計畫編號: EPA-100-1602-02-01

行政院環境保護署環境檢驗所

100年度 「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」研究案

期末報告(定稿)

委託單位：行政院環保署環境檢驗所
執行單位：國立交通大學環境工程所
執行期間：100 年 4 月至 100 年 12 月

行政院環保署環境檢驗所編印
中華民國 100 年 12 月

計畫編號: EPA-100-1602-02-01

行政院環境保護署環境檢驗所

100年度「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」研究案

期末報告(定稿)

執行計劃期間：100 年 4 月至 100 年 12 月
計畫執行單位：國立交通大學環境工程研究所
計畫主持人：蔡春進教授
協同主持人：許世傑博士、楊錫賢教授
計畫參與人員：劉俊男、洪毅弘、吳栢森、何麟、黃譯樘、劉怡伶、許香茹、林盈禎、張瑞喬、李國瑞、林思帆、危涵、洪紹銘。

行政院環保署環境檢驗所編印
中華民國 100 年 12 月

「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」計畫基本資料表

甲、委辦單位	行政院環境保護署環境檢驗所		
乙、執行單位	國立交通大學環境工程研究所		
丙、年　　度	100 年度	計畫編號	EPA-100-1602-02-01
丁、研究性質	□基礎研究	□應用研究	☑技術發展
戊、研究領域	環境工程		
己、計畫屬性	☑科技類	□非科技類	
庚、全程期間	100 年 4 月～100 年 12 月		
辛、本期期間	100 年 4 月～100 年 12 月		
壬、本期經費	0 億 4,800 千元		
	資本支出	經常支出	
	土地建築＿＿＿＿＿千元	人事費＿ 1569＿千元	
	儀器設備＿＿＿＿＿千元	業務費＿ 2626＿千元	
	其　　他＿＿＿＿＿千元	差旅費＿＿125＿千元	
		其　他＿＿480＿千元	

癸、摘要關鍵詞（中英文各三則）

奈米微粒採樣及化學分析, nanoparticle sampling and analysis

奈米微粒質量平衡, mass closure of nanoparticles

奈米物質環境安全衛生, EHS of nanomaterials

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)	聯絡電話及 e-mail 帳號
蔡春進	工作事項之規劃、執行與進度掌握及本報告之整合，本團隊之國際合作事務	交大環工所教授，明尼蘇達大學機械博士	9	(03)5727835 cjtsai@mail.nctu.edu.tw
楊錫賢	協助微粒 PAHs 分析，微粒 PAHs 固氣分離採樣技術開發及報告 4.3.7 節撰寫	朝陽環管系教授，成功大學環工博士	9	(04)-2332-3000#4451 hhyang@cyut.edu.tw
許世傑	協助微粒元素成分分析，撰寫微粒成分分析及報告 4.3.8 節撰寫	中研院環變中心副研究員，台大海洋博士	9	(02)26539885#530 schsu815@rcec.sinica.edu.tw
劉俊男	採樣工作規劃及報告第一至五章撰寫及整合	交大環工所博士生	9	(03)5712121#55524 gym1986.ev97g@nctu.edu.tw

洪毅弘	協助測站採樣及分析工作	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 yhhong.ev98g@nctu.edu.tw
吳栢森	協助奈米微粒物化特性平台開發	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 manson058@gmail.com
劉怡伶	協助微粒秤重及採樣工作	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 yilingliou.ev98g@nctu.edu.tw
許香茹	協助奈米微粒物化特性平台開發	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 srsheu.ev99g@nctu.edu.tw
林盈甄	協助微粒化學分析工作	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 eva770117.ev99g@nctu.edu.tw
張瑞喬	協助微粒化學分析工作	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 juichiao.ev00g@nctu.edu.tw
李國瑞	協助採樣工作	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 gray0988.ev00g@nctu.edu.tw
林思帆	協助採樣工作	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 sflin.ev00g@nctu.edu.tw
危涵	協助 PMF 分析	交大環工所碩士生	9	(03)5712121#55524 pcsh310512.ev00g@nctu.edu.tw
洪紹銘	協助奈米微粒物化特性平台開發	交大環工所助理	9	(03)5712121#55524 Kevin901116.ev97g@nctu.edu.tw
何麟	協助 PAHs 採樣及分析技術研究	朝陽科大碩士生	9	(04)23323000#4520 s9525015@cyut.edu.tw
黃譯樘	協助採樣工作	中研院研究助理	9	(02)26539885#530 yitang@gate.sinica.edu.tw

行政院環境保護署環境檢驗所計畫書中英文摘要(簡要版)

一、中文計畫名稱：
環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發

二、英文計畫名稱：
Developing measurement, characterization and cellular toxicity testing platform techniuqes for environmental nanomaterials

三、計畫編號：
EPA-1001602-02-01

四、執行單位：
國立交通大學環境工程研究所

五、計畫主持人(包括共同主持人)：
蔡春進，楊錫賢，許世傑

六、執行開始時間：
100/04/21

七、執行結束時間：
100/12/31

八、使用語文：
中文，英文

九、報告電子檔名稱：
EPA10016020201.DOC

十、報告電子檔格式：
WORD 5.0

十一、中文摘要關鍵詞：
奈米微粒採樣及化學分析，奈米微粒質量平衡，奈米物質環境安全衛生，奈米微粒吸入毒性測試平台，PAHs 固氣分離器。

十二、英文摘要關鍵詞：
nanoparticle sampling and analysis, mass closure of nanoparticles, EHS of nanomaterials, nanotoxicity, PAHs denuder.

十三、中文摘要

本研究參考ISO 10801與ISO 10808的標準，建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產生、監測、檢測及化學分析平台，產生的微粒分別為銀與氧化鋅微粒。本研究使用PSL標準微粒與銀微粒分別對SMPS的粒徑與數目濃度進行校正與比對，結果顯示SMPS可正確地量測微粒粒徑與數目濃度，誤差皆在5 %內。進一步使用FMPS與SMPS進行粒徑分佈的量測比對，發現團聚微粒會造成兩台儀器量測值的誤差，當微粒形貌越趨近於球型時，量測值越接近。以氣膠微粒質量分析儀(APM)量測電移動度粒徑在20-120 nm的銀微粒有效密度的結果發現，有效密度會隨著燒結溫度(100-500 ^{o}C)提高而逐漸趨向銀塊材密度(10.53 g/cm^3)，以20 nm及120 nm的微粒為例，其有效密度分別由7.56上升至10.51 g/cm^{3}及由0.98上升至1.89 g/cm^3。

本研究已順利研發出噴嘴較MSP原廠MODUI平滑的NCTU大氣奈米微粒採樣器。實驗室內的微粒收集效率曲線校正結果顯示，相較於MSP MOUDI，NCTU大氣奈米微粒採樣器的第7至9階衝擊器的d_{pa50}更接近MOUDI原始的設計值。微粒損失的結果則顯示，奈米微粒在NCTU大氣奈

米微粒採樣器內部的損失略低於MSP MOUDI。由高濃度微粒負荷的實驗則可看出，本研究自製的噴嘴板確實可有效地降低微粒阻塞的情形。現場採樣比對的結果也顯示，NCTU大氣奈米微粒採樣器及MSP MODUI所測得的微粒質量分布相當接近。

本研究將新莊、中山及竹東三個空品測站的採樣結果和各個空氣品質監測站(air quality monitoring stations, AQMS)的氣象及汙染物監測值做相互的時序比對及分析，全部樣本也由本計畫合作單位中央研究院環境變遷中心利用ICP-MS方法分析各個樣本的金屬成分。此外，本研究所採集的PM_{10}及$PM_{2.5}$質量也和AQMS及中央大學(National Central University, NCU)$PM_{2.5}$計畫的結果進行比對，AQMS所測得的PM_{10}及$PM_{2.5}$濃度較本研究的採樣濃度高出約40 %，而NCU $PM_{2.5}$的結果則較本研究低了17 %。

本計畫已開發出空氣奈米微粒中PAHs的採樣系統，由環型擴散採樣管(AD)、MOUDI及聚氨基甲酸酯泡棉(PUF)所串聯所組成。目前已完成AD對氣相PAHs的收集效率和奈米微粒樣本中PAHs之正負向偏差及環形擴散管內微粒損失之評估，以及AD-MOUDI-PUF的大氣PAHs採樣。結果顯示，若使用環形擴散採樣管移除氣相PAHs時，會使得MOUDI的$PM_{0.1}$濾紙上Σ15PAHs濃度採樣結果較為正確, 但若未經環形擴散採樣管移除氣相PAHs時會使得大量氣相PAHs進入濾紙後端的PUF, 造成正採樣誤差，如使用石英濾紙採樣時$PM_{0.1}$之Σ15PAHs約有50%之採樣誤差。

十四、英文摘要：

By referring to the ISO standard of 10801 and 10808, this study developed an analytics platform which enables the generation, monitoring, measurement and chemical analysis of nanoparticles intended to be used for inhalation toxicity test. Silver and Zinc oxide were used in this analytic platform. Before characterizing particles in platform, the standardized PSL and silver particle were used to calibrate and compare the particle size distribution and number concentration measured by the SMPS. Results show that the SMPS measures the particle size distribution and number concentrations accurately with a maximum deviation of 5 % to the nominal diameter of the PSL particle. The performance of FMPS was also evaluated by comparing its size distribution measurement of silver aggregate particles with validated SMPS. Results indicate that the difference between these two instruments is mainly influenced by the particle morphology, where the measurements were more correlated as the particle morphology more approach to sphere. The effective density of silver monodisperse particles ranging from 20 to 120 nm was measured by the APM. It was found the effective density increased with increasing sintering temperature and approached to the silver bulk density of 10.53 g/cm^3 when the sintering temperature was raised to 500 ^{o}C. For example, the particle effective density of 20 and 120 nm was increased from 7.56 to 10.51 g/cm^3 and 0.98 to 1.89 g/cm^3, respectively, when the sintering temperature was raised from 100 to 500 ^{o}C.

A NCTU micro-orifice cascade impactor (MCI) whose nozzles are smoother than those of the MSP nozzle plates was developed. Calibration results

show that the d_{pa50} of the 7, 8 and 9-th stage of the MCI are 319, 181 and 96 nm, which are more close to the nominal value as compared to the MSP MOUCI. Particle loss tests show that the inter stage losses of the NCTU MCI are less than those of the MSP MOUDI. No clogging in the new nozzle plate was observed after high concentration particle loading. Field sampling results show that the mass distribution measured by the NCTU MCI is agreed well with those by the MSP MOUDI.

The sampling results conducted at Xinzhuang, Zhongshan and Zhudong air quality monitoring stations (AQMS) were analyzed with the real-time meteorological and pollution data obtained from AQMS. All the samples were also distributed to Dr. Shiu of Research Center of Environmental Changes to conduct the metal analysis by using the LA-ICP-MS or ICP-MS. The $PM_{2.5}$ mass data of present study were compared with those of the $PM_{2.5}$ sampling project conducted by the National Central University (NCU) and AQMS. Results show that both of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations measured by the AQMS are 40 % higher than those of the present study and the $PM_{2.5}$ concentrations measured by the NCU are 17 % lower than the present study.

A PAH sampling system which composed of AD, MOUDI and PUF in series was developed. The collection efficiency of gaseous PAH, positive and negative artifacts and particle loss for the AD and the sampling performance of the AD-MOUDI-PUF were evaluated. Results show that more accurate results with Σ15PAHs concentration on $PM_{0.1}$ filter in the MOUDI will obtained when the AD was used to remove gaseous PAHs. A large amount of gaseous PAHs will absorb by the PUF and further lead to the positive artifacts without the AD. For example, 50 % positive artifacts will be created while quartz fiber filter was employed.

目錄

第一章　前言及研究目的 1
1.1 緣起與背景說明 1
1.2 ISO (國際標準組織) 及 OECD(經濟合作與發展組織) 5
1.3 奈米物質的物理化學特性 10
1.4 環境奈米微粒的研究 17
1.4.1 大氣微粒中的金屬元素來源與分析方法 26
1.4.2 奈米微粒的採樣技術 32
第二章　計畫目標、內容及效益 37
2.1 計畫目標 37
2.2 持續開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析技術 37
2.3 其它應配合事項 38
2.4 預期效益 38
第三章　研究方法 41
3.1 開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析工具 42
3.1.1 空氣中奈米微粒採樣方法開發 42
3.1.2 國內環境空氣中 PM 及奈米微粒之採樣分析 47
3.1.3 空氣中奈米微粒之採樣及雷射剝離-感應耦合電漿質譜儀（LA-ICP-MS）分析技術研究 54
3.1.4 空氣奈米微粒有機成分（PAHs）採樣及分析技術研究 64
3.2 實驗室奈米微粒的產生及物理化學特性分析技術開發 71
3.2.1 奈米微粒產生及監測檢測系統 73
3.2.2 即時量測儀器之校正與比對 78
3.3 其它應配合事項 82
第四章　結果與討論 83
4.1 即時量測儀器的校正與比對 83
4.1.1 掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS)粒徑量測的正確性 83
4.1.2 核凝微粒計數器的微粒粒徑偵測效率數目濃度校正 86
4.1.3 FMPS 與 SMPS 之量測數據比對 90
4.1.4 氣膠微粒質量分析儀(APM)量測微粒質量之正確性 92
4.2 奈米微粒產生及監測檢測系統 93

4.2.1 以蒸發/核凝法產生奈米氧化鋅與奈米銀微粒 93
4.2.2 燒結對團聚銀微粒影響之探討 98
4.2.3 以噴霧法產生奈米銀微粒 102
4.3 開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析工具 110
4.3.1 空氣中奈米微粒採樣方法開發 110
4.3.2 各採樣點的微粒質量及數目濃度分佈 117
4.3.3 不同採樣儀器與測站採集的 PM 濃度比較 132
4.3.4 微粒化學組成及水溶性離子分析 135
4.3.5 微粒中的金屬元素 145
4.3.6 測站 $PM_{0.1}$ 及 $PM_{2.5}$ 來源推估(PMF) 147
4.3.7 空氣奈米微粒有機成分（PAHs）採樣及分析技術研究 151
4.3.8 LA-ICP-MS 之分析技術開發 161
第五章 結論與建議 175
5.1 結論 175
5.2 建議 177
5.3 本研究各年度重點工作及主要研究成果 177
參考文獻 183
附錄 197
附錄一 評選審查委員意見回覆 197
附錄二 期中審查意見回覆 202
附錄三 期末審查意見回覆 210
附錄四 測站採樣質量濃度與數目濃度及粒徑分佈結果 220
附錄五 微量元素分析結果 246
附錄六 新莊、中山與竹東測站各次採樣的微粒化學組成 338
附錄七 各次採樣秤重記錄 347
附錄八 QA/QC 規劃書及執行結果 375
附錄九 LA-ICP-MS 分析大氣氣膠樣本標準操作程序 432
附錄十 環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 樹脂標準操作程序 437
附錄十一 100 年度科技計畫成果效益自評表 443

圖目錄

圖 1.1 生物吸入毒性試驗及微粒特性分析試驗之實驗系統圖(Ji et al., 2007)。 14
圖 1.2 使用參考 FCAE 進行校正之實驗設置圖 (ISO/CD 27891)。 16
圖 1.3 使用參考 CPC 進行校正之實驗設置圖 (ISO/CD 27891)。 17
圖 1.4 在不同 RH 下 M2(無塗油鋁箔)及 M3(無塗油鐵氟龍)所測 PM 質量濃度比上 M1(塗油鋁箔)所測的值。 35
圖 3.1 本計畫工作流程圖。 41
圖 3.2 相對濕度對 MOUDI 中微粒彈跳的影響實驗系統。 43
圖 3.3 MSP MOUDI(左)及本研究(右)所開發的採樣器第九階噴嘴示意圖及顯微鏡拍攝圖。 44
圖 3.4 本研究自行製造第七~十階噴嘴顯微鏡拍攝圖。 44
圖 3.5 MCI 及 MOUDI 校正實驗之系統配置圖。 46
圖 3.6 微粒阻塞實驗系統圖 47
圖 3.7 環境空氣中奈米微粒採樣計畫執行之組織及職責 48
圖 3.8 環境空氣中奈米微粒採樣計畫工作流程圖 49
圖 3.9 採樣現場儀器示意圖 50
圖 3.10 LA-ICP-MS 組裝構造示意圖（Günther and Hattendorf, 2005） 55
圖 3.11 四極柱 ICP-MS 的組成。(http://www.perkinelmer.com/)。 57
圖 3.12 LA-ICP-MS 配置圖，右後方為雷射剝蝕系統、前方為質譜儀。 58
圖 3.13 奈米微粒 PAHs 採樣系統配置圖。 65
圖 3.14 擴散管內磨砂玻璃管壁(左)與 XAD-4 塗敷於磨砂玻璃管壁內(右)。 66
圖 3.15 奈米微粒產生及監測檢測系統之實驗流程。 72
圖 3.16 吸入毒性試驗用的奈米微粒產生及監測檢測系統。 73
圖 3.17 當管式高溫爐設定溫度為 600°C 時，高溫爐的溫度曲線。 74
圖 3.18 核凝稀釋系統之設計圖(上)與冷卻管之示意圖(下)。 74
圖 3.19 濾紙採樣器(圖中虛線為微粒軌跡)。 75
圖 3.20 個人奈米微粒採樣器示意圖。 76
圖 3.21 加裝電場之 PNS。 77
圖 3.22 粒徑量測比對之實驗系統配置圖。 78
圖 3.23 結合靜電篩選技術(EC, electrostatic classification)與氣膠靜電器(Aerosol electrometer, TSI 3068)的奈米微粒濃度校正實驗系統圖。 79
圖 3.24 使用 FMPS 與 SMPS 量測不同形貌銀微粒的實驗系統圖。 80

圖 3.25 DMA-APM 系統實驗設製圖。 81
圖 4.1 以 DMA 篩選出不同的單徑 PSL 微粒後，使用 SMPS 量測單徑 PSL 微粒的粒徑分佈。 84
圖 4.2 DMA 篩選出電移動度直徑為(A) 20、(B) 40、(C) 64 (D) 82 與(E) 102 nm 的 PSL 微粒後，以 E-PNS 採集後，使用 SEM 觀察微粒的大小。 86
圖 4.3 使用蒸發/核凝法產生的銀微粒，以 SMPS 量測其粒徑分佈。 87
圖 4.4 使用特定粒徑的銀微粒量測 UWCPC 之偵測效率曲線，並與 Mordas et al. (2008)比較的結果。 88
圖 4.5 使用 SMPS 量測以蒸發/核凝法產生的銀微粒粒徑分佈，及使用 DMA 篩選出 60 nm 的銀微粒並以 SMPS 量測其分布。 89
圖 4.6 DMA 篩選 60 nm 的銀微粒後，CPC 與 AE 量測的數目濃度。 90
圖 4.7 使用 FMPS 與 SMPS 量測高溫爐設定不同溫度(1000、1100 與 1200 ^{o}C)時，兩台量測儀器量測的多徑銀微粒粒徑分佈。 91
圖 4.8 銀微粒未經過燒結與燒結後，使用 SMPS 與 FMPS 量測其粒徑分佈。 91
圖 4.9 APM 系統反應圖譜：(a) 40 nm；(b) 64 nm；(c) 82 nm；(d) 100 nm。 93
圖 4.10 高溫爐設定溫度為 500°C，冷卻氣體流量流量為(A) 5 L/min、(B) 7.5 L/min 與(C) 10 L/min，攜帶氣體分別為 1.5、2、2.5 L/min 時，核凝稀釋系統的溫度曲線。 95
圖 4.11 高溫爐設定溫度為 500°C，冷卻氣體流量流量為(A) 5 L/min、(B) 7.5 L/min 與(C) 10 L/min，攜帶氣體分別為 1.5、2、2.5 L/min 時，以 SMPS 量測奈米氧化鋅微粒的粒徑分佈。 96
圖 4.12 高溫爐溫度與冷卻氣體流量分別為 1000°C 與 5 L/min，不同的攜帶氣體流量下產生的奈米銀微粒分布。 97
圖 4.13 高溫爐溫度為 1000°C，使用不同流量的攜帶氣體與冷卻氣體下產生的奈米銀微粒分布。 97
圖 4.14 當高溫爐設定溫度為 1100°C，冷卻氣體及攜帶氣體分別為 0 及 2 L/min 時，未經過燒結的銀微粒之數目分佈(左)及質量分佈(右)。 98
圖 4.15 不同燒結溫度下奈米銀微粒粒徑分佈的變化。 99
圖 4.16 銀微粒的 NMD 與 σ_g 於不同燒結溫度下的變化。 99
圖 4.17 銀微粒經不同溫度燒結後之質量分布。 100
圖 4.18 未經燒結及經不同燒結溫度後，d_m 為 20 至 100 nm 的銀微粒有效密度變化的情形。 102
圖 4.19 比較以霧化器產生的奈米銀微粒，在加裝 Marple 個人多階衝擊器前後，經過不同燒結溫度(100、150、200、250、300 與 400°C)後，粒徑分佈之變化。 103

圖 4.20 銀微粒經不同加溫溫度(100、150、200、250、300 與 400°C)後，微粒質量濃度分布的變化。 104
圖 4.21 以 SMPS 量測銀微粒經過燒結溫度 500°C 後的粒徑分佈。 105
圖 4.22 未經燒結及經不同燒結溫度後，dm 為 20 至 100 nm 的銀微粒有效密度變化的情形。 105
圖 4.23 使用 SEM 觀察(A)銀膠原液(1000 μg/mL)與(B)稀釋銀膠溶液(30 μg/mL)的微粒形貌。 107
圖 4.24 微粒經 100°C 燒結後，MOUDI 第 7 階收集的銀微粒以 TEM 影像及 EDX 的分析結果。 107
圖 4.25 微粒經 100°C 燒結後，MOUDI 第 8 階[(A)與(B)]與 9 階[(C)與(D)]收集的銀微粒以 TEM 影像的分析結果。 108
圖 4.26 微粒經 500°C 燒結後，MOUDI 第 7 階收集的銀微粒以 TEM 影像及 EDX 的分析結果。 109
圖 4.27 微粒經 500°C 燒結後，MOUDI 第 9 階收集的銀微粒以 TEM 影像的分析結果。 109
圖 4.28 以 SEM 觀察使用 E-PNS 採集的 40 與 60 nm 銀微粒。 110
圖 4.29 MSP 原廠(左)MOUDI 與本研究研發之 NCTU(右)大氣奈米微粒採樣器外觀及噴嘴照片。 111
圖 4.30 期中報告前 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 現場比對的粒徑分佈結果。 ...112
圖 4.31 NCTU 及 MSP MOUDI 第 7 至 9 階衝擊器的微粒收集效率曲線。.....113
圖 4.32 實驗室校正後 MSP 與 NCTU MCI 現場比對結果圖，採樣日期(a)2011/11/10~11/11 中山，(b)2011/11/11~11/12 中山，(c)2011/11/18~11/19 竹東，(d)2011/11/20~11/21 竹東 。.....114
圖 4.33 奈米微粒在 NCTU 及 MSP MOUDI 第 9 階衝擊器之前的微粒損失。....115
圖 4.34 奈米微粒在 NCTU 及 MSP MOUDI 中第 7 及 8 階衝擊器內個別微粒損失的計算結果。 116
圖 4.35 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 第 9 階衝擊氣壓差時序變化圖。 117
圖 4.36 MSP MOUDI 受到微粒阻塞的噴嘴。 117
圖 4.37 新莊測站採樣點位置及周圍地理環境。 118
圖 4.38 (a) 2011/06/07-06/08 及(b)2011/06/08-06/09 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。 120
圖 4.39 2011/06/07-06/09 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。 120
圖 4.40 2011/6/7-6/9 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。 120

圖 4.41 中山測站採樣點位置及周圍地理環境 121
圖 4.42 (a) 2011/07/13-05/14 及(b)2011/07/14-09/15 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。 122
圖 4.43 2011/07/13-07/14 及 2011/07/14-07/15 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。 122
圖 4.44 竹東測站採樣點位置及周圍地理環境。 123
圖 4.45 (a) 2011/07/25-07/26 及(b)2011/07/26-07/27 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。 124
圖 4.46 2011/07/25-07/26 及 2011/07/26-07/27 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。 125
圖 4.47 (a) 2011/05/03-05/04 及(b)2011/05/04-05/05 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。 126
圖 4.48 2011/05/03-05/04 及 2011/05/04-05/05 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。 126
圖 4.49 2011/5/3-5/5 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。 127
圖 4.50 (a) 2011/05/27-05/28 及(b)2011/05/28-05/29 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。 128
圖 4.51 2011/05/27-05/28 及 2011/05/28-05/29 竹東測站新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。 128
圖 4.52 2011/6/27-6/29 竹東測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。 129
圖 4.53 新莊、中山及竹東三個空氣品質測站現場採樣結果的年度變化。 130
圖 4.54 今年度本計畫 MOUDI、Dichot、環保署測站及中央大學 $PM_{2.5}$ 計畫採集的(a)PM_{10} 及(b)$PM_{2.5}$ 質量濃度的比對結果。 133
圖 4.55 過去兩年度(98-99)本計畫 MOUDI 及 Dichot 採集的(a)PM_{10} 及(b)$PM_{2.5}$ 質量濃度。 133
圖 4.56 環保空品署測站在 8/8 日 PM10 採樣進口(左)及 USEPA WINS $PM_{2.5}$ 衝擊式篩選器(右)保養前後差異圖，(a)(b)為保養前，(c)(d)為保養後。 133
圖 4.57 本研究 MOUDI 與環保署空品測站量測的(a)PM_{10} 及(b)$PM_{2.5}$ 質量濃度之誤差與相對濕度的比對關係。 135
圖 4.58 新莊測站的 $PM_{0.1}$ 樣本中 6 個因子在各元素中所佔的百分比。 148
圖 4.59 新莊測站的 $PM_{2.5}$ 樣本中 6 個因子在各元素中所佔的百分比。 148
圖 4.60 新莊測站的 PM_{10} 樣本中 6 個因子在各元素中所佔的百分比。 149

圖 4.61　中山測站 $PM_{0.1}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。 149
圖 4.62 中山測站的 $PM_{2.5}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。 150
圖 4.63 中山測站的 PM_{10} 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。 150
圖 4.64 竹東測站 $PM_{0.1}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。 150
圖 4.65 竹東測站 $PM_{2.5}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。 151
圖 4.66 竹東測站 PM_{10} 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。 151
圖 4.67 郊區大氣採樣平均之∑15PAHs 濃度。 156
圖 4.68 環形擴散採樣管微粒損失實驗系統圖。 157
圖 4.69　PS-1 採樣器構造圖 159
圖 4.70　AD-MOUDI-PUF 與 PS-1 系統大氣採樣∑15 PAHs 濃度 160
圖 4.71　AD-MOUDI-PUF / PS-1 與 PAHs 蒸氣壓關係 160
圖 4.72 標準參考樣品- 單一標準品(NIST-1633b、1646a、8704)。 162
圖 4.73 標準參考樣品- 混合標準品，(A) 25% 1633b+75% 1648a、(B) 50% 1633b+50% 1648a、(C) 75% 1633b+25% 1648a。 162
圖 4.74 雷射剝蝕待測樣本共 3 組，包含標準參考樣本與大氣氣膠樣本。 162
圖 4.75 標準參考樣本之 SEM 照片(左:450 倍、右:250 倍) (A) 1646a，(B) 25%1633b+75%1648a，(C) 75%1633b+25%1648a，(D) 50%1633b+50%1648a。 164
圖 4.76 大氣氣膠樣本之 SEM 照片(左:450 倍、右:250 倍) (A) 10-18 μm，(B) 5.6-10 μm，(C) 0.32-0.56 μm，(D) 0.18-0.32 μm。照片顯示粗粒徑顆粒稀疏散佈，細粒徑顆粒分佈密集均勻。 167
圖 4.77 LA-ICP-MS 的檢量線結果，由上至下為第一組至第三組(雷射光束 40 微米、雷射能量 40%)。Y 軸為濃度（mg/kg），X 軸為感度（CPS）。 170
圖 4.78 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 分析結果之比較(Pb)。 172

表目錄

表 1.1 OECD 代表性工程奈米物質最新修正對照表。.....7
表 1.2 28 天的生物吸入毒性試驗中，腔體內銀奈米微粒的各項量測濃度(Ji et al., 2007)。.....15
表 1.3 各來源所排放的特定化學物質。.....31
表 1.4 各式多階衝擊器及其截取直徑 (Chow and Watson, 2007)。.....32
表 3.1 本研究自行製造第七至第十階噴嘴板量測結果。.....45
表 3.2 三個進行人工與即時儀器比對之測站的相關資訊。.....50
表 3.3 求得標準偏差的方法。.....52
表 3.4 ICP-MS 方法偵測極限(MDL)，單位為 ng/m^3。.....53
表 3.5 ICP-MS 分析時使用參數。.....57
表 3.6 LA-ICP-MS 分析時使用參數。.....59
表 3.7 NIST-612 分析各元素的平均感度值、標準偏差及相對標準偏差值(n=7)。..60
表 3.8 LA-ICP-MS 方法偵測極限，雷射能量 40%，單位為感度(CPS)。.....61
表 3.9 標準品 NIST SRM1648 分析結果，包括準確值及精確值。.....63
表 3.10 XAD 種類及其物理特性 (Rohm and Haas Company, 2000)。.....66
表 3.11 不同介質採樣效率比較 (康等人,2007)。.....67
表 3.12 十六種 PAHs 之分子量、結構式及物理特性。.....69
表 3.13 MOUDI 與個人奈米採樣器實驗室比對結果。.....77
表 3.14 本實驗參考 Shin et al. (2010)之實驗參數。.....80
表 4.1 水滴粒徑為微粒粒徑十倍時，懸浮液中之微粒體積濃度與所噴出水滴內部微粒數目之關係(Hinds, 1999)。.....83
表 4.2 以 DMA 篩選出單徑 PSL 微粒的平均直徑、峰值直徑。.....84
表 4.3 於 15 分鐘內分別量測 CPC 與 AE 的流量結果(單位：L/min)。.....86
表 4.4 為使用擬合曲線計算出本研究所使用的 UWCPC 之 D_{10}、D_{50} 與 D_{90} 與 Mordas et al. (2008)的結果。.....88
表 4.5 使用不同凝結液體的核凝微粒計數器(UWCPC 與 UCPC)，量測兩台微粒計數器對銀微粒偵測效率(Mordas et al., 2008)。.....90
表 4.6 在不同產生溫度下，SMPS 與 FMPS 量測銀微粒的 NMD 與總數目濃度的比較。.....90
表 4.7 以 APM 量測不同粒徑 PSL(40、64、82、100 nm)微粒質量的量測數據。.92

表 4.8 高溫爐設定溫度為 500°C，冷卻氣體流量流量為 5、7.5 與 10 L/min，攜帶氣體分別為 1.5、2、2.5 L/min 時，產生的奈米氧化鋅微粒的 NMD、σ_g 及總微粒數目濃度。 96

表 4.9 高溫爐溫度為 1000°C，使用不同流量的攜帶氣體與冷卻氣體下產生的奈米銀微粒的 NMD、σ_g 與總數目濃度。 98

表 4.10 不同燒結溫度下奈米銀微粒有效密度的量測結果。 100

表 4.11 以蒸發/核凝法產生的銀微粒經過不同燒結溫度後，使用 SMPS 所量測之數目濃度分佈經 ICRP 模式之肺胞沉積機率曲線換算出之肺胞區內沉積表面積濃度與 Aerotrak 量測實測值之比較。 101

表 4.12 比較以霧化器產生的奈米銀微粒，在加裝 Marple 個人多階衝擊器前後，經過不同燒結溫度(100、150、200、250、300 與 400°C)後，NMD、σ_g 與總數目濃度的變化。 103

表 4.13 在燒結溫度分別為 100、150、200、250、300 與 400°C 下，以 MOUDI 所採集到的微粒總質量濃度和 SMPS 所測得之總數目濃度換算的微粒有效密度。 104

表 4.14 以噴霧法產生的銀微粒經過不同燒結溫度後，使用 SMPS 所量測之數目濃度分佈經 ICRP 模式之肺胞沉積機率曲線換算出之肺胞區內沉積表面積濃度與 Aerotrak 量測實測值之比較。 106

表 4.15 期中報告前 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 現場比對的結果(n=6)。 112

表 4.16 NCTU 及 MSP MOUDI 第 7 至 9 階衝擊器的校正結果。 113

表 4.17 實驗室校正之後 NCTU MCI 與 MSP MOUDI 現場比對的結果(n=4)。 ..114

表 4.18 (a)新莊、(b)中山及(c)竹東測站各 PM 質量濃度，M：MOUDI，D：Dichot，EPA：環保署測站，單位: μg/m^3。Error：MOUDI 和 EPA 之誤差(%)。130

表 4.19 新莊測站 $PM_{2.5}$ 樣本中微粒化學組成。 136

表 4.20 本研究各水溶性離子的儀器及微粒離子濃度的偵測下限。 137

表 4.21 空白樣品測試結果(單位：ppbw)。 137

表 4.22 新莊測站(a)PM_{10}、(b)$PM_{2.5}$ 及(c)$PM_{0.1}$ 微粒中水溶性離子的濃度，M 及 D 分別表示以 MOUDI 及 Dichot 取樣。 138

表 4.23 中山測站(a)PM_{10}、(b)$PM_{2.5}$ 及(c)$PM_{0.1}$ 微粒中水溶性離子的濃度，M 及 D 分別表示以 MOUDI 及 Dichot 取樣。 141

表 4.24 竹東測站(a)PM_{10}、(b)$PM_{2.5}$ 及(c)$PM_{0.1}$ 微粒中水溶性離子的濃度，M 及 D 分別表示以 MOUDI 及 Dichot 取樣。 143

表 4.25 本計畫各種氣相 PAHs 以環形擴散採樣管採樣之實測吸附率。 153

表 4.26 各種採樣系統 $PM_{0.1}$ 大氣實測濃度(ng/m^3) 154

表 4.27 ∑15 PAHs 於各採樣串連組件所佔比例(%)。 155

表 4.28 環形擴散採樣管各種粒徑之微粒數與損失百分比。 157
表 4.30 粉末分散器所收集之混合標準品的濃度、文獻值與回收率(濃度單位: mg/kg)。 167
表 4.31 雷射能量 40%相較於 30%的感度比值。 168
表 4.32 LA-ICP-MS 雷射能量分別設定為 30 與 40 %時，各元素的回收率(%，LA-ICP-MS/ICP-MS 的濃度)。 169
表 5.1 各年度重點工作及主要研究成果，以及未來幾年建議的研究方向。 177

報告大綱

本報告第一章為文獻回顧，內容包括研究緣起及相關文獻回顧，說明研究目的及國際上針對環境中奈米物質量測及特性分析的現有方法、技術及研究成果，以做為本研究參考的基礎及研究結果的比對。另外有關奈米物質物理化學特性的文獻也有完整的回顧。

第二章包括環保署計畫招標時評選須知所列之計畫目標、研究的工作內容及本計劃實際的執行成果，其中本計畫名稱中的"奈米物質即時毒性測試平台技術開發"已與本計畫分割，由另一計畫執行，本計畫只執行"奈米物質物化特性技術開發"部份。

第三章為本研究針對環境微粒量測及特性分析的研究方法。包括採樣地點的地理環境、採樣方法、微粒樣本質量及化學成分分析的方法及採樣器的研發等，此外各分析方法的品質管制 QA/QC 也在此章節中呈現。此外有關奈米微粒物化特性分析技術的開發在此章節也有完整的說明。

第四章為本研究的結果與討論。結果依次呈現即時儀器的比對結果、奈米微粒物化特性監測平台，新型採樣器的實驗室校正與現場比對結果，接著說明三個測站環境大氣微粒的質量分佈與其它氣候條件或氣態污染物間的關係，針對當中幾次特殊事件進行討論，並比較不同採樣儀器間的採樣誤差。接著說明不同採樣地點微粒(PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$)的特徵及化學成分佔微粒重量的比例與來源推估的結果。

第五章針對研究結果做了一些簡要的結論及建議，也提出一些可繼續研究的方向。最後為參考文獻及附錄，包含審查會議委員的意見及本研究的回覆、QA/QC 的作法及結果。

行政院環境保護署環境檢驗所委託研究計畫成果報告摘要（詳細版）

計畫名稱：環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發
計畫編號：EPA-100-1602-02-01
計畫執行單位：國立交通大學環境工程研究所
計畫主持人(包括協同主持人)：蔡春進，楊錫賢，許世傑
計畫期程：100 年 4 月 21 日起 100 年 12 月 31 日止
計畫經費： 4,800 千元

摘要

本研究參考ISO 10801與ISO 10808的標準，建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產生、監測、檢測及化學分析平台，產生的微粒分別為銀與氧化鋅微粒。本研究使用PSL標準微粒與銀微粒分別對SMPS的粒徑與數目濃度進行校正與比對，結果顯示SMPS可正確地量測微粒粒徑與數目濃度，誤差皆在5 %內。進一步使用FMPS與SMPS進行粒徑分佈的量測比對，發現團聚微粒會造成兩台儀器量測值的誤差，當微粒形貌越趨近於球型時，量測值越接近。以氣膠微粒質量分析儀(APM)量測電移動度粒徑在20-120 nm的銀微粒有效密度的結果發現，有效密度會隨著燒結溫度(100-500 ^{o}C)提高而逐漸趨向銀塊材密度(10.53 g/cm^3)，以20 nm及120 nm的微粒為例，其有效密度分別由7.56上升至10.51 g/cm^{3}及由0.98上升至1.89 g/cm^3。

本研究已順利研發出噴嘴較MSP原廠MODUI平滑的NCTU大氣奈米微粒採樣器。實驗室內的微粒收集效率曲線校正結果顯示，相較於MSP MOUDI，NCTU大氣奈米微粒採樣器的第7至9階衝擊器的d_{pa50}更接近MOUDI原始的設計值。微粒損失的結果則顯示，奈米微粒在NCTU大氣奈米微粒採樣器內部的損失略低於MSP MOUDI。由高濃度微粒負荷的實驗則可看出，本研究自製的噴嘴板確實可有效地降低微粒阻塞的情形。現場採樣比對的結果也顯示，NCTU大氣奈米微粒採樣器及MSP MODUI所測得的微粒質量分布相當接近。

本研究將新莊、中山及竹東三個空品測站的採樣結果和各個空氣品質監測站(air quality monitoring stations, AQMS)的氣象及汙染物監測值做相互的時序比對及分析，全部樣本也由本計畫合作單位中央研究院環境變遷中心利用ICP-MS方法分析各個樣本的金屬成分。此

外，本研究所採集的PM_{10}及$PM_{2.5}$質量也和AQMS及中央大學(National Central University, NCU)$PM_{2.5}$計畫的結果進行比對，AQMS所測得的PM_{10}及$PM_{2.5}$濃度較本研究的採樣濃度高出約40 %，而NCU $PM_{2.5}$的結果則較本研究低了17 %。

本計畫已開發出空氣奈米微粒中PAHs的採樣系統，由環型擴散採樣管(AD)、MOUDI及聚氨基甲酸酯泡棉(PUF)所串聯所組成。目前已完成AD對氣相PAHs的收集效率和奈米微粒樣本中PAHs之正負向偏差及環形擴散管內微粒損失之評估，以及AD-MOUDI-PUF的大氣PAHs採樣。結果顯示，若使用環形擴散採樣管移除氣相PAHs時，會使得MOUDI的$PM_{0.1}$濾紙上Σ15PAHs濃度採樣結果較為正確, 但若未經環形擴散採樣管移除氣相PAHs時會使得大量氣相PAHs進入濾紙後端的PUF, 造成正採樣誤差，如使用石英濾紙採樣時$PM_{0.1}$之Σ15PAHs約有50%之採樣誤差。

By referring to the ISO standard of 10801 and 10808, this study has developed an analytical platform which enables the generation, monitoring, measurement and chemical analysis of nanoparticles intended to be used for inhalation toxicity test. Silver and Zinc oxide were used in this analytic platform. Before characterizing particles in platform, the standardized PSL and silver particle were used to calibrate and compare the particle size distribution and number concentration measured by the SMPS. Results show that the SMPS measures the particle size distribution and number concentrations accurately with a maximum deviation of 5 % to the nominal diameter of the PSL particle. The performance of FMPS was also evaluated by comparing its size distribution measurement of silver aggregate particles with validated SMPS. Results indicate that the difference between these two instruments is mainly influenced by the particle morphology, where the measurements were more correlated as the particle morphology more approach to sphere. The effective density of silver monodisperse particles ranging from 20 to 120 nm was measured by the APM. It was found the effective density increased with increasing sintering temperature and approached to the silver bulk density of 10.53 g/cm^3 when the sintering temperature was raised to 500 ^{o}C. For example, the particle effective density of 20 and 120 nm was increased from 7.56 to 10.51 g/cm^3 and 0.98 to 1.89 g/cm^3, respectively, when the sintering temperature was raised from 100 to 500 ^{o}C.

A NCTU micro-orifice cascade impactor (MCI) whose nozzles are smoother than those of the MSP nozzle plates was developed.

Calibration results show that the d_{pa50} of the 7, 8 and 9-th stage of the MCI are 319, 181 and 96 nm, which are more close to the nominal value as compared to the MSP MOUCI. Particle loss tests show that the inter stage losses of the NCTU MCI are less than those of the MSP MOUDI. No clogging in the new nozzle plate was observed after high concentration particle loading. Field sampling results show that the mass distribution measured by the NCTU MCI is agreed well with those by the MSP MOUDI.

The sampling results conducted at Xinzhuang, Zhongshan and Zhudong air quality monitoring stations (AQMS) were analyzed with the real-time meteorological and pollution data obtained from AQMS. All the samples were also distributed to Dr. Shiu of Research Center of Environmental Changes to conduct the metal analysis by using the LA-ICP-MS or ICP-MS. The $PM_{2.5}$ mass data of present study were compared with those of the $PM_{2.5}$ sampling project conducted by the National Central University (NCU) and AQMS. Results show that both of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations measured by the AQMS are 40 % higher than those of the present study and the $PM_{2.5}$ concentrations measured by the NCU are 17 % lower than the present study.

A PAH sampling system which composed of AD, MOUDI and PUF in series was developed. The collection efficiency of gaseous PAH, positive and negative artifacts and particle loss for the AD and the sampling performance of the AD-MOUDI-PUF were evaluated. Results show that more accurate results with Σ15PAHs concentration on $PM_{0.1}$ filter in the MOUDI will obtained when the AD was used to remove gaseous PAHs. A large amount of gaseous PAHs will absorb by the PUF and further lead to the positive artifacts without the AD. For example, 50 % positive artifacts will be created while quartz fiber filter was employed.

前　言

Chow and Watson (2007)回顧一些學者(共 25 篇研究)探討人為排放超細微粒(Ultrafine Particle, UP<100 nm or nanoparticle)的相關研究(大部份在都會區)，包括採樣的方法、即時監測的方法及微粒成分分析的方法等。文獻中微粒粒徑分佈(即時監測)多使用掃瞄式電動式微粒分析儀 SMPS (Scanning mobility particle sizer, TSI Incorporated, St. Paul, MN)。UP 化學組成的量測一般取多階慣性衝擊器下面幾階收集到的 UP 微粒做分析而得，其中十階微孔均勻沉降衝擊器

Multiple-Orifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI, Model 110, MSP Corporation, Minneapolis, MN)是最常被拿來採集UP及量測其重量濃度的採樣器。本研究使用 SMPS 及 MOUDI (MSP Model 110)作為奈米微粒的即時監測儀器及採樣器。UP 中的元素分析常用 XRF (X-ray Fluorescence), PIXE (Proton Induced X-ray Emission)和 ICP-MS (Indictively coupled plasma-mass spectrometry)；有機碳(OC, organic carbon)及元素碳(EC, element carbon)常用 thermal/optical- reflectance (TOR)或 transmission (TOT)方法；離子分析常用離子層析儀(ion chromatography, IC)。

我國空氣品質標準在民國 81 年開始設有 PM_{10} 標準值，因此從環保署建立空氣品質監測網以來，各監測站就有 PM_{10} 質量濃度的數據，但對健康更有影響的細微粒($PM_{2.5}$)，卻在近年來才陸續在各監測站架設監測儀器。$PM_{2.5}$ 受限於監測數據的不足，特別是化學成分的數據，導致我國遲遲無法追隨先進國家的腳步建立 $PM_{2.5}$ 空氣品質標準。環保署有鑑於此，在今年初提出「細懸浮微粒($PM_{2.5}$)質量濃度與成分人工採樣分析先驅計畫」研究案，希望我國能朝制定 $PM_{2.5}$ 空氣品質標準而前進。該計畫是由中央大學的李崇德教授所主持，研究中於全台各空品區選擇 8 個較具空間代表性的測站進行 $PM_{2.5}$ 的質量濃度與成分分析，每 6 天進行一次進行人工採樣與即時儀器之比對，以充實懸浮微粒相關監測資料。綜觀上述可發現，國內學者於空氣品質測站所進行環境懸浮微粒採樣的研究主要是以分析大氣中 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的重量濃度及化學成分為主，而目前尚未有學者於空氣測站內針對 $PM_{2.5}$ 的質量及化學成分的分佈進行探究，尤其是與健康更有關係的奈米微粒，因此如能取得這些數據，對於我國空保及國人健康必能有貢獻。

以奈米物質生產的商業化商品數目目前正在快速的增加中，產品涵蓋健康、衣物、汽車等，使用的物質包括奈米銀、奈米金、奈米碳管(CNT)及奈米氧化鋅等，但是當奈米產品提供功能性的好處的同時，人們暴露在奈米物質下的風險也隨著增加，特別是從事與奈米科技產業相關的工作人員(產品的加工及包裝作業)，此外可能從產品中再釋出之奈米物質也會對消費者的健康造成威脅。為了確保工人和消費者的健康，奈米物質的吸入毒性測試為一項十分重要的工作。雖然目前奈米物質對人體毒理機制並沒有完全的釐清，不過很多相關的研究正在進行中。人體可能暴露奈米物質的途徑包含呼吸(inhalation)、皮膚接觸及食入(ingestion)，其中以呼吸為最容易進入人體的途徑。

為了獲得吸入奈米微粒與健康的實際相關性，國際標準組織ISO建議以蒸發/核凝法來產生金屬奈米微粒(ISO 10801)，因該方法可以供應高濃度、高純度的微粒，且可以長時間產生粒徑分佈穩定的奈米微粒，因此較為適合作短期或長期的吸入毒性研究。蒸發/核凝法是一種利用加高溫將物質蒸發，所產生的蒸氣以攜帶氣體(carrier gas)帶出，爾後蒸氣以大量的乾淨稀釋氣體降溫，因而凝結成小微粒。ISO 10801中規範了使用蒸發/核凝法作為奈米微粒吸入毒性實驗時需要依循的標準，例如所產生微粒的幾何標準偏差之值及微粒粒徑分佈、形貌及質量濃度皆需測定。ISO 10801的標準內容為：(1) 產生系統的微粒特性量測、(2)微粒之物理及化學特性分析、(3) 毒性測試暴露腔相關操作參數及必要的安全規範。

ISO/TC229提出另一個研究計畫-「ISO/FDIS 10808- 吸入毒性試驗用的暴露腔中奈米微粒的特性分析(Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing)」來規範暴露腔中奈米微粒的特性監測方法。監測系統必須要能監測暴露腔內的微粒粒徑分佈、微粒表面積濃度及估算動物暴露的微粒質量劑量等，這些數據可作為吸入毒性試驗分析的參數。微粒粒徑分佈及表面積濃度是使用微分電移動度分析系統(Differential Mobility Analyzing System, DMAS)測定，TEM及EDXA用來觀察微粒形貌以及化學組成。若吸入毒性測試還需要其它額外的參數，該標準也同意另使用其它方法測定微粒質量劑量(秤重)及其它物化特性(其它化學分析法)。

研究方法

本研究延續過去四年的研究經驗，並以改良的採樣方法在台北及新竹選定三個環保署空氣品質測站進行採樣，以MOUDI、Dichot及SMPS分別量測微粒質量濃度分佈、$PM_{2.5}$與$PM_{2.5-10}$質量濃度及奈米微粒的數目濃度，並利用微粒金屬成分分析及其它更多數據資料(如風速、風向、溫濕度等)配合PMF方法進行統計分析，探討微粒的來源，以釐清都會區奈米微粒之污染排放來源及人為活動的影響。量測出之$PM_{2.5}$及PM_{10}質量濃度數據也將與環保署PM2.5計畫所測得之$PM_{2.5}$及PM_{10}質量濃度作相互驗證，比較不同採樣方法之間的量測誤差。微粒化學成份分析方面，以GC-MS分析PAHs；以LA-ICP-MS方法及傳統ICP-MS方法分析微粒主要元素及金屬成分，並利用正矩陣因子法(PMF, positive matrix factorization)推估微粒的來源貢獻。最後各個量測的結果也將進行時序分析，以探討不同季節都會區奈米微

粒濃度及成分的差異。

本團隊亦開發一台可以準確量測奈米微粒濃度並增加收集量的NCTU奈米微粒採樣器(micro-orifice cascade impacto, MCI)，以解決MSP原廠MOUDI在奈米微粒採樣上缺點。為了驗證NCTU MCI和市售MOUDI的噴嘴板有相同的微粒分徑能力，且具有不易造成微粒損失及阻塞的特點，本研究也在實驗室進行NCTU MCI的微粒收集效率曲線校正、微粒損失及噴嘴阻塞實驗，最後並與MSP原廠MOUDI進行現場採樣比對，預計將來可使用NCTU MCI準確的採集奈米微粒，以利後續的化學分析。

另外本研究參考ISO 10801與ISO 10808的標準，建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產生、監測、檢測及化學分析平台，並建立奈米微粒質量分析之績效評估樣品之製備技術與標準作業程序，實驗的流程如圖3.15所示，系統如圖3.16所示。產生的工程奈米微粒為Ag及ZnO，當系統可產生穩定粒徑分佈的奈米微粒後，參考ISO/WD 27891校正數目濃度與使用20、40、64、81及102 nm的微粒粒徑標準品--聚苯乙烯乳膠(3000 Series Nanosphere Size Standards, Thermo Scientific, USA)校正SMPS量測的粒徑。當校正完成後，即可進行微粒採樣及監測，使用的儀器與監測參數分別為量測質量濃度分布的MOUDI、量測總質量濃度的濾紙採樣器、量測肺泡及胸腔的表面積濃度的奈米微粒表面積濃度測定儀(Aerotrak)、即時量測粒徑分佈的SMPS、即時量測微粒質量的氣膠微粒質量分析儀(APM)，而微粒大小與形貌觀察是將銅網裝置在個人奈米微粒採樣器或MOUDI的基板上，再以TEM觀測。奈米物質化學分析使用ICP/MS與LA-ICP/MS分析濾紙採樣器所採集的微粒。

結　果

在奈米微粒監測平台中，本研究嘗試產生團聚的銀奈米微粒，以探討團聚微粒在燒結過後其形貌、粒徑分佈、表面積濃度等變化，並為吸入毒性測試提供較完整的參數。由結果可看出產生出微粒之NMD及質量中間氣動直徑(MMAD)分別為42.37 nm和140 nm，由總數目濃度及總質量濃度可推算出其有效密度約為1.13 g/m^3，遠小於銀塊材密度(10.49 g/m^3)。由此結果也可判斷出此狀況下所產生的銀微粒有團聚的情況。團聚的銀微粒經過不同燒結溫度後，可看出微粒的NMD及σ_g均會隨著燒結溫度的升高而下降，但當燒結溫度高於300^oC後，兩者下降的情況均有漸緩的趨勢，由此結果推斷，若溫度

提高至500°C以上時，燒結作用對團聚微粒粒徑的影響會變得較不顯著。而利用SMPS量測的總數目濃度與MOUDI的總質量濃度所換算出來的微粒有效密度，可看出提高燒結溫度可使微粒的有效密度提升，表示微粒形狀已由原始的團聚微粒變得趨於球型。

為了進一步觀察特定電移動度粒徑(d_m)的微粒在不同燒結溫度下的變化情形，本研究以氣膠質量分析儀(APM)及核凝微粒計數器(CPC)串聯的系統同時量測微粒的質量及數目濃度，並進而推算出微粒的有效密度。由未經燒結及經不同燒結溫度後，d_m為20至100 nm的微粒有效密度變化的情形可看出，在未經燒結及各個燒結溫度的情況下，粒徑越大的微粒有效密度越低。觀察各個粒徑下的微粒在不同燒結溫度下的變化可看出粒徑越小的微粒其有效密度受燒結的影響越小，反之越大。

本研究除了使用蒸發/核凝法產生奈米微粒外，更使用噴霧法產生奈米銀微粒。由SMPS掃瞄出之微粒粒徑分布結果可看出，在使用Marple個人多階衝擊器後，各個燒結溫度條件下的微粒分布均有變小的趨勢，此外，微粒粒徑分佈也變得較集中。當燒結溫度由100°C上升至400°C時，微粒的NMD由45.4 nm降至41.7 nm，σ_g也由1.51降至1.48。當燒結溫度由100°C上升至400°C時，其MMAD由136 nm降至126 nm，σ_g則由1.80降至1.77。由上述結果可知燒結溫度由100°C上升至400°C時，微粒的數目及質量分布均有些微下降的趨勢，但並不明顯。

當燒結溫度提高至500°C後，微粒數目濃度分布呈現雙峰分布，第一個峰值約在7.6 nm，第二個峰值則在38.6 nm。本研究推測7.6 nm的峰值為銀懸浮液表面的介面活性劑蒸發並核凝成微粒所造成，38.6 nm的峰值則為被燒結過後的銀微粒所造成。造成燒結溫度在400 °C以下時，微粒粒徑分佈變化不明顯的原因推測為雖然微粒的形貌及大小已受燒結溫度的提高而改變，但受到其表面的介面活性劑的影響，使得SMPS在不同溫度下所量測出粒徑分佈改變不大。

在當燒結溫度低於400°C時，以噴霧法產生的銀微粒，未經燒結及經不同燒結溫度後，與室溫相比，d_m介於20至100 nm的微粒有效密度變化皆不大，各個粒徑的變化均在10%內。此結果與上述的粒徑分佈與質量分布的結果一樣，燒結溫度對微粒分布等影響不大。而燒結溫度提升至500°C時，粒徑大於40 nm的銀微粒其有效密度的變化與低於400°C時差異不大，分別提升8.65與16.37 %；而微粒粒徑為20 nm時，有效密度明顯地提升至7.035 g/cm^3(提升56 %)。

NCTU MCI的實驗室效率曲線校正結果顯示當NCTU MCI第7、8及9階的S/W值分別調整為3.53、3.56及13.8時，其d_{pa50}分別為96.5、181及319 nm。此結果和Marple et al. (1991)的結果相當吻合，相較於MSP MOUDI，NCTU MCI的第7至9階衝擊器的d_{pa50}更接近設計值。經校正過後的NCTU MCI在中山及竹東測站和MSP MOUDI現場採樣比對的結果可看出NCTU MCI的第7至9階衝擊器經實驗室校正之後，所量測到的微粒質量分佈和MSP MOUDI相當接近，0到9階的誤差均在10 %以內，惟第10階及終端濾紙的誤差較大，推測原因為採樣濃度過低，受秤重誤差影響所致。微粒阻塞實驗結果顯示當MSP MOUDI及NCTU MCI同時採集實驗室自行產生的高濃度TiO2粉塵時，MSP MOUDI壓損上升的情形高於NCT MCI，在微粒阻塞實驗之後本研究也以顯微鏡觀察兩者噴嘴阻塞的程度，結果發現MSP噴嘴板上已有多個噴嘴受到阻塞，甚至有些噴嘴已完全阻塞NCTU MCI的噴嘴板則無微粒附著的情況。

新莊、中山及竹東三個測站的採樣結果可看出新莊與中山測站的各PM濃度相當接近，其PM_{10}、$PM_{2.5}$及$PM_{0.1}$的平均值分別為34.1±10.9、22.8±8.3、1.5±0.5與34.5±9.6、21.7±6.5、1.4±0.6 μg/m^3。竹東測站的結果則較前兩者低，PM_{10}、$PM_{2.5}$及$PM_{0.1}$平均值分別為21.7±6.3、12.5±3.6、0.7±0.4 μg/m^3。主要差異原因為竹東測站所在的位置較偏郊區，車流及人為活動所造成的微粒排放不及新莊及中山測站多。年度變化顯示新莊測站的PM_{10}及$PM_{2.5}$質量濃度變化較無一定規律。由空品測站所量測的即時PM_{10}及$PM_{2.5}$濃度測值發現，新莊測站常會因附近工業區排放的影響，使PM_{10}及$PM_{2.5}$質量濃度常有突然高起的現象。故推測新莊測站因常受到工業區排放的影響，使氣候影響PM變化的情況較不明顯。另外也發現三個測站$PM_{0.1}$質量濃度在6至8月時均最高，原因為這些月份的氣候最為炎熱，陽光也最強，旺盛的光化反應所造成。

與空品測站比對結果顯示空品測站空品測站所測得的PM_{10}及$PM_{2.5}$濃度均明顯較本研究的結果高出40.6及40.7 %，主要原因為測站儀器維護週期過長，使得採樣口噴嘴下方的衝擊板堆積微粒，微粒彈跳造成採樣誤差。本研究在在08/08於中山測站定期維護前後進行採樣，結果發現維護前測站量測的PM_{10}及$PM_{2.5}$分別高出本研究測值73.4%及117.9%，而維護後僅分別高出測站測值17.3及6.9%，兩者間之誤差明顯降低。除了微粒彈跳之外，大氣相對溼度也有可能對貝他計的量測結果造成影響，最近的一份國外技術報告(Gobeli et al. 2008)更進一步指出，當大氣中的RH高於35 %時，貝他計所的量測結

過會較美國聯邦參考方法(Federal Reference Method, FRM)中手動採樣器的採樣結果高出20-50 %，本研究也發現相對濕度與採樣誤差確實有一定的相關性。與中央大學的比對結果發現中央大學的採樣結果較本研究低約16.6 %，主要原因則為採樣儀器中的$PM_{2.5}$分徑器不相同所致，本研究使用虛擬衝擊器，而中央大學則是採用WINS衝擊杯(impaction cup)，兩者在過去學者的研究中發現WINS確實會比虛擬衝擊器低3至12 %，因此不同分徑器的影響應是造成採樣誤差的主因。

結　論

1. 本研究開發之奈米微粒產生、監測與檢測平台可產生高數目濃度且符合ISO以蒸發/核凝法產生奈米微粒之標準[數目中間粒徑(NMD)＜100 nm，幾何標準偏差(σ_g)＜ 2]的奈米銀與奈米氧化鋅微粒。此套系統不僅符合ISO 10808中監測項目的要求，更提供不同觀察微粒形貌的樣本製備方法等新想法，且經過實驗結果證實，可提供吸入毒性測試更完整的參數。
2. 本研究分別針對可即時量測微粒數目分布及質量的儀器進行校正及比對，結果顯示 SMPS 可正確地量測微粒的粒徑與數目濃度。本研究接著以校正過後的 SMPS 為標準與 FMPS 的粒徑分佈數據進行比對，結果顯示微粒形貌會對 SMPS 與 FMPS 間量測數據的差異造成影響，當微粒形貌越趨近於圓形時，兩台量測儀器的結果越接近。對可即時量測微粒質量的 APM 校正結果則顯示，當微粒的質量大於 0.3 fg 時，APM 量測的準確性較高，此結果也與 Shin et al. (2009)這篇文獻中 APM 僅適用於量測質量大於 0.3 fg 微粒的結論吻合。
3. 本研究目前已利用半導體製程成功開發出比 MOUDI MSP 原廠平滑的噴嘴，並已裝上 NCTU 大氣奈米微粒採樣器中。於實驗室內的微粒收集效率曲線校正、奈米微粒損失及微粒阻塞實驗，以及現場的採樣比對等測試均已完成。校正結果顯示相較於 MSP MOUDI，NCTU MCI 的第 7 至 9 階衝擊器的 d_{pa50} 更接近 MOUDI 原始的設計值。微粒損失的結果則顯示，奈米微粒在 NCTU MCI 內部的損失略低於 MSP MOUDI。由高濃度微粒負荷的實驗則可看出，相較於 MSP 的噴嘴版，本研究自製的噴嘴板確實可有效地降低微粒阻塞的情形。現場採樣比對的結果也顯示，NCTU 及

MSP MODUI 所測得的微粒質量分布相當接近。

4. 新莊、中山及竹東微粒質量分佈皆呈雙峰分佈，累積模式粒徑介於 0.3-0.5 μm 之間，粗微粒模式介於 5-7μm 之間，只有在一些特殊事件如新莊測站在 5/3-5/4 因受到沙塵影響，使得原本典型的雙峰分布變為單峰分布。$PM_{0.1}$ 數目濃度的日變化同時受 CO 及 O_3 濃度影響，CO 來源為交通工具的一次排放，O_3 為交通排放的二次污染物，因此奈米微粒數目濃度的變化兼具兩者之特性。此外，在沙塵期間 $PM_{0.1}$ 數目濃度僅為平時的 1/10，原因為沙塵夾帶大量較大的沙塵顆粒使得，$PM_{0.1}$ 的小微粒容易擴散至這些大的沙塵顆粒上造成聚集而使 $PM_{0.1}$ 數目濃度下降。
5. 本研究採集的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度和中央大學 $PM_{2.5}$ 計畫及環保署空品測站的比對結果顯示，空品測站的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 值均較本研究的結果高出 40%，進一步分析也發現相對濕度對 $PM_{2.5}$ 的影響較 PM_{10} 大，當 RH 上升時，本研究和測站間 $PM_{2.5}$ 的量測誤差上升的幅度幾乎會 PM_{10} 的兩倍，此外本研究也發現測站的分徑器在剛維護後和本研究測值間之差異也會降低。故推測是大氣濕度過高造成貝他計高估結果以及因衝擊器的維護週期過長使得過多微粒累積在衝擊基質上進而造成微粒彈跳兩項原因所造成。中央大學 $PM_{2.5}$ 的結果則是較本研究略低 17 %，此現象和過去文獻的結果類似，但目前僅能推測是由微粒分徑器不同所致，實際造成差異的原因仍需由後續的研究進行深入探討。
6. 水溶性離子分析結果顯示竹東測站離子含量最高，原因為該測站濕度較高，高濕度的環境下使得微粒會吸收較多的水分，進而讓大氣中水溶性離子更容易溶解至微粒中。新莊站於 5/3-5/4 採樣期間的水溶性離子則是以 Cl^-、Ca^{2+}及 Mg^{2+}等海洋性離子為主，此結果也可證明該期間的高 PM 濃度是經由海上境外傳輸的沙塵所造成。
7. ICP-MS 分析 Dichot 樣本的結果顯示，三個測站中以新莊站的的元素濃度較高，而另外兩站(中山、竹東)的濃度則較相近。Sr 在新莊及竹東兩測站是以 $PM_{2.5-10}$ 的濃度較高，而在中山測站是以 $PM_{2.5}$ 的濃度較高，顯示中山測站的 Sr 另有其他來源。竹東測站 $PM_{2.5-10}$ 的 Tl 濃度高於 $PM_{2.5}$，此結果與其他測站相異，是否為單一污染事件或操作過程受污染所致，亦需進一步釐清。樣本元素間之關係，Cd 對 Pb、Se 對 As、Cu 對 Mo、Cu 對 Sb 與 Sb 對 Ba 彼此間有良好的相關性，其比值將是後續可參考的指標。
8. PMF 分析的結果顯示，新莊測站 $PM_{0.1}$ 和 $PM_{2.5}$ 的貢獻分別以交

通排放為主要來源，PM_{10} 則以地殼元素最多。中山測站的 $PM_{0.1}$ 和 $PM_{2.5}$ 的貢獻同樣以汽油引擎排放為主。上述兩站之結果均符合附近交通繁忙的現況。竹東測站的 $PM_{0.1}$ 和 $PM_{2.5}$ 的來源主要也以交通排放源為主，PM_{10} 由地殼元素貢獻最多，但是竹東測站所受汙染較少，交通排放源的影響也不如新莊及中山測站明顯，故各排放源所占的比例不如前兩個測站懸殊。

9. 各種氣相 PAHs 以環形擴散採樣管(Denuder)採樣之實測吸附率結果顯示各種 PAHs 的收集效率皆達 90%以上，可認定已無貫穿現象。使用鐵氟龍濾紙進行採樣，AD-MOUDI-PUF 與 MOUD-PUF I 採樣系統所檢測 $PM_{0.1}$ 之 Σ15 PAHs 濃度分別為 1.88 與 1.42 ng/m^3；使用石英濾紙進行採樣，AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統所檢測 $PM_{0.1}$ 之 Σ15PAHs 濃度分別為 2.07 與 3.14 ng/m^3，另外發現鐵氟龍濾紙無顯著的偏差問題，石英濾紙的約有 50%的偏差量。在環境中的採樣結果顯示兩次實驗第一支環形擴散採樣管中的總 PAHs 濃度分別為 597 ng/m^3 與 1924 ng/m^3，此測值範圍與國際上其他以環形擴散採樣管之研究量測結果差異不大。實驗室內評估微粒損失，結果顯示固體微粒在 Denuder 內平均約損失 25 %。
10. 本研究四種採樣系統(AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用鐵氟龍濾紙，AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用石英濾紙) 所測得的大氣 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度依序為 $PM_{0.1\sim2.5} > PM_{0.1} > PM_{2.5\sim10}$。雖然這四種採樣系統並非全部同步採樣，但仍可看出三種粒徑範圍之大小順序與文獻中其他研究結果趨勢一致。
11. LA-ICP-MS 搭配自行配置之標準品，對 MOUDI 樣本中微量元素（Pb、Cd、Cu、Zn、As）濃度定量，所得到的值與 MW-ICP-MS 雖尚有差距，但粒徑分佈型態仍能一致。LA-ICP-MS 為直接應用於快速分析固態樣品的技術，故標準品的製備極為重要，標準品的均勻性、穩定性及與實際待測樣品基質的特性，則是影響 LA-ICP-MS 分析結果的關鍵。
12. LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 兩者的濃度比較結果顯示，所有元素中以 Pb 的分析結果最好。次微米的結果最佳，而微米級樣本的變異大，主要是因為顆粒分布零散。奈米級顆粒樣本的分析結果也較差，主要的原因是因為顆粒量小，若秤重不夠精準，當對重量進行標準化時會將誤差放大。目前看來 LA-ICP-MS 較適用於次微米顆粒樣本，主要的原因是顆粒分佈均勻。

建議事項

1. 持續至各個測站進行大氣微粒採樣，以利本研究針對採樣結果做季節性變化的分析，測站相關$PM_{2.5}$及$PM_{0.1}$的質量及數目濃度數據可作為未來管制$PM_{2.5}$時的參考。
2. 針對大氣相對濕度對空品測站內即時微粒質量量測的影響進行評估，並找出解決其高估PM濃度的方法。並研究各測站不同的$PM_{2.5}$分徑器(WINS衝擊杯或VSCC旋風器)受到微粒過度負荷及彈跳等問題，找出最合適的粒徑篩分裝置與方法，以解決因儀器構造或維修時間過長造成的量測誤差。
3. 目前LA-ICP-MS之標準樣本與氣膠樣本間顆粒粒淨重的差異可達1個數量級以上，造成剝蝕量的極大差異，目前數據處理方式雖將感度修正至相同顆粒載量，但卻使部分元素回收率變大，顯示載量與感度未必是正向線性關係，未來將把標準樣本上的顆粒量減少至與待測樣本相近，且將增加真實樣本之採集量或集中於較小濾紙範圍，以期降低感度比較基準之差異。再者，目前本系統在切換樣本時會造成電漿的不穩定，這部分可藉由改良剝蝕室的載流氣體供應方式加以改善。

第一章　前言及研究目的

奈米技術在環境及各個領域均有很大的運用潛能，但是也可能會產生新的環境及人體健康危害的問題。奈米微粒的監測與控制技術，以及其對於環境及人體健康的影響，國際間仍處於研究階段，資訊相當有限。我國環保署永續發展室在國家型奈米計劃的經費資助下，針對環境中奈米物質的量測及分析技術的開發相關研究，歷經工研院(兩期)、清華大學(一期)及交通大學(五期)等單位的執行，共已經 8 年。本期第 9 年之重點工作內容包括：持續開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析技術，該技術必須包括環境中奈米微粒採樣技術及檢測分析技術，期使能與國際水平相當或更為前瞻有競爭力；使用採樣技術必須有效增加微粒收集量，提昇傳統分析方法之偵測極限與準確度；檢測分析方法必須能直接分析微粒成分，提高檢測分析品質及能力。此外必須符合「環保署環境奈米科技第二期六年規劃藍圖」中所訂定的目標及策略，目標充分發揮奈米特性利基且具環境效益的創新應用技術，策略以創新領先代替迎頭趕上，開發具永續發展、能解決國內或國際弱勢人民或地區問題，提升人類優質生活的關鍵、核心及實用技術。基於上述目標及策略之達成，本計畫書中針對預定開發技術目前國內外發展狀況、技術標竿(benchmark)等有完整回顧及指出預定領先之量化技術指標。本計畫執行期間自 100 年 4 月 21 日起至 100 年 12 月 31 日止，計劃研究經費為新台幣 480 萬元整。

1.1 緣起與背景說明

奈米技術在各個產業的應用越來越重要，商業化奈米產品愈來愈多(NIOSH, 2009; Tsai and Pui, 2009; PEN, 2010)。根據統計至 2010 年為止，奈米相關的消費性產品已高達 1000 項以上，涵蓋食品及飲料，家庭及園藝，健康、衣物及美容，汽車，電子及電腦，工具，小孩用品及其它(PEN, 2010)，其中較常見產品有化粧品、防晒油、塑膠強化劑、防菌塗層、自淨的建材及防臭含奈米銀的襪子等不勝枚舉。當奈米產品為我們的生活帶來便利的同時，其在製造的過程中，工人是否會暴露在有奈米物質逸散的環境下？或產品使用時是否會釋出奈米物質，造成一般大眾的暴露？這些議題是許多政府及研究單位現階段正在進行的重點研究。美國萊斯大學 International Council on Nanotechnology (ICON)資料庫 nanoEHS Virtual Journal 統計 2000 到 2010 年間有關 EHS 全球同儕審查的期刊文章，發現共已發表了 3361 篇，其中與人造奈米微粒有關者就佔了 89.6% (3013 篇) (International Council on Nanotechnology 網站)，且呈逐年大幅成長的趨勢。可見世界各國無不投入大量的資源，研究奈米技術 EHS 的問題。

在奈米技術 EHS 的法規及標準指引方面，世界上主要先進國家與組織已有許多進展(蔡，99 年度-1)。美國環保署透過毒性物質管理法(toxic substance control act, TSCA)執行奈米物質的產前通知 (Pre-manufacture Notice, PMN)及顯著新使用通知(Significant New Use Rule, SNUR)以管制奈米物質。美國至 2010 年止共有兩種奈米碳管 (含單壁奈米碳管－PMN 號碼 P-08-328，多壁奈米碳管－PMN 號碼 P-08-177)，以及經由矽氧烷改質的奈米二氧化矽微粒 (PMN 號碼

P-05-673) 和奈米氧化鋁微粒 (PMN 號碼 P-05-687) 被 USEPA 要求需申請「顯著新使用通知」(Significant New Use Notice, SNUN) (Federal Register, 2008b, 2009a-c and 2010 a-b)。除此之外，USEPA 目前正計畫對第三種奈米碳管（多壁奈米碳管 PMN 號碼 P-08-199）發布「顯著新使用規則」(Federal Register, 2009 c)。

2009 年美國勞工安全衛生研究所 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health)發行的出版品- Approaches to safe nanotechnology: Managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials -中建議，管理機構可以用 5 層級的循序控制方式來降低工作場所奈米物質對工作者造成的暴露和可能的危害 (CDC & NIOSH, 2009b): (1) 變更原始設計以消除危害、(2) 以低危害物質取代高危害物質、(3) 以工程方式隔離危害物質，例如：使用局部通風系統、(4) 有效的行政管理實務，以及 (5) 使用個人防護設備，例如：呼吸防護具、實驗衣以及手套等，而呼吸防護具的選擇須謹慎參考由 NIOSH 負責更新的美國呼吸防護法規 (42 CFR Part 84)。呼吸防護具的使用，係在透過工程或是管理的控制方式後仍無法將工作者的暴露值有效的控制在氣懸微粒的管制限值之下時為之，管制限值為職業暴露限值 (Occupational Exposure Limit, OEL) 或是其它已經建立的暴露限值。目前在美國尚未有氣懸工程奈米物質的暴露限值，因此使用呼吸防護具時，可參考具有相同化學組成的較大顆粒的暴露限值和相關指引，如 OSHA PELs, NIOSH RELs 或是 ACGIH TLVs (CDC & NIOSH, 2009b)。

歐盟將奈米物質視為化學物質，並利用化學品管理條例(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH) 制度全面管制奈米物質及其相關產品。REACH 管理條例於 2007 年開始生效，歐洲化學品管理署(ECHA, European CHemicals Agency)在 2008 年開始正式接受登記申請(http://ec.europa.eu/environment/chemicals)。REACH 管理條例涉及的化學物質約有 3 萬種。這 3 萬種化學物質將在未來 11 年內(即 2018 年 6 月 1 日以前)，進行化學物質註冊、評估、授權和限制之程序。目前的 REACH 條款雖未被明確地指出奈米物質一詞，但是奈米物質已被涵蓋在 REACH 所定義的「物質(substance)」中(European Commission, 2008a-c)。

REACH 規範製造者和進口者對於每年製造量或使用量高於 1 噸的物質將需要向 ECHA 呈遞一份物質的註冊檔案(registration dossier)，對於每年製造量或使用量高於 10 噸的物質將需要呈遞一份化學安全報告(chemical safety report)(European Commission, 2008a-c)。ECHA 在對物質進行評估時，可以向申請人要求物質的任何資訊。而一個已經以塊材物質(bulk substance)形式存在於市場的已存在化學物質(an existing chemical substance)被以奈米物質形式(nanomaterial form, nanoform)上市時，申請人必須更新註冊檔案，並敘述奈米形式的物質具有的特殊性質、奈米物質的分級和標示以及奈米物質的風險管理措施，並讓供應鏈(supply chain)獲得相關的風險管理措施以及操作條件資訊。為了了解奈米物質的特殊性質、危害和風險，申請人可能被要求對申請物質進行額外測試以及提供相關訊息。為了確定和奈米物質有關的危害，現有的測試指南(test guidelines)可能需被修改。在測試指南尚未被修正之前，申請人必須依據現行的測試指南對奈米物質進行測試。對於危害性高的物質(substances of very high

concern)必需先獲得允許使用以及上市的授權，對於在製造、使用或上市時會造成風險的奈米物質，則必須有管制程序以降低風險，此授權和管制之要求不受產量或上市量之限制。這些危害性高的物質包含致癌、致突 變性及生殖毒物(CMR)，持久性、生物累積且具毒性物質(PBT)，持久性及生物累積性強(vPvB)，或具有相同危害性之物質。

過去幾年來，在我國政府相關政策制定會議中，陸續揭櫫重要之奈米科技政策，整合國內有限之相關資源從事奈米基礎科學與應用技術的發展，期在短時間內我國奈米技術發展，可與先進國家同步甚至超越，使我們在奈米科技產業全面開展時，可以領先成為奈米科技新產品的製造國及技術的擁有者。94 年 9 月「行政院 2005 年產業科技策略會議」結論更進一步指出『建置環境、健康與安全共同平台，規劃風險評估、風險管理、風險溝通，並投入資源和重點，以制定良好規範，建立管理體系。』，開始重視奈米科技可能產生的環境與人體的衝擊。在行政院環保署的委託下，工研院環安中心於民國 92 年起曾執行多年的奈米科技與環境保護相關的研究計畫(工研院，環安中心，民國 94 年；國立清華大學，民國 96 年)，這些計畫配合國內環境、衛生、勞安(EHS)三部門的研究計畫，期能共同打造一個負責任的奈米科技(responsible nanotechnology)研發環境，現階段由環保署負責環境中暴露風險及管理，衛生署進行奈米微粒對健康風險評估，勞委會針對職場勞工健康、製程安全進行研究。

本研究團隊執行民國 96-99 年的環保署國家奈米計畫四年，也曾針對針對環境中奈米物質未來暴露評估與風險評估可能的知識缺口進行文獻收集及整理，並列出部份主題的國內研究現況，且舉行了國內專家座談會，作成了具體的結論及建議(蔡春進 96-99)。報告內容可在「環境友善奈米知識平台」(http://sta.epa.gov.tw/cooperation/nanotech/KM/main/main.aspx)獲取。

我國環保署在第一期國家型奈米科技計畫(2003-2008)，共投入總經費 5452 萬元在奈米技術環境相關議題之研究發展計畫 19 項，其中推動負責任奈米研發及產業環境類別，共 10 項，佔總經費 55%；另外應用奈米技術在環境保護工作類別，共 9 項，佔總經費 45%；除了國家奈米計畫外，環保署另外在"環保創新科技研發計畫"中投入了 10 項研究計畫，總經費共 1675 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究。在第二期國家型奈米科技計畫(2009-2014)的前二年(2009-2010)，環保署共投入 13 項計畫，總經費為 2807 萬元，全部用於奈米技術環境相關議題之研究發展，以推動負責任奈米研發及產業環境；在"環保創新科技研發計畫"中，環保署另外投入了 2 項研究計畫，總經費共 260 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究。

為完成國家型奈米計畫第二期的工作，環保署將持續與勞委會、衛生署合作，確保負責任的國家型奈米計畫之永續發展。為了達成既定的目標，環保署已擬定了奈米技術 EHS 的 12 個發展重點項目為：1. 汙染源、宿命、傳輸和暴露。2. 人體健康。3. 生態影響。4. 風險評估。5. 生命週期評估。6. 知識庫平台建置。7. 檢測監測技術平台。8. 透過工程及技術進行風險管理。9. 透過優良實務及法規進行風險管理。10. 奈米技術應用於環境監測及整治技術。11. 奈米技術應用於清潔生產、永續發展之技術。12. 倫理、法律及社會影響的研究

基於上述的發展重點項目，本年度環保署參考美國奈米科技辦公室所發表

"2011 年 NNI 環境、健康、安全研究策略"草案中的核心需求，和美國環保署在 2009 年的"奈米物質研究策略報告"中的聚焦研究主題，並考量經費限制、過去的研究成果及各單位的分工協調情況，提出了 2011 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目的規畫如下(蔡，99 年度-1)：

1. 知識庫平台建置
2. 檢測監測技術平台
3. 汙染源、宿命、傳輸和暴露
4. 政府法規架構研究

民國 93 年起，國內開始辦理環境保護與奈米科技學術研討會，至今年為止已共辦了七屆，重點在於奈米材料於環境監測、環境污染物處理、污染場址整治、再生能源開發、奈米微粒之健康風險及環境管理等，研討會側重於奈米技術於環境保護之應用。

我國工研院環安中心在環保署及經濟部的贊助下曾於 2003 及 2004 年主辦過兩次國際奈米環境技術研討會(International Symposium on Environmental Nantechnology)，多個國際知名學者曾受邀到台灣參加此研討會，如 Barbara Karn (US EPA), Mike Roco (NNI), Vicki Colivin (Rice University), Gunter Oberdörster (University of Rochester), Hinds Fissan (University of Duisburg), Wolfgan Kreyling (GSF)等人，對本國重視奈米微粒可能造成的健康危害及環境污染十分推崇。

在國際上，2004 年於英國的 Essex 市首度舉行了第一屆奈米技術與職業衛生國際研討會，共有 150 名世界各地的專家學者與會，並出版了會議的報告(http://www.nanosafe.org/node/194)。第二屆於 2005 年在美國明尼蘇達州舉行，共有 410 名來自世界各地二十一個國家、從事奈米粉體、奈米製程、奈米毒物學與勞工安全衛生的學者專家及研究人員參與，共發表口頭及海報論文 120 篇左右。第二屆的會議人數比起在英國舉辦第一屆會議時的 150 人成長很多，顯見世界各國在發展奈米科技的同時，十分重視作業勞工可能的奈米微粒暴露、健康危害及控制問題。

我國對奈米科技與環境及職業安全衛生的重視受到國際的肯定，因此美國職業安全衛生研究所(NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health) Dr. Andrew Maynard 及明尼蘇達大學 Prof. David Y. H. Pui (即第二屆研討會的共同主席)乃邀請我國於 2007 年 8 月 29 日至 9 月 1 日主辦第三屆研討會。參加 2007 年第三屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會的人士，有來自日本、韓國、大陸、澳洲及香港等亞洲學者專家約 40 人，及美國、英國、德國等歐美之專家學者 110 人，加上本國奈米科技、環境醫學、工業衛生、環工、化工、材料、氣象等領域的學者、及政府相關部門、研究單位人員約 150 人，參與的國家有 20 國，共約 300 人左右會參與此盛會，165 篇論文發表。

我國學者蔡春進教授等多人也在 2009 年及 2011 年分別參加第四屆及第五屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會，發表奈米 EHS 研究成果並與 OECD、日本及歐美的專家學者共同討論研究的進展及進行交流。

1.2 ISO (國際標準組織) 及 OECD(經濟合作與發展組織)

在奈米技術蓬勃發展的同時，ISO (國際標準組織)近年也開始整合世界先進國家的研發能量，以分工的方式朝奈米技術相關的標準制定努力。TC 229 為 ISO 與 EHS 相關的研究計畫，而 TC 229 下設的 WG3 計畫研究更是 EHS 領域現階段的重點研究，其研究重點及路標為：

1. 控制職業奈米物質暴露的標準方法；
2. 定義奈米物質相對潛在的毒性及危害的標準方法；
3. 奈米物質毒性篩檢的標準方法；
4. 奈米物質環境安全使用的標準方法；
5. 確認奈米產品安全的標準方法。

WG3 底下個別的研究案及主導國家包括：日本所主導的奈米物質內毒素體外測試系統(PG2, project group 2)；韓國主導的毒性測試用的奈米微粒之產生(PG3)及奈米微粒在吸入性測試腔之觀測(PG4)；美國主導毒性評估用之奈米物質物化特性的指引(PG5)；英國主導人造奈米物質運送、丟棄的安全指引(PG6)；美國主導奈米物質風險評估的架構(PG7)；法國主導根據控制策略指引的工程奈米物質職業風險管理(PG8)；奈米物質的物質安全資料表 MSDS (PG9)。WG3 可能的新研究計劃(NWIP, New work item proposal)包括：人造奈米物質毒性篩檢的指引及人造奈米物質毒性測試樣品製備的指引。

至 2011 年為止奈米技術 EHS 有關的 ISO 標準已有 13 個，包含奈米物質的標準命名、定義、分類的方法及奈米作業場所相關安全及健康的實務、利用 GC/MS 方法對單壁奈米碳管中的揮發性物質做定性定量、利用近紅外線光譜儀對單壁奈米碳管做定性定量、吸入性毒性測試所使用的暴露腔中奈米微粒的特性描述及利用蒸發/核凝法製備奈米金屬微粒以作吸入性毒性測試之用等標準方法，另外尚有數十種標準也正在研擬中。以上 ISO 已發表或未發表的標準中以呼吸毒性暴露腔的奈米微粒特徵分析、利用蒸發/核凝法製備奈米金屬微粒以作吸入性毒性測試、奈米粉體的揚塵測試、作業場所的奈米微粒污染源逸散測試、作業場所的奈米微粒暴露評估方法、奈米微粒計數器的校正及奈米技術實驗室的最佳控制實務等，與本研究團隊及我國相關政府單位(環檢所及勞研所)正進行中的研究或擬制定的標準較有關係。以本團隊在此領域已具備的研發能量，如能有效益的切入 ISO 中的國際合作，為 EHS 領域提出具體的貢獻，必能提高我國的國際能見度。

經濟合作與發展組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)，在 2006 年成立了一個工程奈米物質工作小組 (Working Party on Manufactured Nanomaterials, WPMN)，以協助會員國有效地處理奈米物質在安全問題上面臨的挑戰。為了確保人體健康和環境安全，WPMN 透過 8 項計畫的執行，來發展適當的方法和策略，其中一項計畫稱為自願方案和法規程序的合作。這項計畫係以階段方式來達成和法規制度 (regulatory regimes) 有關的兩項目標 (OECD, 2010)，分別為 (1) 確認適用的法規制度，以及這些法規制度如何詮釋對工程奈米物質的資訊需求、危害標識、暴露減量、風險評估以及風險管理標準，以及 (2) 蒐集各國法規所提的奈米物質的資訊，以了解相關的

法規活動與變化趨勢。OECD 在 2010 年已經備妥並且已經完成第一階段的法規制度整合。在這一階段，OECD 已經完成 9 個國家 (jurisdictions) 的 24 種法規的調查分析。這 9 個國家分別為澳大利亞、加拿大、歐洲聯盟、日本、紐西蘭、瑞典、瑞士、英國和美國。24 種法規涵蓋與工業化學品、殺蟲劑、肥料、農業化合物、燃料與燃料添加劑、食品與食品添加劑以及獸醫用藥有關的各式化學物質和/或產品法規、職業健康和安全法、消費者產品法、控制重大危險事故法以及包裝與標示法。而法規調查分析項目為 (1) 法規的目的和與法規有關的活動、(2) 物質上市前的註冊、通知、評估和管理、(3) 已經上市的物質的註冊/通知、評估和管理以及 (4) 有關奈米物質和其產品的管理，以及可供日後進行法規修正或草案擬定時參考的法規特點。

OECD 對上述 9 個國家的法規進行調查分析後認為當時並沒有任何一條法規是特別為奈米物質擬定的，然而絕大多數國家指出這些現行法規已有管理奈米物質和含有奈米物質產品的授權權力。OECD 也提及在日後的調查工作重點將在確認各轄區的奈米物質種類和數量，以助於了解奈米技術的商業活動趨勢和法規的變化。

在 2008 年，WPMN 同意這個贊助計畫下的 14 個代表性工程奈米物質 (representative manufactured nanomaterial)的優先名單，以及測試終點 (endpoints) 的項目表。這 14 個代表性的奈米物質均為以上市或即將上市的奈米物質，可當成支持奈米物質測量、毒性及風險評估的參考物質 (ENV/JM/MONO(2008)13/REV)。制定測試終點項目表的目的在於確保不同的奈米物質測試方法的一致性，並據以建立每一特定奈米物質的基本特徵、宿命、生態毒性及哺乳動物毒性資料檔。整個計畫為動態且持續性，第一期(Phase 1)的計畫目標是完成測試終點所規劃的所有項目，無關乎現行法規有關的資料庫，純以探索性及科學性為出發點，並將根據測試結果作細部修正。第二期(Phase 2)則是針對第一期執行過程中所累積之資訊，決定其他有助於使資料檔更完善之合適的測試方法，以及再針對有助於了解奈米物質有害潛勢的其他測試終點進行探討。第二期不必然需在第一期完成之後，也不必然是由參與第一期之國家持續來進行(ENV/JM/MONO(2009)20/REV, 2009)。

對代表性工程奈米物質而言，必須強調的是，它們是被 WPMN 視實際條件所選出的，故不必然會一直維持在優先名單上。選擇的依據主要是該物質是否已商品化或接近商品化，其他條件尚包括產量的規模等。由於奈米科技的快速發展，名單反映出的其實只是在特定時間內對該奈米物質的即時快照(snapshot in time)而已，隨時會有異動的可能。因此，在 2008 年選定的 14 種代表性工程奈米物質已於 2010 年召開的第七次工程奈米物質工作小組工作會議(Tour de Table)進行修正，如表 1.1 刪除聚苯乙烯 (Polystyrene)與碳黑(Carbon black)，新增奈米金微粒 (Gold nanoparticles)，故共為 13 種 (ENV/JM/MONO(2010)46)。

由 OECD 公佈之資料中僅說明，基於對工程奈米物質的使用與生產的現況知識，工程奈米物質工作小組於第七次工程奈米物質工作小組工作會議做出移除聚苯乙烯與碳黑的決定(ENV/JM/MONO(2010)46)，然而，對照 OECD 公佈之會議紀錄，並未對此有特別之說明，惟加拿大在例行報告中提及，該國目前持續對 8 種奈米物質依據該國之環保法規(Canadian Environmental Protection Act, CEPA, 1999)進行優先篩選 (ENV/JM/MONO(2010)42）。進一步了解發現，加拿

大在今年一月份公佈了有關碳黑的優先篩選的結果報告初稿(Draft Screening Assessment for the Challenge—Carbon Black, 2011），報告的結論是：碳黑進入環境中的量或濃度不會對環境或生物多樣性造成立即或長期的危害。這類最新的風險評估資訊的揭露，提供了 OECD 更多的判斷依據，或許是促使 OECD 做出移除碳黑等奈米物質決定的原因之一。

第一期測試終點項目於 2007 年提出後(ENV/JM/MONO(2008)13/REV, 2008)，於 2009 年進行細部修正(ENV/JM/MONO(2009)20/REV, 2009)，再於 2010 年重新修定，主要在環境宿命中刪除兩項，環境毒理中新增一項，詳細項目如下(ENV/JM/MONO(2010)46, 2010)：

1. 奈米物質資訊/識別 (Nanomaterial Information/Identification)
   (1) 奈米物質名稱 (Nanomaterial name)
   (2) CAS 號碼 (CAS Number)
   (3) 結構式/分子結構 (Structural formula/molecular structure)

表 1.1 OECD 代表性工程奈米物質最新修正對照表。

	2008 年最初版	2010 年修訂版	備註
1.	富勒烯 (Fullerenes (C60)*)	富勒烯 (Fullerenes (C60)*)	
2.	單壁奈米碳管 (SWCNTs, Single-walled carbon nanotubes)	單壁奈米碳管 (SWCNTs, Single-walled carbon nanotubes)	
3.	多壁奈米碳管 (MWCNTs, Multi-walled carbon nanotubes)	多壁奈米碳管 (MWCNTs, Multi-walled carbon nanotubes)	
4.	銀奈米微粒 (Silver nanoparticles)	銀奈米微粒 (Silver nanoparticles)	
5.	鐵奈米微粒 (Iron nanoparticles)	奈米鐵微粒 (Iron nanoparticles)	
6.	碳黑 (Carbon black)		刪除
7.	二氧化鈦 (Titanium dioxide)	二氧化鈦 (Titanium dioxide)	
8.	氧化鋁 (Aluminium oxide)	氧化鋁 (Aluminium oxide)	
9.	氧化鈰 (Cerium oxide)	氧化鈰 (Cerium oxide)	
10.	氧化鋅 (Zinc oxide)	氧化鋅 (Zinc oxide)	
11.	二氧化矽 (Silicon dioxide)	二氧化矽 (Silicon dioxide)	
12.	聚苯乙烯 (Polystyrene)		刪除

13.	樹狀聚合物 (Dendrimers)	樹狀聚合物 (Dendrimers)	
14.	奈米黏土 (Nanoclays)	奈米黏土 (Nanoclays)	
15		奈米金微粒 (Gold nanoparticles)	新增

* OECD 在此的意義是指"C60 could be broadened to other fullerenes as well as chemically modified varieties of C60".

(4) 測試奈米物質組成(含純度、已知不純物及添加物) (Composition of nanomaterial being tested including degree of purity, known impurities or additives)
(5) 基本型貌 (Basic morphology)
(6) 表面化學描述(如塗層或修飾) (Description of surface chemistry, e.g. coating or modification)
(7) 主要商業用途 (Major commercial uses)
(8) 已知觸媒特性 (Known catalytic activity)
(9) 生產方法(如沉澱法及氣相法) (Method of production, e.g. precipitation, gas phase)

2. 物理化學特性及材料徵(Physical-Chemical Properties and Material Characterization)
(1) 聚集/聚合 (Agglomeration/aggregation)
(2) 水溶性/ (Water solubility/Dispersibility)
(3) 結晶相 (Crystalline phase)
(4) 揚塵性 (Dustiness)
(5) 結晶大小 (Crystallite size)
(6) 代表性 TEM 照片 (Representative TEM pictures)
(7) 微粒粒徑分佈-乾基或相關基質(Particle size distribution-dry and in relevant media)
(8) 比表面積 (Specific surface area)
(9) 界達電位(表面電荷) (Zeta potential (surface charge))
(10) 表面化學(視需要而作測試) (Surface chemistry (where appropriate))
(11) 光觸媒特性 (Photocatalytic activity)
(12) 倒入密度 (Pour density)
(13) 孔隙率 (Porosity)
(14) 辛醇–水分配係數(若有關聯時) (Octanol–water partition coefficient, where relevant)
(15) 氧化還原電位 (Redox potential)
(16) 形成自由基潛勢 (Radical formation potential)
(17) 其他相關資訊 (Other relevant information (where available))

3. 環境宿命 (Environmental Fate)
(1) 水中分散穩定度 (Dispersion stability in water)

(2) 生物降解性 (Biotic degradability)
- 可生物分解性 (Ready biodegradability)
- 固有生物分解性(Inherent biodegradability)
- 表面水中終端降解模擬測試 (Simulation testing on ultimate degradation in surface water)
- 土壤模擬測試 (Soil simulation testing)
- 沉積物模擬測試 (Sediment simulation testing)
- 污泥處理模擬測試 (Sewage treatment simulation testing)
- 污泥消化對有機化合物的厭氧生物降解能力(Anaerobic Biodegradability of Organic Compounds in Digested Sludge)（刪除）

(3) 降解產物分析 (Identification of degradation products)
(4) 降解產物近一步測試(若有需要時) (Further testing of degradation products as required)
(5) 無生物降解及宿命 (Abiotic degradability and fate)
- 表面修飾的奈米物質的水解 (Hydrolysis, for surface modified nanomaterials) （刪除）

(6) 吸附–脫附 (Adsorption–desorption)
(7) 土壤或沉積物的吸收 (Adsorption to soil or sediment)
(8) 生物累積潛勢 (Bioaccumulation potential)
(9) 其他相關資訊 (Other relevant information (when available))

4. 環境毒性 (Environmental Toxicology)
(1) 對遠洋生物(長期/短期)效應 (Effects on pelagic species (short term/long term))
(2) 對沉積生物(長期/短期)效應 (Effects on sediment species (short term/long term))
(3) 對土壤生物(長期/短期)效應 (Effects on soil species (short term/long term))
(4) 對陸生生物的效應 (Effects on terrestrial species)
(5) 對微生物的效應 (Effects on microorganisms)
(6) 對生活污水處理廠之活性污泥的效應(Effects on activated sludge at WWTP) (新增)
(7) 其他相關資訊 (Other relevant information (when available))

5. 哺乳類動物的毒性 (Mammalian Toxicology)
(1) 藥物動力學(ADME, 吸收、分配、新陳代謝及排泄) (Pharmacokinetics (ADME))
(2) 急毒性(Acute toxicity)
(3) 重覆劑量毒性 (Repeated dose toxicity)

以下為選擇性資料：

(4) 長期毒性 (Chronic toxicity)

(5) 生育毒性 (Reproductive toxicity)
(6) 發育毒性 (Developmental toxicity)
(7) 基因毒性 (Genetic toxicity)
(8) 人體暴露的歷程 (Experience with human exposure)
(9) 其他相關測試數據 (Other relevant test data)

6. 物質安全 (Material Safety)

以下為選擇性資料：

(1) 燃燒性 (Flammability)
(2) 爆炸性 (Explosivity)
(3) 不相容性 (Incompatibility)

上述有關工程奈米材料測試終點的項目修正變動不大，僅在環境宿命(Environmental Fate)項下第二點：(2) 生物降解性 (Biotic degradability)中，刪除”污泥消化對有機化合物的厭氧生物降解能力”，及第十點：(10)無生物降解及宿命 (Abiotic degradability and fate)中，刪除”表面修飾的奈米物質的水解”等部分，另外，在環境毒性項目中新增第六點”對生活污水處理廠之活性污泥的效應”。整體而言，工程奈米物質工作小組(WPMN)在過去一年已召開了第八次工程奈米物質工作小組工作會議(Tour de Table)(ENV/JM/MONO(2011)12)，除了各國在奈米科技研發既定的政策與規劃下所支持的例行性研究成果外，主要以確認第一期工作完成，可進入第二期之規劃為較重要之宣布(ENV/JM/MONO(2010)46, 2010)，預期在 2012 年有關工程奈米材料測試終點的評估報告草稿將會被公佈。

另外，OECD 也發表了他們的第一本有關奈米技術與全球水議題的報告書(OECD, 2011)，這本名為” Report on Fostering Nanotechnology to Address Global Challenges: Water”表達了 OECD 正面看待奈米技術對解決全球水資源議題與乾淨飲水的期待。該報告提出有關奈米技術應用於提供乾淨飲水的重要挑戰，包括：環境安全健康議題，牽涉到奈米技術的環境與健康風險、技術由學術研究轉移至工業應用、跨領域的溝通、因應奈米技術的系統建立如相關之基礎建設、智慧財產權的保護、調適與經濟可行性的挑戰等等(OECD, 2011)。

1.3 奈米物質的物理化學特性

以奈米物質生產的商業化商品數目目前正在快速的增加中，產品涵蓋健康、衣物、汽車等，使用的物質包括奈米銀、奈米金、奈米碳管(CNT)及奈米氧化鋅等，但是當奈米產品提供功能性的好處的同時，人們暴露在奈米物質下的風險也隨著增加，特別是從事與奈米科技產業相關的工作人員(產品的加工及包裝作業)，此外可能從產品中再釋出之奈米物質也會對消費者的健康造成威脅。為了確保工人和消費者的健康，奈米物質的吸入毒性測試為一項十分重要的工作。雖然目前奈米物質對人體毒理機制並沒有完全的釐清，不過很多相關的研究正在進行中。人體可能暴露奈米物質的途徑包含呼吸(inhalation)、皮膚接觸及食入(ingestion)，其中以呼吸為最容易進入人體的途徑。

目前奈米物質毒性評估主要分為體內實驗與體外實驗，體外實驗是將細胞株暴露於奈米微粒，再利用分子生物技術進行分析，以找出造成細胞毒性反應的機制；體內實驗主要是以老鼠作為奈米微粒吸入的試驗對象，再由試驗結果推估對人體的影響。目前雖然沒有規定進行吸入毒性實驗需以何種方式來產生奈米微粒，而目前文獻常分散奈米級粉體做為吸入毒性試驗的微粒來源，但此方法所分散的微粒會因聚集(aggregation)或團聚(agglomeration)而使得粒徑遠大於原始粒徑，例如Tsai et al. (2011)發現原始粒徑約為20 nm的TiO_2粉體經分散後微粒數目中間粒徑增大至200-300 nm。

在相同質量下，奈米微粒(nanoparticles，粒徑＜100 nm)因較大微粒具有更大的表面積及活性，所以被吸入人體並沉積於肺部時，將可能對呼吸及循環系統造成較大的危害(Oberdörster et al., 2005)，因此研究奈米微粒之粒徑分佈、形貌及化學組成等物理化學特徵極為重要。Xia et al. (2006)比較環境奈米微粒與一些工程奈米微粒的細胞毒性，研究中使用的環境奈米微粒是加州都會區的大氣微粒，而工程奈米微粒則有：二氧化鈦(TiO_2)、碳黑(carbon black)、富勒醇(fullerol)及聚苯乙烯(polystyrene)等，結果發現環境奈米微粒因附著有毒有機物質、鹽類及重金屬等成份(Donaldson et al., 2002 及 Oberdörster et al., 2005)所以毒性較大多數的工程奈米粉體高，除了陽離子聚苯乙烯(polystyrene)外。環境奈米微粒和陽離子聚苯乙烯(如胺基聚苯乙烯)奈米微粒皆較有能力產生活性氧化物，進而導致粒腺體(mitochondrial)損害，因此毒性較大。因此準確地量測並分析環境奈米微粒的化學成分很重要，因為所得到的數據可供人體暴露及健康危害相關研究之用。

ISO 10801以蒸發/核凝法產生金屬奈米微粒作為呼吸毒性測試之用

為了獲得吸入奈米微粒與健康的實際相關性，國際標準組織ISO建議以蒸發/核凝法來產生金屬奈米微粒(ISO 10801)，因該方法可以供應高濃度、高純度的微粒，且可以長時間產生粒徑分佈穩定的奈米微粒，因此較為適合作短期或長期的吸入毒性研究。蒸發/核凝法是一種利用加高溫將物質蒸發，所產生的蒸氣以攜帶氣體(carrier gas)帶出，爾後蒸氣以大量的乾淨稀釋氣體降溫，因而凝結成小微粒。ISO 10801中規範了使用蒸發/核凝法作為奈米微粒吸入毒性實驗時需要依循的標準，例如所產生微粒的幾何標準偏差之值及微粒粒徑分佈、形貌及質量濃度皆需測定。ISO 10801的標準內容為：(1) 產生系統的微粒特性量測、(2)微粒之物理及化學特性分析、(3) 毒性測試暴露腔相關操作參數及必要的安全規範。

(1)產生系統的微粒特性量測

呼吸毒性試驗中，量測奈米物質的粒徑分佈及總質量濃度是必要的 (ISO 10801)，這是因為粒徑會影響劑量與劑量-粒徑分布，而質量濃度在呼吸實驗試驗中通常為劑量參數。因此監測儀器必須可以量測微粒粒徑分布，且量測的粒徑分佈範圍要夠廣，以減低在進行微粒數目濃度轉換成表面積或體積濃度時可能造成的誤差。例如掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS, Scanning mobility particle sizer, Model 3936, TSI Inc., St. Paul, MN)即為一個適當的儀器。ISO 10801建議以濾紙採樣器採集腔體內的微粒，再以秤重的方法定出腔體內微粒的質量

濃度，此濾紙樣本可再作後續的化學分析。質量濃度真正的單位應表示為每單位體積的空氣中含有的質量，如mg/l或mg/m^3。為了進行短期或長期的吸入毒性實驗，系統必須能長時間穩定的產生奈米微粒(可利用粒徑分佈的變化來觀察)，以確保毒性試驗不會因為微粒粒徑分佈不穩定而受干擾，以奈米銀微粒為例，攜帶氣體流量、蒸發溫度、冷卻區域的長度及溫度坡降等參數皆會影響微粒的穩定性(Kim et al., 2007)。

(2)微粒之物理及化學特性分析

奈米微粒物化特性分析包括幾何平均粒徑、微粒純度及微粒表面純度等需遵守下列規範：幾何平均粒徑(GMD, geometric mean diameter)必需要小於100 nm ；幾何標準偏差(GSD, geometric standard deviation)必須小於2 。GMD及GSD會受到金屬蒸發及核凝速度、滯留時間等參數影響。GMD與GSD的計算方式如下：

$$\ln(GMD) = \frac{\sum_{i=m}^{n} \Delta N_i \ln(d_i)}{N} \tag{1.1}$$

$$\ln(GSD) = \sqrt{\frac{\sum_{i=m}^{n} N_i [\ln d_i - \ln(GMD)]^2}{N-1}} \tag{1.2}$$

其中d_i為粒徑區間i (size channel)中的中點直徑(midpoint diameter)，N為總濃度，ΔN_i為粒徑區間i中的濃度，m為第一個微粒區間，N為最後一個微粒區間。

微粒純度及微粒表面純度為影響吸入毒性實驗的一項重要因子，如微粒純度過低(即含有雜質)，則產生出來的微粒則會包含其它非指標物質進而影響毒性劑量，微粒表面純度亦相同，因此必須使用高純度的粉末作為微粒來源。此外應避免在產生微粒時使微粒表面受到汙染，攜帶氣體中不能含有揮發性物質。除了上述特性，ISO 10801規範產生的微粒的初始微粒(primary nanoparticles)的形貌必須接近圓形，然而根據個別的研究目的，可以使用不同形狀的初始微粒。可能的話可使用可行的方法確認微粒團聚、聚集或分散的程度。微粒的形貌可使用穿透式電子顯微鏡(Transmission Electron Microscopy, TEM)或掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)等方法來測定。另外在做TEM分析時可使用X射線能量分散分析儀(EDXA, Energy Dispersive X-ray Analyzer)定性量測微粒的化學組成。

(3)與毒性測試暴露腔相關操作參數及必要的安全規範

在產生系統中作為攜帶氣體及冷卻氣體(Quench gas)的氣體在產生微粒及進入腔體中時，氣體中不能含有(或產生)揮發性物質等汙染物，避免吸入毒性實驗受到干擾。而暴露腔則是整個系統中最重要的一環，必須確定暴露腔內動物的死亡(或毒性劑量)只受到選用的奈米微粒影響，而不是其他因素干擾，例如腔

體中的氧氣含量不得低於19%，確保在實驗中動物不會因氧氣含量過低無法呼吸而死亡，此外將奈米微粒帶入腔體內的氣體溫度不能高到使腔體內的動物受到傷害。系統操作安全守則為確保實驗人員在進行實驗時不會吸入奈米微粒等因素受到傷害，例如在卸除腔內多餘氣體時必須經過高效率空氣過濾器(HEPA, high-efficiency particulate air)將產生的奈米微粒過濾，防止微粒進入環境中。

ISO 10808吸入毒性試驗用的暴露腔中奈米微粒的特性分析

ISO 10801是金屬奈米微粒利用蒸發/核凝法產生的方法標準，為了能夠將產生微粒的特性和吸入毒性的分析結果作相互關聯，ISO/TC229提出另一個研究計畫-「ISO/FDIS 10808- 吸入毒性試驗用的暴露腔中奈米微粒的特性分析(Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing)」來規範暴露腔中奈米微粒的特性監測方法。監測系統必須要能監測暴露腔內的微粒粒徑分佈、微粒表面積濃度及估算動物暴露的微粒質量劑量等，這些數據可作為吸入毒性試驗分析的參數。微粒粒徑分佈及表面積濃度是使用微分電移動度分析系統(Differential Mobility Analyzing System, DMAS)測定，TEM及EDXA用來觀察微粒形貌以及化學組成。若吸入毒性測試還需要其它額外的參數，該標準也同意另使用其它方法測定微粒質量劑量(秤重)及其它物化特性(其它化學分析法)。

Ji et al. (2007) 進行了和 ISO 10808 相關之實驗，該研究群同時以銀奈米微粒進行生物吸入毒性試驗及微粒特性分析，圖 1.1 為其實驗系統圖。實驗方法為將四組大鼠(sprague-dawley rats)分別放入四個呼吸性腔體中，並分別通入乾淨空氣(控制對照組)、低、中及高濃度的銀奈米微粒進行 28 天的生物吸入毒性試驗，其中三個通有銀奈米微粒的暴露腔體在試驗其間均會導出部分微粒樣本以 DMAS 進行特性分析，結果如表 1.2 所示，該研究群即利用此微粒特性分析結果和生物毒性試驗結果作相互驗證。

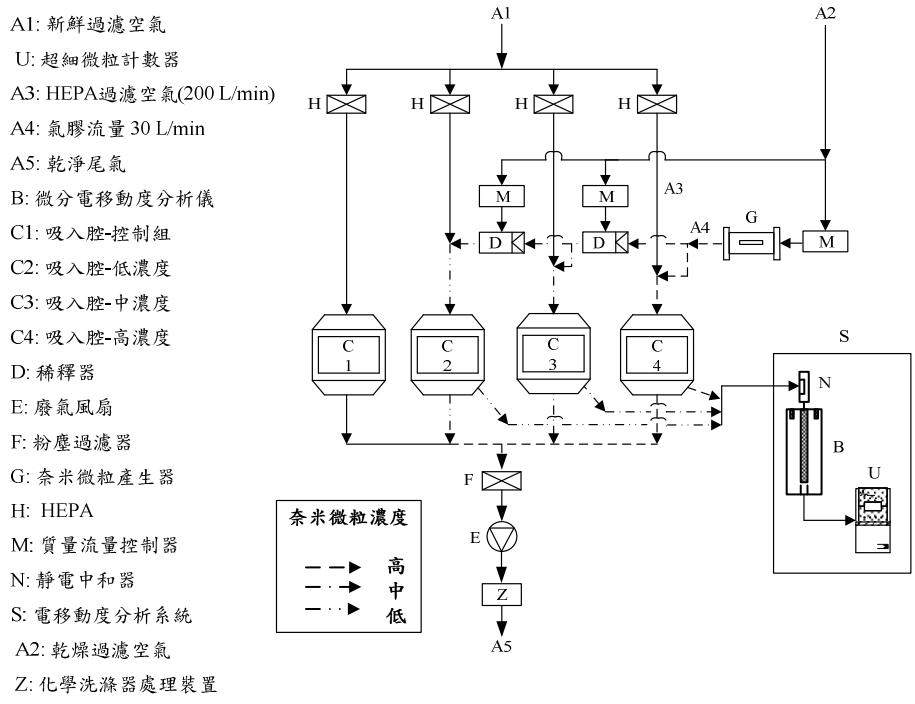


圖 1.1 生物吸入毒性試驗及微粒特性分析試驗之實驗系統圖(Ji et al., 2007)。

表 1.2 28 天的生物吸入毒性試驗中，腔體內銀奈米微粒的各項量測濃度(Ji et al., 2007)。

群組	採樣點	粒徑 (GMD,nm)	數目濃度 (particles/cm^3)	表面積濃度 (nm^2/cm^3)	體積濃度 (nm^3/cm^3)	質量濃度 (μg/m^3)
控制組		0	0	0	0	0
低濃度	上游[a]	11.80±0.17	$2.21\times10^4\pm1.12\times10^4$	$1.75\times10^7\pm1.03\times10^7$	$6.27\times10^7\pm3.95\times10^7$	0.65±0.41
	下游[b]	12.13±0.47	$1.03\times10^4\pm3.60\times10^2$	$6.83\times10^6\pm2.72\times10^5$	$2.18\times10^7\pm9.85\times10^5$	0.22±0.01
	總量	11.93±0.22	$1.73\times10^4\pm6.64\times10^3$	$1.32\times10^7\pm2.34\times10^7$	$4.60\times10^7\pm2.34\times10^7$	0.48±0.25
中濃度	上游[a]	12.57±0.23	$1.31\times10^5\pm1.33\times10^5$	$1.04\times10^8\pm1.65\times10^7$	$3.72\times10^8\pm7.58\times10^7$	3.89±0.79
	下游[b]	12.15±0.13	$1.21\times10^5\pm7.23\times10^3$	$8.60\times10^7\pm8.16\times10^6$	$2.74\times10^8\pm2.71\times10^7$	2.88±0.28
	總量	12.40±0.15	$1.27\times10^5\pm8.45\times10^3$	$9.68\times10^7\pm1.04\times10^7$	$3.33\times10^8\pm4.66\times10^7$	3.48±0.49
高濃度	上游[a]	14.74±0.14	$1.35\times10^6\pm2.58\times10^4$	$1.43\times10^9\pm3.86\times10^7$	$5.92\times10^9\pm1.93\times10^8$	62.12±2.02
	下游[b]	14.82±0.18	$1.28\times10^6\pm2.24\times10^4$	$1.38\times10^9\pm4.25\times10^7$	$5.73\times10^9\pm2.21\times10^8$	60.00±2.31
	總量	14.77±0.11	$1.32\times10^6\pm1.79\times10^4$	$1.41\times10^9\pm2.87\times10^7$	$5.84\times10^9\pm1.45\times10^8$	61.24±1.52

核凝微粒計數器之校正

上節中提及微粒粒徑分佈為一個重要參數，而核凝微粒計數器(Condensation Particle Counter, CPC)為量測奈米微粒數目濃度最常用之儀器，因此其量測的正確性很重要，ISO/CD 2789 目前也正在訂定核凝微粒計數器之校正標準(現階段為草案)。

CPC 利用光散射技術偵測並計數已知體積流量內的微粒數目。此技術和光學微粒計數器(Optical Particle Counter, OPC)類似，兩者的主要差異在於 CPC 多了微粒核凝成長的機制，讓 CPC 可偵測到更小的微粒。原理為讓微粒在通過偵測計數器之前因吸附酒精或水而長大，使得原本因粒徑太小導致散射光線不足的微粒成長至偵測器可測得粒徑。微粒計數的原理與粒子電荷無關，因此可偵測到絕對的微粒數目。CPC 的精確度受到很多因素影響，如流量、高濃度的計數損失、極小微粒的核凝效果不佳及微粒由進口到偵測部位的傳輸損失等因

素，均會造成量測上的誤差。因此 CPC 需定期進行校正，才能確保量測結果的準確性。

CPC 通常以法拉第杯氣膠靜電計(Faraday-cup aerosol Electrometer, FCAE)作為其校正之參考標準。在許多情況下，校正的主要目的是為了確認 CPC 對極小微粒的偵測極限，而會選擇 FCAE 的原因是因為它對於任何粒徑微粒的偵測效率皆一致。所謂的 CPC 的偵測效率為偵測同一數目的單電荷單徑微粒時， CPC 測出的濃度與參考 FCAE 所偵測出的濃度比值。

ISO/CD 27891 提供了兩種 CPC 的標準校正方法：參考 FCAE (reference FCAE)及參考 CPC (reference CPC)的比對，圖 1.2 及圖 1.3 分別為兩種方法的實驗設置圖(圖中以灰色字體的設備建議裝設在系統中，但可因實驗目的等需求更改)。若採用前者的比對方法，則還須對作為參考用的 FCAE 進行驗證。上述兩種作為參考驗證用的儀器對於偵測微粒數目濃度、粒徑大小以及微粒組成皆須要有標準的校正認證書，該證書必須出自於以下兩個單位其中之一:

1. 被 ISO/IEC 17025 認可的實驗室,所提供的校正種類以及範圍也需在認可的範圍之內。
2. 由國家量測機構(National Measurement Institute)所提供之相關校正服務。

CPC 與 FCAE 的量測差異主要來自於多重帶電微粒(Multiply-charged particles)以及校正時 CPC 和參考儀器的進口處的微粒濃度偏差，故 CPC 之校正程序須針對上述影響因素進行評估且須加以修正。

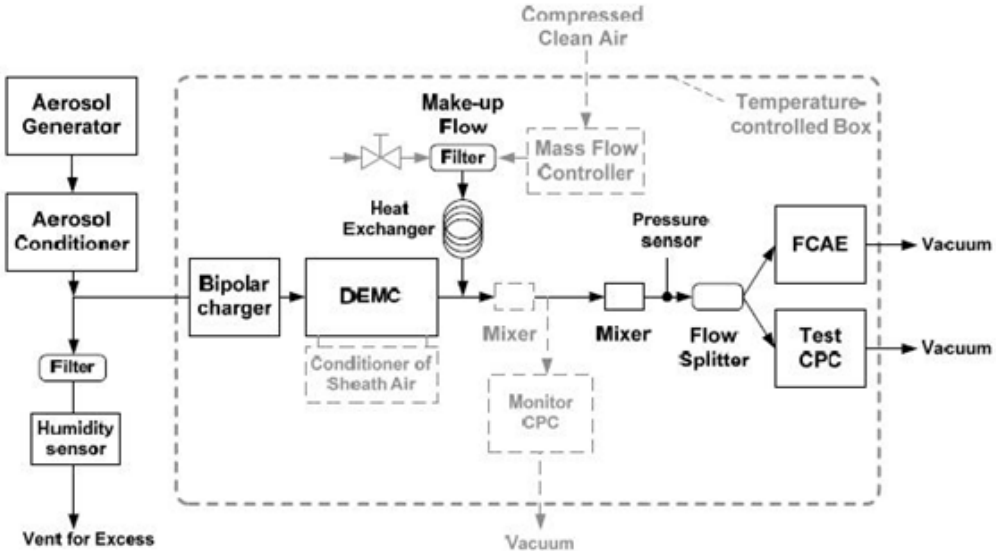


圖 1.2 使用參考 FCAE 進行校正之實驗設置圖 (ISO/CD 27891)。

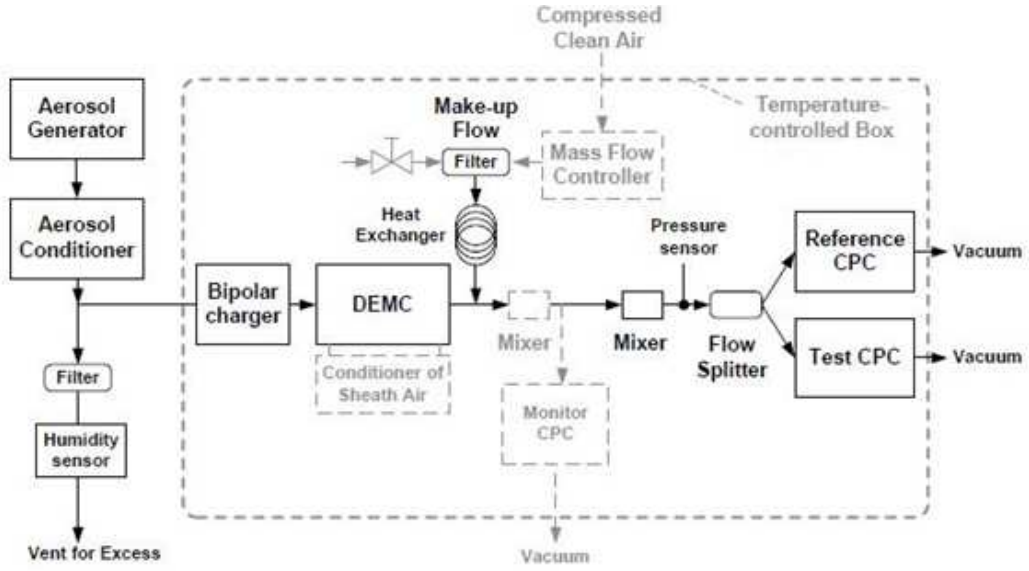


圖 1.3 使用參考 CPC 進行校正之實驗設置圖 (ISO/CD 27891)。

多重帶電微粒干擾

CPC 通常以 FCAE 的量測結果作為其校正之參考標準。FCAE 的原理為利用微分電動度分析儀(DMA, Differential Mobility Analyzer)篩選出單徑微粒後導入 FCAE 中，利用電流計偵測帶電微粒上所帶的電流，進一步將電流值換算成數目濃度。但 DMA 篩選出單徑微粒並非都帶一顆電荷，有時會篩選出和單一電荷具有相同電移動度的多重帶電微粒。當這些多重帶電微粒進入 FCAE 後，會干擾到 FCAE 所量測到的電流，進而影響到換算出的數目濃度，因此以 FCAE 作為校正儀器時須考慮多重帶電微粒的干擾。

ISO/CD 27891 建議使用 FCAE 作為參考驗證用的儀器時，校正微粒只容許帶一顆電荷，或產生出之校正微粒具有已知的帶電分布(charge distribution)。篩選出的單徑微粒數目濃度範圍(同濃度校正範圍)需在 10^2-10^5 #/cm^3 間，濃度上限需依校正儀器之不同更改，例如 TSI model 3786 濃度上限為 10^5 #/cm^3，而 TSI model 3776 濃度上限為 $3*10^5$ #/cm^3。當濃度高於儀器之偵測上限會因為產生疊合誤差，使得量測到的濃度值可能為不正確，因此校正範圍一般介於 10^3-10^5 #/cm^3 間。

1.4 環境奈米微粒的研究

Chow and Watson (2007)回顧 25 篇探討人為排放超細微粒(Ultrafine Particles, UPs<100 nm)的相關文獻(地點大部份在都會區內)，匯整超細微粒的採樣、即時監測、微粒成分分析等方法。文獻中微粒粒徑分佈多使用掃瞄式電動式微粒分析儀 SMPS (Scanning mobility particle sizer, TSI Incorporated, St. Paul, MN)及光學微粒計數器 OPC (Optical particle counter)。UPs 的化學組成量測一般需在實驗室取多階慣性衝擊器下面幾階收集到的微粒做分析而得，其中微孔均勻沉降衝擊器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI, Model 110, MSP Corp., MN, USA)以及低壓衝擊器(Low Pressure Impactor, LPI)是最常被拿來採集 UPs

的設備，本研究在下面章節將針對兩者的優缺點進行評估，說明何者為較適合的 UPs 採樣器。UPs 中的元素分析在文獻中常用 XRF (X-ray Fluorescence)，PIXE (Proton Induced X-ray Emission)和 ICP-MS (Indictively coupled plasma-mass spectrometry)；碳分析使用 thermal/optical- reflectance (TOR)或 transmission (TOT)方法；離子分析常用離子層析儀(IC)。以下文獻分別為典型都會區及交通排放源的奈米微粒特性和沙塵暴對其之影響的研究結果，數據可作為本研究的參考。

典型都會區排放

Cass et al. (2000)以 SMPS、EAA (electrical aerosol analysers)及兩台 MOUDIs 在加州七個都會區進行採樣，研究結果發現 UPs (56-100 nm)的質量濃度介於 0.55-1.16 μg/m^3，此值可作為本研究中都會區人為產生奈米微粒採樣時間的選擇及比較之用。加州都會區 UPs 典型的化學組成為：32~67%的有機碳(OC)、3.5~17.5%的元素碳(EC)、1~18%的硫酸鹽(Sulfate)、0~19%的硝酸鹽(Nitrate)、0~9%的銨根離子(NH_4^+)、1~26%的金屬及金屬氧化物(metals and metal oxides)、0~2%的鈉離子(Na^+)以及 0~2%的氯離子(Cl^-)。此 7 個測站的平均的 UP (0.056-0.1 μm, $PM_{0.056-0.1}$)濃度為 0.8 μg/m^3，有機成分佔 50%，微量金屬氧化物有 14%，元素碳 8.7%，硫酸鹽 8.2%，硝酸鹽 6.8%，銨離子 3.7%，鈉離子及氯離子各有 0.6%和 0.5%。佔較大量、對人體有毒性的指標金屬有 Fe (186 ng/m^3), Ti (43 ng/m^3), Cr (6.7 ng/m^3), Zn (3.8 ng/m^3)及 Ce (1 ng/m^3)。根據測得的平均 $PM_{0.056-0.1}$ 濃度 0.8 μg/m^3，Cass et al. (2000)推測加州洛杉磯每日的 $PM_{0.1}$ ($PM_{0.056}$ 質量濃度低所以也算在內)質量排放量約為 13 公噸，其中約 43.1%為車輛排放所貢獻，32.2%為燃料燃燒(電力廠等)，10%為非路上行駛車輛引擎及冷氣冰箱等馬達所排放，其餘為工業、垃圾焚燒排放等所貢獻。

Sardar et al. (2005)於洛杉磯盆地進行四個不同測站、三個不同季節(夏天、秋天和冬天)的 UPs 採樣及其粒徑的即時量測。在假設微粒的密度為 1.6 g/cm^3 之下，結果顯示 4 個測站的 SMPS 測得 UPs (10-180 nm)的質量濃度為 0.86-3.5 μg/m^3，最高濃度則是發生在秋天；10-100 nm 的 UP 濃度則為 0.43-1.29 μg/m^3，此值與 Cass et al. (2000)的結果(56-100 nm, 0.55-1.16 μg/m^3)接近。MOUDI $PM_{0.056-0.18}$ 樣本的化學成分分析結果顯示 OC 為 32-69%，EC 為 1-34%，硫酸鹽為 0-24%而硝酸鹽為 0-4%，這些結果與 Cass et al. (2000)的結果也很相近。所有測站、不同季節 $PM_{0.056-0.18}$ 各主要化學成分的平均為：有機碳 52%，元素碳 10%，硫酸鹽 8%，硝酸鹽 6.8%，此結果也跟 Cass et al. (2000)相近(如上個段落所示)。Sardar et al. (2005)發現夏天 18-56 nm 微粒含有較高量的有機碳成分，推測可能是光化學反應生成的二次有機氣膠，硝酸鹽跟硫酸鹽成分只在粒徑較大的 UP (56-180 nm)中測到；另外每小時 56-180 nm 微粒的數目濃度變化與 CO 及 NOx 濃度有良好的相關性，因此推斷 56-180 nm 的微粒為交通污染所貢獻。較小微粒 0-56 nm 的數目濃度分佈在夏天時與臭氧濃度變化的相關性很高，說明在夏天時新微粒及 SOA 的生成作用旺盛。

由於超細微粒質量濃度佔總微粒質量濃度的比率非常低，造成採樣及秤重上的困難，因此有些學者以即時儀器量測微粒數目濃度來研究超細微粒的粒徑分佈。Lonati et al. (2011) 利用一部微分電移動度微粒粒徑分析儀(Differential

Mobility Particle Sizer, DMPS)以及一部光學微粒計數器(Optical Particle Sizer, OPC)，於 2003 年 11 月至 2004 年 8 月在義大利米蘭的一個都市背景監測點量測粒徑範圍介於 10 至 20000 nm 的微粒粒徑分佈。該研究針對每日總微粒(Total Particle, TP)、超細微粒(Ultrafine Particle, UFP, D_p<100 nm)及次微米微粒(Submicron Particle, SMP, 100<D_p<1000 nm)數據的季節(冷及熱季節)及星期(周間及周末)變化進行分析。研究結果顯示每日的 TP 數目濃度均在 10^4 #/cm^3 數量級之內，且冬天的微粒數目濃度日平均值高於夏天，此結果和過去許多於都會地區進行微粒量測的結果相符。每日的微粒數目分佈結果顯示，峰值濃度(10^5 #/cm^3)主要發生在交通尖峰時刻，而最低濃度則是發生在夜晚，且上午交通顛峰時刻濃度為下午的兩倍。週末的微粒數目濃度則較週間的結果低 30 %，且由於週末的主要排放源及前驅物排放源較少，使其超細微粒的濃度也較週間的濃度低。在所有的微粒數目分佈數據中，UFPs 及 SMPs 分別占 TP 的 80 %和 20 %，而超微米級微粒所佔的比例極低，可被忽略。利用因子分析(factor analysis)及疊代最小平方擬合法(iterative least-squares fitting procedure)，該研究計算出每筆數目分佈資料的多對數常態分布模式(multi-lognormal models)所需的參數，利用這些參數畫出分佈擬合曲線，發現微粒數目分佈主要為含有一個核化艾肯模式(nucleation Aitken mode, 20 至 100 nm)及兩個累積模式(accumulative mode, 100 至 1000 nm)的三峰分佈。在交通尖峰時刻時，微粒分佈主要為核化艾肯模式，表示新鮮的一次交通排放源為都會區超細微粒的主要來源且嚴重地影響都會區的背景空氣品質。在夜晚時，微粒則由核化模式成長為較小的累積模式，此現象在冬季更為顯著，主要因為較低的氣溫易使微粒膠結凝結成長成粒徑較大的微粒。

為探討微粒在大氣中的累積及去除作用對 $PM_{2.5}$ 質量濃度及次微米微粒數目濃度分佈的影響，Bigi and Ghermandi (2011)從 2008 年 2 月至 8 月在義大利波河流域中的一座中小型城市 Modena 進行大氣微粒採樣，該城市位於米蘭及 Adriatic 海中間並與兩者有段距離，因此該地區的空氣品質不受大城市的人為活動及工廠排放汙染影響。採樣時間跨越冬季及夏季以探討季節性變化，並分析大氣微粒在冬季與夏季的日變化以及平日與週日的週變化。該研究使用一台錐形元件振盪微量天平(Tapered Element Oscillating Microbalance, TEOM)及掃瞄式電動式微粒分析儀 (Scanning mobility particle sizer, SMPS)量測大氣中 $PM_{2.5}$ 質量濃度及次微米(10-700 nm)微粒的數目濃度分佈。TEOM 採樣器入口使用美國環保署建議的 PM_{10} 衝擊器及 $PM_{2.5}$ sharp cut cyclone，並內置一套過濾器動力量測系統(Filter Dynamics Measurement System, FDMS)來修正傳統 TEOM 採樣上的誤差。

採樣結果顯示 $PM_{2.5}$ 質量中間濃度的在冬季(25-50 μg/m^3)比夏季(20-25 μg/m^3)高且變化較大，除了因為在冬季微粒排放量較多外，冬季氣溫較低使得大氣垂直對流較不旺盛使得微粒較易累積也是另外一個原因。冬季平日 $PM_{2.5}$ 質量的最大值發生在晚上 11 點，此時間比夜間交通顛峰發生的時間晚了幾個小時，可能原因為夜間逆溫現象使微粒不易傳送而造成的累積現象所致。冬季週日 $PM_{2.5}$ 質量濃度比平日稍低且變異不明顯，最大值發生在凌晨 1-3 點，此結果除了因夜間環境大氣穩定造成微粒累積之外也與週末夜間車流較多有關。夏季時 $PM_{2.5}$ 質量濃度日變化的變異維持在一個很窄的範圍，僅有在早上交通顛峰時

刻變化較大，平日 $PM_{2.5}$ 質量中間值的峰值發生在早上 9 點，此結果與冬季平日的結果不同，而週日質量中間峰值發生在凌晨 3 點，此結果則與冬季週日的結果相同。在冬季的採樣結果顯示，平日微粒的總數目濃度有兩個峰值，第一個峰值發生在早上 8 點的交通顛峰時刻，此時微粒的幾何平均粒徑(D_g)落在核凝模式，約為 25 nm，主要為車輛排放所致。第二個峰值在下午 6 點開始升起後便維持在高濃度直到午夜 12 點。在冬季週日，微粒的總數目中間濃度在凌晨 1 點至早上 10 點則是維持穩定狀態，總微粒數目濃度的最高峰值及變化較大的情形發生在一天結束的時候，而最低數目濃度發生在下午 2 點至 4 點，此時受制於混合層完全發展的影響。在冬季平日及週日有發現微粒的凝結現象(coagulation)，微粒核凝模式的 D_g 從中午 12 點的 10 nm 增加到晚上 8 點的 25 nm，此現象在冬季週末及平日皆開始發生於下午 3 點，只是週末因下午交通排放較少，使得微粒的成長速率較為平穩。冬季平日及週末微粒核凝模式的幾何平均粒徑在中午 12 點至下午 4 點間粒徑較小，可能原因為微粒因凝結現象使得核凝模式的數目濃度減少所致，而冬季週日白天核凝模式的 D_g 比平日較小也是因為週日白天數目濃度較少。

夏季微粒總數目濃度的日變化情形則與冬季不同，當大氣混合層較高的時候，微粒總數目中間濃度在夏季週日及平日非常相近，然而在早上及下午尖峰時刻，平日的數目中間濃度較高，在凌晨 1 點至 5 點時則是週日較高。平日整天的微粒濃度範圍則較周末高。平日白天因車輛排放使得濃度變異量較大，並可在艾肯模式及核凝模式見到數個峰值，儘管如此，平日微粒的數目中間濃度仍與週日相似，原因可能為該研究在夏季的採樣剛好遇上學期結束，平日白天的車流量較少，使得平日整體數目中間濃度變低而與週日相似。平日及週日在晚上八點過後，混合層厚度下降造成夜間大氣穩定或形成逆溫層，使得微粒凝結成超細微粒。在夏季週日，微粒總數目濃度的峰值發生在凌晨 1 點到 3 點，可能是由於車輛排放造成凌晨 0 點到 3 點時，核凝模式與艾肯模式的為數目增加，並造成 $PM_{2.5}$ 質量濃度增加。在凌晨 4 點至白天微粒數目開始下降，除了歸咎於車輛排放減少，夏季白天日出較早使得混合層厚度增加也是一個原因。當累積模式的幾何平均粒徑增加時，累積模式的數目濃度便會減少。

交通排放源

Klems et al. (2010)於 2009 年的夏天及冬天在美國德拉威州威明頓內一個位於十字路口旁的空氣品質監測點以凝結微粒計數器(Condensation Particle Counter, CPC)及快速電移動度粒徑分析儀(Fast Mobility Particle Sizer, FMPS)分別紀錄每秒鐘環境的微粒數目濃度及粒徑分佈，以觀察交通匯及路口超細微粒的瞬時變化特性。量測結果顯示，微粒數目濃度呈現許多幾秒至幾十秒長的瞬時峰值。為了得知各個峰值發生的時間間隔，該研究使用傅立葉轉換(Fourier transform)將原始數據中的峰值頻率分佈轉換成峰值週期分佈。結果顯示微粒數目濃度峰值的發生週期約為 106 至 118 秒，此週期和採樣點旁十字路口交通號誌的 108 秒週期相當接近，表示微粒數目濃度峰值和該十字路口的交通流量有關。由這些較窄的峰值可看出這些峰值是由停在十字路口的汽機車在交通號誌由紅燈轉綠燈時，由原本停止狀態轉成瞬間加速時所排放的微粒所造成。Klems et al. (2010)也以小波演算法(wavlet-based algorithm)將 CPC 及 FMPS 數據分解成

峰值及基線微粒數目濃度 (baseline number concentration)的貢獻。發現這些微粒數目濃度峰值約占日微粒數目濃度的 6 至 35 %，有時甚至可占小時濃度的 50% 以上。造成這些比例變化的主因為該十字路口的交通流量及種類或天氣情況隨時間的變化所造成。由 FMPS 的微粒數目濃度分布數據也可發現微粒數目濃度峰值約占每日 $PM_{0.1}$ 濃度的 20 %。比對冬夏兩季的數據則發現，夏季時微粒數目濃度峰值所占每日微粒數目濃度的比例略低於冬季，其所占比例分別為 15±3 %和 19±4 %。最後研究也發現當微粒排放源和採樣點的距離增加時，微粒會因為有較長的時間成長使得粒徑分佈有向大粒徑變化的趨勢。

Klems et al. (2011)進一步地將CPC濃度和FMPS所取得的微粒粒徑分佈在峰值事件時和NAMS所測得粒徑範圍在19-25 nm之間的微粒成分進行相關分析，以評估汽機車汙染排放源在總超細微粒質量中的貢獻比例。研究結果顯示，NAMS測得的微粒中低O/C比的含碳物質(O/C原子比小於0.25)含量和FMPS數據中粒徑介於18至25 nm時呈現的相對峰值強度(relative spike intensity)有高度的正相關，表示這些峰值事件時微粒的主要成分為由排氣管所排放的低O/C比的含碳物質。此外，結果也顯示在CPC量測範圍內微粒中的SO_4^{2-}相較於低O/C比的含碳物質有些微的增加。由於相較於一般火星塞式引擎車輛，硫的排放和柴油引擎車輛較為相關，因此由上述結果可推知柴油車比火星塞式車輛在NAMS所量測的範圍(19-25 nm)之外貢獻更多的數目濃度及化學成份。此結果也和火星塞式車輛所排放出之微粒粒徑分布較柴油車小的結果一致。

該研究也針對了夏季與冬季的結果進行比較，在峰值事件時微粒化學成分的比對發現，僅有在夏天升高的高O/C比的含碳物質有較明顯的季節性變化，推測是由於夏天光化反應較旺盛所致。冬季的化學成分除了有較多低O/C比的含碳物質之外還包含大量的SO_4^{2-}、NO_3^-及NH_4^+。這些微粒可能從鄰近高速公路的車輛排放後隨著風吹向位於下風處的量測站，或是由測站路邊車輛所排放的微粒所造成，但與峰值濃度增加無關。夏季的化學成分中，SO_4^{2-}佔了將近一半的總質量比例，幾乎是冬季的兩倍，第二多的成分為低O/C比的含碳物質。

為了估算車輛對背景大氣奈米微粒的貢獻，Klems et al. (2011)假設車輛排放在背景大氣化學成分貢獻的比例可由峰值事件時的車輛化學組成算出，且低O/C比的含碳物質皆為車輛排放所貢獻，而非其它燃燒源。依據此假設將背景大氣化學組成分解析成車輛排放貢獻與其它貢獻，結果發現車輛排放在冬季與夏季時對峰值事件大氣的總微粒質量的貢獻分別為48±2及16±1%，而對背景大氣微粒質量的貢獻則分別為29±3及8±3%。

沙塵暴對奈米微粒的影響

Jayaratne et al. (2011)在2009年9月23日澳洲發生沙塵暴期間，在澳洲布里斯本監測微粒的數目濃度、微粒粒徑分佈、能見度、微粒PM_{10}及$PM_{2.5}$質量濃度與各種氣候條件，以探討沙塵暴對環境所造成的影響。Jayaratne et al. (2011)在布里斯本內的兩處地點使用氣動粒徑分析儀(Aerodynamic Particle Sizer, APS, TSI Model 3321)量測氣動直徑在0.5-20 μm範圍內的微粒粒徑分佈，微粒計數器(water-based Condensation Particle Counter, CPC, TSI Model 3782)量測超細微粒的數目濃度分佈，粉塵監測儀(DustTrak Aerosol Monitor, TSI Model 8520)及錐形元件振盪微量天平(tapered element oscillating microbalance, TEOM)量測$PM_{2.5}$質量濃度分佈，掃瞄式電動式微粒分析儀(Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS,

TSI Model 3936)量測粒徑範圍在4-100 nm間的微粒粒徑分佈。氣候條件、能見度及PM_{10}質量濃度等數據則是取自昆士蘭州環境資源管理部門(DERM)所管理的大氣監測站。由於監測沙塵暴並非原本的實驗計畫，因此這些儀器分散在兩個監測點，其中DustTrak與CPC在另一個距離500公尺遠的採樣點，但DustTrak與TEOM在沙塵暴期間所量測的$PM_{2.5}$質量濃度相關性非常高(R^2=0.99)，顯示兩者有非常良好的一致性，因此所取得的數據均可進行後續的分析比對。

大量沙塵從距離布里斯本西方 1400 公里遠的內陸沙漠區被強風夾帶出來，在 9/23 日中午 12 點至下午 1 點達到最高峰，此時 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度每小時平均分別為高達 814 及 6460 μg/m^3(澳洲 PM_{10} 質量濃度標準為 50 μg/m^3)。微粒光散射係數(coefficient of light scattering by particles, Bsp)在沙塵暴高峰期達到 1000 M/m(平日為 22 M/m)，能見度也迅速下降，直到深夜 Bsp 仍高達 83 M/m。由 APS 量測的氣動粒徑數目濃度分佈顯示在下午 4 點時氣動粒徑在 0.5-20 μm 的微粒總數目濃度為 17.3 #/cm^3，數目濃度分佈呈幾合常態分佈，其眾數與幾合平均粒徑分別為 1.6 及 1.9 μm。另外由 APS 量測的體積濃度分佈顯示微粒質量主要由 2.5 μm 以上的微粒所貢獻，$PM_{2.5}$ 微粒質量佔總微粒質量的比例不到 10%，而 PM_{10} 則佔 68%。SMPS 量測的結果顯示在早上 11 點沙塵暴尚未影響前超細微粒($PM_{0.1}$)的數目濃度為 5x10^3 #/cm^3，在 12 點沙塵抵達後立即下降到 3x10^3 #/cm^3，原因為都市內由車輛排放的超細微粒擴散至較大的沙塵顆粒上產生多徑微粒聚集(polydisperse coagulation)，進而降低超細微粒的數目濃度，總微粒質量濃度則不受影響。在沙塵高峰過後，$PM_{2.5}$ 質量濃度也逐漸下降，超細微粒數目濃度仍持續緩慢的下降，下午 2 點後下降至 1 x 10^3 #/cm^3 以下，此結果顯示超細微粒的數目濃度減少原因除了微粒聚集外，同時還有其它的機制在運作。

PAHs 之來源

PAHs 一般是由碳氫化合物經不完全燃燒或熱解(Pyro1ysis)反應所產生，其主要來源可分為天然及人為兩大項。自然界產生 PAHs 的可能原因為森林火災或火山爆發等燃燒活動之自然現象所造成，然而自然界之產生量卻遠不及人為造成。人類行為所產生之 PAHs 主要來自於石化燃料的燃燒，如機動車輛的廢氣排放、焦炭煉製工業、瀝青製造業及所有使用石化燃料之工業設備等(Menzie et al., 1992)。但不論是不完全燃燒或者是高壓低溫之碳化過程(Carbonization)，因 PAHs 之生成反應快速及大量 PAHs 同時生成，所以個別 PAHs 生成之機制及可能反應路徑至今尚未完全了解(Bittner and Howard, 1981)。人類所產生之 PAHs 主要來源包括：

1.機動車輛排放之 PAHs

Barfknecht (1983) 研究指出柴油引擎排放之 PAHs 量為汽油引擎之 10 倍以上，顯示引擎種類為影響 PAHs 排放量之重要因素。Masclet et al. (1986)亦指出分子量大之 PAHs 主要來源為移動污染源。Tuominen (1988)發表研究中指出交通工具所排放廢氣為影響都市大氣中 PAHs 濃度及成份之主要因素。王雅玢(1994)之研究證實鄰近交通流量高之地區其 PAHs 濃度高出郊區 10 倍之多。莊

茂隆(1995)研究報告指出，每輛機車之 PAHs 排放係數為 31 μg/km，而汽車的 PAHs 排放係數為 19.6 μg/km。Sheu et a1. (1996)等研究指出，在交通路口大氣中，粒徑在< 1.0 μm、< 2.5 μm、< 10 μm 之總 PAHs 濃度累積百分比為分別為 50.9%、74.2%及 90.8 %。在 Harrison et al. (1996)及 Sisovic and Fugas (1997)所發表之文獻中證實英國伯明罕(Birmingham)及克羅埃西亞札格布市(Zagreb)等都會區大氣 PAHs 的排放源主要來自車輛，同時更指出有 88% BaP 係由運輸工具所排放，而 BaP 亦可做為移動污染源排放廢氣中 PAHs 濃度之指標成分。楊錫賢(1998)研究指出，機動車輛對於交通路口顆粒相總 PAHs 之貢獻量平均為 87.8 %，若將氣相 PAHs 亦納入考量，機動車輛對於交通路口總 PAHs 之貢獻量平均為 91.8%。

2.電廠及工廠加熱過程中產生之 PAHs

火力發電廠與工廠之鍋爐用於加熱或燃燒，在燃燒過程中往往伴隨 PAHs 之產生。一般使用之加熱燃料大致上為煤、重油及天燃氣等，台灣目前的火力發電廠使用之燃料以煤為主，重油次之，而天然氣在環保要求的逐漸提升下，可能成為火力發電廠之重要燃料。以單位熱值而言，PAHs 之排放係數以燃煤最高，重油次之，而以天燃氣最少，Bjørseth and Ramahl (1985)研究顯示煤、石油及天然氣之 PAHs 排放係數分別為 19 μg/kg、10 μg/kg 及 1 μg/kg。

3.焚化或開放式燃燒產生之 PAHs

廢棄物焚化為 PAHs 另一重要排放源。在 Bjørseth 之研究中，大型焚化爐之廢棄物與廢棄輪胎焚化後之 PAHs 排放係數分別為 17 mg/kg 及 240 mg/kg (Bjørseth and Ramahl, 1985)。Akio and Youki (1987)指出都市垃圾焚化爐之不完全燃燒現象為 PAHs 之主要來源，其排放量相當於為 1,700 ~ 3,000 輛汽機車之排放量。Li et al. (1995a)研究廢離子交換樹脂燃燒後總 PAHs 的排放量，結果顯示在煙道廢氣總 PAHs 濃度為 1782 μg/Nm^3，而飛灰中總 PAHs 之含量為 6 μg/g，且煙道廢氣中氣相 PAHs 佔 92% (1640 μg/m^3)。Li et al. (1995b)則對油污泥與 PE 塑膠燃燒後所產生之 PAHs 進行研究，結果顯示油污泥中 PAHs 之含量多寡，對於燃燒後所產生之 PAHs 濃度及飛灰中 PAHs 含量有決定性之影響。而 Wey and Shi (1997)亦指出焚化爐之燃燒效率與 PAHs 之排放率有關。

4.工業生產過程所產生之 PAHs

焦碳(Coke)之生產亦為 PAHs 之主要污染源之一，其產生之 PAHs 可由烘箱之開口及電地上方之蓋子洩出，並且擴散至周界大氣中，其排放係數為 15 g/ton-coal (Trenholm and Beck, 1978)。此外，在瀝青及鋁之製造、鋼鐵工業之燒結(Sintering)、熔融等過程亦可能產生 PAHs，其中焦碳及鋼鐵之生產過程為 PAHs 污染中較為嚴重之排放源(Bjørseth and Ramahl, 1985)。

PAHs 理化特性

PAHs 分子結構係由兩個或兩個以上之苯環連接而成，美國環保署公布 16

種非取代基的 PAHs 為主要污染物。近年來由於 PAHs 及其衍生物陸續被認定具有致癌性，且散佈範圍相當廣泛，對自然環境及人體健康都有危害。相同分子量之 PAHs 具有多種同分異構物，因此 PAHs 相當龐雜。理論上六環之 PAHs 有 82 種異構物，七環之 PAHs 有 333 種異構物，二至八環之 PAHs 累加總數共有 1896 種(Karcher, 1983; Zandere, 1985; USEPA, 1987)。

PAHs 在物理特性部分其極性很低，當連接的苯環愈多時，在水中的溶解度愈低，通常用正辛醇－水之分配係數(Octanol-Water Partition Coefficient, Kow)表示 PAHs 親水性或是疏水性的程度，而疏水性物質常是指在水中溶解度小於 1 mg/L，或 Kow 大於 100 的有機化合物，因此當 PAHs 之 Kow 越大，於水中的溶解度越低，但對於非極性或弱極性之溶劑，如正己烷、二氯甲烷、苯等溶劑，則有較高的溶解性。一般而言，大部分 PAHs 存在室溫下具有高熔點(> 80°C)及高沸點(> 200°C)的特性，其蒸氣壓介於 $6.4 \times 10^{-9} \sim 7.8 \times 10^{-2}$ mmHg，屬於半揮發性有機化合物 (Semi-Volatile Organic Compounds, SVOCs) 。根據 Junge (1980)研究指出，當 PAHs 蒸氣壓在大於 1×10^{-5} kPa 係以氣體狀態存在，而蒸氣壓介於 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-10}$ kPa 之間為氣膠狀態存在，當蒸氣壓小於 1×10^{-9} kPa 則以粒子狀態存在。粒狀物相 PAHs 的形成，是由微粒透過吸附(Adsorption)及吸收(Absorption) 兩種機制所產生的，因此在常溫狀態下之 PAHs 形成氣相後，部分高分子量之 PAHs 吸附於微粒構成一個氣、固相間平衡分佈現象(Zielinska et al., 2004)。另外，有部份學者指出周界環境的濕度，也是影響大氣中 PAHs 吸附能力的主要因素，隨著相對濕度的增加，半揮發性化合物吸附能力會降低，使粒狀物相的 PAHs 濃度降低 (Pankow et al., 1994)。

Sweet and Vermetle (1993)研究指出，高溫污染源所排放的微粒以小於 2.5 μm 為主，而受風及交通車輛所造成的再捲揚微粒則多分佈於 2.5−10 μm。Beak et al. (1991)及 Harrison et al. (1996)指出冬季的 PAHs 濃度遠比夏季高；而 Pierce and Katz (1975)之研究顯示，冬季大氣中 PAHs 約 85−90%附著在粒徑小於 5 μm 微粒上，而夏季約為 70−85%。另外，Vaeck et al. (1979)研究指出，都會區之 PAHs 於冬季有 90–95%存在於 3 μm 微粒中，而夏季降為 70−90%。莊(1995)研究顯示機車隧道、汽車隧道及工業區外界大氣中 PAHs 之 MMD 分別為 0.48、1.61 及 1.19 μm。許 (1996)研究指出台南市附近之石化區、都會區、交通路口及郊區大氣中總 PAHs 粒徑分佈之 MMD 分別為 1.61、1.28、0.84 及 1.67 μm。且由其他研究中顯示，PAHs 之 MMED (Mass mean equivalent diameter) 較總懸浮微粒(TSP)低，亦會隨排放源至採樣距離成正比，其因 PAHs 於污染源排放之氣流溫度較高，故主要以氣態存在，經冷卻之後會凝結或小微粒之顆粒或吸附於較大比表面積知小粒徑顆粒上，即為生成過程。Pierce and Katz (1975)在多倫多附近之都會區及鄉村地區進行研究顯示，大氣中 PAHs 附著於小於 5 μm 微粒中之百分比在冬季約佔 85−90%，而在夏季約有 70−85%。而 Vaeck et al. (1979)之研究中指出，含有 85−90%之直鏈碳氫化物、85−90%之羧酸及 90−95%之 PAHs，會進入人體之呼吸道。Aceves et al. (1993)研究顯示，都會區大氣中懸浮微粒之粒徑分析屬於雙峰之對數常態分佈，而由燃燒排放之氣懸微粒，係屬較年輕之氣膠，其粒徑大都小於 0.5 μm。夏季期間直鏈烷類及 PAHs 存在小於 1.5 μm 微粒之濃度百分比顯著減少，可見其受季節變化 、光化學衰減及大氣稀釋之影響。上述之影響對分子量大之 PAHs (分子量＞202)尤其顯著。Lin et al. (2008) 研

究指出在大氣中，利用下雨前後做對照，採用 MOUDI 微孔及奈米孔徑取樣($PM_{0.01-0.056}$、$PM_{0.01-0.1}$、$PM_{0.1-0.8}$)，分析交通工具所排放的奈米微粒 PAHs 測值及細胞毒性，以 BaP、IND、DBA 三種佔毒性當量 90%。

PAHs 危害性

過去一些流行病學研究發現 PAHs 具有致癌性及致突變性，但是對於其形成機制尚未有明確的結論，而至今最受科學家認可的一種理論為 PAHs 代謝產物之碳離子(C^+)能與細胞 DNA 之互補培基對(Complementary base pair)，如 T-A 或 G-C 培基對，形成交聯結合(Cross-linking)，若此交聯結合會改變整個 DNA 結構，基因複製過程中將會產生錯誤(Josephson, 1984)。若為生殖細胞的基因複製產生錯誤，則將造成後代之突變；對於器官細胞，其原有功能將會喪失，甚至不正常的增殖，進而發展成為癌症。而用以測試化合物之致突變性最常使用之方法安姆氏(Ames)等人所發展出來的沙門氏菌回復突變測試法(Salmonella/Microsome reversion assay) (Hecht, 1988)。

Grimmer (1983)從生物試驗中發現，PAHs 中主要以 4～7 環含有致癌物質最多，而 4 環以上之 PAHs 則易吸附於懸浮微粒上，若進入肺部中可造成人體健康之傷害。就致癌性及致突變性而言，又以 BaP 引起最多學者探討，因此常以 BaP 濃度作為都是空氣污染之致癌指標，但 BaP 並非總 PAHs 中唯一致癌物，其他如 BaA、CHR、BbF、BeP、IND、DBA、Bghip 等 PAHs，也具有相當 BaP 之致癌性潛在危害(Menzie et al., 1992; Nadon and Siemiatycki, 1995)，一般常以其濃度作為都市空氣污染之致癌指標。PAHs 動物細胞組織之代謝過程為微粒體細胞色素 P-450 同位酵素將 BaP 轉化為 BaP-7,8-Arene Oxide，然後由 epoxide hydrolase 繼續轉化成 BaP-7,8-Dihydrodiol。微粒體細胞色素 P-450 同位酵素再將其轉化為 BaP-7,8-Dihydrodiol–9,10-Epoxide，此時才與 DNA 鍵結形成 BaP-7,8-Dihydrodiol–9,10-Epoxide I-Deoxyguanosine adduct 而具致癌性(Rathore, 1991)。因此，BaP 與大多數不含取代基之 PAHs 皆為所謂「前誘變劑(Promutagens)」，而許多硝基衍生 PAHs 則可直接致癌。Laskin (1970)等學者也指出，若同時吸入 SO_2 和 BaP 會引起老鼠的支氣管鱗狀細胞癌，而單獨吸入 SO_2 則不會引起此種癌症。Levin et al. (1985)等學者在報告中指出由於煤煙在形成時，常伴有 PAHs 的生成，因 BaP 即具有相當強的致癌性，因此與碳煙接觸可能等致肺癌及皮膚癌。

國內空品監測現況

為了評估空氣污染對民眾健康及自然環境的危害，發展及驗證具預測能力的空品擴散模式以評量管制策略的有效性及判知法規的符合性，我國環保署利用了長期運轉的監測系統以有效掌握空氣品質。空品測站也利用了周延的支援作業，包括定期的維護、品保及校正，以獲得具代表性的可靠數據。目前國內已建置了 57 個普通測站、6 個交通測站、5 個工業測站、4 個背景測站及 2 個國家公園測站等，監測項目包括微粒及氣體污染物的濃度及相關氣象數據：PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2、CO、O_3、NOx、THC、NMHC、CH_4、溫濕度、風速風向及降雨量等。因現有空氣品質監測站針對 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 微粒僅有質量濃度測值，缺乏

微粒之化學成分濃度，因此超級測站增加 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 微粒化學濃度的測量。

國內有關空氣品質測站的品保工作一般是由檢測公司進行儀器的維護與校正，亦有進行與人工採樣的比對。中央大學李崇德教授與成功大學吳義林教授曾於2007年至2009年分別對環保署北部及南部超級測站內儀器的品保查核以確認監測數據品質，為評估自動監測儀器量測微粒質量濃度及成分效能，進行了人工比對量測(李，98年；吳，98年)。李教授在北部超級測站人工採樣方式是使用一台裝配四個採樣通道的微粒成分採樣器(R＆P Partisol Model 2300, Thermo Environmental Inc., USA)，配合四套蜂巢式套管採樣器(ChemComb, Thermo Model 3500, Thermo Environmental Inc., USA)同時對PM_{10}與$PM_{2.5}$進行採樣。依蜂巢式套管內放置的濾紙及配件的不同，可同時獲得微粒質量、碳成分及水溶性離子的濃度。比對的結果顯示大部分儀器數值與人工數值一致，僅有些儀器與人工有差異。PM_{10}與$PM_{2.5}$質量濃度的比對除了人工採樣與即時儀器外，同時比較鄰近空品測站的數據，結果顯示三者數據雖有差異但相關性一致，差異的原因有可能是地理位置落差與儀器使用原理不同所致。碳成分濃度的差異原因除了人工採樣時石英濾紙吸附了揮發性有機物而造成的正誤差外，另外是因兩者分析溫度−時間程式和裂解碳矯正方法不同所造成。微粒水溶性離子方面，硫酸鹽濃度有差異但一致性良好，硝酸鹽在加入揮發修正後，儀器與人工的差異大為降低。總結李教授建議將每半年一次的查核執行工作提高頻率為每季，每個月除了一般性查核外，應增加一次儀器細部查核校正，以確保數據品質的時效性。吳義林教授的南超比對研究有類似李教授的結果，在此不做敘述。

我國空氣品質標準在民國 81 年開始設有 PM_{10} 標準值，因此從環保署建立空氣品質監測網以來，各監測站就有 PM_{10} 質量濃度的數據，但對健康更有影響的細微粒($PM_{2.5}$)，卻在近年來才陸續在各監測站架設監測儀器。$PM_{2.5}$ 受限於監測數據的不足，特別是化學成分的數據，導致我國遲遲無法追隨先進國家的腳步建立 $PM_{2.5}$ 空氣品質標準。環保署有鑑於此，在今年初提出「細懸浮微粒($PM_{2.5}$)質量濃度與成分人工採樣分析先驅計畫」研究案，希望我國能朝制定 $PM_{2.5}$ 空氣品質標準而前進。該計畫是由中央大學的李崇德教授所主持，研究中於全台各空品區選擇 8 個較具空間代表性的測站進行 $PM_{2.5}$ 的質量濃度與成分分析，每 6 天進行一次進行人工採樣與即時儀器之比對，以充實懸浮微粒相關監測資料。綜觀上述可發現，國內學者於空氣品質測站所進行環境懸浮微粒採樣的研究主要是以分析大氣中 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的重量濃度及化學成分為主，而目前尚未有學者於空氣測站內針對 $PM_{2.5}$ 的質量及化學成分的分佈進行探究，尤其是與健康更有關係的奈米微粒，因此如能取得這些數據，對於我國空保及國人健康必能有貢獻。

本團隊在 2010-2011 共發表 4 篇與大氣奈米微粒研究相關的論文，包括交通排放奈米微粒的特性、不同大氣環境奈米微粒密度及相對溼度對 MOUDI 採集奈米微粒的影響等(Chen et al., 2010a;b, Zhu et al., 2010, Chen et al., 2011)，因此證明本團隊有正確採樣及分析大氣細及奈米微粒的能力。

1.4.1 大氣微粒中的金屬元素來源與分析方法

大氣微粒中之金屬元素是由環境自然產生或人為因素排放，不論來自人為

因素或自然排放，大多數是以粒狀物型態排至大氣中，經大氣傳輸與重力沉降作用而廣泛分佈於環境中(James et al., 1995)。

1. 自然環境產生

自然環境產生之金屬元素其來源包括：火山爆發、森林火災及海洋產生之飛沫，這些不同來源主要產生的金屬如下：

(1) 沙塵暴：全球每年溢散至大氣中的量 2500Tg (Mahowald et al., 2010)，最新估計為沙塵顆粒富及許多鹼金屬、鹼土金屬、過度金屬以及稀土元素。

(2) 火山爆發: 產生 Hg、Fe、Mn、V、Zn 及 Co 等金屬。

(3) 森林火災: 可能是自然環境中 Mo 之主要來源之一(Nriagu, 1989)。

(4) 海洋: 海水飛沫中含有 Na 與 Mg 等金屬(Nriagu, 1989)。

2. 人為因素排放

Nriagu and Pacyna (1988)考慮的人為源包含了燃煤、燃油、金屬冶煉、採礦、鋼鐵製造、廢棄物燃燒、施肥、水泥生產、木頭燃燒，他們進而以金屬元素之排放係數推估其在大氣環境中自然環境產生與人為因素排放之比例，發現大多數金屬元素皆以人為因素之排放居多。估算藉由人為因素經排放至大氣環境之 As、Cd、Cu、Hg、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、V 及 Zn 等金屬之排放量依序分別為 120、30、2150、11、110、470、1160、72、79、71 及 2340 kton/yr，而排放至自然環境之金屬元素其總毒性超過放射性物質及有機物。一般人為因素排放金屬之污染源如下：

(1) 固定污染源：包括來自焚化爐、燃煤鍋爐、鋼鐵工業及各種工業製程之排氣(Eldered et al., 1997) ，以及農廢燃燒。

(2) 移動污染源：由於汽機車的排放(Singh et al., 1997）。

(3) 逸散污染源：街道及工程揚塵(含有金屬 Fe、Mn、Zn、Pb、Al、Si、Ca、K 與 Mg 等元素)。

Pacyna et al. (2007) 估算 2000 年時歐洲地區排放至大氣中的幾個重金屬污染源排放量：As 為 763 噸：Cd 為 590 噸：Cr 為 2711 噸：Ni 為 4797 噸：Pb 為 13156 噸。前四者的來源主要是用作電力及熱能源燃料之燃燒、有色金屬屬冶煉、鐵及不銹鋼生產、及水泥生產及其他。Pb 除這些來源外，最重要的還包含汽油燃燒，以及少量來自廢棄物燃燒。

Singh et al. (2002)在洛杉磯之研究結果顯示：街道揚塵中的 Al、Si、K、Ca、Fe 及 Ti 等為地殼主要元素，其主要分佈在超微米(supermicron)之微粒上，而具潛在毒性之金屬(如 Pb、Sn、Ni、Cr、V 及 Ba)有 70~85%分佈於次微米(submicron)微粒上，Pb、Sn 及 Ba 則為道路交通工具排放之指標元素。Al、Si、Ca 及 K 主要分佈在粗微粒(coarse mode)上，其中 60~80%之質量濃度分佈在此粒徑範圍上，而 15~30%則分佈於中間粒徑(intermediate mode)上。粗微粒上 Si 和 Ca、Ti、Mn、Fe、K 及 V 等元素之相關係數之範圍在 0.75~0.98 之間，顯示粗微粒上之 Si 和 Ca、Ti、Mn、Fe、K 及 V 等元素與揚塵有關。Pb、Ni、Cr 及 V 大部分存於 $PM_{0.18\text{-}2.5}$ 及 $PM_{0.18}$ 上，其中 70~85%分佈在次微米上，超過 40% 存於粒徑小

於 0.35 μm 上，這些金屬元素主要來自人為排放(anthropogenic sources)，包括來自交通工具排放之廢氣、工業製程排放及燃燒污染源等產生之細微粒。

柴油車排放微粒上金屬成分主要來自潤滑油或油料觸媒之添加及引擎摩擦所產生。Wang et al. (2003)之研究結果顯示，台灣地區柴油車排放之地殼元素(Al、Ca、Fe、Mg 及 Si)及人為污染元素(Ag、Ba、Cd、Cr、Cu、Mn、Mo、Ni、Pb、Sr、Ti、V、Zn、As 及 Hg)分別為 269,000 及 58,700 kg/yr，其年排放量較燃煤電廠(90,100 及 1,660 kg/yr)、電弧爐廠(2,060 及 173 kg/yr)及焦炭爐廠(60,500 及 3,740 kg/yr)為高。楊(1998)研究發現柴油引擎排放廢氣之粒狀物中含的主要金屬(major metal)有 Al、Ca、Fe、Na、Cr、Ba、Ni、Mg、K 等；微量金屬(trace metal) 有 Mn、Zn、Pb、Ca、Cd、V 及 Sr 等，主要金屬含量最高之兩種元素為 Al (約 48 mg/g)及 Fe (約 77 mg/g)，而微量金屬則以 Mn (5.2 mg/g)、Zn (3.7 mg/g)、Pb (1.8 mg/g)及 Cu (2.4 mg/g)之含量較高。Kerminen (1997)以實驗室柴油引擎，探討排放廢氣粒狀物之特性，發現引擎廢氣的微粒上含有 Na、K、Mg、Ca、Zn 及 Fe 等金屬元素。Altaf (1997)在 Saudi Arabia 兩條馬路上進行野生植物吸附重金屬元素之調查，研究發現其中一條馬路(柴油車佔總交通量 40%)植物上 Zn 的含量較另一馬路(個人汽車佔總交通量 90%)高。

Fanelli (1997)指出在 1984~1985 年間含鉛汽油中鉛含量最高濃度曾達 840 mg/L，含鉛汽油被認為是環境中鉛曝露之主要來源。Facchetti (1989)指出一般大眾可經由直接或間接途徑吸收含鉛汽油之鉛添加劑。Thomas et al. (1999)探討人體血液中鉛濃度與含鉛汽油使用量之相關性，他們發現人體血液中鉛濃度與汽油中鉛含量有良好的相關性(R^2 = 0.94)。在 20 世紀，排放至環境中的鉛已危害整個地球生態，為減少鉛對人體健康的危害，世界各國已全面使用無鉛汽油。

Fernández et al. (2001)在西班牙進行金屬粒徑分佈研究，研究結果顯示具毒性之金屬會累積在極小的微粒上，因此通盤了解分佈於極小微粒上之重金屬成分及其毒性顯得相當重要。有 50%以上的微粒(數目濃度)是分佈在粒徑 0.61 μm 以下，且具毒性之 V、Ni、Pb 及 Cd 等佔大部分微粒的成分(Fernández et al., 2001)。有些研究以體外試驗模擬呼吸環境或以動物進行體內試驗，研究結果顯示大氣微粒上金屬成分對肺具有毒性效應(Pritchard et al., 1996; Gavett et al., 1997; Costa and Dreher, 1997; Kodavanti et al., 1998; Dye et al., 2001; Sun et al., 2001)。汽機車排放的廢氣內含的 Pb、 Fe、Cu、Zn、Ni 及 Cd 等各種重金屬，以及輪胎磨損產生的 Zn，為交通源微粒上主要金屬指標元素(Pacyna, 1986)。大氣微粒中微量金屬元素分佈於不同粒徑範圍，其粒徑分布不僅影響吸入顆粒之金屬毒性，且影響經由大氣傳輸擴散沈降於地面之速率。除此之外，經由呼吸系統吸入之微粒大小及其組成分嚴重影響身體健康，而吸入及呼吸沉澱之微粒數亦取決於微粒粒徑大小(Hinds, 1999)，而特定毒性物質之間接毒性則影響了微粒毒性(Spurny, 1998)。

Thomaidis et al. (2003)的研究指出雅典地區冬季期間 $PM_{2.5}$ 微粒上 Pb 之含量較高；以主成分分析金屬來源，發現微粒上 Pb、As 及 Ni 可能來自相同污染源，如汽機車尾氣、油品燃燒和道路落塵之再懸浮作用；Cd 及部份 As 則來自工業活動所產生。Puxbaum et al. (2004)之研究指出：維也納都會區大氣微粒上 Cd、Ni、Pb 和 Zn 等金屬元素之濃度較高，$PM_{2.5}$ 上較高濃度之微量金屬元素包括

Cd、Co、Cu、Fe 及 V 等。Sun et al. (2004) 的研究結果發現，由於道路揚塵再懸浮及汽機車排放廢氣，造成北京市交通測站大氣微粒上 Al 之濃度升高；而在工業區，PM_{10} 微粒上 Al 濃度增加則主要與工廠煤灰排放及道路揚塵再懸浮有關；冬季期間住宅區 PM_{10} 微粒上 Zn 及 Pb 之濃度最高，而在工業區大氣 PM_{10} 微粒則以 Fe 及 Pb 之濃度最高。Hsu et al.（2008）基於長期監測資料發現，台北 PM_{10} 中的 Al 主要是來自亞洲沙塵顆粒，呈現單峰分佈，質量平均粒徑為 3.6 μm。Var et al. (2000)於 1974-1996 年期間利用網路即時監測日本 16 個測站，進行大氣微粒上金屬元素探討，其結果顯示：大氣微粒上地殼元素(Al、Ca、Fe、Mn、Sc、Ti)主要來自於土壤塵土；此外，金屬工業製程或燃料燃燒亦是地殼元素來源之一；As 主要來自於燃料燃燒、V 主要來自汽油燃燒、Pb 來自含有鉛添加物之汽油燃燒、Zn 則來自於燃燒煤、木材及車輛輪胎行駛過程時摩擦所產生。Hrsak et al. (2001)於克羅埃西亞境內某處廢棄物傾倒場附近進行微粒之重金屬探討，結果發現大氣微粒上 Pb、Mn 及 Cd 之濃度較低，而 Hg 之濃度則最高；Pb 和 Cd 具高度相關性，顯示 Pb 和 Cd 可能來自同一污染源；Hg 之濃度與大氣溫度及高度呈正相關。

Lopez et al. (2005)探討西班牙薩拉戈薩市大氣環境中之金屬來源，結果發現大氣微粒上之 Cr、Cu、Fe、Mn、Pb 及 Zn 等主要來自交通及工業活動，Al、K、Mg 及 Na 等主要來自地殼元素及海水飛沫，Ca 及 Sr 主要來自交通再懸浮之揚塵顆粒所貢獻，Ba 及 Co 亦受地殼元素影響，而 V 則來自石油燃料燃燒所貢獻。Kemp (2002)探討丹麥三城市大氣微粒上金屬成分來源，發現交通工具與家庭暖氣機及大氣長距離傳輸為主要污染源；大氣微粒上 Pb 含量會隨汽油中 Pb 含量之減少而明顯降低。此外，當地交通工具的排放為 Cu、Cr 及 Zn 的主要來源，且濃度有漸漸增加的趨勢。K 除來自地殼及海水飛沫外，另有相當比例來自生質燃燒及燃煤，常呈現雙峰分佈，Hsu et al.（2009）即以此元素作為生物煙塵（biosmoke）的指標，估算東北季風期間台北大氣 PM_{10} 顆粒中之 K，約有 50-75 %源自長程輸送之亞洲汙染物，且往往伴隨各種重金屬（如 As、Se、Mn 及 Pb 等），元素之間質量比值近乎固定。Hsu et al. (2010)發現金門東北季風時期的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度異常高，分析其化學成分，許多重金屬濃度甚至相較台灣本島高，他們進一步分現 Fe/Al 質量比值相較平均地殼成分明顯低，配合各種資料，研究者歸因於金門大氣微粒主要源自其東北方的福建晉江地區的陶瓷工業及做為燃料的燃煤污染。

Positive Matrix Factorization (PMF)

為探討微粒的來源，過去學者常根據採樣分析所得到的微粒化學成份的濃度，利用統計方法如 PCA (principle componemt analysis)、CMB (chemical mass balance)及 PMF (positive matrix factorization)進行分析。這些統計方法大多使用在大氣微粒的來源追蹤，鑑別大氣微粒的來源及各種來源貢獻之比例或相關性，是一個提供政府相關單位制定法規及管制政策的有利工具。最近幾年相關的文章以使用 PMF 方法的為多，美國環保署網站目前有提供 PMF 3.0 版本免費的下載(http://www.epa.gov/heasd/products/pmf/pmf.html)，另有免費方法原理及操作手冊的電子檔。

PMF 的基本原理是根據質量守恆，將樣本矩陣拆解成兩種矩陣：一個是因

子貢獻量(factor contribution)；另一個為因子指紋(factor profiles)。一般欲求解的方程式以 x-1 式表示:

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^{p} g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \tag{1.15}$$

其中 X_{ij} 為第 j 個樣本中第 i 個物種的測量濃度，f_{kj} 為第 k 個污染源中第 i 個物種濃度，g_{ik} 為第 k 個污染源貢獻至第 j 個樣本，e_{ij} 為殘差項，即測量值與預測值之差，p 為因子數。PMF 雖然有不同的運算方法，但是其最終目的仍是求解目標函數(object function) Q 值的收斂解，Q 值定義在(1.16)式中，該方程式是以 G、F 為函數並且限制 G、F 矩陣中每一個元素值皆為非負值的條件，最後以最小化 Q 值為導向。

$$Q(E) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(\frac{e_{ij}}{s_{ij}})^2 \tag{1.16}$$

其中殘差矩陣 E :

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} e_{ij}^{\ 2} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(x_{ij} - \sum_{k=1}^{p} g_{ik} f_{kj})^2 \tag{1.17}$$

其中 s_{ij} 為第 j 個樣本中第 i 個元素之標準偏差值。透過相關的假設並簡化問題的複雜度，再搭配電腦運算進而推估污染源。受體模式有下列幾項原始的基本假設：各污染源排放之污染物性質不同、污染物間不相互反應、污染物排放至大氣後即成均勻分佈、污染物之物理化學特性不變、採樣與分析誤差為隨機與每一個污染源有其特定的追蹤元素(Watson et al., 1979)。

污染源追蹤元素之判定為 PMF 程式重要的執行結果之一，選擇 PMF 受體模式解析結果來判定污染源時，依據污染源的指標元素來命名，此方法不需要搜集龐大的指紋資料也可進行資料分析。但相較起來分辨懸浮微粒排放於大氣中的追蹤元素資料少，對於直接將污染源及目標元素作連結相當困難，因為大氣作用會將各種污染排放作混合，另外由於一種追蹤元素並非來自於某一特定的污染源，而通常會同時出現在多個排放源中，污染物的特性通常也會隨時間改變，增加分析的困難度。追蹤元素的特性會隨受體量測的地點不同而產生差異，這些差異可能來自於懸浮微粒中的二次污染物並不會在排放時出現，其生成情況會隨大氣背景條件改變；若其中含有易反應之元素，可能會與大氣中其他懸浮微粒或是氣狀汙染物反應，進而衍伸出其他化合物，另外大氣環境也會影響某些熱力不穩定元素之季節穩定性，例如氨在溫暖的大氣中較不穩定。

各污染具有特定的主要成分，例如交通源主要以 Carbon、Fe、Ba、Zn、Cu、Pb 為主；地殼的無機物質和揚塵則是 Al、Si、Ca、Fe；海鹽飛沫以 Na、Cl、Mg 為主要元素；石油燃燒及工業排放以 V、Ni、SO_4^{2-}為主。表 1.3 為從各個文獻中整理出各污染源指標元素:

表 1.3 各來源所排放的特定化學物質。

Sources	Indicatory Elements	References
Soil dust and crustal metals	Al, Si, Ca, Fe, K, Cr, Mn, Ti, OC	Marcazzan et al., 2001; Al-Momani, 2003; Singh et al., 2002; Swietlicli et al., 1996.
Vehicle emissions	Br, Pb, Cu, Fe, K, Zn, Ni, Cd, Ti, Sn, Ba, Mn, OC, EC	Marcazzan et al., 2001; Al-Momani, 2003; Pacyna, 1986; Manoli et al., 2002; Singh et al., 2002; Monaci et al., 2000; Swietlicli et al., 1996.
Industrial	Zn, Mn, As, Cr, Cu	Marcazzan et al., 2001; Pacyna, 1986.
Power plants	Cr	Singh et al., 2002.
fossil fuel	Cr, Be, Co, Hg, Mo, Ni, Sb, Se, Sn, V, Fe, Mn	Al-Momani, 2003; Pacyna, 1986; Manoli et al., 2002; Singh et al., 2002; Swietlicli et al., 1996.
Coal	As, Se	Manoli et al. (2002); Swietlicli et al. (1996).
Type wear	Zn	Pacyna (1986); Manoli et al. (2002); Singh et al. (2002); Swietlicli et al. (1996).
Brake	Fe, Cu, Sb	Manoli et al. (2002); Weckwerth (2001).
Gasoline	Pb	Swietlicli et al. (1996).
Diesel	Cu	Swietlicli et al. (1996); Manoli et al. (2002).
Diesel	(Fe, Ca, Al, Si, Mo, Cr, Mg, Ni, Zn, Cu, Mn, Sr, Co, Sb, Ti, Pb)*	Wang et al. (2003)
Gasoline	(Ca, Al, Mg, Si, Fe, Ba, Sr, Zn, Cr, Mo, Ti, Pb)*	Chen (2002).

*: Abundant elements.

