量組成中分別佔有 40.3%、30.8%與 38.1%，顯示大氣化學過程在控制前與後具有較強的貢獻。 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 在控制措施前、中與後分別為 0.85、0.94 與 0.85，較高的  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 發生在實施空氣污染控制期間，顯示由於  $\text{SO}_2$  的一系列減排措施，更多比例的  $\text{PM}_{2.5}$  來自交通工具的尾氣排放。以 WRF-CMAQ 模擬空氣污染減量措施與天氣條件對於  $\text{PM}_{2.5}$  的貢獻，評估結果顯示  $\text{PM}_{2.5}$  濃度在未採取空氣污染管制措施下可增加 21.6%的貢獻，另外，以 2014 年同一量測月份靜滯天氣狀況下的模擬濃度相對於 2015 年天氣狀況下的模擬濃度， $\text{PM}_{2.5}$  濃度可再提高 32.1%。

Han et al. (2015)比較2002至2004年與2011至2013年在北京地區各季節 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度及其成分的監測數據，發現兩個年代 $\text{PM}_{2.5}$ 季節濃度高低順序不同，二次無機氣膠(Secondary inorganic aerosol, SIA) 2011至2013年季節濃度高低順序和 $\text{PM}_{2.5}$ 季節濃度高低順序相同，在霧霾事件主要物種濃度順序為 $\text{SO}_4^{2-}>\text{NO}_3^->\text{NH}_4^+$ ，2011至2013年 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度比2002至2004年低，但2011至2013年 $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{NH}_4^+$ 濃度在秋季和冬季濃度比2002至2004年高，2011-2013年來自交通排放與燃煤/石化燃料燃燒的二次化學衍生物為相較於2002-2004年是主要顯著成長的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染貢獻源。近年來塵土對於沿海地區的污染貢獻已逐漸減少，然而二次衍生物與含碳成分的污染貢獻卻逐漸增加。不同的十年氣膠成分比較，可以推演出不同年代各污染源排放及管制成效，大陸也呈現出 $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{NH}_4^+$ 濃度的增加。

表 4.6.5 執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分解析評估管制策略

議題	地點及結果	意涵	文獻
解析 評估 管制 策略	中國政府於北京以及鄰近固定排放源與交通排放源進行排放管制，目的於亞太經貿會議期間能使北京地區有更好空氣品質，管制期間北京、石家莊及唐山地區 PM <sub>2.5</sub> 濃度明顯下降 63%、39%、38%，然而管制終止後污染又迅速回升，OC 濃度分別降低 54%、15%、41%，同時 EC 也有相似的降低趨勢。	在管制期間北京地區 SOC 卻上升 50%，顯示二次反應及區域傳輸的影響。結合觀測與模式模擬結果發現降低 1% SO <sub>2</sub> 濃度可減少 0.65~0.75% SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度，降低 1% NO <sub>x</sub> 濃度則可減少 0.55~0.65% NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度。	Wen et al. (2016)
	紀念中日戰爭七十週年在北京市舉辦閱兵，期間為確保空氣污染得到控制和降低，北京周邊地區(包含石家莊)採取一系列有效的減排措施。實施空氣污染控制期間為 26.5 μg m <sup>-3</sup> ，約為實施空氣污染控制前與後期間 PM <sub>2.5</sub> 平均質量濃度的 57.0%與 51.1%。實施空氣污染控制前、中與後二次水溶性離子在 PM <sub>2.5</sub> 質量組成中分別佔有 40.3%、30.8%與 38.1%。	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 在控制措施前、中與後分別為 0.85、0.94 與 0.85，較高的 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 發生在實施空氣污染控制期間，顯示由於 SO <sub>2</sub> 的一系列減排措施，更多比例的 PM <sub>2.5</sub> 來自交通工具的尾氣排放。	Wang et al. (2017)
	本文比較 2002 至 2004 年與 2011 至 2013 年在北京地區各季節 PM <sub>2.5</sub> 濃度及其成分的監測數據，發現兩個年代 PM <sub>2.5</sub> 季節濃度高低順序不同，在霧霾事件主要物種濃度順序為 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ，2011-2013 年來自交通排放與燃煤/石化燃料燃燒的二次化學衍生物為相較於 2002-2004 年是主要顯著成長的 PM <sub>2.5</sub> 污染貢獻源。近年來塵土對於沿海地區的污染貢獻已逐漸減少，然而二次衍生物與含碳成分的污染貢獻卻逐漸增加。	2011 至 2013 年 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度比 2002 至 2004 年低，但 2011 至 2013 年 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 和 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度在秋季和冬季濃度比 2002 至 2004 年高，不同的十年氣膠成分比較，可以推演出不同年代各污染源排放及管制成效，大陸也呈現出 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 和 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度的增加。	Han et al. (2015)

## 4.7 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分自動採樣儀器適宜性評估

環境空氣污染物濃度從污染源排放後，受到大氣擴散、氣流傳輸、化學反應影響，變化迅速，手動監測完成一筆數據長達 12~24 小時，且需透過離線實驗分析方有成果，相當耗時；相對地，有效的自動監測儀器只需短時間即可獲得一筆數據，較能反映出短時間環境污染變化，在發生緊急污染事件時能儘速釐清污染來源及其嚴重性，以製訂出有效應變策略。本計畫將評估 Cooper Environmental 公司的 Xact 625i 金屬元素自動採樣數據與手動採樣 ICP-MS 所解析的金屬元素數據，瞭解兩種監測儀器效能差異。

根據環保署要求，本計畫需選擇環保署位於中、南部高污染地區一個測站，租用 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素自動監測儀器(Xact 625i)，評估該儀器與手動採樣監測的一致性。採樣頻率為一季連續監測 10 天，每次監測 24 小時，共計 4 季，比對期間與地點分別為 2 月 20 日至 3 月 2 日於雲林縣麥寮鄉許厝國小，5 月 18 日至 5 月 27 日至彰化縣大城鄉頂庄國小，7 月 24 日至 8 月 10 日及 9 月 22 日至 10 月 5 日都在彰化縣大城鄉下海墘堤防；目前已完成四季共 40 天比對樣本，四季採樣都已經完成。

儀器可行性評估參考 Cooper Environmental 公司於 2012 年參與美國環保署的環境科技驗證計畫(Environmental Technology Verification，簡稱 ETV)資料，並以下列五項因子評估儀器效能。

1. 可比較性：評估各項選定金屬元素在自動儀器與手動儀器日平均值間線性迴歸分析結果(斜率、截距)。
2. 相關性：透過線性迴歸分析自動與手動儀器比對結果相關係數，並透過相關係數(R)或判定係數(coefficient of determination,  $R^2$ )評估結果的相關性。
3. 誤差：自動儀器日平均數值與參考方法(ICP-MS 分析結果)間的差距以百分比表示。
4. 數據完整性：自動監測儀器所產生的有效數據以百分比表示，有效小時數據每日須超過 12 小時(大於一半監測時間)方得計算日平均值。
5. 操作因子：評估儀器維護需求、操作便利性、緊急狀況處理措施。

#### 4.7.1 新舊儀器與手動採樣結果可比較性及相關性

##### 1.儀器間分析物種差異及相關性比對

表 4.7.1 分別代表 Xact 625i (新型)金屬元素自動監測儀器、Xact 625 (舊型)、手動採樣並使用 ICP-MS 的可分析金屬元素成分種類。使用 ICP-MS 可分析 48 種金屬元素，Xact 625 (舊型)自動監測儀器可分析 23 種金屬元素，Xact 625i (新型)儀器可分析 43 種金屬元素，在解析種類上，ICP-MS 較具有解析多樣物種優勢，且自動儀器使用分析方法為 XRF (X-ray Fluorescence)，在偵測極限上略遜於 ICP-MS，因此，本計畫以手動採樣與 ICP-MS 分析方法與自動監測分析結果比對，評估自動儀器解析金屬元素成分的效能與穩定性。

圖 4.7.1 為自動儀器元素濃度日平均值與手動採樣結果元素濃度與 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度比較，圖 4.7.1(A)為 2 月 23 日至 2 月 27 日麥寮採樣期間新型與舊型儀器與手動採樣結果比對，比對元素為三台儀器所共有的物種，共計 15 種；圖 4.7.1(B)則為 2 月 20 日至 10 月 5 日與麥寮及大城鄉採樣結果比對，總共四十天，比對物種共計 27 種元素，其中元素 Al 由於自動儀器截距過大且第二季缺值過多，因此不列入比對。從(A)圖結果中顯示，新型與舊型自動儀器與 ICP-MS 檢測結果有一致的時間變化趨勢，並且多與 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化趨勢相符，不過 2 月 26 日手動採樣結果與兩台自動儀器檢測結果分別有 0.25  $\mu\text{g m}^{-3}$  與 0.3  $\mu\text{g m}^{-3}$  的差異，造成差異主因與手動採樣在元素 Fe、Zn、K 總濃度較自動儀器低有關。圖 4.7.1(B)比對結果顯示 PM<sub>2.5</sub> 濃度與各儀器元素總濃度變化趨勢大致相似，大多數時期自動儀器濃度明顯大於手動採樣，主要原因與前述物種檢測值高估有關，但是在 PM<sub>2.5</sub> 濃度較低時期，如 5 月 22、23 日及 7 月下旬，都出現自動元素總濃度低於手動採樣的結果，造成原因可分為兩類，其一為低濃度導致微量元素無法檢出造成缺值，其二則是塵土或工業來源元素如 Fe、Cu、Mn，以及交通指標元素 Zn，這種高質量濃度占比元素的檢出數值明顯低於相同濃度時期的其他採樣日。

表 4.7.1 Xact 625i、625、ICP-MS 可分析金屬元素種類比較 (◎代表可分析)

	ICP-MS	625i	625		ICP-MS	625i	625		ICP-MS	625i	625
Ag		◎		Gd	◎	◎		Rb	◎	◎	
Al	◎	◎		Ge		◎	◎	S		◎	
As	◎	◎	◎	Hf	◎	◎		Sb	◎	◎	
Au		◎	◎	Hg		◎	◎	Se	◎	◎	◎
Ba	◎	◎	◎	Ho	◎	◎		Si		◎	
Bi		◎		In		◎		Sm	◎	◎	
Br	◎	◎		K	◎	◎	◎	Sn	◎	◎	
Ca	◎	◎	◎	La	◎	◎		Sr	◎	◎	
Cd	◎	◎		Lu	◎	◎		Tb	◎	◎	
Ce	◎	◎		Mg	◎	◎		Te		◎	
Cl		◎		Mn	◎	◎	◎	Ti	◎	◎	◎
Co	◎	◎	◎	Mo	◎	◎	◎	Tl	◎	◎	◎
Cr	◎	◎	◎	Na	◎	◎		Tm	◎	◎	
Cs	◎	◎		Nd	◎	◎		U	◎	◎	
Cu	◎	◎	◎	Ni	◎	◎	◎	V	◎	◎	◎
Dy	◎	◎		P	◎	◎		W		◎	
Er	◎	◎		Pb	◎	◎	◎	Y	◎	◎	
Eu	◎	◎		Pd		◎		Yb	◎	◎	
Fe	◎	◎	◎	Pr	◎	◎		Zn	◎	◎	◎
Ga	◎	◎	◎	Pt	◎	◎		Zr	◎	◎	

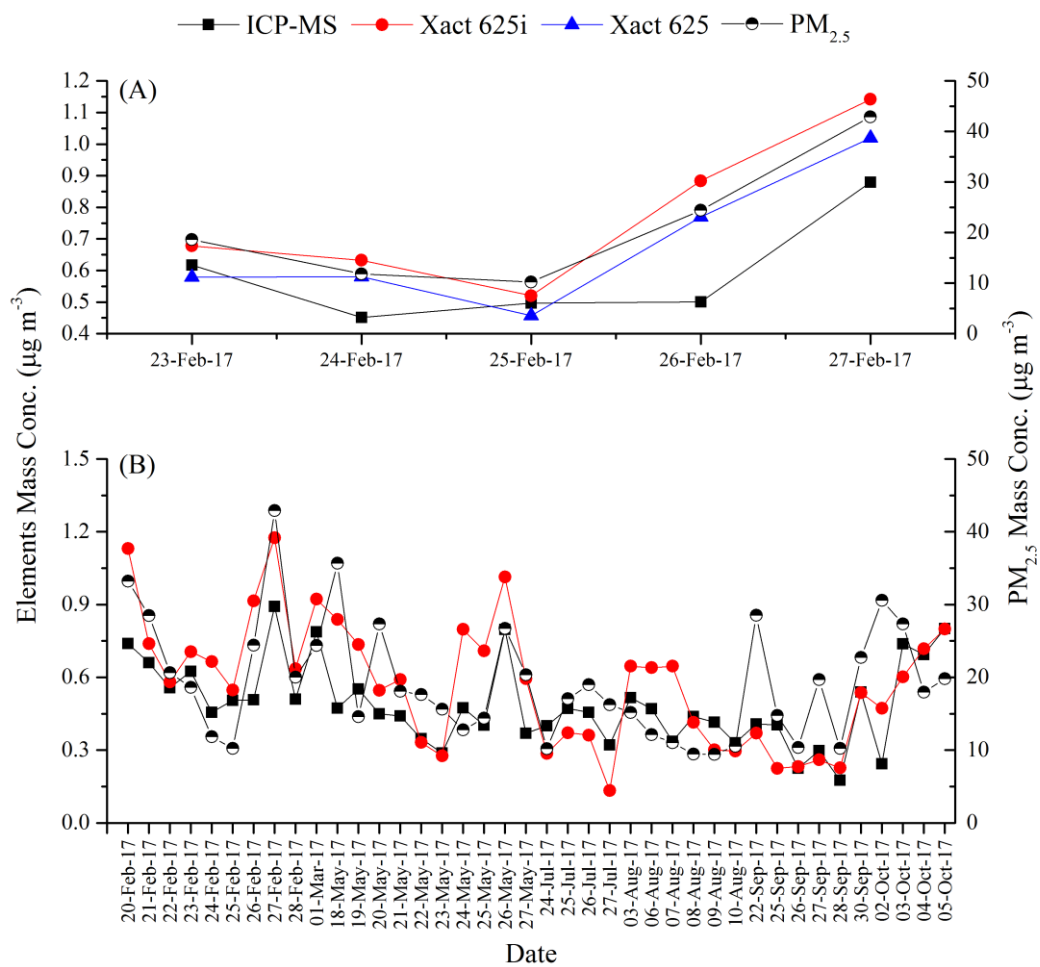


圖 4.7.1 手動、自動儀器金屬元素成分與 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度趨勢

表 4.7.2 為麥寮採樣期間新型與舊型自動儀器相關性比對結果，顯示在兩儀器共同有量測的 20 種可比較金屬元素，半數以上具有良好相關性，相關係數皆在 0.89 以上，少數如 Au、Cd、Co、Hg、Mo 等元素，由於濃度低於偵測極限，相關性較差。表 4.7.3 顯示新型自動儀器與手動儀器比對結果相關性較佳的金屬元素有 As、Ba、Ca、Cu、Ce、Fe、Ge、K、Mn、Pb、Sr、V、Zn，相關係數都大於 0.6；舊型儀器則在 As、Cr、Cu、K、Mn、Mo、Ni、Pb、V、Zn 等元素與新型一器一樣有不錯的表現；另一方面，舊型儀器部分金屬元素相關性優於新型儀器，造成差異原因可能受到樣本總數影響，舊型儀器評估期間僅有第一季，新型則為四季採樣結果。在相關性大於 0.6 以上的元素中，分別可作為交通排放 (Zn、Ba、V、Cu)、燃煤燃燒(As、Se、Pb)、燃油燃燒(V、Ni)、生質燃燒(Rb、K)、金屬冶煉(Mn、Cu、Pb、Cr)等污染源指標，顯示自動儀器有相當程度應用面。



表 4.7.2 新型與舊型自動儀器相關係數(R)比對結果(灰色代表相關係數大於 0.89)

金屬元素	相關係數	金屬元素	相關係數
As	0.89	K	0.99
Au	0.23	Mn	0.99
Ba	0.72	Mo	-0.05
Ca	0.99	Ni	0.97
Cd	0.23	Pb	0.99
Co	0.15	S	1.00
Cr	0.96	Se	0.97
Cu	0.99	Ti	0.99
Fe	0.99	V	0.99
Hg	-0.04	Zn	1.00

