



# 勞工安全衛生研究報告

## 健身器材製造業勞工職業暴露與健康傷害之研究

### Determinations of Occupational Exposures and Health Effects from the Workers of Industries for Manufacturing Fitness Equipments

健身器材製造業勞工職業暴露與健康傷害之研究

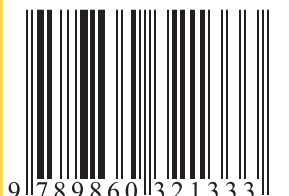
IOSH100-M307

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

ISBN:97898603-2133-3



GPN:1010100613  
定價:150元

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

健身器材製造業勞工職業暴露與  
健康傷害之研究

**Determinations of Occupational Exposures and  
Health Effects from the Workers of Industries  
for Manufacturing Fitness Equipments**

健身器材製造業勞工職業暴露與  
健康傷害之研究

**Determinations of Occupational Exposures and  
Health Effects from the Workers of Industries  
for Manufacturing Fitness Equipments**

研究主持人：陳秀玲、林洺秀

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 100 年 03 月至 99 年 12 月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

中華民國 101 年 3 月

# 摘要

運動器材製造過程包含器具切割、噴漆、銲接、零件組裝、拋光、品保品管等，其中以銲接作業與噴漆為主要之工作型態，勞工所暴露之危害物質也較為廣泛，包含金屬粉塵、臭氧、活性含氧物種 (Reactive oxygen species, ROS)、揮發性有機化合物 (Volatile organic compounds, VOCs)等。

本研究以外銷健身器材之製造公司為主要研究場所，進行作業環境空氣中臭氧、環境中 VOCs、空氣重金屬暴露與 ROS 之濃度評估。另亦進行健身器材作業勞工之生物暴露偵測，如分析血液重金屬，而勞工之生物效應偵測則評估氧化傷害 (MDA, DNA strand breaks, telomere length)、肺部發炎指標 (TNF- $\alpha$ )及心血管疾病指標 (hs-CRP)之評估。

本研究目前完成 41 個作業環境測定空氣採樣，勞工生物偵測則完成 124 位勞工之分析。初步結果顯示臭氧與 ROS 濃度結果以銲接區濃度為最高，噴漆區次之，皆高於 OSHA 建議標準值為 100 ppb；TVOC 結果則顯示噴漆區濃度較高；重金屬分析結果則顯示低於容許濃度值；ROS 濃度則顯示手工銲接與自動電銲區域之粒狀 ROS 濃度分布有較高之情形，另氣狀 ROS 濃度於 A、B 兩廠之濃度皆高於粒狀濃度，未來可對氣狀 ROS 物質進行相關防護及探討。各區域之空氣中重金屬濃度，如 Co、Ni、Fe、Pb 幾乎存在於粗粒徑中（介於 6.5-21  $\mu\text{m}$ ），結果亦顯示某些金屬如 Zn 於小粒徑中亦有較高的濃度，沖床區之重金屬濃度則主要累積於粒徑為 1-6  $\mu\text{m}$  之粉塵中，粉體則以粒徑範圍 6-10  $\mu\text{m}$  之粉塵中累積較高濃度之重金屬。於製造區域，重金屬幾乎都於粗粒徑粉塵中有較高濃度，而粗粒徑之粉塵可建議勞工使用個人防護具，以避免勞工暴露於過量之重金屬，然少數工作區域重金屬亦累積於 0.4-1 $\mu\text{m}$  之細粒徑粉塵中，因此對於細粒徑之粉塵防護應為後續防護重點。

勞工之肺部發炎反應指標 TNF- $\alpha$  及 MDA 之分析結果顯示暴露組勞工有顯著偏高於對照組勞工；染色體端粒長度 Telomere length 之分析結果則相反之，此結果顯示此類型之作業場所，勞工之職業暴露可能已經造成體內氧化傷害與發炎反應。此外，個人習慣、服務年資與粉塵暴露可能為干擾因子，可得知這些干擾因子會影響勞工體內氧化傷害、TL 及肺部發炎反應指標 TNF- $\alpha$ 。另暴露組勞工無配戴防護具者其血中 Cr、Fe、Co、Cu、Zn、Mn、Cd、As 濃度高於暴露組勞

工配戴防護具者，此結果顯示現場勞工如有配戴呼吸防護具，其體內重金屬均有顯著較低之現象，因此於此類型工作場所，配戴呼吸防護具為有效之防護重金屬暴露之方法。

研究結果顯示勞工之職業錳金屬與粒狀 ROS 之暴露會導致勞工體內氧化傷害與染色體端粒變短，根據研究顯示染色體端粒變短與心血管疾病、高密度膽固醇累積與增加氧化傷害有關，因此本研究結果也可推論此類型之職業暴露會增加勞工未來罹患相關健康疾患之可能性。

關鍵字：健身器材，氧化性傷害，重金屬，肺部發炎指標，活性含氧物種

## Abstract

Taiwan is major in the production of exercise equipments of the worldwide market. The main production route include steel cutting, welding, power smear, assembly, and then IC install and equipments test. Therefore, there are many hazards, i.d. nanometer particles, heavy metals, ozone, heat, color power, and noise. Furthermore, the work through survey have observed that the workers expose to the hazards for long term, and how to prevent them expose to the variant hazards has become the most important item in this study.

The working departments include welding, spray paint, assembly, test, packing and administration. The metal, particulates and chromaticity power might be existed in their working departments. Therefore, the purpose of this study aims to assess the levels of O<sub>3</sub>, metal concentrations and ROS activity generated from the manufacturing process and to assess the association between the oxidative damages, and lung illness of the workers exposed to the occupational hazards.

Up to now, there are 41 air samplings and 124 biologic samples of labors have been collected. The present study has shown that the highest ozone and ROS levels were found in welding area, and the following was in spray paint areas. Ozone and ROS levels showed the similar trends in this kind of working areas and the assessment should be persisted in the two working areas; for TVOC analysis, the highest level was found in spray paint areas; for metal analysis, the metals analysis was below than PEL-TWA in all working areas; for ROS analysis, the highest levels were found in manual welding areas and auto-welding areas, and the gaseous phase ROS was higher than particulates phase. In future, the prevention of gas phase ROS should be pay more attention in occupational health. For metal concentrations in each working areas, Co, Ni, Fe, Pb were almost in coarse particulates (6.5-21  $\mu\text{m}$ ), and some metals existed in fine particulates, such as Zn. The prevention of inhaling coarse particulates could use personal protective equipments, however, the very fine particulates should be considered in this kind of working environments.

TNF- $\alpha$  and MDA levels were higher in exposure worker than in control workers, whereas for telomere length analysis. The result indicated that the inflammation and oxidative damage have elicited in this kind of workers. Meanwhile, the concentrations of blood Cr, Fe, Co, Cu, Zn, Mn, Cd, As were higher in the labors who wore personal protective equipments than those without, the data indicated that the use of personal

respirator would be useful in metals inhaling prevention.