除了以上幾種金屬元素，可使用離子分析儀(Ion Chromatography, IC)分析二次汙染物 NO_3^-、SO_4^{2-}及 NH_4^+的數據，用於 PMF 的分析。NO_x 主要由化石燃料燃燒產生，可能的來源有火力發電、汽機車排放、生物來源及工業製造過程產生，其中硝酸銨在美國被視為是二次汙染物的重要指標。SO_x 同樣為化石燃料燃燒產生之重要汙染物之一，可能的來源有因能量循環產生、工業製造過程產生及汽機車排放，硫酸銨在美國被定義為天然來源(海洋、火山噴發及森林火災)產生之 $PM_{2.5}$ 微粒中的主要成分。NH_3 主要由畜牧業、肥料使用及汙水中產生，另外也有汙染源來自汽機車排放、燃燒事件及工業製造過程，NH_3 在硝酸鹽和硫酸鹽的化學反應中為一重要的化合物，其天然來源有原狀土及野生動物。

有機碳(Organic Carbon, OC)及元素碳(Elemental Carbon, EC)同樣為利用PMF 進行汙染來源分析的重要指標。有機碳指的是微粒含有有機物成分中的碳，而元素碳大多由柴油引擎中產生，微粒大小介於 20 nm~30 nm 之間，但由於元素碳有較大的表面積-體積比(surface-to-volume ratio)及活性表面，可在釋放於大氣中之後很快與其他物質結合。事實上要區分有機碳以及元素碳並不容易，因為元素碳大部分會在氧氣中燃燒，而有機碳則會在氧氣不充足的情況下不完全燃燒。

1.4.2 奈米微粒的採樣技術

奈米微粒的監測與控制技術，國際間仍處於研究階段，資訊相當有限。本研究團隊執行環保署「環境中奈米物量測及特性分析」計畫至今已第五年，在前期計畫中已建立相當多關於奈米微粒採樣技術成果，本節將整合比較 96~99 年針對 MOUDI 及其它奈米微粒採樣量測技術研究成果，內容包括奈米微粒採樣器的選擇與改良、大氣微粒含水量與有效密度探討、慣性衝擊器微粒彈跳問題研究與微粒中有機物採樣誤差之修正以及品質管制 QA/QC 之建立。

奈米微粒採樣器的選擇

Chow and Watson (2007)回顧常被學者用來採集奈米微粒的多階慣性衝擊器為LPI及MOUDI，表1.4為這些衝擊器的操作條件、可截取奈米微粒的階數、截取粒徑等。表中除了MOUDI及Nano-MOUDI外，其餘皆為LPI族群。LPI的操作壓力通常需要在低壓下(<0.1大氣壓)，也就是儀器的壓損相對很高，需要抽力極大的真空幫浦才能運作。相較之下MOUDI的壓損較小，僅約0.5大氣壓，因此較常被使用。

表 1.4 各式多階衝擊器及其截取直徑 (Chow and Watson, 2007)。

衝擊器	流量 (L/min)	衝擊板階數	截取微粒範圍 (μm)	可截取奈米微粒的階數	奈米微粒截取粒徑 (nm)
LPI	10 or 30	13	<0.03–10	5	30, 60, 108, 170
BLPI	30	8	0.034–11.3	4	34, 65, 94, 160
ELPI	10 or 30	13	0.007–10	4	30, 60, 108, 170
SDI	11	12	0.045–8.5	3	45, 90, 150
ALPI	22.2	12	0.056–9.5	2	56, 130
	20	12	0.06–11	2	60, 120
	24.2	11	0.11–11	1	110
	24.5	13	0.01–10.85	3	10, 50, 120
MOUDI	10 or 30	10	0.056–18	3	56, 100, 180
Nano-MOUDI	10 or 30	13	0.01–18	4	10, 18, 32, 56

電子式低壓衝擊器(Electrical Low Pressure Impactor, ELPI)為改良後的LPI，近年來常被許多學者用在各種微粒來源的特性研究，如柴油(Shi and Harrison, 1999; Arnold et al., 2006; Mamakos et al., 2006)、汽油(Maricq et al., 1999)、樹木燃燒(Hays et al., 2003)及發電廠逸散(Yi et al., 2006)等。ELPI其結合了氣膠靜電計與衝擊器的功能，可同時進行微粒採樣和微粒數目濃度的即時監測。ELPI的採樣進口端設有一個單極電暈充電器，使進採樣器內的微粒樣本帶電，各階的衝擊板皆為電流計(類似法拉第杯)，當不同粒徑範圍的帶電微粒衝擊至各階的衝擊板上時，即會產生電流訊號。此訊號的大小和微粒的數目濃度及粒徑大小成正比關係，因此利用此一訊號即可得知微粒的即時數目濃度分佈。而採樣結束後，衝擊在各階衝擊板上的微粒樣本也可供後續的秤重及化學分析。

ELPI在使用上有許多問題，如因為微粒在低壓的環境下被收集，在分析微粒的化學成分時會低估揮發性物質的含量(Otani et al., 2007)。另外微粒的充電效率也會影響靜電計量測的數值，造成數目濃度的誤差。由於ELPI的衝擊器不會旋轉，採集的微粒會集中在衝擊板上的某些點，因此容易發生彈跳。在Gulijk et al. (2002)的研究中指出使用ELPI的標準衝擊板測量引擎燃燒所排放出的微粒時，會因為微粒的負荷量超過衝擊板所能容許的負荷上限或是因微粒堆疊在衝擊板上，導致ELPI量測到錯誤的微粒數目濃度以及衝擊器分離出錯誤的微粒粒徑等問題。為了防止這些錯誤的發生，必須使用ELPI的製造廠商(Dekati Ltd., Finland)所提供的浸油燒結衝擊板(Oil-soaked sintered impactor stages)來改善以上的缺點，並可以提高約50倍的微粒負荷量。然而使用此方法會使微粒埋入油中，因此不易進行微粒的觀測(SEM)及化學成份的分析(Pak et al., 1992)。相較之下MOUDI較沒有上述的問題。MOUDI的壓力降較LPI少，因此揮發性物質損失的問題較小。MOUDI可利用馬達帶動各階層轉動，使得噴嘴與衝擊板相對轉動，微粒會較均勻的收集在衝擊板上，彈跳的問題較少。

本團隊曾比較過 ELPI 與 MOUDI 在環境現場採樣的結果 (蔡，97 年)，結果發現 MOUDI 與 SMPS 結果相近，而 ELPI 則高估奈米微粒約 2-20 倍。基於上述對兩採樣器的優缺點分析，MOUDI 對於奈米微粒的採樣較為正確，本研究也將採用 MOUDI 進行空氣品質測站內的微粒採樣。

慣性衝擊器微粒彈跳問題

微粒彈跳是造成多階式慣性衝擊器採樣的誤差也是長期存在的問題。Khlystov et al. (2004)、Shen et al. (2002)及 Park et al. (2003)等的研究都發現 MOUDI 因微粒彈跳造成微粒質量分布的系統性誤差並高估奈米微粒的重量濃度。而微粒在 MOUDI 中的彈跳可在的其收集基質上塗敷矽黃油來減少彈跳(Pak et al., 1992; Chen et al., 2011)。

Pak et al. (1992)研究 MOUDI 衝擊板的矽黃油塗敷厚度對微粒彈跳的影響。他們噴灑 0.3、0.5、0.7 及 9 μm (相對矽油重量為 0.212-6.36 mg)四種厚度的矽油在 37 mm 的濾紙上(polycarbonate film)，作為 MOUDI 的衝擊基質，測試的微粒為 0.527-1.46 μm 的 PSL。結果發現任一厚度的矽油噴灑皆能使微粒彈跳降至很低(< 7%)。Pak et al. (1992)的彈跳測試所使用的微粒濃度很低(100 #/cm^3)，所以如要使用此衝擊基質塗敷矽油的方法作為大氣採樣(~10^4 #/cm^3)甚至濃度很高的

隧道採樣(~10^5 #/cm^3)，微粒彈跳還是可能會發生(Chen et al., 2010a;b)。

過去學者也發現大氣相對溼度與 MOUDI 中微粒彈跳有很大的關連。Stein et al. (1994)利用 DMA 篩選的氣動直徑值為 0.112 μm 之大氣微粒導入 MOUDI 中做微粒收集效率測試，結果發現使用未塗矽油的鋁箔收集表面的 MOUDI，微粒彈跳比例會隨著大氣相對溼度的降低而急遽增加，當相對溼度大於 70 %以上，微粒彈跳現象就可忽略，此乃因高溼度時微粒中的鹽類及有機酸發生潮解現象而吸水，使得微粒因含水量提高而減少彈跳的發生，所以使用未塗矽油的 MOUDI 在採集大氣微粒時，相對溼度須大於 70 %，才可減少微粒彈跳的發生。然而過高的相對溼度卻容易造成粒徑量測之誤差，因為當空氣通過高速噴嘴時會因冷卻而使相對溼度增加，使得微粒吸附水份而成長，但是微粒的水分也會因為慣性衝擊器內的低壓力而揮發，使得量測到的粒徑小於原本粒徑。Fang et al., (1991)發現相對溼度低於 80 %時，MOUDI 在量測微粒粒徑分佈時不會受到溼度的影響，粒徑大小不準確性的影響可以被忽略，而溼度高於 80 %時則微粒的粒徑分佈會受到溼度的影響。

Vasiliou et al. (1999)在 MOUDI 入口處裝置相對溼度控制器，將大氣溼度保持在 70%~80%，結果顯示當相對溼度大於 70 %時，可以有效抑制微粒的反彈現象，準確的採得微粒的質量濃度分佈。但此相對溼度控制系統使用飽和的食塩水作溼度控制，易產生微粒樣本的污染，因此有必要對相對溼度控制系統進一步加以改良，且控制微粒反彈的有效性必須對不同奈米微粒之衝擊器各階層做驗證，以確認所需的溼度控制範圍。此外因改變 MOUDI 入口的溼度而造成粒徑分布的改變，Vasiliou et al. (1999)研究中並沒有明確提出修正的方法。

本團隊 2011 年發表了一篇大氣相對溼度對 MOUDI 量測微粒質量分佈及奈米微粒濃度的影響(Chen et al., 2011)。該研究先以各階均放置塗油鋁箔的 MOUDI 和 SMPS 同時進行大氣微粒採樣以及微粒即時監測，結果顯示使用塗油鋁箔的 MOUDI 確實可大幅減低微粒彈跳的發生，此做為參考的 MOUDI 標記為 M1。另外使用兩台 MOUDIs，其衝擊基質分別使用未塗敷之鋁箔及鐵氟龍濾紙來研究相對濕度及不同衝擊基質的彈跳效應，其分別標記為 M2(無塗敷鋁箔)及 M3(鐵氟龍濾紙)。實驗方法為將 3 台 MOUDIs 同時進行大氣微粒採樣，共約進行 40 次，並利用濕度控制系統(可控制 RH：20~99%)設定 MOUDI 進口端的溼度，最後比較三台 MOUDIs 各階的微粒濃度，評估在各不同溼度下 M2 及 M3 的微粒彈跳情形。實驗結果如圖 1.4 所示，由圖可見 M2 及 M3 分別在 RH 小於 75 及 65 時開始發生明顯的彈跳，此結果與 Stein et al. (1994)及 Vasiliou et al. (1999)的發現相符。M2 及 M3 分別在 RHs >~75 及>~65%時採集和 M1 相近的 $PM_{0.1}$ 濃度，相差都在 5%以下。但是在 RH=25 及 50%時，M2 分別嚴重地高估 $PM_{0.1}$ 達 180 及 95%，而 M3 高估 $PM_{0.1}$ 較不嚴重，分別為 55 及 25%。

在 RH=25 及 50%時，較大的微粒彈跳至終端濾紙造成 M2 及 M3 高估 $PM_{0.1}$ 的濃度至少 30%。研究發現 M2 及 M3 的第 8 及 9 階濃度較 M1 低，推論 M2 及 M3 多採集的 $PM_{0.1}$ 是原本應該被收集在第 8 及 9 階的 100-180 及 180-320 nm 的微粒。M3 在 RH=25%時高估 $PM_{0.1}$ 約 55%與 Vasiliou et al. (1999)的實驗結果相近。比對中發現在 RH=25 或 50%時，M3 比 M2 彈跳不嚴重，推測是因為鐵氟龍有較軟的表面，因此吸收了微粒衝擊的動能，所以彈跳較少。

根據此研究的結果及 Fang et al. (1991)發現 MOUDI 的分徑誤差在 RH>80%時發生，我們可歸結當 MOUDI 使用無塗敷鐵氟龍及鋁箔作為衝擊基質時，RH 分別在 65-80%及 75-80%範圍下，微粒彈跳並不會影響 $PM_{0.1}$ 採集的正確性。

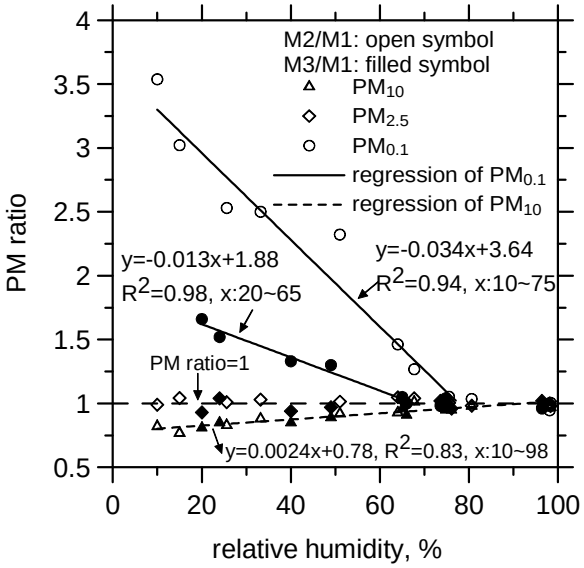


圖 1.4 在不同 RH 下 M2(無塗油鋁箔)及 M3(無塗油鐵氟龍)所測 PM 質量濃度比上 M1(塗油鋁箔)所測的值。

奈米微粒化學質量平衡及有效密度研究

本團隊2010年發表了一篇與交通排放奈米微粒有關的論文(Chen et al., 2010a)，當中對於交通及都會區奈米微粒的特徵有許多深入的探討，透過有機碳正誤差的修正，本論文領先國際得到很好的$PM_{0.1}$化學質量平衡(chemical mass closure)。研究中利用MOUDI及SMPS在一市區道路旁及一長隧道(12.9 km)中進行奈米微粒的採樣及粒徑分佈量測。結果顯示路旁$PM_{0.1}$的平均濃度為2.2±0.6 μg/m^3 (n=6)，與Cass et al. (2000)在加州7個都會區及Sardar et al. (2005)在洛杉磯盆地做的實驗所得到的UPs濃度相近。Cass et al. (2000)量測的微粒粒徑為0.056-0.1 μm，濃度為0.55-1.16 μg/m^3；Sardar et al. (2005) 量測的微粒粒徑為0.01-0.18 μm，濃度為0.86-3.5 μg/m^3。利用得到的有效密度(Chen et al., 2010b)，轉換SMPS奈米微粒數目濃度為質量濃度，結果與MOUDI的數據相當接近，差異僅為15%以內。研究中亦使用Dichot (Model SA-241, Andersen Inc.,Georgia, USA)同步量測PM_{10}與$PM_{2.5}$質量濃度，結果與MOUDI非常接近，差異在10%以內。

在雪山隧道採樣及即時量測的結果顯示，隧道中微粒的粒徑分布隨進入隧道的距離增加而偏右移，坪林入口的眾數粒徑約為 20 nm，到了靠近宜蘭出口的第三中繼站，眾數粒徑增大至約 50-70 nm。奈米微粒的濃度在白天時高達 32.2±6.5 μg/m^3 (n=10，平均車流量~1000 輛/小時)；週末交通尖峰時(平均車流量~2000 輛/小時)奈米微粒的濃度高達 40 μg/m^3 以上(軸流風扇有啟動)；凌晨低車流量時(~500 輛/小時)也還有 10 μg/m^3 左右，與路旁相比(~2 μg/m^3)，雪隧在

夜晚時奈米微粒的背景濃度還是相當高。

路旁及隧道中有機揮發性氣體的濃度很高，導致石英濾紙因吸附有機氣體而造成濾紙上的有機碳成分提高，本研究利用 Subramanian et al. (2004)提出修正濾紙吸附造成 $PM_{2.5}$ 的 OC 正誤差的方法，QBQ (Quartz Behind Quartz)或 QBT (Quartz Behind Teflon)，套用至 $PM_{0.1}$, $PM_{2.5}$ 及 $PM_{2.5-10}$，結果推算出微粒 OC 的濃度相當合理。如不進行修正，吸附造成路旁及隧道 $PM_{0.1}$ 的有機碳正誤差分別可達微粒質量的 51.6±10.7% and 20.0±5.4%，也就是說高估 OC 的濃度 100%以上，所以必須進行修正。在路旁正誤差較嚴重是因為路旁 $PM_{0.1}$ 的濃度較低且採樣時間較長所致。

路旁微粒的化學成分分析結果顯示，OM (organic mass, =OC*1.6)、EC、離子與元素在 PM_{10} 所佔的質量比例分別為 33.7±6.6%、5.0±1.3%、32.0±7.2%及 6.9±1.9%；各成份佔 $PM_{2.5}$ 的比例分別為 37.5 ± 9.7%、8.6 ± 2.3%、36.2 ± 6.5%及 7.8 ± 2.0%；佔 $PM_{0.1}$ 比例分別為 38.7 ± 3.3%、16.1 ± 7.5%、24.8 ± 9.3%及 11.3 ± 3.3%。路旁微粒的成分分析結果顯示主要成分為 OM，約佔微粒質量 50%。雪隧微粒的化學成分分析結果顯示，OM (organic mass, =OC*1.4)、EC、離子與元素在 PM_{10} 所佔的質量比例分別為 37.2±5.5%、32.6±4.5%、7.5±3.0%及 11.3±2.6%；各成份佔 $PM_{2.5}$ 的比例分別為 43.8±6.9%、39.1±5.8%、5.9±3.2%及 9.1±2.1%；佔 $PM_{0.1}$ 比例分別為 31.4±5.1%、27.8±5.4%、3.0±1.6%及 11.6±2.6%。路旁及雪隧微粒的成分分析結果顯示主要成分皆為 OM，約佔微粒質量~40%；雪隧 EC 濃度明顯比路旁高，因隧道中微粒主要為引擎排放；離子濃度在路旁遠高於雪隧則因隧道微粒較新鮮而路旁微粒較高齡。路旁 PM_{10}, $PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 化學重量濃度(OM+EC+Ions+Elements)與秤重數據相比分別為 80.5±5.7%, 91.6±12%及 93.9±9.6%；而雪隧則分別為 88.0±5.0%, 99.4±8.5%及 78.0±5.3%。

為了對大氣的微粒作定性定量，微粒的密度為相當重要的一項資訊，因為它是轉換微粒史托克粒徑為氣動直徑，轉換數目濃度分佈為重量濃度分佈，也是微粒在大氣中傳輸的重要參數。國內在微粒密度與含水量的研究不多，本團隊最近發表一篇有關奈米微粒密度與含水量的研究論文(Chen et al., 2010b)。研究中分別在一道路旁，雪山隧道及一處森林中進行奈米微粒 $PM_{0.1}$ 的採樣。根據 Chen et al. (2010a)所得到的 $PM_{0.1}$ 化學質量平衡，並假設路旁、隧道及森林 $PM_{0.1}$ 無法分析出的 10.6, 26.2 及 37.2%質量為水分，本研究計算出路旁、隧道及森林 $PM_{0.1}$ 的有效密度分別為 1.45, 1.29 及 1.22 g/cm^3，此結果與利用 Spencer et al. (2007)的方法所推估的密度相近，據此將來以 SMPS 作為奈米微粒質量濃度的監測儀器是可能的。

第二章　計畫目標、內容及效益

2.1 計畫目標

根據環保署「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」研究案評選須知，計畫目標為：

一、開發前瞻性的環境奈米物質量測及特性分析技術。

二、開發符合國際規範之奈米微粒質量分析績效評估。

2.2 持續開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析技術

針對環保署提出的工作內容，以下詳細列出本計畫提出的工作內容：

(一) 開發前瞻性的環境奈米物質量測及特性分析技術：

1. 空氣中奈米微粒採樣及量測方法誤差之探討，篩選出最適量測技術

本團隊開發一台可以準確量測奈米微粒濃度並增加收集量的奈米微粒採樣器，以解決 MSP 原廠 MOUDI 在奈米微粒採樣上的缺點，工作內容包含 NCTU 大氣奈米微粒採樣器的開發、採樣器的微粒收集效率曲線校正、採樣器的阻塞實驗及與 MSP 原廠 MOUDI 的現場比對。

2. 國內環境空氣中奈米微粒之實際採樣及量測：

本研究在新北市的新莊、臺北市的中山及新竹縣的竹東等三個空氣品質測站進行實測，以 MOUDI、Dichot 及 SMPS 分別量測微粒質量濃度分佈、$PM_{2.5}$ 與 $PM_{2.5\text{-}10}$ 質量濃度及奈米微粒的數目濃度。本研究將利用微粒金屬成分分析及其它更多數據資料(如風速、風向、溫濕度等)並配合 PMF 方法進行統計分析，探討微粒的來源，以釐清都會區奈米微粒之污染排放來源及人為活動的影響，量測出之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度數據也將與環保署 $PM_{2.5}$ 計畫所測得之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度作相互驗證，比較不同採樣方法之間的量測誤差。微粒化學成份分析方面，以 GC-MS 分析 PAHs；以 LA-ICP-MS 方法及傳統 ICP-MS 方法分析微粒主要元素及金屬成分，並利用正矩陣因子法(PMF, positive matrix factorization)推估微粒的來源貢獻。最後各個量測的結果也將進行時序分析，以探討不同季節都會區奈米微粒濃度及成分的差異。

以上各採樣點之研究均已詳細規劃監測區域、量測時段、粒徑範圍、監測設備、分析方法、檢測項目及數量數據取得、處理及解釋應用。詳細採樣規劃於本期末報告之 3.1.2 節作說明。

3. 評估建置空氣中奈米微粒之 MOUDI 採樣串聯雷射剝離感應耦合電漿質譜儀(LA-ICP-MS)進行元素分析之可行性：

本研究在實驗室利用蒸發凝結法產生奈米銀及奈米氧化鋅微粒，以特製的濾紙匣採樣器或旋轉式的 MOUDI 採集微粒，使微粒均勻分佈在濾紙上，濾紙秤重後再分別以 LA-IC-MS 及傳統微波消化結合 ICP-MS 方式分析微粒元素成分，確認兩種方法的回收率。因 MOUDI 的衝擊板與噴嘴能相對旋轉，微粒分佈較均勻，有利於標準品的製備及 LA-ICP-MS 分析。

本計畫預計製備一個全新不同於以往的濾膜標準品，將以 SRM1648 與碳顆粒混合成不同比例，一來可探討基質效應，二來可能製備最擬真實樣本的標準品，另外也可以和 NIST SRM-2783 濾紙標準品（18 個元素有確認值，9 個元素有參考值）比較。

4. 開發空氣奈米微粒有機成分（如 PAHs）採樣及分析技術與方法，並進行檢測誤差之探討：

本計畫將探討大氣中氣相 PAHs 與奈米微粒 PAHs 之分佈、比較不同吸附樹脂 (XAD-4 與 XAD-16) 塗敷於 denuder 對 PAHs 之吸附效率、解析不同粒徑範圍 ($PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$)之 PAHs 分佈特性、探討奈米微粒 PAHs 之採樣偏差。

(二) 開發符合國際規範之奈米微粒質量分析績效評估樣品：

本研究將著重在奈米微粒的產生及物理化學特性分析技術開發，擬參考 ISO 標準建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產生、監測檢測及物理化學分析平台，並參考 ISO 標準校正數目濃度及校正微粒粒徑，產生的工程奈米微粒為 Ag 及 ZnO。量測的項目有質量濃度分布、肺泡及胸腔的表面積濃度、BET 表面積、數目濃度分布、有效密度，微粒大小與形貌及化學成分。

2.3 其它應配合事項

(一) 國家型計畫辦公室要求之評鑑或期末審查報告等，必須依照要求提報。

(二) 本計畫應明確訂定每月執行進度、預期成效及查核點。

(三) 配合管考作業，按月提報本計畫執行摘要、進度及工作成果。

(四) 期中、期末審查外，每季提進度報告供本署審查。

(五) 配合本署業務需求，提供必要之專業技術服務。

2.4 預期效益

本計畫工作內容執行完成之後，對於推動負責任的奈米科技發展將有下列幾項預期效益：

1. 本計畫透過開發NCTU大氣奈米微粒採樣器，預計將可準確收集奈米微粒 (<100 nm, UP或$PM_{0.1}$)並有效增加收集量。透過本計畫開發之溼度控制性統，可改善MOUDI因微粒反彈而超估奈米微粒採樣量的問題，並可進一步

使用未塗敷矽黃油的鋁箔或鐵氟龍濾紙作為微粒收集基質，以利後續完整的微粒成分分析。奈米微粒中的有害有機成份PAHs及金屬元素也將進一步定量，期使本研究能與國際水平相當或更為前瞻及具競爭力。

2. 完成國內北部三個空品區測站的實測，了解各測站微粒質量濃度分佈，奈米微粒微粒數目濃度分佈，奈米微粒質量濃度及成分；比較$PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$及PM_{10}的關係及相關性，並與環保署$PM_{2.5}$計畫所測得之$PM_{2.5}$與PM_{10}之質量濃度及成分進行比較。
3. 比較不同季節、氣象對不同測站的奈米微粒濃度的影響。並針對三個測站的成分分析結果，利用統計分析(PMF)方法推估奈米微粒污染來源。
4. 建立最佳之 LA-ICP-MS 分析流程及條件，並製備最擬真實大氣樣本之參考標準品，為國際同儕所認可。
5. 完成符合 ISO 標準呼吸毒性測試用的奈米微粒產生平台的建立。
6. 完成奈米微粒的物理特性檢測及監測方法的建立，含濃度、大小、形貌、聚集狀態、密度及表面積。
7. 完成分布均勻的奈米微粒濾紙樣本的製備及建立非破壞性元素方法。
8. 完成奈米微粒的數目濃度及大小校正方法的建立。

第三章　研究方法

本研究延續過去四年的研究經驗，並以改良的採樣方法將在三個環保署空氣品質測站進行採樣，期能深入了解都會區大氣奈米微粒質量分佈與成分組成及不同儀器間的誤差比對。另外對於實驗室奈米微粒的產生、製備及校正技術，包含理論及實驗方法，也在此章中作深入的介紹。相關的工作流程圖如圖3.1所示

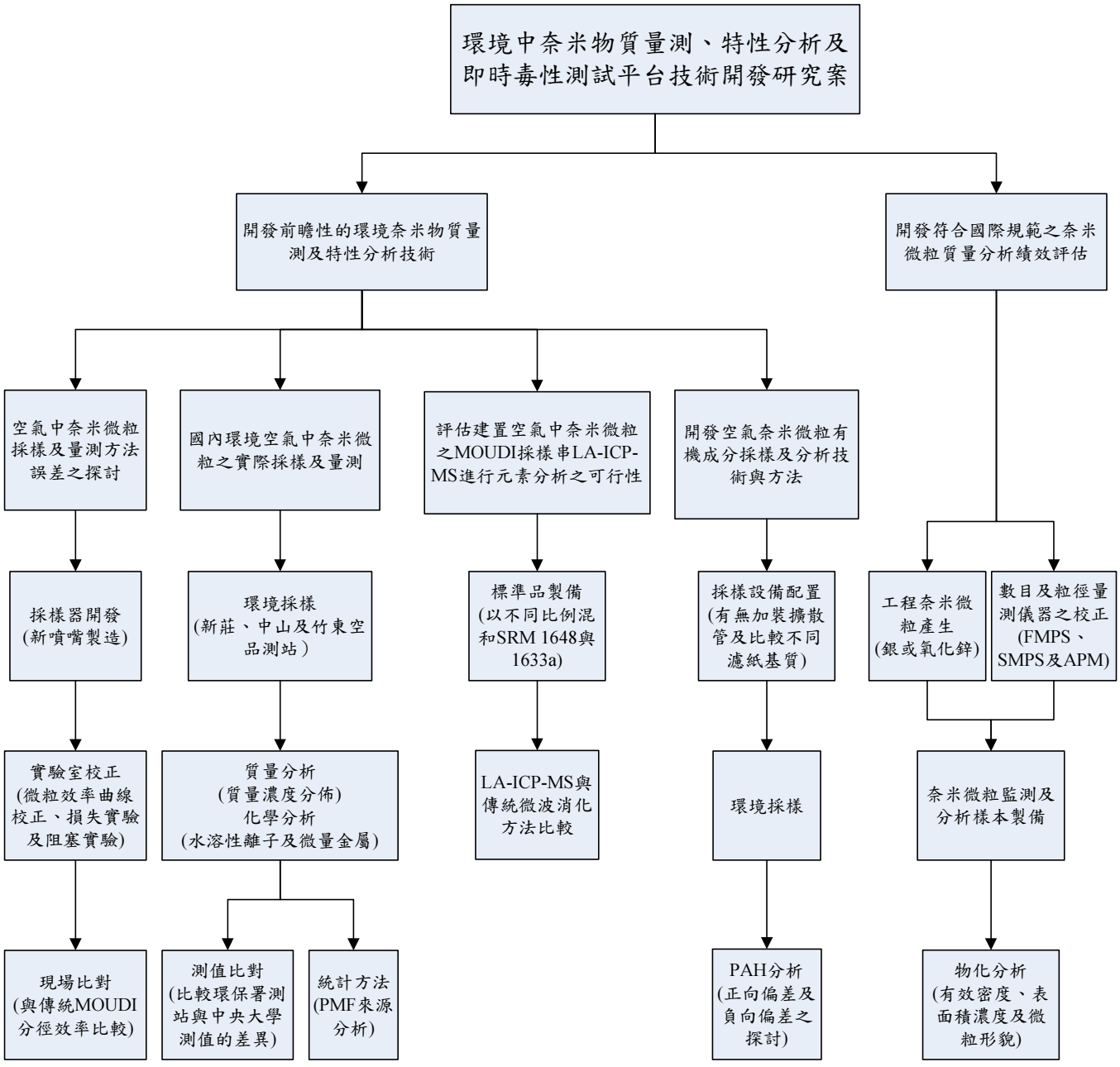


圖 3.1 本計畫工作流程圖。

3.1 開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析工具

本研究將研究大氣環境奈米微粒的粒徑分佈、質量濃度及化學成分，包括水溶性離子、微量元素及多環芳香族化合物(PAHs)等，所採用之大氣微粒採樣方法依據Chen et al. (2010a)使用兩台十階MOUDIs (Model 110, MSP Corp., MN, USA)來採集微粒的質量分佈，採樣的同時也同步使用1台SMPS (Scanning mobility particle sizer, TSI Incorporated, St. Paul, MN, USA)量測奈米微粒的粒徑分佈。為了能有更多的實驗數據可用於與MOUDI的PM_{10}及$PM_{2.5}$數據作比較，也使用1台PM_{10}虛擬衝擊器(Dichotomous, Model SA-241, Andersen Inc.,Georgia, USA)量測PM_{10}及$PM_{2.5}$的濃度。

MOUDI 及 Dichot 收集下來的微粒，由本計畫合作單位中央研究院環境變遷中心許世傑博士實驗室用 LA-ICP-MS 及 ICP-MS 方法分析奈米微粒的金屬成分。微粒離子成分將由交通大學環境工程研究所蔡春進教授實驗室負責以 IC 進行分析。PAHs 的採樣及分析是由朝陽科大楊錫賢教授協助。

3.1.1 空氣中奈米微粒採樣方法開發

在前期的研究，我們發現使用塗敷適當矽油的鋁箔(0.3-0.5 mg)作為 MOUDI 的衝擊基質，可大幅降低微粒彈跳的問題，MOUDI 採集到的奈米微粒質量濃度與 SMPS 數目濃度轉換的質量濃度符合，誤差在 30%以下，但國內外文獻的比對誤差都達 2 倍以上。為了能夠更進一步以不塗敷適當矽油的鋁箔或其它濾紙作為微粒收集基質以利樣本後續的化學分析，Chen et al. (2011)也針對相對濕度對 MOUDI 中微粒彈跳的影響做了進一步的探討，使用濕度調理系統(可控制 RH: 20-99%)控制濕度進行研究，其結果顯示當 MOUDI 使用無塗敷矽油的鐵氟龍及鋁箔作為衝擊基質時，相對濕度分別為 65-80%及 75-80%時，微粒彈跳不會影響奈米微粒採集的準確性。Chen et al. (2011)使用相同的濕度控制系統進行濕度控制，此系統包含加濕-乾燥兩用系統(FC 200-780, Perma Pure LLC, Toms River, NJ, USA)及 PID (proportional-integral-differential)控制器，實驗系統如圖 3.2 所示。此系統可控制採樣氣體進入 MOUDI 入口端的相對濕度範圍在 10-99%，此系統可在 10 分鐘內調整到設定的相對濕度範圍並達到穩定，PID 控制器可自動調整加濕及乾燥空氣進入系統的流量，相對濕度的變動範圍在±2%以內。

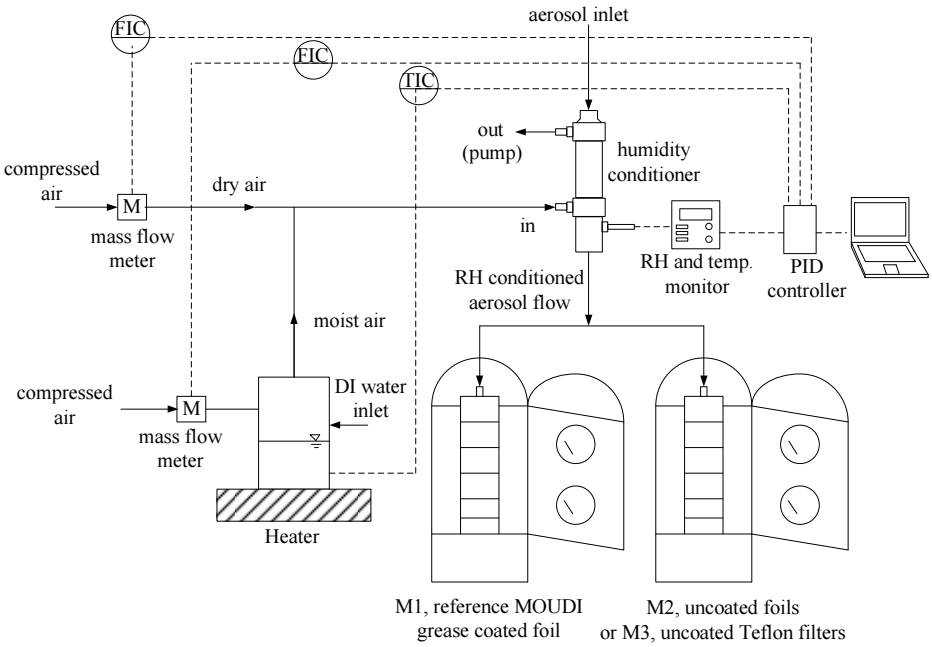
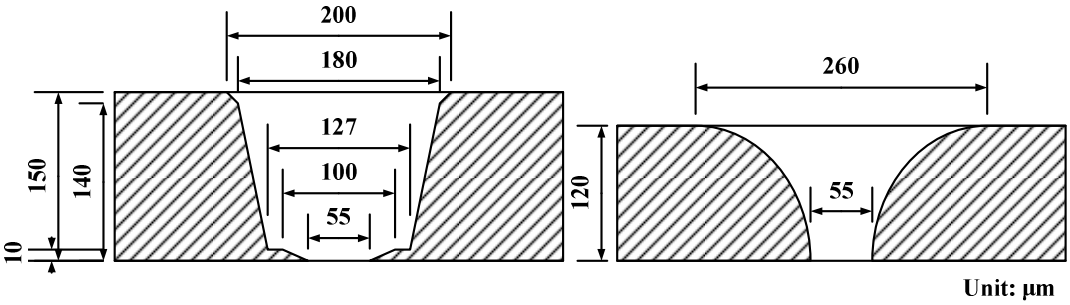


圖 3.2 相對濕度對 MOUDI 中微粒彈跳的影響實驗系統。

除了微粒彈跳之問題之外，使用 MSP MOUDI 也常會有噴嘴阻塞的現象，其中以第七階及第七階以下的各階層阻塞最為嚴重。國內外學者已發現 MSP MOUDI 有噴嘴孔阻塞的問題，其中 Ji et al. (2006)於大氣環境採樣結束之後，使用光學顯微鏡觀察到 8 階 MOUDI 的最後三階(第六、七與八階)噴嘴孔有阻塞的情形，接著對阻塞噴嘴孔進行微粒收集效率的實驗室測試，結果發現各階微粒截取氣動直徑值較原本設計值小，收集效率曲線有明顯向小粒徑偏移，且各階的壓差也較原設計值大，意味著微粒阻塞於微孔噴嘴會造成質量濃度分佈之不正確。本研究團隊也曾利用光學顯微鏡觀測 MOUDI 第九階之噴嘴孔，發現噴嘴呈現階梯式不平滑的形狀(如圖 3.3 左圖所示)，此可能是造成微粒容易阻塞於孔洞內的原因，因此本研究將嘗試開發圓滑形狀的噴嘴，探討微粒阻塞的情形是否得以改善。

本研究利用半導體製程已製造出比 MSP 原廠 MOUDI 更平滑的噴嘴。圖 3.3 上方為 MSP 公司所生產的 MOUDI (左圖)及本研究自行研發(右圖)的第九階噴嘴孔的示意圖。由圖可見 MSP 噴嘴孔的底部幾乎呈直角的幾何形狀，因此氣流容易在此區域形成迴流而導致微粒的沉積損失，且噴嘴孔底部決定噴嘴孔徑(55 μm)的部分僅 10 μm 厚，因此原廠建議不要以超音波震盪清洗噴嘴，因為可能造成噴孔的破裂。反觀本研究自行研發的噴嘴片，噴嘴內部的幾何形狀為平順的曲面，氣流不易產生迴流，微粒損失應會較低，且噴嘴整體的結構強度較高，因此以震盪清洗也完全無破碎之虞。圖 3.3 下方為 MSP 噴嘴片及本研究自行研發噴嘴片的顯微鏡拍攝圖。由該圖可明顯看出 MSP 的噴嘴孔形狀較不規則，經由大量觀察該片噴嘴板的其它噴嘴孔，我們發現孔徑大小不一，甚至孔徑與理論設計值相差達 5-10%，此亦會嚴重影響衝擊器的分徑正確性。反觀本研究自行研發的噴嘴孔幾何形狀較為平順且幾近真圓且孔徑相當一致且正確(誤差 1-2%，表 3.1)。本研究目前已開發出第七階至第十階的噴嘴片，圖 3.4 為此四階

噴孔從出口朝入口觀測的顯微鏡照片，由圖顯見所有噴孔的入口及出口皆接近圓形。表 3.1 為 7-10 階噴嘴板孔徑量測的結果，數據顯示孔徑與理論設計值相近且均勻(相對偏差小)。



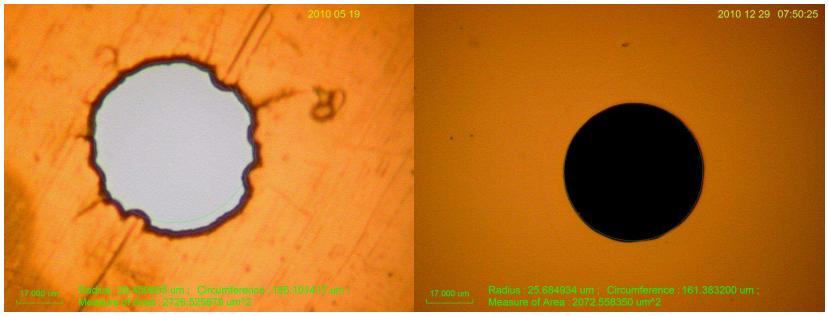


圖 3.3 MSP MOUDI(左)及本研究(右)所開發的採樣器第九階噴嘴示意圖及顯微鏡拍攝圖。

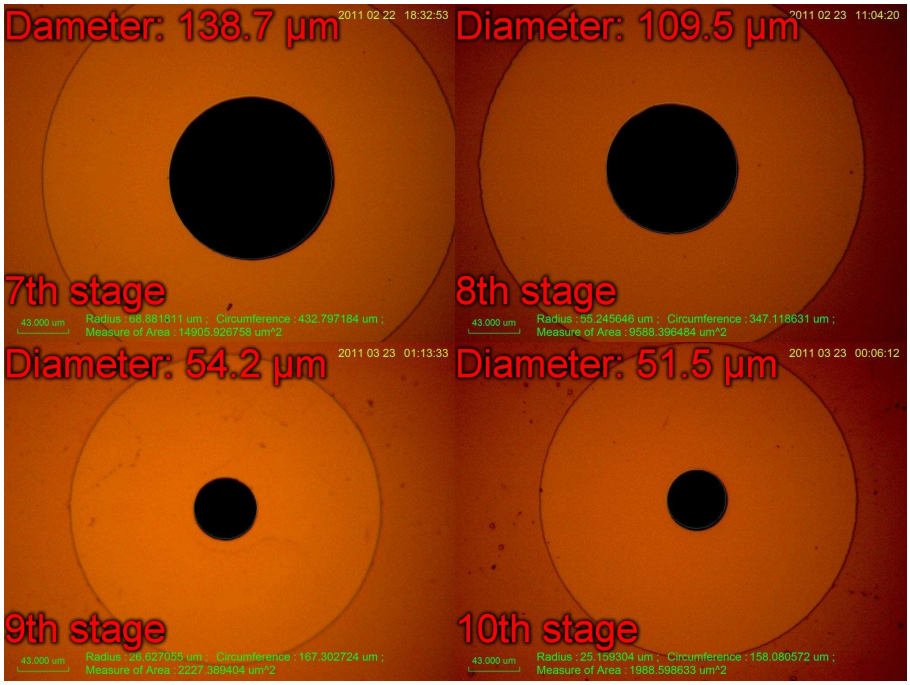


圖 3.4 本研究自行製造第七~十階噴嘴顯微鏡拍攝圖。

表 3.1 本研究自行製造第七至第十階噴嘴板量測結果。

	設計值 (μm)	量測值 (μm)	標準偏差 (μm)	厚度 (μm)
第 7 階	140	138.7	0.7	120
第 8 階	110	109.5	0.8	120
第 9 階	55	54.2	0.2	120
第 10 階	52	51.5	0.4	120

註：平均孔徑是量測 10%以上噴孔數所得

為了驗證本研究自行研發之多微孔噴嘴 NCTU 大氣奈米微粒採樣器(MCI, micro-orifice cascade impactor)也具有和市售 MOUDI 的噴嘴板有相同的微粒分徑能力，且具有不易造成微粒損失及阻塞的特點，本年度計畫預計將針對 NCTU MCI 做近一步的實驗室校正與實場採樣測試，工作項目包括：1. 校正 NCTU 大氣奈米微粒採樣器裝載新型第 7 至第 10 階多微孔噴嘴片的微粒收集效率曲線。2. 測試 NCTU MCI 改善微粒損失之情況。3. 評估 NCTU MCI 多微孔噴嘴板微粒阻塞改善之情況。4. 將 NCTU MCI 和市售 MOUDI 進行現場採樣比對。以下將詳述各個工作項目的流程及方法。

NCTU 大氣奈米微粒採樣器的微粒收集效率曲線校正

NCTU MCI 微粒收集效率曲線校正系統是參考 Marple et al. (1991)中方法，如圖 3.5 所示。整個實驗系統包含有多徑氣膠微粒產生器、靜電粒徑篩分器、微粒靜電中和器(Aerosol Neutralizers, Model 3077, TSI Inc., MN, USA)、氣膠靜電計(Aerosol electrometer, AE, model 3068, TSI, Inc., St. Paul, Minn.)，而本研究將以油酸液滴做為校正用微粒。

油酸微粒係由定量霧化器(Constant output atomizer, Model 3076, TSI Inc., MN, USA)產生，經乾燥、稀釋後導入靜電粒徑篩分器(Electrostatic Classifier, Model 3080, TSI Inc., MN, USA)篩選欲測試的單徑微粒。被篩選出的單徑微粒再通過靜電中和器以去除微粒電荷，之後藉由三向閥的調整，讓微粒導入旁通道或通過 MCI 或 MOUDI，之後再由 AE 取得旁通道及 MCI 或 MOUDI 下游的電流量所轉換的微粒數目濃度($N_{downstream}$)並帶入公式(3.1)，即可計算衝擊器對各粒徑微粒的收集效率(E)，旁通道所測得的微粒數目濃度即為 MCI 或 MOUDI 入口的微粒數目濃度($N_{upstream}$)。

$$E\,(\%) = (1 - \frac{N_{downstream}}{N_{upstream}}) \times 100\% \qquad (3.1)$$

此實驗在不同的粒徑下各須進行十次以上的重複以求取平均值。另外本研究在各校正實驗中皆保持旁通道的管線長度與經過採樣器的管線長度相同，以減低微粒傳輸損失造成量測的誤差。

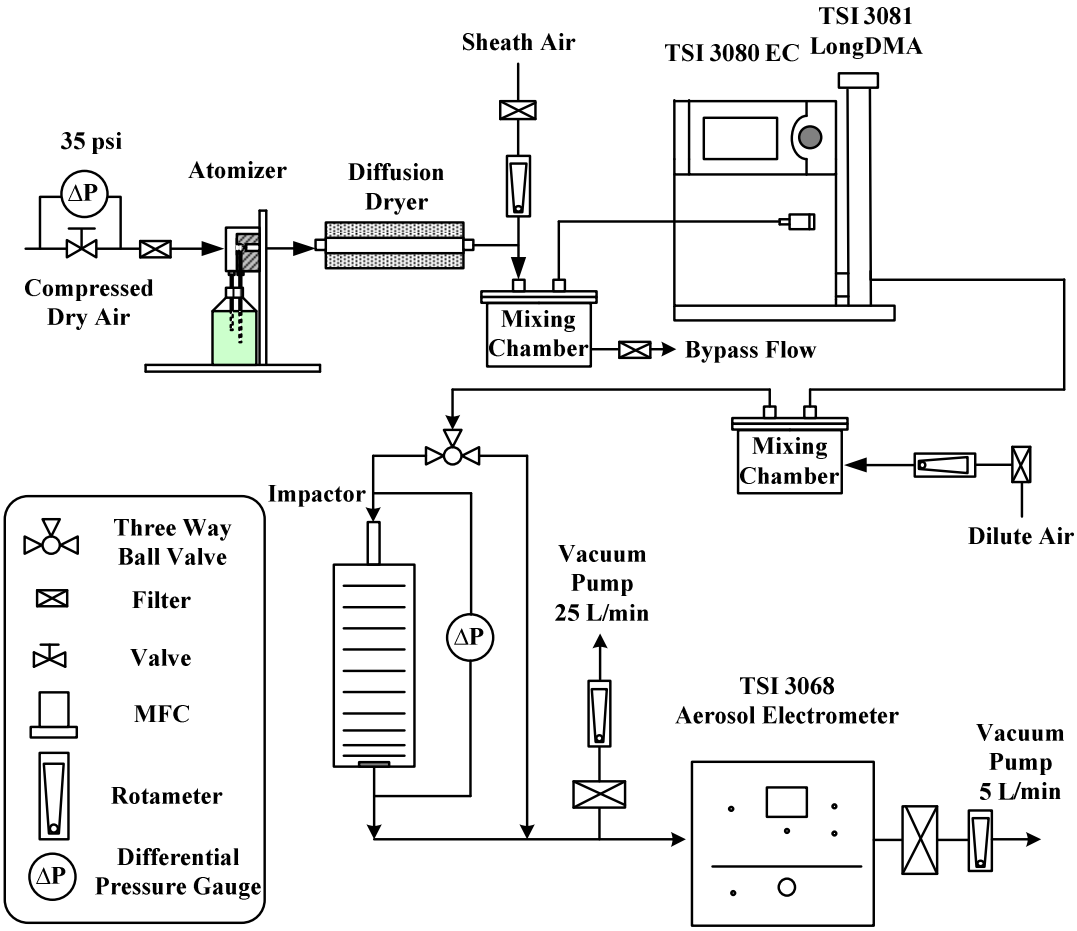


圖 3.5 MCI 及 MOUDI 校正實驗之系統配置圖。

NCTU MCI 與 MSP 多微孔噴嘴片微粒損失之比較

本計畫將研究 NCTU MCI 的 7-10 階噴嘴片與 MSP 原廠噴嘴片微粒損失的情形，擬使用圖 3.5 的微粒產生及量測系統，讓微粒由四向閥控制交替通過分別僅裝載一階欲測試的 NCTU 及 MSP 噴孔板的及無裝載任何噴嘴的 MOUDI，此時 MOUDI 中不放置衝擊板，之後以 AE 量測三台 MOUDIs 下游的微粒濃度，即可比較出 NCTU 噴嘴是否比 MSP 噴嘴的微粒損失少，及兩種噴嘴的絕對微粒損失量。產生的單徑微粒之粒徑應介於欲測試階層的上一階及該階的截取粒徑之間，所以第七、八、九及十階的測試微粒之粒徑應分別為 320-560、180-320、100-180 及 56-100 nm。單一階噴嘴的測試時間預計持續進行至少 10 分鐘，每 10 秒取一次平均，計算噴嘴的平均微粒損率。

NCTU MCI 多微孔噴嘴片微粒阻塞改善之評估

本研究將產生高濃度多徑固體微粒同時導入原廠的 MOUDI 及新改良之 MCI 中，藉由觀察壓損隨時間的變化及採樣後利用顯微鏡觀測噴嘴，評估噴嘴是否有微粒阻塞的情形，實驗系統如圖 3.6 所示。實驗中以微小粉末分散器分散 TiO_2 粉體(粒徑範圍 2-300 nm)，揚起的 TiO_2 以靜電中和器移除微粒的帶電，之後導入混合腔體內使微粒濃度均勻，最後同時將微粒導入原廠 MSP MOUDI 及

新的 NCTU MCI 中。於實驗過程中，每 5 分鐘記錄一次兩台儀器的壓損，且為了不影響採樣器的壓損讀值，實驗過程中還需確認混合腔體內外的壓力平衡。此外本研究也利用一套 SMPS 系統監測混合腔體內微粒的粒徑分佈。

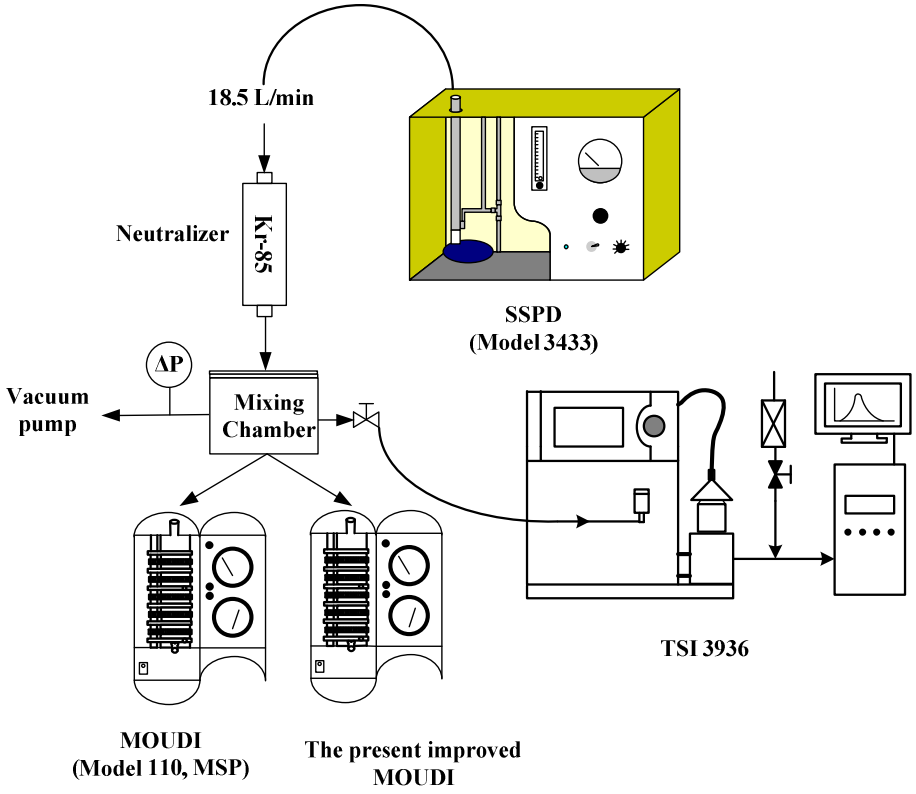


圖 3.6 微粒阻塞實驗系統圖

NCTU MCI 及 MSP MOUDI 之現場採樣比對

待實驗室內的校正工作完成之後，本研究將藉由與 MSP MOUDI 的現場採樣比對測試 NCTU 大氣奈米微粒採樣器的現場採樣能力。採樣的時間及地點則配合本研究另一個於空氣品質測站採集奈米微粒的工作項目。

品質管制QA/QC之建立

奈米微粒採樣工作的 QA/QC 目前都已撰寫成一份品保品管規劃書，內容包括採樣器(MOUDI 及 Dichot)的使用、清潔及校正；濾紙調理、切割及運送；濾紙編號；相關現場採樣記錄表等。

3.1.2 國內環境空氣中 PM 及奈米微粒之採樣分析

大氣懸浮微粒不同於氣體污染物，它具有各種不同粒徑和化學成分，對於環境和國民健康的危害影響重大。為了提升對國民健康的保障，我國已設有 PM_{10} 標準值，但對於 $PM_{2.5}$ 卻受限於監測數據的不足，特別是化學成分數據的缺乏，以致健康風險界閾值瞭解的不足。目前國內尚無 $PM_{2.5}$ 空氣品質標準，有鑑於

此，學者李崇德教授於今年初承接環保署「細懸浮微粒($PM_{2.5}$)質量濃度與成分人工採樣分析先驅計畫」，於北、中、南部挑選 8 座空氣品質監測站進行 $PM_{2.5}$ 質量濃度及化學成分監測。

為了能夠得到較完整的粒徑分佈以及各粒徑區間之化學成分資訊，本研究將配合上述計畫於 8 個空氣品質測站中的 2 個測站及另外選定的竹東測站進行微粒的分徑採樣，包含粗、細微粒及奈米微粒採樣，預計執行 36 站次採樣計畫，每個測站 12 次以上，分三個季節採樣，原則上每一至兩個禮拜選擇一個測站進行兩次採樣，每次採樣時間為 24 小時。本研究的三個測站分別為台北的新莊測站和中山測站以及新竹的竹東測站，此 3 個測站的詳細資料如表 3.2 所示。中山站位於台北市新興國中四樓頂，其後方為操場，校舍緊鄰民權東路，道路車流量頗大。新莊測站位於台北縣新莊市輔仁大學校園內西側校舍的三樓樓頂，採樣口離地面高約 15 米。竹東測站位於新竹縣竹東鎮大同國小校舍四樓樓頂，屬一般大氣監測站，採樣口離地面約 15 米，測站西北方有一棟六層樓高之建築物。上述 3 個測站皆座落於都會區內，因此皆具有都會區之空間代表性，所採集到的數據除了可用來評估都會區內民眾奈米微粒暴露之健康風險之外也可和上述 $PM_{2.5}$ 採樣計畫之數據作相互驗證。本採樣計畫執行之組織與職責及採樣流程如圖 3.7 與圖 3.8 所示。

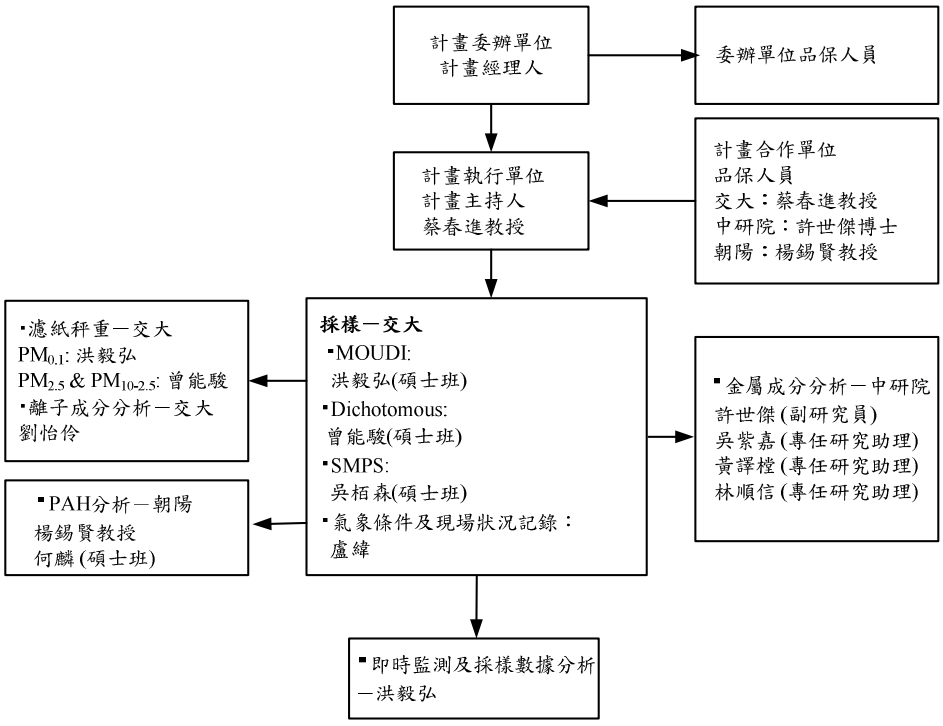


圖 3.7 環境空氣中奈米微粒採樣計畫執行之組織及職責

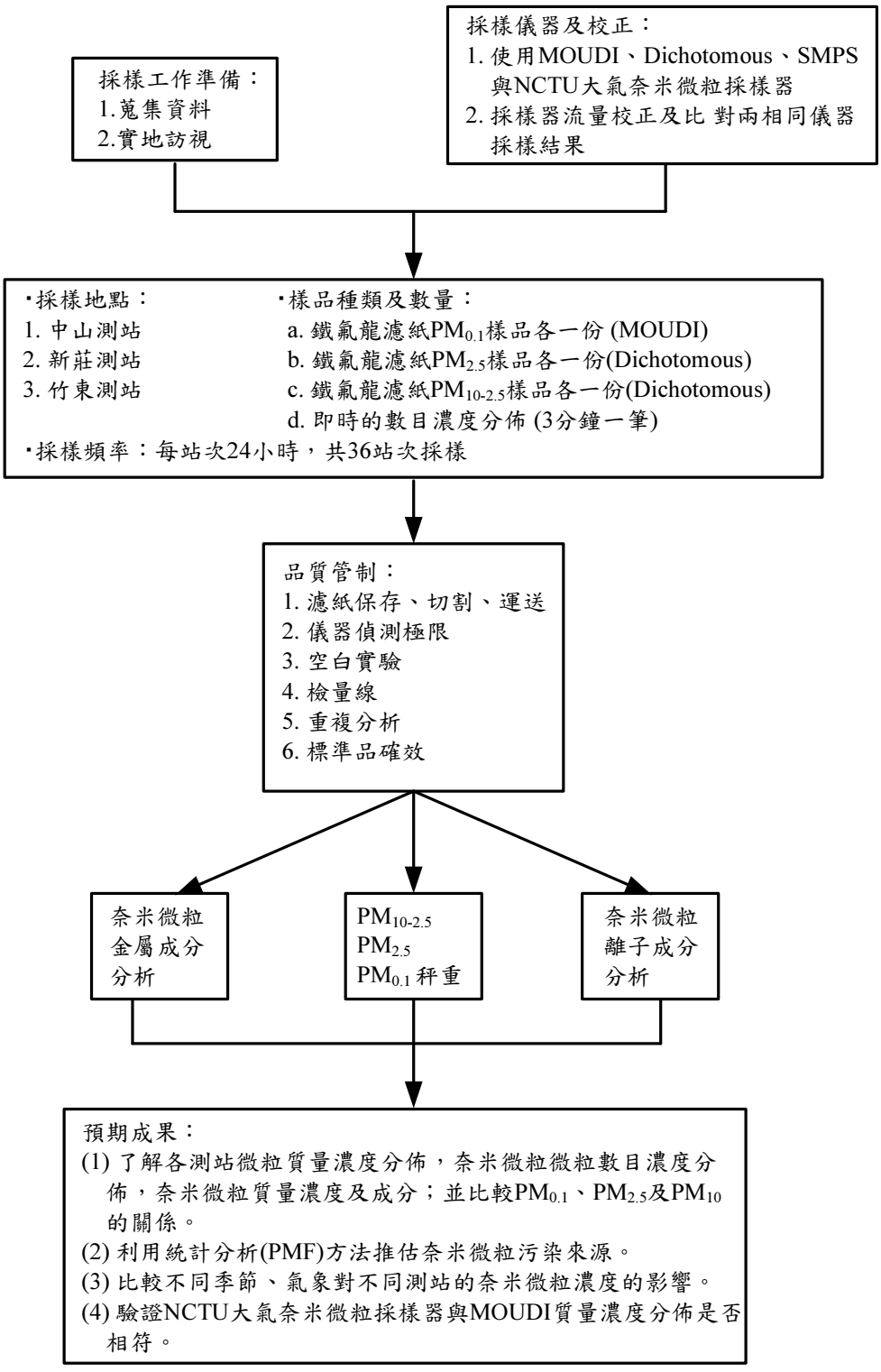


圖 3.8 環境空氣中奈米微粒採樣計畫工作流程圖

表 3.2 三個進行人工與即時儀器比對之測站的相關資訊。

測站名稱	測站種類	監測項目	測站位置
中山	一般測站	SO_2, CO, O_3, PM_{10}, NO_x, NO, NO_2, THC, NMHC, CH_4, $PM_{2.5}$ 溫度,濕度, 風速, 風向, 雨量	台北市 新興國中
新莊	一般測站	SO_2, CO, O_3, PM_{10}, NO_x, NO, NO_2, $PM_{2.5}$ 溫度,濕度, 風速, 風向, 雨量	新北市 輔仁大學
竹東	一般測站	SO_2, CO, O_3, PM_{10}, NO_x, NO, NO_2, THC, NMHC, CH_4, $PM_{2.5}$ 溫度,濕度, 風速, 風向, 雨量	新竹縣 大同國小

採樣時間為 5 月至 12 月

本計畫預計使用 2 台 MOUDIs 採集 PMs 含 $PM_{0.1}$ 奈米微粒及 1 台 Dichot 採集 $PM_{2.5}$ 與 $PM_{2.5\text{-}10}$，採集下來的微粒先透過秤重取得質量濃度，爾後進行化學分析求取各 PMs 之化學濃度,此外使用 1 台 SMPS 監測奈米微粒的粒徑分佈，以了解各測站數目分佈隨時間的變化 ，採樣現場的儀器示意如圖 3.9 所示。

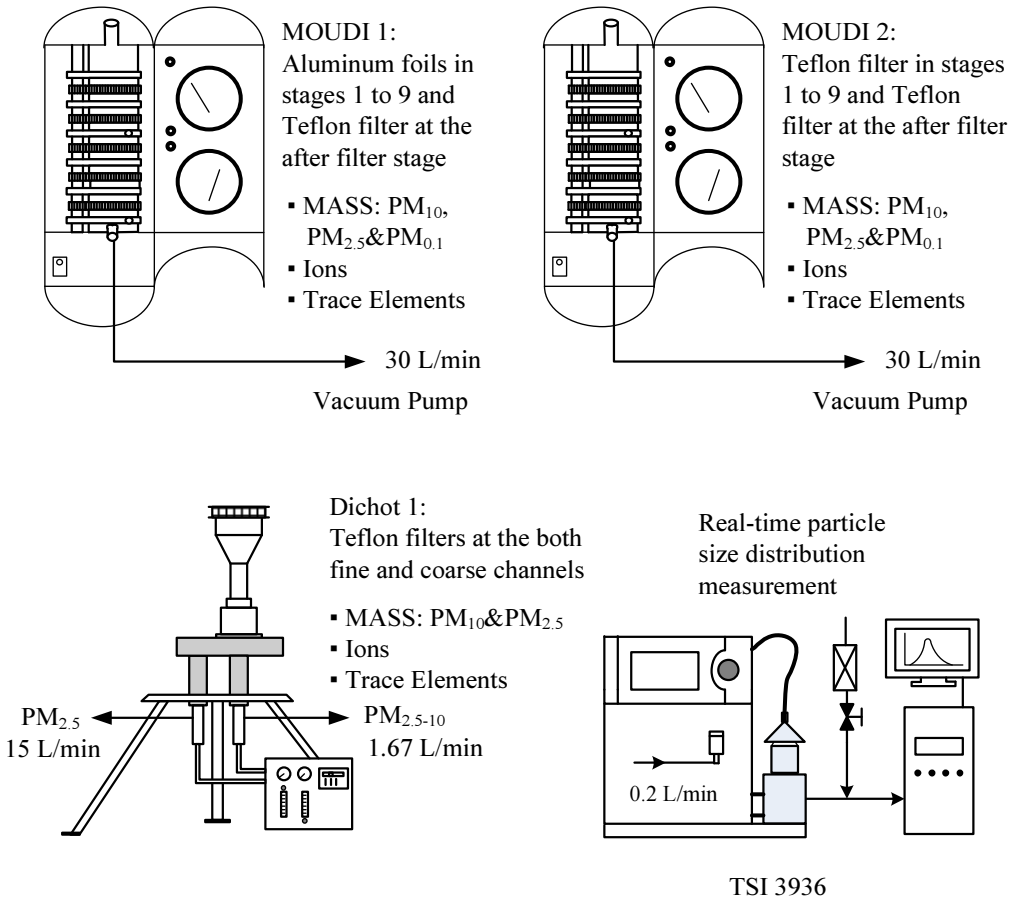


圖 3.9 採樣現場儀器示意圖

本計畫預計在新莊測站同時使用兩台原廠MOUDI(M1及M3)進行採樣以分析MOUDI各階層的微粒質量及化學組成，中山及竹東則進行新型的NCTU MCI (N1)與M1的比對，3台採樣器皆使用十階噴嘴，所篩分的粒徑範圍從18 μm至56 nm。M1與N1第0至第9階的衝擊基質皆使用噴灑矽黃油的鋁箔濾紙來防止微粒的彈跳，提高$PM_{0.1}$採集的正確性，第10階及終端濾紙使用直徑為47 mm的鐵氟龍濾紙(Teflo R2PL047, Pall Corp., New York, USA)，M3從第0階至終端濾紙也使用相同的鐵氟龍濾紙。Dichot則使用直徑為37 mm的鐵氟龍濾紙(Teflo R2PL037, Pall Corp., New York, USA)收集$PM_{2.5}$與$PM_{2.5\text{-}10}$之微粒。噴灑矽黃油的鋁箔僅做秤重分析，鐵氟龍濾紙則是在秤重分析過後再進一步進行離子及元素分析。由於在進行新舊MOUDI的比對時兩台MOUDI皆使用塗敷矽黃油的鋁箔濾紙，因此中山及竹東PM_{10}及$PM_{2.5}$微粒的化學分析僅有dichot的數據。SMPS是使用Nano-DMA，採樣流量預計設定為0.2 L/min，因此監測的粒徑範圍為5.42 - 212.9 nm。

本研究使用六位數微量天平(Model CP2P-F, Sartorius, Germany)定量微粒樣本的質量，以計算微粒的$PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$及PM_{10}質量濃度，秤重室環境控制標準參考我國與美國環保署發佈的$PM_{2.5}$標準檢測方法中對濾紙秤重的規範，將秤重室溫度控制在20-23℃，濕度30-40%，並使用靜電中和器去除濾紙表面的靜電荷，靜電中和器使用去靜電風扇(Model CSD-0911, MELSEI, Japan)，去除效果比美國環保署建議的^{210}Po去靜電板的去除效果還要更好。本研究擬使用雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀(laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, LA-ICP-MS)直接分析濾紙樣本的元素濃度，並與以傳統ICP-MS分析得到的數據進行比較；以離子層析儀(Ion chromatograph，IC)分析鐵氟龍濾紙樣本上的水溶性陰、陽離子的濃度，包括硫酸根離子(SO_4^{-2})、硝酸根離子(NO_3^-)、氯離子(Cl^-)、銨根離子(NH_4^+)等主要成分。離子分析之方法將在下段介紹。

本研究使用多模態粒徑分佈模型 (multi-modal size distributeon model)來描述微粒的粒徑分佈，一般使用對數常態分佈來表示微粒的粒徑區間，此模型使用下列計算式：

$$\frac{dN}{d(\log D_p)} = \sum_{i=1}^{j} \frac{N_i}{\sqrt{2\pi}\cdot\log D_p}\cdot\exp\left[-\frac{(\log D_p - \log D_{pg,i})}{2\cdot\log^2\sigma_{g,i}}\right] \qquad (3.2)$$

其中J為對數常態分佈下模式(mode)的數量，每個模式需要3個參數來描述，分別為幾何平均粒徑$D_{pg,i}$ (geometric mean diameter，GMD)、幾何標準偏差$\sigma_{g,i}$ (geometric standar deviation，GSD)，及數目濃度N_i。使用公式3.2擬合所量測的數據得到上面3個參數的估計值就能定義其中1個模式的峰值，再將多模態分佈的其他模式都定義出來即可得到此多模態的粒徑分佈。

PMF

本研究將利用微粒金屬成分分析及其它更多數據資料(如風速、風向、溫濕度等)並配合PMF方法(請參閱本報告1.4.5節之說明)進行統計分析，探討微粒

的來源，以釐清都會區奈米微粒之污染排放來源及人為活動的影響，量測出之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度數據也將與環保署 $PM_{2.5}$ 計畫所測得之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度作相互驗證，比較不同採樣方法之間的量測誤差。最後各個量測的結果也將進行時序分析，以探討不同季節都會區奈米微粒濃度及成分的差異。

PMF廣泛使用於大氣中懸浮微粒多種來源的分析，並結合各種和環境採樣有關的不確定性，正值矩陣促使各種結果和貢獻的數值不為負值。執行PMF分為三部分: 1.準備欲模擬之資料: 包含物種選擇、計算不確定性(uncertainty)矩陣及處理低於偵測極限和遺失之資料。2. 利用PMF處理資料來得到可靠及有用的資料: 來源(factor)數選擇、計算離群值、評估擬合情況及模式不確定性。3. 解釋結果: 數據解釋、預測結果和原始資料比較、時序圖分析、各物種指紋(profile)分析和輔助資料之相關性。

PMF在執行時有下列六個注意事項，1. 物種相關性: 受體模式在計算時會預設汙染物的量測來自同一來源，並且不會假設各汙染來源預期的貢獻量，因此需要忽略一些PMF的分析結果，因為其本身設定有可能對計算時擬合的過程造成干擾。2. 重複測量: 由於某些離子或元素彼此有高度的相關性，會造成重複測量的情況，因此需要考慮程式執行時化學物質的數量。3. 資料遺失(missing data): 可去除整筆資料(該次採樣所有資料)，或直接去除該物種(該物種有多筆資料遺失時)，另外也可對該物種設定為有較大的不確定性，以減少對整體資料之影響。4. 資料低於偵測極限: 可直接去除該物種資料，但若其訊噪比之值合理或該物種為重要的指標元素，則可利用0.5倍偵測極限取代低於偵測極限之資料。5. 較差的或未知的資料品質: 可根據訊噪比來判定，較差的資料可增加其不確定性或去除資料。6. 總懸浮微粒之質量分配: 可將懸浮微粒視為一物種，但其不確定性需增加以免影響PMF分析結果，並且需要考慮重複測量的情況。

標準偏差矩陣是PMF程式執行時很重要的資料，它決定了在模式分析中每一個物種與其對應的樣本之加權多寡，因此標準偏差值對模式解析結果有顯著的影響，在選用標準偏差值時需要非常謹慎且有條理。一般建議寧可使用高估之標準偏差值，若標準偏差值被低估會對於模式最終的結果有較不良的影響。以下提供文獻中幾種建置標準偏差矩陣的方法，以及本團隊分析之方法偵測極限，其中假設MOUDI及Dichot的採樣體積量分別為45及25 m^3的情況，如表3.4。

表 3.3 求得標準偏差的方法。

PMF Uncertainty (σ_{ij})	文獻
$S_{ij} + C_3 \cdot \left\| X_{ij} \right\|$	Chueinta et al. (2000)
$(0.05 \cdot X_{ij}) + DL_{ij}$	Ito et al. (2004)
$S_{ij} + \frac{DL_{ij}}{3}$	Kim and Hopke (2004)
$S_{ij} + 0.2 \cdot DL_{ij}$	Ramadan et al. (2000)
$0.3 + DL_{ij}$	Xie et al. (1999)
$\sqrt{3 \cdot (S_{ij})^2 + DL^2{}_{ij}}$	Song et al. (2001)

註解：S_{ij}為分析的uncertainty ；DL_{ij}為方法偵測極限(MDL)，X_{ij}為分析物種的濃度值；C_3的值介於0.1到0.2之間。

表 3.4 ICP-MS 方法偵測極限(MDL)，單位為 ng/m^3。

	If filtrated air volume = 45 m^3	If filtrated air volume = 25 m^3
	MOUDI	Dichot
	(n=5)	(n=5)
Al	1.11	1.81
Fe	1.88	8.38
Na	1.39	2.29
Mg	0.17	0.40
K	3.36	2.57
Ca	1.98	3.17
Sr	0.001	0.014
Ba	0.101	0.022
Ti	0.086	0.063
Mn	0.037	0.056
Co	0.002	0.008
Ni	0.034	0.059
Cu	0.042	0.053
Zn	0.159	0.049
Mo	0.007	0.033
Ag	0.017	0.038
Cd	0.002	0.004
Sn	0.005	0.059
Sb	0.013	0.023
Pb	0.025	0.028
V	0.012	0.002
Cr	0.304	0.396
As	0.035	0.028
Se	0.041	0.050
Rb	0.001	0.001
Ga	0.002	0.009
F^-	0.53	0.3
Cl^-	0.21	0.37
NO_3^-	0.29	0.52
SO_4^{2-}	0.14	0.25
NH_4^+	0.23	0.41

3.1.3 空氣中奈米微粒之採樣及雷射剝離-感應耦合電漿質譜儀（LA-ICP-MS）分析技術研究

本研究分析微粒中金屬成分的方法有兩種，一種是以雷射剝蝕-感應耦合電漿質譜儀(Laser Ablation–Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: LA-ICP-MS)，利用雷射將樣品剝蝕，另一種為傳統微波消化法，將濾紙樣本消化後再分析，而檢測方法則同為使用 ICP-MS 分析樣品中微量金屬元素。使用微波消化法時，先以霧化器(Nebulizer)將待測消化液先經霧化處理後，再以載送氣體輸送，將形成含待分析元素之氣膠(Aerosol)輸送至電漿(Plasma)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(Mass spectrometer)，配合質量分析器(Mass analyzer)將各特定質荷比(Mass-to-charge ratios)之離子予以解析後，再以電子倍增器加以檢測，並進行多元素之定性及定量。以下將進一步介紹這些方法。

LA-ICP-MS 分析技術簡介

傳統上，固態樣本都是先經過消化或萃取處理為溶液，經霧化器後以載體導入，再以 ICP-MS 分析其金屬成分。而 LA-ICP-MS 是利用雷射光剝蝕未經處理的原固態樣本表面後，再以 Ar 氣將樣品載至 ICP 焰炬游離，逕以 ICP-MS 分析，近年來逐漸被採用以分析樣本中元素成分。目前已發展多種固態直接分析方法用於分析地質、環境及材料樣本，有定性、半定量、及定量的，除 LA-ICP-MS 外，尚有如 INAA、ED-XRF、PIXE、TOFMS 及 SIMS 等。該 LA-ICP-MS 方法早在 90 年代初開始被用在地質樣本(Gray, 1985)，尤其是岩石中所包覆之結晶體(Heinrich et al., 2003)，之後迅速應用在其他方面，例如，分析魚耳石來瞭解水質環境及遷移歷史；分析珊瑚及樹輪中之微量元素，以瞭解過去環境及氣候變遷；Wang et al. (1997; 1998; 1999)及 Tanaka 與其團隊 (Tanaka et al., 1998; Narita et al., 1999；Okuda et al., 2004; 2006; 2007; 2008)成功將其應用於大氣微粒之金屬元素分析，Okuda et al. (2008)甚至用以長期分析北京大氣微粒中之毒性重金屬，發現燃煤是最主要的污染來源。此外，該法亦可應用於地質研究上同位素比值分析，做為定年依據，惟該法通常需連接高解析感應耦合電漿質譜儀或多接收器之磁場感應耦合電漿質譜儀。

Laser 一詞之原意 light amplification by the simulated emission of radiation，即光輻射的受激發射放大現象。常用的雷射包括二氧化碳雷射 CO_2 laser、釹釔鋁石榴石雷射（Nd:YAG --Neodymium:Yttrium Aluminum Garnet laser）或釹玻璃雷射（Nd-glass laser）以及準分子雷射（Excimer lasers）。本研究中使用的是 Nd:YAG 213 nm (New Wave UP 213)，ICP-MS 是四極柱感應耦合電漿質譜儀(Elan 6100, Perkin Elmer)其連接組裝結構如圖 3.10 所示。

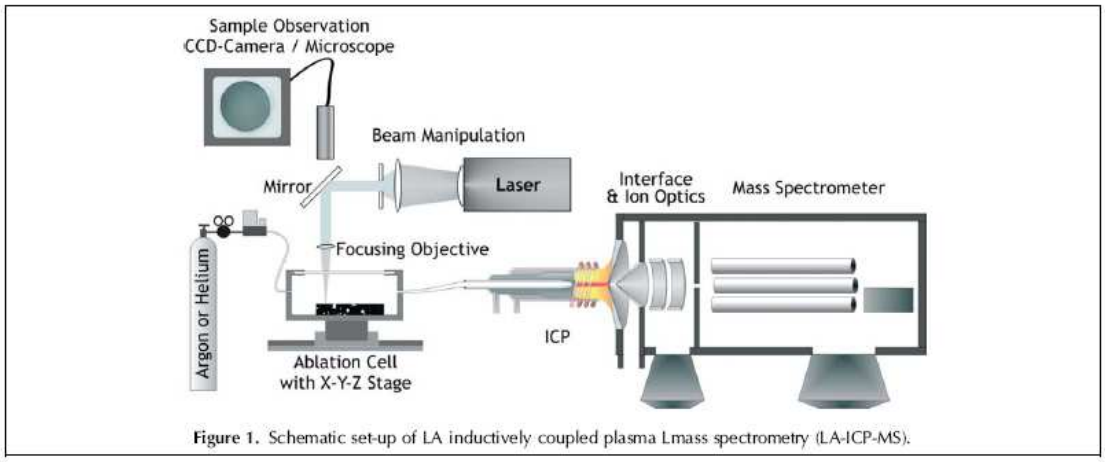


圖 3.10 LA-ICP-MS 組裝構造示意圖（Günther and Hattendorf, 2005）

該 LA-ICP-MS 具有許多分析優點，諸如多元素分析、偵測極限低、線性範圍廣、直接、快速、免前處理、節省實驗試劑(所以乾淨、環保)、近於非破壞性(破壞的相當有限，樣本可以作為其他分析)、可以了解樣本空間上的變化特性，不過關於最後這項優點，大氣濾膜樣本一般與岩石、珊瑚、樹輪、魚耳石不同，要求的是濾膜上的顆粒成分需均勻分布。但另一方面，該方法亦具有一些缺點，包含元素分化(Elemental fractionation)、剝蝕後之不同大小氣膠顆粒傳輸速度不一、不同材質輸送管之材質影響輸送效率等等，但最重要的往往是欠缺與樣本基質匹配的標準品提供準確定量之依據。元素分化現象可能主要導因於大顆粒不完全揮發化及揮發性成分（元素）利於剝蝕（Kunch and Günther, 2004）。基本上，該方法可偵測濃度低至 ppm 甚至 ppb 級，但隨測定元素、樣本基質、以及光束大小仍有差異。

清大王竹方教授團隊(謝等人，2009)以電子式低壓衝擊器(Electrical Low Pressure Impactor，ELPI)在新竹地區採樣，利用 LA-ICP-MS 分析濾膜上不同粒徑之大氣顆粒元素成分，在其研究中採用以標準溶液滴于濾膜上再乾燥的方式，製備校正檢量線，此法與 Tanaka 團隊使用的方式雷同；不過 Wang et al. (1998)更早之前亦曾以自製淘淨器製備 SRM1648 的濾膜標準品。王的研究仍有採樣及分析上之缺點，如 ELPI 有彈跳及顆粒在濾膜上分佈不均勻的可能性，以及所用校正定量標準品之基質與真實樣本不盡相同。

傳統濾紙消化處理

本研究是以 CEM 公司所生產之高產量微波消化系統(MARSXpress, CEM; Corporation, Matthews, NC)來進行樣本的全消化。本系統具有快速、安全、低污染且試劑用量少等優點，每一個批次可處理 14-40 個樣本，樣本與試劑置於密閉的鐵氟龍材質消化管內以微波加熱至高溫(200℃)來進行消化，也可依樣本量選擇適當之消化管，同時有溫度及壓力的即時光纖偵測器以確保實驗的安全。所有的消化管在使用前以 1.5 mL HNO_3 (MERCK,GR 級) 加 1.5 mL MQ-water 來清洗，清洗的升溫程式如下：

	微波功率（W）	輸出功率(%)	升溫時間（min）	溫度(℃)	加熱時間(min)
Stage1	1600	70	10	170	18

待系統冷卻後，以 MQ-water 將消化管清洗兩次，即可將樣本放入消化管中，加入 1.5 mL HNO_3 及 1.5 mL HF (皆為 MERCK, Ultrapur 等級)，消化的升溫程式如下：

	微波功率(W)	輸出功率(%)	升溫時間(min)	溫度(℃)	加熱時間(min)
Stage1	1600	90	8	170	7
Stage2	1600	100	7	200	20

待系統冷卻後，將消化管取出，確認樣本已完全消化，否則需再次消化至乾淨為止。

消化之後的樣本要進行濃縮(或稱為趕酸)的處理，因為此時溶液中仍有 HF，會對 ICP-MS 的進樣系統造成損害。濃縮時會利用外部的真空馬達將酸氣與水氣抽離，而系統中會利用一組監測瓶，內置 HNO_3 與 MQ-water，以光纖探針監測瓶中的溫度變化，進而控制系統的結束時間，濃縮的升溫程式如下：

	最大功率（W）	輸出(%)	升溫時間(min)	溫度差(℃)	溫度(℃)
Stage1	800	100	7	15	80

濃縮完成之後的樣本會加入 2 mL HNO_3（MERCK, Ultrapur）再消化，其升溫程式與消化步驟相同，待系統冷卻後，將樣本以 MQ-water 沖出、添加內標準品（In）及定量至 20 公克之後，即可供 ICP-MS 分析。另外在每一批次實驗中至少有 3 個消化空白來檢視實驗過程中的品質狀況，整個實驗中也消化了標準參考樣本 SRM1648（NIST,USA）以確保實驗及分析結果的可信度。

ICP-MS

感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)是現今靈敏度最佳、偵測極限最低、精密度高、線性範圍寬廣之微量元素分析設備，而且具分析快速、可同時量測的元素多之優點，商業化後很快應用在不同領域，涵蓋地質、材料、環境、醫藥、生技、食品、工業等。一般而言，該設備包含幾個主要部分：進樣系統、感應耦合電漿離子源、以及質譜儀。其中感應耦合電漿離子源的部分又可包括焰炬（torch）、取樣介面、真空系統及透鏡（Lens）；而質譜儀部分又可包括四極柱、偵測器及資料處理與系統控制器（圖 3.11）。ICP-MS 分析最棘手的問題是遭遇質譜干擾，造成同質量光譜干擾的背景離子，主要來自氬氣產生 Ar 離子或溶液樣本中的無機酸在電漿裡產生的離子，目前已有許多改善方法，如採用超音波霧化器、同心圓式微小霧化器、以及使用冷電漿等，另外在霧化器中導入少量氮氣亦可降低某些背景離子。

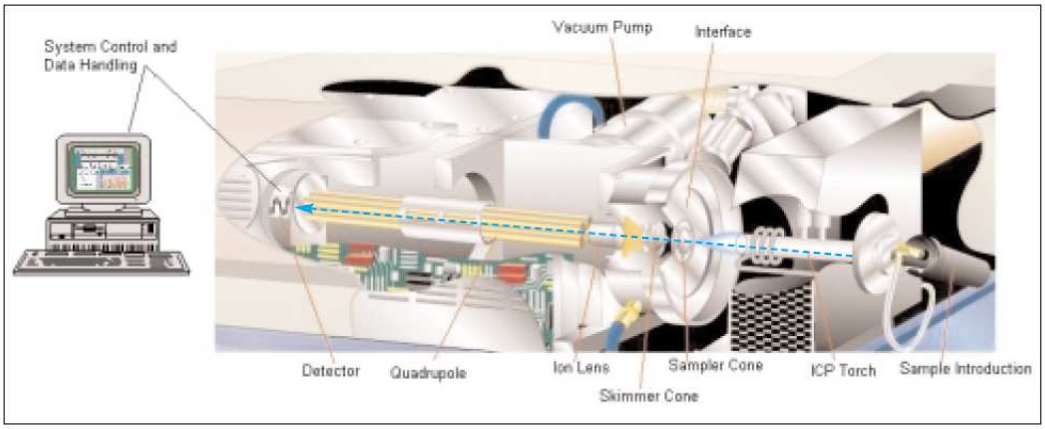


圖 3.11 四極柱 ICP-MS 的組成。(http://www.perkinelmer.com/)。

ICP-MS 其原理是先以霧化器(Nebulizer)將待測萃取液經霧化處理後，再以載送氣體輸送，將形成含待分析元素之氣膠(Aerosol)輸送至電漿(Plasma)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(Mass spectrometer)，配合質量分析器(Mass analyzer)將各特定質荷比(Mass-to-charge ratios)之離子予以解析後，再以電子倍增器加以檢測，並進行多元素之定性及定量。本儀器使用四極柱質量分析器，幾乎可在同一時間狀況下作多元素的分析，因此感應耦合電漿質譜儀具有分析速度快、偵測極限低及樣本消耗量少的優點。

質譜儀在當天分析之前會以校正溶液(10 ppb, Mg, Cu, Rh, Cd, In, Ce, Ba, Pb, and U, Perkin Elmer)來調機並確認儀器的狀況。檢量線是由各元素標準液(1000 ppm Stock Solution, Merck)混合、酸化並稀釋至適當濃度之後分析所得。另外為確保實驗及分析結果的可信度，在每一批次分析的同時都會分析標準參考樣本(SRM1648)，並分析內標準品(In)監視儀器飄移狀況，消化空白則是用來扣除試劑及實驗過程中的背景。

本研究以感應耦合電漿質譜儀分析了以下 Al、Fe、Na、Mg、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Ag、Cd、Sn、Sb、Tl、Pb、V、Cr、As、Y、Se、Rb、Cs、及 Ga 等微量元素，分析時的各項參數如下：

表 3.5 ICP-MS 分析時使用參數。

Nebulizer Gas Flow Rate（L/min）	0.88
RF Power（Watts）	1250
Lens Voltage （Volts）	7.5
Analog Stage Voltage （Volts）	-1950
Pulse Stage Voltage（Volts）	1250
Scanning Mode	Peak Hopping
Dwell Time （ms）	100
Detector Mode	Dual （Pulse & Analog）

LA-ICP-MS

此方法是將雷射剝蝕系統(Laser Ablation System, UP213, New Wave Research, USA)連接於上述質譜儀的前端，直接以雷射將樣本剝蝕後由載流氣體帶進質譜儀分析，此方法比傳統的酸消化感應耦合電漿質譜(MW-ICP-MS)更節省時間且可避免過多前處理所造成的汙染，圖 3.12 為本研究實驗所使用的雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀，我們參考了文獻(Aeschliman et al., Arevalo et al., 2010,2003, Hola et al., 2009, Tanaka et al., 1998)以 2 公尺長的鐵氟龍管將雷射剝蝕後所產生的樣本經由載流氣體(Ar)帶至質譜儀分析。

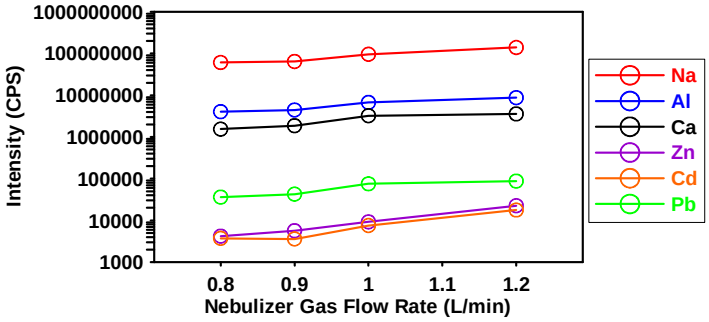


圖 3.12 LA-ICP-MS 配置圖，右後方為雷射剝蝕系統、前方為質譜儀。

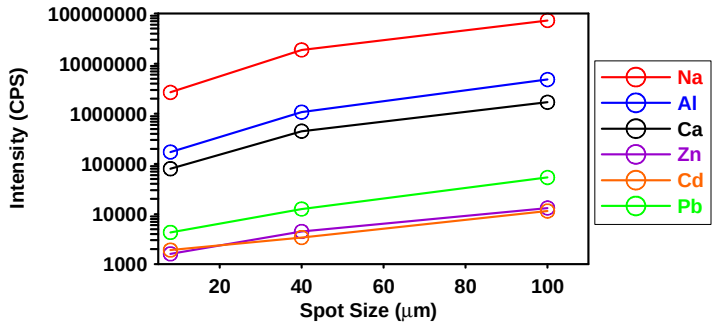
為了備製與氣膠標本相同基質的檢量線標準品，本研究以粉末分散器(Small Scale Powder Disperser, Model-3433, TSI, USA)將標準參考樣品以均速且穩定的抽取至擴散室，這些標準參考樣品在擴散室內分散後再以抽氣幫浦將標準參考樣品過濾、收集於事前準備、乾淨且前秤的鐵氟龍濾膜上。

與傳統質譜儀的分析相同，雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀為了有較好的分析結果，在進行分析之前會針對儀器的各項參數進行最佳化，我們分析參考標準品 NIST-612 (Brown et al., 2011)，其實驗結果如下:

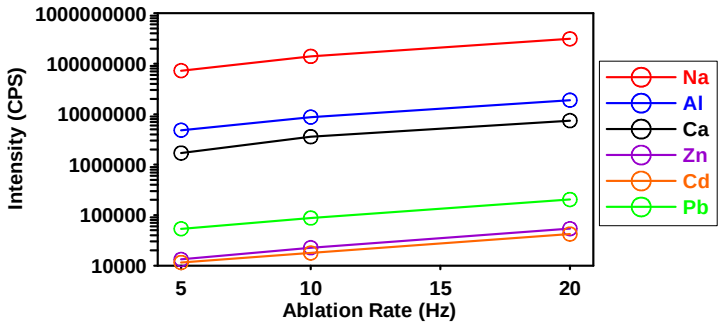
(1)不同霧化器流速：0.8、0.9、1.0 及 1.2 L/min，其他條件固定：Spot Size 100 μm、Ablation Rate 10Hz、Scan Speed 15 μm/sec



(2)雷射孔徑：10、40 及 100 μm，其他條件固定：Flow Rate 1.2 L/min、Ablation Rate 5Hz、Scan Speed 15 μm/sec



(3)雷射剝蝕頻率：5、10 及 20 Hz，其他條件固定 Flow Rate 1.2 L/min、Spot Size 100μm、Scan Speed 15 μm/sec



由以上測試結果可知元素的感度與霧化器流速、雷射孔徑、雷射剝蝕頻率成正比，但是若將此條件套用於實際的大氣氣膠標本之上，會因雷射能量太強造成濾紙破損而無法進行分析，因此在分析真實的大氣氣膠樣本時，我們決定各項參數如表 3.6:

在每天分析開始時會以 NIST-612 來確認儀器的狀況，表 3.7 為 NIST-612 分析各元素感度的平均值、標準偏差及相對標準偏差值，各元素之相對標準偏差值介於 10±3%之間(Pb 為 1.2%)。

表 3.6 LA-ICP-MS 分析時使用參數。

ICP-MS	Argon Gas Flow Rate（L/min）	1.2
	RF Power（Watts）	1250
	Lens Voltage （Volts）	7.5
	Analog Stage Voltage （Volts）	-1950
	Pulse Stage Voltage（Volts）	1250
	Scanning Mode	Peak Hopping
	Dwell Time （ms）	100
	Detector Mode	Dual （Pulse & Analog）
Laser Ablation	Wavelength (nm)	213
	Ablation Rate (Hz)_Aerosol	1

	Ablation Rate (Hz)_NIST612	10
	Spot Size (μm)_Aerosol	40
	Spot Size (μm)_NIST612	100
	Fluence (mJ)	2~6
	Scan Speed (μm/sec)	15

表 3.7 NIST-612 分析各元素的平均感度值、標準偏差及相對標準偏差值(n=7)。

	Mean±S.D.	RSD
Na	29204186±2223044	8
Mg	10251±1062	10
Al	1562176±172172	11
K	106314±7486	7
Ca	916502±86995	9
Ti	112762±11614	10
V	19159±1667	9
Cr	21491±2281	11
Mn	20851±2341	11
Fe	918±93	10
Co	12480±1375	11
Ni	3000±284	9
Cu	6016±579	10
Zn	5383±588	11
As	2311±271	12
Sr	54753±4995	9
Ag	2816±329	12
Cd	1878±210	11
Ba	28454±2434	9
Pb	11953±143	1.2

可能問題及研究策略

事實上目前 LA-ICP-MS 所用的校正定量標準品不外乎三種: 其一，以標準參考品(尤其是 SRM1648)在一個模擬室(chamber)中擾動混合，再抽至濾膜上，仿真實大氣濾膜樣本； 其二，以混合標準溶液滴於濾膜；其三，樣本除以 LA-ICP-MS 分析外，少部分另以傳統消化後分析，以作為其他 LA-ICP-MS 分析樣本之比較修正定量之基準。但這些方式都無法準確反映真實大氣環境微粒化學特性；理由在於，標準品與大氣樣本事實基質可能不盡相同，譬如大氣次微米及奈米顆粒常常含有高比例的 OC/EC 及硫酸銨顆粒，尤其碳顆粒含量常高於 50%，然而這些實驗室製備用以定量的『標準品』卻相對低許多或沒有。根據研究顯示 NIST SRM 1648 中約含 12%的 OC、1.5%EC（TC certificed value 13.1%）（Khan et al., 2009），顯然低於真實樣本許多；若以微波強酸消化，這些碳顆粒理論上皆已被氧化分解，所以消化溶液相對基質單純，標準品與樣本皆同；因此清楚了這個最重要差異後，我們便設計製備一系列最接近真實樣本基質的標準品。

為達成本計劃目標之一[評估建置空氣中奈米微粒之 MOUDI 採樣串聯雷射

剝離感應耦合電漿質譜儀(LA-ICP-MS)進行元素分析之可行性]，檢測分析方法必須能直接分析微粒成分，提高檢測分析品質及能力，以期開發前瞻性的環境奈米物質量測及特性分析技術，茲訂定金屬成分分析方法之研究策略。

1. 參考發表之文獻，仿過往研究中所使用的標準品或校正方法，例如：標準溶液滴于濾膜上再以甲基藍染色、IR 燈照射乾燥，以及將 SRM 1648 混合抽取至濾膜上。
2. 一半濾膜樣本以 LA-ICP-MS 分析，另一半的濾膜樣本仍須以傳統微波酸消化處裡後分析，據以比較，評估準確性。
3. 製備一個全新不同於以往的濾膜標準品，計畫將以 SRM1648 與富含碳顆粒的 NIST SRM 1633b 混合成不同比例，製備可能最擬真實樣本的標準品。
4. 由於 SRM1648 相當昂貴(僅 2 克，報價近台幣兩萬)，將評估以其他土壤、沉積物及飛灰標準品(如 BCSS1、SRM 1646a、MESS-3、SRM 2711a、SRM 2702、SRM 1633b 等)取代 SRM 1648 的可能性。
5. 以 SEM 觀察雷射剝蝕後樣本之坑洞，以決定最佳雷射輝度及雷射光束斑點大小。

期許本研究可建立最佳之 LA-ICP-MS 分析流程及條件，並製備最擬真實大氣樣本之參考標準品，為國際同儕所認可。

品質管制 QA/QC

1. 所有品管數據應加以保存以利日後參考或查閱。
2. 儀器偵測極限(IDL)以 μg/L 為單位，至少每 3 個月重新製作 IDL 一次並保存紀錄。IDL 係連續分析 7 次試劑空白溶液，以其 3 倍之標準偏差值表示。
3. 本實驗亦以空白濾紙的分析值三倍標準偏差值計算了MW-ICP-MS方法偵測極限(MDL)，如表3.4。而表3.8為LA-ICP-MS之方法偵測極限(MDL)，將以元素感度(CPS)來表示。

表 3.8 LA-ICP-MS 方法偵測極限，雷射能量 40%，單位為感度(CPS)。

	Intensity (CPS)
Na	24
Mg	6
Al	97
Ti	15
V	64
Ni	8
Cu	7
Zn	16
As	12
Sr	9

Cd	2
Ba	2
Pb	36

4. 分析過程中須監測內標準品元素 In 信號強度之變化情形，當樣品中任何內標準元素之信號強度衰減至最初檢量線中內標準品信號強 30%以下時，則可能發生基質效應，儀器之偵測極限會因基質干擾效應之發生而改變。當發生上述情形時，可依下列程序檢查導致內標準品信號衰減之原因：首先可利用分析檢量線空白溶液中之內標準信號，確認儀器之檢測效能(Analytical performance)是否有明顯地漂移現象，若檢量線空白溶液中之內標準信號強度亦出現明顯衰減現象，則需終止所有分析工作，待查明原因，並解決導致儀器分析效能改變因素後，始得重新建立檢量線，並分析導致基質效應之樣品；如導致內標準品信號衰減原因不是源自儀器效能之飄移時，則可利用稀釋方式，降低樣品中基質濃度，以達到移除基質干擾之目的。此時，可根據內標準品信號衰減之嚴重程度選擇適當之稀釋倍數進行樣品稀釋，並重新添加適量內標準品進行分析，如果第一次稀釋無法消除基質干擾問題，即必須重複上述稀釋程序直到內標準品信號強度提升至檢量線標準溶液中內標準品信號強度 70 %以上。
5. 每 12 小時或於開始分析樣品前，需以干擾查驗液進行分子離子干擾之查核工作。由於干擾查驗液中部分元素有可能會發生沉澱問題，故在檢測過程中應注意是否有類似問題發生。
6. 為得到高品質分析數據，藉由同時測量分析物以外之干擾離子，作為決定是否須使用校正方程式之依據。當儀器分析過程若有質譜性干擾，於分析結果中必須針對被干擾之元素，並註明被校正之干擾信號佔所有分析信號之百分比及校正方程式中未置入校正之干擾物種。
7. 儀器檢量線查核
   A. 以檢量線空白溶液和檢量線確認溶液進行檢量線查核。
   B. 每分析 10 個樣品，須以檢量線確認溶液和檢量線空白溶液進行檢量線查核。另外，在分析樣品前後，也必須以上述查核溶液進行檢量線查核。
   C. 檢量線確認溶液之分析結果差異均必須小於配製值之 10%，否則必須停止分析，待問題修正後，再重新利用檢量線確認溶液進行儀器之校正查核。另外，當發現檢量線查核結果不符時，受影響之樣品應利用重新製作之檢量線再次進行分析。
   D. 每個元素之檢量線空白值必須小於 2 倍 MDL 值。若發現檢量線空白值大於 2 倍 MDL 值時，必須檢查誤差原因並改善後，受影響之樣品亦必須重新分析。
8. 配製空白分析主要為確認待測樣品是否於樣品分析過程中遭受污染。對於每一批次樣品之分析測定，至少需包括一個以上之方法空白樣品，且該樣品必須依循完整之樣品製備程序處理。方法空白樣品之製備為與樣品採樣相同

過程進行空白採樣，並與萃取樣品微粒上金屬成分相同步驟進行萃取，再以完整分析程序進行分析。分析步驟包括前處理、消化處理、樣品稀釋、過濾處理和分析測定等。

9. 實驗室品管樣品(LCS)應以與待測樣品相同之前處理方法、測定及品質管制程序進行分析，每批樣品或至少每 20 個樣品應進行一個實驗室品管樣品分析。

10. 同一批次或 20 個樣品做一次重複分析，若同時有不同基質之樣品時，每種基質之樣品均需進行重覆分析。對於分析物濃度大於儀器偵測極限值 100 倍之樣品而言，其重覆分析之相對百分偏差值範圍必須在±20%以內。

11. 於消化後之樣品或經稀釋樣品中添加適量之標準品，其回收率應在 75~125%之間或是在實驗室自訂之管制標準內。如果添加標準品之回收率不在管制範圍內，樣品必須加以稀釋並重新分析，以確認是否已有效抑低基質效應。亦可直接利用標準添加法進行定量的工作。

12. 稀釋測試(序列稀釋)：

    如果樣品中分析物之濃度落在儀器線性範圍內，即可利用稀釋法來確認是否有非質譜性之干擾存在。一般而言，若稀釋 5 倍之分析值與未稀釋樣品分析值間之差異超過 10%以上時，則可能發生非質譜性干擾效應。同一基質之批次樣品中，至少每 20 個樣品必須做一個稀釋測試，以確認是否有非質譜性干擾。

13. 本研究中使用 NIST SRM1648 標準參考品做為最終驗證數據品質之依據，標準參考品亦依標本的微波消化處理與隨後 ICP-MS 分析之流程，其結果（準確度與精確度）如表 3.9。並且在標本進行 ICP-MS 分析時，檢量線製做好後，旋即分析 SRM1648 消化溶液，回收率必須多落在 100±10%以內才能繼續分析，否則重新分析。一旦開始分析，每分析 15 至 20 個標本後，必須再分析 SRM1648。

表 3.9 標準品 NIST SRM1648 分析結果，包括準確值及精確值。

	Certified value (μg/g)	Accuracy (%) (n = 5)	Precision (%) (n = 5)
Al	34200	96	3
Fe	39100	95	1
Na	4250	102	3
Mg	8000	98	2
K	10500	95	3
Ca*	53810	108	2
Sr*	237	92	2
Ba	737	99	2
Ti	4000	97	2
Mn	786	100	3
Co	18	95	4

Ni	82	105	4
Cu	609	92	1
Zn	4760	96	3
Mo*	15	107	5
Cd	75	95	3
Sn*	124	108	4
Sb	45	103	1
Tl*	1.9	125	3
Pb	6550	93	2
V	127	100	1
Cr	403	93	1
As*	99	108	1
Y*	13	115	4
Se	27	105	8
Ge*	12	118	4
Rb*	52	92	3

*NIST 僅提供 non-certified 或 reference values.

3.1.4 空氣奈米微粒有機成分（PAHs）採樣及分析技術研究

研究指出奈米微粒(< 0.1 μm in diameter)在相同質量下比大微粒具有更大的表面積，誘發之氧化壓力(oxidative stress)效應相對較大(Li et al., 2003; Nel et al., 2006)。氧化壓力可引起表皮細胞或巨噬細胞產生細胞激素，造成呼吸系統的危害。另有研究指出空氣中的半揮發有機物(semi-volatile organic compounds, SVOCs)易吸附於奈米微粒上 (Eiguren-Fernandez et al., 2003)，SVOCs 中的多環芳香碳氫化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)因具有突變性與致癌性，特別受到學者重視。傳統 PAHs 的採集方式大都採用以粒狀物相/氣相方式進行，先收集粒狀物相 PAHs 於濾紙上，後端放置以聚氨基甲酸酯泡棉與樹脂填充玻璃套筒進行氣相 PAHs 吸附。然而，這些方法不能避免氣相 PAHs 吸附在前端採集微粒的濾紙上，也無法避免微粒上 PAHs 可能因揮發而造成負向偏差。本研究目標在開發空氣奈米微粒 PAHs 採樣及分析技術與方法，並進行檢測誤差之探討。為了增加奈米微粒收集量以分析 PAHs，並在增加總採集氣體量後仍可於濾紙前端有效移除氣相 PAHs，本計畫今年採用長 60 cm，8 環之環形擴散採樣管。計畫初期先建立此環形擴散採樣管搭配 MOUDI 採樣系統與其前處理及採樣後之樣品分析方法，了解環形擴散採樣管對 PAHs 之吸附效率，接著評估奈米微粒 PAHs 之採樣正、負向偏差，同時亦解析不同粒徑範圍 ($PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$)之 PAHs 分佈特性。本計畫工作內容說明如下：

採樣設備與採樣方法

本研究利用兩台微孔均勻沈積衝擊器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI) 同步進行奈米微粒 PAHs 採集比對，採樣系統配置如圖 3.13

所示。其中一台 MOUDI 前端加裝環形擴散採樣管(Annular Denuder, AD)與後端加裝聚氨基甲酸酯泡棉(Polyurethane Foam, PUF)，另一台 MOUDI 則只於後端加裝 PUF。

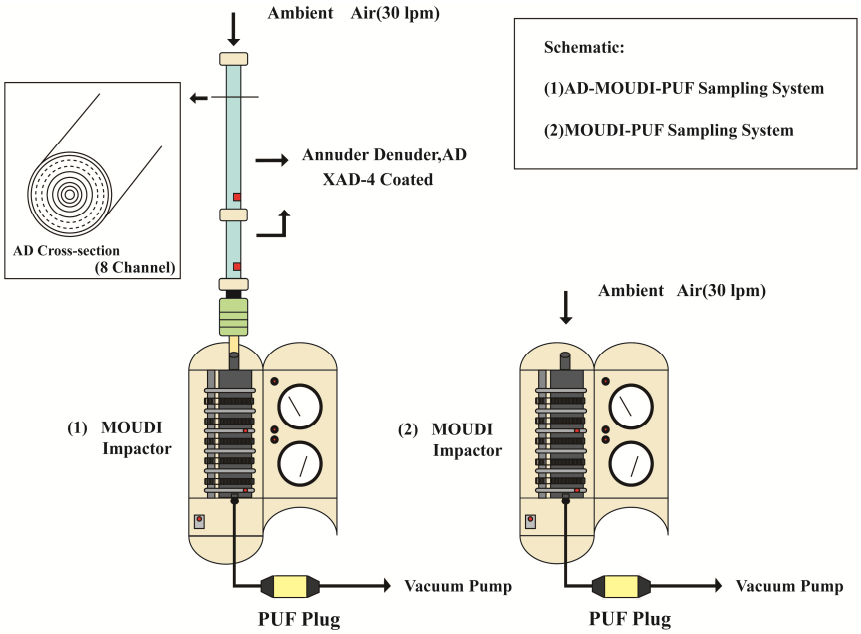


圖 3.13 奈米微粒 PAHs 採樣系統配置圖。

環形擴散採樣管

擴散採樣管（Denuder）的採集原理是利用氣體在通過採樣器內部空間時，由於擴散特性與管壁接觸後，再由預先塗覆在管壁上的溶劑物質所吸收，進而透過儀器分析其濃度。其原理是利用氣相擴散係數大於固相擴散係數 10^3~10^6 之差距，氣相物質通過擴散管內部時，氣體分子以擴散作用而與管壁相接觸，再由預先塗敷之吸附劑所吸收，一旦氣體化學性吸收或物理性吸收於管壁內側即不再脫附。通常流量為其應用上之限制條件，若氣體流量夠小，使氣流保持在層流狀態（雷諾數 Re < 2300），幾乎可完全被管壁所塗敷之吸附劑吸收。

XAD 吸附劑

吸附（Adsorption）係指當氣體分子接近固體物質附近，彼此間會產生互相吸引的作用力，使得氣體分子附著在固體上。微孔介質 XAD 為高分子聚合而成的多孔性物理性吸附劑，吸附機制主要是利用凡得瓦爾力（Van der Waals Forces）進行，其中凡得瓦爾力來源為 London's 擴散力（Dispersion Force）。物理吸附反應屬快速非活性可逆反應，反應特徵為吸附質分子與吸附劑表面無電子共用或交換作用，且兩者間組成並無改變。但因為凡德瓦力對有機氣體吸附力較弱，吸附質與吸附劑相互作用的鍵能不高，吸附反應的熱量多小於 10 kcal/mole，才可達到平衡速率快且其吸附多為可逆反應。所以吸附有機氣體需要較長的停留時間或較大的吸附面積。

XAD 吸附劑種類繁多(種類及物理特性如表 3.10 所示)。屬於非極性的 XAD-2、XAD-4、XAD-16 適用於吸附芳香烴化合物（如 PAHs、戴奧辛等）。

若以 XAD 微孔介質特徵 (孔徑與比表面積) 解析其吸附效能差異，吸附劑之孔徑、比表面積、極性等特性皆會影響吸附反應，當吸附劑微孔孔徑小，相對比表面積大，對於僅發生於表面吸附的物理性吸附而言，大幅提高吸附量。潘(2005)以 XAD-2、XAD-4 與 XAD-16 三種微孔介質特徵 (孔徑與比表面積) 解析其吸附效能差異，顯示經比表面積加權後 XAD-16 效能略低於 XAD-2，XAD-16 雖有高比表面積但無法顯示其吸附效能較優；而 XAD-4 吸附氣相 PAHs 效能明顯優於 XAD-16，顯示表面積越大吸附劑孔徑越小，將可有效提高 PAHs 吸附效率。此外 Gundel et al. (1995) 之研究將 XAD-4 從直徑 0.8 mm 研磨成 0.75 μm，表面積可增加約 1000 倍，隨吸附劑粒徑減小，吸附劑與吸附質間的質傳阻力降低，吸附效率就越高。圖 3.14 為 AD 內磨砂玻璃管壁與直徑 0.75 μm XAD-4 塗敷於磨砂玻璃管壁內的掃描式電子顯微鏡照片(Gundel et al., 1995)。

表 3.10 XAD 種類及其物理特性 (Rohm and Haas Company, 2000)。

XAD	Surface Area (m^2/g)	Pore envelope (Å)	Particle size (mm)	Porosity (mL/mL)
XAD-2	300	90	0.65	≧1.02
XAD-4	750	55-80	0.3-1.2	≧0.50
XAD-16	800	200-250	0.3-1.2	≧0.55
XAD-1180	500	400-450	0.2-1.9	≧0.60
XAD-1600	800	80-120	0.4	≧0.55
XAD-7	380	400-500	0.3-1.2	≧0.50
XAD-761	150-250	55-80	0.3-1.2	0.95-1.18

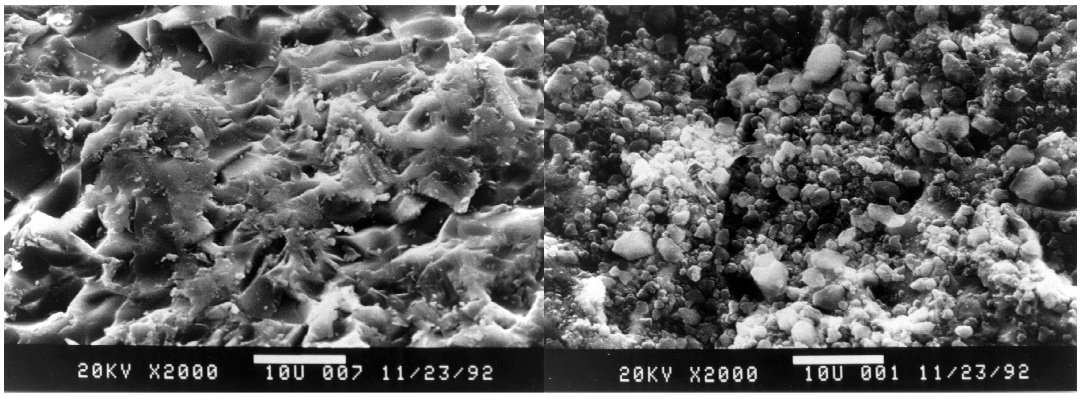


圖 3.14 擴散管內磨砂玻璃管壁(左)與 XAD-4 塗敷於磨砂玻璃管壁內(右)。

塗敷溶液

環形擴散採樣管塗敷方法是將吸附劑與塗敷溶液以一定的比例調配成泥漿狀，均勻地塗敷於管壁中。在已有的研究中 Peters et al. (2000)與 Possanzini et al. (2004)分別使用了環己烷與正己烷作為樹脂塗敷 AD 之介質，但因為使用不同試劑會對採樣效率造成影響，康等人(2007)將兩種試劑對採樣效率影響進行比較，分別使用正己烷與環己烷來當塗敷 AD 之介質(吸附劑使用 XAD-2)，同時採集環境中 PAHs，共進行三次，平均採樣效率列於表 3.11。發現兩種介質有一定的

差異；正己烷塗敷 AD 比環己烷塗敷 AD 濃度平均高 12.5%，正己烷效果較佳，因此本研究亦使用正己烷作為塗敷溶液。

表 3.11 不同介質採樣效率比較 (康等人,2007)。

PAHs	平均回收率(%)			
	環己烷	RSD/%	正己烷	RSD/%
Nap	70.69	11.55	69.69	16.52
AcPy	79.26	9.34	78.43	3.90
Acp	78.30	8.55	75.19	2.82
Flu	92.07	3.38	90.27	0.87
PA	88.55	3.39	90.85	5.02
Ant	84.53	7.22	82.40	6.82
FL	88.81	3.64	91.47	2.29
Pyr	87.53	10.03	86.49	8.44
Total PAHs	79.33	10.12	79.97	9.23

環形擴散採樣管採樣前處理流程

本研究使用之 Annular Denuder 為美國 URG 公司出產，型號為 URG-2000-30B8，採樣管外徑 52 mm、內徑 48 mm，管長 600 mm，採樣管內部為 8 圈間隔的磨砂玻璃管，從中心向外間距分別為 1.0、1.0、1.2、1.0、1.0、1.0、1.4 和 1.2 mm，適用之流量最高可達 100 L/min。

本研究使用 XAD-4 與正己烷當作塗敷於 AD 上的吸附溶劑，塗敷方法參考 Research Triangle Institute (2008)所公佈的環形固氣分離器塗敷樹脂之標準程序，進行 AD 採樣前處理。XAD-4 須先經過超純水、甲醇、二氯甲烷、正己烷等溶劑分別回流淨化二十四小時，風乾後磨成粉末狀(ca. 0.75 μm)，秤約 1.3 g 磨成粉末的 XAD-4 加入 200 mL 正已烷，放入超音波震盪器中，於室溫下震盪 30 分鐘以清除樹脂中可能含有之 PAHs。接著將 XAD 泥漿倒入 AD 中，以雙手支撐並使其上下倒置 20 次，再轉動 denuder 將泥漿緩緩倒入燒杯中。倒出時保持旋轉，使泥漿在環型玻璃上形成條紋的現象降到最低。之後加入乾淨的正已烷於裝倒出泥漿的燒杯，使泥漿體積超過 200 mL，再次放入震盪器中持續震盪。然後利用高純氮氣將塗敷好的 AD 風乾，接著再次塗敷泥漿，重複步驟至少 7 次。在最後的塗敷步驟後，利用乾淨的正已烷沖洗塗敷好的 AD 兩次以去除顆粒較大的樹脂微粒。完成 AD 採樣前處理將架設於 MOUDI 上。

微孔均勻沈積衝擊器

MOUDI 為一種採集氣懸膠的階段式衝擊器，由美國 MSP 公司出品，型號為 Model No. 100，其構造屬於多層連續式衝擊器裝置。構造包含兩個基本部份，一為階段式衝擊器(Cascade impactor)，另一為旋轉器。階段式衝擊器由 10 個階段組合而成，採樣時可選取 10 個大小不同階段，依序排列組合而成，而小於該層之截取粒徑的顆粒，則會隨氣流的帶動往下一個階段移動。如此由上而下逐漸縮小其截取粒徑，可將空氣中顆粒加以分類收集於濾紙上。本計畫使用兩台

MOUDI，其中一台在 MOUDI 入口端加裝 AD 將氣相 PAHs 吸附(移除)，去除採樣時所造成的正向偏差，另外一台入口端則不加裝 AD，所以微粒及氣體皆會進入 MOUDI 中，以探討微粒採樣時所造成的正向偏差。實驗設計在兩台 MOUDI 的尾端都加裝上 PUF，此作用在於評估 AD 吸附氣相 PAHs 是否達到飽和與評估收集於濾紙上之 PAHs 是否有揮發現象(負向偏差)之根據。本計畫拆除部份 MOUDI 衝擊器，僅保留 MOUDI 之 3 個粒徑範圍，分別為 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$。

本計畫所使用的濾紙有兩種，鐵氟龍濾紙(Teflon)及石英濾紙(Quartz filter)。本計畫分別以鐵氟龍濾紙與石英濾紙進行採樣，文獻上指出石英濾紙容易吸附有機物而造成正向偏差，鐵氟龍濾紙則無明顯正向偏差問題，本計畫比較石英濾紙與鐵氟龍濾紙上 PAHs 之濃度，以評估利用石英濾紙收集奈米微粒所可能造成 PAHs 分析之正向偏差。

採樣

奈米微粒 PAHs 採樣系統 AD-MOUDI-PUF 國內未曾建置，為了評估 AD 塗敷 XAD-4 吸附氣相 PAHs 飽和效能與奈米微粒 PAHs 在儀器分析偵測上所需的量，本計畫於台中市霧峰區朝陽科技大學校園進行大氣樣品採樣。採樣時間設定為 24 hr，採樣完成後於 2 小時內進行樣品萃取以避免運送損失。

樣品分析

PAHs 分析

本計畫分析美國環保署建議優先列管之 16 種 PAHs，其分子量、結構式及物理特性如表 3.12 所示。由於 PAHs 之濃度無法以直接監測法測得，因此採得之樣品必須先經前處理步驟，才能以儀器測定之。PAHs 前處理及分析程序包括萃取、濃縮、管柱淨化、再濃縮及氣相層析質譜儀分析。PAHs 分析程序分述如下:

(1) 樣品萃取

有效的萃取分析為 PAHs 定性及定量的重要步驟，由於 PAHs 本身之極性不高，易溶於非極性或弱極性之有機溶劑中。AD 管內樣品萃取 PAHs 方法，以正己烷(n-Hexane)與二氯甲烷(Dichloromethane)混合液(體積比為 1∶1)萃取 ADS 管中的 PAHs，將混合液倒入管中(約半分滿)，來回搖晃 20 次(需 10 個完整的循環)，讓它均勻混合在管中，再將管中液體旋轉倒出(每管需重覆動作四次)，放入超音波震盪器中，於室溫下震盪 30 分鐘，然後使用濾頭過濾後放置於琥珀色的玻璃瓶以避免光衰減，文獻指出此方法可有效萃取 AD 管內中的 PAHs (Fernandez et al., 2003) 。

濾紙之萃取液使用由 50%二氯甲烷及 50%正己烷配製之萃取液。將採樣過程取得粒狀物之濾紙樣本先置於乾燥箱中 24 小時，使其含水分達到平衡，經稱重後可求得粒狀污染物之質量。萃取方法為將其置入小型索氏萃取器 (高 16 公分，內徑 4 公分) 中萃取。萃取器底下之圓底燒瓶之容積為 300 mL，內置 250 mL 的正己烷及二氯甲烷混合液，萃取 24 小時，每小時 4 個循環。萃取過程所有裝置皆放置於抽氣櫃中，萃取程序進行時，抽氣馬達必須打開，以避免溶劑蒸氣蓄積室內危害人體健康或引起火災。在萃取過程中，為減少 PAHs 之衰減，應

儘量避免光線之照射。萃取後之 PAHs 樣品經高純氮氣吹拂法濃縮至 2 mL，再進行後續之淨化程序。所有樣品在採樣後 3 天內必須進行萃取程序，萃取後 10 天內必須完成 GC/MS 之分析程序。

(2)萃取液濃縮

萃取液以高純度氮氣吹拂法濃縮。氮氣吹拂法，係將樣品以高純氮氣緩慢吹拂濃縮樣品至約 2 mL。

(3)萃取液淨化

本實驗採用管柱分離之淨化法，淨化之目的係為去除樣品中之干擾物質，以避免氣相層析儀分析時產生過多雜訊，影響分析結果。淨化管填裝方式係將已處理過之矽膠 (Silica gel) 17 g 與正己烷充分攪拌後，再以乳頭吸管吸取，填入淨化管中。矽膠上方，覆上 1 g 無水硫酸鈉，使萃取液中之水分及其他高極性物質得以與樣品分離。管柱中所填充之矽膠及無水硫酸鈉須經預處理才能使用，矽膠須先置於 105°C 之烘箱內乾燥 8 小時，稱重 15 g 再加 3%之蒸餾水予以活化。而無水硫酸鈉則於淨化前置於 400°C 烘箱內活化 24 小時。在最初使用之前，先用正己烷清洗淨化管以去除任何微量之污染物。之後將 2 mL 之樣本倒入淨化管內再加入 25 mL 之正己烷沖洗管柱內殘留之 PAHs，再以體積 200 mL 之正己烷倒入淨化管中，由三角錐瓶收集淨化液。

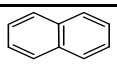
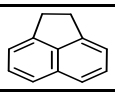
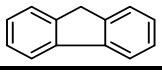
(4) 淨化液再濃縮

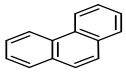
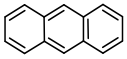
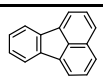
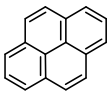
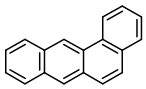
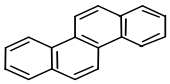
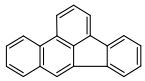
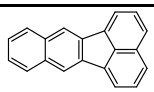
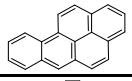
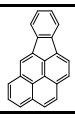
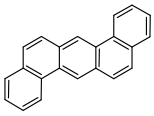
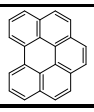
淨化完之溶液再以氮氣吹拂至 1.0 mL，裝於密閉之棕色玻璃小瓶內，以 GC/MS 分析；若無法馬上分析，樣品須置於冰箱冷凍庫中低溫保存，以減少樣品中 PAHs 之衰化反應。

(5)氣相層析質譜儀(GC/MS)分析

本研究使用之分析儀器為 Agilent 6890/5973N 之氣相層析質譜儀 (Gas Chromatography/Mass Spectrometer, GC/MS)進行 PAHs 之分析，採用 Agilent-7683 系列自動注射系統 (Auto-Sampler)，並由 Agilent KAYAK-XM600 之電腦工作站程式控制。本實驗設定每次注射之樣品量為 1 μL，於注射樣品前後，注射針頭以正己烷及二氯甲烷分別清洗 5 次，氣相層析儀質譜儀內配置之管柱為 Agilent Ultra 2，內徑 0.32 mm，厚度 0.17 μm，長度為 50 m。其升溫程式為：初始溫度 50℃。第一段升溫速率 20℃/min，升至 100℃。第二段升溫速率為 3℃/min，由 100℃升至 290℃後維持定溫 40 分鐘。樣本注射口之溫度設定為 310℃，而離子源 (Ion Source) 之溫度設定為 310℃。

表 3.12 十六種 PAHs 之分子量、結構式及物理特性。

化合物	縮寫	分子量	結構式
Naphthalene	Nap	128	
Acenaphthylene	AcPy	152	
Acenaphthene	Acp	154	
Fluorene	Flu	165	

化合物	縮寫	分子量	結構式
Phenanthrene	PA	178	
Anthracene	Ant	178	
Fluoranthene	FL	202	
Pyrene	Pyr	202	
Benz[a]anthracene	BaA	228	
Chrysene	CHR	228	
Benzo[b]fluoranthene	BbF	252	
Benzo[k]fluoranthene	BkF	252	
Benzo[a]pyrene	BaP	252	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	IND	276	
Dibenz[a,h]anthracene	DBA	278	
Benzo[g,h,i]perylene	BghiP	276	

品質管制 QA/QC

一、空白試驗

本研究為避免來自溶劑、試劑、玻璃器皿及其他樣品處理過程中所用之器皿的污染，造成人為誤差或偵測基線升高，所以這些物質必須在設定的分析條件下，進行空白分析，證明其無干擾。本研究分別針對溶劑、濾紙、現場、運送及採樣設備空白進行分析。

(1) 溶劑空白

溶劑空白為監測樣品在整個分析過程中導入的污染而設計之樣品。該樣品依與待測樣品相同前處理、分析步驟檢測之；由試劑空白樣品之分析結果可判知樣品在分析過程是否遭受污染。

(2) 濾紙空白

將不含待測物之濾紙，依與待測樣品相同前處理、分析步驟檢測之，由濾紙之分析結果可判知濾紙在萃取過程中是否會影響樣品分析結果。

(3) 現場空白

將不含待測物之環形擴散採樣器與濾紙盛裝在與待測樣品之相同採樣空間內，將瓶蓋旋緊攜至採樣地點，在現場開封並模擬採樣過程，但不實際採樣，密封後再與待測樣品同時攜回實驗室。依與待測樣品相同前處理、分析步驟檢測之；由現場空白樣品之分析結果可判知樣品在採樣過程是否遭受污染。

(4) 運送空白

將不含待測物之環形擴散採樣器與濾紙盛裝在與待測樣品之相同採樣空間內，將瓶蓋旋緊攜至採樣地點，但在現場不開封。於採樣完畢後與待測樣品同時攜回檢驗室，並以待測樣品相同之前處理、分析步驟檢測之，由運送空白樣品之分析結果可判知樣品在運送過程是否遭受污染。

(5) 採樣設備空白

微孔均勻沉積衝擊器以中性清潔劑清洗乾淨後以正己烷沖洗、環形擴散採樣器先使用去離子水以震盪的方式清理，在使用正己烷沖洗。收集此沖洗液，連同經前處理完畢待採樣之濾紙，分別再經重覆萃取、濃縮、淨化及再濃縮之程序，以確定取樣前採樣設備之空白值。

二、檢量線

檢量線 (Calibration Curve) 指以一系列已知待測物濃度之標準溶液與其相對應儀器感應訊號值，所繪製而成的相關曲線。標準品檢量線之建立須考量：

1. 製備檢量線時應依檢測方法所規定之步驟，配製適當濃度範圍的標準溶液。
2. 製備檢量線時至少應包括五種不同濃度 (不包括空白零點) 的標準溶液，其中 一濃度需接近但稍高於儀器偵測極限，其餘濃度可為偵測器工作濃度範圍內之濃度，但各濃度間之間隔必須平均分佈。
3. 檢量線相關記錄必須註明配製日期、檢測項目、標準溶液來源、標準溶液濃度、配製流程及儀器感應訊號值等資料。
4. 由儀器所得的感應訊號值相對應標準溶液濃度，繪成一相關線性圖。此線性圖必須以座標曲線方式表示，並標示其座標軸。
5. 利用直線的最小平方差方程式 (Least Square Error Equation) 可求得一直線迴歸方程式，並計算其判定係數 r^2。
6. 原則上上述線性之線性判定係數 r^2 應大於或等於 0.995。

3.2 實驗室奈米微粒的產生及物理化學特性分析技術開發

本研究參考ISO 10801與ISO 10808的標準，建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產生、監測、檢測及化學分析平台，並建立奈米微粒質量分析之績效評估樣品之製備技術與標準作業程序，實驗的流程如圖3.15所示，系統如圖3.16所示。產生的工程奈米微粒為Ag及ZnO，當系統可產生穩定粒徑分佈的奈米微粒後，參考ISO/WD 27891校正數目濃度與使用20、40、64、81及102 nm的微粒粒徑標準品--聚苯乙烯乳膠(3000 Series Nanosphere Size Standards, Thermo Scientific, USA)校正SMPS量測的粒徑。當校正完成後，即可進行微粒採樣及監測，使用的儀器與監測參數分別為量測質量濃度分布的MOUDI、量測總質量濃

度的濾紙採樣器、量測肺泡及胸腔的表面積濃度的奈米微粒表面積濃度測定儀(Aerotrak^{TM} 9000, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)、即時量測粒徑分佈的SMPS、即時量測微粒質量的氣膠微粒質量分析儀(Aerosol Particle Mass Analyzer, Model APM 3061, Kanomax Inc., USA)，而微粒大小與形貌觀察是將銅網裝置在個人奈米微粒採樣器或MOUDI的基板上，再以TEM觀測。以濾紙採樣器採集的奈米微粒的BET表面積以高解析比表面積分析儀(High Resolution Surface Area and Porosimetry Analyser, ASAP 2020, Micromeritics, GA, USA)分析。奈米物質化學分析使用ICP-MS與LA-ICP-MS分析濾紙採樣器所採集的微粒。

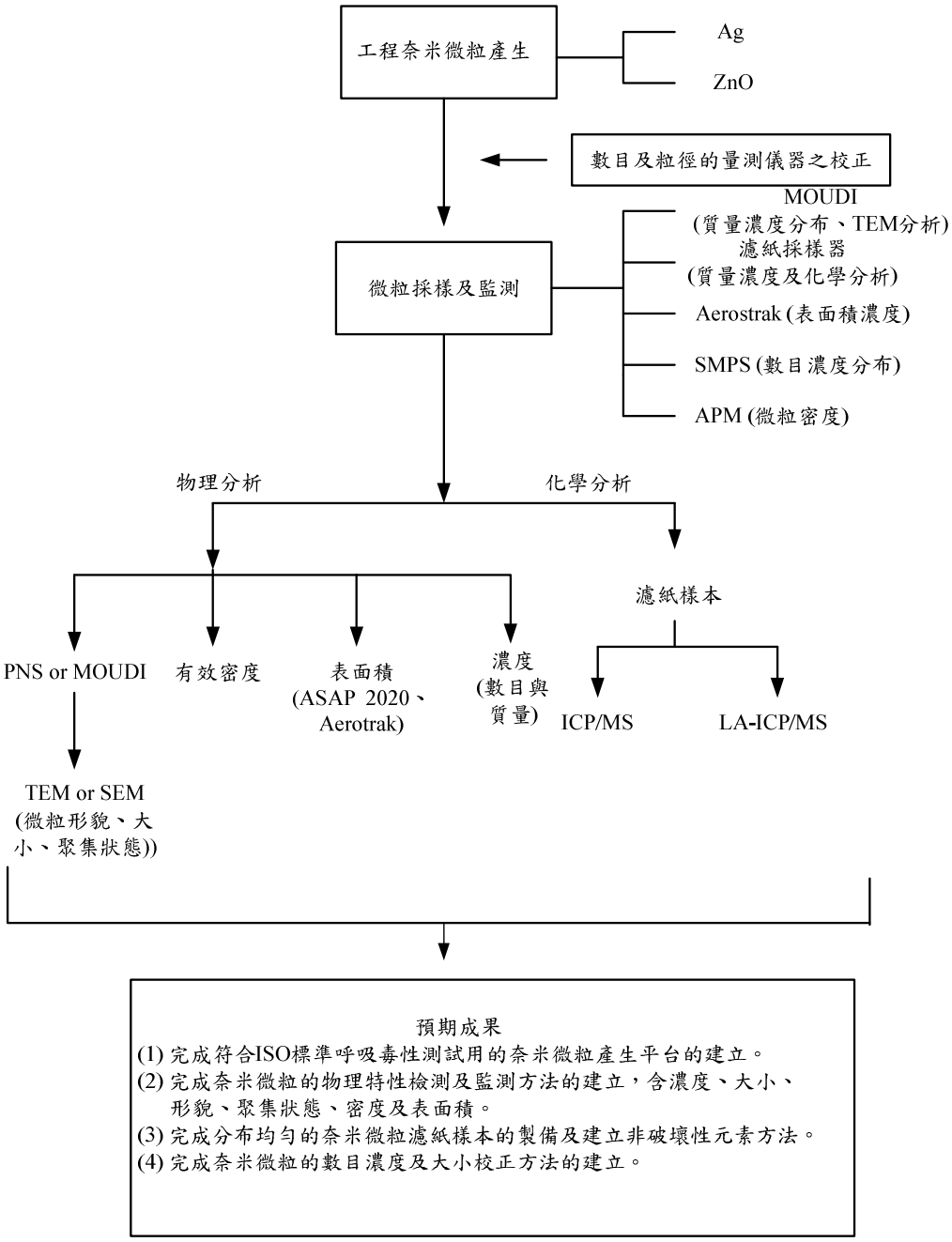


圖 3.15 奈米微粒產生及監測檢測系統之實驗流程。

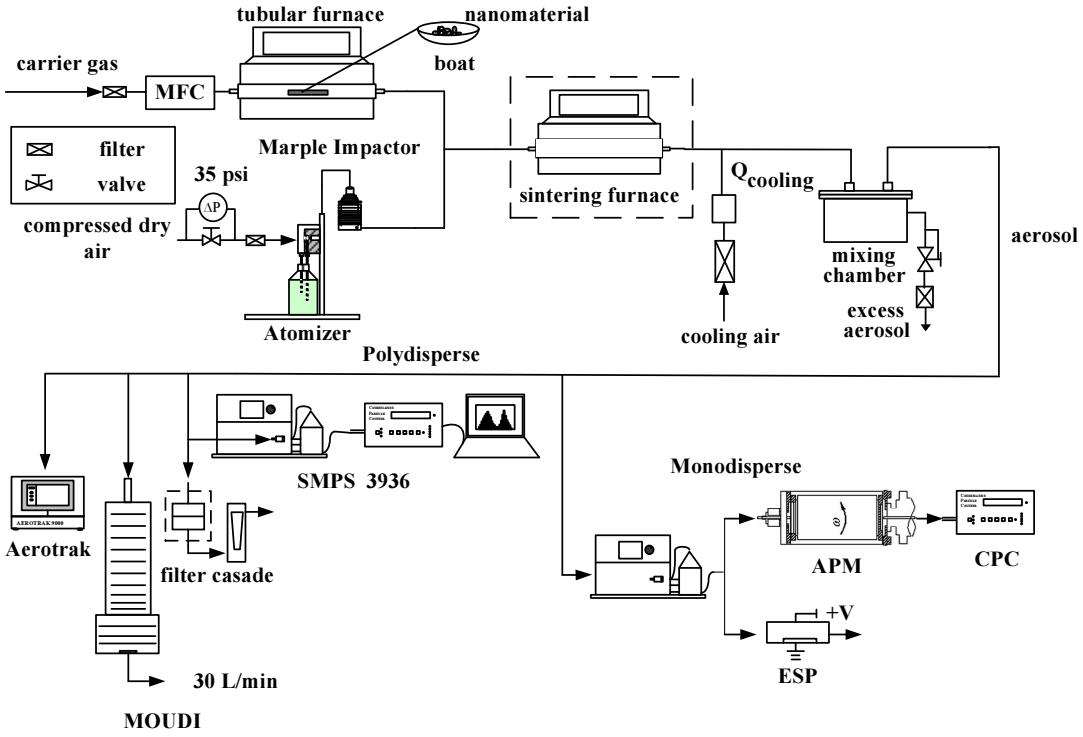


圖 3.16 吸入毒性試驗用的奈米微粒產生及監測檢測系統。

3.2.1 奈米微粒產生及監測檢測系統

本研究奈米銀微粒的產生方法分別為噴霧法與 ISO 10801 建議的蒸發/核凝法，以產生圓球或不規則狀的奈米銀微粒，並以高溫爐串接的方式觀察在不同的二次燒結溫度下，奈米銀微粒的形貌、粒徑分佈等變化。除了產生 ISO 10801 建議的奈米銀微粒，本研究也以蒸發/核凝法產生另一個廣泛應用的奈米物質-奈米氧化鋅。

奈米氧化鋅微粒的產生

奈米氧化鋅的產生方式為蒸發/核凝法，本研究先將鋅粉末(Zinc metal powder, 96%, Panreac Quimica S.A., Spain)放入高溫爐中加熱至 500°C 及 600°C。為了預防鋅蒸氣和氧氣反應並在裝載鋅粉末的陶瓷小船表面形成氧化鋅，進而阻隔小船內的鋅蒸氣向上蒸發，本研究以氮氣作為攜帶氣體。本研究在實驗過程中發現，傳統的高溫爐無法有效地產生氧化鋅微粒，經實際量傳統高溫爐加熱至 600 ^{o}C 時爐管內不同位置的溫度分布(如圖 3.17 所示)後發現，鋅與氧氣混合的地方因溫度過低導致和氧氣混合的是鋅微粒而不是鋅蒸氣，因此無法產生氧化鋅微粒。

為了改善此一情形，本團隊開發了一組新的核凝稀釋系統。如圖 3.18 所示，該系統由一段可供高溫爐加溫的陶瓷管及一段用來注入氧氣和循環水的稀釋冷卻管。此稀釋冷卻管可將氧氣注入陶瓷管內使得尚未冷卻的鋅蒸氣可直接和其反應形成氧化鋅，而通有循環水的冷卻管則可使剛形成之氧化鋅急速冷卻核凝

成氧化鋅微粒。

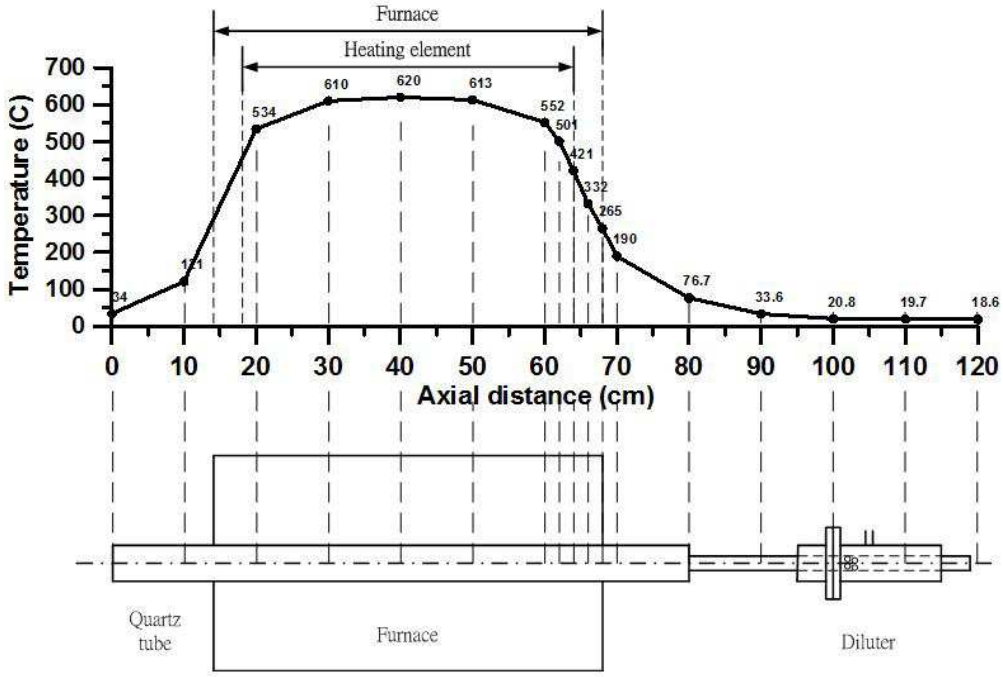


圖 3.17 當管式高溫爐設定溫度為 600°C 時，高溫爐的溫度曲線。

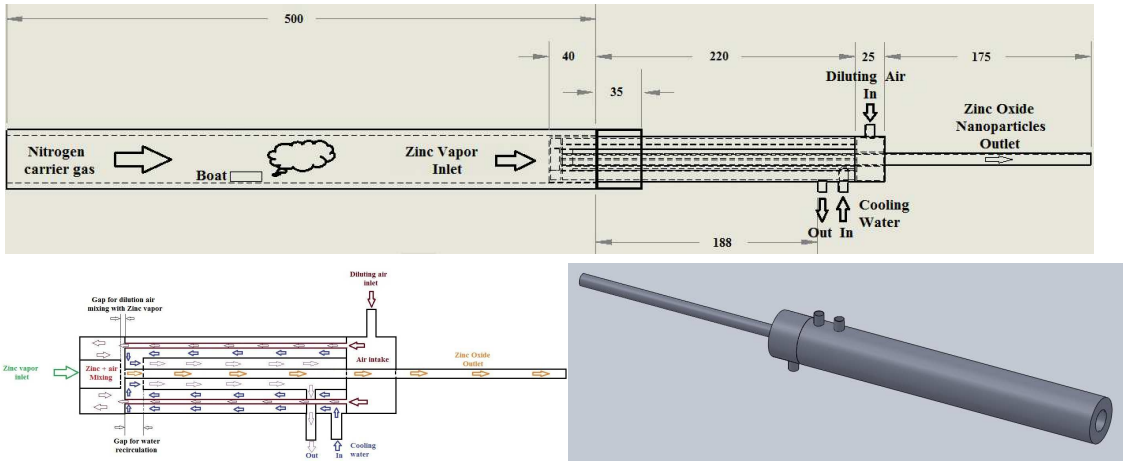


圖 3.18 核凝稀釋系統之設計圖(上)與冷卻管之示意圖(下)。

奈米銀微粒的產生

如圖 3.16 所示，以噴霧法由銀膠溶液(colloidal silver)產生奈米銀微粒時，本研究使用定量霧化器(Constant output atomizer, Model 3076, TSI Inc., MN, USA)霧化銀膠懸浮液(永郑材料，微粒粒徑 75- 100 nm，溶液濃度為 1000 μg/mL)以產生多徑奈米氣懸銀微粒。霧化出來的液滴之中，較大顆的液滴內可能包含多顆銀微粒，這些微粒可能會形成團聚微粒，為了減少這些團聚微粒，本研究在定量霧化器後方加裝一個 Marple 個人多階衝擊器，以去除氣動直徑大於 530 nm

的液滴，最後再經由擴散式乾燥管(Diffusion Dryer, PD-50T-12, Perma Pure PD. USA)將包覆在微粒上之水分。為了使數目中間粒徑(NMD)較小且純度較高，本研究也使用蒸發/凝結法產生奈米銀微粒，利用高純度銀粉末(silver powder, 2-3.5 μm, 99.9^{+} %, Sigma-Aldrich, USA)在管狀高溫爐中加熱，並以新設計的核凝冷卻系統產生產生銀微粒，高溫爐加熱溫度則根據 Weon et al. (2009) 的實驗方法設定為 1100°C。

以噴霧法及蒸發/核凝法產生出銀微粒後，再分別將產生的微粒導入第二台高溫爐，使得部分團聚微粒燒結為圓形微粒。為了觀察在不同的燒結溫度下微粒粒徑及形貌的改變，本研究將微粒在第二台高溫爐中的停留時間控制在 3 秒以上。而第二台高溫爐的不同溫度設定則是參考 Ku et al. (2005)的方法，分別為 24、100、150、200、250、300、400 和 500 ^{o}C。

奈米微粒監測檢測系統

奈米微粒的監測檢測系統包含量測微粒粒徑分佈的SMPS，量測胸腔區及肺泡區沈積的微粒表面積濃度的Aerotrak，即時量測微粒質量的APM，量測各粒徑區間質量濃度的MOUDI及總質量濃度的濾紙採樣器，其中濾紙採樣器的濾紙樣本可用ICP-MS及LA-ICP-MS作元素成份分析。

由於 LA-ICP-MS 分析濾紙樣本時，微粒需均勻的分布在濾紙上，因此使用如圖 3.19 的濾紙採樣器採集微粒。從高溫爐產生的奈米微粒導入採樣器的擴張段後，氣流流速降低使微粒有足夠的時間混合，可均勻分布在開放式濾紙夾所夾持的濾紙上，使用秤重之方法確認微粒重量後，再將濾紙裁半後分別使用 ICP-MS 與 LA-ICP-MS 分析微粒元素成份，確認兩種方法的回收率。另外亦可使用 MOUDI 採集微粒，因衝擊板及噴嘴板相對旋轉可使微粒更加均勻分布在濾紙上，有利於 LA-ICP-MS 的分析。

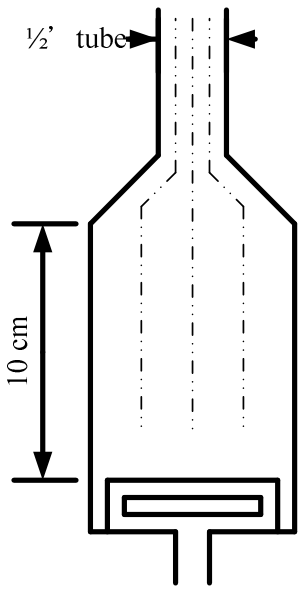


圖 3.19 濾紙採樣器(圖中虛線為微粒軌跡)。

奈米微粒的有效密度是用 MOUDI 採集奈米微粒後，再將各粒徑區所採集到濾紙上的微粒以秤重的方法定出各階的微粒質量濃度，同時以 SMPS 量測數目濃度分布，利用公式(3.3)計算出正確的質量濃度(C_M)，再使用公式(3.4)將質量濃度除以 SMPS 內的體積濃度(C_V)即可得到各粒徑區間微粒的有效密度。

$$C_M = \frac{Qt}{W} \tag{3.3}$$

$$\rho_{eff} = \frac{C_M}{C_V} \tag{3.4}$$

本研究亦使用微分電動度分析儀(DMA, Differential Mobility Analyzer)篩選不同的單徑微粒，微粒進入 APM 與 CPC 後可得到微粒的質量與數目濃度，可算出不同的單徑微粒的有效密度。以上兩種方式得到的有效密度可互相比較。使用 Aerotrak 可量測胸腔區及肺泡區的表面積濃度外，本研究亦將使用 ASAP 分析微粒的 BET 表面積作比較。

微粒大小與形貌觀察則使用個人奈米微粒採樣器(PNS, Personal Nanoparticle Sampler)與 MOUDI 作為掃描式電子顯微鏡(SEM)及穿透式電子顯微鏡(TEM)之樣品製備儀器，兩者分別使用 PCTE 濾紙(Polycarbonate Membrane Filters, P/N PCT30013100, Sterlitech)及銅網(Prod No. 01800-F, 200 Mesh Copper Grids, TED PELLA, INC) 作為樣品之載體，以觀察奈米微粒之團聚型貌。PNS 為本團隊最近所開發的一組小型奈米微粒分徑器，在 2 L/min 的操作流量下壓損約 0.14 atm，其示意如圖 3.20 所示。此奈米分徑器由上游的一個高效率旋風器(改良 IOSH-Cyclone)及下游一個多微孔一階慣性衝擊器所組成。本團隊先透過理論計算，然後根據計算的結果再個別進行旋風器及慣性衝擊器收集效率的實驗室校正，並完成兩設備結合後實驗室與 MOUDI 的比對。

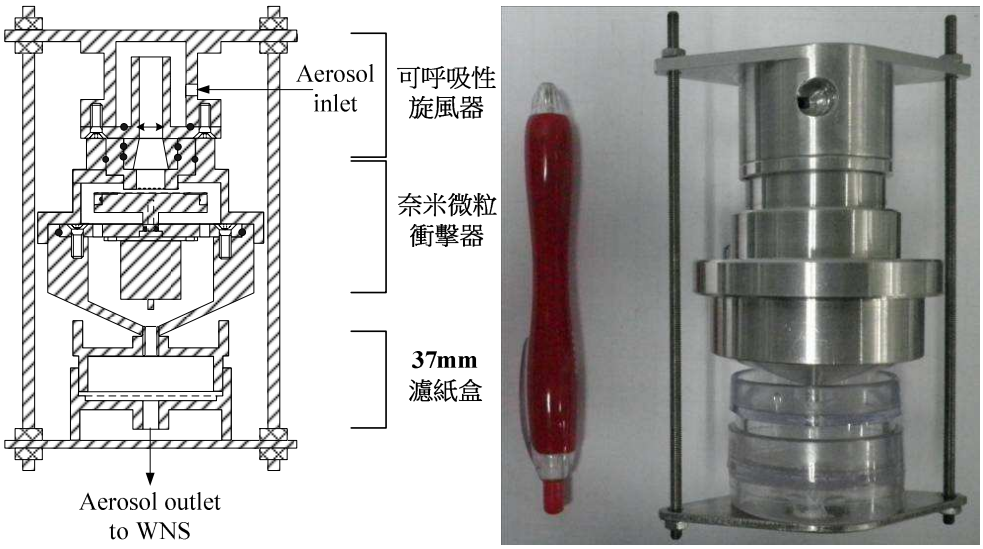


圖 3.20 個人奈米微粒採樣器示意圖。

MOUDI 與個人奈米採樣器比對實驗結果如表 3.13 所示。比對次數共兩次，第一次比對時間為 90 min。MOUDI 與個人採樣器的後端濾紙採樣重量分別為 1.09 mg 與 0.116 mg；第二次比對時間為 30 min，MOUDI 與個人奈米微粒採樣器後端濾紙採樣重量分別為 0.347 mg 與 0.043 mg。透過流量比例的換算，我們得到這兩次的比對誤差分別為 10.0%與 4.72%，顯示本研究的奈米分徑器與 MOUDI 有相當接近的奈米微粒重量濃度。

表 3.13 MOUDI 與個人奈米採樣器實驗室比對結果。

	MOUDI	本採樣器	MOUDI	本採樣器
	第一次, 90min		第二次, 30min	
採樣前重量(mg)	180.558	159.320	186.360	174.015
採樣後重量(mg)	181.648	159.436	186.707	174.058
採樣重量(mg)	1.09	0.116	0.347	0.043
濃度差異	10.0%		4.72%	

利用 TEM 或 SEM 等儀器觀察氣態奈米微粒的型貌時，常因微粒收集在銅網上的位置過於分散而不易觀察，因此本研究結合 PNS 與靜電收集器之原理，將奈米微粒收集在個人採樣器的衝擊板上，利於顯微鏡觀測。圖 3.21 為改裝後的 PNS。使用高壓電(正電)產生電場後，由 EC 篩選出帶正電的單徑微粒會因電場使其軌跡曲線改變，當調整至適當的電壓時微粒的軌跡曲線即座落在 PNS 內 TEM 銅網或 PTCE 濾紙上。

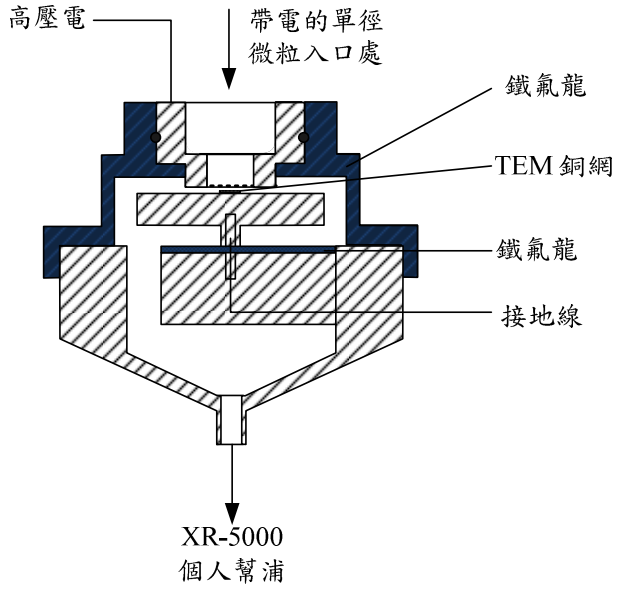


圖 3.21 加裝電場之 PNS。

以上說明本研究擬開發的平台包含有傳統的微粒質量濃度、微粒粒徑分布、表面積濃度及其它物化監測的方法(TEM觀測及成分分析)，其中表面積濃度測定、MOUDI的微粒質量分布測定及TEM樣本製備方法為超越ISO的新構想，相信研究成果可提供吸入毒性測試所需較完整的參數。

3.2.2 即時量測儀器之校正與比對

為了可正確地量測奈米微粒的粒徑分佈，本研究團隊針對常用的掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS)進行粒徑量測正確性的比對以及數目濃度校正。在SMPS量測正確性比對方面，本研究使用驗證奈米參考物質，粒徑標準品-聚苯乙烯(PSL)微粒進行校正比對。CPC數目濃度的校正則是參考ISO 27891標準，將CPC和氣膠靜電計(AE, Aerosol Electrometer, Model 3068, TSI Inc., MN, USA)量測到的數目濃度進行比對。最後再將校正過後的SMPS和快速電移動度分析儀(FMPS, Fast mobility particle sizer, Model 3091, TSI Inc., Paul, MN)所測得的粒徑分布進行比對，驗證FMPS量測結果的準確性。除了上述數目濃度的即時量測儀器之外，本研究也針對可即時量測微粒質量的APM進行校正。

SMPS 粒徑量測的正確性

為了確認SMPS對微粒粒徑量測的準確度，本研究使用粒徑分別為21、40、64、82及102 nm的聚苯乙烯乳膠(PSL)標準微粒對SMPS進行校正。圖3.22為校正之實驗系統圖，如圖所示，該實驗首先以定量霧化器(Constant Output Atomizer)產生PSL微粒。產生出來的微粒中，較大的液滴內可能會有2個以上的聚集PSL微粒，由於這些聚集微粒可能對粒徑分布結果產生多峰值的干擾，故本研究利用Marple個人多階衝擊器(Marple Series 290 , Andersen Instruments, Smyrna, Ga.)去除氣動直徑大於0.53 μm的水滴。剩餘粒徑小於0.53 μm的水滴及PSL微粒則會先由一部靜電微粒粒徑篩分器(Electrostatic Classifier, EC)篩選出和待測PSL微粒標示粒徑相同的單徑微粒，再由後方的SMPS系統掃描其微粒粒徑分布，以比對掃描到的粒徑分布峰值是否與廠商標示的PSL粒徑相同。由於PSL為圓球形微粒，其電移動度直徑相當於幾何直徑，故由EC篩分出特定電移動度直徑的微粒其粒徑會與SEM觀察到的微粒相同。

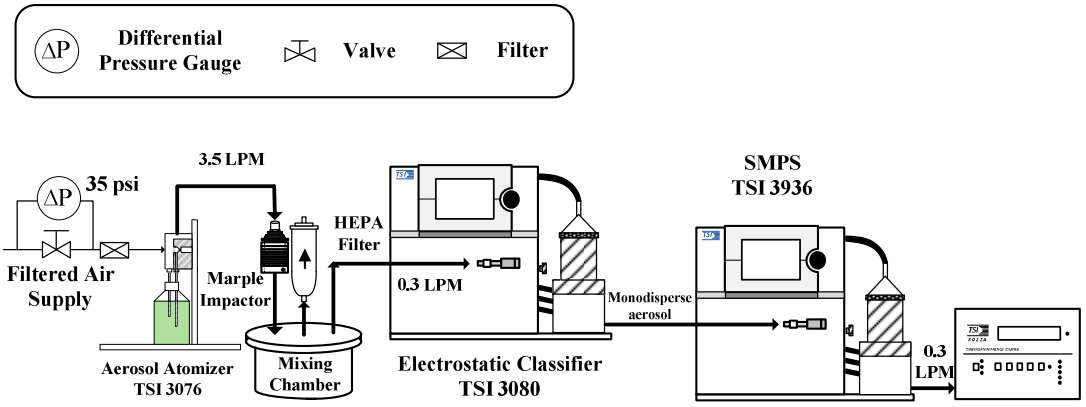


圖 3.22 粒徑量測比對之實驗系統配置圖。

核凝微粒計數器之數目濃度校正

在進行奈米微粒物化分析技術開發前，本研究參考 ISO/WD 27891 使用法拉第杯氣膠靜電器結合靜電篩選技術(electrostatic classification)來校正 CPC，實驗系統如圖 3.23 所示。奈米銀微粒使用高溫爐已蒸發/核凝法產生，產生的微粒進入混合腔均勻混合後，利用靜電分徑器(Electrostatic Classifer, Model 3080, TSI Inc., MN, USA)篩選某單徑微粒(3-100 nm)，接著分別導入 CPC 及氣膠靜電計(Aerosol Electrometer, Model 3068, TSI Inc., MN, USA)，帶電微粒即會被 AE 裡的法拉第杯捕捉，並以電流的型式輸出。利用公式(3.5)換算氣膠靜電計的電流值為數目濃度並與 CPC 比較，同時產生多種不同的奈米微粒測試 CPC 的偵測效率。

$$I = Nn_p eV \tag{3.5}$$

其中 I 為 AE 測得的電流(A)，N 為帶電微粒數目濃度(#/cm^3)，n_p 為微粒帶電數，n_p>1 的微粒即為多電荷微粒，e 為電子電量(1.6×10^{-19} C) ，V 為通過 AE 的體積流率(cm^3/s)。

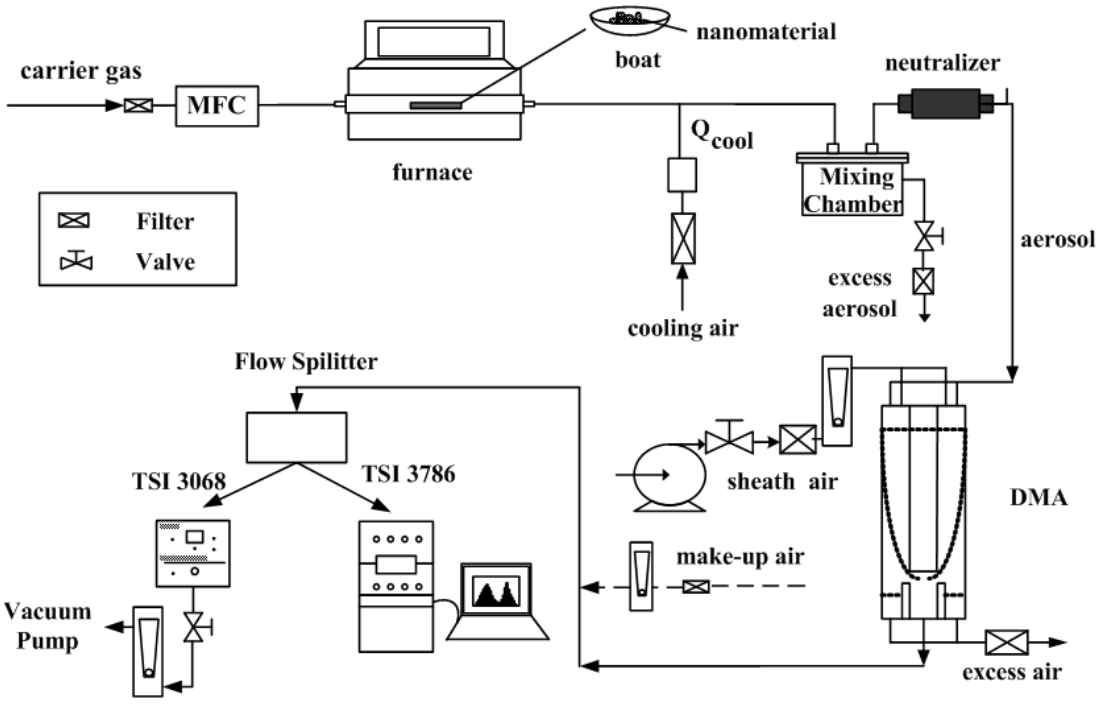


圖 3.23 結合靜電篩選技術(EC, electrostatic classification)與氣膠靜電器(Aerosol electrometer, TSI 3068)的奈米微粒濃度校正實驗系統圖。

FMPS與SMPS之量測數據比對

過去曾有學者比對過 FMPS 與 SMPS 兩台量測儀器所量測的粒徑分佈，發現 SMPS 較 FMPS 所測得的總數目濃度及數目中間直徑(Number Median Diameter, NMD)分別高出約 15 及 8 % (Asbach et al., 2009; Jeong and Evans

2009)，Asbach et al., (2009)認為造成兩台量測儀器之間誤差可能是由於微粒的種類及形貌所導致。

為釐清是否形貌會對量測數據造成影響，本研究參考 Shin et al. (2010)中的實驗參數，產生出不同形貌的銀微粒(如球型或樹枝狀)供校正過後的 SMPS 和 FMPS 進行粒徑分布及總數目濃度比對，表 3.14 為銀微粒產生的實驗參數。如圖 3.24 所示，本研究使用高純度銀粉(silver powder,2-3.5 μm, 99.9+ %, Sigma-Aldrich, USA)以蒸發/核凝法(高溫爐溫度設定為 1150 ^{o}C)產生奈米銀微粒後，導入腔體內使微粒團聚，產生的銀團粒再以 DMA 篩選出特定電移動度直徑(d_m)的單徑微粒，並將其導入第二台高溫爐進行燒結，燒結溫度分別為室溫、200 ^{o}C、400 ^{o}C 與 600 ^{o}C，以產生不同形貌的銀微粒(例如 300 nm 的銀團粒在經過上述不同燒結溫度後，形貌分別為樹枝狀、似圓球形與球形)。最後再將不同形貌且呈單徑分布的銀微粒同時導入 FMPS 與 SMPS 內，比對兩者所測得的單徑粒徑分布及微粒數目濃度。此外，本研究也使用僅經由第一台高溫爐燒結的多徑銀團粒作為比對樣本，比對 FMPS 與 SMPS 對多徑微粒粒徑分布的量測結果。

表 3.14 本實驗參考 Shin et al. (2010)之實驗參數。

Type	Dimensions	Residence time, s	Temperature, ^{o}C
Generation tube (1st furnace)	Length:89 cm I.D.:1.43 cm	2.6	1150
Agglomeration chamber	Volume:6.7 L	270	25
Sintering tube (2nd furnace)	Length:89 cm I.D.:1.43 cm	2.6	25-600

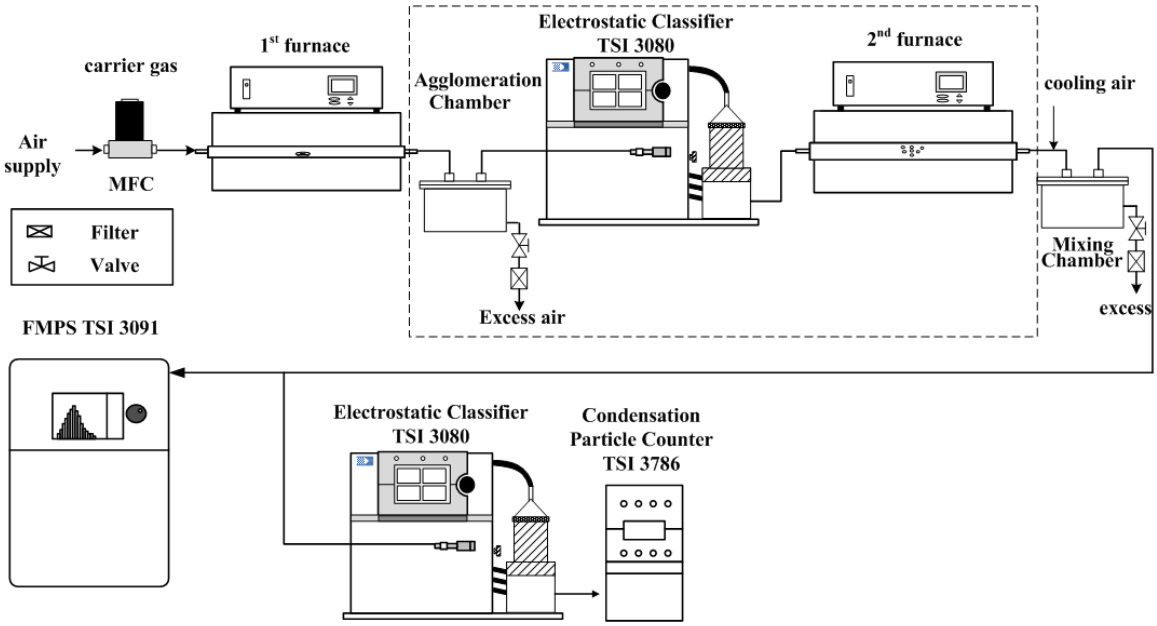


圖 3.24 使用 FMPS 與 SMPS 量測不同形貌銀微粒的實驗系統圖。

APM 之量測正確性

本研究利用不同粒徑的 PSL 標準微粒對 APM 進行校正，實驗系統如圖 3.25 所示。首先以定量霧化器(Constant Output Atomizer) 產生 PSL 微粒，再將其導入 Marple 個人多階衝擊器(Marple Series 290 , Andersen Instruments, Smyrna, Ga.)去除氣動直徑(d_{pa})大於 0.53 μm 的水滴。剩餘 d_{pa} 小於 0.53 μm 的水滴及 PSL 微粒則由 EC 篩選出和待測 PSL 微粒標示粒徑相同的單徑微粒，並導入 APM-CPC 串聯量測系統中。在該系統中，本研究在 APM 電壓值固定的情況下調整其轉速，並同時觀察 CPC 所測得的微粒數目濃度(C_N)，待 C_N 達到最大值後，將各項參數帶入下列公式即可求得微粒質量。

$$m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{n \cdot e \cdot V}{r \cdot \ln(\frac{r_1}{r_2})} \tag{3.6}$$

其中 m 為微粒質量，w 為角速度，r 為迴轉體的半徑，n 為電荷量(假設為 1)，e 為電子帶電量，V 為供應電壓，r_1、r_2 為迴轉圓筒之外徑及內徑(分別為 25 mm 及 24 mm)。

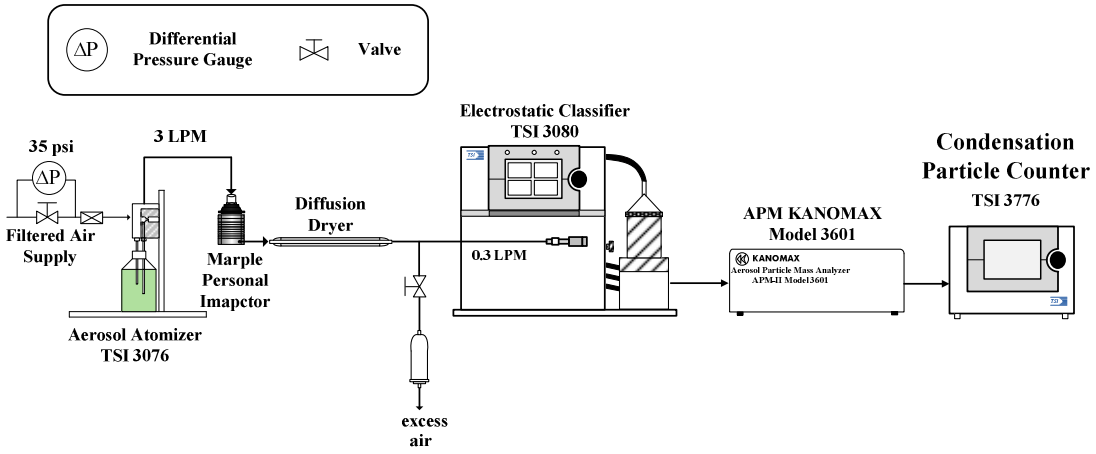


圖 3.25 DMA-APM 系統實驗設製圖。

本研究以 Tajima et al. (2011)這篇文獻所列出的 APM 微粒質量校正規範，作為本研究的校正基準，步驟如下。1. 確認以 CPC 量測的數目濃度與 APM 的旋轉速度畫出的系統反應圖譜(system response spectra)，是否為單峰鐘形曲線(single-peak bell shape)，雖然這是非常寬鬆的規範，然而當 APM 轉速非常高的時候，曲線偶爾會呈現稍微平坦的曲線或非鐘型曲線，此步驟之目的為確認 APM 操作時是否有不正常的反應。2. 利用其他方法決定或預測微粒質量，並與 APM 量測的質量比較，以確認 APM 結果的正確性。

3.3 其它應配合事項

在計畫執行中，本工作團隊將盡力配合　貴署，執行相關之行政事項。根據　貴署計畫評選須知所列出之其他行政配合業務內容敘述如下：

(1) 本計畫最終成果將撰寫成英文論文一篇，與貴署參與計畫同仁共同發表於國外研討會或投稿至國際期刊。
(2) 國家型計畫辦公室要求之評鑑或期末審查報告等，必須依照要求提報。
(3) 明確訂定每月執行進度、預期成效及查核點。
(4) 配合管考作業，按月提報本計畫執行摘要、進度及工作成果。
(5) 期中、期末審查外，每季提進度報告供貴署審查。
(6) 另外配合貴署業務需求，提供必要之專業技術服務。

第四章 結果與討論

本章內容包括即時量測儀器的校正與比對、奈米微粒產生及監測檢測系統、空氣中奈米微粒採樣方法開法、各採樣點的採樣結果、PAHs 採樣及分析技術研究與 LA-ICP-MS 的開發。

4.1 即時量測儀器的校正與比對

4.1.1 掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS)粒徑量測的正確性

以定量霧化器(Constant output atomizer, Model 3076, TSI Inc., MN, USA)產生聚苯乙烯乳膠 (PSL, Polystyrene Latex, 3000 Series, Nanosphere Size Standards, Thermo Scientific, USA) 微粒時，因水滴粒徑分佈過於廣散造成單顆水滴內可能有超過一顆以上微粒存在，進而影響到掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS, Scanning mobility particle sizer, Model 3936, TSI Inc., St. Paul, MN)量測粒徑分佈的結果，其中 PSL 溶液中之微粒體積濃度對於所噴出水滴內之微粒數目，扮演了相當重要的角色。表 4.1 為水滴粒徑為微粒粒徑十倍時，懸浮液中之微粒體積濃度與所噴出水滴內部微粒數目之關係。當溶液濃度越高單顆水滴內存在的微粒數目越多，為降低單顆水滴內微粒的數目，本研究將 PSL 溶液的體積濃度稀釋成 10^{-3}，根據表 4.1 可發現當體積濃度為 10^{-3} 時，單顆水滴內只存在零顆或單顆微粒的機率皆為 36.8%，而存在兩顆以上微粒之機率為 26.5% (Hinds, 1999)。

表 4.1 水滴粒徑為微粒粒徑十倍時，懸浮液中之微粒體積濃度與所噴出水滴內部微粒數目之關係(Hinds, 1999)。

Volume Fraction of Spheres, Fv	Fraction of Droplets with Indicated Number of Spheres				
	n= 0	n= 1	n= 2	n= 3	n> 3
10^{-1}	0	0	0	0	1.000
10^{-2}	5.0×10^{-5}	5.0×10^{-4}	0.002	0.007	0.990
10^{-3}	0.368	0.368	0.184	0.061	0.019
10^{-4}	0.905	0.090	0.005	1.5×10^{-4}	4.3×10^{-6}
10^{-5}	0.990	0.010	5.0×10^{-5}	1.6×10^{-7}	0
10^{-6}	0.999	0.001	5.0×10^{-7}	0	0
10^{-7}	0.999	1.0×10^{-4}	0	0	0

由上述結果，可發現經由霧化器所噴出之單顆水滴內，還是有一定的機率含有兩顆以上之微粒，其將會影響後續粒徑之分散程度。本研究為了降低含多顆微粒之大顆水滴進入後端系統之可能性，在霧化器後端加裝一個 Marple 個人多階衝擊器(Marple Series 290 Personal multistage cascade impactor, Andersen Instruments, Smyrna, Ga.)，將粒徑大於 0.53 μm 的微粒去除。

除了溶液濃度與團聚微粒之外，多電荷(multiple charges)的干擾也會對

SMPS 量測的粒徑分佈造成影響。由於微分電移動度分析儀(DMA, Differential mobility analyzer)是以電移動度直徑(d_m)篩選微粒，當 DMA 在篩選特設定 d_m 的微粒時，部分帶多電荷但粒徑和所設定之 d_m 不同的微粒因兩者具有相同的電移動度，因此也會被篩選出並一同進入後端的量測系統中，此一現象即為多電荷干擾。但多電荷干擾並不會影響到我們判斷與比對 SMPS 量測微粒粒徑的能力。

結果如圖 4.1 所示。為便於數據的比較，數據均以 SMPS 掃瞄出之峰值濃度和總微粒濃度的比例呈現。結果顯示當篩選的 PSL 微粒粒徑大於 20 nm 時，可發現 SMPS 量測的粒徑分佈中共有兩個峰值，其中第一個峰值為 DMA 篩選出的粒徑，而第二個峰值即為多電荷干擾與團聚微粒所造成。當使用 Marple 個人多階衝擊器後，在 SMPS 量測不同篩選粒徑的粒徑分佈中，第二個峰值因團聚微粒數目降低而明顯地下降。

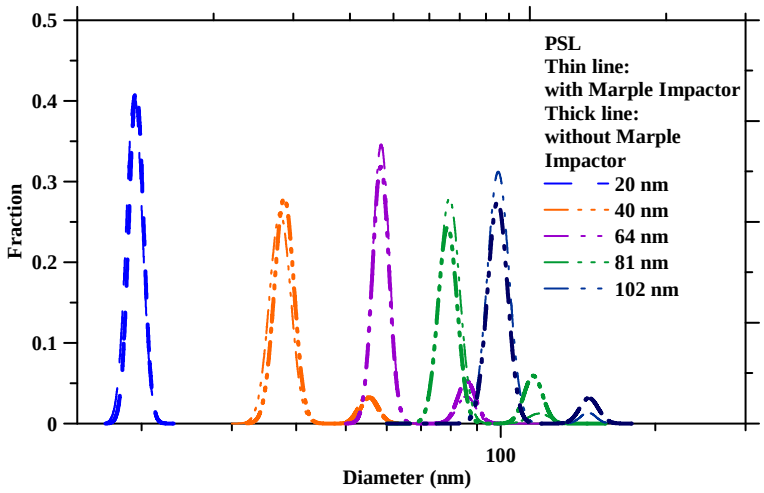


圖 4.1 以 DMA 篩選出不同的單徑 PSL 微粒後，使用 SMPS 量測單徑 PSL 微粒的粒徑分佈。

表 4.2 為 SMPS 量測粒徑分佈的結果。由表中可知 SMPS 量測到的平均粒徑與廠商標示的粒徑相當接近，且使用 Marple 個人多階衝擊器後，由於單顆水滴內僅帶一顆微粒的機率增加，使得 SMPS 量測到的粒徑分布中，主要峰值的數目平均直徑(Mean Diameter)更加接近廠商標示的粒徑。