表 4.7.3 自動儀器(Xact 625 與 Xact 625i)分別與手動採樣(ICP-MS)元素相關係數 (灰色代表相關係數大於 0.6)

元素	Xact 625i	Xact 625	元素	Xact 625i	Xact 625
Al	-0.15	—	Mn	0.65	0.93
As	0.90	0.99	Mo	0.44	0.75
Ba	0.97	—	Ni	0.47	0.88
Ca	0.63	-0.04	Pb	0.65	0.96
Cd	0.46	0.39	Rb	0.57	—
Ce	0.74	—	Sb	0.05	—
Co	—	—	Se	0.41	0.99
Cr	0.49	0.97	Sn	0.46	—
Cs	—	—	Sr	0.76	—
Cu	0.71	0.96	Ti	0.58	0.48
Fe	0.85	0.34	Tl	—	—
Ga	—	—	V	0.96	0.97
Ge	0.80	—	Zn	0.76	0.76
K	0.74	0.97	Zr	-0.40	—

註: Xact 625 為舊型自動元素監測器；Xact 625i 為新型自動元素監測器

## 2. 自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)日平均值線性迴歸分析 (斜率、截距)。

圖 4.7.2

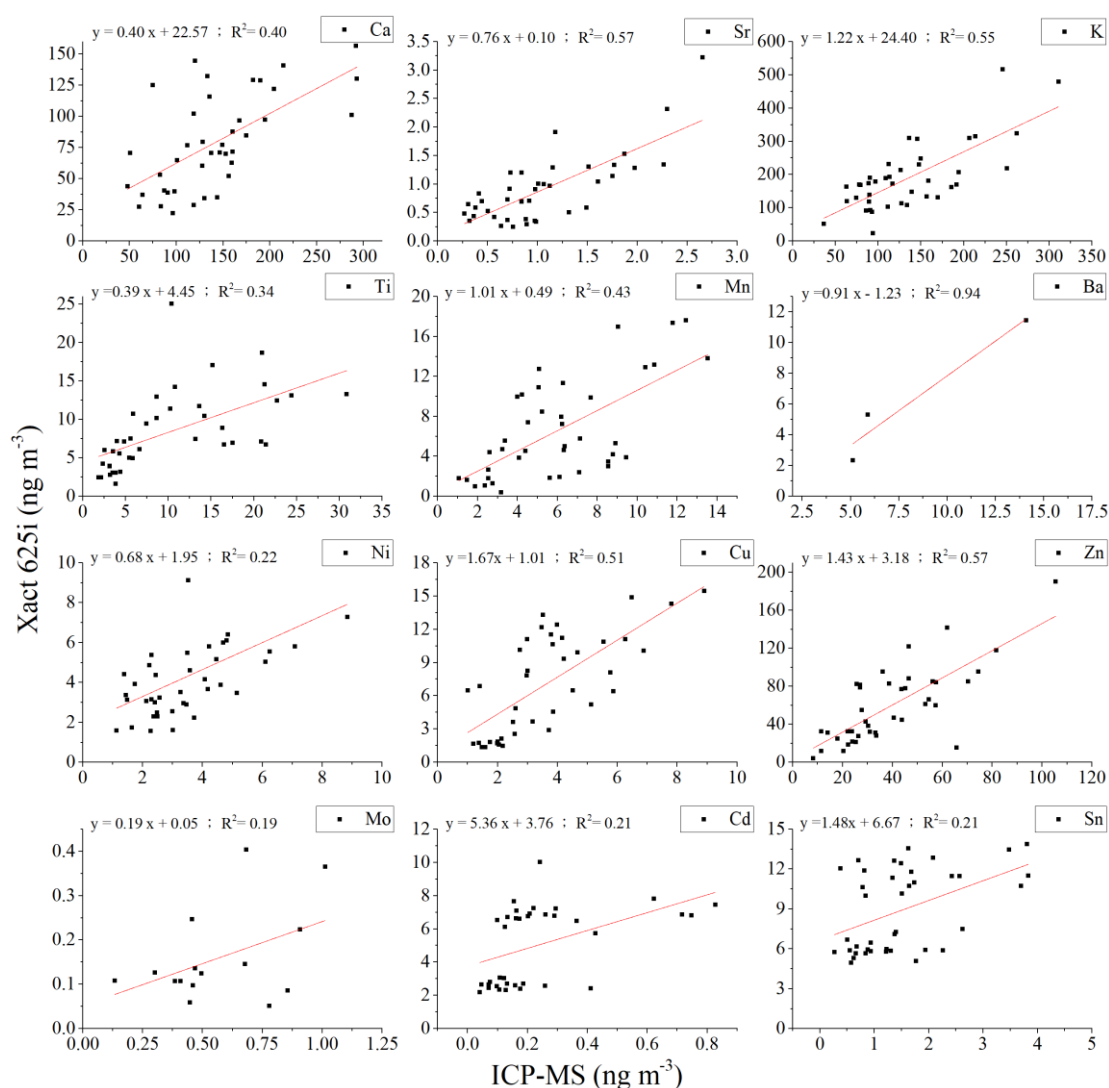


圖 4.7.2 為採樣期間新型自動與手動儀器迴歸分析結果，在相關性好( $R > 0.7$ )元素中如 Fe、K、Sr、Cu、Zn、V、As，其中 Fe、K、Cu、Zn 有較大的斜率，斜率為 1.22~1.53，顯示各金屬元素自動儀器可能有 22~53%左右的高估，其餘相關性較佳的元素則是有較小斜率，如 Sr、V、As，則可能出現低估，整體比對結果以元素 V 與 As 有最好的結果，兩者斜率分別為 0.84 與 0.65，另外元素 Al 在比對結果表現相當不理想，截距高達  $882 \text{ ng m}^{-3}$ ，自動儀器高估許多，可能與檢測方法有關，其餘相關性較差的金屬元素大多濃度較低，如 Cs、Zr、Y、Ce、Tl 等金屬元素，受限於自動儀器偵測極限，若要評估這類金屬元素檢測結果，則可能需要將自動儀器分析間隔時間加長。從自動儀器與手動儀器迴

歸分析結果顯示，儀器檢測濃度雖然有高估或低估的可能，但相對值仍具有參考性，並且具有良好相關性的金屬元素都是常見指標金屬元素。

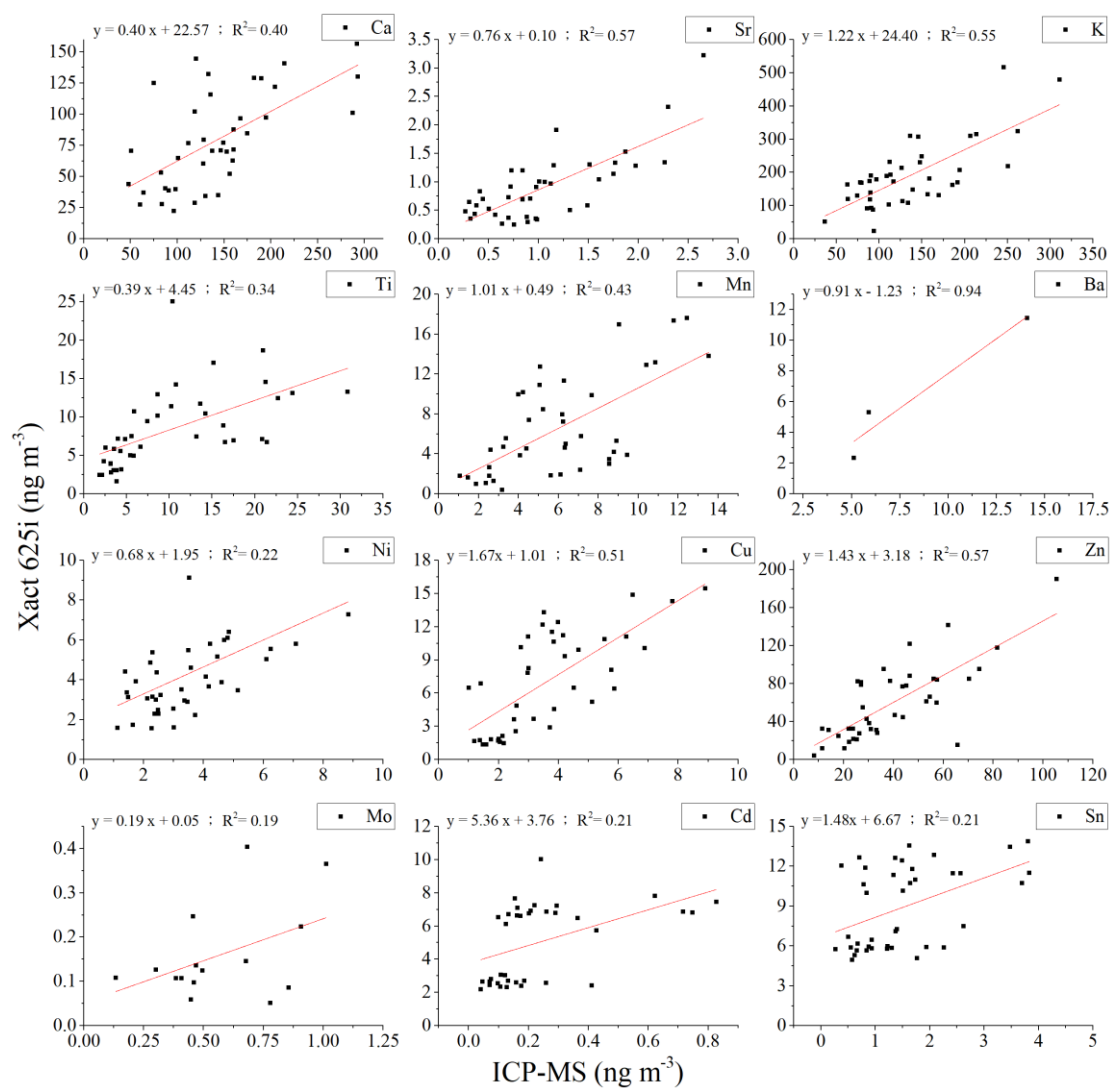


圖 4.7.2 採樣期間自動儀器(Xact 625i)與手動採樣  $\text{PM}_{2.5}$  金屬元素成分迴歸分析

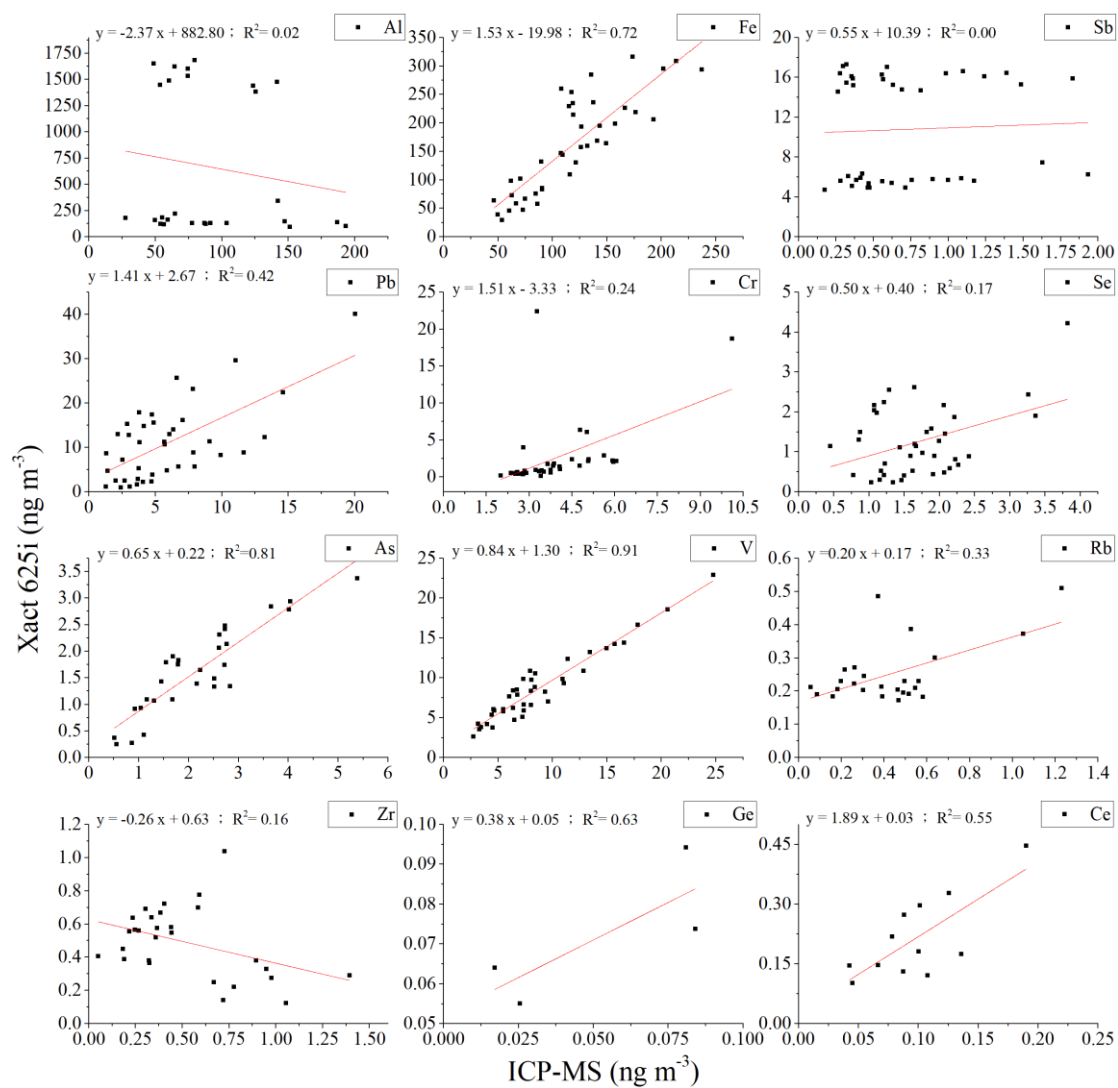


圖 4.7.2 採樣期間自動儀器(Xact 625i)與手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分迴歸分析  
(續)

### 3. 自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)時平均值線性迴歸分析 (斜率、截距)。

圖 4.7.3 為採樣期間新型自動與手動儀器迴歸分析結果，使用數據改為 8 比小時值及 3 筆三小時值，前述相關性好的( $R^2 > 0.6$ )元素僅剩元素 V、As，其餘元素相關性明顯較差，除此之外幾乎所有元素斜率都呈現自動儀器低估的結果，這顯示自動儀器小時值受限於儀器偵測極限，大多數數值無法呈現，從散布圖數據點也可發現，元素 Co、Cr、Ga、Ge、Mo、Pb、Se、Rb 的自動儀器數值多為零值。