The present study showed that occupational Mn exposure and particulates ROS exposure would be in related to the oxidative damage and the short of telomere length. The telomere length shortening seemed to be as a new marker of cardiovascular disease, which might be in related to higher high-density lipoprotein cholesterol or at hypertensive subjects with increased leukocyte oxidative damage. Therefore, in this study, it would be possible that the workers might develop to the cardiovascular disease or othe illness at the present working environment.

Keyword : Fitness equipments, Oxidative damage, Metals, Lungs inflammation target, Reactive oxygen species

# 目錄

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 摘要 .....                | i   |
| Abstract.....           | iii |
| 目錄 .....                | v   |
| 圖目錄 .....               | vi  |
| 表目錄 .....               | vii |
| 第一章 計畫概述 .....          | 1   |
| 第一節 前言 .....            | 1   |
| 第二節 研究目的 .....          | 1   |
| 第二章 背景分析 .....          | 2   |
| 第一節 健身器材作業之研究背景 .....   | 2   |
| 第二節 臭氧與 VOC.....        | 3   |
| 第三節 重金屬 .....           | 4   |
| 第四節 氧化傷害指標 .....        | 4   |
| 第五節 肺部發炎指標 .....        | 7   |
| 第六節 心血管疾病指標 .....       | 7   |
| 第七節 動物實驗與流行病學研究結果 ..... | 8   |
| 第三章 研究方法及步驟 .....       | 12  |
| 第一節 空氣採樣 .....          | 13  |
| 第二節 生物偵測 .....          | 25  |
| 第四章 結果與討論 .....         | 35  |
| 第一節 環境採樣結果 .....        | 35  |
| 第二節 生物偵測結果 .....        | 72  |
| 第三節 勞工血液重金屬 .....       | 82  |
| 第五章 結論與建議 .....         | 94  |
| 第一節 結論 .....            | 94  |
| 第二節 建議 .....            | 95  |
| 誌謝 .....                | 96  |
| 參考文獻 .....              | 947 |



# 圖目錄

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 圖 1 研究架構圖 .....                | 12 |
| 圖 2 健身器材—A 廠平面圖 .....          | 12 |
| 圖 3 健身器材—A 二廠平面圖 .....         | 12 |
| 圖 4 健身器材—B 廠平面圖 .....          | 12 |
| 圖 5 廠區平面圖 .....                | 16 |
| 圖 6 健身器材作業圖 .....              | 17 |
| 圖 7 VOCS 採樣裝置圖 .....           | 20 |
| 圖 8 ROS 採樣裝置圖 .....            | 21 |
| 圖 9 血液各重金屬檢量線 .....            | 26 |
| 圖 10 MDA 檢量線 .....             | 29 |
| 圖 11 彗星圖 .....                 | 30 |
| 圖 12 染色體端粒長度圖 .....            | 33 |
| 圖 13 A 廠各區之臭氧濃度分佈 .....        | 37 |
| 圖 14 廠各區之臭氧濃度分佈 .....          | 38 |
| 圖 15 A 廠各區之 VOCS 濃度分佈 .....    | 40 |
| 圖 16 B 廠各區之 VOCS 濃度分佈 .....    | 41 |
| 圖 17 VOCS 初步量測結果 .....         | 42 |
| 圖 18 於 5.485 分鐘測得甲苯 .....      | 43 |
| 圖 19 於 13.101 分鐘測得酚 .....      | 43 |
| 圖 20 於 14.022 分鐘測得氯化甲基苯 .....  | 44 |
| 圖 21 A 廠 ROS 氣粒狀濃度比例分佈 .....   | 47 |
| 圖 22 B 廠氣粒狀 ROS 濃度比例分佈 .....   | 48 |
| 圖 23 A、B 兩廠 ROS 整體氣粒狀比例圖 ..... | 49 |
| 圖 24 各區域粒徑之粉塵濃度累積分佈圖 .....     | 53 |
| 圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 .....       | 54 |
| 圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 .....      | 62 |

# 表目錄

|  |    |
|--|----|
| 表 1 健身器材場所銲接與噴漆作業中產生之危害物質與健康相關影響 .....               | 10 |
| 表 2 健身器材廠勞工生物指標對健康之影響與意義及文獻 .....                    | 11 |
| 表 3 A 廠全部員工分佈狀況 .....                                | 18 |
| 表 4 B 廠全部員工分佈狀況 .....                                | 18 |
| 表 5 空氣重金屬偵測極限與回收率 .....                              | 22 |
| 表 6 勞工血液重金屬偵測極限與回收率 .....                            | 27 |
| 表 7 A 廠不同工作區域之作業 .....                               | 35 |
| 表 8 B 廠不同工作區域之作業 .....                               | 35 |
| 表 9 A 廠 ROS 氣粒狀濃度分佈 .....                            | 45 |
| 表 10 B 廠 ROS 氣粒狀濃度分佈 .....                           | 46 |
| 表 11 MARPLE 採樣器各粒徑粉塵濃度分佈 .....                       | 52 |
| 表 12 可吸入性採樣器及旋風分離器採樣器粉塵濃度分佈 .....                    | 53 |
| 表 13 可吸入性採樣器重金屬濃度分佈 .....                            | 70 |
| 表 14 旋風分離器採樣之各區域重金屬數據 .....                          | 71 |
| 表 15 暴露組與對照組之基本資料 .....                              | 72 |
| 表 16 勞工之不同年齡與個人生活習慣對於 TMOM 與 MDA 長度之分佈影響 .....       | 74 |
| 表 17 勞工個人生活習慣與染色體末端長度之分佈情形 .....                     | 76 |
| 表 18 勞工個人生活習慣與 TNF- A 之分佈情形 .....                    | 77 |
| 表 19 勞工個人生活習慣與 HS-CRP 之分佈情形 .....                    | 78 |
| 表 20 健身器材廠暴露組與對照組之血液中氧化性傷害與心血管疾病及肺部發炎<br>反應之分析 ..... | 80 |
| 表 21 勞工氧化性傷害之相關性 .....                               | 80 |
| 表 22 勞工生活習慣與 TMOM 之複回歸關係 .....                       | 81 |
| 表 23 勞工生活習慣與 MDA 之複回歸關係 .....                        | 81 |
| 表 24 勞工生活習慣與 TL 之複回歸關係 .....                         | 81 |
| 表 25 勞工生活習慣與 TNF- A 之複回歸關係 .....                     | 82 |
| 表 26 勞工生活習慣與 HS-CRP 之複回歸關係 .....                     | 82 |
| 表 27 A 廠之勞工血液重金屬濃度與部門差異分析 .....                      | 83 |
| 表 28 B 廠之勞工血液重金屬濃度與部門差異分析 .....                      | 83 |
| 表 29 勞工血液重金屬濃度與防護具使用分析 .....                         | 85 |
| 表 30 電銲部門之血液重金屬濃度與氧化性傷害相關性分析 .....                   | 86 |
| 表 31 人體血液金屬正常值範圍 .....                               | 87 |