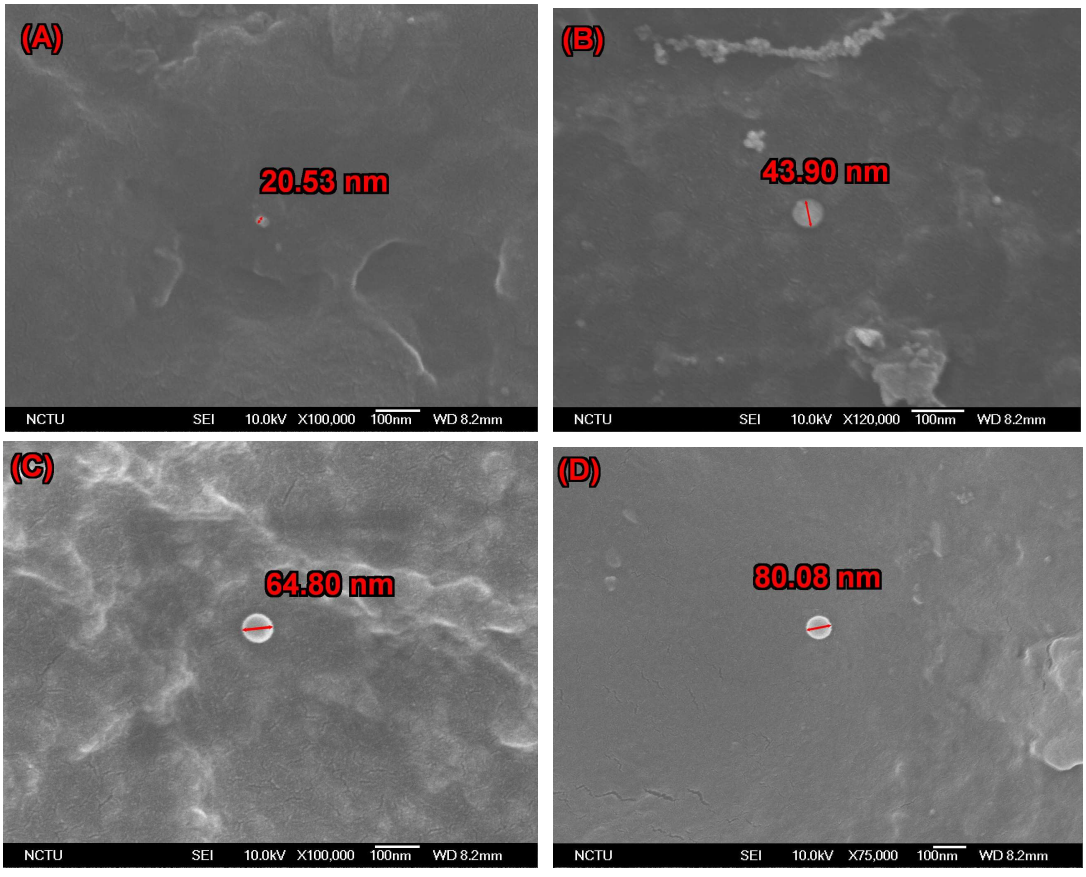
表 4.2 以 DMA 篩選出單徑 PSL 微粒的平均直徑、峰值直徑。

Marple Impactor	PSL (Thermo scientific, 3000 series)	總微粒分布之平均直徑(nm)	主要峰值直徑的平均(nm)	次要峰值直徑的平均 (nm)
Yes	20±1.5	19.35±0.06	19.46	N.D.
	40±1.8	39.39±0.06	39.11	57.25
	64±2.8	62.13±0.33	61.50	88.50
	81±2.7	79.87±0.14	79.15	120.45
	102±3	100.72±0.50	101.82	145.90

No	20±1.5	19.49±0.05	19.45	N.D.
	40±1.8	38.48±0.36	37.65	54.49
	64±2.8	61.12±0.05	60.96	89.24
	81±2.7	79.23±0.10	79.15	116.19
	102±3	99.12±0.26	98.22	145.90

PSL 微粒的粒徑

上述之結果只能確定由 DMA 篩選出的微粒之 d_m 與 SMPS 量測到的 d_m 相符合，為了能夠更加確認 SMPS 量測粒徑的正確性，本研究也將由 DMA 篩選出不同電移動度的單徑 PSL 微粒，使用加裝電場的個人奈米採樣器(E-PNS)採集微粒後，再以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察其形貌與粒徑。SEM 的觀察結果如圖 4.2 所示，由該圖可看出 PSL 微粒為圓球狀且微粒粒徑均與 DMA 篩選的 d_m(分別為 20、40、64、81 及 102 nm)相近。此結果即顯示本研究所使用的 SMPS 可正確地量測粒徑。



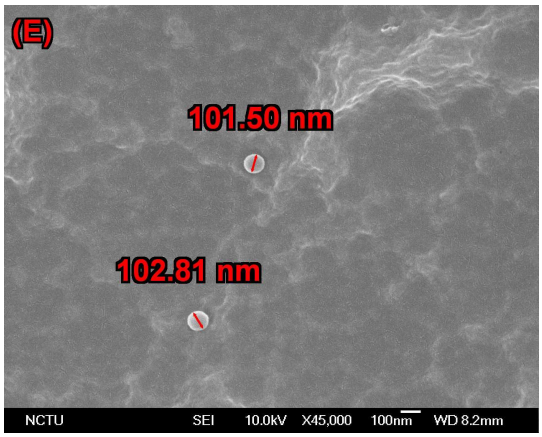


圖 4.2 DMA 篩選出電移動度直徑為(A) 20、(B) 40、(C) 64 (D) 82 與(E) 102 nm 的 PSL 微粒後，以 E-PNS 採集後，使用 SEM 觀察微粒的大小。

4.1.2 核凝微粒計數器的微粒粒徑偵測效率數目濃度校正

根據凝結液體使用種類的不同，主要可分為使用正丁醇的核凝微粒計數器(CPC, Condensation Particle Counter) 與使用蒸餾水的 WCPC。Mordas et al. (2008)使用不同凝結液體的 CPC 量測其對極小粒徑的銀、硫酸銨與氯化鈉微粒的偵測極限，並使用銀微粒比對氣膠靜電計與超細微粒核凝計數器(UWCPC, Ultrafine water condensation particle counter, Model 3786, TSI Inc., St. Paul, MN,USA)的數目濃度量測數據。其結果顯示 UWCPC 為目前市售 CPC 中性能較好的微粒計數器。因此本研究先針對於後續研究中使用的 UWCPC，以蒸發/核凝法產生銀微粒，並使用氣膠靜電計(AE, Aerosol electrometer, Model 3068A, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)作為校正之參考標準，量測 UWCPC 對極小粒徑的銀微粒偵測效率(Detection efficiency)，以及產生高數目濃度的單徑銀微粒，比對 AE 與 UWCPC 量測的數目濃度，並與 Mordas et al. (2008)之結果比較。而微粒計數器流量的正確性非常重要，由於微粒計數器是根據流量換算微粒數目濃度，如流量有錯誤會造成計數儀器量測數目濃度時產生誤差，因此在進行微粒偵測效率與數目濃度比對前，本研究參考 ISO/WD 27891 中對計數儀器的流量確認步驟，量測 UWCPC 與 AE 的流量。CPC 與 AE 流量需於 15 分鐘內量測 5 次，且流量差異需小於 2%。量測結果如表 4.3 所示。

表 4.3 於 15 分鐘內分別量測 CPC 與 AE 的流量結果(單位：L/min)。

	1	2	3	4	5	平均值	流量差異
CPC	0.601	0.6	0.603	0.604	0.602	0.602	0.16%
AE	0.602	0.601	0.603	0.602	0.603	0.6022	0.08%

根據上述之結果，本研究中使用的 UWCPC 與 AE 之流量穩定性符合 ISO 之規範，並可進行偵測效率與數目濃度比對的實驗。

超細微粒核凝計數器對銀微粒的偵測效率

為了產生小粒徑且高數目濃度的銀微粒，本研究使用自行開發的核凝冷卻系統產生銀微粒。圖 4.3 為使用自行開發的核凝冷卻系統產生的銀微粒，以 SMPS 量測粒徑分佈的結果。由圖可知使用此系統可產生數目中間直徑(NMD, Number median diameter)極小與高數目濃度的銀微粒，適合用於量測 UWCPC 對極小粒徑的銀微粒偵測效率。

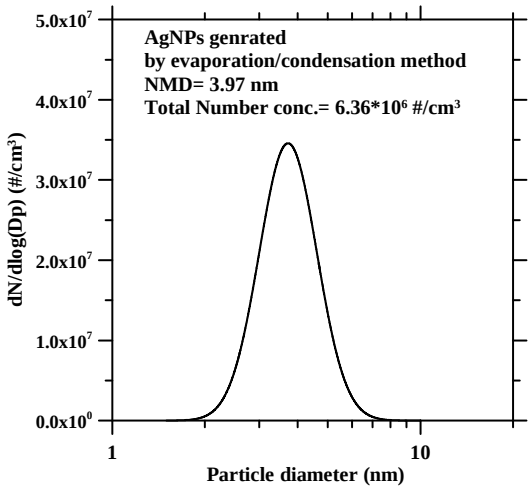


圖 4.3 使用蒸發/核凝法產生的銀微粒，以 SMPS 量測其粒徑分佈。

使用核凝冷卻系統產生銀微粒後，導入 DMA 篩選出特定粒徑的單徑微粒，分別導入 AE 與 UWCPC，比較兩台微粒計數器量測到的數目濃度，並使用公式(4.1)計算 UWCPC 對不同粒徑的銀微粒偵測效率。

$$\eta_{UWCPC} = \frac{C_{N,UWCPC}}{C_{N,AE}} \tag{4.1}$$

其中 η_{UWCPC} 為 UWCPC 對特定粒徑微粒的偵測效率(%)，$C_{N,UWCPC}$ 為 UWCPC 所量測到的特定粒徑微粒數目濃度，$C_{N,AE}$ 為 AE 量測到的特定粒徑微粒數目濃度。結果如圖 4.4 所示，

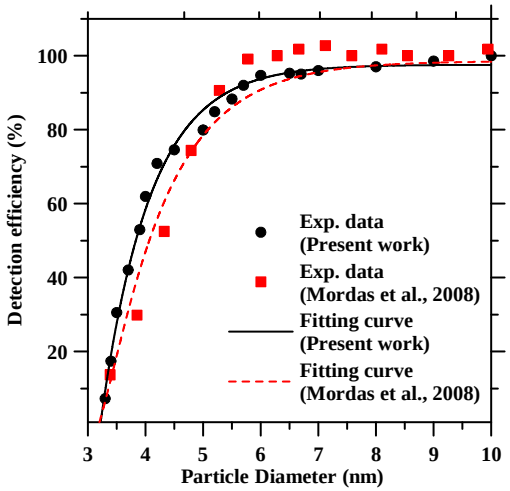


圖 4.4 使用特定粒徑的銀微粒量測 UWCPC 之偵測效率曲線，並與 Mordas et al. (2008)比較的結果。

由圖 4.4 中的結果可看出，本研究量測 UWCPC 對銀微粒的偵測效率曲線與 Mordas et al. (2008)中的結果極為符合。表 4.4 為使用擬合曲線計算出本研究所使用的 UWCPC 之 D_{10}、D_{50} 與 D_{90}，與 Mordas et al. (2008)的結果。本研究所使用的 UWCPC，其 D_{10}、D_{50} 與 D_{90} 分別為 3.3、3.8 與 5.5 nm，與 Mordas et al. (2008)的結果有些微的差距，原因可能為本研究使用的擬合曲線公式與其不同，因此有些微的差距。

表 4.4 為使用擬合曲線計算出本研究所使用的 UWCPC 之 D_{10}、D_{50} 與 D_{90} 與 Mordas et al. (2008)的結果。

	D_{90} (nm)	D_{50} (nm)	D_{10} (nm)
Mordas et al. (2008)	5.5	3.9	3.3
Present work	5.5	3.8	3.3

使用銀微粒對超細微粒核凝計數器進行數目濃度比對

為了產生高數目濃度且偵測效率為 100%的單徑銀微粒，本研究使用 DMA 篩選 60 nm 的銀微粒，比對 AE 與 UWCPC 量測的數目濃度。篩選較大粒徑的微粒時會有多電荷干擾的問題，且 AE 為量測微粒的帶電量，並利用量測到的電流轉換成微粒數目濃度，因此須先了解使用 DMA 篩選出的單徑微粒下，帶有不同電荷數微粒的分布。本研究先以 DMA 篩選 60 nm 的銀微粒，經過篩選後的單徑微粒導入 SMPS 量測其分布。圖 4.5 為使用 SMPS 量測以蒸發/核凝法產生的銀微粒粒徑分佈，及使用 DMA 篩選出 60 nm 的銀微粒並以 SMPS 量測其分布。

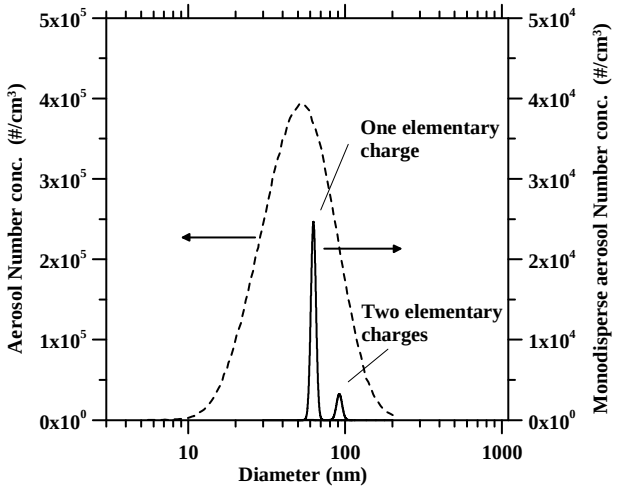


圖 4.5 使用 SMPS 量測以蒸發/核凝法產生的銀微粒粒徑分佈，及使用 DMA 篩選出 60 nm 的銀微粒並以 SMPS 量測其分布。

根據 SMPS 的量測結果，使用 DMA 篩選出的 60 nm 銀微粒，帶有一顆電荷與兩顆電荷的微粒比例分別為 88 %與 12 %，故可利用公式(4.2)與(4.3)修正多電荷干擾，計算出 AE 實際的數目濃度量測值。

$$I = (N_1 n_{p=1} + N_2 n_{p=2})eV = N'Ve \tag{4.2}$$

$$N' = N_1 + N_2 \tag{4.3}$$

其中 I 為 AE 測得的電流(A)，N'為修正多電荷干擾後 AE 量測到的數目濃度(#/cm^3)，N_1 為帶有一顆電荷的微粒數目濃度(#/cm^3)，N_2 為帶有兩顆電荷的微粒數目濃度(#/cm^3)，n_p 為微粒帶電數，p>1 的微粒即為多電荷微粒，e 為電子電量(1.6×10^{-19} C) ，V 為通過 AE 的體積流率(cm^3/s)。

圖 4.6 為使用 DMA 篩選出的 60 nm 銀微粒，AE 與 UWCPC 量測到的數目濃度。當微粒數目濃度介於 3×10^3 #/cm^3- 6×10^4 #/cm^3 時，其濃度比值(UWCPC/AE)約等於 1，但是當數目濃度介於 6×10^4 #/cm^3- 1×10^5 #/cm^3 時其比值略小於 1(約為 0.96- 0.98 間)。Mordas et al. (2008)比對 UWCPC 與 AE 的量測數據，也得到類似的結果。此學者發現當微粒數目濃度介於 3×10^3 #/cm^3-5×10^4 #/cm^3 時，其比值接近 1，而微粒數目濃度更高時該比值則小於 1。但對於此量測差異，上述文獻並無法提供一個確切的結論。

根據比對 AE 與 UWCPC 的數目濃度之結果，本研究的校正比對系統可正確的量測 UWCPC 對極小微粒的偵測效率，與比對 UWCPC 與 AE 的數目濃度，另外，Mordas et al. (2008)曾發現 UWCPC 對銀微粒的偵測效率與使用正丁醇為凝結液體的超細微粒核凝計數器(UCPC)不同，結果如表 4.5。因此使用者在使用 CPC 時也要注意此方面的問題。

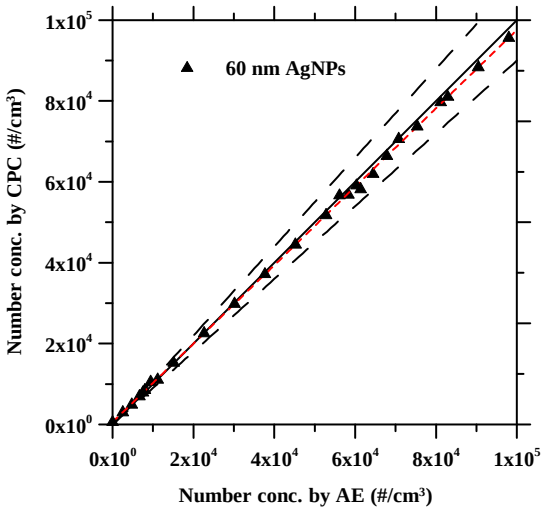


圖 4.6 DMA 篩選 60 nm 的銀微粒後，CPC 與 AE 量測的數目濃度。

表 4.5 使用不同凝結液體的核凝微粒計數器(UWCPC 與 UCPC)，量測兩台微粒計數器對銀微粒偵測效率(Mordas et al., 2008)。

	D_{90}	D_{50}	D_{10}
UWCPC (Model 3786)	5.5	3.9	3.3
UCPC (Model 3776)	6.1	3.2	2.1

4.1.3 FMPS 與 SMPS 之量測數據比對

根據上兩節(4.1.1 與 4.1.2)中的結果可知，本研究目前所使用的 SMPS 已可正確地量測微粒的粒徑與數目濃度，因此比對 SMPS 與 FMPS 的量測數據時將以 SMPS 作為標準，確認 FMPS 量測粒徑分佈的正確性。

本研究先比對 SMPS 與 FMPS 分別在 1000、1100 與 1200 °C 時所測得的粒徑分佈、總微粒數目濃度與 NMD，結果如表 4.6 所示，圖 4.7 則為兩者所測得之多徑粒徑分布。由結果可看出在小微粒(NMD =20 nm)的情況下 FMPS 所測得的總微粒數目濃度有高估的情況。此結果和 Joeng and Evans (2009)比對 FMPS 與 SMPS 量測 NaCl 與 Au 之微粒粒徑分佈時，發現 FMPS 在量測小粒徑時總數目濃度會高估的情況類似。該研究群認為原因可能為 FMPS 軟體內的運算法在將小粒徑的原始數據(電流值)轉換為微粒數目濃度時，運算法高估了數目濃度所致。此外，由本實驗的結果也可看出當微粒越大時，FMPS 低估 NMD 及總微粒總數目濃度的情況則越嚴重，推測是團聚微粒的影響所造成。

表 4.6 在不同產生溫度下，SMPS 與 FMPS 量測銀微粒的 NMD 與總數目濃度的比較。

Temp. (°C)	1000			1100			1200		
	FMPS	SMPS	difference	FMPS	SMPS	difference	FMPS	SMPS	difference
NMD (nm)	18.4±0.5	21.8±0.9	-15.60 %	33.43±0.1	41.3±0.2	-19.1%	47.8±1.04	66.8±0.4	-28.38%
Total Conc. (#/cm³)	1.37E+05	1.11E+05	23.1%	1.98E+05	2.22E+05	-11.01%	4.04E+05	4.52E+05	-10.68%

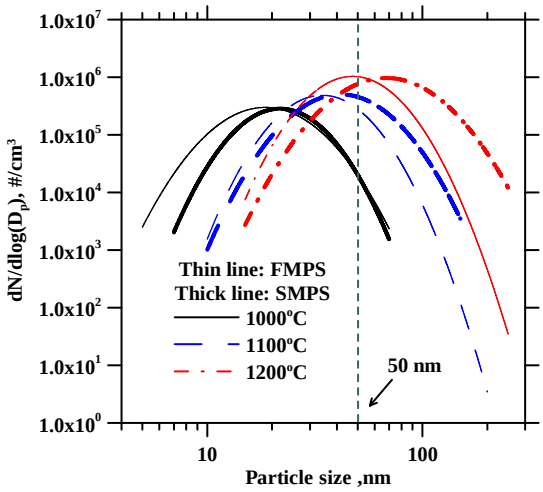


圖 4.7 使用 FMPS 與 SMPS 量測高溫爐設定不同溫度(1000、1100 與 1200 °C)時，兩台量測儀器量測的多徑銀微粒粒徑分佈。

為了更進一步探討微粒形貌對量測結果的影響，本研究以 1100 °C 產生奈米銀微粒，產生後的微粒經過溫度設定 100 °C 的燒結爐，使團聚的銀微粒形貌趨近於球形。圖 4.8 為以 1100 °C 產生之銀微粒經過 100 °C 燒結前後，以 SMPS 及 FMPS 所測得之粒徑分布。由結果可看出當粒徑小於 40 nm 時，不論微粒燒結與否，兩者所測得的數目濃度幾乎重合，但是當粒徑大於 40 nm 時，FMPS 低估微粒數目濃度的狀況有隨著粒徑增加而增大的趨勢，但經過燒結後，此低估的狀況有略為改善。在燒結前，FMPS 的 NMD 與總數目濃度分別低估了 19.1 與 11.01 %，而經燒結後，上述差異則縮小至 15.4 與 5.2 %。由此數據可確認，微粒形貌會影響到兩台量測儀器的量測結果，當微粒形貌越趨近於球形時，量測結果越接近。

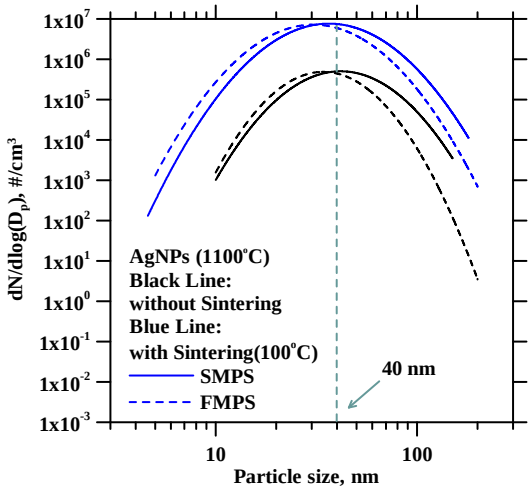


圖 4.8 銀微粒未經過燒結與燒結後，使用 SMPS 與 FMPS 量測其粒徑分佈。

4.1.4 氣膠微粒質量分析儀(APM)量測微粒質量之正確性

過去已有很多針對 APM 質量量測的校正與比對的文獻發表，其做法大多使用 APM 量測 PSL 微粒的質量，再和由已知的 PSL 微粒幾何粒徑及密度(1050 kg/m^3)所算出的質量做比對，以驗證其量測正確性。Ehara et al. (1996)以 DMA 篩選出粒徑為 309 nm 的 PSL 微粒後再以 APM 量測其質量，結果顯示與計算所得到的質量相比，APM 量測結果偏低約 6.5 %。Shin et al. (2009)使用相同的實驗系統量測 200 nm 的 PSL 微粒，結果顯示兩者誤差約為 3.9 %。McMurry et al. (2002)則是使用由 APM 量測出質量所換算的微粒密度和微粒的真實密度相比的方式驗證 APM 的量測正確性。該研究所採用的微粒為 107 與 309 nm 的全氟聚醚油(Fomblin) Y-25 及癸二酸二辛酯(Dioctyl sebacate, DOS)。研究結果發現由 APM 量測值量所換算之密度較微粒真實密度高出約 5 %。

上述的文獻皆以 100 nm 以上的微粒對 APM 進行量測與校正，尚未有研究針對 100 nm 以下的微粒做驗證。有鑑於此，本研究將使用 100 nm 以下的 PSL 微粒對 APM 進行量測準確性測試。表 4.7 為使用 APM 量測不同粒徑 PSL(40、64、82、100 nm)微粒質量的量測數據。結果顯示當 PSL 粒徑為 40 nm 時，量測的平均質量為 0.0885 fg，而參考質量為 0.0352 fg，兩者的偏差為 151.51%；PSL 粒徑為 64 nm 時，兩質量分別為 0.1853 fg 及 0.1441 fg，此時偏差值已明顯降低至 28.59%；而當 PSL 粒徑為 82 nm 時，兩質量分別為 0.3401 fg 及 0.3031 fg，偏差值為 12.20%；最後 PSL 粒徑為 100 nm 時，兩值分別為 0.5826 fg 及 0.5498 fg，偏差值為 3.62%。根據以上的結果可看出，微粒的質量大於 0.3 fg 時，APM 量測的準確性較高，此結果也與 Shin et al. (2009)這篇文獻中 APM 僅適用於量測質量大於 0.3 fg 微粒的結論吻合。

表 4.7 以 APM 量測不同粒徑 PSL(40、64、82、100 nm)微粒質量的量測數據。

PSL diameter (nm)	rotational speed (rpm)	Voltage (V)	measured particle mass (fg)	Mass AVG. (fg)	Ref. particle mass (fg)	Difference	RSD
40	4995	4	0.0957	0.0885	0.0352	151.51%	11.52%
40	5420		0.0813				
64	5365	9	0.1866	0.1853	0.1441	28.59%	0.65%
64	5385		0.1852				
64	5400		0.1842				
82	5650	18	0.3365	0.3401	0.3031	12.20%	1.07%
82	5620		0.3401				
82	5590		0.3437				
100	6290	37	0.5581	0.5826	0.5498	3.62%	2.51%
100	6140		0.5857				
100	6250		0.5652				

為了進一步確認 APM 質量量測的正確性，我們使用 CPC 的數目濃度量測值與 APM 的旋轉速度，畫出 APM 系統反應圖譜(如圖 4.9)。由圖 4.9a 可發現當微粒為 40 nm 時，圖中的曲線並非為完整的鐘型曲線，但是當微粒粒徑為 64、82、100 nm 時，曲線則逐漸轉變為較集中且較狹窄的鐘型曲線，此情況會影響量測結果而造成質量量測的偏差。此結果也和 Tajima et al. (2011)中當微粒小於 50 nm 時之 APM 系統反應圖譜將會有變寬的結果相似，本研究團隊推測可能為微粒的布朗擴散所造成的影響。

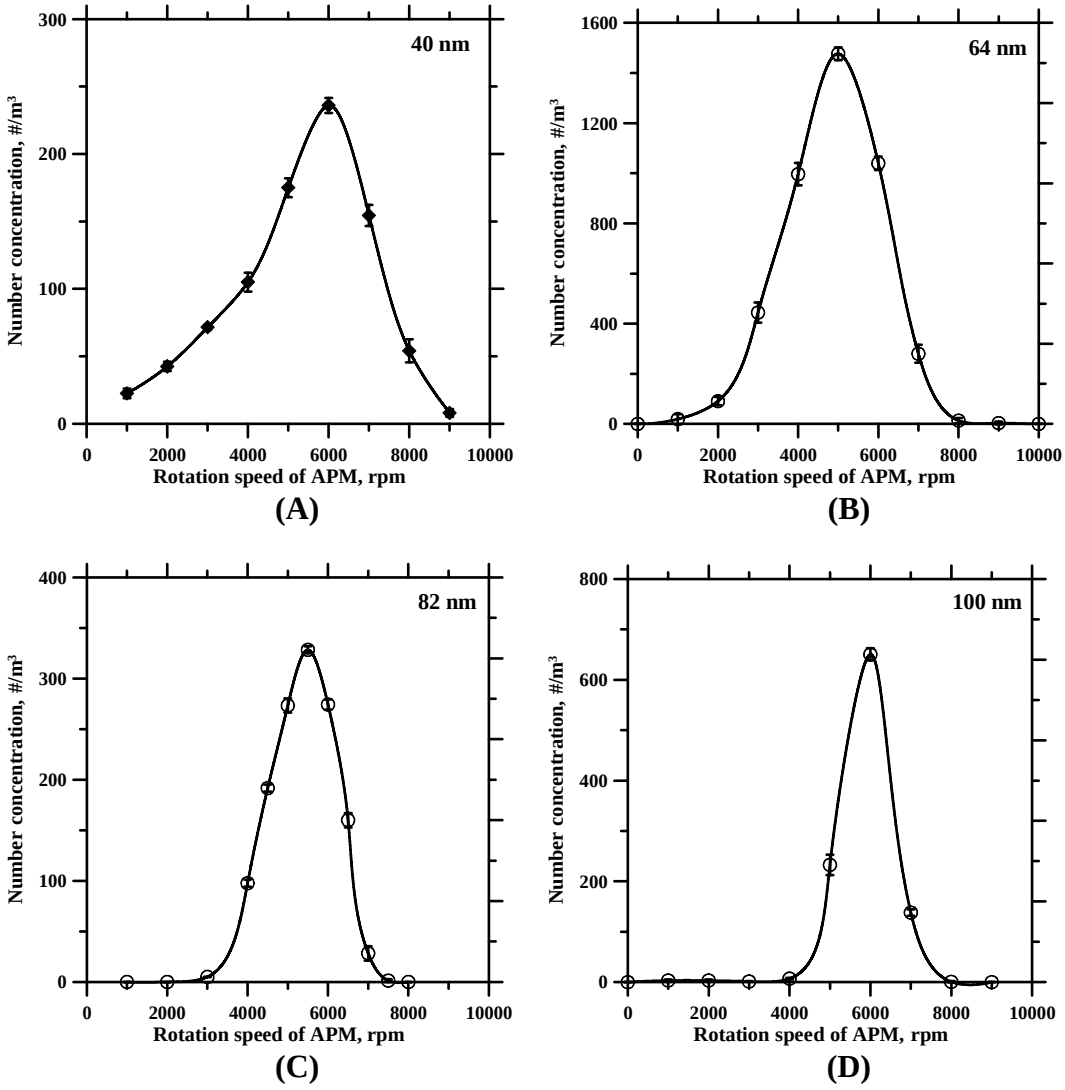


圖 4.9 APM 系統反應圖譜：(a) 40 nm；(b) 64 nm；(c) 82 nm；(d) 100 nm。

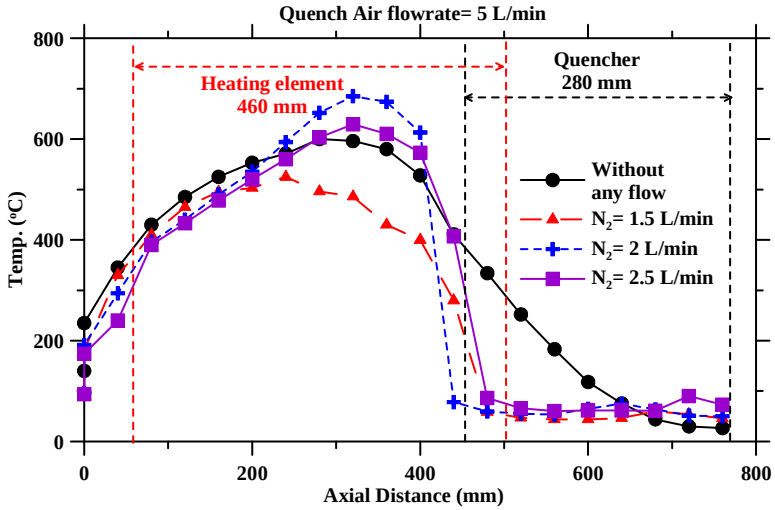
4.2 奈米微粒產生及監測檢測系統

4.2.1 以蒸發/核凝法產生奈米氧化鋅與奈米銀微粒

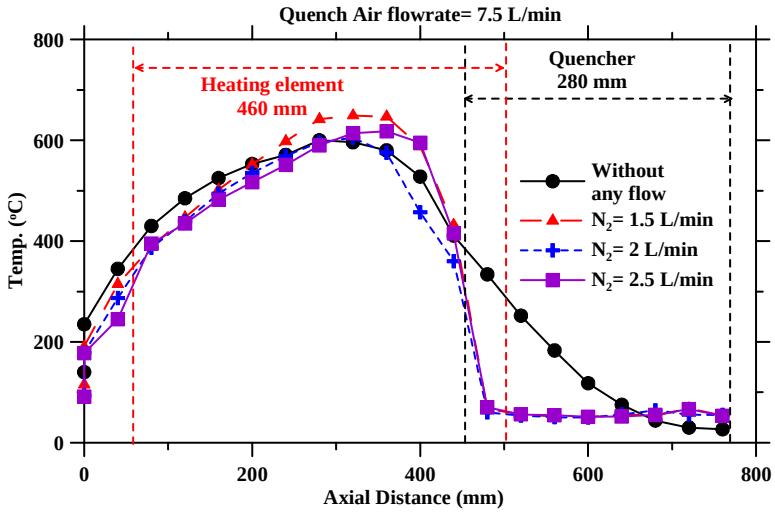
奈米氧化鋅微粒

由於鋅的熔點約為460^{o}C，故本研究先量測在高溫爐溫度為500^{o}C時，使用不同流量的冷卻氣體與攜帶氣體下，核凝稀釋系統內的溫度分布，最後也和在

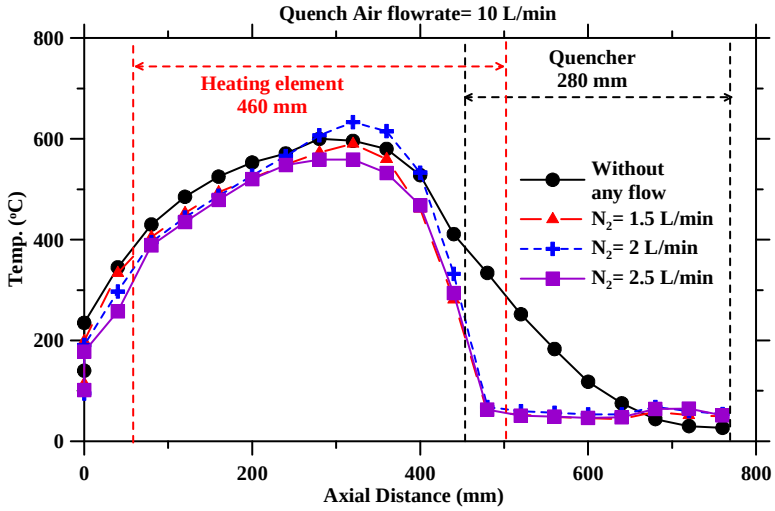
這些操作條件下產生出來的微粒粒徑分佈作比對。量測結果如圖4.10所示，當關閉核凝稀釋系統內全部的氣體時，系統內的溫度坡降並不明顯，結果與傳統陶瓷管內部的溫度曲線類似。當開啟冷卻氣體與攜帶氣體後，在冷卻管注入冷卻氣體的地方氣流溫度開始明顯地下降。當冷卻氣體流量為5 L/min的情況下(圖4.10A)，攜帶氣體為2 L/min時系統內冷卻效果最佳，冷卻速率約為133.7^{o}C/cm。當冷卻氣體流量為7.5及10 L/min時，結果均顯示流量為1.5 L/min的攜帶氣體降溫效過最佳。同時比較三個不同流量的冷卻氣體的情況發現，當冷卻氣體流量為5 L/min時，攜帶氣體為2L/min時，系統內的冷卻速率最快。



(A)



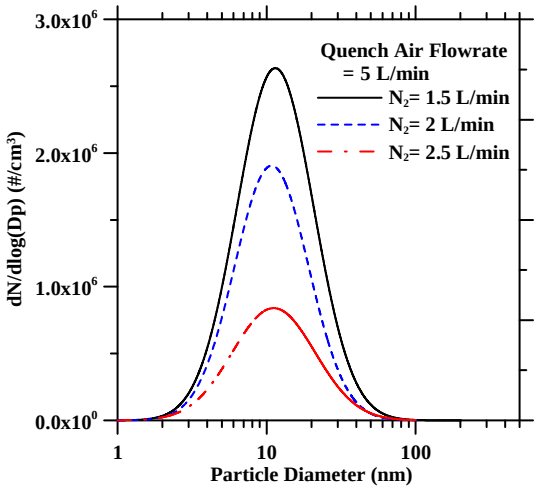
(B)



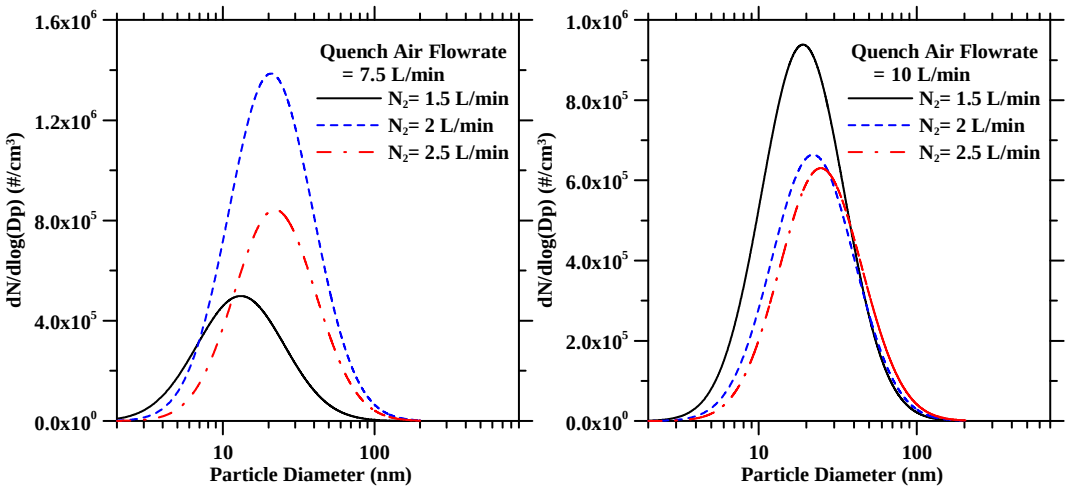
(C)

圖 4.10 高溫爐設定溫度為 500°C，冷卻氣體流量流量為(A) 5 L/min、(B) 7.5 L/min 與(C) 10 L/min，攜帶氣體分別為 1.5、2、2.5 L/min 時，核凝稀釋系統的溫度曲線。

圖4.11為高溫爐溫度設定500°C，氣體流量參數與圖4.10中的參數相同時，產生出之奈米氧化鋅以SMPS所測得的微粒粒徑分佈，表4.8則列出了各個微粒粒徑分佈的詳細參數。結果顯示，在冷卻氣體流量為5 L/min的情況下，攜帶氣體之流量為1.5、2與2.5 L/min時，微粒的NMD分別為11.85、11.25及11.88 nm，且攜帶氣體流量的改變只影響到微粒的總數目濃度，對NMD與幾合標準偏差(σ_g, Geometric standard deviation)的影響並不明顯。而在冷卻氣體之流量為7.5 L/min的情況下，攜帶氣體流量為1.5、2與2.5 L/min時，奈米氧化鋅的NMD分別為13.76、20.66與21.90 nm，此時微粒的NMD明顯受到攜帶氣體流量變化的影響，且NMD也比冷卻氣體流量為5 L/min時來的大。當冷卻氣體流量為10 L/min，攜帶氣體流量為1.5、2與2.5 L/min時，微粒的NMD分別為18.99、21.94及 24.52 nm。



(A)



(B) (C)

圖 4.11 高溫爐設定溫度為 500°C，冷卻氣體流量流量為(A) 5 L/min、(B) 7.5 L/min 與(C) 10 L/min，攜帶氣體分別為 1.5、2、2.5 L/min 時，以 SMPS 量測奈米氧化鋅微粒的粒徑分佈。

表 4.8 高溫爐設定溫度為 500°C，冷卻氣體流量流量為 5、7.5 與 10 L/min，攜帶氣體分別為 1.5、2、2.5 L/min 時，產生的奈米氧化鋅微粒的 NMD、σ_g 及總微粒數目濃度。

冷卻氣體流量 (L/min)	攜帶氣體流量 (L/min)	鋅粉放置位置之溫度 (°C)	NMD (nm)	σ_g	Total Num. Conc. (#/cm^3)
5	1.5	503	11.85	1.66	$1.01*10^8$
	2	535	11.25	1.63	$7.03*10^7$
	2.5	520	11.88	1.70	$3.42*10^7$
7.5	1.5	552	13.76	1.73	$2.17*10^7$
	2	535	20.66	1.83	$6.07*10^7$
	2.5	520	21.90	1.81	$3.60*10^7$
10	1.5	552	18.99	1.78	$3.90*10^7$
	2	535	21.94	1.80	$2.78*10^7$
	2.5	517	24.52	1.80	$2.63*10^7$

奈米銀微粒

由於銀的熔點約為960°C，本研究也在高溫爐為1000°C時，不同流量的冷卻氣體與攜帶氣體下產生銀微粒，並對其數目分佈進行量測。圖4.12及圖4.13為高溫爐為1000°C時，當冷卻氣體分別為5 L/min及7.5 L/min時，在不同的氣體流量參數下所產生出之奈米銀以SMPS所測得的微粒粒徑分佈，表4.9則列出了各個微粒粒徑分佈的詳細參數。結果顯示，當冷卻氣體為5 L/min，攜帶氣體流量分別為1、1.5與2 L/min時，產生出的奈米銀微粒NMD分別為5.33、9.14與10.85 nm。

當冷卻氣體流量增加至7.5，攜帶氣體流量分別為1、1.5與2 L/min時，產生出的奈米銀微粒NMD分別為4.51、4.79與4.70 nm。由上述的結果可看出，本研究自行開發的核凝稀釋系統可產生出粒徑小於30 nm且分布窄的奈米氧化鋅及奈米銀微粒，未來將可提供粒徑較小的奈米微粒之呼吸毒性測試。

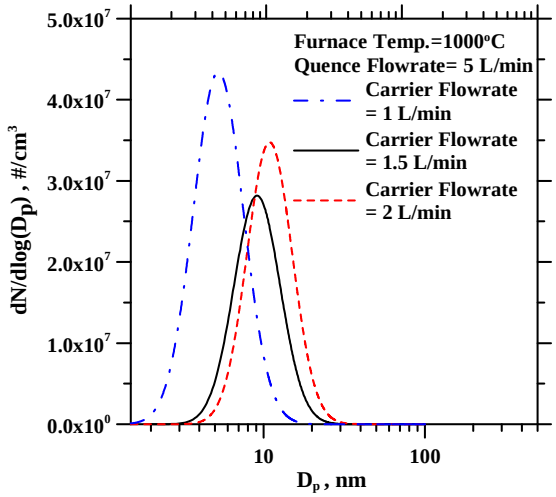


圖 4.12 高溫爐溫度與冷卻氣體流量分別為 1000°C 與 5 L/min，不同的攜帶氣體流量下產生的奈米銀微粒分布。

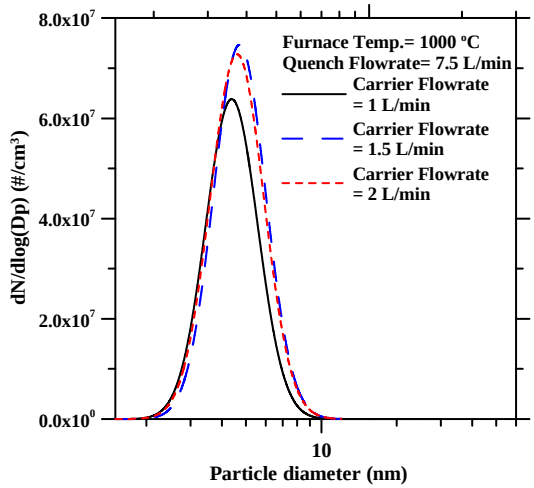


圖 4.13 高溫爐溫度為 1000°C，使用不同流量的攜帶氣體與冷卻氣體下產生的奈米銀微粒分布。

表 4.9 高溫爐溫度為 1000°C，使用不同流量的攜帶氣體與冷卻氣體下產生的奈米銀微粒的 NMD、σ_g 與總數目濃度。

冷卻氣體 (L/min)	攜帶氣體 (L/min)	NMD (nm)	σ_g	Total Num. Conc. (#/cm^3)
5	1	5.33	1.44	$1.69*10^7$
	1.5	9.14	1.37	$9.63*10^6$
	2	10.85	1.38	$1.21*10^7$
7.5	1	4.51	1.25	$1.54*10^7$
	1.5	4.79	1.26	$1.86*10^7$
	2	4.70	1.26	$1.84*10^7$

4.2.2 燒結對團聚銀微粒影響之探討

團聚銀微粒的產生

除了產生粒徑較小的奈米微粒以供吸入毒性測試用，本研究也嘗試產生團聚的銀奈米微粒，以探討團聚微粒在燒結過後其形貌、粒徑分佈、表面積濃度等變化，並為吸入毒性測試提供較完整的參數。根據Weon et al. (2009)的實驗結果可知，若未在高溫爐內的加熱區段即注入冷卻氣體，產生出來之銀微粒易有團聚的現象。因此本研究將核凝稀釋系統內的冷卻氣體關掉，再對產生出的微粒進行粒徑分佈量測。當高溫爐設定溫度為1100°C，及冷卻氣體及攜帶氣體分別為0及2 L/min時，其產生出微粒之數目分佈及質量分佈分別由如圖4.14所示。由結果可看出產生出微粒之NMD及質量中間氣動直徑(MMAD, Mass median aerodynamic diameter)分別為42.37 nm和140 nm，由總數目濃度及總質量濃度可推算出其有效密度約為1.13 g/m^3，遠小於銀塊材密度(10.49 g/m^3)。由此結果也可判斷出此狀況下所產生的銀微粒有團聚的情況。而本研究即以此實驗操作參數(冷卻氣體：0 L/min，攜帶氣體：2 L/min)產生團聚銀微粒，作為後續燒結的對團聚微粒影響之探討。

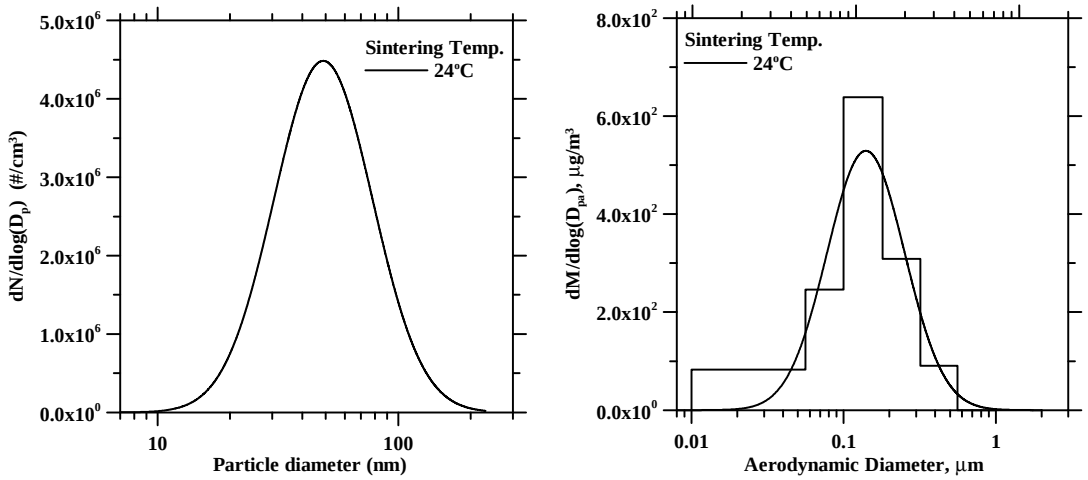


圖 4.14 當高溫爐設定溫度為 1100°C，冷卻氣體及攜帶氣體分別為 0 及 2 L/min 時，未經過燒結的銀微粒之數目分佈(左)及質量分佈(右)。

團聚銀微粒經燒結後粒徑分佈、質量分布與有效密度變化的情形

圖4.15為團聚的銀微粒經過不同燒結溫度後，其微粒粒徑分佈的情形，圖4.16則為各個數目分佈下之詳細參數隨燒結溫度變化的情形。由結果可看出微粒的NMD及σ_g均會隨著燒結溫度的升高而下降，但當燒結溫度高於300°C後，兩者下降的情況均有漸緩的趨勢，由此結果推斷，若溫度提高至500°C以上時，燒結作用對團聚微粒粒徑的影響會變得較不顯著。

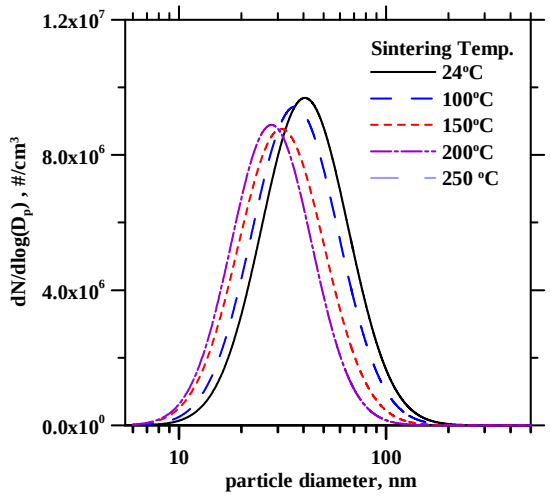


圖 4.15 不同燒結溫度下奈米銀微粒粒徑分佈的變化。

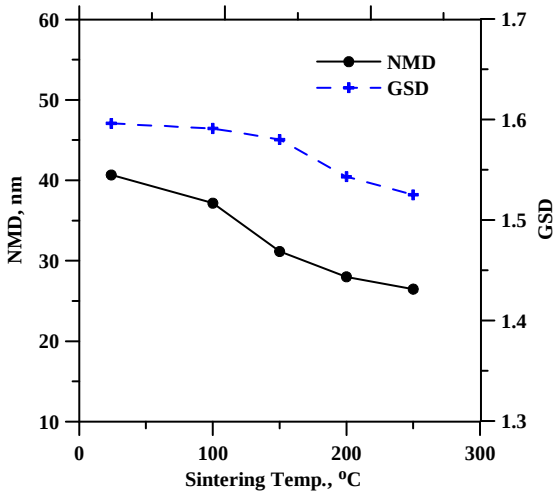


圖 4.16 銀微粒的 NMD 與 σ_g 於不同燒結溫度下的變化。

圖4.17為使用微孔均勻沉降衝擊器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI, Model 110, MSP Corp., MN, USA)採集經過不同燒結溫度的銀微粒，所測得的質量分布。由該圖可看出，當燒結溫度由100°C提升至150°C時， MMAD顯著地提升。當燒結溫度高於150°C時，MMAD增加的趨勢漸緩。表4.10列出了上述微粒數目及質量濃度分布在各個燒結溫度下的詳細參數及所換算出來的微粒有效密度。由該表可看出提高燒結溫度可使微粒的有效密度提升，表示微粒

形狀已由原始的團聚微粒變得趨於球型。目前本研究尚未對燒結溫度大於250°C的微粒進行質量分布的量測，但由微粒數目濃度分布變化以及250°C以下微粒質量濃度分布變化的趨勢判斷，當燒結溫度高於250°C時，微粒有效密度可能變化不大。

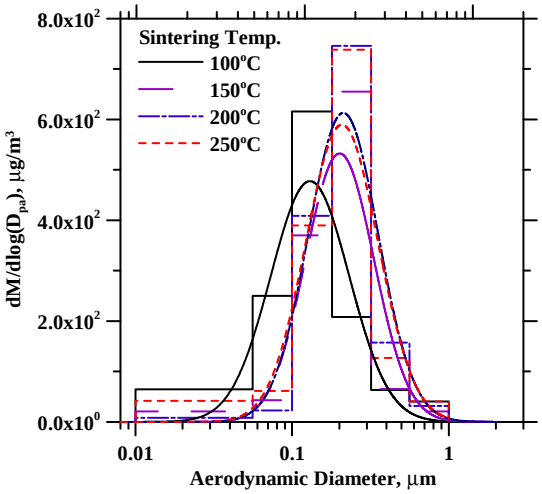


圖 4.17 銀微粒經不同溫度燒結後之質量分布。

表 4.10 不同燒結溫度下奈米銀微粒有效密度的量測結果。

sintering temperature (°C)	NMD (nm)	MMAD (nm)	effective density (g/m^3)
100	37.16	128	1.12
150	31.15	201	2.26
200	28.00	212	3.57
250	26.47	208	4.05

微粒表面積量測及分析

本研究在計算表面積濃度時，首先假設奈米銀微粒皆為圓球狀，接著使用下列公式(4.4)，便可將掃描式電移動度分析儀(SMPS)量測之數目濃度分佈與ICRP model之肺胞沉積機率曲線換算後，可求出之肺胞區沉積表面積，最後與表面積測定儀(AEROTACK 9000)量測之實測值進行比較：

$$S_{SMPS} = \sum_{i=1}^{n} \pi d_{pm_i}^2 \times N_i(d_{pm_i}) \times \eta_i(d_{pm_i}) \qquad (4.4)$$

其中S_{SMPS}為由SMPS進行換算後之肺胞區沉積表面積濃度(μm^2/cm^3)、$N_i(d_{pmi})$為某粒徑區間內之數目濃度(#/cm^3)、$\eta_i(d_{pmi})$某粒徑之微粒沉積在肺胞區之效率。由於實際奈米銀微粒之形貌並非圓球狀，本研究利用下列公式(4.5)求得一相關

係數，稱其為表面積之形狀因子，將實測值與計算值進行校對。

$$S_A = \kappa_S S_{SMPS} \tag{4.5}$$

其中SA為AEROTRACK 9000量測之實測值($\mu m^2/cm^3$)，S_{SMPS}為由SMPS進行換算後之肺胞區沉積表面積濃度($\mu m^2/cm^3$)，κ_S為表面積形狀因子。

蒸發/核凝法所產生微粒之肺胞區沉積表面積濃度實測值與計算值比較結果如表4.11所示，可發現蒸發/核凝法產生微粒經不同溫度燒結後之表面積形狀因子皆為1.98± 0.24。由蒸發/核凝法所產出之微粒，其形貌為較鬆散的團聚微粒，因此計算出的差異較大。

表 4.11 以蒸發/核凝法產生的銀微粒經過不同燒結溫度後，使用 SMPS 所量測之數目濃度分佈經 ICRP 模式之肺胞沉積機率曲線換算出之肺胞區內沉積表面積濃度與 Aerotrak 量測實測值之比較。

Temperature (^oC)	Measured alveolar deposited surface area, AEROTRACK 9000 (μm^2/ c.c.)	Calculated alveolar deposited surface area from SMPS data (μm^2/ c.c.)	Shape factor for surface area
100	15444.83	10037.89	1.54
150	13343.28	6741.62	1.98
200	12303.31	5447.71	2.26
250	11592.36	5340.02	2.17

不同電移動度粒徑銀微粒的有效密度

上述的有效密度是以MOUDI量測的總質量濃度與SMPS量測的總數目濃度換算而得，由此方法所計算出的微粒有效密度較粗略，僅可用來與微粒塊材密度比較，以判斷微粒團聚的程度。為了進一步觀察特定電移動度粒徑(d_m)的微粒在不同燒結溫度下的變化情形，本研究將未燒結及以不同溫度燒結過後的銀微粒分別由DMA篩選出不同d_m的微粒，再由後方以氣膠質量分析儀(APM, Aerosol Particle Mass Analyzer)及核凝微粒計數器(CPC, Condensation Particle Counter)串聯的系統同時量測微粒的質量及數目濃度，並進而推算出微粒的有效密度。圖4.18為未經燒結及經不同燒結溫度後，d_m為20至100 nm的微粒有效密度變化的情形。由該圖可看出在未經燒結及各個燒結溫度的情況下，粒徑越大的微粒有效密度越低，這是由於這些大粒徑的微粒均為初始微粒(primary particle)團聚而成的團粒(aggregate particle)，才會使其有效密度降低。觀察各個粒徑下的微粒在不同燒結溫度下的變化可看出粒徑越小的微粒其有效密度受燒結的影響越小，反之越大。其中粒徑為20和100 nm的微粒在經300^{o}C燒結後，其有效密度分別增加了20及67 %。造成此現象之原因為粒徑小的微粒本身就已非常接近初始微粒，較無團聚的現象，故燒結後微粒形貌改變不大，而粒徑大的微粒大部分均為團聚微粒，有效密度較低，燒結後形貌改變較大。此外，由該結果也可看出微粒的有效密度經100^{o}C燒結後改變不大，其各個粒徑有效密度平均僅提升9

%，當燒結溫度升至150°C時，各個粒徑的有效密度才有較顯著的提升，其各個粒徑有效密度平均約提升42 %，而當燒結溫度升至300°C時，各個粒徑有效密度則平均提升56 %。

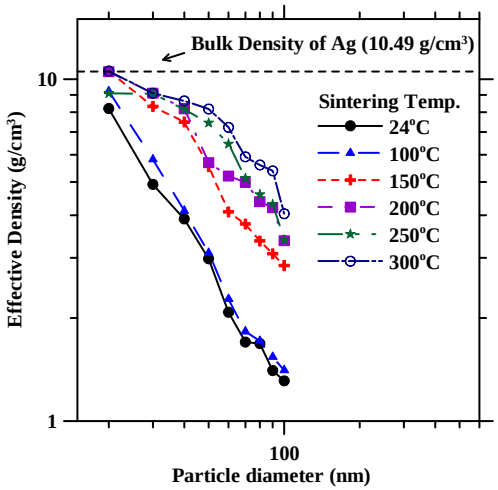


圖 4.18 未經燒結及經不同燒結溫度後，d_m 為 20 至 100 nm 的銀微粒有效密度變化的情形。

4.2.3 以噴霧法產生奈米銀微粒

本研究用於產生奈米銀微粒的銀膠懸浮液，其濃度為1000 μg/mL，此濃度過高可能導致單顆水滴內存在的微粒數目過多進而形成團聚微粒。為降低單顆水滴內微粒的數目，本研究將銀溶膠溶液稀釋至30 μg/mL。

銀微粒之數目及質量濃度分布

根據4.1節中粒徑量測的結果可知，由霧化器產生的氣懸水滴微粒經過Marple個人多階衝擊器後，可降低團聚微粒的數量，因此本研究也在此奈米銀微粒監測檢測系統的霧化器後端加裝相同的衝擊器，以降低含多顆微粒之大顆水滴進入後端系統之可能性。加裝Marple個人多階衝擊器前後且在不同溫度條件下，SMPS掃瞄出之微粒粒徑分布及各個分布的詳細參數如圖4.19與表4.12所示。由結果可看出在使用Marple個人多階衝擊器後，各個燒結溫度條件下的微粒分布均有變小的趨勢，微粒NMD的平均值由52.45 nm降至44.28 nm，此外，微粒粒徑分佈也變得較集中，σ_g從1.72±0.005降低至1.50±0.02。此結果也顯示在霧化器後端加裝Marple個人多階衝擊器可使燒結過後的微粒粒徑分布變小且集中。故本研究在之後的實驗系統中均在霧化器後端均加裝Marple個人多階衝擊器。

由表4.12可知，當燒結溫度由100°C上升至400°C時，微粒的NMD由45.4 nm降至41.7 nm，σ_g也由1.51降至1.48。圖4.20則為不同燒結溫度下，微粒質量分布的情形。當燒結溫度由100°C上升至400°C時，其MMAD由136 nm降至126 nm，σ_g則由1.80降至1.77。由上述結果可知燒結溫度由100°C上升至400°C時，微粒的數目及質量分布均有些微下降的趨勢，但並不明顯。此外，結果也顯示質量分

布較粒徑分佈廣，推測原因為量測微粒質量分布時，本研究所使用MOUDI的採樣時間較長，約為3-4小時，在如此長時間的採樣下，霧化器產生的液滴容易累積在Marple個人多階衝擊器內，部分累積較大顆的液滴會被通過的氣流擾動而濺起，並順著氣流進入後端的高溫爐而燒結出較大顆的微粒，使得MOUDI採集到較多大顆微粒進而使質量分布變廣。

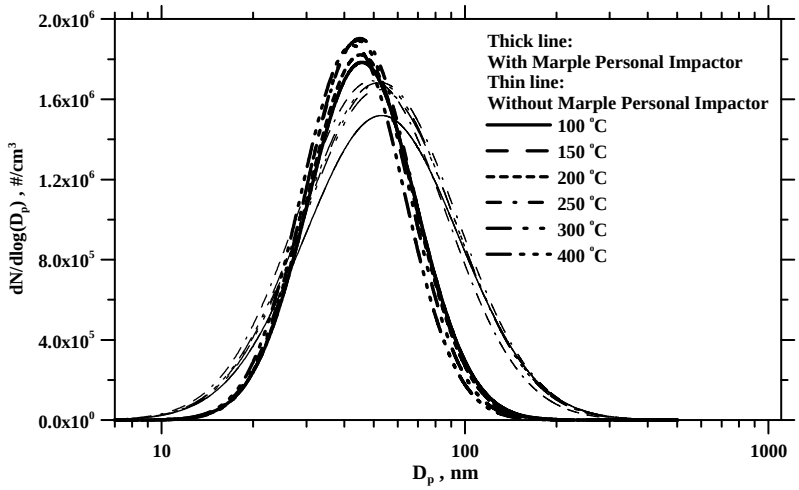


圖 4.19 比較以霧化器產生的奈米銀微粒，在加裝 Marple 個人多階衝擊器前後，經過不同燒結溫度(100、150、200、250、300 與 400°C)後，粒徑分佈之變化。

表 4.12 比較以霧化器產生的奈米銀微粒，在加裝 Marple 個人多階衝擊器前後，經過不同燒結溫度(100、150、200、250、300 與 400°C)後，NMD、σ_g 與總數目濃度的變化。

	With marple			Without marple		
Furnace Temp.	NMD (nm)	σ_g	Number conc. (#/cm^3)	NMD (nm)	σ_g	Number conc. (#/cm^3)
100 °C	45.4	1.51	8.00*10^5	53.5	1.73	9.41*10^5
150 °C	45.4	1.51	8.02*10^5	53.9	1.73	9.42*10^5
200 °C	44.8	1.49	8.01*10^5	53.1	1.73	1.03*10^6
250 °C	44.6	1.49	8.06*10^5	52.4	1.72	1.01*10^6
300 °C	43.8	1.48	8.06*10^5	51.9	1.72	1.03*10^6
400 °C	41.7	1.48	7.94*10^5	49.9	1.72	1.03*10^6

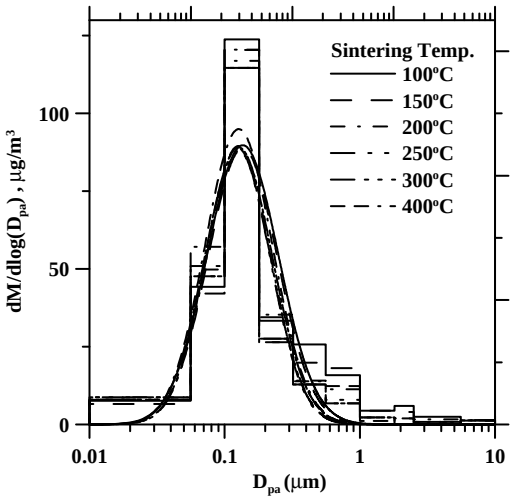


圖 4.20 銀微粒經不同加溫溫度(100、150、200、250、300 與 400°C)後，微粒質量濃度分布的變化。

表4.13為本研究在各個燒結溫度下，以MOUDI所採集到的微粒總質量濃度和SMPS所測得之總數目濃度換算的微粒有效密度。結果顯示各個溫度下所換算出之有效密度均小於銀的塊材密度(10.49 g/cm^3)。

表 4.13 在燒結溫度分別為 100、150、200、250、300 與 400°C 下，以 MOUDI 所採集到的微粒總質量濃度和 SMPS 所測得之總數目濃度換算的微粒有效密度。

Temperature (°C)	Effective Density (g/cm^3)
100	1.30
150	1.27
200	1.45
250	1.27
300	1.41
400	1.33

圖4.21為本研究將燒結溫度提高至500°C後，微粒數目濃度分布的情形。結果顯示數目濃度呈現雙峰分布，第一個峰值約在7.6 nm，第二個峰值則在38.6 nm。本研究推測7.6 nm的峰值為銀懸浮液表面的介面活性劑蒸發並核凝成微粒所造成，38.6 nm的峰值則為被燒結過後的銀微粒所造成。此外，比較和燒結溫度在400°C以下的結果可發現，當燒結溫度提升至500 °C時，微粒粒徑分佈有較明顯的變化，NMD降至38.6 nm，且微粒數目濃度提升至9.2*10^5 #/cm^3。造成燒結溫度在400 °C以下時，微粒粒徑分佈變化不明顯的原因推測為雖然微粒的形貌及大小已受燒結溫度的提高而改變，但受到其表面的介面活性劑的影響，使得SMPS在不同溫度下所量測出粒徑分佈改變不大。

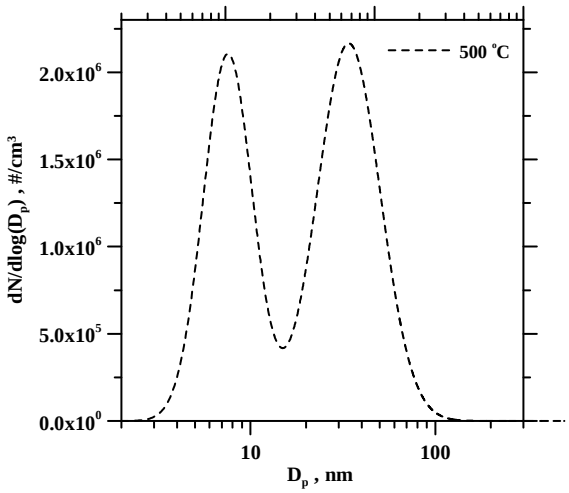


圖 4.21 以 SMPS 量測銀微粒經過燒結溫度 500°C 後的粒徑分佈。

不同電移動度粒徑銀微粒的有效密度

根據表4.13中的結果，當燒結溫度低於400°C時，使用MOUDI的質量分布與SMPS的數目濃度換算的有效密度並沒有明顯的改變。為了進一步觀察特定電移動度粒徑(d_m)的微粒在不同燒結溫度下的變化情形，本研究將未燒結及以不同溫度燒結過後的銀微粒分別由DMA篩選出不同d_m的微粒，由APM及CPC串聯的系統同時量測微粒的質量及數目濃度，並進而推算出微粒的有效密度。

圖4.22為使用噴霧法產生的銀微粒，未經燒結及經不同燒結溫度後，d_m為20至100 nm的微粒有效密度變化的情形。由該圖可看出在當燒結溫度低於400°C時，與室溫相比有效密度的變化皆不大，各個粒徑的變化均在10%內。此結果與上述的粒徑分佈與質量分布的結果一樣，燒結溫度對微粒分布等影響不大。而燒結溫度提升至500°C時，粒徑大於40 nm的銀微粒其有效密度的變化與低於400°C時差異不大，分別提升8.65與16.37 %；而微粒粒徑為20 nm時，有效密度明顯地提升至7.035 g/cm^3(提升56 %)。

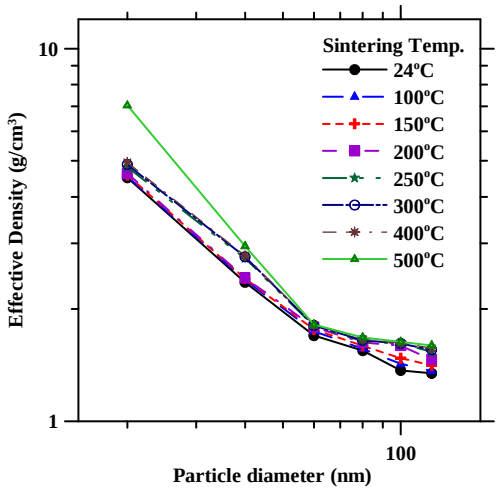


圖 4.22 未經燒結及經不同燒結溫度後，dm 為 20 至 100 nm 的銀微粒有效密度變化的情形。

微粒表面積量測及分析

本研究在計算表面積濃度時，首先假設奈米銀微粒皆為圓球狀，接著使用公式(4.4)與公式(4.5)，便可將掃描式電移動度分析儀(SMPS)量測之數目濃度分佈與ICRP model之肺胞沉積機率曲線換算後，可求出之肺胞區沉積表面積，最後與表面積測定儀(AEROTACK 9000)量測之實測值進行比較。

噴霧法所產生微粒之肺胞區沉積表面積濃度實測值與計算值比較結果如表4.15所示，相較於蒸發/核凝法，可發現噴霧法產生微粒經不同溫度燒結後之表面積形狀因子皆落在1.38± 0.15。根據上述結果可發現在兩種微粒產生方法中，蒸發/核凝法產生之表面積形狀因子較噴霧法產生之表面積因子來的大，原因為由蒸發/核凝法所產出之微粒，其形貌為較鬆散的團聚微粒，而所噴霧法產生微粒的微粒形貌較緊實且近似圓球形所造成的差別。

表 4.14 以噴霧法產生的銀微粒經過不同燒結溫度後，使用 SMPS 所量測之數目濃度分佈經 ICRP 模式之肺胞沉積機率曲線換算出之肺胞區內沉積表面積濃度與 Aerotrak 量測實測值之比較。

Temperature (^oC)	Measured alveolar deposited surface area, AEROTRACK 9000 ($\mu m^2/cm^3$)	Calculated alveolar deposited surface area from SMPS data ($\mu m^2/cm^3$)	Shape factor for surface area
100	2042.87	1210.84	1.69
150	1992.71	1347.44	1.48
200	1729.77	1302.71	1.33
250	1663.56	1253.46	1.33
300	1571.89	1191.76	1.32
400	1555.4	1207.98	1.29
500	1719.38	1381.71	1.24

微粒形貌與有效密度

由前述的結果可知，以噴霧法經燒結後產生出之奈米銀微粒，其NMD約為44.7 nm，與銀膠懸浮液之產品型號所標示75至100 nm的範圍不相符。因此，為了進一步確認奈米銀微粒的粒徑，本研究也將銀膠懸浮液滴在矽晶片上再以SEM直接進行觀察，結果如圖4.23所示，其中圖4.23A及B分別為銀膠懸浮液稀釋前後的結果。結果顯示稀釋前後大部分微粒的粒徑仍較廠商所標示的75至100 nm範圍小。此外由結果也可看出未稀釋(1000 μg/mL)之銀膠微粒多為團聚狀且粒徑分佈非常不均勻，粒徑約介於40至60 nm之間。而當銀膠懸浮液濃度稀釋至30 μg/mL後，銀微粒團聚狀況明顯改善，粒徑也變得較小，約介於30至50 nm之間。

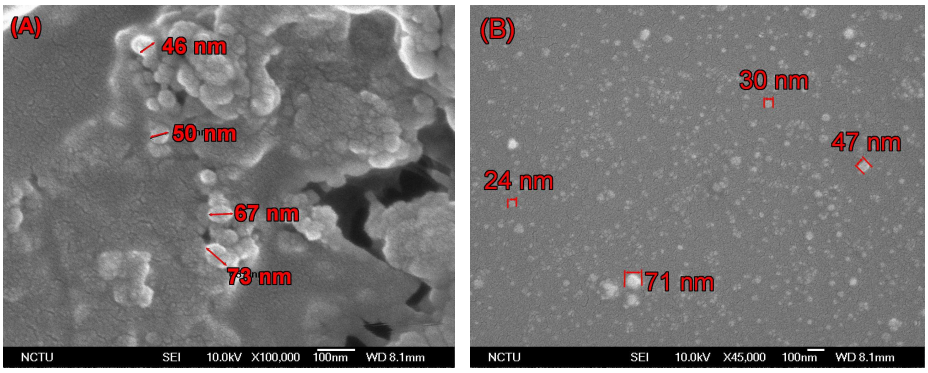


圖 4.23 使用 SEM 觀察(A)銀膠原液(1000 μg/mL)與(B)稀釋銀膠溶液(30 μg/mL)的微粒形貌。

為了確認此實驗結果，本研究也分別以SEM及TEM觀察微粒的形貌，其中SEM的樣品的製備方法為利用E-PNS將微粒沉積在PCTE濾紙(P/N PCT30013100, Sterlitech)上，而TEM樣品的製備方法則是利用MOUDI將微粒衝擊在銅網(Prod No. 01800-F, 200 Mesh Copper Grids, TED PELLA, Inc.)上。圖4.24與圖4.25為微粒經100°C燒結後，MOUDI第7-9階收集的銀微粒以TEM影像及X光能譜分析儀(EDX, Energy dispersive X-ray spectrometer)的分析結果由該圖可看出許多粒徑較小的銀微粒被介面活性劑包覆而形成許多粒徑約300 nm的聚集顆粒，EDX的分析結果也發現這些聚集微粒的成分除了銀之外還包含有氯和碳等元素，推測這些元素是由介面活性劑所貢獻。由此結果可知，上述以MOUDI及SMPS推算出之結果是介面活性劑包覆銀微粒的聚集微粒的有效密度，故所測得的有效密度會遠小於銀的塊材密度。

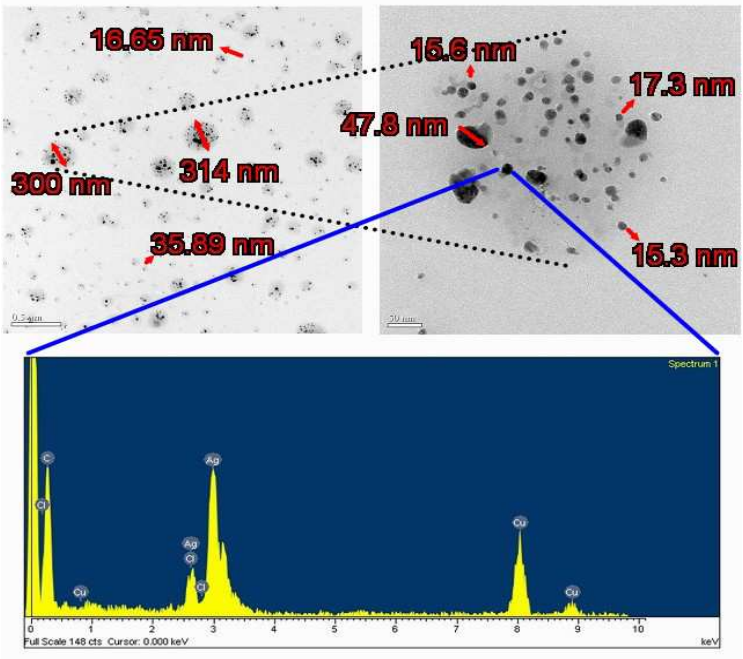


圖 4.24 微粒經 100°C 燒結後，MOUDI 第 7 階收集的銀微粒以 TEM 影像及 EDX 的分析結果。

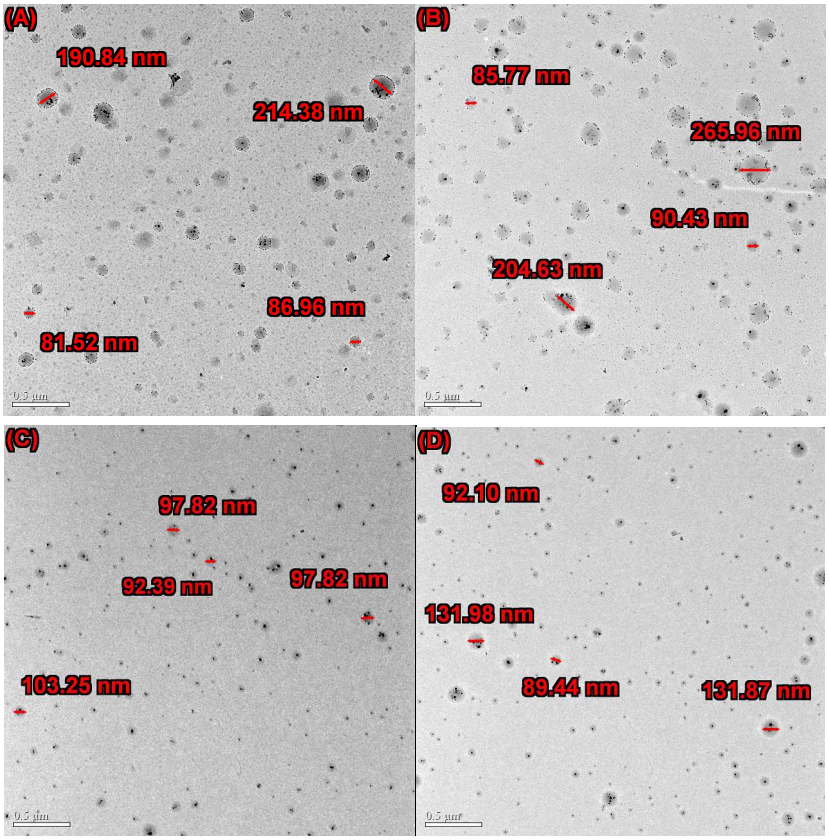


圖 4.25 微粒經 100°C 燒結後，MOUDI 第 8 階[(A)與(B)]與 9 階[(C)與(D)]收集的銀微粒以 TEM 影像的分析結果。

圖4.26為銀微粒經500°C燒結後，使用MOUDI第7階收集的微粒，並以TEM影像及EDX的分析結果。由該圖可看出，相較於燒結溫度為100°C的情況，微粒在經過500°C燒結後，由於介面活性劑已蒸發，微粒不再是團狀的聚集微粒，且初始微粒也開始有燒結的情形發生。圖4.27為銀微粒經500°C燒結後，使用MOUDI第9階收集的微粒，以TEM影像觀察形貌的結果。當燒結溫度為500°C時，微粒的形貌與MOUDI第7階中的形貌類似，微粒已有燒結的情形發生，但部分微粒還是以介面活性劑與銀組成之形式存在。

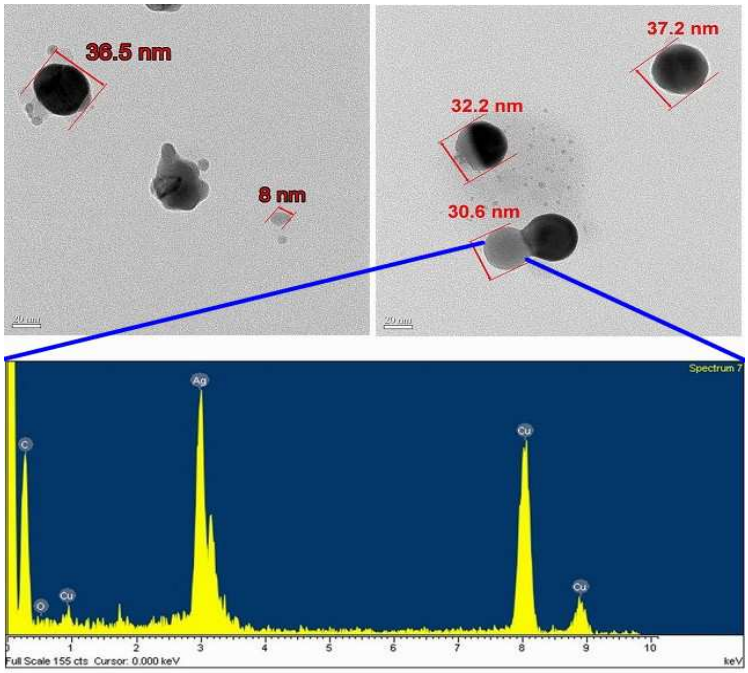


圖 4.26 微粒經 500°C 燒結後，MOUDI 第 7 階收集的銀微粒以 TEM 影像及 EDX 的分析結果。

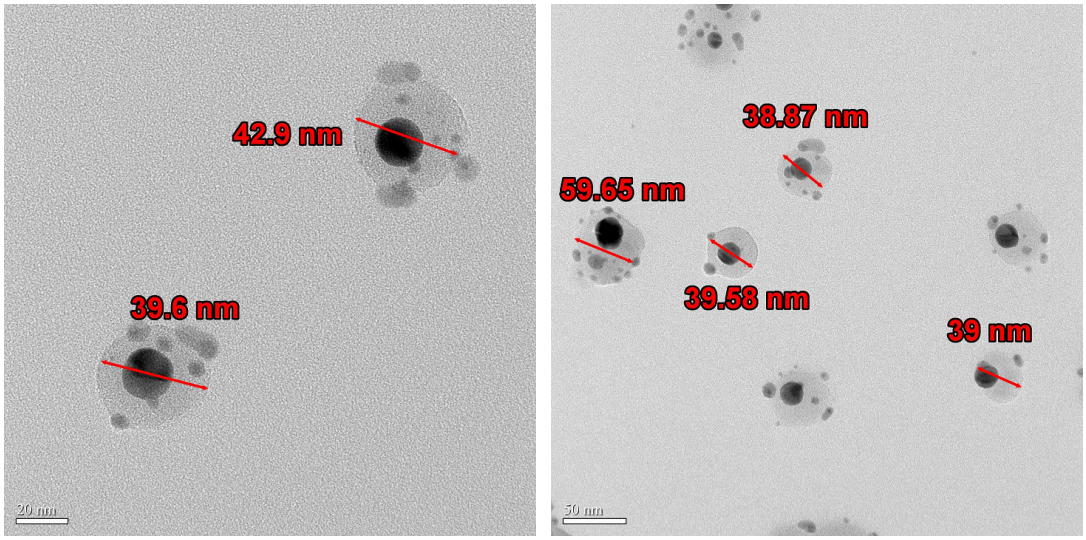


圖 4.27 微粒經 500°C 燒結後，MOUDI 第 9 階收集的銀微粒以 TEM 影像的分析結果。

本研究另使用E-PNS製備銀微粒之SEM樣本。銀微粒以噴霧法產生後，未燒結的微粒導入DMA中，篩選出40與60 nm的銀微粒，以E-PNS採集至PTCE濾紙上，並使用SEM觀察之，結果如圖4.28所示。由SEM影像可觀察出銀微粒之形貌皆為圓球形，且與DMA所篩選之粒徑符合。與使用MOUDI製備樣品的方式比較，使用DMA篩選出特定粒徑的微粒，並使用E-PNS收集的方式，能觀察特定粒徑的微粒，且樣品中的微粒形貌與粒徑較為均一，可進行後續的分析。

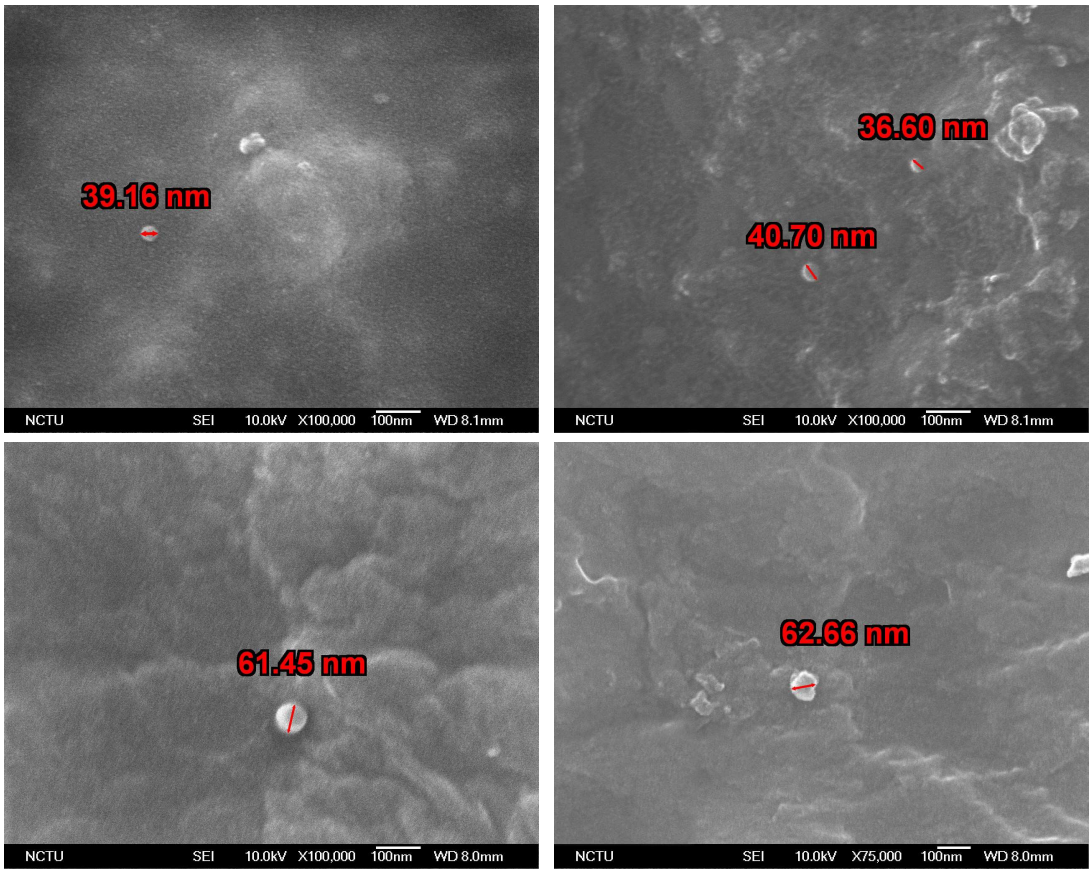


圖 4.28 以 SEM 觀察使用 E-PNS 採集的 40 與 60 nm 銀微粒。

4.3 開發具創新作法及應用可行性高的量測及特性描述分析工具

4.3.1 空氣中奈米微粒採樣方法開發

本研究已利用半導體製程製作出比 MSP 原廠 MOUDI 更平滑的噴嘴，並已安裝至 MOUDI 採樣器上(如圖 4.29)，為了驗證裝上本研究此自行研發之多微孔噴嘴的 NCTU MCI 也具有和 MSP 原廠 MOUDI 有相同的微粒分徑能力，本研究也對其進行現場比對與實驗室校正。由於期中報告前的現場比對結果顯示 NCTU MCI 及 MSP MOUDI 的採樣濃度在前 6 階均十分相近，在第 7 階後才有較明顯的差異，故本研究僅針對 7 至 9 階的衝擊器進行實驗室內校正，待確認 NCTU MCI 7 至 9 階衝擊器的收集效率曲現無誤後，再進行現場採樣比對。除此之外，本研究也評估了奈米微粒在 NCTU MCI 及 MSP MOUDI 內部的損失，結果也將在以下呈現。



圖 4.29 MSP 原廠(左)MOUDI 與本研究研發之 NCTU(右)大氣奈米微粒採樣器外觀及噴嘴照片。

期中報告前的現場比對結果

表 4.15 為 MSP MOUDI 及 NCTU MCI 於期中報告前現場比對的結果，圖 4.30 則為現場比對的粒徑分佈結果，表中數據為 NCTU MCI 與 MSP MOUDI 測得質量濃度之比值，越接近 1.0 代表同階層效率越相近，大於 1 表示 NCTU 收集到的微粒較 MSP 多，小於 1 則相反之。由結果可見第 0 階至第 6 階 MSP 與 NCTU MCI 所測得濃度的比值均介於 0.96-1.05 之間，顯示本研究使用傳統機械加工製作的第 0-6 階噴嘴是可以使用的。第 7 階以下的質量濃度分佈就有明顯的不同，第 7 階到終端濾紙間 MSP 與 NCTU MCI 所測得之質量濃度的比值介於 0.60-1.66 之間，差異較大，雖然各階採集到的濃度不同，但檢查每次採樣的數據發現兩台 MOUDI 第 7 階以下的階層的總濃度是相同的，由此可知可能是第七階以下衝擊器對微粒分徑效果不同所致。第 8 階 NCTU MCI 與 MSP MOUDI 所測得濃度的比值則約為 1.36，但此情況無法單由微粒收集效率曲線的差異去做解釋，還需考慮因第七階收集效率不同使得進入第 8 階微粒濃度不同等影響，依此類推往下的第 9、10 及終端濾紙階層也是一樣的情況。由此可知，當某一階微粒收集效率不同時，影響到的不只是該階收集到的微粒濃度，還會造成下一階的入口濃度不同，使下一階收集到的微粒濃度不同。

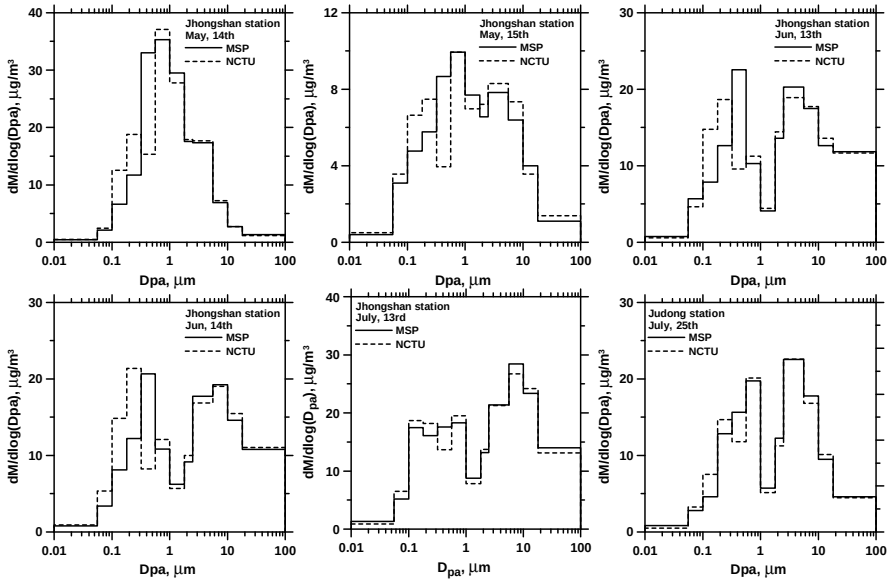


圖 4.30 期中報告前 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 現場比對的粒徑分佈結果。

表 4.15 期中報告前 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 現場比對的結果(n=6)。

階層	D_{pa50} (μm)	NCTU 測得濃度/MSP 測得濃度	σ_g
0	>18	0.99	± 0.07
1	10	1.05	± 0.05
2	5.6	0.98	± 0.05
3	2.5	0.98	± 0.05
4	1.8	0.99	± 0.08
5	1	0.96	± 0.08
6	0.56	1.03	± 0.06
7	0.32	0.60	± 0.17
8	0.18	1.36	± 0.31
9	0.1	1.66	± 0.30
10	0.56	1.13	± 0.26
after	<0.56	0.79	± 0.23

微粒收集效率曲線校正

由於 MOUDI 及 NCTU MCI 的現場比對結果僅在第七階以下的有較大的誤差，故本研究於實驗室內僅針對 NCTU MCI 及 MSP MOUDI 的第 7 至 9 階衝擊器進行微粒收集效率的校正。待確認兩者的收集效率曲線無誤後，再進行採樣比對。圖 4.28 及表 4.16 分別為校正的效率曲線圖及校正結果的整理表。結果顯示，本研究所校正的 MSP MOUDI 的微粒收集效率曲線和 Marple et al. (1991)的結果相當吻合，其中由本研究校正出之 MSP MOUDI 第 7、8 及 9 階的 d_{pa50} 分別為 285、166 及 97 nm，和由 Marple et al. (1991)文獻中校正曲線圖所擷取的數據 285、165 及 96 nm 十分相近，顯示本研究的校正結果無誤。此外，由上述結

果也可發現 MSP MOUDI 第 7、8 及 9 階的 d_{pa50} 分別較設計值小了約 10、8 及 3 %。當校正 NCTU MCI 時，為了使其 d_{pa50} 和設計值相近，本研究也調整了各階衝擊器的噴嘴-衝擊板距離(S)與噴嘴直徑(W)的比值(S/W)進行校正，結果顯示當 NCTU MCI 第 7、8 及 9 階的 S/W 值分別為 3.53 3.56 及 13.8 時，其 d_{pa50} 分別為 96.5、181 及 319 nm。由此結果可知，相較於 MSP MOUDI，NCTU MCI 的第 7 至 9 階衝擊器的 d_{pa50} 更接近設計值。

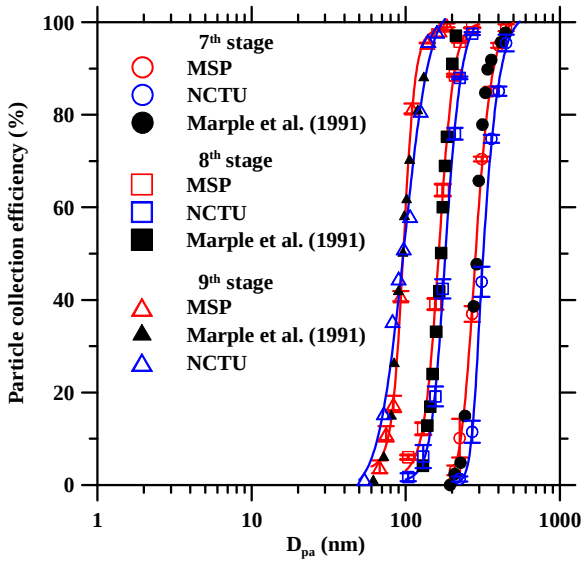


圖 4.31 NCTU 及 MSP MOUDI 第 7 至 9 階衝擊器的微粒收集效率曲線。

表 4.16 NCTU 及 MSP MOUDI 第 7 至 9 階衝擊器的校正結果。

		Marple et al. (1991)			MSP MOUDI			NCTU MCI		
階層	設計之 D_{pa50} (µm)	校正之 D_{pa50} (nm)	噴嘴直徑 (µm)	S/W	校正之 D_{pa50} (nm)	噴嘴直徑(µm)	S/W	校正之 D_{pa50} (nm)	噴嘴直徑 (µm)	S/W
7	320	285* (320)**	140	4.1	285	142 ± 0.57	2.68	319	138.74 ± 0.73	3.53
8	180	167* (180)**	90	6.4	164	111 ± 0.87	3.06	181	109.47 ± 0.82	3.56
9	100	96* (97)**	55	10.6	97	58.03 ± 1.0	11.9	96.5	54.28 ± 0.28	13.8

* 由 Marple et al. (1991)中的校正曲線圖中所擷取的數據。
** 由 Marple et al. (1991)中的校正結果表中所擷取的數據。

MOUDI 經過校正後之現場採樣比對

圖 4.32 為 NCTU MCI 經校正過後於中山及竹東測站和 MSP MOUDI 採樣比對的結果，表 4.17 則為則為現場比對的數據。由結果可看出 NCTU MCI 的第 7 至 9 階衝擊器經實驗室校正其微粒收集效率曲線並調整至適當的 S/W 值之後，所量測到的微粒質量分佈和 MSP MOUDI 變得相當接近，0 到 9 階的誤差均在 10 %以內，惟第 10 階及終端濾紙的誤差較大，推測原因為採樣濃度過低，受秤重誤差影響所致。

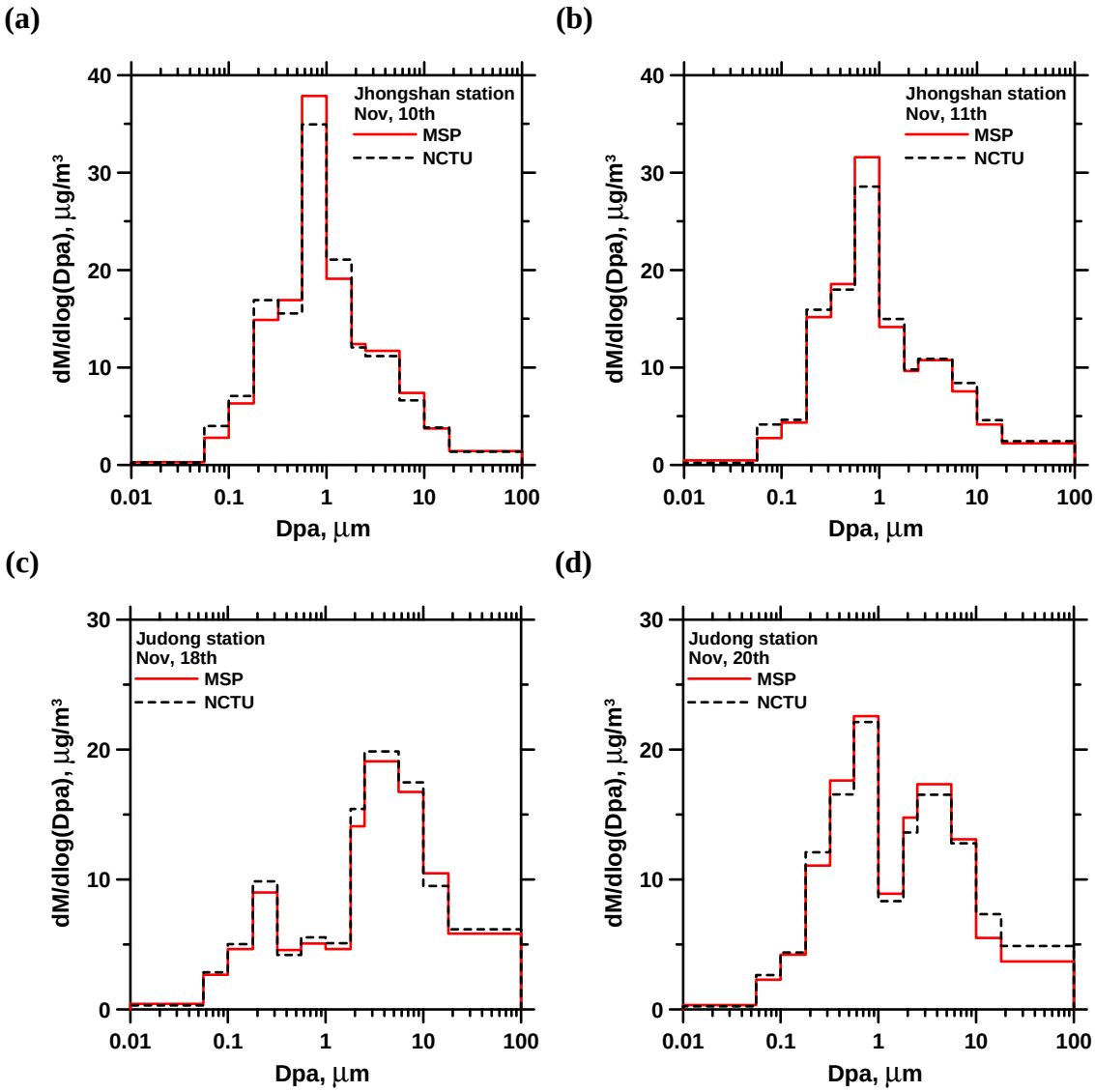


圖 4.32 實驗室校正後 MSP 與 NCTU MCI 現場比對結果圖，採樣日期(a)2011/11/10~11/11 中山，(b)2011/11/11~11/12 中山，(c)2011/11/18~11/19 竹東，(d)2011/11/20~11/21 竹東 。

表 4.17 實驗室校正之後 NCTU MCI 與 MSP MOUDI 現場比對的結果(n=4)。

階層	D_{pa50} (μm)	NCTU 測得濃度/MSP 測得濃度	σ_g
0	>18	1.04	0.05
1	10	1.03	0.09
2	5.6	1.01	0.09
3	2.5	0.99	0.04
4	1.8	1.00	0.07
5	1	1.05	0.08
6	0.56	0.97	0.08

7	0.32	0.94	0.02
8	0.18	1.09	0.04
9	0.1	1.08	0.03
10	0.56	1.29	0.21
after	<0.56	0.70	0.17

奈米微粒損失評估

除了微粒收集效率的校正之外，本研究也分別評估了奈米微粒在 NCTU 及 MSP MOUDI 第 9 階之前的損失。圖 4.33 為粒徑介於 17 至 90 nm 的微粒分別在 NCTU 及 MSP MOUDI 第 9 階之前損失的情形。由圖可看出微粒的損失有隨著微粒粒徑的降低而增加的趨勢，此現象主要是由擴散損失所造成。當微粒通過 MSP MOUDI 的進口至第 6 階衝擊器時，隨著微粒粒徑由 83 降至 17 nm，微粒損失會由 5.9 升至 18.8 %，而在相同的情況下，NCTU MCI 的微粒損失則是由 2.8 升至 18.1 %。當微粒通過 MSP MOUDI 的進口至第 7 階衝擊器時，上述的微粒損失則是由 6.6 升至 24.7 %，而 NCTU MCI 的微粒損失則是由 4.3 升至 20.7 %。當微粒通過 MSP MOUDI 的進口至第 8 階衝擊器時，上述的微粒損失則是由 13.2 升至 30.5 %，而 NCTU MCI 的微粒損失則是由 10.15 升至 30.2 %。由此結果可看出奈米微粒在 NCTU MCI 第 9 階之前的損失較 MSP MOUDI 低。

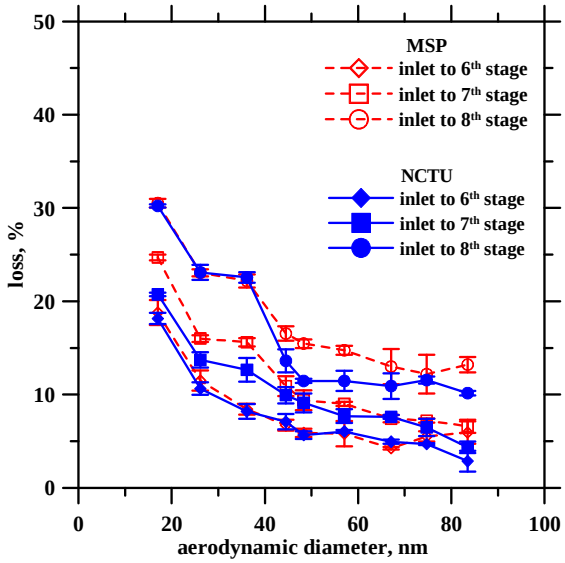


圖 4.33 奈米微粒在 NCTU 及 MSP MOUDI 第 9 階衝擊器之前的微粒損失。

此外，本研究也推導計算奈米微粒在各個階層的損失的公式，以評估各階層奈米微粒損失的情況。微粒由進口通過各階進到第 i 階的衝擊器的損失($L_{T,i}$)，可由式(4.6)表示：

$$L_{T,i} = 1-(1-L_1)(1-L_2)(1-L_3)\cdots(1-L_i) \quad (4.6)$$

其中 L_i 為微粒在第 i 階衝擊器中個別的損失。將 $L_{T,i}$ 減去 $L_{T,i-1}$ 可得到式(4.7)：

$$L_{T,i} - L_{T,i-1} = (1-L_1)(1-L_2)(1-L_3)\cdots(1-L_{i-1})\cdot L_i \tag{4.7}$$

式(4.7)經整理後可改寫為式(4.8)：

$$L_i = \frac{L_{T,i} - L_{T,i-1}}{1-L_{T,i-1}} \tag{4.8}$$

由於式(4.8)中等號右邊的各項未知數均可由之前微粒損失的實驗獲得，因此可利用該公式計算微粒在特定階層衝擊器內的微粒損失，計算的結果如圖 4.34 所示。由圖可看出奈米微粒在 MSP MOUDI 第 7 階中個別的損失較 NCTU MCI 高，而由第 8 階的計算結果則可看出當微粒大於 40 nm 時，MSP MOUDI 的微粒損失較高，當微粒小於 40 nm 時則是 NCTU MCI 的損失較高。

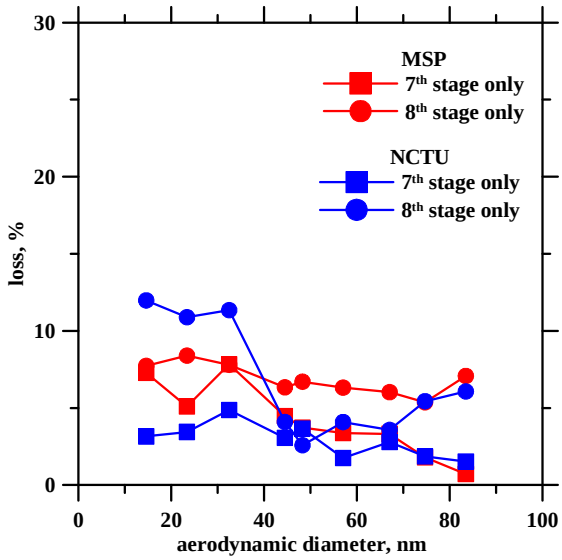


圖 4.34 奈米微粒在 NCTU 及 MSP MOUDI 中第 7 及 8 階衝擊器內個別微粒損失的計算結果。

微粒阻塞實驗

本研究將藉由 MSP MOUDI 及 NCTU MCI 同時採集實驗室自行產生的高濃度粉塵時壓損變化的情形，來評估噴嘴是否產生阻塞。由於 MOUDI 第 9 階(d_{pa}= 100 nm)為奈米微粒衝擊器，故本研究將針對該階的噴嘴進行阻塞評估。實驗所採用的負荷粉體為 TiO_2，但由於該分體分散後其質量中間直徑(Mass Median Aerodynamic Diameter, MMAD)約為 1 μm，若將整組 MOUDI 進行測試，大部分的微粒在進入第 9 階衝擊器前均會被去除，如此將不易看出該階是否造成阻塞。因此，本研究進行負荷實驗時，均將 MSP MOUDI 及 NCTU MCI 第 6 (d_{pa}= 560 nm)至 8 階(d_{pa}= 180 nm)衝擊器移除，讓通過第 5 階(d_{pa}= 1 μm)較大顆的微粒直接進入第 9 階衝擊器，以加速噴嘴阻塞的情況。

圖 4.35 為 MSP MOUDI 及 NCTU MCI 同時採集高濃度粉塵時，第 9 階衝擊

器壓損變化的情形。由該圖可看出在經過 100 分鐘的高濃度微粒採樣後，MSP MOUDI 壓損上升的情況明顯高於 NCTU MCI，顯示其噴嘴受到阻塞的情況較為嚴重。此外，在微粒負荷實驗後，本研究也以顯微鏡觀察兩者的噴嘴板阻塞的情況，發現 MSP 噴嘴板上已有多個噴嘴受到阻塞，甚至有些噴嘴已完全阻塞，如圖 4.36 (a)所示。反觀 NCTU MCI 的噴嘴板，僅觀察到少數幾個噴嘴內有微粒附著的情況。由上述壓損變化情形及顯微鏡拍攝圖，可證明 NCTU 內部較平滑的噴嘴能有效地減少微粒阻塞的情形。

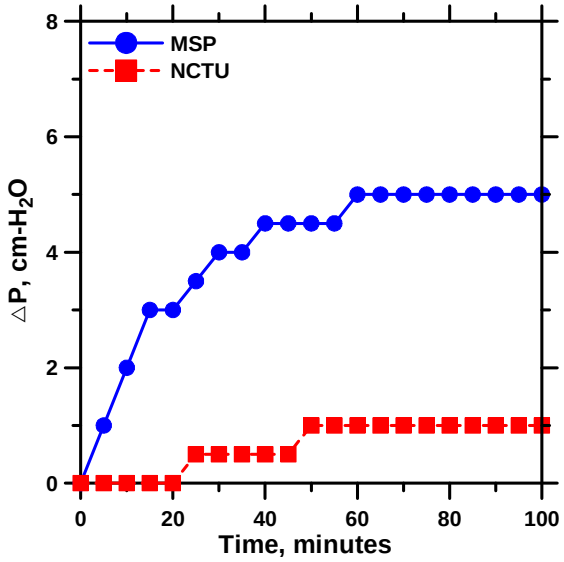


圖 4.35 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 第 9 階衝擊氣壓差時序變化圖。

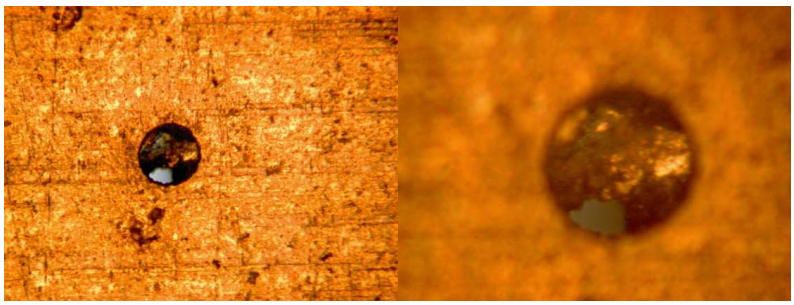


圖 4.36 MSP MOUDI 受到微粒阻塞的噴嘴。

4.3.2 各採樣點的微粒質量及數目濃度分佈

本團隊自今年 5 月起至 11 月底，每個月分別至國內 3 個空氣品質監測站進行 2 次的大氣採樣，至期末報告前本團隊已完成共 44 次採樣，分別為新莊測站 16 次、中山測站 14 次及竹東測站 14 次，採樣次數已超過預計的 36 次採樣。這 44 次採樣分為 22 個時段進行，每時段進行 2 次採樣，每時段的第一次採樣時間為下午 4 點，第二次為下午 5 點，採樣時間均為 24 小時，取得的數據為 MOUDI 的質量濃度與化學組成及 SMPS 的數目濃度與粒徑分佈。大氣條件參考溫度、濕度、降雨量、風速及風向等五項因子，汙染物參考 PM_{10}、$PM_{2.5}$、O_3 及 CO 四種汙染物，相關資料來源為環保署空氣品質監測網。由於本研究發現相同的

採樣點有相同的微粒粒徑分佈結果，因此以下就新莊、中山及竹東 3 處測站典型的微粒數目及質量濃度與粒徑分佈做討論，並對單一次採樣所發生的特殊事件進行個案分析，其它的採樣及監測數據放於附錄二。此外，本研究也分析了三個測站各個 PM 濃度隨月份的改變，結果將在本節最後做呈現。

新莊空品測站

新莊空品測站位於新北市新莊區輔仁大學校內一棟 4 樓建築物的頂樓，採樣點及周圍地理環境如圖 4.37 所示。在採樣點南方 200 公尺處的中正路及北方 700 公尺處的中山路均為交通流量較大的道路，在北方 3.5 公里處則是中山高速公路，這三條道路在上下班時間車流會明顯增加，為主要的交通污染源。東方 1.5 公里處的新莊市區也有不小的交通流量，因此也被視為主要的交通汙染源之一。此外，在新莊測站附近也有許多工業區及石化廠，分別為東北方 3.5 公里處的五股工業區、北方 3.5 公里處的泰山工業區及西北邊 6 公里處的林口工二、工三工業區，污染物可能會隨風向飄至測站，因此該測站除了考慮交通排放之貢獻外，也必須考慮工廠排放造成的影響。



圖 4.37 新莊測站採樣點位置及周圍地理環境。

本團隊今年在新莊測站共進行 16 次的採樣，16 次採樣當中除了 5 月 3 日當天因受大氣傳輸作用帶來微量沙塵使得微粒粒徑分佈不同外，其它各次採樣的結果均相當類似，其微粒質量濃度均呈現典型交通排放源的雙峰分佈，$PM_{0.1}$ 的濃度均介於 1 至 2.5 $\mu g/m^3$ 之間，此結果和本研究團隊過去在路邊採樣的結果類似(Chen et al. 2010)。以下就 6/7-6/9 日典型的新莊測站 MOUDI 及 SMPS 所測得的質量及數目濃度分佈做說明，並探討 5/3 採樣遇到的沙塵事件。

圖 4.38(a)及(b)分別為 06/07-06/08 及 06/08-06/09 新莊測站微粒的質量濃度分佈結果。由圖可知，06/07-06/08 及 06/08-06/09 MOUDI 的採樣結果十分相近，其 $PM_{0.1}$ 的質量濃度分別為 2.05 及 2.18 $\mu g/m^3$，兩日質量濃度分佈兩個峰值的 MMAD 分別為 0.34 和 5.35 μm 及 0.39 和 5.97 μm，此兩個峰值分別為累積模式(accumulative mode)及粗微粒模式(coarse mode)。此外，由結果也可看出這兩天的 $PM_{2.5}$ 在大氣微粒中有很高的比例，其 $PM_{2.5}$ 分別佔 PM_{10} 質量濃度的 62.6 及

68.1 %。

圖 4.39 則為 06/07-06/08 及 06/08-06/09 兩天新莊測站大氣條件及部分汙染物的時序分析圖。其中左邊以虛線框起的部分為 06/07-06/08 的監測結果而右邊以虛線框起的部分則為 06/08-06/09 的監測結果。一般來說，白天因交通流量大，微粒質量濃度會較高，凌晨則反之，但結果卻顯示這兩天 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 的濃度無明顯的日夜變化，推測原因為白天都會區因溫度較高，因熱對流的作用會使鄰近市郊溫度較低地區的空氣流入而稀釋大氣中微粒的濃度，夜晚則是因為累積作用的關係，使微粒濃度升高，白天微粒濃度降低夜晚微粒濃度升高的結果即造成 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 濃度無明顯變化的情況。

臭氧(O_3)主要由氮氧化物（NOx）與揮發性有機物（VOCs）經一連串光化反應而形成，因此可作為光化反應現象的指標污染物，而影響 O_3 的因子除 VOCs、NOx 外，還包含溫度、風速、日照強度、濕度..等氣象因子，通常在陽光強、風弱、降雨少，就容易出現高濃度的 O_3，一般產生時間約為上午 9 時陽光出現時開始反應，到下午 1-2 點達最高值。由圖 4.39 可看出，新莊測站 O_3 濃度呈典型的日夜變化，但濃度最高的時間發生在中午 12 點之前，與一般下午 2 點最高不同，這是因為夜晚風速較低造成 NOx 與 VOC 等污染物累積的現象，使得這些污染物的濃度在清晨的濃度便很高，因此早上太陽出來後即開始產生光化反應，造成白天光反應發生時間較早。

一氧化碳(CO)為車輛引擎不完全燃燒所排放的一次污染物，因此 CO 濃度易受到交通源排放的影響，去年本研究在交通匯集路口旁採樣的結果即顯示車流量和 CO 及 $PM_{0.1}$ 數目濃度之間有良好的相關性。然而由圖 4.39 中 CO 濃度變化的時序圖中卻僅發現 CO 濃度在晚上交通尖峰時刻後有升高的現象，在白天的尖峰時刻 CO 濃度反而下降。比對圖 4.39 中 $PM_{0.1}$ 數目濃度的時序變化結果也發現和 CO 濃度之間的關係不明顯。此結果和去年路邊採樣的結果不同，推測是因為該測站距離交通排放源仍有段距離，CO 在傳輸的過程中被稀釋或和其他物質反應所致。此外，本研究也發現 CO 濃度的變化和 O_3 呈現完全相反的趨勢，其詳細原因仍尚待探討。

圖 4.40 為 2011/06/07-06/09，本研究以 SMPS 在新莊測站所測得的微粒數目及分佈隨時間變化的情形。由該圖可看出，6/8 及 6/9 $PM_{0.1}$ 數目濃度最高的時間均出現在早上 8-11 點的上班或上課的尖峰時刻，$PM_{0.1}$ 數目濃度分別為 4.5×10^4 及 2.5×10^4 #/cm^3，NMD 分別為 20 nm 及 35 nm。6/8 上午 10 點到 12 點觀察到微粒成長現象，NMD 由原本的 20 nm 成長至 50 nm，$PM_{0.1}$ 數目濃度也略降至 $3.7*10^4$ #/cm^3，6/9 在同一時段也有觀察到類似的情況，但由於 $PM_{0.1}$ 數目濃度較低故此微粒成長的現象不明顯。造成上午 10 點到 12 點微粒成長的原因為上午尖峰時刻所排放出之奈米微粒經過團聚或是與其他無機酸鹽類結合所致。傍晚下班尖峰時刻約 16 點至 20 點時又有一濃度高起之現象，由數目分佈可看出此時段之濃度主要由 30 至 70 nm 的微粒所貢獻，30 nm 以下之微粒濃度較低，推測原因為晚上無光化反應，無法生成 30 nm 以下之衍生性氣膠。此原因也使傍晚尖峰時刻的 $PM_{0.1}$ 數目濃度僅剩上午尖峰時刻的一半，約為 2×10^4 #/cm^3。半夜 0 點至凌晨 6 點的微粒濃度均偏低，只有 1×10^4 #/cm^3，但微粒粒徑較大，其 NMD 介於 60-70 nm 之間，主要原因為較低的氣溫易使微粒膠結凝結成長成粒徑較大的微粒(Lonati et al. 2011)。

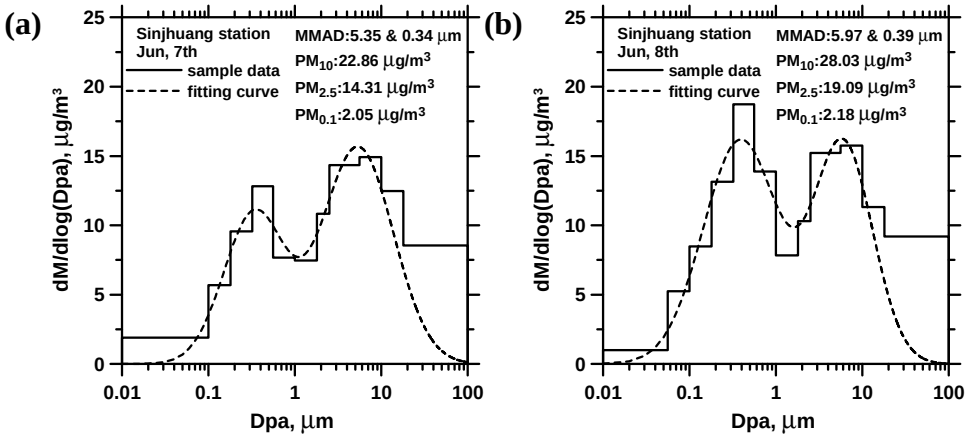


圖 4.38 (a) 2011/06/07-06/08 及(b)2011/06/08-06/09 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

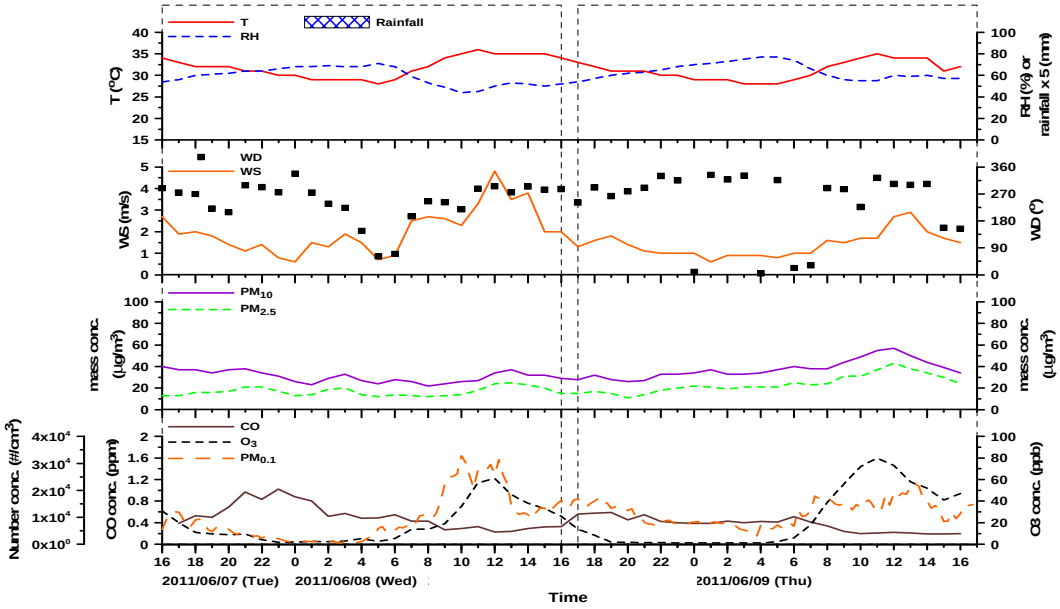


圖 4.39 2011/06/07-06/09 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

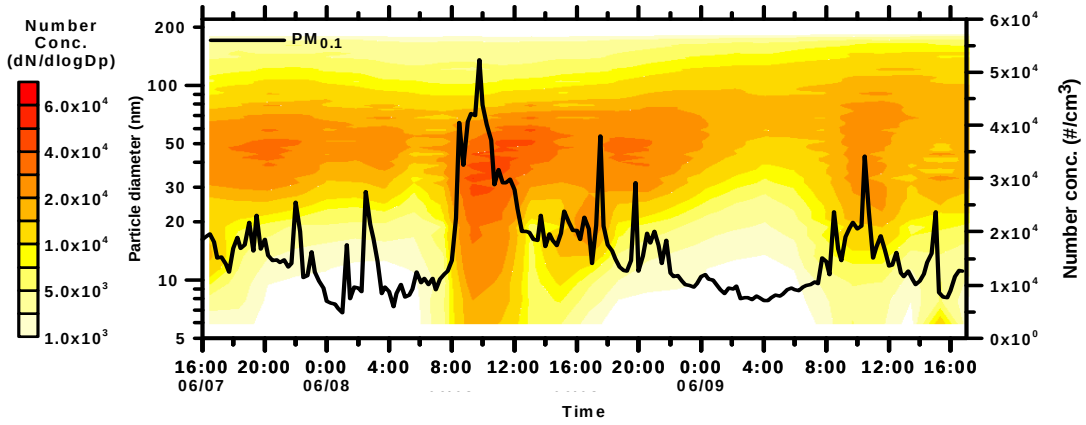


圖 4.40 2011/6/7-6/9 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

中山空品測站

中山測站位於臺北市中山區新興國中一棟 4 層樓建築物樓頂，採樣點及周圍地理環境如圖 4.41 所示，其北方的民權東路及東方的新生高架橋均屬於中高車流量的道路。除了上述的兩條道路外還有其他重要的交通排放源，如北方 1.5 公里處的中山高速公路、東北方 2 公里處的松山機場及南方 2 公里處的臺北火車站附近的道路，這些地點均為較大量的交通排放源，易藉由風力的傳輸而擴散至採樣點。



圖 4.41 中山測站採樣點位置及周圍地理環境

本團隊今年在中山測站共進行 14 次的採樣，14 次採樣當中除了 5 月 14 日當天因受大氣傳輸作用帶來大量污染物使得微粒粒徑分佈不同外，其它各次採樣的結果均相當類似，其微粒質量濃度均呈現典型交通排放源的雙峰分佈，$PM_{0.1}$ 的質量濃度均介於 1.1 至 2.4 μg/m^3 之間，略高於新莊測站。以下就一次中山測站 MOUDI 及 SMPS 所測得的質量及數目濃度分佈做說明，並針對 5 月 14 日的高污染事件進行探討。

圖 4.42(a)及(b)分別為 07/13-07/14 及 07/14-07/15 中山測站微粒的質量濃度分佈結果。結果顯示 07/13-07/14 及 07/14-07/15 MOUDI 的粒徑分佈結果十分相近，兩日質量濃度分佈的累積模式及粗微粒模式的 MMAD 分別為 0.35 和 6.96 μm 及 0.29 和 5.90 μm，兩日 $PM_{0.1}$ 的質量濃度分別為 2.43 及 1.57 μg/m^3，其中 07/14-07/15 的採樣因受到 7/15 午後雷陣雨的影響使採集到的質量濃度略低於 07/13-07/14 的結果。這兩次採樣期間 $PM_{2.5}$ 佔 PM_{10} 質量濃度的比率分別為 62.8 及 55.7 %，略低於新莊測站的結果。

圖 4.43 則為 07/13-07/14 及 07/14-07/16 兩天中山測站大氣條件及部分汙染物的時序分析圖。其中左邊以虛線框起的部分為 07/13-07/14 的監測結果而右邊以虛線框起的部分則為 07/14-07/15 的監測結果。由於中山站附近皆為交通繁忙之道路，車輛的輪胎與地面摩擦產生的微粒或車輛行駛過路面造成的揚塵易被風力直接夾帶至測站，因此由圖 4.43 可看出 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的濃度雖風速增減而改變的趨勢。O_3 濃度的時序圖則顯示其濃度和新莊測站的結果類似，均呈典型

的日夜變化，濃度最高的發生時間中午 12 點，約為 40 ppb，晚上因無光化反應，O_3 濃度偏低，均在 10 ppb 以下。本次中山測站由於實驗室儀器調配問題，未攜帶 SMPS 至現場，因此沒有 $PM_{0.1}$ 數目濃度的監測數據。

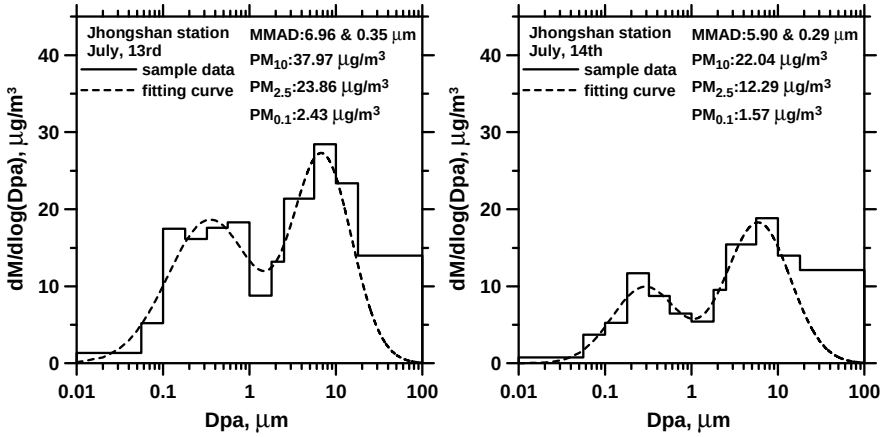


圖 4.42 (a) 2011/07/13-05/14 及(b)2011/07/14-09/15 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

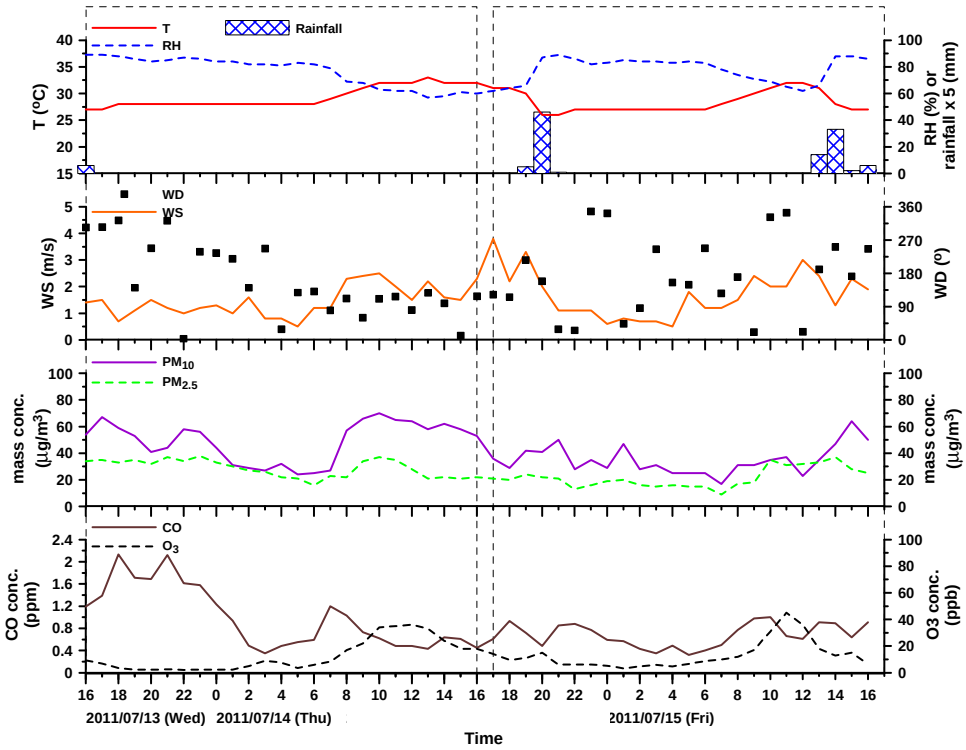


圖 4.43 2011/07/13-07/14 及 2011/07/14-07/15 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

竹東空品測站

竹東空品測站位於新竹縣竹東鎮大同國小內一棟 4 層樓建築物頂樓，採樣點及周圍地理環境如圖 4.44 所示。附近主要的交通排放源為東北方 200 公尺處的一條快速道路，以及附近的竹東市區，西部為山區故視為汙染源較少之區域。相較於新莊與中山測站，竹東測站所在的竹東市區內交通流量較小，故推測竹東測站所測得的微粒濃度相對前兩個大台北地區的測站會較低。



圖 4.44 竹東測站採樣點位置及周圍地理環境。

本團隊今年在竹東測站共進行 14 次的採樣，14 採樣當中有 4 次採樣受到颱風影響，4 次受到東北季風影響，因此本研究除了討論竹東測站典型的質量分佈外，並在特殊事件討論中分析有無颱風時的情況對竹東測站 MOUDI 及 SMPS 所測得的質量及數目濃度分佈造成的影響。

圖 4.45(a)及(b)分別為 07/25-07/26 及 07/26-07/27 竹東測站微粒的質量濃度分佈結果。由圖可見所兩次採樣質量濃度分佈的結果均呈現雙峰分佈，其累積模式及粗微粒模式的 MMAD 分別為 0.46 和 5.06 μm 及 0.35 和 5.03 μm，兩次結果均呈現粗微粒模式的濃度略高於累積模式的情形。和新莊及中山站相比，雖然同為雙峰分佈，但與不同處在於竹東測站質量分佈的累積模式 MMAD 較大而粗微粒模式的 MMAD 較小，雙峰分佈較為接近，甚至有類似單峰分佈的情況，這是由於竹東測站附近為山區，因此質量濃度分佈兼具交通排放的雙峰特性與山區微粒的單峰特性。此外，結果也顯示兩次竹東測站採樣的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值均較新莊(0.67)及中山測站(0.63)低，分別為 0.59 及 0.56。造成此現象推測原因竹東測站附近的交通流量較中山及新莊測站低，車輛引擎排放的奈米微粒較少，且竹東站附近裸露地較多，較易產生揚塵粗微粒，在這兩個影響因素的影響下才會造成竹東測站粗微粒比例較高的情形。關於奈米微粒的部分，兩日 $PM_{0.1}$ 的質量濃度分別為 1.34 及 1.38 $\mu g/m^3$，與預測相同均低於新莊及中山測站的結果。

圖 4.46 則為 07/25-07/26 及 07/26-07/27 兩天竹東測站大氣條件及部分汙染物的時序分析圖。其中左邊以虛線框起的部分為 07/25-07/26 的監測結果而右邊

以虛線框起的部分則為 07/26-07/27 的監測結果。由圖中可見竹東測站與另外兩個測站相比風向穩定且風速較高，因此 O_3 與 CO 的時序變化也比較規律，O_3 濃度呈典型的日夜變化，白天最高峰值約發生在下午 1 點，與另外兩個測站相比峰值發生時間較晚，原因為竹東測站車輛排放量較少，使得清晨累積的 NO_x 與 VOC 濃度也較低，因此光化反應僅會發生在日照最強烈的中午 12 點到下午 1 點之間。CO 濃度則與另外兩個測站類似，在白天交通顛峰時刻有一個峰值，在夜晚也有些微累積的現象，不過竹東測站空氣對流較旺盛，因此夜晚累積的 CO 濃度並不會像另外兩個測站有夜晚 CO 濃度高過白天交通顛峰時刻峰值濃度的情形。

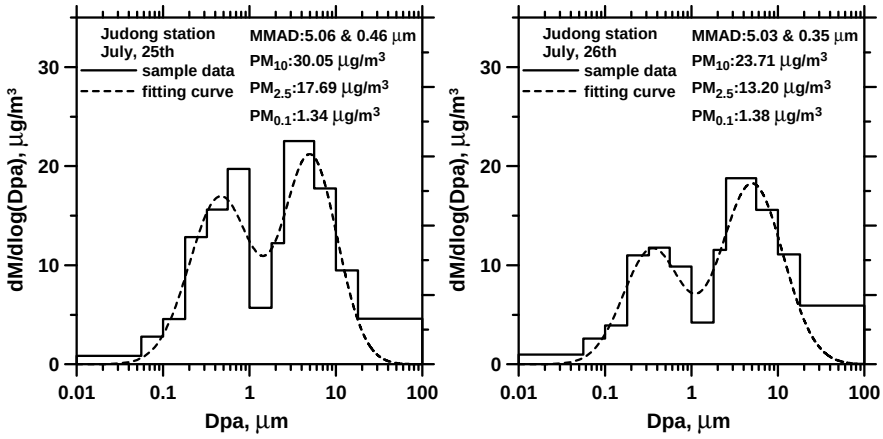


圖 4.45 (a) 2011/07/25-07/26 及(b)2011/07/26-07/27 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

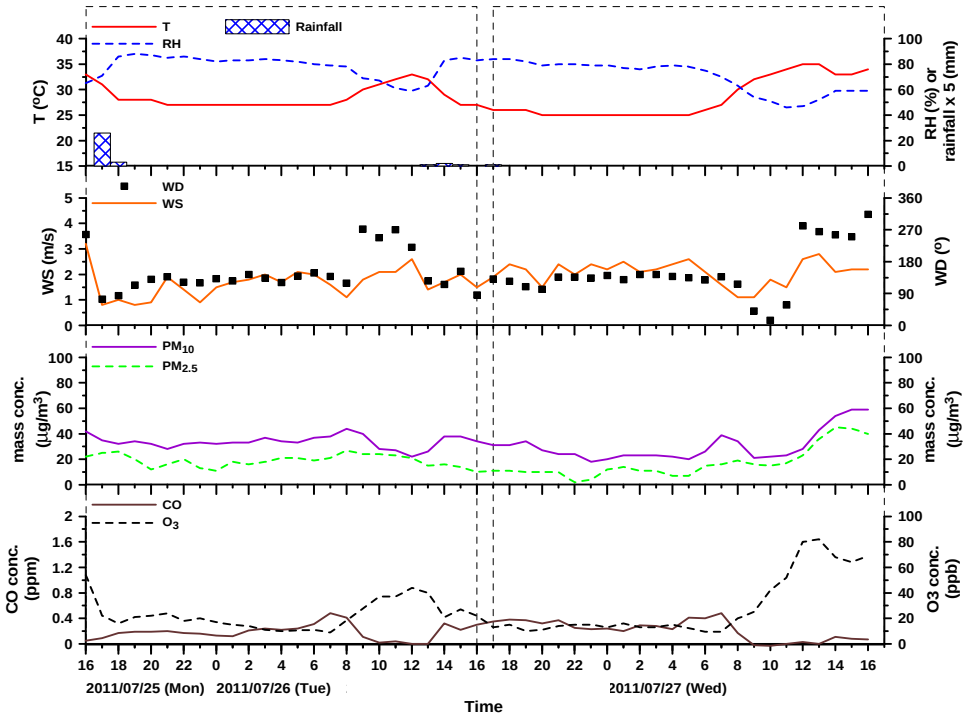


圖 4.46 2011/07/25-07/26 及 2011/07/26-07/27 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

特殊事件分析

5/3-5/4 日新莊測站沙塵期間的微粒特性

在 5/3 日新莊測站採樣期間發現有微量沙塵影響，圖 4.33 為 5/3-5/4 至 5/5-5/6 新莊測站採樣的結果圖，圖 4.32 為新莊測站所量測的天候狀況及微粒質量濃度的即時數據，由該圖可明顯看出 5/3-5/4 的微粒質量濃度呈單峰分佈，MMAD 為 2.86 μm，與前述典型交通排放的雙峰分佈有明顯的不同。元素分析結果也顯示此時段粗微粒主要成分含有大量的地殼元素 Al，依 Hsu et al. (2008)的分類也同樣顯示是受沙塵影響所致，詳細的元素分析結果會在 4.3.4 節做介紹。故推測該期間是受到沙塵影響，使得原本典型的交通排放雙峰分布(峰值分別為 300-400 nm 及 4-5 μm)會因大量分布在上述雙峰分布之間的峰谷，粒徑約 2-3 μm 沙塵的影響，使其為變為單峰分布。此結果也和 Jayaratne et al. (2011) 在 2009 年澳洲發生沙塵暴期間量測到的沙塵暴微粒特性類似，其質量分佈同為單峰且主要質量貢獻來源為 $PM_{10-2.5}$ 範圍內的微粒。

由 5/3-5/4 新莊測站所量測的即時數據(圖 4.34)可見風速從 5/3 日下午 4 點的 1.5 m/s，至 5/4 日凌晨 0 點增加至 3.8 m/s，之後便維持在 3.5 m/s 直到早上 10 點，風向則穩定的保持在東北東的方向。在此段時間內，新莊測站所量測的 PM_{10} 質量濃度也從下午 6 點的 20 $\mu g/m^3$ 持續增加至 5/4 日凌晨 2 點的最高值，80 $\mu g/m^3$。此高濃度現象持續到早上 6 點過後始趨減緩，至 8 點才降至一般濃度範圍。在此段期間 SMPS 所量測到的 $PM_{0.1}$ 數目濃度皆維持在 $1x10^3$ $\#/cm^3$ 左右(圖 4.35)，在凌晨 3 點甚至降至 800 $\#/cm^3$ 以下，此時 $PM_{0.1}$ 數目濃度約為平時的 1/10，此現象也和 Jayaratne et al. (2011)也在沙塵暴期間發現 $PM_{0.1}$ 數目濃度有下降趨勢的結果吻合。Jayaratne et al. (2011)認為此現象是由於部分 $PM_{0.1}$ 的小微粒擴散至較大的沙塵顆粒上產生多徑微粒聚集(polydisperse coagulation)所造成。

比較不同的是 Jayaratne et al. (2011)發現在沙塵暴過後的第二天白天 $PM_{0.1}$ 數目濃度仍比平常還低，而本次沙塵事件過後，$PM_{0.1}$ 的數目濃度在早上交通顛峰時刻雖然也是較低，但在 9 點後迅速增加。由白天也隨之上升的 O_3 濃度推測可能原因為夜間大氣傳輸不只夾帶沙塵，也將附近交通或工業排放的污染物如 NO_x 或 VOC 一併夾帶過來，使得白天產生光化反應，進而提高了 $PM_{0.1}$ 的數目濃度。

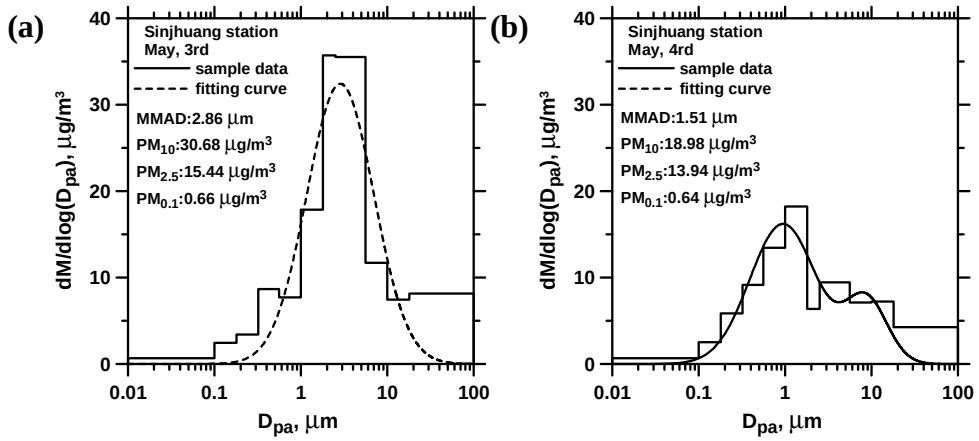


圖 4.47 (a) 2011/05/03-05/04 及(b)2011/05/04-05/05 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

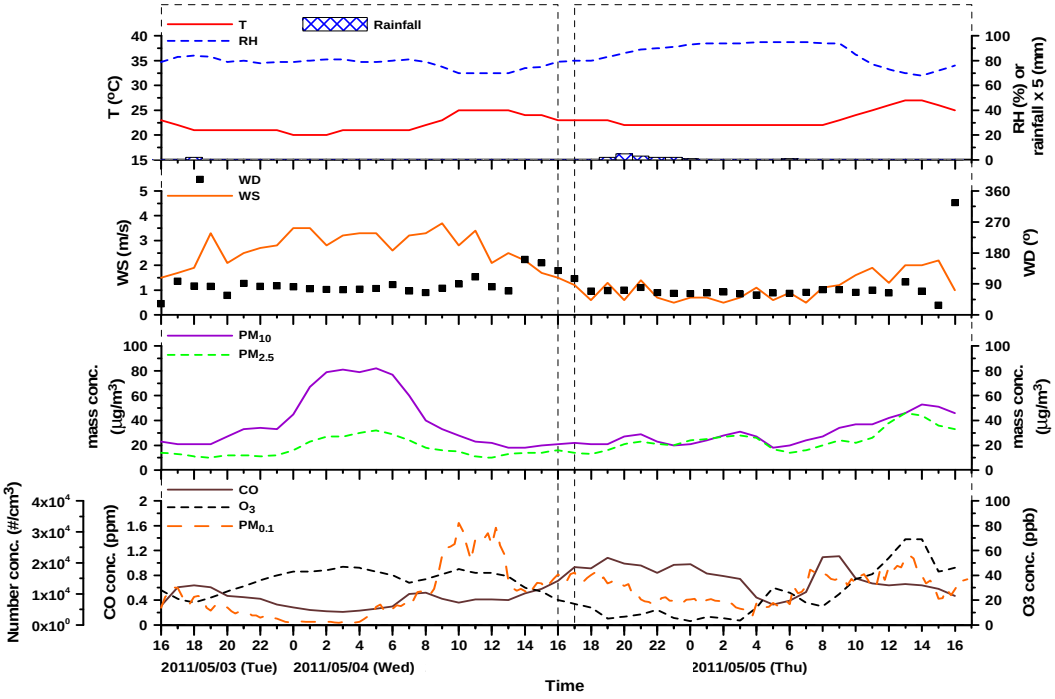


圖 4.48 2011/05/03-05/04 及 2011/05/04-05/05 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

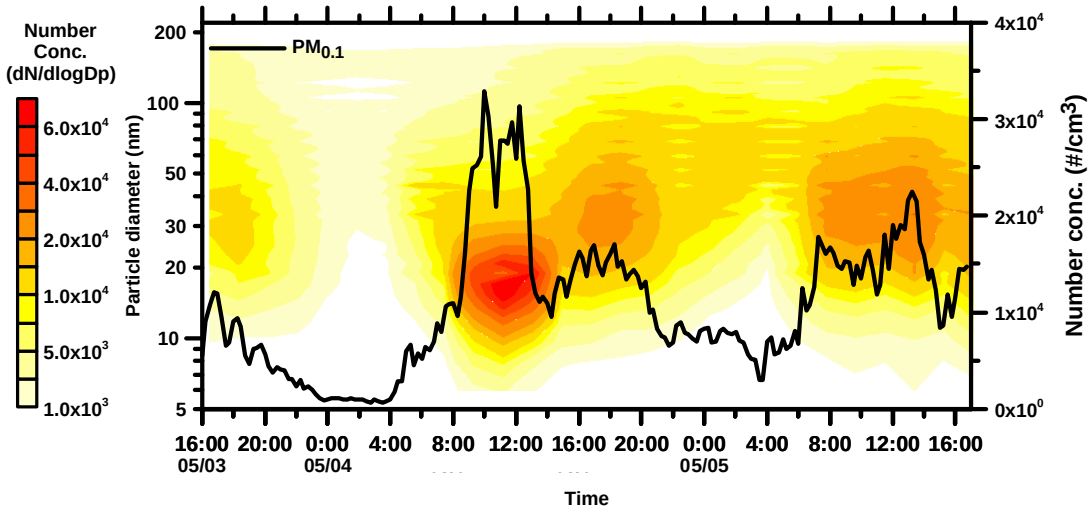


圖 4.49 2011/5/3-5/5 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

5/27-5/29 日竹東測站颱風發生期間的微粒特性

由於在竹東測站的 14 次採樣當中遇過 4 次颱風影響，颱風期間由於強風或豪雨會導致微粒粒徑分佈與平時不同，以下就 5/27-5/29 竹東測站受桑達颱風影響時微粒的質量及數目分佈做說明。

圖 4.50 為 5/27-5/28 及 5/28-5/29 竹東測站採樣的結果，在該時段僅第 1 次採樣受到颱風的影響。由圖 4.50 可看出這兩次 MOUDI 測得的微粒質量分布均呈雙峰分布，兩次採樣累積模式及粗微粒模式的 MMAD 相近，分別為 500 nm 及 6.3 μm 與 520 nm 及 6.2 μm，與平時竹東測站的分佈相似。比較明顯不同的地方在於第 1 次採樣累積模式的濃度較高，第二次則是粗微粒模式的濃度較高，其 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比例分別為 0.71 及 0.55，造成此現象的主要原因推測為颱風期間的降雨將大顆微粒沖刷掉，進而造成第 1 次採樣所測得的質量分佈粗微粒模式濃度較累積模式低。第二天因無降雨，粗微粒模式較高，和平日竹東測站無降雨的大氣微粒分布較類似。

圖 4.51 則為 5/27-29 氣候條件及部分汙染物的時序分析圖，由該圖可看出在第一天的採樣期間 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度變化均不大，且 $PM_{2.5}$ 佔 PM_{10} 的比例相當高，此結果也和上述本研究以 MOUDI 採樣的結果吻合，原因也是由於降雨沖刷掉粗微粒所造成。在第二天的採樣期間，由於颱風遠離，天氣漸漸放晴，PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度相較於第一天均有提高。觀察 O_3 濃度發現其在颱風期間仍有很高的濃度，由於竹東地區並無大規模工業區，由風向推測汙染物是由東北方的龍潭工業園區所帶來，直到第二天採樣颱風遠離後因風速下降，O_3 濃度才又下降，到 5/29 白天經光化反應後才又升起，至下午 1 點達到最高值約 90 ppb，為典型的 O_3 高峰值出現時間。CO 濃度在整個採樣時段內由於受到颱風的影響使其皆維持在低濃度的狀態，此外，CO 濃度也可觀察到和 O_3 之間呈相反的變化趨勢。

圖 4.52 為 5/27-29 本研究在竹東測站以 SMPS 量測得的數目濃度及粒徑分布的時序分析圖。由該圖可看出第一天的採樣期間因受颱風風速高以及降雨的影響，$PM_{0.1}$ 數目濃度非常低，平均約為 2.3×10^3 #/cm^3。第二天的採樣因颱風遠離，天氣回穩，太陽輻射比平時更加強烈，光化反應也比平時旺盛，$PM_{0.1}$ 數目

濃度在中午過後快速升高，在下午 2 點達 6×10^4 #/cm^3 以上，此值甚至比新莊及中山測站在交通顛峰時的測值還要高，不過其 NMD 較小約介於 20-30 nm 之間，新莊及竹東在交通顛峰時刻則約為 30-50 nm，因此第 2 次採樣 $PM_{0.1}$ 的質量還是很低。

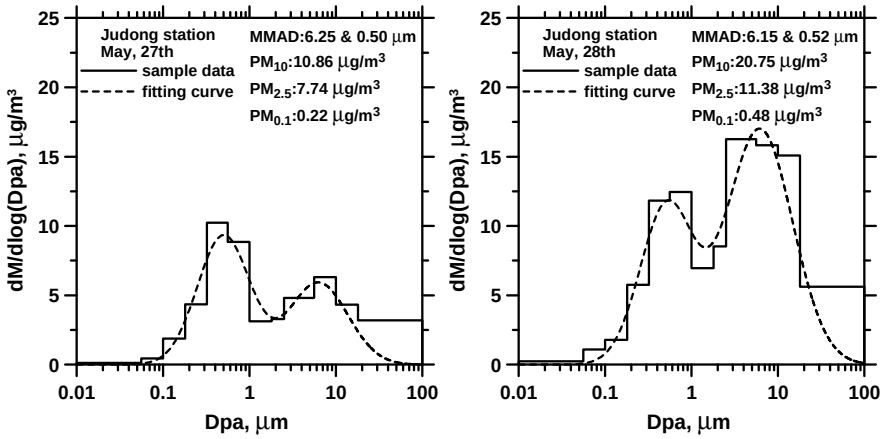


圖 4.50 (a) 2011/05/27-05/28 及(b)2011/05/28-05/29 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

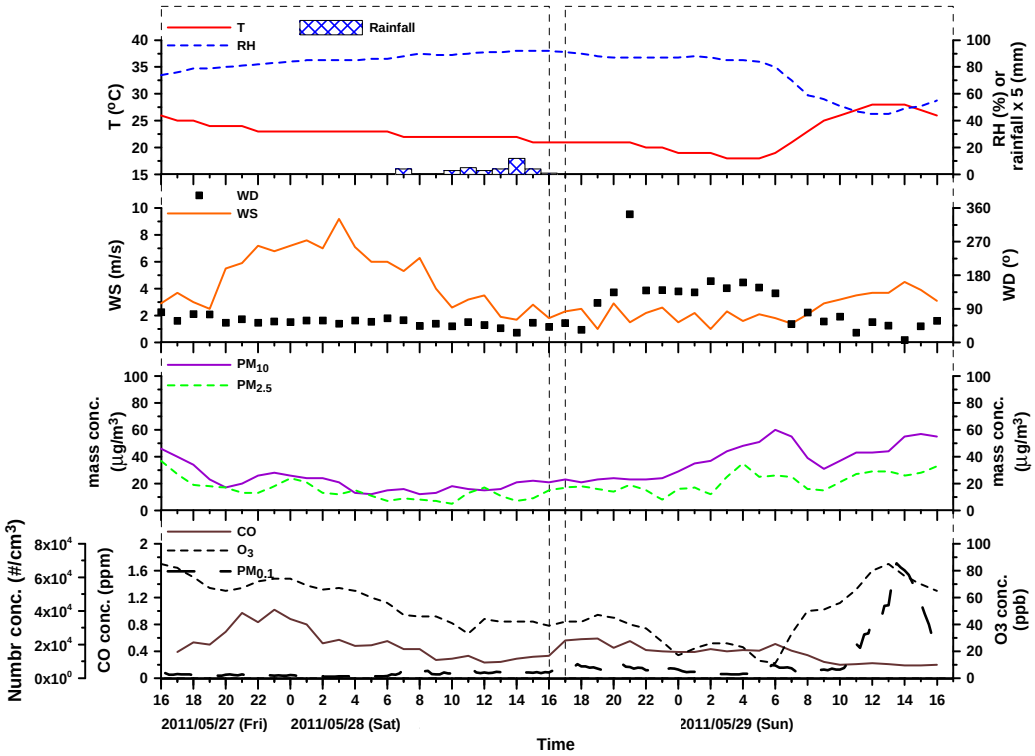


圖 4.51 2011/05/27-05/28 及 2011/05/28-05/29 竹東測站新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

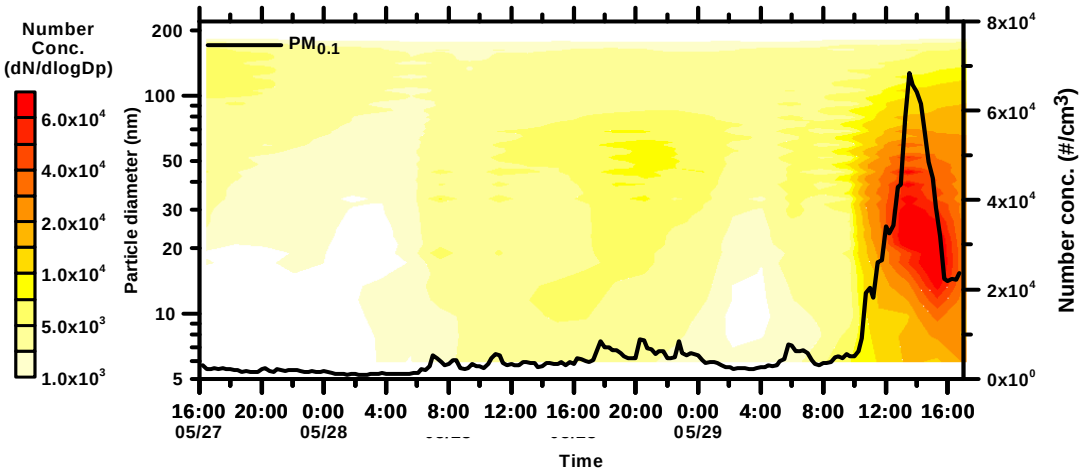


圖 4.52 2011/6/27-6/29 竹東測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

新莊、中山及竹東測站各月份 PMs 的濃度比較

表 4.18 為三個測站各 PM 濃度值，圖 4.53 為三個測站自今年 5 月起至 11 月共 44 站次的 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 質量濃度的月份變化圖，圖中 $PM_{0.1}$ 質量濃度為紅色的部分，$PM_{2.5}$ 則為藍色部分($PM_{2.5-0.1}$)加上紅色部分($PM_{0.1}$)，PM_{10} 則是紅、藍及黑三個部分相加。

由結果可看出新莊與中山測站的各 PM 濃度相當接近，其 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 的平均值分別為 34.1±10.9、22.8±8.3、1.5±0.5 與 34.5±9.6、21.7±6.5、1.4±0.6 g/m^3。竹東測站的結果則較前兩者低，PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 平均值分別為 21.7±6.3、12.5±3.6、0.7±0.4 $\mu g/m^3$。主要差異原因為竹東測站所在的位置較偏郊區，車流及人為活動所造成的微粒排放不及新莊及中山測站多。

在三個測站的年度變化方面，新莊測站的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度變化較無一定規律。由空品測站所量測的即時 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度測值發現，新莊測站常會因附近工業區排放的影響，使 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度常有突然高起的現象。故推測新莊測站因常受到工業區排放的影響，使氣候影響 PM 變化的情況較不明顯。中山測站的結果則可看出從 8 月至 10 月 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度有逐漸上升的趨勢，11 月的採樣因剛好碰到降雨，使得濃度降低。竹東測站的風速(2.8 m/s)比新莊(1.8 m/s)及中山(1.9 m/s)測站還要高，風向也較穩定，此外竹東測站在採樣時也常受到降雨及颱風的影響，因此竹東測站 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度變化幅度並不大。觀察三個測站 $PM_{0.1}$ 濃度的結果，可發現其濃度均在 6 至 8 月時最高，原因為這些月份的氣候最為炎熱，陽光也最強，旺盛的光化反應所造成。

一般而言，冬季 $PM_{2.5}$ 質量濃度都會比夏季高，這是因為冬季氣溫較低使得大氣穩定，大氣混和層降低，對流較不旺盛所致(Bigi and Ghermandi, 2011)。由於臺灣位處於亞熱帶氣候，四季變化較不明顯，僅有夏季及冬季才有比較大的差異。本年度採樣時間為 5 月到 11 月，到 11 月時氣溫仍然不低，氣候還尚未進入冬季，因此三個測站 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度的年度變化圖看不出有明顯的變化，反而會因採樣期間的汙染物傳輸及降雨而影響其濃度，而 $PM_{0.1}$ 濃度則因夏季光化反應旺盛可看出 6 至 8 月有較高的情況。未來仍需要更多的採樣數據來進行分析，以找出 PM 濃度和季節的相關性。

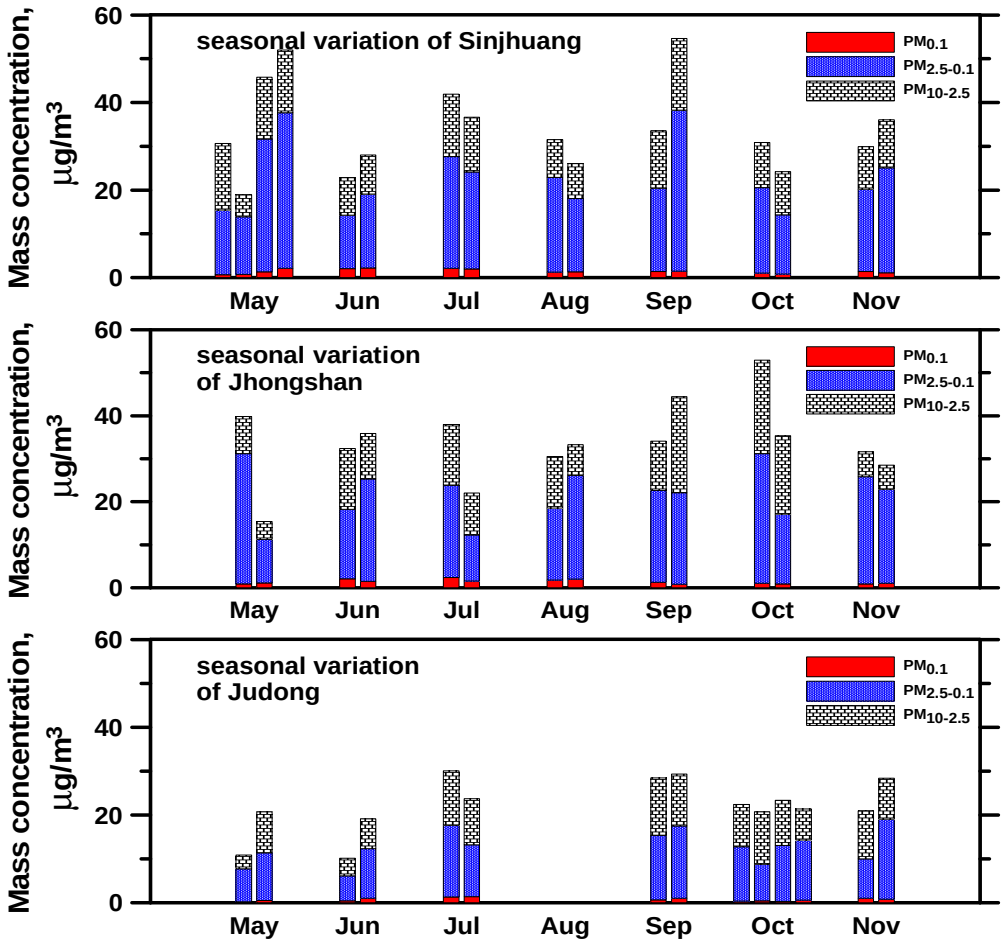


圖 4.53 新莊、中山及竹東三個空氣品質測站現場採樣結果的年度變化。

表 4.18 (a)新莊、(b)中山及(c)竹東測站各 PM 質量濃度，M：MOUDI，D：Dichot，EPA：環保署測站，單位: μg/m^3。Error：MOUDI 和 EPA 之誤差(%)。

(a)新莊	PM_{10}				$PM_{2.5}$				PM_1	$PM_{0.1}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$(%)		PM_1/PM_{10}(%)	$PM_{0.1}/PM_{10}$(%)	RH (%)
採樣日期	M	D	EPA	Error%	M	D	EPA	%	M	M	M	D	M	M	
5/3	30.70	33.80	41.00	33.70	15.40	14.50	17.30	11.70	6.20	0.70	50.3	42.8	20.1	2.2	77.8
5/4	19.00	20.00	30.40	60.10	13.90	15.00	24.80	77.50	8.40	0.60	73.5	74.8	44.2	3.4	86
5/8	45.80	43.10	56.30	23.00	31.70	29.20	41.80	32.00	25.10	1.30	69.1	67.7	54.7	2.9	62.7
5/9	52.00	50.40	66.20	27.30	37.70	36.90	47.20	25.20	26.20	2.10	72.5	73.2	50.3	4.1	62.2
6/7	22.90	22.70	30.80	34.50	14.30	15.70	16.80	17.10	10.80	2.10	62.6	69.4	47.2	9.0	59.3
6/8	28.00	32.50	37.60	34.20	19.10	19.90	24.00	25.50	15.60	2.20	68.1	61.3	55.5	7.8	63.8
7/7	41.90	43.80	52.10	24.30	27.70	26.10	32.10	15.90	22.10	2.10	66	59.6	52.7	5.1	62
7/8	36.70	39.90	44.90	22.30	24.10	26.10	28.60	18.60	19.60	2.00	65.8	65.3	53.5	5.4	64
7/31	31.54	30.73	36.21	14.82	22.88	22.78	23.38	2.20	19.37	1.23	72.5	74.1	61.4	4.0	65.5
8/1	26.01	27.23	32.42	24.63	18.04	20.74	21.42	18.72	14.76	1.30	69.4	76.2	56.7	4.8	61.6
9/5	33.61	37.83	42.17	25.47	20.45	21.79	22.43	9.70	16.92	1.43	60.8	57.6	50.3	3.8	56.1
9/6	54.66	60.54	73.43	34.35	38.28	41.07	46.58	21.70	31.64	1.43	70.0	67.8	57.9	2.4	59.2

10/5	30.86	32.71	38.54	24.90	20.54	18.61	--	--	16.76	1.04	66.6	56.9	54.3	3.2	79.6
10/6	24.21	26.85	31.92	31.86	14.37	12.51	--	--	11.46	0.83	59.4	46.6	47.3	3.1	79.9
11/4	29.94	33.28	38.67	29.17	20.16	23.83	29.21	44.88	15.43	1.43	67.3	71.6	51.6	4.3	68.3
11/5	36.04	34.51	50.67	40.60	25.10	24.48	39.88	58.91	16.86	1.07	69.6	70.9	46.8	3.1	80.2
Avg.	33.99	35.62	43.96	30.33	22.73	23.08	29.68	27.12	17.33	1.43	66.5	64.7	50.3	4.3	68.0
(b)中山	**PM_{10}**				**$PM_{2.5}$**				**PM_1**	**$PM_{0.1}$**	**$PM_{2.5}$/ PM_{10}(%)**		**PM_1/ PM_{10}(%)**	**$PM_{0.1}$/ PM_{10}(%)**	**RH (%)**
採樣日期	**M**	**D**	**EPA**	**Error%**	**M**	**D**	**EPA**	**%**	**M**	**M**	**M**	**D**	**M**	**M**	
5/14	39.80	42.30	48.30	21.20	31.20	31.90	33.00	5.60	22.40	0.90	78.4	75.4	56.2	2.2	88.3
5/15	15.40	14.10	23.60	53.30	11.20	10.30	21.00	86.40	8.30	1.10	73	72.9	54.1	7.4	91.1
6/13	32.40	32.40	42.80	32.30	21.20	21.40	30.10	41.80	15.20	2.10	65.7	66.1	47.1	6.5	71.2
6/14	35.90	30.40	47.80	33.10	25.30	24.50	35.10	38.80	14.30	1.50	70.5	80.6	39.9	4.2	63.2
7/13	38.00	41.70	48.80	28.50	23.90	25.50	29.00	21.60	19.80	2.40	62.8	61.1	52.2	6.4	77.1
7/14	22.00	25.50	35.00	59.00	12.30	12.80	21.10	71.90	9.50	1.60	55.8	50.3	43.2	7.1	77.9
8/6	30.52	29.48	52.92	73.39	18.57	18.41	40.46	117.91	15.17	1.76	60.8	62.5	49.7	6.0	61.8
8/7	33.24	33.77	39.00	17.33	26.11	24.59	27.91	6.88	20.44	1.97	78.6	72.8	61.5	5.8	78.6
9/17	34.10	37.50	45.17	32.45	22.64	24.79	32.17	42.12	18.05	1.24	66.4	66.1	52.9	3.3	66.8
9/18	44.43	47.18	57.54	29.49	22.08	24.67	32.79	48.50	16.31	0.84	49.7	52.3	36.7	1.8	66.2
10/17	52.90	53.85	71.71	35.56	31.17	35.28	45.38	45.61	25.53	1.02	58.9	65.5	48.3	1.9	60.3
10/18	35.33	36.79	52.38	48.26	17.11	17.67	29.08	69.98	12.71	0.88	48.4	48	36	2.4	58.7
11/10	31.60	33.84	40.88	29.36	25.80	25.06	31.13	20.65	19.34	0.89	81.7	74.1	61.2	2.6	88.3
11/11	28.48	30.83	47.58	67.07	22.93	20.48	36.17	57.75	18.04	1.03	80.5	66.4	63.4	3.3	87.3
Avg.	33.86	34.97	46.68	40.02	22.25	22.67	31.74	48.25	16.79	1.37	66.5	65.3	50.2	4.4	74.1
(c)竹東	**PM_{10}**				**$PM_{2.5}$**				**PM_1**	**$PM_{0.1}$**	**$PM_{2.5}$/ PM_{10}(%)**		**PM_1/ PM_{10}(%)**	**$PM_{0.1}$/ PM_{10}(%)**	**RH (%)**
採樣日期	**M**	**D**	**EPA**	**Error%**	**M**	**D**	**EPA**	**%**	**M**	**M**	**M**	**D**	**M**	**M**	
5/27	10.90	11.10	21.90	101.10	7.70	8.30	14.60	88.90	6.50	0.20	71.3	75.2	59.7	2.0	85.1
5/28	20.70	19.50	38.50	85.60	11.40	11.00	21.30	87.40	8.40	0.50	54.9	56.1	40.3	2.3	72.5
6/24	10.10	12.50	14.60	44.80	6.10	6.40	6.90	13.40	4.80	0.50	60.4	51.4	47.4	4.5	85
6/25	19.10	22.20	25.60	33.80	12.30	13.20	17.00	38.20	8.90	1.00	64.3	59.6	46.3	5.2	64
7/25	30.10	30.00	33.70	12.00	17.70	19.10	19.30	9.10	14.70	1.30	58.9	63.5	49.0	4.5	78
7/26	23.70	26.30	30.30	27.90	13.20	13.30	16.90	28.20	10.60	1.40	55.7	50.7	44.5	5.8	69.6
9/27	28.46	30.13	39.78	39.79	15.41	17.09	21.65	40.45	11.99	0.68	54.2	56.7	42.1	2.3	65.5
9/28	29.29	34.28	59.74	103.96	17.52	19.82	41.87	139.05	15.48	1.01	59.8	57.8	52.8	2.9	72
10/25	22.37	20.10	36.58	63.50	12.75	12.17	15.42	20.98	9.05	0.36	57.0	60.5	40.4	1.8	68
10/26	20.67	18.74	30.42	47.14	8.76	8.64	12.54	43.09	5.68	0.41	42.4	46.1	27.5	2.2	67.3
10/28	23.31	20.45	34.21	46.75	13.06	11.59	15.83	21.19	9.79	0.28	56.0	56.7	42.0	1.4	68.5
10/29	21.38	19.51	33.42	56.28	14.31	13.16	20.00	39.80	12.17	0.55	66.9	67.5	56.9	2.8	65.7
11/18	20.91	21.04	29.17	39.50	10.01	9.79	9.21	-7.97	6.81	1.00	47.9	46.5	32.6	4.7	80.1
11/19	28.37	30.42	37.25	31.30	19.00	18.85	19.96	5.04	14.63	0.83	67.0	62	51.6	2.7	53.4
Avg.	22.10	22.59	33.23	52.39	12.80	13.03	18.03	40.49	9.96	0.72	58.3	57.9	45.2	3.2	71.1

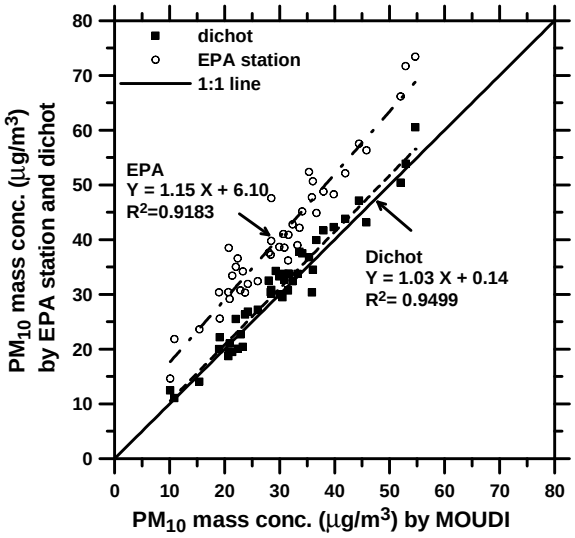
4.3.3 不同採樣儀器與測站採集的 PM 濃度比較

除了針對上述以 MOUDI 及 Dichot 的採樣結果和氣象因子及相關汙染物之間的關係進行探討外，本研究也將採集到的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 數據和環保署空品測站及中央大學 $PM_{2.5}$ 計畫的結果進行比對，以相互驗證數據的準確性。其中環保署空品測站係利用一個 PM_{10} 採樣進口及 USEPA WINS $PM_{2.5}$ 衝擊式篩選器分別做為 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的分徑器，再由下方的貝他計(BAM-1020, Met One Instruments, Inc.)即時量測微粒的質量濃度，每小時可提供一筆數據，中央大學則是使用 R&P Model 2300 及 Model 2000 兩台採樣器進行 $PM_{2.5}$ 採樣。

圖 4.54(a)及(b)分別為本研究和空品測站及中央大學 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 數據的比對結果，其中空品測站的數據是利用本研究採樣期間內 24 小時的平均值進行比較。首先由兩張圖中的方形實心標記可看出本研究 MOUDI 及 Dichot 自行比對 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的結果均有相當良好的相關性，其 R^2 值分別為 0.9522 及 0.9627，各個數據也幾乎座落於 1:1 的比例線上，誤差均在 15 %以內。圖 4.55 則為過去兩期(98-99)計畫本團隊以 MOUDI 及 Dichot 採集的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度的比對結果。由該圖也可看出過去兩期計畫中 MOUDI 與 Dichot 的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的比對結果也十分一致，其 R^2 值分別為 0.9642 及 0.9763，比對誤差也均小於 15%。比較本年度及過去的採樣比對結果則可看出，本年度 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 比對數據的 R^2 值與過去的結果幾乎相同，表示本團隊在大氣微粒量測技術上具有相當高的穩定性與一致性。

由圖 4.54(a)及(b)可看出空品測站所測得的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 濃度均明顯較本研究的結果高，平均分別約高出 40.6 及 40.7 %。再仔細觀察發現空品測站與本研究 MOUDI 所量測的 PM_{10} 質量濃度雖然誤差高達 40%。經詢問測站維護廠商立德儀器公司的相關人員後得知，他們約每個星期才會對 PM_{10} 採樣進口及 WINS $PM_{2.5}$ 衝擊器進行維護，在進行相關清理時常發現 PM_{10} 採樣進口中有累積微粒(圖 4.56 a)，WINS $PM_{2.5}$ 衝擊器內用來防止微粒彈跳的真空油也常有揮發乾掉的情況，噴嘴下方的衝擊板上也有微粒堆積的現象(圖 4.56 b)，上述的情況均會造成固體微粒彈跳使得下方的貝他計高估微粒的質量濃度。

(a)



(b)

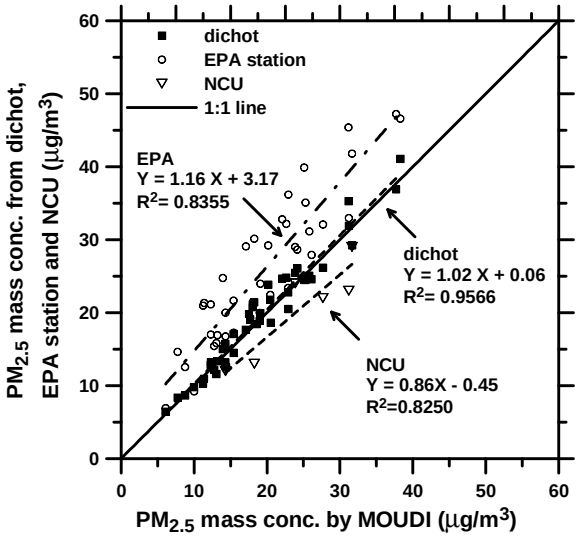


圖 4.54 今年度本計畫 MOUDI、Dichot、環保署測站及中央大學 $PM_{2.5}$ 計畫採集的(a)PM_{10} 及(b)$PM_{2.5}$ 質量濃度的比對結果。