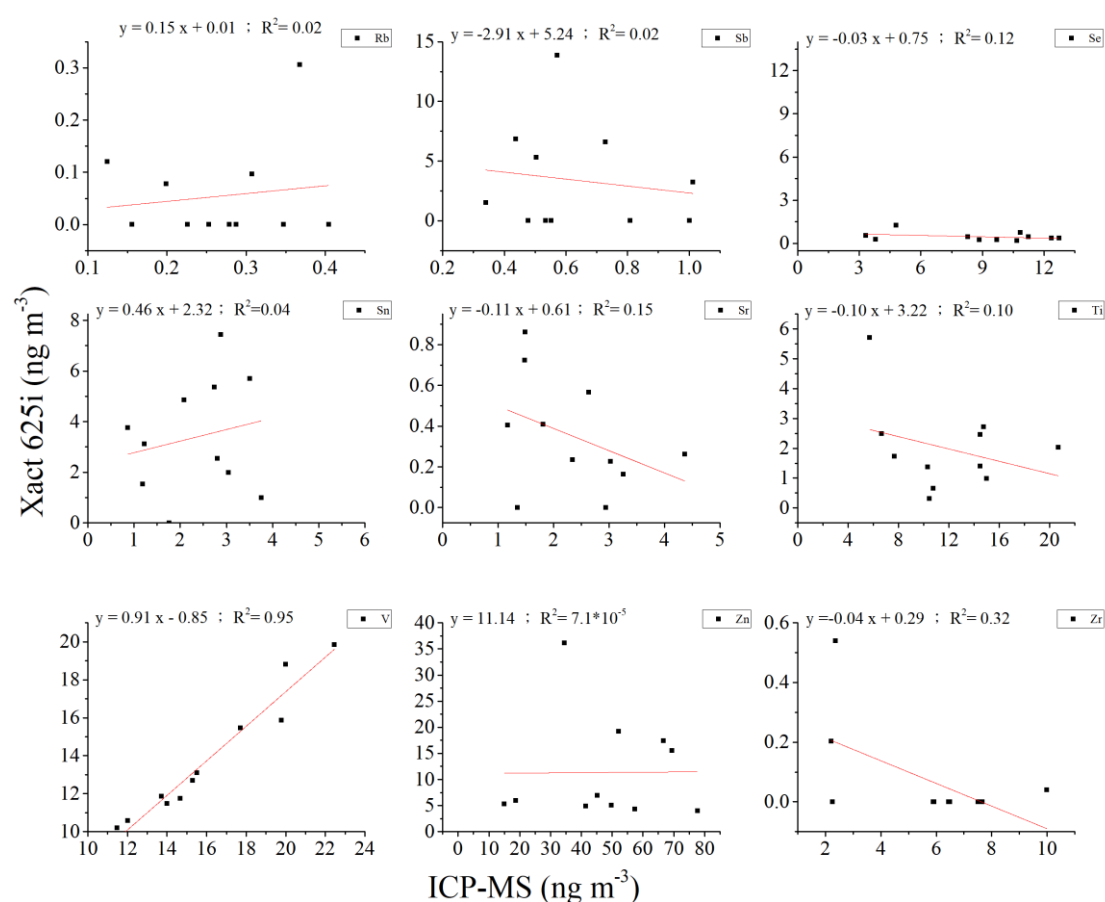


圖 4.7.3 採樣期間自動儀器(Xact 625i)與手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分小時值迴歸分析

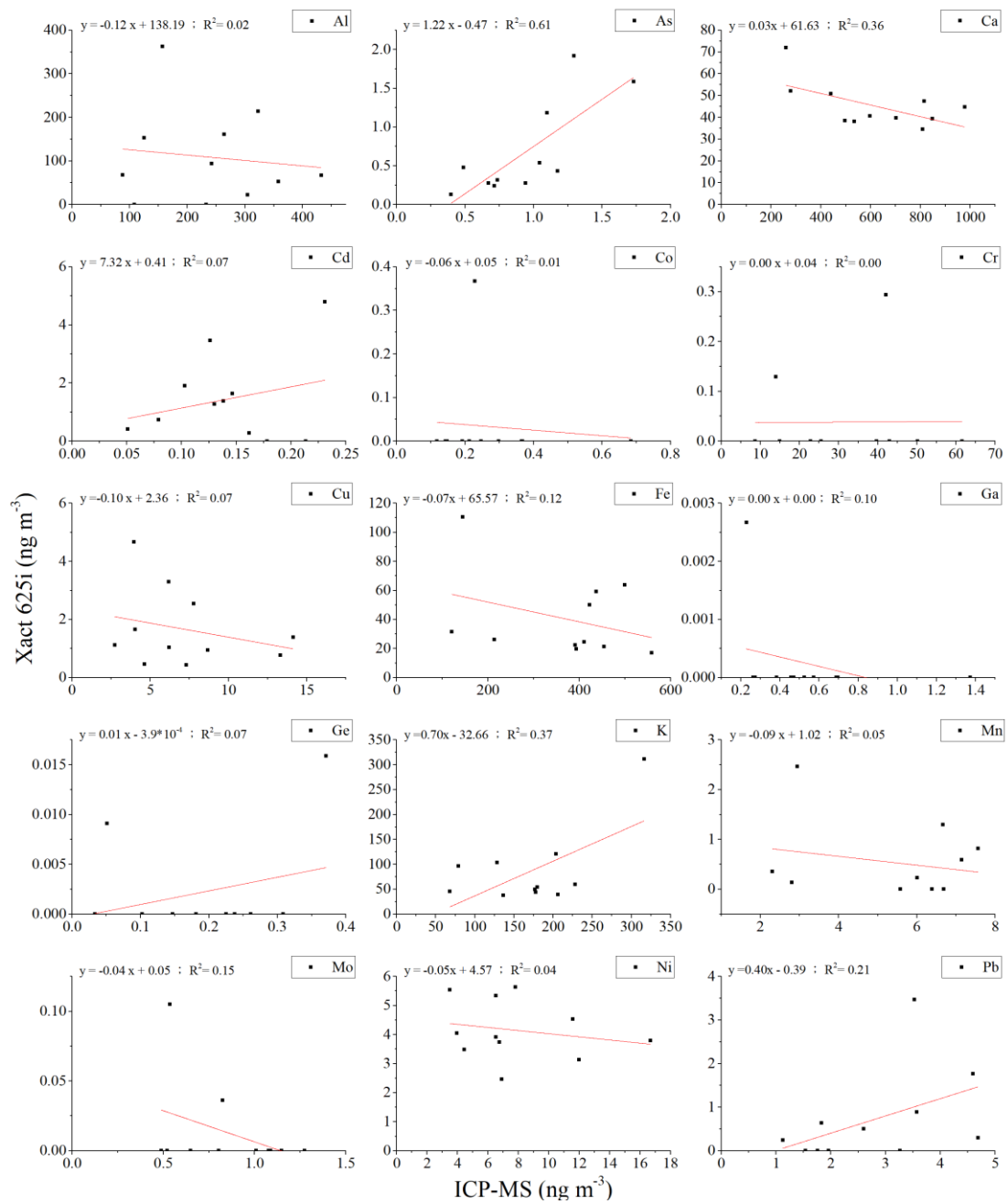


圖 4.7.3 採樣期間自動儀器(Xact 625i)與手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 金屬元素成分小時值迴歸分析(續)

## 4.7.2 自動儀器採樣誤差與數據完整性

### 1. 手動與自動儀器日平均濃度差異百分比

為了評估自動儀器採樣誤差，將自動儀器日平均數據與參考方法(ICP-MS 分析結果)間的差異以百分比表示，相對差異百分比(RPD)計算方式如下列公式 4.7.1，其中  $X_1$  與  $X_2$  為兩種儀器量測值。表 4.7.4 為自動儀器與手動採樣結果相對差異百分比，結果顯示自動採樣儀器所測得結果與標準方法分析結果間 RPD 值較佳者如：金屬元素 As、Ba、Fe、K、Ni、Sr、Ti、V、Zn，差異百分比約在 40% 上下或以內，其中以元素 V 結果最佳，另外 Cd、Ga、Sb、Tl 等金屬金屬元素，相對差異百分比大於 150%，大部分濃度都相當低，顯示低濃度金屬元素在儀器間穩定性較差，另外未列於表中元素，則為監測值皆低於偵測極限故不列入比對。

$$RPD(\%) = \frac{|X_1 - X_2|}{\frac{1}{2}|X_1 + X_2|} \quad \text{公式(4.7.1)}$$

表 4.7.4 自動儀器日平均濃度與參考方法 (ICP-MS) 差異百分比 (%)

金屬 元素	RPD(%)	金屬 元素	RPD(%)
Al	107%	Mo	109%
As	32%	Ni	36%
Ba	35%	Pb	69%
Ca	63%	Rb	59%
Cd	182%	Sb	170%
Ce	72%	Se	69%
Cr	107%	Sn	143%
Cu	55%	Sr	42%
Fe	33%	Ti	42%
Ga	150%	V	16%
Ge	54%	Y	151%
K	41%	Zn	45%
Mn	53%	Zr	73%



## 2.自動監測儀器運轉率及數據有效性評估

為了瞭解 Xact 625 及 Xact 625i 自動金屬元素監測儀器運轉率以及數據有效性，透過運轉率公式將儀器有效運轉時間量化，運轉率公式如以下公式 4.7.2。

$$\text{運轉率(\%)} = \frac{(A)-(B)-(C)-(D)}{(A)-(B)-(C)} \times 100\% \quad \text{公式(4.7.2)}$$

其中，運轉時數=日曆天數 × 24 小時/天；停電時數=停電、天災等人力不可抗拒之無法運轉時數；業務需要停止時數=環保署同意的停機保養時數；未運轉時數=設備故障、當機、耗材更換、零組件更換施作、資料漏失未儲存等得標廠商維護不周全造成。相關計算參數資料如表 4.7.5 所示。評估儀器運轉率期間為手動採樣期間，共計 40 日，另外受到每日自動校正影響，每日的 0 時與 23 時的樣本受到自動校正影響，前者僅分析半小時，後者僅採樣半小時，因此每日有效樣本數為 22 筆。Xact 625i 於比對採樣期間共計停機 14 小時，14 小時皆與儀器錯誤訊號有關。儀器運轉率都維持 90%以上，顯示儀器運轉穩定。

表 4.7.5 監測期間儀器運轉率相關資料

儀器型號	(A) 運轉時數 (hr)	(B) 停電時數 (hr)	(C) 業務需要停 止時數(hr)	(D) 未運轉時數 (hr)	運轉率 (%)
Xact 625i	960	0	80	14	98.4
Xact 625	144	0	12	0	100

為了評估儀器數據有效率，計算比對監測期間各項金屬元素小時值濃度低於偵測極限占比，結果彙整於表 4.7.6 中，顯示新儀器可監測 43 種金屬元素，其中 Au、Ba, Co, Mo, Tl, Ga, Rb, Y, Hg, Ge, Cs, La, Ce, P, In, Pt, Bi 低於偵測極限比例高於 50%，占可監測金屬元素數目的 37%；舊儀器可監測 21 種金屬元素，Ba, Co, Tl, Ga 低於偵測極限比例高於 50%，占可監測金屬元素數目的 19%。

表 4.7.6 新舊型自動儀器各金屬元素物種低於偵測極限(BDL)占比

新(xact 625i) 舊(xact 625)			新(xact 625i) 舊(xact 625)		
金屬元素	BDL(%)		金屬元素	BDL(%)	
Ag	35%	—	Mn	5%	0%
Al	25%	—	Mo	74%	22%
As	32%	24%	Ni	0%	0%
Au	91%	1%	P	74%	—
Ba	86%	80%	Pb	11%	0%
Bi	94%	—	Pd	10%	—
Br	0%	—	Pt	98%	—
Ca	0%	0%	Rb	58%	—
Cd	28%	0%	Sb	18%	—
Ce	80%	—	Se	3%	1%
Cl	5%	—	Si	13%	—
Co	89%	91%	Sn	3%	—
Cr	35%	7%	Sr	4%	—
Cs	97%	—	Te	33%	—
Cu	1%	0%	Ti	0%	0%
Fe	0%	0%	Tl	97%	99%
Ga	90%	100%	V	0%	0%
Ge	76%	—	W	58%	—
Hg	87%	0%	Y	85%	—
In	62%	—	Zn	0%	0%
K	0%	0%	Zr	41%	—
La	98%	—			

#### 4.8 細懸浮微粒採樣監測分析品保作業（見附錄光碟）

## 第五章 結論與建議

### 章節摘要

本章綜合彙整本計畫 PM<sub>2.5</sub> 化學成分檢測及資料分析整體成果，各項結論呈現係依照年度工作目標順序，可濃縮歸納為：新購置儀器平行比對並無系統性偏差、例行性手動採樣 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度與環保署測站連續監測濃度季節變化趨勢相當一致、北、中、南部 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度有季節變化趨勢、各站各季節 PM<sub>2.5</sub> 化學成分濃度占比有區域性差異、若無干擾修正水溶性離子將低估、碳成分則高估、高濃度樣本 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>佔 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度比例增大、大部分 PM<sub>2.5</sub> 事件都是在地擴散不佳、區域傳輸的因素造成、PMF 受體模式和能見度模式推估指出「二次氣膠」是最主要污染類別、本年度有 34 篇國際文獻彙整。

### 5.1 結論

本計畫已完成下列工作：2016 年 11 月底至 12 月初斗六、嘉義、花蓮 3 站任務型採樣、2017 年採樣前 MetOne SASS 成分採樣器的化學成分分析比對及 FRM 採樣器質量濃度比對、2017 年 1 至 11 月底例行性每 6 天北、中、南、東部 6 站同步採樣一次。各樣本 PM<sub>2.5</sub> 化學成分經分析後，彙整成果如下：

1. MetOne SASS 化學成分採樣器與 MetOne E-FRM 採樣器在儀器比對期間濃度無明顯差異，儀器標準偏差分別為 0.4~1.6  $\mu\text{g m}^{-3}$  以及 0.1~0.2  $\mu\text{g m}^{-3}$  ( $<2 \mu\text{g m}^{-3}$ )，相對標準偏差 RP<sub>j</sub> 值分別為 1.8~5.4%以及 0.6~1.3% ( $<5\%$ )，並無系統性偏離，符合美國 FEM 等似儀器類型 I 規範。
2. 新購置 MetOne SASS 化學成分採樣器，所使用塗覆 MgO 蜂巢管使用前須將管壁上固體 MgO 碎屑去除，避免實驗分析時發生 Mg<sup>2+</sup> 過高現象。
3. 任務型採樣期間，花蓮站 PM<sub>2.5</sub> 化學成分以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度最高，其次為修正後有機碳，期間有受到北部或境外污染傳輸影響；斗六站化學成分以修正後有機碳為主，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，值得注意的是，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有相當高的占比，推測與在地污染源有關；嘉義站以修正後有機碳為主，其次為 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 或 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，此外，嘉義站 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 比其他兩站有較高濃度，顯示嘉義站受在地污染影響大。
4. 2017 年 1 月至 11 月底例行性採樣結果顯示：由東而北而南 PM<sub>2.5</sub> 日平均質量濃度分別為 11、20、23、28、28、29  $\mu\text{g m}^{-3}$ 。冬季西部地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度由北至南逐漸遞增，以小港站平均 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度最高，春季季節平均最

高濃度為嘉義站，斗六站濃度非常接近，最高日平均濃度且出現在斗六站；夏季各站都是各季節的最低濃度，以板橋站季節平均濃度最高；秋季季節平均  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度以小港站最高，其次為嘉義及斗六站，流場模式顯示本季東北季風強度不足，區域污染傳輸主要影響地區為斗六和嘉義站。花蓮站在任何季節平均  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度都是各站最低，花蓮站環境風速普遍高於  $2 \text{ m s}^{-1}$  以上，通風環境良好。

5. 從 6 個測站冬季以及春季化學成分占比變化可發現，由北至南  $\text{SO}_4^{2-}$  占比明顯下降，花蓮站  $\text{SO}_4^{2-}$  占比與板橋站相似，可由軌跡資料發現花蓮站氣流來向與北部有相當關連性； $\text{NO}_3^-$  占比則呈現由北至南逐漸上升的趨勢，表示由北至南在地污染源排放影響逐漸增加；OC 占比變化趨勢與  $\text{SO}_4^{2-}$  同樣呈現由北至南逐漸下降趨勢。
6. 從 6 個監測地區夏季以及秋季化學成分占比變化可發現， $\text{SO}_4^{2-}$  占比除了花蓮由於  $\text{PM}_{2.5}$  濃度較低導致  $\text{SO}_4^{2-}$  占比較高外，其餘西部各站占比相似，意謂全島背景  $\text{SO}_4^{2-}$  的存在，秋季各站間變動則不如冬季與春季大； $\text{NO}_3^-$  占比在夏季受到環境氣溫上升影響，明顯低於各季節，以中、南部測站較高，秋季  $\text{NO}_3^-$  占比各站都上升，以中、南部上升幅度較為明顯，主要受到 9 月下旬與 10 月初污染事件影響，另外小港 11 月開始受到擴散條件不佳影響， $\text{NO}_3^-$  也有明顯增長。
7. 各金屬元素季節及區域分布顯示，海鹽(Na、Mg)與塵土(Al、Fe、Ca)指標元素受季風影響，冬季北高南低，夏季小港、花蓮站高，北部較低；交通指標元素 Zn、Sb 在冬季忠明、斗六、嘉義站，有較高富集因子，夏季則是板橋有較高富集因子；燃油燃燒指標元素 V、Ni 則在小港站有較高濃度占比，且明顯高於其他測站；鋼鐵業指標元素 Mo 也有相似的現象，表示小港受到較多的工業污染影響。
8. 採樣過程中，樣本  $\text{PM}_{2.5}$  水溶性離子和有機碳成分有不等程度揮發與吸附，若使用單張濾紙採集水溶性離子將會低估  $\text{NH}_4^+$  濃度 6~20%、 $\text{NO}_3^-$  濃度 4~54%、Cl 濃度 19~62%，夏季受到環境溫度高影響，揮發量最高；碳成分在高  $\text{PM}_{2.5}$  質量濃度時有較多的負干擾(揮發)，低濃度時正干擾(吸附)影響較為顯著，花蓮站樣本卻顯示都是正干擾(吸附)較為顯著，另外，各站各時期揮發性有機氣體吸附量都在  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  以內。