|   |    |
|---|----|
| 表 32 電鍍部門勞工其血液重金屬濃度高於國人背景值者其血液重金屬濃度與體內氧化性傷害之相關性分析 .....                   | 87 |
| 表 33 噴漆部門之血液重金屬濃度與氧化性傷害相關性分析 .....  | 88 |
| 表 34 暴露指標--血中 MN 與可吸入性粉塵-MN (IOM-MN) 及可呼吸性粉塵-MN (CYCLONE-MN)之相關性分析結果..... | 89 |
| 表 35 血中 MN 與 IOM-MN 及 CYCLON-MN 相關性分析.....                                | 89 |
| 表 36 氧化性傷害與血中 MN、IOM-MN、CYCLON-MN、ROS-粒狀相關性分析 .....                       | 90 |
| 表 37 8-OH-DG 與血中 MN 及 ROS-粒狀與氣狀之複回歸關係 .....                               | 91 |
| 表 38 TMOM 與暴露指標-ROS-氣狀及暴露指標-ROS-粒狀之複回歸關係.....                             | 91 |
| 表 39 MDA 與血中 MN、暴露指標-ROS-氣狀及粒狀之複回歸關係.....                                 | 91 |
| 表 40 TL 與 C-MN、I-MN 及暴露指標-ROS-粒狀之複回歸關係 .....                              | 92 |
| 表 41 TNF-A 與 I-MN 及暴露指標-ROS-粒狀之複回歸關係.....                                 | 92 |
| 表 42 HS-CRP 與 I-MN 及 C-MN 之複回歸關係.....                                     | 92 |
| 表 43 健身器材作業環境空氣採樣與生物偵測進度表 .....   | 93 |

# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

近年來由於人類生活水準提升以及消費型態改變，使得休閒活動逐漸受到重視，室內運動逐漸成爲人們下班後或假日重要之休閒活動，進而帶動運動器材產業，像是電動跑步機、橢圓機、懶人腳踏車、競速車、仰臥起坐機等相關室內運動器材之製造與組裝。這些運動器材製造過程包含器具切割、噴漆、銲接、零件組裝、拋光、品保品管等。其中以銲接作業與噴漆爲主要之工作型態，勞工所暴露之危害物質也較爲廣泛，包含金屬粉塵、臭氧、ROS、VOCs 等。本計畫以二間健身器材製造生產廠爲研究對象，二廠之勞工共 380 人，大部分勞工主要以組裝、銲接及噴漆作業爲主，參與本研究勞工數爲 133 人，完成所有分析項目者共計 124 人。

## 第二節 研究目的

本研究以運動器材相關產業爲主要研究場所，本計畫進行作業勞工環境暴露偵測與分析勞工之氧化傷害與肺部發炎反應之前驅相關生物指標，以探討職業暴露與氧化傷害及呼吸道與心血管疾患之關係性。

1. 進行健身器材之作業空氣中之臭氧、環境中 VOCs、空氣重金屬暴露與 ROS 之濃度評估。
2. 健身器材作業勞工之生物暴露偵測--血液重金屬之暴露評估。
3. 健身器材作業勞工之生物效應偵測--氧化傷害與肺部傷害、心血管疾病之評估。
4. 結合健身器材作業勞工之空氣汙染暴露與生物偵測評估結果，以評估暴露與健康危害之關係性。
5. 應用前驅生物指標以篩選出可能會有職業暴露危害之勞工。

## 第二章 背景分析

### 第一節 健身器材作業之研究背景

本研究場所為製造健身器材之工作場所，工作內容以手動銲接作業、自動銲接作業與噴漆作業占此場所作業之最大比例。依據行政院勞工委員會統計資料顯示，台灣98年受僱於銲接作業勞工約有30,314名為全時銲接勞工，隨著我國工業技術的提昇，銲接在台灣地區工業上已佔有一席重要的地位，製造業、營造業最常使用，在製造、修補有關鋼、鐵構建之連結上廣泛使用；另製造業中約有9,741位之油漆工（塗裝工、裱糊工、漆飾工、噴漆工）從事金屬製品、塑膠製品、汽車及其零件組裝、家具等 [1]。

Dennis等人之研究結果發現，金屬惰性氣體銲接作業中會產生紫外線（Ultraviolet, UV）、臭氧以及六價金屬鉻，UV的放射、金屬煙塵與臭氧將會產生連鎖機制反應，電銲時經過高溫產生UV光，UV光經光化學反應催化氧氣形成臭氧，此外作業時產生之金屬煙塵會經由UV光使粉塵表面變成具活化效應之ROS [2]。另噴漆過程中會使用有機溶劑，此類產品中可能含有毒性物質，作業勞工可能經由吸入、食入、皮膚接觸而對人體造成危害，因此本研究也測量環境中VOCs濃度，此結果將提供給勞工和雇主以提出適當之職業衛生防護建議。

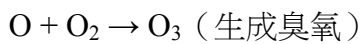
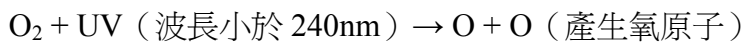
根據Yu等人之研究結果顯示，歷經60天之金屬煙塵作業暴露後，實驗動物之肺部細胞明顯有纖維化的現象，此結果顯示暴露於金屬煙塵環境之劑量越高且暴露時間愈長時，越容易使暴露者發生肺部纖維化，此外該研究亦證實老鼠經過30天之煙塵暴露後，肺部細胞會造成嚴重氧化性8-OH-dG傷害[3]。因此運動器材作業勞工之體內氧化傷害提高可能會與其重金屬暴露或其高濃度臭氧生成有關，其後續氧化傷害指標如MDA、8-OH-dG、comet assay等將可用以評估氧化傷害，另TNF- $\alpha$ 等蛋白測量則可用以評估肺部發炎指標，而hs-CRP則亦為發炎指標，可用以評估心血管疾病之可能性。運動器材作業勞工之職業重金屬暴露是否會造成勞

工體內氧化傷害與肺部發炎將為本計畫所關注之課題。

## 第二節 臭氧與 VOC

### 1. 臭氧產生機制與危害

臭氧主要是UV光於光化學反應下產生的產物，通常臭氧發生在UV光最強的区域。臭氧生成的過程如下：



因此本研究假說設定為健身器材作業場所中手動與自動銲接作業時電弧所產生的UV光會與空氣中的氧氣反應後產生相當濃度的臭氧，且該臭氧會於空氣中持續存在一段時間。美國職業安全衛生署(Occupational Safety&Health Administration, OSHA)所規範臭氧的標準值為0.1ppm，臭氧暴露在0.3ppm以上會導致不舒服、難受，當暴露在10ppm幾個小時下可能導致肺腫大[4]，此外，臭氧會刺激上呼吸道黏膜、眼睛、氣喘及造成肺功能減退等[5]。臭氧暴露的病徵初期會出現喉嚨乾燥，接著頭痛、失去方向感、呼吸不規律等症狀。因此本研究之臭氧評估結果將可對從事銲接作業的勞工於佩戴防護具之使用時間與方式提出安全衛生防護方面之建議。

### 2. 揮發性有機化合物 (VOCs) 之危害

環境中有超過100種化合物可被歸類為揮發性有機化合物，它們可能來自多種物品，包含生活上會經常使用之建築物料、黏著劑、地毯、油漆及溶劑、清潔劑、交通工具（飛機、汽車、機車）等，固定污染源則有火力發電廠、煉油廠、石化廠、鋼鐵廠，這些工廠在生產過程中因燃燒不完全可能會產生VOCs，VOCs於大氣中進行光化學反應亦會產生臭氧。由於國內目前無TVOC之容許濃度標準，僅於室內空氣品質建議為3ppm，多數之VOCs具有毒性、臭味，且部分物質