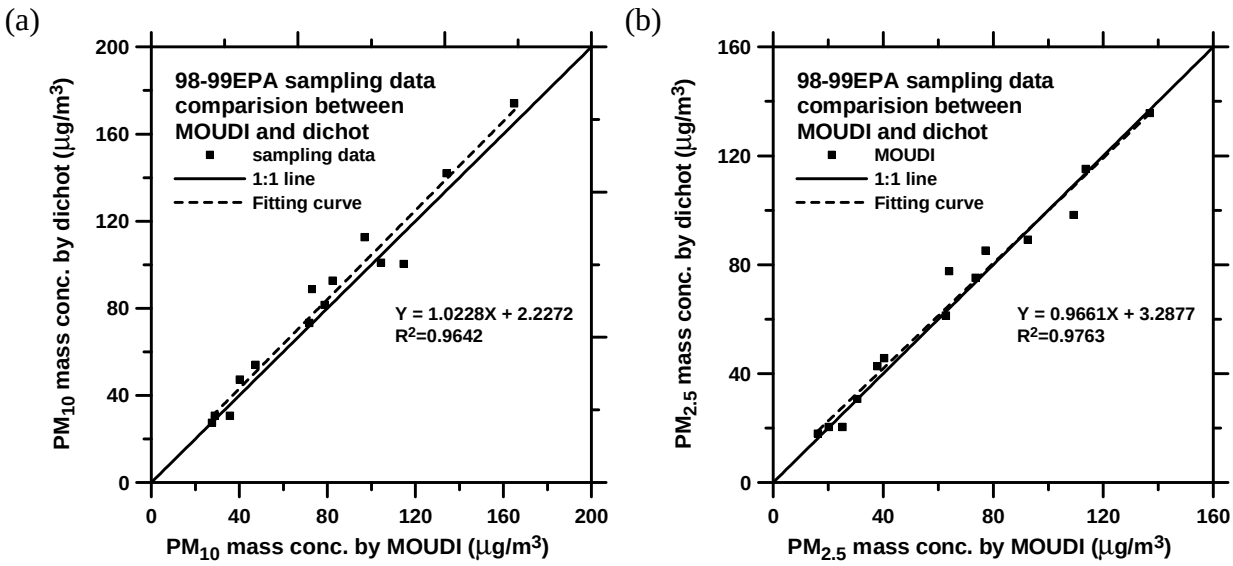


圖 4.55 過去兩年度(98-99)本計畫 MOUDI 及 Dichot 採集的(a)PM_{10} 及(b)$PM_{2.5}$ 質量濃度。

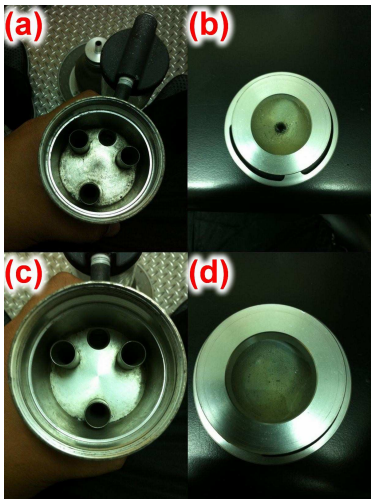


圖 4.56 環保空品署測站在 8/8 日 PM10 採樣進口(左)及 USEPA WINS $PM_{2.5}$ 衝擊式篩選器(右)保養前後差異圖，(a)(b)為保養前，(c)(d)為保養後。

本研究也發現了測站的微粒分徑器在維護前後和本研究結果有明顯的差異，利德儀器公司的維護人員於 08/08 早上 10-12 點在中山測站進行儀器的定期保養，而本研究則是在 08/06-07 及 08/08-09 於相同地點進行採樣，所測得的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度分別為 30.52 及 1.57 與 33.24 及 26.11 μg/m^3，而測站量的測值分別為 52.9 及 40.6 與 39.0 及 27.9 μg/m^3。比對結果可發現，兩者的誤差在 08/06 相當大，測站 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 分別高出本研究測值 73.4%及 117.9%。在 08/08 的結果卻相反，本研究的測值反而較高，其 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 分別高出測站

測值 17.3 及 6.9%，兩者間之誤差明顯降低。故推測 8/6 測站高估 PM 濃度的情形是因為微粒直接衝擊在累積在衝擊表面上的微粒，進而發生彈跳所造成，由圖 4.56 (c)、(d)則可看出清潔後的衝擊表面較為乾淨，使得 8/8 後的採樣較無微粒彈跳的情況，進而使兩者的採樣結果較為相近。

Very Sharp-Cut Cyclone (VSCC; BGI, Inc)為美國聯邦相等方法(Federal Equivalent Method, FEM)的 $PM_{2.5}$ 採樣進口，其截取氣動直徑(d_{50})及微粒收集效率曲線的幾何標準偏差(Geometry standard deviation, GSD)分別為 2.5 μm 及 1.16 (Kenny et al. 2004)。Kenny et al. (2004)於實驗室內的測試結果顯示，以 VSCC 進行 90 天 24 小時的高濃度(150 $\mu g/m^3$)採樣後，其 d_{50} 幾乎沒有產生變化而 GSD 些微上升至 1.2。由於 VSCC 有相當高的微粒負荷能力，內部清潔頻率也相較於 WINS 低，目前已有許多連續監測儀器或是 PM 採樣器已採用 VSCC 作為其採樣分徑進口(Watson et al. 2000)。因此，本研究建議可使用 BGI 公司生產的 VSCC 作為 $PM_{2.5}$ 微粒的分徑器，以避免微粒彈跳的發生。

除了微粒彈跳之外，大氣相對溼度也有可能對貝他計的量測結果造成影響。Chang et al. (2001)曾在中山、大園、竹山及大寮四個環保署空品測站比對貝他計和高流量 PM_{10} 採樣器(hi-vol)的採樣結果，當大氣中 RH 較高時，貝他計的結果會較 hi-vol 高。Shin et al. (2011)也發現 RH 的影響會使貝他計的量測結果較傳統以秤重方式獲得的採樣結果高出 50 %。Schwab et al. (2006)於 2004 年在紐約使用進口端有加裝 smart heater 的貝他計，讓進入採樣器內的 RH 維持在 45 %以下，其採樣結果顯示進口端加裝 smart heater 的貝他計的結果仍高出 FRM 採樣器約 28 %，此結果和 Chow et al. (2006)發現加裝 smart heater 之貝他計高出 FRM 採樣器採樣質量 30 %的結果相似。最近的一份國外技術報告(Gobeli et al. 2008)更進一步指出，當大氣中的 RH 高於 35 %時，貝他計所的量測結過會較美國聯邦參考方法(Federal Reference Method, FRM)中手動採樣器的採樣結果高出 20-50 %。該報告建議貝他計進口端之 smart heater 應控制大氣 RH 低於 35 %。向測站維護人員詢問後得知，目前空品測站內所使用的貝他計均有裝設此加熱裝置，由於台灣較潮濕，整年度 RH 平均約在 70 至 80 % 以上，在如此高濕度的環境下，內部的加熱裝置是否應維持貝他計 RH 至 35 %仍值得進一步探討。

由圖 4.55(a)和中央大學的比對結果發現他們的採樣結果較本研究低，平均約少了 16.6 %。因本研究及中央大學所採用的儀器中的 $PM_{2.5}$ 分徑器皆不相同，其中 Dichot 為虛擬衝擊器，MOUDI 為傳統的多孔衝擊器，而中央大學所採用的 R&P Model 2000 則為 WINS 衝擊杯(impaction cup)。Liu et al. (2011)比較過使用 Thermo Model 2000 (和 R&P Model 2000 為相同儀器)與 Dichot 採樣的結果，也發現到前者所採集到的 $PM_{2.5}$ 濃度平均約較 Dichot 的結果低 10 %。Chow et al. (2008)回顧了過去許多採樣相關的文獻後也得出 FRM 採樣器所採集的 $PM_{2.5}$ 濃度平均會較 Dichot 及 MOUDI 低 3 至 12 %的結論。因此，推測不同分徑器的影響應是造成採樣誤差的主因。

相對濕度對採樣誤差的影響

為探討相對濕度是否造成測站與本研究在微粒質量濃度量測上的誤差，本研究整理了今年 5 月至 11 月本研究與測站間的量測誤差與相對濕度等相關數據數據，以探討相對濕度與量測誤差間的關係。本研究查閱測站維修記錄，扣除

距離上次採樣分徑器維護已過五天以上的數據及部分的離群值(如圖 4.57 白點處),將剩下的數據與測站量測的相對濕度進行相關性分析,結果如圖 4.57 所示。

由圖 4.57 的結果圖可見 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 的量測誤差與相對濕度呈正相關,其 R^2 值分別為 0.4287 及 0.6983,相關性分別達到中度及高度相關,顯示 RH 與貝他計量測誤差間確實有一定的關連。此外,由量測誤差與 RH 的趨勢線斜率可觀察出相對濕度對 $PM_{2.5}$ 的影響較 PM_{10} 大,當 RH 上升時,$PM_{2.5}$ 的量測誤差上升的幅度幾乎會 PM_{10} 的兩倍。

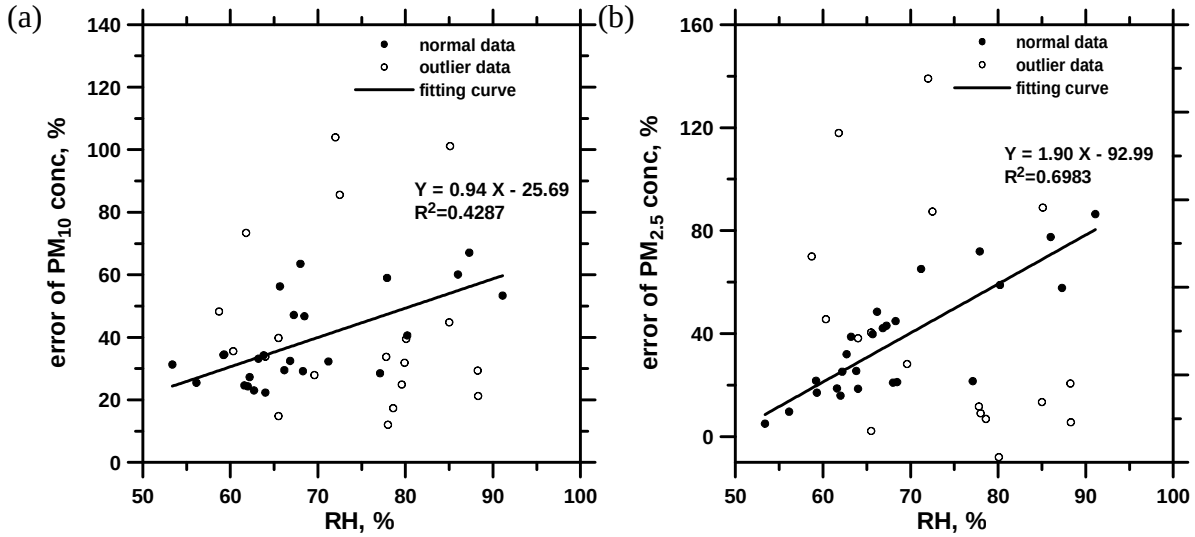


圖 4.57 本研究 MOUDI 與環保署空品測站量測的(a)PM_{10} 及(b)$PM_{2.5}$ 質量濃度之誤差與相對濕度的比對關係。

4.3.4 微粒化學組成及水溶性離子分析

微粒化學組成

由 MOUDI 或 dichot 採集下來的微粒將會分別進行離子及元素分析,以瞭解各粒徑範圍內微粒的化學組成,OC 及 EC 分析則是使用新莊測站內由 Sunset OC/EC 分析儀(Model-4 Semi-Continuous OC-EC Field Analyzer, Sunset Laboratory, Tigard, USA)所量測的即時 OC/EC 數據,各次採樣的化學組成分析結果放置於附錄七。由於該儀器僅可測得 $PM_{2.5}$ 中的 OC 及 EC 含量,因此僅有新莊測站 $PM_{2.5}$ 的微粒有較完整的化學組成,以下就七筆較完整的數據進行討論。

表 4.19 為新莊測站所採集的 $PM_{2.5}$ 樣本中,$PM_{2.5}$ 質量與各化學物質質量的比值,其中有機物質的濃度(OM, organic matter)以 OC 濃度的 1.6 倍估算(Chen et al., 2010a)。由結果可見各化學組成總和和總質量比值平均為 86.6±21.2%,除了後面三次採樣有部分數據大於 100%或低於 60%,其餘大部分採樣均介於 63-97 之間,此結果與 Turpin and Lim (2001)所得到 $PM_{2.5}$ 總化學成分佔微粒重量 70-87%的結果相近,Turpin and Lim (2001)推測剩餘未分析出來的成分可能是水分。

由結果可發現在新莊測站離子為 $PM_{2.5}$ 微粒中主要的成分,佔總質量濃度約 39.5±18.0 %，顯示 $PM_{2.5}$ 樣本中之微粒大部分由在大氣中傳輸較久的高齡微粒所貢獻。10/05 及 10/06 兩次採樣離子所佔的比例較高，分別為 58 及 68 %，檢查天候狀況後發現這兩次採樣期間風速及濕度較高，因高風速容易傳輸距離較遠的微粒，而高濕度能幫助更多的離子潮解而溶入微粒中，故推測高風速及高濕度的環境為造成 10/05 及 10/06 兩次採樣離子比例較高的原因。

$PM_{2.5}$ 樣本中 OM 為次多的成分，佔總質量濃度約 34.8±6.6%，與過去本研究所做的路旁採樣結果相似，比例稍微偏低，主要原因為新莊測站和路邊的距離較過去的路旁採樣點遠，車輛直接排放影響較小所致。由於新莊測站內的 OC/EC 分析儀在 7 月時才遷入，因此只取得 7 月後的數據。從表可見 9/5-9/6、9/6-9/7 及 10/5-10/6 三次數據較低，經查驗後發現此三時段日當天 OC/EC 量測的數據在有些時段佔 $PM_{2.5}$ 質量的比例甚至低於 10 %，這些數值在大氣環境中相當不合理，且有些時段如 9/7 當天 $PM_{2.5}$ 時序變化趨勢也與 OC/EC 時序變化有不同的趨勢，推測此時段儀器可能發生問題。

表 4.19 新莊測站 $PM_{2.5}$ 樣本中微粒化學組成。

$PM_{0.1}$		Ion (%)	Element (%)	OM* (%)	EC* (%)	Total (%)
新莊(7) 2011/07/07	M3	34.11	5.34	40.85	6.62	86.92
新莊(8) 2011/07/08	M3	29.40	5.12	40.90	5.61	81.04
新莊(10) 2011/08/01	M3	50.25	3.32	38.05	6.06	97.69
新莊(11) 2011/09/05	M3	21.54	5.89	30.07	6.30	63.81
新莊(12) 2011/09/06	M3	20.22	4.94	25.55	5.57	56.28
新莊(13) 2011/10/05	M3	52.84	3.16	39.93	8.74	104.67
新莊(14) 2011/10/06	M3	68.10	4.98	28.25	8.87	110.19

* OM 濃度以 OC 濃度的 1.6 倍估算，OC 及 EC 量測儀器為 Sunset OC/EC 分析儀，數據來源為環保署監資處，

微粒中的水溶性離子

表 4.20 為本研究各水溶性離子的儀器及微粒離子濃度的偵測極限(樣本溶液 30 mL)，結果顯示本研究的微粒偵測下限相當低，最高的空氣中質量濃度也僅有 0.00073 $\mu g/m^3$ (以 Dichot 24 小時採樣而言)，因此微粒離子濃度在此研究應可準確的分析出來。

表 4.20 本研究各水溶性離子的儀器及微粒離子濃度的偵測下限。

	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
* μg/m^3	0.00043	0.00030	0.00041	0.00020	0.00016	0.00033	0.00058	0.00045	0.00019
**MOUDI (μg/Nm^3)	0.0003	0.00021	0.00029	0.00014	0.00011	0.00023	0.00041	0.00031	0.00013
**Dichot (μg/Nm^3)	0.00053	0.00037	0.00052	0.00025	0.00020	0.00041	0.00073	0.00056	0.00024

備註：*：離子層析儀之儀器偵測下限；**：Dichot (16 L/min)與MOUDI (30 L/min) 24小時採樣之微粒濃度偵測下限。

表 4.21 為空白樣品測試之結果。溶劑空白皆為 ND，方法空白的結果顯示，大部份水溶性離子的濃度皆低於 0.5 μg/L (ppbw)。實驗室空白測試方面，所有離子的濃度皆低於 1.0 μg/L。三個測站的現場空白中則測出微量的 Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、Na^+ 及 Ca^{2+}離子，其值均低於 3.0 ppbw，在可接受的範圍之內。

表 4.21 空白樣品測試結果(單位：ppbw)。

離子	溶劑空白	方法空白	實驗室空白	現場空白 (新莊測站 n=28)	現場空白 (中山測站 n=24)	現場空白 (竹東測站 n=24)
F^-	ND	ND	ND	0.31	ND	ND
Cl^-	ND	ND	ND	1.23	0.82	0.86
NO_3^-	ND	0.38	0.88	2.57	2.14	1.95
SO_4^{2-}	ND	0.41	0.96	2.89	2.60	1.81
Na^+	ND	ND	0.35	1.10	1.49	1.45
NH_4^+	ND	ND	ND	0.37	ND	ND
K^+	ND	ND	ND	0.83	0.56	ND
Mg^{2+}	ND	ND	0.56	1.72	0.98	1.06
Ca^{2+}	ND	0.21	0.74	2.39	1.01	1.09

表 4.22、表 4.23 及表 4.24 分別為新莊、中山及竹東測站各個 PM 樣本中水溶性離子成分的質量濃度，其中在竹東與中山測站採樣時，兩台 MODUI 正在進行 MSP 原廠 MOUDI 及 NCTU MCI 的採樣比對，各階衝擊基質均採用鋁箔濾紙，僅終端濾紙為鐵氟龍濾紙，因此在這兩個測站的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 水溶性離子濃度的數據僅有 dichot 樣本。

由表 4.22 可見新莊測站微粒的離子濃度較低，平均總離子質量濃度分別佔 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 質量濃度中的 32.2±17.5、33.1±18.9 及 21.5±10.8 %，每月離子佔微粒組成比例的變異量較大，推測原因和受到附近工廠排放或沙塵傳輸影響有關。新莊測站微粒離子組成中主要的成分以衍生性氣膠 SO_4^{2-}、NO_3^-及 NH_4^+為主，其中 SO_4^{2-}含量最多，在 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 微粒樣本中平均分別佔 14.3、17.7%及 12.6%，和 Chow et al. (1994)在南加州進行懸浮微粒研究有類似的成果，$PM_{0.1}$ 中 SO_4^{2-}所佔的比率也與 Cass et al. (2000)在加州六個城市所做的都會區超細微粒的化學分析結果，SO_4^{2-}所佔比例為 0-18%相符。此外，結果

也顯示 5/3-5/4 微量沙塵期間新莊測站 PM_{10} 水溶性離子組成含大量的 Cl^-、Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等海洋性離子，佔總離子濃度 36.9%，顯示此次沙塵是長時間經過海上由境外傳輸所致。

表 4.23 為中山測站 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 微粒中水溶性離子的濃度，由表可知中山站總離子的質量濃度分別佔 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 質量濃度中的 39.0±13.4、34.8±11.0 及 18.8±8.0 %，PM_{10}、$PM_{2.5}$ 離子所佔的比率略高於新莊測站，推測兩者差異原因為中山測站位於台北盆地內，在盆地地形內微粒較不易擴散，空氣的滯留時間也較常，進而使微粒會吸附較多的無機鹽類。結果也顯示主要的離子成分和新莊測站相同，也是以衍生性氣膠為主，含量最多的 SO_4^{2-}，在 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 分別佔 18.0、20.8%及 6.8%。

表 4.24 為竹東測站 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 微粒中水溶性離子的濃度，由表可知竹東站總離子的質量濃度分別佔 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 質量濃度中的 43.9±10.2、41.8±12.5 及 34.4±24.2 %，相較於新莊及中山測站，竹東測站的微粒則有較高的離子比例，主要原因為該測站濕度較高，高濕度的環境下使得微粒會吸收較多的水分，進而讓大氣中水溶性離子更容易溶解至微粒中。此外，結果也顯示竹東站 SO_4^{2-} 所佔的比例比其它兩個測站高，在 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 質量濃度中所佔比例分別為 21.9、30.3 及 9.0 %。造成此結果的相關解釋目前尚待研究當中。

表 4.22 新莊測站(a)PM_{10}、(b)$PM_{2.5}$ 及(c)$PM_{0.1}$ 微粒中水溶性離子的濃度，M 及 D 分別表示以 MOUDI 及 Dichot 取樣。

(a)PM_{10}		**F^-**	**Cl^-**	**NO_3^-**	**SO_4^{2-}**	**Na^+**	**NH_4^+**	**K^+**	**Mg^{2+}**	**Ca^{2+}**	**Total ion ($\mu g/m^3$)**	**Total mass ($\mu g/m^3$)**	**Fraction (%)**	**Ion Ration**
新莊(1)	M3	0.053	0.471	0.832	0.403	0.417	0.097	0.082	0.070	0.428	2.853	30.680	9.300	0.716
2011/05/03	D1	0.061	0.711	0.677	1.209	0.315	0.156	0.123	0.092	0.686	4.029	33.770	11.932	0.880
新莊(2)	M3	0.059	0.221	0.592	1.970	0.289	0.711	0.144	0.045	0.221	4.251	18.980	22.397	0.850
2011/05/04	D1	0.044	0.227	0.741	1.787	0.373	0.812	0.176	0.030	0.260	4.449	20.030	22.212	0.712
新莊(3)	M3	0.050	0.100	0.971	2.070	0.262	0.524	0.072	0.042	0.229	4.320	40.790	10.591	1.122
2011/05/08	D1	0.150	0.255	1.107	11.546	0.518	3.742	0.260	0.078	0.442	18.099	43.140	41.954	1.030
新莊(4)	M3	0.064	0.110	1.028	2.057	0.328	0.518	0.075	0.051	0.276	4.507	46.990	9.592	1.047
2011/05/09	D1	0.117	0.194	1.535	10.947	0.650	2.657	0.280	0.087	0.546	17.013	50.420	33.742	1.215
新莊(5)	M3	0.203	0.331	1.027	2.537	0.547	0.421	0.197	0.096	0.368	5.726	22.860	25.048	1.137
2011/06/07	D1	0.560	0.649	1.018	4.224	0.828	0.858	0.602	0.114	0.675	9.529	22.680	42.015	1.069
新莊(6)	M3	0.232	0.253	1.301	1.654	0.555	0.338	0.160	0.077	0.293	4.864	28.030	17.354	1.098
2011/06/08	D1	0.395	0.344	1.591	6.306	0.668	1.081	0.265	0.095	0.469	11.214	32.540	34.462	1.474
新莊(7)	M3	0.527	0.490	1.097	6.907	0.496	1.261	0.506	0.083	0.489	11.855	41.930	28.274	1.494
2011/07/07	D1	0.989	0.820	1.620	9.220	0.670	1.751	0.501	0.112	0.707	16.390	43.840	37.385	1.595
新莊(8)	M3	0.408	0.476	1.910	5.280	0.738	0.961	0.454	0.100	0.287	10.613	36.690	28.925	1.467
2011/07/08	D1	0.640	0.702	2.535	5.453	1.075	0.245	0.497	0.146	0.419	11.712	39.930	29.330	1.959
新莊(9)	M3	0.569	0.743	0.887	4.891	0.688	1.086	0.781	0.051	0.361	10.057	28.920	34.776	1.261
2011/07/31	D1	0.491	0.528	1.053	7.764	0.493	1.975	0.419	0.083	0.378	13.185	30.730	42.907	1.308

新莊(10) 2011/08/01	M3	0.524	0.667	1.264	5.200	0.927	1.019	0.686	0.077	0.353	10.717	23.090	46.413	1.264
	D1	0.516	0.552	1.107	6.313	0.483	1.404	0.356	0.073	0.313	11.118	27.240	40.814	1.480
新莊(11) 2011/09/05	M3	0.408	0.408	2.807	2.236	0.997	0.738	0.300	0.175	0.510	8.579	31.030	27.649	0.945
	D1	0.463	0.534	1.631	5.675	1.120	1.592	0.489	0.149	0.464	12.117	37.830	32.029	0.993
新莊(12) 2011/09/06	M3	0.572	0.455	4.702	3.258	1.013	0.855	0.261	0.313	0.950	12.379	50.940	24.301	1.087
	D1	0.687	0.558	4.103	11.739	1.444	3.805	0.833	0.307	1.149	24.627	60.540	40.678	0.958
新莊(13) 2011/10/05	M3	0.354	1.091	2.605	5.353	2.975	1.918	0.519	0.392	0.560	15.767	27.230	57.904	0.655
	D1	0.403	1.459	3.029	5.520	3.985	2.095	0.594	0.530	0.768	18.383	32.710	56.200	0.584
新莊(14) 2011/10/06	M3	0.266	0.884	1.746	5.116	1.300	1.795	0.477	0.318	0.470	12.373	20.550	60.209	0.795
	D1	0.367	1.448	2.315	5.624	2.481	1.880	0.544	0.470	0.400	15.529	26.850	57.838	0.752

(b)$PM_{2.5}$		**F^-**	**Cl^-**	**NO_3^-**	**SO_4^{2-}**	**Na^+**	**NH_4^+**	**K^+**	**Mg^{2+}**	**Ca^{2+}**	**Total ion ($\mu g/m^3$)**	**Total mass ($\mu g/m^3$)**	**Fraction (%)**	**Ion Ration**
新莊(1) 2011/05/03	M3	0.030	0.105	0.221	0.357	0.116	0.057	0.020	0.017	0.122	1.044	15.440	6.759	0.956
	D1	0.021	0.061	0.148	0.590	0.158	0.474	0.075	0.034	0.160	1.721	14.470	11.893	0.382
新莊(2) 2011/05/04	M3	0.046	0.152	0.268	0.923	0.188	0.507	0.212	0.029	0.153	2.478	13.940	17.780	0.585
	D1	0.027	0.078	0.058	0.216	0.063	1.224	0.056	0.005	0.030	1.757	14.990	11.723	0.123
新莊(3) 2011/05/08	M3	0.021	0.062	0.300	1.720	0.069	0.473	0.037	0.007	0.059	2.749	31.660	8.683	1.286
	D1	0.126	0.239	0.181	12.257	0.273	3.742	0.249	0.027	0.115	17.210	29.220	58.897	1.160
新莊(4) 2011/05/09	M3	0.018	0.058	0.061	1.606	0.051	0.503	0.036	0.002	0.012	2.347	37.700	6.225	1.164
	D1	0.057	0.154	0.202	11.481	0.341	2.934	0.258	0.020	0.077	15.524	36.910	42.060	1.315
新莊(5) 2011/06/07	M3	0.125	0.178	0.285	2.274	0.231	0.387	0.143	0.048	0.202	3.872	14.310	27.061	1.291
	D1	0.233	0.156	0.089	4.181	0.218	0.858	0.166	0.024	0.089	6.014	15.740	38.211	1.550
新莊(6) 2011/06/08	M3	0.141	0.143	0.238	1.349	0.201	0.324	0.108	0.023	0.102	2.627	19.090	13.762	1.188
	D1	0.257	0.258	1.591	1.223	0.240	1.186	0.218	0.021	0.061	5.054	19.930	25.359	0.831
新莊(7) 2011/07/07	M3	0.334	0.318	0.253	6.462	0.221	1.191	0.417	0.031	0.212	9.438	27.670	34.110	1.659
	D1	0.590	0.373	0.219	7.622	0.193	1.380	0.301	0.018	0.074	10.770	26.140	41.200	2.081
新莊(8) 2011/07/08	M3	0.262	0.262	0.140	4.798	0.172	0.961	0.396	0.016	0.094	7.102	24.150	29.408	1.602
	D1	0.292	0.213	0.081	4.080	0.206	0.943	0.336	0.025	0.067	6.243	26.070	23.947	4.681
新莊(9) 2011/07/31	M3	0.465	0.506	0.210	4.458	0.426	0.965	0.681	0.013	0.099	7.823	22.100	35.398	1.411
	D1	0.290	0.196	0.119	6.947	0.187	1.637	0.165	0.014	0.027	9.583	22.780	42.066	1.583
新莊(10) 2011/08/01	M3	0.426	0.583	0.325	4.929	0.576	0.996	0.649	0.026	0.202	8.713	17.340	50.246	1.343
	D1	0.253	0.147	0.096	5.825	0.175	1.193	0.151	0.012	0.059	7.912	20.740	38.148	1.717
新莊(11) 2011/09/05	M3	0.260	0.227	0.631	1.884	0.325	0.729	0.239	0.070	0.209	4.574	21.230	21.543	0.902
	D1	0.198	0.129	0.054	4.285	0.296	1.336	0.262	0.059	0.098	6.718	21.790	30.829	1.005
新莊(12) 2011/09/06	M3	0.402	0.307	2.391	2.707	0.319	0.847	0.185	0.182	0.475	7.814	38.640	20.223	1.193
	D1	0.404	0.296	0.133	8.981	0.349	3.164	0.600	0.083	0.207	14.216	41.070	34.615	0.979
新莊(13) 2011/10/05	M3	0.233	0.242	0.513	5.013	0.785	1.914	0.322	0.114	0.198	9.335	18.920	49.338	0.784
	D1	0.200	0.128	0.102	4.525	0.722	1.618	0.289	0.102	0.148	7.834	18.610	42.093	0.761
新莊(14) 2011/10/06	M3	0.154	0.180	0.453	4.851	0.537	1.762	0.329	0.071	0.153	8.491	13.320	63.744	0.848
	D1	0.157	0.108	0.079	4.638	0.558	1.822	0.322	0.079	0.132	7.895	12.510	63.111	0.743

(c)$PM_{0.1}$		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
新莊(1)	M1	0.002	0.006	0.021	0.027	0.005	0.007	0.003	0.000	0.003	0.074	0.660	11.160	1.503
2011/05/03	M3	0.003	0.006	0.005	0.003	0.003	0.005	0.001	0.000	0.003	0.032	0.640	4.948	0.810
新莊(2)	M1	ND	ND	ND	0.013	ND	0.008	ND	ND	0.018	0.039	0.270	14.604	0.197
2011/05/04	M3	0.003	0.007	0.006	0.019	0.003	0.006	0.002	0.000	0.005	0.050	0.660	7.591	1.085
新莊(3)	M1	0.003	0.009	0.051	0.213	0.007	0.048	0.007	0.000	0.005	0.342	1.480	23.096	1.668
2011/05/08	M3	0.002	0.006	0.007	0.056	0.003	0.021	0.002	ND	0.002	0.099	1.550	6.357	1.075
新莊(4)	M1	0.003	0.006	0.023	0.346	0.007	0.088	0.007	ND	0.003	0.483	1.410	34.228	1.414
2011/05/09	M3	0.002	0.006	0.006	0.148	0.004	0.053	0.004	ND	0.002	0.223	1.940	11.470	1.070
新莊(5)	M1	0.015	0.012	0.006	0.537	0.015	0.079	0.021	0.001	0.011	0.697	1.830	38.074	2.012
2011/06/07	M3	0.012	0.010	0.018	0.408	0.037	0.040	0.040	0.029	0.031	0.624	1.170	53.372	1.102
新莊(6)	M1	0.018	0.014	0.009	0.072	0.010	0.033	0.015	0.001	0.010	0.182	0.730	24.921	0.944
2011/06/08	M3	0.013	0.029	0.020	0.024	0.025	0.010	0.030	0.001	0.012	0.164	0.500	32.838	0.760
新莊(7)	M1	0.023	0.030	0.006	0.417	0.011	0.096	0.018	ND	0.003	0.604	2.030	29.733	1.692
2011/07/07	M3	0.026	0.029	0.006	0.307	0.012	0.060	0.014	0.001	0.007	0.462	1.770	26.110	1.871
新莊(8)	M1	0.022	0.031	0.035	0.302	0.014	0.049	0.019	ND	0.005	0.478	1.870	25.555	2.187
2011/07/08	M3	0.022	0.032	0.007	0.113	0.010	0.023	0.016	ND	0.010	0.233	1.510	15.406	1.690
新莊(9)	M1	0.024	0.024	0.039	0.086	0.011	0.017	0.013	ND	0.007	0.220	1.230	17.890	2.072
2011/07/31	M3	0.013	0.017	0.004	0.058	0.009	0.016	0.009	0.001	0.006	0.133	0.970	13.676	1.323
新莊(10)	M1	0.024	0.059	0.024	0.122	0.044	0.029	0.025	0.001	0.010	0.337	1.300	25.936	1.248
2011/08/01	M3	0.016	0.017	0.005	0.081	0.011	0.022	0.013	ND	0.005	0.169	1.260	13.431	1.366
新莊(11)	M1	0.012	0.019	0.008	0.167	0.015	0.031	0.019	0.001	0.011	0.284	1.430	19.880	1.343
2011/09/05	M3	0.012	0.021	0.127	0.075	0.014	0.019	0.017	0.002	0.014	0.300	1.240	24.186	1.643
新莊(12)	M1	0.011	0.023	0.009	0.219	0.019	0.044	0.024	0.003	0.022	0.375	1.430	26.250	1.122
2011/09/06	M3	0.013	0.021	0.008	0.108	0.015	0.031	0.011	0.001	0.010	0.218	1.290	16.891	1.137
新莊(13)	M1	0.018	0.012	0.013	0.055	0.013	0.028	0.013	0.001	0.013	0.167	1.040	16.049	0.819
2011/10/05	M3	0.013	0.013	0.005	0.084	0.020	0.048	0.014	0.001	0.022	0.221	1.070	20.644	0.573
新莊(14)	M1	0.012	0.013	0.035	0.069	0.018	0.038	0.016	0.001	0.013	0.215	0.830	25.921	0.740
2011/10/06	M3	0.013	0.013	0.005	0.036	0.017	0.016	0.013	0.001	0.012	0.126	0.810	15.550	0.713

表 4.23 中山測站(a)PM_{10}、(b)$PM_{2.5}$及(c)$PM_{0.1}$微粒中水溶性離子的濃度，M 及 D 分別表示以 MOUDI 及 Dichot 取樣。

(a)PM_{10}		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
中山(1) 2011/05/14	D1	0.239	0.250	0.563	9.784	0.377	1.379	0.316	0.049	0.238	13.195	42.300	31.193	1.987
中山(2) 2011/05/15	D1	0.163	0.303	0.459	1.775	0.297	0.252	0.295	0.064	0.291	3.900	14.080	27.697	1.132
中山(3) 2011/06/13	D1	0.474	0.493	0.878	4.356	0.424	0.877	0.463	0.067	0.542	8.574	32.380	26.480	1.286
中山(4) 2011/06/14	D1	0.457	0.660	1.560	5.532	0.752	1.244	0.691	0.124	0.773	11.792	30.370	38.827	1.087
中山(5) 2011/07/13	D1	0.642	0.615	1.010	4.026	0.286	0.868	0.165	0.038	0.932	8.582	41.690	20.584	1.319
中山(6) 2011/07/14	D1	0.403	0.452	0.735	1.591	0.303	0.184	0.122	0.040	0.886	4.716	25.530	18.472	1.064
中山(7) 2011/08/06	D1	1.403	1.142	0.951	4.419	0.738	1.899	0.756	0.098	0.847	12.254	27.440	44.657	1.029
中山(8) 2011/08/08	D1	0.502	0.487	0.868	3.086	0.438	0.712	0.148	0.059	0.617	6.918	34.441	20.085	1.206
中山(9) 2011/09/17	M3	0.415	0.634	1.984	7.611	1.869	0.853	0.239	0.239	0.426	14.269	30.289	47.110	1.308
	D1	0.454	0.667	1.833	10.319	1.262	2.105	0.244	0.172	0.363	17.417	37.507	46.437	1.365
中山(10) 2011/09/18	M3	0.485	2.440	2.571	3.949	2.526	1.071	0.297	0.338	0.486	14.162	38.110	37.161	0.950
	D1	0.630	3.233	2.712	10.164	3.515	1.978	0.645	0.499	0.857	24.234	47.175	51.369	1.044
中山(11) 2011/10/18	M3	0.122	3.800	2.730	8.474	3.414	1.967	0.324	0.426	0.591	21.847	47.845	45.662	1.009
	D1	0.165	2.385	1.484	13.642	2.825	3.417	0.513	0.412	1.237	26.081	53.852	48.431	0.910
中山(12) 2011/10/19	M3	0.083	1.434	3.685	6.859	2.166	1.709	0.269	0.311	0.847	17.363	29.876	58.116	0.935
	D1	0.089	5.072	2.854	7.057	3.592	1.847	0.392	0.579	0.820	22.301	36.785	60.625	0.951

(b)$PM_{2.5}$		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
中山(1) 2011/05/14	D1	0.181	0.158	0.117	10.025	0.219	1.397	0.305	0.026	0.111	12.539	31.910	39.296	2.188
中山(2) 2011/05/15	D1	0.112	0.090	0.096	1.765	0.102	0.247	0.258	0.029	0.094	2.793	10.270	27.192	1.468
中山(3) 2011/06/13	D1	0.293	0.256	0.102	4.565	0.180	0.962	0.295	0.021	0.126	6.801	21.410	31.766	1.553
中山(4) 2011/06/14	D1	0.291	0.323	0.143	5.782	0.324	1.237	0.531	0.037	0.204	8.872	24.470	36.258	1.341
中山(5) 2011/07/13	D1	0.299	0.303	0.124	3.271	0.096	0.712	0.065	0.012	0.085	4.968	25.470	19.505	1.902

中山(6) 2011/07/14	D1	0.204	0.136	0.054	1.198	0.093	0.184	0.040	0.010	0.117	2.036	12.840	15.860	1.837
中山(7) 2011/08/06	D1	0.418	0.300	0.110	3.565	0.218	1.223	0.262	0.016	0.121	6.233	17.138	36.369	1.163
中山(8) 2011/08/08	D1	0.260	0.173	0.065	2.571	0.144	0.567	0.060	0.014	0.098	3.953	25.074	15.764	1.615
中山(9) 2011/09/17	M3	0.275	0.231	0.471	7.224	1.686	0.102	0.126	0.215	0.361	10.691	22.341	47.853	1.515
	D1	0.239	0.156	0.065	8.876	0.286	1.754	0.147	0.035	0.055	11.613	24.798	46.829	1.700
中山(10) 2011/09/18	M3	0.233	0.471	0.801	3.239	1.795	0.187	0.142	0.237	0.355	7.460	21.232	35.136	0.818
	D1	0.235	0.155	0.102	8.048	0.743	1.418	0.259	0.110	0.170	11.239	24.672	45.554	1.374
中山(11) 2011/10/18	M3	0.082	0.344	0.585	7.003	0.398	1.967	0.213	0.049	0.125	10.764	29.900	36.001	1.190
	D1	0.103	0.043	0.097	10.161	0.445	2.897	0.343	0.075	0.254	14.418	35.281	40.865	1.057
中山(12) 2011/10/19	M3	0.054	0.056	0.209	5.464	0.130	1.709	0.165	0.020	0.106	7.913	16.149	49.003	1.088
	D1	0.043	0.300	0.270	5.055	0.512	1.428	0.200	0.062	0.130	8.000	17.668	45.279	1.017

(c)$PM_{0.1}$		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
中山(1) 2011/05/14	M3	0.013	0.013	0.006	0.012	0.008	0.005	0.003	ND	0.007	0.068	0.370	18.245	1.314
中山(2) 2011/05/15	M1	0.042	0.044	0.023	0.052	0.031	0.002	0.025	0.003	0.030	0.252	1.080	23.320	1.256
	M3	0.031	0.054	0.024	0.137	0.033	0.022	0.040	0.002	0.024	0.368	1.260	29.180	1.281
中山(3) 2011/06/13	M1	0.026	0.024	0.049	0.089	0.010	0.028	0.014	ND	0.011	0.250	1.920	13.004	1.639
	M3	0.026	0.025	0.010	0.093	0.010	0.027	0.013	ND	0.008	0.212	1.550	13.665	1.534
中山(4) 2011/06/14	M1	0.022	0.019	0.214	0.143	0.016	0.042	0.015	ND	0.007	0.478	1.440	33.190	2.166
	M3	0.024	0.026	0.015	0.143	0.016	0.034	0.017	ND	0.009	0.283	2.040	13.871	1.502
中山(5) 2011/07/13	M1	0.024	0.025	0.013	0.091	0.009	0.036	0.009	ND	0.008	0.213	2.160	9.861	1.356
	M3	0.038	0.036	0.012	0.165	0.015	0.034	0.018	0.004	0.006	0.328	2.140	15.341	1.837
中山(6) 2011/07/14	M1	0.038	0.045	0.012	0.045	0.014	0.037	0.017	0.001	0.026	0.236	1.500	15.720	0.982
	M3	0.028	0.033	0.026	0.066	0.023	0.014	0.016	0.001	0.018	0.225	1.520	14.797	1.354
中山(7) 2011/08/06	M1	0.032	0.029	0.006	0.108	0.017	0.020	0.015	0.001	0.007	0.236	1.634	14.421	1.824
	M3	0.056	0.036	0.100	0.185	0.028	0.037	0.033	0.001	0.025	0.501	1.563	32.056	1.706
中山(8) 2011/08/08	M1	0.025	0.032	0.014	0.060	0.012	0.013	0.011	ND	0.010	0.177	1.973	8.966	1.799
	M3	0.026	0.033	0.013	0.092	0.023	0.014	0.026	0.001	0.016	0.245	1.855	13.226	1.326
中山(9) 2011/09/17	M1	0.016	0.016	0.003	0.048	0.014	0.007	0.018	0.002	0.013	0.137	1.242	11.009	1.026
	M3	0.015	0.021	0.088	0.048	0.017	0.013	0.019	0.001	0.011	0.234	1.078	21.700	1.426
中山(10) 2011/09/18	M1	0.016	0.017	0.012	0.056	0.013	0.017	0.016	0.002	0.014	0.162	0.838	19.283	0.972
	M3	0.013	0.016	0.049	0.040	0.010	0.014	0.013	0.001	0.012	0.170	0.582	29.178	1.224
中山(11) 2011/10/18	M1	0.002	0.023	0.005	0.196	0.009	0.047	0.011	0.001	0.011	0.304	1.017	29.900	1.274
	M3	0.003	0.005	0.001	0.057	0.004	0.005	0.003	ND	0.006	0.083	0.925	8.990	1.835
中山(12) 2011/10/19	M1	0.003	0.028	0.002	0.169	0.007	0.043	0.008	ND	0.008	0.268	0.877	30.514	1.354
	M3	0.002	0.009	0.002	0.049	0.009	0.012	0.006	0.001	0.006	0.096	0.738	13.038	0.915

表 4.24 竹東測站(a)PM_{10}、(b)$PM_{2.5}$及(c)$PM_{0.1}$微粒中水溶性離子的濃度，M 及 D 分別表示以 MOUDI 及 Dichot 取樣。

(a)PM_{10}		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
竹東(1) 2011/05/27	D1	0.480	0.265	0.078	2.875	0.242	0.774	0.232	0.026	0.138	5.110	11.090	46.079	1.371
竹東(2) 2011/05/28	D1	0.435	0.640	1.685	6.436	0.712	1.071	0.364	0.129	1.225	12.697	19.540	64.980	1.177
竹東(3) 2011/06/24	D1	0.227	0.506	0.505	1.754	0.571	0.305	0.311	0.067	0.173	4.419	12.480	35.408	1.109
竹東(4) 2011/06/25	D1	0.399	0.422	1.642	3.199	0.706	0.584	0.224	0.109	0.608	7.892	22.180	35.583	1.163
竹東(5) 2011/07/25	D1	0.452	0.346	0.801	5.442	0.254	0.889	0.430	0.044	0.645	9.303	30.020	30.989	1.490
竹東(6) 2011/07/26	D1	0.315	0.305	0.593	4.166	0.201	0.653	0.386	0.045	0.975	7.637	30.020	25.441	1.132
竹東(7) 2011/09/27	D1	0.407	0.351	2.421	5.179	1.835	1.781	0.595	0.256	1.103	13.927	30.080	46.301	0.659
竹東(8) 2011/09/28	D1	0.420	0.370	2.437	8.385	2.411	1.924	1.121	0.323	1.208	18.598	36.320	51.207	0.752
竹東(9) 2011/10/24	D1	0.055	0.609	0.455	4.860	0.923	0.934	0.111	0.130	0.250	8.327	20.070	41.489	1.089
竹東(10) 2011/10/25	D1	0.054	0.447	0.344	2.943	0.673	0.690	0.156	0.077	0.287	5.671	10.410	54.473	0.891
竹東(11) 2011/10/28	D1	0.042	0.360	0.306	4.538	0.428	1.278	0.119	0.060	0.397	7.528	20.410	36.883	0.951
竹東(12) 2011/10/29	D1	0.047	0.100	0.310	5.474	0.304	1.852	0.103	0.043	0.211	8.445	19.470	43.374	0.936

(b)$PM_{2.5}$		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
竹東(1) 2011/05/27	D1	0.070	0.056	0.020	3.058	0.095	0.389	0.112	0.008	0.026	3.835	8.340	45.982	2.267
竹東(2) 2011/05/28	D1	0.223	0.219	0.090	4.077	0.189	0.957	0.223	0.021	0.220	6.218	10.960	56.734	1.307
竹東(3) 2011/06/24	D1	0.115	0.136	0.161	1.599	0.225	0.278	0.183	0.024	0.063	2.783	6.420	43.353	1.307
竹東(4) 2011/06/25	D1	0.215	0.145	0.807	2.960	0.314	0.544	0.129	0.045	0.181	5.340	13.230	40.361	1.502
竹東(5) 2011/07/25	D1	0.197	0.206	0.054	3.108	0.101	0.889	0.154	0.016	0.123	4.847	19.050	25.445	1.281

竹東(6) 2011/07/26	D1	0.133	0.112	0.033	3.615	0.070	0.653	0.162	0.011	0.144	4.932	19.050	25.890	1.700
竹東(7) 2011/09/27	D1	0.204	0.152	0.054	4.127	0.456	1.479	0.283	0.055	0.125	6.937	17.060	40.662	0.848
竹東(8) 2011/09/28	D1	0.218	0.148	0.092	6.934	0.805	1.573	0.794	0.091	0.211	10.865	19.780	54.929	1.005
竹東(9) 2011/10/24	D1	0.027	0.162	0.199	3.333	0.531	0.661	0.054	0.078	0.139	5.183	12.150	42.659	1.052
竹東(10) 2011/10/25	D1	0.025	0.144	0.164	2.116	0.339	0.580	0.122	0.038	0.137	3.664	4.800	76.338	0.867
竹東(11) 2011/10/28	D1	0.026	0.051	0.113	3.332	0.197	1.074	0.093	0.026	0.159	5.072	11.570	43.841	0.916
竹東(12) 2011/10/29	D1	0.024	0.018	0.042	4.173	0.100	1.645	0.071	0.015	0.072	6.159	13.140	46.870	0.873

(c)$PM_{0.1}$		F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total ion ($\mu g/m^3$)	Total mass ($\mu g/m^3$)	Fraction (%)	Ion Ration
竹東(1) 2011/05/27	M1	0.022	0.024	0.021	0.002	0.010	0.004	0.008	0.003	0.007	0.101	0.160	63.069	1.558
	M3	0.026	0.023	0.023	0.037	0.019	0.013	0.015	0.002	0.011	0.169	0.210	80.252	1.206
竹東(2) 2011/05/28	M1	0.023	0.024	0.088	0.118	0.030	0.028	0.022	0.003	0.024	0.359	0.550	65.351	1.182
	M3	0.019	0.030	0.079	0.107	0.032	0.014	0.018	0.002	0.020	0.323	0.390	82.714	1.393
竹東(3) 2011/06/24	M1	0.023	0.034	0.042	0.024	0.022	0.007	0.010	ND	0.012	0.173	0.430	40.295	1.524
竹東(4) 2011/6/25	M1	0.022	0.023	0.075	0.048	0.015	0.014	0.014	0.000	0.008	0.220	0.960	22.892	1.789
竹東(5) 2011/07/25	M1	0.013	0.014	0.004	0.047	0.005	0.012	0.007	ND	0.007	0.107	1.340	8.019	1.514
	M3	0.011	0.019	0.015	0.057	0.009	0.007	0.011	0.000	0.008	0.137	1.190	11.522	1.710
竹東(6) 2011/07/26	M1	0.013	0.014	0.004	0.047	0.005	0.018	0.010	ND	0.003	0.113	1.380	8.212	1.271
	M3	0.011	0.014	0.003	0.056	0.006	0.028	0.015	ND	0.004	0.138	1.220	11.297	0.915
竹東(7) 2011/09/27	M1	0.012	0.019	0.006	0.068	0.025	0.026	0.025	0.001	0.011	0.191	0.680	28.143	0.707
竹東(8) 2011/09/28	M1	0.015	0.016	0.006	0.113	0.021	0.049	0.030	0.001	0.013	0.264	1.010	26.153	0.720
竹東(9) 2011/10/24	M1	0.003	0.009	0.002	0.038	0.009	0.011	0.005	ND	0.007	0.083	0.360	23.075	0.792
竹東(10) 2011/10/25	M1	0.003	0.007	0.005	0.048	0.007	0.011	0.006	ND	0.007	0.092	0.410	22.478	1.022
竹東(11) 2011/10/28	M1	0.002	0.011	0.006	0.055	0.011	0.003	0.008	0.001	0.011	0.109	0.280	38.966	1.128
竹東(12) 2011/10/29	M1	0.002	0.005	0.002	0.042	0.004	0.008	0.004	ND	0.007	0.074	0.550	13.474	1.088

4.3.5 微粒中的金屬元素

金屬元素濃度（單位：ng/m^3）分析結果如表 7-1 至表 7-3 所列，其中表 7.1 為新莊與中山測站 MOUDI 的樣品分析結果，而表 7-2 為新莊、中山、竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果，另表 7-3 為三個測站 Dichot 樣本的分析結果，雖然表中許多測值低於 MDL，但仍然列出，主要原因是這些值是正的，仍值得參考。以新莊測站的 MOUDI 樣本為例，濃度較高的三個元素依序是 Al 1402 ng/m^3、Na 844 ng/m^3、Fe 809 ng/m^3，且樣本間的濃度差異頗大，高低濃度間的差異可達兩個數量級。再者，中山及竹東測站的 MOUDI 樣本，僅有 0.056-0.1 μm 及<0.056 μm 兩階的樣本，且樣本間的濃度差異頗大，部分有疑慮的資料須進一步釐清，因此細節的討論較少。以現有的資料來看新莊測站 0.056-0.1 μm 粒徑的平均濃度多大於<0.056 μm，而中山及竹東兩測站則是互有高低，至於測站間的比較，Al 以中山及竹東測站的平均濃度較高於新莊測站，K 則是以新莊測站的平均濃度較高於其他兩站。

為瞭解各粒徑之元素的特性，我們可以利用元素的富集值來鑑別其來源，富集值(Enrichment Factor, EF)的計算方法如下:

$$EF = (E/I)_{aerosol}/(E/I)_{reference} \quad (4.7)$$

其中 E 為欲鑑定之元素，而 I 為參考元素（Reference element），參考物質包括地殼成分及海水(海鹽)(地殼與海水成分列於附錄六中)，一般以 Al 及 Na 作為地殼與海鹽來源的參考元素(Bruland, 1983; Tayler,1964)，地殼富集值(EF_{crust})≦2 表示元素主要為地殼來源，若 EF_{crust} 值介於 2~10 表示元素有部份為地殼來源，當 EF_{crust} 值>10 表示元素不是以地殼來源為主，海水富集值(EF_{sea})亦是如此，若元素非地殼及海鹽來源為主，則是其他污染來源。

表 7-4 與表 7-5 則為新莊與中山測站 MOUDI 樣品中各元素之地殼與海水富集值。另外，為方便數據上的整理，我們將 MOUDI 的資料分為三個粒徑:PM_1、$PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$。由表可看到 Fe、Mg、Ca、Sr、Ti、Y、Rb 等元素在三個粒徑中的地殼富集值均接近於 1，代表這些元素在各粒徑內都是以地殼來源為主。K、Ba、Mn、Co、Cs、Ga、V 等元素在 $PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$ 此兩粒徑皆是地殼來源，而在 PM_1 中這些元素的地殼與海水富集值均大於 10，代表這些元素在 PM_1 的粒徑中可能來自污染來源，Niu et al.(2010)提到 Ba、Mn、V 等元素在<1μm 粒徑的主要來源是引擎的廢氣排放。而 Ni、Cu、Zn、Cr、Mo、Ag、Cd、Sn、Sb、Pb、Cr、Se 等元素在三個粒徑中的地殼與海水富集值均大於 10，顯示這些元素皆來自污染源，文獻中曾提到 Cu、Zn、Cd、Sb 等元素可能來自汽、柴油的使用(Lin, 2005)，或為煞車皮磨損時所排放(Canepari, 2008; Hjortenkrans, 2007; Johansson, 2009)，另外 Pb、Cu、Mo 是因為汽油引擎的排放(Johansson, 2009; Lin, 2005; Pacyna, 2007)，Pb、Cd 及 Zn 亦可能來自都廢燃燒（Sakata et al., 2000; Hu et al., 2003）。另外 As、Tl 在 6、7 月的樣本中 PM_1 主要為汙染來源，$PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$ 則為地殼來源，在 5 月的樣本則以汙染來源為主。Mg 由地殼與海水富集值的結果顯示其有地殼與海鹽兩種來源。另一個特殊的地方是在第一次的採樣中各污染源元素(如 Ni、Cu、Zn 等)在 $PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$ 的粒徑中其地殼富集值均<10，其他污染元素如 Cd、Sn、Sb、Pb 的地殼富集值也明顯降低了，再比對當天 PM_{10} Al 的濃度為 1402 ng/m^3，比其他次採樣都來的高，依 Hsu et al.(2008)

的分類，新莊測站第一次的採樣可能是受到微弱沙塵的影響。

新莊測站 MOUDI 標本的金屬元素之粒徑分佈如圖 7-51 至圖 7-57 所示。在第一次的採樣中與地殼源相關的元素 Al、Fe、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Mn、Y、Rb、Ga 的粒徑分佈峰值皆出現在 2.5-5.6 μm，且均為單峰型態。而 Co、As、Cu 等元素因為受到微弱沙塵的影響，也呈現單峰的分布型態，峰值同樣出現在 2.5-5.6 μm。其餘污染源元素如 Zn、Sn、Pb、Cd 等，其粒徑分布呈雙峰或多峰型態。海鹽來源的 Na、Mg 呈單峰的分布型態，峰值出現在 2.5-5.6 μm 的粒徑。在第二次的採樣時 K、Mn、Rb 除了原本在 2.5-5.6 μm 出現的峰值以外，在次微米的粒徑當中也出現另一峰值，成為雙峰的分布型態，顯示有其他汙染源的影響，此與地殼富集值的結果相符，其餘金屬元素的分布型態與第一次採樣時相同。第三次與第四次採樣的結果較類似，Al、Fe、Na、Mg、Ca、Sr、Ba、Ti、Y、Rb 等金屬元素的分布類型均為單峰型態，峰值出現在 2.5-5.6 μm。K、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、V、Cs、Sb 則呈現雙峰的分布型態，Tl、As、Cd、Se、Sn 等元素則呈單峰分布，峰值出現在次微米的粒徑。第五次至第七次的採樣，地殼源元素主要峰值仍出現在 2.5-5.6 μm，污染性元素多集中次微米的粒徑。

中山測站 MOUDI 標本金屬元素之粒徑分佈則如圖 7-58 至圖 7-59 所示，Al、Fe、Na、Mg、Ca、Sr、Ba、Ti 及 Y 等金屬元素的分布類型均為單峰型態，峰值出現在 2.5-5.6 μm。K、Mn、Mo、Rb、Ga、Sb 則呈現雙峰的分布型態，V、Ni、Pb、Zn、Tl、As、Cd、Se、Sn 等元素則呈單峰分布，峰值出現在次微米的粒徑。此外，值得注意的是在 09/17 的採樣中，大多數元素的濃度均低於 09/18 的採樣結果，然 Ni、V 及 Sb 在次微米粒徑的濃度則顯著同步上升，是否受一特殊污染源的影響所致，值得進一步的探討。綜觀分析新莊及中山測站大氣懸浮微粒中元素的粒徑分佈特性，地殼源元素濃度主要分布第三階，污染性元素則主要集中在次微米的粒徑，此外各測站在同一次不同日的的採樣中，微粒中各元素在不同粒徑的表現差異相當大，尤其污染性元素的分布特性，容易受到污染源的不同，而改變其表現特徵。

三個測站 Dichot 標本的元素濃度比較如圖 7-60，三個測站的元素濃度普遍以新莊站為較高，而另外兩站(中山與竹東)的濃度較相近。由圖中可看出地殼來源的元素如 Al、Fe、Ba、Ti 與海鹽來源的元素 Na、Mg 在粗顆粒($PM_{2.5-10}$)的平均濃度皆大於細顆粒($PM_{2.5}$)的部份，此結果與 MOUDI 標本的粒徑分布一致，而在污染源元素方面，如 Cu、Zn、Cd、V、As、Se 則是以 $PM_{2.5}$ 的濃度較高。另外，Sr 在新莊及竹東兩測站是以 $PM_{2.5-10}$ 的濃度較高，而在中山測站是以 $PM_{2.5}$ 的濃度較高，顯示中山測站的 Sr 另有其他來源。新莊測站的 Pb 以 $PM_{2.5-10}$ 的濃度較高，但是與 MOUDI 的粒徑分布資料相符(Pb 在第三階的粒徑皆有峰值出現)，目前看來與其他測站的結果相異，是否有其他因素影響，需再進一步釐清。竹東測站 $PM_{2.5-10}$ 的 Tl 濃度較高於 $PM_{2.5}$，此結果與其他測站相異，是否為單一污染事件或特別的科技業污染所致，亦需進一步探討。另中山測站歷次的採樣結果顯示，$PM_{2.5}$ 及 $PM_{2.5-10}$ 中 Al、Fe、K、Ca、Ba 與 Ti 的濃度相近，此與新莊及竹東測站的特性不同，顯示中山測站的大氣微粒中不僅有地殼源的貢獻，是否受其他污染源的影響，抑或中山測站受鄰近地區細砂再揚起之影響所致，此值得進一步探討。由三個測站歷次的分析結果顯示，各元素在粗及細粒徑中的分佈型態與台北都會區(Hsu et al., 2004)及台中都會區(Cheng et al., 2008)的結

果相仿，且污染性元素的濃度範圍與上述都會區趨於一致。

三測站 $PM_{2.5}$ 中元素間的相關矩陣結果如表 7-6 所示。新莊測站的相關性分析可區分兩大族群，地殼源元素族群(Al、Fe、Na、Mg、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Rb、Y、Cs 與 Ga)，污染性元素族群(Cd、Cu、Zn、Pb、Ni、V、As、Se、Mo、Sn 及 Tl)。而中山測站的相關性分析顯示地殼源元素族群的元素主要為 Al、Fe、Mg、Ca、Sr、Ba、Ti、Y 與 Cr，污染性元素以 Cu、Pb、Ni、V、As、Se、Mo、Sn、Tl、Cs 及 Rb 為主，但值得注意的是 K、Mn、Cd 及 Zn 成一獨立族群，推測中山測站的 K 主要由污染源貢獻，且中山測站受此特定污染源的影響甚大。另，竹東測站的分析結果顯示地殼源元素族群的元素主要有 Al、Fe、Mg、Ca、Sr、Ba、Ti 與 Y，污染性元素則有 K、Cu、Pb、Ni、V、As、Se、Mo、Sn 及 Tl、Ga、Cs 及 Rb，此站的 K、Ga、Cs 及 Rb 主要源自污染源的貢獻，此特性與中山測站一致，顯示中山及竹東測站大氣微粒中的 Ga、Cs 及 Rb 屬污染族群，主要受控污染源的影響，並非由地殼源貢獻，這與新莊測站的表現具有顯著的差異。此外，新莊測站的 Na 與 Mg 的相關性顯著，然中山及竹東測站則無此現象，顯示新莊地區較中山及竹東測站易接收到海鹽飛沫，或者後兩站的 Na 與 Mg 有較多的非海鹽來源(如礦物顆粒)。

圖 7-61 是三測站 MOUDI 及 Dichot $PM_{2.5}$ 中元素間的關係，Cd/Pb 在中山測站的比值約為 0.017-0.018，且 R 值為 0.94-0.98，顯示兩者有良好的相關性，可做為一污染（如都廢燃燒）特徵比值。中山及竹東測站的 Se/As 比值，還有三個測站的 Cu/Mo 的比值，都有良好的相關性，也是後續可做為燃煤及交通源等的參考指標。此外，我們將 MOUDI(分為三個粒徑:PM_1、$PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$)與 Dichot $PM_{2.5}$ 的 Cu/Ba、Cu/Sb、Sb/Ba、V/Ni 與 Pb/Zn 等幾個元素間的關係列於圖 7-X，其中 Cu/Ba、Cu/Sb、Sb/Ba 等元素間的比值，過去研究團隊在雪山隧道的樣本中也得到非常好的相關性，新莊、中山 MOUDI $PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$ 中 Cu/Sb 的比值介於 7.0-8.8，與在雪山隧道中的比值 7.5 相近，顯示新莊與中山的 Cu、Sb 同樣為交通(煞車皮、輪胎磨損)來源為主，Sb/Ba 過去在雪山隧道的比值為 0.14，而新莊、中山 MOUDI $PM_{1\text{-}2.5}$ 及中山 Dichot $PM_{2.5}$ 的 Sb/Ba 比值為 0.1-0.11，與雪山隧道中的比值相當一致，顯示新莊與中山測站的 Sb 與 Ba 在細粒徑的部分交通來源(煞車皮、輪胎磨損)相對重要。而 V/Ni 與 Pb/Zn 的比值則各可當作重油燃燒與都廢焚化來源的參考指標。

4.3.6 測站 $PM_{0.1}$ 及 $PM_{2.5}$ 來源推估(PMF)

本團隊將使用 MOUDI 於 2011 年 5 月至 2011 年 10 月在新莊、中山及竹東測站所採集的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 微粒質量濃度、由 ICP-MS 所分析樣本中的 25 種元素(Al、Fe、Na、Mg、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn、Sb、Pb、V、Cr、As、Se、Rb、Ga)、由 IC 所分析樣本中 5 種離子的濃度(F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、NH_4^+)、元素碳以及有機碳等數據，以美國環保署提供 PMF (Positive Matrix Factorization)3.0 版程式進行汙染物來源分析，其中各種元素的標準偏差是由物種之分析不確定性(0.05)加上 0.2 倍偵測極限所計算出。本研究首先針對各測站附近的特性歸納出四種可能的污染來源，以 PMF 分析後，將結果和排放源之金屬指標元素表(表 1.4)進行分析，找出各個因子可

能對應之汙染源。

新莊測站

觀察新莊測站附近地形及工廠分布可發現，影響新莊地區空氣品質的工廠排放來源主要分別為東北方 3.5 公里處的五股工業區、北方 3.5 公里處的泰山工業區及西北邊 6 公里處的林口工二、工三工業區，這些工業區主要以傳統工業為主，其中對空氣品質影響最顯著的為石油以及煤製品的製造廠。故本研究初步設定新莊測站附近的汙染物來源為交通來源(汽機車排放)、路面揚塵、工廠排放、石化燃料、燃煤以及生質燃燒六個來源。

圖 4.58、圖 4.59 及圖 4.60 中分別為新莊測站 $PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 樣本中六個因子貢獻量在各元素中所佔的百分比。由圖可看出交通來源(37%)、路面揚塵(28%)、工廠排放(13.1%)、石化燃料(11.6%)、燃煤(9.4%)以及生質燃燒(0.1%)分別對新莊測站 $PM_{0.1}$ 的貢獻量中，以汽機車排放的貢獻量最大。對 $PM_{2.5}$ 的貢獻量則分別為 32.4、15.2、25.5、19.8、3.3 及 3.8 %。對 PM_{10} 的貢獻量則分別為 18.2、26.2、22.9、18.9、5.8 及 8.0%。結果顯示新莊測站 $PM_{0.1}$ 的貢獻以交通來源(汽機車排放)為最大宗，而 $PM_{2.5}$ 的貢獻同樣以交通排放為主要來源，而 PM_{10} 的貢獻量則以路面揚塵最多，與新莊測站附近繁忙的交通情況吻合。

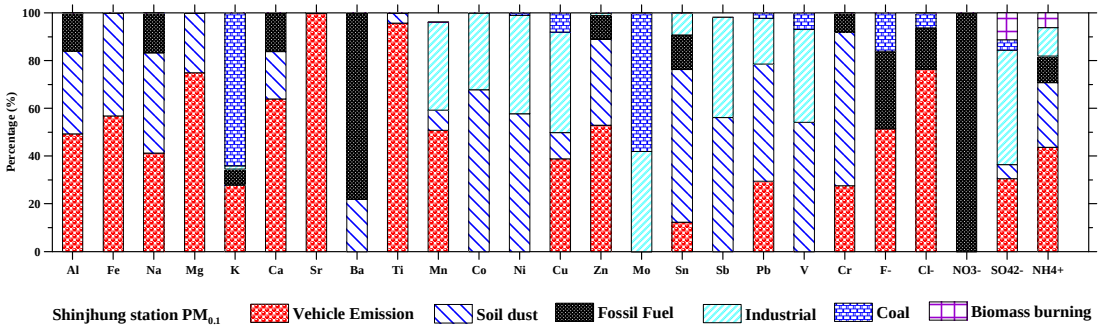


圖 4.58 新莊測站的 $PM_{0.1}$ 樣本中 6 個因子在各元素中所佔的百分比。

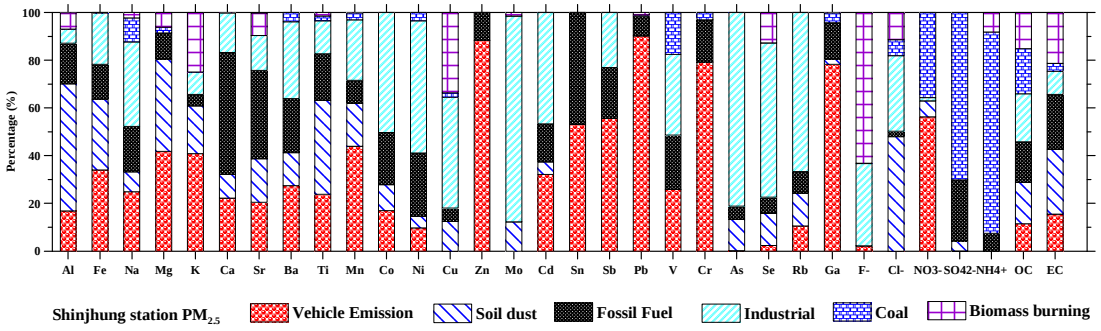


圖 4.59 新莊測站的 $PM_{2.5}$ 樣本中 6 個因子在各元素中所佔的百分比。

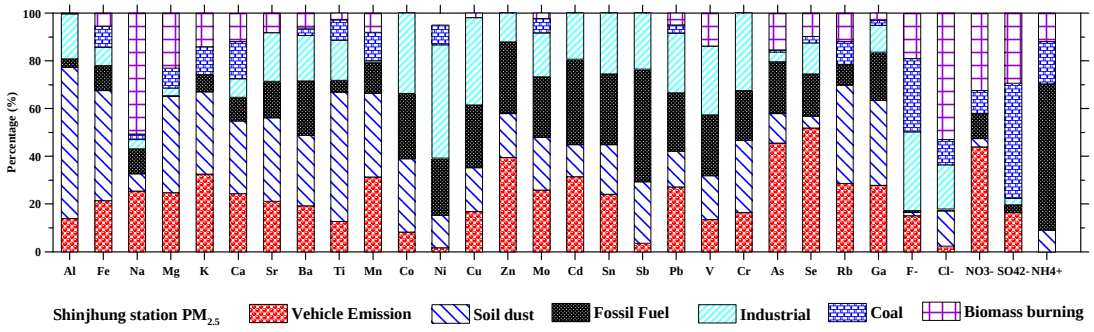


圖 4.60 新莊測站的 PM_{10} 樣本中 6 個因子在各元素中所佔的百分比。

中山測站

由於中山測站位於交通繁忙的台北市地區，附近有許多高架橋以及當地的主要幹道，故本研究初步將中山測站附近的汙染物來源設定為交通來源(汽機車排放)、路面揚塵、工廠排放、石化燃料、柴油引擎以及生質燃燒 6 種。

圖 4.61、圖 4.62 及圖 4.62 中分別為中山測站 $PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 樣本中六個因子貢獻量在各元素中所佔的百分比。由圖可看出交通來源(汽機車排放)、路面揚塵、工廠排放、石化燃料、柴油引擎以及生質燃燒對中山測站 $PM_{0.1}$ 的貢獻量則分別為 38.4、15.9、19.6、19.2、6.6 及 0.3%，對 $PM_{2.5}$ 的貢獻量分別為 40.6、11.8、18.7、12.3、9.3 及 4.5 %，對 PM_{10} 的貢獻量則分別為 18.7、30.2、12.9、22.5、10 及 5.7%。結果顯示中山測站的 $PM_{2.5}$ 與 $PM_{0.1}$ 的來源和新莊站類似，主要由交通排放貢獻，其中的來源均以汽油引擎排放為主，而 PM_{10} 的主要來源仍是路面揚塵。

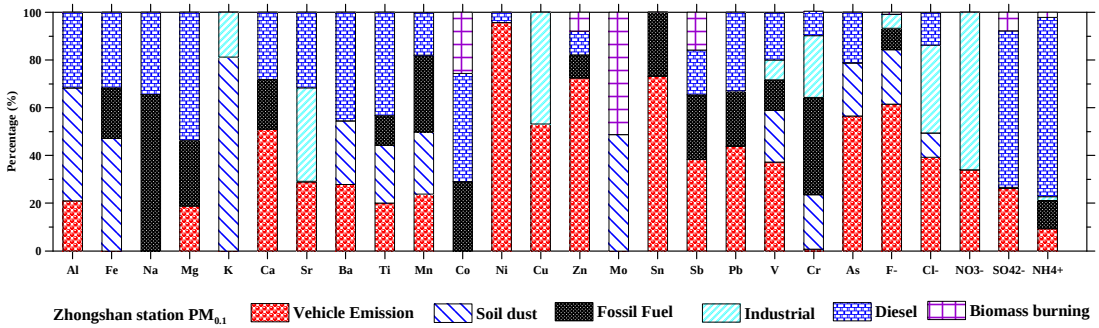


圖 4.61 中山測站 $PM_{0.1}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。

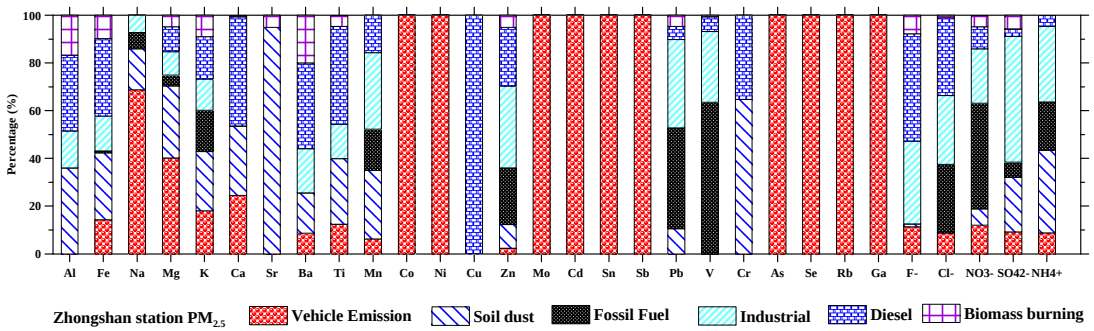


圖 4.62 中山測站的 $PM_{2.5}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。

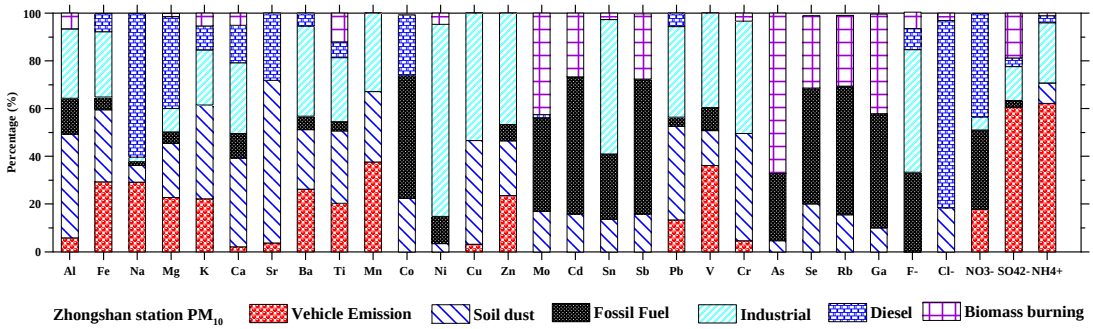


圖 4.63 中山測站的 PM_{10} 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。

竹東測站

竹東測站附近交通來源除了當地市區內的排放，測站東邊還有一條東西向快速道路，其餘的汙染物會以大自然中的來源為主。故本研究初步將竹東測站附近的汙染物來源設定為交通來源(汽機車排放)、路面揚塵、工廠排放、石化燃料、燃煤以及生質燃燒六種。

圖 4.64、圖 4.65 及圖 4.66 中分別為竹東測站 $PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 樣本中六個因子貢獻量在各元素中所佔的百分比。由圖可看出汽機車排放、路面揚塵、工廠排放、石化燃料、燃煤以及生質燃燒對竹東測站 $PM_{0.1}$ 的貢獻量分別為 39.6、20.9、17.0、17.1、2.9 及 2.5%，對 $PM_{2.5}$ 的貢獻量分別為 23.7、20.6、22.0、13.7、10.0 及 10.0%，對 PM_{10} 的貢獻量則分別為 24.2、28.2、10.7、21.4、10.7 及 4.8%。結果顯示該地區 $PM_{2.5}$ 與 $PM_{0.1}$ 的來源主要仍以汽機車排放為主，PM_{10} 的來源則主要來自於路面揚塵，由於竹東測站交通來源排放的情況不如新莊及中山兩測站明顯，故各來源所佔的比例也不如前兩個測站懸殊。

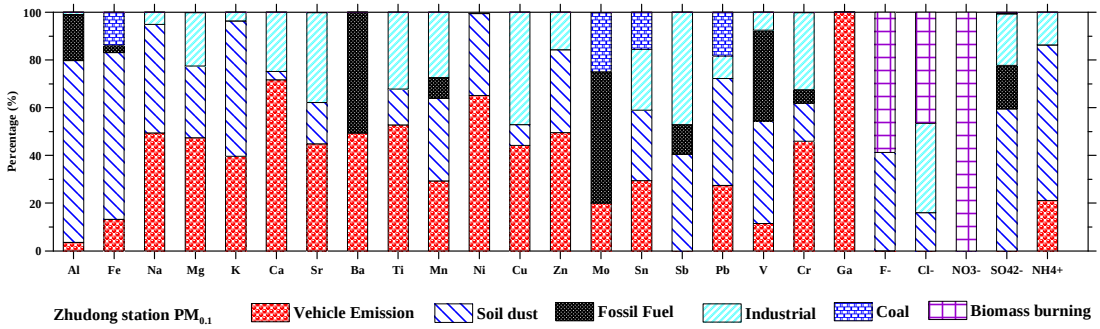


圖 4.64 竹東測站 $PM_{0.1}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。

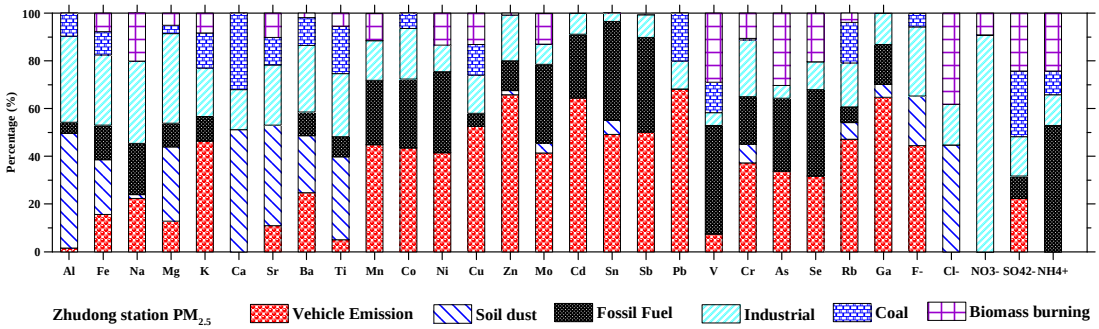


圖 4.65 竹東測站 $PM_{2.5}$ 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。

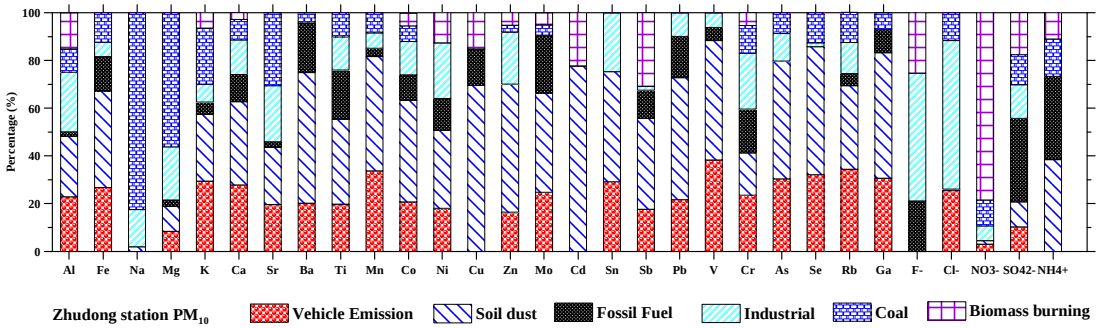


圖 4.66 竹東測站 PM_{10} 樣本中 6 種因子在各元素中所佔的百分比。

4.3.7 空氣奈米微粒有機成分（PAHs）採樣及分析技術研究

本研究以 MOUDI-PUF 與 AD-MOUDI-PUF 於郊區進行大氣 PAHs 採樣與分析，MOUDI-PUF 系統以一般方式進行奈米微粒 $PM_{0.1}$、細微粒 $PM_{0.1\sim2.5}$ 及粗微粒 $PM_{2.5\sim10}$ 的採樣；AD-MOUDI-PUF 系統則先以環形擴散採樣管吸附氣相 PAHs，以排除微粒在採樣時造成正向偏差，最後端之 PUF 則是用於檢視是否有負偏差。

環形擴散採樣管對氣相 PAHs 之收集效率

擴散採樣管之原理是利用氣相擴散係數大於固相擴散係數 $10^3\sim10^6$ 之差距，氣相物質通過擴散管內部時，氣體分子以擴散作用而與管壁相接觸，再由預先塗敷之吸附劑所吸收或吸附，一旦氣體化學性吸收或物理性吸收於管壁內側即不再脫附。通常流量為其應用上之限制條件，若氣體流量夠小，使氣流保持在層流狀態（雷諾數 Re < 2300），幾乎可完全被管壁所塗敷之吸附劑吸收或吸附。本研究 Annular Denuder 因串聯 MOUDI，採樣流量為 30 L/min，經計算雷諾數 Re 為 654，遠低於 2300，能確保採樣過程中氣流保持於層流狀態通過環形擴散採樣管。

影響擴散採樣管收集效率之因素包括採樣時間、採樣流量與塗敷吸附劑之涵容量(capacity)，採樣時間及採樣流量皆與涵容量有關，採樣時間愈長及採樣流量愈高則塗敷吸附劑愈容易飽和而造成 PAHs 貫穿。採樣流量另外也與 PAHs 在擴散採樣管內之停留時間有關，採樣流量愈高停留時間愈短，停留時間愈短則可能使得 PAHs 沒有足夠時間吸附於塗敷之 XAD-4 上。由於本計畫使用的環形擴散採樣管有 8 個通道，且長度達 60 cm，雖然採樣流量高達 30 L/min，但停

留時間可達 1.47 s。文獻上 Gundel et al. (1995) 以 22 cm 長之單環環形擴散採樣管採樣，其停留時間為 0.19 s；Temime-Roussel et al. (2004) 以兩種不同長度與採樣流量之環形擴散採樣管採樣，其停留時間分別為 0.39 s 與 0.73 s，他們的研究皆顯示擴散採樣管可有效吸附 PAHs。本計畫之停留時間較這兩個研究的停留時間長，因此可初步判定 30 L/min 的採樣流量不會過高。

本計畫進一步以 Possanzini et al. (1983) 建立之公式估算各種 PAHs 的吸附效率，Possanzini et al. (1983) 提出之環形擴散採樣管的吸附效率公式如下：

$$E(\%) = (1 - C/C_0) \times 100\% \tag{4.8}$$

$$C/C_0 = 0.82 \exp(-22.53\Delta_a) \tag{4.9}$$

$$\Delta_a = \frac{\pi DL}{4F} \times \frac{d_1 + d_2}{d_1 - d_2} \tag{4.10}$$

其中 E 為吸附效率，C_0 為進氣端管內氣體平均濃度，C 為管內流出之氣體平均濃度，D 為氣體之擴散係數(cm^2/s)，L 為擴散採樣管的長度(cm)，F 為氣體流量(cm^3/s)，d_1、d_2 為擴散採樣管的內、外徑(cm)。從公式可知，當採樣氣流以層流狀態通過擴散採樣管時，其吸附效率主要取決於採樣管的尺寸與流量。由於本計畫使用的環形擴散採樣管有 8 個通道，且長度達 60 cm，因此理論吸附率幾乎可以百分之百吸收。

雖然依 Possanzini et al. (1983) 之公式估算，PAHs 幾乎可完全被本研究中使用之環形擴散採樣管所吸附，但實際採樣過程仍可能受其他因素影響而降低吸附率，再則，XAD-4 是否已吸附飽和亦是此公式無法評估的。因此，本計畫於第一支環形擴散採樣管後串聯另一支環形擴散採樣管，以評估實際收集效率。本計畫以下列公式計算環形擴散採樣管之收集效率(η)：

$$\eta(\%) = \frac{D_1}{D_1 + D_2} \text{ x } 100 \tag{4.11}$$

其中 D_1 為第一段環形擴散採樣管採集 PAHs 量，D_2 為第二段環形擴散採樣管採集 PAHs 量。

由表 4.25 之結果可看出，實測環形擴散採樣管對大部分 PAHs 之吸附效率有幾支 PAHs 略低，但都達 90%以上。Gundel et al. (1995) 建議以 Nap 作為評估擴散採樣管之依據，若吸附效率達 90%以上則可認定為無貫穿現象，該擴散採樣管可有效吸附 PAHs，因此本計畫所採用及置備之環形擴散採樣管可有效吸附 PAHs。

表 4.25 本計畫各種氣相 PAHs 以環形擴散採樣管採樣之實測吸附率。

PAHs	Collection efficiency (%)
Nap	96.6
AcPy	99.6
Acp	99.5
Flu	99.5
PA	99.4
Ant	100
FL	99.4
Pyr	97.6
BaA	100
CHR	100
BbF	100
BkF	100
BaP	100
IND	100
DBA	94.5
Bghip	96.2

本計畫另外設計一套環形擴散採樣管低溫採樣組件，以銅管纏繞包覆環形擴散採樣管，並以壓縮機產生低溫空氣(可降至接近 0°C)後通過銅管，使環形擴散採樣管保持低溫，藉以提升氣相 PAHs 之收集效率。本計畫進行數次實場大氣採樣，因為大氣環境與低溫之環形擴散採樣管有不小溫差，採樣過程大量水氣凝結於環形擴散採樣管，水分流入 MOUDI 後沖刷濾紙上的微粒影響樣品之採集。Timime-Roussel et al. (2004) 於 9°C ~ 39°C 的大氣溫度範圍測試長度為 28.5 cm 環形擴散採樣管對 PAHs 的收集效率，其研究結果顯示大氣溫度確實會影響 XAD-4 之吸附涵容量，低溫有利於增加 XAD-4 之吸附涵容量，但其研究結果也顯示該環形擴散採樣管於 39°C 的大氣溫度下仍足以吸附 PAHs。本計畫之低溫採樣組件可再改良以排除凝結水分的問題，但參考 Timime-Roussel et al. (2004)之研究其環形擴散採樣管於 39°C 的大氣溫度下仍足以吸附 PAHs，且本計畫目前不加低溫採樣組件的採樣系統已具可接受的收集效率，因此本計畫暫不再進行低溫採樣組件之研發與測試。

奈米微粒 PAHs 之採樣偏差

正向偏差

本研究四種採樣系統(AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用鐵氟龍濾紙及 AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用石英濾紙) $PM_{0.1}$ 大氣實測濃度如表 4.26，本研究所檢測之 Nap 濃度相較其他 PAHs 高，且 Nap 測值變異大，總 PAHs 濃度被 Nap 所牽動，本計畫僅比較其他 15 種 PAHs 加總之濃度。

使用鐵氟龍濾紙進行採樣，AD-MOUDI-PUF 與 MOUD-PUF I 採樣系統所檢測 $PM_{0.1}$ 之 Σ15 PAHs 濃度分別為 1.88 與 1.42 ng/m^3；使用石英濾紙進行採樣，

AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統所檢測 $PM_{0.1}$ 之 Σ15PAHs 濃度分別為 2.07 與 3.14 ng/m^3。採樣之正向偏差指若氣體中含有氣相 PAHs，採樣過程氣相 PAHs 吸附於濾紙或被濾紙收集之微粒上。一般認為鐵氟龍濾紙不易吸附氣相有機物，因此無正向偏差問題；而石英濾紙則會有顯著的正向偏差。本研究結果顯示，有無經過環形擴散採樣管將氣相 PAHs 移除，以鐵氟龍濾紙採樣所測得 $PM_{0.1}$ 之 Σ15 PAHs 濃度差異不大，鐵氟龍濾紙無顯著偏差問題。而使用石英濾紙採樣，以環形擴散採樣管將氣相 PAHs 移除後所測得 $PM_{0.1}$ 之 Σ 15PAHs 濃度為 2.07 ng/m^3，較沒有以環形擴散採樣管將氣相 PAHs 移除所測得之濃度為 3.14 ng/m^3 低許多，由於 AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統為同地點同步採樣，此結果顯示使用石英濾紙採樣約有 50%之採樣誤差。

表 4.26 各種採樣系統 $PM_{0.1}$ 大氣實測濃度(ng/m^3)

PAHs	AD-MOUDI-PUF (Teflon)	MOUDI-PUF (Teflon)	AD-MOUDI-PUF (Quartz)	MOUDI-PUF (Quartz)
AcPy	0.025	< 0.01	0.019	0.019
Acp	< 0.01[a]	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Flu	0.160	0.071	0.229	0.285
PA	0.135	0.101	0.386	0.673
Ant	0.024	< 0.012	0.067	0.067
FL	0.188	0.108	0.084	0.137
Pyr	0.191	0.233	0.173	0.402
BaA	< 0.012	0.048	0.075	0.143
CHR	0.060	0.066	0.060	0.133
BbF	0.243	0.150	0.122	0.171
BkF	0.198	0.138	0.099	0.129
BaP	0.173	0.112	0.173	0.225
IND	0.155	0.119	0.205	0.270
DBA	0.156	0.150	0.168	0.237
Bghip	0.170	0.126	0.209	0.249
Σ15PAHs	1.89	1.44	2.07	3.15

[a] MDL

負向偏差

採樣之負向偏差指已收集在濾紙上之微粒於採樣過程經由氣體不斷流動，使得粒狀物相之 PAHs 揮發而低估實際濃度。採樣過程由吸附所產生之正向偏差與揮發所造成之負向偏差常伴隨發生且不易區分，但本研究於奈米微粒採樣濾紙前端已先以環形擴散採樣管移除氣相 PAHs，後端之奈米微粒採樣已排除正向偏差，並可藉此來評估負向偏差對測值之影響。

本研究四種採樣系統(AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用鐵氟龍濾紙及 AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用石英濾紙) 大氣採樣於各串連組件∑15 PAHs 所佔比例如表 4.27，此比例不含第二支環形擴散採樣管。由於四組採樣系統並非全部同步採樣，比較濃度沒有意義，因此本計畫將測值轉化為 PAHs 於各組件所佔百分比。結果顯示使用以 AD-MOUDI-PUF 系統進行採樣，使用鐵氟龍濾紙與石英濾紙 $PM_{0.1}$ 上 ∑15 PAHs 於各組件所佔比例分別為

5.00%與 5.47%，而最後端之 PUF 則分別收集了 5.61%與 2.76%之 PAHs。依前述，環形擴散採樣管已移除氣相 PAHs，因此最後端之 PUF 所收集到之 PAHs 應該是由揮發而來，可能來自 $PM_{2.5\sim10}$、$PM_{0.1\sim2.5}$ 或 $PM_{0.1}$ 上 PAHs 之揮發。以 AD-MOUDI 系統進行採樣，使用鐵氟龍濾紙與石英濾紙於 $PM_{0.1}$ 上 ∑15 PAHs 於各組件所佔比例分別為 13.4%與 19.8%，而最後端之 PUF 分別收集了 32.0%與 50.0%之 PAHs,由於未經環形擴散採樣管移除氣相 PAHs 使得大量氣相 PAHs 進入 PUF，此結果是可預期的。

理論上，鐵氟龍濾紙不易吸附氣相有機物因此無正向偏差，石英濾紙則較易吸附氣相有機物因此正向偏差較顯著。但換個角度看，鐵氟龍濾紙反而不易吸附已收集在濾紙上被脫附出之氣相有機物而產生負向偏差，石英濾紙反而可吸附住已收集在濾紙上被氣流脫附出之氣相有機物而減少負向偏差。因此，若無氣相 PAHs 吸附產生正偏差的問題，使用石英濾紙採樣應可減少負向偏差。此本研究結果顯示前端加裝環形擴散採樣管移除氣相 PAHs 後，$PM_{0.1}$ 上 ∑15 PAHs 以鐵氟龍濾紙與石英濾紙採樣所佔比例雖有差異，但差異不大。

表 4.27 ∑15 PAHs 於各採樣串連組件所佔比例(%)。

	AD	$PM_{2.5\sim10}$	$PM_{0.1\sim2.5}$	$PM_{0.1}$	PUF
AD-MOUDI-PUF (Teflon)	76.9	4.26	8.22	5.00	5.61
AD-MOUDI-PUF (Quartz)	81.6	3.72	6.44	5.47	2.76
MOUDI-PUF (Teflon)	N.A.	18.8	35.7	13.4	32.0
MOUDI-PUF (Quartz)	N.A.	8.20	22.0	19.8	50.0

N.A. 無數據報告

大氣中 PAHs 粒徑分佈

本研究四種採樣系統(AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用鐵氟龍濾紙及 AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用石英濾紙) 所測得的大氣 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度如圖 4.67。

MOUDI-PUF 系統使用鐵氟龍濾紙 Sample 1 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.42、3.28、1.85 ng/m^3；Sample 2 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.56、2.68、1.84 ng/m^3；Sample 3 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.53、3.04、2.20 ng/m^3。使用石英濾紙 Sample 1 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度為 3.14、2.09、1.14 ng/m^3；Sample 2 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 3.14、2.09、1.14 ng/m^3；Sample 3 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.19、1.64、3.08 ng/m^3。

AD-MOUDI-PUF 系統使用鐵氟龍濾紙 Sample 1 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.88、3.08、1.60 ng/m^3；Sample 2 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.89、4.19、1.96 ng/m^3；Sample 3 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.83、3.85、1.64 ng/m^3。使用石英濾紙 Sample 1 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度為 2.07、2.43、1.40 ng/m^3；Sample 2 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 1.92、2.54、1.64 ng/m^3；Sample 3 所測得的 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度分別為 2.04、1.96、1.52 ng/m^3。

這四種採樣系統並非全部同步採樣，但仍可看出三種粒徑範圍之大小順序依序為 $PM_{0.1\sim2.5} > PM_{0.1} > PM_{2.5\sim10}$，此結果與文獻中其他研究結果趨勢一致。

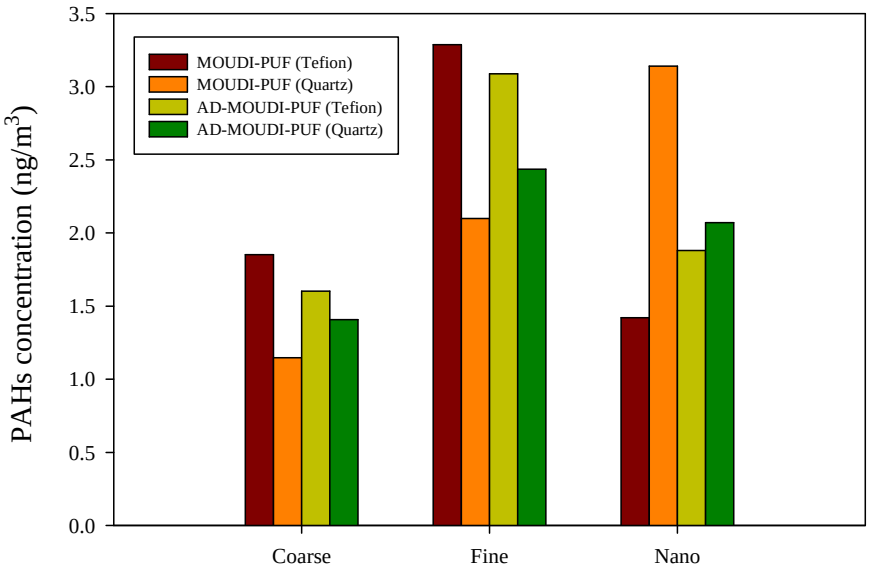


圖 4.67 郊區大氣採樣平均之∑15PAHs 濃度。

環形擴散採樣管微粒損失

雖然環形擴散採樣管對於氣相 PAHs 吸附效果佳，但須確保空氣通過環形擴散採樣管後不會造成微粒的損失。先前已有許多研究做過各種不同擴散採樣管微粒之損失實驗(Ye et al., 1991; Fan et al., 1995; Temime-Roussel et al., 2004; Sekiguchi et al., 2009)，研究結果顯示不管微粒之質量或數量，其損失都在 10%以內。Ye et al. (1991)的研究指出擴散採樣管塗敷物質會影響小微粒的穿透。Fan et al. (1995)的研究使用 4 環，長度為 28.5 cm 的環形擴散採樣管塗敷 XAD-4，其研究顯示 0.01~2.5 μm 的微粒約有 0~5%的損失。然而，因為本研究所使用的擴散採樣管與文獻不一樣，且管長、環數與抽氣量也不同，因此文獻上的實驗結果不能直接套用在本研究。

本研究產生高濃度多徑固體微粒導入環形擴散採樣管中，評估環形擴散採樣管微粒損失的情形。環形擴散採樣管微粒損失實驗系統如圖 4.68 所示，實驗系統以微小粉末分散器(Small-scale powder disperser, SSPD, Model 3433)產生微粒，並以氣動粒徑分析儀(Aerodynamic Particle Sizer, APS, Model 3321, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)量測微粒數量。實驗中以微小粉末分散器分散氧化鋁粉體 Al_2O_3，揚起的 Al_2O_3 導入混合腔體內使微粒濃度均勻，之後藉由三向閥的調整，讓微粒導入旁通道或通過環形擴散採樣管，之後再由 APS 取得環形擴散採樣管上游 ($N_{upstream}$) 與下游 ($N_{downstream}$) 的微粒數目濃度並帶入公式(4.12)，即可計算擴散管對各粒徑微粒的損失率(E)。

$$E\ (\%) = (1 - \frac{N_{downstream}}{N_{upstream}}) \times 100\% \qquad (4.12)$$

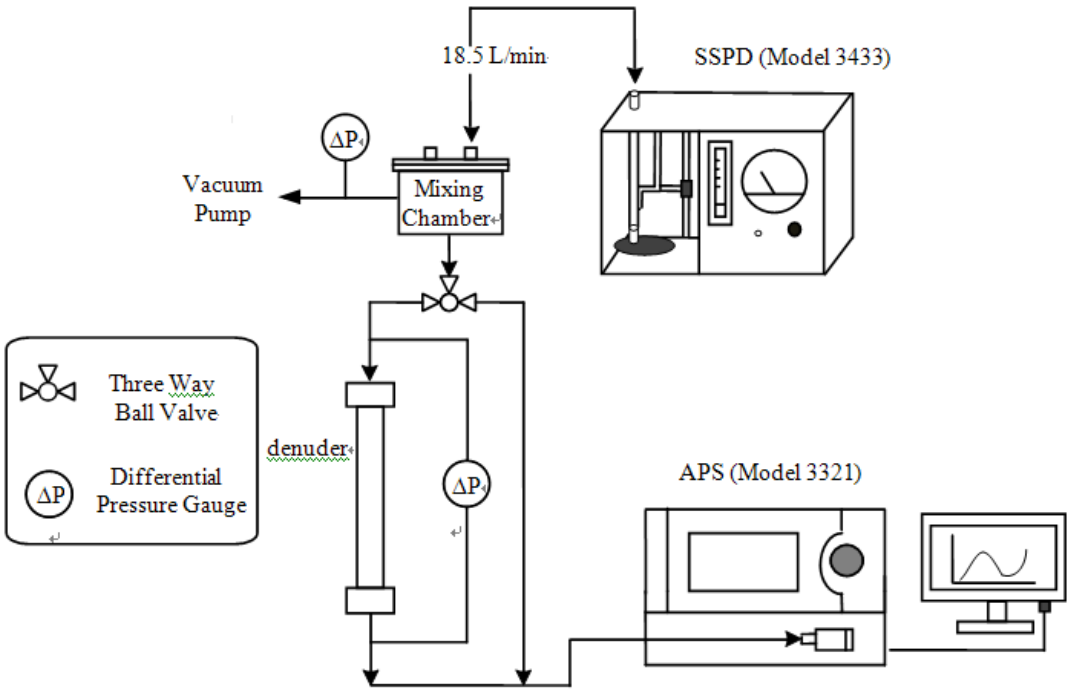


圖 4.68 環形擴散採樣管微粒損失實驗系統圖。

本研究分析各種不同粒徑環形擴散採樣管微粒損失，實驗結果如表 4.28 所示。本系統 APS 可量測之粒徑範圍為<0.523 μm ~19.81 μm，但 SSPD 產生 6.73 μm 以上之微粒數量較少，因此本計畫僅評估粒徑小於 6.73 μm 微粒之損失。由表 1 可看出，微粒粒徑愈大，環形擴散採樣管所造成之微粒損失愈高。將微粒區分不同範圍，$PM_{<0.523}$ 微粒損失為 29.1%，$PM_{0.54\sim2.4}$ 微粒損失為 24.3%，$PM_{2.6\sim6.73}$ 微粒損失為 23.2%。整體來看，< 0.523 μm ~ 6.73 μm 微粒損失平均為 25.2%。

表 4.28 環形擴散採樣管各種粒徑之微粒數與損失百分比。

粒徑大小(μm)	上游平均值 (#/cm^3)	下游平均值 (#/cm^3)	損失百分比
< 0.523	969738	687167	29.0%
0.542	57244	39106	31.4%
0.583	79211	54892	30.6%
0.626	111627	79118	29.0%
0.673	154465	111248	27.9%
0.723	206092	150148	27.2%
0.777	257665	189315	26.5%
0.835	295070	218572	25.9%
0.898	318740	238050	25.2%
0.965	321825	242156	24.7%
1.037	311339	235878	24.2%
1.114	287123	218185	24.0%

1.197	256991	196289	23.7%
1.286	219822	168126	23.5%
1.382	181901	141166	22.5%
1.486	152763	119206	22.1%
1.596	129395	102191	21.1%
1.715	112764	89405	20.9%
1.843	101219	81032	20.2%
1.981	93179	75209	19.4%
2.129	85662	69411	19.3%
2.288	78623	63964	19.0%
2.458	71372	57676	19.4%
2.642	61512	49189	20.2%
2.839	49234	39041	20.8%
3.051	36578	28387	22.3%
3.278	25642	19600	23.5%
3.523	17577	12878	26.6%
3.786	11594	8107	29.9%
4.068	6981	4634	32.9%
4.371	3832	2470	34.5%
4.698	2059	1254	38.8%
5.048	1036	577	42.5%
5.425	520	266	46.6%
5.829	219	105	51.7%
6.264	94	31	62.9%
6.732	34	15	51.7%
Total	5070770	3794077	25.2%

文獻上進行環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 微粒損失的研究不多，除了前述 Fan et al. (1995)曾做過 4 環，長度為 28.5 cm 的環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 測試外，Temime-Roussel et al. (2004)亦曾做過 8 環環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 之測試外，然而其長度僅為 28.5 cm。其研究結果顯示在抽氣量為 17 lpm 與 34 lpm 時，粒徑 0.04 μm 之微粒損失分別為 14%與 8%；粒徑 5.15~8.24 μm 之微粒損失分別為皆為 2%。本研究使用 60 cm 長之環形擴散採樣管所造成的微粒損失較文獻上其他較短的環形擴散採樣管來得大。

微粒損失的機制主要為擴散與靜電力，擴散所造成的微粒損失可以以 Hinds (1982)建立的公式來估算，Ye et al. (1991)將它應用於環形擴散採樣管，微粒損失率(ηL)公式如下：

$$\eta L = 1 - 0.910e^{-7.54\mu} - 0.0531e^{-85.7\mu} - 0.0153e^{-249\mu} \quad (4.13)$$

$$\mu = D(d)\ LW/Qh \quad (4.14)$$

其中 D(d)為各種粒徑微粒的擴散係數，L 為管長，W 為環形擴散採樣管周長，Q 為抽氣流量，h 為環形擴散採樣管寬度。

依公式(4.13)與 4.14 計算，在本計畫量測範圍內 (0.523~6.732 μm) 之理論微粒損失百分比皆為 2.2%，此微粒理論損失百分比遠低於本計畫之實測值，其原因為此理論公式僅考量擴散機制，塗敷 XAD-4 後靜電吸引力可能增加，因此實測損失量高於理論損失量。

AD-MOUDI-PUF 系統與 PS-1 系統比較

本研究另外以傳統的 PS-1 高流量採樣器與 AD-MOUDI-PUF 系統同步採樣，比較兩系統測值之差異。本計畫所使用的 PS-1 高流量採樣器為由 General Metal Work Co. 公司生產，型號為 GPS1 PUF Sampler 之產品，其外表及內部構造如圖 4.69 所示。採樣樣品可區分為氣相與粒狀物相 PAHs，前端之濾紙收集粒狀物相 PAHs，而內填泡綿與樹脂的玻璃套筒則用以收集之氣相 PAHs。PS-1 高流量採樣器其主要組件含：

(1)氣粒狀物相採樣模組 (Dual chamber sampling module)
(2)文氏流量閥 (Flow venturi)
(3)壓力讀數表 (Magnehelic gage)
(4)電壓調整器 (Voltage variator)
(5)時間指示器 (Elapsed time indicator)
(6)抽氣馬達 (Blower motor)
(7)定時器 (Timer)
(8)排氣管 (Exhaust hose)
(9)鋁合金外殼 (Aluminum shelter)

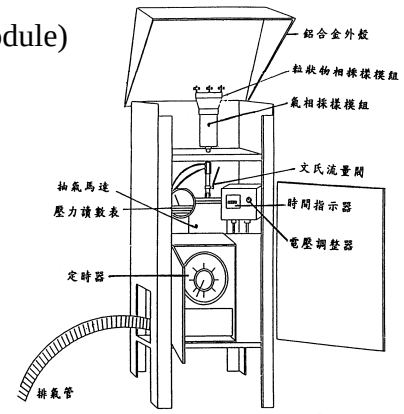


圖 4.69 PS-1 採樣器構造圖

為避免採樣用濾紙本身附有 PAHs 以致影響分析結果，濾紙須經適當之淨化程序。係將其置於 450℃之高溫烘箱中，烘除附著其上之 PAHs，最後置於平衡箱內使其重量穩定，並於使用前取出稱重。

氣相 PAHs 之收集係利用一玻璃套筒，內部配置依序最下層填充 20 mm 泡棉，中層填充 30 mm 之 XAD-4 樹脂，最上層則再填充 50 mm 泡棉，作為收集氣相 PAHs 之吸附劑。泡棉與 XAD-4 樹脂在採樣前須先淨化處理，將已裝填好泡棉與 XAD-4 樹脂之玻璃套筒置入索氏萃取器 (Soxhlet extractor) 中，先以 1000 mL 之去離子水迴流淨化二十四小時，再以甲醇、二氯甲烷及正己烷等溶劑依序分別迴流淨化二十四小時，瀝乾後置於真空烘箱內烘乾，再以乾淨之錫箔紙包裹於密封容器內待用。

AD-MOUDI-PUF 與 PS-1 微粒測值比較

本研究使用 PS-1 系統與 AD-MOUDI-PUF 系統進行同步採集粒狀物相 PAHs 之測值如圖 4.70 所示。平均來看，15 PAHs 濃度 AD-MOUDI-PUF：PS-1 為 1.3，AD-MOUDI-PUF 系統粒狀物相 PAHs 濃度略高於 PS-1 之粒狀物相 PAHs 濃度，顯示傳統 PS-1 採樣器可能存在負向偏差，採樣過程粒狀物相 PAHs 揮發造成粒狀物相 PAHs 濃度之低估。

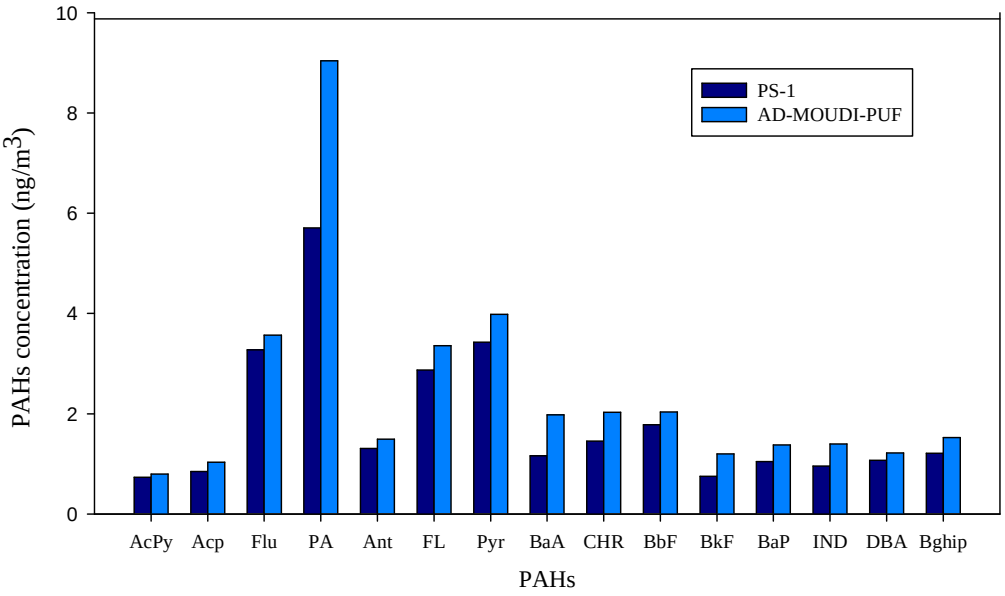


圖 4.70　AD-MOUDI-PUF 與 PS-1 系統大氣採樣∑15 PAHs 濃度

在一般大氣環境下，PAHs 蒸氣壓的分佈範圍界於 10^{-2}~10^{-9} mmHg 之間，屬於半揮發性有機化合物，因此在常溫常壓狀態下，PAHs 以氣相與粒狀物相共存，且 PAHs 之蒸氣壓隨著分子量之增加而減少，因此分子量愈小之 PAHs 愈容易揮發而存在於氣相中。一般而言，低環數之 PAHs 主要存在於氣相中，三、四環 PAHs 以氣相及粒狀物相共存，而五環以上之 PAHs 則大部份凝聚而存在於粒狀物相中。本研究所分析的 16 種 PAHs 於大氣中之蒸氣壓如表 4.29，PS-1 系統與 AD-MOUDI-PUF 系統所量測不同蒸氣壓之粒狀物相 PAHs 結果如圖 4.71，顯示 PAHs 蒸氣壓愈高，PS-1 所量測之粒狀物相 PAHs 測值較 AD-MOUDI-PUF 系統愈低，亦即蒸氣壓愈高的 PAHs 愈容易產生採樣的揮發性誤差。

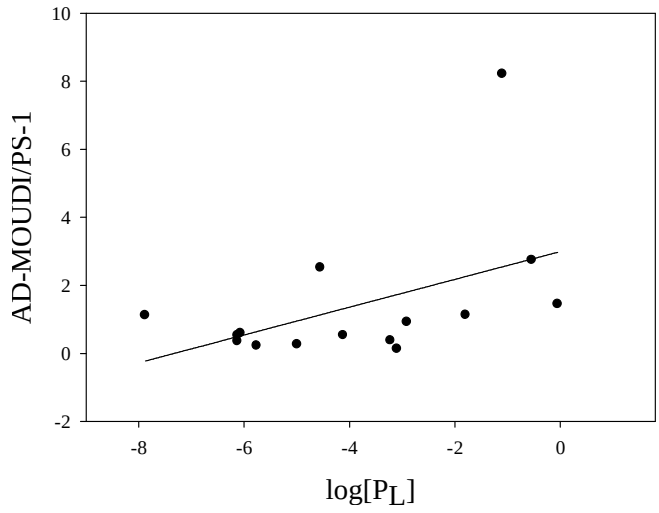


圖 4.71　AD-MOUDI-PUF / PS-1 與 PAHs 蒸氣壓關係

表 4.29　PAHs 之蒸氣壓之物理特性

PAHs	蒸氣壓 (mmHg)	大氣壓 (Log Pa)
Nap	7.80E-02	1.0E+00
AcPy	6.70E-03	-4.9E-02
Acp	2.15E-03	-5.4E-01
Flu	6.00E-04	-1.1E+00
PA	1.20E-04	-1.8E+00
Ant	6.00E-06	-3.1E+00
FL	9.20E-06	-2.9E+00
Pyr	4.50E-06	-3.2E+00
BaA	2.10E-07	-4.6E+00
CHR	6.40E-09	-6.1E+00
BbF	5.70E-07	-4.1E+00
BkF	7.65E-08	-5.0E+00
BaP	5.60E-09	-6.1E+00
IND	5.60E-09	-6.1E+00
DBA	1.30E-08	-5.8E+00

4.3.8 LA-ICP-MS 之分析技術開發

目前已成功製備 6 種標準參考樣品，包含單一標準品(NIST-1633b、1646a、8704)與混合標準品(25%-1633b + 75%-1648a、50%-1633b + 50%-1648a、75%-1633b + 25%-1648a)各 2 組，收集後的標準參考樣品如圖 4.72 與圖 4.73。LA-ICP-MS 在分析時，即以上述 6 種標準參考樣品內的元素感度為基準，建立校正曲線，進而定量分析實際的大氣氣膠樣本。我們在開始數次實驗中發現，當 LA 系統在更換樣本時會造成質譜儀電漿的不穩定或使電漿熄滅，導至分析的不連續。因此，為了確保分析的一致性，我們後來將自行製備的標準參考樣本濾膜與大氣氣膠樣本濾膜取一小片置於雷射剝蝕分析的載台上，共三組，如圖 4.74，每一組都包含了標準參考樣本與大氣氣膠樣本，如此可降低更換樣本的頻率，使質譜儀的分析狀況維持穩定，以獲得更好的分析結果。另外，該三組分別以 30%及 40%兩種雷射能量來進行分析比較。雷射剝蝕的第三組樣本於分析之後還以掃描式電子顯微鏡(*Scanning Electron Microscope, JSM 7600F, JEOL, Japan*)拍攝照片，圖 4.75 為標準參考樣本之 SEM 照片，分別以 450 倍及 250 倍的放大倍率來觀察經雷射剝蝕後的標準參考樣本濾紙，照片中可看到能量 40%比 30%的剝蝕範圍更大，一旦顆粒凝聚不夠緊密牢固時，40%的能量不

僅將預期的樣本剝蝕，其能量同時也可能將周遭的氣膠顆粒震開，此現象同樣發生在大氣氣膠樣本上，且粒徑愈大愈明顯（如圖 4.76）。

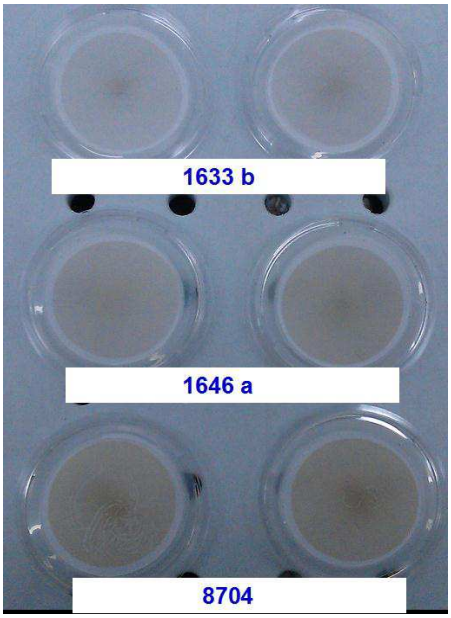
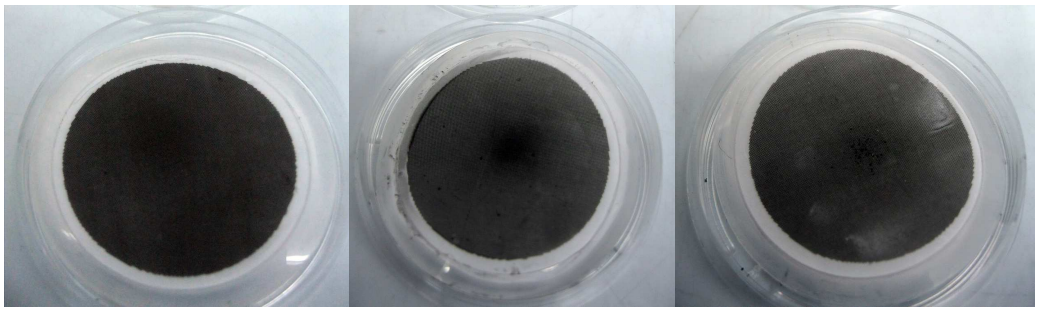


圖 4.72 標準參考樣品- 單一標準品(NIST-1633b、1646a、8704)。



(A) (B) (C)

圖 4.73 標準參考樣品- 混合標準品，(A) 25% 1633b+75% 1648a、(B) 50% 1633b+50% 1648a、(C) 75% 1633b+25% 1648a。

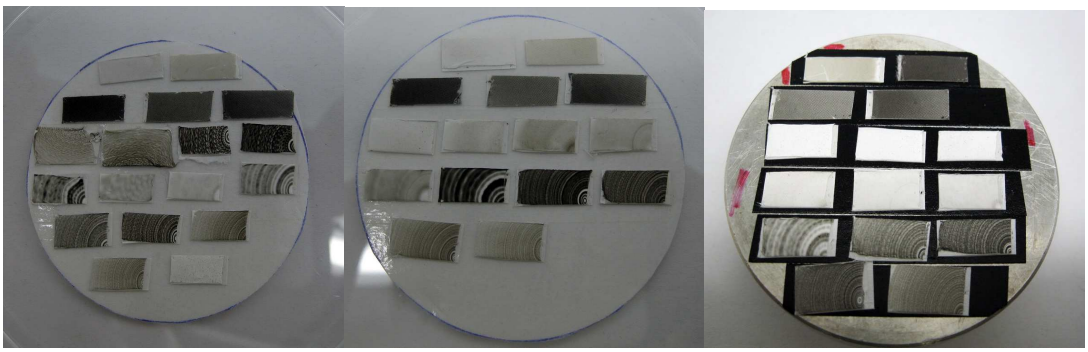
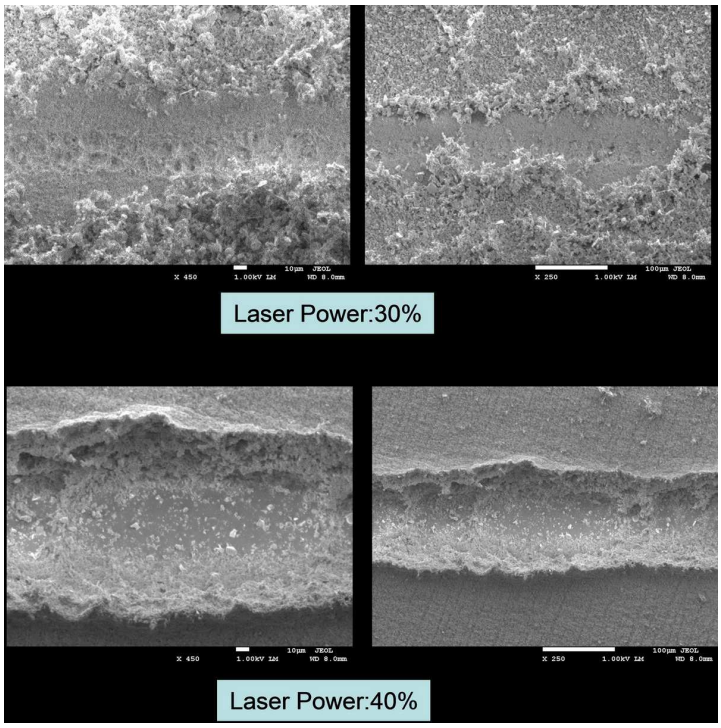
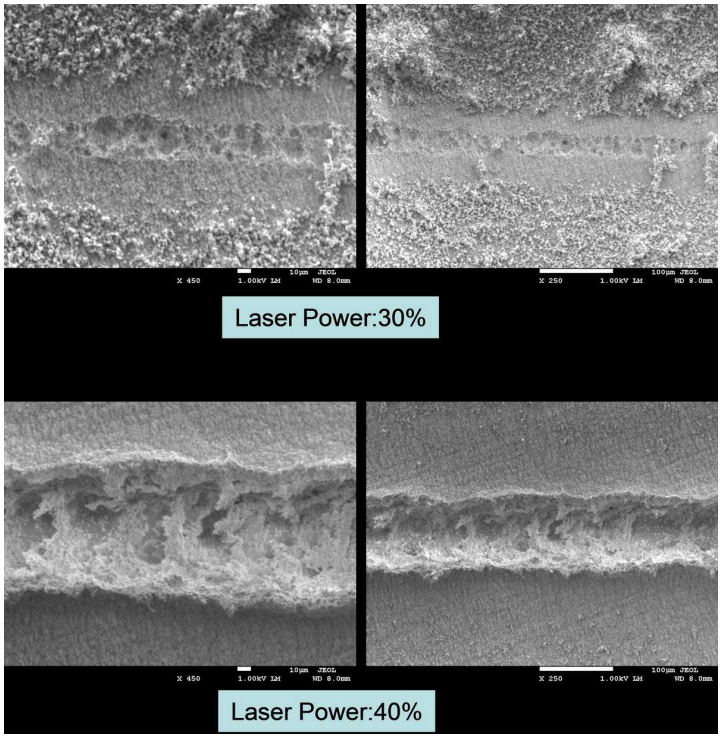


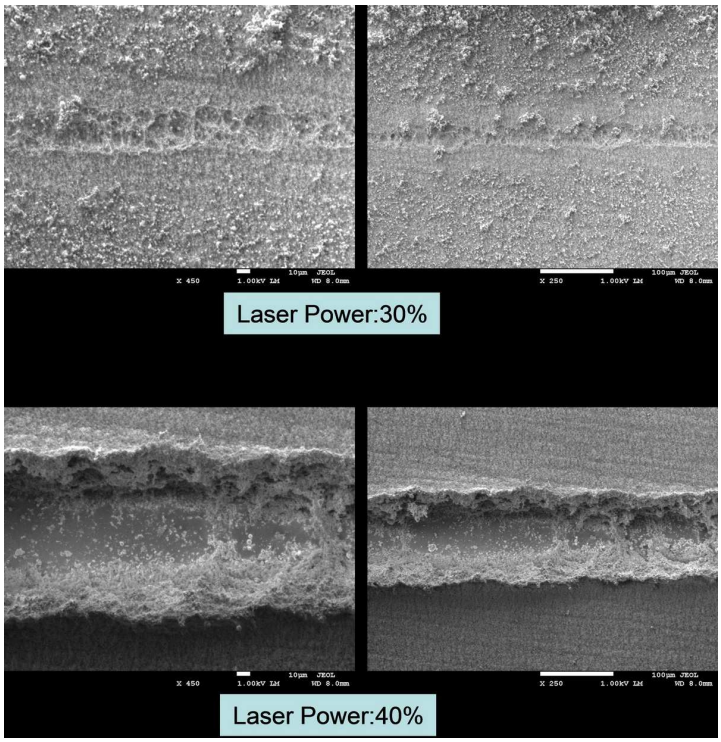
圖 4.74 雷射剝蝕待測樣本共 3 組，包含標準參考樣本與大氣氣膠樣本。



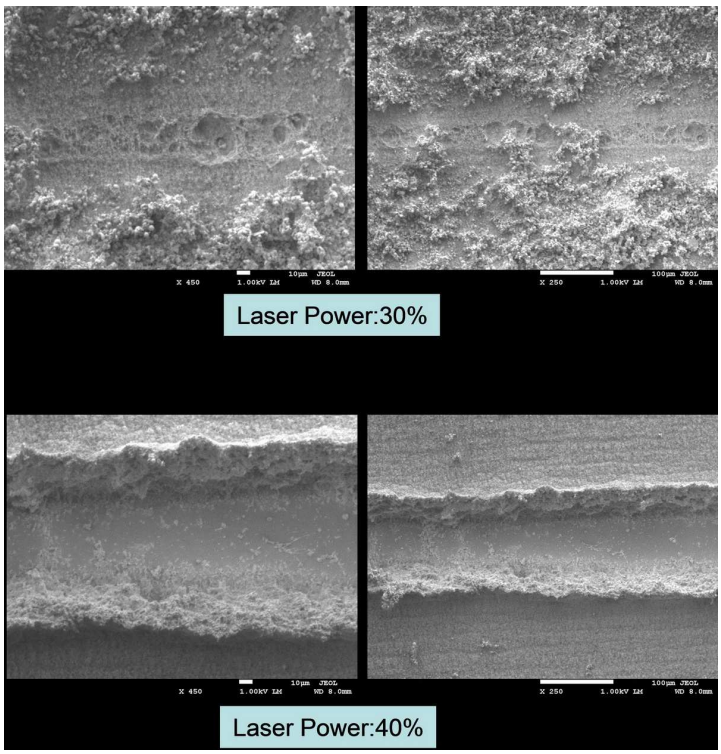
(A)



(B)

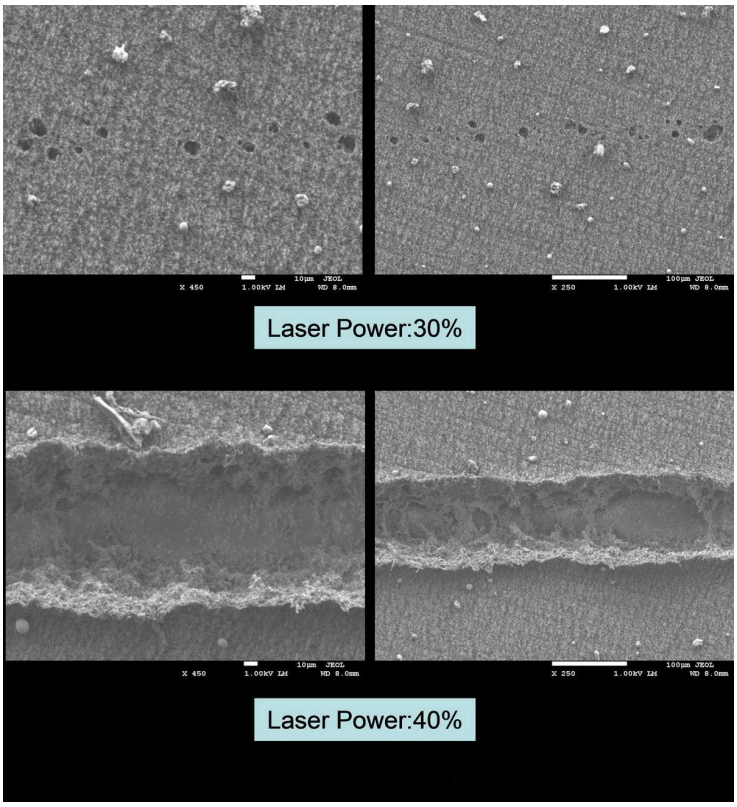


(C)

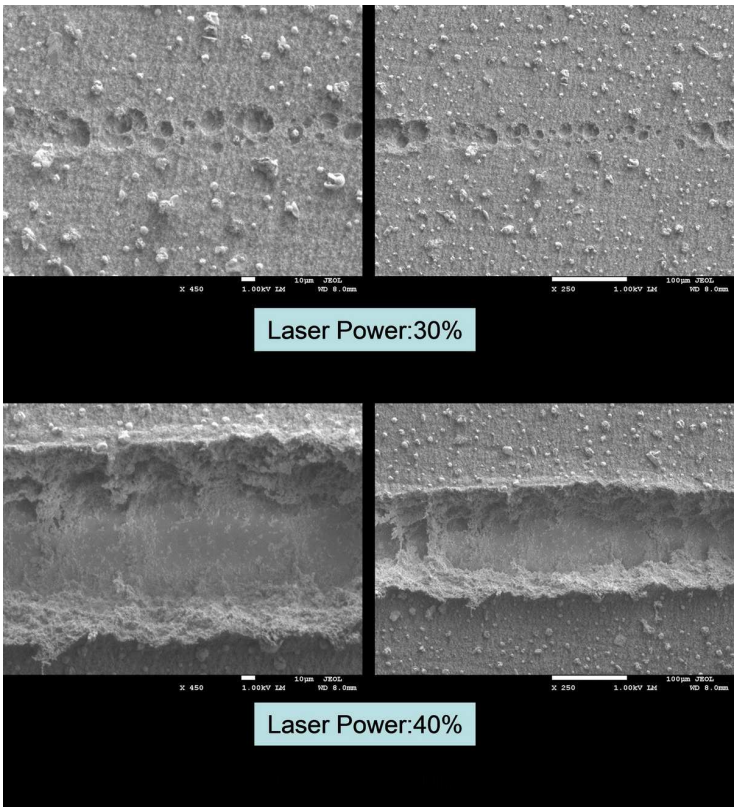


(D)

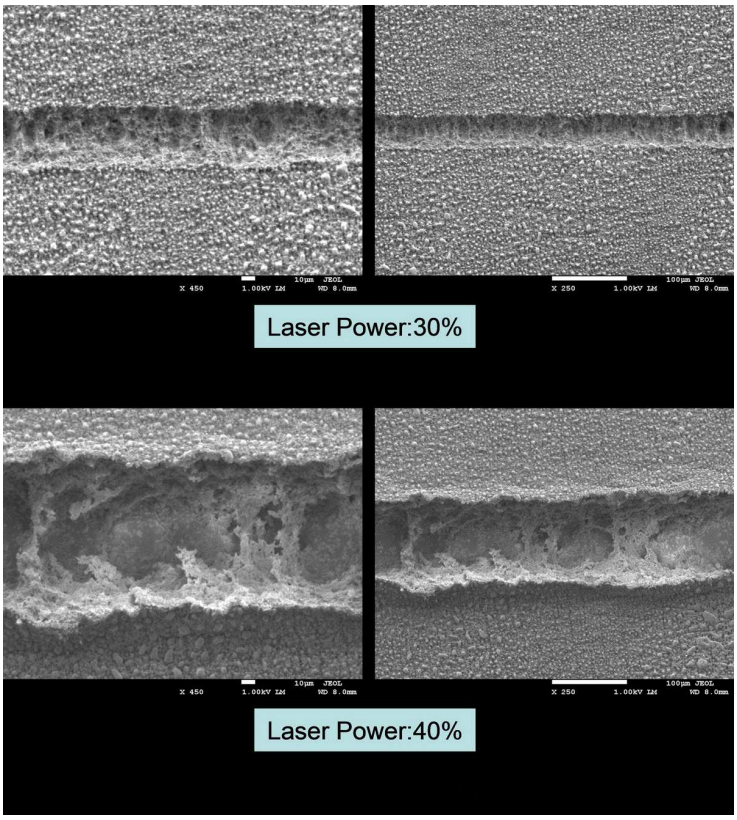
圖 4.75 標準參考樣本之 SEM 照片(左:450 倍、右:250 倍) (A) 1646a，(B) 25%1633b+75%1648a，(C) 75%1633b+25%1648a，(D) 50%1633b+50%1648a。



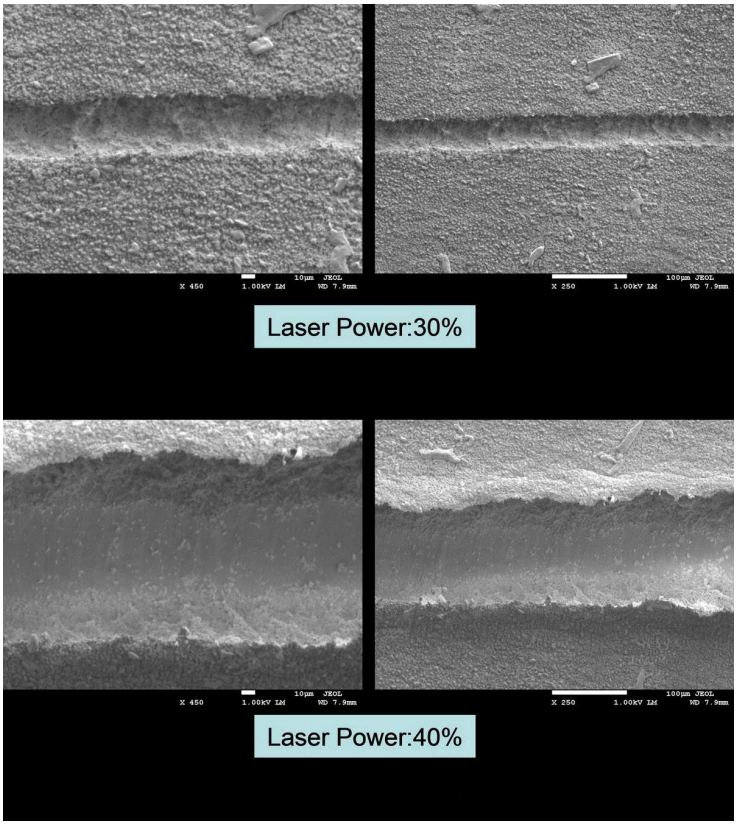
(A)



(B)



(C)



(D)

圖 4.76 大氣氣膠樣本之 SEM 照片(左:450 倍、右:250 倍) (A) 10-18 μm，(B) 5.6-10 μm，(C) 0.32-0.56 μm，(D) 0.18-0.32 μm。照片顯示粗粒徑顆粒稀疏散佈，細粒徑顆粒分佈密集均勻。

我們以自行製備的標準參考樣本來建立定量之檢量線，在第一次以 SSPD 製備單一標準參考樣本時(NIST-1633b、1646a、8704 各兩組，每組 100 mg)，我們發現樣本的顆粒回收率只有 1-2%，因此在第二次實驗時我們將樣本量加倍至 200 mg，但是顆粒回收率仍只有 1-2%，其餘樣本則累積在管路中或損失了。此外，為確保經由 SSPD 混合後標準品之元素濃度，我們也將第二次實驗時分散器中的殘餘粉末樣本收集，帶回實驗室，經酸消化後的溶液以 ICP-MS 分析，其結果如表 4.30 ，大部分元素的回收率都介於理論濃度值的 100±15%(除 Na、Ba、Pb、As)，整體而言相當理想，少數元素的回收率較差可能是受到粉末分散器系統中的汙染所導致，然真實原因仍待未來確認並改善。

表 4.30 粉末分散器所收集之混合標準品的濃度、文獻值與回收率(濃度單位: mg/kg)。

	25 % 1633b+ 75 % 1648a			25 % 1633a+ 75 % 1648b			50 % 1633a+ 50 % 1648b		
	SSPD	NIST	回收率 (%) (SSPD/NIST)	SSPD	NIST	回收率 (%) (SSPD/NIST)	SSPD	NIST	回收率 (%) (SSPD/NIST)
Al	69425	63350	110	122367	121450	101	86251	92400	93
Fe	51909	48850	106	74448	68150	109	60519	58500	103
Na	4486	3683	***122***	2568	2568	100	3952	3125	***126***
Mg	7458	7303	102	5733	5648	102	6743	6475	104
K	12203	12795	95	16499	17265	96	14422	15030	96
Ca	48326	47575	102	28659	25925	111	40420	36750	110
Sr	411	422	97	839	835	101	610	628	97
Ba	677	177	***382***	664	532	***125***	679	355	***192***
Ti	4489	4993	90	6221	6938	90	5365	5966	90
Mn	642	625	103	322	296	112	494	461	107
Co	22	26	86	37	42	88	30	34	88
Ni	88	91	96	106	111	96	95	101	94
Cu	442	486	91	231	237	98	345	361	96
Zn	3721	3653	102	1497	1358	110	2719	2505	109
Cd	55	55	99	22	19	114	39	37	106
Pb	3456	4930	***70***	1263	1689	***75***	2586	3309	***78***
V	145	169	86	212	254	***84***	179	211	85
Cr	343	351	98	211	249	85	252	300	***84***
As	97	87	112	89	29	***307***	100	58	***113***

註: 回收率大於 115%及小於 85%以斜體字表示。SSPD 表由粉末分散器收集之殘餘樣本，經 ICP-MS 分析的濃度結果；NIST 為該混合樣本由文獻值所計算的預期濃度。

我們將標準樣本與大氣氣膠樣本以雷射能量 30%與 40%分析所得的感度結果列於表 4.31。對標準品而言，能量 40%時所有元素(除 Ca 之外)的感度都為 30%的兩倍以上；但是對於 MOUDI 粒徑分級樣本而言，能量 40%時的感度與 30%的感度相當接近。以上結果顯示，對於標準品而言，雷射能量 30%仍然不足以將顆粒完全剝蝕，但是能量太大時易造成雷射光束外圍顆粒震開，可能會被帶進電漿而造成感度的增強。標準品與 MOUDI 樣本的分析感度對於雷射能量會有如此明顯的差異，我們認為是兩者顆粒淨重(loading)的差異所導致，因為標準品濾紙上的顆粒重介於 1.6–4.5 mg，而 MOUDI 樣本上的的顆粒重介於 0.002-1.330 mg，兩者的差異可達 10 倍以上。因此，這讓我們理解到必須將分析的感度針對重量進行標準化，於是將各標準品及樣本的原始感度數據重新處理，標準化至 1mg，若標準品或樣本上 Pb 的感度為 100000(CPS)，顆粒重為 0.8mg，則標準化後 Pb 的感度為 125000(CPS)，我們再以標準化之後的元素感度與濃度建立分析時的檢量線。對標準品而言，雷射能量 30%明顯不足以將顆粒完全剝蝕，因此我們僅以雷射能量 40%的結果來進行討論。

表 4.31、雷射能量 40%相較於 30%的感度比值。

	標準品 (n=14)	MOUDI 樣本 (n=34)
Na	4.2±2.2	0.9±0.6
Mg	3.5±1.0	1.0±0.7
Al	3.3±1.1	1.1±0.7
K	3.8±1.4	0.9±0.3
Ca	1.1±0.3	0.8±0.1
Ti	5.1±2.1	0.9±0.4
V	3.6±1.3	0.9±0.2
Mn	2.3±1.3	0.9±0.2
Fe	3.3±1.1	1.0±0.3
Co	2.7±1.3	0.9±0.3
Ni	2.6±0.8	1.0±0.2
Cu	3.0±0.9	0.9±0.3
Zn	2.6±1.1	1.0±0.3
As	3.2±1.2	0.9±0.2
Sr	3.6±1.2	0.8±0.5
Ag	2.4±1.6	1.0±0.3
Cd	2.2±1.1	1.0±0.3
Ba	3.7±1.5	0.8±0.5
Pb	4.2±7.7	1.0±0.4

而本研究另使用 MOUDI 採集以蒸發/核凝法產生的高濃度奈米銀微粒(AgNPs)，將 MOUDI 的濾紙樣本分為兩部分，分別使用 LA-ICP-MS 與傳統的 ICP-MS 定量濾紙樣本上的 AgNPs 濃度，比較兩種分析方法的差異，而分析的濾紙樣本則選用微粒重量較重的第 8 與第 9 階濾紙樣本。此外，我們亦測試了 30%與 40%兩種雷射能量，比較不同雷射參數對於分析結果的影響。表 4.32 為 LA-ICP-MS 雷射能量分別設定為 30 與 40 %時，各元素的回收率(%，

LA-ICP-MS/ICP-MS 的濃度)。當雷射能量為 30 %時，AgNPs 的回收率約為 157.3 %；雷射能量為 40 %時，回收率約為 89.7 %。本研究使用高純度的銀粉(Aldich, 99 %)產生 AgNPs，因此 Ag 的回收率應接近 99 %，雖然於不同雷射能量時測得的回收率有差異的情形發生，但以雷射能量為 40 %時所測得的回收率較為合理。K、Ni 與 Cu 等元素的回收率則介於 34.6 至 64.3 %間，其中 Ni 測得的濃度值(30%- 2.03± 2.97 mg/kg，40 %- 2.11± 4.06 mg/kg)皆小於方法偵測極限(表 3.8)，因此測得的濃度可信度較低。而 Pb 的回收率於雷射能量 30 與 40%時，分別為 162.9 %與 110.6 %。雖 Pb 測得的濃度不高(約 300 mg/kg)，但其回收率較穩定且與 Ag 的結果相近。

表 4.32 LA-ICP-MS 雷射能量分別設定為 30 與 40 %時，各元素的回收率(%，LA-ICP-MS/ICP-MS 的濃度)。

	30%					40%				
	K	**Ni**	**Cu**	**Ag**	**Pb**	**K**	**Ni**	**Cu**	**Ag**	**Pb**
1	33	36	20	**124**	129	43	27	30	**117**	170
2	57	55	75	**164**	164	28	7	41	**71**	81
3	58	17	53	**167**	148	29	10	34	**89**	87
4	121	76	58	**255**	273	35	120	35	**97**	118
5	55	51	28	**151**	143	28	37	20	**75**	76
6	36	5	48	**104**	98	37	20	60	**76**	108
7	67	20	50	**168**	191	50	10	47	**99**	123
8	89	51	64	**153**	174	60	19	63	**103**	141
9	64	47	62	**132**	145	35	62	62	**80**	91
Mean	64.33	39.81	51.02	**157.38**	162.92	38.46	34.61	43.67	**89.74**	110.68
SD	26.85	22.30	17.35	**42.44**	49.25	10.88	36.32	15.44	**15.43**	31.06

註: NIST 612 只有 Pb 為 certified value，其他元素皆為 reference value。

雷射剝蝕的檢量線結果如圖 4.77，在分析的眾多元素中以 Cu、Zn、Cd、Pb、As、Sr 等元素的線性較好，這些元素的質荷比(m/z)相對較高，而低質荷比元素（如 Na、Mg、K、Ca、Ti、Fe）的線性較差，此差異現象並不存在於質譜儀分析溶液樣本上，影響原因及改善之道仍需進一步研究。此外，我們也發現部分元素在不同標準樣本間的濃度非常相近(換言之濃度差距不夠大)，我們未來將嘗試更多不同種類與特性的標準樣本，以涵蓋更廣的檢量線濃度範圍。

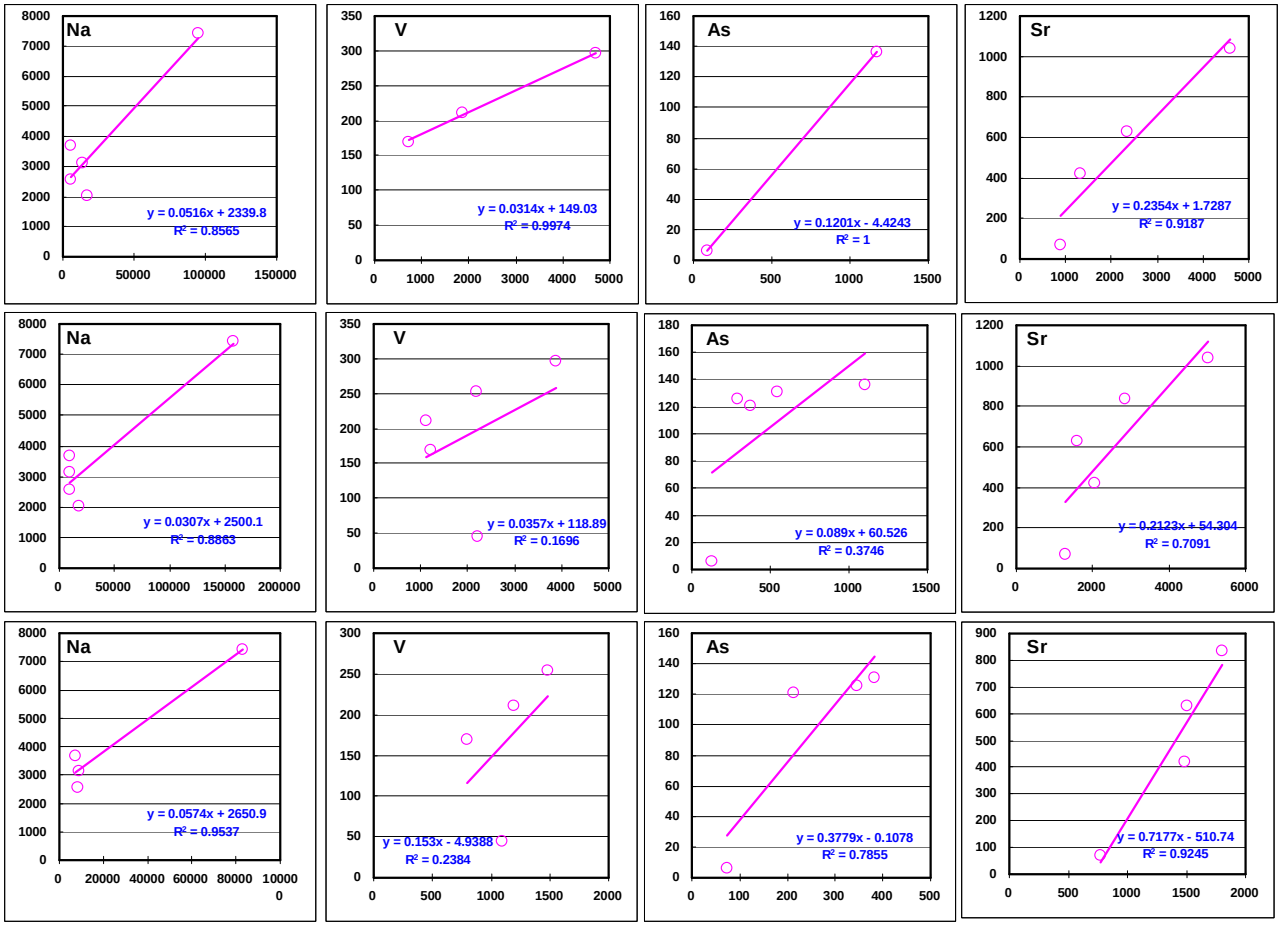


圖 4.77 LA-ICP-MS 的檢量線結果，由上至下為第一組至第三組(雷射光束 40 微米、雷射能量 40%)。Y 軸為濃度（mg/kg），X 軸為感度（CPS）。

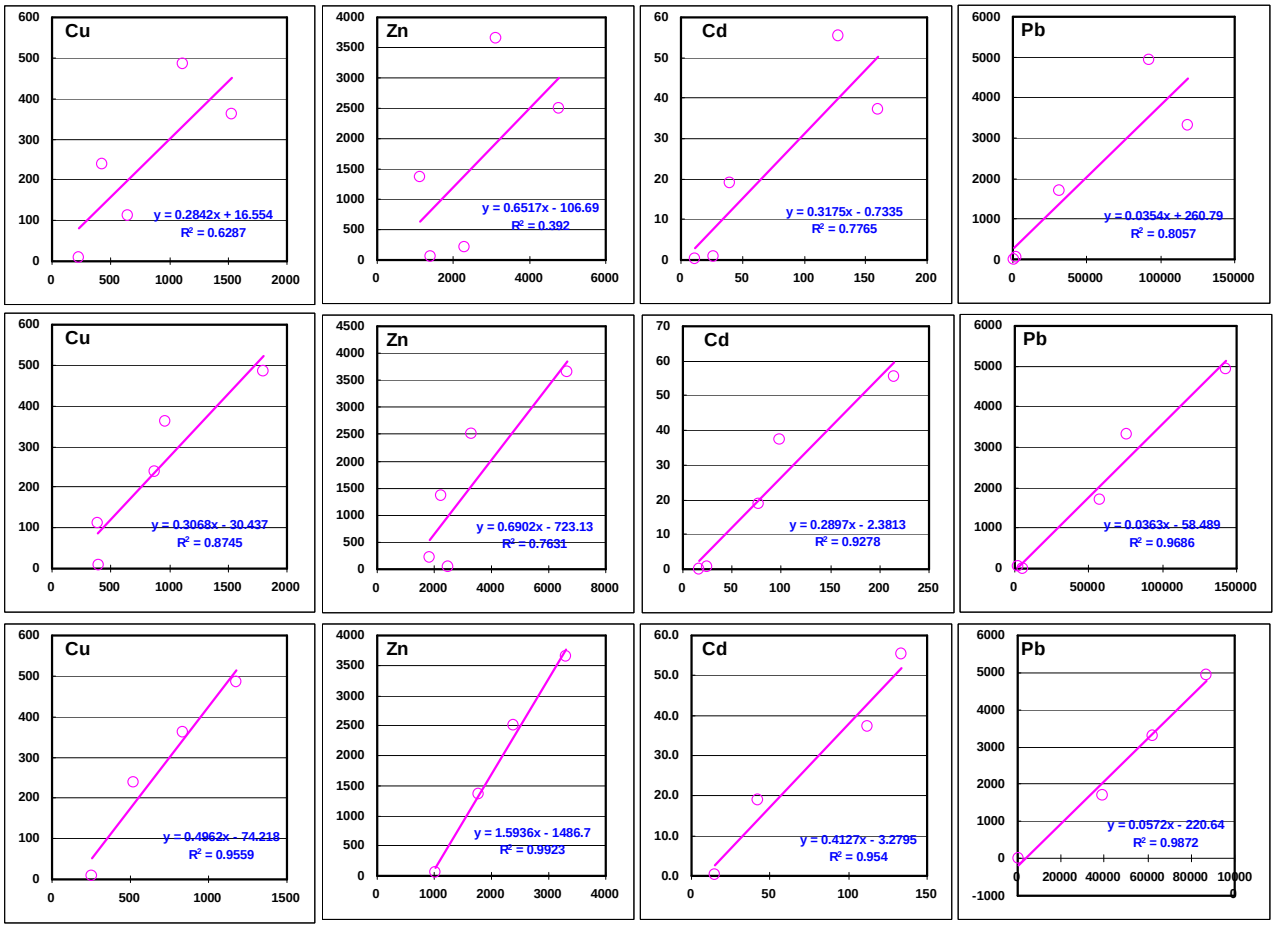


圖 4.77 續 LA-ICP-MS 的檢量線結果，由上至下為第一組至第三組(雷射光束 40 微米、雷射能量 40%)

我們進一步以 LA-ICP-MS 定量分析真實的大氣氣膠樣本，此大氣氣膠樣本為 2008 年 7、11、12 月於南港中研院所採集之 MOUDI 樣本，共計四組，其中兩組包含第零階至第十階的樣本，另兩組為第五階至第十階的樣本。為比較 LA-ICP-MS 與微波消化後以 ICP-MS(MW-ICP-MS)的分析結果，我們將 MOUDI 樣本分為兩半，其中一半以 MW-ICP-MS 來分析，另外一半以 LA-ICP-MS 來分析。

圖 4.78 是 MOUDI 樣本以 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 分析後元素 Pb、Cu、Zn、Cd 之結果比較，LA-ICP-MS 的各元素粒徑分布趨勢大致上與 MW-ICP-MS 的結果相符。但在奈米級樣本，二者有較大的差異，原因可能是濾紙秤重的影響，我們是將 LA-ICP-MS 的感度經過重量的標準化後計算濃度，而 MOUDI 細粒徑樣本量都很少(約 0.03~0.3mg)，因此，濾紙秤重就必須相當的精準，若濾紙的秤重稍不精準，將嚴重影響計算出的元素濃度。其餘如 Na、Al、K 等低質荷比(m/z)的元素，LA-ICP-MS 分析的結果均不理想，仍待後續之改善。

另外在前 3 階(>5.6μm)樣本中 LA-ICP-MS 測值與 MW-ICP-MS 結果的差異也較大，此現象可由 SEM 的影像結果來解釋， SEM 的照片中前 3 階樣本的顆粒稀疏且分布不均，不如標準參考樣本或較小粒徑樣本上的顆粒密集，因此，

在分析前 3 階的樣本時雷射或會打到濾紙空白處，而無法有較穩定的測值。

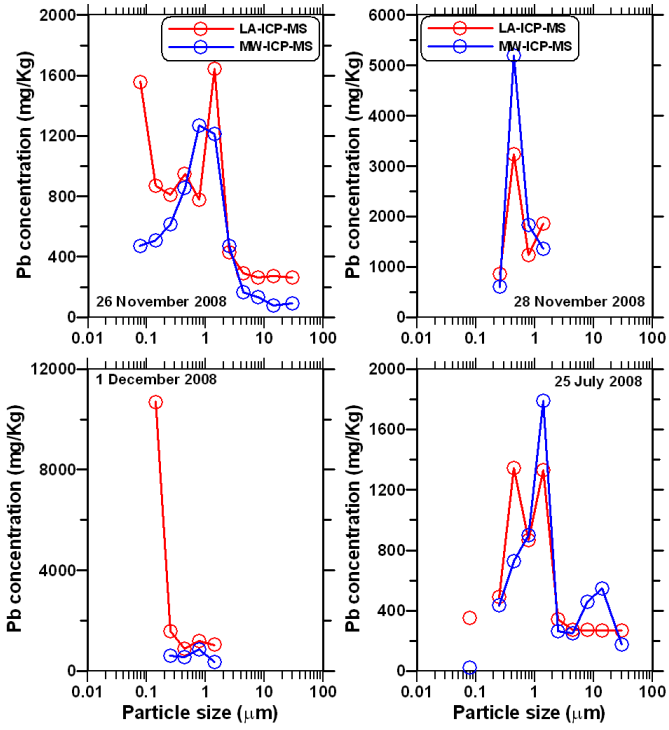


圖 4.78 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 分析結果之比較(Pb)。

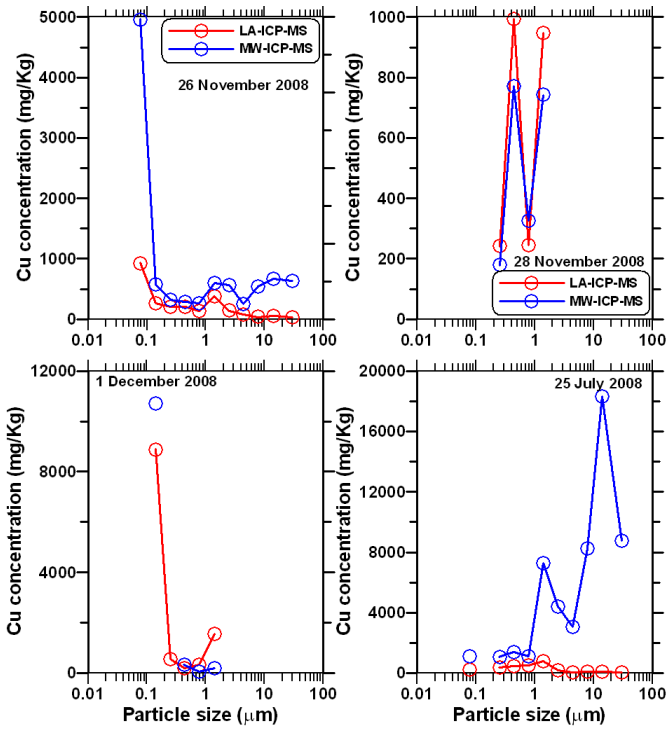


圖 4.78 續 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 分析結果之比較(Cu)。

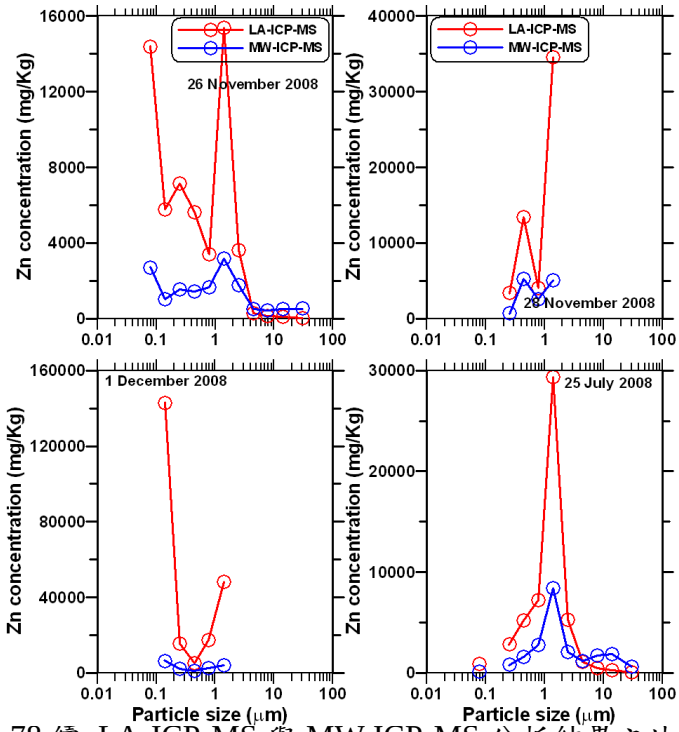


圖 4.78 續 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 分析結果之比較(Zn)。

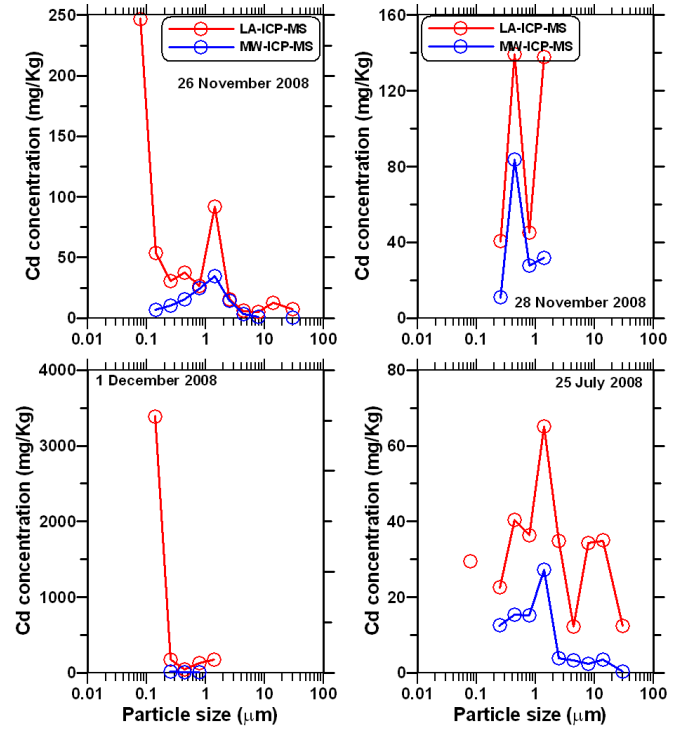


圖 4.78 續 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 分析結果之比較(Cd)。

我們將 LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 兩者的 Pb、Zn、Cd、Cu、As 元素濃度依不同粒徑進行彙整比較，表 4.33 為 LA-ICP-MS 對 MW-ICP-MS 的濃度比值，所有元素中以 Pb 的分析結果最好，二者最接近，微米級樣本的變異大，主要是

因為顆粒分布零散。奈米級顆粒樣本的分析結果也較差，主要的原因是因為顆粒量小，若秤重不夠精準，當對重量進行標準化時會將誤差放大。目前看來LA-ICP-MS 較適用於次微米顆粒樣本，主要的原因是顆粒分佈均勻、量足夠。

表 4.33、LA-ICP-MS 對 MW-ICP-MS 的濃度比值。

Particl size (μm)	Pb	Zn	Cd	Cu	As
>0.32	1.4±1.1	0.3±0.3	7.6±10.6	0.03±0.09	0.4±0.7
1-3.2	1.3±0.7	4.4±3.5	3.1±3.0	0.4±3.1	1.3±2.1
0.32-1	1.0±0.5	3.1±1.7	2.8±4.5	0.8±1.7	0.4±0.2
<0.32	1.8±0.8	6.1±6.1	4.3.6	0.5±0.4	1.1±1/6

目前 LA-ICP-MS 的分析結果與 MW-ICP-MS 的分析仍有差距。傳統上是分析溶液中的元素，較少非均質的問題，且容易取得與待測樣本基質相近的標準品，但在直接分析固態大氣氣膠樣本時，則尚未有市售標準品，或有標準品自行製備不均勻的疑慮。本研究分別利用 NIST SRM 1633b、1646a、1648a 及 8704 等標準品，並摻配不同比例，以粉末分散器混合收集在鐵氟龍濾紙上，收集的鐵氟龍濾紙材質與應用在實際採樣的濾紙一致，藉以排除基質的差異，也經由分析粉末分散器中的殘餘樣本以確認混合標準品的品質。目前利用標準品所建立的 Pb、Cd、Cu、Zn、Sr、As 檢量線線性還不差，且能得到與 MW-ICP-MS 的分析結果相近之測值，尤其是在次微米級樣本。因此，可將標準樣本上的顆粒量減少至與待測樣本相近，降低感度比較基準之差異，以及增加實際大氣樣本採集量或集中於濾紙較小面積內，使得二者有接近樣本載量及較佳均勻度。另外，對主量元素（亦是低質荷比元素），則可以著力於計算方法的改善。總結而言，LA-ICP-MS 應用於大氣微粒樣本仍具有發展潛力。

第五章　結論與建議

本期研究的成果可歸結以下幾項結論及建議。

5.1 結論

1. 本研究開發之奈米微粒產生、監測與檢測平台可產生高數目濃度且符合ISO以蒸發/核凝法產生奈米微粒之標準[數目中間粒徑(NMD)＜100 nm，幾何標準偏差(σ_g)＜ 2]的奈米銀與奈米氧化鋅微粒。此套系統不僅符合ISO 10808中監測項目的要求，更提供不同觀察微粒形貌的樣本製備方法等新想法，且經過實驗結果證實，可提供吸入毒性測試更完整的參數。
2. 本研究分別針對可即時量測微粒數目分布及質量的儀器進行校正及比對，結果顯示 SMPS 可正確地量測微粒的粒徑與數目濃度。本研究接著以校正過後的 SMPS 為標準與 FMPS 的粒徑分佈數據進行比對，結果顯示微粒形貌會對 SMPS 與 FMPS 間量測數據的差異造成影響，當微粒形貌越趨近於圓形時，兩台量測儀器的結果越接近。對可即時量測微粒質量的 APM 校正結果則顯示，當微粒的質量大於 0.3 fg 時，APM 量測的準確性較高，此結果也與 Shin et al. (2009)這篇文獻中 APM 僅適用於量測質量大於 0.3 fg 微粒的結論吻合。
3. 本研究目前已利用半導體製程成功開發出比 MOUDI MSP 原廠平滑的噴嘴，並已裝上 NCTU 大氣奈米微粒採樣器中。於實驗室內的微粒收集效率曲線校正、奈米微粒損失及微粒阻塞實驗，以及現場的採樣比對等測試均已完成。校正結果顯示相較於 MSP MOUDI，NCTU MCI 的第 7 至 9 階衝擊器的 d_{pa50} 更接近 MOUDI 原始的設計值。微粒損失的結果則顯示，奈米微粒在 NCTU MCI 內部的損失略低於 MSP MOUDI。由高濃度微粒負荷的實驗則可看出，相較於 MSP 的噴嘴版，本研究自製的噴嘴板確實可有效地降低微粒阻塞的情形。現場採樣比對的結果也顯示，NCTU 及 MSP MODUI 所測得的微粒質量分布相當接近。
4. 新莊、中山及竹東微粒質量分佈皆呈雙峰分佈，累積模式粒徑介於 0.3-0.5 μm 之間，粗微粒模式介於 5-7μm 之間，只有在一些特殊事件如新莊測站在 5/3-5/4 因受到沙塵影響，使得原本典型的雙峰分布變為單峰分布。$PM_{0.1}$ 數目濃度的日變化同時受 CO 及 O_3 濃度影響，CO 來源為交通工具的一次排放，O_3 為交通排放的二次污染物，因此奈米微粒數目濃度的變化兼具兩者之特性。此外，在沙塵期間 $PM_{0.1}$ 數目濃度僅為平時的 1/10，原因為沙塵夾帶大量較大的沙塵顆粒使得，$PM_{0.1}$ 的小微粒容易擴散至這些大的沙塵顆粒上造成聚集而使 $PM_{0.1}$ 數目濃度下降。
5. 本研究採集的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 質量濃度和中央大學 $PM_{2.5}$ 計畫及環保署空品測站的比對結果顯示，空品測站的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 值均較本研究的結果高出 40%，進一步分析也發現相對濕度對 $PM_{2.5}$ 的影響較 PM_{10} 大，當 RH 上升時，本研究和測站間 $PM_{2.5}$ 的量測誤差上升的幅度幾乎會 PM_{10} 的兩倍，此外本研究也發現測站的分徑器在剛維護後和本研究測值間之差異也會降低。故推測是大氣濕度過高造成貝他計高估結果以及因衝擊器的維護週期

過長使得過多微粒累積在衝擊基質上進而造成微粒彈跳兩項原因所造成。中央大學 $PM_{2.5}$ 的結果則是較本研究略低 17 %，此現象和過去文獻的結果類似，但目前僅能推測是由微粒分徑器不同所致，實際造成差異的原因仍需由後續的研究進行深入探討。

6. 水溶性離子分析結果顯示竹東測站離子含量最高，原因為該測站濕度較高，高濕度的環境下使得微粒會吸收較多的水分，進而讓大氣中水溶性離子更容易溶解至微粒中。新莊站於 5/3-5/4 採樣期間的水溶性離子則是以 Cl^-、Ca^{2+}及 Mg^{2+}等海洋性離子為主，此結果也可證明該期間的高 PM 濃度是經由海上境外傳輸的沙塵所造成。

7. ICP-MS 分析 Dichot 樣本的結果顯示，三個測站中以新莊站的的元素濃度較高，而另外兩站(中山、竹東)的濃度則較相近。Sr 在新莊及竹東兩測站是以 $PM_{2.5-10}$ 的濃度較高，而在中山測站是以 $PM_{2.5}$ 的濃度較高，顯示中山測站的 Sr 另有其他來源。竹東測站 $PM_{2.5-10}$ 的 Tl 濃度高於 $PM_{2.5}$，此結果與其他測站相異，是否為單一污染事件或操作過程受污染所致，亦需進一步釐清。樣本元素間之關係，Cd 對 Pb、Se 對 As、Cu 對 Mo、Cu 對 Sb 與 Sb 對 Ba 彼此間有良好的相關性，其比值將是後續可參考的指標。

8. PMF 分析的結果顯示，新莊測站 $PM_{0.1}$ 和 $PM_{2.5}$ 的貢獻分別以交通排放為主要來源，PM_{10} 則以地殼元素最多。中山測站的 $PM_{0.1}$ 和 $PM_{2.5}$ 的貢獻同樣以汽油引擎排放為主。上述兩站之結果均符合附近交通繁忙的現況。竹東測站的 $PM_{0.1}$ 和 $PM_{2.5}$ 的來源主要也以交通排放源為主，PM_{10} 由地殼元素貢獻最多，但是竹東測站所受汙染較少，交通排放源的影響也不如新莊及中山測站明顯，故各排放源所占的比例不如前兩個測站懸殊。

9. 各種氣相 PAHs 以環形擴散採樣管(Denuder)採樣之實測吸附率結果顯示各種 PAHs 的收集效率皆達 90%以上，可認定已無貫穿現象。使用鐵氟龍濾紙進行採樣，AD-MOUDI-PUF 與 MOUD-PUF I 採樣系統所檢測 $PM_{0.1}$ 之 Σ15 PAHs 濃度分別為 1.88 與 1.42 ng/m^3；使用石英濾紙進行採樣，AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統所檢測 $PM_{0.1}$ 之 Σ15PAHs 濃度分別為 2.07 與 3.14 ng/m^3，另外發現鐵氟龍濾紙無顯著的偏差問題，石英濾紙的約有 50%的偏差量。在環境中的採樣結果顯示兩次實驗第一支環形擴散採樣管中的總 PAHs 濃度分別為 597 ng/m^3 與 1924 ng/m^3，此測值範圍與國際上其他以環形擴散採樣管之研究量測結果差異不大。實驗室內評估微粒損失，結果顯示固體微粒在 Denuder 內平均約損失 25 %。

10. 本研究四種採樣系統(AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用鐵氟龍濾紙，AD-MOUDI-PUF 與 MOUDI-PUF 採樣系統使用石英濾紙) 所測得的大氣 $PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 之∑15 PAHs 濃度依序為 $PM_{0.1\sim2.5} > PM_{0.1} > PM_{2.5\sim10}$。雖然這四種採樣系統並非全部同步採樣，但仍可看出三種粒徑範圍之大小順序與文獻中其他研究結果趨勢一致。

11. LA-ICP-MS 搭配自行配置之標準品，對 MOUDI 樣本中微量元素（Pb、Cd、Cu、Zn、As）濃度定量，所得到的值與 MW-ICP-MS 雖尚有差距，但粒徑分佈型態仍能一致。LA-ICP-MS 為直接應用於快速分析固態樣品的技術，故標準品的製備極為重要，標準品的均勻性、穩定性及與實際待測樣品基質的特性，則是影響 LA-ICP-MS 分析結果的關鍵。

12. LA-ICP-MS 與 MW-ICP-MS 兩者的濃度比較結果顯示，所有元素中以 Pb 的分析結果最好。次微米的結果最佳，而微米級樣本的變異大，主要是因為顆粒分布零散。奈米級顆粒樣本的分析結果也較差，主要的原因是因為顆粒量小，若秤重不夠精準，當對重量進行標準化時會將誤差放大。目前看來 LA-ICP-MS 較適用於次微米顆粒樣本，主要的原因是顆粒分佈均勻。

5.2 建議

1. 持續至各個測站進行大氣微粒採樣，以利本研究針對採樣結果做季節性變化的分析，測站相關$PM_{2.5}$及$PM_{0.1}$的質量及數目濃度數據可作為未來管制$PM_{2.5}$時的參考。
2. 針對大氣相對濕度對空品測站內即時微粒質量量測的影響進行評估，並找出解決其高估PM濃度的方法。並研究各測站不同的$PM_{2.5}$分徑器(WINS衝擊杯或VSCC旋風器)受到微粒過度負荷及彈跳等問題,找出最合適的粒徑篩分裝置與方法，以解決因儀器構造或維修時間過長造成的量測誤差。
3. 目前LA-ICP-MS之標準樣本與氣膠樣本間顆粒淨重的差異可達1個數量級以上，造成剝蝕量的極大差異，目前數據處理方式雖將感度修正至相同顆粒載量，但卻使部分元素回收率變大，顯示載量與感度未必是正向線性關係，未來將把標準樣本上的顆粒量減少至與待測樣本相近，且將增加真實樣本之採集量或集中於較小濾紙範圍，以期降低感度比較基準之差異。再者，目前本系統在切換樣本時會造成電漿的不穩定，這部分可藉由改良剝蝕室的載流氣體供應方式加以改善。

5.3 本研究各年度重點工作及主要研究成果

表 5.1 為環境中奈米物質量測及特性分析技術開發各年度重點工作及主要研究成果，以及未來幾年建議的研究方向及預期結果。

表 5.1 各年度重點工作及主要研究成果，以及未來幾年建議的研究方向。

	重點工作	主要研究成果
96 年度	1. 建立奈米微粒採樣分析 QA/QC 標準作業程序。	1. 本標準程序可作為本國環保署制訂大氣奈米微粒的採樣分析標準之用。
	2. 研究以不同儀器採集及分析大氣奈米微粒的準確性。	2. 發現電氣低壓衝擊器(ELPI)內奈米微粒容易彈跳,造成奈米微粒濃度及化學成份測值的高估,MOUDI 則為較準確。
	3. 研究以液態真空油取代矽油作為微孔均勻沈積衝擊器	3. 發現一般的低黏度真空油揮發嚴重，造成終端濾紙易受

	重點工作	主要研究成果
	(MOUDI)收集表面的可能性，降低微粒彈跳造成奈米微粒濃度高估問題。	VOC 污染。 4. 主要產出為國際研討會論文一篇。
97 年度	1. 研究奈米微粒採樣分析濃度受到 VOC 濃度的影響。 2. 研究奈米微粒之密度，以及利用 SMPS 監測奈米微粒質量濃度的可行性。 3. 研究奈米微粒在不同環境中的污染來源。	1. 本研究發現在 VOC 濃度高的環境中，奈米微粒 OM 濃度被嚴重高估。本研究依據 Turpin and Lim (2001) 及 Subramarian et al. (2004)對 $PM_{2.5}$ OM(有機物質)的研究文獻，進行 $PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 之 OM 濃度校正，除了解決國內過去 PM_{10}, $PM_{2.5}$ 的碳成份採樣問題外，本研究為目前世界上，採樣及化學分析的濃度與秤重濃度最相符合的研究。 2. 研究出奈米微粒之有效密度與濕度、成份的關係，結果符合國際水準，可應用於利用 SMPS 作為奈米微粒即時質量濃度測量之用。 3. 利用正確的奈米微粒採樣分析結果，成功的以 PCA(主成份分法)推知不同環境中奈米微粒的來源。 4. 主要成果為國際研會論文一篇，國際 SCI 期刊論文 1 篇。本研究成果可作為本國環保署制訂大氣奈米微粒的採樣分析標準之用。
98 年度	1. 研究不同濾紙材質、塗矽油與不塗矽油為衝擊表面時，MOUDI 衝擊器內微粒彈跳及高估奈米微的濃度問題。 2. 研究大氣相對溼度與奈米微粒	1 及 2.溼度影響奈米微粒的採樣準確度很大，控制溼度可以解決 MOUDI 奈米微粒的採樣準確度。此項研究為國際上的創新研究，目前論文以及將刊登在

	重點工作	主要研究成果
	彈跳的關係，並以進氣控制方式解決微粒彈跳之問題關係。	Aersol Science Technology。
	3. 在 MOUDI 入口處加裝一活性碳固氣分離器，研究奈米微粒中有機碳濃度的採樣誤差。	3. 有機碳固氣分離器可同時採集奈米微粒與氣態與半揮發態有機碳氣體，可解決奈米微粒採樣誤差的問題。尚需更多的測試驗證。
	4. 以隧道研究交通源的奈米微粒排放係數。	4. 可準確的測量交通源的奈米微粒排放量。 5. 發表 SCI 期刊論文 3 篇。 6. 可建議一個標準的氣懸奈米微粒採樣分析分法。
99 年度	1. 奈米微粒細胞毒性測試平台建立。	1. 可產生奈米銀於不同液相介質，進行細胞毒性試驗。液相靜電沉積系統及微粒濃縮系統為國際首創，需產生更多實驗數據。
	2. 交通排放奈米微粒 ($PM_{0.056-0.1}$, $PM_{0.032-0.056}$, $PM_{0.018-0.032}$, $PM_{0.01}$) 之研究。	2. 交通排放奈米微粒數據及鹿林山的量測結果尚在整理中。
	3. 在 MOUDI 入口處加裝一 PAHs 固氣分離。	3. PAHs 實驗發現奈米微粒微粒態的 PAHs 濃度很低，過去學者的研究明顯高估 PAHs 濃度。
	4. 鹿林山背景測站耐米微粒光化反應。	4. 鹿林山研究成果目前已寫成論文投稿 SCI 期刊論文。
100 年度	1. 奈米微粒產生、監測與檢測平台的建立。 2. NCTU 大氣奈米微粒採樣器的開發。 3. 新莊、中山及竹東環境大氣微粒	1. 本研究的奈米微粒物化平台提供許多可供吸入毒性測試參考的參數，如數目濃度分佈、質量濃度分佈及有效密度等，更校正與比對許多即

	重點工作	主要研究成果
	的實測，並探討手動採樣與測站自動儀器間的誤差。 4. 研究 LA-ICP-MS 作為大氣微粒元素快速分析之可行性評估，及其標準品製備。 5. 大氣中 PAH 的採樣及分析技術與方法。	時量測儀器，如 SMPS、APM 與 FMPS，確認其正確性。 2. NCTU 大氣奈米微粒採樣器已完成實驗室校正與現場採樣比對，將來將可作為環境奈米微粒的採樣儀器。 3. 測站的自動儀器確實會高估微粒的質量濃度，未來將繼續進行相關研究以解決高估 PM 濃度的問題。 4. LA-ICP-MS 目前較適用於次微米顆粒樣本，主要的原因是顆粒分佈均勻。自行配置的標準品以 Pb 的分析結果最好。目前評估結果為未來有發展的空間。 5. 以上結果在 1 年內預計可發表 SCI 論文 2-3 篇。
101 年以後 3 年	建議的工作項目 1. 研究以 MOUDI 結合 LA-ICP-MS 進行微量的環境奈米微粒的採樣分析技術(2-3 年)(主要可以執行的單位：中央研究院, 交大環工所等單位)。 2. 研究奈米微粒的標準秤重 QA/QC 程序，研究溫溼度及靜電的影響(1-2 年)。 3. 即時奈米碳管(CNT)的監測技術(2-3 年)。 4. 研究水中奈米微粒的分離，監測及採樣分析技術 (3-4 年) (主要可以執行的單位：中山大學環工所, 交大環工所等)。 5. 新型 MOUDI 的開發及驗證(3-4 年)。 6. 研究自動監測高估微粒濃度的可能因素(儀器構造不同、相對濕度濕度影響)，以解決高估 PM 濃度的方法。(1-2 年)(主要可以	1. 本期預計可發表 SCI 期刊論文 2-3 篇，五年內 8-10 篇。

	重點工作	主要研究成果
	執行的單位：中央大學、環檢所及交通大學) 7. 以氣膠質譜儀(AMS)技術研究環境中奈米微粒(4-5 年) (主要可以執行的單位：中央研究院等單位，環檢所)。 8. 研究都會區交通排放奈米微粒的特性。(主要可以執行的單位：中央研究院、屏東科技大學及交通大學)。 9. 以本研究所建立的奈米微粒產生、監測與檢測平台研究	

參考文獻

Aceves, M. and Grimalt, J.O. (1993). Seasonally Dependent Size Distributions if Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Aerosols from Densely Populated Areas. Environ. Sci. Technol. 27: 2896-2908.