9. 彙整各地區污染事件( $\text{PM}_{2.5}$  濃度大於  $35 \mu\text{g m}^{-3}$ )，天數明顯由北至南部遞增。主要污染來源分為在地排放、區域污染傳輸、以及境外污染傳輸三大類，北部板橋站與南部小港站大多以在地污染事件為主，在地污染事件大多與污染擴散不佳有關，中、南部(斗六和嘉義站)除了在地污染還受到區域污染傳輸影響。
10. 彙整高污染物濃度事件發現，東北風較弱時，中部污染物濃度明顯高於南部小港站，污染物傳輸至雲嘉南空品區後就不再向南推送，而是往嘉義或中央山脈山邊累積；當東北風較強時，污染物由北可傳遞至南部，此時小港站污染物濃度受到在地與污染傳輸影響明顯高於雲嘉空品區。
11. 彙整採樣期間  $\text{PM}_{2.5}$  高濃度( $\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )和低濃度( $< 35 \mu\text{g m}^{-3}$ )樣本檢測的化學成分占  $\text{PM}_{2.5}$  濃度比例，發現： $\text{PM}_{2.5}$  高濃度族群比起低濃度族群，有明顯  $\text{NO}_3^-$  增大現象(24 % vs. 11 %)，與上兩年度結果相似，顯示  $\text{PM}_{2.5}$   $\text{NO}_3^-$  前驅  $\text{NO}_x$  排放源管制仍有待加強。
12. 監測金屬元素新型自動儀器(Xact 625i)與手動儀器(ICP-MS)在麥寮與大城地區共 4 季比對結果，相關性較佳( $R > 0.6$ )的金屬元素有 As、Ba、Ca、Cu、Fe、K、Mn、Pb、Rb、Sr、Ti、V、Zn，其中 V、As 相關係數(R)高達 0.9，斜率分別為 0.84 與 0.65 (ICP-MS 值為 X 軸)。
13. 金屬元素自動儀器與手動儀器量測值，Cu、Fe、K、Zn 有較大的斜率(ICP-MS 值為 X 軸)，斜率為 1.22~1.53，顯示各金屬元素自動儀器可能有 22~53% 左右的高估，其餘相關性較佳的金屬元素則是有較小斜率，如 Sr、V、As，則出現低估；濃度低金屬元素差異大，顯示低濃度金屬元素在兩種儀器間穩定性較差。
14. 受體模式推估結果顯示各測站主要污染因子都以「二次硝酸鹽、二次硫酸鹽」這兩類富含衍生污染物的因子為主，其中，二次硝酸鹽於冬季占比較高，二次硫酸鹽則在夏季有較高占比，突顯各季節污染源變化特性；各站的次高污染因子大多為「交通排放」這個因子在夏季有最高的污染占比，顯示低濃度時受到交通排放影響甚大。
15. 大氣能見度推估結果顯示各監測地區影響能見度最大的  $\text{PM}_{2.5}$  化學成分為修正後  $\text{NH}_4^+$  或  $\text{SO}_4^{2-}$ ，呼應受體模式推估結果，顯示衍生污染物對於能見度的影響相當可觀；此外，氣象因子的環境相對濕度和溫度也有明顯的影

響。

16. 在國際間 PM<sub>2.5</sub> 化學成分採樣檢測經驗與最新技術發展方面，本計畫彙整並解讀 PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測技術、PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測與影響因子、解析 PM<sub>2.5</sub> 化學成分受體模式解析污染來源、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度及化學成分與大氣能見度、執行 PM<sub>2.5</sub> 化學成分評估管制策略等 5 個議題共 34 篇文獻。

## 5.2 建議

1. PM<sub>2.5</sub> 化學成分監測在世界各國雖尚無標準實驗分析方法，本計畫的實驗分析方法建請有關單位參考建置為通用方法。
2. 本計畫監測的 PM<sub>2.5</sub> 化學成分可提供細懸浮微粒健康風險評估及大氣模式模擬驗證評估，可進一步延伸應用層面。
3. 未來可考慮檢測 PM<sub>2.5</sub> 化合物型態，以尋找有機污染源排放指標化合物。



## 第六章 參考文獻

- Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X., Santamaría, J.M., (2011). Chemical characterisation and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research* 102, 191-205.
- Almeida, S., Pio, C., Freitas, M., Reis, M., Trancoso, M., (2005). Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast. *Atmospheric Environment* 39, 3127-3138.
- Andreae, M.O., Gelencsér, A., (2006). Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 3131–3148.
- Arakaki, T., Azechi, S., Somada, Y., Ijyu, M., Nakaema, F., Hitomi, Y., Handa, D., Oshiro, Y., Miyagi, Y., Tsuchioka, A., Murayama, H., Higaonna, Y., Tanahara, A., Itoh, A., Fukushima, S., Higashi, K., Henza, Y., Nishikawa, R., Shinjo, H., Wang, H., (2014). Spatial and temporal variations of chemicals in the TSP aerosols simultaneously collected at three islands in Okinawa, Japan. *Atmospheric Environment* 97, 479-485.
- Bae, M.-S., Schwab, J. J., Zhang, Q., Hogrefe, O., Demerjian, K.L., Weimer, S., Rhoads, K., Orsini, D., Venkatachari, P., Hopke, P. K., (2007). Interference of organic signals in highly time resolved nitrate measurements by low mass resolution aerosol mass spectrometry. *Journal of Geophysical Research* 112, D22305.
- Birmili, W., Allen, A.G., Bary, F., Harrison, R.M., (2006). Trace metal concentrations and water solubility in size-fractionated atmospheric particles and influence of road traffic. *Environmental science and Technology* 40, 1144-1153.
- Bond, T.C., Bergstrom, R.W., (2006). Light absorption by carbonaceous particles: an investigative review. *Aerosol Science and Technology* 40, 27–67. Brechtel Manufacturing Inc, BMI Co. <http://www.brechtel.com/chemistry.html>
- Bressi, M., Sciare, J., Gherzi, V., Mihalopoulos, N., Petit, J.-E., Nicolas, J.B., Moukhtar, S., Rosso, A., Féron, A., Bonnaire, N., Poulakis, E., Theodosi, C., (2014). Sources and geographical origins of fine aerosols in Paris (France). *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, 8813-8839.
- Brown, S.G., Eberly, S., Paatero, P., Norris, G.A., (2015). Methods for estimating uncertainty in PMF solutions: examples with ambient air and water quality data and guidance on reporting PMF results. *Science of the Total Environment* 518-519, 626-635.
- Buset, K. C., Evans, G. J., Leaitch, R., W., Brook, J. R., Toom-Sauntry, D., (2006).

- Use of advanced receptor modelling for analysis of an intensive 5-week aerosol sampling campaign. *Atmospheric Environment*, 40, 482-499.
- Chan, Y.C., Simpson, R.W., Mctainsh, G.H., Vowles, P.D., Cohen, D.D., Bailey, G.M., (1999). Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques. *Atmospheric Environment*, 33, 3237-3250.
- 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.
- Cheng Y., He K.B., Du Z.Y., Zhang M., Duan F.K., Ma Y.L., (2016). Humidity plays an important role in the PM<sub>2.5</sub> pollution in Beijing. *Environmental Pollution* 197, 68-75.
- 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., (1998). Guideline on Speciated Particulate Monitoring. In preparation for EPA, OAQPS, Research Triangle Park, NC, by Desert Research Institute, Reno, NV. August, 1998.
- 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.
- Chow, J.C., Wang, X., Sumlin, B., Gronstal, S.B., Chen, L.-W. A., Trimble, D.L., Kohl, S.D., Mayorga, S.R., Riggio, G., Hurbain, P.R., Johnson, M., Zimmermann, R., Watson, J.G., (2015). Optical calibration and equivalence of a multiwavelength thermal/optical carbon analyzer. *Aerosol and Air Quality* 15, 1145-1159.
- Cooper Environmental Services LLC, (2009). Field demonstration of a near-real-time multi-metals ambient fence line monitor. Submitted to: MACTEC Federal Programs Research Triangle Park, NC under EPA Contract EP-D-05-096, Work Assignment 4-07, February 03, 2009.
- Curci, G., Ferrero, L., Tuccella, P., Barnaba, F., Angelini, F., Bolzacchini, E., Carbone, C., Denier van der Gon, H.A.C., Facchini, M.C., Gobbi, G.P., Kuenen, J.P.P.,

- Landi, T.C., Perrino, C., Perrone, M.G., Sangiorgi, G., Stocchi, P., (2015). How much is particulate matter near the ground influenced by upper-level processes within and above the PBL? A summertime case study in Milan (Italy) evidences the distinctive role of nitrate. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 2629–2649.
- De Gouw, J.A., Brock, C.A., Atlas, E.L., Bates, T.S., Fehsenfeld, F.C., Goldan, P.D., Holloway, J.S., Kuster, W.C., Lerner, B.M., Matthew, B.M., Middlebrook, A.M., Onasch, T.B., Peltier, R.E., Quinn, P.K., Senff, C.J., Stohl, A., Sullivan, A.P., Trainer, M., Warneke, C., Weber, R.J., Williams, E.J., (2008). Sources of particulate matter in the northeastern United States in summer: Direct emissions and secondary formation of organic matter in urban plumes. *Journal of Geophysical Research* 113, D08301. DieselNet <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- European Committee for Standardization, (2005). European PM Standards for PM<sub>2.5</sub> (EN 14907).
- Fang, T., Guo, H., Verma, V., Peltier, R.E., Weber, R.J., (2015). PM<sub>2.5</sub> water-soluble elements in the southeastern United States: automated analytical method development, spatiotemporal distributions, source apportionment, and implications for health studies. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 11667–11682.
- Fu, X., Guo, H., Wang, X., Ding, X., He, Q., Liu, T., Zhang, Z., (2015). PM<sub>2.5</sub> acidity at a background site in the Pearl River Delta region in fall-winter of 2007-2012. *Journal of Hazardous Materials* 286, 484-492.
- Furger, M., Minguillón, M.C., Yadav, V., Slowik, J.G., Hüglin, C., Fröhlich, R., Petterson, K., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., (2017). Elemental composition of ambient aerosols measured with high temporal resolution using an online XRF spectrometer. *Atmospheric Measurement Techniques* 10, 2061-2076.
- Gao, J., Tian, H., Cheng, K., Lu, L., Zheng, M., Wang, S., Hao, J., Wang, K., Hua, S., Zhu, C., Wang, Y., (2015). The variation of chemical characteristics of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> and formation causes during two haze pollution events in urban Beijing, China. *Atmospheric Environment* 107, 1-8.
- Gao, J., Peng, X., Chen, G., Xu, J., Shi, G.-L., Zhanga Y.-C., Feng, Y.-C., (2016). Insights into the chemical characterization and sources of PM<sub>2.5</sub> in Beijing at a 1-h time resolution. *Science of the Total Environment* 542, 162-171.
- Goel, R., Gani, S., Guttikunda, S.K., Wilson, D., Tiwari, G., (2015). On-road PM<sub>2.5</sub> pollution exposure in multiple transport microenvironments in Delhi. *Atmospheric Environment* 123, 129-138.
- Guan, Q., Cai, A., Wang, F., Yang, L., Xu, C., Liu, Z., (2017). Spatio-temporal

- variability of particulate matter in the key part of Gansu Province, Western China. *Environmental Pollution* 230, 189-198.
- Han, L., Cheng, S., Zhuang, G., Ning, H., Wang, H., Wei, W., Zhao, X., (2015). The changes and long-range transport of PM<sub>2.5</sub> in Beijing in the past decade. *Atmospheric Environment* 110, 186-195.
- Han, Y.-J., Kim, H.W., Cho, S.-H., Kim, P.-R., Kim, W.-J., (2015). Metallic elements in PM<sub>2.5</sub> in different functional areas of Korea: Concentrations and source identification. *Atmospheric Research* 153, 416–428.
- Hanninen, O.O., Koistinen, K. J., Kousa, A., Keiski-Karhu, J., Jantunen, M. J., (2002). Quantitative Analysis of Environmental Factors in Differential Weighing of Blank Teflon Filters. *Journal of Air and Waste Management Association*, 52, 134-139.
- Heo, J. B., Hopke, P. K., Yi, S. M., (2009). Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Seoul, Korea. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 9, 4957-4971.
- Hjortenkrans, D.S., Bergbäck, B.G., Häggerud, A.V., (2007). Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005. *Environmental Science and Technology* 41, 5224-5230.
- Hobbs, P.V., Garrett, T.J., Ferek, R.J., Strader S.R., Hegg, D.A., Frick, G.M., Hoppel, W.A., Gasparovic, R.F., Russell, L.M., Johnson, D.W., O'Dowd, C., Durkee, P.A., Nielson, K.E., Innis, G., (2000). Emissions from ships with respect to their effects on clouds. *Journal of the Atmospheric Sciences* 57, 2570–2590.
- Hsu, S.C., Liu, S.C., Huang, Y.T., Chou, C.C., Lung, S., Liu, T.H., Tu, J.Y., Tsai, F. (2009). Long-range southeastward transport of Asian biosmoke pollution: Signature detected by aerosol potassium in northern Taiwan. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 114:D14301, DOI: 10.1029/2009jd011725.
- Hsu, S.C., Liu, S.C., Huang, Y.T., Lung, S.C.C., Tsai, F., Tu, J.Y., Kao, S.J., (2008). A criterion for identifying Asian dust events based on Al concentration data collected from northern Taiwan between 2002 and early 2007. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 113(D18):D18306, DOI: 10.1029/2007jd009574.
- Huang, R.-J., Zhang, Y., Bozzetti, C., Ho, K.-F., Cao, J.-J., Han, Y., Daellenbach, K.R., Slowik, J.G., Platt, S.M., Canonaco, F., Zotter, P., Wolf, R., Pieber, S.M., Bruns, E.A., Crippa, M., Ciarelli, G., Piazzalunga, A., Schwikowski, M., Abbazade, G., Schnelle-Kreis, J., Zimmermann, R., An, Z., Szidat, S., Baltensperger, U., Haddad, I.E., Prévot, A.S.H., (2014). High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature*, 514, 218-222.
- Huang, Y., Hsu, L., Chang, Y., (2011). Comprehensive characterization of ambient

- nanoparticles collected near an industrial science park: Particle size distributions and relationships with environmental factors. *Journal of Environmental Sciences* 23, 1334-1341.
- Isakson, J., Persson, T.A., Lindgren, E.S., (2001). Identification and assessment of ship emissions and their effects in the harbour of Goteborg, Sweden. *Atmospheric Environment* 35, 3659–3666.
- Jeong, C.-H., McGuire, M.K., Herod, D., Dann, T., Dabek–Zlotorzynska, E. Wang, D., Ding, L., Celio, V., Mathieu, D., Evans, G., (2011). Receptor model based identification of PM<sub>2.5</sub> sources in Canadian cities. *Atmospheric Pollution Research* 2, 158-171.
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Amann, M., (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment* 120, 475-483.
- Kelly, J.T., Chuang, C.C., Wexler, A.S., (2007). Influence of Dust Composition on Cloud Droplet Formation. *Atmospheric Environment* 41, 2904-2916.
- Khan, M.F., Latif, M.T., Saw, W.H., Amil, N., Nadzir, M.S.M., Sahani, M., Tahir, N.M., Chung, J.X., (2016). Fine particulate matter in the tropical environment: monsoonal effects, source apportionment, and health risk assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 597-617.
- Khlystov, A., Wyers, G. P., Slanina, J., (1995). The Steam-Jet Aerosol Collector, *Atmospheric Environment* 29, 2229–2234.
- Kim, C.H., (2015). Characterization of Volatilization of Filter-Sampled PM<sub>2.5</sub> Semi-Volatile Inorganic Ions Using a Backup Filter and Denuders. *Aerosol and Air Quality Research* 15, 814-820.
- Kim, E., Hopke, P.K., Edgerton, E.S., (2003). Source identification of Atlanta aerosol by positive matrix factorization. *Journal of the Air and Waste Management Association* 53, 731-739.
- Kirchstetter, T.W., Novakov, T., Hobbs, P.V., (2004). Evidence that spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon. *Journal of Geophysical Research* 109, D21208, doi:10.1029/2004JD004999.
- Koutrakis, P. Sioutas, C., Ferguson, S.T., Wolfson J.M., Mullk, J.D. Burton, R.M., (1993). Development and Evaluation of a Glass Honeycomb Denuder Filter Pack System to Collect Atmospheric Gases and Particles. *Environmental Science and Technology* 27, 2497-2501.
- Kuokka, S., Teinil, A.K., Saarnio, K., Aurela, M., Sillanp, A.M., Hillamo, R., Kerminen, V.-M., Pyy, K., Vartiainen, E., Kulmala, M., Skorokhod, A. I., Elansky, N.F., Belikov, I.B., (2007). Using a moving measurement platform for