如苯會致癌。揮發性有機物因具有滲透、脂溶、揮發等特性，一般可經由接觸或呼吸之途徑，引發人體呼吸道、肺臟、肝臟、腎臟、神經系統及造血系統之危害或病變，對人體健康危害相當大。

### 第三節 重金屬

於運動器材製造作業中，伴隨著不同之作業環境可能會產生重金屬煙塵，如鋁、鉻、鎳、鐵、銅、鉛、錳等金屬。鉛屬於慢性累積性中毒，尤其對神經系統及造血系統及循環系統會產生極大危害性；鉻(III)金屬是高等植物、動物和人體是必要的元素，且會影響人體胰島素的形成與效力[6]，反之鉻(VI)是具有毒性和致癌性的金屬[7]，暴露鉻酸氣會導致鼻中膈穿孔、胃潰瘍、呼吸道刺激等疾病；鋁造成之症狀為肺組織之損傷（肺纖維化）、呼吸困難、咳嗽、食慾減弱、呼吸急促；慢性錳暴露的主要標的器官為中樞神經，會產生許多神經行為病症，如運動遲緩、平衡異常、情緒改變等[8-10]，嚴重的話更可造成自發性巴金森氏症[11]；鎳暴露之急性健康效應包括：煙塵會刺激呼吸道，造成咳嗽、呼吸急促、呼吸困難、胸緊、金屬煙塵熱（寒冷、發熱、感冒症狀），慢性健康效應包括造成肺癌及鼻竇癌，如氣喘、過敏症、鎳癢症和肺病[12]；鉛暴露急性腦病發作、昏睡、甚至死亡，長期暴露會有關節疼痛、腹痛、食慾不振等現象[12]。

### 第四節 氧化傷害指標

#### 1. 反應性含氧物種 (Reactive oxygen species, ROS)

因人類早在 1990 年代發現了自由基的存在，所謂的自由基，廣泛而言指的是含有一個或更多不成對電子而可獨立存在的原子或分子[13]，也因不成對的電子存在，因而引發一連串的連鎖反應，進一步攻擊人體內的細胞組織，大部份造成 DNA 的損傷、脂質過氧化反應等[14]。當每天暴露污染物例如：臭氧、粉塵微粒、二氧化氮、香菸的煙塵等，都可能經由光化學反應而產生 ROS，ROS 對呼吸道

組織產生氧化性壓迫，經由反應而形成反應高且不穩定的自由基，產生氧化壓力而破壞身體細胞，進而引起肺部或其他組織疾病的發生。在一般周界大氣中，ROS 同時分佈於氣相及微粒相[15]，粒狀 ROS 主要源自於燃燒過程或光化學反應，其所附著之微粒因粒徑多小於 1 $\mu\text{m}$ ，在肺泡區具有甚高的沉積率，因此微粒上的 ROS 可很有效率的被傳送到肺部組織細胞。ROS 半衰期非常短，有研究指出在電銲作業過程中 ROS 半衰期為 10 天，結果顯示新生煙煙所產生的螢光強度高於老化煙煙，可能會導致身體體內產生不同的反應，其原因推測可能為新生的煙煙與老化的煙煙表面 ROS 濃度不同，因此新生的 ROS 所產生之毒理效應會比老化的 ROS 更易引起人體危害[16]。對於從事運動器材作業而言，於銲接過程中會產生高濃度粉塵與 UV 光，此為 ROS 形成之重要原因，因此本研究所關注之外生性 ROS 暴露極為重要。

## 2. 脂質過氧化反應產物 (malondialdehyde, MDA)

根據本研究團隊於民國 97 年之研究結果顯示鑄造廠勞工之多環芳香烴化合物 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH) 暴露與其體內氧化傷害指標有關，如 MDA[17]。此原因乃因 PAH 代謝過程中會產生自由基，而自由基會攻擊細胞膜上的磷脂質，因為磷脂質含有大量不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids)[18]，氫離子容易脫離與氫氧自由基反應，之後與氧氣結合成過氧化脂基，而最後脂肪過氧化的最終產物為丙二醛(Malondialdehyde, MDA)，MDA 值越高代表脂質過氧化情形越嚴重[18-20]，也有研究指出脂質過氧化可能會導致動脈硬化 (atherosclerosis) [19]。

## 3. 血液 DNA 傷害 (Comet assay)

Zhu 等人研究橡膠加工廠 (281 位) 及其管理部門之勞工 (90 位) 其體內 DNA strand breaks 之分佈差異，結果為有職業暴露之橡膠勞工高於無職業暴露之管理部門勞工[21]；該作者於 2001 年研究公車製造廠勞工 306 人與其管理部門勞工 40 人，結果發現廠內機械、電銲、輔助及油漆部門之職業暴露勞工都高於管理部門之勞工[22]；暴露於生物鹼(vincristine, VCR)工作勞工之 DNA strand breaks 高於無



暴露之對照組勞工[23]；中國電梯製造廠內製造部門勞工 205 位之 DNA strand breaks 顯著高於 154 位管理部門之勞工[24]；而在 Fracasso 等人研究也發現暴露於鉛危害之電池工廠勞工顯著高於無職業暴露之勞工與學生[25]。上述文獻指出 DNA strand breaks 分析法具簡易、快速、所需樣品數少、高靈敏性等優點，因此目前廣泛應用於評估人體內之 DNA strand breaks 程度。

#### 4. 染色體末端長度 (telomere length)

生物的遺傳物質 DNA 大部份均包含在細胞的染色體上，這些 DNA 分子在細胞分裂時會進行增殖。然而在染色體的末端有一小段序列大量重覆的 DNA，稱為端粒 (telomere)，telomere 位於每一條染色體兩端，由一連串短而一再重覆的核苷酸系列和蛋白質所組成，可維持染色體的穩定性，一般成熟的體細胞缺乏端粒酶 (telomerase) 的活性，因此人體的 telomere 會隨著年齡增加，細胞分裂次數的增加而變短，當 telomere 短到某個程度時，細胞就不再分裂而成衰老細胞最後死亡。因此 telomere 長度的縮短對人體細胞而言提供了一個老化的訊號，Cawthon 領導的研究小組針對 143 位年齡在 60 歲至 97 歲之間的老人進行研究，搜集他們在 1982 年至 1986 六年之間留下的血液樣本，檢視其中染色體端粒的變化情形，並對照受試者的健康狀況與壽命。若將 143 位老人分成兩組，端粒較長組會比端粒較短組之壽命增加 4-5 年[26]。端粒最短的幾個人，罹患心臟病的機率是端粒較長者的 3 倍，他們感染肺炎類疾病的機率，更是高出 8 倍。端粒最短的人罹患中風與癌症的機率也稍微偏高，但是差距並不明顯。因 telomere 長度為細胞老化指標，目前僅有少數研究將其應用於職業族群之氧化傷害，如應用 telomere 長度於評估 PAH 暴露[27] 與交通污染源之暴露 [28]。本研究藉由分析 telomere 長度與結合氧化傷害之分析結果，以進一步應用於職業族群暴露對於細胞老化之影響。