Aeschliman, D.B., Bajic, S.J., Baldwin, D.P., Hoouk, R.S., 2003, Spatially-resolved analysis of solids by laser-ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry: trace elemental quantification without matrix-matched solid standards, J. Anal. At. Spectrom., 18, 872-877.

Akio, K., Youki, O. (1987). Mutagenic activity and PAH analysis in municipal incinerator. The Science of Total Environment, 61:37-49.

Al-Momani I. F. (2003). Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: acidity and possible sources. Atmos. Environ., 37: 4507-4515.

Altaf, W. J. (1997). Effect of motorway traffic emissions on roadside wild-plants in Saudi Arabia. J. Radioanal. Nucl. Chem., 217:91–94.

Arnold, F., Pirjola, L., Aufmhoff, H., Schuck, T., Lähde, T., and Hämeri, K. (2006). First Gaseous Sulfuric Acid Measurements in Automobile Exhaust: Implications for Volatile Nanoparticle Formation. Atmos. Environ. 40: 7097-7105.

Asbach, C., Kaminski, H., Fissan H., Monz, C., Dahmann, D., Miihopt, S., Paur, H. R., Kiesling, H. J., Herrmann, F., Voetz, M. and Kuhlbusch, T. A. J. (2009). Comparison of four mobility particle sizers with different time resolution for stationary exposure measurements. J. Nanopart. Res., 11: 1593-1609.

Beak, S.O., Field, R.A., Goldstone, M.A., Kirk, P.W., Lester, J.N. and Perry, R. (1991). A Review of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources Fate and Behavior. Water, Air and Soil Pollut., 60:279-300.

Bigi, A. and Ghermandi, G. (2011). Particle Number Size Distribution and Weight Concentration of Background Urban Aerosol in a Po Valley Site, Water Air Soil Pollut, 220:265–278

Bjørseth, A., Ramahl, T. (1985). Source and Emission of PAH. Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Vol. 1, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.

Brown, R.J.C., Kim, E.J., Disch, B.A., Goddard, S.L., 2011, An investigation of calibration materials for the measurement of metals in ambient particulaye matter on filters by LA-ICP-MS, Int. J. Environ. Anal. Chem., DOI :10.1080/03067319.2011.592950

Bruland, K.W. (1983) Trace element in sea water, in Chemical Oceanography, Academic Press, London, ,8: 157-220.

Canepari, S., Perrino, C., Olivieri, F., Astolfi, M.L. (2008) Characterisation of the traffic sources of PM tgrough size-segregated sampling, sequential leaching and ICP analysis, Atmos. Environ., 42, 8161-8175

Cass, G. R., Hughes, L. A., Bhave, P., Kleeman, M. J., Allen, J. O., and Salmon, L. G. (2000). The chemical composition of atmospheric ultrafine particles. Phil. Trans. R. Soc., Lond. A, 358:2581-2592.

Chang, C. T., Tsai, C. J.,. Lee, C. T., Cheng, M. T., Chein, H. M., (2001), Differences in PM_{10} Concentrations Measured by Beta-gauge Monitor and Hi-vol Sampler", Atmos. Environ, 35(33):5741-5748.

Chen, S.C., Tsai, C.J., Huang, C.Y., Chen, H.D., Chen, S.J., Lin, C.C., Chou, Charles C-K, Lung, S.C., Roam, G.D., Wu, W.Y., Smolik, J., and Dzumbova, L. (2010a). Chemical mass closure and chemical characteristics of ambient $PM_{0.1}$, $PM_{2.5}$ and PM_{10} in a highway tunnel and at a roadside. Aerosol Sci. Technol., 44, 713-723.

Chen, S.C., Tsai, C.J., Chou, Charles C-K, Roam, G. D., Cheng, S. S., and Wang, Y. N. (2010b). Ultrafine particles at three different sampling locations in Taiwan. Atmos. Environ. 44:533-540.

Chen, S.C., Tsai, C.J., Huang, C.Y., Chen, H.D., Chen, S.J., Lin, C.C., Chou, Charles C-K, Lung, S.C., Roam, G.D., Wu, W.Y., Smolik, J., and Dzumbova, L. (2011). The Influence of Relative Humidity on Nanoparticle Concentration and Particle Mass Distribution Measurements by the MOUDI. Aerosol Sci. Technol., 45(5):713-723.

Cheng, M.T., Chou, W.C., Chio, C.P., Hsu, S.C., Su, Y.R., Kuo, P.H., Tsuang, B.J., Lin, S.H., Chou, C.K., 2008, Compositions and source apportionments of atmospheric aerosol during Asian dust storm and local pollution in central Taiwan, J. Atmos. Chem., 61, 155-173.

Chueinta W., Hopke P.K., and Paatero P. (2000). Investigation of Sources of Atmospheric Aerosol at Urban and Suburban Residential Areas of Thailand by Positive Matrix Factorization., Atmos. Environ., 34: 3319-3329.

Chow, J. C., and Watson, J. G. (2007). Survey of measurement and composition of ultrafine particles. Aerosol Air Qual. Res., 7:121-173.

Chow, J. C., John, P. D., Watson, J. G., Chen, L. W. A., Ho, S. S. H. and Sodeman, D. A. (2008). Advanced in integrated and continuous measurement for particle mass and chemical composition, J. Air & Waste Manage. Assoc., 58: 141-163.

Chow, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H., Chen, L. W. A., Tropp, R.J., Park, K. and Magliano, K. L. (2006). PM2.5 and PM10 Mass Measurements in California's San Joaquin Valley, Aerosol Sci. Technol., 40: 796-810.

Costa, D. L., and Dreher, K. L. (1997). Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models. Environ. Health Perspect, (Supplement 5)105:1053-1060.

DeCarlo S., Fiaux H. and A Marca-Martinet C. (2004). Electron cryo-microscopy reveals mechanism of action of propranolol on artificial membranes. J. Lipo. Res., 14:61-76.

Donaldson, K., Brown, D., Clouter, A., Duffin, R., MacNee, W., Renwick, L., Tran, L., Stone, V. (2002). The pulmonarytoxicology of ultrafine particles. Journal of Aerosol Medicine—Deposition Clearance and Effects in the Lung 15(2):213–220.

Donaldson, K., Aitken, R., Tran, L., Stone, V., Duffin, R., Forrest, G. and Alexander, A. (2006). Carbon nanotubes: A review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety. J. Toxicol. Sci., 92(1), 5-22.

Dye, J. A., Lehman, J. R., McGee, J. K., Winset, D. W., Ledbetter, A. D., Everitt, J. I.,

Ghio, A. J., and Costa, D. L. (2001). Acute pulmonary toxicity of particle matter filter extracts in rats, coherence with epidimiologic studies in Utah Valley residents, Health Perspect, 109:395-403.

Eldered, R. A., Cahill, T. A., and Flochini, R. G. (1997). Composition of PM2.5 and PM10 aerosols in the IMPROVE network. J. Air Waste Manage. Assoc., 47:194-201.

Eiguren-Fernandez A., Miguel A.H, Jaques, P. and Sioutas, C. (2003). Evaluation of a DenuderMOUDI-PUF Sampling System to Determine the Size Distribution of Semivolatile Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere. Aerosol Sci. Technol., 37, 201-209.

ENV/JM/MONO(2008)B/REV, OECD (2008). "List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the OECD testing programme", Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Number 6, July 7, 2008.

ENV/JM/MONO(2009)15, OECD, (2009). Identification, complation and analysis of guidance information for exposure measurement and exposure mitigation: manufactured nanomaterials, July 10, 2009.

ENV/JM/MONO(2009)16, OECD, (2009). Emmision assessment for identification of sources and release of airbone manufactured nanomaterials in the workplace: compilation of existing guidance, Sep. 9, 2009.

ENV/JM/MONO(2009)20/REV Guidance Manual for the Testing of Manufactured nNanomaterails:First Revision.

European Commission, 2008a, Communication from the commission to the European Parliament, The Council and European economic and social committee. Regulatory aspects of nanomaterials. [SEC(2008) 2036]. Commission of the European Communities. Brussels, 17.6.2008 COM(2008) 366 final.

European Commission, 2008b, Follow-up to the 6th meeting of the REACH competent authorities for the implementation of regulation (EC) 1907/2006. Brussels, 16 December 2008. Doc. CA/59/2008 rev.1.

European Commission, 2008c, Follow-up to the 6th meeting of the REACH competent authorities for the implementation of regulation (EC) 1907/2006. Brussels, 16 December 2008. Doc. CA/59/2008 rev.1.

Facchetti, S. (1989). Lead in petrol. The isotopic lead experiment. Accounts Chem. Res., 22:370–374.

Fan, Z.H., Jung, K.H., Lioy, P.J., 2006. Development of a passive sampler to measure personal exposure to gaseous PAHs in community settings. Environ. Sci & Tech., 40: 6051-6057.

Fanelli, J. (1997). An Analysis of Worldwide Studies Detailing the Effects of the Reduction of Gasoline Lead on Air and Blood. Princeton University for Energy and Environmental Studies Report 300.

Fang, C. P., McMurry, P. H., Marple, V. A., and Rubow, K. L. (1991). Effect of Flow-induced Relative-humidity Changes on Size Cuts for Sulfuric-acid Droplets in the Microorifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI), Aerosol Sci. Technol. 14:266-277.

Federal Register, 2009c, Proposed significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 74(214), November 6, 2009/ Proposed Rules.

Fernández Espinosa, A. J., Rodriguez, M. T., Barragan de la Rosa, F. J., and Jimenez Sanchez, J. C. (2001). Size distribution of metals in urban aerosols in Seville (Spain). Atmos. Environ., 35:2595-2601.

Garcia, C.C., Lindner, H., Niemax, K., 2009, Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry-current shortcomings, pracical suggestions for improving performance, and experiments to guide future development, J. Anal. At. Spectrom.,24, 14-26.

Gavett, S. H., Madison, S. L., Dreher, K. L., Winsett, D. W., McGee, J. K., and Costa, D. L. (1997). Metal and sulfate composition of residual oil fly ash determines airway hyperreactivity and lung injury in rats. Environ. Res., 72:162-172.

Gobeli, D., Schloesser, H. and Pottberg T. (2008). Met One Instruments BAM-1020 Beta Attenuation Mass Monitor US-EPA PM2.5 Federal Equivalent Method Field Test Results, Paper # 2008-A-485-AWMA.

Grimmer, G., Naujack, K.W. and Schreider, D. (1983). Changes in PAH Profiles in Different Areas of a City during the Year. In Polynuclear Aromatic Hydrocarbons; Chemistry and Biological Effects. Battelle Press, Columbus. p. 107-125.

Gulijk C. V., Marijnissen J. C. M., Makkee M. and Moulijn J. A. (2003). Technical note Oil-soaked sintered impactors for the ELPI in diesel particularte measurements, J. Aerosol Sci., 34:635-640.

Gundel, L.A., Lee, V.C., Mahanama, K.R.R., Stevens, R.K., Daisey, J.M. (1995). Direct determination of the phase distributions of semi-volatile polycyclic aromatic hydrocarbons using annular denuders. Atmos. Environ., 29:1719-1733.

Gundel, L.A. (1999). Standard operating procedures for coating annular denuders with XAD-4 resin for the US EPA chemical speciation program, 2 ed.

Hand, J. L., and Kreidenweis, S. M. (2002). A new method for retrieving particle refractive index and effective density from aerosol size distribution data, Aerosol Sci. Technol., 36:1012–1026.

Hand, J. L., Kreidenweis, S. M., Kreisberg, N., Hering, S., Stolzenburg, M., Dick, W., and McMurry, P.H. (2002). Comparisons of Aerosol Properties Measured by Impactors and Light Scattering from Individual Particles: Refractive Index, Number and Volume Concentrations, and Size Distributions, Atmos. Environ., 36:1853–1861.

Harrison, R.M., Smith, D.J.T., Luhana, L. (1996). Apportionment of Atmospheric Polynuclear Aromatic Hydrocarbons Collected from an Urban Location in Birmingham, U.K. Environ. Sci. Technol., 30:825-832.

Hays, M. D. and Lavrich, R. J. (2007). Developments in Direct Thermal Extraction-GC/MS of Fine Aerosols. Trends in Analytical Chemistry. 26:88-102.

Hecht, S.S. (1988). Potential Carcinogenic effects of Polynuclear Aromatic Hydrocarbon and Nitroaromatics in Mobile and Public Health. In Air Pollution, the Automobile, and Public Health, Kennedy, D. and Bates, R.R. (Eds.) National Academies Press, Washington, D.C., p. 555-578.

Hinds, W. (1999). Aerosol Technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles, second edition. Wiley-Interscience, New York.

Hjortenkrans, D.S.T., Bergbck, B.G., Hggerud, V. (2007) Metal emissions from brake

linings and tires : case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005, Environ. Sci. Technol.,41:5224-5230

Hola, M., Kalvoda, J., Babek, O., Brzobohaty, R., Holoubek, I., Kanicky, V., Skoda, R., 2009, LA-ICP-MS heavy metal analyses of fish scales from sediments of the Oxbow Lake Certak of the Morava River (Czech Republic), Environ. Geol., 58, 141-151.

Hsu, S.C., Liu, S.C., Lin, C.Y., Hsu, R.T., Huang, Y.T., Chen, Y.W. (2004). Metal compositions of PM10 and PM2.5 aerosols in Taipei during spring, 2002, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 15, 925-948.

Hsu, S.C., Liu, S.C., Huang, Y.T., Lung, C.S.C., Kao, S.J., Tsai F., Tu, J.Y. (2008), A criterion for identifying Asian dust events based on Al concentration data collected from northern Taiwan between 2002 and early 2007, J. Geoph. Res., 113, D18306, doi:10.1029/2007JD009574.

Hsu, S.C., Liu, S.C., Huang, Y.T., Chou, C.C.K., Lung, S.C.C., 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, J. Geophy. Res., 114, doi:10.1029/2009JD011725.

Hsu, S.C., Wong, T.F.G., Gong, G.C., Shiah, F.K., Huang, Y.T., Kao, S.J., Tsai, F., Lung, C.S.C., Lin, F.J., Lin, I.I., Hung, C.C., Tseng, C.M. (2010), Source, solubility and dry deposition of aerosol trace elements over the East China Sea, Marine Chemistry, 120, 116-127.

Hrask, J., Sisovic, A., Skrbec, A., and Sega, K. (2001). Seasonal differences in the levels of suspended particulate matter and heavy metals in the vicinity of a waste dump. Atmos. Environ., 35:3543–3546.

International Council on Nanotechnology, http://icon.rice.edu/virtualjournal.cfm/ (accessed on Jan. 22, 2011)

ISO/WD 27891 (2010). Aerosol particle number concentration — Calibration of condensation particle counters.

ISO TC 229 網站, International Organization for Standard for Standardization, Technical Committee 229, accessed on April 22, 2010, http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983

ISO 10801 (2010). Nanotechnologies — Generation of metal nanoparticles for inhalation toxicity testing using the evaporation/condensation method.

ISO 10808 (2009). Nanotechnologies — Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing.

Ito K., Xue N., and Thurston G. (2004). Spatial Variation of PM2.5 Chemical Species and Source-Apportioned Mass Concentrations in New York City.," Atmos. Environ., 38: 5269-5282.

James, P. S., Raveendra, V. I., and Timothy, E. (1995). Multivariate ststistical examination of spatial and temporal patters of heavy metal contamination in New Bedford harbor marine sediment. Environ. Sci. Technol., 29:1781-1788.

Jayaratne, E. R., Johnson, G.R., McGarry, P., Cheung, H.C. and Morawska, L. (2011). Characteristics of airborne ultrafine and coarse particles during the

Australian dust storm of 23 September 2009, Atmos. Environ., 45:3996-4001

Ji, J. H., Bae, G. N., Hwang, J. (2006). Observation evaluation of nozzle clogging in a micro-orifice impactor used for atmospheric aerosol sampling. Part. Sci. Technol., 24:85-96

Ji, J. H., Jung, J. H., Kim, S. S., Yoon, J. U., Park, J. D., Choi, B. S., Chung, Y. H., Kwon, I. H., Jeong, J., Han, B. S., Shin, J. H., Sing, J. H., Song, K. S. and Yu, I. J. (2007). Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nanoparticles in Sprague Dawley Rats. Inhal. Toxicol., 19(10):857-871.

Joeng, C. H. and Evans, G. J. (2009). Inter-Comparison of a Fast Mobility Particle Sizer and a Scanning Mobility Particle Sizer Incorporating an Ultrafine Water-Based Condensation Particle Counter. Aerosol Sci. & Tech., 43: 364- 373.

Johansson, C., Norman, M., Burman, L. (2009) Road traffic emission factors for heavy metals, Atmos. Environ., 43:4681-4688

Josephson, J. (1984). Polynuclear Aromatic Hydrocarbon. Environ. Sci. Technol. 18:93A-95A.

Karcher, W. (1983). Reference Materials for the Analysis of Polycyclic Aromatic Compounds Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Marcel Dekker, Inc.

Kemp, K. (2002). Trends and sources for heavy metals in urban atmosphere. Methods Phys. Res., 189(B):227-232.

Kenny, L. C., Merrifield, T., Mark, D.; Gussman, R. and Thorpe, A. (2004). The Development and Designation Testing of a New U.S. Environmental Protection Agency-Approved Fine Particle Inlet: a Study of the U.S. Environmental Protection Agency Designation Process, Aerosol Sci. Technol., 38 (Suppl. 2), 15-22.

Khlystov, A., Stanier, C., and Pandis, S. N. (2004). An algorithm for combining electrical mobility and a erodynamic size distributions data when measuring ambient aerosol, Aerosol Sci. Technol., 38(S1):229-238.

Kim E., Hopke P. K., and Edgerton E. S. (2004). Improving Source Identification of Atlanta Aerosol Using Temperature Resolved Carbon Fractions in Positive Matrix Factorization., Atmos. Environ., 38: 3349-3362.

Kim, S. C., Harrington, M. S. and Pui, D. Y. H. (2007), Experimental study of nanoparticles penetration through commercial filter. J. Nanopart. Res, 9:117-125.

Klems, J. P., Pennington, M. R., Zordan, C. A., Johnston, M. V. (2010). Ultrafine particles near a roadway intersection: Origin and changes in concentration, Environ. Sci. Technol., 44: 7903–7907.

Klems, J. P., Pennington, M. R., Zordan, C. A., McFadden, L. and Johnston, M. V. (2011). Apportionment of Motor Vehicle Emissions from Fast Changes in Number Concentration and Chemical Composition of Ultrafine Particles Near a Roadway Intersection, Environ. Sci. Technol., 45:5637-5643

Koch, J., Gunther, D., 2011, Review of the State-of-the-Art of Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Appl. Spectrosc., 65, 155-162.

Kodavanti, U. P., Hauser, R., Christiani, D. C., Meng, Z. H., McGee, J., Ledbetter, A., Richards, J., and Costa, D. L. (1998). Pulmonary responses to oil fly ash particles in the rat differ by virtue of their specific soluble metals. Toxicol. Sci.,

43(2):204-212.

Koylu, U. O., Faeth, G. M., Farias,T. L., and Carvalho, M. G. (1995). Fractal and Projected Structure Properties of Soot Aggregates, Comb. Flame 100:621– 633.

Ku, B. K., Emery, M. S., Maynard, A. D., Stolzenburg, M. R., and McMurry, P. H. (2006). In situ structure characterization of airborne carbon nanofibers by a tandem mobility-mass, analysis. Nanotechol., 17:3613-3621.

Laskin, S., Kuschner, M. and Drew, R.T. (1970). Studies in Pulmonary Carcinogenesis, in Inhalation Carcinogenesis. US Atomic Energy Commission p. 321.

Lenggoro, I.H., Widiyandari, H., Christopher J. Hogan Jr., Biswas, P., Okuyama, K. (2007) Colloidal nanoparticle analysis by nanoelectrospray size spectrometry with a heated flow, Analytica Chimical Acta, 585:193–201

Li, C.T., Lee, W.J., Wu, C.H., Wang, Y.T. (1995a). PAH Emission from Waste Ion-exchange Resin Incineration.Science of the Total Environment, 155:253-266.

Li, C.T., Lee, W.J., Mi, H.H., Su, C.C. (1995b). PAH emission from the incineration of waste oily sludge and PE plastic mixtures. Science of the Total Environment, 170(3):171-183.

Li, N., Sioutas, C., Cho, A., Schmitz, D., Misra, C., Sempf, J., Wang, M.Y., T., O., Froines, J., Nel, A. (2003). Ultrafine Particulate Pollutantsinduce oxidative stress and mitochondrial damage. Environmental Health Perspectives 111, 455-460.

Lin, C.C., Chen, S.J., Huang, K.L., 2005, Characteristics of metals in nano /ultrafine /fine /coarse particles collected beside a heavily trafficked road, Environ. Sci. Technol., 21, 8113-8122.

Lin, C.C., Chen, S.J., Huang, K.L. (2005) Characteristics of metals in nano /ultrafine /fine /coarse particles collected beside a heavily trafficked road, Environ. Sci. Technol., 21:8113-8122

Lin, P., Chen, J.W., Chang, L.W., Wu, J.P., Redding, L., Chang, H., Yeh, T.K., Yang, C.S, Tsai, M.H., Wang, H.J., Kuo, Y.C. and Yang, R.S.H. (2008). Computational and Ultrastructural Toxicology of a Nanoparticle, Quantum Dot 705, in Mice. Environ. Sci. Technol., 42:6264-6270.

Liu, C. N., Chen, S. C., Tsai, C. J. (2011) A Novel Multifilter PM10–PM2.5 Sampler (MFPPS), Aerosol Sci. Technol. 45(12)1480-1487

Lonati, G., Crippa, M., Gianelle, V., Dingenen, R. V. (2011). Daily patterns of the multi-modal structure of the particle number size distribution in Milan, Italy, Atoms. Environ., 45:2434–2442.

Lopez, J. M., Callen, M. S., Murillo, R., Garcia, T., Navarro, M. V., de la Cruz, M. T., and Mastral, A. M. (2005). Levels of selected metals in ambient air PM10 in an urban site of Zaragoza (Spain). Environ. Res., 99:58-67.

Mahowald, N. M. et al. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry, Atmos. Chem. Phys., 10:10875–10893.

Mamakos, A., Ntziachristos, L., and Samaras, Z. (2006). Evaluation of the Dekati Mass Monitor for the Measurement of Exhaust Particle Mass Emissions. Environ. Sci. Technol., 40:4739-4745.

Mandelbrot, B. (1982). The Fractal Geometry of Nature, San Francisco, Freeman.

Manoli E., Voutsa D., Samara C. (2002). Chemical characterization and source identification/ apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki., Atmos. Environ., 36: 949-961.

Marazzan G. M., Vaccaro S., Valli G. And Vecchi R. (2001). Characterization of PM10 and PM2.5 particulate matter in theambient air of Milan (Italy)., Atmos. Eviron., 35: 4639-4650.

McMurry, P. H., Wang, X., Park, K., and Ehara, K. (2002). The relationship between mass and mobility for atmospheric particles-A new technique for measuring particle density. Aerosol Sci. Technol., 36:227-238.

Menzie, C.A., Potocki, B.B., Santodonato, J. (1992). Exposure to Carcinogenic PAHs in the Environment. Environ. Sci. Technol., 26(2):1278-1284.

Monaci F., Moni F., Lanciotti E., Grechi D., Bargagli R. (2000). Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead., Environ. Pollut., 107: 321-327.

Mordas, G., Manninen, H. E., Petaja, T., Aalto, P. P., Hameri, K., Kulmala, M. (2008). On operation of the ultra-fine water-based CPC TSI 3786 and comparison with other TSI models (TSI 3776, TSI 3772, TSI 3025, TSI 3010, TSI 3007), Aerosol Sci. Technol., 42: 152–158.

Nadon, L. and Siemiatycki, J. (1995). Cancer Risk Due to Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). AMA Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine 28: 303-324.

Nel, A., Xia, T., Madler, L., Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. Science, 311:622-627.

NIOSH (2005) Draft current intelligence bulletin evaluation of health hazard and recommendations for occupational exposure to titanium dioxide. (http://www.cdc.gov/niosh/review/public/TIo2/default.html)

NIOSH (2009a). Strategic plan for NIOSH nanotechnology research and guidance: Filling the knowledge gaps. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2009.

NIOSH (2009b). Approaches to safe nanotechnology: Managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, March 2009.

NIOSH (2010). Current intelligence bulletin of occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2010.

Niu, J., Rasmussen, P.E., Hassan, N.M., Vincent, R. (2010) Concentration distribution and bioaccessibility of trace elements in nano and fine urban airborne particulate matter: influence of particle size, Water Air Soil Pollut, 213, 211-225

Nriagu, J. O., and Pacyna, J. M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, Nature, 3:134-139.

Oberdörster, G., Oberdörster, E., and Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: An

emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. Environ. Health Perspect, 113:823–839

OECD, 2010, Report of the questionnaire on regulatory regimes for manufactured nanomaterials. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 2010.

OECD (2011). Report on fostering nanotechnology to address global challenges: Water.

Oh C, Sorensen CM (1997) The effect of overlap between monomers on the determination of fractal cluster morphology. J Colloid Interface Sci 193:17–25.

Otani Y., Eryu K., Furuuchi M., Tajima N. and Tekasakul P. (2007). Inertial Classification of Nanoparticles with Fibrous Filters, Aerosol and Air Quality Research, Vol. 7, No. 3, pp. 343-352.

Paatero P. (1997). Least squares formulation of robust nonnegative factor analysis., Chemometr. Intell. Lab., 38: 223-242.

Paatero P., and Tapper U. (1994). Positive matrix factorization : a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values., Environ., 5: 111-126.

Paatero P., Hopke P. K., Begum B. A., and Biswas S. W. (2005) A graphical diagnostic method for assessing the rotation in factor analytical models of atmospheric pollution. Atmos. Environ., 39:193-201.

Pacyna, E.G., Pacyna, J.M., Fudala, J., Strzelecka-Jastrzab, E., Hlawiczka, S., Panasiuk, D., Nitter, S., Pregger, T., Pfeiffer, H., Friedrich, R. (2007) Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe, Atmos. Environ., 41, 8557-8566

Pacyna, J. M. (1986). Atmospheric Trace Elements from Natural and Anthropogenic Sources, in Nriagu, In Nriagu, J.O., Davidson, C.I. (Eds.): Toxic Metals in the Atmosphere. Wiley, New York.

Pak, S. S., Liu, B. Y. H., and Rubow, K. L. (1992). Effect of coating thickness on particle bounce in inertial impactors. Aerosol Sci.Technol., 16:141-150.

Pankow, J. F. (1994). An absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere. Atmos. Environ., 28:185-188.

Park, K., Cao, F., Kittelson, D. B., and Mcmurry, P. H. (2003). Relationship between particle mass and mobility for diesel exhaust particle, Environ. Sci. Technol., 37:577-583.

Park, K., Kittelson, D. B., and Mcmurry, P. H. (2004). Structural properties of diesel exhaust particle measured by transmission electron microscopy (TEM): Relationships to particle mass and mobility. Aerosol Sci.Technol., 38:881-889.

Park, K., Kittelson, D. B., Zachariah, M. R., and McMurry, P. H. (2004). Measurement of Inherent Material Density of Nanoparticle Agglomerates, J. Nanoparticle Res. 6:267–272.

PCAST (2010). Report to the president and congress on the third assessment of the national nanotechnology initiative. Executive Office of the President President's Council of Advisors on Science and Technology. March 12, 2010.

PEN 網站, The Project on Environmental Nanotechnologies,

http://www.nanotechproject.org/. Accessed Dec. 20, 2010.

Perdian, D.C., Bajic, S.J., Baldwin, D.P., Houk, R.S. (2008). Time-resolved studies of particle effects in laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry:Part1. Investigation of nanosecond and femtosecond pulse width lasers and devices for particle size selection, J. Anal. At. Spectrom.,23, 325-335.

Peters, A.J., Lane, D.A., Gundel, L.A., Northcott, G.L. and Jones, K.C.A. (2000). Comparison of high volume and diffusion denuder samplers for measuring semivolatile organic compounds in the atmosphere. Environ. Sci. Technol., 34:5001-5006.

Pierce, R.C. and Katz, M. (1975). Dependency of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Content on Size Distribution of Atmospheric Aerosol. Environmental Science & Technology 9: 347–354.

Pisonero, J., Fernandez, B., Gunther, D., 2009, Critical revision of GD-MS, LA-ICP-MS and SIMS as inorganic mass spectrometric techniques for direct solid analysis, J. Anal. At. Spectrom.,24, 1145-1160.

Pritchard, R. J., Ghio, A. J., Lehmann, J. R., Winsett, D. W., Tepper, J. S., Park, P., Gilmour, M. I., Dreher, K. L., and Costa, D. L. (1996). Oxidant generation and lung injury after particulate air pollutant exposure increase with the concentrations of associated metals. Inhal. Toxicol., 8:457-477.

Possanzini, M., Febo, A., Liberti, A. (1983). New design of a high-performance denuder for the sampling of atmospheric pollutants. Atmospheric Environment (1967) 17, 2605-2610

Possanzini M., Palo V.D., Gigliucci P., Sciano M.C.T. and Cecinato A. (2004). Determination of phase-distributed PAH in Rome ambient air denuder/GC-MSmethod. Atmospheric Environment, Vol. 38,1727-1734.

Puxbaum, H., Gomiscek, B., Kalina, M., Bauer, H., Salam, A., Stopper, S., Preining, O., and Hauck, H. (2004). A dual site study of PM2.5 and PM10 aerosol chemistry in the larger region of Vienna, Austria. Atmos. Environ., 38:3949-3958.

Ramadan Z., Song X. H., and Hopke P. K. (2000). Identification of sources of Phoenixaerosol by positive matrix factorization., Atmos. Environ., 34: 3319-3329.

Rathore, H.S. (1991). Handbook of Chromatography- Liquid Chromatography of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, CRC Press, Section 1, p. 1-19.

Research Triangle Institute. (2008). Standard operating procedure for coating annular denuders with XAD-4 resin, in: Division, E.a.I.S. (Ed.), 2 ed. Research Triangle Institute.

Rogak, S. N., and Flagan, R. C. (1993). The Mobility and Structure of Aerosol Agglomerates, Aerosol Sci. Technol. 18:25–47.

Saetveit, N.J., Bajic, S.J., Baldwin, D.P., Houk, R.S. (2008). Influence of particle size on fractionation with nanosecond and femtosecond laser ablation in brass by online differential mobility analysis and inductively coupled plasma-mass spectrometry, J. Anal. At. Spectrom., 23, 54-61.

Sardar, S. B., Fine, P. M., Mayo, P. R., and Sioutas, C. (2005). Size-Fractionated measurements of ambient ultrafine particle formation during diesel exhaust

dilution, Environ. Sci. Technol., 39:932-944.

Schwab, J. J., Felton, H. D., Rattigan, O. V. and Demerjian, K. L. (2006). New York State Urban and Rural Measurements of Continuous $PM_{2.5}$ Mass by FDMS, TEOM, and BAM, J. Air & Waste Manage. Assoc., 56: 372-383.

Sekiguchi, K., Kim, K.H., Kudo, S., Sakamoto, K., Otani, Y., Seto, T., Furuuchi, M.Y., F., Ehara, K., Hirasawa, M., Tajima, N., Kato, T., 2009. Evaluation of multichannel annular denuders for a newly developed ultrafine particle sampling system. Aerosol and Air Quality Research 9, 50-64.

Shen, S., Jaques, P. A., Zhu, Y., Geller, M. D., and Sioutas, C. (2002). Evaluation of the SMPS-APS system as a continuous monitor for measuring $PM_{2.5}$, PM_{10} and coarse ($PM_{2.5-10}$) concentration. Atmos. Environ., 36:3939-3950.

Shi, J. P. and Harrison, R. M. (1999). Investigation of Ultrafine Particle Formation During Diesel Exhaust Dilution. Environ. Sci. Technol. 33: 3730-3736.

Shin, S. E., Jung, C. H., Kim, Y. P. (2011) Analysis of the Measurement Difference for the PM_{10} Concentrations between Beta-ray Absorption and Gravimetric Methods at Gosan, Aerosol and Air Quality Research,in press.

Shin, W. G., Mulholland, G. W., Kim, S. C., Wang, J., Emery, M. S. and Pui, D. Y. H. (2009). Friction coefficient and mass of silver agglomerates in the transition regime. Aerosol Sci. & Tech., 40: 573- 587.

Shin, W. G., Mulholland, G. W. and Pui, D. Y. H. (2010). Determination of volume, scaling exponents, and particle alignment of nanoparticle agglomerates using tandem differential mobility analyzers. J. Aerosol Sci., 41: 665- 681.

Singh, N., Pandey, V., Misra, J., Yunus, M., and Ahmad, K. J. (1997). Atmospheric lead pollution from vehicularemissions-measurements in plants, soil and milk samples, Environ. Monit. Assess., 45:9-19.

Singh, M., Jaques, P. A., and Sioutas, C. (2002). Size distribution and diurnal characteristics of particle-bound metals in source and receptor sites of the Los Angeles Basin . Atmos. Environ., 36:1675-1689.

Sioutas C., Kim S., and Chang M. C. (1999a). Development and evaluation of a prototype ultrafine particle concentrator. J. Aerosol Sci., 30:1001-1017.

Song, X.H.; Faber, N.M.; Hopke, P.K.; Seuss, D.T.; Prather, K.A.; Schauer, J.J. Cass, G.R. (2001). Source Apportionment of Gasoline and Diesel by Multivariate Calibration Based on Single Particle Mass Spectral Data, Anal. Chim. Acta., 446: 327-343.

Spencer, M. T., and Prather, K. A. (2007). Measurements of the density of atmospheric aerosols. Environ. Sci. Technol., 41:1303-1309.

Spurny, K. R. (1998). On the physics, chemistry and toxicology of ultrafine anthropogenic, atmospheric aerosols (UAAA): new advances. Toxicol. Lett., 96:253–261.

Stanier, C. O., Khlystov, A., Chan, W. R., Mulia, M., and Pandis, S. N. (2004). A method for the in situ measurement of fine aerosol water content of ambient aerosol: The dry-ambient aerosol size spectrometer (DAASS), Aerosol Sci. Technol., 38(S1):215-228.

Stein, S. W.; Turpin, B. J.; Cai, X.; Huang, P.; McMurry, P. H. (1994). Measurements of relative humidity-dependent bounce and density for

atmospheric particles using the DMA-impactor technique, Atmos. Environ., 28, 1739-1746.

Subramanian, R. Khlystov, A. Y., Cabada J. C., and Robinson, A. L. (2004). Positive and Negative Artifacts in Particulate Organic Carbon Measurements with Denuded and Undenuded Sampler Configurations. Aerosol Sci. Technol., 38(S1):27-48.

Sun, G., Crissman, K., Norwood, J., Richards, J., Slade, R., and Hatch, G. E. (2001). Oxidative interactions of synthetic lung epithelial lining fluid with metal-containing particulate matter. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol., 281:L807-L815.

Sun, Y., Zhuang, G., Wang, Y., Han, L., Guo, J., Dan, M., Zhang, W., Wang, Z., and Hao, Z. (2004). The air-borne particulate pollution in Beijing—concentration, composition, distribution and sources. Atmos. Environ., 38:5991-6004.

Sweet, C.W. and Vermette, S.J. (1993). Source of Toxic Elements in Urban Air in Illinois. Environmental Science & Technology 27: 2502–2510.

Tajima, N., Fukushima, N., Ehara, K. and Sakurai, H. (2011). Mass Range and Optimized Operation of the Aerosol Particle Mass Analyzer. Aerosol Sci. & Tech., 45: 196-214.

Tanaka, S., Yasushi, N., Sato, N., Fukasawa, T., Santosa, S.J., Yamanaka, K., Ootoshi, T. (1998). Rapid and simultaneous multi-element analysis of atmospheric particulate matter using inductively coupled plasma mass spectrometry with laser ablation sample intriduction, J. Anal. At. Spectrom.,13, 135-140.

Tayler, S.R. (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table, Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1273-1285

Temime-Roussel, B., Monod, A., Massiani, C., Wortham, H. (2004a). Evaluation of an annular denuder for atmospheric PAH partitioning studies--2: evaluation of mass and number particle losses. Atmospheric Environment 38, 1925-1932.

Temime-Roussel, B., Monod, A., Massiani, C., Wortham, H. (2004b). Evaluation of an annular denuder tubes for atmospheric PAH partitioning studies-1: evaluation of the trapping efficiency of gaseous PAHS. Atmospheric Environment 38, 1913-1924.

Thomaidis, N. S., Bakeas, E. B., and Siskos, P. A. (2003). Characterization of lead, cadmium, arsenic and nickel in PM2.5 particles in the Athens atmosphere, Greece. Chemosphere., 52:959-966.

Thomas, V. M., Socolow, R. H., Fanelli, J. J., and Spiro, T. G. (1999). Effects of reducing lead in gasoline: An analysis of the international experience. Environ. Sci. Technol., 33:3942-3948.

Trenholm, A. R., Beck, L. L. (1978). Assessment of Hazardous Organic Emission from Slot-type Coke Oven Batteries. Internal EPA Report, Durham, N.C..

Tsai, C. J. and David Y. H. Pui, 2009, Recent Advances and New challenges of Occupational and Environmental Health of Nanotechnology, Journal of Nanoparticle Research, Vol. 11, pp. 1-4. (SCI, Jan)

USEPA, (1987). Locating and Estimating Air Emission from Sources of Polycyclic Organic Matter (POM). EPA-45014-84-007

USEPA (2007). Nanotechnology White Paper, EPA 100/B-07/001,

http://www.epa.gov/ord/lrp/pdfs/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf

Vaeck, V.L, Broddin, G. and Cauwenberghe, V.K. (1979). Differences in Particle Size Distributions of Major Pollutants in Ambient Aerosols in Urban, Rural, and Seashore Areas. Environmental Science & Technology 13: 1494–1502.

Var, F., Narita, Y., and Tanaka, S. (2000). The concentration, trend and seasonal variation of metals in the atmosphere in 16 Japanese cities shown by the results of National Air Surveillance Network (NASN) from 1974 to 1996. Atmos. Environ., 34:2755-2770.

Vasiliou, J.G., Sorensen, D., and McMurry, P. H. (1999). Sampling at controlled relative humidity with a cascade impactor. Atmos. Environ., 33:1049-1056

Wang, Y. F., Huang, K. L., Li, C. T., Mi, H. H., Luo, J. H., and Tsai, P. J. (2003). Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine. Atmos. Environ., 37:4637-4643.

Watson J.G., (1979). Chemical Elemental Balance Receptor Model Methodology for Assessing the Sources of Fine and Total Suspended Particle Matter in Portland, Oregon., Doctor of Philosophy Dissertation, Oregon Graduate Center, Beaverton, Oregon.

Watson J.G., Chow J. C., Chen A. (2005). Summary of Organic and Elemental Carbon/Black Carbon Analysis Methods and Intercomparasions., Aerosol Air Qual. Res., 5: 65-102.

Watson, J. G., Chow, J. C., Bowen, J. L., Lowenthal, D. H., Hering, S., Ouchida, P. and Oslund, W. (2000). Air Quality Measurements from the Fresno Supersite, J. Air & Waste Manage. Assoc., 50: 1321-1334.

Wang, Y. F., Huang, K. L., Li, C. T., Mi, H. H., Luo, J. H., and Tsai, P. J. (2003). Emissions of fuel metals content from a diesel vehicle engine. Atmos. Environ., 37:4637-4643.

Weckwerth G. (2001). Verification of traffic emitted aerosol components in the ambient air of Cologne (Germany)., Atmos. Environ., 35: 5525-5536.

Weon, G.S., Wang, J., Mertler, M., Sachweh, B., Fissan, H. and Pui, D. Y. H., (2009), Structural properties of silver nanoparticle agglomerates based on transmission electron microscopy: relationship to particle mobility analysis. J. Nanopart Res, 11:163-173.

Wey, M. Y., Shi, J. L. (1997). Effect of Pressure Fluctuations on PAHs Emission and Combustion Efficiency during Incineration. Toxicological and Environmental Chemistry, 61(1-4):83-98.

Xia, T., Kovochich, M., Brant, J., Hotze, M., Sempf, J., Oberley, T., Sioutas, C., Yeh, J. I., Wiesner, M. R., Nel, A. E., 2006. Comparison of the abilities of ambient and manufactured nanoparticles to induce cellular toxicity according to an oxidative stress paradigm. Nano Lett., 6 (8), 1794-1807.

Xie Y.L., Hopke P.K.,Paatero P., Barrie L.A., and Li S.M. (1999). Identification of source nature and seasonal variations of Arctic aerosol by the multilinear engine.," Atmos. Environ., 33: 2549-2562.

Ye, Y., Tsai, C.J., Pui, D.Y.H., Lewis, C.W., 1991. Particle transmission characteristics of an annular denuder ambient sampling system. Aerosol

Science and Technology 14: 102-111.

Yi, H. H., Hao, J. M., Duan, L., Li, X. H., and Guo, X. M. (2006). Characteristics of Inhalable Particulate Matter Concentration and Size Distribution From Power Plants in China. J. Air Waste Manage. Assoc. 56: 1243-1251.

Zandere, M. (1985). Physical and Chemical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Marcel Dekker, Inc..

Zielinska, B., Sagebiel, J., Arnott, W. P., Rogers, C. F., Kelly, K. E., Wagner, D. A., Lighty, J. S., Sarofim, A. F., Palmer, G. (2004). Phase and Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diesel and Gasoline Vehicle Emissions. Environmental Science & Technology, 38:2557-2567.

工研院環安中心，行政院環境保護署「推動付責任的奈米科技研發及生產環境」計畫期末報告，民國 94 年。

王富民，「利用 CMB 與 PMF 模式針對不同共線性程度之污染源的分析與比較」，碩士論文，國立中興大學環境工程研究所。

國立清華大學，行政院環境保護署「大氣中奈米微粒濃度監測與成分分析」計畫期末報告，民國 96 年。

李崇德，98 年度 「98 年度北部微粒超級監測站操作品保及數據分析計畫」，期末報告，EPA-98-FA11-03-A016，民國 98 年。

吳義林，98 年度 「98 年度南部微粒超級監測站品保及數據分析計畫」，期末報告，EPA-98-FA11-03-A018，民國 98 年。

莊茂隆 (1995)，石化工業區及交通污染源區之多環芳香烴化合物的濃度特徵與粒徑分佈，國立成功大學環境工程學系碩士論文。

蔡春進，96 年度「開發環境中奈米物質量測及特性分析技術」，期末報告，EPA-96-U1U1-02-104，民國 96 年。

蔡春進，97 年度 「環境中奈米物質量測及特性分析技術」，期末報告，EPA-97-U1U1-02-106，民國 97 年。

蔡春進，98 年度 「環境中奈米物質量測及特性分析技術開發」，期末報告，EPA-98-U1U1-02-103，民國 98 年。

蔡春進，99 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」，期末報告，EPA-99-U1U1-02-105，民國99-1年。

蔡春進，99年度「環境中奈米物質量測、特性分析及及時毒性測試平台技術開發」，期末報告，EPA-99-U1U1-02-103，民國99-2年。

蔡宏杰，「受體模式PMF解析中部地區揚塵來源之共線性」，碩士論文，國立中興大學環境工程研究所。

康曉偉、張逸、張曉山、李玉平 (2007)，環形擴散採樣管採集環境空氣中氣態多環芳香烴的方法，環境化學，2007，26 (2)：236-240。

潘盈潔 (2005)，大比較三種 XAD 微孔介質大氣 PAHs 田野採樣吸附效能之研究，雲林科技大學環境與安全衛生工程學系碩士論文。

附錄

附錄一　評選審查委員意見回覆

會議名稱：100 年度「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」計畫評選會議

會議記錄

一、 時間：中華民國 100 年 4 月 11 日（星期一）下午 2 時 00 分

二、 地點：本所一樓 M110 會議室

三、 主席： 凌教授永健　　紀錄：陳重方

四、 出（列）席單位及人員：

清華大學　凌教授永健（公推會議主席）

環保署永續發展室　劉執行秘書宗勇

中央大學　王教授家麟

本所蘇主任秘書國澤

本所巫組長月春

工作小組　陳重方、程惠生、蘇育德、康玉珍

投標單位　交通大學　蔡教授春進、楊副教授錫賢、許世傑博士

五、 主席致詞：(略)

六、 工作小組報告：

（一） 受評廠商於各評選項目所報內容均符合招標文件規定。

（二） 受評廠商於各評選項目之差異性：僅一家廠商投標，無法評議與其他廠商之差異性。

七、 投標廠商簡報：(略)

八、 評選委員審查意見：(如書面回覆表)

九、 評選結果：出席委員審查結果，交通大學總點數 5 點，全數委員並給予 70 分以上及格分數，取得議價權。

十、 散會：下午 4 時 00 分。

委員意見回覆對照表

委員意見	廠商意見回覆
委員一意見 1. $PM_{2.5}$為國內關心的議題，本計畫額外進行化學成分，若能就比對PM_{10}、$PM_{2.5}$、$PM_{0.1}$之質量分布及化學成分關係，有助於釐清$PM_{2.5}$在國內之現況。 2. 以 LA-ICP-MS 和消化-ICP-MS 分析濾紙上奈米微粒，比對濃度結果之外，建議可先以 SEM-EDAX 了解大概分布情形，以協助了解 LA-ICP-MS sampling 的不確定度，對分析結果差異之影響。以 GC-MS 分析 PAHs，去年遭遇低於偵測極限問題，本年度擬以擴大收集粒徑範圍因應，建議從 MDL 及一般背景濃度估算所需粒子數量，若仍是不足，可能須延長採樣時間或採用更靈敏之分析方法。	委員一意見回覆 1. 謝謝委員的肯定，本團隊將全力以赴。 2. 將遵照委員意見，選擇部份標本進行 SEM-EDX 分析。本年度 PAHs 奈米微粒採樣會參考委員意見，先以 MDL 及一般背景濃度估算所需的量，並以加長採樣時間方式來確保樣品在 GC-MS 分析所遭遇到低於偵測極限問題。
委員二意見 1. 建議經過此一研究計畫，評估訂定環境奈米物質採樣、檢測標準作業程序或規範之可能性。 2. 測站位置有所不同，請再確認，並提出說明。	委員二意見回覆 1. 同意委員意見，本團隊將朝向訂定標準化作業程序為目標，目前已建立部份環境奈米物質採樣分析規範。 2. 將會再與環檢所確認採樣的測站位置。
委員三意見 1. 將 LA-ICP-MS 的數據如何取得其代表性作完整的驗證，使得未來能夠脫離 ICP-MS 樣品需化學消化的程序。	委員三意見回覆 1. 感謝委員意見，這正是本計劃之目的，主要方法有二，一將找出最佳雷射條件及標本剝蝕次數，二為將與傳統消化後分析結果比較，以得到代表性數據。

委員意見	廠商意見回覆
2. LA-ICP-MS 的內標應以同位素稀釋法為之。	2. 本計劃將使用之 ICP-MS 為四極柱 ICP-MS，非高解析 ICP-MS，故無法使用同位素稀釋法進行，但本研究仍提出多種驗證方法，以確保數據品質及代表性。
3. 即時毒性測試部分在計畫中欠缺描述，應進一步說明是否在工作目標中。	3. 本計畫開發奈米微粒的產生及物理化學特性分析技術，建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產生、監測、檢測及化學分析平台，作為將來毒性測試之用，今年度已另有其他計畫執行毒性測試研究。
4. 此一計畫為延續性的多年計畫，建議依年度列出當年度的重要成果，利於瞭解計畫的走向。	4. 將遵照委員意見辦理。
委員四意見	委員四意見回覆
1. 如何確定奈米微粒採樣之正確性？可能之干擾因素為何？如何克服？	1. 本研究過去已針對奈米微粒採樣的正確性進行研究，目前最主要的干擾因素為微粒彈跳問題，解決方法為在衝擊基質上塗敷矽黃油或控制入口濕度來減少彈跳。
2. 奈米微粒有團聚現象，在不同條件下，其團聚率為何？如何確定？	2. 本研究將在實驗室以 MOUDI 及 ESP 採集工程奈米微粒並觀察及比較其形貌，
3. 服務建議書內未見〝即時毒性測試〞及〝開發符合國際規範之奈米微粒質量分析績效評估樣品〞如何執行？	3. 將遵照委員意見補充於計畫書中。
4. 簡報中提及〝機車排氣採樣〞，其方法為何？如何確認其正確性？	4. 機車排氣採樣方法為以稀釋管將機車尾氣導入稀釋管進行稀釋後，後端連接本計畫所建置之 PAHs 奈米微粒採樣系統進行採樣。本計畫規劃機車排氣採樣之目的乃為了在短

委員意見	廠商意見回覆
	時間內收集到大量的奈米微粒，用以測試本計畫所建置之 PAHs 奈米微粒採樣系統的效能，此簡易之稀釋方式無法精準定量機車排放之奈米 PAHs 排放量。本計畫經其他委員建議，將參考委員意見，先以 MDL 估算所需採集樣品的量，以加長採樣時間方式來確保採集足夠的分析樣品，不再執行機車排氣採樣。
委員五意見	委員五意見回覆
1. 以 MOUDI 採樣時濕度控制方式為何？建議補充敘明。	1. 將遵照委員意見補充於計畫書中。
2. 有關符合國際規範之奈米微粒質量分析績效樣品一節，對於績效樣品之均勻度及穩定性如何評估？建議參考國際或 ISO 之規範，建立評估之程序及評估之合格範圍。	2. 將遵照委員意見補充於計畫書中。
3. 濾紙調理環境三者（PAH、元素及質量）建議一致，對於測定微粒成分分析之實驗室環境是否需進一步控制（Lab blank 是否過高）。	3. 本計畫 PAHs 與元素及質量分析分別在不同單位執行，會遵照委員意見全部採用相同的濾紙調理環境。
4. P.57 以 XAD-4 或 XAD-16 進行採樣，微粒會不會在 XAD-4 或 XAD-16 吸附？另外採樣後 XAD-4 或 XAD-16 之萃取回收率如何？	4. 理論上粒徑愈小的微粒愈容易因擴散作用而撞擊到塗敷在 denuder 管壁之 XAD 樹脂而損失。目前國內外沒有文獻探討使用 denuder 塗敷 XAD-04 與 XAD-16 樹脂吸附微粒的問題，為釐清此問題，本計畫將使用兩台 MOUDI，其中一台上端加裝 denuder 並塗敷 XAD 樹脂，另一台不加裝 denuder 進行同步採樣，比對兩台 MOUDI 所採集微粒的濃度，即可瞭解 XAD 樹脂對微粒的吸附效應。 國內目前並無公告以 denuder 採集 PAHs 的標準方法，本計畫使用之

委員意見	廠商意見回覆
	denuder 塗敷 XAD 及採樣後之樣品萃取方式主要參照美國環保署公告之”Standard Operating Procedure for Coating Annular Denuder with XAD-4 Resin”及其他文獻進行，這些文獻沒有提供萃取回收率數據，本計畫會持續蒐集相關文獻，瞭解此方法的萃取回收率。
5. P.50 IC 分析離子成分之程序建議補充敘明。	5. 將遵照委員意見補充在計畫書中。
6. P.55、P.61 建議管制 MDL 取代 IDL。	6. 將遵照辦理，將使用 MDL 管制。
7. P.53 In 為內標，是否可以其他元素作內標（In 可能為高科技業之排放元素）	7. 將試著改採用 Rh。
委員六意見	委員六意見回覆
1. P.54 中所述將評估以其他土壤、沈積物及飛灰標準品取代SRM1648之可能性，想請教評估基準或方式為何？建議可以再敘明。	1. 這些標準品都提供了許多元素之確認濃度，因此清楚計算出準確度，以作為評估基準。
2. P.63 中 3.2.1 奈米微粒產生及監測檢測系統中有提及產生 ISO 10801 建議的奈米銀微粒，不知 ISO 10801 的相關規範為何？建議可以再敘明。	2. ISO 10801 中規範產生微粒的特性(如: NMD)與需被分析的參數(如微粒形貌)，已詳細敘述於計畫書中。

附錄二　期中審查意見回覆

會議名稱：100 年度「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」期中報告審查會議紀錄

一、 時間：中華民國 100 年 8 月 31 日（星期三）上午 9 時 30 分

二、 地點：本所二樓 M210 會議室

三、 主席： 阮所長國棟　　紀錄：陳重方

四、 出（列）席單位及人員：

中央大學　王教授家麟

本所顏副所長春蘭

本所蘇主任秘書國澤

本所巫組長月春

清華大學　凌教授永健（提列書面意見）

環保署永續發展室　劉執行秘書宗勇（提列書面意見）

工作小組　陳重方、潘詮泰

報告單位　交通大學　蔡教授春進、楊教授錫賢、許世傑博士

五、 主席致詞：(略)

六、 工作小組報告：(略)

七、 報告單位簡報：(略)

八、 結論：本期中報告經委員審查通過，請依契約書規定辦理撥款事宜。

九、 散會：上午 11 時 00 分。

委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
凌委員永健 1. 37 頁，$PM_{2.5}$、$PM_{2.5-10}$、PM_{10} 請定義清楚，避免文中混用。…詳細採樣規劃已於本服務建議書…，請修訂。	1. 謝謝委員意見，一般在空氣品質監測上，都是使用 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 等名詞，但在分析各多階衝擊器或各種分徑式採樣器時多半會因儀器收集微粒的範圍而特

委員意見	意見回覆
	別使用 PMx-y 來描述粒徑範圍在 x-y (μm)內的微粒，在此文中特別指出 fine 及 coarse 是因為這是 dichot 的兩個頻道所採集的粒徑範圍。此外，…詳細採樣規劃已於本服務建議書…已更改為本期末報告，於文中第 37 頁修訂。
2. 49 頁，圖 3.8 中 PCA or PMF，文中多提到 PMF，請確認。	2. PMF 為比 PCA 更進階的運算方法，故本研究以 PMF 程式的計算為主。已於圖 3.8 處修改。
3. 50 頁，圖 3.9 現場儀器配置圖，宜為儀器示意圖。	3. 謝謝委員意見，已於期末報告中第 50 頁做修改。
4. 84 頁，表 4.2 內容粒徑和直徑用詞，請統一。	4. 謝謝委員意見，已於期末報告中第 84 頁做修改。
5. 49 頁、117 頁，新莊、中山、竹東測站，兩處在台北一處在新竹，與 43 頁預計在台北、新竹及台中選定三個空氣品質測站進行實測，略有變更，請說明。	5. 由於台中忠明測站因預計進行搬遷故本研究另外再尋找測站進行採樣，目前為新莊、中山及竹東測站，筆誤處已於期末報告中作修改。
6. 120-128 頁，三處測點之 MOUDI 質量分布圖，分為單峰和雙峰兩種，請說明原因。	6. 一般都會區典型交通排放的微粒粒徑分佈為雙峰分佈，只有在大氣傳輸大量微粒如沙塵時，才會造成其粒徑分佈改變為單峰分佈，但單峰分佈出現的次數其實非常少，屬於特例，詳細說明已於第 129 頁中加入。
7. NaP 幾乎占 PAHs 總濃度 95%，請確認。	7. 謝謝委員意見，將於期末報告中呈現與文獻比對的結果，確認數值合理性。
8. 建議彙整水溶性離子、金屬元素、及 PAHs，分別在 $PM0_{.1}$、$PM_{0.1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$、之分布於期末報告，以協助瞭解其來源和生成機制。	8. 謝謝委員建議，已將水溶性離子及金屬在三種 PM 之分佈放置於期末報告 4.3.4 節及附錄四之中。

委員意見	意見回覆
9. 142 頁，5 之三種 $PM_{2.5}$、PM_{10} 的測定比較，建議於期末報告時，做完整比較說明。	9.謝謝委員意見，已於期末報告(初稿)180 頁中加入可能造成誤差之原因探討。
10. 依合約內容完成工作內容，迄今進度多有超前，除 LA-ICP-MS 因待儀器修復，略有遲延。	10. LA-ICP-MS 之雷射剝蝕系統已回到台灣，目前正在進行調教，預計 9 月底前回實驗室，進度將在期末前趕上。
劉委員宗勇 1. 本計畫製備 LA-ICP-MS 所需之檢量線標準樣本，因雷射系統尚未修復（需送回美國原廠檢修），至達成率僅 30%，何時可修復？影響程度如何？有無其他因應辦法？	1. LA-ICP-MS 之雷射剝蝕系統已回到台灣，目前正在進行調教，預計 9 月底前回實驗室，屆時會將進度趕上。
2. 本研究採集的 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$，與中央大學 $PM_{2.5}$ 計畫及環保署空品測站的比對結果顯示，有相當差異，雖有推測其可能差異原因，惟可否進一步分析，或參考其他比對方法。	2.謝謝委員意見，關於和中央大學結果間之差異，目前回顧到有相同結果的文獻，且已加入文中。造成兩者誤差的詳細原因仍待後續研究做進一步的探討，目前推測是由採樣進口不同所造成。關於和測站間之差異，本研究已分析大氣 RH 及誤差間之關係和採樣結果在分徑器清潔前後之差異，推論應是由濕度及微粒彈跳造成之影響。
3. 本計畫奈米微粒質量分析，需注意符合國際之規範，與國際接軌，報告中請強化此一部分的內容與說明。	3. 謝謝委員意見，目前本研究的結果皆符合 ISO 標準規範。會於報告中強化此部份的內容與說明。
王委員家麟 1. $PM_{0.1}$ 與 O_3，CO 比較後，結果頗合理，CO 為一次污染物，O_3 為二次污染物，而 $PM_{0.1}$ 兼具兩者之特性。	1.同意委員意見。$PM_{0.1}$ 和 CO 同樣為交通源排放之汙染物，故會呈現相關性。而二次汙染物 O_3 是由氮氧化物經過光化學反應而得的衍生性汙染物，又氮氧化物同樣為交通汙染源排放，故三者會呈現相關性。
2. EPA 之 PM_{10}，$PM_{2.5}$ 測值偏高(約)40	2.監測儀器量測受濕度影響導致數值偏

委員意見	意見回覆
%，是否為全球普遍現象？是否為系統性的偏差，亦或為隨機性質？若為前者則校正解決的可行性如何？	高是全球普遍的現象，文中已加入了文獻做佐證。此誤差目前無法觀察出有明顯系統係偏差的情況，僅可觀察出誤差略有隨濕度增加而提高的趨勢，但相關係數(R^2)不高(PM_{10}: 0.42；$PM_{2.5}$: 0.69)，故要直接經由校正來解決偏差可行性並不高
顏委員春蘭 1. 執行進度請加速完成。	1.謝謝委員意見，目前本計畫中大部份的工作項目皆超前進度，落後LA-ICP-MS之部分會加速完成。
2. 奈米物質有其特殊之化性及物性，在研究開發檢測方法時更需要考慮基（介）質之環境影響，尤其台灣空氣偏潮濕，如何克服這方面干擾，建議多著墨。	2.謝謝委員意見，本研究已於去年環保署計畫中探討環境中相對濕度對MOUDI採樣結果之影響，且成果已發表於國際期刊 Aerosol Science and Technology。
3. 標準品之回收率能否完全反應環境背景干擾？	3.研究中所使用的標準品為美國 NIST SRM1648，此標準品是於都會區所採集的大氣懸浮微粒樣本，與本研究所採的樣本基質相同，且兩者的處理方法相同，應能反應環境背景之基質。
4. 報告所提 ISO 27891(2011)之 CPC 標準校正方法有否應用於本研究計畫中？	4.”奈米微粒監測檢測平台”與”國內環境中奈米物質之實際採樣及量測”中皆使用可正確量測粒徑與數目濃度的SMPS量測粒徑分佈。
蘇委員國澤 1. 使用 MOUDI 檢測，請列出各層（不同粒徑）所秤之質量。	1.謝謝委員意見，原始數據將已放在期末報告的附錄當中。

委員意見	意見回覆
2. PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 應以法規定義的值表示。	2. 目前本研究 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 質量濃度單位為 $\mu g/m^3$，與空品測站使用相同的單位。
3. 天平室間的差異，建請以相關性測試來克服。	3. 謝謝委員意見，目前濾紙秤重皆在交大環工所內進行，毋須考慮天平室間的差異。
巫委員月春 1. 各站與中央大學比對之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 所使用之 MOUDI 如何避免粒狀物彈跳問題？	1. 目前各測站與中央大學比對之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 所使用之 MOUDI 的基質皆為塗敷矽黃油之鋁箔，無彈跳問題。
2. LA-ICP-MS 故障其後續因應為何？使用底泥或 1648 標準品定量參考，但其粒徑是否為奈米？若否，其檢測結果如何評估？	2. LA-ICP-MS 之雷射剝蝕系統已回到台灣，目前正在進行調教，預計 9 月底前回實驗室，屆時會將進度趕上。若有需要也會考慮與國內其他學者尋求合作。目前使用之標準品 NIST SRM 1648 並非全為奈米顆粒，且在實際分析上並不會只針對單一顆粒或濾紙的一小部分，為了取得可信的結果，LA-ICP-MS 針對標準品及樣本的分析將會是大面積的掃描(數百次的剝蝕)，相信能有較好的分析結果。另外一方面，也將分析實際周界空氣奈米微粒樣本(MOUDI 採樣)，濾膜一半用以 LA-ICP-MS 分析，另一半用以傳統微波消化後 ICP-MS 分析，比較結果是否一致，即可驗證。
3. 本計畫需執行奈米微粒，目前均為 $PM_{2.5}$ 與 PM_{10}，後續是否規劃往奈米粒徑做？	3. 謝謝委員意見，已於 4.3.2 節中加入對奈米微粒($PM_{0.1}$)之探討。
4. 如何評估 PAH 檢測結果之準確度（品管樣品或內標準品）？P.138 顯示 NaP 幾乎達總量 95%以上，建議探討	4. 本計畫 PAHs 之分析遵照環檢所之標準方法，添加內標準品參考 NIEA A801.90C 進行分析，期末報告會完整敘

委員意見	意見回覆
成因。	述本計畫添加內標準品分析之檢測方法內容。另外，將遵照委員意見，於期末報告中探討 NaP 佔 PAHs 比例偏高之原因。
5. PAH 採樣 MOUDI 是否有避免彈跳（微粒彈跳）？	5.PAHs 採樣，粒徑大於 10 μm 使用鋁箔濾紙作為衝擊基質，並塗敷矽黃油以防止微粒彈跳，可大幅降低微粒彈跳所造成的誤差。但為了評估石英濾紙所造成所帶來的正向偏差，$PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$ 則並無塗敷矽黃油。
6. PAH 吸附可否增加 XAD-2 之吸附測試？	6.謝謝委員意見。本計畫主要目標在建立奈米微粒 PAHs 採樣系統，此系統期待能與國際上其他研究進行比對。文獻中幾乎都採用 XAD-4 為吸附介質，因此本年度計畫優先採用與大部分研究一樣的吸附劑。本年度由於計畫時間的限制，可能來不及進行 XAD-2 測試。
7. 離子成分分析部分，建議增列前處理程序，另檢量線製備最低點有低於 MDL 之現象。	7.謝謝委員意見，目前已將前處理程序及 MDL 放置於附錄之 100 年專案計畫新品保品管規劃書中。。
8. P.145 中 $EF=(E/I)_{aerosol} / (E/I)_{reference}$ 之應用式，建議再詳細說明。	8.$EF = (E/I)_{aerosol}/(E/I)_{reference}$，為富集值(Enrichment Factor)的計算公式，可藉此計算元素於大氣懸浮微粒中相對於參考物質的富集程度，其中 E 為欲鑑定之元素，而 I 為參考元素，參考物質包括地殼成分及海水(海鹽)，一般以 Al 及 Na 作為地殼與海鹽來源的參考元素。地殼富集值(EF_{crust})≦2 表示元素主要為地殼來源，因為元素在大氣懸浮微粒中與 Al 的比值相近於地殼中的比值，若 EF_{crust} 值介於 2~10 表示元素有部份為地殼來源，當 EF_{crust} 值>10 表示元素在大氣懸

委員意見	意見回覆
	浮微粒中與 Al 的比值大於地殼中的比值，顯示元素不是以地殼來源為主，海水富集值(EF_{sea})亦是如此，若元素非地殼及海鹽來源為主,則是其他污染來源。
9. 開發奈米微量質量分析績效評估樣品之成果為何？	9.本研究根據貴所提出工作項目中的 ISO 標準建立奈米微粒產生、監測與檢測平台，且本研究更以此平台研究團聚微粒的物理特性，皆為與 EHS 相關之重要研究。
10. PAH 分析有前處理、萃取、濃縮、上機分析，用 IDL 評估可能有高估本方法之偵測極限。	10. 謝謝委員意見，本計畫將以 MDL 評估 PAHs 之偵測極限。
11. 建議探討本計畫與中央大學 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 之差異之可能原因。	11. 謝謝委員意見，關於和中央大學結果間之差異，目前回顧到有相同結果的文獻，且已加入文中。造成兩者誤差的詳細原因仍待後續研究做進一步的探討,目前推測是由採樣進口不同所造成。
工作小組陳委員重方 1. LA-ICP / MS 相關工作進度落後，目前儀器修復狀況如何？進度是否可及時趕上？	1.LA-ICP-MS 之雷射剝蝕系統已回到台灣，目前正在進行調教，預計 9 月底前回實驗室，屆時會將進度趕上。
2. 承 1.，報告中表示進度約 30%，惟文中結果與討論部分似未見目前成果之討論。另評估建置奈米微粒之 MOUDI 採樣串聯 LA-ICP / MS 進行金屬元素分析之可行性時，是否應一併評估奈米微粒彈跳問題及排除彈跳是否會對後續 LA-ICP / MS 分析造成影響？如已有研究結果顯示彈跳干擾不大，是否一併放入報告中論述。	2.MOUDI 樣本中奈米微粒的質量濃度在目前的樣本中很低，以傳統酸消化-ICP-MS 在分析上仍沒問題，若以 LA-ICP-MS 分析相信有一定的難度，但是當雷射剝蝕系統回到實驗室後，將會進行相關之測試。彈跳問題與 LA-ICP-MS 分析無關。
3. 報告中所進行金屬成分分析配合 PMF 探討微粒之污染排放源，似乎最	3.目前 MOUDI 最小可區分微粒至 56 nm (第 10 階)，但該階所採集的濃度很

委員意見	意見回覆
小粒徑區分至<0.10 μm(cutoff size < 100 nm)，是否可能針對更小粒徑奈米微粒一併進行評估？	低，會造成 PMF 跑出結果呈無數據的情況，因此無法往更小粒徑的奈米微粒進行分析。。

附錄三　期末審查意見回覆

一、 時間：中華民國 100 年 12 月 31 日（星期二）下午 1 時 30 分

二、 地點：本所二樓 M210 會議室

三、 主席： 阮所長國棟　　紀錄：陳重方

四、 出（列）席單位及人員：

王委員家麟

李委員崇德

顏委員春蘭

蘇委員國澤

巫委員月春

凌委員永健（提列書面意見）

劉委員宗勇（提列書面意見）

工作小組　陳重方、潘詮泰

報告單位　交通大學　蔡教授春進、楊教授錫賢、許世傑博士

五、 主席致詞：(略)

六、 工作小組報告：(略)

七、 報告單位簡報：(略)

八、 評選委員審查意見：

委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
凌委員永健 1. 專有名詞使用宜一致，如 LA-ICP/MS、LA-ICP-MS、ICP-MASS。表 3.9 準確值及精確值，表 4.9NMD、g，表 4.19 與表 4.20 之單位，宜統一用實測值之單位。4.2.1 奈米氧化鋅與奈米銀粒。	1. 謝謝委員意見，目前已統一各專有名詞及實測值之單位，筆誤處也修改完成。
2. 37 頁，2.2(一)2.本研究預計在台北、新竹及台中…不宜用預計文字，採樣	2. 謝謝委員意見，相關文字部分已修改，表 3.2 已加入採樣時間資訊。

委員意見	意見回覆
地點宜為實際採樣地點，台北縣宜改為新北市；50 頁表 3.2 建議加入採樣時間資訊，以了解季節。56 頁四極柱感應耦合電漿質譜儀，宜改為 ICP-MS。	
3. 93 頁，4.2 奈米微粒產生及監測檢測系統，宜說明與 38 頁（二）開發符合國際規範之奈米微粒質量分析績效評估樣品內容的達成性及困難（如有些量測項目未執行），以及預期的長期穩定性。149 頁 4.3.6 PMF 後宜進行時序分析，以探討不同季節的差異。	3. 謝謝委員意見，奈米微粒產生及監測檢測系統內容皆已完成，而化學成分分析等結果呈現於 4.3.8 節。由於本計畫進行之採樣為人工採樣，數據筆數會較少，應該執行長期計畫累積更多數據，才能增加 PMF 統計分析的準確性，此為將來可努力之處。時序分析的部分已完成。
4. 147 頁之 PMF 分析，建議提供一組原始數據試算記錄在附錄中，以供參考。	4. PMF 程式執行的程序為輸入濃度資料及物種不確定性資料，而後利用電腦進行方程式的疊代運算，最後由電腦顯示結果。故僅能顯示計算結果的各項數據，無法顯示疊代計算的詳細過程。
5. 153 頁中，提及 NaP 濃度為其他 15 種 PAHs 之數十倍至數百倍，宜參考文獻，說明可能原因。	5. 謝謝委員意見，本計畫之 Nap 濃度數值確實較文獻中高，未來本計畫會參考委員建議，執行 SRM 濾紙 PAHs 回收率分析，建立 PAHs 分析 QC，來確保 NaP 濃度的準確性。
6. 140 頁中竹東測站 SO_4^{2-}所佔比例，比其他的測站高，原因與該地區有水泥工廠之關連性，建議納入其他指標重金屬一併考量。	6. 謝謝委員意見，此結果的解釋刪除。
7. 依約完成工作內容，具有實用價值。	7. 謝謝委員肯定。
劉委員宗勇 1. 本計畫進行迄今有許多不同地點之奈米微粒之濃度、粒徑分佈、化學組成、採樣數據、自行研發之多微孔噴嘴等具參考價值，可積極發表論文及申請專利。	1. 謝謝委員肯定，本團隊將全力以赴。

委員意見	意見回覆
2. 本計畫 99 年選擇隧道採樣，有關汽油車及柴油車之貢獻之奈米微粒，可做為未來柴油車微粒數目濃度排放管制標準管制之參考。今年選擇 3 個測站（測定奈米微粒、金屬成分分布等），建議交大團隊可由研究成果在政策面、法規管制面提出未來建議方向或作法。	2. 謝謝委員意見，今年在三個測站的採樣的微粒濃度結果可做為未來管制微粒質量濃度的參考，另外手動採樣與自動監測儀器間的誤差可以也可以做為管制 $PM_{2.5}$ 質量濃度的參考。
3. 本計畫利用 AD-MOUDI-PUF PAHs 採樣方法為國內首見，可與目前環檢所公告的採樣方法互相比較，另有關濾紙採樣偏差及粒狀採樣損失有何改善方法？	3. 感謝委員意見。本計畫結果顯示石英濾紙 PAHs 採樣偏差約 50%，改善方法可以使用鐵氟龍濾紙替代石英濾紙，鐵氟龍濾紙因材質特性，並不會吸附氣相 PAHs，可降低採樣所帶來之偏差。本計畫所使用較長之 Denuder (600 mm) 進行 PAHs 採樣，氣體停留在管中時間較長，而造成微粒較大之損失，改善方法可以使用較短之 Denuder 進行氣相 PAHs 之收集來降低微粒之損失。
4. 與傳統的酸消化的質譜分析相比，利用 LA-ICP-MS 分析元素成分，而分析固態樣本容易受到製備過程不均勻影響，在未來應用還有那些待克服的地方？	4. LA-ICP-MS 在自行製備標準參考樣本的均勻度已相當成功，唯部分質荷比低的元素其檢量線與分析結果不盡理想，檢量線的部分可嘗試將標準品的元素濃度範圍加大，另外檢量線各點的濃度分布也應更均勻。分析上須注意濾紙的秤重要精準，標準樣本顆粒量要降低，待測樣本的顆粒量要增加，以使二者的顆粒量相近，以上將是未來改善的重點。
5. 利用蒸發/核凝法產生奈米氧化鋅及銀微粒，是否會因在高溫爐不同溫度加熱（超過熔點）下產生氧化反應，而成份改變。	5. Jung et al. (2006)曾使用 X-光粉末繞射儀(XRD)分析以蒸發/核凝法產生的銀微粒的晶體結構(crystal structures)，分析結果顯示當載流氣體為空氣時，產生的微粒是銀微粒，並非氧化銀。氧化鋅則是以鋅蒸氣與氧氣反應而得。

委員意見	意見回覆
王委員家麟 1. LA-ICP-MS 與酸消化 ICP-MS 方法差異頗大，加入內標校正對於標準樣品應有功能，但對於真實樣品之內標使用應如何施作？	1. 以目前來看，要將內標準品添加於真實樣品中，有其困難，因為 MOUDI 樣本上的顆粒分佈並不均勻，無法確保所添加之內標準品能均勻與樣本混合，會增加分析上的誤差；再者，若添加的是溶液內標將造成部分金屬元素溶解，不均勻性將愈加嚴重。
2. 回收率很低（1~2%）的原因是否導因於管路吸附，改善方法為何？回收率的說明請再詳細說明。	2. 委員所提的回收率是標準樣本粉末顆粒重量的回收率，以目前實驗的結果來看，回收率約 1-2%，我們將 100 毫克的標準樣本粉末經由粉末分散器混合回收至濾紙上時只剩 1-2 毫克。在清洗粉末分散器的管路時確實發現有部分粉末累積於管路中，未來會將顆粒重量降低或調整其他參數，將粉末的回收率提高。
3. LA-ICP-MS 對標準品樣品分析時之再現性為何？線性與再線性的 QC/QA 評估是否依不同元素列表之。	3. 謝謝委員意見。目前該 LA-ICP-MS 方法應用於大氣顆粒樣品尚在開發中，尤其並無市售可應用於 LA-ICP-MS 的相同基值標準品可使用，因此在目前 LA-ICP-MS 分析前，我們僅能使用 NIST-612 玻璃基質薄片標準品進行 QA/QC，確保儀器效能及穩定性，目前我們已經建立一參考表(請見表 3.7、NIST-612 分析各元素的平均感度值)，分析元素之感度變化必須在參考值 10%範圍內。
4. 標準樣品的均勻性遠優於真實樣品，因此新技術的測試應多著墨在理想狀況下的標準樣品上，將回收率、再現性、線性、偵測下限等項目做系統性的探討，此有利於對新技術潛力的瞭解。	4. 謝謝委員意見，此目標確為研究團隊未來工作的重點，目前已完成初步的測試，並對 LA-ICP-MS 分析上的重點有所掌握，未來將更深入探討，並建立更完備之分析方法。

委員意見	意見回覆
李委員崇德	
1. 本計畫進行大氣奈米微粒量測、分析成分並推論污染來源，成果相當豐碩，後續可進行更精細的評量。	1. 謝謝委員肯定，本團隊將全力以赴。
2. 本計畫以微粒成分及統計方法推估微粒來源，建議彙整採樣日微粒來源變化，並評估其合理性。	2. 謝謝委員意見，由於目前 1 次採樣僅能得到 1 組數據，數據量不足無法以 PMF 分析，僅能以時序法推估單次採樣日的微粒來源。未來若能使用自動成份監測儀器如 ACSM 量測微粒的成分組成，可增加數據量。
3. 質量重建「mass closure」是本計畫用來估算解析微粒成分濃度加總和質量濃度關係，在估算過程宜注意(1)是否有重覆計算，比如 Na、Mg、K、Ca 和相對應水溶性離子是否兩者擇一？(2)微粒含水量在本計畫並未估算進來，所以解析百分比過高就有高估的可能。(3)陰、陽水溶性離子是否達成平衡？(4)OC 轉換為 OM 使用固定係數可能造成誤差。	3. (1)Ca、K、Mg 及 Na 元素態的濃度為 ICP-MS 分析得到的濃度減去 IC 分析得到的水溶性離子濃度，重複計算部分已扣除，並更新相關數據。(2)同意委員意見，目前有幾筆採樣確實有高估的現象，可能原因為有時 OM/OC 的比例有變化而非本畫固定的 1.6 的關係。(3)各次分析樣本的水溶性離子比例都介於 0.7-1.2 間，已在 4.3.4 節附上相關數據。(4)目前本研究以過去研究出的轉換係數 OM=1.6*OC 來轉換，今年並無針對 OC 做更深入的研究，因此固定係數是否會造成誤差可在將來進行相關的研究。
4. 表 4.19 的碳成分來自測站自動監測儀器，宜在表下附註說明。	4. 謝謝委員意見，已在表 4.18 下方附註說明。
5. 結論第 6 點提到竹東站 SO_4^{2-} 所佔比例高，推測是由山中森林泥土及植物貢獻，受高濕環境影響，請再確認。	5. 謝謝委員意見，此結果的解釋尚待進一步的研究，目前已刪除。
6. 本計畫以不同採樣器採集各種粒徑微粒，其中若有與 $PM_{2.5}$ FRM 比較，能否彙整因儀器構造差異造成的影響？	6. 謝謝委員意見，4.3.3 節已有因儀器構造差異造成誤差的相關文獻探討。
7. 第 3 頁提到 EC 的 REL 7 $\mu g/m^3$ 是 NIOSH 5040 元素碳分析方法的最低	7. 謝謝委員意見，經查證後 NIOH 5040 元素探在 8 小時採樣且採樣

委員意見	意見回覆
偵測下限，請再確認。	流量 2 L/min 下其分析方法的最低偵測下限為 2 μg/m^3，內文錯誤的部分已刪除。
8. 微粒成分分析檢量線是否有考量濾紙基質？	8. 謝謝委員意見，微粒成分分析檢量線無考量濾紙基質，但於各採樣之成分分析皆有測定空白濾紙濃度，以確定濾紙基質不影響分析的準確度，相關數據已在表 4.20 中呈現。
9. 各項化學分析管制圖是否也有建立？是否符合設定管制上、下限？	9. 謝謝委員意見，此次無建立化學分析管制圖，但有進行重複及查核分析，相關數據已放在附錄十 QA/QC 執行結果內。
10. 微粒彈跳受 RH 影響，但大氣採樣無法選擇 RH，因此彈跳影響能否進行定量的評估？	10. 目前濕度對 $PM_{2.5}$ 的測值雖有影響但相關性不夠高，因此濕度與測值間的關係不建議直接轉換。或許可以改為在採樣入口處預先調整採樣氣體濕度，以進一步的實驗進行濕度對自動監測器測值的影響。
顏委員春蘭	
1. LA-ICP-MS 及 MW-ICP-MS 之比較仍有進一步研討的空間，其檢量線是否符合規範？	1. 謝謝委員意見，MW-ICP-MS 之檢量線已列於報告附錄九之 QA/QC 執行結果內。LA-ICP-MS 分析方法(包含標準品的製備發展)尚在開發中，因此目前皆以 NIST-612 玻璃基質薄片標準品進行 QA/QC 確保儀器效能及穩定性，目前我們已經建立一參考表(請見表 3.7、NIST-612 分析各元素的平均感度值)，分析元素之感度變化必須在參考值 10%範圍內。
2. 數據很多，如何歸納成未來要使用的技術，建議在報告中說明。	2. 謝謝委員意見，針對未來可使用的技術與相關討論已在 5.2 節建議中放入相關說明
3. 是否規劃測 dioxin，尤其是在焚化廠	3. 謝謝委員意見，焚化廠 dioxin 問題

委員意見	意見回覆
附近。	也是目前重要議題之一，但本團隊受限於檢測儀器，目前並暫時無此規劃，若將來有機會尋找到適合的合作對象將會考慮。
蘇委員國澤 1. 新莊、中山及竹東測站監測之 QA & QC 如何執行。	1. 測站採樣部分的 QA/QC 主要為採樣前後儀器的校正保養及濾紙的保存、切割與運送，以及各分析儀器的偵測極限、空白、檢量線及重複分析，相關的 QA/QC 方法已放入本報告附錄十當中。
2. 濕度對 $PM_{2.5}$ 測值確有影響，是否可直接換算？	2. 目前濕度對 $PM_{2.5}$ 的測值雖有影響但相關性不夠高，除了濕度影響外另外還有儀器維護的影響，因此濕度與測值間的關係不建議直接轉換。
3. $PM_{1.0}$ 及 $PM_{0.1}$ 之秤重是否有特殊條件？	3. 目前本研究秤重室的管制標準是參考我國及美國環保署發的 $PM_{2.5}$ 標準檢測方法中對濾紙秤重的規範，將秤重室溫度控制在 20-23℃，濕度 30-40%，並使用靜電中和器去除濾紙表面的靜電。由於 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 及 $PM_{0.1}$ 量測時皆使用相同材質濾紙，因此三者的秤重條件皆使用上述之標準。
巫委員月春 1. 49 頁顯示 PAH 為獨立採樣分析，其採樣時是否有微粒彈跳之問題，如何克服？其採樣恐板是否使用 NCTU MCI 改良之產品？	1. 謝謝委員意見。本計畫 PAHs 採樣，粒徑大於 $PM_{0.1}$ 以上之各階層乃使用鋁箔濾紙，並塗敷矽黃油以防止微粒彈跳。本研究今年使用原廠出產之 MOUDI 進行採樣，尚未使用 NCTU MCI 改良之產品。
2. 建議將三個單位測 PM（本計畫、中央大學、EPA）差異之可能來源進行探討。	2. 謝謝委員意見，目前三個單位的測值差異原因為採樣器設計原理不同、清潔維護因素以及相對濕度影響，相關討論以在 4.3.3 中探討。

委員意見	意見回覆
3. 對於 MSP MOUDI 與 NCTU MCI 現場比對顯示 MSP MOUDI Dpa_{50} 不正確，建議將其校正方法及程序能加以補述。	3. 謝謝委員意見，目前現場採樣結果顯示兩者的分徑能力接近，相關的校正方法與程序已放在 3.1.1 節當中
4. NCTU MCI 之改裝原因、改裝後之規格、改裝後之品質確認，建議加以敘明。	4. 謝謝委員意見，MCI 改裝主要的原因為原廠 MSP MOUDI 噴嘴有堵塞的問題，會造成微粒截取粒徑改變，因此 MCI 以半導體製成製造新型噴嘴來解決此問題，相關改裝後之規格及品質確認分別在 3.1.1 及 4.3.1 中說明。
5. LA-ICP-MS 結果書面報告之內容須修正，另建議本計畫提供 LA-ICP-MS 在環境檢測中之應用可行性及後續可能之研究方向。	5. 謝謝委員意見，LA-ICP-MS 之結果已修正於報告中，此外，以目前結果來看，LA-ICP-MS 若針對粒徑分級樣本的分析，較適合應用於次微米顆粒上，但是，也可嘗試增加採樣時間以提高濾紙上的顆粒量，並集中於較小範圍，以供 LA-ICP-MS 分析，這也是研究團隊未來工作的重點。
6. PM 之 Ion 係以水溶性陰陽離子相加，其中 K、Ca、Mg 與 ICP-MS 重複，但 ICP-MS 為全量，離子層析是溶出量。	6. 同意委員意見，Ca、K、Mg 及 Na 元素態的濃度應 ICP-MS 分析得到的濃度減去 IC 分析得到的水溶性離子濃度，重複計算部分已扣除，並更新相關數據。相關數據以修改並放置於附錄八當中。
7. 水溶性離子主要以空白管制為主，其從濾紙萃取之效率如何評估？	7. 謝謝委員意見，濾紙萃取效率的評估是將已知濃度的樣品滴入濾紙中，再將濾紙放置於30 mL的超純水後震盪60 min萃取，其高濃度離子如 SO_4^{2-} 及 NH_4^+ 萃出比例可達95 %以上，而低濃度離子萃出比例也可達90 %以上。
本所意見	
1. 100 年本計畫已將即時毒性測試平台切割開，以另一計畫執行，題目雖已	1. 謝謝委員意見，已在報告大綱部分加註說明。

委員意見	意見回覆
定，但內文要註明。	
2. 圖 3.8 全計畫流程圖中儀器及校正方塊中是否包含 4.1 及 4.2 節的所有工作？可能要把 NIST 標準品比對等工作都納入流程圖中。	2. 謝謝委員意見，已在已將本計畫全部的工作新增於圖 3.1 本計畫工作流程圖當中。
3. smart heater 主要是 condition 到天平室的濕度。178 頁建議針對濕度對空品測站測值影響進行評估，對評估方式是否有更進一步之建議？	3. 目前濕度對 $PM_{2.5}$ 的測值雖有影響但相關性不夠高，因此濕度與測值間的關係不建議直接轉換。或許可以改為在採樣入口處預先調整採樣氣體濕度，以進一步的實驗進行濕度對自動監測器測值的影響。
4. 簡報中整理之圖表，於報告初稿中並未放入（如簡報資料 33 頁、35 頁、36 頁表格、37 頁及其他圖表說明等），請於定稿時一併放入。	4. 謝謝委員意見，簡報中所有相關討論與表格已放入報告中。
5. 報告初稿中部分計算及討論於簡報時有修正部分，請定稿時應確認修正。定稿本請依合約規定格式填報相關資料。	5. 謝謝委員意見，相關討論已於報告中修訂。
6. 177 頁所述細粒徑樣品中部分重金屬元素回收率偏低，係可能因每張濾膜上的顆粒載量不一造成，如標準品及 MOUDI 樣品的顆粒重量差異可高達一個數量級以上，而造成 MOUDI 樣品的雷射剝蝕量僅約有標準品的 1/10，此是否可能透過先秤量 MOUDI 補集之顆粒重量，調整製備標準參考樣品時鐵氟龍濾紙應載標準品重量以獲得解決呢？	6. 謝謝委員意見，報告內的相關數據及內容已修改。目前將元素感度對各張濾紙的顆粒量標準化之後，可明顯改善此問題。
7. 176 頁中，推測 MOUDI 採集樣品後幾階（即細粒徑）因顆粒較密集，故部分元素之雷射剝蝕測值與酸消化後質譜儀測值分析結果上較為接近，此與前述細粒徑樣品部分重金屬元素回收率偏低似乎不一致，請說明。	7. 謝謝委員意見，目前 LA-ICP-MS 的分析結果以次微米顆粒的濃度測值與 MW-ICP-MS 的結果較一致，相關結果已列於報告中。

委員意見	意見回覆
8. 154 頁針對奈米微粒 PAHs 採樣正向偏差之探討上，捨棄濃度最高之 NaP 而僅探討其他 PAHs，由期中報告數據顯示 NaP 濃度佔總濃度超過 9 成，如此探討方式所得結論是否有可能會出現偏差？建議補充說明。另，文中似乎未見各項 PAHs 之 MDL，建議補上。	8. 感謝委員意見，本計畫 Nap 濃度相較其他 PAHs 高，總 PAHs 濃度會被 Nap 所牽動，本計畫為避免資料分析時因 Nap 之濃度變異而造成總 PAHs 結果受 Nap 影響，因此僅比較其他 15 種 PAHs 帶來之正、負向偏差。本計畫未來會採用委員建議，執行 SRM 濾紙 PAHs 回收率分析，建立 PAHs 分析 QC。
9. 437 頁撰寫之標準操作程序相當清楚，使研究結果實用性及可利用性更佳。建議奈米微粒採樣技術及 LA-ICP/MS 技術，可調整格式或另依此格式撰寫放入附錄中。	9. 謝謝委員意見，報告中已增加 LA-ICP-MS 分析大氣氣膠樣本標準操作程序。

附錄四　測站採樣質量濃度與數目濃度及粒徑分佈結果

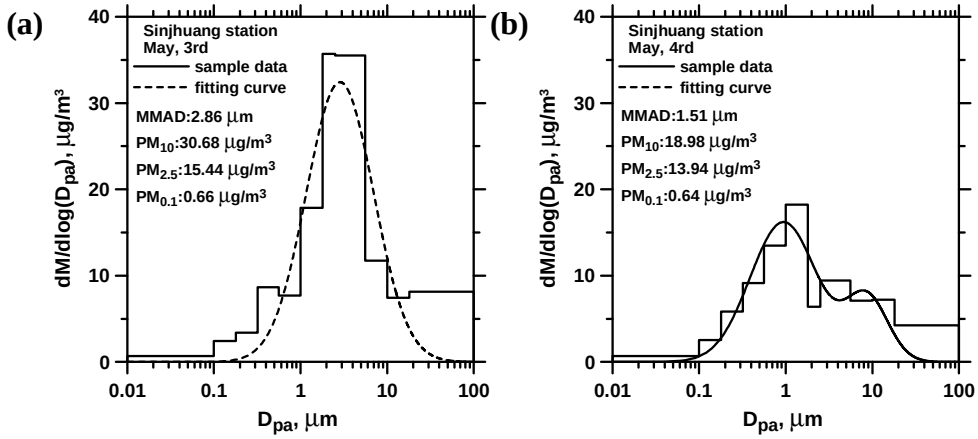


圖 7-1 (a) 2011/05/03-05/04 及(b)2011/05/04-05/05 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

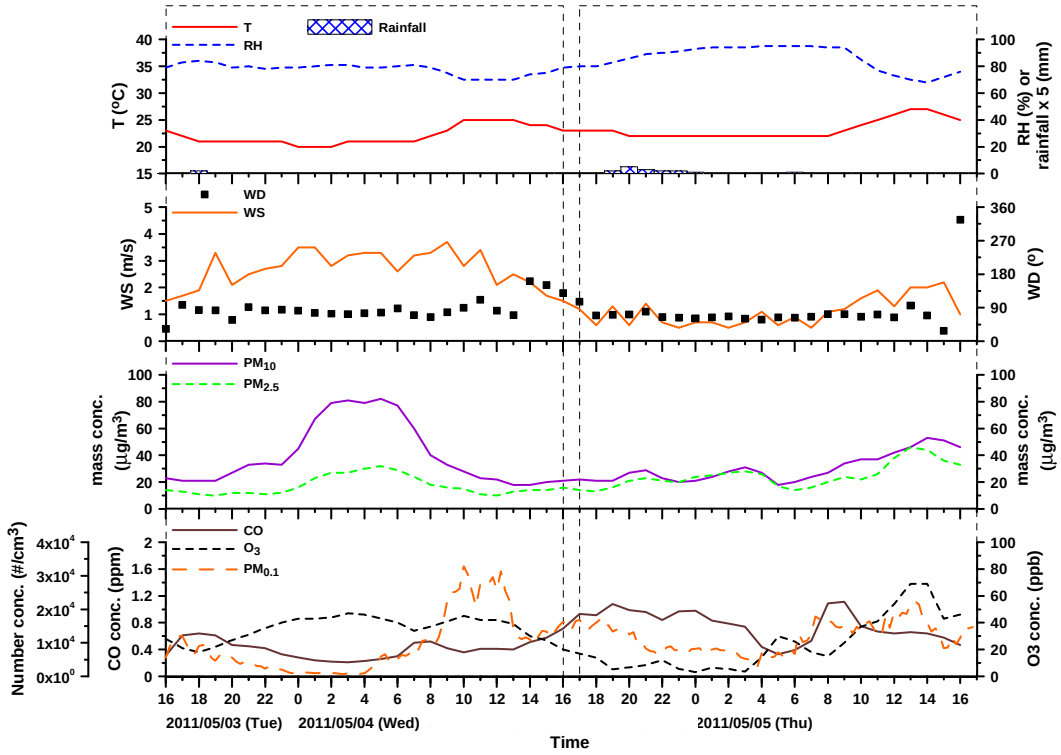


圖 7-2 2011/05/03-05/04 及 2011/05/04-05/05 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

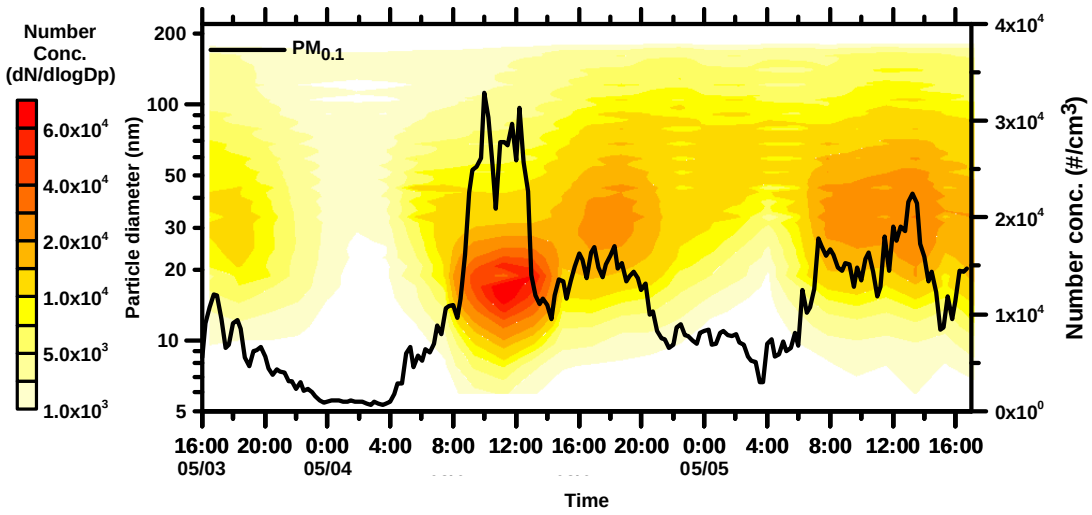


圖 7-3 2011/5/3-5/5 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

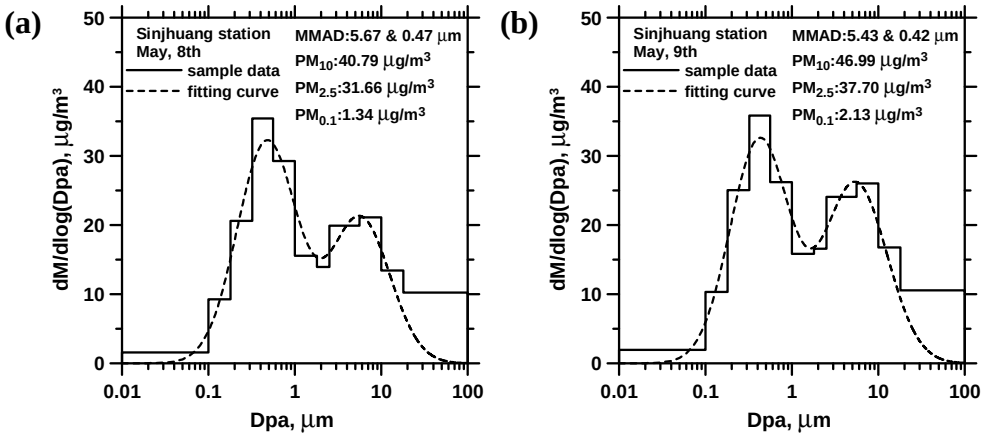


圖 7-4 (a) 2011/05/08-05/09 及(b)2011/05/09-05/10 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

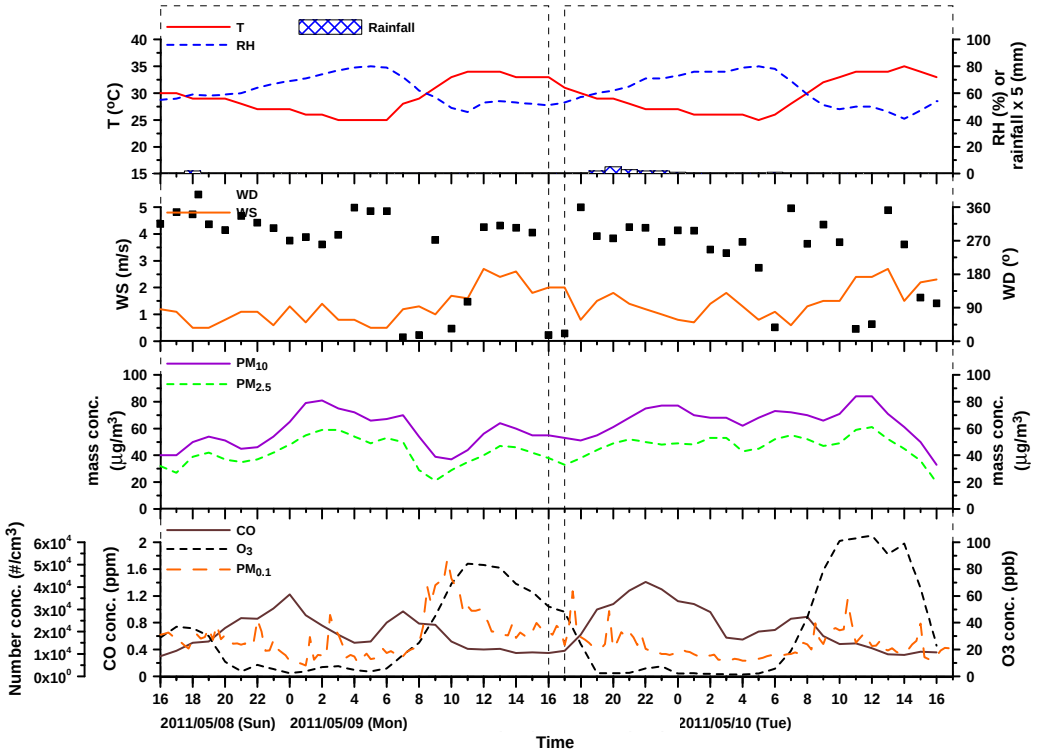


圖 7-5 2011/05/08-05/09 及 2011/05/09-05/10 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

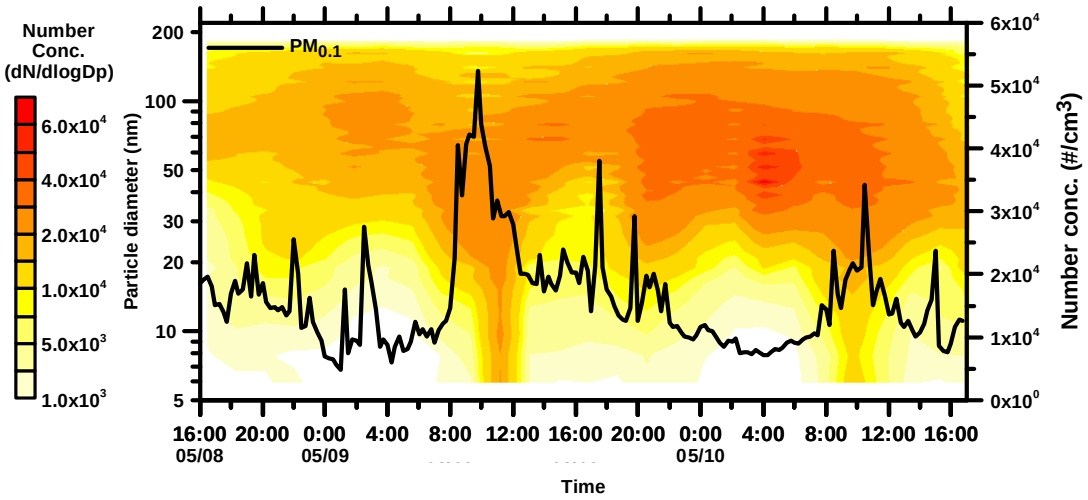


圖 7-6 2011/5/8-5/10 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

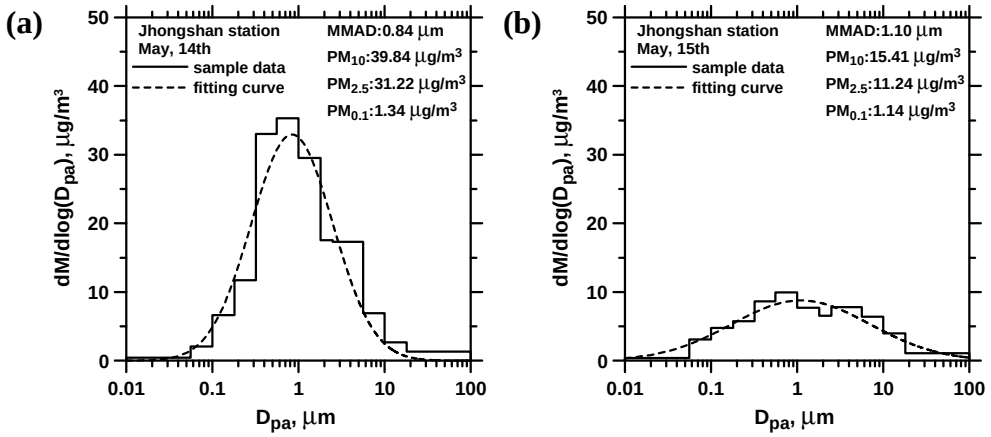


圖 7-7 (a) 2011/05/14-05/15 及(b)2011/05/15-05/16 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

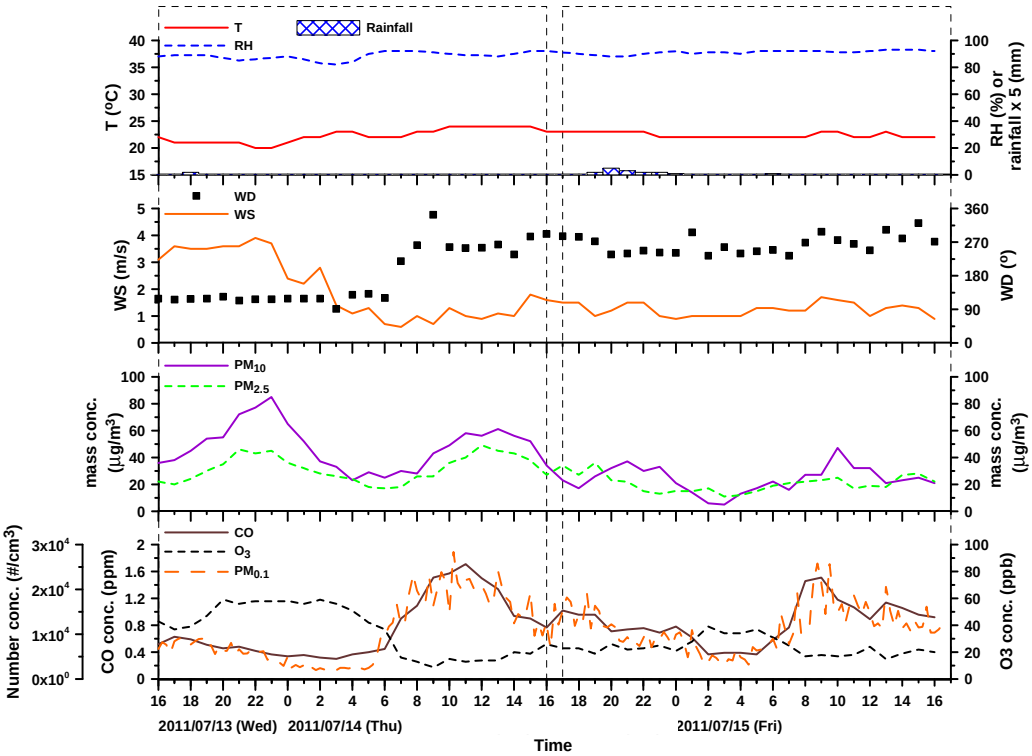


圖 7-8 2011/05/14-05/15 及 2011/05/15-05/16 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

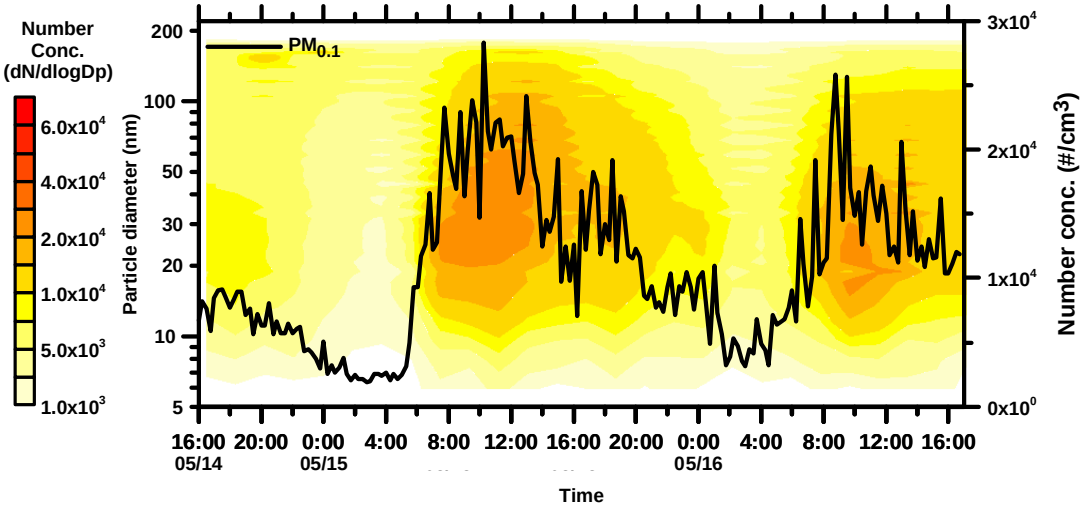


圖 7-9 2011/5/14-5/16 中山測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

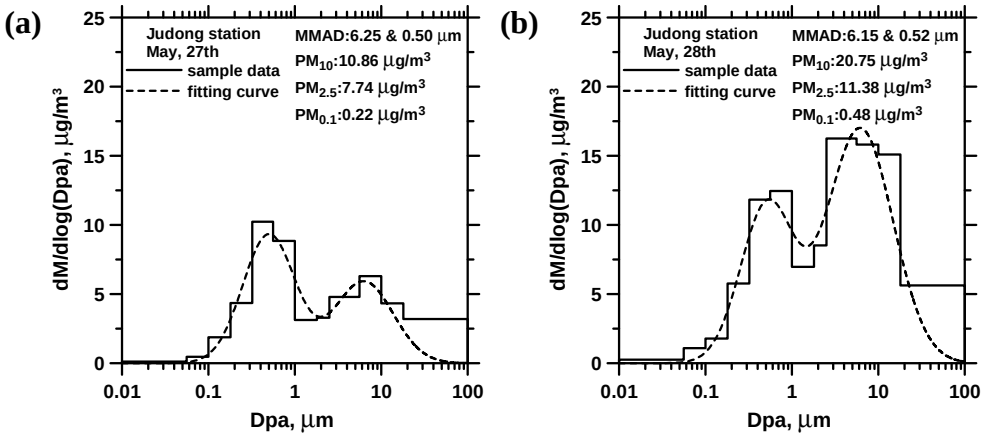


圖 7-10 (a) 2011/05/27-05/28 及(b)2011/05/28-05/29 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

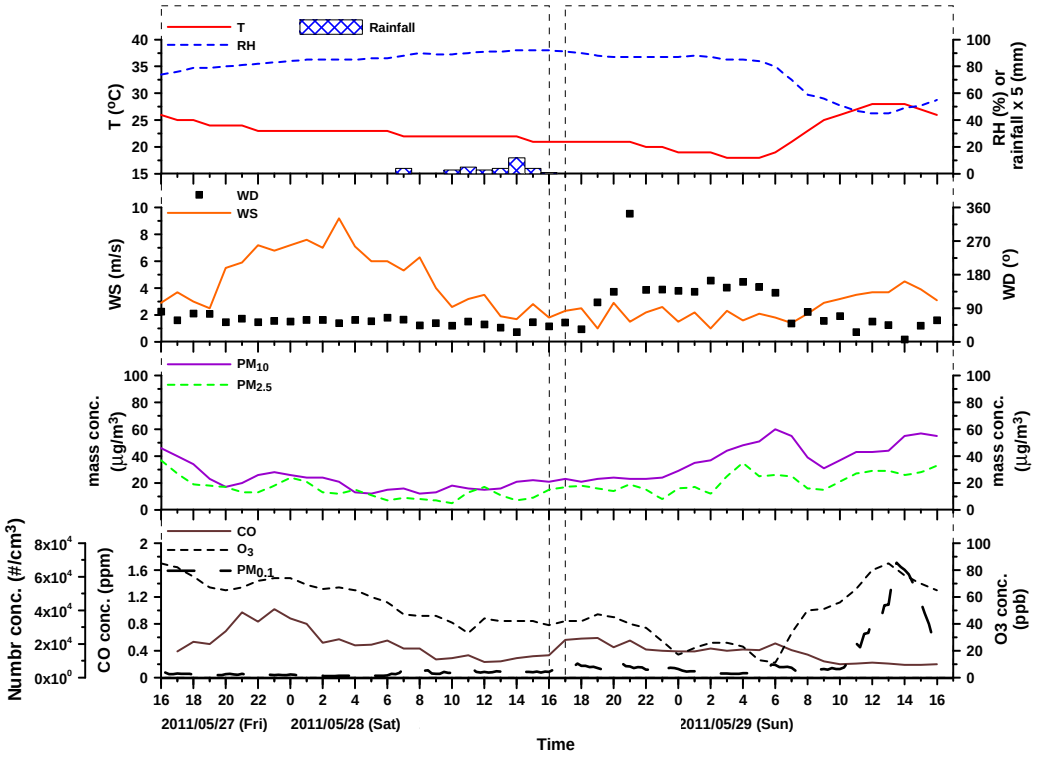


圖 7-11 2011/05/27-05/28 及 2011/05/28-05/29 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

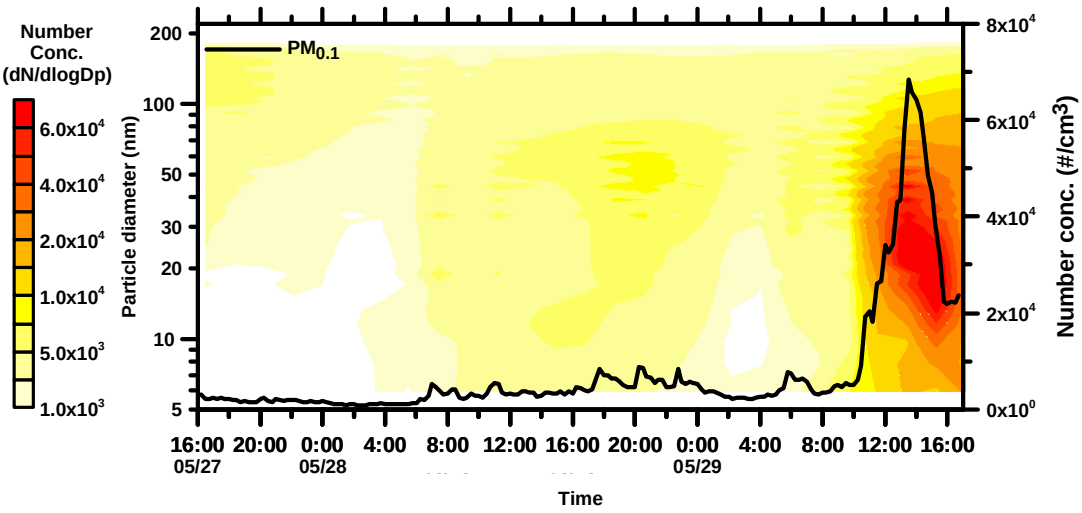


圖 7-12 2011/5/27-5/29 竹東測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

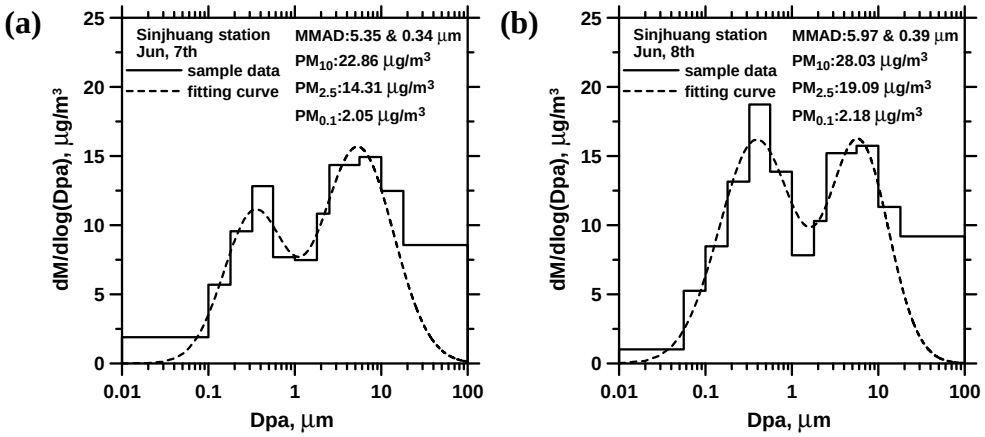


圖 7-13 (a) 2011/06/07-06/08 及(b)2011/06/08-06/09 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

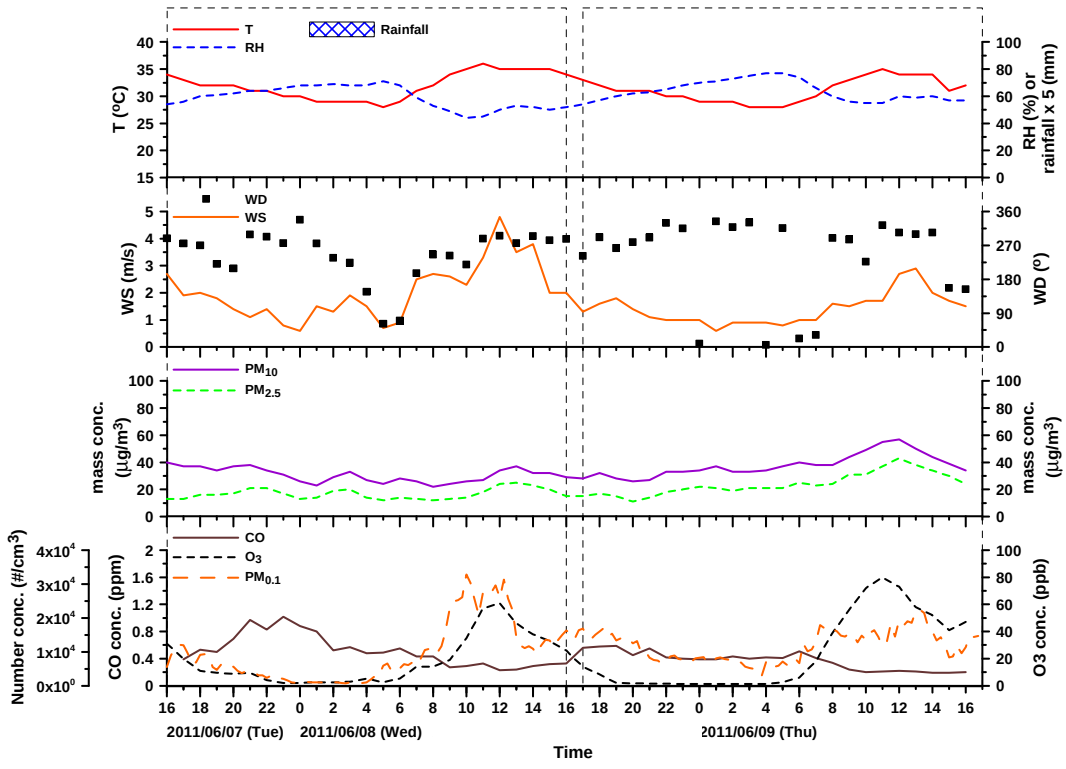


圖 7-14 2011/06/07-06/08 及 2011/06/08-06/09 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

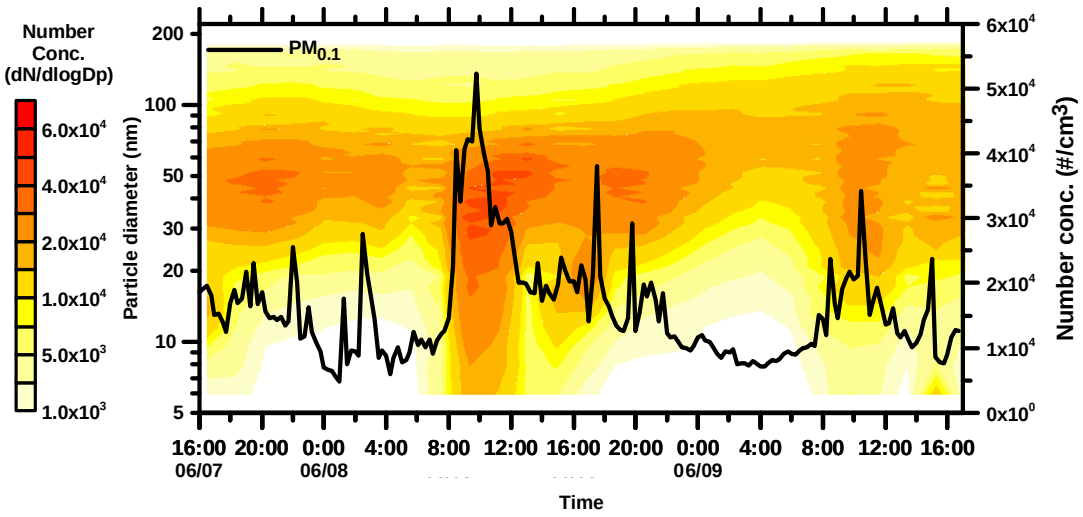


圖 7-15 2011/6/7-6/9 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

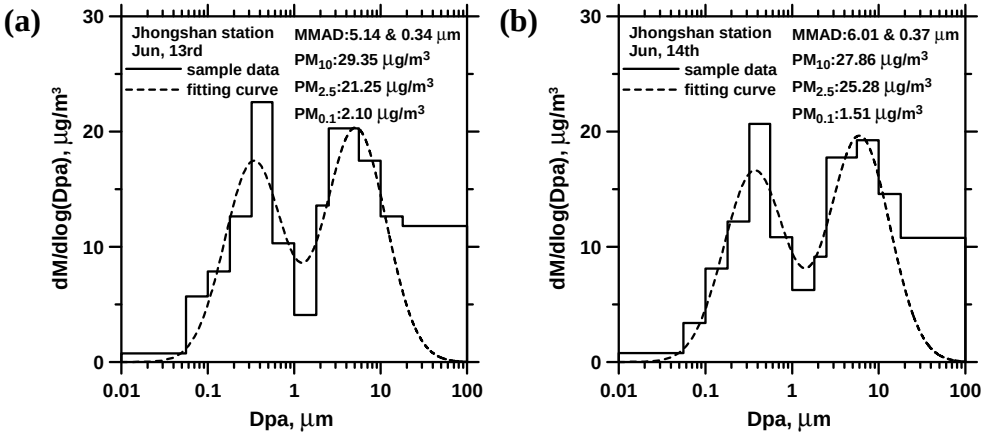


圖 7-16 (a) 2011/06/13-06/14 及(b)2011/06/14-06/15 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

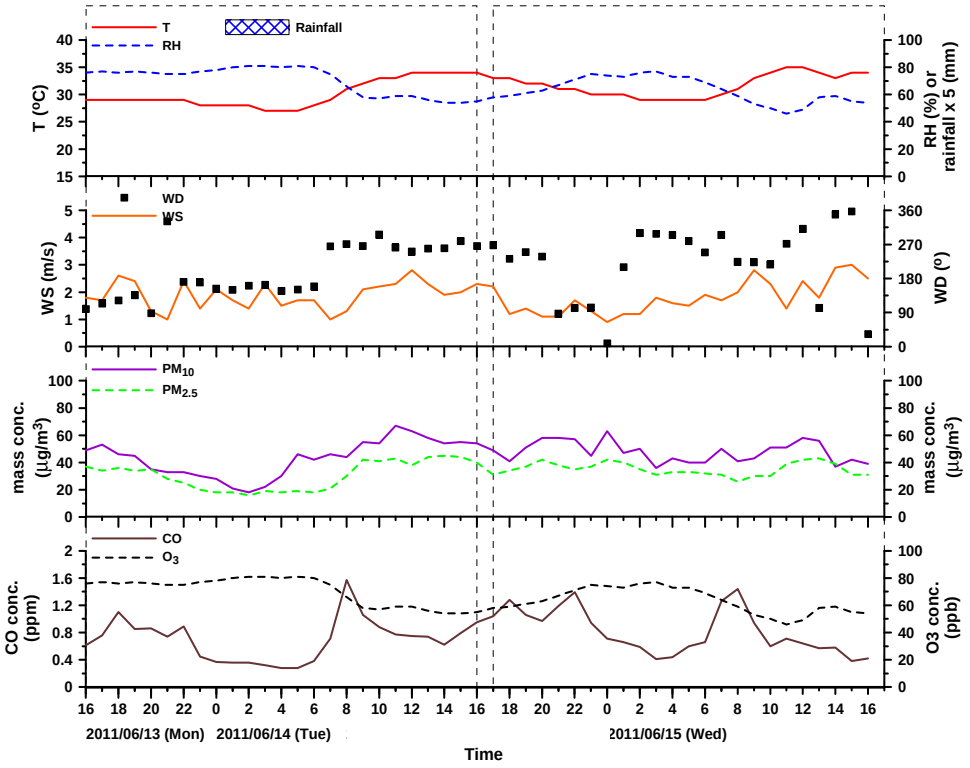


圖 7-17 2011/06/13-06/14 及 2011/06/14-06/15 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

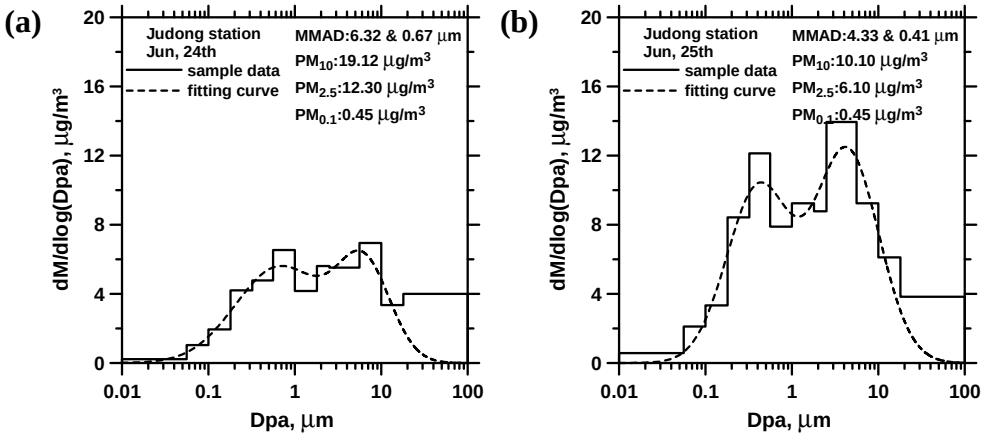


圖 7-18 (a) 2011/06/24-06/25 及(b)2011/06/25-06/26 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

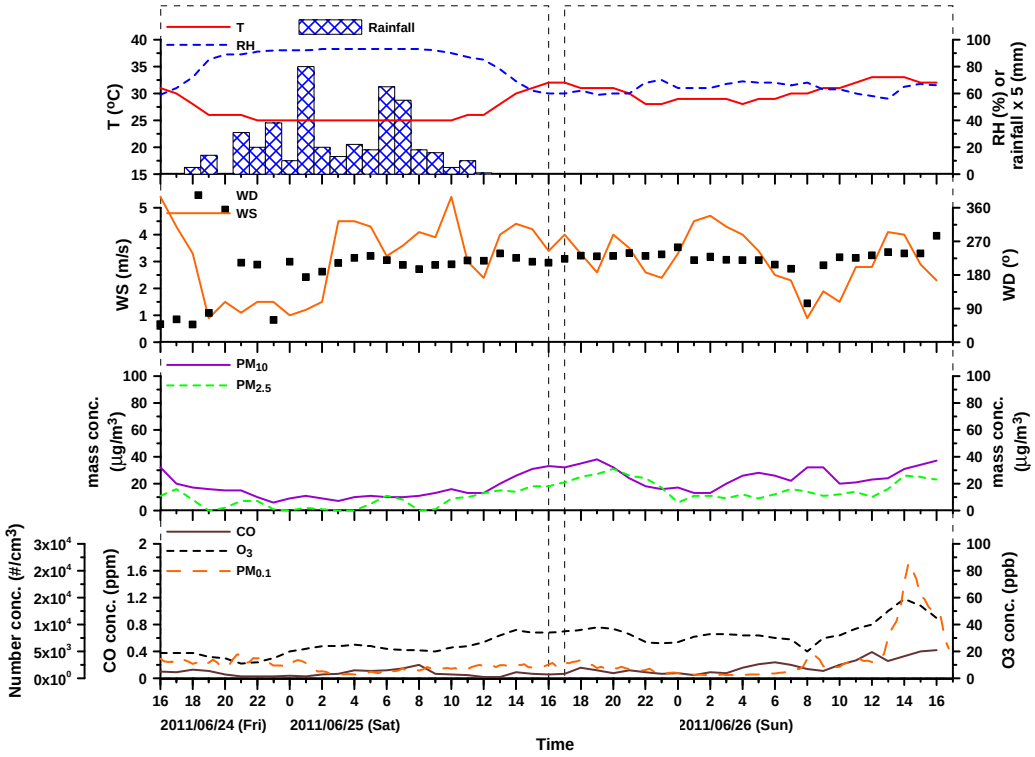


圖 7-19 2011/06/24-06/25 及 2011/06/25-06/26 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

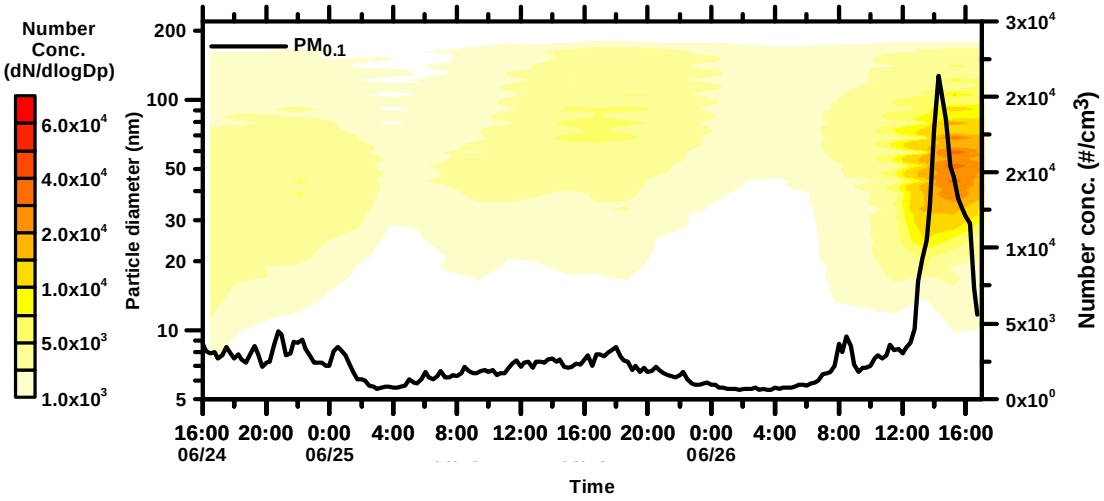


圖 7-20 2011/6/24-6/26 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

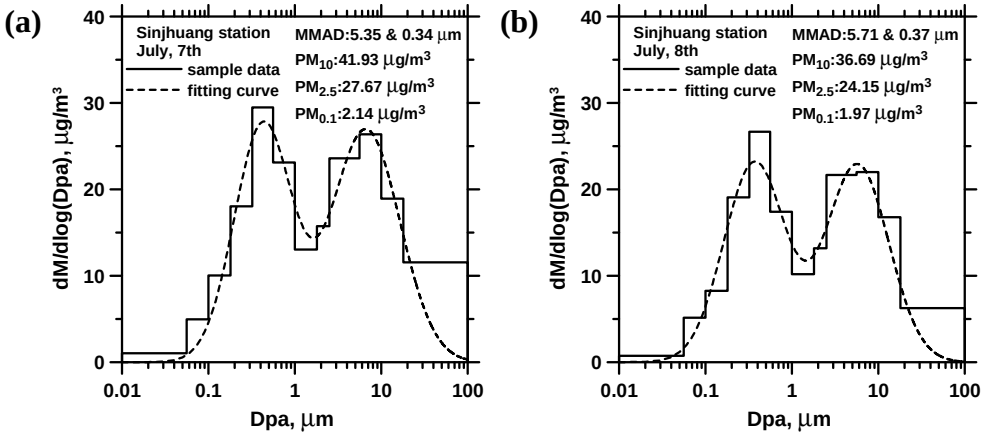


圖 7-21 (a) 2011/07/07-07/08 及(b)2011/07/08-07/09 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

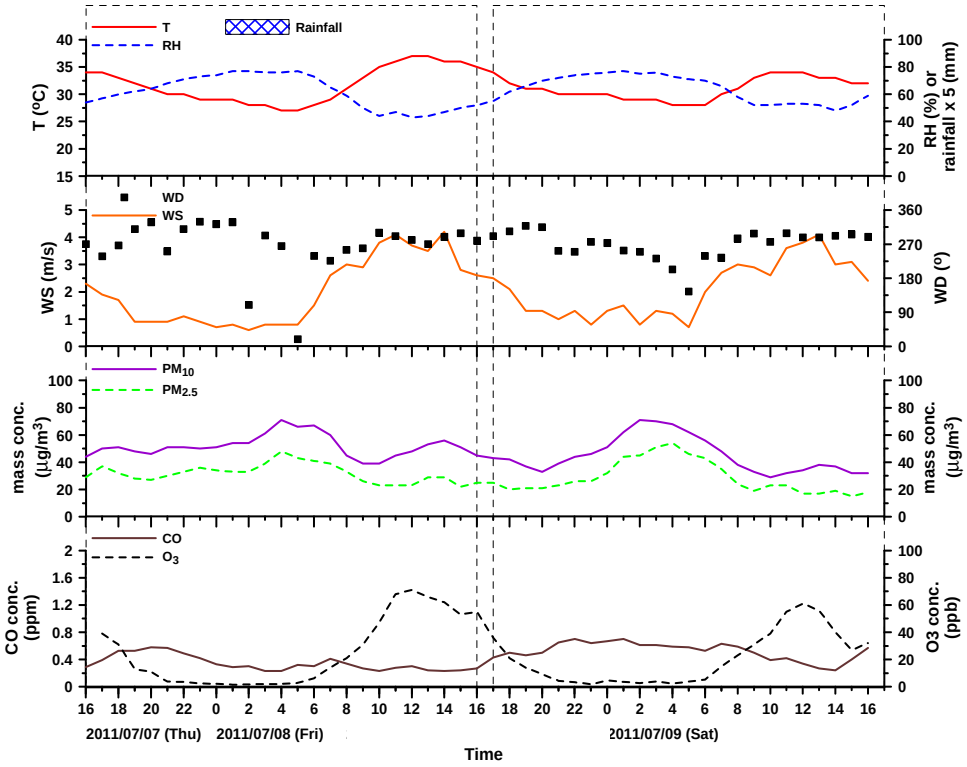


圖 7-22 2011/07/07-07/08 及 2011/07/08-07/09 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

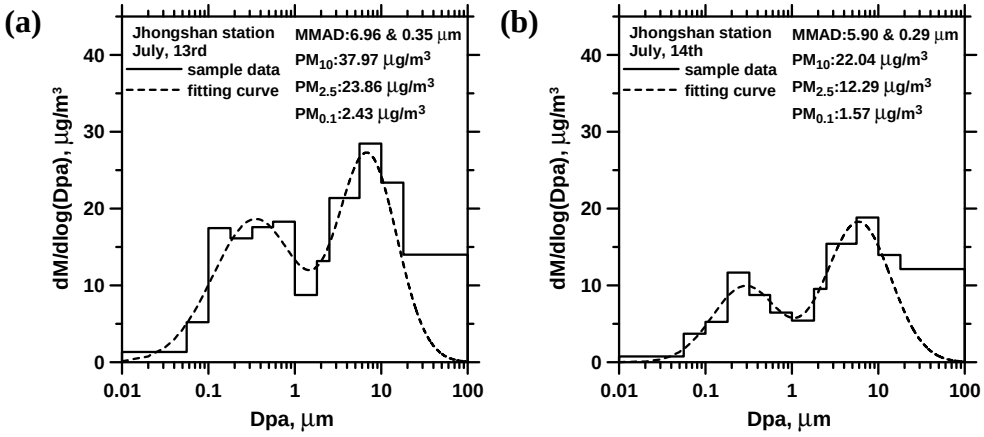


圖 7-23 (a) 2011/07/13-07/14 及(b)2011/07/14-07/15 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

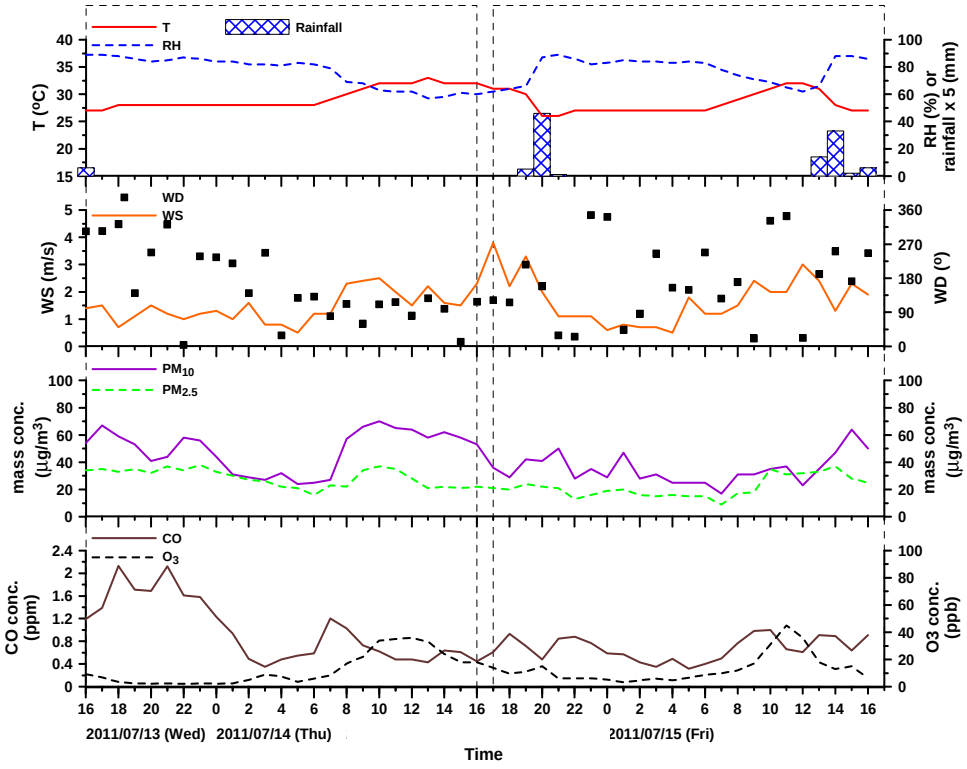


圖 7-24 2011/07/13-07/14 及 2011/07/14-07/15 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

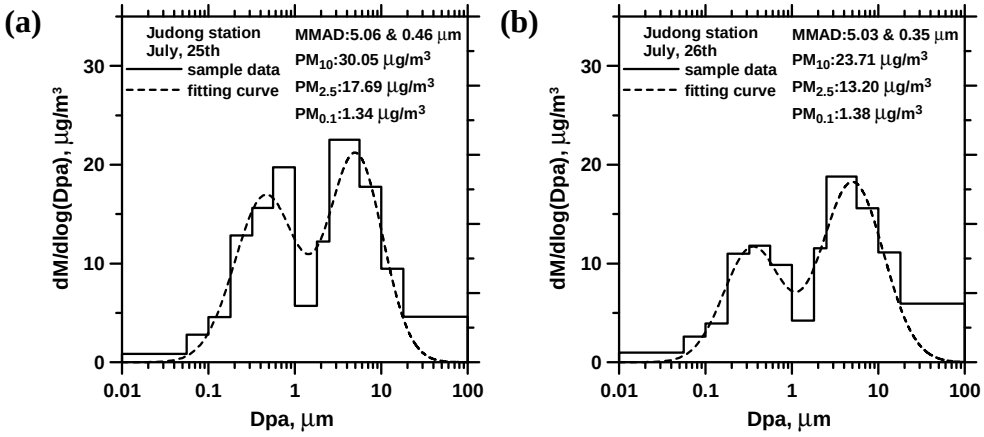


圖 7-25 (a) 2011/07/25-07/26 及(b)2011/07/26-07/27 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

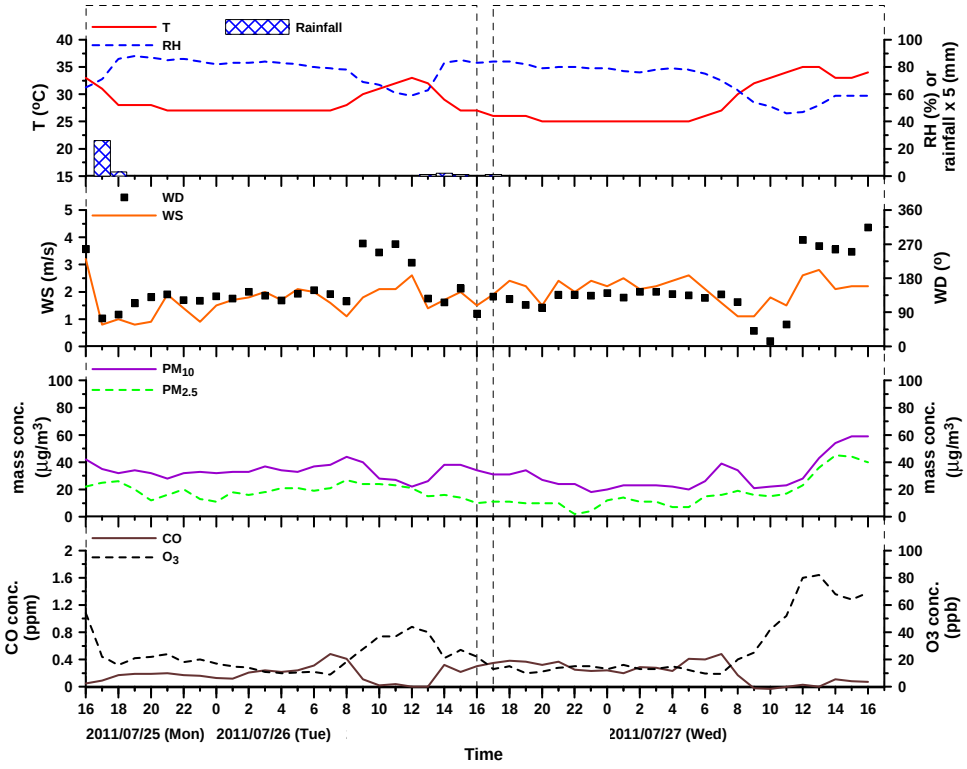


圖 7-26 2011/07/25-07/26 及 2011/07/26-07/27 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

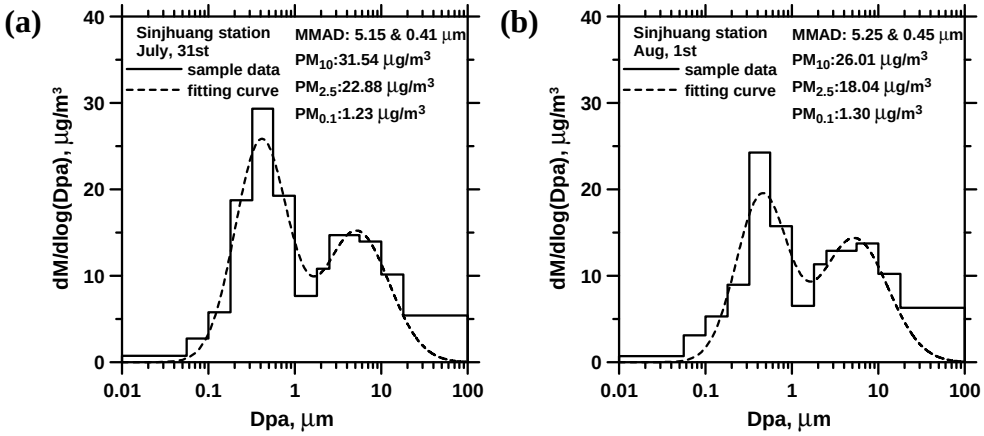


圖 7-27 (a) 2011/07/31-08/01 及(b)2011/08/01-08/02 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

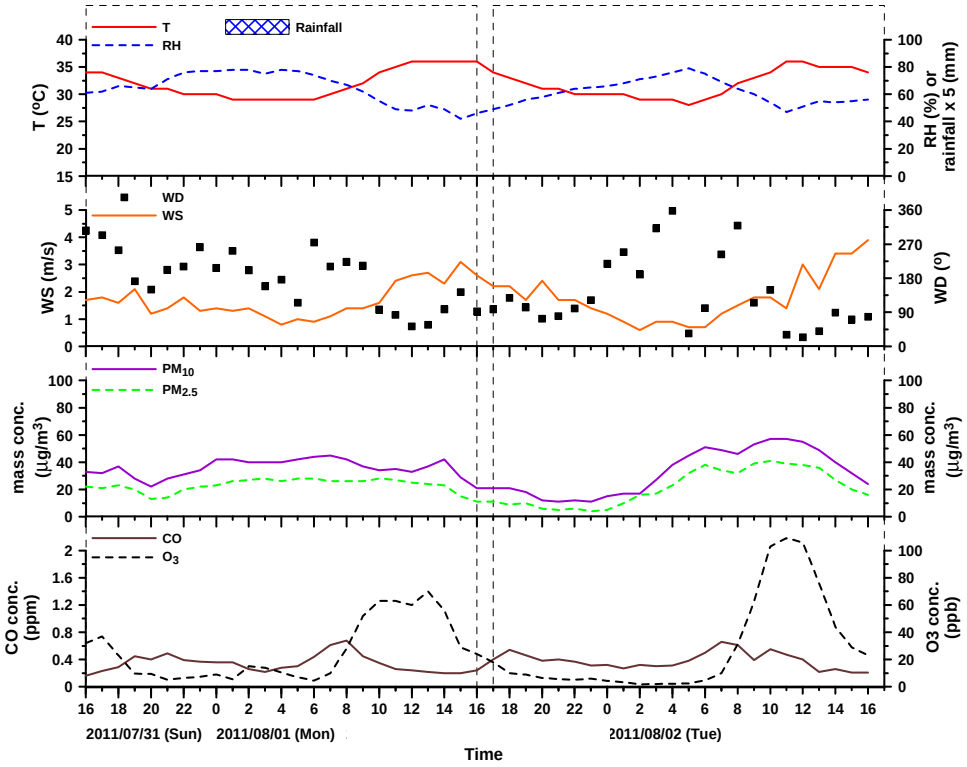


圖 7-28 2011/07/31-08/01 及 2011/08/01-08/02 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

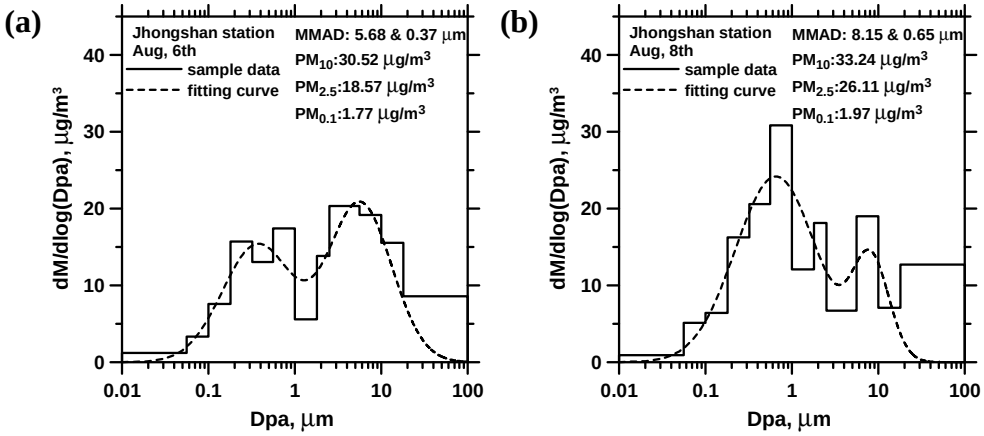


圖 7-29 (a) 2011/08/06-08/07 及(b)2011/08/07-08/08 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

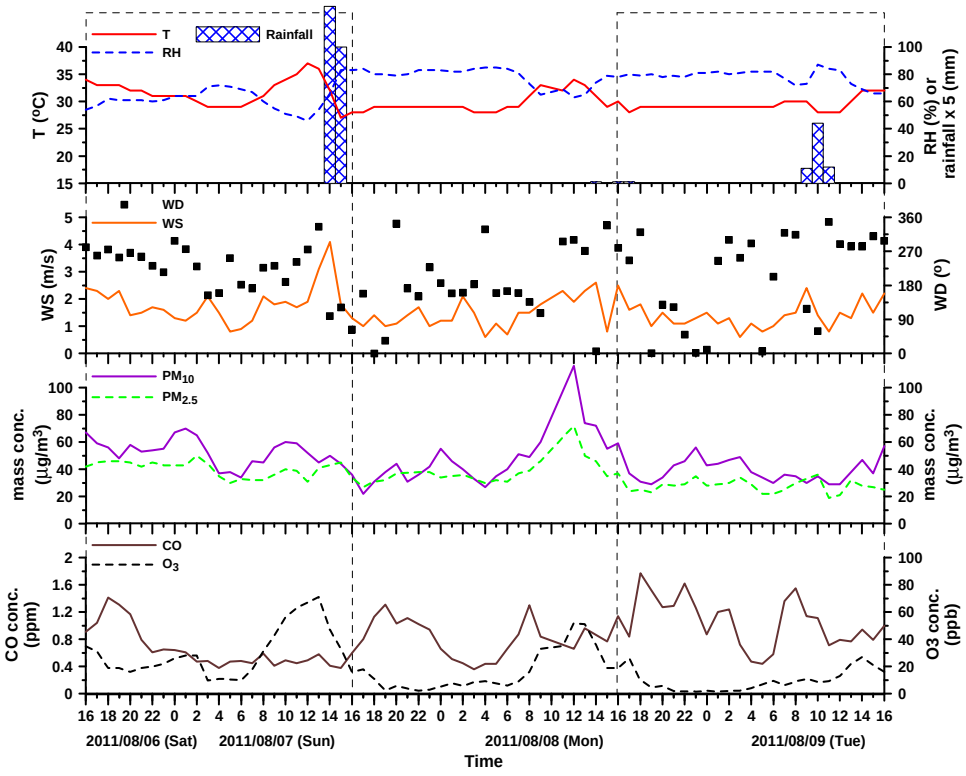


圖 7-30 2011/08/06-08/07 及 2011/08/07-08/08 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

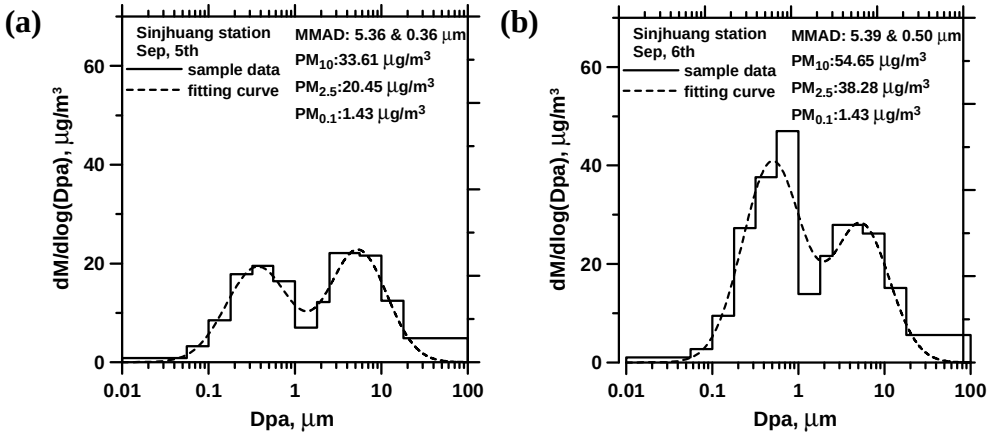


圖 7-31 (a) 2011/09/05-09/06 及(b)2011/09/06-09/07 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

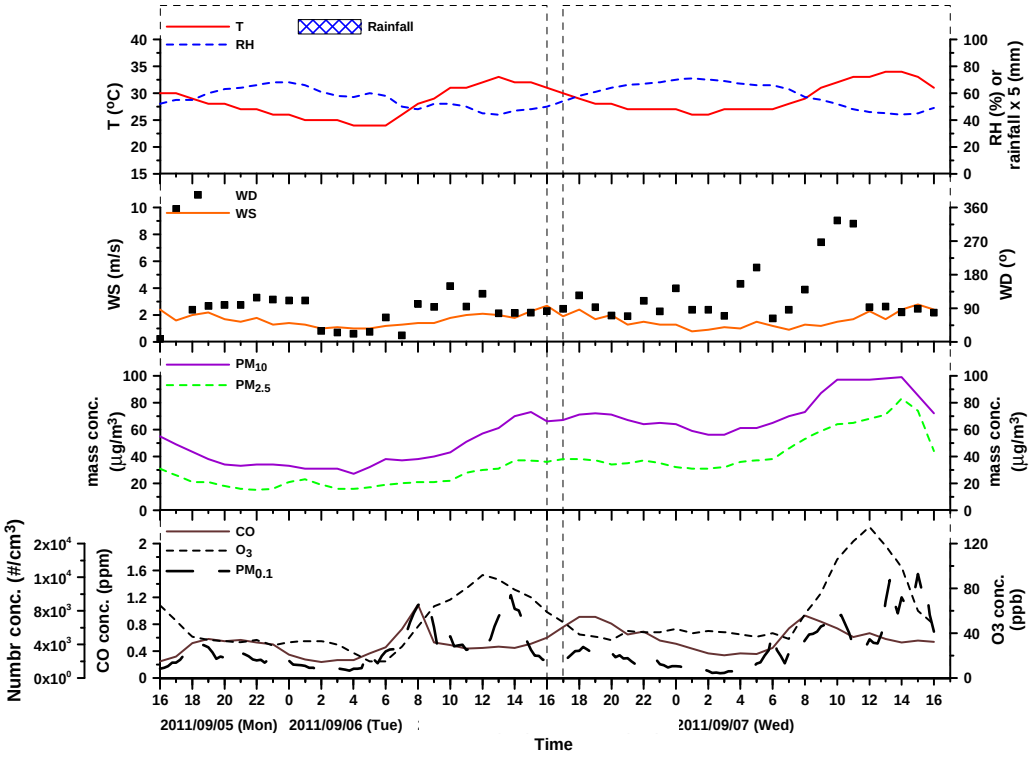


圖 7-32 2011/09/05-09/06 及 2011/09/06-09/07 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

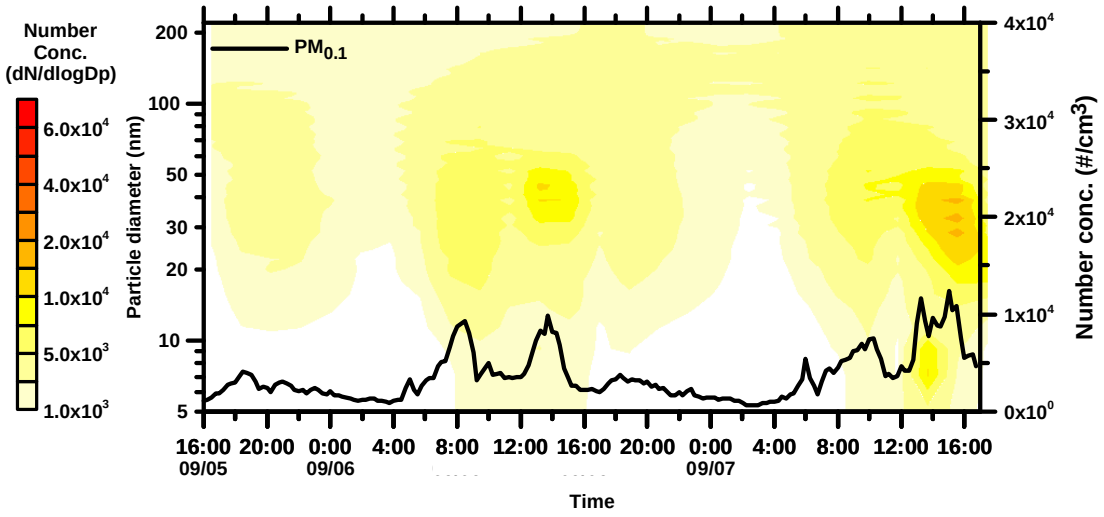


圖 7-33 2011/09/05-09/07 新莊測站微粒粒徑及濃度隨時間變化的情形。

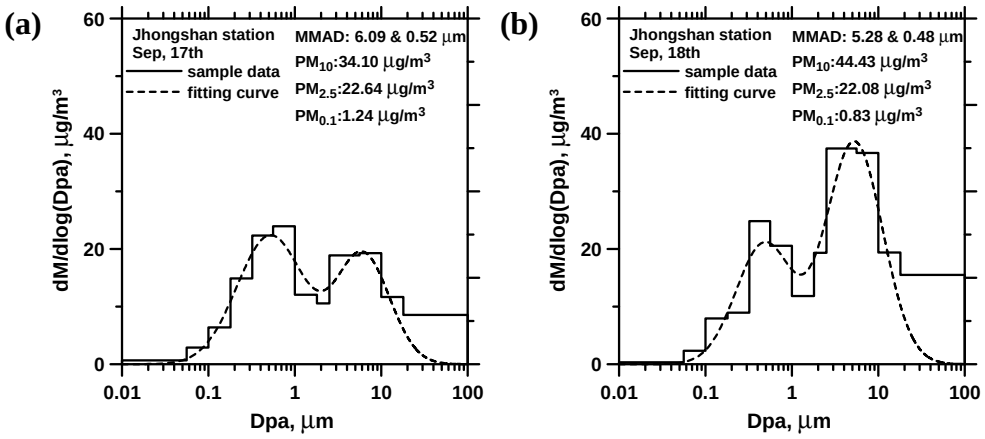


圖 7-34 (a) 2011/09/17-09/18 及(b)2011/09/18-09/19 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

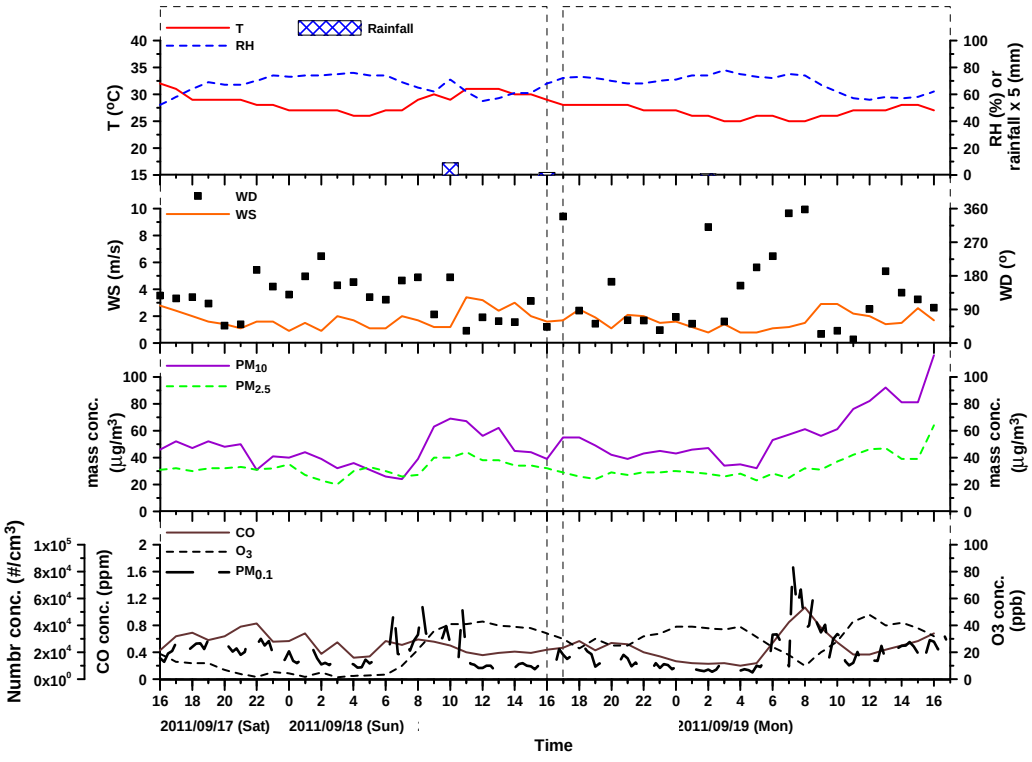


圖 7-35 2011/09/17-09/18 及 2011/09/18-09/19 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

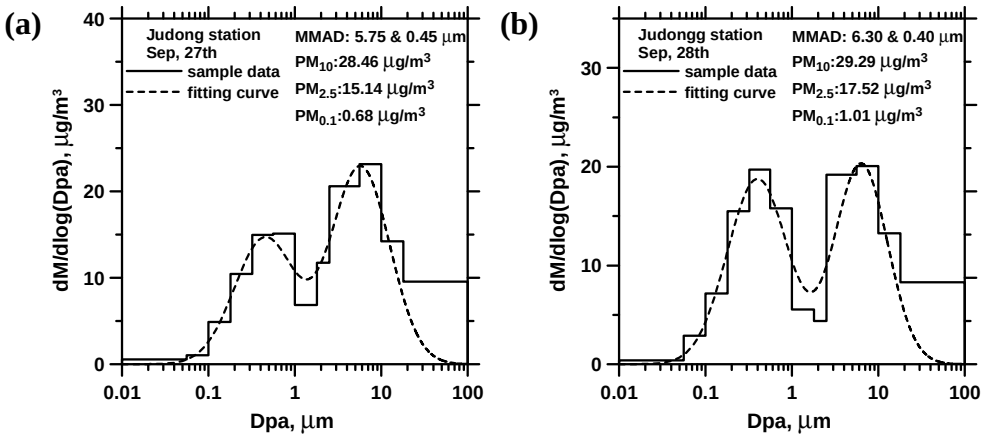


圖 7-36 (a) 2011/09/27-09/28 及(b)2011/09/28-09/29 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

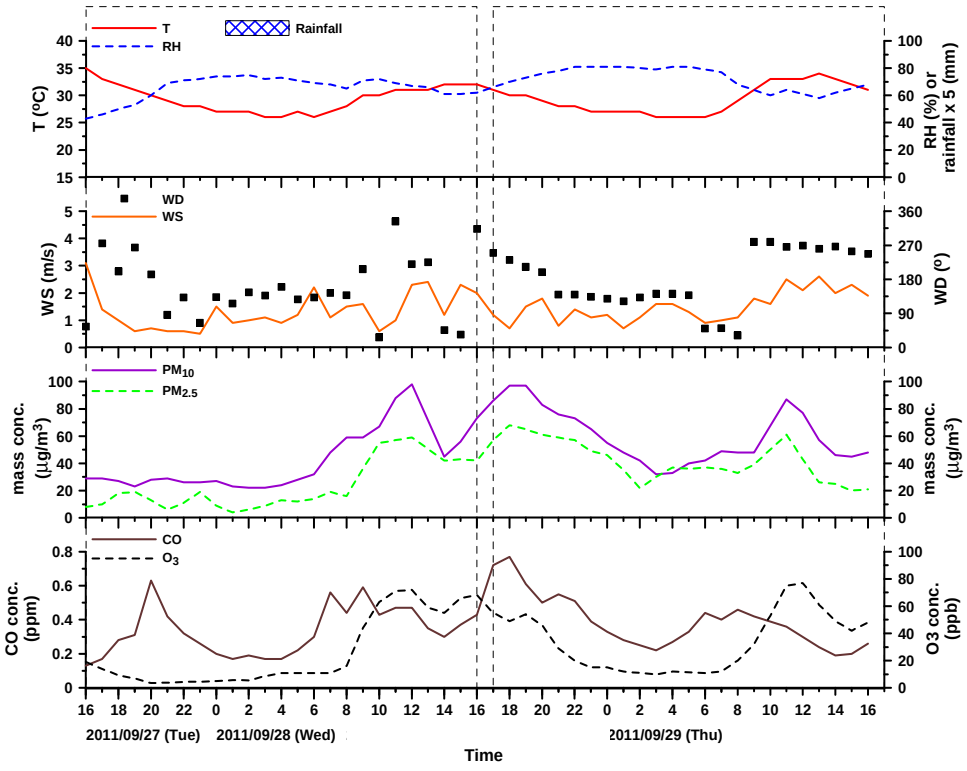


圖 7-37 2011/09/27-09/28 及 2011/09/28-09/29 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

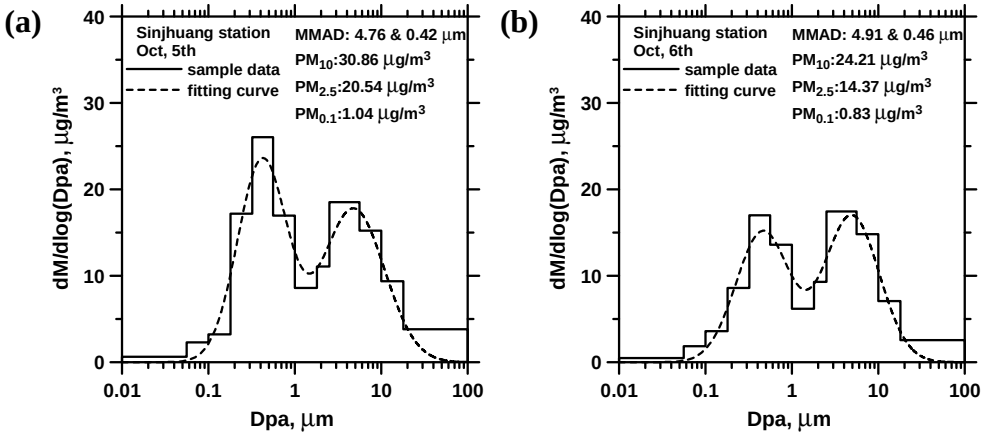


圖 7-38 (a) 2011/10/05-10/06 及(b)2011/10/06-10/07 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

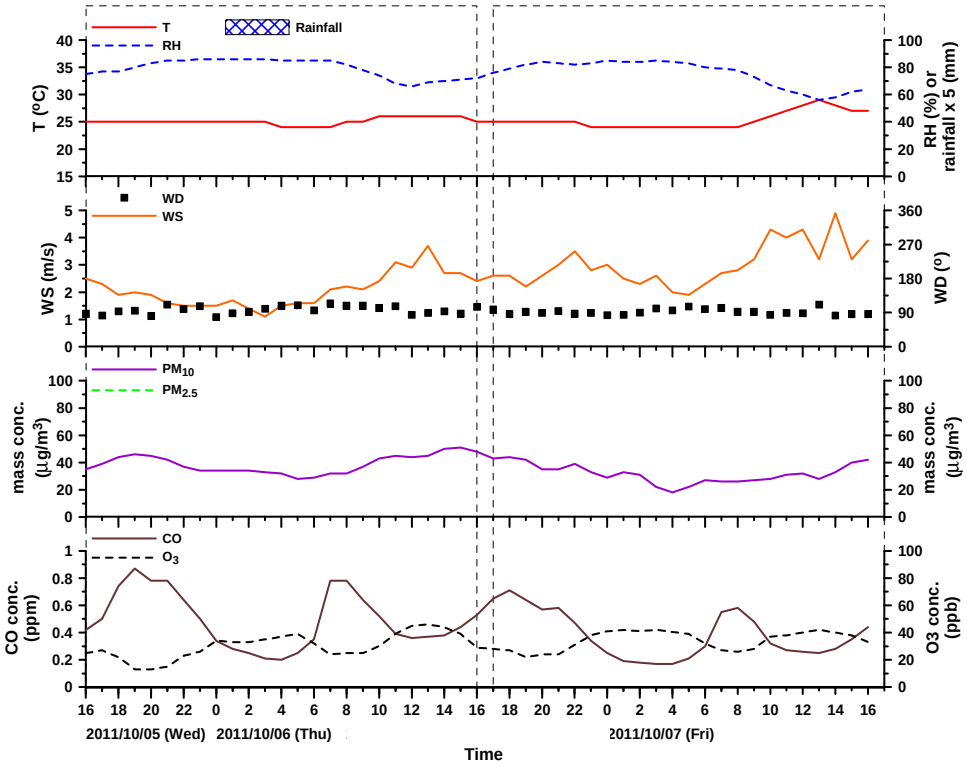


圖 7-39 2011/10/05-10/06 及 2011/10/06-10/07 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

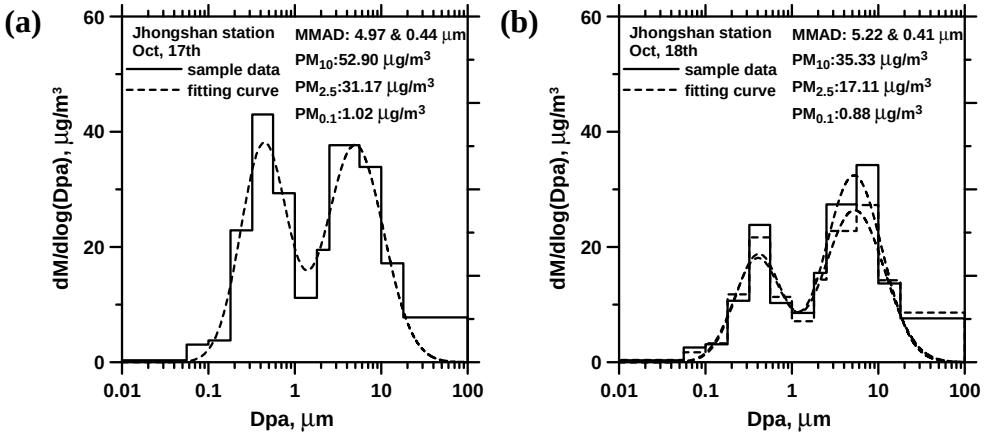


圖 7-38 (a) 2011/10/17-10/18 及(b)2011/10/18-10/19 中山測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

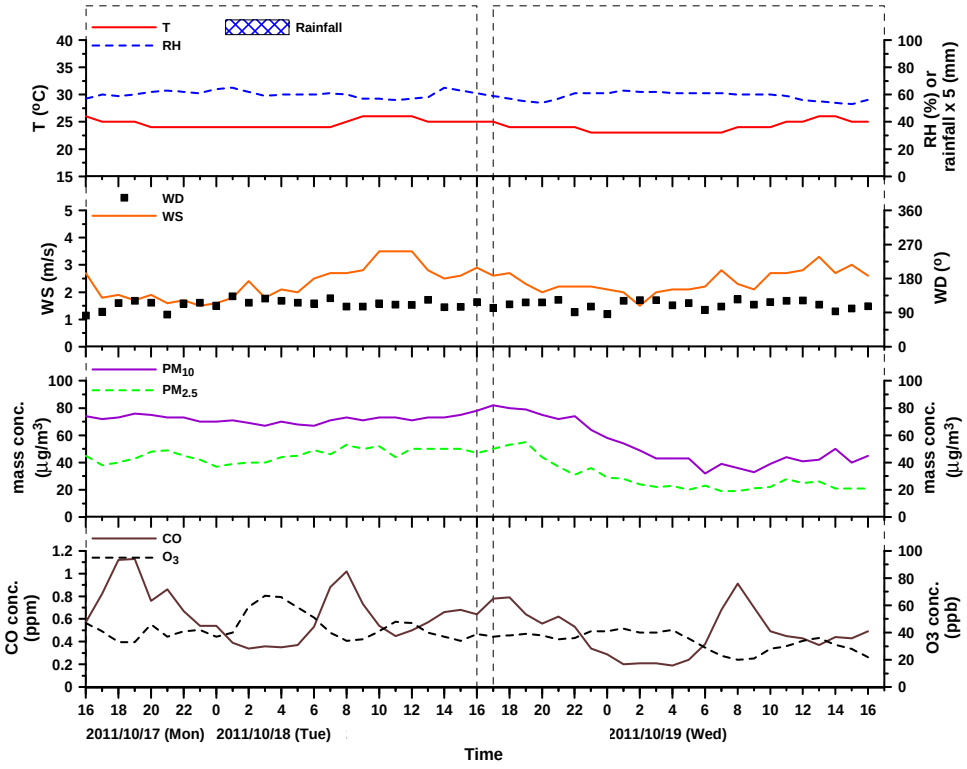


圖 7-39 2011/10/17-10/18 及 2011/10/18-10/19 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

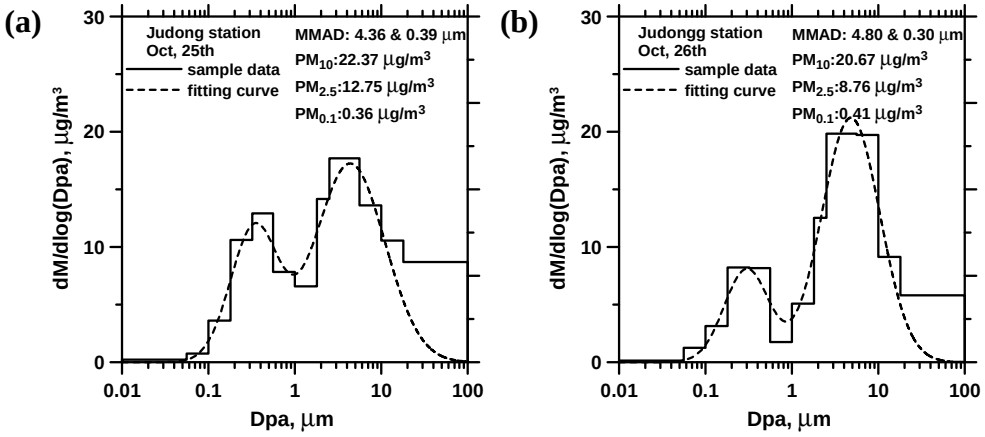


圖 7-40 (a) 2011/10/25-10/26 及(b)2011/10/26-10/27 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

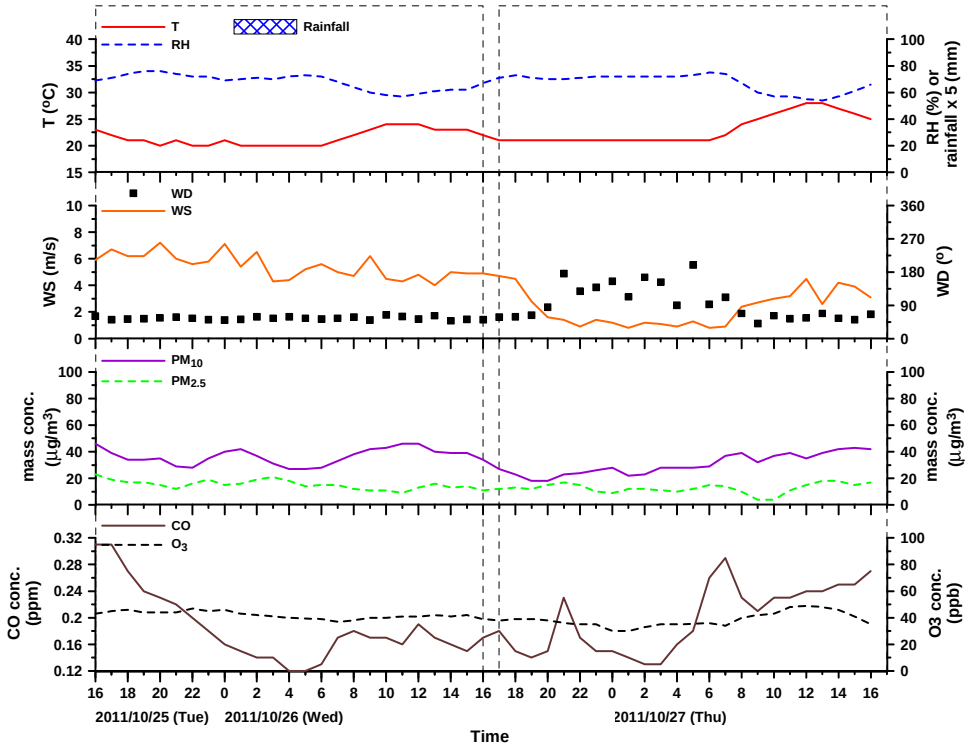


圖 7-41　2011/10/25-10/26 及 2011/10/26-10/27 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