- determining the chemical composition of atmospheric aerosols between Moscow and Vladivostok. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, 4793–4805.
- Lack, D.A., Langridge, J.M., (2013). On the attribution of black and brown carbon light absorption using the Å ngström exponent. *Atmospheric Chemistry Physics* 13, 10535–10543.
- Lai, L.W., (2015). Fine particulate matter events associated with synoptic weather patterns, long-range transport paths and mixing height in the Taipei Basin, Taiwan. *Atmospheric Environment* 113, 50-62.
- Laskin, A., Laskin, J., Nizkorodov, S.A., (2015). Chemistry of atmospheric brown carbon. *Chemical Review* 115, 4335–4382.
- Lee, C.-T., Cheng, J.-P., (1996). The effects of aerosol species and meteorological factors on visibility in Taipei metropolitan area. *Journal of Chinese Institute Engineering*, 6, 21-30.
- Lee, C.-T., Shen, C.-T., (1995). Visibility and its estimating model in Taipei metropolitan area. *Proceedings of the National Science Council*, 19, 506-513.
- Lee, K.W. Ramamurthi, M., (1993). *Filter Collection in Aerosol Measurement - Principles, Techniques, and Applications*. Edited by Willeke, K. and Baron, P.A. Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y.
- Lee, T., Yu, X.-Y., Kreidenweis, S. M., Malm, W. C., Collett, J.L., (2008). Semi-continuous measurement of PM<sub>2.5</sub> ionic composition at several rural locations in the United States. *Atmospheric Environment* 42, 6655-6669.
- 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 and Waste Management Association*, 53, 325-338.
- Li, X., He, K., Li, C., Yang, F., Zhao, Q., Ma, Y., Cheng, Y., Ouyang, W., Chen, G., (2013). PM<sub>2.5</sub> mass, chemical composition, and light extinction before and during the 2008 Beijing Olympics, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 118, 12,158–12,167.
- Lin, Y., Huang, K., Zhuang, G., Fu, J.S., Wang, Q., Liu, T., Deng, C., Fu, Q., (2014). A multi-year evolution of aerosol chemistry impacting visibility and haze formation over an Eastern Asia megacity, Shanghai. *Atmospheric Environment* 92, 76-86.
- Liu, C.-N., Lin, S.-F., Awasthi, A., Tsai, C.-J., Wu, Y.-C., Chen, C.-F., (2014). Sampling and conditioning artifacts of PM<sub>2.5</sub> in filter-based samplers. *Atmospheric Environment* 85, 48-53.
- Liu, Z., Hu, B., Ji, D., Wang, Y., Wang, M., Wang, Y., (2015). Diurnal and seasonal variation of the PM<sub>2.5</sub> apparent particle density in Beijing, China. *Atmospheric Environment* 120, 328-338.

- Manousakas, M., Papaefthymiou, H., Diapouli, E., Migliori, A., Karydas, A.G., Bogdanovic-Radovic, I., Eleftheriadis, K., (2017). Assessment of PM<sub>2.5</sub> sources and their corresponding level of uncertainty in a coastal urban area using EPA PMF 5.0 enhanced diagnostics. *Science of Total Environment* 574, 155-164.
- Minguillón, M.C., Cirach, M., Hoek, G., Brunekreef, B., Tsai, M., Hoogh, K.de, Jedynska, A., Kooter, I.M., Nieuwenhuijsen, M., Querol, X., (2014). Spatial variability of trace elements and sources for improved exposure assessment in Barcelona. *Atmospheric Environment* 89, 268-281.
- Mwaniki, G.R., Rosenkrance, C., Wallace, H.W., Jobson, B.T., Erickson, M.H., Lamb, B.K., Hardy, R.J., Zalakeviciute, R., VanReken, T.M., (2014). Factors contributing to elevated concentrations of PM<sub>2.5</sub> during wintertime near Boise, Idaho. *Atmospheric Pollution Research*, 5, 96-103.
- Nakayama, T., Matsumi, Y., Kawahito, K., Watabe, Y., (2017). Development and evaluation of a palm-sized optical PM<sub>2.5</sub> sensor. *Aerosol Science and Technology*, DOI: 10.1080/02786826.2017.1375078
- Noble, C.A., Vanderpool, R.W., Peters, T.M., McElroy, F.F., Gemmill, D.B. Wiener, R.W., (2001). Federal Reference and Equivalent Methods for Measuring Fine Particulate Matter. *Aerosol Science and Technology* 34, 457-464.
- 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.
- Niu, J., Rasmussen, P.E., Wheeler, A., Williams, R., Chenier, M., (2010). Evaluation of airborne particulate matter and metals data in personal, indoor and outdoor environments using ED-XRF and ICP-MS and co-located duplicate samples. *Atmospheric Environment* 44, 235-245.
- Ntziachristos, L., Ning, Z., Geller, M.D., Sheesley, R.J., Schauer, J.J., Sioutas, C., (2007). Fine, ultrafine and nanoparticle trace element compositions near a major freeway with a high heavy-duty diesel fraction. *Atmospheric Environment* 41, 5684-5696.
- Orsini, D., Ma, Y., Sullivan, A., Sierau, B., Baumann, K., Weber, R., (2003). Refinements to the particle-into-liquid sampler (PILS) for ground and airborne measurements of water-soluble aerosol composition. *Atmospheric Environment* 37, 1243–1259.
- 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.
- Pang, Y., Ren, Y., Obeidi, F., Hastings, R., Eatough, D.J., Wilson, W.E., (2001). Semi-volatile species in PM<sub>2.5</sub>: comparison of integrated and continuous samplers for PM<sub>2.5</sub> research or monitoring. *Journal of Air and Waste Management Association* 51, 25–36.
- Park, S.S., Son, S.-C., (2017). Relationship between carbonaceous components and aerosol light absorption during winter at an urban site of Gwangju, Korea. *Atmospheric Research* 185, 73-83.
- Parworth, C. L., Young, D.E., Kim, H., Zhang, X., Cappa, C.D., Collier, S., Zhang, Q., (2017). Wintertime water-soluble aerosol composition and particle water content in Fresno, California. *Journal of Geophysical Research Atmosphere* 122, 3155 – 3170.
- Paw-Armart, I., Yoshizumi, K., (2013). Size distributions of atmospheric aerosol compositions in Saitama, Japan. *Open Journal of Air Pollution* 2, 1-6.
- Qu, W.J., Wang, J., Zhang, X.Y., Wang, D., Sheng, L.F., (2015). Influence of relative humidity on aerosol composition: Impacts on light extinction and visibility impairment at two sites in coastal area of China. *Atmospheric Research* 153, 500-511.
- Querol, X., Zhuang, X., Alastuey, A., Viana, M., Lv, W., Wang, Y., López, A., Zhu, Z., Wei, H., Xu, S., (2006). Speciation and sources of atmospheric aerosols in a highly industrialised emerging mega-city in Central China. *Journal of Environmental Monitoring* 8, 1049-1059.
- Rahn, K.A., (1999). A graphical technique for determining major components in a mixed aerosol. I. Descriptive aspects. *Atmospheric Environment* 33, 1441-1455.
- Rattanavaraha, W., Chu, K., Budisulistiorini, S. H., Riva, M., Lin, Y.-H., Edgerton, E. S., Baumann, K., Shaw, S. L., Guo, H., King, L., Weber, R. J., Neff, M. E., Stone, E. A., Offenberg, J. H., Zhang, Z., Gold, A., Surratt, J. D., (2016). Assessing the impact of anthropogenic pollution on isoprene-derived secondary organic aerosol formation in PM<sub>2.5</sub> collected from the Birmingham, Alabama, ground site during the 2013 Southern Oxidant and Aerosol Study. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 4897-4914.
- Reff, A., Eberly, S.I., Bhawe, P.V., (2007). Receptor modeling of ambient particulate matter data using positive matrix factorization: review of existing methods. *Journal of the Air and Waste Management Association* 57, 146-154.
- Ricciardelli, I., Caboo, D., Rinaldi, M., Bonafe, G., Scotto, F., Trentini, A., Bertacci,



- G., Ugolini, P., Zigola, C., Rovere, F., Maccone, C., Pironi, C., Poluzzi, V., (2017). A three-year investigation of daily PM<sub>2.5</sub> main chemical components in four sites: the routine measurement program of the Supersito Project (Po Valley, Italy). *Atmospheric Environment* 152, 418-430.
- Rouillon, M., Taylor, M.P., (2016). Can field portable X-ray fluorescence (pXRF) produce high quality data for application in environmental contamination research? *Environmental Pollution* 214, 255-264.
- RTI International, (1999). Standard Operating Procedures for Procurement and Acceptance Testing of Teflon, Nylon, and Quartz Filters. Environmental and Industrial Sciences Division, RTI International, Research Triangle Park, North Carolina.
- RTI International, (2003). Standard Operating Procedure for PM<sub>2.5</sub> Gravimetric Analysis. Environmental and Industrial Sciences Division RTI International, Research Triangle Park, North Carolina.
- Salvador, P., Artíñano, B., Alonso, D.G., Querol, X., Alastuey, A., (2004). Identification and characterisation of sources of PM 10 in Madrid (Spain) by statistical methods. *Atmospheric Environment* 38, 435-447.
- Shen, Z., Cao, J., Zhang, L., Zhang, Q., Huang, R.-J., Liu, S., Zhao, Z., Zhu, C., Lei, Y., Xu, H., Zheng, C., (2016). Retrieving historical ambient PM<sub>2.5</sub> concentrations using existing visibility measurements in Xi'an, Northwest China. *Atmospheric Environment* 126, 15-20.
- Shiraiwa, M., Li, Y., Tsimpidi, A. P., Karydis, V. A., Berkemeier, T., Pandis, S. N., Lelieveld, J., Koop, T., Poschl, U., (2017). Global distribution of particle phase state in atmospheric secondary organic aerosols. *Nature Communications* 8:15002.
- Simon, P.K., Dasgupta, P.K., (1995). Continuous automated measurement of the soluble fraction of atmospheric particulate matter, *Analytical Chemistry* 67, 71–78.
- Singh, D.K., Lakshay, Gupta, T., (2014). Field performance evaluation during fog-dominated wintertime of a newly developed denuder-equipped PM<sub>1</sub> sampler *Environmental Science Pollution Research* 21, 4551–4564.
- Sioutas, C., Wang, P.Y., Ferguson, S.T., Koutrakis, P., (1996). Laboratory and field evaluation of an improved glass honeycomb denuder/filter pack sampler. *Atmospheric Environment* 30, 885-895.
- 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.

- Solomon, P. A., Crumpler, D., Flanagan, J.B., Jayanty, R.K.M., Rickman Ed.E., McDade, C.E., (2014). U.S. National PM<sub>2.5</sub> Chemical Speciation Monitoring Networks—CSN and IMPROVE: Description of networks, *Journal of the Air and Waste Management Association* 64, 12, 1410-1438.
- Sorooshian, A., Ng, N.L., Chan, A.W.H., Feingold, G., Flagan, R.C., Seinfeld, J.H., (2007). Particulate organic acids and overall water-soluble aerosol composition measurements from the 2006 Gulf of Mexico Atmospheric Composition and Climate Study (GoMACCS). *Journal of Geophysical Research* 112, D13201.
- Souri, A. H., Choi, Y., Jeon, W., Kochanski, A. K., Diao, L., Mandel, J., Bhawe, P. V., Pan, S., (2017). Quantifying the impact of biomass burning emissions on major inorganic aerosols and their precursors in the U.S. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122. <https://doi.org/10.1002/2017JD026788>
- Souto-Oliveira, C.E., Andrade, M. de F., Kumar, P., Lopes, F.J. da S., Babinski, M., Landulfo, E., (2016). Effect of vehicular traffic, remote sources and new particle formation on the activation properties of cloud condensation nuclei in the megacity of São Paulo, Brazil. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 14635–14656.
- Taylor, S., (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et cosmochimica acta* 28, 1273-1285.
- 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.
- Timonen, H., Aurela, M., Carbone, S., Saarnio, K., Saarikoski, S., Mäkelä, T., Kulmala, M., Kerminen, V.-M., Worsnop, D. R., and Hillamo, R., (2010). High time-resolution chemical characterization of the water-soluble fraction of ambient aerosols with PILS-TOC-IC and AMS. *Atmospheric Measurement Technology Discussion*, 3, 1775–1805.
- Timonen, H., Carbone, S., Aurela, M., Saarnio, K., Saarikoski, S., Ng, N. L., Hillamo, R., (2013). Characteristics, sources and water-solubility of ambient submicron organic aerosol in springtime in Helsinki, Finland. *Journal of Aerosol Science*, 56, 61-77.
- Titos, G., Lyamani, H., Pandolfi, M., Alastuey, A., Alados-Arboledas, L., (2014). Identification of fine (PM<sub>1</sub>) and coarse (PM<sub>10-1</sub>) sources of particulate matter in an urban environment. *Atmospheric Environment* 89, 593-602.
- Tiwari, S., Jopke, P.K., Pipal, A.S., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., Tiwari, S., Singh, A.K., Soni, V.K., atrri, S.D., (2015). Intra-urban variability of particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India. *Atmospheric Research* 166, 223-232.

- Tsai, J.-H., Lin, K.-H., Chen, C.-Y., Ding, J.-Y., Choa, C.-G., Chiang, H.-L., (2007). Chemical constituents in particulate emissions from an integrated iron and steel facility. *Journal of Hazardous Materials* 147, 111-119.
- Turpin, B.J., Saxena, P., Andrews, E., (2000). Measuring and simulating particulate organics in the atmosphere: problems and prospects. *Atmospheric Environment* 34, 2983-3013.
- Ulevicius, V., Byčenkienė, S., Bozzetti, C., Vlachou, A., Plauškaitė, K., Mordas, G., Dudoitis, V., Abbaszade, G., Remeikis, V., Garbaras, A., Masalaite, A., Blees, J., Fröhlich, R., Dällenbach, K.R., Canonaco, F., Slowik, J.G., Dommen, J., Zimmermann, R., Schnelle-Kreis, J., Salazar, G.A., Agrios, K., Szidat, S., El Haddad, I., Prévôt, A.S.H., (2016). Fossil and non-fossil source contributions to atmospheric carbonaceous aerosols during extreme spring grassland fires in Eastern Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 5513-5529, doi:10.5194/acp-16-5513-2016.
- U.S. Environment Protection Agency, (1998). Quality Assurance Guidance Document 2.12 Monitoring PM<sub>2.5</sub> in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods.
- U.S. Environment Protection Agency, (1998). Air Pollution Training Institute training course: 435 Atmospheric Sampling.  
(<http://www.epa.gov/eogapti1/catalog/cc435Manuals.html>)
- U.S. Environment Protection Agency, (1999). Air Quality Criteria for Particulate Matter Volume 1. EPA/600/P-99/002a, Office of Research and Development, Washington, DC, U.S.A.
- U.S. Environmental Protection Agency, (2005). Comparison of Integrated Filter and Semi-Continuous Measurements of PM<sub>2.5</sub> Nitrate, Sulfate, and Carbon Aerosols in the Speciation Trends Network (STN). EPA Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park, NC 27711, U.S.A.
- U.S. Environment Protection Agency, (2009). Quality Assurance Guidance Document, Quality Assurance Project Plan for the Federal PM<sub>2.5</sub> Performance Evaluation Program. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711, U.S.A.
- U.S. Environment Protection Agency, (2011). Code of Federal Register, Title 40 Volume 5 Part 53 Ambient Air Monitoring Reference and Equivalent Methods.
- U.S. Environment Protection Agency, (2012). List of Designated Reference and Equivalent Methods. National Exposure research Laboratory, Human Exposure and Atmospheric Sciences Division (MD-D205-03) Office of Research and Development, Washington, DC, U.S.A.