## 第五節 肺部發炎指標

腫瘤壞死因子 (tumor necrosis factor  $\alpha$ , TNF- $\alpha$ ) 爲人體巨噬細胞所分泌的一種細胞激素 (cytokine)，通常被認爲是在發炎及其他一些免疫反應中，扮演了關鍵性角色的一種蛋白質，它可以藉由趨化作用引導嗜中性白血球移向感染處，會造成發燒、嗜睡和血漿鐵濃度降低，TNF- $\alpha$  之所以稱之爲腫瘤壞死因子  $\alpha$ ，原因爲 TNF- $\alpha$  具有毒殺癌細胞的特性。發炎因子如 TNF- $\alpha$  會引發內皮細胞的發炎反應，像是增加 IL-6 (Interleukin-6) 釋放等，在動脈粥樣硬化的過程當中扮演著啓動者的角色[29]。也有研究發現氣喘病人在呼吸道與肺部有 TNF 量升高之情形，並認爲 TNF 是與氣喘有關的危險因子 [30]，因此人體內 TNF- $\alpha$  之升高代表測試者其體內之發炎反應較高。

## 第六節 心血管疾病指標

高敏感性 C-反應蛋白 (high sensitivity C-reactive protein, hs-CRP) 雖然血脂異常和心血管疾病的發生有很明確的關聯性，但在美國一些臨床實驗發現，超過三分之一的心血管疾病患者，其總膽固醇濃度仍在正常範圍內，此結果顯示高膽固醇非心血管疾病之唯一危險因子。因爲發炎在動脈粥狀硬化的形成過程中扮演著重要角色，發炎指標顯然是個評估心血管疾病風險之重要因子，在所有的發炎指標中，C-反應蛋白 (C-reactive protein, CRP) 是目前臨床上應用的最普遍的。CRP 是由人體中的肝臟細胞所產生的特殊蛋白，爲發炎反應的指標，最早在肺炎病人血清中所發現，由於在鈣離子的存在下，該蛋白對肺炎球菌的 C 多醣體會產生反應，故被稱爲 C-反應蛋白 [31]。近年來臨床研究顯示 hs-CRP 可以做爲心血管疾病風險之預測指標，以 1, 1-3, >3 mg/L 分三等份，分別代表低、中、高三個不同的危險族群[32]，現在 hs-CRP 常和膽固醇、三酸甘油脂、HDL、LDL 一起成組測定，做爲預測起因於血管硬化的心臟及腦血管疾病發生的檢驗項目，尤其是在較容易引起這些疾病的人，如有心肌梗塞、中風、周邊動脈疾病、高血壓、高膽固醇、菸癮及糖尿病的人。因此如能藉由檢測心血管疾病之前驅指標而明確得知罹患心血管疾病之高風險勞工，藉此便能針對職業危害提供防護建議，或許可以

降低心血管疾病之發生。

## 第七節 動物實驗與流行病學研究結果

重金屬暴露可能會間接引發形成氫氧自由基而攻擊 DNA，進而產生 8-hydroxydeoxyguanosine (8-OH-dG)，對 DNA 造成損害。Costa 等人研究發現，電鍍作業時會產生大量的金屬煙塵，如金屬鎳及金屬鉻，這些金屬會嚴重破壞 DNA，造成 DNA 損傷，導致 DNA 不易被修復 [33-34]；另一研究顯示，重金屬暴露會造成細胞病變，嚴重會導致癌症之產生[35-37]。動物實驗中也發現，分別暴露到 0.31 ppm 及 0.50 ppm 之臭氧濃度時，與未暴露之對照組相比，暴露在臭氧下之動物其肺部產生腫瘤的機率會增加[38]。Last 等人之研究發現將老鼠暴露於 0.8 ppm 之臭氧濃度（1 天暴露 8 小時，共暴露 18 週），結果老鼠也產生肺部腫瘤[39]。此外，利用 A549 細胞株進行 0、60、80、120 ppb 各 1 小時之臭氧暴露及氣懸微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 以濃度 0、50、100 µg/ml 各 4 小時之分別及共同暴露，結果發現暴露於 80 ppb 之臭氧 1 小時後，即會顯著造成 DNA 傷害[40]。於相關之銲接作業環境中勞工之流行病學研究結果顯示，銲接作業時所產生的煙塵粒徑在可呼吸性範圍 < 1µm [16,41,42]，吸入過多煙塵會導致呼吸系統的傷害，例如支氣管炎、氣喘[43]、肺部功能改變[44]、增加肺癌的罹病風險[45]。此外其他疾病如金屬煙塵熱、癌症[46]、神經毒性[47]、遺傳毒性[48]及銲接煙塵之暴露會增加勞工罹患神經退化性疾病的風險[49]。Hunnicutt 等人之研究結果也發現，有抽菸的銲接工人其罹患慢性支氣管炎的機率會增加，此外 Cejas 等人指出，ROS 可調節脂質過氧化並且使 DNA 產生突變，進而有致癌的危險[50-51]。當體內 ROS 增加，就會促使氧化壓力上升影響氧化壓力平衡，導致許多疾病的發生如癌症 [52-53]。電梯製造廠內製造部門勞工（205 位）之 DNA strand breaks 顯著高於管理部門之勞工（154 位）[24]；而在 Fracasso 等人研究也發現暴露於鉛危害之電池工廠勞工，體內之 DNA 傷害顯著高於無職業暴露之勞工與學生[25]。因此本計畫以 DNA

strand breaks 與 hs-CRP 作為前驅指標，以探討運動器材之作業暴露對於心血管疾病之影響。

以往有關噴漆之研究如造船塗裝廠以二甲苯為最常使用之溶劑，二甲苯對於皮膚、黏膜具有急性的刺激反應，對於中央神經系統則具有慢性毒性[54]；也有學者研究同時暴露於 150 ppm 的二甲苯與乙苯，勞工體內會發生代謝抑制現象，延遲尿中代謝物的產生[55]。鄭氏等人之研究結果顯示噴漆勞工於船體內部進行噴漆作業時，皮膚有機溶劑暴露量約為在船體外部作業的 5 倍[56]。澳洲學者調查環氧樹脂造成皮膚炎之研究中發現噴漆工人會發生皮膚過敏[57]；也有研究測試不同種類金屬之貼膚試驗，結果皆以飛機噴漆作業所產生之陽性反應率最高，經由交叉統計分析結果顯示金屬鎳與金達顯著差異，另外肝功能相關的總膽色素或 SGOT 等，發現異常者在飛機噴漆與船舶塗裝組居多，且達顯著性差異[58]；在瑞典建築工地從事油漆作業之勞工，肺癌的標準化發生率有明顯增加的情形[59]，因此運動器材作業中噴漆勞工是否有職業暴露，且其是否會造成健康危害也成為本計畫所關注課題之一。根據 Halatek 等人之研究結果顯示，在修船廠之銲接勞工其血液與尿液中錳的濃度顯著高於對照組，且空氣中錳的濃度與血液中錳的濃度具顯著之相關性[9]。謝氏等人於 2009 年，以台灣兩個銲接相關作業勞工進行研究，調查中針對有暴露於錳煙環境之勞工進行神經行為功能測試，以及分析血液、尿液中錳濃度，結果發現暴露組之血液及尿液中錳濃度均顯著高於對照組[60]。因此於相關之職業衛生研究均發現從事噴漆作業勞工與銲接作業勞工可能會產生不同性質之危害。表 1 列出本計畫在健身器材作業噴漆作業與銲接作業產生之危害物質會影響人體之健康效應與影響：