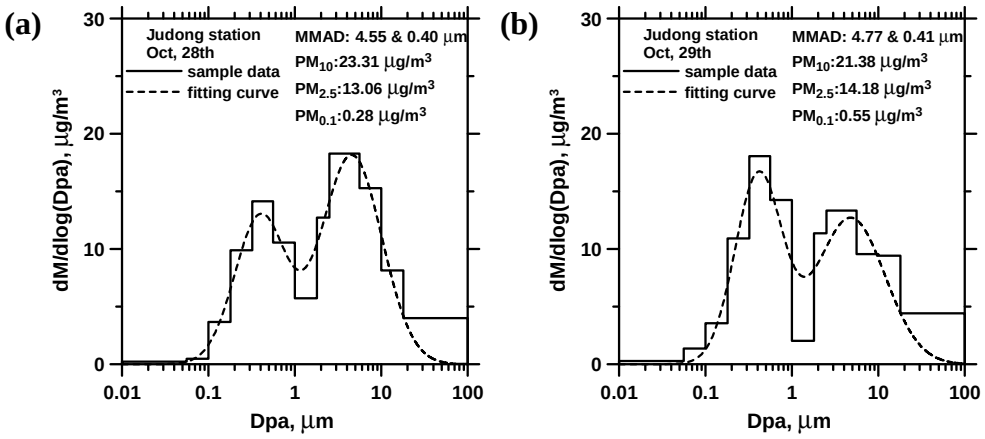


圖 7-42 (a) 2011/10/28-10/29 及(b)2011/10/29-10/30 竹東測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

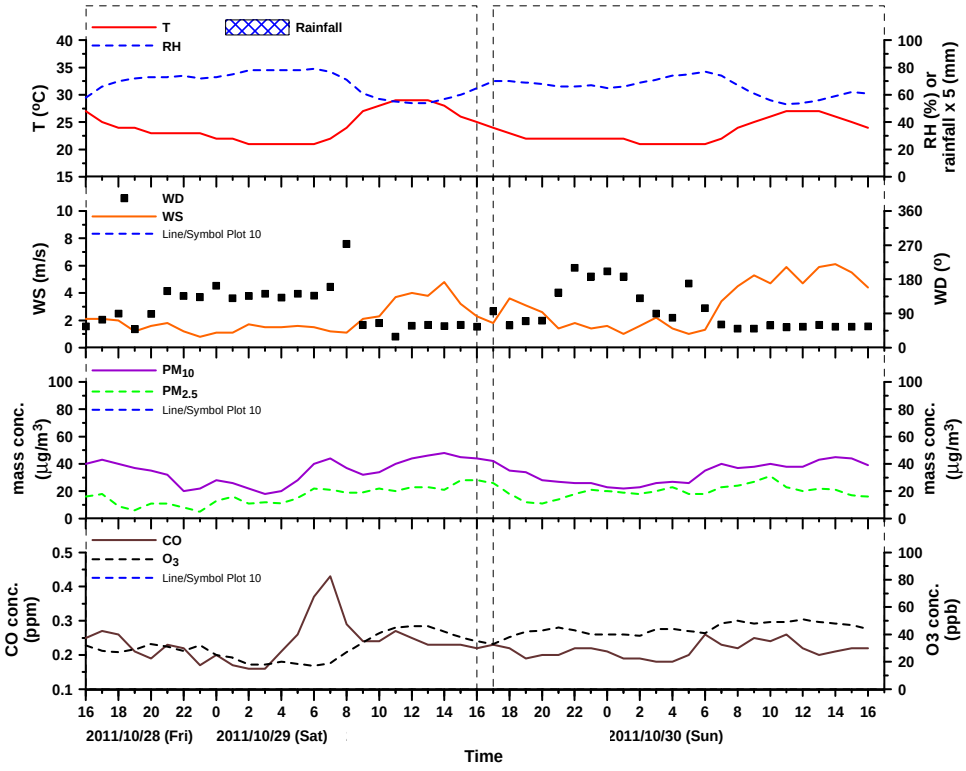


圖 7-43　2011/10/28-10/29 及 2011/10/29-10/30 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

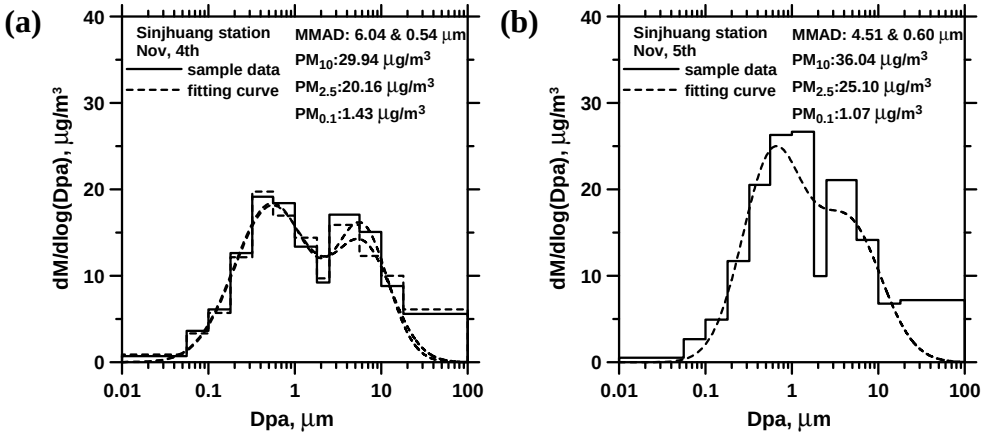


圖 7-44 (a) 2011/11/04-11/05 及(b)2011/11/05-11/06 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

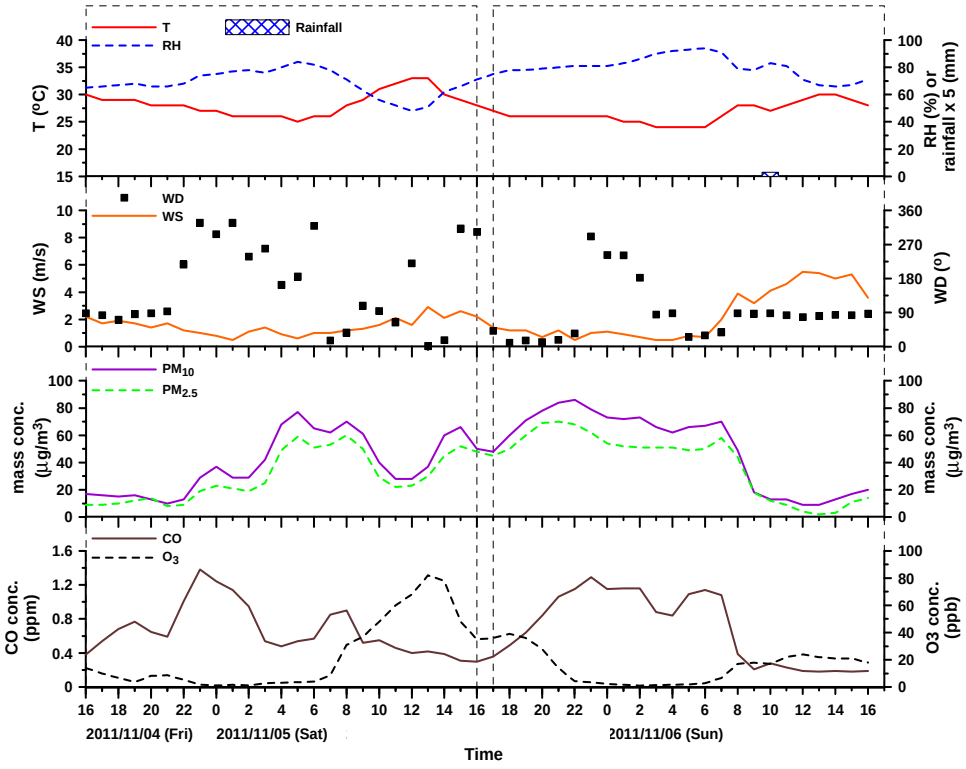


圖 7-45　2011/11/04-11/05 及 2011/11/05-11/06 新莊測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

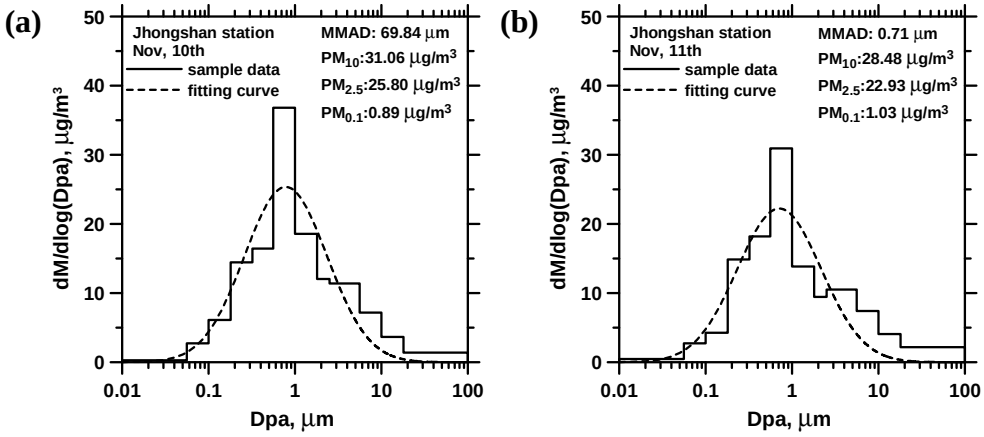


圖 7-46 (a) 2011/11/10-11/11 及(b)2011/11/11-11/12 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

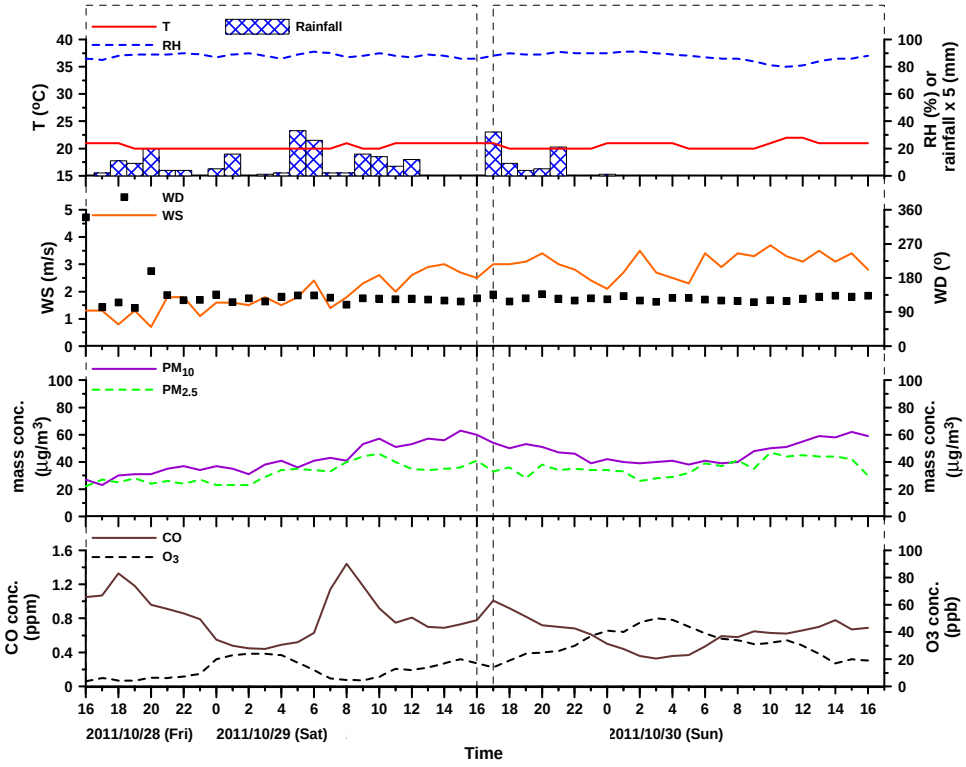


圖 7-47　2011/11/10-11/11 及 2011/11/11-11/12 中山測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

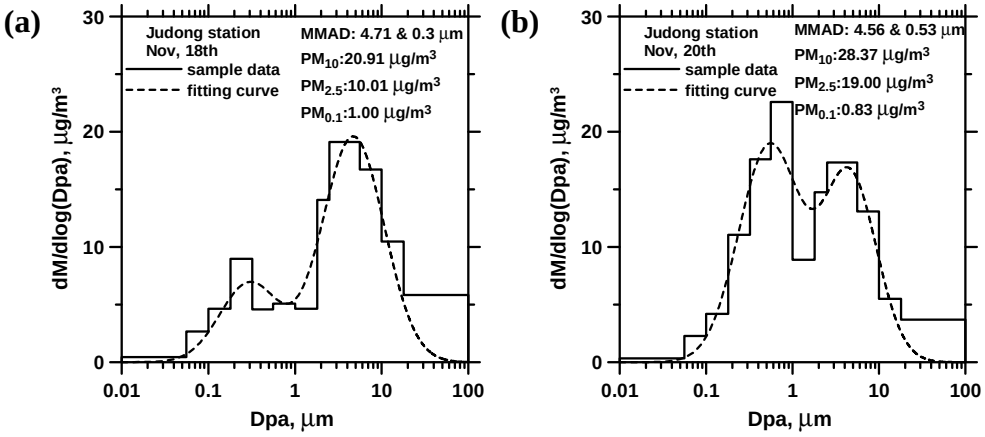


圖 7-48 (a) 2011/11/18-11/19 及(b)2011/11/20-11/21 新莊測站 MODUI 質量濃度分佈的採樣結果。

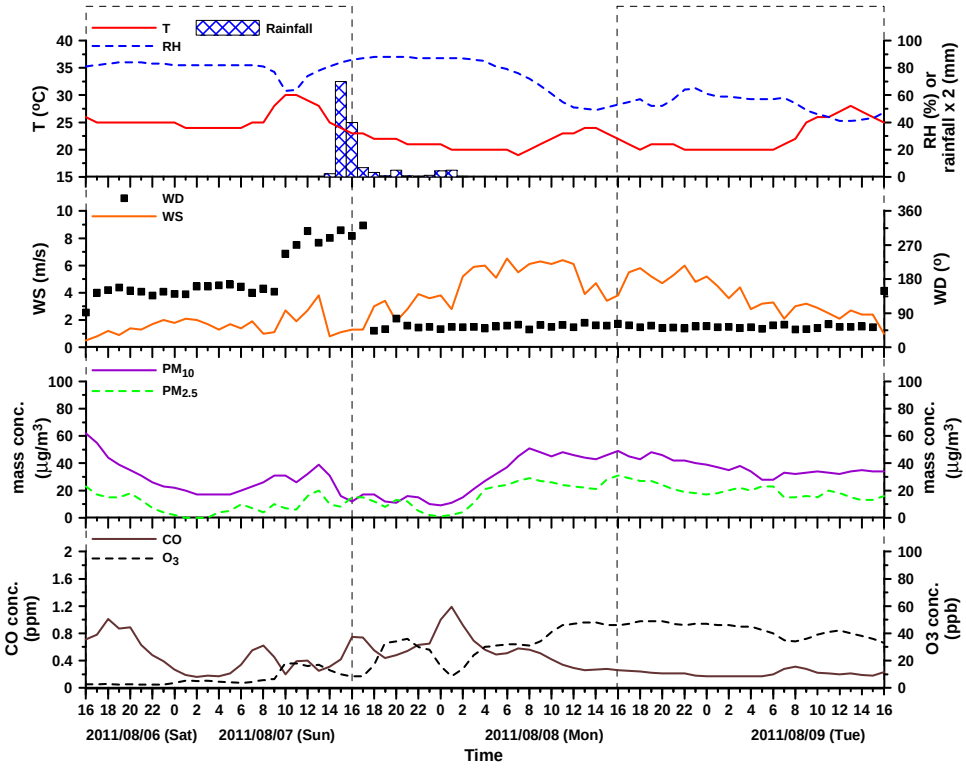


圖 7-49　2011/11/18-11/19 及 2011/11/20-11/21 竹東測站的溫度(T)、濕度(RH)、降雨量、風速(WD)、風向(WS)、PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 的質量濃度、臭氧(O_3)及一氧化碳(CO)濃度的時序分析圖。

附錄五　微量元素分析結果

表 7-1　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本之金屬元素分析結果(單位：ng/m^3)。

(一) 新莊

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		新莊 空品測站 第一次採樣													
1000503M3T2	5.6-10	93.9	47.7	106.4	29.0	37.6	44.1	0.38	0.99	6.16	0.98	0.029	0.080	0.66	0.65
1000503M3T3	2.5-5.6	669.8	394.6	241.2	179.0	228.2	242.8	2.51	6.21	41.10	8.55	0.173	0.502	1.64	2.95
1000503M3T4	1.8-2.5	228.9	127.0	55.9	53.4	65.6	53.7	0.73	1.86	13.93	2.59	0.052	0.072	0.47	0.16
1000503M3T5	1.0-1.8	244.4	150.4	57.6	55.5	82.4	37.0	0.71	1.94	16.98	3.06	0.057	0.174	0.58	3.25
1000503M3T6	0.56-1.0	114.1	56.0	15.4	19.1	47.7	2.4	0.24	0.61	6.03	2.46	0.020	0.066	0.58	3.49
1000503M3T7	0.32-0.56	41.4	14.7	12.1	3.5	21.7	ND	0.04	0.10	1.19	2.32	0.010	0.325	0.88	4.89
1000503M3T8	0.18-0.32	9.4	6.3	6.1	ND	5.6	ND	ND	ND	0.70	0.87	0.010	0.396	0.27	0.85
1000503M3T9	0.10-0.18	0.5	12.2	1.7	ND	ND	ND	ND	ND	0.13	0.11	0.003	0.078	0.07	0.02
1000503M3TA	<0.10	ND	ND	ND	ND	7.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.12	0.14
	SUM	1402.4	808.8	496.3	339.5	496.4	379.9	4.62	11.71	86.22	20.95	0.353	1.693	5.28	16.39
1000504M3T2	5.6-10	37.0	28.5	29.6	10.3	16.9	19.9	0.20	1.33	3.71	0.67	0.034	0.453	0.75	1.15
1000504M3T3	2.5-5.6	120.3	110.4	70.7	33.8	49.4	91.0	0.62	5.27	11.77	2.08	0.109	0.726	2.97	4.09
1000504M3T4	1.8-2.5	36.9	34.4	12.9	8.1	11.9	ND	0.15	1.93	3.97	0.60	0.021	0.147	1.05	1.06
1000504M3T5	1.0-1.8	36.6	48.1	19.8	7.5	23.6	ND	0.16	1.89	2.79	2.13	0.029	0.440	1.24	8.62
1000504M3T6	0.56-1.0	1.5	13.4	5.6	0.1	9.4	ND	ND	0.09	0.76	2.97	0.009	0.325	0.48	3.73
1000504M3T7	0.32-0.56	26.8	22.2	16.5	0.8	18.6	ND	0.01	0.42	1.34	3.50	0.025	0.856	0.91	5.94

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000504M3T8	0.18-0.32	0.6	8.1	6.3	1.0	8.3	ND	0.01	0.39	0.35	0.90	0.026	1.446	0.60	2.97
1000504M3T9	0.10-0.18	ND	3.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.10	0.007	0.141	0.10	0.02
1000504M3TA	<0.10	0.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
	SUM	260.6	268.8	161.4	61.6	138.2	110.9	1.15	11.31	24.69	12.95	0.260	4.535	8.10	27.58
		新莊 空品測站 第二次採樣													
1000508M3T2	5.6-10	103.2	56.7	54.6	20.1	27.5	63.1	0.53	1.85	5.16	0.99	0.045	0.460	0.40	2.46
1000508M3T3	2.5-5.6	188.6	145.2	159.6	51.6	76.0	104.7	1.32	4.99	12.62	2.34	0.094	1.096	2.56	8.33
1000508M3T4	1.8-2.5	25.7	17.2	21.6	5.2	8.2	1.2	0.14	0.61	1.67	0.20	0.015	0.170	ND	1.29
1000508M3T5	1.0-1.8	90.5	155.8	68.4	16.3	47.6	23.9	0.64	2.73	6.58	2.18	0.067	0.645	1.83	13.37
1000508M3T6	0.56-1.0	32.9	33.1	30.3	5.8	56.4	2.2	0.41	1.81	2.38	3.18	0.054	0.760	1.40	13.44
1000508M3T7	0.32-0.56	8.0	22.3	25.7	1.5	64.3	4.3	0.15	0.58	1.54	3.31	0.132	1.662	1.13	13.92
1000508M3T8	0.18-0.32	4.0	9.7	14.9	0.5	29.7	0.4	0.04	0.23	0.79	0.59	0.074	1.084	0.38	5.53
1000508M3T9	0.10-0.18	7.0	7.2	11.3	1.0	13.1	6.6	0.04	0.30	0.56	0.11	0.027	0.458	ND	2.72
1000508M3TA	<0.10	5.0	ND	3.7	0.5	3.5	ND	0.02	0.18	0.35	ND	0.006	0.243	ND	0.66
	SUM	464.8	447.1	390.2	102.3	326.4	206.4	3.29	13.29	31.64	12.89	0.513	6.578	7.71	61.72
1000509M3T2	5.6-10	217.0	140.4	107.3	39.2	47.3	129.3	1.22	7.96	13.80	2.30	0.136	1.631	1.69	9.24
1000509M3T3	2.5-5.6	361.8	257.6	246.3	88.6	63.0	204.2	2.41	8.82	28.65	4.48	0.274	3.203	5.03	18.51
1000509M3T4	1.8-2.5	156.0	91.2	88.9	28.2	32.6	52.1	0.74	3.37	10.47	1.69	0.086	1.088	1.35	8.33
1000509M3T5	1.0-1.8	183.7	116.5	113.0	30.6	54.5	53.3	1.09	4.19	12.72	3.36	0.128	1.805	2.91	27.81
1000509M3T6	0.56-1.0	82.4	44.3	56.1	8.0	51.3	18.7	0.44	1.67	4.31	4.93	0.065	0.894	2.88	21.00
1000509M3T7	0.32-0.56	19.2	60.9	93.8	3.6	54.8	9.2	0.16	0.67	2.05	6.73	0.179	2.478	3.18	31.51
1000509M3T8	0.18-0.32	4.3	27.5	54.8	2.0	48.4	10.1	0.05	0.28	0.88	2.69	0.198	2.813	2.45	20.98

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000509M3T9	0.10-0.18	10.7	17.3	24.6	3.5	19.6	3.2	0.06	0.45	0.75	0.93	0.150	2.837	0.97	9.64
1000509M3TA	<0.10	6.4	9.0	4.6	1.5	2.1	4.6	0.03	0.22	0.61	0.17	0.020	0.934	ND	1.92
	SUM	1041.6	764.9	789.5	205.2	373.7	484.9	6.21	27.63	74.23	27.28	1.236	17.683	20.45	148.93
		新莊 空品測站 第三次採樣													
1000607M3T2	5.6-10	100.1	57.0	102.3	24.9	23.1	57.7	0.53	2.01	6.02	1.01	0.081	1.201	1.09	3.79
1000607M3T3	2.5-5.6	191.7	130.2	260.2	68.5	59.3	118.0	1.33	3.98	14.22	2.66	0.211	3.263	2.85	12.41
1000607M3T4	1.8-2.5	55.6	37.5	55.0	13.1	13.6	37.0	0.30	0.98	3.34	0.54	0.049	0.821	0.86	3.96
1000607M3T5	1.0-1.8	82.0	50.1	72.5	19.5	22.4	34.0	0.47	1.70	4.84	1.50	0.072	1.682	1.60	14.09
1000607M3T6	0.56-1.0	27.6	48.6	16.4	4.7	18.3	12.3	0.18	0.67	2.51	2.06	0.031	0.668	1.30	8.08
1000607M3T7	0.32-0.56	7.9	19.2	15.4	1.4	25.9	5.1	0.08	0.44	0.69	3.06	0.024	0.779	1.21	6.92
1000607M3T8	0.18-0.32	3.3	33.3	14.4	0.6	24.9	1.8	0.04	0.11	0.38	1.90	0.049	1.389	1.82	6.09
1000607M3T9	0.10-0.18	2.7	11.1	10.4	0.7	14.8	1.8	0.01	0.05	0.10	0.50	0.183	3.863	1.63	4.54
1000607M3TA	<0.10	4.2	6.1	3.2	0.2	4.2	2.8	0.01	0.03	0.06	ND	0.087	1.683	1.52	2.07
	SUM	475.1	393.1	549.7	133.5	206.6	270.5	2.94	9.97	32.17	13.24	0.786	15.348	13.89	61.94
1000608M3T2	5.6-10	60.1	42.0	64.1	16.7	15.3	39.7	0.31	1.46	4.50	0.75	0.031	0.407	0.75	2.88
1000608M3T3	2.5-5.6	172.3	141.1	248.9	66.0	55.0	124.2	1.23	5.92	15.70	3.24	0.136	1.807	3.43	13.48
1000608M3T4	1.8-2.5	57.7	41.4	66.6	16.3	14.2	33.6	0.35	1.86	5.01	0.66	0.040	0.638	1.21	4.86
1000608M3T5	1.0-1.8	63.1	51.0	73.2	17.3	21.8	27.7	0.40	2.24	5.22	1.52	0.049	1.025	1.84	16.64
1000608M3T6	0.56-1.0	26.8	75.9	27.9	5.0	25.8	13.3	0.19	1.16	3.24	2.94	0.033	0.764	1.34	13.19
1000608M3T7	0.32-0.56	7.9	23.7	36.6	1.9	37.6	8.6	0.09	0.35	1.02	3.95	0.031	1.181	2.36	11.28
1000608M3T8	0.18-0.32	3.9	15.3	24.5	0.8	27.2	8.3	0.04	0.09	1.04	2.34	0.055	1.523	3.40	10.87
1000608M3T9	0.10-0.18	8.9	25.1	29.7	0.6	27.8	7.3	0.03	0.11	0.30	0.82	0.155	3.592	4.10	11.75

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000608M3T10	0.056-0.10	1.8	0.9	2.3	0.0	2.6	2.2	0.004	ND	0.58	ND	0.023	0.595	0.57	1.14
1000608M3TA	<0.056	0.2	ND	1.1	0.1	0.8	3.0	0.001	0.06	0.11	ND	0.014	0.178	0.01	0.22
	SUM	402.6	416.4	574.8	124.8	228.2	268.0	2.65	13.25	36.72	16.21	0.568	11.710	19.01	86.29
		新莊 空品測站 第四次採樣													
1000707M3T2	5.6-10	159.7	102.5	87.1	31.6	34.1	78.3	0.84	2.43	11.90	1.85	0.122	1.170	1.44	4.01
1000707M3T3	2.5-5.6	277.8	197.7	199.4	76.0	79.1	168.8	2.14	6.74	27.18	3.68	0.268	3.114	3.34	10.39
1000707M3T4	1.8-2.5	139.7	74.4	68.1	25.6	28.5	47.7	0.72	2.90	9.42	1.41	0.100	1.239	1.36	4.40
1000707M3T5	1.0-1.8	171.6	106.9	69.9	31.6	41.7	55.7	0.92	3.83	14.32	2.53	0.141	1.899	2.39	12.21
1000707M3T6	0.56-1.0	57.6	48.2	21.1	8.8	45.4	19.2	0.30	1.31	5.64	3.64	0.054	1.174	1.46	9.70
1000707M3T7	0.32-0.56	4.7	21.5	22.0	1.6	54.0	3.4	0.03	0.21	0.73	4.90	0.048	2.052	3.81	9.82
1000707M3T8	0.18-0.32	2.4	17.1	12.5	1.1	29.2	5.5	0.02	0.22	0.46	1.97	0.079	1.900	3.35	6.71
1000707M3T9	0.10-0.18	3.9	6.1	7.5	3.0	11.0	7.4	0.01	0.11	0.35	0.57	0.134	3.084	2.50	3.91
1000707M3T10	0.056-0.10	2.1	ND	2.2	0.6	2.3	1.4	0.02	0.08	0.22	0.20	0.069	1.527	0.36	1.31
1000707M3TA	<0.056	2.8	ND	6.2	0.8	0.8	ND	0.01	0.09	0.13	0.24	0.004	0.079	0.03	0.78
	SUM	822.5	574.3	495.9	180.7	326.1	387.3	5.03	17.93	70.34	20.99	1.019	17.239	20.04	63.24
1000708M3T2	5.6-10	106.6	56.5	168.2	31.9	24.5	40.6	0.62	1.21	4.72	1.21	0.043	0.461	0.86	3.75
1000708M3T3	2.5-5.6	222.5	185.6	396.7	68.2	82.8	87.4	1.54	3.59	16.82	3.14	0.151	1.673	4.38	15.65
1000708M3T4	1.8-2.5	102.4	52.8	108.5	25.9	21.9	25.4	0.51	1.65	4.97	1.11	0.068	0.409	1.12	8.18
1000708M3T5	1.0-1.8	84.5	49.8	91.5	23.7	33.5	24.6	0.47	1.46	4.83	1.69	0.043	0.539	1.44	16.75
1000708M3T6	0.56-1.0	30.1	25.6	26.6	6.2	72.7	8.8	0.18	0.85	2.68	2.70	0.031	0.729	1.75	14.99
1000708M3T7	0.32-0.56	5.6	8.7	17.8	1.7	77.4	4.8	0.05	0.29	1.15	2.40	0.026	1.046	1.61	8.70
1000708M3T8	0.18-0.32	11.3	9.4	18.2	1.5	73.9	3.2	0.01	0.11	0.89	1.71	0.044	1.460	5.01	8.30

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000708M3T9	0.10-0.18	0.5	ND	9.5	1.1	15.5	0.2	0.01	0.04	0.17	0.28	0.025	0.652	2.22	3.08
1000708M3T10	0.056-0.10	1.0	ND	2.8	0.3	2.3	ND	0.002	0.04	0.19	0.04	0.006	0.189	0.25	0.35
1000708M3TA	<0.056	0.5	ND	4.5	0.8	1.3	1.5	0.01	0.06	0.03	0.05	0.004	0.157	0.13	0.52
	SUM	565.2	388.5	844.2	161.5	405.8	196.4	3.41	9.29	36.43	14.35	0.442	7.315	18.77	80.27
		新莊 空品測站 第五次採樣													
1000731M3T2	5.6-10	23.8	35.8	46.7	9.1	9.6	27.8	0.16	0.64	1.96	0.69	0.039	0.566	NA	2.00
1000731M3T3	2.5-5.6	121.8	151.2	348.5	64.8	48.9	118.9	1.00	3.66	8.95	2.26	0.209	3.063	NA	9.82
1000731M3T4	1.8-2.5	32.9	42.8	97.7	16.8	13.8	29.4	0.24	1.26	3.00	0.80	0.047	0.742	NA	3.85
1000731M3T5	1.0-1.8	32.1	53.0	107.9	18.7	16.9	26.5	0.36	2.24	2.74	1.17	0.048	0.621	NA	7.79
1000731M3T6	0.56-1.0	14.2	38.8	24.7	5.1	21.4	10.7	0.18	1.03	1.65	1.28	0.036	0.490	NA	6.67
1000731M3T7	0.32-0.56	6.1	31.2	26.0	1.5	43.9	9.5	0.18	0.39	1.20	1.94	0.134	1.797	NA	7.84
1000731M3T8	0.18-0.32	3.0	10.7	11.6	0.6	14.8	2.9	0.04	0.34	0.44	0.64	0.039	0.693	NA	3.17
1000731M3T9	0.10-0.18	3.8	3.4	12.7	0.7	5.7	11.1	0.05	0.02	1.01	0.25	0.023	0.459	NA	1.93
1000731M3T10	0.056-0.10	0.7	3.8	6.1	0.5	1.7	ND	ND	0.00	0.29	0.21	0.009	0.238	NA	1.44
1000731M3TA	*<0.056*	*118.7*	*8.5*	*9.5*	*5.6*	*1.4*	*226.9*	*2.36*	*0.56*	*6.03*	*0.18*	*0.010*	*0.062*	*NA*	*0.94*
	SUM	238.4	370.8	681.9	117.9	176.6	236.7	2.21	9.58	21.2	9.23	0.583	8.669	NA	44.5
1000801M3T2	5.6-10	52.1	43.9	56.4	17.4	13.6	59.6	0.40	1.05	4.68	0.84	0.061	0.764	NA	2.34
1000801M3T3	2.5-5.6	96.5	94.1	191.0	40.9	35.6	108.0	0.92	2.75	8.94	1.57	0.113	1.815	NA	4.04
1000801M3T4	1.8-2.5	37.7	43.6	61.6	15.0	12.0	32.0	0.32	1.23	4.15	0.67	0.042	0.527	NA	2.93
1000801M3T5	1.0-1.8	10.8	14.7	33.1	6.4	4.7	6.2	0.14	0.47	2.00	0.39	0.020	0.319	NA	2.80
1000801M3T6	0.56-1.0	18.1	35.7	15.8	3.7	12.8	12.9	0.20	0.78	2.72	1.50	0.033	1.345	NA	5.17
1000801M3T7	0.32-0.56	10.1	14.7	16.4	1.0	22.6	4.8	0.04	0.16	1.04	1.79	0.054	1.870	NA	5.55

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000801M3T8	0.18-0.32	4.1	8.0	5.0	0.2	8.5	1.3	0.02	0.01	0.39	0.69	0.029	0.723	NA	3.01
1000801M3T9	0.10-0.18	1.1	3.9	2.3	0.1	3.6	1.2	0.01	0.06	0.34	0.28	0.064	0.797	NA	2.51
1000801M3T10	0.056-0.10	4.7	1.5	ND	ND	1.0	5.2	0.08	ND	0.32	0.15	0.016	0.211	NA	2.09
1000801M3TA	<0.056	0.8	1.0	0.7	ND	1.0	0.9	0.06	0.01	0.19	0.03	0.007	0.042	NA	0.65
	SUM	236.2	261.2	382.4	84.7	115.3	232.1	2.20	6.52	24.75	7.90	0.440	8.413	NA	31.1
		新莊 空品測站 第六次採樣													
1000905M3T2	5.6-10	71.9	80.3	242.0	42.9	31.1	100.3	0.65	2.05	6.53	1.32	0.046	0.237	NA	1.99
1000905M3T3	2.5-5.6	74.3	79.6	265.8	47.7	38.4	101.7	0.67	2.67	6.21	1.60	0.059	0.306	NA	4.31
1000905M3T4	1.8-2.5	50.2	49.4	93.3	23.5	18.5	48.7	0.36	1.56	4.59	1.06	0.038	0.259	NA	3.39
1000905M3T5	1.0-1.8	55.3	66.5	92.8	31.5	28.1	49.1	0.44	2.27	5.28	2.17	0.049	0.335	NA	10.20
1000905M3T6	0.56-1.0	32.3	59.0	36.0	15.1	64.8	26.1	0.29	1.57	4.16	4.94	0.044	0.431	NA	14.75
1000905M3T7	0.32-0.56	5.6	21.9	15.9	2.5	41.8	25.3	0.07	0.31	0.87	3.26	0.048	0.710	NA	7.13
1000905M3T8	0.18-0.32	4.1	5.1	17.9	2.3	7.8	8.9	0.05	0.26	0.44	0.31	0.015	0.498	NA	2.07
1000905M3T9	0.10-0.18	4.3	4.6	14.2	1.6	6.8	32.4	0.07	0.24	0.53	0.23	0.016	0.586	NA	2.93
1000905M3T10	0.056-0.10	3.2	1.4	5.6	0.4	2.1	20.7	0.02	0.30	0.24	0.02	0.007	0.340	NA	0.66
1000905M3TA	<0.056	14.0	2.7	7.8	2.1	1.7	5.9	0.03	0.26	0.79	0.03	0.003	0.182	NA	2.36
	SUM	315.2	370.4	791.2	169.6	241.1	419.0	2.64	11.47	29.65	14.95	0.326	3.882	NA	49.81
1000906M3T2	5.6-10	151.8	149.8	271.3	67.8	53.0	193.2	1.15	3.42	12.00	2.69	0.112	0.521	NA	4.70
1000906M3T3	2.5-5.6	73.9	130.4	148.5	32.8	27.6	78.5	0.62	1.85	5.30	1.87	0.056	0.227	NA	4.06
1000906M3T4	1.8-2.5	97.4	98.1	97.8	37.8	31.2	70.5	0.69	2.81	7.89	2.24	0.070	0.403	NA	10.46
1000906M3T5	1.0-1.8	92.0	113.6	90.9	58.7	58.6	59.2	0.72	2.82	9.36	5.35	0.081	0.671	NA	29.91
1000906M3T6	0.56-1.0	45.0	107.4	70.7	24.0	173.4	23.5	0.47	1.86	5.43	11.74	0.082	0.966	NA	42.39

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000906M3T7	0.32-0.56	9.4	48.2	30.4	4.1	83.8	6.2	0.10	0.50	1.76	6.53	0.079	1.288	NA	16.85
1000906M3T8	0.18-0.32	6.8	20.0	14.7	1.4	22.8	7.5	0.13	0.22	0.65	1.98	0.065	1.132	NA	7.56
1000906M3T9	0.10-0.18	4.2	7.0	4.5	0.6	5.4	2.3	0.03	0.13	0.78	0.51	0.041	0.676	NA	3.18
1000906M3T10	0.056-0.10	1.1	ND	5.6	0.4	0.7	ND	0.01	0.03	0.15	ND	0.009	0.070	NA	0.76
1000906M3TA	<0.056	0.9	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	1.22	0.17	ND	ND	0.066	NA	0.42
	SUM	482.7	674.6	734.5	227.6	456.5	441.0	3.95	14.86	43.48	32.91	0.595	6.019	NA	120.30
		新莊 空品測站 第七次採樣													
1001005M3T2	5.6-10	29.5	30.2	351.4	38.8	24.6	54.1	0.42	1.22	3.79	0.53	0.018	0.226	0.78	3.59
1001005M3T3	2.5-5.6	72.7	97.3	749.6	94.6	59.0	121.5	1.02	4.22	8.04	1.61	0.048	0.403	2.55	4.12
1001005M3T4	1.8-2.5	11.3	16.5	85.8	11.7	9.5	12.7	0.14	0.77	1.51	0.30	0.006	0.137	0.56	1.45
1001005M3T5	1.0-1.8	16.6	27.8	94.5	15.1	13.6	14.2	0.25	1.14	1.92	1.22	0.008	0.195	0.73	7.01
1001005M3T6	0.56-1.0	5.0	6.1	7.8	1.5	8.7	0.2	0.05	0.18	0.76	1.07	ND	0.101	0.29	3.37
1001005M3T7	0.32-0.56	6.2	22.2	15.0	2.1	32.5	5.9	0.11	0.42	1.10	4.02	0.027	1.145	0.75	6.89
1001005M3T8	0.18-0.32	3.1	9.3	8.6	1.2	8.3	ND	0.07	2.34	0.38	0.97	0.018	1.131	0.37	2.34
1001005M3T9	0.10-0.18	3.2	3.2	5.3	1.7	2.6	8.2	0.03	0.17	2.71	0.14	0.008	0.347	0.16	1.70
1001005M3T10	0.056-0.10	4.6	0.9	6.3	0.9	0.3	4.7	0.07	0.12	0.31	0.02	ND	0.061	0.07	0.30
1001005M3TA	<0.056	0.9	1.1	1.8	0.5	ND	ND	ND	0.09	0.57	0.01	0.001	ND	0.01	0.22
	SUM	153.1	214.8	1326.1	168.2	159.1	221.5	2.14	10.66	21.09	9.91	0.134	3.746	6.27	30.97
1001006M3T2	5.6-10	19.0	21.7	258.6	32.3	16.2	43.7	0.29	0.63	2.28	0.35	0.017	0.145	0.53	1.28
1001006M3T3	2.5-5.6	50.8	81.3	622.4	76.5	44.6	107.4	0.83	2.62	9.63	1.39	0.041	0.341	1.66	3.00
1001006M3T4	1.8-2.5	16.2	13.5	65.5	9.0	7.1	13.1	0.16	0.59	1.54	0.26	0.004	0.538	0.37	1.15
1001006M3T5	1.0-1.8	27.3	34.1	143.5	21.9	17.7	32.4	0.40	1.21	3.41	1.50	0.011	0.196	0.73	4.84

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1001006M3T6	0.56-1.0	6.5	25.1	18.1	4.5	26.5	2.8	0.11	0.49	1.44	3.95	0.005	0.231	0.48	5.85
1001006M3T7	0.32-0.56	3.0	16.0	13.6	1.7	26.8	1.2	0.05	0.23	0.69	2.69	0.020	1.788	0.49	4.27
1001006M3T8	0.18-0.32	1.5	1.3	13.1	1.8	7.4	ND	0.01	0.09	0.39	0.19	0.004	0.354	0.15	0.65
1001006M3T9	0.10-0.18	4.5	6.6	2.2	0.4	0.2	3.7	0.08	0.04	0.45	0.12	0.003	0.184	0.12	0.36
1001006M3T10	0.056-0.10	0.7	1.1	1.9	0.5	ND	ND	0.00	0.05	0.23	0.01	ND	0.011	0.04	0.26
1001006M3TA	<0.056	0.9	0.8	1.7	0.4	ND	ND	0.00	0.08	0.24	0.03	ND	ND	0.01	0.17
	SUM	130.4	201.4	1140.7	149.1	146.7	204.2	1.93	6.05	20.30	10.48	0.105	3.788	4.58	21.8

註:斜體數值表疑問數據，可能由於污染。

表 7-1 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本之金屬元素分析結果(單位：ng/m^3)。

(一)新莊

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
		新莊 空品測站 第一次採樣														
1000503M3T2	5.6-10	0.025	ND	0.024	0.699	ND	ND	0.31	0.13	0.29	0.02	0.024	0.022	0.114	0.008	0.054
1000503M3T3	2.5-5.6	0.104	0.051	0.009	0.159	ND	0.005	0.80	1.03	0.86	0.13	0.222	0.013	1.000	0.078	0.397
1000503M3T4	1.8-2.5	0.023	0.026	0.001	ND	ND	ND	0.18	0.36	0.04	0.03	0.070	0.018	0.339	0.025	0.123
1000503M3T5	1.0-1.8	0.072	0.028	0.017	0.156	ND	0.002	0.60	0.49	0.36	0.06	0.071	0.040	0.363	0.027	0.138
1000503M3T6	0.56-1.0	0.023	0.204	0.016	0.140	ND	0.003	0.87	0.28	ND	0.02	0.026	0.016	0.165	0.016	0.049
1000503M3T7	0.32-0.56	0.022	0.121	0.032	0.231	ND	0.004	1.12	0.67	0.02	0.02	0.003	0.016	0.073	0.009	0.024
1000503M3T8	0.18-0.32	0.029	0.0003	0.020	0.188	ND	0.001	0.59	0.48	0.10	ND	ND	ND	0.028	0.003	0.013
1000503M3T9	0.10-0.18	0.004	0.006	0.002	ND	ND	ND	0.16	0.14	ND	ND	ND	ND	0.003	ND	0.003
1000503M3TA	<0.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	SUM	0.302	0.437	0.122	1.573	0.000	0.015	4.62	3.58	1.67	0.29	0.417	0.124	2.085	0.165	0.801
1000504M3T2	5.6-10	0.073	0.081	0.001	ND	ND	ND	0.41	0.10	0.74	ND	0.009	0.002	0.042	0.002	0.055
1000504M3T3	2.5-5.6	0.295	0.054	0.017	0.314	0.132	ND	1.33	0.39	1.49	ND	0.038	0.020	0.136	0.008	0.207
1000504M3T4	1.8-2.5	0.067	0.013	0.009	0.182	ND	ND	0.49	0.14	0.02	ND	0.010	0.002	0.040	0.002	0.077
1000504M3T5	1.0-1.8	0.103	0.057	0.044	0.331	ND	ND	1.09	0.74	0.03	0.03	0.008	0.053	0.071	0.005	0.082
1000504M3T6	0.56-1.0	0.019	0.025	0.031	0.207	ND	ND	0.64	0.69	0.08	0.01	ND	0.044	0.026	0.002	0.016
1000504M3T7	0.32-0.56	0.047	0.024	0.063	0.575	0.019	0.002	1.59	1.36	0.13	0.04	0.0003	0.032	0.045	0.003	0.050
1000504M3T8	0.18-0.32	0.047	0.283	0.032	0.360	ND	0.0004	1.11	0.69	0.08	0.02	0.001	0.006	0.022	0.002	0.040
1000504M3T9	0.10-0.18	0.014	0.039	0.005	0.015	ND	ND	0.37	0.09	ND	ND	ND	ND	0.009	0.001	0.006

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000504M3TA	<0.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	SUM	0.665	0.577	0.202	1.984	0.151	0.002	7.10	4.19	2.57	0.10	0.066	0.160	0.390	0.025	0.532
		新莊 空品測站 第二次採樣														
1000508M3T2	5.6-10	0.087	0.110	0.010	0.139	0.158	0.006	0.75	0.21	0.49	0.02	0.025	ND	0.098	0.007	0.085
1000508M3T3	2.5-5.6	0.229	0.059	0.039	0.426	0.588	0.023	1.85	0.56	1.48	0.08	0.065	0.052	0.246	0.018	0.241
1000508M3T4	1.8-2.5	0.054	0.009	0.010	0.136	0.093	0.003	0.29	0.20	0.47	0.01	0.006	0.019	0.028	0.003	0.029
1000508M3T5	1.0-1.8	0.180	0.046	0.109	0.856	0.555	0.019	3.21	0.63	0.88	0.13	0.025	0.110	0.136	0.013	0.142
1000508M3T6	0.56-1.0	0.126	0.082	0.213	1.085	0.638	0.022	4.08	1.25	0.30	0.22	0.010	0.219	0.135	0.017	0.097
1000508M3T7	0.32-0.56	0.169	0.086	0.350	1.388	1.621	0.043	4.74	3.03	0.26	0.37	0.002	0.271	0.161	0.021	0.088
1000508M3T8	0.18-0.32	0.169	0.032	0.130	0.786	1.428	0.030	2.62	1.56	ND	0.21	0.001	0.110	0.081	0.014	0.070
1000508M3T9	0.10-0.18	0.101	0.022	0.037	0.352	0.383	0.012	1.01	0.32	ND	0.09	0.002	0.032	0.032	0.006	0.030
1000508M3TA	<0.10	0.043	0.008	0.013	0.203	0.092	0.004	0.30	0.08	0.33	0.04	0.001	0.015	0.008	0.001	0.010
	SUM	1.157	0.453	0.913	5.371	5.556	0.163	18.86	7.83	4.20	1.16	0.137	0.829	0.926	0.099	0.791
1000509M3T2	5.6-10	0.118	0.036	0.020	0.332	0.110	0.012	3.16	0.56	3.47	0.04	0.068	ND	0.209	0.015	0.334
1000509M3T3	2.5-5.6	0.378	0.068	0.064	0.866	0.861	0.034	8.38	1.37	5.67	0.16	0.118	0.080	0.419	0.032	0.431
1000509M3T4	1.8-2.5	0.128	0.046	0.041	0.494	0.200	0.014	3.50	0.48	2.11	0.07	0.037	0.020	0.146	0.012	0.168
1000509M3T5	1.0-1.8	0.229	0.061	0.154	1.912	0.496	0.027	7.94	0.98	2.07	0.20	0.050	0.111	0.193	0.021	0.246
1000509M3T6	0.56-1.0	0.127	0.061	0.181	1.965	0.538	0.027	7.23	1.30	1.09	0.32	0.017	0.181	0.156	0.020	0.122
1000509M3T7	0.32-0.56	0.274	0.114	0.391	2.838	3.447	0.054	10.84	3.81	1.32	0.69	0.003	0.355	0.275	0.026	0.185
1000509M3T8	0.18-0.32	0.197	0.107	0.285	2.224	3.940	0.047	7.24	2.19	0.89	0.45	0.001	0.153	0.174	0.019	0.184
1000509M3T9	0.10-0.18	0.083	0.073	0.124	1.266	1.531	0.022	2.74	1.11	0.65	0.18	0.001	0.069	0.071	0.009	0.079

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000509M3TA	<0.10	0.011	0.032	0.024	0.386	0.406	0.003	0.38	0.38	0.24	0.04	0.001	0.024	0.012	0.001	0.014
	SUM	1.546	0.599	1.283	12.283	11.529	0.239	51.41	12.18	17.51	2.15	0.297	0.994	1.654	0.156	1.764
		新莊 空品測站 第三次採樣														
1000607M3T2	5.6-10	0.094	ND	0.003	0.034	0.118	ND	7.45	0.42	1.53	ND	0.022	ND	0.099	0.006	0.088
1000607M3T3	2.5-5.6	0.202	ND	0.018	0.231	0.426	0.004	23.83	1.04	3.17	0.03	0.063	0.023	0.243	0.016	0.198
1000607M3T4	1.8-2.5	0.036	ND	0.005	0.080	0.076	ND	7.45	0.32	1.04	ND	0.014	0.003	0.054	0.003	0.049
1000607M3T5	1.0-1.8	0.085	ND	0.037	0.429	0.159	0.001	13.79	0.46	1.25	0.02	0.018	0.011	0.083	0.006	0.087
1000607M3T6	0.56-1.0	0.080	ND	0.050	0.487	0.099	0.001	5.96	0.44	0.90	0.04	0.007	0.049	0.053	0.003	0.041
1000607M3T7	0.32-0.56	0.067	ND	0.097	0.557	0.194	0.006	3.22	1.02	0.55	0.10	0.001	0.106	0.062	0.005	0.038
1000607M3T8	0.18-0.32	0.104	ND	0.122	0.634	0.418	0.013	2.88	1.30	0.51	0.14	0.001	0.090	0.063	0.012	0.057
1000607M3T9	0.10-0.18	0.112	ND	0.083	0.715	1.328	0.015	2.22	1.67	0.38	0.16	ND	0.077	0.040	0.012	0.076
1000607M3TA	<0.10	0.052	ND	0.036	0.768	0.576	0.002	0.73	0.73	0.24	0.05	ND	0.002	0.010	0.002	0.017
	SUM	0.832	ND	0.451	3.934	3.394	0.043	67.53	7.41	9.56	0.54	0.126	0.361	0.705	0.066	0.650
1000608M3T2	5.6-10	0.083	ND	0.004	0.067	0.040	ND	0.60	0.27	0.95	ND	0.012	ND	0.058	0.004	0.062
1000608M3T3	2.5-5.6	0.331	0.084	0.034	0.730	0.360	0.003	2.57	0.74	2.54	0.02	0.049	0.037	0.208	0.014	0.249
1000608M3T4	1.8-2.5	0.088	0.123	0.012	0.219	0.097	ND	0.95	0.31	0.81	ND	0.015	0.010	0.055	0.003	0.082
1000608M3T5	1.0-1.8	0.175	0.183	0.075	1.046	0.195	0.002	2.59	0.44	0.99	0.02	0.016	0.043	0.072	0.006	0.105
1000608M3T6	0.56-1.0	0.126	0.008	0.122	1.609	0.228	0.004	3.06	0.82	0.66	0.07	0.006	0.102	0.081	0.008	0.059
1000608M3T7	0.32-0.56	0.141	0.103	0.214	2.749	0.329	0.009	3.79	1.83	0.55	0.13	0.002	0.132	0.098	0.013	0.046
1000608M3T8	0.18-0.32	0.152	0.085	0.195	2.204	0.497	0.014	3.50	1.67	0.69	0.15	0.001	0.129	0.093	0.018	0.064
1000608M3T9	0.10-0.18	0.176	0.077	0.196	1.802	1.190	0.017	3.57	1.55	0.57	0.21	ND	0.129	0.096	0.018	0.095

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000608M3T10	0.056-0.10	0.016	ND	0.017	0.190	0.131	ND	0.36	0.29	0.36	ND	ND	ND	0.005	0.001	0.007
1000608M3TA	<0.056	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	0.05	0.12	ND	ND	ND	ND	ND	0.002
	SUM	1.289	0.664	0.868	10.617	3.066	0.049	21.01	7.97	8.24	0.61	0.100	0.582	0.766	0.084	0.770
		新莊 空品測站 第四次採樣														
1000707M3T2	5.6-10	0.145	ND	0.011	0.233	0.079	ND	2.60	0.40	2.09	ND	0.064	ND	0.158	0.009	0.114
1000707M3T3	2.5-5.6	0.410	0.027	0.034	0.532	0.523	0.005	7.10	1.03	5.29	0.01	0.094	0.031	0.353	0.022	0.318
1000707M3T4	1.8-2.5	0.143	ND	0.015	0.196	0.136	0.0002	3.57	0.46	1.76	ND	0.035	0.022	0.126	0.008	0.137
1000707M3T5	1.0-1.8	0.210	ND	0.059	0.900	0.294	0.004	5.93	0.78	1.84	0.02	0.055	0.111	0.169	0.012	0.191
1000707M3T6	0.56-1.0	0.095	0.020	0.100	1.207	0.159	0.006	4.32	1.05	0.86	0.13	0.017	0.168	0.125	0.007	0.073
1000707M3T7	0.32-0.56	0.160	0.044	0.229	0.806	0.419	0.021	3.51	2.27	0.93	0.29	0.005	0.230	0.120	0.014	0.067
1000707M3T8	0.18-0.32	0.156	ND	0.131	0.631	0.604	0.019	2.91	1.22	0.38	0.21	0.005	0.062	0.075	0.013	0.085
1000707M3T9	0.10-0.18	0.079	ND	0.054	0.313	0.904	0.013	1.71	1.11	0.21	0.10	0.002	0.045	0.037	0.007	0.054
1000707M3T10	0.056-0.10	0.001	ND	0.012	ND	0.323	0.003	0.52	0.47	0.60	ND	ND	ND	0.007	0.001	0.015
1000707M3TA	<0.056	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.10	0.07	0.02	ND	0.001	ND	0.003	0.0003	0.004
	SUM	1.400	0.092	0.645	4.818	3.440	0.072	32.27	8.86	13.96	0.77	0.277	0.667	1.172	0.095	1.060
1000708M3T2	5.6-10	0.019	ND	0.002	ND	ND	ND	0.58	0.25	1.00	ND	0.024	0.022	0.101	0.007	0.061
1000708M3T3	2.5-5.6	0.156	0.119	0.044	0.524	0.234	0.006	2.22	0.84	2.79	0.04	0.063	0.075	0.334	0.018	0.205
1000708M3T4	1.8-2.5	0.024	ND	0.023	0.093	ND	ND	0.96	0.28	0.44	ND	0.031	0.062	0.092	0.006	0.085
1000708M3T5	1.0-1.8	0.040	ND	0.091	0.974	0.109	0.004	2.70	0.43	0.47	0.02	0.026	0.112	0.101	0.007	0.087
1000708M3T6	0.56-1.0	0.056	0.003	0.155	2.245	0.262	0.008	3.82	1.17	0.50	0.22	0.012	0.295	0.133	0.007	0.052
1000708M3T7	0.32-0.56	0.061	0.046	0.190	1.251	0.261	0.014	3.06	2.04	0.34	0.28	0.004	0.330	0.114	0.006	0.039

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000708M3T8	0.18-0.32	0.129	0.010	0.203	0.884	0.431	0.027	3.92	2.34	0.31	0.38	0.006	0.300	0.115	0.010	0.085
1000708M3T9	0.10-0.18	0.044	ND	0.043	0.293	0.114	0.009	1.31	0.61	0.09	0.08	0.001	0.075	0.026	0.003	0.033
1000708M3T10	0.056-0.10	ND	ND	0.004	ND	ND	ND	0.21	0.12	ND	ND	0.001	0.005	0.003	0.0003	0.004
1000708M3TA	<0.056	ND	ND	0.009	0.217	ND	ND	0.15	0.09	ND	ND	0.002	ND	0.002	0.0003	0.004
	SUM	0.529	0.178	0.764	6.481	1.411	0.068	18.92	8.16	5.94	1.02	0.168	1.275	1.022	0.065	0.656
		新莊 空品測站 第五次採樣														
1000731M3T2	5.6-10	0.023	NA	0.023	0.761	0.123	NA	0.59	0.28	0.34	0.005	NA	0.020	0.028	NA	0.021
1000731M3T3	2.5-5.6	0.126	NA	0.050	0.994	0.845	NA	1.81	1.24	1.36	0.06	NA	0.061	0.175	NA	0.144
1000731M3T4	1.8-2.5	0.041	NA	0.028	0.716	0.169	NA	0.78	0.34	0.49	0.01	NA	0.023	0.041	NA	0.046
1000731M3T5	1.0-1.8	0.058	NA	0.068	1.179	0.256	NA	2.39	0.40	0.47	0.05	NA	0.021	0.053	NA	0.093
1000731M3T6	0.56-1.0	0.051	NA	0.111	1.834	0.225	NA	4.13	0.74	0.36	0.10	NA	0.079	0.066	NA	0.070
1000731M3T7	0.32-0.56	0.100	NA	0.190	2.132	0.670	NA	7.42	3.94	0.63	0.24	NA	0.113	0.123	NA	0.060
1000731M3T8	0.18-0.32	0.040	NA	0.072	0.803	ND	NA	2.41	1.05	0.25	0.08	NA	0.035	0.042	NA	0.025
1000731M3T9	0.10-0.18	0.022	NA	0.038	0.462	0.158	NA	1.01	0.31	0.16	0.04	NA	0.024	0.018	NA	0.023
1000731M3T10	0.056-0.10	0.027	NA	0.014	0.239	0.052	NA	0.52	0.12	0.21	0.02	NA	0.021	0.004	NA	0.002
1000731M3TA	<0.056	0.008	NA	0.009	0.142	ND	NA	0.132	0.10	0.24	0.001	NA	0.015	0.004	NA	0.031
	SUM	0.496	NA	0.603	9.262	2.498	NA	21.19	8.51	4.52	0.61	NA	0.412	0.553	NA	0.514
1000801M3T2	5.6-10	0.056	NA	0.008	0.221	0.103	NA	0.97	0.18	0.47	0.01	NA	0.019	0.058	NA	0.039
1000801M3T3	2.5-5.6	0.122	NA	0.017	0.380	0.260	NA	2.26	0.49	1.27	0.03	NA	0.037	0.134	NA	0.105
1000801M3T4	1.8-2.5	0.049	NA	0.010	0.251	0.116	NA	1.13	0.18	0.50	0.01	NA	0.016	0.047	NA	0.046
1000801M3T5	1.0-1.8	0.026	NA	0.018	0.376	0.066	NA	0.73	0.20	0.20	0.01	NA	0.018	0.018	NA	0.019

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000801M3T6	0.56-1.0	0.054	NA	0.064	1.130	0.169	NA	1.88	0.73	0.34	0.06	NA	0.063	0.045	NA	0.043
1000801M3T7	0.32-0.56	0.085	NA	0.092	1.156	0.298	NA	2.65	2.62	0.35	0.13	NA	0.099	0.059	NA	0.041
1000801M3T8	0.18-0.32	0.046	NA	0.040	0.457	0.171	NA	1.15	0.73	0.17	0.04	NA	0.038	0.025	NA	0.026
1000801M3T9	0.10-0.18	0.044	NA	0.022	0.216	0.196	NA	0.79	0.33	0.09	0.03	NA	0.026	0.012	NA	0.017
1000801M3T10	0.056-0.10	0.011	NA	0.003	0.017	0.049	NA	0.249	0.12	0.08	0.01	NA	ND	0.002	NA	0.001
1000801M3TA	<0.056	ND	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND	0.03	ND	NA	0.001	ND	NA	0.004
	SUM	0.492	NA	0.275	4.204	1.428	NA	11.82	5.56	3.50	0.33	NA	0.318	0.400	NA	0.342
		新莊 空品測站 第六次採樣														
1000905M3T2	5.6-10	0.057	NA	0.020	1.664	0.731	NA	0.001	0.42	0.17	0.68	NA	0.045	0.027	NA	0.049
1000905M3T3	2.5-5.6	0.074	NA	0.037	0.268	1.010	NA	0.004	1.19	0.34	0.73	NA	0.033	0.050	NA	0.050
1000905M3T4	1.8-2.5	0.060	NA	0.023	0.430	0.642	NA	0.002	0.59	0.20	0.52	NA	0.019	0.043	NA	0.026
1000905M3T5	1.0-1.8	0.085	NA	0.064	ND	0.787	NA	0.01	2.41	0.31	0.59	NA	0.021	0.099	NA	0.035
1000905M3T6	0.56-1.0	0.119	NA	0.132	ND	0.945	NA	0.04	7.40	0.60	0.80	NA	0.013	0.190	NA	0.024
1000905M3T7	0.32-0.56	0.120	NA	0.094	0.016	0.887	NA	0.04	5.71	1.58	0.48	NA	0.003	0.175	NA	0.008
1000905M3T8	0.18-0.32	0.028	NA	0.015	0.487	0.400	NA	0.004	0.63	1.85	0.23	NA	0.000	0.056	NA	0.004
1000905M3T9	0.10-0.18	0.027	NA	0.021	0.862	0.402	NA	0.002	0.54	0.52	0.22	NA	0.001	0.042	NA	0.003
1000905M3T10	0.056-0.10	0.010	NA	0.006	0.790	0.256	NA	0.000	0.11	0.08	0.13	NA	0.000	0.015	NA	0.001
1000905M3TA	<0.056	0.000	NA	0.014	ND	0.602	NA	ND	0.47	0.02	0.24	NA	0.001	ND	NA	0.001
	SUM	0.579	NA	0.426	4.517	6.661	NA	0.10	19.48	5.68	4.63	NA	0.137	0.698	NA	0.201
1000906M3T2	5.6-10	0.057	NA	0.020	0.731	0.098	NA	0.423	0.17	0.68	0.03	NA	0.027	0.117	NA	0.081
1000906M3T3	2.5-5.6	0.074	NA	0.037	1.010	0.165	NA	1.190	0.34	0.73	0.06	NA	0.050	0.145	NA	0.106

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000906M3T4	1.8-2.5	0.060	NA	0.023	0.642	0.122	NA	0.592	0.20	0.52	0.06	NA	0.043	0.083	NA	0.067
1000906M3T5	1.0-1.8	0.085	NA	0.064	0.787	0.211	NA	2.405	0.31	0.59	0.19	NA	0.099	0.147	NA	0.115
1000906M3T6	0.56-1.0	0.119	NA	0.132	0.945	0.379	NA	7.400	0.60	0.80	0.47	NA	0.190	0.421	NA	0.109
1000906M3T7	0.32-0.56	0.120	NA	0.094	0.887	0.401	NA	5.711	1.58	0.48	0.42	NA	0.175	0.296	NA	0.107
1000906M3T8	0.18-0.32	0.028	NA	0.015	0.400	0.103	NA	0.632	1.85	0.23	0.09	NA	0.056	0.033	NA	0.026
1000906M3T9	0.10-0.18	0.027	NA	0.021	0.402	0.137	NA	0.541	0.52	0.22	0.04	NA	0.042	0.028	NA	0.019
1000906M3T10	0.056-0.10	0.010	NA	0.006	0.256	0.054	NA	0.113	0.08	0.13	0.02	NA	0.015	0.009	NA	0.007
1000906M3TA	<0.056	0.000	NA	0.014	0.602	0.025	NA	0.468	0.02	0.24	0.01	NA	ND	0.006	NA	0.011
	SUM	0.579	NA	0.426	6.661	1.696	NA	19.48	5.68	4.63	1.37	NA	0.698	1.284	NA	0.648
		新莊 空品測站 第七次採樣														
1001005M3T2	5.6-10	0.055	0.023	0.006	0.101	0.073	0.001	0.40	0.10	0.39	0.01	0.009	0.007	0.052	0.003	0.046
1001005M3T3	2.5-5.6	0.176	0.044	0.020	0.335	0.296	0.004	1.23	0.38	1.02	0.09	0.032	0.037	0.141	0.010	0.162
1001005M3T4	1.8-2.5	0.033	0.042	0.006	0.071	0.065	0.001	0.31	0.11	0.32	0.03	0.004	0.016	0.024	0.002	0.028
1001005M3T5	1.0-1.8	0.066	0.033	0.030	0.168	0.118	0.005	1.70	0.33	0.45	0.16	0.006	0.045	0.058	0.008	0.051
1001005M3T6	0.56-1.0	0.036	0.036	0.020	0.100	0.042	0.007	1.29	0.57	0.25	0.10	0.001	0.051	0.051	0.010	0.014
1001005M3T7	0.32-0.56	0.161	0.080	0.079	0.519	0.202	0.035	5.15	3.37	0.29	0.48	0.002	0.209	0.159	0.031	0.102
1001005M3T8	0.18-0.32	0.112	0.030	0.036	0.363	0.104	0.012	1.33	3.60	0.12	0.16	0.001	0.068	0.037	0.005	0.118
1001005M3T9	0.10-0.18	0.037	0.020	0.011	0.145	0.047	0.002	0.34	0.72	ND	ND	0.000	0.003	0.008	0.001	0.013
1001005M3T10	0.056-0.10	0.017	0.001	0.003	0.029	0.006	0.001	0.12	0.10	0.09	0.00	0.001	ND	0.001	0.000	0.004
1001005M3TA	<0.056	0.021	0.022	0.002	0.043	ND	0.000	0.03	0.01	0.08	ND	ND	ND	ND	0.000	0.001
	SUM	0.715	0.330	0.214	1.875	0.952	0.066	11.90	9.28	3.01	1.02	0.054	0.435	0.531	0.070	0.542

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1001006M3T2	5.6-10	0.025	0.017	0.006	0.064	0.043	0.001	0.38	0.06	0.17	0.02	0.008	ND	0.037	0.003	0.025
1001006M3T3	2.5-5.6	0.150	0.065	0.016	0.239	0.211	0.003	1.18	0.31	0.90	0.07	0.022	0.024	0.123	0.010	0.102
1001006M3T4	1.8-2.5	0.041	0.022	0.006	0.082	0.041	0.001	0.26	0.12	0.33	0.02	0.003	0.019	0.020	0.001	0.022
1001006M3T5	1.0-1.8	0.082	0.012	0.031	0.177	0.122	0.007	1.75	0.29	0.50	0.17	0.009	0.045	0.082	0.011	0.056
1001006M3T6	0.56-1.0	0.067	0.059	0.051	0.267	0.110	0.022	2.90	0.49	0.35	0.24	0.002	0.087	0.153	0.030	0.038
1001006M3T7	0.32-0.56	0.092	0.042	0.052	0.376	0.120	0.030	3.27	2.05	0.31	0.27	0.001	0.128	0.159	0.034	0.051
1001006M3T8	0.18-0.32	0.007	0.012	0.009	0.138	0.018	0.002	0.26	2.26	ND	0.02	ND	0.020	0.015	0.002	0.007
1001006M3T9	0.10-0.18	0.009	0.045	0.007	0.151	0.018	0.001	0.18	0.57	0.06	0.01	0.001	ND	0.005	0.001	0.005
1001006M3T10	0.056-0.10	0.008	0.000	0.001	0.025	ND	0.000	0.03	0.09	0.01	ND	ND	0.013	0.001	0.000	0.001
1001006M3TA	<0.056	ND	0.255	0.001	0.021	ND	0.000	0.05	0.00	0.06	ND	0.001	ND	ND	0.000	0.001
	SUM	0.481	0.528	0.180	1.540	0.684	0.067	10.26	6.24	2.69	0.82	0.046	0.337	0.595	0.091	0.308

表 7-1 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本之金屬元素分析結果(單位：ng/m^3)。

(二)中山

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		中山 空品測站 第五次採樣													
1000917M3T2	5.6-10	38.6	46.8	283.7	45.8	20.7	65.6	0.46	2.36	7.09	0.68	0.03	0.22	NA	1.00
1000917M3T3	2.5-5.6	19.5	26.1	137.2	18.5	9.5	31.4	0.23	1.19	2.63	0.36	0.01	0.11	NA	1.08
1000917M3T4	1.8-2.5	21.9	29.0	92.3	16.4	8.2	47.3	0.22	1.78	2.69	0.45	0.02	0.10	NA	1.10
1000917M3T5	1.0-1.8	34.8	48.5	174.0	27.0	20.5	43.3	0.43	2.53	3.61	1.50	0.02	0.33	NA	4.72
1000917M3T6	0.56-1.0	12.5	19.8	34.4	5.6	35.7	13.8	0.27	1.43	1.46	1.89	0.01	0.38	NA	5.16
1000917M3T7	0.32-0.56	11.7	21.6	18.4	3.5	24.8	15.0	0.19	0.67	1.38	1.33	0.06	0.93	NA	6.98
1000917M3T8	0.18-0.32	9.1	3.2	7.8	0.4	25.4	8.1	0.14	0.27	0.89	0.35	0.02	0.93	NA	2.66
1000917M3T9	0.10-0.18	9.4	3.1	18.4	2.8	16.6	8.5	0.05	0.35	0.79	0.11	0.02	0.51	NA	1.57
1000917M3T10	0.056-0.10	5.7	0.2	1.0	0.2	1.4	1.4	0.05	0.13	0.57	0.04	0.00	0.13	NA	0.41
1000917M3TA	<0.056	7.8	ND	0.7	0.1	0.4	0.9	0.02	0.08	0.25	0.05	ND	0.09	NA	0.51
	SUM	**171.0**	**198.3**	**768.0**	**120.2**	**163.3**	**235.4**	**2.05**	**10.78**	**21.35**	**6.75**	**0.20**	**3.72**	**NA**	**25.18**
1000918M3T3	2.5-5.6	176.6	180.6	1534.3	240.0	109.6	268.0	2.30	6.19	13.44	3.41	0.09	0.43	NA	5.99
1000918M3T4	1.8-2.5	34.0	37.5	288.1	45.5	18.5	45.6	0.43	1.54	2.93	0.71	0.01	0.08	NA	1.98
1000918M3T5	1.0-1.8	33.8	40.7	359.8	57.8	29.0	35.7	0.56	1.63	2.96	1.78	0.02	0.36	NA	7.49
1000918M3T6	0.56-1.0	12.2	18.0	51.2	11.1	24.6	21.5	0.36	0.63	1.25	1.94	0.01	0.16	NA	5.87
1000918M3T7	0.32-0.56	4.1	12.9	20.8	3.3	32.8	1.0	0.18	0.82	0.59	1.70	0.01	0.34	NA	5.00
1000918M3T8	0.18-0.32	7.8	4.1	14.5	2.2	9.5	8.4	0.09	0.26	0.62	0.42	0.01	0.29	NA	1.35
1000918M3T9	0.10-0.18	6.0	0.5	20.8	3.1	3.0	5.9	0.07	0.08	0.48	0.07	0.01	0.25	NA	0.69

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000918M3T10	0.056-0.10	3.5	2.0	0.2	0.2	49.6	6.2	0.05	0.17	0.53	ND	ND	0.09	NA	0.01
1000918M3TA	<0.056	2.0	2.1	ND	ND	3.4	0.9	0.02	0.45	0.33	ND	ND	0.07	NA	0.03
	SUM	**369.2**	**372.8**	**3014.7**	**471.5**	**325.5**	**530.6**	**5.34**	**14.14**	**29.28**	**11.36**	**0.19**	**2.45**	**NA**	**30.68**
		中山 空品測站 第六次採樣													
1001017M3T2	5.6-10	133.2	137.9	721.3	113.2	69.5	268.2	1.49	3.56	11.09	2.56	0.07	0.38	1.73	2.47
1001017M3T3	2.5-5.6	187.0	189.5	661.1	109.3	94.2	278.6	1.84	5.00	14.23	4.02	0.07	0.39	2.97	4.80
1001017M3T4	1.8-2.5	42.0	50.3	73.7	16.8	17.0	59.8	0.57	1.27	3.76	1.05	0.01	0.10	0.71	2.29
1001017M3T5	1.0-1.8	36.5	57.0	77.6	18.3	35.6	37.3	0.36	1.46	3.70	2.83	0.05	0.19	1.04	8.53
1001017M3T6	0.56-1.0	59.5	88.2	49.8	16.7	166.0	32.2	0.45	2.38	4.12	7.03	0.03	0.41	2.08	21.25
1001017M3T7	0.32-0.56	13.5	19.8	20.0	3.1	88.0	11.9	0.14	0.39	1.37	2.10	0.01	0.25	0.83	6.19
1001017M3T8	0.18-0.32	7.5	16.5	11.8	1.8	47.2	9.0	0.09	0.31	0.76	1.11	0.04	0.50	0.48	3.92
1001017M3T9	0.10-0.18	4.2	1.0	3.9	0.8	3.0	0.8	0.05	0.09	0.31	0.12	0.00	0.04	0.08	0.42
1001017M3T10	0.056-0.10	5.8	5.0	6.3	1.4	6.2	6.5	0.07	0.27	0.52	0.22	0.00	0.11	0.17	0.80
1001017M3TA	<0.056	2.4	0.4	4.6	1.0	ND	ND	0.01	0.09	0.30	0.03	ND	ND	0.01	0.11
	SUM	**491.4**	**565.7**	**1630.1**	**282.5**	**526.7**	**704.2**	**5.07**	**14.80**	**40.16**	**21.08**	**0.30**	**2.36**	**10.10**	**50.79**
1001018M3T2	5.6-10	60.2	75.2	917.7	120.1	51.3	149.5	1.06	2.13	6.69	1.17	0.03	0.09	1.46	1.59
1001018M3T3	2.5-5.6	158.3	209.7	1822.6	259.6	118.4	309.1	2.43	6.62	14.91	3.35	0.06	0.32	4.18	5.02
1001018M3T4	1.8-2.5	37.2	58.6	313.1	45.1	23.3	66.2	0.49	2.05	3.58	0.97	0.02	0.07	2.06	4.10
1001018M3T5	1.0-1.8	33.7	62.8	277.2	44.4	32.6	43.9	0.48	2.54	3.69	1.98	0.02	0.15	1.77	9.32
1001018M3T6	0.56-1.0	16.6	36.5	37.7	9.5	69.1	20.6	0.17	1.07	1.66	2.48	0.01	0.14	1.16	9.40
1001018M3T7	0.32-0.56	3.9	36.2	8.5	1.8	21.7	1.4	0.03	0.29	0.74	0.86	0.02	0.23	0.27	2.88
1001018M3T8	0.18-0.32	20.4	8.7	14.6	3.6	13.2	9.8	0.08	0.46	0.84	0.38	0.02	1.17	1.60	3.98

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1001018M3T9	0.10-0.18	3.7	2.3	8.7	1.8	10.5	2.6	0.03	0.32	0.52	0.10	0.00	0.08	0.16	0.60
1001018M3T10	0.056-0.10	4.9	3.7	8.1	1.5	3.2	3.7	0.06	0.33	0.64	0.09	0.03	0.11	0.26	1.08
1001018M3TA	<0.056	5.9	0.9	2.9	1.0	0.3	2.9	0.07	0.25	0.71	0.05	ND	0.01	0.05	0.28
	SUM	**344.9**	**494.7**	**3411.1**	**488.4**	**343.6**	**609.7**	**4.91**	**16.06**	**33.98**	**11.44**	**0.20**	**2.37**	**12.97**	**38.24**

表 7-1 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本之金屬元素分析結果(單位：ng/m^3)。

(二)中山

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Nb	Ge	Rb	Cs	Ga
		中山 空品測站 第五次採樣																	
1000917M3T2	5.6-10	0.088	NA	0.012	0.307	0.187	NA	0.450	0.114	0.405	0.015	NA	0.016	NA	NA	NA	0.051	NA	0.085
1000917M3T3	2.5-5.6	0.059	NA	0.011	0.215	0.115	NA	0.189	0.183	0.325	0.017	NA	0.053	NA	NA	NA	0.028	NA	0.033
1000917M3T4	1.8-2.5	0.063	NA	0.014	0.283	0.181	NA	0.312	0.105	0.376	0.022	NA	0.020	NA	NA	NA	0.025	NA	0.064
1000917M3T5	1.0-1.8	0.113	NA	0.061	0.497	0.515	NA	1.627	0.292	0.530	0.141	NA	0.052	NA	NA	NA	0.065	NA	0.101
1000917M3T6	0.56-1.0	0.070	NA	0.078	0.500	0.615	NA	2.950	0.552	0.488	0.238	NA	0.094	NA	NA	NA	0.097	NA	0.067
1000917M3T7	0.32-0.56	0.077	NA	0.062	0.576	0.262	NA	2.088	1.948	0.256	0.155	NA	0.066	NA	NA	NA	0.075	NA	0.055
1000917M3T8	0.18-0.32	0.035	NA	0.040	0.462	0.178	NA	0.955	2.242	0.090	0.076	NA	0.034	NA	NA	NA	0.043	NA	0.026
1000917M3T9	0.10-0.18	0.011	NA	0.019	0.290	0.071	NA	0.377	0.442	0.075	0.027	NA	0.015	NA	NA	NA	0.031	NA	0.017
1000917M3T10	0.056-0.10	0.004	NA	0.005	0.102	0.023	NA	0.166	0.103	0.065	0.011	NA	0.018	NA	NA	NA	0.007	NA	0.015
1000917M3TA	<0.056	0.002	NA	0.004	0.083	0.006	NA	0.109	0.021	0.018	0.005	NA	0.008	NA	NA	NA	0.004	NA	0.004
	SUM	**0.523**	**NA**	**0.306**	**3.314**	**2.153**	**NA**	**9.223**	**6.002**	**2.627**	**0.707**	**NA**	**0.375**	**NA**	**NA**	**NA**	**0.427**	**NA**	**0.465**
1000918M3T3	2.5-5.6	0.202	NA	0.039	0.522	0.522	NA	1.524	0.379	1.042	0.093	NA	0.066	NA	NA	NA	0.310	NA	0.251
1000918M3T4	1.8-2.5	0.047	NA	0.010	0.050	0.157	NA	0.370	0.105	0.212	0.033	NA	0.044	NA	NA	NA	0.057	NA	0.071
1000918M3T5	1.0-1.8	0.074	NA	0.057	0.162	0.241	NA	1.847	0.183	0.383	0.147	NA	0.085	NA	NA	NA	0.095	NA	0.074
1000918M3T6	0.56-1.0	0.045	NA	0.078	0.316	0.214	NA	4.333	0.291	0.313	0.240	NA	0.096	NA	NA	NA	0.141	NA	0.049
1000918M3T7	0.32-0.56	0.071	NA	0.090	0.573	0.240	NA	5.214	0.867	0.267	0.290	NA	0.142	NA	NA	NA	0.199	NA	0.093
1000918M3T8	0.18-0.32	0.029	NA	0.034	0.321	0.097	NA	1.228	0.827	0.096	0.084	NA	0.012	NA	NA	NA	0.041	NA	0.043
1000918M3T9	0.10-0.18	0.017	NA	0.016	0.207	0.046	NA	0.441	0.295	0.011	0.032	NA	0.012	NA	NA	NA	0.011	NA	0.012
1000918M3T10	0.056-0.10	0.005	NA	ND	ND	0.020	NA	0.111	0.055	0.023	0.007	NA	ND	NA	NA	NA	0.006	NA	0.003
1000918M3TA	<0.056	ND	NA	0.000	0.063	0.008	NA	0.005	0.011	ND	0.003	NA	ND	NA	NA	NA	0.003	NA	0.010
	SUM	**0.553**	**NA**	**0.332**	**2.325**	**1.723**	**NA**	**15.564**	**3.145**	**2.805**	**0.954**	**NA**	**0.462**	**NA**	**NA**	**NA**	**0.981**	**NA**	**0.697**
		中山 空品測站 第六次採樣																	
1001017M3T2	5.6-10	0.128	0.063	0.011	0.232	0.219	0.005	0.939	0.280	0.831	0.048	0.052	0.029	1.037	0.049	0.007	0.203	0.016	0.140

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Nb	Ge	Rb	Cs	Ga
1001017M3T3	2.5-5.6	0.230	0.053	0.033	0.379	0.369	0.013	1.550	0.655	1.490	0.126	0.066	0.102	1.087	0.064	0.013	0.322	0.025	0.215
1001017M3T4	1.8-2.5	0.080	0.018	0.012	0.124	0.103	0.003	0.561	0.182	0.512	0.031	0.014	0.039	0.301	0.018	0.005	0.065	0.007	0.054
1001017M3T5	1.0-1.8	0.109	0.048	0.055	0.209	0.172	0.017	2.362	0.444	0.867	0.119	0.013	0.108	0.384	0.019	0.012	0.147	0.018	0.082
1001017M3T6	0.56-1.0	0.195	0.188	0.197	0.793	0.448	0.119	14.699	0.662	0.964	0.616	0.019	0.402	0.411	0.018	0.042	0.686	0.095	0.257
1001017M3T7	0.32-0.56	0.104	0.257	0.098	0.403	0.173	0.072	6.146	0.579	0.387	0.402	0.002	0.252	0.067	0.004	0.039	0.310	0.043	0.130
1001017M3T8	0.18-0.32	0.100	0.100	0.062	0.389	0.127	0.041	3.705	1.590	0.200	0.367	0.001	0.211	0.019	0.002	0.032	0.151	0.021	0.104
1001017M3T9	0.10-0.18	0.014	0.019	0.006	0.167	0.012	0.001	0.296	0.331	0.081	0.021	ND	0.008	0.003	0.001	0.001	0.014	0.002	ND
1001017M3T10	0.056-0.10	0.026	0.076	0.010	0.123	0.018	0.004	0.598	0.113	0.171	0.017	0.001	0.016	0.008	0.001	0.002	0.025	0.004	0.005
1001017M3TA	<0.056	0.011	0.018	ND	0.045	0.002	ND	0.049	ND	0.049	0.003	ND	0.020	ND	0.002	0.000	ND	0.000	ND
	SUM	**0.998**	**0.840**	**0.483**	**2.864**	**1.642**	**0.275**	**30.905**	**4.835**	**5.552**	**1.748**	**0.168**	**1.186**	**3.317**	**0.179**	**0.152**	**1.923**	**0.231**	**0.987**
1001018M3T2	5.6-10	0.078	0.043	0.006	0.172	0.156	0.001	0.413	0.121	0.584	0.016	0.022	0.029	0.357	0.021	0.001	0.099	0.007	0.069
1001018M3T3	2.5-5.6	0.273	0.056	0.031	0.548	0.530	0.008	1.259	0.370	1.280	0.073	0.063	0.095	1.172	0.055	0.007	0.269	0.021	0.234
1001018M3T4	1.8-2.5	0.090	0.024	0.013	0.222	0.170	0.003	0.531	0.092	0.416	0.024	0.013	0.049	0.418	0.013	0.003	0.063	0.006	0.064
1001018M3T5	1.0-1.8	0.119	0.045	0.048	0.276	0.213	0.013	2.027	0.183	0.519	0.079	0.012	0.095	0.374	0.014	0.004	0.117	0.015	0.088
1001018M3T6	0.56-1.0	0.072	0.140	0.085	0.488	0.173	0.047	4.888	0.275	0.309	0.220	0.006	0.175	0.147	0.004	0.013	0.312	0.048	0.069
1001018M3T7	0.32-0.56	0.068	0.050	0.022	0.163	0.037	0.017	1.782	0.339	0.422	0.094	0.001	0.106	0.013	0.002	0.010	0.106	0.017	0.022
1001018M3T8	0.18-0.32	0.032	0.036	0.010	0.156	0.046	0.005	0.647	1.365	0.364	0.066	0.001	0.056	0.022	0.002	0.008	0.038	0.006	0.020
1001018M3T9	0.10-0.18	0.042	0.019	0.004	0.074	0.009	0.001	0.180	0.313	0.223	0.013	ND	0.029	0.006	0.002	0.001	0.014	0.001	0.002
1001018M3T10	0.056-0.10	0.012	0.011	0.000	0.059	0.004	ND	0.199	0.033	0.149	0.008	ND	0.010	0.007	0.002	0.000	0.005	0.001	0.002
1001018M3TA	<0.056	0.012	0.020	ND	0.044	0.008	ND	0.040	0.011	0.168	0.003	ND	0.004	0.002	0.003	0.000	0.001	0.001	ND
	SUM	**0.798**	**0.443**	**0.219**	**2.202**	**1.347**	**0.096**	**11.968**	**3.102**	**4.434**	**0.597**	**0.117**	**0.648**	**2.520**	**0.118**	**0.048**	**1.024**	**0.123**	**0.571**

表 7-2 (一) 新莊、(二) 中山、(三) 竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果(單位：ng/m^3)。

(一) 新莊

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		新莊 空品測站 第一次採樣													
1000503M3TA	<0.10	ND	ND	ND	ND	7.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.118	0.144
1000503M1TA	<0.10	4.31	ND	3.51	ND	1.67	ND	ND	0.164	0.001	0.037	0.002	0.028	1.003	0.515
1000504M3TA	<0.10	0.87	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
1000504M1TA	<0.10	ND	ND	0.71	ND	ND	ND	ND	ND	1.006	ND	ND	ND	ND	ND
		新莊 空品測站 第二次採樣													
1000508M3TA	<0.10	4.98	ND	3.72	0.49	3.52	ND	0.021	0.184	0.348	ND	0.006	0.243	ND	0.656
1000508M1TA	<0.10	4.53	2.31	3.07	ND	7.34	ND	0.018	0.031	0.445	0.022	0.030	0.315	ND	1.533
1000509M3TA	<0.10	6.45	9.04	4.65	1.47	2.10	4.57	0.032	0.225	0.614	0.171	0.020	0.934	ND	1.917
1000509M1TA	<0.10	5.75	4.61	5.38	1.82	4.43	ND	0.020	0.243	0.574	0.253	0.050	0.986	ND	3.632
		新莊 空品測站 第三次採樣													
1000607M3TA	<0.10	4.24	6.12	3.20	0.22	4.16	2.83	0.009	0.035	0.061	ND	0.087	1.683	1.523	2.071
1000607M1TA	<0.10	3.13	22.31	3.99	0.32	4.89	1.21	0.010	0.066	0.491	0.076	0.071	1.560	0.417	3.551
1000608M3T10	0.056-0.10	1.77	0.91	2.27	0.05	2.59	2.22	0.004	ND	0.578	ND	0.023	0.595	0.572	1.137
1000608M3TA	<0.056	0.16	ND	1.08	0.14	0.79	3.02	0.001	0.055	0.109	ND	0.014	0.178	0.008	0.215
1000608M1T10	0.056-0.10	2.69	*199.40*	5.14	0.49	*5.43*	7.30	0.011	0.077	0.415	0.723	0.060	1.249	0.776	2.207
1000608M1TA	<0.056	ND	*15.30*	ND	ND	0.97	1.51	0.004	ND	ND	ND	0.014	0.403	0.026	0.163
		新莊 空品測站 第四次採樣													
1000707M3T10	0.056-0.10	2.14	ND	2.17	0.55	2.34	1.38	0.021	0.078	0.222	0.197	0.069	1.527	0.362	1.306
1000707M3TA	<0.056	2.81	ND	6.17	0.76	0.85	ND	0.008	0.094	0.128	0.243	0.004	0.079	0.030	0.784
1000707M1T10	0.056-0.10	*39.98*	3.90	10.02	3.13	*10.73*	*40.46*	0.044	0.155	0.824	0.452	0.091	2.213	1.358	2.761
1000707M1TA	<0.056	0.77	ND	9.83	2.32	3.27	0.92	0.018	0.139	0.172	0.122	0.030	1.013	0.204	1.016
1000708M3T10	0.056-0.10	1.02	ND	2.83	0.28	2.34	ND	0.002	0.044	0.187	0.045	0.006	0.189	0.249	0.355
1000708M3TA	<0.056	0.53	ND	4.50	0.84	1.31	1.49	0.009	0.057	0.030	0.054	0.004	0.157	0.131	0.522

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000708M1T10	0.056-0.10	ND	ND	4.74	0.76	6.86	4.63	0.010	0.053	0.090	0.183	0.022	0.862	1.199	1.794
1000708M1TA	<0.056	ND	ND	2.71	0.27	2.04	ND	ND	0.028	ND	0.041	0.002	0.039	0.057	0.503
		新莊 空品測站 第五次採樣													
1000731M3T10	0.056-0.10	0.68	3.81	6.05	0.52	1.66	ND	ND	0.004	0.291	0.205	0.009	0.238	NA	1.441
1000731M3TA	***<0.056***	***118.66***	***8.50***	***9.52***	***5.56***	***1.39***	***226.87***	***2.364***	***0.556***	***6.032***	***0.178***	***0.010***	***0.062***	NA	***0.935***
1000731M1T10	0.056-0.10	2.77	3.95	8.67	0.73	7.12	ND	ND	0.031	0.312	0.155	0.008	0.176	NA	1.591
1000731M1TA	<0.056	0.64	ND	3.26	0.39	ND	2.20	0.001	ND	0.172	0.090	0.001	0.002	NA	0.233
1000801M3T10	0.056-0.10	4.74	1.55	ND	ND	1.00	5.17	0.081	ND	0.321	0.149	0.016	0.211	NA	2.085
1000801M3TA	<0.056	0.77	0.98	0.75	ND	0.96	0.94	0.059	0.008	0.187	0.035	0.007	0.042	NA	0.653
1000801M1T10	0.056-0.10	2.50	4.33	0.59	0.37	3.49	ND	0.017	0.054	0.451	0.228	0.019	0.408	NA	2.260
1000801M1TA	<0.056	3.00	9.95	ND	0.02	ND	0.24	0.038	0.056	0.594	0.109	0.026	0.115	NA	3.182
		新莊 空品測站 第六次採樣													
1000905M3T10	0.056-0.10	3.21	1.35	5.61	0.41	2.10	20.72	0.020	0.297	0.243	0.023	0.007	0.340	NA	0.662
1000905M3TA	<0.056	13.96	2.67	7.82	2.11	1.73	5.89	0.025	0.262	0.791	0.030	0.003	0.182	NA	2.363
1000905M1T10	0.056-0.10	5.07	2.38	8.08	0.80	3.47	7.93	0.084	0.087	0.375	0.128	0.007	0.166	NA	1.036
1000905M1TA	<0.056	2.62	0.84	16.32	1.73	1.27	3.41	0.281	0.089	0.279	0.021	0.008	0.161	NA	0.366
1000906M3T10	0.056-0.10	1.12	ND	5.58	0.44	0.68	ND	0.011	0.026	0.148	ND	0.009	0.070	NA	0.764
1000906M3TA	<0.056	0.95	ND	ND	ND	ND	ND	0.017	1.218	0.167	ND	ND	0.066	NA	0.420
1000906M1T10	0.056-0.10	1.96	2.39	1.37	0.44	0.35	ND	0.012	0.053	0.474	0.127	0.013	0.125	NA	1.372
1000906M1TA	<0.056	1.17	0.79	11.14	1.24	ND	0.62	0.019	0.755	0.495	ND	0.009	0.133	NA	0.768
		新莊 空品測站 第七次採樣													
1001005M3T10	0.056-0.10	4.57	0.95	6.29	0.94	0.33	4.68	0.069	0.124	0.314	0.023	ND	0.061	0.066	0.295
1001005M3TA	<0.056	0.86	1.12	1.81	0.48	ND	ND	ND	0.092	0.570	0.013	0.001	ND	0.010	0.215
1001005M1T10	0.056-0.10	2.96	6.32	3.34	1.31	0.21	ND	0.017	0.065	0.252	0.103	0.007	0.174	0.152	0.707
1001005M1TA	<0.056	0.86	0.78	8.48	1.16	ND	ND	0.011	0.060	0.199	0.026	0.001	0.013	0.028	0.416
1001006M3T10	0.056-0.10	0.65	1.10	1.94	0.52	ND	ND	0.002	0.052	0.225	0.012	ND	0.011	0.045	0.265
1001006M3TA	<0.056	0.90	0.79	1.70	0.38	ND	ND	0.003	0.076	0.239	0.029	ND	ND	0.009	0.172

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1001006M1T10	0.056-0.10	1.99	1.03	2.66	0.50	0.12	ND	0.002	0.056	0.239	0.057	ND	0.062	0.096	0.404
1001006M1TA	<0.056	0.74	5.22	3.56	0.44	0.17	ND	0.010	0.063	0.217	0.039	ND	0.040	0.044	0.639

註:斜體數值表疑問數據，可能由於污染。

表 7-2 續　(一) 新莊、(二) 中山、(三) 竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果。

(一) 新莊

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Nb	Ge	Rb	Cs	Ga
		新莊 空品測站 第一次採樣																	
1000503M3TA	<0.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	ND	ND	ND
1000503M1TA	<0.10	0.004	ND	0.022	0.658	ND	ND	0.120	0.048	ND	ND	ND	0.006	NA	NA	NA	0.000	ND	0.007
1000504M3TA	<0.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.078	0.007	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	ND	ND	ND
1000504M1TA	<0.10	ND	ND	0.040	1.213	ND	ND	0.010	ND	ND	ND	ND	0.133	NA	NA	NA	ND	ND	ND
		新莊 空品測站 第二次採樣																	
1000508M3TA	<0.10	0.043	0.008	0.013	0.203	0.092	0.004	0.304	0.076	0.328	0.037	0.001	0.015	NA	NA	NA	0.008	0.001	0.010
1000508M1TA	<0.10	0.090	0.013	0.057	1.230	0.260	0.008	0.770	0.183	ND	0.072	ND	0.021	NA	NA	NA	0.020	0.003	0.013
1000509M3TA	<0.10	0.011	0.032	0.024	0.386	0.406	0.003	0.383	0.379	0.241	0.036	0.001	0.024	NA	NA	NA	0.012	0.001	0.014
1000509M1TA	<0.10	0.014	0.023	0.061	1.016	0.349	0.008	0.868	0.726	0.256	0.074	0.001	0.011	NA	NA	NA	0.020	0.003	0.023
		新莊 空品測站 第三次採樣																	
1000607M3TA	<0.10	0.052	ND	0.036	0.768	0.576	0.002	0.732	0.729	0.236	0.053	ND	0.002	NA	NA	NA	0.010	0.002	0.017
1000607M1TA	<0.10	0.048	ND	0.025	0.372	0.492	0.002	0.772	0.781	0.363	0.040	ND	0.005	NA	NA	NA	0.010	0.002	0.018
1000608M3T10	0.056-0.10	0.016	ND	0.017	0.190	0.131	ND	0.360	0.291	0.360	ND	ND	ND	NA	NA	NA	0.005	0.001	0.007
1000608M3TA	<0.056	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.015	0.052	0.121	ND	ND	ND	NA	NA	NA	ND	ND	0.002
1000608M1T10	0.056-0.10	0.037	ND	0.038	0.453	0.346	ND	0.687	0.389	0.388	0.028	ND	0.017	NA	NA	NA	0.015	0.002	0.017
1000608M1TA	<0.056	ND	ND	0.002	0.026	ND	ND	0.096	0.139	0.162	ND	ND	ND	NA	NA	NA	ND	ND	0.000
		新莊 空品測站 第四次採樣																	
1000707M3T10	0.056-0.10	0.001	ND	0.012	ND	0.323	0.003	0.515	0.468	0.600	ND	ND	ND	NA	NA	NA	0.007	0.001	0.015
1000707M3TA	<0.056	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.102	0.069	0.023	ND	0.001	ND	NA	NA	NA	0.003	0.000	0.004
1000707M1T10	0.056-0.10	0.037	ND	0.044	0.296	0.603	0.007	1.020	0.741	0.069	0.061	0.002	0.022	NA	NA	NA	0.022	0.003	0.034
1000707M1TA	<0.056	0.052	ND	0.013	0.191	0.109	0.000	0.298	0.424	ND	ND	0.001	0.021	NA	NA	NA	0.005	0.001	0.011
1000708M3T10	0.056-0.10	ND	ND	0.004	ND	ND	ND	0.207	0.115	ND	ND	0.001	0.005	NA	NA	NA	0.003	0.000	0.004
1000708M3TA	<0.056	ND	ND	0.009	0.217	ND	ND	0.153	0.087	ND	ND	0.002	ND	NA	NA	NA	0.002	0.000	0.004

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Nb	Ge	Rb	Cs	Ga
1000708M1T10	0.056-0.10	0.014	ND	0.032	0.281	0.068	0.007	0.865	0.288	0.065	0.034	0.001	0.020	NA	NA	NA	0.014	0.001	0.017
1000708M1TA	<0.056	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.091	0.039	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	0.000	ND	0.001
		新莊 空品測站 第五次採樣																	
1000731M3T10	0.056-0.10	0.027	NA	0.014	0.239	0.052	NA	0.521	0.121	0.212	0.017	NA	0.021	NA	NA	NA	0.004	NA	0.002
1000731M3TA	***<0.056***	***0.008***	NA	***0.009***	***0.142***	ND	NA	***0.132***	***0.103***	***0.243***	***0.001***	NA	***0.015***	NA	NA	NA	***0.004***	NA	***0.031***
1000731M1T10	0.056-0.10	0.008	NA	0.018	0.222	0.068	NA	0.541	0.116	0.021	0.014	NA	0.007	NA	NA	NA	0.024	NA	0.002
1000731M1TA	<0.056	0.001	NA	0.003	0.117	0.002	NA	0.072	0.029	0.003	0.001	NA	0.005	NA	NA	NA	ND	NA	ND
1000801M3T10	0.056-0.10	0.011	NA	0.003	0.017	0.049	NA	0.249	0.119	0.077	0.009	NA	ND	NA	NA	NA	0.002	NA	0.001
1000801M3TA	<0.056	ND	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND	0.028	ND	NA	0.001	NA	NA	NA	ND	NA	0.004
1000801M1T10	0.056-0.10	0.022	NA	0.010	0.078	0.104	NA	0.480	0.180	0.146	0.018	NA	0.007	NA	NA	NA	0.007	NA	0.009
1000801M1TA	<0.056	0.015	NA	ND	ND	0.025	NA	0.078	0.059	0.087	0.002	NA	ND	NA	NA	NA	ND	NA	0.001
		新莊 空品測站 第六次採樣																	
1000905M3T10	0.056-0.10	0.010	NA	0.006	0.256	0.054	NA	0.113	0.080	0.134	0.015	NA	0.015	NA	NA	NA	0.009	NA	0.007
1000905M3TA	<0.056	0.000	NA	0.014	0.602	0.025	NA	0.468	0.024	0.243	0.005	NA	ND	NA	NA	NA	0.006	NA	0.011
1000905M1T10	0.056-0.10	0.007	NA	0.006	0.166	0.049	NA	0.310	0.107	0.219	0.021	NA	0.015	NA	NA	NA	0.018	NA	0.008
1000905M1TA	<0.056	0.005	NA	0.001	0.132	0.042	NA	0.118	0.046	0.162	0.013	NA	0.017	NA	NA	NA	0.009	NA	0.005
1000906M3T10	0.056-0.10	0.007	NA	ND	0.004	0.035	NA	0.120	0.065	0.104	0.013	NA	ND	NA	NA	NA	0.008	NA	0.003
1000906M3TA	<0.056	ND	NA	ND	ND	0.006	NA	ND	0.008	0.086	0.002	NA	ND	NA	NA	NA	0.002	NA	0.013
1000906M1T10	0.056-0.10	0.013	NA	0.003	0.006	0.047	NA	0.376	0.107	0.134	0.020	NA	0.010	NA	NA	NA	0.014	NA	0.010
1000906M1TA	<0.056	0.005	NA	ND	0.028	0.037	NA	0.086	0.054	0.082	0.011	NA	0.016	NA	NA	NA	0.006	NA	0.004
		新莊 空品測站 第七次採樣																	
1001005M3T10	0.056-0.10	0.017	0.001	0.003	0.029	0.006	0.001	0.123	0.100	0.092	0.002	0.001	ND	0.008	0.001	0.002	0.001	0.000	0.004
1001005M3TA	<0.056	0.021	0.022	0.002	0.043	ND	0.000	0.034	0.007	0.078	ND	ND	ND	0.013	0.004	ND	ND	0.000	0.001
1001005M1T10	0.056-0.10	0.051	0.254	0.006	0.098	0.011	0.001	0.152	0.121	0.105	0.004	ND	ND	0.005	0.000	0.001	0.003	0.000	0.003
1001005M1TA	<0.056	0.013	0.000	0.004	0.080	0.003	0.001	0.066	0.037	0.158	ND	ND	ND	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
1001006M3T10	0.056-0.10	0.008	0.000	0.001	0.025	ND	0.000	0.035	0.087	0.007	ND	ND	0.013	0.003	ND	0.001	0.001	0.000	0.001
1001006M3TA	<0.056	ND	0.255	0.001	0.021	ND	0.000	0.048	0.004	0.064	ND	0.001	ND	0.007	ND	ND	ND	0.000	0.001

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Zr	Nb	Ge	Rb	Cs	Ga
1001006M1T10	0.056-0.10	0.011	0.246	0.008	0.193	0.026	0.001	0.124	0.114	0.007	0.001	ND	ND	0.005	0.001	0.001	0.005	0.001	0.002
1001006M1TA	<0.056	0.002	ND	0.006	0.145	0.003	0.001	0.075	0.035	ND	ND	ND	ND	ND	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001

註:斜體數值表疑問數據，可能由於污染。

表 7-2 續　(一) 新莊、(二) 中山、(三) 竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果。

(二) 中山

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		中山 空品測站 第一次採樣													
1000514M3TA	<0.056	4.8	ND	1.4	ND	1.6	ND	0.03	0.02	0.07	ND	0.008	0.034	ND	0.54
1000515M1T10	0.056-0.10	5.8	ND	4.6	*3.8*	3.7	6.1	0.02	0.03	0.36	ND	0.006	0.385	ND	0.97
1000515M1TA	<0.056	1.0	0.7	0.1	ND	1.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.006	ND	ND
1000515M3T10	0.056-0.10	6.4	ND	3.6	ND	4.4	0.8	0.01	ND	0.35	ND	0.004	0.111	ND	0.65
1000515M3TA	<0.056	1.1	ND	1.3	ND	1.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002	ND	0.16
		中山 空品測站 第二次採樣													
1000613M1T10	0.056-0.10	3.1	*21.2*	3.9	0.3	3.4	ND	0.01	0.07	0.87	0.16	0.005	0.278	0.23	0.75
1000613M1TA	<0.056	ND	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	0.109	0.02	0.22
1000613M3T10	0.056-0.10	0.04	2.4	*49.3*	0.2	2.7	ND	0.002	0.07	0.06	0.21	0.029	0.314	0.28	0.96
1000613M3TA	<0.056	2.5	3.2	3.3	0.3	1.4	ND	0.01	0.07	0.50	0.01	0.013	0.231	0.07	0.71
1000614M1T10	0.056-0.10	8.0	1.5	*23.1*	0.2	2.5	ND	0.03	0.05	0.15	0.11	0.006	0.218	0.99	1.31
1000614M1TA	<0.056	ND	ND	0.4	ND	ND	ND	ND	0.04	ND	ND	0.004	0.096	0.10	0.59
1000614M3T10	0.056-0.10	ND	0.1	2.1	ND	2.6	ND	ND	0.04	0.07	0.09	0.047	0.268	0.39	0.84
1000614M3TA	<0.056	1.0	2.5	3.0	0.5	0.5	ND	ND	0.12	0.32	0.07	0.074	*1.889*	0.18	1.02
		中山 空品測站 第三次採樣													
1000713M1T10	0.056-0.10	6.0	ND	4.8	0.5	2.9	0.4	0.04	0.09	0.04	0.08	0.005	0.294	0.12	0.59
1000713M1TA	<0.056	11.7	5.5	9.5	1.7	7.6	1.0	0.03	0.14	1.23	0.32	0.026	0.348	0.45	2.84
1000713M3T10	0.056-0.10	1.5	ND	3.6	0.4	1.0	ND	0.01	0.09	0.03	0.04	0.0001	0.222	0.02	2.20

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000713M3TA	<0.056	1.0	ND	2.0	0.1	1.3	0.4	ND	ND	0.21	0.04	0.005	0.153	0.18	0.44
1000714M1T10	0.056-0.10	13.6	ND	0.9	ND	ND	ND	ND	0.02	ND	0.003	ND	0.005	ND	0.47
1000714M1TA	<0.056	1.6	ND	5.0	0.2	5.0	ND	0.01	0.05	ND	0.15	0.020	0.203	0.08	0.97
1000714M3T10	0.056-0.10	3.5	ND	4.9	0.7	2.1	ND	0.004	0.09	0.20	0.06	0.007	0.088	*1.49*	2.41
1000714M3TA	<0.056	0.8	ND	5.1	0.6	7.0	ND	0.003	ND	0.18	0.06	0.007	0.106	0.15	0.44
		中山 空品測站 第四次採樣													
1000806M3A10	0.056-0.10	6.5	1.6	6.5	ND	7.4	5.5	ND	0.34	0.38	0.26	0.020	0.344	NA	1.53
1000806M3TA	<0.056	1.8	5.3	10.0	2.8	0.8	9.4	0.01	0.12	0.51	0.06	0.007	0.066	NA	1.30
1000806M1A10	0.056-0.10	ND	ND	1.1	ND	0.2	ND	ND	0.10	0.21	0.01	0.001	0.098	NA	0.20
1000806M1TA	<0.056	9.4	0.9	8.7	2.4	3.7	7.9	0.04	1.14	0.73	0.16	0.004	0.208	NA	0.80
1000808M3T10	0.056-0.10	3.3	1.2	6.3	0.5	3.0	12.3	0.06	0.24	0.63	0.11	0.016	0.303	NA	0.90
1000808M3TA	<0.056	3.2	ND	2.5	0.3	ND	10.5	ND	0.24	0.74	0.02	0.013	0.044	NA	ND
1000808M1T10	0.056-0.10	6.0	2.9	6.3	1.4	2.4	14.8	0.04	0.12	1.51	0.05	0.005	0.125	NA	0.68
1000808M1TA	<0.056	4.0	0.1	9.8	1.1	5.2	9.6	ND	0.27	0.44	0.04	0.002	0.064	NA	3.21
		中山 空品測站 第五次採樣													
1000917M3T10	0.056-0.10	5.7	0.2	1.0	0.2	1.4	1.4	0.05	0.13	0.57	0.04	0.004	0.126	NA	0.41
1000917M3TA	<0.056	7.8	ND	0.7	0.1	0.4	0.9	0.02	0.08	0.25	0.05	ND	0.088	NA	0.51
1000917M1T10	0.056-0.10	5.0	0.8	7.5	0.6	4.8	12.3	0.11	0.11	0.64	0.08	0.011	0.312	NA	1.16
1000917M1TA	<0.056	1.5	ND	ND	ND	ND	7.8	0.10	0.05	0.32	ND	0.003	0.091	NA	0.04
1000918M3T10	0.056-0.10	3.5	2.0	0.2	0.2	49.6	6.2	0.05	0.17	0.53	ND	ND	0.094	NA	0.01
1000918M3TA	<0.056	2.0	2.1	ND	ND	3.4	0.9	0.02	0.45	0.33	ND	ND	0.070	NA	0.03
1000918M1T10	0.056-0.10	1.9	0.1	ND	ND	ND	ND	0.02	ND	0.66	0.02	0.001	0.054	NA	ND

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000918M1TA	<0.056	2.1	ND	8.4	0.7	2.9	5.1	0.04	0.10	0.28	ND	0.006	0.065	NA	0.96
		中山 空品測站 第六次採樣													
1001017M3T10	0.056-0.10	5.8	5.0	6.3	1.4	6.2	6.5	0.07	0.27	0.52	0.22	0.002	0.107	0.17	0.80
1001017M3TA	<0.056	2.4	0.4	4.6	1.0	ND	ND	0.01	0.09	0.30	0.03	ND	ND	0.01	0.11
1001017M1T10	0.056-0.10	2.0	0.3	2.2	0.9	0.2	ND	0.02	0.12	0.26	0.04	ND	0.000	0.02	0.39
1001017M1TA	<0.056	1.6	0.2	2.0	0.6	ND	ND	0.01	0.12	0.19	0.05	0.001	ND	0.08	0.29
1001018M3T10	0.056-0.10	4.9	3.7	8.1	1.5	3.2	3.7	0.06	0.33	0.64	0.09	0.033	0.111	0.26	1.08
1001018M3TA	<0.056	5.9	0.9	2.9	1.0	0.3	2.9	0.07	0.25	0.71	0.05	ND	0.007	0.05	0.28
1001018M1T10	0.056-0.10	4.3	1.3	4.6	1.3	2.9	2.1	0.04	0.41	0.85	0.10	0.012	0.108	0.11	0.89
1001018M1TA	<0.056	1.4	0.3	2.3	0.6	0.2	ND	0.01	0.11	0.28	0.03	0.005	0.006	0.00	0.67

註:斜體數值表疑問數據，可能由於污染。

表 7-2 (一) 新莊、(二) 中山、(三) 竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果。

(二) 中山

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
		中山 空品測站 第一次採樣														
1000514M3TA	<0.056	0.029	0.061	0.013	0.359	0.007	0.001	0.11	0.02	ND	0.01	0.0000	0.006	0.003	0.000	0.001
1000515M1T10	0.056-0.10	0.015	0.042	0.008	0.139	0.029	0.000	0.28	0.05	ND	0.01	ND	ND	0.005	0.000	0.001
1000515M1TA	<0.056	0.009	0.009	0.002	0.047	0.003	0.000	0.01	0.004	ND	ND	ND	ND	0.001	0.000	ND
1000515M3T10	0.056-0.10	0.022	0.021	0.008	0.062	0.048	0.001	0.37	0.14	ND	0.02	ND	0.021	0.006	0.001	0.0002
1000515M3TA	<0.056	0.008	0.002	0.003	0.079	0.002	0.000	0.05	0.01	ND	0.004	ND	0.014	0.001	0.000	ND
		中山 空品測站 第二次採樣														
1000613M1T10	0.056-0.10	0.015	0.061	0.014	0.142	0.045	0.002	0.31	0.06	0.07	0.03	ND	ND	0.008	0.001	0.0001
1000613M1TA	<0.056	ND	0.021	0.004	0.084	0.003	0.001	0.14	0.02	0.00	0.01	ND	0.000	ND	0.000	ND
1000613M3T10	0.056-0.10	0.009	0.038	0.013	0.131	0.063	0.002	0.35	0.08	0.15	0.03	ND	ND	0.006	0.001	0.001
1000613M3TA	<0.056	0.004	0.013	0.007	0.149	0.003	0.001	0.17	0.03	0.14	0.01	ND	ND	0.003	0.000	ND
1000614M1T10	0.056-0.10	0.037	0.032	0.014	0.208	0.053	0.004	0.36	0.09	0.03	0.06	ND	0.005	0.008	0.001	0.005
1000614M1TA	<0.056	ND	0.066	0.004	0.093	0.011	0.001	0.08	0.05	ND	0.02	0.002	0.007	ND	0.000	ND
1000614M3T10	0.056-0.10	0.018	0.008	0.014	0.162	0.042	0.003	0.34	0.10	0.03	0.07	ND	ND	0.007	0.001	0.002
1000614M3TA	<0.056	0.017	0.030	0.006	0.115	0.011	0.001	0.20	0.03	0.31	0.02	ND	ND	0.001	0.000	0.001
		中山 空品測站 第三次採樣														
1000713M1T10	0.056-0.10	0.043	0.037	0.011	0.114	0.061	0.002	0.29	0.06	0.16	0.03	0.001	0.011	0.006	0.000	ND
1000713M1TA	<0.056	0.123	0.316	0.030	0.318	0.148	0.004	0.77	0.17	0.35	0.07	0.001	0.001	0.017	0.001	0.005
1000713M3T10	0.056-0.10	0.034	0.010	0.004	0.107	0.012	0.000	0.10	0.02	0.03	0.004	0.000	0.012	0.002	0.000	ND

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000713M3TA	<0.056	0.043	0.014	0.006	0.110	0.068	0.001	0.29	0.05	0.03	0.02	0.000	0.035	0.007	0.000	ND
1000714M1T10	0.056-0.10	0.009	ND	0.001	0.042	0.011	0.000	0.04	0.01	ND	0.003	ND	ND	ND	0.000	ND
1000714M1TA	<0.056	0.018	0.005	0.016	0.231	0.080	0.001	0.48	0.13	ND	0.05	ND	0.013	0.016	0.001	ND
1000714M3T10	0.056-0.10	0.015	0.017	0.005	0.083	0.018	0.001	0.14	0.02	ND	0.005	0.000	0.006	0.005	0.000	ND
1000714M3TA	<0.056	0.023	0.008	0.006	0.134	0.033	0.002	0.11	0.04	0.07	0.02	0.000	0.014	0.008	0.000	ND
		中山 空品測站 第四次採樣														
1000806M3A10	0.056-0.10	0.039	NA	0.048	0.850	0.124	NA	0.93	0.18	0.18	0.07	NA	0.052	0.026	NA	0.014
1000806M3TA	<0.056	0.002	NA	0.017	0.479	0.009	NA	0.08	0.02	0.02	0.01	NA	0.036	0.002	NA	0.005
1000806M1A10	0.056-0.10	0.004	NA	0.017	0.404	0.024	NA	0.12	0.03	ND	0.01	NA	0.006	0.001	NA	ND
1000806M1TA	<0.056	0.011	NA	0.020	0.504	0.041	NA	0.25	0.05	0.11	0.02	NA	0.004	0.009	NA	0.010
1000808M3T10	0.056-0.10	0.035	NA	0.025	0.450	0.078	NA	0.71	0.15	0.14	0.05	NA	0.007	0.010	NA	0.008
1000808M3TA	<0.056	0.003	NA	0.008	0.281	0.003	NA	ND	0.01	0.12	0.00	NA	0.011	0.001	NA	0.012
1000808M1T10	0.056-0.10	0.021	NA	0.014	0.353	0.027	NA	0.23	0.06	0.10	0.02	NA	0.003	0.008	NA	0.006
1000808M1TA	<0.056	0.010	NA	0.011	0.256	0.013	NA	0.08	0.02	0.02	0.01	NA	0.012	0.006	NA	0.006
		中山 空品測站 第五次採樣														
1000917M3T10	0.056-0.10	0.004	NA	0.005	0.102	0.023	NA	0.17	0.10	0.06	0.011	NA	0.018	0.007	NA	0.015
1000917M3TA	<0.056	0.002	NA	0.004	0.083	0.006	NA	0.11	0.02	0.02	0.005	NA	0.008	0.004	NA	0.004
1000917M1T10	0.056-0.10	0.006	NA	0.007	0.082	0.032	NA	0.19	0.09	0.15	0.012	NA	ND	0.012	NA	0.005
1000917M1TA	<0.056	0.002	NA	0.001	0.043	0.011	NA	0.07	0.03	0.03	0.004	NA	0.004	0.003	NA	0.000
1000918M3T10	0.056-0.10	0.005	NA	ND	ND	0.020	NA	0.11	0.05	0.02	0.007	NA	ND	0.006	NA	0.003
1000918M3TA	<0.056	ND	NA	0.000	0.063	0.008	NA	0.01	0.01	ND	0.003	NA	ND	0.003	NA	0.010
1000918M1T10	0.056-0.10	0.005	NA	0.001	ND	0.026	NA	0.14	0.06	ND	0.009	NA	ND	0.005	NA	0.002

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000918M1TA	<0.056	ND	NA	ND	ND	0.011	NA	0.06	0.02	0.00	0.002	NA	0.010	0.005	NA	0.003
		中山 空品測站 第六次採樣														
1001017M3T10	0.056-0.10	0.026	0.076	0.010	0.123	0.018	0.00	0.60	0.11	0.17	0.017	0.00	0.016	0.025	0.004	0.005
1001017M3TA	<0.056	0.011	0.018	ND	0.045	0.002	ND	0.05	ND	0.05	0.003	ND	0.020	ND	0.000	ND
1001017M1T10	0.056-0.10	0.017	0.009	0.000	0.044	0.003	ND	0.09	0.01	0.08	0.002	ND	0.003	0.002	0.001	ND
1001017M1TA	<0.056	0.014	0.012	ND	0.023	0.000	ND	0.09	ND	0.04	0.001	ND	0.021	0.002	0.001	ND
1001018M3T10	0.056-0.10	0.012	0.011	0.000	0.059	0.004	ND	0.20	0.03	0.15	0.008	ND	0.010	0.005	0.001	0.002
1001018M3TA	<0.056	0.012	0.020	ND	0.044	0.008	ND	0.04	0.01	0.17	0.003	ND	0.004	0.001	0.001	ND
1001018M1T10	0.056-0.10	0.011	0.075	0.002	0.041	0.011	0.00	0.18	0.09	0.11	0.007	ND	0.009	0.011	0.001	0.004
1001018M1TA	<0.056	0.000	0.053	ND	0.022	ND	ND	0.03	0.01	0.03	0.000	ND	0.001	0.001	0.000	ND

註:斜體數值表疑問數據，可能由於污染。

表 7-2 續　(一) 新莊、(二) 中山、(三) 竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果。

(三) 竹東

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		竹東 空品測站 第一次採樣													
1000527M1T10	0.056-0.10	3.1	*54.5*	0.4	ND	1.9	ND	0.002	ND	ND	0.19	0.005	0.249	ND	ND
1000527M1TA	<0.056	13.3	*26.2*	0.9	ND	1.5	ND	0.0001	0.02	0.05	0.19	0.004	0.110	0.33	3.64
1000527M3T10	0.056-0.10	2.8	ND	1.6	ND	3.6	0.0	0.01	ND	0.10	ND	0.021	0.167	ND	0.22
1000527M3TA	<0.056	1.4	ND	0.5	ND	1.0	ND	0.02	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	0.03
1000528M1T10	0.056-0.10	0.9	ND	0.7	ND	1.1	ND	0.001	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	0.56
1000528M1TA	<0.056	5.0	ND	0.7	ND	2.1	ND	0.01	0.05	ND	ND	0.008	ND	ND	0.12
1000528M3T10	0.056-0.10	1.1	ND	ND	ND	2.0	ND	0.0002	ND	0.08	ND	ND	0.007	ND	ND
1000528M3TA	<0.056	2.4	ND	0.5	ND	1.6	ND	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		竹東 空品測站 第二次採樣													
1000624M1T10	0.056-0.10	5.1	5.4	2.4	0.8	3.8	ND	0.01	0.10	0.18	0.09	ND	0.020	0.25	0.93
1000624M1TA	<0.056	0.5	*25.3*	*14.6*	0.1	ND	ND	ND	0.11	0.70	0.24	0.001	0.087	0.04	0.51
1000625M1T10	0.056-0.10	4.4	9.4	3.5	0.5	0.3	ND	0.01	0.05	0.20	0.08	ND	0.242	0.16	0.53
1000625M1TA	<0.056	0.1	0.1	6.0	0.5	0.4	ND	0.002	0.18	0.68	ND	ND	0.181	0.03	0.32
		竹東 空品測站 第三次採樣													
1000725M1T10	0.056-0.10	2.1	ND	1.4	0.3	0.6	ND	ND	0.06	0.02	0.04	0.001	0.009	0.10	0.23
1000725M1TA	<0.056	0.8	ND	1.2	ND	5.2	ND	ND	0.04	ND	0.09	0.002	0.054	0.04	0.65
1000725M3T10	0.056-0.10	0.5	ND	1.7	0.1	1.2	ND	ND	0.04	ND	0.02	ND	0.023	ND	0.67
1000725M3TA	<0.056	ND	ND	ND	ND	6.2	5.2	ND	ND	ND	0.03	0.002	0.043	0.06	0.36

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000726M1T10	0.056-0.10	10.8	8.3	*36.0*	0.8	5.4	ND	0.02	0.84	0.77	0.02	0.001	0.092	0.07	0.82
1000726M1TA	<0.056	9.2	4.0	4.1	1.4	1.0	ND	0.03	0.11	1.42	0.11	0.006	0.089	0.29	0.45
1000726M3T10	0.056-0.10	2.3	13.8	0.9	0.2	4.8	ND	0.03	0.08	0.14	0.19	0.005	0.099	0.07	0.37
1000726M3TA	<0.056	12.7	ND	6.0	0.1	ND	ND	ND	0.03	0.01	0.04	ND	ND	0.05	ND
		竹東 空品測站 第四次採樣													
1000927M1T10	0.056-0.10	2.3	2.1	2.8	0.7	4.2	0.6	0.01	0.07	0.30	0.21	0.005	0.144	0.85	2.18
1000927M1TA	<0.056	4.0	1.9	2.3	0.5	0.0	3.3	0.05	0.13	0.29	0.04	0.0003	0.232	0.06	1.04
1000928M1T10	0.056-0.10	8.6	3.5	5.5	0.8	7.4	9.8	0.13	0.15	0.72	0.25	0.009	0.588	0.67	7.07
1000928M1TA	<0.056	1.8	3.6	16.4	4.0	22.6	2.2	0.05	0.14	0.23	0.08	0.006	0.259	0.15	1.38
		竹東 空品測站 第五次採樣													
1001024M1T10	0.056-0.10	4.0	1.2	5.6	1.3	2.4	ND	0.03	0.26	0.41	0.07	0.0001	0.074	0.08	2.16
1001024M1TA	<0.056	3.8	2.0	4.6	1.4	1.1	ND	0.02	0.20	0.41	0.09	ND	0.055	0.10	0.31
1001025M1T10	0.056-0.10	4.1	2.6	8.6	1.5	5.0	3.0	0.04	0.39	0.54	0.13	0.007	0.207	0.38	0.94
1001025M1TA	<0.056	2.0	1.1	4.2	1.0	0.9	ND	0.02	0.47	0.25	0.08	ND	0.048	0.07	0.88
		竹東 空品測站 第六次採樣													
1001028M1T10	0.056-0.10	2.4	2.0	10.0	2.0	3.4	ND	0.03	0.25	0.33	0.10	0.005	0.146	0.09	0.47
1001028M1TA	<0.056	6.0	2.5	6.9	1.8	2.7	2.3	0.05	0.21	0.75	0.09	0.0001	0.047	0.12	0.59
1001029M1T10	0.056-0.10	3.6	1.8	5.7	1.2	2.9	1.7	0.05	0.16	0.43	0.06	ND	0.065	0.08	0.61
1001029M1TA	<0.056	3.3	0.9	7.7	1.8	2.0	1.5	0.04	0.35	0.43	0.08	0.001	0.246	0.07	0.51

表 7-2 (一) 新莊、(二) 中山、(三) 竹東等三個測站 $PM_{0.1}$ 的金屬元素分析結果。

(三) 竹東

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
		竹東 空品測站 第一次採樣														
1000527M1T10	0.056-0.10	0.015	0.005	0.005	0.014	0.008	0.001	0.07	0.07	0.14	0.01	ND	0.002	0.003	0.000	ND
1000527M1TA	<0.056	0.016	0.021	0.022	0.746	0.114	0.000	0.15	0.03	0.13	0.003	ND	ND	0.001	0.000	0.002
1000527M3T10	0.056-0.10	0.019	0.089	0.011	0.043	0.020	0.001	0.19	0.13	ND	0.01	ND	ND	0.007	0.001	0.0002
1000527M3TA	<0.056	0.001	0.009	0.002	0.008	0.002	0.000	0.02	0.02	ND	0.001	ND	0.010	0.001	0.000	ND
1000528M1T10	0.056-0.10	0.003	ND	0.001	0.015	0.002	0.001	0.03	0.04	ND	0.002	ND	0.002	0.001	0.000	ND
1000528M1TA	<0.056	0.003	0.008	0.001	0.057	ND	0.000	0.05	0.01	ND	ND	ND	ND	0.002	0.000	0.001
1000528M3T10	0.056-0.10	0.022	0.005	ND	0.007	ND	0.000	0.02	0.08	ND	0.005	0.000	0.002	0.001	0.000	ND
1000528M3TA	<0.056	0.008	0.007	0.0004	0.036	ND	0.000	0.01	0.02	ND	0.001	0.000	0.004	0.002	0.000	ND
		竹東 空品測站 第二次採樣														
1000624M1T10	0.056-0.10	0.006	0.007	0.008	0.104	0.014	0.001	0.27	0.05	0.15	0.02	ND	ND	0.014	0.001	0.002
1000624M1TA	<0.056	ND	0.005	0.015	0.057	ND	0.001	0.43	0.01	0.12	0.01	ND	ND	0.001	0.000	0.0001
1000625M1T10	0.056-0.10	ND	0.010	0.006	0.110	0.008	0.001	0.28	0.03	0.04	0.01	0.001	ND	0.005	0.001	ND
1000625M1TA	<0.056	ND	0.009	0.003	0.085	ND	0.001	0.08	0.02	0.26	0.00	ND	ND	0.001	0.000	0.003
		竹東 空品測站 第三次採樣														
1000725M1T10	0.056-0.10	0.034	ND	0.003	0.092	0.011	0.001	0.06	0.01	ND	0.01	0.000	ND	0.001	0.000	ND
1000725M1TA	<0.056	0.054	0.004	0.011	0.237	0.057	0.002	0.23	0.05	ND	0.04	0.000	0.016	0.008	0.001	ND
1000725M3T10	0.056-0.10	0.006	0.040	0.001	0.026	0.005	0.000	0.02	0.0003	ND	0.001	ND	0.003	0.001	0.000	ND
1000725M3TA	<0.056	0.005	0.003	0.015	0.371	0.045	0.002	0.52	0.05	ND	0.03	0.003	0.036	0.007	0.001	ND

1000726M1T10	0.056-0.10	0.010	0.052	0.001	0.020	0.007	0.001	0.04	ND	0.20	ND	0.001	ND	0.003	0.001	0.017
1000726M1TA	<0.056	0.037	0.018	0.005	0.187	0.017	0.001	0.14	0.03	ND	0.01	0.001	ND	0.005	0.001	ND
1000726M3T10	0.056-0.10	0.045	0.007	0.018	0.453	0.056	0.003	0.76	0.14	0.07	0.03	0.003	ND	0.009	0.001	ND
1000726M3TA	<0.056	0.034	0.003	0.002	0.060	0.007	0.001	0.08	0.03	0.09	0.003	0.000	0.0001	0.002	0.000	ND
		竹東 空品測站 第四次採樣														
1000927M1T10	0.056-0.10	0.028	0.087	0.023	0.422	0.096	ND	0.36	0.03	0.08	0.01	ND	0.015	0.011	0.001	0.003
1000927M1TA	<0.056	0.012	0.032	0.008	0.164	0.036	ND	0.11	0.01	0.19	0.00	ND	ND	0.002	0.001	0.003
1000928M1T10	0.056-0.10	0.028	0.333	0.030	0.441	0.068	ND	0.60	0.11	0.19	0.04	0.001	0.006	0.015	0.001	0.011
1000928M1TA	<0.056	0.017	0.030	0.013	0.252	0.020	ND	0.17	0.03	0.06	0.01	ND	0.003	0.015	0.001	0.005
		竹東 空品測站 第五次採樣														
1001024M1T10	0.056-0.10	0.007	0.054	0.000	0.033	0.010	ND	0.08	0.06	0.13	0.01	ND	0.009	0.004	0.001	0.001
1001024M1TA	<0.056	0.006	0.007	ND	0.030	0.004	ND	0.07	0.02	0.17	0.00	ND	0.011	0.003	0.001	ND
1001025M1T10	0.056-0.10	0.022	0.026	0.005	0.050	0.027	0.001	0.19	0.08	0.16	0.01	ND	0.018	0.010	0.001	0.005
1001025M1TA	<0.056	0.002	0.010	0.001	0.064	0.005	ND	0.07	0.02	0.05	0.00	ND	0.011	0.002	0.001	0.006
		竹東 空品測站 第六次採樣														
1001028M1T10	0.056-0.10	0.005	0.007	0.005	0.048	0.046	0.001	0.24	0.07	0.09	0.01	ND	0.006	0.008	0.001	0.001
1001028M1TA	<0.056	0.002	0.005	0.002	0.030	0.013	ND	0.14	0.02	0.45	0.00	0.00	0.011	0.007	0.001	0.000
1001029M1T10	0.056-0.10	0.004	0.011	0.003	0.028	0.014	ND	0.15	0.11	0.07	0.01	ND	0.026	0.004	0.001	ND
1001029M1TA	<0.056	0.000	0.065	ND	0.028	0.003	ND	0.09	0.03	0.39	0.00	ND	0.003	0.003	0.001	0.003

表 7-3 (一)新莊、(二)中山、(三)竹東三個測站 Dichot 標本的金屬元素分析結果(單位：ng/m^3)。

(一) 新莊

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		新莊 空品測站 第一次採樣													
1000503D1TF	<2.5	496	323	147	84	135	38	1.3	3.5	30	9.9	0.1	1.5	2.1	13
1000503D1TC	2.5-10	1032	671	519	284	273	384	4.0	10.7	75	13.6	0.3	1.3	4.0	10
1000504D1TF	<2.5	51	105	51	12	49	2	0.2	2.6	7	9.7	0.1	2.8	3.3	23
1000504D1TC	2.5-10	352	308	159	83	94	294	1.6	12.4	34	5.5	0.2	1.7	7.3	16
		新莊 空品測站 第二次採樣													
1000508D1TF	<2.5	182	201	228	40	120	20	1.4	5.3	11	10.6	0.4	5.4	7.9	71
1000508D1TC	2.5-10	509	435	304	109	112	270	3.2	11.7	35	7.4	0.3	2.6	12.3	20
1000509D1TF	<2.5	234	213	306	45	169	22	1.7	5.5	16	18.5	0.8	12.2	14.2	122
1000509D1TC	2.5-10	1002	711	441	207	177	514	6.0	23.4	81	12.6	0.7	7.7	13.7	41
		新莊 空品測站 第三次採樣													
1000607D1TF	<2.5	246	112	170	27	93	67	0.7	2.3	8	8.4	0.4	9.3	7.2	39
1000607D1TC	2.5-10	509	401	474	157	94	388	3.7	11.2	44	8.6	0.5	8.2	7.8	29
1000608D1TF	<2.5	137	142	239	37	131	58	0.8	4.1	10	12.7	0.4	9.3	13.5	68
1000608D1TC	2.5-10	480	426	407	142	81	375	3.2	16.2	49	9.1	0.4	4.6	8.5	28
		新莊 空品測站 第四次採樣													
1000707D1TF	<2.5	219	179	163	40	144	50	0.9	3.9	14	14.6	0.4	10.9	13.1	46
1000707D1TC	2.5-10	866	665	417	199	150	498	5.7	19.7	92	11.9	0.8	8.8	9.6	28
1000708D1TF	<2.5	167	153	265	51	225	51	0.9	3.4	11	10.7	0.3	7.8	17.3	63

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000708D1TC	2.5-10	708	530	838	223	128	346	4.8	12.1	48	9.6	0.4	3.2	7.8	35
		新莊 空品測站 第五次採樣													
1000731D1TF	<2.5	74	65	177	26	88	29	0.6	3.6	5.3	3.6	0.2	3.4	4.4	29
1000731D1TC	2.5-10	207	236	496	85	83	202	1.6	5.5	19.1	3.6	0.3	11.8	11.4	19
1000801D1TF	<2.5	51	59	146	18	60	1	0.3	0.8	4.9	4.9	0.1	5.7	6.2	25
1000801D1TC	2.5-10	251	247	317	80	79	271	2.2	9.8	28.2	4.2	0.3	3.4	4.1	11
		新莊 空品測站 第六次採樣													
1000731D1TF	<2.5	74	65	177	26	88	29	0.6	3.6	5.3	3.6	0.2	3.4	4.4	29
1000731D1TC	2.5-10	207	236	496	85	83	202	1.6	5.5	19.1	3.6	0.3	11.8	11.4	19
1000801D1TF	<2.5	251	247	317	80	79	271	2.2	9.8	28.2	4.2	0.3	3.4	4.1	11
1000801D1TC	2.5-10	51	59	146	18	60	1	0.3	0.8	4.9	4.9	0.1	5.7	6.2	25
		新莊 空品測站 第七次採樣													
1001005D1TF	<2.5	41	97	347	45	100	36	0.7	3.4	4.6	9.6	0.1	2.6	3.4	28
1001005D1TC	2.5-10	163	250	2018	231	145	313	2.7	10.1	21.8	4.6	0.2	1.0	6.2	10
1001006D1TF	<2.5	51	106	293	44	98	43	0.6	2.7	5.7	9.8	0.2	2.8	3.2	23
1001006D1TC	2.5-10	161	202	1635	177	113	248	2.2	7.6	20.0	3.6	0.1	0.6	5.1	7

表 7-3 續　(一)新莊、(二)中山、(三)竹東三個測站 Dichot 標本的金屬元素分析結果。

(一) 新莊

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
		新莊 空品測站 第一次採樣														
1000503D1TF	<2.5	0.30	0.87	0.09	0.77	0.33	0.02	3.33	2.78	2.02	0.31	0.11	0.08	0.88	0.06	0.30
1000503D1TC	2.5-10	0.27	0.65	0.04	0.57	0.46	0.01	2.17	1.99	2.62	0.24	0.33	0.03	1.66	0.12	0.65
1000504D1TF	<2.5	0.42	0.93	0.18	1.64	1.23	0.02	5.25	3.39	1.06	0.40	0.01	0.13	0.18	0.01	0.19
1000504D1TC	2.5-10	0.61	1.01	0.05	1.02	1.12	0.01	4.09	1.05	3.52	0.08	0.11	0.02	0.43	0.03	0.51
		新莊 空品測站 第二次採樣														
1000508D1TF	<2.5	0.81	0.35	1.03	6.55	5.59	0.13	16.75	6.99	0.93	1.38	0.04	0.87	0.57	0.07	0.44
1000508D1TC	2.5-10	0.62	0.07	0.07	1.19	1.23	0.05	6.39	1.71	4.93	0.14	0.14	0.03	0.72	0.05	0.57
1000509D1TF	<2.5	1.11	0.49	1.30	13.28	11.95	0.18	37.26	9.74	4.79	2.02	0.07	0.89	0.86	0.10	0.76
1000509D1TC	2.5-10	0.88	0.13	0.13	1.68	2.40	0.08	20.31	3.49	16.20	0.35	0.32	0.12	1.25	0.09	1.12
		新莊 空品測站 第三次採樣														
1000607D1TF	<2.5	0.54	0.08	0.35	2.53	2.77	0.06	22.54	4.90	3.34	0.64	0.03	0.46	0.27	0.04	0.28
1000607D1TC	2.5-10	0.57	0.18	0.07	0.90	1.27	0.02	66.71	2.71	8.55	0.17	0.21	0.15	0.72	0.05	0.54
1000608D1TF	<2.5	1.03	0.75	0.79	7.93	2.96	0.08	17.59	6.47	4.86	0.82	0.03	0.63	0.44	0.06	0.39
1000608D1TC	2.5-10	0.95	0.32	0.09	1.97	0.97	0.02	6.74	1.97	6.59	0.13	0.17	0.12	0.62	0.04	0.68
		新莊 空品測站 第四次採樣														
1000707D1TF	<2.5	0.79	0.38	0.66	4.08	3.38	0.09	17.40	7.55	3.59	1.39	0.06	0.74	0.52	0.06	0.44
1000707D1TC	2.5-10	1.10	0.28	0.11	2.03	1.86	0.02	23.53	3.33	13.23	0.28	0.34	0.21	1.15	0.07	0.90
1000708D1TF	<2.5	0.67	0.37	0.93	8.05	2.62	0.12	19.47	8.02	2.17	1.92	0.06	1.48	0.62	0.05	0.41
1000708D1TC	2.5-10	0.42	0.17	0.10	1.07	0.83	0.02	5.52	1.99	4.88	0.24	0.25	0.16	0.88	0.06	0.61
		新莊 空品測站 第五次採樣														
1000731D1TF	<2.5	0.27	2.18	0.40	3.76	1.51	0.06	14.38	5.40	1.67	0.59	0.02	0.44	0.28	0.04	0.20
1000731D1TC	2.5-10	0.26	2.04	0.05	0.73	1.65	0.03	3.47	2.29	2.37	0.11	0.09	0.06	0.35	0.02	0.25
1000801D1TF	<2.5	0.30	1.44	0.29	3.00	1.12	0.05	7.67	4.88	1.47	0.41	0.01	0.24	0.18	0.04	0.16

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000801D1TC	2.5-10	0.29	0.62	0.05	0.84	0.81	0.06	5.68	1.50	2.66	0.14	0.10	0.10	0.37	0.03	0.28
		新莊 空品測站 第六次採樣														
1000905D1TF	<2.5	0.44	0.33	0.09	0.67	0.99	0.02	5.87	1.75	3.13	0.42	0.20	0.23	0.83	0.07	0.70
1000905D1TC	2.5-10	0.47	0.42	0.32	1.29	1.48	0.11	17.43	5.48	1.96	1.41	0.01	0.81	0.88	0.16	0.29
1000906D1TF	<2.5	0.94	0.15	0.22	1.01	1.31	0.06	16.44	2.58	6.27	0.72	0.33	0.38	1.45	0.14	0.94
1000906D1TC	2.5-10	1.21	0.91	0.95	4.94	2.49	0.33	57.43	7.06	4.47	3.00	0.03	1.69	2.19	0.40	0.84
		新莊 空品測站 第七次採樣														
1001005D1TF	<2.5	0.40	0.20	0.22	1.16	0.74	0.07	15.32	7.23	1.02	1.34	0.02	0.42	0.57	0.04	0.27
1001005D1TC	2.5-10	0.41	0.21	0.05	1.02	0.76	0.01	4.63	1.08	2.59	0.22	0.08	0.12	0.55	0.02	0.35
1001006D1TF	<2.5	0.37	0.24	0.19	0.98	0.66	0.09	12.81	7.13	1.39	1.14	0.02	0.48	0.78	0.06	0.22
1001006D1TC	2.5-10	0.31	0.18	0.05	1.08	0.52	0.01	3.82	0.69	2.26	0.16	0.06	0.08	0.44	0.01	0.27

表 7-3 續　(一)新莊、(二)中山、(三)竹東三個測站 Dichot 標本的金屬元素分析結果。

(二) 中山

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		中山 空品測站 第一次採樣													
1000514D1TF	<2.5	312	206	128	67	133	30	1.1	5.7	18	8.6	0.1	2.0	5.5	29
1000514D1TC	2.5-10	355	267	258	99	113	153	1.5	8.7	21	4.0	0.1	0.6	5.8	5
1000515D1TF	<2.5	252	89	68	33	111	16	2.3	8.3	4	4.6	0.05	1.7	5.1	21
1000515D1TC	2.5-10	138	191	252	67	70	171	1.2	11.2	13	2.3	0.1	0.5	6.8	5
		中山 空品測站 第二次採樣													
1000613D1TF	<2.5	89	89	96	14	102	11	0.4	3.6	7	5.0	0.1	2.1	4.7	22
1000613D1TC	2.5-10	308	304	210	80	132	283	1.5	12.8	31	4.6	0.2	2.7	8.3	13
1000614D1TF	<2.5	149	153	201	43	141	46	1.8	10.5	9	10.3	0.2	4.8	11.6	48
1000614D1TC	2.5-10	500	539	434	170	118	519	3.3	22.9	46	9.6	0.3	1.9	12.6	24
		中山 空品測站 第三次採樣													
1000713D1TF	<2.5	387	468	230	101	109	724	2.6	17.0	53	7.0	0.3	2.8	14.4	21
1000713D1TC	2.5-10	142	136	100	23	73	79	0.7	5.6	10	7.6	0.2	3.8	8.5	31
1000714D1TF	<2.5	320	316	233	65	135	390	1.4	9.2	35	4.2	0.1	1.0	7.6	11
1000714D1TC	2.5-10	76	98	126	23	57	47	0.3	4.1	5	3.6	0.1	1.8	4.0	16
		中山 空品測站 第四次採樣													
1000806D1TF	<2.5	573	542	626	165	238	979	4.1	19.2	51	11.7	0.3	3.3	15.9	36
1000806D1TC	2.5-10	121	57	207	21	131	ND	0.6	2.8	3	9.4	0.1	3.0	11.3	64
1000808D1TF	<2.5	338	489	361	110	155	584	2.4	19.8	46	7.2	0.2	1.4	12.2	17

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000808D1TC	2.5-10	22	62	67	9	35	ND	0.3	2.6	3	4.5	0.1	1.9	3.4	19
		中山 空品測站 第五次採樣													
1000917D1TF	<2.5	183	346	1157	169	93	344	3.1	11.4	30	5.0	0.1	1.5	NA	12
1000917D1TC	2.5-10	28	41	207	23	75	ND	0.5	3.4	4	4.5	0.1	2.8	NA	17
1000918D1TF	<2.5	41	70	579	74	86	31	0.9	2.0	4	5.3	0.0	0.9	NA	19
1000918D1TC	2.5-10	139	341	2874	325	205	547	4.1	7.9	26	6.6	0.1	0.6	NA	14
		中山 空品測站 第六次採樣													
1001017D1TF	<2.5	89	149	127	32	342	29	0.8	4.3	5	14.6	0.1	1.6	4.4	47
1001017D1TC	2.5-10	764	783	2644	457	381	1071	6.7	19.7	63	16.2	0.3	1.7	10.8	21
1001018D1TF	<2.5	87	141	565	84	175	85	1.0	3.5	9	6.5	0.0	1.1	3.9	24
1001018D1TC	2.5-10	310	377	3346	438	223	583	4.3	10.8	31	5.9	0.2	0.7	7.3	9

表 7-3 續　(一)新莊、(二)中山、(三)竹東三個測站 Dichot 標本的金屬元素分析結果。

(二) 中山

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
		中山 空品測站 第一次採樣														
1000514D1TF	<2.5	0.48	0.26	0.30	1.66	1.35	0.15	20.75	3.32	1.01	1.50	0.08	0.53	0.95	0.12	0.45
1000514D1TC	2.5-10	0.44	0.09	0.03	0.58	0.77	0.004	1.32	0.47	1.09	0.07	0.09	0.03	0.43	0.03	0.38
1000515D1TF	<2.5	0.42	0.10	0.16	1.88	0.79	0.02	7.48	2.89	1.12	0.23	0.01	0.09	0.18	0.01	0.36
1000515D1TC	2.5-10	0.56	0.03	0.02	0.60	0.91	0.001	0.94	0.26	1.52	0.02	0.09	ND	0.18	0.01	0.42
		中山 空品測站 第二次採樣														
1000613D1TF	<2.5	0.43	0.35	0.13	1.25	1.99	0.02	5.92	2.70	1.90	0.42	0.01	0.18	0.17	0.01	0.18
1000613D1TC	2.5-10	0.50	0.14	0.05	0.84	0.96	0.01	2.97	0.61	2.80	0.06	0.11	0.07	0.41	0.02	0.50
1000614D1TF	<2.5	0.81	0.18	0.36	3.82	1.63	0.06	19.75	5.25	2.72	1.39	0.03	0.40	0.36	0.04	0.52
1000614D1TC	2.5-10	0.76	0.18	0.08	1.66	1.53	0.02	5.42	1.25	4.48	0.14	0.25	0.14	0.76	0.05	0.91
		中山 空品測站 第三次採樣														
1000713D1TF	<2.5	0.90	0.15	0.10	2.20	2.19	0.03	5.19	1.37	4.23	0.16	0.13	0.08	0.72	0.04	0.68
1000713D1TC	2.5-10	0.61	0.49	0.28	2.70	1.90	0.04	9.19	2.13	3.09	0.49	0.02	0.23	0.26	0.02	0.33
1000714D1TF	<2.5	0.49	0.06	0.06	1.36	1.26	0.03	1.95	0.99	1.88	0.08	0.07	0.07	0.52	0.02	0.36
1000714D1TC	2.5-10	0.27	0.13	0.14	2.20	0.76	0.02	3.64	1.57	1.76	0.24	0.01	0.16	0.19	0.01	0.17
		中山 空品測站 第四次採樣														
1000806D1TF	<2.5	0.78	1.06	0.23	2.87	1.87	0.05	10.35	1.92	4.63	0.48	0.23	0.25	1.04	0.07	0.81
1000806D1TC	2.5-10	0.48	1.17	0.69	6.68	1.95	0.12	24.75	3.69	2.24	1.65	0.01	0.75	0.58	0.09	0.31
1000808D1TF	<2.5	0.85	0.14	0.06	1.08	2.13	0.01	4.15	1.08	3.70	0.12	0.14	0.07	0.60	0.03	0.75
1000808D1TC	2.5-10	0.34	0.15	0.14	0.73	0.72	0.01	6.15	2.11	1.20	0.32	0.00	0.22	0.13	0.01	0.12
		中山 空品測站 第五次採樣														

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1000917D1TF	<2.5	0.54	NA	0.07	0.65	1.45	NA	3.49	1.31	2.54	0.21	0.09	0.16	0.29	NA	0.43
1000917D1TC	2.5-10	0.25	NA	0.21	0.37	1.49	NA	7.56	5.61	0.91	0.71	0.01	0.40	0.29	NA	0.20
1000918D1TF	<2.5	0.25	NA	0.22	0.28	0.84	NA	9.68	2.14	0.96	0.80	0.02	0.49	0.44	NA	0.22
1000918D1TC	2.5-10	0.41	NA	0.06	0.39	0.98	NA	2.40	0.73	1.96	0.21	0.12	0.15	0.51	NA	0.38
		中山 空品測站 第六次採樣														
1001017D1TF	<2.5	0.65	0.36	0.49	1.51	0.99	0.28	30.93	3.50	2.14	1.69	0.03	0.84	1.37	0.19	0.65
1001017D1TC	2.5-10	0.79	0.27	0.16	1.62	1.43	0.07	9.20	2.11	4.64	0.65	0.30	0.36	1.38	0.11	0.93
1001018D1TF	<2.5	0.30	0.29	0.21	0.79	0.57	0.12	14.76	3.02	1.23	0.66	0.03	0.40	0.77	0.12	0.24
1001018D1TC	2.5-10	0.45	0.11	0.10	2.13	0.93	0.02	2.96	0.78	2.58	0.14	0.13	0.13	0.52	0.04	0.41

表 7-3 續　(一)新莊、(二)中山、(三)竹東三個測站 Dichot 標本的金屬元素分析結果。

(三) 竹東

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
		竹東 空品測站 第一次採樣													
1000527D1TF	<2.5	34	31	91	13	62	ND	0.6	0.4	2	3.4	0.03	1.2	4.0	11
1000527D1TC	2.5-10	200	128	139	40	82	60	0.7	2.1	26	2.6	0.04	0.3	2.0	4
1000528D1TF	<2.5	226	113	194	45	146	135	1.2	2.0	7	7.0	0.1	2.6	6.1	32
1000528D1TC	2.5-10	376	284	595	172	129	906	3.0	5.3	26	5.5	0.1	1.0	4.1	12
		竹東 空品測站 第二次採樣													
1000624D1TF	<2.5	167	98	272	69	124	80	1.3	1.5	8	3.1	0.1	0.9	2.7	32
1000624D1TC	2.5-10	362	196	410	161	81	446	2.4	2.6	19	4.5	0.1	0.7	1.7	10
1000625D1TF	<2.5	311	145	386	81	105	90	0.9	2.7	9	3.7	0.1	0.9	2.4	10
1000625D1TC	2.5-10	55	31	144	18	37	ND	0.2	0.6	1	2.4	0.03	0.8	1.9	17
		竹東 空品測站 第三次採樣													
1000725D1TF	<2.5	375	186	183	86	166	434	1.8	4.1	19	3.9	0.1	0.8	2.9	9
1000725D1TC	2.5-10	249	71	123	29	129	71	0.5	1.2	6	3.6	0.1	3.0	3.8	21
1000726D1TF	<2.5	92	49	77	18	114	69	0.3	1.3	5	2.8	0.1	2.3	2.4	16
1000726D1TC	2.5-10	356	229	140	84	125	633	1.8	4.0	25	4.2	0.1	1.2	2.2	8
		竹東 空品測站 第四次採樣													
1000927D1TF	<2.5	184	112	284	39	127	63	0.6	2.2	6.3	7.1	0.1	2.8	3.6	24
1000927D1TC	2.5-10	518	407	718	151	182	440	2.8	8.4	38.8	7.5	0.2	1.2	3.2	11
1000928D1TF	<2.5	72	131	423	51	264	51	0.8	2.9	7.6	11.1	0.3	4.4	7.5	39

Sample ID	Cutoff size (μm)	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn
1000928D1TC	2.5-10	527	452	934	176	196	485	3.4	10.0	40.8	8.5	0.5	1.6	4.8	17
		竹東 空品測站 第五次採樣													
1001024D1TF	<2.5	31	49	170	16	28	32	0.3	0.3	2.6	0.8	0.02	0.3	0.5	1.8
1001024D1TC	2.5-10	20	10	63	10	13	13	0.1	0.3	1.8	0.3	0.01	0.3	0.1	0.6
1001025D1TF	<2.5	30	31	175	22	41	58	0.3	0.7	2.8	1.5	0.03	0.6	0.8	2.5
1001025D1TC	2.5-10	26	19	84	13	10	40	0.2	0.3	2.1	0.4	0.01	0.0	0.3	0.4
		竹東 空品測站 第六次採樣													
1001028D1TF	<2.5	58	55	135	16	62	65	0.3	0.7	4.8	2.0	0.05	0.9	1.9	3.8
1001028D1TC	2.5-10	100	64	170	34	30	171	0.5	1.2	6.3	1.2	0.02	0.2	1.0	1.1
1001029D1TF	<2.5	70	63	128	25	78	59	0.4	1.0	5.3	3.6	0.05	1.9	2.1	8.6
1001029D1TC	2.5-10	137	41	98	18	21	67	0.3	0.6	4.4	0.8	0.07	0.1	0.7	0.7

表 7-3 續 (一)新莊、(二)中山、(三)竹東三個測站 Dichot 標本的金屬元素分析結果。

(三) 竹東

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
		竹東 空品測站 第一次採樣														
1000527D1TF	<2.5	0.25	0.13	0.12	0.76	0.34	0.04	5.80	1.81	1.14	0.71	0.01	0.14	0.20	0.02	0.12
1000527D1TC	2.5-10	0.12	0.02	0.01	0.18	0.16	0.002	0.76	0.28	1.35	0.09	0.05	ND	0.26	0.01	0.11
1000528D1TF	<2.5	0.51	0.16	0.78	1.08	0.92	0.14	15.74	3.38	2.10	0.78	0.03	0.32	0.55	0.06	0.27
1000528D1TC	2.5-10	0.29	0.04	0.07	0.48	0.38	0.15	1.89	0.69	2.27	0.11	0.12	0.001	0.75	0.06	0.27
		竹東 空品測站 第二次採樣														
1000624D1TF	<2.5	0.15	0.11	0.13	1.15	0.47	0.02	7.86	1.82	0.79	0.29	0.03	0.18	0.50	0.04	0.11
1000624D1TC	2.5-10	0.10	0.03	0.03	0.24	0.13	0.01	1.58	0.59	1.05	0.06	0.10	0.07	0.46	0.03	0.17
1000625D1TF	<2.5	0.08	0.05	0.06	0.67	0.23	0.01	3.40	0.34	2.11	0.09	0.04	0.07	0.30	0.02	0.14
1000625D1TC	2.5-10	0.10	0.14	0.14	1.07	0.44	0.03	10.53	0.70	1.34	0.29	0.003	0.07	0.21	0.03	0.07
		竹東 空品測站 第三次採樣														
1000725D1TF	<2.5	0.25	0.21	0.04	0.93	0.27	0.05	1.86	1.08	1.85	0.11	0.10	0.07	0.56	0.03	0.20
1000725D1TC	2.5-10	0.46	0.32	0.21	5.36	0.78	0.04	4.88	4.03	1.98	0.62	0.02	0.26	0.29	0.02	0.13
1000726D1TF	<2.5	0.31	0.13	0.38	10.70	0.99	0.19	30.34	3.61	1.38	0.37	0.05	0.17	0.47	0.09	0.10
1000726D1TC	2.5-10	0.18	0.07	0.04	0.66	0.48	0.39	6.92	0.54	3.50	0.06	0.10	0.06	0.90	0.12	0.20
		竹東 空品測站 第四次採樣														
1000927D1TF	<2.5	0.608	ND	0.61	16.05	1.58	0.05	8.85	1.62	2.70	0.45	0.02	0.26	0.44	0.02	0.16
1000927D1TC	2.5-10	0.060	ND	0.06	1.19	0.37	0.10	3.81	0.92	2.91	0.11	0.17	0.05	1.27	0.04	0.38
1000928D1TF	<2.5	0.690	ND	0.69	6.59	1.61	0.08	16.49	5.18	3.28	1.20	0.04	0.66	0.85	0.03	0.25
1000928D1TC	2.5-10	0.058	ND	0.06	0.89	0.51	0.09	4.69	1.72	3.56	0.15	0.20	0.10	1.29	0.05	0.43
		竹東 空品測站 第五次採樣														

Sample ID	Cutoff size (μm)	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
1001024D1TF	<2.5	0.046	0.038	0.032	0.89	0.08	0.01	1.00	1.23	0.81	0.08	0.01	0.09	0.10	0.01	0.03
1001024D1TC	2.5-10	0.030	0.013	0.001	ND	0.01	0.00	0.17	0.04	0.42	0.01	0.01	0.03	0.04	0.00	0.01
1001025D1TF	<2.5	0.084	0.045	0.039	0.25	0.12	0.01	1.18	1.21	0.49	0.25	0.01	0.08	0.13	0.01	0.04
1001025D1TC	2.5-10	0.008	0.007	0.000	0.02	0.01	0.00	0.11	0.03	0.16	0.01	0.01	0.03	0.04	0.00	0.01
		竹東 空品測站 第六次採樣														
1001028D1TF	<2.5	0.181	0.100	0.069	0.35	0.53	0.01	2.43	1.97	0.78	0.22	0.01	0.16	0.17	0.01	0.05
1001028D1TC	2.5-10	0.026	0.010	0.007	0.10	0.08	0.00	0.51	0.18	0.44	0.03	0.03	0.04	0.13	0.01	0.06
1001029D1TF	<2.5	0.237	0.080	0.155	0.63	0.43	0.05	5.90	5.72	0.68	0.75	0.02	0.24	0.31	0.04	0.11
1001029D1TC	2.5-10	0.009	0.007	0.000	0.02	0.02	0.00	0.12	0.19	0.54	0.02	0.02	0.02	0.09	0.01	0.04

表 7.4　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之地殼富集值。

(一)新莊

EF_{crust}		Fe	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Y	Rb	Cs	Ga
1000503	PM2.5-10	0.8	1.0	1.4	0.7	0.8	1.8	0.9	1.1	0.9	0.8	1.3	3.1	3.2
	PM1-2.5	0.9	0.8	1.2	0.4	0.7	1.6	0.9	1.0	0.8	0.7	1.4	3.0	3.0
	PM1	0.8	0.5	2.0	0.0	0.4	0.8	0.7	3.0	0.9	0.4	1.5	4.7	2.9
1000504	PM2.5-10	1.3	1.0	1.7	1.4	1.1	8.1	1.4	1.5	3.0	0.7	1.0	1.8	9.1
	PM1-2.5	1.6	0.8	1.9	NA	0.9	10.0	1.3	3.2	2.2	0.6	1.4	2.7	11.9
	PM1	2.3	0.2	4.8	NA	0.1	5.8	1.2	21.7	7.4	0.1	3.1	6.9	20.5
1000508	PM2.5-10	1.0	0.9	1.4	1.1	1.4	4.5	0.9	1.0	1.6	0.8	1.1	2.3	6.1
	PM1-2.5	2.2	0.7	1.9	0.4	1.5	5.6	1.0	1.8	2.3	0.7	1.3	3.8	8.1
	PM1	1.9	0.6	11.6	0.5	2.5	10.6	1.4	11.0	17.0	0.7	6.7	28.4	28.4
1000509	PM2.5-10	1.0	0.8	0.8	1.1	1.4	5.6	1.1	1.0	2.3	0.8	1.0	2.3	7.3
	PM1-2.5	0.9	0.6	1.0	0.6	1.2	4.3	1.0	1.3	2.1	0.6	0.9	2.7	6.7
	PM1	1.9	0.5	5.6	0.7	1.3	5.2	1.0	10.9	16.4	0.5	5.1	16.8	26.1
1000607	PM2.5-10	0.9	1.1	1.1	1.2	1.4	4.0	1.0	1.1	3.3	0.7	1.1	2.1	5.4
	PM1-2.5	0.9	0.8	1.0	1.0	1.2	3.8	0.9	1.3	2.9	0.6	0.9	1.9	5.4
	PM1	3.8	0.6	7.6	1.0	1.5	5.5	1.2	14.3	26.9	0.5	4.5	21.1	27.5
1000608	PM2.5-10	1.2	1.3	1.2	1.4	1.5	6.2	1.3	1.5	2.4	0.7	1.0	2.2	7.3
	PM1-2.5	1.1	1.0	1.2	1.0	1.4	6.6	1.2	1.6	2.4	0.6	1.0	2.0	8.5
	PM1	4.2	0.6	9.7	1.7	1.6	6.9	1.8	17.6	20.8	0.4	6.9	31.4	30.3
1000707	PM2.5-10	1.0	0.9	1.0	1.1	1.5	4.1	1.3	1.1	2.9	0.9	1.1	2.0	5.4
	PM1-2.5	0.9	0.6	0.9	0.7	1.2	4.2	1.1	1.1	2.5	0.7	0.9	1.7	5.8
	PM1	1.8	0.8	7.6	1.0	1.2	5.3	1.5	13.6	17.3	1.0	4.6	16.1	22.3
1000708	PM2.5-10	1.1	1.1	1.3	0.8	1.4	2.8	0.9	1.1	1.9	0.7	1.2	2.1	4.4
	PM1-2.5	0.8	0.9	1.2	0.5	1.2	3.2	0.8	1.3	1.9	0.7	0.9	1.9	5.1
	PM1	1.3	0.8	19.5	0.7	1.2	5.4	1.5	12.7	9.2	1.3	7.3	15.0	24.3
1000731	PM2.5-10	1.9	1.8	1.6	2.0	1.8	5.7	1.1	1.8	5.6	1.0	1.3	3.0	6.2
	PM1-2.5	2.2	1.9	1.9	1.7	2.0	10.4	1.3	2.6	4.8	0.8	1.3	4.8	11.7

EF_{crust}		Fe	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Y	Rb	Cs	Ga
	PM1	1.0	0.3	2.4	3.5	4.2	3.1	1.0	2.7	5.6	0.4	1.6	8.8	7.9
1000801	PM2.5-10	1.4	1.4	1.3	2.2	1.9	5.0	1.3	1.4	3.8	1.0	1.2	2.8	5.3
	PM1-2.5	1.8	1.6	1.3	1.6	2.1	6.8	1.8	1.9	4.2	0.9	1.2	2.8	7.3
	PM1	2.4	0.4	5.0	1.3	2.3	5.1	1.9	9.8	17.3	0.8	3.4	22.5	18.8
1000905	PM2.5-10	1.6	2.2	1.9	2.7	2.0	6.2	1.3	1.7	2.4	1.3	1.6	3.5	7.0
	PM1-2.5	1.6	1.8	1.7	1.8	1.7	7.0	1.4	2.6	2.7	0.9	2.0	6.8	9.5
	PM1	2.2	1.3	7.8	3.7	1.8	8.9	1.6	12.0	6.9	0.7	11.4	66.2	24.1
1000906	PM2.5-10	1.8	1.6	1.4	2.4	1.7	4.5	1.1	1.8	2.4	0.8	1.5	3.6	5.6
	PM1-2.5	1.6	1.8	1.9	1.4	1.6	5.8	1.3	3.5	2.6	0.9	2.3	9.1	8.3
	PM1	4.0	1.6	16.7	1.2	2.5	11.3	1.9	26.6	13.5	0.9	24.6	145.4	52.6
1001005	PM2.5-10	1.8	4.6	3.2	3.4	3.1	10.3	1.7	1.8	2.1	1.0	1.7	3.5	11.2
	PM1-2.5	2.3	3.4	3.3	1.9	3.1	13.3	1.8	4.7	1.6	0.9	2.7	9.7	15.7
	PM1	2.7	1.2	9.0	1.6	3.0	28.0	3.7	23.6	7.8	0.4	10.2	56.7	60.5
1001006	PM2.5-10	2.2	5.5	3.4	4.3	3.5	9.0	2.5	2.2	2.7	1.1	2.1	4.9	10.0
	PM1-2.5	1.6	2.5	2.2	2.1	2.8	8.0	1.6	3.5	1.2	0.7	2.1	7.8	9.9
	PM1	4.4	1.9	14.1	0.9	3.3	11.2	2.9	35.5	6.0	0.5	17.9	106.4	32.8

表 7-4 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之地殼富集值。

(一)新莊

EF_{crust}		Ni	V	Cr	As	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	Se
1000503	PM2.5-10	0.8	0.9	1.2	9	5	6	9	79	18	46	NA	1.3	10	75
	PM1-2.5	0.6	1.1	0.7	9	3	8	11	135	16	14	NA	0.8	11	201
	PM1	5.7	5.8	0.6	13	17	67	26	2354	175	139	NA	9.1	109	316
1000504	PM2.5-10	8.2	1.9	11.7	NA	35	39	128	1013	46	82	345	NA	73	237
	PM1-2.5	8.8	7.2	0.6	18	47	155	127	1129	296	287	NA	NA	141	1230
	PM1	102.0	57.9	7.9	111	105	500	234	14636	1814	1598	262	15.2	838	4533
1000508	PM2.5-10	5.9	1.6	5.5	15	15	43	59	679	70	80	1052	18.3	59	294
	PM1-2.5	7.7	4.4	9.6	56	24	148	110	556	420	352	2295	34.6	199	1836
	PM1	81.2	66.8	12.9	745	77	751	587	4756	5391	2761	30138	358.8	1477	18745
1000509	PM2.5-10	9.2	2.0	13.0	16	17	56	47	212	59	85	691	14.6	131	228
	PM1-2.5	9.3	2.6	10.1	36	19	125	58	371	236	291	843	21.8	222	638
	PM1	88.8	43.6	28.0	626	115	813	309	3709	3362	2903	32989	226.2	1522	10461
1000607	PM2.5-10	16.8	3.1	13.3	5	20	65	56	NA	29	37	768	2.8	706	129
	PM1-2.5	20.0	3.4	13.7	6	27	154	48	NA	126	152	702	0.8	1016	170
	PM1	201.2	68.9	46.4	495	245	712	498	NA	3496	2845	23533	151.7	2162	11676
1000608	PM2.5-10	10.5	2.7	12.4	4	27	83	98	423	68	141	709	2.5	90	261
	PM1-2.5	15.1	3.8	12.2	7	38	209	120	2976	297	431	996	2.4	193	717
	PM1	174.0	76.6	49.2	525	357	1152	679	6524	6189	7124	19764	162.3	1906	16413
1000707	PM2.5-10	10.7	2.0	13.9	2	16	39	70	74	42	72	566	2.1	146	117
	PM1-2.5	11.1	2.4	9.5	3	18	63	62	NA	99	145	567	2.3	201	701
	PM1	123.5	51.3	33.4	454	234	515	366	1029	2940	1653	13462	156.4	1168	11265
1000708	PM2.5-10	7.1	2.0	9.5	5	24	69	29	424	57	65	292	3.1	56	486
	PM1-2.5	5.6	2.3	4.0	4	21	157	19	NA	252	235	240	4.0	129	1536
	PM1	94.5	78.9	20.8	899	334	860	324	1425	5050	4094	8941	216.8	1669	33613
1000731	PM2.5-10	27.3	6.3	9.6	19	770	95	56	1256	205	496	2737	62	109	918
	PM1-2.5	23.0	6.9	12.2	43	925	210	83	2355	608	1199	2690	105	321	1099

EF_{crust}		Ni	V	Cr	As	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	Se
	PM1	28.0	26.1	10.4	152	579	177	93	3433	1221	1578	3100	120	702	3230
1000801	PM2.5-10	19.0	2.7	9.6	10	124	50	66	743	69	166	1005	47	143	621
	PM1-2.5	19.2	4.7	11.9	19	323	139	85	1928	243	532	1541	71	253	1164
	PM1	140.4	70.6	22.2	325	759	572	336	13713	2336	3140	9318	167	1136	9604
1000905	PM2.5-10	4.1	2.1	7.9	27	47	51	49	903	162	490	741	6	73	871
	PM1-2.5	6.2	2.9	8.6	107	7	151	75	1188	339	557	1298	18	187	2225
	PM1	47.5	44.8	27.5	746	11	554	263	10010	1830	2265	7133	256	1543	12414
1000906	PM2.5-10	3.6	2.1	6.3	24	NA	46	43	445	55	77	511	6	86	655
	PM1-2.5	6.2	2.8	10.9	99	NA	251	97	1780	460	250	1185	31	328	1989
	PM1	68.1	52.4	47.1	1608	NA	1238	700	12886	4528	3753	12251	723	4415	27100
1001005	PM2.5-10	6.7	2.9	11.4	45	49	89	124	763	107	176	1485	9	105	701
	PM1-2.5	13.1	9.6	22.7	311	69	356	196	3148	523	354	2686	38	473	3587
	PM1	133.2	222.3	29.7	1457	108	759	920	9685	2723	2149	7193	441	2371	23744
1001006	PM2.5-10	7.6	3.2	12.7	60	47	72	138	1375	131	179	1497	11	146	576
	PM1-2.5	18.5	5.7	15.6	192	38	162	154	940	348	244	1546	34	304	2409
	PM1	165.5	195.6	38.2	1463	113	798	590	28440	2925	2363	6446	586	2587	24031

表 7-4 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之地殼富集值。

(二)中山

EF crust		Fe	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Y	Rb	Cs	Ga
1000917	PM2.5-10	1.8	3.9	2.0	3.3	2.6	11.8	2.4	1.6	2.4	NA	1.2	NA	11.1
	PM1-2.5	2.0	2.7	2.0	3.2	2.5	14.7	1.6	3.0	2.3	NA	1.5	NA	16.0
	PM1	1.2	0.8	7.3	1.7	2.7	10.1	1.4	5.8	6.9	NA	4.2	NA	17.8
1000918	PM2.5-10	1.4	4.6	2.3	3.0	2.9	6.2	1.1	1.5	1.5	NA	1.5	NA	7.1
	PM1-2.5	1.7	5.4	2.8	2.4	3.2	9.1	1.3	3.2	1.6	NA	2.0	NA	11.8
	PM1	1.6	2.0	13.7	2.5	4.8	13.1	1.5	10.1	3.2	NA	10.3	NA	32.3
1001017	PM2.5-10	1.5	2.5	2.0	3.4	2.3	5.2	1.1	1.8	1.5	1	1.5	3.6	6.1
	PM1-2.5	2.0	1.6	2.6	2.5	2.6	6.7	1.4	4.3	2.6	1	2.5	8.7	9.5
	PM1	2.1	0.9	13.2	1.3	1.9	7.3	1.1	9.9	3.3	1	11.7	48.5	29.3
1001018	PM2.5-10	1.9	6.1	3.1	4.2	3.5	7.8	1.4	1.8	1.4	1	1.5	3.5	7.6
	PM1-2.5	2.5	4.5	3.1	3.1	3.0	12.5	1.5	3.6	1.5	1	2.3	8.2	11.8
	PM1	2.3	1.2	8.4	1.5	1.8	9.5	1.3	6.2	4.8	0	7.9	36.5	11.4

表 7-4 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之地殼富集值。

(二)中山

EF crust		Ni	V	Cr	As	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	Se
1000917	PM2.5-10	6.2	3	10	25	NA	42	139	NA	160	370	2137	NA	72	1933
	PM1-2.5	8.3	4	13	132	NA	121	171	NA	540	566	5052	NA	225	2088
	PM1	57.8	58	15	417	NA	362	195	NA	1529	1474	8464	NA	779	6886
1000918	PM2.5-10	3.3	1	5	20	NA	37	55	NA	72	98	1082	NA	50	441
	PM1-2.5	7.2	3	7	122	NA	164	99	NA	406	129	2414	NA	216	3128
	PM1	37.4	40	17	847	NA	430	258	NA	2544	1719	7272	NA	2107	12177
1001017	PM2.5-10	2.6	2	6	25	22	27	61	427	57	78	755	10	51	672
	PM1-2.5	4.0	5	14	88	33	162	132	986	350	175	1442	47	245	3085
	PM1	15.4	22	16	702	59	414	267	8333	1650	851	3453	469	1808	16109
1001018	PM2.5-10	2.1	1	7	19	39	36	88	536	69	136	1293	8	50	935
	PM1-2.5	3.4	2	11	66	81	222	162	1129	353	289	2223	41	237	3341
	PM1	34.4	26	24	333	94	386	236	5823	900	730	2055	231	918	11278

表 7-5　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之海水富集值。

(一)新莊

EF_{sea}		Mg	K	Ca	Sr	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag
1000503	PM2.5-10	5	21	22	11	5298804	38374	280403	4065184	378	586677
	PM1-2.5	8	35	21	17	8745794	49650	394091	11806960	853	1905930
	PM1	5	63	2	11	11115907	563032	2308611	104823199	2265	37529034
1000504	PM2.5-10	4	18	29	11	13003349	269411	1570039	20521918	3738	5390116
	PM1-2.5	4	29	NA	13	13972241	412115	2971565	116693786	5327	8628663
	PM1	1	34	NA	1	21488573	2229187	3114684	174906333	4546	52004709
1000508	PM2.5-10	3	13	20	12	5901465	166412	585468	19790802	1501	3138994
	PM1-2.5	2	17	7	12	8267455	207543	862790	64036724	2643	2435657
	PM1	1	52	4	10	31115600	1121561	1435450	165979874	7213	10673102
1000509	PM2.5-10	3	8	25	14	10574878	313216	803335	30855267	1430	1175729
	PM1-2.5	2	12	14	12	9676179	328142	893442	70342421	1803	2116104
	PM1	1	20	5	4	23891322	974955	1714979	142904200	3017	6617982
1000607	PM2.5-10	2	6	13	7	7355319	282132	460200	17566548	833	NA
	PM1-2.5	2	8	15	8	8652388	449766	818390	55649177	971	NA
	PM1	1	40	10	7	57065382	3215165	5307051	182325452	7084	NA
1000608	PM2.5-10	2	6	14	7	4872203	162029	565405	20542080	1350	1066566
	PM1-2.5	2	7	11	7	5848792	272568	923193	60472516	1923	8729437
	PM1	1	27	9	4	23328223	1471168	4088220	156097629	5108	8967674
1000707	PM2.5-10	3	11	22	14	12422992	342607	706417	19756810	1973	380877
	PM1-2.5	3	14	20	16	15936060	520908	1152467	47319026	2614	NA
	PM1	2	54	13	8	49623033	2660995	6820683	177548164	7016	3603158
1000708	PM2.5-10	1	5	6	5	3135320	86541	392804	13502929	314	838539
	PM1-2.5	2	7	7	7	5033967	108604	542593	49005109	330	NA
	PM1	1	83	6	5	15796628	1221456	5845161	177961247	3722	2993001
1000731	PM2.5-10	2	4	10	4	5714051	210324	8025252	11753893	385	1570058
	PM1-2.5	1	4	7	4	4196504	151806	8270786	22242365	489	2527381

EF_{sea}		Mg	K	Ca	Sr	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag
	PM1	1	26	75	42	25311901	946551	26508556	95539503	2797	18840600
1000801	PM2.5-10	2	5	18	7	6410315	238731	2107848	10130178	733	1514520
	PM1-2.5	2	5	11	7	5944772	204745	4670699	23798507	805	3348868
	PM1	1	33	17	14	46359946	2839383	20809561	185315562	6052	45077792
1000905	PM2.5-10	1	4	10	4	1899333	24475	384452	4881493	263	882154
	PM1-2.5	2	7	14	6	4247511	73073	113673	28717019	793	2285513
	PM1	2	35	32	7	12519923	646327	208653	120786865	3181	22134238
1000906	PM2.5-10	2	5	17	6	3647865	40786	NA	8205791	433	811439
	PM1-2.5	4	13	18	10	7310873	130372	NA	84091294	1807	6062560
	PM1	2	61	8	8	20031748	763752	NA	222178521	6981	23476728
1001005	PM2.5-10	1	2	4	2	547286	13085	127782	2752558	213	240587
	PM1-2.5	1	3	4	3	689475	42193	303123	18444520	562	1653074
	PM1	1	32	11	10	11033917	1422910	1557649	129807082	8750	16815875
1001006	PM2.5-10	1	2	4	2	603119	12642	105338	1909694	203	369549
	PM1-2.5	1	3	6	4	688384	80405	221553	11263743	598	664385
	PM1	2	33	4	7	5629675	1162332	1077250	89803147	3688	32469685

表 7-5 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之海水富集值。

(一)新莊

EF_{sea}		Cd	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Se	Cs
1000503	PM2.5-10	13148	NA	13283	16595910	23417	170619	2676	8036	9053
	PM1-2.5	22100	NA	15185	35471914	52899	181211	5221	40789	16767
	PM1	273181	NA	204915	403477915	313579	182528	8154	72334	29302
1000504	PM2.5-10	24128	96955	NA	89725682	34324	1150366	NA	18111	3705
	PM1-2.5	221187	NA	NA	251282566	188112	84340	5472	134918	8297
	PM1	631225	49137	76123	691943334	700442	522491	15890	231146	9671
1000508	PM2.5-10	31599	256430	119607	63124846	25316	474151	2810	19503	4221
	PM1-2.5	180429	530305	214372	202465129	65201	775994	9801	115463	6594
	PM1	1184586	3566468	1138385	770468672	509807	534954	67254	603612	25154
1000509	PM2.5-10	32265	202317	114972	169494956	38432	1337745	3586	18140	4959
	PM1-2.5	131958	253644	176161	294035705	51115	1069739	8285	52271	6056
	PM1	587302	3103904	570461	630916416	264427	926501	44910	267833	11847
1000607	PM2.5-10	7709	110612	10650	448060676	28456	671104	509	5060	2214
	PM1-2.5	45069	135687	3895	865117872	42945	926886	887	8933	2728
	PM1	889110	3223305	556883	1305209723	608621	2232338	51723	435169	21631
1000608	PM2.5-10	16659	94120	9071	52567076	22717	576531	432	9446	2147
	PM1-2.5	85270	154024	9777	131391605	37750	663873	802	30187	2319
	PM1	833039	1432717	315405	608840230	358340	1252551	29030	323748	17050
1000707	PM2.5-10	21357	154701	15374	175716123	35183	1331443	322	8685	4084
	PM1-2.5	73927	229079	24651	357657550	63230	1346799	1043	76984	5206
	PM1	1008015	2485378	774068	950650313	610891	2168677	63912	565891	22286
1000708	PM2.5-10	11059	30487	8666	25743710	13593	347130	433	13801	1637
	PM1-2.5	78416	40206	17851	94932886	25030	235657	514	69914	2364
	PM1	1038658	990358	643878	814879244	564162	808589	75955	1013096	12444
1000731	PM2.5-10	25123	180452	108733	31583259	26976	222209	961	16469	1467
	PM1-2.5	63925	152231	159177	80161891	25047	241907	1864	16931	2036