- Vecchi, R., Bernardoni, V., Cricchio, D., D'Alessandro, A., Fermo, P., Lucarelli, F., Nava, S., Piazzalunga, A., Valli, G., (2008). The impact of fireworks on airborne particles. *Atmospheric Environment* 42, 1121-1132.
- Xu, H., Cao, J., Chow, J.C., Huang, R.J., Shen, Z., Chen, L.W., Ho, K.F., Watson, J.G., (2016). Inter-annual variability of wintertime PM<sub>2.5</sub> chemical composition in Xi'an, China: Evidences of changing source emissions. *Science of the Total Environment* 545-546, 546-555.
- Wang G., Cheng S., Lang J., Yang X., Wang X., Chen G., Liu X., Zhang H., (2017). Characteristics of PM<sub>2.5</sub> and Assessing Effects of Emissions-Reduction Measures in the Heavy Polluted City of Shijiazhuang, before, during, and after the Ceremonial Parade 2015. *Aerosol and Air Quality Research* 17, 499-512.
- Wang, X., Hayeck, N., Brüggemann, M., Yao, L., Chen, H., Zhang, C., Emmelin, C., Chen, J., George, C., Wang, L., (2017). Chemical characteristics of organic aerosols in shanghai: A study by ultrahigh-performance liquid chromatography coupled with Orbitrap mass spectrometry. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122. <https://doi.org/10.1002/2017JD026930>
- Wang, Y., Hopke, P. K., Xia, X., Rattigan, O.V., Chalupa, D.C., Utell, M.J., (2012). Source apportionment of airborne particulate matter using inorganic and organic species as tracers. *Atmospheric Environment* 55, 525-532.
- Wang, Y.C., Huang, R.J., Ni, H.Y., Chen, Y., Wang, Q.Y., Li, G.H., Tie, X.X., Shen Z.X., Huang, Y., Liu, S.X., Dong, W.M., Xue, P., Frohlich, R., Canonaco, F., Elser, M., Daellenbach, K.R., Bozzetti, C., El Haddad, I., Prevot, A.S.H., Canagaratna, M.R., Worsnop, D.R., Cao, J.J., (2017). Chemical composition, sources and secondary processes of aerosols in Baoji city of northwest China. *Atmospheric Environment* 158, 128-137.
- Weckwerth, G., (2001). Verification of traffic emitted aerosol components in the ambient air of Cologne (Germany). *Atmospheric Environment* 35, 5525-5536.
- Wehner, B., Philippin, S., Wiedensohler, A., Scheer, V., Vogt, R., (2004). Variability of non-volatile fractions of atmospheric aerosol particles with traffic influence. *Atmospheric Environment* 38, 6081-6090.
- Wen, W., Cheng, S., Chen, X., Wang, G., Li, S., Wang, X., Liu, X., (2016). Impact of emission control on PM<sub>2.5</sub> and the chemical composition change in Beijing-Tianjin-Hebei during the APEC summit 2014. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 4509-4521.
- Weber, R.J., Orsini, D., Daun, Y., Lee, Y.-N., Klotz, P.J., Brechtel, F., (2001). A particle-into-liquid collector for rapid measurement of aerosol bulk chemical composition, *Aerosol Science and Technology* 35, 718–727.

- Xia, L., Gao, Y., (2011). Characterization of trace elements in PM 2.5 aerosols in the vicinity of highways in northeast New Jersey in the US east coast. *Atmospheric Pollution Research* 2, 34-44.
- Yan, C., Zheng, M., Bosch, C., Andersson, A., Desyaterik, Y., Sullivan, A. P., Collett, J. L., Zhao, B., Wang, S., He, K., Gustafsson, O., (2017). Important fossil source contribution to brown carbon in Beijing during winter. *Scientific Reports* 7: 43182.
- Yang, F., He, K., Ma, Y., Chen, X., Cadle, S., Tai, C., Mulawa, P., (2003). Characteristics and sources of trace elements in ambient PM2.5 in Beijing. *Journal of Huan Jing Ke Xue* 24, 33-37.
- Zhang, Y., Sheesley, R.J., Schauer, J.J., Lewandowski, M., Jaoui, M., Offenberg, J.H., Edney, E.O., (2009). Source apportionment of primary and secondary organic aerosols using positive matrix factorization (PMF) of molecular markers. *Atmospheric Environment* 43, 5567–5574.
- Zhang, S., Ji, Y., Zhu, Z., Li, Y., Yang, W., (2015). Comparison of filtration system and a honeycomb denuder-based system for sampling PM<sub>2.5</sub> in Tianjin, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 1338–1346.
- Zhang, Y.-L., Huang, R.-J., El Haddad, I., Ho, K.-F., Cao, J.-J., Han, Y., Zotter, P., Bozzetti, C., Daellenbach, K.R., Canonaco, F., Slowik, J.G., Salazar, G., Schwikowski, M., Schnelle-Kreis, J., Abbaszade, G., Zimmermann, R., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., and Szidat, S., (2015). Fossil vs. non-fossil sources of fine carbonaceous aerosols in four Chinese cities during the extreme winter haze episode of 2013. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 1299-1312.
- Zhang, Y.-L., Kawamura, K., Cao, F., Lee, M., (2016). Stable carbon isotopic compositions of low-molecular-weight dicarboxylic acids, oxocarboxylic acids,  $\alpha$ -dicarbonyls, and fatty acids: Implications for atmospheric processing of organic aerosols, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 121, 3707–3717.
- Zheng, G.J., Duan, F.K., Su, H., Ma, Y.L., Cheng, Y., Zheng, B., Zhang, Q., Huang, T., Kimoto, T., Chang, D., Pöschl, U., Cheng, Y.F., He, K.B., (2015). Exploring the severe winter haze in Beijing: the impact of synoptic weather, regional transport and heterogeneous reactions. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, 2969-2983.
- Zong, Z., Wang, X., Tian, C., Chen, Y., Qu, L., Ji, L., Zhi, G., Li, J., Zhang, G., (2016). Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> at a regional background site in North China using PMF linked with radiocarbon analysis: insight into the contribution of biomass burning. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 11249-11265.
- Zhu, Y., Yan, C., Zhang, R., Wang, Z., Zhang, M., Gao, H., Gao, Y., Yao, X., (2017). Simultaneous measurements of new particle formation at 1 s time resolution at a

- street site and a rooftop site. Atmospheric Chemistry and Physics, 17, 9469–9484.
- 大氣中微小粒子狀物質(PM<sub>2.5</sub>) 質量濃度測定方法暫定マニュアル(改定版)  
(2007) 日本環境省。
- 環保署環境檢驗所 (2003) 空氣中粒狀污染物中硫酸鹽、氯鹽、硝酸鹽檢測方法—離子層析法 (NIEA A451.10C)，中華民國92年12月10日起實施。
- 環保署環境檢驗所 (2005) 水中陰離子檢測方法—離子層析法 (NIEA A415.52B)，中華民國 94 年 08 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。
- 李崇德、周崇光、張士昱、溫志雄、羅莉雯、陳永盛、林琴軒 (2008)“九十六及九十七年度北部微粒超級監測站操作品保及數據分析計畫”，九十七年度期末報告，EPA-96-FA11-03-A007，台北，97 年 12 月。
- 李崇德、周崇光、張士昱、溫志雄、羅莉雯、林琴軒、鄭瑞仁 (2009)“九十八年度北部微粒超級監測站操作品保及數據分析計畫”，九十八年度期末報告，EPA-98-FA11-03-A016，台北，98 年 12 月。
- 李崇德、周崇光、張士昱、溫志雄、黃秋華、吳克清、鄭瑞仁、陳聖中、施韋羽 (2011)“99 年度微粒超級監測站品保作業計畫”，九十九年度期末報告，EPA-99-FA11-03-A025，台北，100 年 12 月。
- 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觀測網規劃作業計畫”，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>)化學成分監測計畫”，第二次工作報告，環保署 EPA-104-L102-02-103，台北，105 年 5 月。

梁志鋒(2006)，受體模式 CMB 與 PMF 之比較與驗證。國立中興大學環境工程研究所碩士論文。

施韋羽(2013)，台灣都會區細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度變化影響因子、污染來源及其對大氣能見度影響。國立中央大學環境工程研究所碩士論文。

## 附錄一 「細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫」啟 始會議審查意見及回覆

	審查意見	意見回覆
1	本計畫所分析項目包含質量濃度、水溶性陰陽離子、碳成分及重金屬元素成分，考量相關作業時間，預計可在採樣後 21~28 天內提供分析數據，所提供之格式比照現行計畫，如國衛院有特殊需求，提供資料時可配合調整。	本計畫為國內第一次進行六天一次 PM <sub>2.5</sub> 化學成分監測及分析規律採樣，所分析項目包含質量濃度、水溶性陰陽離子、碳成分及重金屬元素成分，期望能在採樣後 21~28 天內提供分析數據，但初期在協調作業上需要磨合期，希望能給予較寬鬆的期待。
2	本計畫每 6 天採樣 1 次之時程，原則配合本署 PM <sub>2.5</sub> 手動監測採樣，如遇不可抗力因素而無法採樣，後續將以實作數量計價或於高濃度季節增加採樣頻率方式辦理。	本計畫同意遇不可抗力因素而無法採樣，後續將以實作數量計價或於高濃度季節增加採樣頻率方式辦理。
3	有關採購及租借儀器之建議，符合投標須知補充規定：「應參考美國環保署 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣網(CSN)測站所使用之採樣器」，同意購置及租用，並請執行單位加速辦理。	本計畫將依照投標須知補充規定：「應參考美國環保署 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣網(CSN)測站所使用之採樣器」進行採樣器採購，惟進行儀器購置及租用招標採購前有計畫經費核可議價、雙方機構簽約等行政程序需進行，本計畫已盡最大能力加速辦理。
4	請計畫執行單位整理歷年採樣、分析方法等資料，以提供環檢所儘早完成制定標準方法之評估，後續本署將會再召開會議討論。	本計畫歷年採樣、分析方法等資料均列於各年度「計畫品保規劃書」內，環檢所可據以制定標準方法，若需要更詳細資料，本計畫將樂於提供。
5	本計畫應建立資料展示平台提供數據參考、下載，其資料格式以總量方式，如碳成分直接提供 OC、EC 數據，細部的 OC1、OC2 等僅作為內部使用，亦可將資料作圖形化展示。	本計畫將於適當時機建立資料展示平台提供數據參考、下載，資料格式將以總量方式呈現。
6	有關空污基金委員會委員建議，請執行單位進行相關評估，原則本年度計畫依投標須知之規定工作項目為主，如後續年度經費許可，再參考納入。	本計畫將儘量依照空污基金委員會委員建議進行相關評估，並提出可行建議。



## 附錄二 「細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫」

### 第 1 次工作報告會議審查意見及回覆

	審查意見	意見回覆
1	請執行單位整理歷年採樣、分析方法等資料，並請說明本方法應注意事項、如未依此方法可能造成的差異等，本處將於 1-2 星期內邀集環檢所討論及評估制定標準方法。	本計畫已經將 PM <sub>2.5</sub> 化學成分採樣及分析方法彙整給環檢所參考。
2	品保規劃書 p.25 及 p.26 內容有重複，請再確認；另本年度採購新的採樣儀器，建議定稿可簡化，不用放過去儀器的相關資料，以符合新年度計畫之內容。	本年度計畫跨越新、舊採樣儀器，在 105 年 11~12 月進行斗六、嘉義、花蓮三站採樣仍然使用舊儀器，為說明當時使用的採樣器，以及避免誤解，本計畫報告將新、舊採樣器均列出。
3	未來將設計、建置國家級 PM <sub>2.5</sub> 成分監測網站，請執行單位整理歷年監測分析資料，以科普方式呈現，有助於提供民眾了解。	本計畫將思考歷年監測分析資料科普呈現方式，以有助於民眾了解。
4	成分監測資料建議應先給空保處，再由該處提供國衛院，或規劃建置 PM <sub>2.5</sub> 成分監測資料展示平台，由執行單位上傳相關監測資料，各界可直接下載使用；第 1 筆資料應待完整確認後，例如採樣後 2 個月上網呈現，再依序提供後續資料。	本計畫將依照會議決定時間提供資料。
5	PM <sub>2.5</sub> 成分監測資料平台應分為對內及對外，對內為原始、完整資料，對外則以總量方式，如碳成分直接提供 OC、EC 數據。	本計畫將依照會議決定方式將 PM <sub>2.5</sub> 成分監測資料平台應分為對內為原始、完整資料，對外則以總量方式提供。
6	請說明本計畫所使用之補償修正方法，與美國 CSN 是否有差異。	美國 IMPROVE 監測網原先是使用分布在華盛頓州、加州、亞利桑那州(2站)、喬治亞州、西維吉尼亞州6個國家公園或國家森林保護區採樣第二張石英濾紙每個月 OC 主動吸附濃度中位數值(Chow et al., 2010)，從 2008 年開始，前述 6 個站點擴增為 12 個站點(Solomon et al., 2014)，以第一張濾紙扣減第二張濾紙 OC。從 2013 年 4 月開始，IMPROVE 改成以第一張濾紙扣減幾個測站放置 7 天

		空白中位數值。美國CSN監測網作法是依照IMPROVE監測網。另外，美國Southeastern Aerosol Research and Characterization (SEARCH)監測網使採用下列方法： 修正後OC = 第一張濾紙OC + 第二張濾紙OC - 2 * 現場空白OC 本計畫後續將採用上述方法。
7	新購置採樣器在比對測試時有發現掉屑的情形，是只有初期有這狀況?後續是否可能會再發生?	這種現象在平行比對發生後已經採取防範措施。
8	過年期間如需採樣，建議往後順延 1 或 2 天，亦可瞭解可能的高污染，如放鞭炮、煙火等。	過年期間仍依照原進度採樣沒有停。

## 附錄三 「細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫」

### 第 2 次工作報告會議審查意見及回覆

	審查意見	意見回覆
1	本計畫已依規定進行各項工作，具相當成果，亦有詳細分析，工作值得肯定及嘉許。	謝謝肯定！
2	請說明在平行比對部分，採樣儀器斷電造成採樣時間不同，在計算平均濃度及標準偏差上，是否有額外之處理。	新採樣器平行比對期間，12 月 19 日儀器初次啟動採樣時，編號六號與九號 SASS 成分採樣器所使用電源跳電，因此採樣時間短少三小時，造成質量濃度較低，分析出的成分濃度也有偏差，顯然短少的三個小時在大氣 PM <sub>2.5</sub> 成份上跟其他時間有不一致情形；由於總共有 10 部儀器一起比對，在計算平均濃度和標準偏差時，並沒有剔除，當天標準偏差為 1.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，相較其他三天的 0.4~0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，有些微增大現象。
3	請說明濾紙層數因不同，故採樣設備是否有不同？歷次使用之設備是否以相同型號之設備採樣？	從 2017 年開始，使用成分採樣器是 Met One SASS 成分採樣器，和上一年度使用的 R&P 2300 成分採樣器不同，主要原因是後者停產了。新採樣器在裝置上較為減縮，只有酸性氣體滌除器 (MgO) 即可裝設兩階濾紙。
4	量測時以六站同步採樣，可分析其濃度及成分、推估來源。部分推估為傳輸影響，能否判斷為他縣或境外之傳輸？	本計畫依據 Hysplit 逆推氣流軌跡模式，環保署空品站空氣品質及氣象因子監測數據，可判斷採樣日是受境外、區域(他縣市)、或在地污染影響。
5	本計畫各工作進度皆有依計畫期程執行。	謝謝！
6	12 月 6 日，花蓮、斗六、嘉義之 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度類似，但 $\text{NO}_3^-$ 則發現斗六和嘉義比花蓮高很多，顯示除了境外傳輸外，可能有本地排放源的影響。	是的！ $\text{NO}_3^-$ 來自本地排放源。
7	2 月 6 日，板橋之 $\text{SO}_4^{2-}$ 比其他測站高出許多，若為境外影響，應和花蓮類似，但也有明顯差別。小港之 $\text{NO}_3^-$ 最高，為斗六和嘉義濃度之 2 倍以上，在地影響應是值得探討的項目。	本計畫完全同意審查委員的推論！若受境外傳輸影響，板橋之 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度會比其他測站高出許多。
8	除了水平風速外，垂直擴散影響是否有參數可納入探討參考。	垂直擴散影響有賴探空資料結合模式模擬混合層高度，目前本計畫以水平風速