表 1 健身器材場所銲接與噴漆作業中產生之危害物質與健康相關影響

| 健身器材工作類型 | 危害物質     | 影響疾病                        |
|----------|----------|-----------------------------|
| 銲接作業     | 粉塵       | 呼吸系統                        |
|          | 氣、粒狀 ROS | 氧化性傷害、DNA 損傷                |
|          | 重金屬      | 神經系統、造血系統、呼吸系統、DNA 損傷、心血管疾病 |
|          | 臭氧       | 氧化性傷害                       |
| 噴漆作業     | 粉塵       | 呼吸系統                        |
|          | 氣粒狀 ROS  | 氧化性傷害、DNA 損傷                |
|          | 重金屬      | 神經系統、造血系統、呼吸系統、DNA 損傷、心血管疾病 |
|          | 臭氧       | 氧化性傷害                       |
|          | VOCs     | 心血管疾病、呼吸系統、肝臟病變             |

表 2 健身器材廠勞工生物指標對健康之影響與意義及文獻

| 生物指標(單位)                                | 時程影響   | 意義                         | 文獻  |
|---|--|----------------------------|---|
| 脂質過氧化傷害<br>-MDA ( $\mu\text{M}$ )       | 長期<br>(12.5 day)                               | 心血管疾病前驅指<br>標              | Kautiainen et al., 1993[61];<br>Marnett, 1999[62];<br>Li et al., 2010[63]   |
| DNA 斷裂指標<br>-TMOM                       | 短期<br>單股螺旋斷裂：20<br>hrs<br>雙股螺旋斷裂：<br>32-54 hrs | 會受生活習慣影<br>響，心血管疾病前<br>驅指標 | Dennis Lo, 2000[64];<br>Zheng et al., 2004[65]                              |
| 過氧化傷害指標<br>-8-OH-dG ( $\mu\text{g/g}$ ) | 短期<br>(於胎盤下>16<br>hrs)                         | 會受抽煙影響，心<br>血管疾病前驅指標       | Daube et al., 1997[66];<br>Hamilton et al., 2001[67];<br>Thompson, 2004[68] |
| 老化指標<br>-Telomere length<br>(kbp)       | 短期   | 心血管疾病前驅指<br>標              | Hansel et al., 2006[69]   |
| hs-CRP ( $\mu\text{g/ml}$ )             | 短期<br>(20 hrs)                                 | 心血管疾病前驅指<br>標              | Meier-Ewert et al.,2001[70];<br>AFAA, 2010[71]                              |
| TNF- $\alpha$ (pg/ml)                   | 短期   | 肺部發炎指標                     | Kamada et al., 2000[72];<br>Toussirot et al., 2007[73]                      |