EF_{sea}		Cd	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Se	Cs
	PM1	656077	897128	931023	895817371	487536	1060961	33501	254363	19100
1000801	PM2.5-10	13761	108081	136464	67752681	18980	363875	860	18174	2275
	PM1-2.5	41332	141168	173390	102305492	27943	383702	1329	29028	1932
	PM1	752037	1615455	775704	867544685	790189	1352259	42939	453069	29192
1000905	PM2.5-10	15461	38174	8417	16496792	7021	143534	1064	12214	1358
	PM1-2.5	63786	131666	49585	83632917	19266	307961	8321	61431	5141
	PM1	396316	831823	800482	792942067	337002	1125089	66349	393911	57827
1000906	PM2.5-10	9810	49103	16215	36252275	13312	211843	1745	17151	2603
	PM1-2.5	153520	212875	151327	259892672	32593	690230	13607	97218	12263
	PM1	807813	1177005	1862943	1869420277	324704	1589029	117907	708467	104704
1001005	PM2.5-10	3313	24671	3992	7683928	3071	66475	574	3168	436
	PM1-2.5	26893	74389	28241	57765479	17066	221191	6578	27026	2020
	PM1	463041	658667	1081388	956708943	1313255	954419	101770	591590	38890
1001006	PM2.5-10	3449	21216	4062	9143058	2964	63195	645	2220	520
	PM1-2.5	24130	57649	34296	50037591	13605	204051	5470	24442	2186
	PM1	327032	388104	945232	686554818	760067	807552	67193	393706	47996

表 7-5 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之海水富集值。

(二)中山

EF sea		Mg	K	Ca	Sr	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag
1000917M3T2	PM2.5-10	1.3	1.9	6.0	2	900531	17795	NA	135667	356	NA
	PM1-2.5	1.4	2.9	8.9	3	1386050	36922	NA	599457	676	NA
	PM1	1.3	34.9	15.4	12	13378480	839859	NA	5869642	2523	NA
1000918M3T2	PM2.5-10	1.3	1.9	4.7	2	483772	8132	NA	100327	119	NA
	PM1-2.5	1.3	2.0	3.3	2	472918	15709	NA	401185	191	NA
	PM1	1.5	30.9	10.6	10	2895342	257485	NA	3303522	1580	NA
1001017M3T2	PM2.5-10	1.3	3.2	10.3	3	945513	12775	143853	144300	264	335650
	PM1-2.5	1.9	9.4	16.7	8	3689485	43410	490192	1961894	1275	1734872
	PM1	2.1	86.9	16.3	12	8694133	308835	1604258	9300945	4771	27227108
1001018M3T2	PM2.5-10	1.2	1.7	4.4	2	303433	3447	87131	66188	130	145000
	PM1-2.5	1.3	2.6	4.9	2	496239	8550	274469	623757	361	460752
	PM1	2.0	39.5	13.3	8	9182688	494905	1838457	6201471	3016	13616644

表 7-5 續　(一)新莊、(二)中山測站 MOUDI 標本各金屬元素之海水富集值。

(二)中山

EF sea		Cd	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Se	Cs
1000917M3T2	PM2.5-10	7344	52804	NA	7876690	4974	89685	475	12991	NA
	PM1-2.5	38201	192575	NA	37815897	10495	176038	3826	21662	NA
	PM1	353403	1053757	NA	427383497	462814	635304	39621	233270	NA
1000918M3T2	PM2.5-10	2799	22806	NA	4627012	1593	34321	324	2527	NA
	PM1-2.5	14113	45179	NA	17774008	3132	47552	1738	15931	NA
	PM1	278620	428877	NA	547663001	153690	342205	38136	195393	NA
1001017M3T2	PM2.5-10	4414	31300	11253	9347953	4759	86861	782	7584	1110
	PM1-2.5	60285	133828	115786	100334779	29112	471379	6201	77883	6077
	PM1	527846	595043	2164059	1372940838	239153	993931	92272	755257	62671
1001018M3T2	PM2.5-10	1832	18454	3124	3168482	1261	35190	204	3630	379
	PM1-2.5	14094	47832	23764	22504985	3285	81946	1084	19563	1317
	PM1	206194	253389	762378	498964288	204252	1049927	31347	378466	33762

表 7-6　Dichot-$PM_{2.5}$ 樣本元素之相關矩陣：(一)新莊(n=14)、(二)中山(n=12)、(三)竹東(n=12)。

(一)新莊站

	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
Al	**1.00**																												
Fe	**0.94**	**1.00**																											
Na	**0.71**	**0.86**	**1.00**																										
Mg	**0.85**	**0.95**	**0.96**	**1.00**																									
K	**0.79**	**0.84**	**0.74**	**0.80**	**1.00**																								
Ca	**0.81**	**0.93**	**0.96**	**0.98**	**0.77**	**1.00**																							
Sr	**0.88**	**0.98**	**0.93**	**0.97**	**0.84**	**0.96**	**1.00**																						
Ba	**0.80**	**0.93**	**0.96**	**0.97**	**0.80**	**0.97**	**0.98**	**1.00**																					
Ti	**0.96**	**0.99**	**0.85**	**0.96**	**0.82**	**0.92**	**0.96**	**0.92**	**1.00**																				
Mn	0.53	0.56	0.36	0.41	**0.67**	0.39	0.53	0.48	0.52	**1.00**																			
Co	0.38	0.35	0.21	0.21	0.49	0.23	0.39	0.34	0.31	**0.77**	**1.00**																		
Ni	(0.18)	(0.28)	(0.34)	(0.38)	0.05	(0.33)	(0.24)	(0.28)	(0.29)	0.42	**0.70**	**1.00**																	
Cu	(0.01)	(0.04)	(0.10)	(0.13)	0.42	(0.10)	(0.01)	(0.04)	(0.07)	0.52	0.63	**0.84**	**1.00**																
Zn	0.00	0.00	(0.06)	(0.12)	0.31	(0.12)	0.07	0.03	(0.04)	0.64	**0.84**	**0.75**	**0.77**	**1.00**															
Mo	0.30	0.33	0.17	0.17	0.55	0.19	0.34	0.31	0.27	**0.86**	**0.87**	**0.69**	**0.78**	**0.87**	**1.00**														
Ag	(0.33)	(0.36)	(0.36)	(0.33)	(0.45)	(0.32)	(0.35)	(0.33)	(0.31)	(0.61)	(0.34)	(0.17)	(0.22)	(0.23)	(0.43)	**1.00**													
Cd	(0.19)	(0.22)	(0.27)	(0.33)	0.17	(0.34)	(0.16)	(0.18)	(0.26)	0.44	**0.69**	**0.77**	**0.82**	**0.93**	**0.77**	(0.11)	**1.00**												
Sn	(0.21)	(0.24)	(0.27)	(0.34)	0.14	(0.34)	(0.18)	(0.20)	(0.26)	0.41	**0.67**	**0.78**	**0.81**	**0.94**	**0.72**	0.01	**0.96**	**1.00**											
Sb	(0.05)	(0.08)	(0.14)	(0.20)	0.13	(0.21)	(0.01)	(0.05)	(0.11)	0.56	**0.84**	**0.72**	0.60	**0.93**	**0.73**	(0.16)	**0.86**	**0.87**	**1.00**										
Tl	(0.16)	(0.15)	(0.18)	(0.25)	0.22	(0.26)	(0.07)	(0.12)	(0.21)	0.49	**0.71**	**0.67**	**0.68**	**0.89**	**0.70**	(0.25)	**0.90**	**0.84**	**0.86**	**1.00**									
Pb	(0.04)	(0.07)	(0.09)	(0.17)	0.25	(0.13)	0.01	(0.04)	(0.12)	0.55	**0.81**	**0.78**	**0.68**	**0.88**	**0.72**	(0.29)	**0.78**	**0.79**	**0.84**	**0.87**	**1.00**								

	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
V	(0.54)	(0.53)	(0.49)	(0.59)	(0.12)	(0.59)	(0.48)	(0.49)	(0.59)	0.24	0.37	**0.67**	0.62	**0.68**	0.46	(0.14)	**0.78**	**0.74**	0.64	**0.86**	**0.74**	**1.00**							
Cr	**0.65**	0.63	0.51	0.54	**0.69**	0.58	0.64	0.59	0.63	**0.74**	**0.74**	0.45	0.50	0.47	**0.71**	(0.30)	0.24	0.30	0.35	0.21	0.48	(0.05)	**1.00**						
As	(0.22)	(0.16)	(0.11)	(0.21)	0.28	(0.23)	(0.10)	(0.12)	(0.23)	0.48	0.45	0.51	0.64	**0.69**	0.56	(0.42)	**0.73**	0.65	0.61	**0.87**	**0.73**	**0.88**	0.08	**1.00**					
Y	**0.92**	**0.99**	**0.89**	**0.97**	**0.85**	**0.96**	**0.98**	**0.95**	**0.99**	0.51	0.31	(0.29)	(0.03)	(0.03)	0.28	(0.33)	(0.25)	(0.27)	(0.12)	(0.18)	(0.08)	(0.55)	0.63	(0.17)	**1.00**				
Se	(0.18)	(0.17)	(0.16)	(0.22)	0.35	(0.22)	(0.12)	(0.14)	(0.23)	0.31	0.44	0.61	**0.85**	**0.69**	0.59	(0.27)	**0.82**	**0.73**	0.52	**0.79**	0.65	**0.75**	0.12	**0.83**	(0.17)	**1.00**			
Rb	**0.81**	**0.86**	**0.71**	**0.79**	**0.84**	**0.72**	**0.83**	**0.76**	**0.83**	**0.69**	0.40	(0.20)	0.05	0.18	0.40	(0.49)	(0.03)	(0.06)	0.09	0.16	0.14	(0.16)	0.56	0.21	**0.83**	0.05	**1.00**		
Cs	**0.77**	**0.83**	**0.69**	**0.73**	**0.81**	**0.71**	**0.84**	**0.78**	**0.79**	**0.74**	**0.66**	0.06	0.24	0.43	0.63	(0.35)	0.21	0.19	0.33	0.35	0.35	(0.06)	**0.74**	0.22	**0.80**	0.12	**0.89**	**1.00**	
Ga	**0.76**	**0.83**	**0.77**	**0.78**	**0.87**	**0.76**	**0.88**	**0.85**	**0.81**	**0.80**	**0.74**	0.17	0.37	0.50	**0.70**	(0.46)	0.28	0.27	0.43	0.33	0.41	(0.08)	**0.78**	0.26	**0.82**	0.21	**0.80**	**0.89**	**1.00**

註: 相關係數 > 0.65 以粗體表示。

表 7-6 續　Dichot-$PM_{2.5}$ 樣本元素之相關矩陣：(一)新莊(n=14)、(二)中山(n=12)、(三)竹東(n=12)。

(二)中山站。

	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
Al	**1.00**																												
Fe	**0.84**	**1.00**																											
Na	0.01	0.32	**1.00**																										
Mg	0.55	**0.77**	**0.82**	**1.00**																									
K	0.10	0.12	(0.15)	(0.04)	**1.00**																								
Ca	**0.85**	**0.96**	0.32	**0.75**	0.12	**1.00**																							
Sr	**0.77**	**0.79**	0.47	**0.80**	0.01	**0.81**	**1.00**																						
Ba	**0.82**	**0.92**	0.19	0.64	0.04	**0.89**	**0.85**	**1.00**																					
Ti	**0.84**	**0.98**	0.27	**0.72**	(0.00)	**0.96**	**0.73**	**0.89**	**1.00**																				
Mn	0.15	0.15	(0.17)	0.00	**0.87**	0.13	0.10	0.15	0.03	**1.00**																			
Co	**0.78**	**0.90**	0.12	0.58	0.04	**0.88**	**0.72**	**0.92**	**0.90**	0.24	**1.00**																		
Ni	0.31	0.20	(0.18)	0.02	0.09	0.23	0.36	0.40	0.17	0.47	0.55	**1.00**																	
Cu	**0.76**	**0.86**	0.44	**0.75**	(0.04)	**0.87**	**0.84**	**0.93**	**0.84**	0.22	**0.97**	0.60	**1.00**																
Zn	(0.06)	(0.17)	(0.34)	(0.28)	**0.67**	(0.16)	(0.07)	(0.06)	(0.27)	**0.89**	0.06	**0.66**	0.09	**1.00**															
Mo	0.59	**0.72**	(0.10)	0.31	0.28	**0.65**	0.57	**0.83**	**0.68**	0.50	**0.88**	0.64	**0.87**	0.35	**1.00**														
Ag	0.45	0.37	0.60	0.58	0.50	0.49	0.50	0.27	0.28	0.53	0.32	0.32	0.37	0.40	0.16	**1.00**													
Cd	(0.30)	(0.42)	(0.31)	(0.39)	**0.68**	(0.41)	(0.32)	(0.39)	(0.51)	**0.82**	(0.27)	0.33	(0.24)	**0.91**	0.03	0.26	**1.00**												
Sn	0.44	0.21	(0.36)	(0.08)	0.22	0.25	0.37	0.42	0.19	0.51	0.51	**0.93**	0.60	**0.67**	0.64	0.29	0.36	**1.00**											
Sb	0.53	**0.67**	(0.06)	0.29	(0.14)	0.62	0.41	**0.71**	**0.69**	0.09	**0.84**	0.49	**0.73**	(0.03)	**0.76**	0.17	(0.34)	0.38	**1.00**										
Tl	(0.40)	(0.34)	(0.10)	(0.23)	**0.78**	(0.40)	(0.41)	(0.51)	(0.43)	**0.72**	(0.41)	(0.15)	(0.44)	0.62	(0.15)	0.14	**0.85**	(0.12)	(0.50)	**1.00**									
Pb	(0.31)	(0.40)	(0.32)	(0.38)	**0.69**	(0.44)	(0.37)	(0.40)	(0.49)	**0.80**	(0.29)	0.24	(0.33)	**0.85**	0.02	0.16	**0.97**	0.27	(0.36)	**0.92**	**1.00**								

	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
V	(0.43)	(0.62)	(0.40)	(0.57)	0.24	(0.62)	(0.39)	(0.44)	(0.68)	0.47	(0.34)	0.54	(0.32)	**0.80**	(0.06)	(0.02)	**0.79**	0.52	(0.29)	0.45	**0.76**	**1.00**							
Cr	**0.69**	**0.87**	0.18	0.58	0.23	**0.89**	**0.74**	**0.90**	**0.83**	0.36	**0.94**	0.52	**0.93**	0.15	**0.88**	0.46	(0.19)	0.48	**0.79**	(0.31)	(0.23)	(0.34)	**1.00**						
As	(0.36)	(0.46)	(0.29)	(0.40)	0.50	(0.52)	(0.44)	(0.47)	(0.53)	**0.71**	(0.31)	0.28	(0.30)	**0.80**	(0.04)	0.12	**0.94**	0.27	(0.31)	**0.83**	**0.95**	**0.79**	(0.31)	**1.00**					
Y	**0.91**	**0.95**	0.62	**0.94**	0.16	**0.95**	**0.84**	**0.87**	**0.91**	0.26	**0.86**	0.24	**0.85**	(0.05)	0.64	0.60	(0.25)	0.26	0.58	(0.25)	(0.29)	(0.55)	**0.84**	(0.30)	**1.00**				
Se	(0.47)	(0.47)	(0.13)	(0.31)	0.61	(0.49)	(0.48)	(0.56)	(0.55)	**0.69**	(0.43)	0.01	(0.40)	**0.69**	(0.19)	0.21	**0.91**	(0.02)	(0.46)	**0.96**	**0.93**	0.61	(0.35)	**0.92**	(0.28)	**1.00**			
Rb	0.27	0.28	(0.09)	0.15	**0.84**	0.25	0.04	0.09	0.21	**0.80**	0.18	0.01	0.09	0.52	0.28	0.46	0.59	0.12	(0.07)	**0.78**	**0.65**	0.08	0.24	0.53	0.39	0.63	**1.00**		
Cs	(0.27)	(0.18)	0.13	(0.01)	**0.81**	(0.23)	(0.28)	(0.39)	(0.28)	**0.72**	(0.31)	(0.19)	(0.34)	0.56	(0.13)	0.26	**0.78**	(0.18)	(0.48)	**0.97**	**0.86**	0.33	(0.21)	**0.74**	(0.08)	**0.91**	**0.87**	**1.00**	
Ga	**0.70**	**0.78**	0.01	0.46	0.53	**0.72**	**0.66**	**0.81**	**0.69**	**0.66**	**0.80**	0.44	**0.77**	0.39	**0.89**	0.41	0.16	0.50	0.54	0.10	0.16	(0.15)	**0.83**	0.05	**0.79**	(0.01)	0.57	0.18	**1.00**

註: 相關係數 > 0.65 以粗體表示。

表 7-6 續　Dichot-$PM_{2.5}$ 樣本元素之相關矩陣：(一)新莊(n=14)、(二)中山(n=12)、(三)竹東(n=12)。

表 7-6　(三)竹東站

	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
Al	**1.00**																												
Fe	**0.88**	**1.00**																											
Na	0.37	0.64	**1.00**																										
Mg	**0.88**	**0.91**	0.64	**1.00**																									
K	0.41	**0.72**	0.63	0.57	**1.00**																								
Ca	**0.78**	**0.72**	0.00	**0.65**	0.35	**1.00**																							
Sr	**0.82**	**0.81**	0.30	**0.85**	0.54	**0.78**	**1.00**																						
Ba	**0.85**	**0.96**	0.57	**0.86**	**0.77**	**0.75**	**0.76**	**1.00**																					
Ti	**0.87**	**0.90**	0.32	**0.86**	0.55	**0.92**	**0.85**	**0.90**	**1.00**																				
Mn	0.20	0.53	0.63	0.31	**0.88**	0.04	0.29	0.56	0.23	**1.00**																			
Co	0.10	0.51	0.64	0.31	**0.92**	0.11	0.22	0.59	0.31	**0.88**	**1.00**																		
Ni	(0.05)	0.25	0.41	0.02	**0.77**	(0.15)	(0.00)	0.34	(0.00)	**0.91**	**0.84**	**1.00**																	
Cu	0.17	0.43	0.46	0.26	**0.83**	0.04	0.37	0.46	0.18	**0.93**	**0.77**	**0.83**	**1.00**																
Zn	0.19	0.42	0.56	0.37	**0.81**	(0.04)	0.43	0.41	0.18	**0.82**	**0.71**	**0.77**	**0.84**	**1.00**															
Mo	0.08	0.35	0.36	0.07	**0.77**	0.01	0.16	0.42	0.12	**0.93**	**0.79**	**0.94**	**0.86**	**0.77**	**1.00**														
Ag	0.42	0.18	(0.53)	0.22	(0.01)	0.63	0.58	0.20	0.45	(0.26)	(0.32)	(0.31)	0.01	(0.09)	(0.18)	**1.00**													
Cd	0.06	0.25	0.33	0.02	**0.66**	(0.11)	0.11	0.30	(0.02)	**0.85**	0.64	**0.90**	**0.82**	**0.80**	**0.92**	(0.17)	**1.00**												
Sn	0.00	0.10	0.18	(0.10)	0.35	(0.14)	(0.17)	0.20	(0.06)	0.46	0.45	0.61	0.26	0.39	**0.65**	(0.39)	0.59	**1.00**											
Sb	(0.01)	0.25	0.40	0.01	**0.70**	(0.15)	(0.01)	0.32	0.00	**0.84**	**0.77**	**0.92**	**0.72**	**0.75**	**0.94**	(0.35)	**0.88**	**0.81**	**1.00**										
Tl	0.06	0.04	(0.21)	(0.11)	0.42	0.07	0.06	0.17	0.02	0.36	0.31	0.60	0.46	0.45	0.54	0.32	**0.67**	0.46	0.54	**1.00**									
Pb	(0.07)	(0.03)	(0.05)	(0.13)	0.46	(0.15)	(0.06)	0.10	(0.11)	0.41	0.42	**0.67**	0.47	0.56	0.55	0.08	**0.66**	0.57	0.64	**0.93**	**1.00**								

	Al	Fe	Na	Mg	K	Ca	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Tl	Pb	V	Cr	As	Y	Se	Rb	Cs	Ga
V	(0.35)	(0.11)	(0.04)	(0.26)	0.42	(0.22)	(0.20)	(0.05)	(0.16)	0.49	0.49	**0.71**	0.49	0.43	0.53	(0.09)	0.52	0.17	0.50	0.53	0.55	**1.00**							
Cr	0.44	**0.69**	**0.70**	0.45	**0.83**	0.19	0.34	**0.72**	0.38	**0.89**	**0.81**	**0.77**	**0.78**	**0.66**	**0.81**	(0.25)	**0.73**	0.56	**0.77**	0.34	0.37	0.18	**1.00**						
As	(0.30)	(0.00)	0.20	(0.16)	0.57	(0.29)	(0.06)	0.05	(0.20)	**0.77**	0.64	**0.83**	**0.82**	0.65	**0.75**	(0.17)	**0.70**	0.20	0.63	0.41	0.45	**0.81**	0.47	**1.00**					
Y	**0.80**	**0.78**	0.16	**0.73**	0.54	**0.90**	**0.74**	**0.86**	**0.93**	0.18	0.31	0.06	0.15	0.13	0.12	0.52	0.00	0.08	0.04	0.27	0.15	(0.08)	0.37	(0.19)	**1.00**				
Se	(0.18)	0.22	0.50	0.03	**0.77**	(0.21)	0.02	0.25	(0.03)	**0.89**	**0.88**	**0.92**	**0.85**	**0.78**	**0.84**	(0.36)	**0.79**	0.35	**0.80**	0.37	0.47	**0.72**	**0.66**	**0.88**	(0.07)	**1.00**			
Rb	0.40	**0.67**	0.53	0.54	**0.98**	0.35	0.57	**0.73**	0.53	**0.83**	**0.86**	**0.77**	**0.81**	**0.86**	**0.76**	0.07	**0.70**	0.39	**0.71**	0.53	0.57	0.48	**0.76**	0.57	0.55	**0.75**	**1.00**		
Cs	0.11	0.00	(0.30)	(0.01)	0.29	0.12	0.14	0.11	0.08	0.12	0.11	0.36	0.26	0.36	0.26	0.47	0.41	0.26	0.28	**0.92**	**0.87**	0.49	0.07	0.25	0.34	0.16	0.45	**1.00**	
Ga	0.54	**0.71**	0.47	0.53	**0.86**	0.38	0.62	**0.73**	0.51	**0.87**	**0.68**	**0.71**	**0.90**	**0.76**	**0.78**	0.20	**0.75**	0.22	0.60	0.48	0.39	0.37	**0.82**	0.62	0.47	**0.66**	**0.85**	0.32	**1.00**

註: 相關係數 > 0.65 以粗體表示。

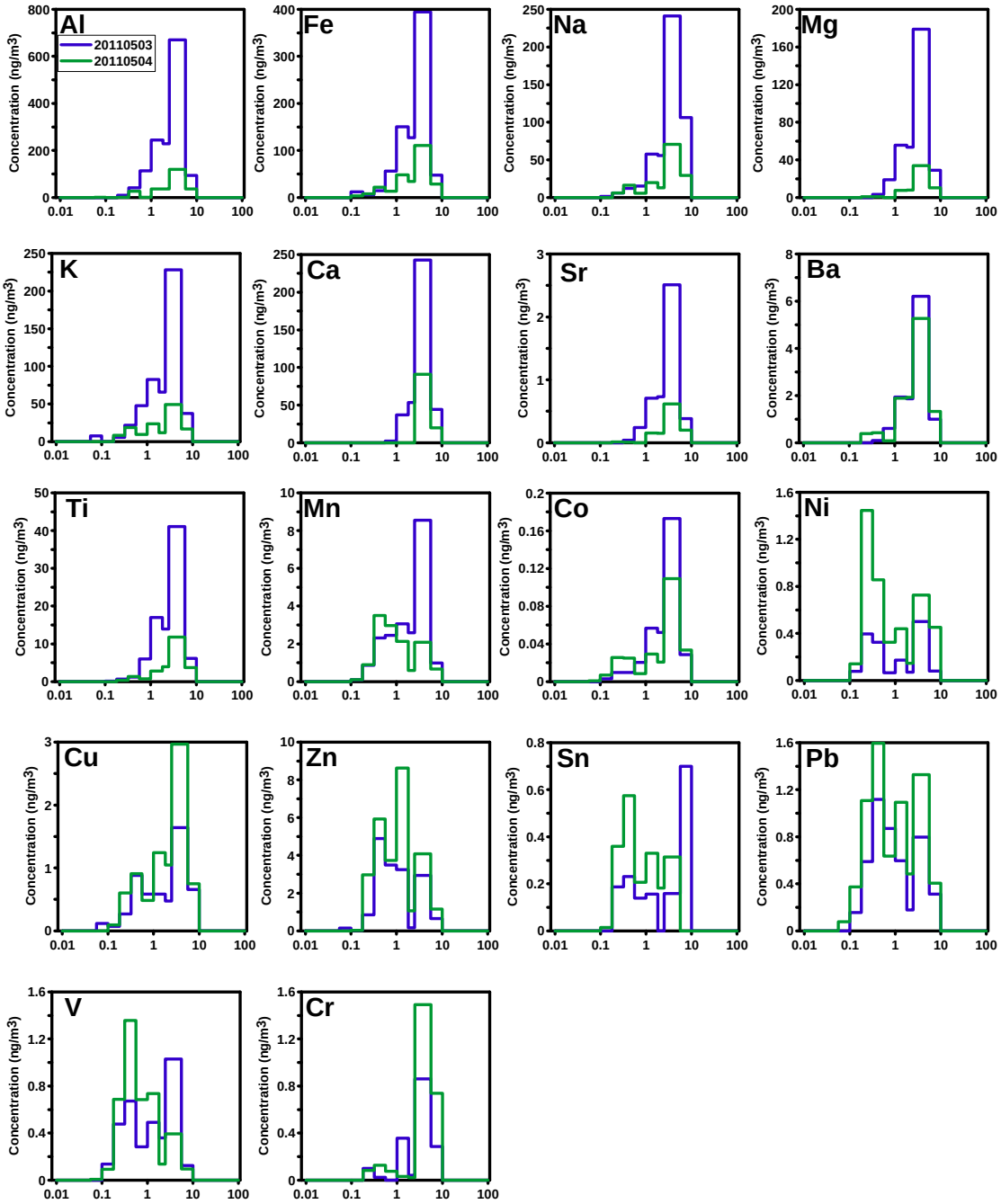


圖 7-51 新莊測站第一次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

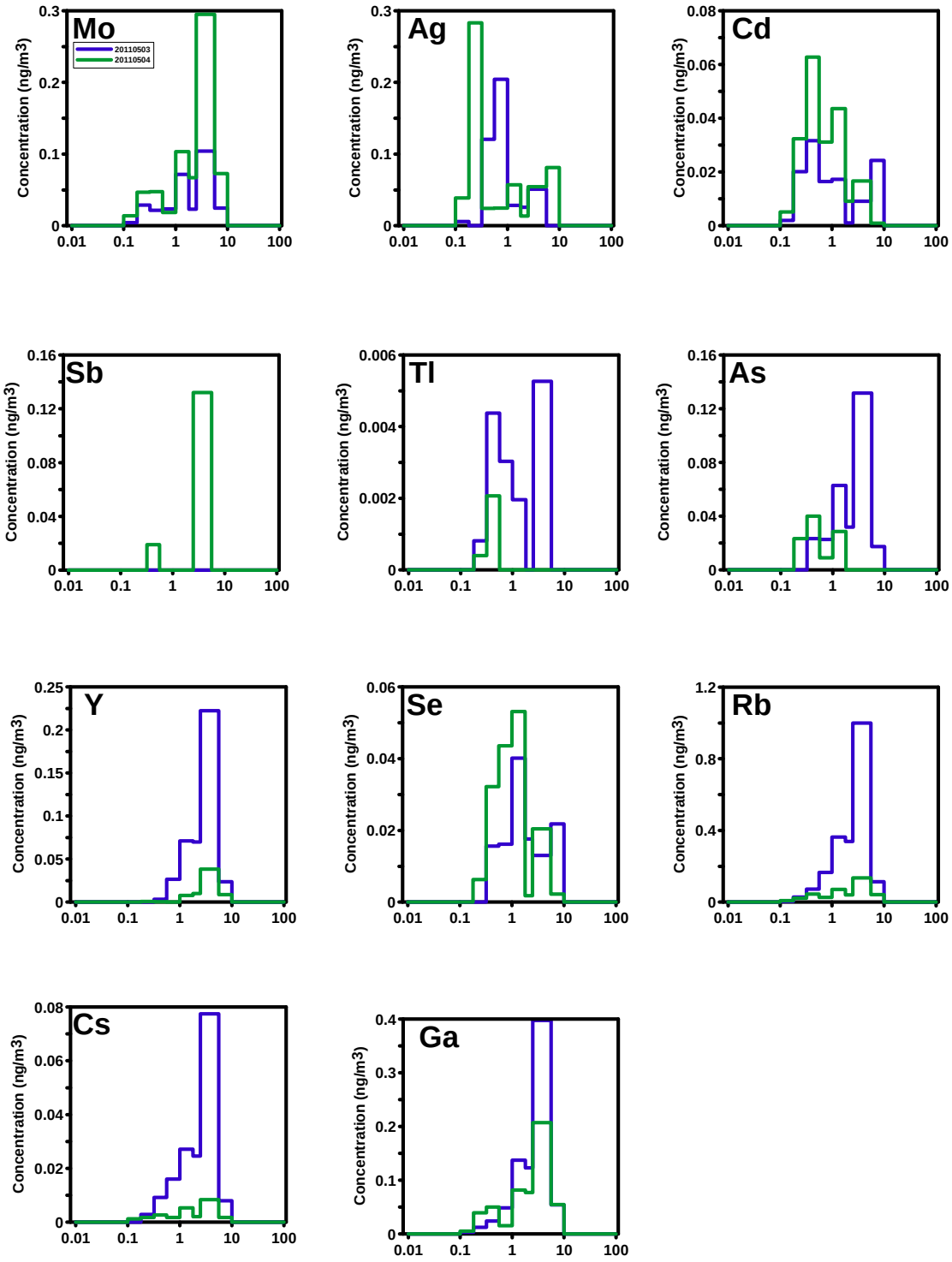


圖 7-51 續 新莊測站第一次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

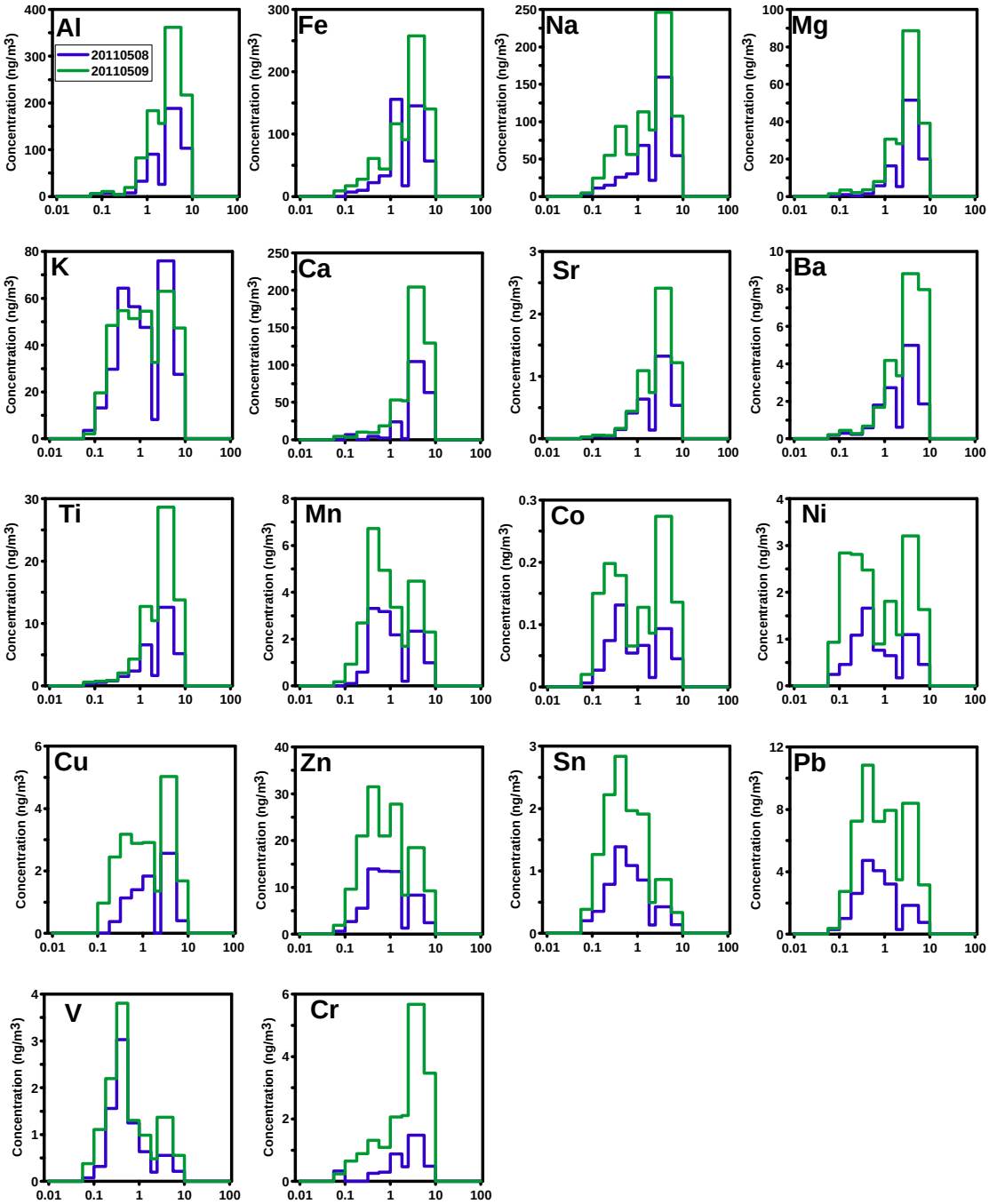


圖 7-52 新莊測站第二次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

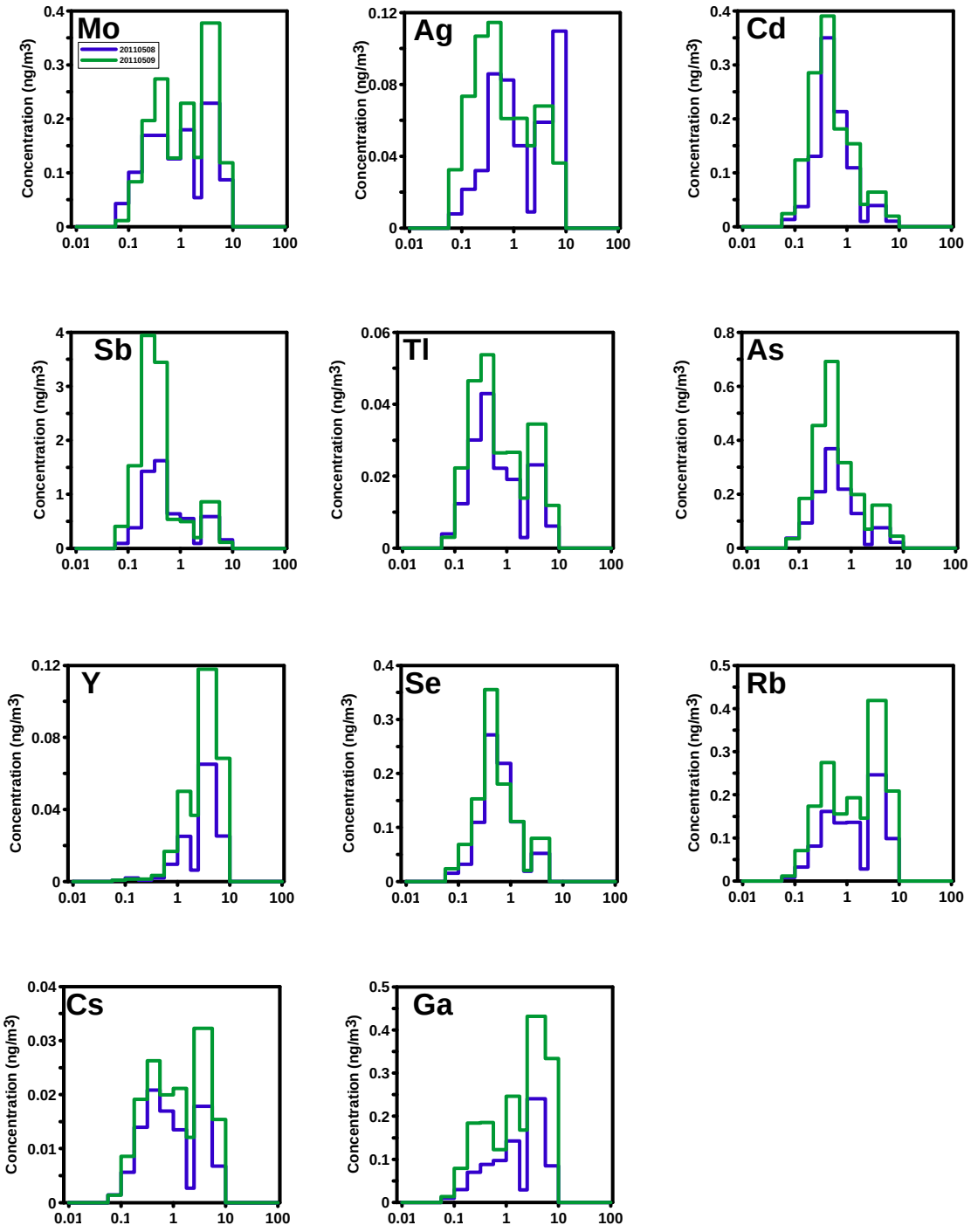


圖 7-52 續 新莊測站第二次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

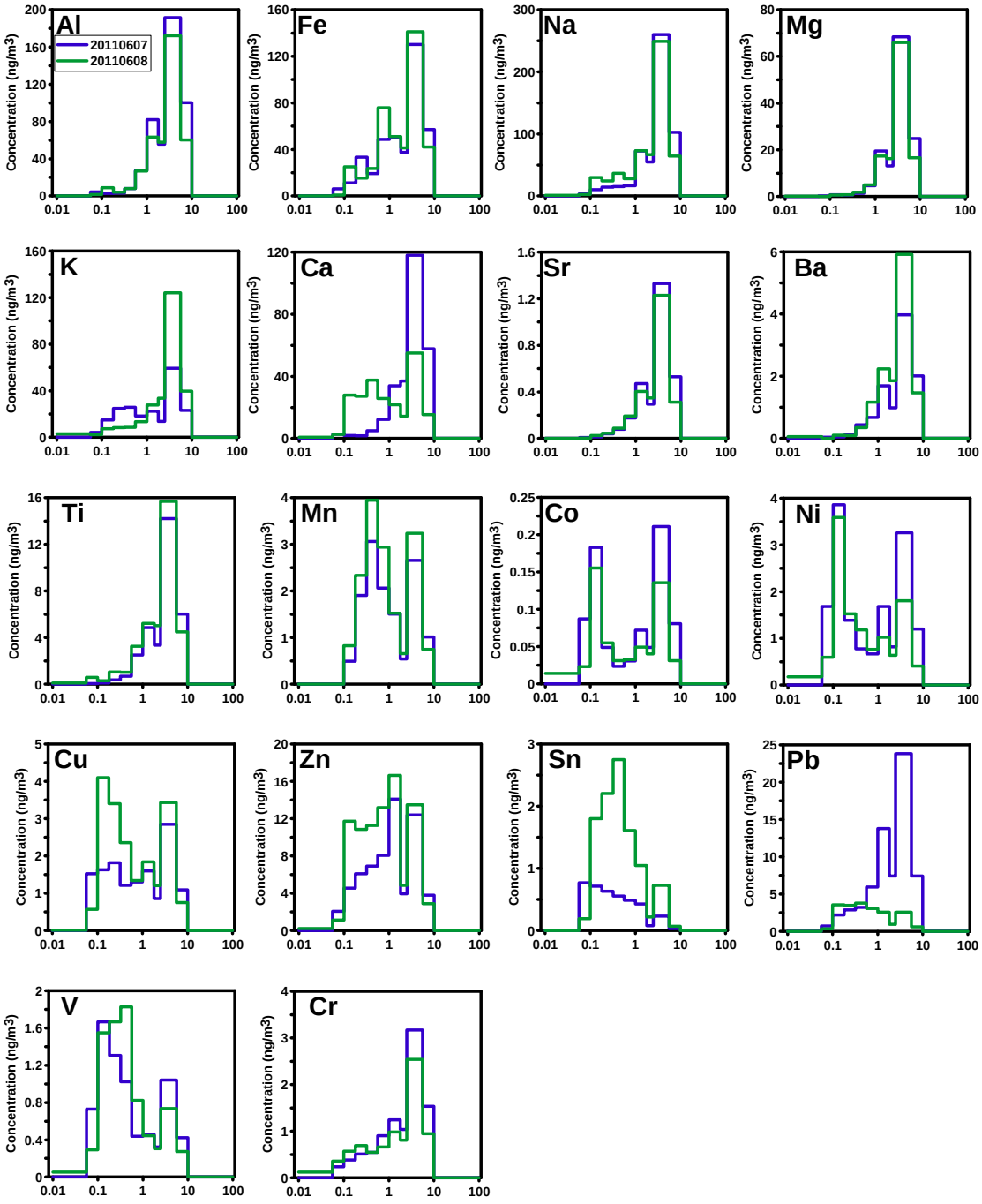


圖 7-53 新莊測站第三次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

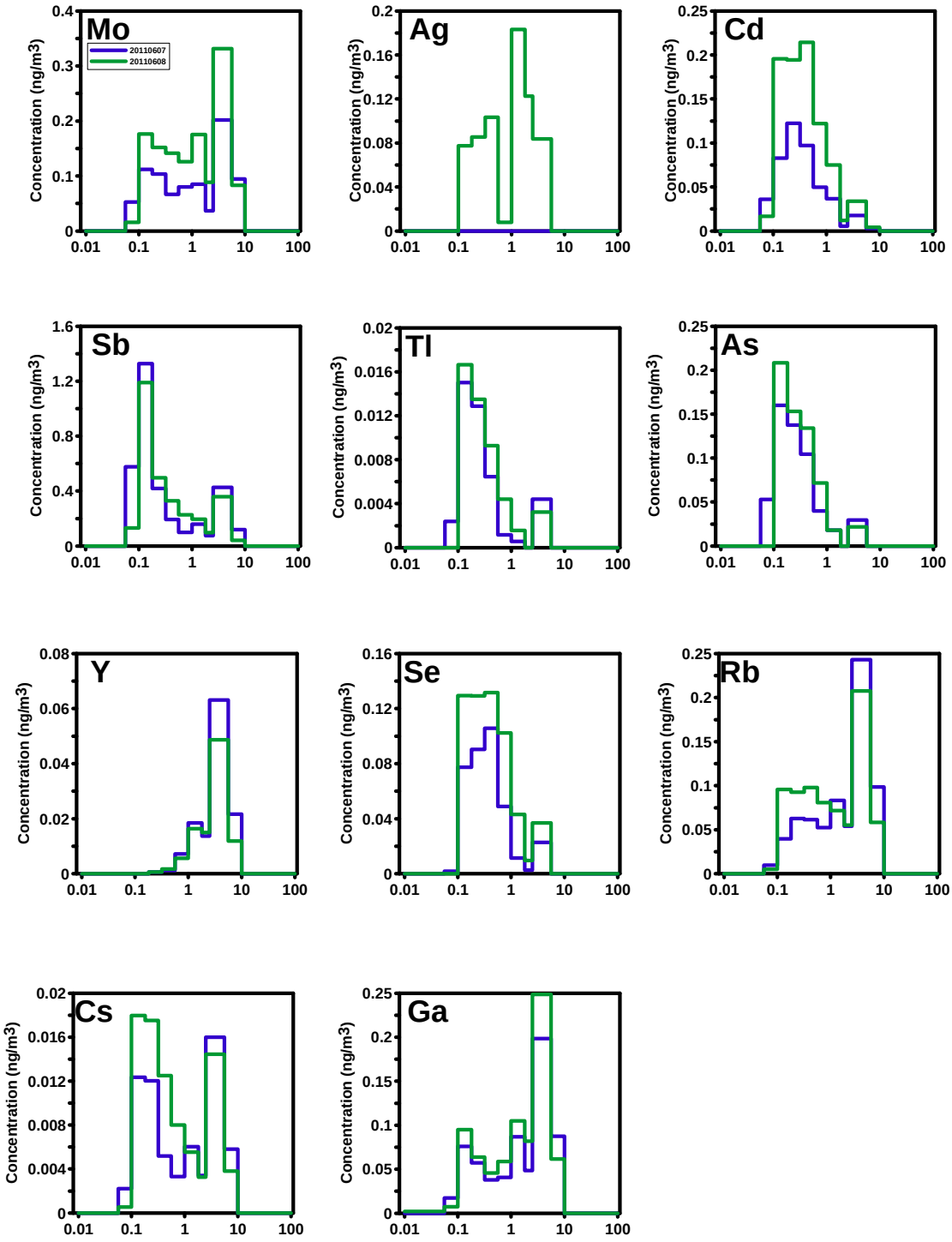


圖 7-53 續 新莊測站第三次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

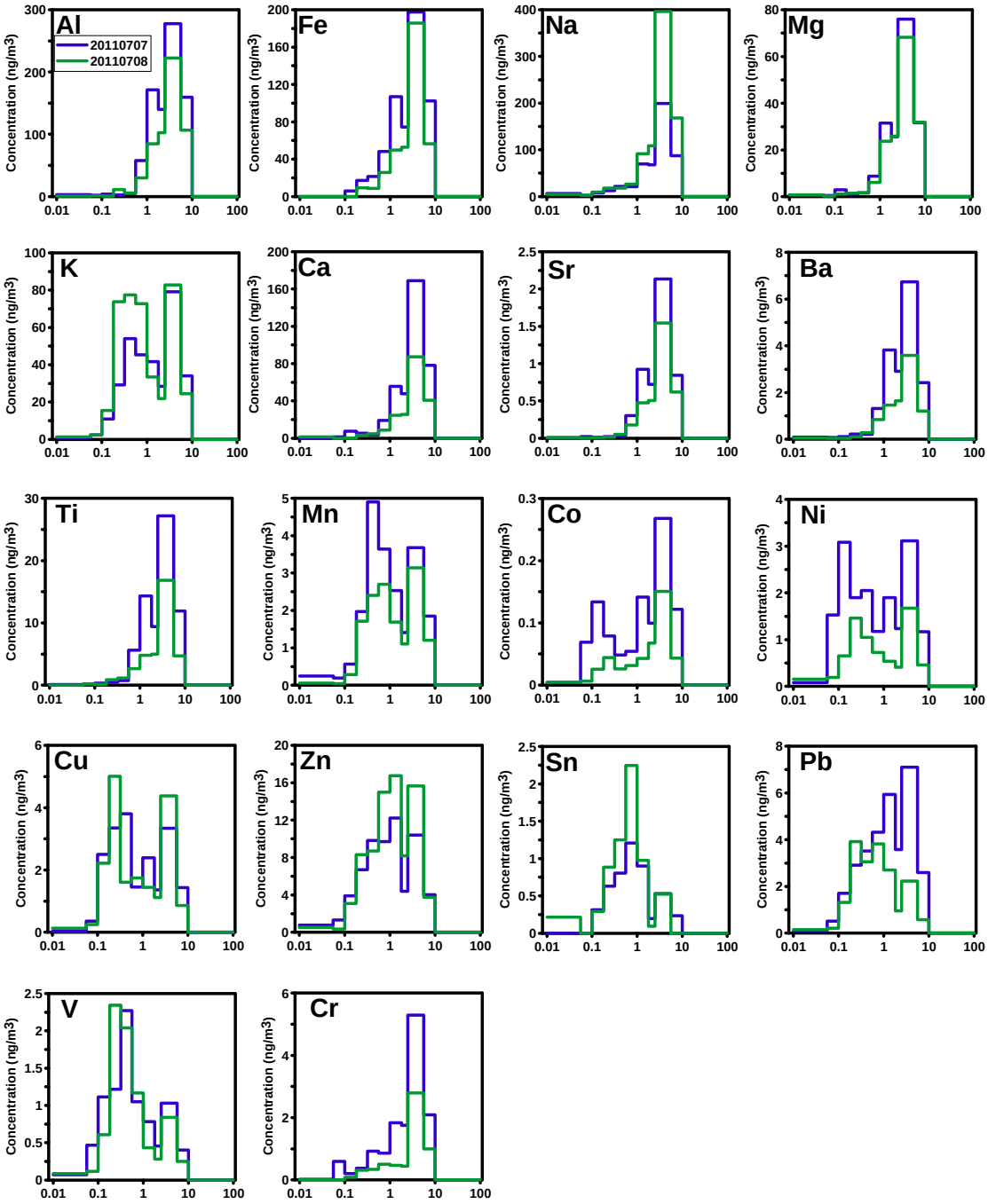


圖 7-54 新莊測站第四次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

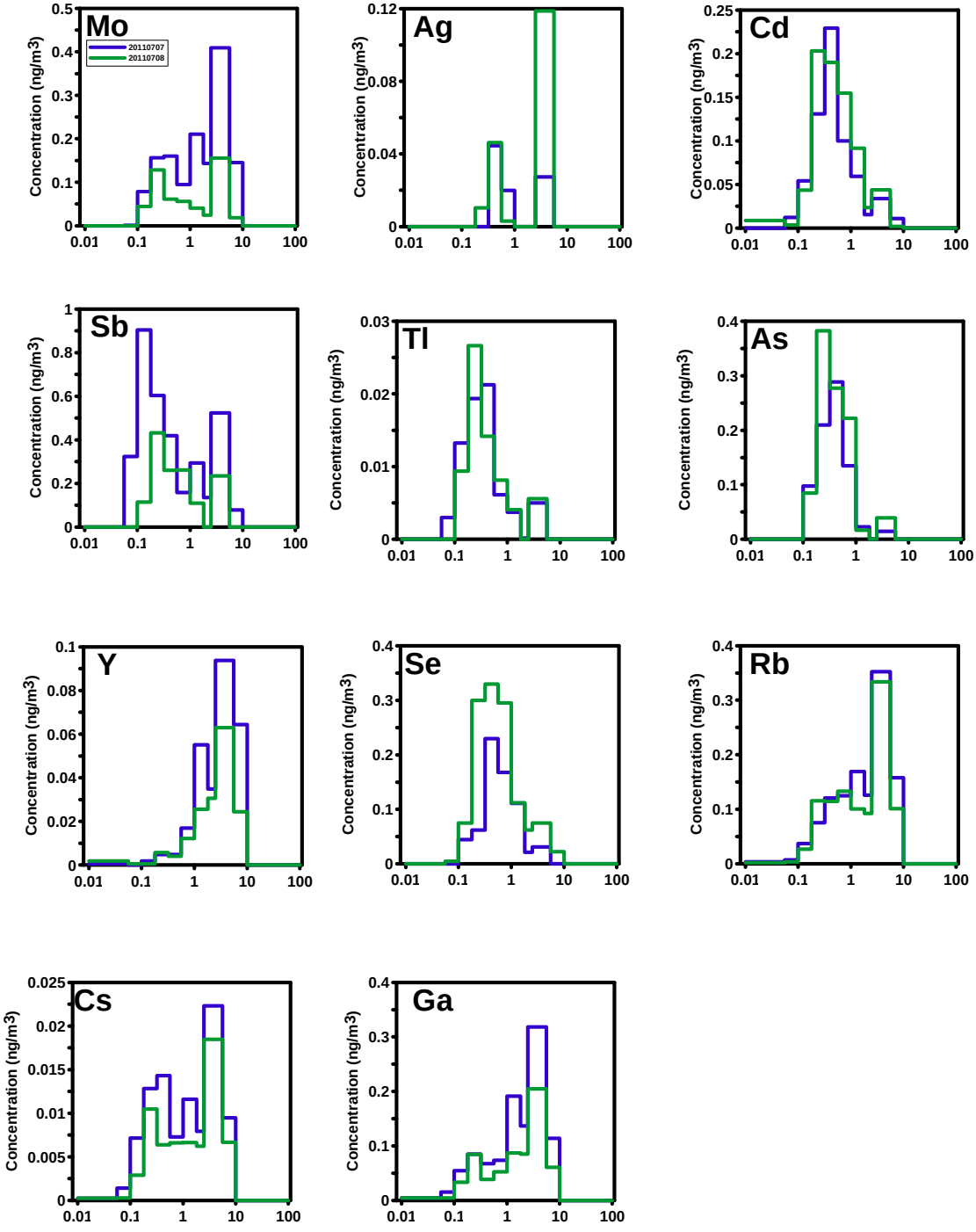


圖 7-54 續 新莊測站第四次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

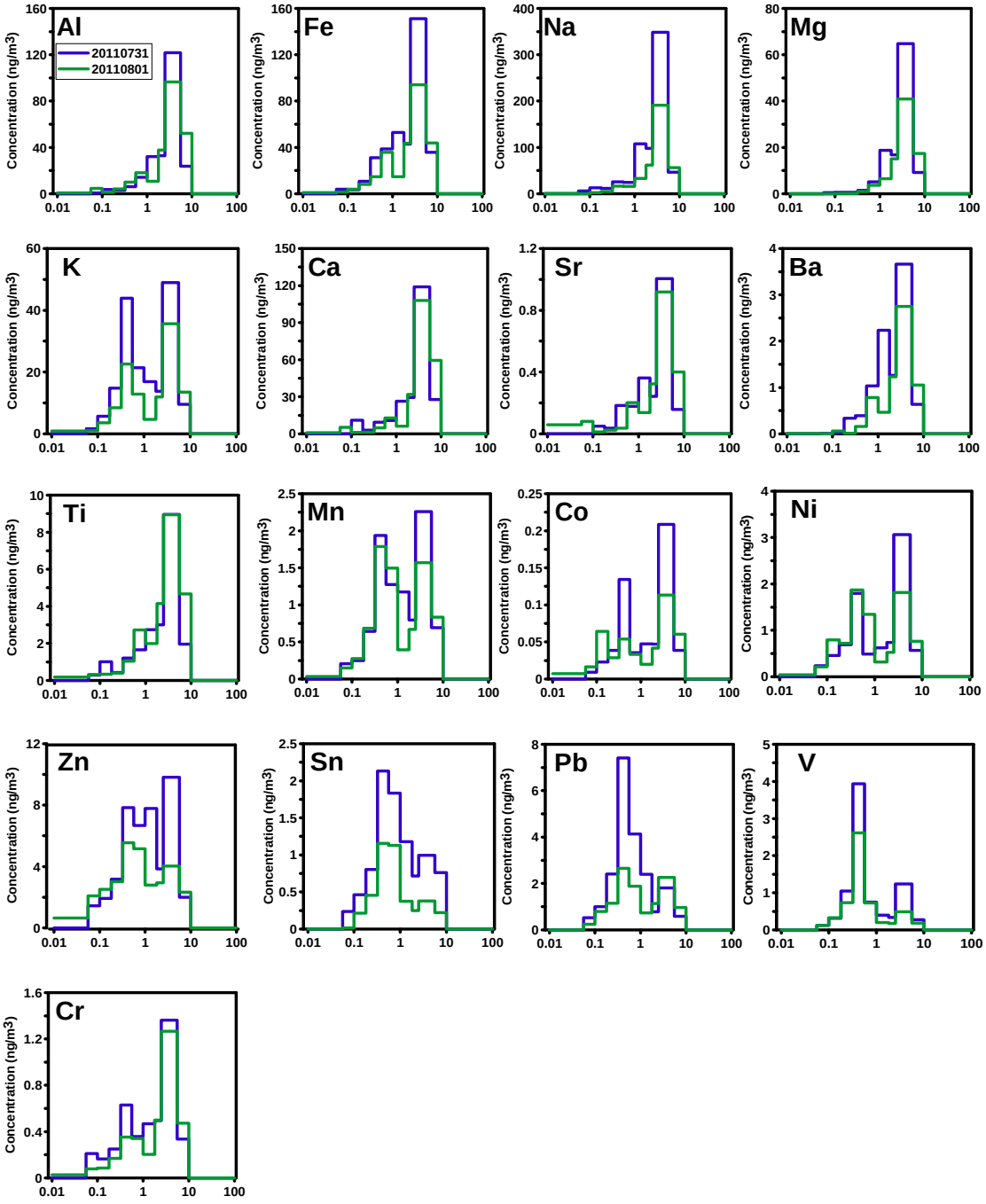


圖 7-55 新莊測站第五次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

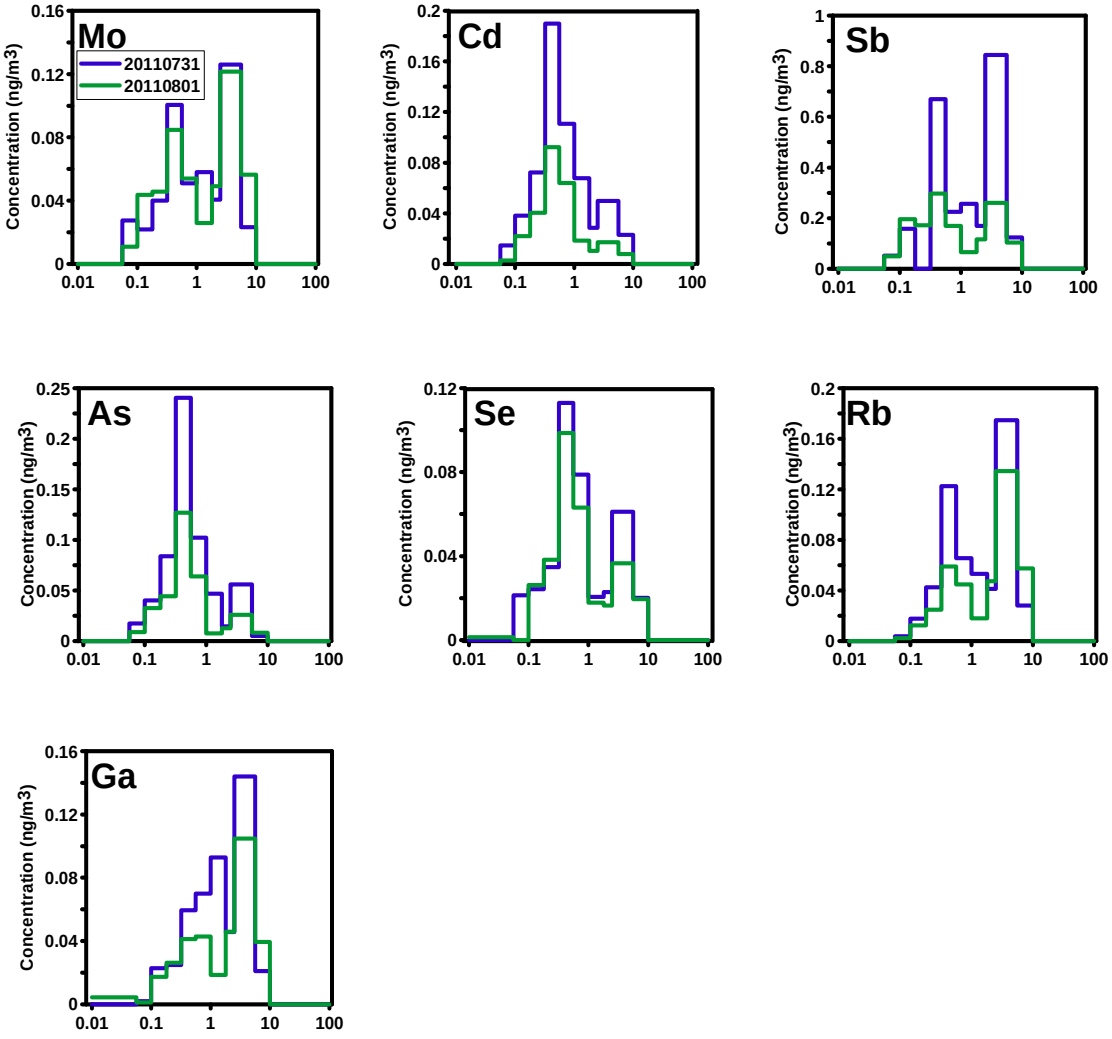


圖 7-55 續 新莊測站第五次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

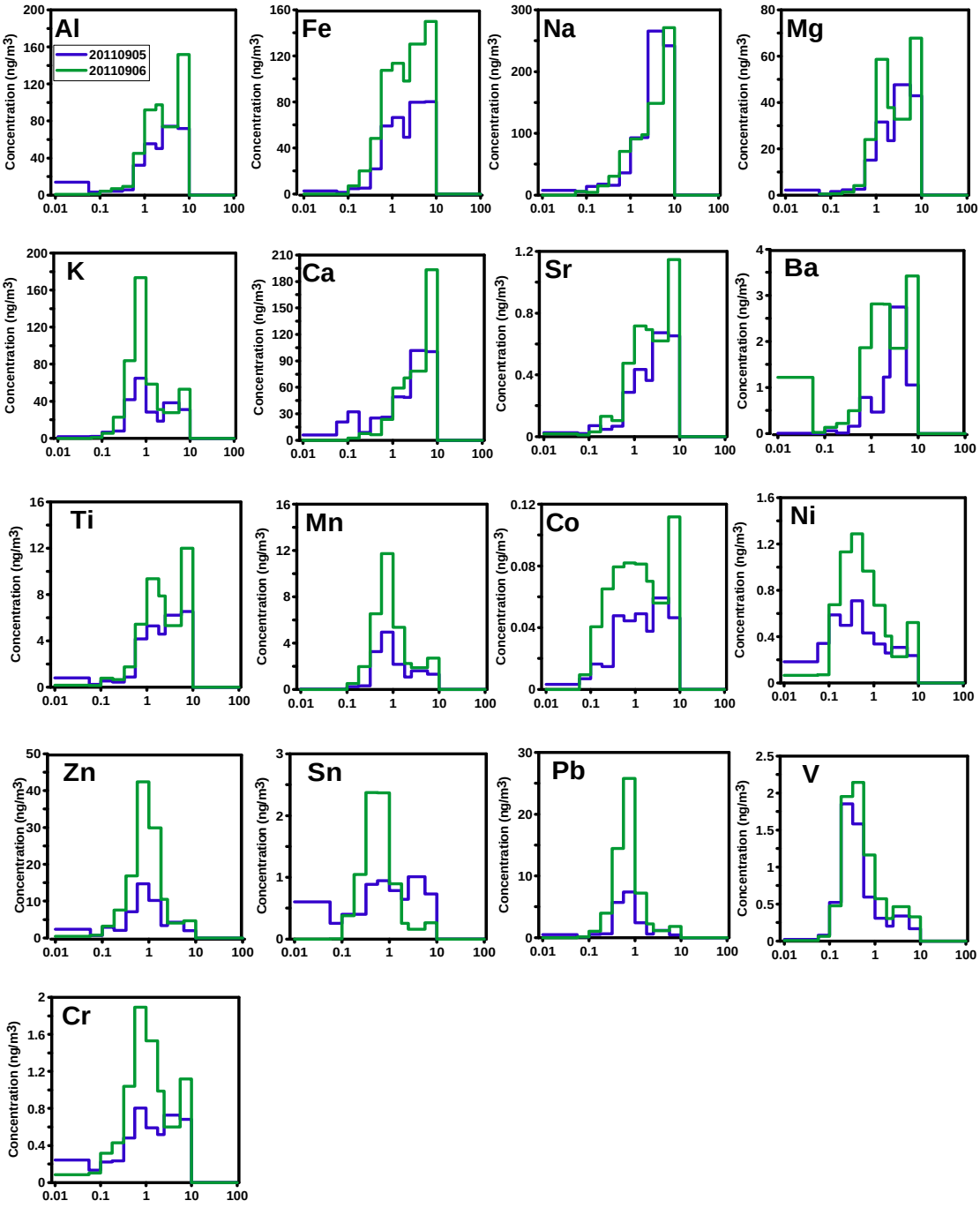


圖 7-56 新莊測站第六次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

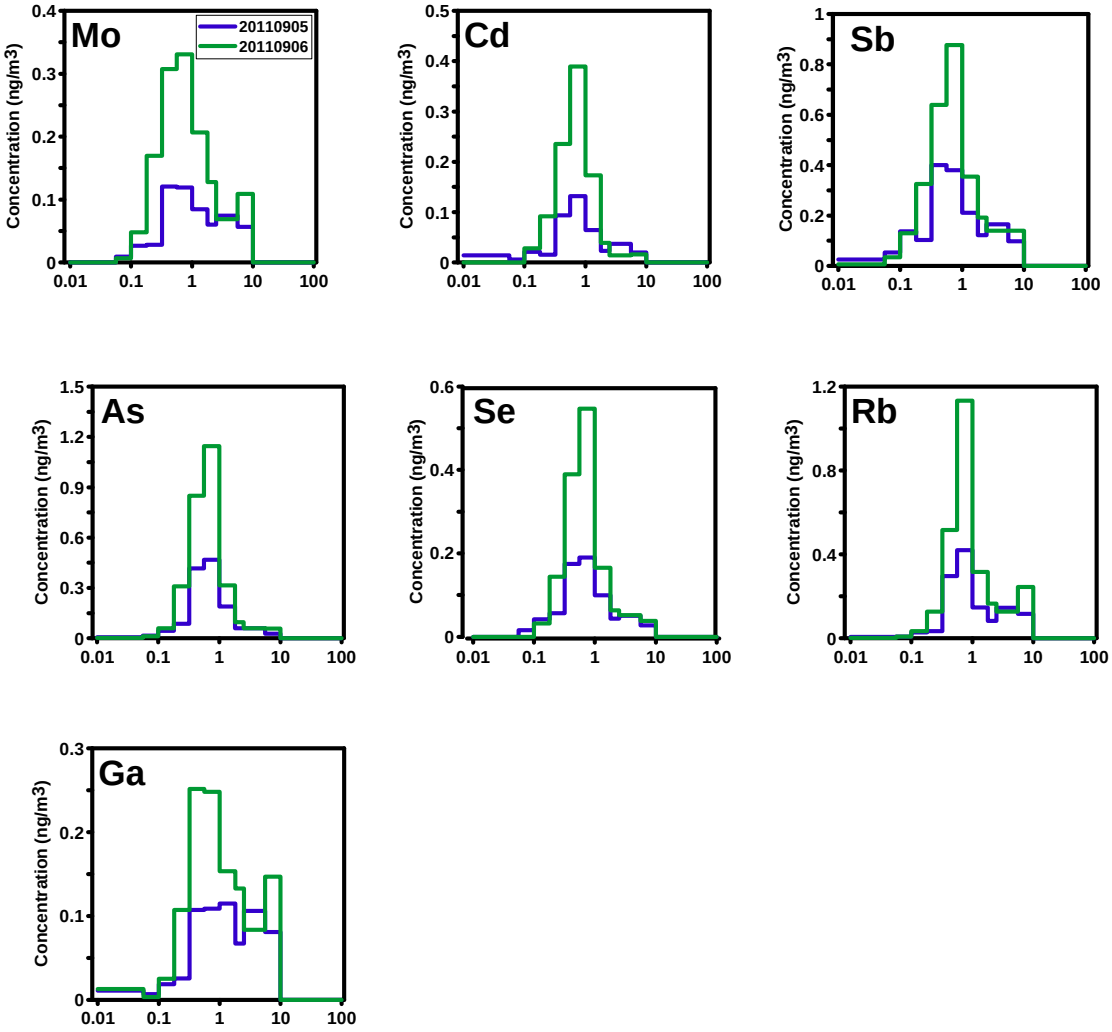


圖 7-56 續 新莊測站第六次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

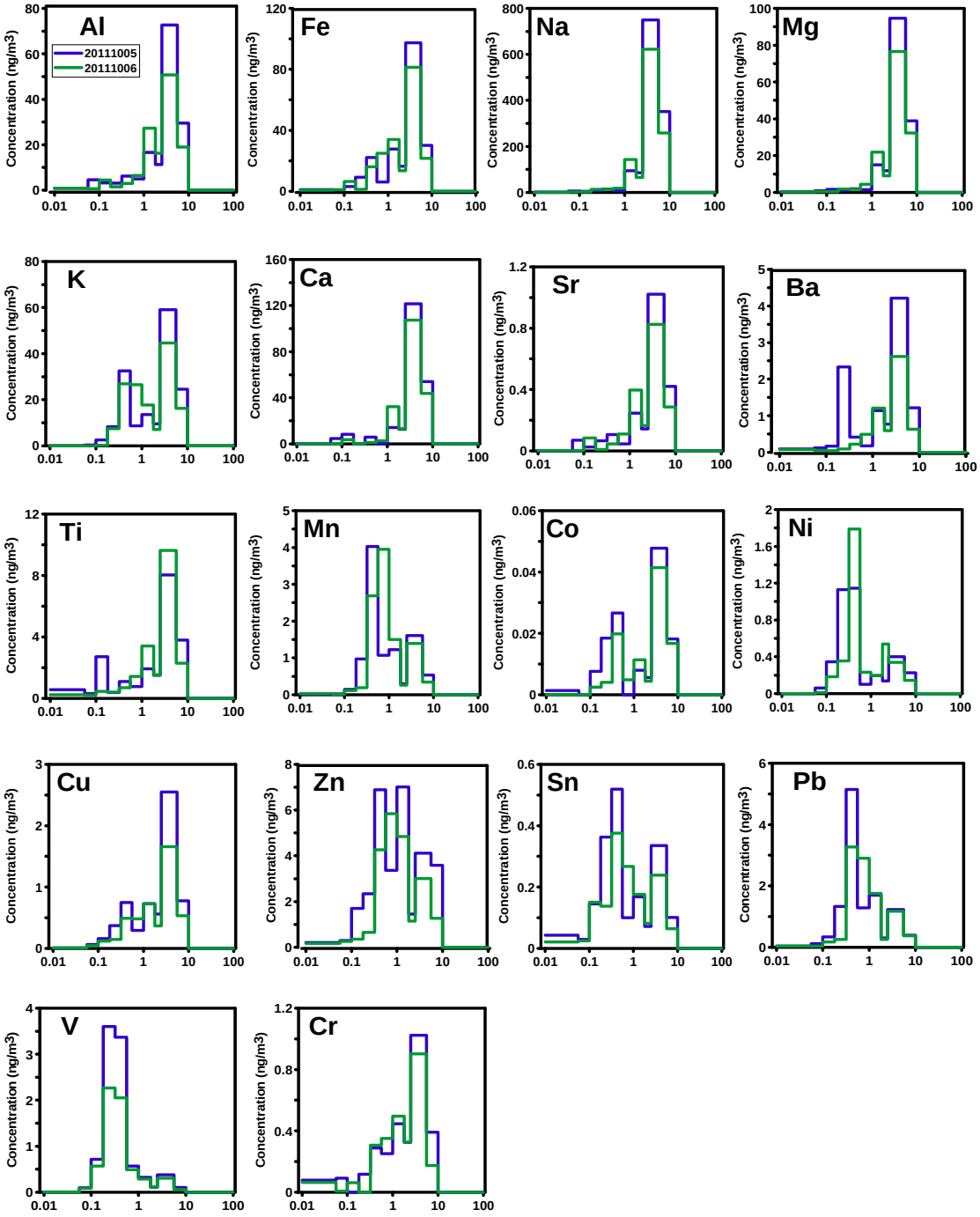


圖 7-57 新莊測站第七次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

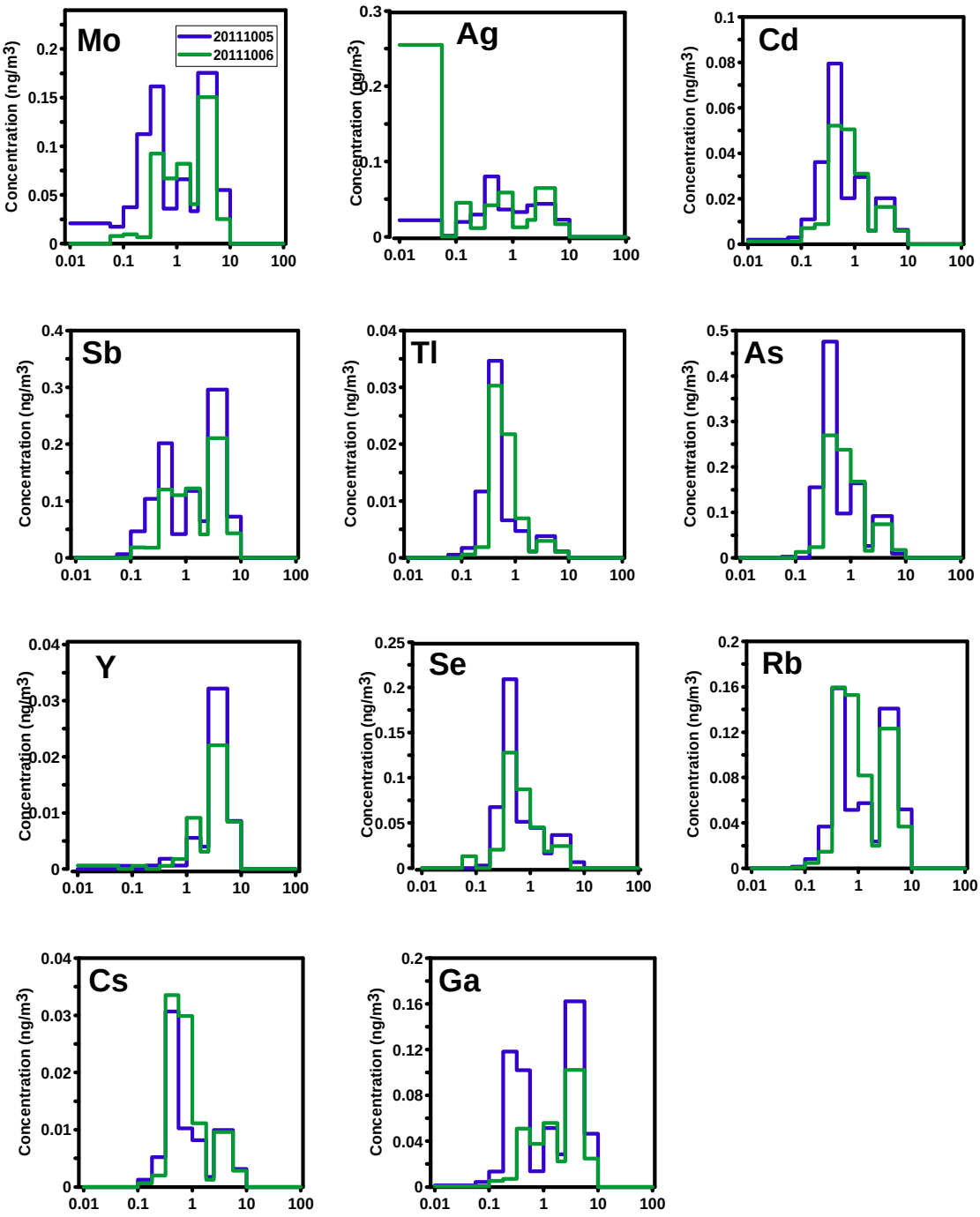


圖 7-57 續 新莊測站第七次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

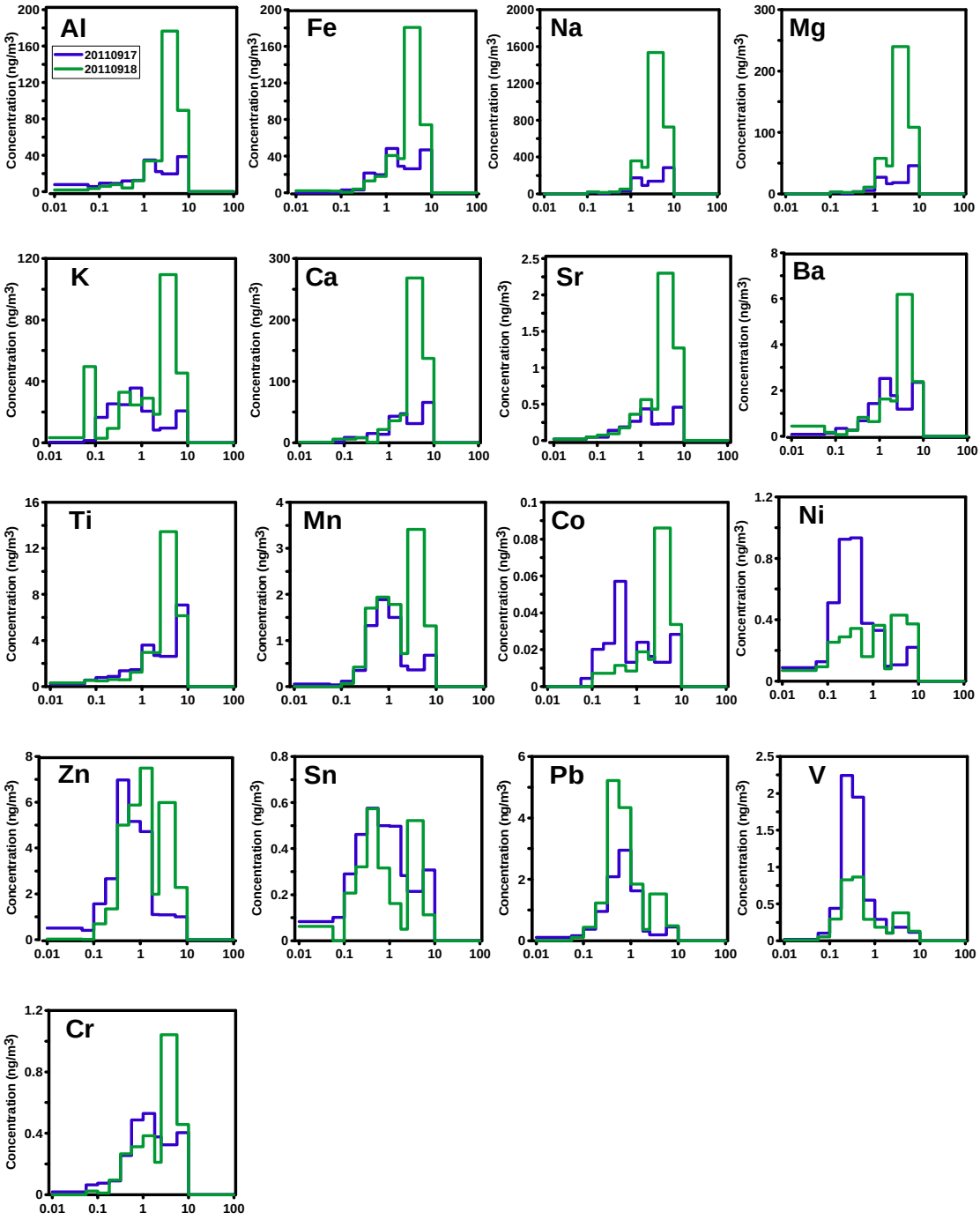


圖 7-58 中山測站第五次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

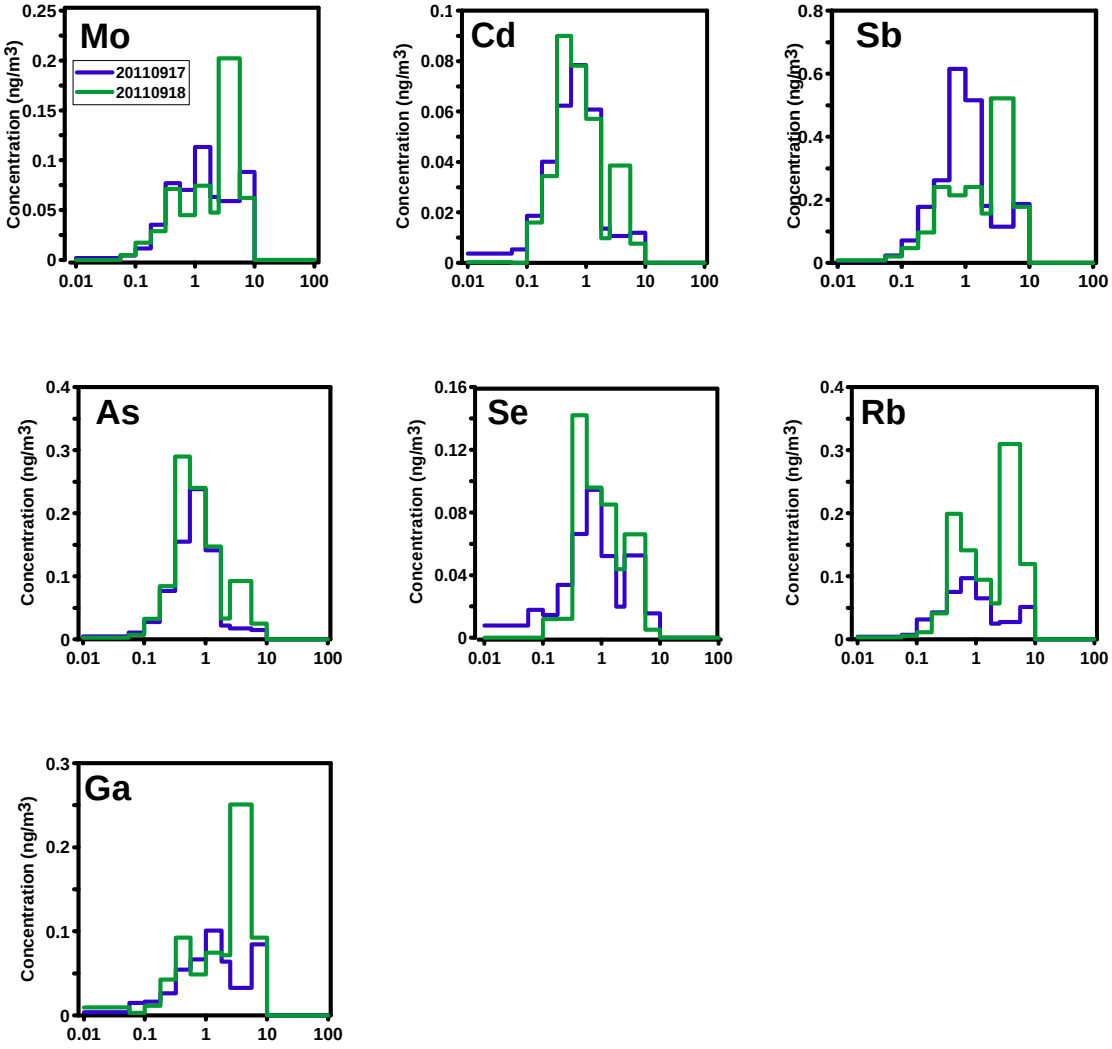


圖 7-58 續 中山測站第五次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

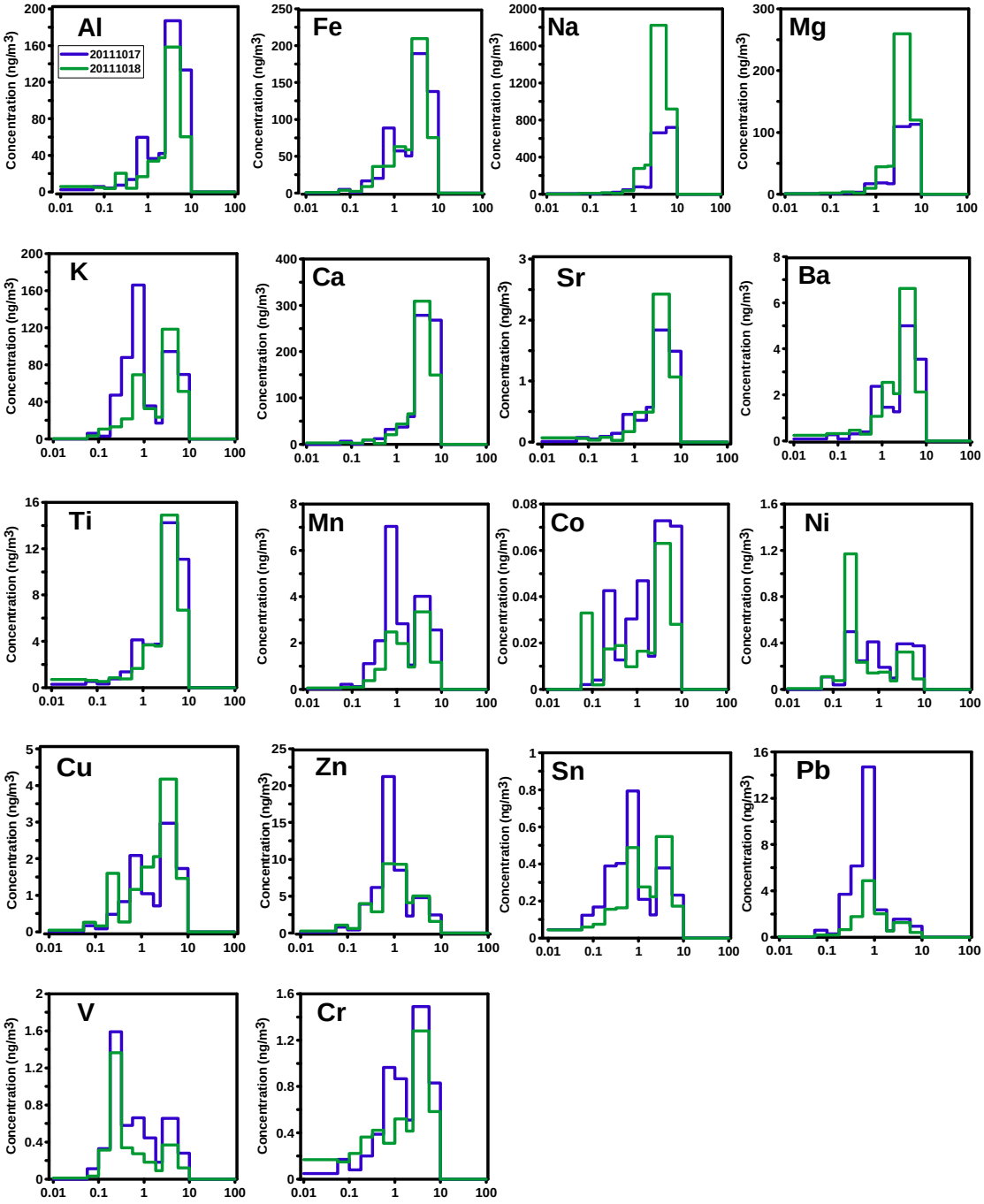


圖 7-59 中山測站第六次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

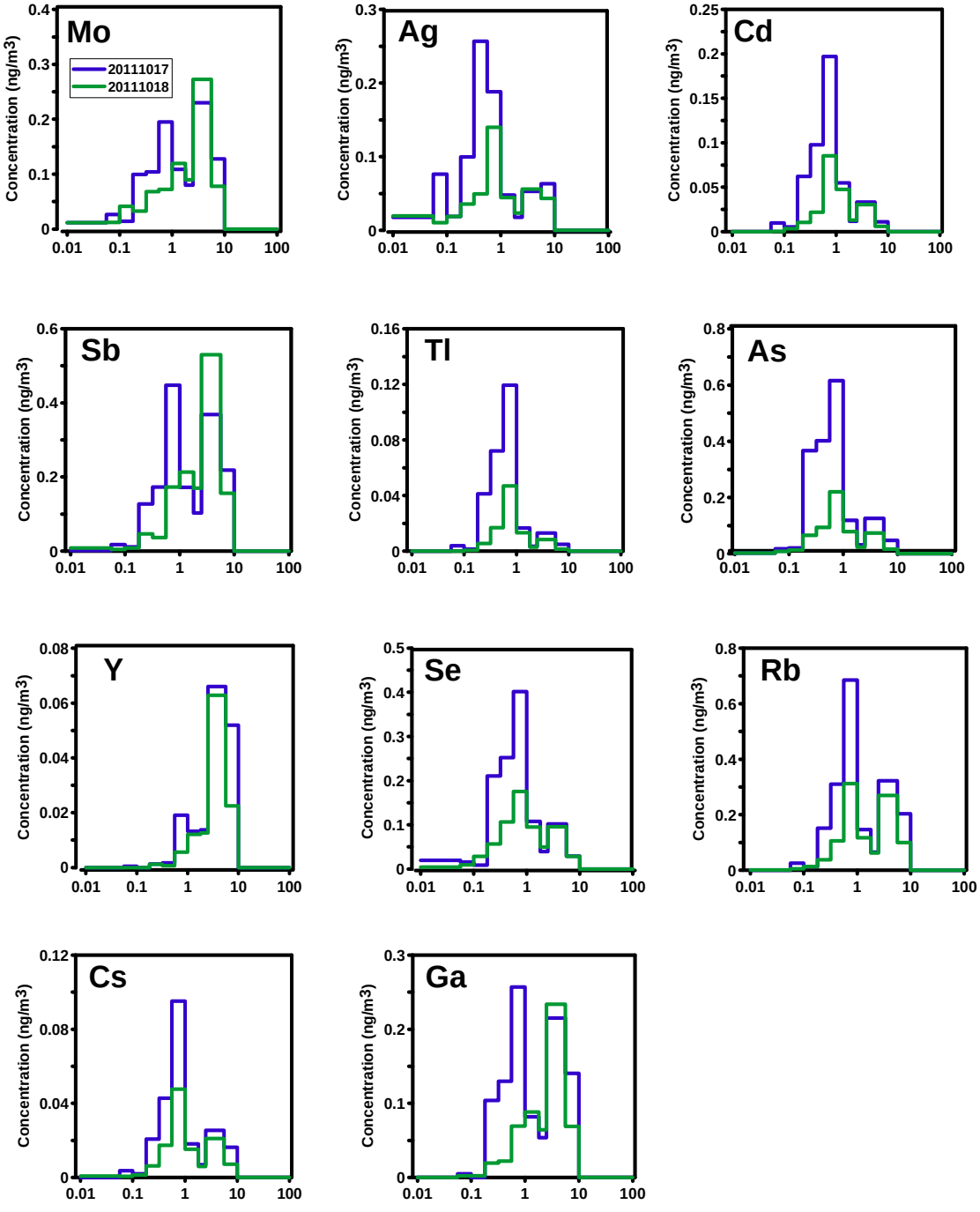


圖 7-59 續　中山測站第六次採樣 MOUDI 標本中金屬元素之粒徑分佈。

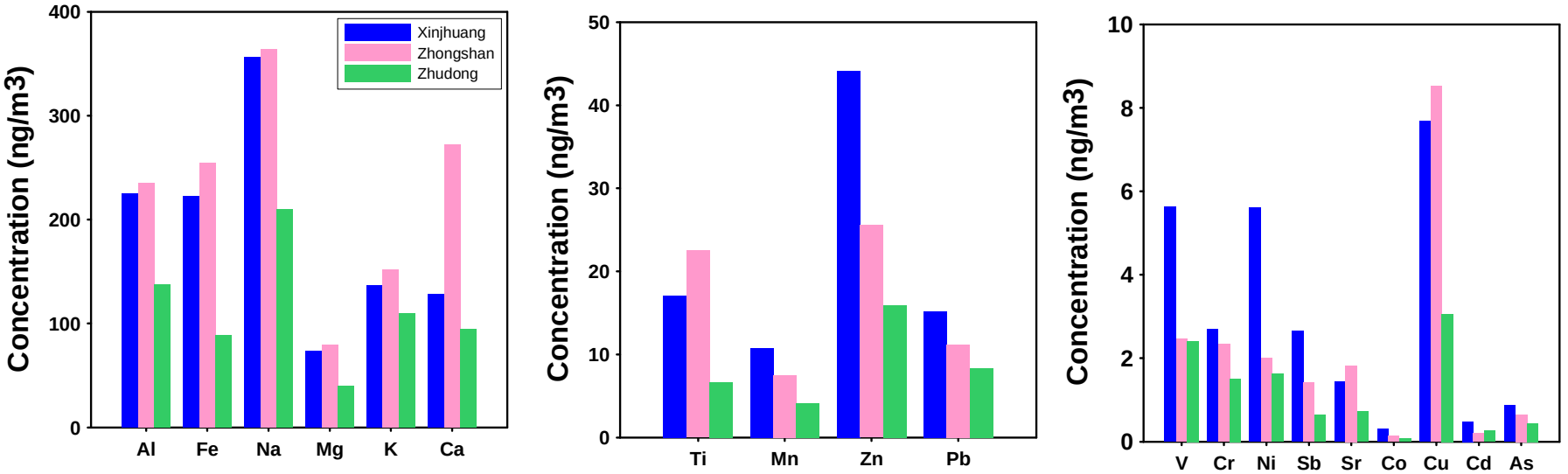


圖 7-60 新莊、中山及竹東測站 Dichot 標本 $PM_{2.5}$ 元素濃度之比較。

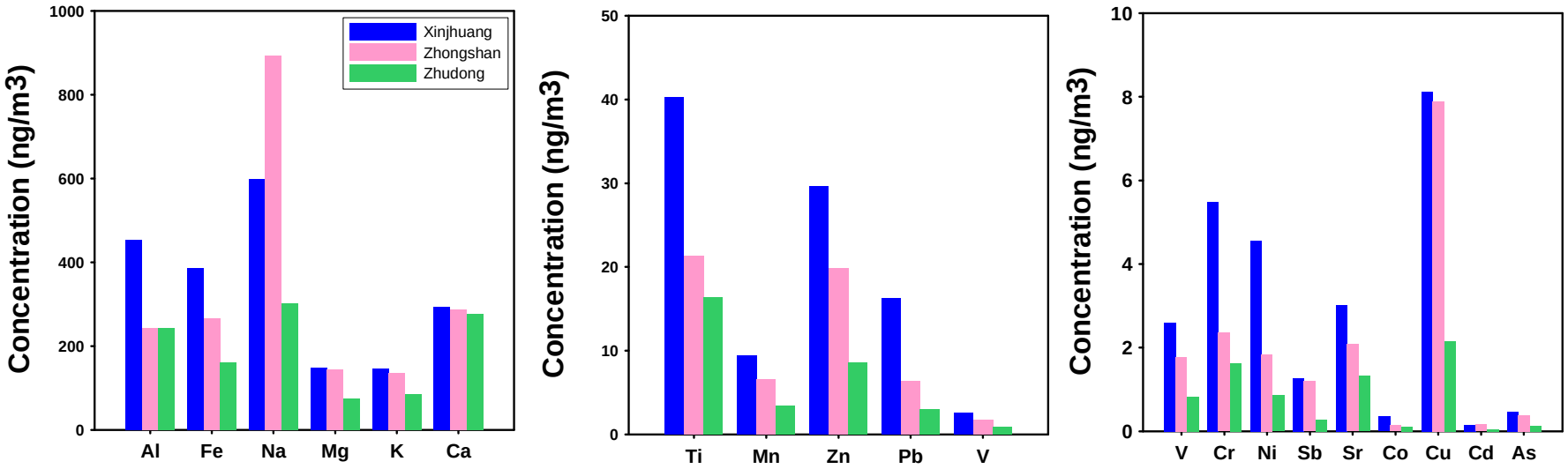


圖 7-60 新莊、中山及竹東測站 Dichot 標本 $PM_{2.5\text{-}10}$ 元素濃度之比較。

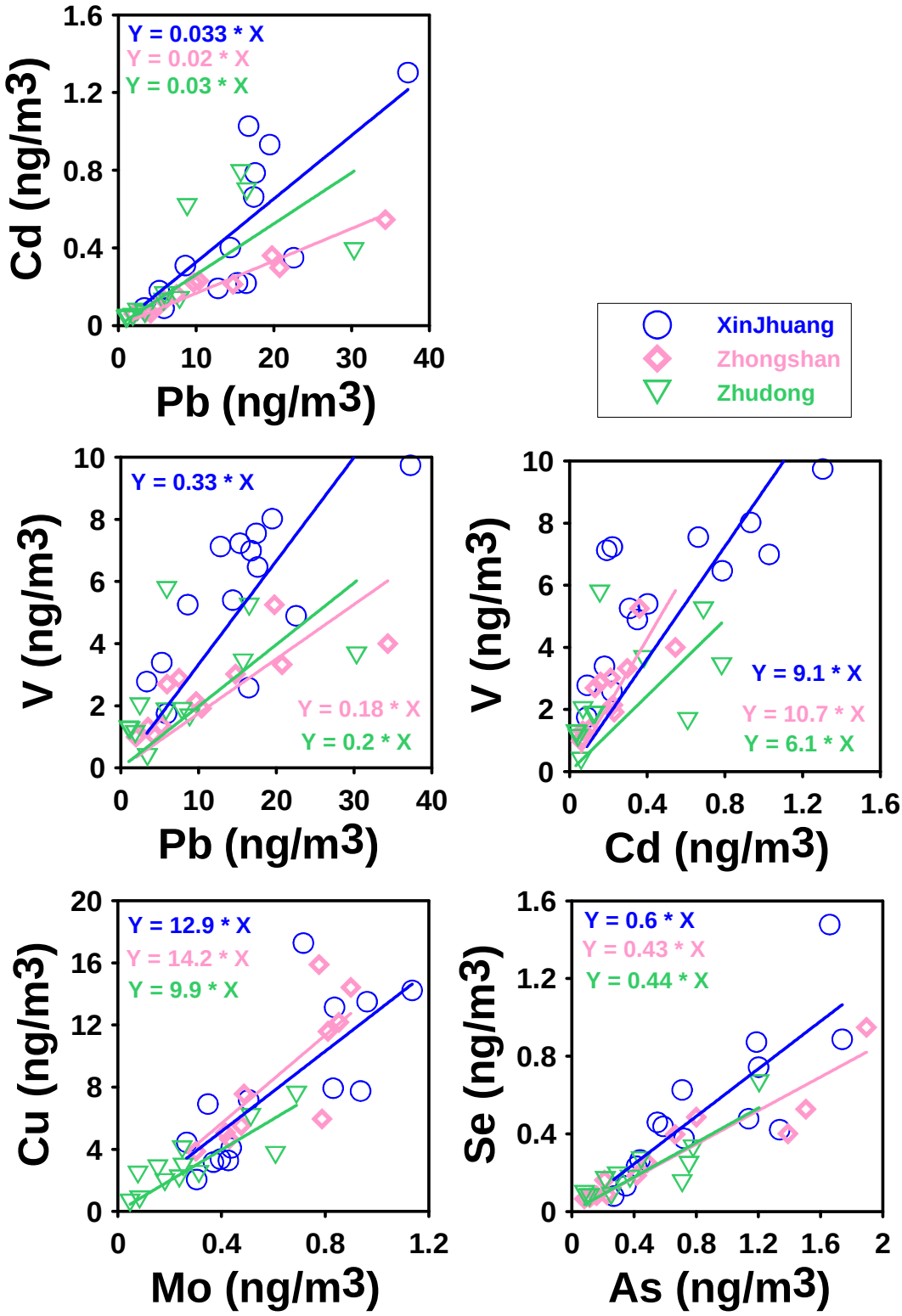


圖 7-61 三測站 Dichot $PM_{2.5}$ 樣本中元素間之關係

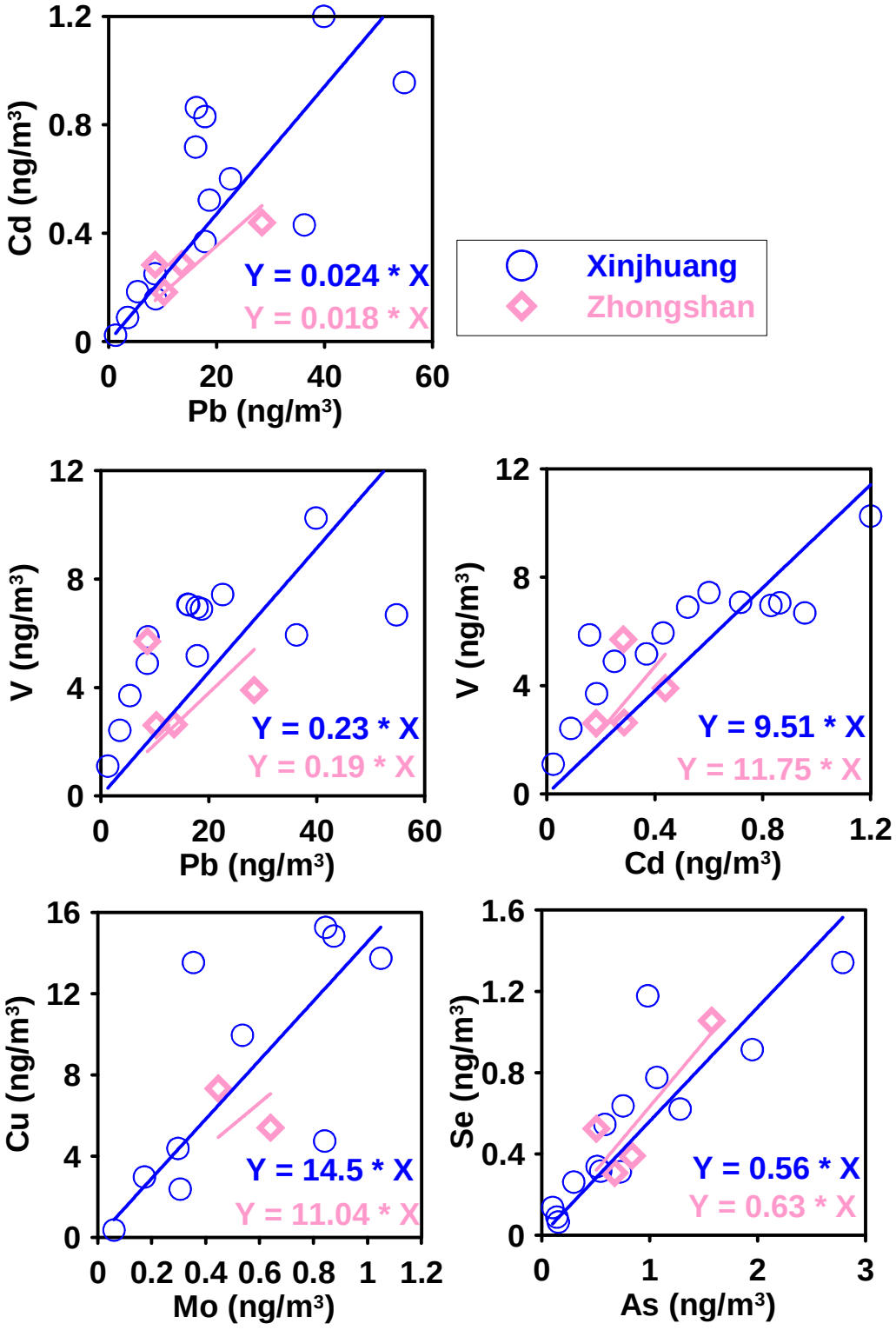


圖 7-61 三測站 MOUDI $PM_{2.5}$ 樣本中元素間之關係

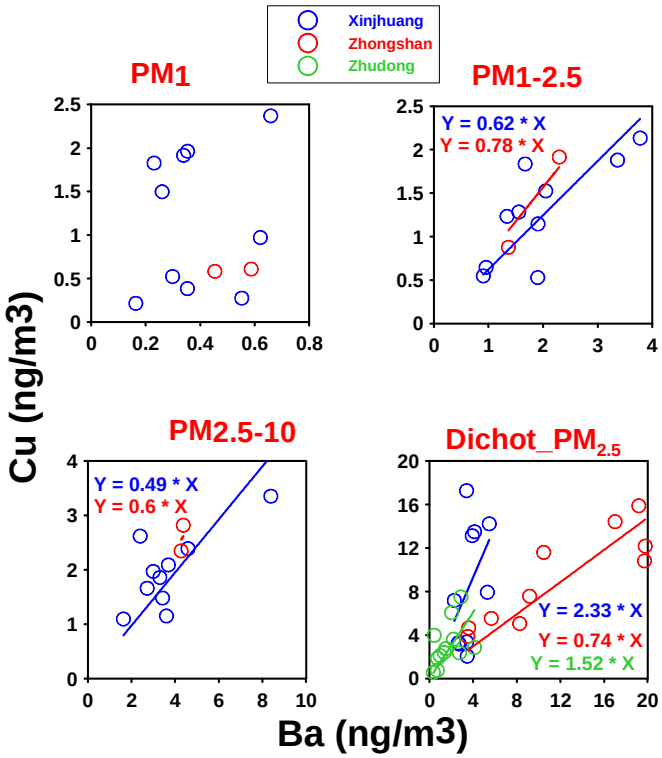


圖 7-62 三測站間 Cu 與 Ba 的關係，MOUDI(分為 PM_1、$PM_{1\text{-}2.5}$、$PM_{2.5\text{-}10}$)與 Dichot $PM_{2.5}$

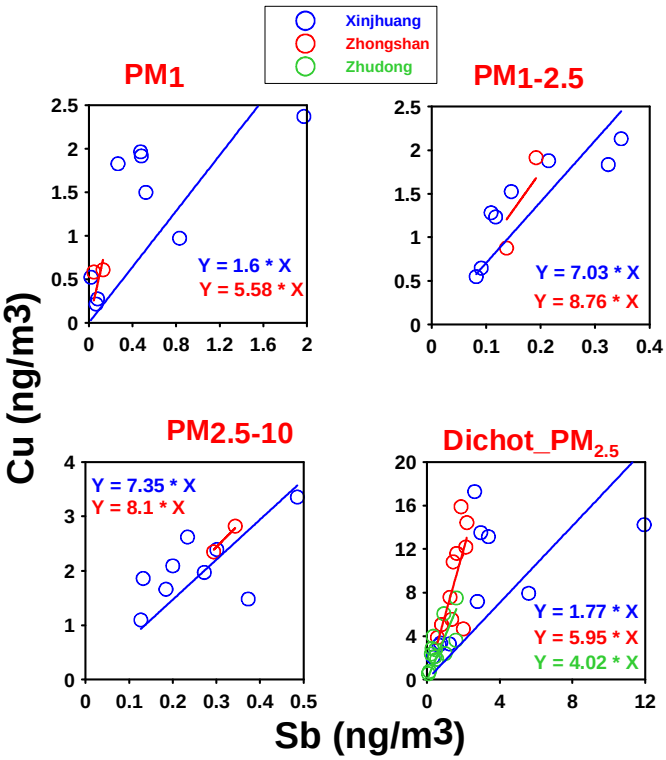


圖 7-63 三測站間 Cu 與 Sb 的關係

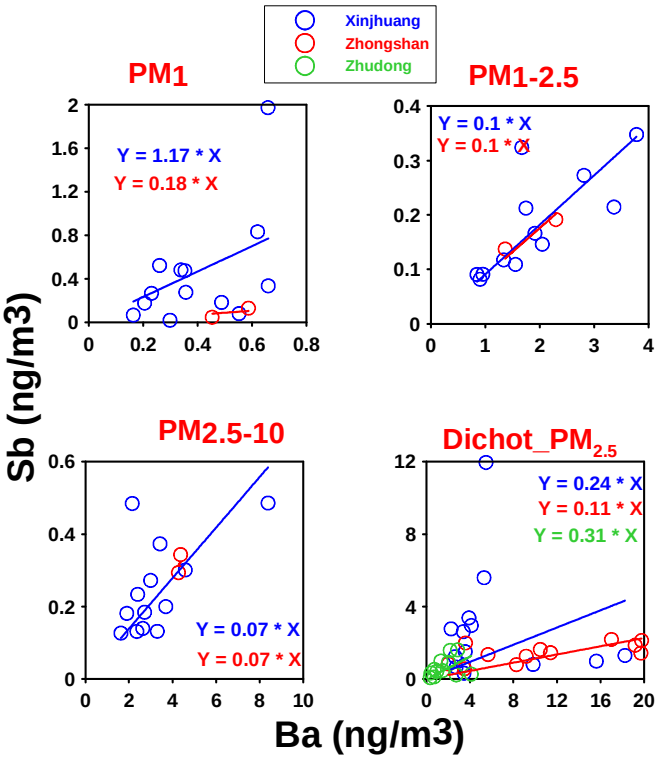


圖 7-64 三測站間 Sb 與 Ba 的關係

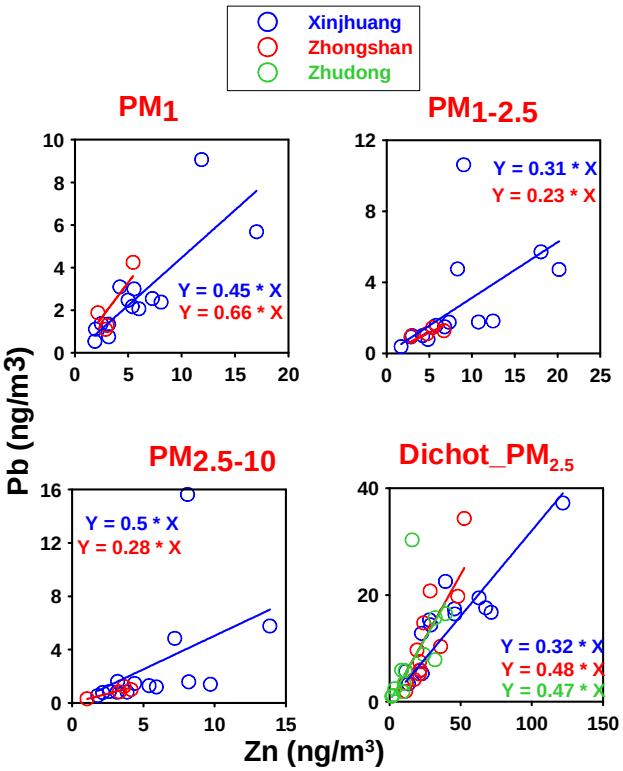


圖 7-65 三測站間 V 與 Ni 的關係

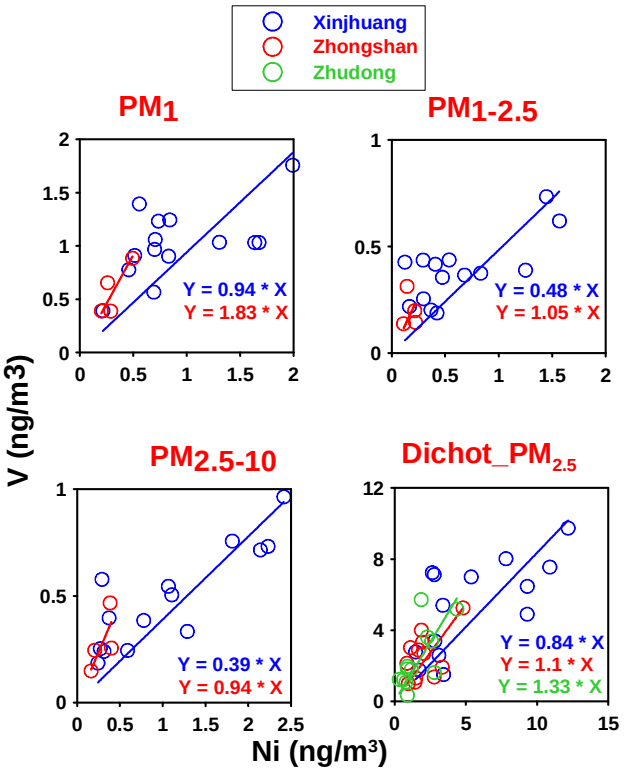


圖 7-66 三測站間 Pb 與 Zn 的關係

附錄六　新莊、中山與竹東測站各次採樣的微粒化學組成

表 7-7 新莊測站各次採樣 PM_{10} 微粒的化學組成

PM_{10}		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
新莊(1)	M3	9.29	13.32	--	--	22.61
2011/05/03	D1	14.69	13.60	--	--	28.28
新莊(2)	M3	18.23	5.85	--	--	24.09
2011/05/04	D1	15.77	8.57	--	--	24.34
新莊(3)	M3	10.59	5.21	--	--	15.80
2011/05/08	D1	18.78	6.48	--	--	25.26
新莊(4)	M3	9.60	8.72	--	--	18.32
2011/05/09	D1	13.90	9.03	--	--	22.93
新莊(5)	M3	25.06	9.95	--	--	35.01
2011/06/07	D1	25.00	13.44	--	--	38.44
新莊(6)	M3	17.34	8.06	--	--	25.39
2011/06/08	D1	29.81	9.09	--	--	38.90
新莊(7)	M3	13.66	7.33	--	--	20.99
2011/07/07	D1	16.10	9.03	--	--	25.13
新莊(8)	M3	10.60	7.57	--	--	18.18
2011/07/08	D1	22.36	9.98	--	--	32.34
新莊(9)	M3	34.78	8.12	--	--	42.90
2011/07/31	D1	42.91	6.30	--	--	49.21
新莊(10)	M3	46.41	6.16	--	--	52.57
2011/08/01	D1	40.82	6.34	--	--	47.16
新莊(11)	M3	27.65	7.94	--	--	35.59
2011/09/05	D1	32.03	10.33	--	--	42.36
新莊(12)	M3	24.30	6.54	--	--	30.84
2011/09/06	D1	40.68	9.38	--	--	50.06
新莊(13)	M3	64.53	8.67	--	--	73.20
2011/10/05	D1	61.93	12.04	--	--	73.97
新莊(14)	M3	68.48	10.06	--	--	78.54
2011/10/06	D1	64.89	12.30	--	--	77.18

表 7-8 新莊測站各次採樣 $PM_{2.5}$ 微粒的化學組成

$PM_{2.5}$		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
新莊(1)	M3	6.74	10.96	--	--	17.69
2011/05/03	D1	10.71	22.76	--	--	33.47
新莊(2)	M3	17.79	3.23	--	--	21.02
2011/05/04	D1	10.54	9.23	--	--	19.77
新莊(3)	M3	8.69	3.22	--	--	11.91
2011/05/08	D1	18.79	6.33	--	--	25.12
新莊(4)	M3	6.23	5.46	--	--	11.70
2011/05/09	D1	10.76	8.90	--	--	19.66
新莊(5)	M3	27.05	6.89	--	--	33.94
2011/06/07	D1	34.36	14.09	--	--	48.45
新莊(6)	M3	13.78	6.01	--	--	19.78
2011/06/08	D1	22.82	10.29	--	--	33.11
新莊(7)	M3	34.11	5.34	40.85	6.62	86.92
2011/07/07	D1	34.85	11.55	--	--	46.39
新莊(8)	M3	29.40	5.12	40.90	5.61	81.04
2011/07/08	D1	34.44	11.16	--	--	45.60
新莊(9)	M3	35.40	5.87	--	--	41.27
2011/07/31	D1	42.07	2.63	--	--	44.70
新莊(10)	M3	50.25	3.32	38.05	6.06	97.69
2011/08/01	D1	38.14	2.17	--	--	40.31
新莊(11)	M3	21.54	5.89	30.07	6.30	63.81
2011/09/05	D1	30.83	17.16	--	--	47.99
新莊(12)	M3	20.22	4.94	25.55	5.57	56.28
2011/09/06	D1	34.61	11.96	--	--	46.58
新莊(13)	M3	52.84	3.16	39.93	8.74	104.67
2011/10/05	D1	44.75	4.46	--	--	49.22
新莊(14)	M3	68.10	4.98	28.25	8.87	110.19
2011/10/06	D1	67.27	6.30	--	--	73.57

表 7-9 新莊測站各次採樣 $PM_{0.1}$ 微粒的化學組成

$PM_{0.1}$		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
新莊(1)	M1	11.08	1.17	--	--	12.26
2011/05/03	M3	4.94	1.89	--	--	6.82
新莊(2)	M1	14.34	0.35	--	--	14.69
2011/05/04	M3	7.54	0.47	--	--	8.01
新莊(3)	M1	23.07	1.03	--	--	24.11
2011/05/08	M3	6.35	1.44	--	--	7.80
新莊(4)	M1	34.18	2.42	--	--	36.60
2011/05/09	M3	11.44	1.60	--	--	13.05
新莊(5)	M1	38.01	1.61	--	--	39.61
2011/06/07	M3	53.67	3.85	--	--	57.53
新莊(6)	M1	24.81	2.74	--	--	27.55
2011/06/08	M3	32.57	10.75	--	--	43.32
新莊(7)	M1	36.54	1.30	--	--	37.84
2011/07/07	M3	26.04	7.89	--	--	33.93
新莊(8)	M1	25.62	0.96	--	--	26.58
2011/07/08	M3	15.39	1.90	--	--	17.29
新莊(9)	M1	17.87	32.27	--	--	50.14
2011/07/31	M3	13.66	3.48	--	--	17.14
新莊(10)	M1	25.88	1.63	--	--	27.52
2011/08/01	M3	13.48	2.66	--	--	16.14
新莊(11)	M1	19.93	5.25	--	--	25.19
2011/09/05	M3	24.20	4.72	--	--	28.92
新莊(12)	M1	26.21	0.85	--	--	27.06
2011/09/06	M3	16.88	2.08	--	--	18.96
新莊(13)	M1	16.02	2.35	--	--	18.37
2011/10/05	M3	20.74	2.71	--	--	23.44
新莊(14)	M1	25.79	1.16	--	--	26.95
2011/10/06	M3	15.53	2.40	--	--	17.93

表 7-10 中山測站各次採樣 PM_{10} 微粒的化學組成

PM_{10}		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
中山(1) 2011/05/14	D1	31.19	5.38	--	--	36.57
中山(2) 2011/05/15	D1	27.70	11.13	--	--	38.82
中山(3) 2011/06/13	D1	26.48	5.75	--	--	32.23
中山(4) 2011/06/14	D1	38.83	10.82	--	--	49.64
中山(5) 2011/07/13	D1	20.98	6.71	--	--	27.69
中山(6) 2011/07/14	D1	19.24	7.88	--	--	27.13
中山(7) 2011/08/06	D1	44.66	14.47	--	--	59.13
中山(8) 2011/08/08	D1	20.08	6.98	--	--	27.06
中山(9)	M3	47.11	5.79	--	--	52.90
2011/09/17	D1	46.44	7.44	--	--	53.88
中山(10)	M3	37.16	13.66	--	--	50.83
2011/09/18	D1	51.37	11.51	--	--	62.88
中山(11)	M3	45.66	9.20	--	--	54.87
2011/10/18	D1	48.43	13.29	--	--	61.72
中山(12)	M3	58.12	19.56	--	--	77.67
2011/10/19	D1	60.62	17.86	--	--	78.48

表 7-11 中山測站各次採樣 $PM_{2.5}$ 微粒的化學組成

$PM_{2.5}$		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
中山(1) 2011/05/14	D1	35.36	3.07	--	--	38.43
中山(2) 2011/05/15	D1	24.48	6.16	--	--	30.64
中山(3) 2011/06/13	D1	28.59	2.15	--	--	30.73
中山(4) 2011/06/14	D1	32.63	3.54	--	--	36.17
中山(5) 2011/07/13	D1	20.10	8.46	--	--	28.56
中山(6) 2011/07/14	D1	17.32	11.99	--	--	29.31
中山(7) 2011/08/06	D1	36.37	21.35	--	--	57.72
中山(8) 2011/08/08	D1	15.76	9.57	--	--	25.34
中山(9)	M3	47.85	4.42	--	--	52.28
2011/09/17	D1	46.83	10.60	--	--	57.43
中山(10)	M3	35.14	6.90	--	--	42.04
2011/09/18	D1	45.55	20.26	--	--	65.82
中山(11)	M3	36.00	4.59	--	--	40.59
2011/10/18	D1	40.86	19.74	--	--	60.60
中山(12)	M3	49.00	9.48	--	--	58.49
2011/10/19	D1	45.28	7.61	--	--	52.89

表 7-12 中山測站各次採樣 $PM_{0.1}$ 微粒的化學組成

$PM_{0.1}$		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
中山(1) 2011/05/14	M3	18.39	2.47	--	--	20.86
中山(2)	M1	23.35	2.71	--	--	26.06
2011/05/15	M3	29.13	1.70	--	--	30.84
中山(3)	M1	13.00	1.89	--	--	14.89
2011/06/13	M3	13.64	4.53	--	--	18.17
中山(4)	M1	33.10	2.82	--	--	35.92
2011/06/14	M3	13.94	0.95	--	--	14.89
中山(5)	M1	9.86	2.84	--	--	12.71
2011/07/13	M3	15.37	0.74	--	--	16.11
中山(6)	M1	15.74	1.97	--	--	17.71
2011/07/14	M3	14.78	2.02	--	--	16.80
中山(7)	M1	14.42	4.02	--	--	18.45
2011/08/06	M3	32.06	2.54	--	--	34.61
中山(8)	M1	8.97	2.46	--	--	11.43
2011/08/08	M3	13.23	3.84	--	--	17.07
中山(9)	M1	11.00	1.84	--	--	12.84
2011/09/17	M3	21.69	4.10	--	--	25.79
中山(10)	M1	19.28	8.61	--	--	27.89
2011/09/18	M3	29.18	4.06	--	--	33.24
中山(11)	M1	29.89	4.30	--	--	34.19
2011/10/18	M3	8.99	1.30	--	--	10.29
中山(12)	M1	30.53	5.00	--	--	35.53
2011/10/19	M3	13.03	3.44	--	--	16.48

表 7-13 竹東測站各次採樣 PM_{10} 微粒的化學組成

PM_{10}		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
竹東(1) 2011/05/27	D1	42.47	8.62	--	--	51.10
竹東(2) 2011/05/28	D1	64.98	17.78	--	--	82.76
竹東(3) 2011/06/24	D1	35.42	20.64	--	--	56.06
竹東(4) 2011/06/25	D1	35.58	6.66	--	--	42.24
竹東(5) 2011/07/25	D1	48.38	7.36	--	--	55.74
竹東(6) 2011/07/26	D1	26.20	7.08	--	--	33.28
竹東(7) 2011/09/27	D1	46.31	11.28	--	--	57.58
竹東(8) 2011/09/28	D1	51.21	10.95	--	--	62.16
竹東(9) 2011/10/24	D1	41.49	2.34	--	--	43.83
竹東(10) 2011/10/25	D1	54.46	5.45	--	--	59.91
竹東(11) 2011/10/28	D1	36.88	4.89	--	--	41.77
竹東(12) 2011/10/29	D1	43.36	4.37	--	--	47.74

表 7-14 竹東測站各次採樣 $PM_{2.5}$ 微粒的化學組成

$PM_{2.5}$		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
竹東(1) 2011/05/27	D1	41.36	3.18	--	--	44.54
竹東(2) 2011/05/28	D1	73.94	8.62	--	--	82.56
竹東(3) 2011/06/24	D1	43.38	13.61	--	--	56.99
竹東(4) 2011/06/25	D1	40.37	8.73	--	--	49.10
竹東(5) 2011/07/25	D1	41.55	7.77	--	--	49.32
竹東(6) 2011/07/26	D1	26.29	2.61	--	--	28.90
竹東(7) 2011/09/27	D1	40.66	5.80	--	--	46.46
竹東(8) 2011/09/28	D1	54.93	6.20	--	--	61.13
竹東(9) 2011/10/24	D1	42.66	3.08	--	--	45.74
竹東(10) 2011/10/25	D1	76.36	8.59	--	--	84.95
竹東(11) 2011/10/28	D1	43.84	3.98	--	--	47.82
竹東(12) 2011/10/29	D1	46.87	3.90	--	--	50.77

表 7-15 竹東測站各次採樣 $PM_{0.1}$ 微粒的化學組成

$PM_{0.1}$		Ion (%)	Element (%)	OM (%)	EC (%)	Total (%)
竹東(1)	M1	61.02	22.46	--	--	83.48
2011/05/27	M3	79.59	5.89	--	--	85.48
竹東(2)	M1	65.29	2.10	--	--	67.39
2011/05/28	M3	79.76	2.01	--	--	81.77
竹東(3) 2011/06/24	M1	39.99	8.05	--	--	48.04
竹東(4) 2011/6/25	M1	22.83	2.98	--	--	25.81
竹東(5)	M1	8.05	1.03	--	--	9.08
2011/07/25	M3	13.38	1.45	--	--	14.83
竹東(6)	M1	7.99	6.30	--	--	14.29
2011/07/26	M3	19.54	3.61	--	--	23.15
竹東(7) 2011/09/27	M1	28.10	4.73	--	--	32.84
竹東(8) 2011/09/28	M1	26.16	9.96	--	--	36.12
竹東(9) 2011/10/24	M1	23.20	9.04	--	--	32.24
竹東(10) 2011/10/25	M1	22.60	9.61	--	--	32.20
竹東(11) 2011/10/28	M1	39.37	16.76	--	--	56.13
竹東(12) 2011/10/29	M1	13.42	6.93	--	--	20.34

附錄七 各次採樣秤重記錄

表 7-16 各次採樣 MOUDI 各階秤重記錄

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積 (m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度 (ug/m^3)	濾紙分割比例
2011/05/03-05/04 新莊	1000503M1A0	PM>18	平均溫度 22.0℃ 平均溼度 77.9% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000503 17:00 ~ 1000504 17:00	24hr	43.6	230	5.27	
	1000503M1A1	PM10-18		24hr	43.6	69	1.58	
	1000503M1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	112	2.57	
	1000503M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	527	12.08	
	1000503M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	218	5.00	
	1000503M1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	195	4.47	
	1000503M1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	83	1.90	
	1000503M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	90	2.06	
	1000503M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	36	0.82	
	1000503M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	26	0.60	
	1000503M1TA	PM0.1		24hr	43.6	29	0.66	47.79
	1000503M3A0	PM>18		24hr	43.6	110	2.52	
	1000503M3A1	PM10-18		24hr	43.6	60	1.37	
	1000503M3T2	PM5.6-10		24hr	43.6	97	2.22	49.08
	1000503M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	460	10.54	53.18
	1000503M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	181	4.15	49.54
	1000503M3T5	PM1-1.8		24hr	43.6	188	4.31	50.49
	1000503M3T6	PM0.56-1		24hr	43.6	92	2.11	52.42
	1000503M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	83	1.90	51.56
	1000503M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	39	0.89	46.48
	1000503M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	23	0.53	51.22
	1000503M3TA	PM0.1		24hr	43.6	28	0.64	53.98
	1000503D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	525	20.27	46.92
	1000503D1TF	PM2.5		24hr	24.3	294	13.45	51.02
	1000503FieldT1	現場空白						49.57
	1000503FieldT2	現場空白						50.71
2011/05/04-05/05 新莊	1000504M1A0	PM>18	平均溫度 22.0℃ 平均溼度 86.0% 平均大氣壓力 1 atm	2hr	3.6	72	19.80	
	1000504M1A1	PM10-18		2hr	3.6	7	1.92	
	1000504M1A2	PM5.6-10		2hr	3.6	10	2.75	
	1000504M1A3	PM2.5-5.6		2hr	3.6	13	3.57	
	1000504M1A4	PM1.8-2.5		2hr	3.6	5	1.37	
	1000504M1A5	PM1-1.8		2hr	3.6	15	4.12	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000504M1A6	PM0.56-1	採樣時間：1000504 17:00 ~ 1000505 17:00 M1 採樣途中 pump 停止，約只採 2hr	2hr	3.6	14	3.85	
	1000504M1A7	PM0.32-0.56		2hr	3.6	13	3.57	
	1000504M1A8	PM0.18-0.32		2hr	3.6	2	0.55	
	1000504M1A9	PM0.1-0.18		2hr	3.6	15	4.12	
	1000504M3TA	PM0.1		2hr	3.6	1	0.27	49.82
	1000504M3A0	PM>18		24hr	43.6	120	2.75	
	1000504M3A1	PM10-18		24hr	43.6	67	1.54	
	1000504M3T2	PM5.6-10		24hr	43.6	68	1.56	52.80
	1000504M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	140	3.21	53.76
	1000504M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	39	0.89	48.45
	1000504M3T5	PM1-1.8		24hr	43.6	199	4.56	45.57
	1000504M3T6	PM0.56-1		24hr	43.6	145	3.32	51.19
	1000504M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	95	2.18	49.30
	1000504M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	62	1.42	51.19
	1000504M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	27	0.62	50.73
	1000504M3TA	PM0.1		24hr	43.6	29	0.66	51.14
	1000504D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	269	9.53	48.25
	1000504D1TF	PM2.5		24hr	24.3	338	15.46	50.78
	1000504FieldT1	現場空白						48.15
	1000504FieldT2	現場空白						50.19
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
2011/05/08-05/09 新莊	1000508M1A0	PM>18	平均溫度 29.0℃ 平均溼度 62.9% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000508 16:00 ~ 1000509 16:00	24hr	42.6	282	6.62	
	1000508M1A1	PM10-18		24hr	42.6	122	2.86	
	1000508M1A2	PM5.6-10		24hr	42.6	197	4.62	
	1000508M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	289	6.78	
	1000508M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	83	1.95	
	1000508M1A5	PM1-1.8		24hr	42.6	166	3.89	
	1000508M1A6	PM0.56-1		24hr	42.6	308	7.23	
	1000508M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	360	8.45	
	1000508M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	213	5.00	
	1000508M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	97	2.28	
	1000508M1TA	PM0.1		24hr	42.6	67	1.57	48.13
	1000508M3A0	PM>18		24hr	42.6	232	5.44	
	1000508M3A1	PM10-18		24hr	42.6	118	2.77	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積 (m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度 (ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000508M3T2	PM5.6-10		24hr	42.6	147	3.45	52.37
	1000508M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	255	5.98	51.91
	1000508M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	78	1.83	49.82
	1000508M3T5	PM1-1.8		24hr	42.6	200	4.69	51.43
	1000508M3T6	PM0.56-1		24hr	42.6	280	6.57	50.00
	1000508M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	345	8.09	49.16
	1000508M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	182	4.27	50.92
	1000508M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	101	2.37	49.98
	1000508M3TA	PM0.1		24hr	42.6	64	1.50	46.75
	1000508D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	399	13.90	52.87
	1000508D1TF	PM2.5		24hr	23.7	623	29.17	48.34
	1000508FieldT1	現場空白						49.04
	1000508FieldT2	現場空白						49.52
2011/05/09-05/10 新莊	1000509M1A0	PM>18	平均溫度 29.6℃ 平均溼度 62.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000509 17:00 ~ 1000510 17:00	24hr	42.5	291	6.84	
	1000509M1A1	PM10-18		24hr	42.5	152	3.57	
	1000509M1A2	PM5.6-10		24hr	42.5	243	5.71	
	1000509M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.5	349	8.20	
	1000509M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.5	99	2.33	
	1000509M1A5	PM1-1.8		24hr	42.5	169	3.97	
	1000509M1A6	PM0.56-1		24hr	42.5	276	6.49	
	1000509M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.5	364	8.56	
	1000509M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.5	259	6.09	
	1000509M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.5	108	2.54	
	1000509M3TA	PM0.1		24hr	42.5	84	1.97	49.20
	1000509M3A0	PM>18		24hr	42.5	343	8.06	
	1000509M3A1	PM10-18		24hr	42.5	197	4.63	
	1000509M3T2	PM5.6-10		24hr	42.5	170	4.00	49.12
	1000509M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.5	325	7.64	49.09
	1000509M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.5	105	2.47	48.67
	1000509M3T5	PM1-1.8		24hr	42.5	193	4.54	49.06
	1000509M3T6	PM0.56-1		24hr	42.5	293	6.89	50.78
	1000509M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.5	407	9.57	50.87
	1000509M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.5	249	5.85	50.49
	1000509M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.5	96	2.26	51.40
	1000509M3TA	PM0.1		24hr	42.5	61	1.43	49.01

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000509D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	513	18.48	49.33
	1000509D1TF	PM2.5		24hr	23.7	679	31.86	49.25
	1000509FieldT1	現場空白						52.11
	1000509FieldT2	現場空白						51.32
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
2011/05/14-05/15 中山	1000514M1A0	PM>18	平均溫度 22.3℃ 平均溼度 88.3% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000514 16:00 ~ 1000515 16:00	24hr	43.6	38	0.87	
	1000514M1A1	PM10-18		24hr	43.6	25	0.57	
	1000514M1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	66	1.51	
	1000514M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	257	5.90	
	1000514M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	107	2.45	
	1000514M1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	322	7.39	
	1000514M1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	380	8.72	
	1000514M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	343	7.87	
	1000514M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	124	2.84	
	1000514M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	71	1.63	
	1000514M1A10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	23	0.53	
	1000514M1TA	PM0.056		24hr	43.6		0.00	
	1000514N1A0	PM>18		24hr	43.6	33	0.76	
	1000514N1A1	PM10-18		24hr	43.6	25	0.57	
	1000514N1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	69	1.58	
	1000514N1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	262	6.01	
	1000514N1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	109	2.50	
	1000514N1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	303	6.95	
	1000514N1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	399	9.15	
	1000514N1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	159	3.65	
	1000514N1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	199	4.56	
	1000514N1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	134	3.07	
	1000514N1A10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	27	0.62	
	1000514N1TA	PM0.056		24hr	43.6	16	0.37	50.12
	1000514D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	301	9.18	48.08
	1000514D1TF	PM2.5		24hr	24.3	703	32.19	49.56
	1000514FieldT1	現場空白						50.83
	1000514FieldT2	現場空白						48.87
2011/05/15-	1000515M1A0	PM>18	平均溫度	24hr	43.6	31	0.71	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
05/16 中山	1000515M1A1	PM10-18	22.4℃ 平均溼度 91.1% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000515 17:00 ~ 1000516 17:00	24hr	43.6	37	0.85	
	1000515M1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	61	1.40	
	1000515M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	116	2.66	
	1000515M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	40	0.92	
	1000515M1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	84	1.93	
	1000515M1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	107	2.46	
	1000515M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	90	2.07	
	1000515M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	61	1.40	
	1000515M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	51	1.17	
	1000515M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	34	0.78	48.20
	1000515M3TA	PM0.056		24hr	43.6	13	0.30	49.79
	1000515N1A0	PM>18		24hr	43.6	39	0.89	
	1000515N1A1	PM10-18		24hr	43.6	33	0.76	
	1000515N1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	70	1.61	
	1000515N1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	123	2.82	
	1000515N1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	44	1.01	
	1000515N1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	76	1.74	
	1000515N1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	107	2.46	
	1000515N1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	41	0.94	
	1000515N1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	79	1.81	
	1000515N1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	71	1.63	
	1000515N1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	39	0.89	50.03
	1000515N1TA	PM0.056		24hr	43.6	16	0.37	50.63
	1000515D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	139	4.80	50.85
	1000515D1TF	PM2.5		24hr	24.3	202	9.25	48.71
	1000515FieldT1	現場空白						51.08
	1000515FieldT2	現場空白						48.71
2011/05/27-05/28 竹東	1000527M1A0	PM>18	平均溫度 23.0℃ 平均溼度 85.1% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000527 16:00 ~	24hr	43.5	90	2.07	
	1000527M1A1	PM10-18		24hr	43.5	40	0.92	
	1000527M1A2	PM5.6-10		24hr	43.5	60	1.38	
	1000527M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.5	71	1.63	
	1000527M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.5	20	0.46	
	1000527M1A5	PM1-1.8		24hr	43.5	34	0.78	
	1000527M1A6	PM0.56-1		24hr	43.5	95	2.18	
	1000527M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.5	106	2.44	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000527M1A8	PM0.18-0.32	1000528 16:00	24hr	43.5	46	1.06	
	1000527M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.5	20	0.46	
	1000527M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.5	5	0.11	50.28
	1000527M1TA	PM0.056		24hr	43.5	4	0.09	51.61
	1000527N1A0	PM>18		24hr	43.6	79	1.81	
	1000527N1A1	PM10-18		24hr	43.6	44	1.01	
	1000527N1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	55	1.26	
	1000527N1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	67	1.54	
	1000527N1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	18	0.41	
	1000527N1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	31	0.71	
	1000527N1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	95	2.18	
	1000527N1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	55	1.26	
	1000527N1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	75	1.72	
	1000527N1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	37	0.85	
	1000527N1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	4	0.09	51.25
	1000527N1TA	PM0.056		24hr	43.6	3	0.07	50.34
	1000527D1TC	PM2.5-10		24hr	24.2	130	4.74	50.01
	1000527D1TF	PM2.5		24hr	24.2	138	6.33	52.26
	1000527FieldT1	現場空白						50.36
	1000527FieldT2	現場空白						50.67
2011/05/28-05/29 竹東	1000528M1A0	PM>18	平均溫度 22.3℃ 平均溼度 72.5% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000528 17:00 ~ 1000529 17:00	24hr	43.6	159	3.65	
	1000528M1A1	PM10-18		24hr	43.6	140	3.21	
	1000528M1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	151	3.46	
	1000528M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	241	5.53	
	1000528M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	52	1.19	
	1000528M1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	76	1.74	
	1000528M1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	134	3.07	
	1000528M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	123	2.82	
	1000528M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	61	1.40	
	1000528M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	19	0.44	
	1000528M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	12	0.28	51.45
	1000528M3TA	PM0.056		24hr	43.6	8	0.18	49.70
	1000528N1A0	PM>18		24hr	43.6	172	3.95	
	1000528N1A1	PM10-18		24hr	43.6	142	3.26	
	1000528N1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	152	3.49	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000528N1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	234	5.37	
	1000528N1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	48	1.10	
	1000528N1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	81	1.86	
	1000528N1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	135	3.10	
	1000528N1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	54	1.24	
	1000528N1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	102	2.34	
	1000528N1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	36	0.83	
	1000528N1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	12	0.28	50.22
	1000528N1TA	PM0.056		24hr	43.6	9	0.21	49.90
	1000528D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	501	18.55	49.38
	1000528D1TF	PM2.5		24hr	24.3	457	20.92	48.27
	1000528FieldT1	現場空白						49.47
	1000528FieldT2	現場空白						51.02
2011/06/07-06/08 新莊	1000607M1A0	PM>18	平均溫度 22.0℃ 平均溼度 77.9% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000607 16:00 ~ 1000608 16:00	24hr	43.6	234	5.36	
	1000607M1A1	PM10-18		24hr	43.6	112	2.57	
	1000607M1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	138	3.16	
	1000607M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	206	4.72	
	1000607M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	64	1.47	
	1000607M1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	79	1.81	
	1000607M1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	80	1.83	
	1000607M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	129	2.96	
	1000607M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	98	2.25	
	1000607M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	59	1.35	
	1000607M1TA	PM0.1		24hr	43.6	80	1.83	51.83
	1000607M3A0	PM>18		24hr	43.6	233	5.34	
	1000607M3A1	PM10-18		24hr	43.6	110	2.52	
	1000607M3T2	PM5.6-10		24hr	43.6	109	2.50	49.77
	1000607M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	188	4.31	50.66
	1000607M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	62	1.42	51.84
	1000607M3T5	PM1-1.8		24hr	43.6	74	1.70	48.43
	1000607M3T6	PM0.56-1		24hr	43.6	86	1.97	52.28
	1000607M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	116	2.66	50.85
	1000607M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	91	2.09	47.98
	1000607M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	75	1.72	52.32
	1000607M3TA	PM0.1		24hr	43.6	51	1.17	51.51

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000607D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	446	16.36	47.43
	1000607D1TF	PM2.5		24hr	24.3	438	20.03	47.89
	1000607FieldT1	現場空白						48.48
	1000607FieldT2	現場空白						47.80
2011/06/08-06/09 新莊	1000608M1A0	PM>18	平均溫度22.0℃ 平均溼度86.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000608 17:00 ~ 1000609 17:00	24hr	43.6	252	5.77	
	1000608M1A1	PM10-18		24hr	43.6	102	2.34	
	1000608M1A2	PM5.6-10		24hr	43.6	146	3.35	
	1000608M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	219	5.02	
	1000608M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	61	1.40	
	1000608M1A5	PM1-1.8		24hr	43.6	83	1.90	
	1000608M1A6	PM0.56-1		24hr	43.6	145	3.32	
	1000608M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	189	4.33	
	1000608M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	135	3.09	
	1000608M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	88	2.02	
	1000608M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	56	1.28	49.35
	1000608M3TA	PM0.056		24hr	43.6	32	0.73	49.45
	1000608M3A0	PM>18		24hr	43.6	261	5.98	
	1000608M3A1	PM10-18		24hr	43.6	104	2.38	
	1000608M3T2	PM5.6-10		24hr	43.6	115	2.64	51.10
	1000608M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.6	209	4.79	50.91
	1000608M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.6	66	1.51	48.22
	1000608M3T5	PM1-1.8		24hr	43.6	91	2.09	49.84
	1000608M3T6	PM0.56-1		24hr	43.6	152	3.48	50.34
	1000608M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.6	168	3.85	48.11
	1000608M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.6	122	2.80	52.63
	1000608M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.6	110	2.52	46.32
	1000608M3T10	PM0.056-0.1		25hr	43.6	45	1.03	51.58
	1000608M3TA	PM0.056		24hr	43.6	22	0.50	49.84
	1000608D1TC	PM2.5-10		24hr	24.3	461	17.05	51.18
	1000608D1TF	PM2.5		24hr	24.3	422	19.30	51.96
	1000608FieldT1	現場空白						51.62
	1000608FieldT2	現場空白						48.32
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
	LabT3	實驗室空白						100.00

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
2011/06/13-06/14 中山	1000613M1A0	PM>18	平均溫度 29.9℃ 平均溼度 71.2% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000613 16:00 ~ 1000614 16:00	20hr	35.4	262	7.40	
	1000613M1A1	PM10-18		20hr	35.4	92	2.60	
	1000613M1A2	PM5.6-10		20hr	35.4	131	3.70	
	1000613M1A3	PM2.5-5.6		20hr	35.4	236	6.66	
	1000613M1A4	PM1.8-2.5		20hr	35.4	65	1.84	
	1000613M1A5	PM1-1.8		20hr	35.4	35	0.99	
	1000613M1A6	PM0.56-1		20hr	35.4	87	2.46	
	1000613M1A7	PM0.32-0.56		20hr	35.4	184	5.20	
	1000613M1A8	PM0.18-0.32		20hr	35.4	105	2.96	
	1000613M1A9	PM0.1-0.18		20hr	35.4	66	1.86	
	1000613M1A10	PM0.056-0.1		20hr	35.4	49	1.38	49.00
	1000613M1TA	PM0.056		20hr	35.4	19	0.54	49.91
	1000613N1A0	PM>18		20hr	35.4	259	7.31	
	1000613N1A1	PM10-18		20hr	35.4	99	2.80	
	1000613N1A2	PM5.6-10		20hr	35.4	133	3.76	
	1000613N1A3	PM2.5-5.6		20hr	35.4	220	6.21	
	1000613N1A4	PM1.8-2.5		20hr	35.4	69	1.95	
	1000613N1A5	PM1-1.8		20hr	35.4	38	1.07	
	1000613N1A6	PM0.56-1		20hr	35.4	95	2.68	
	1000613N1A7	PM0.32-0.56		20hr	35.4	78	2.20	
	1000613N1A8	PM0.18-0.32		20hr	35.4	155	4.38	
	1000613N1A9	PM0.1-0.18		20hr	35.4	124	3.50	
	1000613N1A10	PM0.056-0.1		20hr	35.4	40	1.13	51.55
	1000613N1TA	PM0.056		20hr	35.4	15	0.42	48.78
	1000613D1TC	PM2.5-10		20hr	20.1	363	16.40	51.78
	1000613D1TF	PM2.5		20hr	20.1	304	16.83	51.77
	1000613FieldT1	現場空白						48.02
	1000613FieldT2	現場空白						48.53
2011/06/14-06/15 中山	1000614M1A0	PM>18	平均溫度 31.7℃ 平均溼度 63.2% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000614	24hr	42.3	295	6.98	
	1000614M1A1	PM10-18		24hr	42.3	131	3.10	
	1000614M1A2	PM5.6-10		24hr	42.3	178	4.21	
	1000614M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.3	255	6.04	
	1000614M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.3	54	1.28	
	1000614M1A5	PM1-1.8		24hr	42.3	66	1.56	
	1000614M1A6	PM0.56-1		24hr	42.3	113	2.67	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000614M1A7	PM0.32-0.56	17:00 ~ 1000516 17:00	24hr	42.3	208	4.92	
	1000614M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.3	125	2.96	
	1000614M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.3	84	1.99	
	1000614M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.3	36	0.85	50.98
	1000614M3TA	PM0.056		24hr	42.3	25	0.59	49.81
	1000614N1A0	PM>18		24hr	42.3	302	7.15	
	1000614N1A1	PM10-18		24hr	42.3	139	3.29	
	1000614N1A2	PM5.6-10		24hr	42.3	176	4.17	
	1000614N1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.3	242	5.73	
	1000614N1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.3	59	1.40	
	1000614N1A5	PM1-1.8		24hr	42.3	60	1.42	
	1000614N1A6	PM0.56-1		24hr	42.3	126	2.98	
	1000614N1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.3	83	1.96	
	1000614N1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.3	219	5.18	
	1000614N1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.3	154	3.64	
	1000614N1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.3	57	1.35	48.33
	1000614N1TA	PM0.056		24hr	42.3	29	0.69	49.01
	1000614D1TC	PM2.5-10		24hr	23.9	425	15.90	51.55
	1000614D1TF	PM2.5		24hr	23.9	398	18.47	52.81
	1000614FieldT1	現場空白						49.74
	1000614FieldT2	現場空白						47.94
2011/06/24-06/25 竹東	1000624M1A0	PM>18	平均溫度 26.4℃ 平均溼度 85.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000624 16:30 ~ 1000625 16:00	23.5hr	41.5	109	2.62	
	1000624M1A1	PM10-18		23.5hr	41.5	30	0.72	
	1000624M1A2	PM5.6-10		23.5hr	41.5	64	1.54	
	1000624M1A3	PM2.5-5.6		23.5hr	41.5	79	1.90	
	1000624M1A4	PM1.8-2.5		23.5hr	41.5	33	0.79	
	1000624M1A5	PM1-1.8		23.5hr	41.5	44	1.06	
	1000624M1A6	PM0.56-1		23.5hr	41.5	68	1.64	
	1000624M1A7	PM0.32-0.56		23.5hr	41.5	48	1.16	
	1000624M1A8	PM0.18-0.32		23.5hr	41.5	43	1.03	
	1000624M1A9	PM0.1-0.18		23.5hr	41.5	20	0.48	
	1000624M1T10	PM0.056-0.1		23.5hr	41.5	11	0.26	50.14
	1000624M1TA	PM0.056		23.5hr	41.5	7	0.17	50.06
	1000624D1TC	PM2.5-10		23.5hr	23.5	247	9.69	50.54
	1000624D1TF	PM2.5		23.5hr	23.5	170	8.02	52.40

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000624FieldT1	現場空白						51.69
	1000624FieldT2	現場空白						49.33
2011/06/25-06/26 竹東	1000625M1A0	PM>18	平均溫度 30.4℃ 平均溼度 64.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000625 17:00 ~ 1000626 17:00	23.5hr	41.5	103	2.48	
	1000625M1A1	PM10-18		23.5hr	41.5	54	1.30	
	1000625M1A2	PM5.6-10		23.5hr	41.5	84	2.02	
	1000625M1A3	PM2.5-5.6		23.5hr	41.5	197	4.74	
	1000625M1A4	PM1.8-2.5		23.5hr	41.5	51	1.23	
	1000625M1A5	PM1-1.8		23.5hr	41.5	96	2.31	
	1000625M1A6	PM0.56-1		23.5hr	41.5	81	1.95	
	1000625M1A7	PM0.32-0.56		23.5hr	41.5	120	2.89	
	1000625M1A8	PM0.18-0.32		23.5hr	41.5	85	2.05	
	1000625M1A9	PM0.1-0.18		23.5hr	41.5	34	0.82	
	1000625M1T10	PM0.056-0.1		23.5hr	41.5	22	0.53	53.21
	1000625M3TA	PM0.056		23.5hr	41.5	18	0.43	49.77
	1000625D1TC	PM2.5-10		23.5hr	23.5	293	11.10	50.68
	1000625D1TF	PM2.5		23.5hr	23.5	284	13.40	49.94
	1000625FieldT1	現場空白						51.03
	1000625FieldT2	現場空白						49.68
2011/07/07-07/08 新莊	1000707M1A0	PM>18	平均溫度 31.6℃ 平均溼度 62.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000707 16:00 ~ 1000708 16:00	24hr	42.3	316	7.48	
	1000707M1A1	PM10-18		24hr	42.3	170	4.02	
	1000707M1A2	PM5.6-10		24hr	42.3	244	5.77	
	1000707M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.3	339	8.02	
	1000707M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.3	93	2.20	
	1000707M1A5	PM1-1.8		24hr	42.3	138	3.27	
	1000707M1A6	PM0.56-1		24hr	42.3	241	5.70	
	1000707M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.3	297	7.03	
	1000707M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.3	185	4.38	
	1000707M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.3	104	2.46	
	1000707M1T10	PM0.056-0.1		24hr	42.3	53	1.25	51.69
	1000707M1TA	PM0.1		24hr	42.3	33	0.78	47.52
	1000707M3A0	PM>18		24hr	42.3	319	7.55	
	1000707M3A1	PM10-18		24hr	42.3	185	4.38	
	1000707M3T2	PM5.6-10		24hr	42.3	202	4.78	53.16
	1000707M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.3	305	7.22	50.05
	1000707M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.3	98	2.32	47.90

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000707M3T5	PM1-1.8		24hr	42.3	149	3.53	49.12
	1000707M3T6	PM0.56-1		24hr	42.3	217	5.13	48.13
	1000707M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.3	328	7.76	50.21
	1000707M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.3	174	4.12	49.55
	1000707M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.3	94	2.22	49.41
	1000707M3T10	PM0.056-0.1		24hr	42.3	47	1.11	48.55
	1000707M3TA	PM0.1		24hr	42.3	28	0.66	48.74
	1000707D1TC	PM2.5-10		24hr	23.9	630	22.69	50.66
	1000707D1TF	PM2.5		24hr	23.9	779	36.14	47.66
	1000707FieldT1	現場空白						49.11
	1000707FieldT2	現場空白						51.28
2011/07/08-07/09 新莊	1000708M1A0	PM>18	平均溫度 31.0℃ 平均溼度 63.8% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000708 17:00 ~ 1000709 17:00	24hr	42.3	172	4.06	
	1000708M1A1	PM10-18		24hr	42.3	151	3.57	
	1000708M1A2	PM5.6-10		24hr	42.3	204	4.82	
	1000708M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.3	312	7.37	
	1000708M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.3	78	1.84	
	1000708M1A5	PM1-1.8		24hr	42.3	108	2.55	
	1000708M1A6	PM0.56-1		24hr	42.3	182	4.30	
	1000708M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.3	269	6.35	
	1000708M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.3	196	4.63	
	1000708M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.3	86	2.03	
	1000708M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.3	55	1.30	49.31
	1000708M3TA	PM0.056		24hr	42.3	24	0.57	46.40
	1000708M3A0	PM>18		24hr	42.3	188	4.44	
	1000708M3A1	PM10-18		24hr	42.3	154	3.64	
	1000708M3T2	PM5.6-10		24hr	42.3	166	3.92	48.92
	1000708M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.3	273	6.45	47.67
	1000708M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.3	72	1.70	47.47
	1000708M3T5	PM1-1.8		24hr	42.3	104	2.46	50.84
	1000708M3T6	PM0.56-1		24hr	42.3	165	3.90	47.96
	1000708M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.3	283	6.68	48.25
	1000708M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.3	186	4.39	48.11
	1000708M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.3	96	2.27	49.91
	1000708M3T10	PM0.056-0.1		25hr	42.3	47	1.11	47.68
	1000708M3TA	PM0.056		24hr	42.3	17	0.40	50.41

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000708D1TC	PM2.5-10		24hr	24.0	635	23.85	43.87
	1000708D1TF	PM2.5		24hr	24.0	563	26.07	52.92
	1000708FieldT1	現場空白						48.18
	1000708FieldT2	現場空白						48.24
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
	LabT3	實驗室空白						100.00
2011/07/13-07/14 中山	1000713M1A0	PM>18	平均溫度 29.2℃ 平均溼度 77.1% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000713 16:00 ~ 1000714 16:00	23hr	43.6	359	8.23	
	1000713M1A1	PM10-18		23hr	43.6	197	4.52	
	1000713M1A2	PM5.6-10		23hr	43.6	247	5.67	
	1000713M1A3	PM2.5-5.6		23hr	42.6	288	6.76	
	1000713M1A4	PM1.8-2.5		23hr	42.6	73	1.71	
	1000713M1A5	PM1-1.8		23hr	42.6	87	2.04	
	1000713M1A6	PM0.56-1		23hr	42.6	179	4.20	
	1000713M1A7	PM0.32-0.56		23hr	42.6	166	3.90	
	1000713M1A8	PM0.18-0.32		23hr	42.6	155	3.64	
	1000713M1A9	PM0.1-0.18		23hr	42.6	170	3.99	
	1000713M1A10	PM0.056-0.1		23hr	42.6	52	1.22	52.55
	1000713M1TA	PM0.056		23hr	42.6	40	0.94	50.86
	1000713N1A0	PM>18		23hr	42.6	337	7.91	
	1000713N1A1	PM10-18		23hr	42.6	204	4.79	
	1000713N1A2	PM5.6-10		23hr	42.6	232	5.45	
	1000713N1A3	PM2.5-5.6		23hr	42.6	287	6.74	
	1000713N1A4	PM1.8-2.5		23hr	42.6	76	1.78	
	1000713N1A5	PM1-1.8		23hr	42.6	78	1.83	
	1000713N1A6	PM0.56-1		23hr	42.6	191	4.48	
	1000713N1A7	PM0.32-0.56		23hr	42.6	129	3.03	
	1000713N1A8	PM0.18-0.32		23hr	42.6	175	4.11	
	1000713N1A9	PM0.1-0.18		23hr	42.6	182	4.27	
	1000713N1A10	PM0.056-0.1		23hr	42.6	65	1.53	50.69
	1000713N1TA	PM0.056		23hr	42.6	26	0.61	49.75
	1000713D1TC	PM2.5-10		23hr	24.1	545	19.74	51.93
	1000713D1TF	PM2.5		23hr	24.1	616	28.35	52.45
	1000713FieldT1	現場空白						52.07
	1000713FieldT2	現場空白						50.37

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
2011/07/14-07/15 中山	1000714M1A0	PM>18	平均溫度28.4℃ 平均溼度77.9% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000714 17:00 ~ 1000715 17:00	24hr	42.7	335	7.84	
	1000714M1A1	PM10-18		24hr	42.7	127	2.97	
	1000714M1A2	PM5.6-10		24hr	42.7	176	4.12	
	1000714M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.7	224	5.24	
	1000714M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.7	57	1.33	
	1000714M1A5	PM1-1.8		24hr	42.7	58	1.36	
	1000714M1A6	PM0.56-1		24hr	42.7	68	1.59	
	1000714M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.7	89	2.08	
	1000714M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.7	121	2.83	
	1000714M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.7	55	1.29	
	1000714M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.7	40	0.94	50.73
	1000714M3TA	PM0.056		24hr	42.7	24	0.56	49.62
	1000714N1A0	PM>18		24hr	42.7	307	7.19	
	1000714N1A1	PM10-18		24hr	42.7	119	2.79	
	1000714N1A2	PM5.6-10		24hr	42.7	167	3.91	
	1000714N1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.7	246	5.76	
	1000714N1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.7	52	1.22	
	1000714N1A5	PM1-1.8		24hr	42.7	60	1.40	
	1000714N1A6	PM0.56-1		24hr	42.7	69	1.62	
	1000714N1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.7	64	1.50	
	1000714N1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.7	113	2.65	
	1000714N1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.7	73	1.71	
	1000714N1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.7	51	1.19	49.28
	1000714N1TA	PM0.056		24hr	42.7	14	0.33	48.69
	1000714D1TC	PM2.5-10		24hr	23.8	515	20.05	48.31
	1000714D1TF	PM2.5		24hr	23.8	345	16.12	49.23
	1000714FieldT1	現場空白						48.68
	1000714FieldT2	現場空白						48.94
2011/07/25-07/26 竹東	1000725M1A0	PM>18	平均溫度28.6℃ 平均溼度78.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000725	23hr	42.7	127	2.98	
	1000725M1A1	PM10-18		23hr	42.7	86	2.01	
	1000725M1A2	PM5.6-10		23hr	42.7	166	3.89	
	1000725M1A3	PM2.5-5.6		23hr	42.7	327	7.66	
	1000725M1A4	PM1.8-2.5		23hr	42.7	73	1.71	
	1000725M1A5	PM1-1.8		23hr	42.7	61	1.43	
	1000725M1A6	PM0.56-1		23hr	42.7	208	4.87	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000725M1A7	PM0.32-0.56	16:00 ~ 1000726 16:00	23hr	42.7	159	3.73	
	1000725M1A8	PM0.18-0.32		23hr	42.7	133	3.12	
	1000725M1A9	PM0.1-0.18		23hr	42.7	48	1.12	
	1000725M1A10	PM0.056-0.1		23hr	42.7	30	0.70	49.26
	1000725M1TA	PM0.056		23hr	42.7	27	0.63	49.21
	1000725N1A0	PM>18		23hr	42.7	124	2.91	
	1000725N1A1	PM10-18		23hr	42.7	92	2.16	
	1000725N1A2	PM5.6-10		23hr	42.7	157	3.68	
	1000725N1A3	PM2.5-5.6		23hr	42.7	328	7.68	
	1000725N1A4	PM1.8-2.5		23hr	42.7	67	1.57	
	1000725N1A5	PM1-1.8		23hr	42.7	55	1.29	
	1000725N1A6	PM0.56-1		23hr	42.7	212	4.97	
	1000725N1A7	PM0.32-0.56		23hr	42.7	120	2.81	
	1000725N1A8	PM0.18-0.32		23hr	42.7	152	3.56	
	1000725N1A9	PM0.1-0.18		23hr	42.7	79	1.85	
	1000725N1A10	PM0.056-0.1		23hr	42.7	35	0.82	49.79
	1000725N1TA	PM0.056		23hr	42.7	16	0.37	49.49
	1000725D1TC	PM2.5-10		23hr	23.8	284	9.95	48.12
	1000725D1TF	PM2.5		23hr	23.8	428	20.01	50.49
	1000725FieldT1	現場空白						51.28
	1000725FieldT2	現場空白						54.24
2011/07/26-07/27 竹東	1000726M1A0	PM>18	平均溫度 28.3℃ 平均溼度 69.6% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000726 17:00 ~ 1000727 17:00	24hr	42.7	164	3.84	
	1000726M1A1	PM10-18		24hr	42.7	101	2.36	
	1000726M1A2	PM5.6-10		24hr	42.7	146	3.42	
	1000726M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.7	273	6.39	
	1000726M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.7	69	1.61	
	1000726M1A5	PM1-1.8		24hr	42.7	45	1.05	
	1000726M1A6	PM0.56-1		24hr	42.7	104	2.43	
	1000726M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.7	120	2.81	
	1000726M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.7	114	2.67	
	1000726M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.7	41	0.96	
	1000726M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.7	28	0.66	50.39
	1000726M3TA	PM0.056		24hr	42.7	31	0.73	49.69
	1000726N1A0	PM>18		24hr	42.7	177	4.14	
	1000726N1A1	PM10-18		24hr	42.7	111	2.60	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000726N1A2	PM5.6-10		24hr	42.7	154	3.60	
	1000726N1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.7	260	6.09	
	1000726N1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.7	73	1.71	
	1000726N1A5	PM1-1.8		24hr	42.7	41	0.96	
	1000726N1A6	PM0.56-1		24hr	42.7	95	2.22	
	1000726N1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.7	92	2.15	
	1000726N1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.7	129	3.02	
	1000726N1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.7	72	1.69	
	1000726N1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.7	32	0.75	48.26
	1000726N1TA	PM0.056		24hr	42.7	20	0.47	53.52
	1000726D1TC	PM2.5-10		24hr	23.8	340	12.96	51.92
	1000726D1TF	PM2.5		24hr	23.8	285	13.31	49.44
	1000726FieldT1	現場空白						52.20
	1000726FieldT2	現場空白						52.49
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
	LabT3	實驗室空白						100.00
2011/07/31-08/01 新莊	1000731M1A0	PM>18	平均溫度 31.9℃ 平均溼度 65.6% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000731 16:00 ~ 1000801 16:00	24hr	42.2	148	3.51	
	1000731M1A1	PM10-18		24hr	42.2	91	2.16	
	1000731M1A2	PM5.6-10		24hr	42.2	129	3.06	
	1000731M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.2	211	5.00	
	1000731M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.2	64	1.52	
	1000731M1A5	PM1-1.8		24hr	42.2	81	1.92	
	1000731M1A6	PM0.56-1		24hr	42.2	201	4.76	
	1000731M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.2	295	6.99	
	1000731M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.2	192	4.55	
	1000731M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.2	60	1.42	
	1000731M1T10	PM0.056-0.1		24hr	42.2	29	0.69	51.90
	1000731M1TA	PM0.1		24hr	42.2	23	0.54	49.45
	1000731M3A0	PM>18		24hr	42.2	182	4.31	
	1000731M3A1	PM10-18		24hr	42.2	82	1.94	
	1000731M3T2	PM5.6-10		24hr	42.2	94	2.23	52.67
	1000731M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.2	194	4.59	51.74
	1000731M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.2	70	1.66	49.05
	1000731M3T5	PM1-1.8		24hr	42.2	86	2.04	51.56

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000731M3T6	PM0.56-1		24hr	42.2	182	4.31	51.41
	1000731M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.2	317	7.51	52.51
	1000731M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.2	182	4.31	51.63
	1000731M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.2	55	1.30	49.11
	1000731M3T10	PM0.056-0.1		24hr	42.2	23	0.54	49.73
	1000731M3TA	PM0.1		24hr	42.2	18	0.43	48.39
	1000731D1TC	PM2.5-10		24hr	23.5	240	7.95	51.47
	1000731D1TF	PM2.5		24hr	23.5	481	22.78	49.10
	1000731FieldT1	現場空白						49.23
	1000731FieldT2	現場空白						49.18
2011/08/01-08/02 新莊	1000801M1A0	PM>18	平均溫度 31.9℃ 平均溼度 61.6% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000801 17:00 ~ 1000802 17:00	24hr	42.2	172	4.07	
	1000801M1A1	PM10-18		24hr	42.2	92	2.18	
	1000801M1A2	PM5.6-10		24hr	42.2	127	3.01	
	1000801M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.2	185	4.38	
	1000801M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.2	67	1.59	
	1000801M1A5	PM1-1.8		24hr	42.2	69	1.63	
	1000801M1A6	PM0.56-1		24hr	42.2	164	3.88	
	1000801M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.2	244	5.78	
	1000801M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.2	92	2.18	
	1000801M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.2	55	1.30	
	1000801M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.2	33	0.78	49.77
	1000801M3TA	PM0.056		24hr	42.2	22	0.52	48.08
	1000801M3A0	PM>18		24hr	42.2	157	3.72	
	1000801M3A1	PM10-18		24hr	42.2	83	1.97	
	1000801M3T2	PM5.6-10		24hr	42.2	96	2.27	51.58
	1000801M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.2	147	3.48	49.63
	1000801M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.2	61	1.44	52.98
	1000801M3T5	PM1-1.8		24hr	42.2	73	1.73	47.80
	1000801M3T6	PM0.56-1		24hr	42.2	154	3.65	51.81
	1000801M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.2	257	6.09	51.88
	1000801M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.2	85	2.01	50.20
	1000801M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.2	49	1.16	49.70
	1000801M3T10	PM0.056-0.1		25hr	42.2	35	0.83	49.60
	1000801M3TA	PM0.056		24hr	42.2	18	0.43	49.02
	1000801D1TC	PM2.5-10		24hr	23.5	201	6.49	47.79

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000801D1TF	PM2.5		24hr	23.5	438	20.74	51.37
	1000801FieldT1	現場空白						49.60
	1000801FieldT2	現場空白						51.41
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
	LabT3	實驗室空白						100.00
2011/08/06-08/07 中山	1000806M1A0	PM>18	平均溫度 31.8℃ 平均溼度 61.8% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000806 16:00 ~ 1000807 16:00	24hr	42.2	219	5.19	
	1000806M1A1	PM10-18		24hr	42.2	130	3.08	
	1000806M1A2	PM5.6-10		24hr	42.2	165	3.91	
	1000806M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.2	272	6.44	
	1000806M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.2	76	1.80	
	1000806M1A5	PM1-1.8		24hr	42.2	55	1.30	
	1000806M1A6	PM0.56-1		24hr	42.2	169	4.00	
	1000806M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.2	122	2.89	
	1000806M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.2	150	3.55	
	1000806M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.2	73	1.73	
	1000806M1A10	PM0.056-0.1		25hr	42.2	33	0.78	50.89
	1000806M1TA	PM0.056		24hr	42.2	36	0.85	48.69
	1000806N1A0	PM>18		24hr	42.2	232	5.49	
	1000806N1A1	PM10-18		24hr	42.2	139	3.29	
	1000806N1A2	PM5.6-10		24hr	42.2	167	3.95	
	1000806N1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.2	280	6.63	
	1000806N1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.2	74	1.75	
	1000806N1A5	PM1-1.8		24hr	42.2	58	1.37	
	1000806N1A6	PM0.56-1		24hr	42.2	178	4.21	
	1000806N1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.2	47	1.11	
	1000806N1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.2	159	3.76	
	1000806N1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.2	121	2.86	
	1000806N1A10	PM0.056-0.1		25hr	42.2	50	1.18	46.06
	1000806N1TA	PM0.056		24hr	42.2	16	0.38	47.23
	1000806D1TC	PM2.5-10		24hr	23.5	282	10.30	48.96
	1000806D1TF	PM2.5		24hr	23.5	362	17.14	50.39
	1000806FieldT1	現場空白						50.98
	1000806FieldT2	現場空白						50.85
2011/08/08-	1000808M1A0	PM>18	平均溫度	24hr	42.6	350	8.22	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
08/09 中山	1000808M1A1	PM10-18	29.3℃ 平均溼度 78.6% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000808 16:00 ~ 1000809 16:00	24hr	42.6	64	1.50	
	1000808M1A2	PM5.6-10		24hr	42.6	177	4.16	
	1000808M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	97	2.28	
	1000808M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	108	2.54	
	1000808M1A5	PM1-1.8		24hr	42.6	129	3.03	
	1000808M1A6	PM0.56-1		24hr	42.6	324	7.61	
	1000808M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	209	4.91	
	1000808M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	168	3.95	
	1000808M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	67	1.57	
	1000808M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.6	55	1.29	50.23
	1000808M3TA	PM0.056		24hr	42.6	29	0.68	51.59
	1000808N1A0	PM>18		24hr	42.6	311	7.30	
	1000808N1A1	PM10-18		24hr	42.6	70	1.64	
	1000808N1A2	PM5.6-10		24hr	42.6	169	3.97	
	1000808N1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	94	2.21	
	1000808N1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	98	2.30	
	1000808N1A5	PM1-1.8		24hr	42.6	116	2.72	
	1000808N1A6	PM0.56-1		24hr	42.6	323	7.58	
	1000808N1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	122	2.86	
	1000808N1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	242	5.68	
	1000808N1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	112	2.63	
	1000808N1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.6	67	1.57	50.40
	1000808N1TA	PM0.056		24hr	42.6	12	0.28	49.45
	1000808D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	281	9.37	49.32
	1000808D1TF	PM2.5		24hr	23.7	534	25.07	48.52
	1000808FieldT1	現場空白						49.23
	1000808FieldT2	現場空白						49.04
2011/09/05-09/06 新莊	1000905M1A0	PM>18	平均溫度 28.0℃ 平均溼度 56.1% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000905 16:00 ~	24hr	42.8	135	3.16	
	1000905M1A1	PM10-18		24hr	42.8	113	2.64	
	1000905M1A2	PM5.6-10		24hr	42.8	202	4.72	
	1000905M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.8	321	7.51	
	1000905M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.8	73	1.71	
	1000905M1A5	PM1-1.8		24hr	42.8	75	1.75	
	1000905M1A6	PM0.56-1		24hr	42.8	173	4.04	
	1000905M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.8	199	4.65	
	1000905M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.8	185	4.33	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000905M1A9	PM0.1-0.18	1000906 16:00	24hr	42.8	89	2.08	
	1000905M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.8	35	0.82	50.76
	1000905M3TA	PM0.056		24hr	42.8	26	0.61	51.63
	1000905M3A0	PM>18		24hr	42.8	132	3.09	
	1000905M3A1	PM10-18		24hr	42.8	112	2.62	
	1000905M3T2	PM5.6-10		24hr	42.8	143	3.34	51.31
	1000905M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.8	276	6.45	50.30
	1000905M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.8	78	1.82	48.95
	1000905M3T5	PM1-1.8		24hr	42.8	79	1.85	50.79
	1000905M3T6	PM0.56-1		24hr	42.8	190	4.44	51.01
	1000905M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.8	219	5.12	49.96
	1000905M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.8	192	4.49	48.65
	1000905M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.8	97	2.27	48.71
	1000905M3T10	PM0.056-0.1		25hr	42.8	30	0.70	48.35
	1000905M3TA	PM0.056		24hr	42.8	23	0.54	52.06
	1000905D1TC	PM2.5-10		24hr	23.8	433	16.04	49.04
	1000905D1TF	PM2.5		24hr	23.8	466	21.79	51.34
	1000905FieldT1	現場空白						50.99
	1000905FieldT2	現場空白						47.99
2011/09/06-09/07 新莊	1000906M1A0	PM>18	平均溫度 29.2℃ 平均溼度 59.2% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000906 17:00 ~ 1000907 17:00	24hr	42.6	153	3.59	
	1000906M1A1	PM10-18		24hr	42.6	137	3.22	
	1000906M1A2	PM5.6-10		24hr	42.6	244	5.73	
	1000906M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	405	9.51	
	1000906M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	129	3.03	
	1000906M1A5	PM1-1.8		24hr	42.6	148	3.47	
	1000906M1A6	PM0.56-1		24hr	42.6	494	11.60	
	1000906M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	382	8.97	
	1000906M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	282	6.62	
	1000906M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	99	2.32	
	1000906M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.6	29	0.68	49.19
	1000906M3TA	PM0.056		24hr	42.6	32	0.75	49.67
	1000906M3A0	PM>18		24hr	42.6	154	3.62	
	1000906M3A1	PM10-18		24hr	42.6	127	2.98	
	1000906M3T2	PM5.6-10		24hr	42.6	181	4.25	49.57
	1000906M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	343	8.05	51.30
	1000906M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	134	3.15	49.57

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000906M3T5	PM1-1.8		24hr	42.6	154	3.62	48.77
	1000906M3T6	PM0.56-1		24hr	42.6	536	12.58	49.71
	1000906M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	409	9.60	49.00
	1000906M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	250	5.87	47.33
	1000906M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	108	2.54	51.25
	1000906M3T10	PM0.056-0.1		25hr	42.6	25	0.59	49.46
	1000906M3TA	PM0.056		24hr	42.6	30	0.70	49.41
	1000906D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	558	19.47	51.06
	1000906D1TF	PM2.5		24hr	23.7	875	41.07	52.77
	1000906FieldT1	現場空白						54.98
	1000906FieldT2	現場空白						48.57
2011/09/17-09/18 中山	1000917M1A0	PM>18	平均溫度 28.8℃ 平均溼度 66.8% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000917 16:00 ~ 1000918 16:00	24hr	42.7	237	5.56	
	1000917M1A1	PM10-18		24hr	42.7	106	2.48	
	1000917M1A2	PM5.6-10		24hr	42.7	180	4.22	
	1000917M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.7	274	6.42	
	1000917M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.7	63	1.48	
	1000917M1A5	PM1-1.8		24hr	42.7	129	3.02	
	1000917M1A6	PM0.56-1		24hr	42.7	252	5.91	
	1000917M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.7	227	5.32	
	1000917M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.7	154	3.61	
	1000917M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.7	67	1.57	
	1000917M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.7	31	0.73	48.91
	1000917M3TA	PM0.056		24hr	42.7	22	0.52	51.01
	1000917M3A0	PM>18		24hr	42.7	228	5.35	
	1000917M3A1	PM10-18		24hr	42.7	103	2.41	
	1000917M3T2	PM5.6-10		24hr	42.7	138	3.24	50.17
	1000917M3T3	PM2.5-5.6		24hr	42.7	201	4.71	47.76
	1000917M3T4	PM1.8-2.5		24hr	42.7	67	1.57	52.22
	1000917M3T5	PM1-1.8		24hr	42.7	126	2.95	48.19
	1000917M3T6	PM0.56-1		24hr	42.7	258	6.05	49.24
	1000917M3T7	PM0.32-0.56		24hr	42.7	247	5.79	51.21
	1000917M3T8	PM0.18-0.32		24hr	42.7	136	3.19	47.37
	1000917M3T9	PM0.1-0.18		24hr	42.7	73	1.71	51.32
	1000917M3T10	PM0.056-0.1		25hr	42.7	27	0.63	47.20
	1000917M3TA	PM0.056		24hr	42.7	19	0.45	48.65