		當指標判斷大氣通風狀態，初步上可靠性很高。
9	本計畫元素分析使用 FRM 樣品，為什麼不與其他化學分析一樣，使用 MetOne 收集的樣品?美國使用哪一種樣品?	金屬元素標準品只鑑定金屬元素成分濃度，本計畫在水溶性離子檢測方面透過中央大學林能暉教授實驗室，獲有 WMO 酸雨盲樣國際比對樣品進行量測，結果整理在報告內。碳成分目前尚無標準品，質量濃度秤重以控制天秤室溫、濕度為主要原則。
10	元素分析相當多種物種，請問是否有分析 S?	S 元素在 ICP-MS 無法分析。
11	本計畫評估微粒成分自動監測適宜性，今年評估金屬元素，而離子亦有商業化自動設備，是否納入評估?OC/EC?	自動化儀器是屬於超級測站範疇，在美國環保署化學成分監測網仍然以手動採樣及分析為執行方法。水溶性離子自動化設備和手動量測在主要離子有不錯相關性，但比對後，自動化設備量測濃度較低。碳成分雖然有早有量測設備，但在量測原理和設定溫度上和美國環保署化學成分監測網有所不同，也無法考量石英濾紙吸附揮發性有機氣體的矯正。
12	Na 與 K 元素濃度皆不低，其來源是什麼?	Na 元素主要存在塵土、礦物質、海鹽。K 元素主要來源有塵土、肥料、生質燃燒、水泥廠。
13	本案在 6 個不同地方，每隔 6 日採樣，勢必由不同人採樣，如何確認採樣的標準執程序和品質?	採樣人員雖然不同，但都依照標準操作程序在執行，目前以 FRM 採樣器採集的 PM <sub>2.5</sub> 比對同址環保署 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度監測網數據，有很高的一致性，顯示採樣品質有保證及確認。
14	每隔 6 天才會有 6 個樣品，後續樣本秤重和化學成分分析過程，均已有品保 A 級要求，請再說明本案之品質管制要求和品質保證程序。	在質量濃度方面，本計畫以 FRM 採樣器採集的 PM <sub>2.5</sub> 比對同址環保署 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度監測網數據，有很高的一致性。金屬元素標準品有鑑定金屬元素成分濃度的標準品可以比對，在水溶性離子檢測方面有執行國際比對量測，結果整理在報告內。碳成分目前尚無標準品，質量濃度秤重以控制天秤室溫、濕度為主要原則。
15	大氣化學成分監測中，修正方式攸關後續 PM <sub>2.5</sub> 成分析，以手動分析可以由雙層濾紙（QFF+Teflon 或 QFF+QFF）進行，但自動監測如何反應「修正與否」之差異?	自動監測(直讀式儀器)在水溶性離子方面會低估 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度的量測，碳成分將高估有機碳成分，偏差程度將依採樣地點而異，對於相同地點或許可經由線性或其他模式建立迴歸式來修正。

16	由於本計畫 6 站同步採樣，以逆軌跡追溯污染來源時，如何辨別 6 站濃度分布是否來自相同污染源，亦或區域污染?未來可以用本計畫作 PM <sub>2.5</sub> 長程污染或地區性污染之貢獻。	本計畫依據 Hysplit 逆推氣流軌跡模式來追溯氣流來向，以環保署空品站空氣品質及氣象因子監測數據判斷採樣日是受傳輸或在地污染影響。
17	儀器方法在比較其他國家技術與經驗後，我國現行建置之方法是否可比較性或領先?未來是否能長期使用，作為質量及成分評估儀器?	我國現行建置方法和美國環保署化學成分監測網大部分相同，具有可比較性，未來能否長期使用仍須依採樣儀器廠商是否持續生產而定。
18	對未來防治對策，局部污染、境外傳輸對於每個地區、每個季節會不相同，依現行採樣策略及頻率，是否能回答這些問題?提供施政參考。	以目前數據解析來看，採樣日是受境外、區域(他縣市)、或在地污染影響可以判斷出來，但尚無法量化，亦即，常有混合現象。
19	花蓮硫酸根離子從何而來?板橋也有相同趨勢，交通量大為何不是 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 最高?	花蓮和板橋硫酸根離子常有相同趨勢，顯示有相同的境外傳輸現象，車輛排放雖然會排放 NO <sub>x</sub> 轉化成 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ，但還有固定污染源也會排放 NO <sub>x</sub> ，因此，不能單看交通量。
20	106 年後之質量濃度量測儀器為何?	本計畫在 106 年 1 月 1 日至 2 月 18 日這段期間 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度採集都使用 BGI PQ200，2 月 18 日以後質量濃度量測儀器採用 MetOne E-FRM 採樣器，該採樣器也是通過美國環保署認證的 FRM 採樣器，本計畫在採樣前 2 月初比對時，有很好的一致性。
21	直讀式儀器量測金屬，未來是否有意監測直讀其他物種，如離子或 OC/EC?	直讀式氣膠成分儀器有其方便性和限制，例如：前述直讀式儀器在水溶性離子方面會低估 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度的量測，碳成分將高估有機碳成分濃度，偏差程度將依採樣地點而異，一般直讀式儀器多用為任務型監測，本計畫進行探索性金屬成分比對測試，未來監測是否考量採用直讀式儀器，有賴環保署的決定。
22	報告中推估可能污染來源，非境外污染影響多會使用「本地」污染一詞，本地是否有指特地區域?未來可否再詳述。	對於「本地」一詞較模糊，本計畫原意是「當地」或「在地」，後續儘量改成「在地」。
23	斗六及嘉義目前有放置 Lidar，可提供資料參考。	Lidar 數據有賴專家判斷，頗耗人力，若已有解析出氣膠層或混合層數據，本計畫樂於參考應用。
24	境外傳輸對不同地區時間影響不同，	顯著的境外傳輸由北而南，各測站將會

	故不同站可能有不同污染源影響，判斷上可能會有差異。	有不同時間 $PM_{2.5}$ 尖峰濃度，這種現象在過去大陸沙塵暴傳輸已顯示過，大陸霧霾傳輸也有相同現象。若是規模較小的境外傳輸，在判斷上較不易與區域傳輸區分。
25	斗六站過去 OC 占比高，今年是 $NO_3^-$ ，請說明可能原因。	這個現象本計畫還在觀察當中，目前還不瞭解原因。
26	報告中說明 12 月 3 日嘉義站的 Ba 較高，當日污染與交通有關，但 Sr 亦高，與鹽水蜂炮之研究結果類似，是否可能受到如廟會活動影響，建議再作探討。	感謝提醒！經查 12 月 3 日嘉義市有「嘉邑鎮巡府錢虎會三載圓科平安遶境大典」活動，應有燃放炮竹活動。

## 附錄四 「細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫」 第

### 3 次工作報告會議審查意見及回覆

	審查意見	意見回覆
1	本計畫執行許多精密之檢測及分析，具相當珍貴之成果，為重要及優質之計畫，值得讚許。	多謝委員肯定！
2	報告未附摘要和進度表，建議能予附上。	在期末報告初稿將會列出摘要，進度表則已列在第二章。
3	如簡報 p.20 由儀器設備比對中 PM <sub>2.5</sub> < 35 µg m <sup>-3</sup> 以標準偏差 2 µg m <sup>-3</sup> 設定而非 5%，然就實測數據，PM <sub>2.5</sub> < 35 µg m <sup>-3</sup> 共計 7 次，僅 2016/12/20 超過 5% 為 0.8 µg m <sup>-3</sup> ，故請說明之 2 µg m <sup>-3</sup> 設定理由。	本計畫係參考美國環保署對於採樣器的評估規範：等似儀器類型 I 接受標準為 RP <sub>j</sub> = 5% 或標準偏差為 2 µg m <sup>-3</sup> 。當 PM <sub>2.5</sub> 濃度低時，相對小的儀器間差異將造成大的 RP <sub>j</sub> 百分率，因此，以一個定值來評估儀器間差異。
4	本計畫採樣時間為 08:00-08:00，而非 00:00-00:00，其與現有之檢測比較間是否造成困擾？	本計畫在 2016 年的任務型採樣時間為 08:00-08:00，但從 2017 年 1 月 1 日每 6 天一次 6 個站點同步採樣都是 00:00-00:00。目前一個樣本的檢測時間是一整天。
5	p.101 花蓮站之 EF 值與簡報 p.26 中之 EF 不同之原因，請予說明。另 12/6 從元素 EF 值 K、Ca、Zn、Ti、Mn、Pb、As、Se 明顯高於其他時期，顯示受燃煤成分長程傳輸，此長程傳輸係區域外或國境外？	第三次工作報告圖 4.2.4 為 2016 年任務採樣期間花蓮站的金屬元素數據，畫圖方式和第三次工作報告的 2017 年例行性採樣金屬元素數據不一致，在簡報則加以調整成一致，因此造成差異。2016 年 12 月 6 日的高金屬元素濃度判斷是受長程傳輸影響，以目前技術，尚無法確認是國境內或外。
6	部分 EF 值（如冬季最高值 Se 之 EF 可達 13 萬）遠高於 10，故在作為指標元素上作為人為影響設值，是否應依元素不同而異？	本計畫 EF 值係用來判定是否受塵土影響？學理上認為高於 10 即係受非塵土來源影響，Se 的 EF 可達 13 萬主要原因是塵土中 Se 含量甚微少。
7	第 3.3 節解析時間與空間分佈特徵及影響因素，特別針對金屬元素污染來源列一小節（3.3.4 節），是否針對碳成分與水溶性離子亦做說明。	碳成分與水溶性離子來源的文獻相當多，本計畫已經將相關文獻應用在 PMF 受體模式來源推斷上。
8	Si 的分析有相當難度，但 Si 在某些污染源占比不低。請問 Si 在 receptor model 解析上的影響如何？（特別是臺	Si 一般用在判斷塵土逸散，以 PM <sub>2.5</sub> 來說，塵土的質量濃度占比，相對來講，比碳成分與水溶性離子低。

	灣逸散源揚塵 PM <sub>2.5</sub> 貢獻大)	
9	金屬元素有部分物種與水溶性離子重複，如 Ca、Mg、Na、K 等，金屬元素與水溶性離子的關係如何？	當金屬元素與水溶性離子重複時，我們會注意在計算解析成分占比時，多只計算水溶性離子。多數成分是金屬元素較高，但也有較少成分是水溶性離子較高。
10	不論近海或較內陸地點，Na 之濃度皆相當高，海鹽影響是否可再確認？不論哪一種城市類型，K 濃度皆相當高，K 之來源是否只有生質燃燒？	Na 除了存在海鹽，也存在礦物質，本計畫在定量上以 Na <sup>+</sup> 來當成海鹽指標成分；K 為重要地殼元素，對於生質燃燒，本計畫在定量上是以 K <sup>+</sup> 作為生質燃燒指標成分而非使用 K 元素。
11	金屬元素自動與手動檢測某些物種相關性不高，有些甚至是負相關，本計畫結案時可否提出自動儀器所檢測數據應用的建議？	自動儀器快速短時間可以獲得數據，有其功能及意義，本計畫試探性地探討自動儀器監測與手動檢測的相關性，初步發現有些元素兩者相關性不高，但兩種方法量測原理不相同，時間解析度也不同，有差異也是可以預料。
12	未來各測站之 PM <sub>2.5</sub> 質量及成分解析後，在二次氣膠之來源鑑定，是否有較好的方法學解析其貢獻源？	PMF 受體模式只能解析污染來源類別，二次氣膠就是一個類別，再仔細解析就是細分成“富含氣膠某些成分的二次氣膠”，學理上在判別污染來源有其侷限，例如：硫酸根離子固然是二次氣膠，但煙道也會直接排放硫酸根離子，所以，量測得到的硫酸根離子並無法辨別是哪個來源？這的確增加判別來源複雜度。
13	儀器比對結果是否受到地區及季節影響？也就是說，在中央大學某季節比對是否能外推到其他地區不同季節。	採樣儀器是以基本物理量進行測定，其他地區不同季節只要大氣混合程度都是均勻的，是可以外推的。本計畫採樣儀器比對是比較在相同環境下，各儀器量測表現是否具有的一致性？另外，本計畫目的不是要驗證採樣儀器效能，因此，不必如美國環保署儀器方法認證一樣，必須在不同季節、地點進行比對。
14	富集因子是否受到季節、風向影響？訊息有利於污染源解析。	富集因子受到污染來源改變影響較大，在本計畫只用來判定塵土或非塵土來源。
15	使用 72 小時的氣流軌跡，會 missing 其他時間/地區氣流之影響，若能呈現高時間解析軌跡（如 6 小時）能讓資訊更透明。	本計畫 Hysplit 軌跡線模式是追溯前 72 小時(三天前)氣流源頭及這 72 小時氣流行經路徑和高度，通常我們每天在 4:00, 8:00, 12:00, 15:00, 18:00, 23:00 都會做出軌跡線圖，一天有 6 張軌跡氣流圖，然後選出典型氣流軌跡圖來代表當天的主



		要氣流軌跡。
16	解析單一事件 PM <sub>2.5</sub> 高值（質量），對於後續某地區整體污染源鑑定之影響與幫助？	通常民眾對於發生 PM <sub>2.5</sub> 高值會相當注意和在意，因此，本計畫對於高 PM <sub>2.5</sub> 事件發生原因會特別關注。
17	單一氣象因子之影響似乎無法解釋當日 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度，未來是否能統整各因子之相互影響關係，如境外傳輸風速強、PM <sub>2.5</sub> 則高或擴散不良風速低、PM <sub>2.5</sub> 則高等。	對於有效影響 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度各種因子的量測，理論上是愈多越好，但大氣是一個各種因子匯聚混合體，有些時候是某個因子影響強烈，其他時候可能是其他因子較具有主導力量，目前尚無法找出統整因子，這就需要依靠三維氣象、化學反應、污染源排放結合的模式模擬，但模式模擬也不能精確解析大氣 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度變化，這一再重複說明各種方法都有其優、缺點和限制。
18	中央大學團隊在 PM <sub>2.5</sub> 質量秤重之設備仍依賴除濕機來控制濕度，作為執行國家採樣分析機構，是否有可能藉由該計畫經費提升基礎設備？	本計畫採樣得到 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度都會和環保署北、中、南區每三天採樣一次的例行性檢測成果比較，彼此間差異絕大多數在 1 $\mu\text{g m}^{-3}$ 以內，這代表只要嚴格遵守環保署 A205.11C 方法所列天平室溫度和相對濕度控制值，即使是不同採樣團隊、不同量測設備、不同秤重團隊，在 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度量測上是不會有顯著差異的。環保署計畫經費無基礎設備購置費項目，此外，目前檢測公司所使用 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度秤重室必須做到潔淨室等級，非常耗電，相對來說有其不環保的地方。
19	金屬分析(ICP-MS)之程序是否有低高濃度進樣或檢量線裝置？	Al Fe Na Mg K Ca 等元素的檢量線範圍是 0.01~1000 ppb，但是實際上我們只使用 0.1~500 ppb。 REE (稀土元素)的檢量線範圍是 0.1~10 ppb。 PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 的檢量線範圍是 10~500 ppb，換算為 P 則是 3.26~163.16 ppb。 分析時若發現樣本濃度超過檢量線，會稀釋至適當倍率再次上機。
20	大氣 Se 之 ICP-MS 分析其變異性大，請執行單位考慮該物種是否作為好的 indicator？	謝謝指教！後續我們會增加其他物種來輔助判斷燃煤影響。
21	高低 PM <sub>2.5</sub> 質量濃度切分值(35 $\mu\text{g m}^{-3}$ )之原因？在大氣物理量上之解釋為何？35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 是美國 PM <sub>2.5</sub> 濃度 98th 值，若要使用在臺灣是否以本土資料為主？	35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 是台灣 PM <sub>2.5</sub> 日平均值空氣品質標準，雖然判斷一個地點是否符合 PM <sub>2.5</sub> 日平均值空氣品質標準有規定的程序，但一般民眾多以 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 作為一