# 第三章 研究方法及步驟

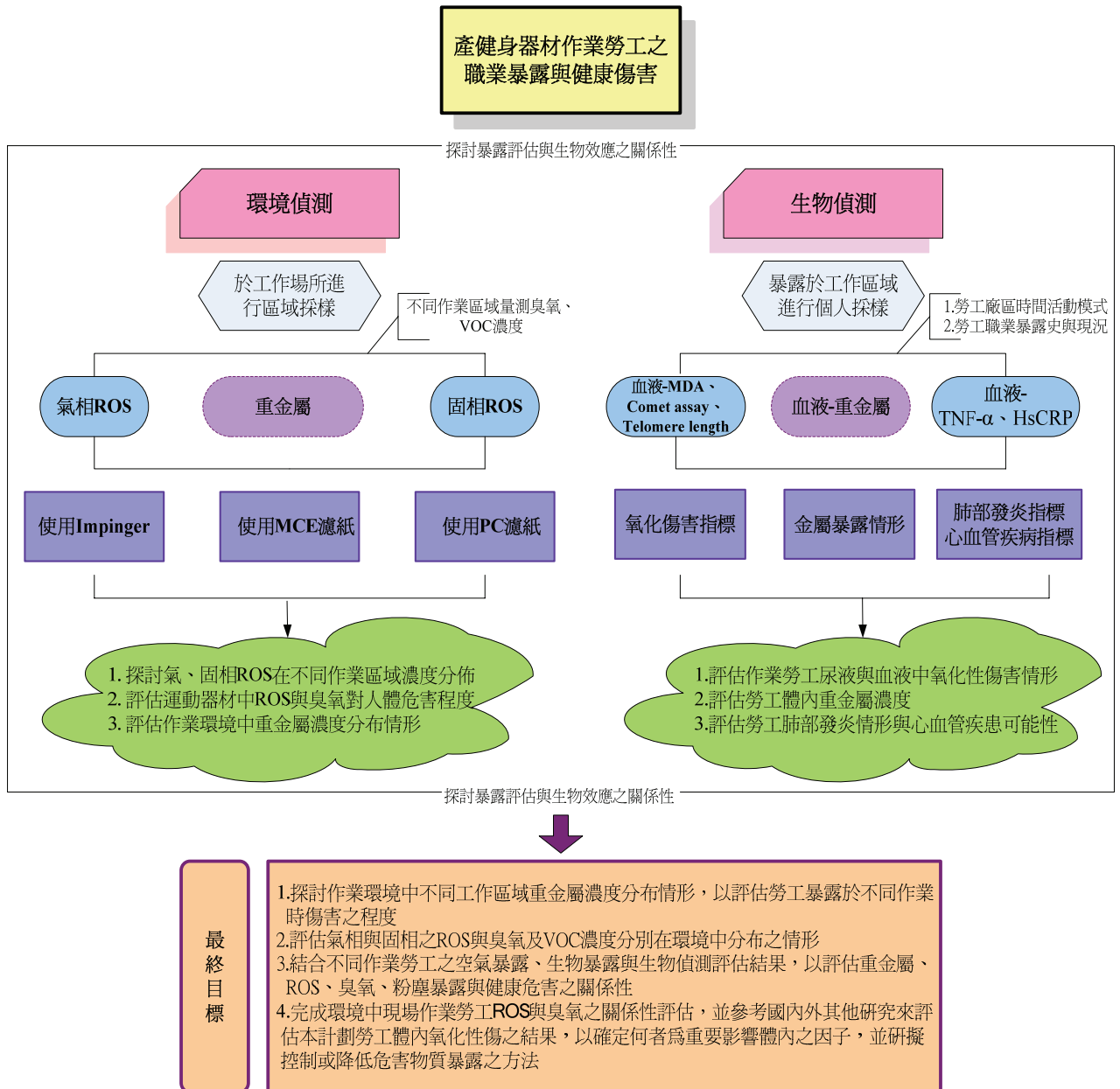


圖 1 研究架構圖

# 第一節 空氣採樣

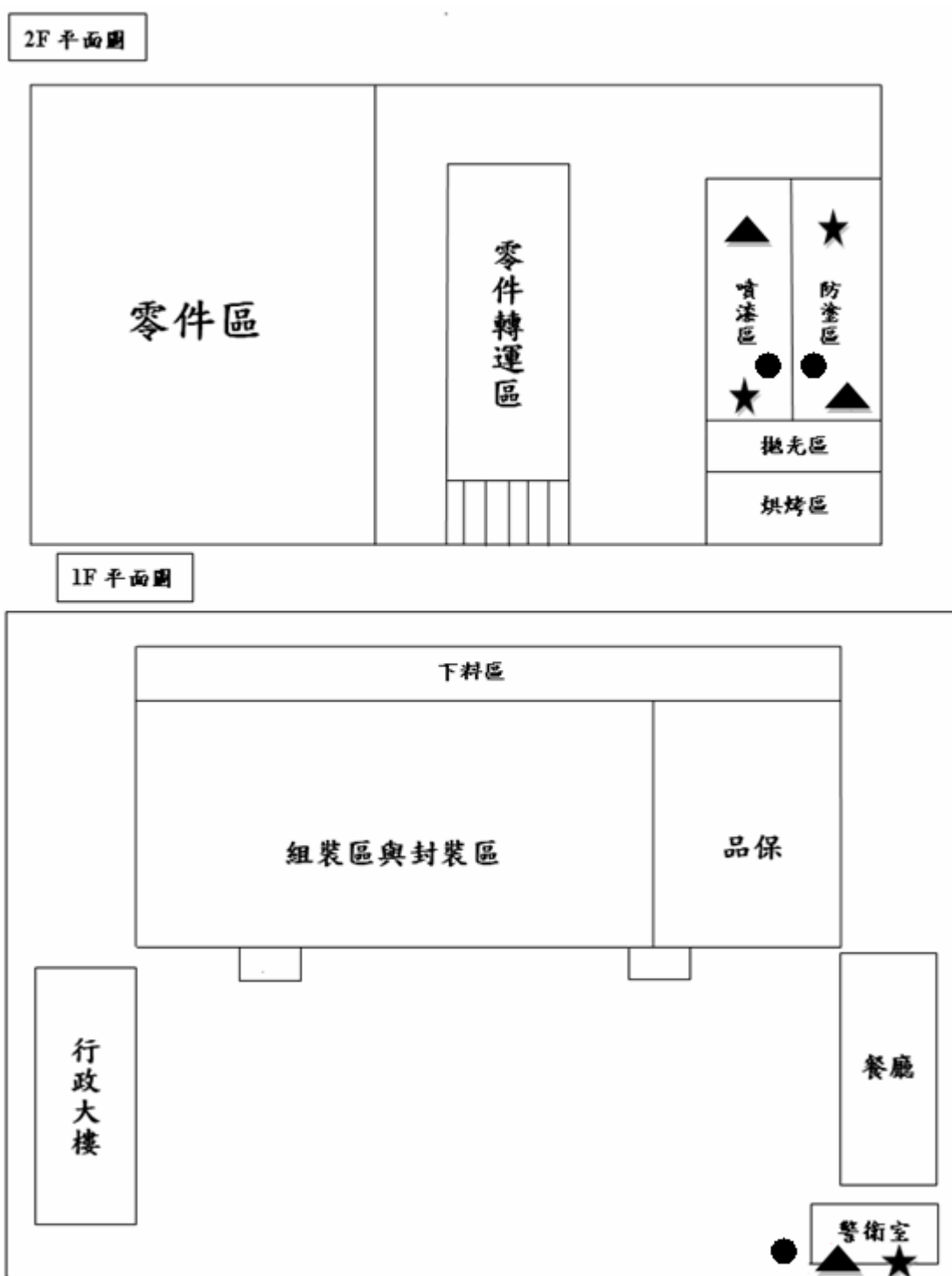
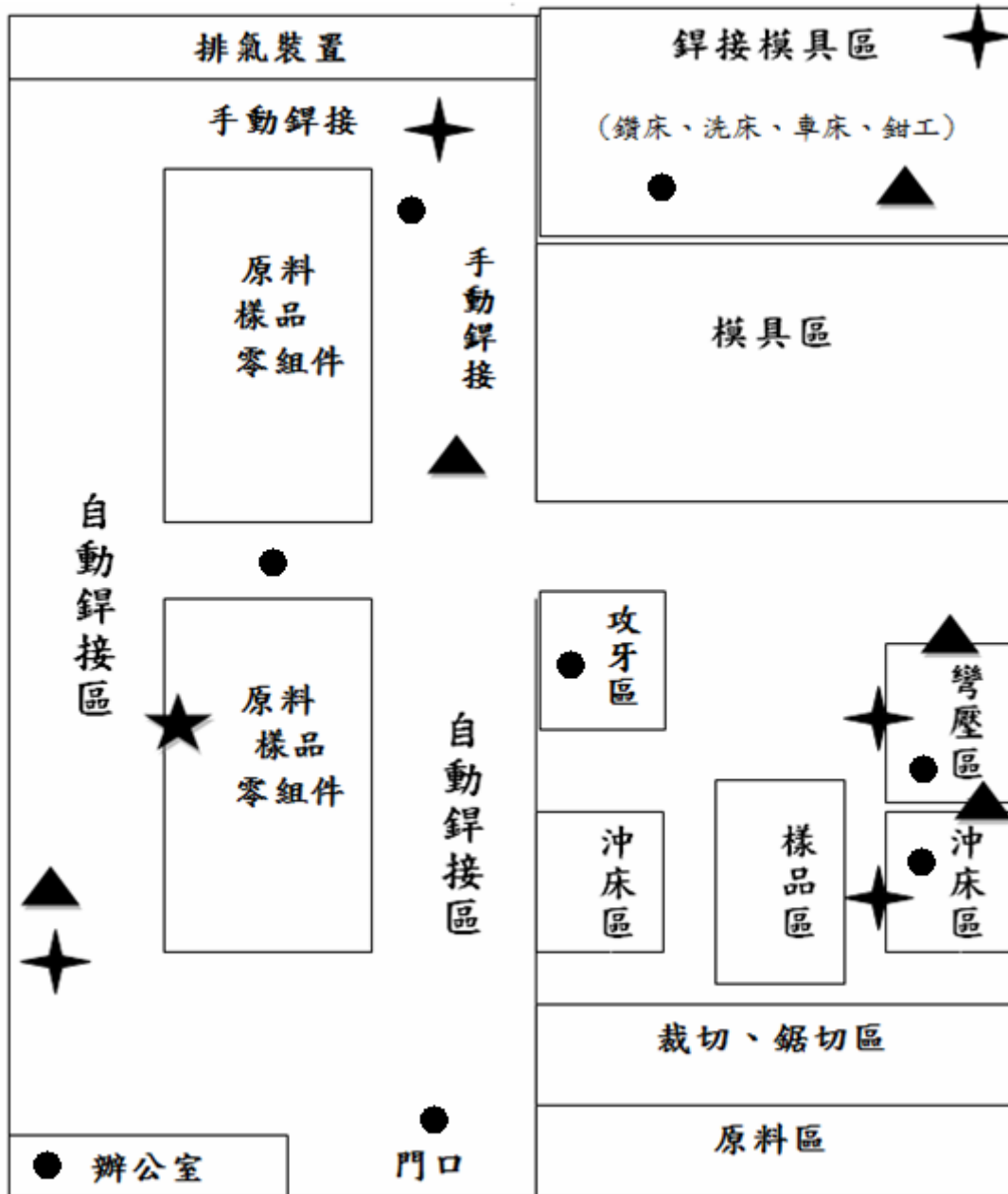