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1000917D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	360	12.71	50.57
	1000917D1TF	PM2.5		24hr	23.7	529	24.80	50.18
	1000917FieldT1	現場空白						53.20
	1000917FieldT2	現場空白						50.38
2011/09/18-09/19 中山	1000918M1A0	PM>18	平均溫度 26.7℃ 平均溼度 68.2% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000918 17:00 ~ 1000919 17:00	24hr	43.0	431	10.03	
	1000918M1A1	PM10-18		24hr	43.0	177	4.12	
	1000918M1A2	PM5.6-10		24hr	43.0	345	8.03	
	1000918M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.0	547	12.73	
	1000918M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.0	116	2.70	
	1000918M1A5	PM1-1.8		24hr	43.0	127	2.96	
	1000918M1A6	PM0.56-1		24hr	43.0	218	5.08	
	1000918M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.0	254	5.91	
	1000918M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.0	93	2.17	
	1000918M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.0	84	1.96	
	1000918M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.0	25	0.58	46.52
	1000918M3TA	PM0.056		24hr	43.0	11	0.26	50.20
	1000918M3A0	PM>18		24hr	43.0	441	10.27	
	1000918M3A1	PM10-18		24hr	43.0	164	3.82	
	1000918M3T2	PM5.6-10		24hr	43.0	260	6.05	54.91
	1000918M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.0	465	10.83	49.54
	1000918M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.0	105	2.44	48.79
	1000918M3T5	PM1-1.8		24hr	43.0	133	3.10	50.76
	1000918M3T6	PM0.56-1		24hr	43.0	192	4.47	46.42
	1000918M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.0	279	6.50	52.92
	1000918M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.0	103	2.40	50.43
	1000918M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.0	75	1.75	48.74
	1000918M3T10	PM0.056-0.1		25hr	43.0	19	0.44	52.32
	1000918M3TA	PM0.056		24hr	43.0	6	0.14	51.21
	1000918D1TC	PM2.5-10		24hr	23.9	596	22.50	51.71
	1000918D1TF	PM2.5		24hr	23.9	530	24.67	51.43
	1000918FieldT1	現場空白						50.70
	1000918FieldT2	現場空白						50.96
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
2011/09/27-	1000927M1A0	PM>18	平均溫度	24hr	42.6	264	6.20	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
09/28 竹東	1000927M1A1	PM10-18	29.3℃ 平均溼度 65.5% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000927 16:00 ~ 1000726 16:00	24hr	42.6	129	3.03	
	1000927M1A2	PM5.6-10		24hr	42.6	216	5.07	
	1000927M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	298	7.00	
	1000927M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	70	1.64	
	1000927M1A5	PM1-1.8		24hr	42.6	73	1.71	
	1000927M1A6	PM0.56-1		24hr	42.6	159	3.73	
	1000927M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	152	3.57	
	1000927M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	108	2.54	
	1000927M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	51	1.20	
	1000927M1A10	PM0.056-0.1		25hr	42.6	11	0.26	50.42
	1000927M1TA	PM0.056		24hr	42.6	18	0.42	50.79
	1000927D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	349	13.02	51.36
	1000927D1TF	PM2.5		24hr	23.7	364	17.06	50.08
	1000927FieldT1	現場空白						49.27
	1000927FieldT2	現場空白						48.15
2011/09/28-09/29 竹東	1000928M1A0	PM>18	平均溫度 29.3℃ 平均溼度 72.3% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1000928 17:00 ~ 1000929 17:00	24hr	42.6	229	5.38	
	1000928M1A1	PM10-18		24hr	42.6	120	2.82	
	1000928M1A2	PM5.6-10		24hr	42.6	187	4.39	
	1000928M1A3	PM2.5-5.6		24hr	42.6	278	6.53	
	1000928M1A4	PM1.8-2.5		24hr	42.6	26	0.61	
	1000928M1A5	PM1-1.8		24hr	42.6	79	1.86	
	1000928M1A6	PM0.56-1		24hr	42.6	186	4.37	
	1000928M1A7	PM0.32-0.56		24hr	42.6	220	5.17	
	1000928M1A8	PM0.18-0.32		24hr	42.6	180	4.23	
	1000928M1A9	PM0.1-0.18		24hr	42.6	95	2.23	
	1000928M1T10	PM0.056-0.1		25hr	42.6	31	0.73	53.31
	1000928M3TA	PM0.056		24hr	42.6	12	0.28	51.40
	1000928D1TC	PM2.5-10		24hr	23.7	439	16.54	50.17
	1000928D1TF	PM2.5		24hr	23.7	422	19.78	50.99
	1000928FieldT1	現場空白						50.54
	1000928FieldT2	現場空白						49.99
2011/10/05-10/06 新莊	1001005M1A0	PM>18	平均溫度 25.1℃ 平均溼度 79.6% 平均大氣壓	24hr	43.2	107	2.48	
	1001005M1A1	PM10-18		24hr	43.2	86	1.99	
	1001005M1A2	PM5.6-10		24hr	43.2	144	3.33	
	1001005M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.2	272	6.30	
	1001005M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.2	67	1.55	

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1001005M1A5	PM1-1.8	力 1 atm 採樣時間：1001005 16:00 ~ 1001006 16:00	24hr	43.2	93	2.15	
	1001005M1A6	PM0.56-1		24hr	43.2	181	4.19	
	1001005M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.2	268	6.21	
	1001005M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.2	180	4.17	
	1001005M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.2	34	0.79	
	1001005M1T10	PM0.056-0.1		24hr	43.2	25	0.58	51.79
	1001005M1TA	PM0.1		24hr	43.2	20	0.46	52.89
	1001005M3A0	PM>18		24hr	43.2	76	1.76	
	1001005M3A1	PM10-18		24hr	43.2	71	1.64	
	1001005M3T2	PM5.6-10		24hr	43.2	118	2.73	51.16
	1001005M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.2	241	5.58	52.18
	1001005M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.2	66	1.53	53.37
	1001005M3T5	PM1-1.8		24hr	43.2	86	1.99	50.57
	1001005M3T6	PM0.56-1		24hr	43.2	173	4.01	50.68
	1001005M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.2	259	6.00	50.56
	1001005M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.2	160	3.70	48.99
	1001005M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.2	27	0.63	49.22
	1001005M3T10	PM0.056-0.1		24hr	43.2	30	0.69	53.68
	1001005M3TA	PM0.1		24hr	43.2	16	0.37	48.61
	1001005D1TC	PM2.5-10		24hr	24.0	383	14.10	51.39
	1001005D1TF	PM2.5		24hr	24.0	402	18.61	48.74
	1001005FieldT1	現場空白						49.12
	1001005FieldT2	現場空白						48.90
2011/10/06-10/07 新莊	1001006M1A0	PM>18	平均溫度 25.3℃ 平均溼度 75.6% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001006 17:00 ~ 1001007 17:00	24hr	43.2	71	1.65	
	1001006M1A1	PM10-18		24hr	43.2	65	1.51	
	1001006M1A2	PM5.6-10		24hr	43.2	140	3.24	
	1001006M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.2	256	5.93	
	1001006M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.2	56	1.30	
	1001006M1A5	PM1-1.8		24hr	43.2	67	1.55	
	1001006M1A6	PM0.56-1		24hr	43.2	145	3.36	
	1001006M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.2	175	4.06	
	1001006M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.2	90	2.09	
	1001006M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.2	38	0.88	
	1001006M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.2	20	0.46	50.41
	1001006M3TA	PM0.056		24hr	43.2	16	0.37	48.93

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1001006M3A0	PM>18		24hr	43.2	53	1.23	
	1001006M3A1	PM10-18		24hr	43.2	52	1.20	
	1001006M3T2	PM5.6-10		24hr	43.2	101	2.34	53.12
	1001006M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.2	211	4.89	48.98
	1001006M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.2	53	1.23	49.76
	1001006M3T5	PM1-1.8		24hr	43.2	62	1.44	50.66
	1001006M3T6	PM0.56-1		24hr	43.2	131	3.04	52.24
	1001006M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.2	178	4.12	50.80
	1001006M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.2	82	1.90	48.17
	1001006M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.2	34	0.79	50.73
	1001006M3T10	PM0.056-0.1		25hr	43.2	22	0.51	53.22
	1001006M3TA	PM0.056		24hr	43.2	13	0.30	49.20
	1001006D1TC	PM2.5-10		24hr	24.0	374	14.34	50.54
	1001006D1TF	PM2.5		24hr	24.0	270	12.51	48.72
	1001006FieldT1	現場空白						49.05
	1001006FieldT2	現場空白						49.44
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00
	LabT3	實驗室空白						100.00
2011/10/17-10/18 中山	1001017M1A0	PM>18	平均溫度 24.7℃ 平均溼度 60.3% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001017 16:00 ~ 1001018 16:00	24hr	43.2	218	5.04	
	1001017M1A1	PM10-18		24hr	43.2	158	3.65	
	1001017M1A2	PM5.6-10		24hr	43.2	321	7.42	
	1001017M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.2	554	12.81	
	1001017M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.2	118	2.73	
	1001017M1A5	PM1-1.8		24hr	43.2	121	2.80	
	1001017M1A6	PM0.56-1		24hr	43.2	313	7.24	
	1001017M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.2	443	10.24	
	1001017M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.2	240	5.55	
	1001017M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.2	40	0.92	
	1001017M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.2	33	0.76	50.62
	1001017M3TA	PM0.056		24hr	43.2	11	0.25	48.82
	1001017M3A0	PM>18		24hr	43.2	254	5.87	
	1001017M3A1	PM10-18		24hr	43.2	159	3.68	
	1001017M3T2	PM5.6-10		24hr	43.2	287	6.64	51.40
	1001017M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.2	489	11.31	50.35
	1001017M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.2	106	2.45	52.42

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1001017M3T5	PM1-1.8		24hr	43.2	115	2.66	51.16
	1001017M3T6	PM0.56-1		24hr	43.2	325	7.52	49.71
	1001017M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.2	406	9.39	50.65
	1001017M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.2	257	5.94	48.39
	1001017M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.2	44	1.02	52.01
	1001017M3T10	PM0.056-0.1		25hr	43.2	27	0.62	50.93
	1001017M3TA	PM0.056		24hr	43.2	13	0.30	49.09
	1001017D1TC	PM2.5-10		24hr	24.0	531	18.57	48.33
	1001017D1TF	PM2.5		24hr	24.0	763	35.28	50.36
	1001017FieldT1	現場空白						48.53
	1001017FieldT2	現場空白						48.93
2011/10/18-10/19 中山	1001018M1A0	PM>18	平均溫度 24.0℃ 平均溼度 58.7% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001018 17:00 ~ 1001019 17:00	24hr	43.3	214	4.94	
	1001018M1A1	PM10-18		24hr	43.3	126	2.91	
	1001018M1A2	PM5.6-10		24hr	43.3	325	7.50	
	1001018M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.3	404	9.32	
	1001018M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.3	94	2.17	
	1001018M1A5	PM1-1.8		24hr	43.3	93	2.15	
	1001018M1A6	PM0.56-1		24hr	43.3	110	2.54	
	1001018M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.3	246	5.68	
	1001018M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.3	112	2.58	
	1001018M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.3	33	0.76	
	1001018M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.3	28	0.65	47.87
	1001018M3TA	PM0.056		24hr	43.3	10	0.23	52.10
	1001018M3A0	PM>18		24hr	43.3	241	5.56	
	1001018M3A1	PM10-18		24hr	43.3	131	3.02	
	1001018M3T2	PM5.6-10		24hr	43.3	259	5.98	47.85
	1001018M3T3	PM2.5-5.6		24hr	43.3	336	7.75	48.36
	1001018M3T4	PM1.8-2.5		24hr	43.3	87	2.01	49.50
	1001018M3T5	PM1-1.8		24hr	43.3	77	1.78	48.29
	1001018M3T6	PM0.56-1		24hr	43.3	121	2.79	49.14
	1001018M3T7	PM0.32-0.56		24hr	43.3	224	5.17	50.27
	1001018M3T8	PM0.18-0.32		24hr	43.3	124	2.86	52.80
	1001018M3T9	PM0.1-0.18		24hr	43.3	35	0.81	51.47
	1001018M3T10	PM0.056-0.1		25hr	43.3	19	0.44	49.67
	1001018M3TA	PM0.056		24hr	43.3	13	0.30	48.08

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1001018D1TC	PM2.5-10		24hr	24.1	503	19.12	51.93
	1001018D1TF	PM2.5		24hr	24.1	383	17.67	49.92
	1001018FieldT1	現場空白						49.51
	1001018FieldT2	現場空白						53.59
2011/10/24-10/25 竹東	1001024M1A0	PM>18	平均溫度21.5℃ 平均溼度68.0% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001024 16:00 ~ 1001025 16:00	23hr	41.9	236	5.63	
	1001024M1A1	PM10-18		23hr	41.9	94	2.24	
	1001024M1A2	PM5.6-10		23hr	41.9	125	2.98	
	1001024M1A3	PM2.5-5.6		23hr	41.9	252	6.02	
	1001024M1A4	PM1.8-2.5		23hr	41.9	83	1.98	
	1001024M1A5	PM1-1.8		23hr	41.9	69	1.65	
	1001024M1A6	PM0.56-1		23hr	41.9	81	1.93	
	1001024M1A7	PM0.32-0.56		23hr	41.9	129	3.08	
	1001024M1A8	PM0.18-0.32		23hr	41.9	108	2.58	
	1001024M1A9	PM0.1-0.18		23hr	41.9	37	0.88	
	1001024M1A10	PM0.056-0.1		23hr	41.9	8	0.19	49.57
	1001024M1TA	PM0.056		23hr	41.9	7	0.17	49.11
	1001024D1TC	PM2.5-10		23hr	23.3	213	8.43	53.10
	1001024D1TF	PM2.5		23hr	24.3	255	11.64	45.50
	1001024FieldT1	現場空白						48.95
	1001024FieldT2	現場空白						48.65
2011/10/25-10/26 竹東	1001025M1A0	PM>18	平均溫度23.0℃ 平均溼度67.3% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001025 17:00 ~ 1001026 17:00	23hr	41.7	157	3.77	
	1001025M1A1	PM10-18		23hr	41.7	81	1.94	
	1001025M1A2	PM5.6-10		23hr	41.7	180	4.32	
	1001025M1A3	PM2.5-5.6		23hr	41.7	281	6.74	
	1001025M1A4	PM1.8-2.5		23hr	41.7	73	1.75	
	1001025M1A5	PM1-1.8		23hr	41.7	53	1.27	
	1001025M1A6	PM0.56-1		23hr	41.7	18	0.43	
	1001025M1A7	PM0.32-0.56		23hr	41.7	81	1.94	
	1001025M1A8	PM0.18-0.32		23hr	41.7	83	1.99	
	1001025M1A9	PM0.1-0.18		23hr	41.7	32	0.77	
	1001025M1T10	PM0.056-0.1		23hr	41.7	13	0.31	51.41
	1001025M3TA	PM0.056		23hr	41.7	4	0.10	50.04
	1001025D1TC	PM2.5-10		23hr	23.2	254	10.44	52.37
	1001025D1TF	PM2.5		23hr	24.2	180	8.26	49.07
	1001025FieldT1	現場空白						51.45

採樣地點	樣品編號	粒徑範圍	平均溫溼度	採樣時間	標準採氣體積(m^3)	微粒重量(ug)	質量濃度(ug/m^3)	濾紙分割比例
	1001025FieldT2	現場空白						49.60
2011/10/28-10/29 竹東	1001028M1A0	PM>18	平均溫度 24.3℃ 平均溼度 68.5% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001028 16:00 ~ 1001029 16:00	24hr	43.3	112	2.59	
	1001028M1A1	PM10-18		24hr	43.3	75	1.73	
	1001028M1A2	PM5.6-10		24hr	43.3	145	3.35	
	1001028M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.3	269	6.21	
	1001028M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.3	77	1.78	
	1001028M1A5	PM1-1.8		24hr	43.3	62	1.43	
	1001028M1A6	PM0.56-1		24hr	43.3	113	2.61	
	1001028M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.3	146	3.37	
	1001028M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.3	104	2.40	
	1001028M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.3	39	0.90	
	1001028M1A10	PM0.056-0.1		24hr	43.3	5	0.12	47.86
	1001028M1TA	PM0.056		24hr	43.3	7	0.16	48.49
	1001028D1TC	PM2.5-10		24hr	24.1	241	8.84	50.45
	1001028D1TF	PM2.5		24hr	24.1	251	11.57	50.87
	1001028FieldT1	現場空白						49.37
	1001028FieldT2	現場空白						47.74
2011/10/29-10/30 竹東	1001029M1A0	PM>18	平均溫度 23.3℃ 平均溼度 65.7% 平均大氣壓力 1 atm 採樣時間：1001029 17:00 ~ 1001030 17:00	24hr	43.4	124	2.85	
	1001029M1A1	PM10-18		24hr	43.4	87	2.00	
	1001029M1A2	PM5.6-10		24hr	43.4	91	2.09	
	1001029M1A3	PM2.5-5.6		24hr	43.4	197	4.53	
	1001029M1A4	PM1.8-2.5		24hr	43.4	69	1.59	
	1001029M1A5	PM1-1.8		24hr	43.4	22	0.51	
	1001029M1A6	PM0.56-1		24hr	43.4	153	3.52	
	1001029M1A7	PM0.32-0.56		24hr	43.4	187	4.30	
	1001029M1A8	PM0.18-0.32		24hr	43.4	115	2.65	
	1001029M1A9	PM0.1-0.18		24hr	43.4	38	0.87	
	1001029M1T10	PM0.056-0.1		25hr	43.4	15	0.35	50.50
	1001029M3TA	PM0.056		24hr	43.4	9	0.21	49.14
	1001029D1TC	PM2.5-10		24hr	24.2	185	6.34	49.75
	1001029D1TF	PM2.5		24hr	24.2	286	13.14	50.44
	1001029FieldT1	現場空白						49.95
	1001029FieldT2	現場空白						50.49
	LabT1	實驗室空白						100.00
	LabT2	實驗室空白						100.00

附錄八　QA/QC 規劃書及執行結果

行政院環境保護署環境檢驗所

100 年度專案計畫品保品管規劃書

計畫名稱：「環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」研究案

執行期間：　中華民國 100 年 4 月 ~100 年 12 月

計畫受委託單位：　國立交通大學環境工程研究所

中華民國 100 年 11 月

1. 計畫內容

1.1 目標說明及計畫源起

奈米技術在環境及各個領域均有很大的運用潛能，然而也可能會產生新的環境及人體健康危害的問題。奈米微粒的監測與控制技術，以及對於環境及人體健康的影響，國際間仍處於研究階段，資訊相當有限。我國在積極發展奈米科技的同時，亦有感於「奈米科技對環境安全衛生(ESH)影響」之重要性，已開始執行 ESH 整合計畫，期望能確實掌握奈米產業對環境安全衛生之衝擊。

本研究將在國內三個空品測站進行環境中背景微粒的現場採樣及其粒徑分佈及濃度的即時量測，採樣擬用 MOUDI (Model 110, MSP Corporation, Minneapolis, MN) 及 Dichotomous (Andersen Model SA-241, Andersen Inc., Georgia, USA)，即時監測則是使用 SMPS (Model 3034, TSI Incorporated, St. Paul, MN)，利用量測結果相關公式(Sioutas et al., 1999)，可得到不同來源的奈米微粒的密度，此外收集在濾紙上的微粒再進一步做碳、金屬及離子成分分析。

本研究能在此三個測站得到較準確的微粒濃度及化學成分，並建立可達國際水準之採樣及分析技術。

1.2 所得數據之用途

數據可供環保署及政府相關部門如勞研所及衛生署使用，作為相關政策的參考。此外本研究的結果亦將投稿國際期刊。

1.3 預定開始及完成日期

本研究於 100 年 4 月開始執行，100 年 12 月 31 日前完成，總計 9 個月。

1.4 計畫工作流程

如圖 1-1 所示。

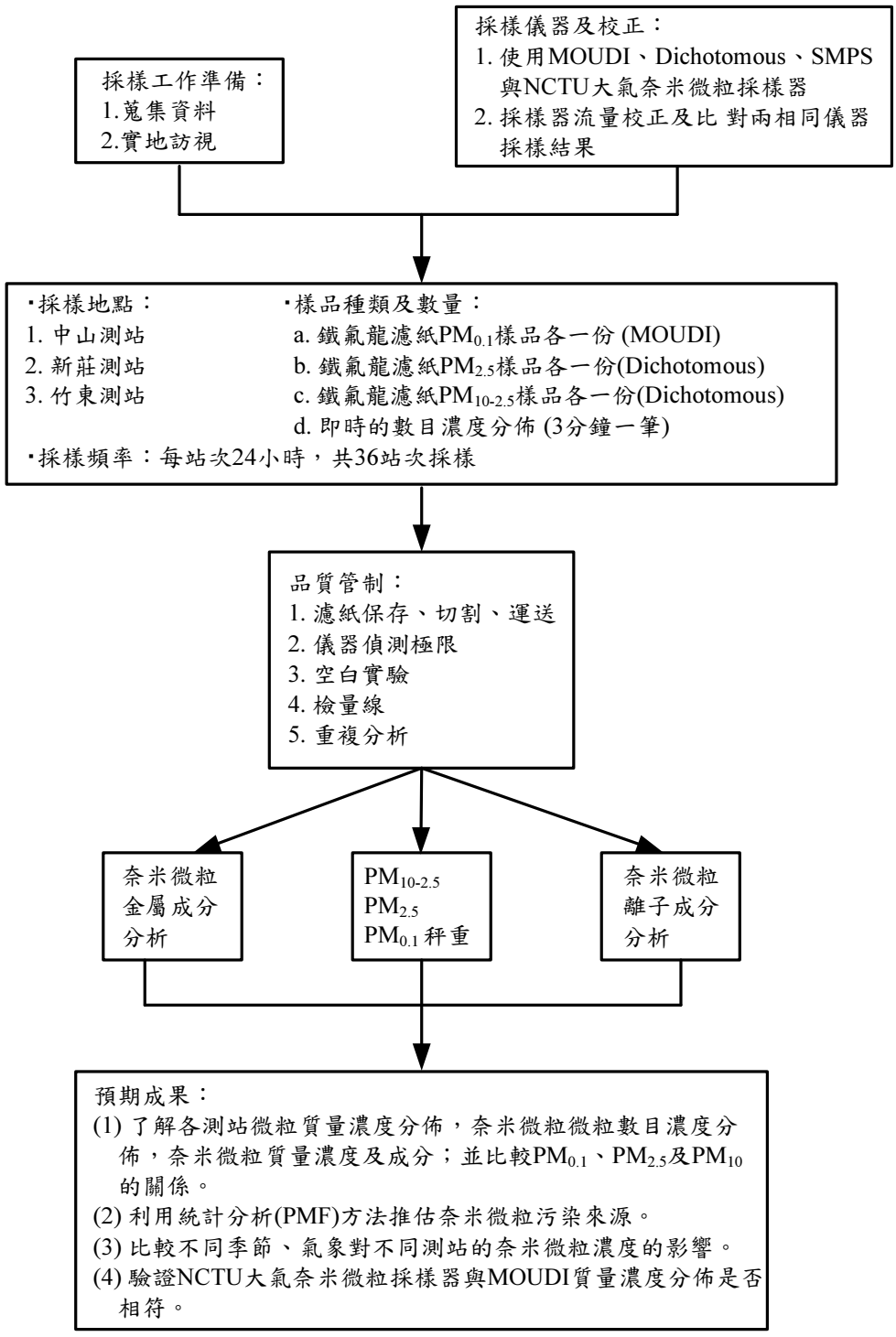

採樣工作準備：
1.蒐集資料
2.實地訪視
採樣儀器及校正：
1. 使用MOUDI、Dichotomous、SMPS與NCTU大氣奈米微粒採樣器
2. 採樣器流量校正及比 對兩相同儀器採樣結果
‧採樣地點：
1. 中山測站
2. 新莊測站
3. 竹東測站
‧樣品種類及數量：
a. 鐵氟龍濾紙$PM_{0.1}$樣品各一份 (MOUDI)
b. 鐵氟龍濾紙$PM_{2.5}$樣品各一份(Dichotomous)
c. 鐵氟龍濾紙$PM_{10-2.5}$樣品各一份(Dichotomous)
d. 即時的數目濃度分佈 (3分鐘一筆)
‧採樣頻率：每站次24小時，共36站次採樣
品質管制：
1. 濾紙保存、切割、運送
2. 儀器偵測極限
3. 空白實驗
4. 檢量線
5. 重複分析
奈米微粒金屬成分分析
$PM_{10-2.5}$
$PM_{2.5}$
$PM_{0.1}$ 秤重
奈米微粒離子成分分析
預期成果：
(1) 了解各測站微粒質量濃度分佈，奈米微粒微粒數目濃度分佈，奈米微粒質量濃度及成分；並比較$PM_{0.1}$、$PM_{2.5}$及PM_{10}的關係。
(2) 利用統計分析(PMF)方法推估奈米微粒污染來源。
(3) 比較不同季節、氣象對不同測站的奈米微粒濃度的影響。
(4) 驗證NCTU大氣奈米微粒採樣器與MOUDI質量濃度分佈是否相符。

圖 1-1 計畫工作流程圖。

2. 計畫執行之組織及職責

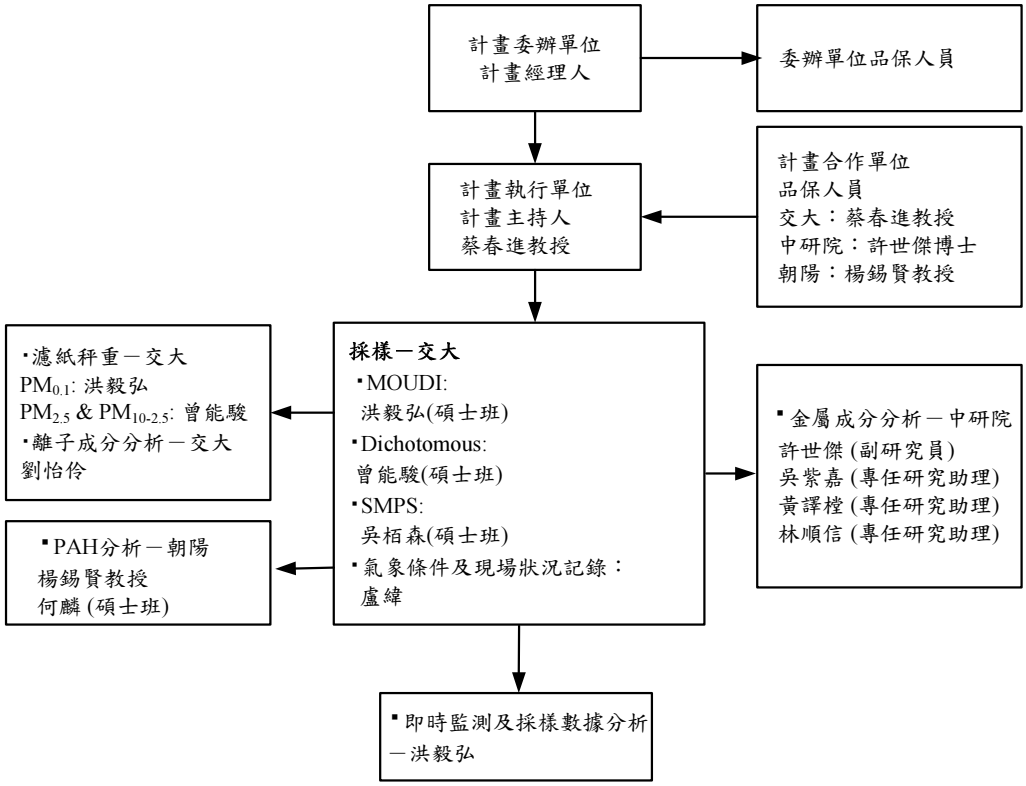


圖 2-1 計畫執行之組織及職責。

3. 數據品保目標

實驗室 QA/QC 制度的建立，基本上是協助分析人員與管理人員如何判定分析結果的準確性。在實驗室中或採樣現場，要從儀器設備要得到一個數據相當容易，但若要判斷結果之正確性，就需要嚴密的 QA/QC 管理制度。

3.1 精確度(Precision)

良好的制度，對分析方法應有合理的流程，對數據有合理的追蹤、查核。某一樣品經重複分析多次，其分析值間的符合度，可以下列式子來表示相對百分偏差 R (Relative Percent Difference)，認定其精密度。

$$R = \frac{|x_1 - x_2|}{1/2(x_1 + x_2)}$$

x_1，x_2 為量測值。

除了另有規定外，通常十個樣品，至少應有一個樣品執行重複分析。並且求出

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ri}{n}$$

$$SD = \frac{\sum (Ri - R)^2}{n-1}$$

經過多次重複分析之後，需做出管制圖。

4. 取樣程序

本研究選擇國內新莊、中山及竹東三個空品測站進行微粒的量測及採樣，分析項目包括微粒的粒徑分佈、數目與重量濃度及成分。此外我們亦將量測$PM_{2.5}$及PM_{10}，以求取各排放源較完整的濃度分布，並獲取更多的相關數據。

4.1 採樣儀器

$PM_{0.1}$是使用MOUDI Model 110 3台來進行採樣(MSP Corp., MN, USA); $PM_{10\text{-}2.5}$ (=PM_{10}-$PM_{2.5}$)及$PM_{2.5}$則是利用3台雙通道虛擬採樣器Dichotomous (Andersen Model SA-241, Andersen Inc., Georgia, USA)。

4.1.1 MOUDI

圖4-1為MOUDI的實際照片及內部構造的示意圖。MOUDI是一台串聯式的多階慣性衝擊器(Model 110有10個衝擊器)，其將微粒分徑的原理是利用不同粒徑微粒隨氣流加速後有不同的慣性力，大的微粒因慣性力大，所以會直接衝擊在較上層的衝擊板上，小微粒則會隨著氣流轉向而進到下一階衝擊器。為了能收集較小顆的微粒，必須逐漸將氣流加速，提高小微粒的慣性力，讓小微粒能衝擊到收集板上，所以MOUDI採樣器中各階衝擊器的氣流速度隨著階數增加而提高，上層衝擊器噴嘴的數目較少，孔徑也較大。在設計流量30 L/min的操作條件下，Model 110 (10階)(MOUDI 1)可將懸浮微粒分徑為18、10、5.6、2.5、1.8、1.0、0.56、0.32、0.18、0.10、0.056及＜0.056 μm (after filter)等10個粒徑區間。

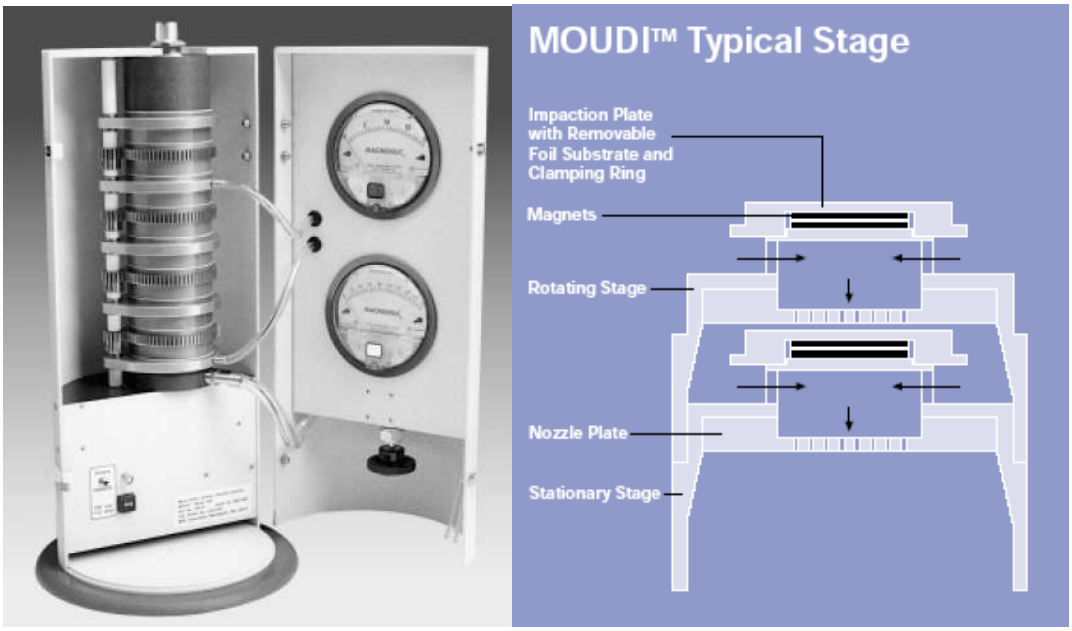


圖 4-1 MOUDI 的實際照片及內部構造的示意圖(MSP website, http://www.mspcorp.com/air_sample.htm)。

本研究在第九階及終端濾紙使用濾紙收集微粒，第九階收集 100-180 nm，將第十階收集 56-100 nm 微粒的衝擊器移除則終端濾紙收集<100 nm 之微粒($PM_{0.1}$)。而噴灑矽黃油的鋁箔僅做秤重。其中一台 MOUDI 的第九階及終端濾紙使用鐵氟龍濾紙(M1) (Zefluor P5PJ037-047 or Teflo R2PL037-047, Pall Corp., USA)，另外兩台 MOUDIs 改在第九階及終端濾紙使用石英濾紙(Tissuquartz 2500QAT-UP, Pall Corp., New York, USA)來收集微粒，其中一台裝配石英濾紙的 MOUDI，入口使用 HEPA 先將微粒過濾(M2)，來研究濾紙吸附有機氣體的問題，此方法與 Subramanian et al. (2004)中的 QBT 類似，另一台石英 MOUDI (M3)入口不加裝過濾器，所以微粒及氣體皆會進入 MOUDI 中。在兩台石英 MOUDIs 中(M2&3)，終端石英濾紙階放兩片，此方法與 Subramanian et al. (2004)的 QBQ 相同，其中 M2 兩片終端濾紙的濃度可作為濾紙吸附 VOCs 是否飽和的根據，如果兩片濃度接近，顯示在濾紙的氣態及微粒態 VOCs 已達成平衡，因此真實微粒的有機碳濃度則為 OC=MQ-QBQ (MQ: M3 終端濾紙的第一片石英濾紙)，如 M2 終端濾紙下片比上面一片低，顯示尚未達平衡，則 OC=MQ-QBQ-0.68 (Subramanian et al., 2004)。3 台 Dichots 的濾紙配置方式與 MOUDIs 相同，一台使用鐵氟龍濾紙，另兩台使用石英濾紙。所有鐵氟龍濾紙的樣本做秤重，石英濾紙不做秤重。

操作

1. 將噴灑過矽油並經烘烤、調理及秤重過的鋁箔濾紙平放在衝擊板上，然後用蓋環夾緊。
2. 在齒輪及 O-ring 塗上一層凡士林(每隔一段時間，約 2 星期)。
3. 測漏試驗(步驟如下節說明)。
4. 量測溫度及壓力，利用以下公式找出對應校正時的流量(Q_c)，將 Q_c 帶入校正曲線(參考第 8 章－校正程序及頻率)算出需調整的壓差值，此時採樣的真實體積流率即為 30 L/min。
5. 啟動抽氣馬達，調整壓力表至真實採樣流量為 30 L/min 時之壓力，同時記錄採樣開始之時間、地點、及其他相關資訊於「MOUDI 現場採樣記錄表」(表 6-1)。
6. 採樣期間每隔 30 分鐘需記錄壓差表的讀值於「MOUDI 壓差記錄表」(表 6-2)以觀測採樣流量是否穩定及噴嘴是否有塞住的情形。
7. 採樣後將抽氣馬達關閉，同時記錄採樣結束之時間，將 MOUDI 帶回實驗室，小心取下濾紙並置入調理箱中，進行至少一天之調理工作，待溫溼度回復到濾紙採樣前的狀況，稱濾紙之末重，計算採樣結果，計算過程須遵照表 6-1 中的方法。

測漏

1. 將各階衝擊板置入採樣器中。
2. 在 MOUDI 入口接上真空計(或壓力計)及針閥，真空計在針閥與入口之間，並開啟馬達讓衝擊器旋轉。

3. 打開真空幫浦並關閉針閥，當真空計讀值大於 80±5 kPa (壓力計則小於 20±5 kPa)，關閉幫浦。
4. 觀察並記錄真空計讀值的變化，當洩漏率小於 25 Pa/s 則表示通過測漏。

清潔

MOUDI 的第 7 及 8 兩階(0.32 及 0.18 μm)的噴嘴容易被微粒塞住，所以當流量還是 30 L/min，但壓損有明顯變大時，即表示噴嘴有塞住。不可將 MOUDI 的任何一部份放入超音波震盪器中清洗(會損壞噴嘴)，正確的方式為先將要清洗的部份浸入加少許洗潔精的清水中或其它清潔用的溶劑如酒精，一段時間後(約 24 小時或更久)，用蒸餾水或酒精漂洗。取下噴嘴時要相當小心，因為很容易損壞噴嘴。

4.1.2 Dichot

圖 4-2 為雙通道 $PM_{10-2.5}$ (Coarse particle)及 $PM_{2.5}$ (Fine particle)虛擬採樣器 Dichotomous (Andersen Model SA-241, Andersen Inc., Georgia, USA)的實體照片及構造示意圖。微粒進入 Dichotomous 上方的環形入口後，會先經過一 PM_{10} 的衝擊器去除 10 m 以上的微粒，小於 10 μm 的微粒會通過加速噴嘴而進入虛擬衝擊器中(Virtual Impactor)，微粒因慣性力大小的不同會被分成兩股，較大顆的微粒(coarse particle, 10-2.5 μm)會直接進入噴嘴下方，吸取流量較小(1.67 L/min)的通道而被收集在濾紙上；較小的微粒(fine particle, < 2.5 μm)則跟隨氣流轉向，進入吸取流量較大(15 L/min)的通道而被收集在另一片濾紙上。

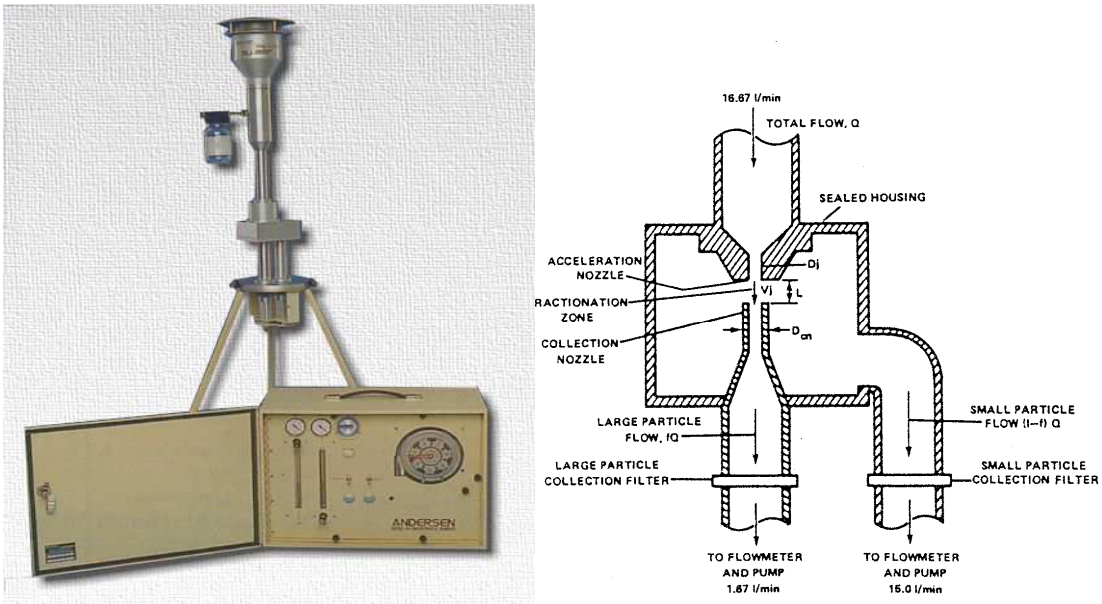


圖 4-2 雙通道 $PM_{10-2.5}$ 及 $PM_{2.5}$ 虛擬採樣器(Dichotomous, Andersen SA-241)實體照片及構造示意圖(http://www.pacwill.ca/dichot.htm)。

操作

1. 先確認乾淨、待置入採樣器的濾紙並無破損，如有破損必須更換好的濾紙。
2. 用鑷子將濾紙置入濾紙匣中，之後將濾紙匣放在有保護作用的有蓋小盒子，且小盒子上需註明包括：採 $PM_{2.5}$ 或 $PM_{10\text{-}2.5}$、採樣器編號及採樣日期時間。
3. 採樣開始前，將採樣器上機械式或電子式的時間記錄器轉成“OFF”。
4. 將 $PM_{2.5}$ 濾紙匣(內含預先秤重過的乾淨濾紙)置於細流量的濾紙托盤上，用手將拖盤旋入上方的不鏽鋼管並旋緊，完成後依相同步驟安裝 $PM_{10\text{-}2.5}$ 濾紙匣。嚴禁嘗試同時將 $PM_{2.5}$ 及 $PM_{10\text{-}2.5}$ 托盤同時旋入上方管件，因為此動作常常造成濾紙移位或破損。
5. 在濾紙拖盤上各有一個 O-ring，可以讓採樣器不會從此處漏氣，所以一定要檢查 O-ring 是否還在且無損壞。
6. 打開控制盤蓋，將機械式或電子式的時間記錄器打開“ON”。
7. 打開真空幫浦，熱機約 5 分鐘，同時記錄採樣時相關資料包括：採樣地點、採樣日期、濾紙編號、採樣器型式與序號、現場情況及採樣前後的濾紙壓差等於「Dichot 現場採樣記錄表」(表 6-3)。
8. 根據溫度、壓力及流量校正曲線(參考第 8 章－校正程序及頻率)調整浮子流量計刻度，使粗微粒及總實際採樣的體積流量各為 1.67 及 16.7 L/min。
9. 觀察並記錄控制箱的真空計讀值，使用 2　m 孔隙(pore size)的濾紙時，總壓損值應約為 1 到 2 inch-Hg；粗流量壓損值應接近零。
10. 設定預計採樣的時間。
11. 採樣期間，每隔約 30 分鐘需記錄大氣溫溼度及浮子的刻度於「Dichot 浮子及溫溼度逐時變動記錄表」(表 6-4)，並觀察是否有流量不正確的情形發生。
12. 採樣後將抽氣馬達關閉，同時記錄採樣結束之時間，將 Dichot 帶回實驗室，小心取下濾紙並置入調理箱中，進行至少一天之調理工作，待溫溼度回復到濾紙採樣前的狀況，稱濾紙之末重，計算採樣結果，計算過程須遵照表 6-4 中的方法。

測漏

1. 置入乾淨的濾紙於採樣器兩濾紙托盤並向上鎖緊。
2. 取下採樣器入口部分(環形入口及用來篩除 10 μm 以上的衝擊器)。
3. 打開電源熱機至少 5 分鐘。
4. 入口處套上入口轉接器並慢慢使之密閉。
5. 將兩個浮子流量計的閥開至全開並開啟幫浦。
6. 待控制箱總真空計的讀值達到約 23 inch-Hg 時，關閉電源。
7. 壓力不可在 60 秒以內降至 0。

清潔

1. 每經三至四次採樣後，需將採樣器各部分拆開清理，特別是各管內壁，需清理乾淨。
2. PM_{10} Inlet 需塗佈 grease。
3. 各部分接縫及 O-ring 需塗以油脂，避免漏氣發生。
4. 濾紙托盤需仔細擦拭乾淨，避免污染濾紙樣本。

4.3 濾紙之 QA/QC 管制

檢查每張新的採樣濾紙是否為正確之型式與大小？是否有小破洞及微粒？及其他不良處，不合格之濾紙應丟棄不用。每一張濾紙都應有其獨特之編號以及濾紙資訊。一般濾紙的編號無法未直接標示在濾紙上面，可將濾紙置於保存容器中(例如直徑約 50mm 的壓克力小盒子)，將編號寫在貼紙上並貼於盒子底部。本研究採樣時共使用 MOUDI 及 Dichot 兩種儀器各兩台，用到的濾紙有四種，包括：鐵氟龍(Zefluor P5PJ037-047 or Teflo R2PL037-047, Pall Corp., USA)、石英(Tissuquartz 2500QAT-UP, Pall Corp., New York, USA)及鋁箔濾紙，其中鋁箔濾紙僅用於 MOUDI 中防止微粒彈跳(塗敷矽油)及秤重。編號的方式與採樣時間、何種採樣器及其編號、濾紙材質等，說明如圖 4-3 所示。

使用 Dichot 採樣時，我們在濾紙編號最後一碼分別用 C 和 F 來辨識粗微粒($PM_{10-2.5}$)和細微粒($PM_{2.5}$)的濾紙。此外鐵氟龍及石英實驗室(Lab)空白及現場(Field)空白濾紙也都各有兩片，作為查核之用。

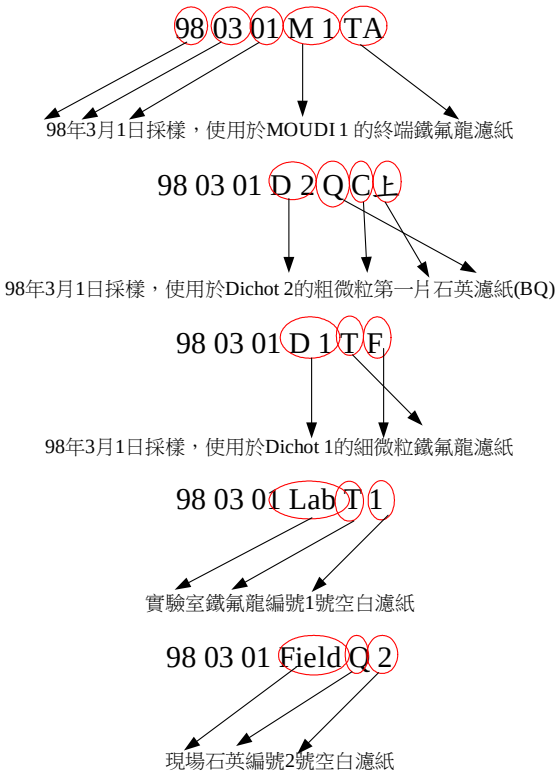


圖4-3 本研究濾紙編號的方式。

4.3.1 鐵氟龍濾紙

1. 調理

濾紙置入及從恆溫、恆溼箱取出均需填寫「濾紙使用管制表」 (表4-5)，採樣前與採樣後的所有濾紙樣本，秤重前必須進行如下的調理：

(1)平均溫度：20-23 ℃。

(2)溫度控制：24 小時內溫度變化在±1 ℃。

(3)平均溼度：相對溼度 30-40 %。

(4)溼度控制：24 小時內相對溼度變化控制在±5 % 內。

(5)調理時間：不少於 24 小時。

2. 秤重程序

(1)新買的濾紙必須立刻儲放在調理環境進行調理，直到採樣前 5 天內再進行秤重。

(2)分析天平必須被置於與調理濾紙相同的控制環境中，調理過之濾紙應立刻秤重，不可在調理後秤重前這段時間內再暴露於其它環境條件。

(3)採樣前後濾紙秤重之調理條件必須是相同的(相對溼度維持在±5 %以內，溫度±1 ℃)。

(4)採樣前後濾紙的秤重必須使用相同的天平，使用靜電中和器中和濾紙的靜電。濾紙採樣前後之秤重由同一個人執行。

(5)天平使用者於每次秤量前執行零點檢查，每個月以經校正之標準砝碼執行刻度校正，每六個月以經校正之標準砝碼執行重複校正。參考砝碼質量校正：參考砝碼應定期送校(校正頻率三年一次)，以確認有否因砝碼使用過久或污染而造成誤差。

(6)採樣前秤重之結果必須填寫在濾紙秤重記錄表，MOUDI 中使用的鐵氟龍濾紙重量記錄於「MOUDI 中使用濾紙秤重記錄表」(表 4-6)；Dichot 中使用的鐵氟龍濾紙重量記錄於「Dichot 中使用鐵氟龍濾紙秤重記錄表」(表 4-7)。

(7)採樣完成當天內由採樣人員收回採樣後樣品濾紙，以避免濾紙放置過久被污染。

(8)由採樣器上取下的採樣完成濾紙需裝於壓克力濾紙匣內，於一日內送回實驗室秤重，填寫「濾紙監管記錄表」(表 4-8)並移交分析人員及，並於二星期內分析完成，以避免濾紙上物質起變化。

4.3.2 石英濾紙

石英濾紙因要做碳分析，所以須先放入烤箱經高溫 900 ℃烘烤 3 小時，以除去濾紙表面可能殘留的有機物質。石英濾紙不做秤重，但因要做碳分析，所以保存及運送要特別注意。從採樣器取出後如無法馬上進行分析時，需將樣品放入-18 ℃冰箱冷藏。

4.3.2 鋁箔濾紙

鋁箔濾紙調理與秤重程序與鐵氟龍濾紙類似，惟鋁箔濾紙有經噴灑矽油的動作。以下為矽油噴灑的步驟：

1. 先清洗用來放置鋁箔的壓克力板，並用空氣噴槍吹乾。
2. 將壓克力板(裁有 9 個直徑約 1.5 inch 圓孔的壓克力板)底座置於報紙上，放上鋁箔、並用壓克力蓋上(注意取出及放置鋁箔時、不要讓鋁箔有凹折。)。
3. 在鋁箔斜上方距離約 50 公分處，以水平方向將矽油往鋁箔上方噴灑，使其均勻散佈於鋁箔上(剛按下時的矽油顆粒較大，不要噴灑於鋁箔上)。
4. 將噴灑完矽油的鋁箔移至烘箱中，控制溫度為 65 ℃，進行烘乾 90 分鐘。
5. 矽油噴灑量需控制在 0.25-0.45 mg 之間，太多會造成採樣後矽油沾黏到濾紙壓環，太少會造成微粒彈跳的增加。
6. 進行與鐵氟龍濾紙相同的調理與秤重工作。
7. Coating 前後的鋁箔重量需填寫於「鋁箔 Coating 前後重量記錄表」(表 4-9)。

4.4 濾紙保存切割及運送

4.4.1 濾紙保存

採樣結束後馬上將濾紙從採樣器中取出，並裝於壓克力濾紙盒內，於當日送回實驗室秤重，以避免濾紙放置過久被污染。測量結果填寫於濾紙監管記錄表(表 4-8)並移交分析人員(中央研究院環境變遷中心周崇光博士及許世傑博士)，並於二星期內分析完成，以避免濾紙上物質起變化。採樣後樣品是否於運送途中受到污染。避免強力搖動濾紙存放之壓克力盒或倒置壓克力盒而導致誤差。

4.4.2 濾紙切割及運送

本研究中的其中一台 MOUDI 的石英濾紙整片轉交給中央研究院周崇光博士實驗室進行碳成分分析；另一台的石英濾紙給中央研究院龍世俊博士實驗室進行有機成分分析。鋁箔濾紙也不需切割，僅做重量量測，但鐵氟龍濾紙則需進行裁切，以利後續的微粒成分分析。切割的方式為：1/2 給中央研究院環境變遷中心許世傑博士實驗室進行金屬成分分析；1/2 由本研究室做離子成分分析。切割前須先完成秤重，秤重過程需全程用鑷子小心操作，慎防微粒掉落，影響結果及後續分析。

鐵氟龍濾紙切割時使用陶瓷剪刀裁剪，切下的濾紙須先秤重，了解濾紙切割之比例，再置於乾淨壓克力盒再個別運送至各實驗室，當面交給負責的分析人員或代收人員。石英濾紙運送不可用快遞或郵寄的方式除非使用低溫宅急便，儘可能請專責人員以搭車或自行開車的方式來運送，將樣品全程放置在攜帶型的小冷藏箱，以確保樣品的新鮮與完整。

表 4-1 MOUDI 採樣現場記錄表。

MOUDI 現場記錄表

地點		上表壓差	下表壓差
編號	MOUDI ____	開始____cmH$_2$O	開始____inH$_2$O
濾紙(ID)		結束____cmH$_2$O	結束____inH$_2$O
		平均____cmH$_2$O	平均____inH$_2$O
日期/時間 開始		採樣時間Δt	小時
結束			分鐘
環境壓力	mmHg	氣溫	℃

總壓差表設定：$Q_c = Q_{desire(30\ L/min)}(\frac{T_c}{T_a})(\frac{P_a}{P_c})$，

校正公式：_____，下表壓差值=_____inH$_2$O

採樣標準流量Q_{std}= std L/min

$Q_{std}=Q_c(P_c/T_c)(298/760)$ 以平均下表壓力計算Q_c

標準採樣體積V_{std}= m^3, $V_{std}= Q_{std}\times\Delta t$

採樣前濾紙重：W_{i0}=____, W_{i1}=____, W_{i2}=____, W_{i3}=____, W_{i4}=____, W_{i5}=____,
W_{i6}=____, W_{i7}=____, W_{i8}=____, W_{i9}=____, W_{i10}=____ , W_{iAF}=____mg

採樣後濾紙重：W_{f0}=____, W_{f1}=____, W_{f2}=____, W_{f3}=____, W_{f4}=____, W_{f5}=____,
W_{f6}=____, W_{f7}=____, W_{f8}=____, W_{f9}=____, W_{f10}=____ , W_{fAF}=____mg

PM淨重$W_n = W_f - W_i$

W_{n0}=____, W_{n1}=____, W_{n2}=____, W_{n3}=____, W_{n4}=____, W_{n5}=____,
W_{n6}=____, W_{n7}=____, W_{n8}=____, W_{n9}=____, W_{n10}=____, W_{nAF}=____ mg

各階濃度(C_0~C_{AF})=$Wn\times10^3/V_{std}$ μg/m^3 環保署測站PM_{10}____, $PM_{2.5}$____

C_0=____, C_1=____, C_2=____, C_3=____, C_4=____, C_5=____, C_6=____, C_7=____,
C_8=____, C_9=____, C_{10}=____, C_{AF}=____, $PM_{2.5}$=____, PM_{10}=____

階	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	After
Cut (μm)	18	10	5.6	2.5	1.8	1.0	0.56	0.32	0.18	0.1	0.056	<0.056
濾紙編號												

備註：

操作者： 審核者：

表 4-2 MOUDI 壓差記錄表。

MOUDI 壓差紀錄表　　日期：					
時間(時/分)	MOUDI 1		MOUDI 2		記錄者
	上表壓差 (cmHg)	下表壓差 (inHg)	上表壓差 (inHg)	下表壓差 (inHg)	
備註： 審核者：					

表 4-3 Dichot 現場記錄表。

Dichot現場記錄表

地點		日期	____年____月____日
編號		粗流量校正	m=_____, b=_____, TFR=_____ L/min
$PM_{10-2.5}$濾紙(ID)		總流量校正	m=_____, b=_____, CFR=_____ L/min
$PM_{2.5}$濾紙(ID)		真空計讀值	總流量初始=_____，總流量結束=_____
開始時間(日時分)	/ /		粗流量初始=_____，粗流量結束=_____
結束時間(日時分)	/ /	採樣時間Δt	_____小時_____分鐘
環境壓力Pa	_____mmHg	氣溫Ta	_____ ℃，_____K

總流量校正： $TQc= 16.7\ [(Pa/Pc)(Tc/Ta)]^{0.5}$； 校正時的$CQc= 1.67\ [(Pa/Pc)(Tc/Ta)]^{0.5}$

TSP,CSP = m(TQc,CQc) + b

採樣開始的TSP_____ 採樣結束TSP _____ 平均(I) _____ 平均總流量(TQa)_____

採樣開始的CSP_____ 採樣結束CSP _____ 平均(I) _____ 平均粗流量(CQa)_____

TQa,CQa=1/m{[平均(I)]-b}

總採樣體積 (TVa)=TQa× Δt =_____ L/min 採樣細流量(Qa)=_____L/min

粗流量採樣體積 (CVa)=CQa× Δt =_____L/min FQa= TQa - CQa

數據計算

標準採樣體積(Vstd)：總標準採樣體積(TVstd)_____ m^3；總粗流量採樣體積(CVstd)_____ m^3

$$TVstd,CVstd=(Va)(10^{-3})\left[\left(\frac{Pa}{Ta}\right)\left(\frac{298}{760}\right)\right]$$

總細流量採樣體積(FVstd) _____ m^3 FVstd=TVstd-CVstd

Filter Weight：

細微粒：總重(Wg) _____ mg 粗微粒：總重(Wg) _____ mg

濾紙重(Wt) _____ mg 濾紙重(Wt) _____ mg

淨重(Mc) _____ mg 淨重(Mc) _____ mg

PM_{10} Concentration _____ $\mu g/m^3$ $\dfrac{(Mf+Mc)(10^3)}{TVstd}$

$PM_{2.5}$ Concentration _____ $\mu g/m^3$ $\dfrac{(Mf/0.9)(10^3)}{TVstd}$

TSP: 總流量浮子設定點 CSP: 粗流量浮子設定點

備註：

操作者： 審核者：

表 4-4 Dichot 浮子及大氣溫溼度逐時變動記錄表。

Dichot 浮子及大氣溫溼度逐時變動記錄表

操作日期：　　年　　月　　日

時間(時/分)	T(℃)	RH(%)	Dichot 1		Dichot 2		記錄者
			總流量浮子刻度	粗流量浮子刻度	總流量浮子刻度	粗流量浮子刻度	

備註：

審核者：＿＿＿＿＿＿

表 4-5 濾紙使用管制表。

濾紙使用管制表						
濾紙(ID)	恆溼恆溫箱編號	RH%	溫度℃	放入日期時間	取出日期時間	操作者
備註： 審核者：						

表 4-6 MOUDI 中使用濾紙秤重記錄表。

MOUDI濾紙秤重記錄表		日期時間(年/月/日/時) _____ 溫溼度 _____℃, _____%								
Dp_{50} (μm)	鋁箔濾紙 濾紙(ID)	次 採樣	1	2	3	4	5	平均	σ	重量 差異
18		前								
		後								
10		前								
		後								
5.6		前								
		後								
2.5		前								
		後								
1.8		前								
		後								
1.0		前								
		後								
0.56		前								
		後								
0.32		前								
		後								
0.18		前								
		後								
0.1		前								
		後								
<0.1		前								
		後								
	鐵氟龍濾紙									
Lab1		前								
		後								
Lab2		前								
		後								
Field1		前								
		後								
Field2		前								
		後								
操作者：_____ 審核者：_____ MOUDI編號：_____										

表 4-7 Dichot 中使用鐵氟龍濾紙秤重記錄表。

Dichot中使用鐵氟龍濾紙秤重記錄表		日期時間(年/月/日/時)_____ 溫溼度 _____℃, _____%							
濾紙(ID)	次 採樣	1	2	3	4	5	平均	σ	重量 差異
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
操作者：_____				審核者：_____					

表 4-8 濾紙監管記錄表。

濾紙監管記錄表						
濾紙編號(ID)	採樣地點	採樣日期 dd/mm/yy	採樣時間 hh:mm→hh:mm	採樣前重 (mg)	採樣後重 (mg)	微粒淨重 (mg)
繳樣品人：		日期/時間：		收樣品人：		日期/時間：
備註：						

表 4-9 鋁箔濾紙 Coating 前後秤重記錄表。

鋁箔濾紙Coating 前後秤重記錄表				日期時間(年/月/日/時) _____ 溫溼度 _____℃, _____%					
濾紙(ID)	次 / coating	1	2	3	4	5	平均	σ	重量差異
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								
	前								
	後								

操作者：_____ 審核者：_____

4.5 樣品管制

(1)現場採樣之地點環境條件(溫度、壓力等)及特殊狀況均需詳細記載，承裝濾紙容器需貼上標籤以免混淆。

(2)濾紙須保持面朝上，帶回實驗室處理，在運送過程避免震動或翻落，以免微粒脫落與飛散，造成誤差。

(3)濾紙空白

1. 實驗室舊空白，須在實驗室調理箱放置長期驗證用的鐵氟龍濾紙，每次採樣前及後秤濾紙前，須先驗證其重量是否與最先秤得重量差在 5 μg 以內。
2. 新的現場空白(Field blank)濾紙需和每一批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 5 μg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。
3. 新的實驗室空白(Laboratory blank)濾紙需和每一批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 5 μg 時，表示過程中遭受污染，應予檢視排除。

(4)採樣器環境溫度、濾紙溫度與大氣壓力量測系統需要定期進行校正或校正的查證。

(5)採樣器維護採樣器應依照如採樣器製造商在採樣器的操作指導手冊所述般維護，並符合使用者建立之品質保證計畫。

5. 校正程序及頻率

5.1 分析天平校正

1. 每年至少要由廠商校正一次。
2. 每週以適當重量之標準砝碼校正一次，標準砝碼要涵蓋天平常用之範圍。
3. 天平每次使用前須熱機十分鐘以上，用完清潔秤重盤。

5.2 MOUDI流量校正與查證程序

1. 需先通過測漏試驗(4.1.1 節)。
2. 將 MOUDI 入口接上乾式流量計。
3. 記錄當時溫度及溼度。
4. 旋緊真空幫浦與 MOUDI 出口間的針閥。
5. 慢慢打開針閥，使下表的讀值為 10 inch-H_2O，記錄對應的流量大小於「MOUDI 流量校正記錄表」(表 5-1)，同時也記錄上表壓差值。
6. 繼續調整針閥使下表值為 10、20、30、40、50 及 60，並記錄各點對應的流量，最大的對應流量需大於 30 L/min (約 35 L/min)。各點停留時間需約有 1 分鐘，使流量趨於穩定。
7. 重複步驟 5 及 6 的動作，不過此次壓差的調整是由大變小，依次為 60、50、40、30、20 及 10，記錄對應流量值。
8. 取兩次壓差表相同數值時的平均流量。
9. 利用線性迴歸，找出流量對應壓差的方程式，相關係數需大於 0.990。
10. 隨意選定一壓差值,利用迴歸的方程式算出對應的流量並與實際量測得的流量比較，兩者相差需在 3％ 以內。否則須重新做校正。

表 5-2 為 MOUDI 單點流量校正記錄表，單點校正是用來查驗校正曲線的正確性，若單點校正之壓差帶入校正曲線，所求得的流量與單點校正實際量得之流量差在 3％ 以上時，則需重新做多點校正以重建新的校正曲線，一般情況會選擇採樣時的流量 30 L/min 作為單點校正的查核點。採樣期間應每半小時觀察壓差表一次，確認壓差變動在採樣期間維持在± 2％ 以內。

校正計算

1. 量測採樣現地的溫度(T_a)及壓力(P_a)。
2. 由公式(5-1)計算對應校正曲線的流量(Q_c)

$$Q_c = Q_{desire(30\ L/\min)}(\frac{T_c}{T_a})(\frac{P_a}{P_c}) \quad (5\text{-}1)$$

3. 將Q_c帶回校正時得到的迴歸公式，計算需調整的下表壓差值。
4. 利用針閥調整幫浦抽力使下表壓差值與計算值相同。

5. 此時真實採樣體積流率即為30 L/min。

5.3 Dichot流量校正與查證程序

5.3.1 總流量校正(Total flow)

1. 將採樣要用的乾淨濾紙置於兩濾紙托盤並鎖入 Dichot。
2. 將 Dichot 的環形入口及 PM_{10} 衝擊器從 Dichot 取下，並將接有一針閥的轉換器套入原本承接 PM_{10} 衝擊器的垂直入口管。
3. 將 Dichot 的電源打開，讓儀器熱機 5 分鐘左右。
4. 將針閥慢慢關閉，進行測漏試驗(4.1.2)。
5. 通過測漏試驗後，將針閥移除並改接一泡沫流量計。Dichot 總流量校正的組裝如圖 5-1(a)所示。
6. 將粗流量的浮子調至約 60 % 的高度(大約為 1.67 L/min)。
7. 將總流量的浮子調至約 90 % 的高度，記錄泡沫流量計的流量於「Dichot 採樣器多點校正記錄表」(表 5-3)。
8. 記錄校正時間及地點、溫度、壓力、採樣器編號及浮子的刻度。
9. 重複步驟 7，將浮子高度調為 80 %、60 %、50 %、35 %、20 %，記錄泡沫流量計的讀值，流量需涵蓋 12-19 L/min。
10. 利用迴歸公式找出浮子刻度與實際流量的線性關係，將斜率 m 與截距 b 填入表 5-3 中。

5.3.2 粗流量校正(Coarse flow)

1. Dichot 粗流量校正的組裝如圖 5-1(b)所示。將細流量管線從濾紙托盤移開，並使用帽蓋接頭將托盤封住，建議將細流量管子接上一過濾器，避免微粒跑入真空幫浦。
2. 將 Dichot 的電源打開，讓儀器熱機 5 分鐘左右。
3. 將總流量的浮子調至為 16.7 L/min 的高度(先前總流量校正得到的結果)。
4. 將粗流量的浮子調至約 90 % 的高度，記錄泡沫流量計的流量於表 6-3。
5. 重複 5.3.1 步驟 7，將浮子高度調為 80 %、60 %、50 %、35 %、20 %，記錄泡沫流量計的讀值，流量需涵蓋 1.4-1.9 L/min。
6. 利用迴歸公式找出浮子刻度與實際流量的線性關係，將斜率 m 與截距 b 填入表 5-3 中。

校正計算

1. 量測採樣現地的溫度(T_a)及壓力(P_a)。
2. 由公式(5-2)計算對應校正曲線的流量(Q_c)

$$Q_c = Q_{desire(16.7\ or\ 1.67\ L/\min)}[(\frac{T_c}{T_a})(\frac{P_a}{P_c})]^{0.5} \quad (5\text{-}2)$$

3. 將 Q_c 帶回校正時得到的迴歸公式(5-3)，計算需調整的浮子刻度 TSP(總流量浮子設定值)及 CSP(粗流量浮子設定值)。

$$TSP,CSP = m(TQc,CQc) + b \quad (5\text{-}3)$$

4. 利用浮子的針閥調整幫浦抽力使刻度與計算值相同。
5. 此時真實採樣總體積流率即為 16.7 L/min，粗流量體積流率即為 1.67 L/min。

表 5-1 MOUDI 多點流量校正記錄表。

MOUDI 多點流量校正記錄表

NO.	上表壓差 inH_2O 第 1 次 第 2 次　平均	下表壓差 inH_2O 第 1 次 第 2 次　平均	實際流量 L/min
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

日期：_____　上表校正曲線公式：　　R=

操作人員：_____　下表校正曲線公式：　　R=

溫度：_____℃　　壓力：_____mmHg

審核人員：_____　　備註：

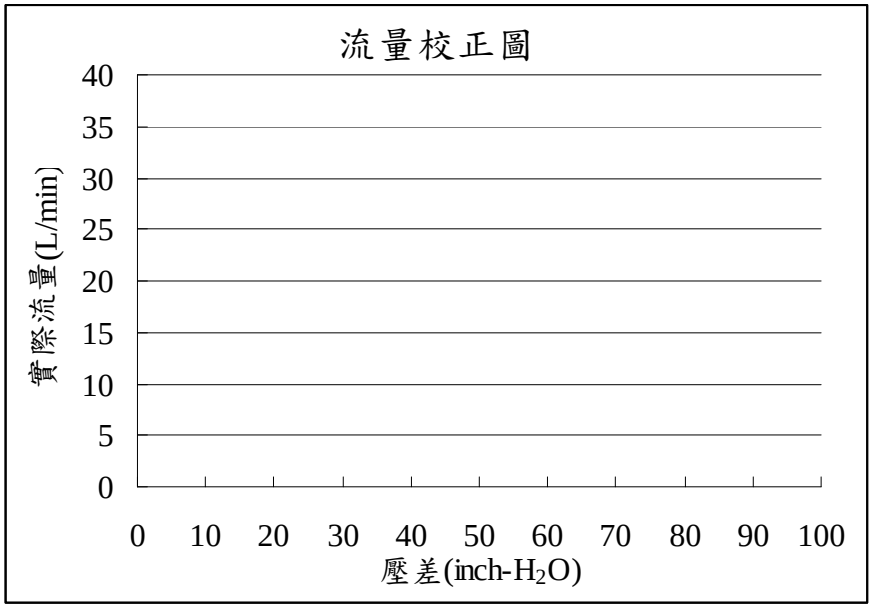


表 5-2 MOUDI 單點流量校正記錄表。

MOUDI 單點流量校正記錄表

MOUDI 編號：_____ dd / mm / yy

地點：_____ 時間：____/____/____

大氣壓力：_____mmHg 溫度：_____℃

上表壓差值：_____

下表壓差值：_____

泡沫流量計流量(Q_b)=

校正曲線算得流量(Q_a)= $Q_a = Q_c(\frac{T_a}{T_c})(\frac{P_c}{P_a})$

% Difference(D)= $\frac{Q_a - Q_b}{Q_a} \times 100\% =$ _____

D 值需落在±5 % 才算合格

是否合格： □是 □否

操作人員：_____ 審核人員：_____

表 5-3 Dichot 採樣器多點校正記錄表。

Dichot校正記錄表			
日期	____年____月____日	總流量校正：m=_____, b=_____, r=_____	粗流量校正：m=_____, b=_____, r=_____
地點			
編號			
環境壓力Pa	_____mmHg	氣溫Ta	_____℃, _____K
總流量校正點 (浮子位置)	浮子流量計讀值(I)	實際體積流率Qa(L/min)	
90%			
80%			
65%			
50%			
35%			
20%			
粗流量校正點 (浮子位置)	浮子流量計讀值(I)	實際體積流率Qa(L/min)	
90%			
80%			
65%			
50%			
35%			
20%			
採樣器校正座標關係 (Qc: X-軸， I: Y-軸).			
總流量：m =_____ b =_____ r =_____		粗流量：m =_____ b =_____ r =_____	
(TQc):_____，總流量浮子設定值(TSP): _____		(CQc): _____，粗流量浮子設定值(CSP): _____	
校正時的總流量(TQc)= 16.7 $[(Pa/Pc)(Tc/Ta)]^{0.5}$；粗流量(CQc)= 1.67 $[(Pa/Pc)(Tc/Ta)]^{0.5}$			
TSP,CSP = m(TQc,CQc) + b			
備註：			
操作者：	審核者：		

表 5-4 Dichot 採樣器單點校正記錄表。

Dichot 單點流量校正記錄表

編號：_____ dd / mm / yy

地點：_____ 時間：____/____/____

大氣壓力：_____mmHg 溫度：_____℃

以採樣流量進行單點校正 *TQa*=16.7 L/min, *CQa*=1.67 L/min

校正曲線算得總流量(*TQc*)= $TQc = 16.7[(\frac{Tc}{Ta})(\frac{Pa}{Pc})]^{0.5}$

校正曲線算得粗流量(*CQc*)= $CQc = 1.67[(\frac{T_c}{T_a})(\frac{P_a}{P_c})]^{0.5}$

TSP,CSP = m(*TQc*, *CQc*) + b

TSP:總流量浮子設定點 CSP:粗流量浮子設定點

泡沫流量計測得總流量(*TQb*)=

泡沫流量計測得粗流量(*CQb*)=

% TDifference (TD)= $\frac{16.7 - TQb}{16.7} \times 100\% =$ _____

% CDifference (CD)= $\frac{1.67 - CQb}{1.67} \times 100\% =$ _____

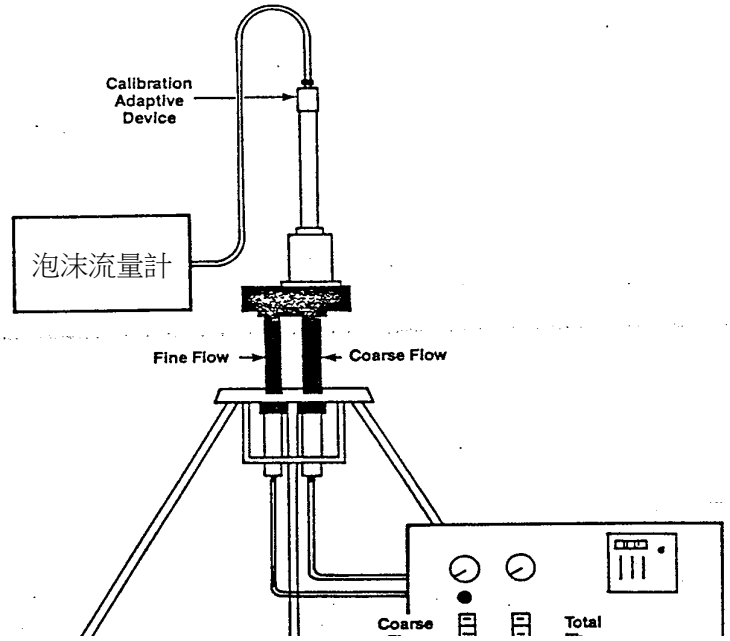
TD 和 CD 須同時在±7 % 以內才算合格

是否合格： □是 □否

操作人員：_____ 審核者：_____

備註：

(a)



(b)

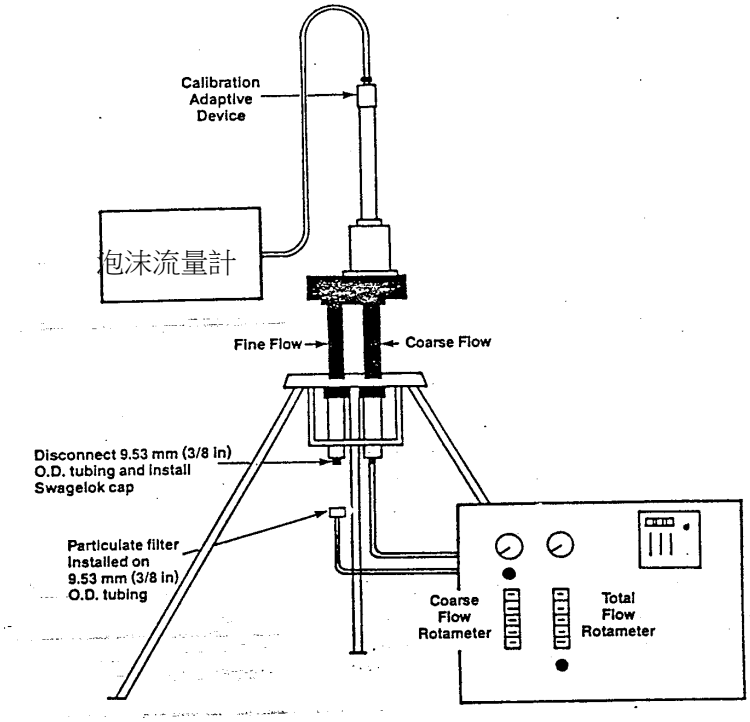


圖 5-1 Dichotomous 的示意圖及流量校正管線接法，(a)全流量校正；(b)粗微粒流量。

6. 分析程序

6.1 金屬成分分析

微量元素是以感應藕合電漿質譜儀（ICP-MS, Elan 6100, Perkin ElmerTM SCIEX, USA）來分析，其原理是先以霧化器(Nebulizer)將待測萃取液經霧化處理後，再以載送氣體輸送，將形成含待分析元素之氣膠(Aerosol)輸送至電漿(Plasma)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(Mass spectrometer)，配合質量分析器(Mass-analyzer)將各特定質荷比(Mass-to-charge ratios)之離子予以解析後，再以電子倍增器加以檢測，並進行多元素之定性及定量。本儀器使用四極柱質量分析器，幾乎可在同一時間狀況下作多元素的分析，因此感應藕合電漿質譜儀具有分析速度快、偵測極限低及樣本消耗量少的優點。

質譜儀在當天分析之前會以校正溶液（10 ppb,Mg, Cu, Rh, Cd, In, Ce, Ba, Pb, and U, Perkin Elmer）來調機並確認儀器的狀況。檢量線是由各元素標準液（1000 ppm Stock Solution, Merck）混合、酸化並稀釋至適當濃度之後分析所得。另外為確保實驗及分析結果的可信度，在每一批次分析的同時都會分析標準參考樣本（SRM1648），及並分析內標準品（In）監視儀器飄移狀況，消化空白則是用來扣除試劑及實驗過程中的背景。

本研究以感應藕合電漿質譜儀分析了以下 Al、Fe、Na、Mg、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn、Sb、Tl、Pb、V、Cr、As、Y、Se、Ge、Rb、Cs、及 Ga 等微量元素，分析時的各項參數如下表：

表 6-1 ICP-MS 分析時使用參數。

Nebulizer Gas Flow Rate(L/min)	0.87
RF Power（ Watts ）	1200
Lens Voltage （ Volts ）	7.75
Analog Stage Voltage （ Volts ）	-1900
Pulse Stage Voltage（ Volts ）	800
Scanning Mode	Peak Hopping
Dwell Time （ ms ）	100
Detector Mode	Dual （ Pulse & Analog ）

6.2 金屬 QA/QC

1. 所有品管數據應加以保存以利日後參考或查閱。
2. 儀器偵測極限(IDL)以 μg/L 為單位，至少每 3 個月重新製作 IDL 一次並保存紀錄。IDL 係連續分析 7 次試劑空白溶液，以其 3 倍之標準偏差值表示。
3. 本實驗亦以空白濾紙的分析值三倍標準偏差值計算了方法偵測極限（MDL），其中假設 MOUDI 的採樣體積量分別為 5 及 50 立方米的情況，並且比較了兩種不同廠牌的鐵氟龍濾膜結果，如表 3.3.1。
4. 分析過程中須監測內標準品信號強度之變化情形，當樣品中任何內標準元素之信號強度衰減至最初檢量線中內標準品信號強 30%以下時，則可能發生基質效應，儀器之偵測極限會因基質干擾效應之發生而改變。當發生上述情形時，可依下列程序檢查導致內標準品信號衰減之原因：首先可利用分析檢量線空白溶液中之內標準信號，確認儀器之檢測效能(Analytical performance)是否有明顯地漂移現象，若檢量線空白溶液中之內標準信號強度亦出現明顯衰減現象，則需終止所有分析工作，待查明原因，並解決導致儀器分析效能改變因素後，始得重新建立檢量線，並分析導致基質效應之樣品；如導致內標準品信號衰減原因不是源自儀器效能之飄移時，則可利用稀釋方式，降低樣品中基質濃度，以達到移除基質干擾之目的。此時，可根據內標準品信號衰減之嚴重程度選擇適當之稀釋倍數進行樣品稀釋，並重新添加適量內標準品進行分析，如果第一次稀釋無法消除基質干擾問題，即必須重複上述稀釋程序直到內標準品信號強度提升至檢量線標準溶液中內標準品信號強度 30 %以上。
5. 每 12 小時或於開始分析樣品前，需以干擾查驗液進行分子離子干擾之查核工作。由於干擾查驗液中部分元素有可能會發生沉澱問題，故在檢測過程中應注意是否有類似問題發生。
6. 為得到高品質分析數據，藉由同時測量分析物以外之干擾離子，作為決定是否須使用校正方程式之依據。當儀器分析過程若有質譜性干擾，於分析結果中必須針對被干擾之元素，並註明被校正之干擾信號佔所有分析信號之百分比及校正方程式中未置入校正之干擾物種。
7. 儀器檢量線查核

   A.以檢量線空白溶液和檢量線確認溶液進行檢量線查核。

   B.每分析 10 個樣品，須以檢量線確認溶液和檢量線空白溶液進行檢量線查核。另外，在分析樣品前後，也必須以上述查核溶液進行檢量線查核。

   C.檢量線確認溶液之分析結果均必須小於配製值之 10%，否則必須停止分析，待問題修正後，再重新利用檢量線確認溶液進行儀器之校正查核。另外，當發現檢量線查核結果不符時，受影響之樣品應利用重新製作之檢量線再次進行分析。

   D.每個元素之檢量線空白值必須小於 2 倍 MDL 值。若發現檢量線空白值大於 2 倍 MDL 值時，必須檢查誤差原因並改善後，受影響之樣品亦必須重新分析。

8. 配製空白分析主要為確認待測樣品是否於樣品分析過程中遭受污染。對於每一批次樣品之分析測定，至少需包括一個以上之方法空白樣品，且該樣品必須依循完整之樣品製備程序處理。方法空白樣品之製備為與樣品採樣相同過程進行空白採樣，並與萃取樣品微粒上金屬成分相同步驟進行萃取，再以完整分析程序進行分析。分析步驟包括前處理、消化處理、樣品稀釋、過濾處理和分析測定等。
9. 實驗室品管樣品(LCS)應以與待測樣品相同之前處理方法、測定及品質管制程序進行分析，每批樣品或至少每 20 個樣品應進行一個實驗室品管樣品分析。
10. 同一批次或 20 個樣品做一次重複分析，若同時有不同基質之樣品時，每種基質之樣品均需進行重覆分析。對於分析物濃度大於儀器偵測極限值 100 倍之樣品而言，其重覆分析之相對百分偏差值範圍必須在±20%以內。
11. 於消化後之樣品或經稀釋樣品中添加適量之標準品，其回收率應在 75~125%之間或是在實驗室自訂之管制標準內。如果添加標準品之回收率不在管制範圍內，樣品必須加以稀釋並重新分析，以確認是否已有效抑低基質效應。亦可直接利用標準添加法進行定量的工作。
12. 稀釋測試：

    如果樣品中分析物之濃度落在儀器線性範圍內，即可利用稀釋法來確認是否有非質譜性之干擾存在。一般而言，若稀釋 5 倍之分析值與未稀釋樣品分析值間之差異超過 10%以上時，則可能發生非質譜性干擾效應。同一基質之批次樣品中，至少每 20 個樣品必須做一個稀釋測試，以確認是否有非質譜性干擾。
13. 分析標準參考品 SRM1648：

    本研究中使用 NIST SRM1648 標準參考品做為最終驗證數據品質之依據，標準參考品亦依標本的微波消化處理與隨後 ICP-MS 分析之流程，其結果（準確度與精確度）如表 3.2.1。並且在標本進行 ICP-MS 分析時，檢量線製做好後，旋即分析 SRM1648 消化溶液，回收率必須多落在 100±10％以內才能繼續分析，否則重新分析。一旦開始分析，每分析 15 至 20 個標本後，必須再分析 SRM1648。

6.3 離子成分分析

方法概要

本研究採用環檢所公告的標準方法「空氣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」，進行所採集奈米微粒的水溶性陰陽離子成分分析。本方法主要是用於測定微粒所含的陰離子，但對陽離子的量測也相同適用，主要差別在於陰、陽離子交換樹脂的使用。

空氣中奈米微粒由 MOUDI 進行採樣，採樣結束後將收集奈米微粒的鐵氟龍濾紙置入裝有超純水的試劑瓶中，進行超音波震盪萃取離子，成為水溶液樣品。水樣中待測的離子，隨移動相溶液經一系列之低容薄層離子交換層析管時，因與樹脂間親和力不同而分離。經抑制裝置轉換後之待測離子再流經電導度偵

測器，即可依其滯留時間及波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。

適用範圍

本方法適用於水溶性佳之鹽類，如：F^-、 Cl^-、 SO_4^{2-}、 NO_3^-、Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}之檢測。本方法偵測極限與樣品之注入體積及導電度偵測器之設定有關，對於使用 100 μL 樣品迴路及 10 μS / cm 全比例(Full – scale)導電度偵測器，偵測極限可達 0.05 ～ 0.5 μg / m^3。

干擾

1. 任何能產生與待測離子有相同滯留時間之波峰的物質，均會對該待測離子產生干擾，一般可利用適當稀釋水樣及梯度沖提予以排除。
2. 對於圖譜中未知之波峰，應利用標準品添加法，予以確認之。
3. 試劑水、玻璃器皿及採樣儀器等如遭污染，亦將對檢測結果造成干擾，尤其本方法檢測時所需水樣量相當少，操作時更應特別注意。
4. 單一離子之濃度如太高會對其他離子造成干擾，可利用稀釋或梯度沖提來改善。
5. 樣品前濃縮、梯度沖提及將沖提出之樣品再注射等技術，固然可減少干擾之發生，但仍應對個別成成的精密度與準確度作確認。

設備與材料

1. 離子層析儀：包括注入閥、樣品迴路、保護管、抑制裝置、離子層析管、具溫度補償之電導度偵測器及記錄器或積分儀，且可提供 1 至 5 mL / min 移動相溶液流量及 1400 至 6900 kpa 的壓力或適用於各廠牌儀器之特殊規定。
2. 陰離子層析管柱：具苯乙烯 － 二乙烯基苯(Styrene divinylbenzene – based)之低容薄層層析管柱或類似材質之層析管柱對 Cl^-， SO_4^{2-} 及 NO^{3-} 有良好之分離效果者，參考圖一。
3. 保護管柱：與層析管具有相同材質者；用以保護層析管避免污染或損壞。(就特定使用期間後應更換)
4. 抑制裝置：具陽離子交換樹脂薄膜或纖維，能連續將待測物及移動相溶液轉換成酸的型態，或其它類似有效的背景抑制裝置(註 1)。
5. 採集用濾紙須符合下列基本規格
    a. 濾紙尺寸：20 × 25 cm (或 8 in × 10 in)。
    b. 濾紙之有效採集面積：18 cm × 23 cm (或 7 in × 9 in)。
    c. 濾紙材質：玻璃纖維、石英或鐵氟龍，以鐵氟龍材質為佳。
6. 濾膜： 不含待測物之 0.45 μm 孔徑。
7. 天平：可精秤至 0.001 mg 者。
8. 過濾用濾紙：不含待測物之濾紙。

試劑

1. 試劑水：不含待測物之去離子水或蒸餾水，並經 0.45 μm 孔徑濾膜過濾，以避免堵塞管柱，導電度應在 0.1 μS / cm 以下者。
2. 移動相溶液
   a. 碳酸氫鈉 - 碳酸鈉溶液Ⅰ：溶解 0.336 g (4 mM)之碳酸氫鈉和 0.424 g (4 mM)之無水碳酸鈉於水中，並以試劑水定容至 1 L。
   b. 碳酸氫鈉 - 碳酸鈉溶液Ⅱ：溶解 0.143 g (1.7 mM)之碳酸氫鈉和 0.191 g (1.8 mM)之無水碳酸鈉於水中，並以試劑水定容至 1 L。
   c. 或依各廠牌儀器分離管柱之特殊規定配製。
3. 再生溶液，0.025 N：稀釋 2.8 mL 濃硫酸至 4 L 或依各廠牌儀器之特殊規定配製。
4. 標準儲備溶液，1000 mg / L：取表 9-1 中所列之標準品(試藥級以上之等級)，於 105 ℃ 乾燥 8 小時後，參考表中所列之試藥取用量，將試藥溶解於試劑水中，並稀釋至 1 L，此溶液可保存 1 個月，或購買市售具濃度及保存期限說明之標準儲備溶液。
5. 標準中間溶液：配製適當之單一或混合標準中間溶液，分別各取標準儲備溶液 10 mL，至 100 mL 量瓶內，配製成單一或混合標準中間溶液(100 mg / L)。
6. 檢量線標準工作溶液：依據待測陰離子濃度，將標準中間溶液配製成適當濃度範圍的標準工作溶液。

採樣及保存

經採樣器抽引 12-48 小時(約 21.6~86.4 m^3 空氣量)後之採樣濾紙，取其採集面積 50 %，即剪成半圓置於 100 mL 容器中，加入超純水 30 mL，放入超音波震盪機中，加入適當水量於震盪機後，開機震盪萃取 60 分鐘。震盪完畢後，於 4 ℃冷藏保存。將萃出液以離子層析儀進行離子成分分析。

步驟

(一)儀器準備

1. 打開離子層析儀電源，並調整移動相溶液流量(約 1 ~ 2 mL / min 或依各儀器建議值)，使之具有較佳之分離效果。
2. 調整導電度偵測器，通常設定在 10 至 30 μs 之間。使儀器溫機 15 至 20 min，觀察偵測器之圖譜基線，俟其達到平穩後，將偵測器之偏位歸零。
3. 調整抑制管試劑流量約 2.5 至 3 mL / min (或依各儀器建議值)。

(二)檢量線製備

1. 注入含有單一或混合化合物之標準溶液，在特定實驗條件下，各離子的滯留時間為一定值，則可依其滯留時間，予以定性。
2. 依據待測陰離子濃度，配製成適當濃度範圍的標準工作溶液，需要用五個濃度均勻分佈的檢量線標準溶液和一個零值標準溶液以製作檢量線。最低濃度必須小於待測物濃度或等於方法偵測極限(MDL)，最高濃度必須稍微超過待測物濃度，並依結果之波峰高度、面積或感應強度與注入濃度之關係，繪製各個待測陰離子之檢量線。

(三) 真實水樣檢測

取適量之檢液，必要時稀釋(如有需要，先使通過濾膜)，選擇適當之樣品迴路(Sample Loop)將樣品注入樣品迴路，並確實使樣品迴路充滿樣品，啟動注入樣品迴路開關，使樣品隨移動相溶液流入離子層析儀中，並依波峰高度、面積或感應強度，由檢量線求得待測液中離子之含量。

(四) 空白試驗

另取採樣用，同樣尺寸、材質之空白濾紙，依採樣與保存步驟分析空白樣品。

(五) 方法偵測極限

本研究之方法偵測極限(MDL)測定步驟，係依環檢所 PA107 環境檢驗方法偵測極限測定指引三、(一)、1、(2)待測物於試劑水、適當溶劑或基質中，儀器重複測定值之標準偏差的 3 倍濃度為其預估 MDL 值。於試劑水中添加待測物配製成 7 個待測樣品，使其濃度為預估 MDL 值之 1 至 5 倍。取 7 個樣品分別經過完整的分析步驟，用以計算方法偵測極限值。第二次或以後反覆計算 MDL 值時，利用最近一次 MDL 重複測試之變異數(S^2)值及前次 MDL 重複測試之 S^2 值，計算 F 比例再與 3.05 做比較，並計算最後的 MDL 值。

本研究方法偵測極限之測定，係取 7 個血清瓶分別放入 7 張鐵氟龍濾紙，並分別加入配製適當低濃度之 F^-、Cl^-、NO_3^-及 SO_4^{2-} 標準液，與超純水 30 mL，以超音波震盪萃取 60 分鐘後，再以離子層析儀測定之。Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}及 Ca^{2+} 等陽離子測試亦依上述步驟操作。

由分析結果計算方法偵測極限值。其變異數(S^2)、標準偏差(S)和方法偵測極限(MDL)的方法如下：

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2}{n}\right] \qquad (6\text{-}1)$$

$$S = (S^2)^{1/2}$$

MDL＝3S

由三、(一)2(4)求得 7 次測定值之標準偏差，利用 1.測得之 MDL 重複測試之變異係數(S^2)值及 2.測得之 MDL 重覆測試之 S^2 值，計算 F 比例 (如三、(一)4(2))。F 比例之計算是將較大之 S^2 值放分子，稱為 S_A^2，另一個 S^2 放在分母，稱為 S_B^2，先計算 F 比例再與 3.05 做比較，若 $S_A^2/S_B^2<3.05$，利用下述公式計算共同的標準偏差(Pooled Standard Deviation, S_{pooled})：

$$S_{pooled}=\left[\frac{6S_A^2+6S_B^2}{12}\right]^{1/2} \quad (6\text{-}2)$$

若 $S_A^2/S_B^2>3.05$，重新添加最新計算得到之待測物 MDL 濃度。依下述公式計算最後的 MDL 值(如三、(一)4(4))

$$MDL=2.681\times(S_{pooled}) \quad (6\text{-}3)$$

換算 MOUDI 及 Dichotomous 採樣流量分別為 16.7 LPM(24 小時採樣體積為 24 L)與 30 LPM(24 小時採樣體積為 43.2 m^3)，周界採樣 24 小時之周界濃度時之偵測極限(萃出液 30 mL)。

結果處理

利用各離子檢量線所得出的迴歸方程式，將試樣測得波峰面積代入，可得各離子濃度，計算分析樣品的水中離子濃度 C_l (ppb)，萃取液之體積量 (L)，來求得分析樣品中含某成分離子之重量 W_l (μg)，在採樣時間內之氣體總體積 $Q_g\times t$ (m^3)含此離子之重量，即是空氣中粒狀物水溶性離子之重量濃度 C_g (μg/m^3)，計算公式如下：

$$W_l=C_l\times\forall_l \quad (6\text{-}4)$$

$$C_g=\frac{W_l}{Q_g\times t\times 10^{-3}} \quad (6\text{-}5)$$

C_g：微粒中某水溶性離子重量濃度，μg/m^3。

W_l：利用採樣器採樣之分析樣品中分析物重量，μg。

C_l：水溶性離子在水的混合比，ppb (μg/L)。

$\forall_l$ ：萃取液體積，L。

Q_g：採樣器之氣體採樣體積流率，L/min。

t：採樣時間，min。

陰陽離子平衡 (Ionic equilibrium)

陰陽離子平衡比(ion ratio)的定義為陰離子當量濃度總和除以陽離子當量濃度總和，其目的為確認：(1)檢驗樣本中主要離子是否已被確實分析，(2)剔除不確定性較高的數據，以增加分析結果之可信度。陰陽離子比必須要落在 0.75-1.25 之間，水溶性離子的分析結果才具有較佳的可信度及代表性。計算微粒中水溶性離子陰、陽離子之當量濃度，計算公式如下：

C(陽離子當量濃度)=$[Na^+]/23+[NH_4^+]/18+[K^+]/39.1+[Mg^{2+}]/12+[Ca^{2+}]/20$

A(陰離子當量濃度)=$[F^-]/19+[Cl^-]/35.5+[NO_3^-]/62+[PO_4^{3-}]/26.3+[SO_4^{2-}]/48$

Ion ratio=A/C or C/A (6-6)

品質管制

1. 檢量線：製備檢量線時，至少應包括五種不同濃度之標準溶液(不包括空白零點)，檢量線之相關係數應大於或等於 0.995。

本實驗以 1000 mg/L 的 F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-} 混合陰離子標準品(High Purity, U.S.A.)溶液及 100 mg/L 的 Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 混合陽離子標準品(High Purity, U.S.A.)溶液，作為檢量線配製儲備標準溶液，查核檢量線是每次樣品分析前，取 10、30、80 ppb (μg/L)，作為品管查核濃度，各離子若相對誤差值皆落在±15%以內，則初始檢量線仍然有效，否則須重新製作檢量線。各離子之檢量線 R^2 值皆大於 0.995。表三為某一次檢量線結果，陽離子 Mg^{2+}較不佳，其餘陽離子相對誤差值都落在±15%內。而陰子查核結果相當不佳，所以每次配製檢量線陰離子都會從新配製 (2、5、10、20、30、60、80、100 μg/L)之濃度。相對誤差換算公式如下:

相對誤差＝(｜量測濃度－配製濃度｜/配製濃度)×100％

2. 空白分析：每批次或每十個樣品至少應執行一個空白樣品分析。

為了確認血清瓶及未採樣濾紙沒有其它化學物質污染，因此必須進行空白分析實驗。空白實驗包括以下三種：將 30 mL 超純水裝入血清瓶為溶劑空白，以及血清瓶裝入 30 mL 超純水並放入空白濾紙為實驗室空白，血清瓶裝入 30 mL 超純水並放入現場空白濾紙為現場空白。以超音波震盪器震盪水浴萃取 30 分鐘，再以離子層析儀分析萃出液，即可測得空白值。

3. 查核樣品分析：每批次或每十個樣品至少應執行一個查核樣品分析並製作管制圖。

本實驗是參考環檢所文件編號 NIEA-PA105 來建立本實驗室之管制圖。重複樣品分析是將同一樣品做二次分析所得到的測定值 X1、X2，依下式計算其相對差異百分比 RPD：本期共做 6 個 RPD 並繪製管製圖。

$$RPD(\%) = \frac{|X_1 - X_2|}{\frac{1}{2}(X_1 + X_2)} \times 100 \quad (6\text{-}7)$$

RPD(%)：相對差異百分比

X_1：第一次樣品濃度(ppb)

X_2：重覆分析樣品濃度(ppb)

進行重複分析 n 次，得到 n 個 RPD，利用下式計算平均 RPD, $\overline{RPD}$, 及 S：

$$\overline{RPD} = \frac{\sum_{i=1}^{n} RPD_i}{n} \quad (6\text{-}7)$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(RPD_i - \overline{RPD}\right)^2 / n - 1} \quad (6\text{-}8)$$

$\overline{RPD}$：重複樣品相對差異百分比之平均值(%)

RPDi：個別重複樣品之相對差異百分比

n：測定值數目

S：標準偏差

依下式分別計算警告上限值（UWL）、管制上限值（UCL）以及管制下限值（LCL）：

UCL：$\overline{RPD}+3S$ (6-9)

UWL：$\overline{RPD}+3S$ (6-10)

LCL：0

4. 重複分析：每批次或每十個樣品至少應執行一個重複分析並製作管制圖。

查核樣品是為同一濃度而不同來源之標準品，所配製成的樣品，於每批次樣品檢驗時，應同時執行查核樣品之驗，查核樣品一般均選用固定濃度，如若檢驗以盲樣型式來執行，則其濃度應介於當初評估管制範圍之查核樣品濃度的80%~120%之間。在此範圍內，管範圍才不至於有太大的變化。本期實驗進行 8 次查核分析值所繪製成管製圖，依下式計算測定值之平均值 $\overline{X}$ 及標準偏差 S。

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad (6\text{-}11)$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{X} \right)^2 / n - 1} \quad (6\text{-}12)$$

X_i ＝查核樣品之個別測定值

$\overline{X}$ ＝查核樣品測定值之平均值

n ＝測定值數目

S ＝標準偏差

依下式分別計算警告上限值(UWL)，警告下限值(LWL)、管制上值(UCL)以及管制下限值（LCL）。

UCL：$\overline{X}$ +3S (6-13)

UWL：$\overline{X}$ +2S (6-14)

LCL：$\overline{X}$ -3S (6-15)

LWL：$\overline{X}$ -2S (6-16)

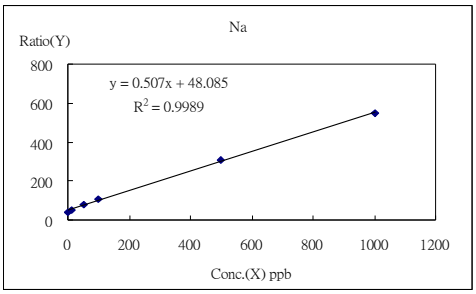
7. QA/QC 執行結果

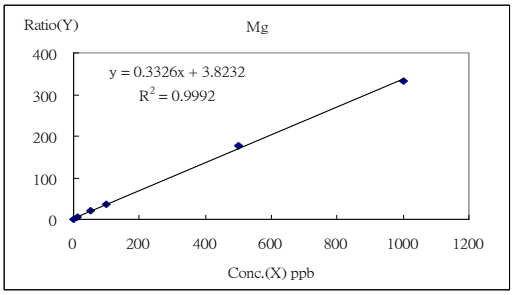
7.1 濾紙秤重

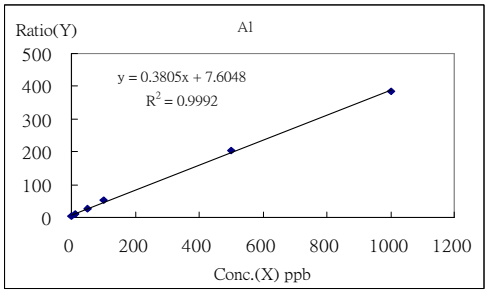
進行每次秤重之前，先查核實驗室長期濾紙空白，鋁箔濾紙重量差異在±1 μg 以內，鐵氟龍濾紙重量差異在±2 μg 以內始進行濾紙採樣前後的秤重。由於本研究嚴格控制濾紙調理及秤重環境的溫溼度，所以長期濾紙空白皆能達到設定的標準。此外每次採樣前亦準備當次採樣的實驗室及現場空白鐵氟龍濾紙，以做為當次採樣的濾紙秤重查驗，結果顯示當次的實驗室及現場空白鐵氟龍濾紙採樣前後的重量差都在±3 μg 以內。

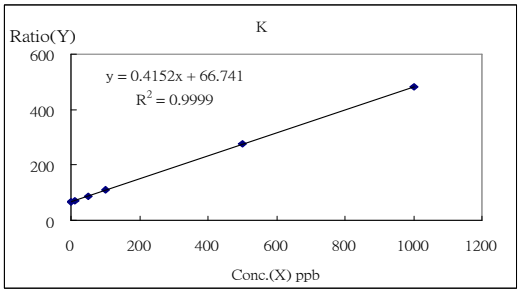
7.2 元素分析

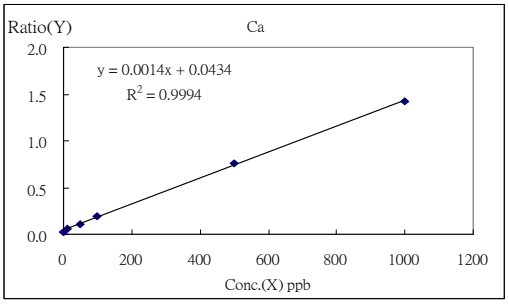
本研究使用 ICP-MS 分析分析了以下 Al、Fe、Na、Mg、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Mo、Cd、Sn、Sb、Tl、Pb、V、Cr、As、Y、Se、Ge、Rb、Cs、及 Ga 等微量元素，部分原素的檢量線如圖 7-1 所示，而 QA/QC 結果如表 7-1 所示。其結果顯示：所以分析物種檢量線之 R^2 值最低為 0.997；儀器 ICP-MS 之檢量線確認(ICV)項目其百分偏移之範圍為 0.5~8.9 %(管制範圍為 0~10 %)；持續檢量線項目其確認(CCV)百分偏移之範圍為 0.7~8.7 %(管制範圍為 0~10 %)；重複分析項目其 RPD 之範圍為 0.4~16.5 %(管制範圍為 0~20 %)；查核分析項目其回收率之範圍為 81.5~116.3 %(管制範圍為 75~125 %)；添加分析項目其回收率之範圍為 84.4~123.0 %(管制範圍為 75~125 %)。

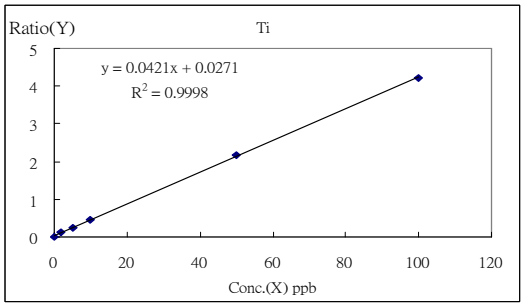


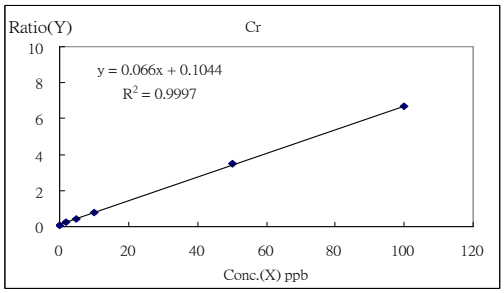


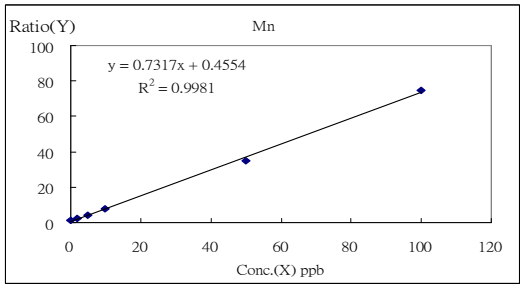


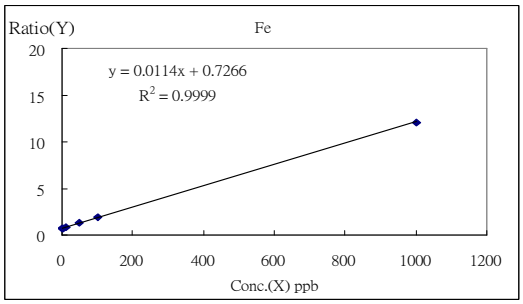


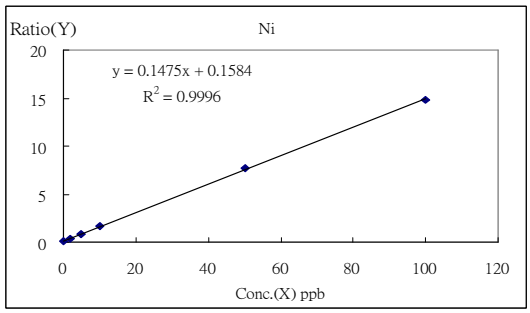

Ratio(Y)
Ca
y = 0.0014x + 0.0434
R2 = 0.9994
Conc.(X) ppb

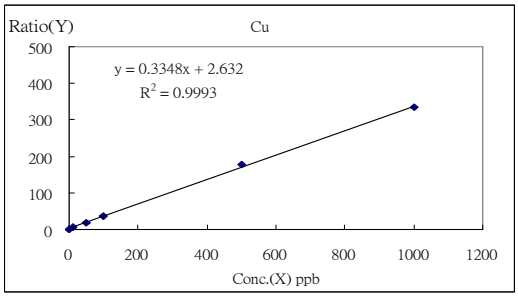

Ratio(Y)
Ti
y = 0.0421x + 0.0271
R2 = 0.9998
Conc.(X) ppb

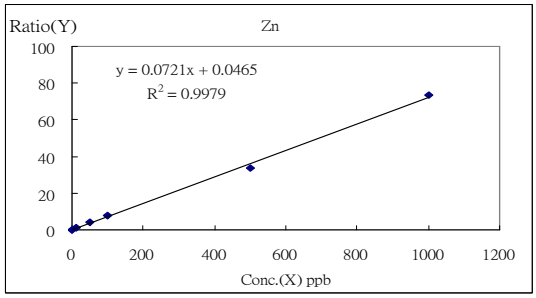

Ratio(Y)
Cr
y = 0.066x + 0.1044
R2 = 0.9997
Conc.(X) ppb

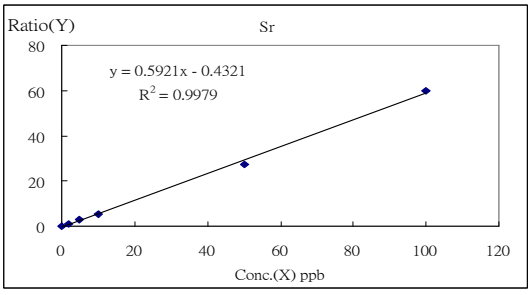

Ratio(Y)
Mn
y = 0.7317x + 0.4554
R2 = 0.9981
Conc.(X) ppb

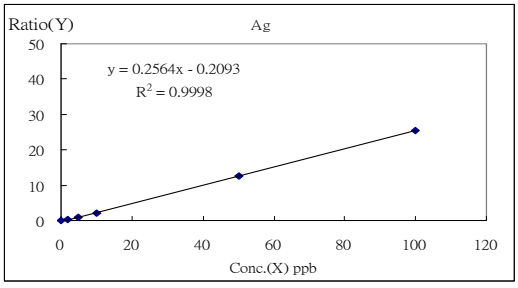

Ratio(Y)
Fe
y = 0.0114x + 0.7266
R2 = 0.9999
Conc.(X) ppb


Ratio(Y)
Ni
y = 0.1475x + 0.1584
R2 = 0.9996
Conc.(X) ppb


Ratio(Y)
Cu
y = 0.3348x + 2.632
R2 = 0.9993
Conc.(X) ppb


Ratio(Y)
Zn
y = 0.0721x + 0.0465
R2 = 0.9979
Conc.(X) ppb


Ratio(Y)
Sr
y = 0.5921x - 0.4321
R2 = 0.9979
Conc.(X) ppb


Ratio(Y)
Ag
y = 0.2564x - 0.2093
R2 = 0.9998
Conc.(X) ppb

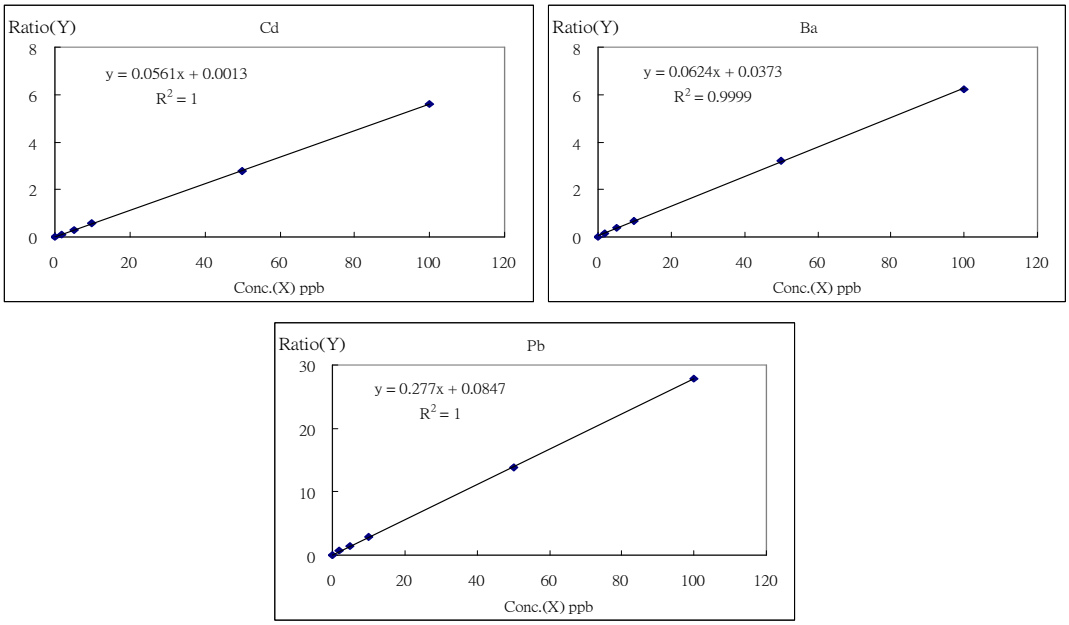


圖 7-1 金屬及元素分析之檢量線結果。

表 7-1 為本研究元素分析各元素之方法偵測極限結果。表 7-2 為準確性及精確性結果。

表 7-1 方法偵測極限（MDL），單位為 ng/m^3。

	If filtrated air volume = 45 m^3	If filtrated air volume = 25 m^3
	MOUDI	Dichot
	(n=5)	(n=5)
Al	1.11	1.81
Fe	1.88	8.38
Na	1.39	2.29
Mg	0.17	0.40
K	3.36	2.57
Ca	1.98	3.17
Sr	0.001	0.014
Ba	0.101	0.022
Ti	0.086	0.063
Mn	0.037	0.056
Co	0.002	0.008
Ni	0.034	0.059
Cu	0.042	0.053
Zn	0.159	0.049
Mo	0.007	0.033
Ag	0.017	0.038
Cd	0.002	0.004

Sn	0.005	0.059
Sb	0.013	0.023
Pb	0.025	0.028
V	0.012	0.002
Cr	0.304	0.396
As	0.035	0.028
Se	0.041	0.050
Rb	0.001	0.001
Ga	0.002	0.009

表 7-2 標準品 NIST SRM1648 分析結果，包括準確值及精確值。

	Certified value (μg/g)	Accuracy (%) (n = 5)	Precision (%) (n = 5)
Al	34200	96	3
Fe	39100	95	1
Na	4250	102	3
Mg	8000	98	2
K	10500	95	3
Ca*	53810	108	2
Sr*	237	92	2
Ba	737	99	2
Ti	4000	97	2
Mn	786	100	3
Co	18	95	4
Ni	82	105	4
Cu	609	92	1
Zn	4760	96	3
Mo*	15	107	5
Cd	75	95	3
Sn*	124	108	4
Sb	45	103	1
Tl*	1.9	125	3
Pb	6550	93	2
V	127	100	1
Cr	403	93	1
As*	99	108	1
Y*	13	115	4

Se	27	105	8
Zr*	128	108	5
Nb*	29	102	4
Ge*	12	118	4
Rb*	52	92	3

7.4 離子成分分析

本研究所採集之大氣微粒上的水溶性陰陽離子成份，是利用離子層析法進行分析，所使用的分析儀器為離子層析儀(IC, Ion Chromatography, Model 120, Dionex corp., California, USA)，其中陰離子分析管柱為 IonPac AS12A，陽離子分析管柱為 IonPac CS12，分析的離子包含 F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}等離子。陰離子分析係以 2.7 mM Na_2CO_3 / 0.3 mM $NaHCO_3$ 作為流洗液，帶動樣品在分析管柱中移動，並於抑制器中形成 H_2CO_3 低解離性酸，將沖提液所引起之導電度干擾降至最低，以提高偵測極限，流洗液流量為 1.5 mL/min；而陽離子分析則以 20 mM 甲磺酸(Methane sulfonic acid)作為流洗液，流量則為 1 mL/min。

品質管制 QA/QC

檢量線建立

本研究針對 F^-、Cl^-、CH_3COO^-、NO_3^-、NO_2^-、SO_4^{2-}、Na^+、NH_4^+、K^+ 、Mg^{2+}及 Ca^{2+}等離子成份進行分析，以 1000 mg/L 的 F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-} 混合陰離子標準品(High Purity, U.S.A.)溶液及 100 mg/L 的 Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 混合陽離子標準品(High Purity, U.S.A.)溶液，作為檢量線配製儲備標準溶液，將綜合標準溶液配製為 1、2、5、10、20、40、60、80、100 ppb (μg/L)已知濃度的標準品，注入離子層析儀中，建立標準檢量線，並以超純水當做檢量線零點，確認配製動作是否有干擾污染。本實驗為分析微量 PMs 離子，以上 7 點濃度是針對 $PM_{0.1}$ 來配製，一般採樣以都會區所收集到的離子比率較高(如 PM_{10}、$PM_{2.5}$)，所以在分析上會針對 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 粒徑的水溶液離子做稀釋，此各離子之檢量線 R2 值必須大於 0.995。每次樣品分析前，取 10、40、80 ppb (μg/L)標準品溶液，作為品管查核濃度，並查核檢量線是否適用，各離子若相對誤差值皆落在±15%以內，則初始檢量線仍然有效，否則須重新製作檢量線，一般情況下每次分析前皆須重新製作檢量線。

方法偵測極限

本實驗之方法偵測極限係參考環檢所之標準方法(NIEA-PA107)，並採用曾經測得之 MDL 值作為預估之 MDL 值。利用標準溶液配製七個待測樣品，分析完成後取七次測定值之 3 倍標準偏差 (S) 即為 MDL 值。換算 MOUDI 及 Dichotomous 採樣流量分別為 16.7 L/min(24 小時採樣體積為 24 m^3)與 30 L/min (24 小時採樣體積為 43.2 m^3)，周界採樣 24 小時之周界濃度

時之偵測極限(萃出液 30 mL)。

表 7-3 各離子之方法偵測極限。

	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
次數	配製濃度	配製濃度	配製濃度	配製濃度	配製濃度	配製濃度	配製濃度	配製濃度	配製濃度
	2μg/L	2μg/L	2μg/L	1μg/L	1μg/L	2μg/L	2μg/L	2μg/L	2μg/L
1	1.93	1.91	2.18	1.02	1.03	2.05	2.48	2.05	2.19
2	2.16	2.15	2.15	1.08	1.04	2.29	2.49	2.06	2.25
3	2.22	2.13	2.2	1.01	1.07	2.06	2.11	2.09	2.18
4	2.12	2.05	2.22	1.09	1.15	2.22	2.11	2.11	2.13
5	2.2	2.16	2	0.96	1.15	2.27	2.10	2.14	2.20
6	1.84	2.13	2	0.9	1.12	2.30	2.09	2.48	2.24
7	2.08	2.21	1.85	1.03	1.14	2.28	2.03	2.22	2.33
Average	2.08	2.11	2.09	1.01	1.10	2.21	2.20	2.16	2.22
SD	0.14	0.10	0.14	0.07	0.05	0.11	0.19	0.15	0.06
MDL μg/L	0.43	0.30	0.41	0.20	0.16	0.33	0.58	0.45	0.19
MOUDI* μg/Nm^3	0.0003	0.00021	0.00029	0.00014	0.00011	0.00023	0.00041	0.00031	0.00013
Dichot* μg/Nm^3	0.00053	0.00037	0.00052	0.00025	0.00020	0.00041	0.00073	0.00056	0.00024

Dichotomous 與MOUDI 皆表示：萃出液 30 mL，採樣流量分別為16.7 L/min 與 30 L/min，採樣24 小時之偵測極限。

檢量線查核分析結果

本研究以1000 mg/L的F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-} 混合陰離子標準品(High Purity, U.S.A.)溶液及 100 mg/L的Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 混合陽離子標準品(High

Purity, U.S.A.)溶液，作為檢量線配製儲備標準溶液，將標準溶液配製為1、2、5、10、20、40、60、80、100 ppb (μg/L)已知濃度的標準品，注入離子層析儀中，建立檢量線。圖3.4.4為某一次之主要水溶性陰、陽離子F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、Na^+、NH_4^+、K^+及Mg^{2+} 之檢量線，各離子之檢量線R^2值皆大於0.995。每次樣品分析前，取10、30、80 ppb (μg/L) 標準品溶液，作為品管查核濃度，並查核檢量線是否適用，若相對誤差值皆落在 ±15 % 以內，則初始檢量線仍然有效，否則須重新製作檢量線。一般情況下陽離子檢量線查核的結果比較容易通過，但陰離子則非，因此每次分析樣本我們通常重新製作新的檢量線。表7-4為2011/06/28及2011/10/01檢量線查核結果，10 ppb 兩次查核結果，相對誤差值落在 -13.3~13.1 %，其餘相對誤差值落在 -8.8~8.0 % 之間，初始檢量線均在適用範圍內。

表7-4 檢量線查核結果

	檢量線查核結果(相對誤差值，%)					
	2011/06/28			2011/10/01		
離子	10ppb	30ppb	80ppb	10ppb	30ppb	80ppb
F^-	-4.9	-2.1	1.4	3.5	-2.4	5.9
Cl^-	3.0	-2.4	-0.6	5.6	1.3	0.5
NO_3^-	-0.03	-1.2	-0.8	13.1	5.8	2.9
SO_4^{2-}	-0.5	-2.1	-0.2	4.9	1.1	2.8
Na^+	-2.1	0.2	8.0	-1.8	-3.8	0.2
NH_4^+	-5.0	1.1	4.8	-6.3	-3.9	-1.0
K^+	-13.3	-4.3	5.9	-6.8	-8.8	0.9
Mg^{2+}	5.3	-1.5	7.2	-7.0	-5.1	0.3
Ca^{2+}	-4.1	-0.8	7.2	-5.3	-7.0	0.1

樣品保存方法

大氣採樣後之樣品，前半段在恆溫恆濕箱以溫度 23±0.3℃及相對濕度(RH) 40±5%進行調理，後半段將經過超音波震盪器萃取之後的萃取液以 3 mL 針管抽取，並以封口膜密封後置於冰箱以 4℃保存，以待 IC 分析。

離子濃度計算

利用各離子檢量線所得出的迴歸方程式，將 Peak Area 轉換成溶液 ppb 型式，而溶液 ppb＝μg/L，故將萃取液的體積乘上，即可轉換成 μg，將 μg 除上採樣器流量及採樣時間，便可得出表示單位為 μg/m^3 粒狀污染物之濃度。

$$C_{water,\ PM_{0.1}} \times l = C_{air,\ PM_{0.1}} \times V \times t \tag{7.1}$$

$$C_{air,\ PM_{0.1}} = \frac{C_{water,\ PM_{0.1}}}{V \times t} = \frac{m_{PM_{0.1}}}{V \times t} \tag{7.2}$$

其中 $C_{water,PM_{0.1}}$ (ppb_{water}): $PM_{0.1}$ 可溶性離子水中濃度; l (m^3):萃取液體積, 1.5×10^{-5} m^3; $C_{air,PM_{0.1}}$ (μg/m^3): $PM_{0.1}$ 可溶性離子重量濃度; V (m^3/min):採樣氣體體積流率; t (hr): 採樣時間 24 小時; $m_{PM_{0.1}}$ (μg): 細微粒可溶性離子重量。

陰陽離子平衡 (Ionic equilibrium)

陰陽離子平衡比(ion ratio)的定義為陰離子當量濃度總和除以陽離子當量濃度總和，其目的為確認：(1)檢驗樣本中主要離子是否已被確實分析，(2)剔除不確定性較高的數據，以增加分析結果之可信度。陰陽離子比必須要落在0.75-1.25之間，水溶性離子的分析結果才具有較佳的可信度及代表性。計算微粒中水溶性離子陰、陽離子之當量濃度，計算公式如下：

C(陽離子當量濃度)=$[Na^+]/23+[NH_4^+]/18+[K^+]/39.1+[Mg^{2+}]/12+[Ca^{2+}]/20$

A(陰離子當量濃度)=$[F^-]/19+[Cl^-]/35.5+[NO_3^-]/62+[SO_4^{2-}]/48$

Ion ratio=A/C or C/A

空白樣品分析

為了確認血清瓶及未採樣濾紙沒有受其它化學物質污染，因此必須進行空白分析實驗。空白實驗包括以下三種：將 30 mL 超純水裝入血清瓶為溶劑空白，以及血清瓶裝入 30 mL 超純水並放入空白濾紙為方法空白，血清瓶裝入 30 mL 超純水並放入現場空白濾紙為現場空白。以超音波震盪器震盪水浴萃取 60 分鐘，再以離子層析儀分析萃出液，即可測得空白值。表 7-5 為空白樣品測試之結果。溶劑空白皆為 ND，方法空白的結果顯示，大部份水溶性離子的濃度皆低於 0.5 μg/L (ppbw)。實驗室空白測試方面，所有離子的濃度皆低於 1.0 μg/L。現場空白的值一般與採樣環境有關，表中分別呈現三個測站的測試結果，結果顯示濃度比溶劑空白及實驗室空白稍高，其中以 Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、Na^+ 及 Ca^{2+} 較高，不過值僅低於 3.0 ppbw，濾紙受背景鹽類物質輕微汙染。

以 Cass et al. (2000)在加州七個都會區所做奈米微粒採樣結果，都會區奈米

微粒平均重量濃度約為 1.5 μg/m^3 為參考，假設採樣進行 24 小時，採樣流率 30 L/min，則濾紙可收集奈米微粒約 65 μg，取其 0.5 % (大氣微粒的離子質量比例大多比此值高)重量 0.17 μg 溶入 30 mL 水溶液中，離子濃度約為 5.7 ppbw (換成空氣中濃度為 0.0075 μg/m^3)，本研究以此值作為空白實驗的限值，當大於 5 ppb 視為血清瓶有離子殘留或濾紙受污染,須再進一步清洗血清瓶或探究濾紙受污染原因。

表 7-5 空白樣品測試結果。(單位：ppbw)

離子	溶劑空白	方法空白	實驗室空白	現場空白 (新莊測站 n=28)	現場空白 (中山測站 n=24)	現場空白 (竹東測站 n=24)
F^-	ND	ND	ND	0.31	ND	ND
Cl^-	ND	ND	ND	1.23	0.82	0.86
NO_3^-	ND	0.38	0.88	2.57	2.14	1.95
SO_4^{2-}	ND	0.41	0.96	2.89	2.60	1.81
Na^+	ND	ND	0.35	1.10	1.49	1.45
NH_4^+	ND	ND	ND	0.37	ND	ND
K^+	ND	ND	ND	0.83	0.56	ND
Mg^{2+}	ND	ND	0.56	1.72	0.98	1.06
Ca^{2+}	ND	0.21	0.74	2.39	1.01	1.09

濾紙添加萃取測試

在空白濾紙上添加一定濃度之標準品，共同以超音波震盪器震盪水浴萃取 60 分鐘，再以離子層析儀分析萃出液，測試標準品添加回收率。在濾紙中添加 10 (0.3 μg)、30 ppbw (0.9 μg)之標準品作為低濃度 MOUDI 樣品，並添加 500 (15 μg)、600ppbw (18 μg)之標準品模擬 Dichot 高濃度樣品之萃取情形。

由表 7-6 濾紙添加樣品測試結果得知，溶劑空白及方法空白 NO_3^-與 SO_4^{2-} 測值均在 3 ppb 以下，顯示溶劑、血清瓶與空白濾紙無污染干擾之虞，而標準品之回收率介於 92-103 %，代表檢量線在適用範圍內。而濾紙添加 SO_4^{2-}之回收率為 100-110 %。在低濃度(10-30 ppbw)時，添加 NO_3^-回收的率介於 124-128 %，高濃度(500-600 ppbw)添加時，回收率則接近 100 %。

表 7-6 濾紙添加樣品測試結果(ppbw)。

Sample	標準品添加	NO_3^-	SO_4^{2-}

		檢出濃度	回收率(%)	檢出濃度	回收率(%)
標準品	10	9.33	93.25	9.80	97.97
	30	29.48	98.26	27.85	92.84
	60	60.03	100.05	56.11	93.51
	80	82.92	103.66	76.58	95.72
濾紙添加	10	12.83	128.31	10.96	109.62
	30	37.35	124.49	30.89	102.97
	500	502.45	100.50	504.96	100.99
	600	612.83	102.14	612.28	102.05

7.5 PAHs 分析

空白試驗

本研究為避免來自溶劑、試劑、玻璃器皿及其他樣品處理過程中所用之器皿的污染，造成人為誤差或偵測基線升高，所以這些物質必須在設定的分析條件下，進行空白分析，證明其無干擾。本研究分別針對溶劑、濾紙、現場、運送及採樣設備空白進行分析。

溶劑空白

溶劑空白為監測樣品在整個分析過程中導入的污染而設計之樣品。該樣品依與待測樣品相同前處理、分析步驟檢測之；由試劑空白樣品之分析結果可判知樣品在分析過程是否遭受污染。本研究所使用之溶劑計有正己烷、二氯甲烷，各取 250 mL 濃縮至 0.5 mL，以 GC/MS 分析，16 種 PAHs 之測值均在儀器偵測極限 (IDL) 之下。

濾紙空白

將不含待測物之濾紙，依與待測樣品相同前處理、分析步驟檢測之，由濾紙之分析結果可判知濾紙在萃取過程中是否會影響樣品分析結果。結果顯示濾紙 16 種 PAHs 測值均在儀器偵測極限之下。

現場空白

將不含待測物之環形擴散採樣器與濾紙盛裝在與待測樣品之相同採樣空間內，將瓶蓋旋緊攜至採樣地點，在現場開封並模擬採樣過程，但不實際採樣，密封後再與待測樣品同時攜回實驗室。依與待測樣品相同前處理、分析步驟檢測之；由現場空白樣品之分析結果可判知樣品在採樣過程是否遭受污染。結果顯示現場空白之樣品測值均在儀器偵測極限之下。

運送空白

將不含待測物之環形擴散採樣器與濾紙盛裝在與待測樣品之相同採樣空間內，將瓶蓋旋緊攜至採樣地點，但在現場不開封。於採樣完畢後與待測樣品同時攜回檢驗室，並以待測樣品相同之前處理、分析步驟檢測之，由運送空白樣品之分析結果可判知樣品在運送過程是否遭受污染。結果顯示運送空白之樣品測值均在儀器偵測極限之下。

採樣設備空白

微孔均勻沉積衝擊器以中性清潔劑清洗乾淨後以正己烷沖洗、環形擴散採樣器先使用去離子水以震盪的方式清理，在使用正己烷沖洗。收集此沖洗液，連同經前處理完畢待採樣之濾紙，分別再經重覆萃取、濃縮、淨化及再濃縮之程序，以確定取樣前採樣設備之空白值。本研究過程經前處理過之採樣設備空白值均在儀器偵測極限以下。

偵測極限

儀器偵測極限 (IDL) 之定義為待測物之最低量或最小濃度，足夠在儀器偵測時，產生一可與空白訊號區別之訊號者。亦即該待測物之量或濃度在 99% 之可信度 (Confidence level) 下，可產生大於平均雜訊之標準偏差 3 倍之訊號。計算公式如下:

IDL = 3 × S

S：標準品七重覆之標準偏差

本實驗之 16 種 PAHs 於 GC/MS 之儀器及方法偵測極限列於表 7-7，IDL 介於 0.024 ~ 0.740 ng 之間。

表 7-7 GC/MS 之儀器偵測極限

PAHs	IDL (ng)
Nap	0.740
AcPy	0.406
Acp	0.319
Flu	0.115
PA	0.061
Ant	0.097
FL	0.197
Pyr	0.575
BaA	0.024

CHR	0.097
BbF	0.143
BkF	0.040
BaP	0.027
IND	0.073
DBA	0.153
BghiP	0.062

檢量線

檢量線 (Calibration Curve) 指以一系列已知待測物濃度之標準溶液與其相對應儀器感應訊號值，所繪製而成的相關曲線。

標準品檢量線之建立

7. 製備檢量線時應依檢測方法所規定之步驟，配製適當濃度範圍的標準溶液。
8. 製備檢量線時至少應包括五種不同濃度 (不包括空白零點) 的標準溶液，其中 一濃度需接近但稍高於儀器偵測極限，其餘濃度可為偵測器工作濃度範圍內之濃度，但各濃度間之間隔必須平均分佈。
9. 檢量線相關記錄必須註明配製日期、檢測項目、標準溶液來源、標準溶液濃度、配製流程及儀器感應訊號值等資料。
10. 由儀器所得的感應訊號值相對應標準溶液濃度，繪成一相關線性圖。此線性圖必須以座標曲線方式表示，並標示其座標軸。
11. 利用直線的最小平方差方程式 (Least Square Error Equation) 可求得一直線迴歸方程式，並計算其判定係數 r^2。
12. 原則上上述線性之線性判定係數 r^2 應大於或等於 0.995。

檢量線確認

1. 檢量線於同一工作日連續操作，則每 12 小時亦應進行檢量線確認。由儀器上的感應訊號值，利用已建立檢量線求得濃度，比對測定值與檢量線確認用標準溶液濃度，求其相對誤差值。
2. 由相對誤差值，判定檢量線之適用性，本研究所用氣相層析質譜儀法之相對誤差宜在 ±10%以內。
3. 若檢量線確認時，其相對誤差值大於所規定之適用範圍時，可再進行乙次確認步驟，若仍大於適用範圍則必須重新配製檢量線。
4. 原則上每次分析時必須製備新的檢量線，但某些檢測方法檢量線配製過程頗為費時，在使用這些檢測方法時，應於完成檢量線配製後及每次使用該檢量線前，依檢測方法規定執行檢量線確認；檢測方法未規定時，應以上述步驟重新配製檢量線確認用標準溶液來確認原檢量線的適用性。

16 種 PAHs 於 GC/MS 之檢量線如圖 7-5 及 7-6。標準品濃度為 10 μg/mL 之 GC/MS 圖譜積分面積三次如表 7-8，而其平均值、標準偏差及相對標準偏差 (RSD) 列於表 7-9。

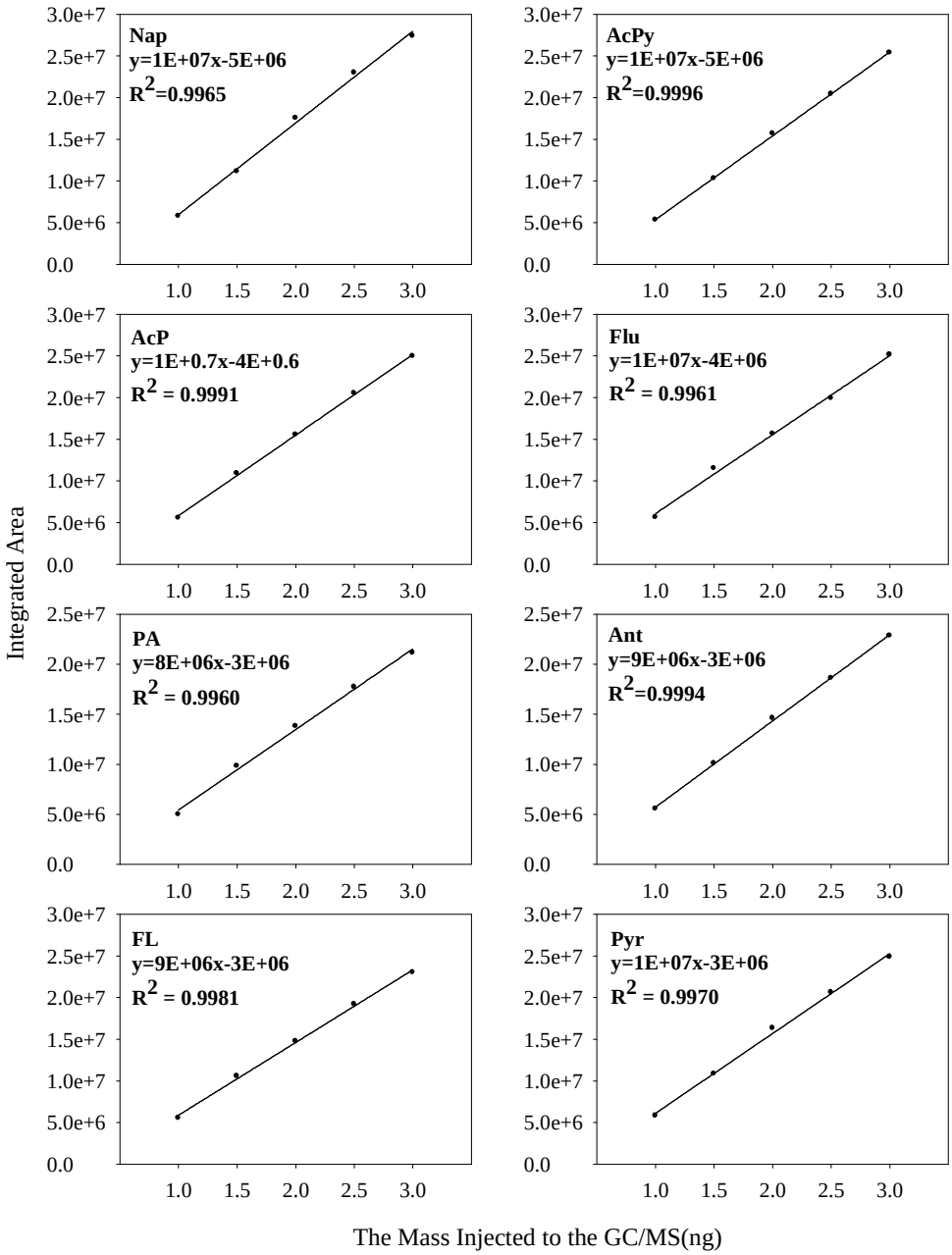


圖 7-5 NaP, AcPy, AcP, Flu, PA, Ant, FL, Pyr 之檢量線。

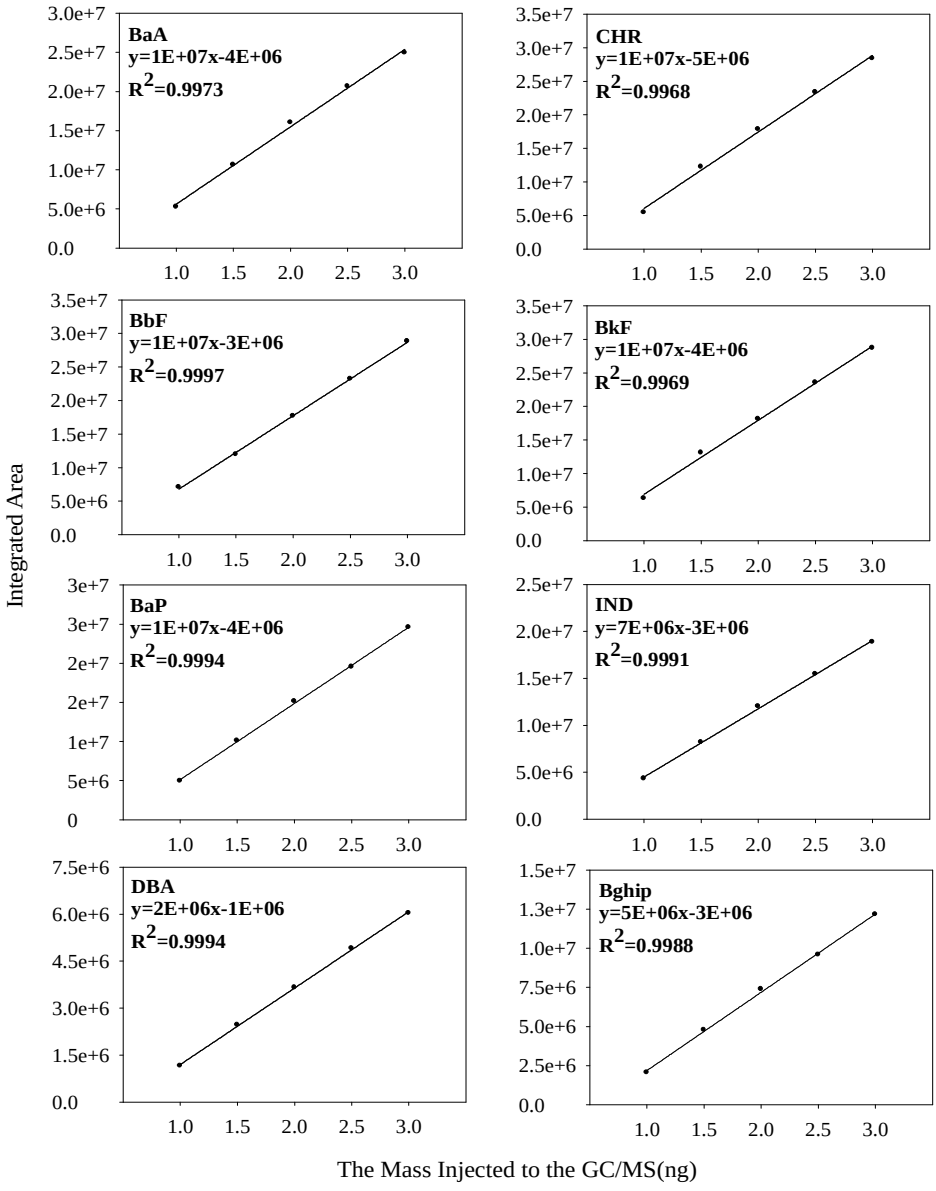


圖 7-6 BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, IND, DBA, BghiP 之檢量線。

表 7-8 PAHs 標準品 10 μg/mL GC/MS 圖譜積分面積。

PAHs	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次
Nap	18386324	18324411	18411858	18959302	18287576	18682434	18126506
AcPy	20377751	20320317	20861545	20237402	20408673	20756412	20148896
Acp	16950666	16602297	16938048	16575749	16048539	16445615	16012759
Flu	20114710	20086051	20201097	20010565	20034989	20341091	20152433
PA	18130142	17039812	17048679	16708082	16981088	17417212	16994321
Ant	17853358	16486131	16513454	16243653	16448988	15908622	15585342
FL	20420316	19382871	19297872	19971453	20031267	18418177	19993745
Pyr	20868638	19997547	19881512	19581730	18631665	18817158	18600534
BaA	21339633	20971626	20998877	20656355	19762090	19074756	20698033
CHR	21172338	20454982	20417610	20035601	19093554	18446752	20077771
BbF	22806226	21541670	21556561	21208667	20238903	20509865	20122962
BkF	22694250	21816538	21810492	21458550	20520984	20799161	20377545
BaP	19575625	19059258	19306806	20611539	18782341	20156128	18910517
IND	12611018	13532784	13214504	13183246	12021315	13971000	13214504
DBA	5232587	5035330	4987038	4924663	5001842	5039849	5010762
BghiP	8814884	8735952	8805780	8277586	8828118	8828118	8042579

表 7-9 PAHs 標準品 10 μg/mL 之 GC/MS 圖譜積分面積平均值、標準偏差及相對標準偏差。

PAHs	平均值	標準偏差	相對標準偏差(%)
Nap	18454059	278571	1.51
AcPy	20444428	265408	1.3
Acp	16510525	377402	2.29
Flu	20134419	112129	0.56
PA	17188477	464073	2.7
Ant	16434221	713712	4.34
FL	19645100	667435	3.4
Pyr	19482683	846579	4.35
BaA	20500196	797474	3.89
CHR	19956944	911441	4.57
BbF	21140693	945101	4.47
BkF	21353931	835140	3.91
BaP	19486031	678783	3.48
IND	13106910	630003	4.81
DBA	5033153	95918	1.91
BghiP	8619002	322289	3.74

PAHs 於分析儀器之滯留時間

利用檢量線中間點濃度之標準溶液連續 3 天每天分析乙次，由 3 次的滯留時間統計得到平均滯留時間及其標準偏差 (SD)，可接受的滯留時間窗即為平均滯留時間 ±3 SD。GC/MS 滯留時窗之測定先以 SCAN mode 進行，再找出主要偵測之質量數 (Primary Ion Number) 及次要偵測之質量數 (Secondary Ion Number)後，再以 SIM mode (Selectivity Ion Monitoring Mode) 進行最後階段之滯留時窗測試。

本研究測試所得 16 種 PAHs 之 GC/MS 滯留時窗，係利用檢量線中間之濃度於 72 小時內，第一個 24 小時測試 3 次，第二個 24 小時測試 2 次，第三個 24 小時一測試 2 次，由 7 次之滯留時窗統計得到標準偏差 (SD)，可接受之滯留時窗即為平均滯留時間 ±3 SD。此 16 種 PAHs 於 GC/MS 之滯留時窗 7 次測試值如表 7-10 所示，而滯留時窗之平均值及標準偏差如表 7-11 所示。

表 7-10 16 種 PAHs 於 GC/MS 之滯留時間 (min)。

PAHs	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次
Nap	11.812	11.85	11.86	11.826	11.85	11.821	11.85
AcPy	18.982	19.049	19.064	19.006	19.049	19.031	19.054
Acp	20.049	20.112	20.126	20.069	20.117	20.069	20.112
Flu	22.012	22.084	22.098	22.036	22.084	22.036	22.084
PA	27.845	27.927	27.946	27.874	27.927	27.874	27.927
Ant	28.133	28.123	28.158	28.172	28.134	28.167	28.194
FL	35.639	35.621	35.645	35.568	35.626	35.568	35.626
Pyr	36.966	36.963	36.991	36.905	36.962	36.9	36.963
BaA	44.956	45.018	45.051	44.97	45.017	44.995	45.022
CHR	45.286	45.306	45.308	45.239	45.306	45.215	45.311
BbF	51.496	51.502	51.505	51.519	51.507	51.513	51.502
BkF	51.914	51.914	51.916	51.832	51.913	51.912	51.918
BaP	53.318	53.338	53.328	53.338	53.347	53.361	53.343
IND	59.2	59.286	59.262	59.264	59.281	59.268	59.261
DBA	59.515	59.555	59.522	59.478	59.564	59.544	59.55
BghiP	60.542	60.584	60.541	60.493	60.584	60.581	60.589

表 7-11 16 種 PAHs 於 GC/MS 滯留時間平均值及標準偏差。

PAHs	平均值	標準偏差	平均值 ±3SD
Nap	11.838	0.02	11.838 ± 0.06
AcPy	19.034	0.03	19.034 ± 0.09
Acp	20.093	0.03	20.093 ± 0.09
Flu	22.062	0.03	22.062 ± 0.10
PA	27.903	0.04	27.903 ± 0.11
Ant	28.154	0.03	28.154 ± 0.08
FL	35.613	0.03	35.613 ± 0.10
Pyr	36.95	0.03	36.950 ± 0.10
BaA	45.004	0.03	45.004 ± 0.10
CHR	45.282	0.04	45.282 ± 0.12
BbF	51.506	0.01	51.506 ± 0.10
BkF	51.903	0.03	51.903 ± 0.09
BaP	53.339	0.01	53.339 ± 0.04
IND	59.26	0.03	59.260 ± 0.08
DBA	59.533	0.03	59.533 ± 0.09
BghiP	60.559	0.04	60.559 ± 0.11

附錄九　LA-ICP-MS 分析大氣氣膠樣本標準操作程序

行政院環境保護署環境檢驗所

100 年度專案計畫

Standard Operating Procedure for Measuring Aerosol Samples Using Laser Ablation- Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry

LA-ICP-MS 分析大氣氣膠樣本標準操作程序

中央研究院環境變遷研究中心

中華民國 100 年 12 月 15 日

LA-ICP-MS 分析大氣氣膠樣本標準操作程序

1　目的

本文介紹利用雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀 (Laser Ablation- Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry)分析大氣氣膠樣本的標準作業程序。

2. 背景

雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀(以下簡稱 LA-ICP-MS)是在質譜儀的前端連接雷射剝蝕系統，以雷射剝蝕系統將待測濾紙樣本上的顆粒以雷射剝蝕後，藉由載流氣體將樣本帶入質譜儀分析，相較於傳統酸消化/微波消化後再以質譜儀分析，LA-ICP-MS 具有許多分析優點，諸如多元素分析、偵測極限低、線性範圍廣、直接、快速、免前處理、節省實驗試劑(所以乾淨、環保)、近於非破壞性 (破壞的相當有限，樣本可以作為其他分析)的優點。

3. 實驗設施

- 感應耦合電漿質譜儀。
- 雷射剝蝕系統。

4. 實驗器材

- 雷射剝蝕樣本載台。
- LA-ICP-MS 調機使用之標準樣本，NIST-612。
- 標準樣本粉末。
- 已前秤之鐵氟龍濾紙。

5. 實驗設備

- 粉末分散器。
- 可精秤 1 μg 之微量電子天秤。
- 可控制溫濕度之防潮箱。
- 陶瓷刀。
- 雙面膠帶。

6. 安全防護

- 實驗衣。

7. 實驗前準備

1. 備齊實驗所需之物品。

2. 前秤所需之標準樣本粉末。
3. 前秤所需之鐵氟龍濾紙。

8. 製備標準樣本濾紙之步驟

A. 將前秤好的標準樣本粉末平鋪至粉末分散器中，以均速將粉末抽至混合室中，經均勻混合後再將粉末過濾至已前秤之鐵氟龍濾紙上。

B. 收集後之鐵氟龍濾紙先於防潮箱中調理 48 小時,調理條件為溫度 22±1℃，濕度 35-45%，調理後再次秤重，可得濾紙上之顆粒淨重。

C. 若還有其他標準樣本粉末，重複步驟 A 與 B，即可製備所需之標準樣本濾紙。

D. 可收集殘留於管線中之粉末，做為後續化學成分分析，以驗證混合均勻度及品質（有無受污染）。

9. 製備雷射剝蝕分析樣本

A. 將先前製備之標準樣本濾紙以陶瓷刀切割後，每張樣本取一小塊(10*6mm)依序以雙面膠帶黏貼於雷射剝蝕樣本載台上。

B. 將待測之大氣氣膠樣本依步驟 A 依序以雙面膠帶黏貼於雷射剝蝕樣本載台上。

C. 若有多組待測樣本，可重複步驟 A 與 B，將雷射剝蝕樣本先行準備。

10. LA-ICP-MS 分析流程

A. 質譜儀於電漿點燃後，以 NIST-612 進行當天感度的確認，分析所用的參數如下表:

ICP-MS (PerkinElmer Elan6100)	Argon Gas Flow Rate（L/min）	1.2
	RF Power（Watts）	1250
	Lens Voltage （Volts）	7.5
	Analog Stage Voltage （Volts）	-1950
	Pulse Stage Voltage（Volts）	1250
	Scanning Mode	Peak Hopping
	Dwell Time （ms）	100
	Detector Mode	Dual （Pulse & Analog）
Laser Ablation (NewWave UP213)	Wavelength (nm)	213
	Ablation Rate (Hz)_Aerosol	1
	Ablation Rate (Hz)_NIST612	10
	Spot Size (μm)_Aerosol	40
	Spot Size (μm)_NIST612	100
	Fluence (mJ)	2~6
	Scan Speed (μm/sec)	15

B. 將雷射剝蝕分析樣本以標準品、氣膠樣本依序以上表的參數完成分析。

C. 將質譜儀的原始感度先行篩選處理，將極端值先行篩選去除。

D. 將前述之元素感度對標準樣本/氣膠樣本之重量進行標準化。

E. 將標準樣本經標準化之後的元素感度與濃度繪製檢量線，將偏差的標準樣本點去除後，建立各元素之檢量線。

F. 將步驟 D 所得樣本中各元素的感度，依步驟 E 所建立之檢量線，計算樣本中各元素濃度。

綜整以上，LA-ICP-MS 自標準品配置至分析在到數據處理的完整流程，可簡單以下流程圖表達。



附錄 X、計算富集值之地殼與海水成分表。

	Crust*		Seawater
	ug/g		‰
Ag	0.07	Na	10.76
Al	82300	Mg	1.29
As	1.8	K	0.40
Ba	425	Ca	0.41
Ca	41500	Sr	0.0079
Cd	0.2		
Co	25		
Cr	100		
Cs	3		
Cu	55		
Fe	56300		
Ga	15		
K	20900		
Mg	23300		
Mn	950		
Mo	1.5		
Na	23600		
Ni	75		
Pb	12.5		
Rb	90		
Sb	0.2		
Se	0.05		
Sn	2		
Sr	375		
Ti	5700		
Tl	0.45		
V	135		
Y	33		
Zn	70		

* Tayler, 1964

附錄十　環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 樹脂標準操作程序

行政院環境保護署環境檢驗所

100 年度專案計畫

Standard Operating Procedure for Coating Annular Denuders with XAD-4 Resin

環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 樹脂標準操作程序

朝陽科技大學環境工程與管理系

中華民國 100 年 11 月 25 日

環形擴散採樣管塗敷 XAD-4 樹脂標準操作程序

1 目的

本文介紹利用環型擴散採樣管吸附半揮發性有機氣體 (semi-volatile organic compounds, SVOCs) 的標準作業程序。

2. 背景

環形擴散採樣管 (annular denuders，以下簡稱 denuder) 一般是使用在多功能空氣污染採樣器 (Versatile Air Pollution Samplers, VAPS) 中的上游部分，用以先移除空氣中的氣相 SVOCs，使得下游濾紙收集微粒的有機成分可被較準確的定量出來。此標準作業程序說明了如何將用來吸附半揮發性有機化合物的樹脂 (XAD-4) 塗敷於環形擴散採樣管上。

3. 實驗設施

- 全罩式抽風櫃。
- 乾淨、乾的氮氣產生源。乾淨的管線及接頭將氮氣送至抽風櫃中。
- 抽風櫃中控制為負壓。使用有機溶劑萃取吸附在 denuder 中的有機物將在通風櫃中進行。

4. 實驗器材

- 鋁箔紙。
- 塗敷及萃取 denuder 之溶劑，試藥級的正已烷、二氯甲烷或丙酮。
- 清潔用之溶劑：乙醇或甲醇。
- 須準備 4 個盛裝 XAD-4 泥漿的 500 mL 燒杯(或可盛裝 2.5 倍泥漿體積之燒杯)。
- 準備幾個 600 mL、200 mL、100 mL 的燒杯。
- 秤 XAD-4 重量用的勺子。
- 末端鈍平的鑷子(用來夾採樣濾紙)。
- 實驗用拭淨紙。
- 去離子水 (DI Water)。
- 氫氧化鉀或氫氧化鈉顆粒，用來配製清潔玻璃器皿用的溶液。
- 玻璃棒，用以攪拌 XAD-4 泥漿及導入 denuder 管中。
- 潤滑油，可使用於真空壓力下密封、潤滑之油脂。
- XAD-4 樹脂 (XAD-4 須按照標準流程清洗)。

5. 實驗設備

- ■ 超音波震盪器(需足夠同時納入 2 個 500 mL 之燒杯)。
- ■ 可精秤 1 mg 之天秤。

6. 安全防護
   - ■ 防護手套(可接觸正已烷)。
   - ■ 實驗衣。
   - ■ 耐鹼性清潔溶液之手套。
   - ■ 護目鏡。
   - ■ 防護具或口罩(含活性碳罐以去除己烷，濾材去除細微粒)。

7. 實驗前準備
   1. 備齊實驗所需之物品。
   2. 準備實驗空間
   - ■ 準備實驗器材及實驗設備中的清單。
   - ■ 確認抽風櫃通風系統可正常作用，及其中有至少有 1 平方公尺的空曠區塊，並於其上方鋪陳吸水拭紙或鋁箔(以便輕易的清理任何濺出之 XAD-4)，再預留一處 30 × 30 cm^2 之空間，亦鋪層拭淨紙或鋁箔，以放置燒杯及玻璃棒等器具。
   - ■ 將超音波震盪器置入抽風櫃中，於其內添水至少 2 cm 高並插上電源。
   - ■ 準備 12 × 12 cm^2 鋁箔 20 張，以正已烷沖洗兩側，並將其吹乾或置於 500℃ 的烘箱中，這些鋁箔用來覆蓋燒杯及 denuder 兩端開口。
   - ■ 利用酒精、氫氧化鈉 (NaOH) 或氫氧化鉀 (KOH) 清潔玻璃器皿，再以去離子水沖洗，之後加以風乾。風乾時將玻璃器皿倒置，或蓋上拭淨紙避免懸浮微粒沉降於其中。乾了之後，放置在一乾淨區域或以錫箔紙加以覆蓋。

8. 塗敷環形擴散採樣管之步驟

   A. 配製 XAD-4 泥漿：調製 XAD-4 泥漿前先配戴可阻擋 0.5 μm 以下粉塵之口罩，再將磨碎後的 XAD-4 樹脂秤重 1.3 g 倒入 400 mL 燒杯中。將燒杯置入抽風櫃，加入 200 mL 正已烷，以乾淨的鋁箔覆蓋，再放入超音波震盪器中，XAD-4 泥漿因為必需均勻地分散使其可以均勻塗敷於 denuder 表面上，所以在室溫下至少需震盪 30 分鐘，使 XAD-4 與正已烷均勻混合，而震盪器操作過程中水溫升高至 40℃ 是可以被接受的。每支 denuder 需各準備一份 XAD-4 泥漿，並於裝有 XAD-4 泥漿之燒杯上註明對應的 denuder ID，使用時避免錯拿，導致過量或減低塗敷之效果。當 XAD-4 泥漿正在進行超音波震盪時，需清潔 VAPS 及 denuder 之塗敷鐵氟龍的鋁製接頭，避免塗敷泥漿時造成污染。

B. Denuder 兩端都有可拆卸之帽蓋，將帽蓋輕輕拆除，使用泡棉支架等緩衝墊來支撐管柱部分。Denuder 兩端的蓋頭螺牙末端皆有 2 條直徑約 5 cm 之 o-rings，皆需塗佈微量之油脂 (可用未戴手套的手指去確認) 。確認過後將帽蓋靠上，中心柱並保持兩者同軸，輕輕將蓋子扭轉滑動，仔細地以手指握住末端帽蓋及管柱，注意容易滑動的部分，直到碰到第 1 個 o-ring 為止，之後必須多點轉動直到玻璃端達到第 2 個 o-ring 的位置為止 (當推進時輕微的扭轉可幫助減低碰撞) 。

C. 依前述方法接上另一端的帽蓋，並記錄下 denuder 連接端件的深度。

D. 在塗敷 denuder 之前，需測試連接端件拆卸於管柱之力度：先放置長約 10 cm 的泡棉在 denuder 中間部位將管柱包覆住，使 denuder 在拆卸帽蓋時不會受到碰撞。再輕輕的將帽蓋拉開，透過帽蓋通過第一及第二條 o-ring 時所使的力量大小，來判斷移除末端部分需要多少力量。如果末端部分難以移動，藉由拉動時配合旋轉，但須避免所增加的力量讓金屬與玻璃碰撞在一起，使 denuder 造成破損 (為了預防 denuder 損壞，應避免不穩定的施力或拉扯)。

E. 連接端件部分須做清潔時 (譬如：塗敷不同的 denuder 之間、採集樣品之後等)：先小心的旋轉及拉端件，一次轉動一個內部 5cm 之 o-ring，轉出 2 條 o-ring 後，將帽蓋與管柱部分分開，依序的使用末端平鈍的鑷子或有環形末端的勺子，將 o-ring 夾出 (不可以用有尖銳末端的鑷子，不然將會刮傷或損壞塗敷鐵氟龍之鋁質末端部分的表面)，接著使用正已烷擦拭乾淨溝槽。

F. 當 o-rings、墊圈拆除後：將管柱末端部分浸入正已烷進行超音波震盪，並予以乾淨的氮氣吹乾，再利用乙醇或其他溶劑再次以超音波震盪，並重覆吹乾的動作。使用裝在噴瓶的正已烷漂洗每個蓋帽，並於全罩式抽風櫃中使用氮氣吹乾(如果蓋帽部分要存放在抽風櫃中的話，則需以乾淨的鋁箔覆蓋)。

G. 使用拭淨紙擦拭 o-rings，並確認凹槽上是否殘留粉塵、砂礫，XAD 樹脂或其他明顯的汙染物。確認 o-rings 是否已有塗敷很微量的高真空 silicone 油。再次嵌入 o-rings，小心不要將 o-rings 表面的油脂沾到連接端件內表面。

H. 蓋帽接上 denuder：確認第 2 個 o-rings 已超過玻璃。測量 denuder 進入末端帽蓋內部的深度。如果進入深度如步驟 3 所量測的大於 5 mm，則輕輕地轉動末蓋並施予壓力使 o-rings 滑過玻璃。

I. 漂洗組裝好的 denuder：將一個帶螺紋的鐵氟龍蓋子放進於 denuder 其中的一帽蓋內，使 denuder 呈直立狀，擱置在在末端帽蓋上方，並用附加墊料的螺絲鉗使 denuder 在環形支架中直立為了避免正已烷接觸端件部分的小的 o-ring，於開放底部的 denuder 中放入一乾淨玻棒，超過小的 o-ring。此體積需考慮末端部分的大小（1998 年 denuder 運用在 VAPS 時其端件內部體積約為 180 mL）。於 denuder 中倒入 500 mL 正已烷(實際上加上 denuder 的體積，正已烷需約 500 mL 左右)，以帽蓋將 denuder 兩端鎖住，不要鉗緊 denuder 且兩端都需要用手加以支撐

著，直立、傾倒 denuder 共約 20 次。結束後移除帽蓋，並將正已烷倒入到廢棄燒杯中。在全罩式抽風櫃中移除另一個鐵氟龍蓋子並將之以水平方向吹乾(正已烷漂洗組裝好的 denuder 需 2 次以上)。

J. 將 XAD-4 泥漿導入 denuder 中：denuder 乾燥後，當溶劑倒入 denuder 前，將一端以鐵氟龍塞子鎖住，並以環型支撐架支撐 denuder。小心放置乾淨玻棒進入開啟的另一末端部分，玻棒需接觸 denuder 內的環狀玻璃。確認混合液持續在震盪中，關掉震盪器，從震盪器中拿起燒杯時，利用紙巾或衛生紙將燒杯底部的水擦拭乾淨。等待泥漿沉澱，但不可超過 15 秒。將泥漿以玻棒導入 denuder。導入約 80%體積的泥漿進入 denuder 內，並將剩餘的泥漿儲備在燒杯中(如果添加了全部的泥漿，不均勻或含有大顆粒的不平整塗敷將會發生)。將 denuder 頂部以帽蓋鎖住，將 denuder 從環形支架移開，以雙手支撐並使其上下倒置 20 次。

K. 轉動 denuder 將泥漿緩緩倒入燒杯中。倒出時保持旋轉，使泥漿在環型玻璃上形成條紋的現象降到最低。加入乾淨的正已烷於裝倒出泥漿的燒杯，使泥漿體積超過 200 mL，以乾淨的鋁箔覆蓋燒杯，再次放入震盪器中持續震盪。

L. 從 denuder 移除第 2 個白色的帽蓋。放置 denuder 在全罩式抽風櫃中的工作台上，使其平躺垂直抽風櫃的底牆，離牆約兩英寸。在全罩式抽風櫃內風乾 denuder。風乾時間大約需要 10 分鐘。旋轉 denuder 1 或 2 次讓正已烷充分揮發。利用乾淨氮氣將塗敷好的 denuder 風乾。不過需驗證氮氣的乾淨度，因為 denuder 可能在風乾的過程中吸附到任何不乾淨的有機氣體。

M. 再次塗敷泥漿。重複 10-12 步驟至少 7 次。收集剩餘的混合液並讓正已烷揮發。

N. 在最後的塗敷步驟後，利用乾淨的正已烷漂洗塗敷好的 denuder 2 次以去除鬆的樹脂微粒。放置白色的帽蓋到一末端，當 denuder 直立架好在環形支架上後，添加約 200 mL 正已烷至 denuder 中。接上另一帽蓋，從環形支架上移除下 denuder 並上下來回倒置旋轉 20 次像在塗敷泥漿時那樣。倒掉沒用的樹脂並風乾，重複一次上述動作。

O. 當 Denuder 在第二次漂洗後完全乾燥前，使用步驟 4 已經熟悉的技術來移除端件部分。將拭淨紙以正已烷弄濕，拭掉 denuder 末端外部剩餘的油脂。

P. 移除每個 denuder 末端 0.5 cm 的塗敷。此步驟為了確認黏著內部環狀玻璃的接合點位置，不會因附著樹脂而在採樣過程中形成碎片而掉落。使用寬度足夠 denuder 浸漬在其中的燒杯。於燒杯中添加約 1 cm 深的正已烷，將燒杯置於震盪器中並將其開啟。將 denuder 放入燒杯時，小心握住其暴露的末端部分。denuder 放入燒杯應距底部 0.5 cm，但不使 denuder 碰觸到燒杯的底部，震盪 15 秒。抬起 denuder 檢查其末端，重複浸入及抬起觀察的動作，直到末段 0.5 cm 的樹脂已被移除。運用相同的程序於其它 denuder，最後加以風乾。如此應可看出末端樹脂被移除的部份。

Q. 當 denuder 完成乾燥，小心的以乾淨的鋁箔將開放的末端包裹住，並用鋁箔將整支 denuder 包覆 2 圈。使用泡棉將 denuder 捲包，且在運送前將其放入硬紙板的箱子中貯藏。如有鐵氟龍帽蓋的話，可代替鋁箔。(在使用帽蓋前，應先移除 o-rings 並使用拭淨紙沾正已烷將溝槽擦拭乾淨)。

9. 採樣前處理流程

- 接上端件部分。
- 使用混合溶劑萃取已塗敷之 denuder。
- 貯存時將 denuder 保持氣密。
- 在使用 denuder 前將之貯存在安全的地方。
- 使用特殊溶劑萃取每個 denuder，於採樣當天(或之前)製作空白樣本，
- 將萃取資料加以存檔。

10. 參考文獻

Gundel, L.A., and D.A. Lane. 1999. Sorbent-coated denuders for direct measurement of gas/particle partitioning by semi-volatile organic compounds. In Gas and Particle Partition Measurements of Atmospheric Semivolatile Organic Compounds. Edited by D.A. Lane. Gordon and Reach.

Gundel, L.A., J.M. Daisey, and R.K. Stevens. 1998. Quantitative Organic Vapor-Particle Samplers, U.S. Patent 5,763,360.

Gundel, L.A., V.C. Lee, K.R.R. Mahanama, R.K. Stevens, and J.M. Daisey. 1995. Direct determination of the phase distributions of semi-volatile polycyclic aromatic hydrocarbons using annular denuders. Atmos. Environ. 29:1719–1733.

Research Triangle Institute. 2008. Standard Operating Procedure for Coating Annular Denuders with XAD-4 Resin, Environmental and Industrial Sciences Division, Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC.

Stockburger, L., and L. Gundel. 1998. Standard Operating Procedures for Extraction of XAD-4 Coated Annular Denuders. SOP2250.wpd. February 19. In Appendix C of Quality Assurance Project Plan for the Four-City, $PM_{2.5}$ Chemical Speciation Sampler Evaluation Study. January 1999. Option III, Work Assignment Number 30, Contract Number 68-D5-0040. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

附錄十一 100 年度科技計畫成果效益自評表

（請由計畫主持人、執行人填寫，再由主管部會署初核）

壹、計畫基本資料　　領域別：環境保護

計畫主持人 蔡春進

計畫名稱『環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發』

審議編號 EPA-100-1602-02-01

計畫期程 100 年 4 月至 100 年 12 月

全程經費 億 4800 千元 100 年度經費 億 4800 千元

執行機構 國立交通大學環境工程研究所

貳、計畫目標與執行內容是否符合（如有差異，請說明）

本計畫的主要目為:1. 開發前瞻性的環境奈米物質量測及特性分析技術; 2. 開發符合國際規範之奈米微粒質量分析績效評估樣品。

為提高環境奈米物質採集的正確性，本研究開發 NCTU 大氣奈米微粒採樣器，並在實驗室進行校正及現場採樣比對。本研究利用新的環境奈米微粒的量測技術,在台北及新竹選定三個空氣品質測站進行實測,以 MOUDI、Dichot 及 SMPS 分別量測微粒質量濃度分佈、$PM_{2.5}$ 與 $PM_{2.5-10}$ 質量濃度及奈米微粒的數目濃度，並利用微粒金屬成分分析及其它更多數據資料(如風速、風向、溫濕度等)，配合 PMF 方法進行統計分析，探討微粒的來源，以釐清都會區奈米微粒、細微粒及 PM_{10} 之污染排放來源及人為活動的影響，量測出之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度數據也與環保署監測站貝他計所測得之 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 質量濃度作相互比較，以期找出濕度及 $PM_{2.5}$ 入口造成監測站測值高估問題。

本研究以雷射剝蝕系統連接於質譜儀的前端,直接以雷射將樣本撥蝕後由載流氣體帶進質譜儀分析,此方法比傳統的酸消化/ICP-MS 更節省時間且可避免過多前處理所造成的汙染。為了製備與氣膠樣本相同基質的檢量線標準品，本研究使用粉末分散器(SSPD),將標準參考樣品以均速且穩定的抽取至擴散室，這些標準參考樣品在擴散室內分散後再以抽氣幫浦將標準參考樣品過濾、收集於事前準備且乾淨的鐵氟龍濾紙上。

在空氣奈米微粒有機成分(PAHs)採樣及分析技術研究中，本研究使用長 60 cm，8 環之環形擴散採樣管吸附 PAHs，建立環形擴散採樣管搭配 MOUDI 採樣系統與其前處理及採樣後之樣品分析方法，了解環形擴散採樣管對 PAHs 之吸附效率，接著評估奈米微粒 PAHs 之採樣正、負向偏差，同時亦解析不同粒徑範圍($PM_{0.1}$、$PM_{0.1\sim2.5}$、$PM_{2.5\sim10}$)之 PAHs 分佈特性。

本研究另參考 ISO 標準，建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒產

生、監測檢測及物理化學分析平台，並參考 ISO 標準校正數目濃度及校正微粒粒徑，產生的工程奈米微粒為 Ag 及 ZnO。量測的項目有質量濃度分布、肺泡及胸腔的表面積濃度、數目濃度分布、有效密度，微粒大小與形貌及化學成分。

以上這些開發皆是具國際水準的研究成果,所以足以說明執行內容符合計畫目標。

參、計畫已獲得之主要成就與成果

本研究已成功開發了增加奈米微粒採集正確性的 NCTU 大氣奈米微粒採樣器，並已經過實驗室校正及現場採樣比對，證明其與原廠 MSP MOUDI 具有相同的分徑能力且能避免原廠 MOUDI 容易阻塞的缺點。

本研究針對北部三個空氣品質監測站，一般都會區人口稠密的地點，利用最先進的設備及改良的技術，進行大氣微粒的量測及成分分析。MOUDI 及 Dichot 量測的微粒質量濃度與空品測站的比對有助於瞭解自動採樣與手動採樣間的差異，對於國內 $PM_{2.5}$ 質量濃度管制標準的制訂有很大的幫助。NCTU 大氣奈米微粒採樣器及個人奈米採樣器的研發有助於本研究取得更準確的採集奈米微粒。先進的分析儀器比對及完善的 QA/QC，幫助對奈米物質的化學成分做定性及定量。PMF 的統計分析可推估各 PM 微粒的主要來源，以利日後進行管制。

LA-ICP-MS 分析的結果呈現，LA-ICP-MS 適用於分析次微米顆粒樣本，主要因為顆粒分布均勻。在所有元素中，以 Pb 的分析結果最好。本研究自行製備的飛灰(NIST-1633b)及大氣微粒(NIST-1648a)標準品以不同比例混合成的新標準品，具有發展潛力。

在 PAHs 採樣及分析技術中，本計畫所採用及製備之 AD 採樣管可有效吸附 PAHs ，而以 AD-MOUDI-PUF 系統於郊區進行大氣 PAHs 採樣，AD 採樣管分析結果顯示對各種 PAHs 的吸附效率，吸附率幾乎可以百分之百吸收；其分析結果與國際上其他 AD 採樣管之實測結果差異不大。

本研究同時也建立一套奈米物質吸入毒性試驗用的奈米微粒物化特性分析平台。本平台包含微粒質量濃度、粒徑分佈、表面積濃度及其他物化監測方法(TEM 觀測及成分分析)，其中表面積濃度測定、MOUDI 的微粒質量分布測定及 TEM 樣本製備方法為超越 ISO 的新構想，可提供吸入毒性測試所需較完整的參數。

肆、計畫主要成就與成果之價值與貢獻度(output)

如何正確的量測及採集奈米微粒為目前國際上正在進行的研究，截至目前，尚未有研究團隊能準確的採集奈米微粒。本團隊已成功開發了一組大氣奈米微粒採樣器，是一個有價值的貢獻，相關的專利正在審查中，論文也在投稿中。本團隊所使用的採樣分析方法能準確的採集奈米微粒,而開發出的技術對環境工程領域已作出有價值的貢獻。本團隊過去 4 年已累積發表 4 篇與本計畫相關的 SCI 期刊論文，另有 3 篇論文已完稿，正在審查或投稿中。

伍、與相關計畫之配合程度

本研究的主要目的在於利用開發具國際水準的奈米物質量測及分析技術，與計畫主持人執行的勞研所計劃，工業奈米物質逸散測定及控制有關，也與協同主持人許世傑博士執行相關微粒元素成分分析計畫有直接相關，與相關計畫之配合程度相當高。

陸、計畫經費的適足性與人力運用的適善性

本計畫總經費 4800 千元，主要各項經費為：32.6 %人事費、54.7 %業務費、10 %管理費、2.7%差旅費，共有 1 位博士班研究生、10 位碩士班研究生及 1 位專案工程師投注於此計畫中，在經費與人力上，均能相當適切的運用，完成此計畫之預期目標與成果。

柒、後續工作構想及重點之妥適性

在空品測站的比對發現，本研究的手動採樣器(FRM)與空品測站的自動採樣間存在著極大的差異，目前已知的主要差異原因為維護週期過長及環境濕度影響，因此如何解決自動儀器高估微粒質量濃度的問題為目前最迫切的工作。目前初步構想為在採樣器採樣口加裝前期由本團隊開發的濕度控制系統，在入口端將空氣濕度降至合適的範圍，以提高貝他計的準確度。另外也將研究各種不同的 $PM_{2.5}$ 分徑器(WINS 衝擊杯或 VSCC 旋風器)受到微粒過度負荷及彈跳等問題，以解決因不同採分徑效率及人為維護時間過長造成的誤差。

以上研究皆為國際上許多學者正積極投入的課題，也是目前國內空氣品質量測上迫切解決的問題，因此可說相當妥適。

捌、檢討與建議

由於計畫執行時程的關係，目前缺乏各個測站在冬季的微粒特性，因此將持續至各個測站進行大氣微粒採樣，以利本研究針對採樣結果做季節性變化的分析。另外也需針對大氣相對濕度對空品測站內即時微粒質量量測的影響進行評估，並找出解決其高估 PM 濃度的方法。研究各測站不同的 $PM_{2.5}$ 分徑器(WINS 衝擊杯或 VSCC 旋風器)受到微粒過度負荷及彈跳等問題。

在 LA-ICP-MS 的研究方面，結果顯示 Pb 在各次的測試中，具有穩定性且線性較佳的特性，建議可以 Pb 做為標的元素，進一步探討其他元素的分析準確度。為解決微粒分佈零散造成 LA-ICP-MS 測值不穩定及濃度過低的問題，可改良微粒收集裝置，使氣流通過分徑裝置後束縮，使得微粒在被濾紙收集時的收集面積變小，分佈更為集中，可提高單位面積的微粒濃度及 LA-ICP-MS 的準確度。

本報告之定稿本除寄送本署環境檢驗所、政府相關機關及學術單位圖書館作為學術參考及往後政策制定之用。測站環境微粒特性的研究成果，在 1 年內將來可再發表 1-2 篇好的論文。

計畫主持人簽名：蔡春進

填表人：蔡春進　聯絡電話：03-5731880

主管部會評估意見：

奈米為先進之科技，奈米微粒在環境中之行為及危害性評估、檢測方法均為未來施政管制之重要參據，本計畫之內容，可提供本所(署)未來對奈米微粒管制之重要參考

主管簽名 組長巫月春

統一編號：**EPA154100009**

*本報告僅係受託單位或個人之研究意見，僅供行政院環境保護署環境檢驗所施政之參考
*本報告之著作財產權屬行政院環境保護署環境檢驗所所有，非經行政院環境保護署環境檢驗所同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害