		個準則(rule of thumb)，簡單判斷 PM <sub>2.5</sub> 日平均值的高低。
22	金屬自動監測使用目的及應用性為何？	金屬元素有判斷特殊污染源及評估健康風險用途，自動監測數據可以快速獲得結果，對於短期污染排放緊急應變和長期健康風險評估有其功能及應用。
23	臺灣硫氧化物濃度不高，為何許多地區 PM <sub>2.5</sub> 成分是以硫酸根離子為主？	這是一個很好的問題，如前面第 12 題回覆內容：硫酸根離子固然是二次氣膠，但煙道也會直接排放硫酸根離子，量測得到的硫酸根離子並無法辨別是哪個來源？本計畫認為量測到的硫酸根離子有可能是各地或遠地隨氣流匯集過來，也有可能是在地污染源直接排放，不必然的是由硫氧化物在大氣環境中轉化生成。
24	本計畫中金屬元素部分，使用富集因子法來判斷來源，但可能多數人不瞭解該方法，建議於報告中補充說明。	對於富集因子的公式及其意義，本計畫補充在期末報告第 3.3.4 節內，請參考。
25	表 4.4.4、4.4.5 中許多微量元素，濃度比例顯示為 0.00%，但富集因子卻有數值，請再思考其他表示方法，避免讀者疑惑。另富集因子解析低濃度可能造成數值大幅變動，宜作說明。	受限於篇幅，第三次工作報告表 4.4.4、4.4.5 中許多微量元素，濃度比例顯示為 0.00 %，但並非零。富集因子解析低濃度可能造成數值大幅變動，這點我們注意到了，但如同第 14 題的意見回覆：富集因子在本計畫只用來判定塵土或非塵土來源，是一個半定量因子，本計畫並沒有過多倚賴富集因子來做污染來源判定。
26	報告結論第 11 點，應為「高濃度族群比起低濃度族群」，有明顯 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 增大現象，請修正。	感謝指正！本計畫第三次工作報告結論第 11 點寫反了。
27	花蓮 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 占比高，能否作為海上船舶污染所致？	目前在 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 占比上，花蓮站接近板橋站，初步上本計畫認為和板橋站來源類似，但也有可能是受到船舶污染所致，這還必須特別去注意當天船舶進港數量及風向。
28	目前已在建置 PM <sub>2.5</sub> 成分監測網，規劃分析數據供下載使用，先前啟始會議說明預計採樣後 21-28 天內可提供，因尚未開發即時上傳功能，建議以月為單位，請執行單位評估需多久時間可完成打包上傳。	以我們對於數據檢測後再予以確認的程序和時間來看，一般需要 2~3 個月。

29	報告中提到板橋和花蓮有相似的占比，斗六和嘉義亦同，請說明兩兩相似的主要支配因素？	本計畫目前認為這是兩地具有相近影響空氣品質因素，亦即，所謂空氣品質流通區，但我們還需要更多的時間和數據來確認。
30	高濃度事件的分析，提到氣象狀態如東北季風較弱時期，可能是高壓出海或高壓迴流轉為東風，未來報告上可評估加強天氣型態說明。	天氣型態對於空氣品質影響也是有其優、缺點和侷限性。
31	斗六站過去 OC 占比高，今年是 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 請說明可能原因。	這點我們還在觀察中，我們擔心這是因為採樣儀器方法在去年和今年不同所導致。
32	報告中說明 12 月 3 日嘉義站的 Ba 較高，當日污染與交通有關，但 Sr 亦高，與鹽水蜂炮之研究結果類似，是否可能受到如廟會活動影響，建議再作探討。	感謝委員細心評估！12 月 3 日 PM <sub>2.5</sub> 濃度沒有特別高，因此，我們就沒有特別關注。經查核：12 月 3 日嘉義站附近有“嘉邑鎮巡會錢虎會三載圓香謁祖進香遶境大典”，的確是有廟會活動。

## 附錄五 「細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)化學成分監測及分析計畫」期 末報告會議審查意見及回覆

	審查意見	意見回覆
1	本計畫執行成果豐碩，收集臺灣六個地區不同時期 PM <sub>2.5</sub> 並分析 PM <sub>2.5</sub> 上之成分，解析其可能來源，值得後續空氣品質管制和管理。	謝謝肯定。
2	第 3 章化學成分分析中，依據本計畫目標化學物質而言，在樣本管制可研析各樣本可解析之化學物質累積總百分比，作為持續提高可解析化學物質之參考，並提出提升 Unknown 之建議。	Unknown 有一大部分是來自於碳成分分析結果與炭結合的氫、氧、氮、磷、硫等元素，以目前化學分析方法無法達到 100%，大約解析 70~80%是一個很好的比率。
3	本計畫使用 HYSPLIT 作為採樣時期逆軌跡解析，以推求目標地點之空氣品質和其可能來源推論，並配合 P.73 的 3.3.2 節建立採樣目標區域，建立在已分析化學物質外，作為臺灣本土亦或國外污染之貢獻。	本計畫以大、中、小尺度模式或監測數據以及 PM <sub>2.5</sub> 化學成分輔助判斷 PM <sub>2.5</sub> 污染來源。
4	本計畫有相隔六天之例行性採樣，而 PM <sub>2.5</sub> 又是這兩年民意要求改善之重點，P.355 的 4.6.5 節依據化學成分解析評估管制策略，但似乎著重在中國北京，建議納入臺灣現行空污管制策略之評析。	P.355 的 4.6.5 節是依據所蒐集文獻，評估解析 PM <sub>2.5</sub> 化學成分對管制策略影響，台灣在這方面的管制策略尚無可蒐集得到，下年度若繼續執行，將特別注意蒐集 PM <sub>2.5</sub> 化學成分對臺灣現行空污管制策略之評析。
5	結論中 P.434 第 14 點，提出 PM <sub>2.5</sub> 以二次氣膠、二次硝酸鹽、二次硫酸鹽為主，建議未來納入不同衍生物之反應時間和反應動力，便可釐清空污源頭管制之成效。由於大潭天然氣電廠位於桃園，桃園應該是良好研究地點。	不同衍生物之反應時間和反應動力通常是在實驗室完成，大氣環境很難釐清傳輸過來的老化氣膠和在地排放的新鮮氣膠，甚至明確的上下游關係都有困難。以本計畫的 24 小時採樣，對於探討衍生物反應時間和反應動力在時間解析度也太粗。
6	Se 元素可作為煤燃燒之污染解析，在報告中成分討論中也有描述，但在 PMF 模式中並無進入分析，其原因為何？	初稿時，因樣濃度偏低，模式觀測與預測濃度相關性不理想，故移除此物種，定稿後會再重新評估放入。
7	成分有 25 種物質進入 PMF 中，但總樣本（2016 年 11 月至 2017 年 10 月）約 70 個，在 PMF 模式所產出之源因子解析恐有較大誤差，換句話說，	附錄中六中已補上 PMF5.0 軟體內建不確定性分析結果，透過檢測評估因子及物種間軸線模糊(Rotational ambiguity)及物種換位(Swap)現象皆低於手冊建議

	compound 之間變異性不夠高，從 PMF 化合物占比中亦可發現，許多因子之比例皆很相似，因此，未來在描述結果時是否能說明其不確定性？結合 CPF 後其解釋是否合理？	值，並符合標準。CPF 結果僅適用於本地污染源來向參考值，衍生污染物及區域污染物較不適用 CPF 結果作為解釋。
8	每日污染源貢獻之結果是如何產出，是否可作說明。（如文中圖 4.5.6 所示）	樣本污染源貢獻是由所有樣本決定出該測站因子(污染源)後，再計算每個因子在每個樣本的貢獻濃度。
9	被動吸附之濾紙(背景)濃度為何？是否有扣除？	石英濾紙被動吸附揮發性有機氣體從 2017 年 4 月開始，每站每次採樣都進行採樣分析，所獲得吸附濃度即為報告所稱正干擾，在修正有機碳成分時都一律扣減。
10	二次氣膠（如硝酸鹽、硫酸鹽）或二次有機污染物是否能再解析其貢獻源？	因子剖面若同時有有機碳、硝酸根離子、硫酸根離子高占比，或是有前述重要成分中的 2 個，本計畫以二次氣膠命名。
11	圖 4.4.1 中六站之 NCU 值均與 EPA 自動測值相近，由於各站地理位置各異，其手動與自動間比值不同，自動測值是否有經迴歸公式校正？自動測站之 PM <sub>2.5</sub> 濃度是否可代表手動測定值？	EPA 自動測值與採樣地點同址，所比較的 EPA 自動測值係已經迴歸公式校正的“類手動測定值”。
12	報告 P.234 推估“吹東北季風時，燃煤指標元素於北部及花蓮站影響明顯大於中、南部地區”。然依北部及花蓮燃煤源與中、南部燃煤源之數量比較，此推估是否合理？	硫酸根離子主要來源之一為燃煤氣膠，當結合外來東北風時，常視為長程傳輸指標成分。受東北季風影響時，台灣中部燃煤源產生的硫酸根離子可能傳輸到南部，台灣南部燃煤源產生的硫酸根離子可能傳輸到西南方海域。
13	本研究以因素分析，利用各站檢測指標污染物濃度，歸納各處不同污染貢獻來源，請研提各區管制之建議。	本計畫普遍發現 PM <sub>2.5</sub> 濃度大於 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 時，硝酸根離子濃度在 PM <sub>2.5</sub> 占比大為提升，已經在報告中指出硝酸根離子前驅污染源需進行管制 NO <sub>x</sub> 排放，但 NO <sub>x</sub> 來源有固定和移動污染源，控制技術雖然存在，所需經費也相當龐大，這或許是管制單位尚未積極行動主要原因。
14	P.I 摘要第二段第七行：「低濃度時期則正干擾」，似應改為「低濃度時則正干擾」。	謝謝指正，本計畫在期末報告定稿時會修正。
15	P.19 圖中 2017 年第一季~五季之（每次/6 天），建議改為（1 次/6 天），以免造成每次做 6 天之誤導。	謝謝指正，本計畫在期末報告定稿時已經改為“每 6 天 1 次”。
16	少部分金屬元素濃度相當低（如鉍），有可能低於偵測極限，其富集因子數	本計畫各項低濃度元素（如鉍）濃度皆高於偵測極限，由於樣本中元素鉍與元

	值皆為 1.0，是否不適合進行富集因子分析而標示為 NA 比較恰當？	素鋁比值近似於文獻中提供的地殼算比值，因此富集因子數值為 1.0，這也顯示此元素受人為活動影響較小。
17	P.251，類型一事件日應該有五次（缺 9 月 22 日），請補上。	謝謝指正，已修正在期末報告定稿
18	P.273 第三列，「PM <sub>2.5</sub> 低濃度群比起高濃度群，有明顯 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 增大現象」，是否應為「PM <sub>2.5</sub> 高濃度群比起低濃度群，有明顯 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 增大現象」？同頁，文中有些數值與圖 4.4.22 不一致，請修正。	謝謝指正，為避免誤解，本計畫在期末報告定稿時會加以修正。
19	P.422 碳成分重複樣品分析管制圖，備註因 EC3 背景值較高，故 EC3 不計，建議備註可更加詳細之說明；另原始數據建議一併納入附錄或光碟中供參。	謝謝指正，為避免誤解，本計畫在期末報告定稿時會補充說明。
20	P.363 自動儀器(Xact 625/ Xact 625i)與手動採樣(ICP-MS)比對一節，建議如有空白測試（或儀器背景數值）資料，可一併納入考量，避免因元素濃度過低影響相關性判斷。	對於金屬元素濃度過低樣本，本計畫改取 0.5MDL，其相關性維持不變。
21	本研究對「PM <sub>2.5</sub> 特徵對民眾健康影響之研究」有何助益？	本計畫 PM <sub>2.5</sub> 化學成分均提供國衛院研究團隊進行健康效應評估研究。
22	請說明後續 107 年度計畫與 106 年度執行有何差異。	107 年度計畫將比 106 年度增加評估 PM <sub>2.5</sub> 有機碳成分的主要化合物種類。

## 附錄六 受體模式誤差檢測結果

Constrained DISP Diagnostics:						板橋站					
Error Code:	0										
%dQ:	-6E-05										
Swaps by Factor:	0					0	0	0	0	0	0
BS Mapping:											
Base Factor 1	Base Factor 2	Base Factor 3	Base Factor 4	Base Factor 5	Unmapped						
Boot Factor 1	99	0	1	0	0	0					
Boot Factor 2	0	100	0	0	0	0					
Boot Factor 3	1	0	99	0	0	0					
Boot Factor 4	0	0	0	100	0	0					
Boot Factor 5	0	0	0	0	100	0					
Constrained DISP Diagnostics:						忠明站					
Error Code:	0										
%dQ:	-0.004										
Swaps by Factor:	0					0	0	0	0	0	0
BS Mapping:											
Base Factor 1	Base Factor 2	Base Factor 3	Base Factor 4	Base Factor 5	Unmapped						
Boot Factor 1	100	0	0	0	0	0					
Boot Factor 2	0	99	0	0	1	0					
Boot Factor 3	0	0	100	0	0	0					
Boot Factor 4	0	0	0	100	0	0					
Boot Factor 5	0	0	0	0	100	0					
Constrained DISP Diagnostics:						斗六站					
Error Code:	0										
%dQ:	0										
Swaps by Factor:	0					0	0	0	0	0	0
BS Mapping:											
Base Factor 1	Base Factor 2	Base Factor 3	Base Factor 4	Base Factor 5	Unmapped						
Boot Factor 1	100	0	0	0	0	0					
Boot Factor 2	0	100	0	0	0	0					
Boot Factor 3	0	0	100	0	0	0					
Boot Factor 4	0	0	0	100	0	0					
Boot Factor 5	0	0	0	0	100	0					
Constrained DISP Diagnostics:						嘉義站					
Error Code:	0										
%dQ:	-0.001										
Swaps by Factor:	0					0	0	0	0	0	0
BS Mapping:											
Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Unmapped						
Boot Factor 1	85	15	0	0	0	0					
Boot Factor 2	0	100	0	0	0	0					
Boot Factor 3	0	5	95	0	0	0					
Boot Factor 4	0	0	0	95	5	0					
Boot Factor 5	0	0	0	0	100	0					
Constrained DISP Diagnostics:						小港站					
Error Code:	0										
%dQ:	-0.010										
Swaps by Factor:	0					0	0	0	0	0	0
BS Mapping:											
Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Unmapped						
Boot Factor 1	100	0	0	0	0	0					
Boot Factor 2	0	100	0	0	0	0					
Boot Factor 3	0	0	99	0	1	0					
Boot Factor 4	1	7	0	91	1	0					
Boot Factor 5	0	0	0	1	99	0					

## 附錄七 細懸浮微粒採樣監測分析品保作業、儀器查核記錄、採樣記錄、樣本接收單、天氣逆軌跡圖、逐日天氣因子圖、化學成分表(光碟附錄)

### 4.8 細懸浮微粒採樣監測分析品保作業

#### 4.8.1 PM<sub>2.5</sub> 質量秤重品保作業

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

#### 4.8.3 PM<sub>2.5</sub> 碳成分熱光學分析品保作業

#### 4.8.4 PM<sub>2.5</sub> 元素分析品保作業

#### 4.8.5 PM<sub>2.5</sub> 質量濃度和化學成分現場空白與旅運空白變化

#### 4.8.6 儀器查核資料

查核表一 R&P 2000、R&P 2300 氣膠成分採樣器採樣前、後流量查核及測漏表

查核表二 SASS、PQ 200 和 E-FRM 氣膠成分採樣器採樣前、後流量查核表

查核表三 PQ200 採樣器採樣過程紀錄表

查核表四 SASS 採樣器採樣過程紀錄表

查核表五 E-FRM 採樣器採樣過程紀錄表

查核表六 離子層析儀查核表

查核表七 碳成分分析儀查核表

查核表八 重金屬分析儀查核表

查核表九 儀器三點校正查核

查核表十 重金屬樣本接收單

查核表十一 樣本接收單(樣本濾紙)

查核表十二 樣本接收單(空白濾紙)

採樣期間逆推軌跡線圖

各測站每日天氣因子圖

各測站化學成分表