圖 2 健身器材—A 廠平面圖





- ◆ 重金屬 IOM、Marple、旋風分離器採樣點
- ▲ 氣粒狀 ROS 採樣點
- ★ VOC 採樣地點
- 臭氧採樣點

圖 3 健身器材—A 二廠平面圖

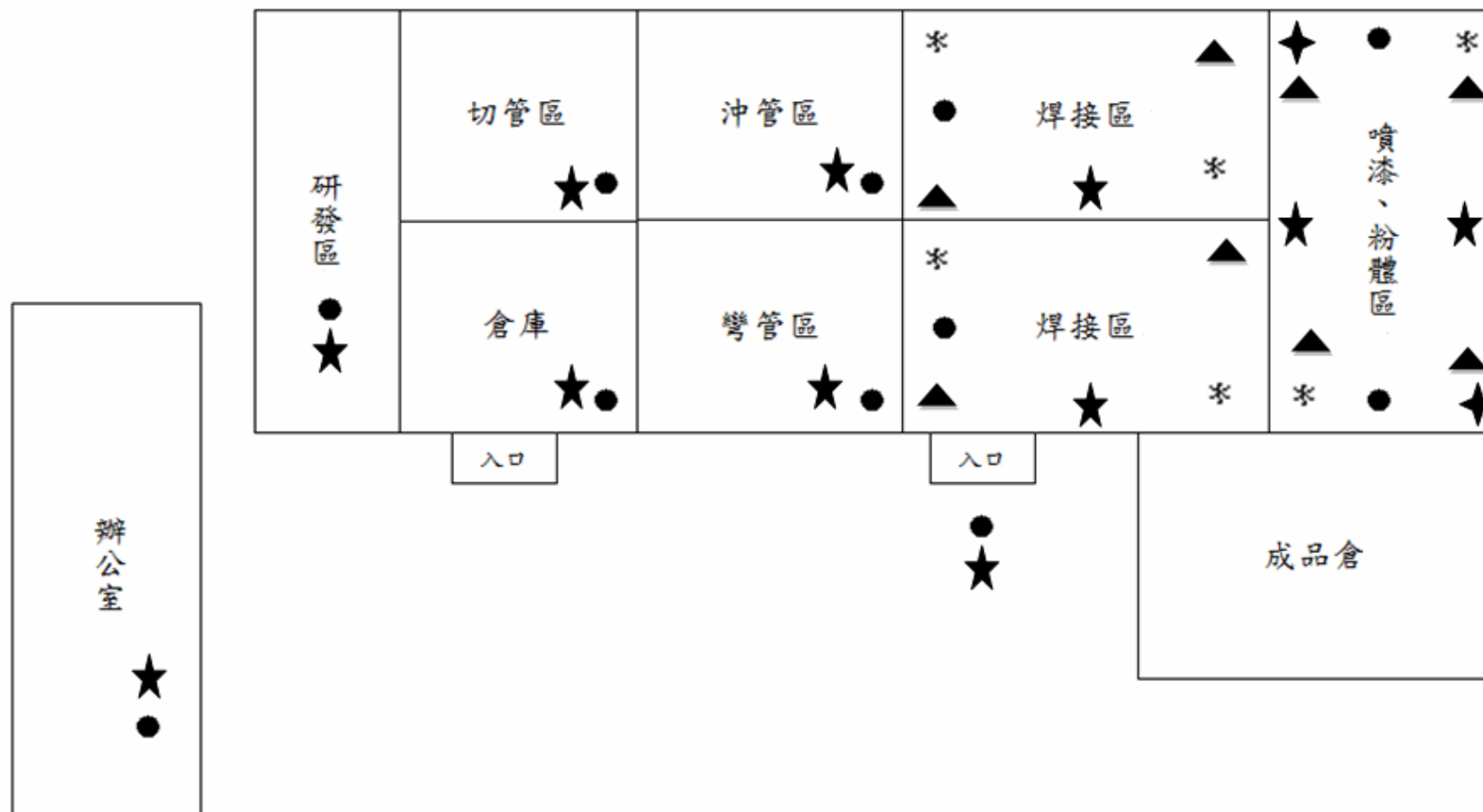
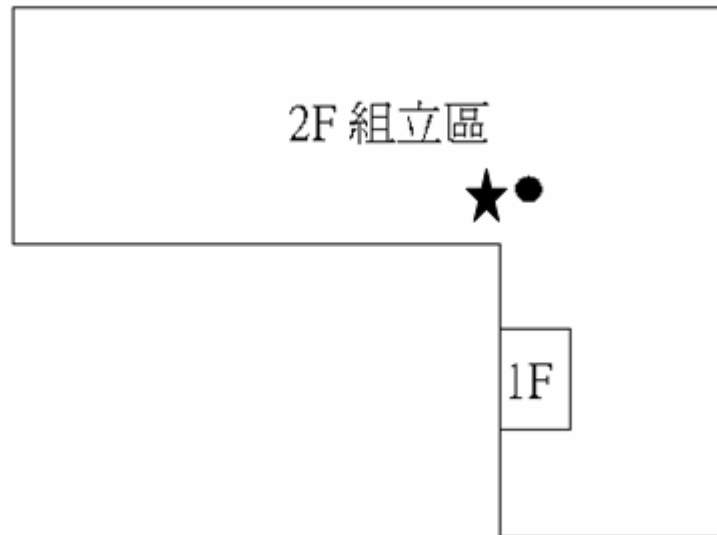


圖 4 健身器材—B 廠平面圖



- ◆ IOM 個人採樣
- \* SKC 旋風分離器個人採樣
- ▲ ROS 區域採樣
- ★ VOC 採樣地點
- 臭氧採樣地點

圖 5 廠區平面圖



A 廠自動銲接區



A 廠自動銲接區



A 廠手動銲接區



A 廠裁切區



B 廠手動銲接區



B 廠鑽孔區

圖 6 健身器材作業圖

表 3 A 廠全部員工分佈狀況

| 工作部門 | 人數 |
|------|----|
| 噴漆區  | 53 |
| 銲接區  | 6  |
| 行政區  | 49 |

表 4 B 廠全部員工分佈狀況

| 工作部門 | 人數 |
|------|----|
| 銲接區  | 4  |
| 行政區  | 12 |

## 1. 環境偵測：空氣中臭氧及 VOC 量測、氣粒狀 ROS、重金屬採樣及分析方法

### (1) 臭氧量測

A、採樣地點的選擇：廠區戶外區、攻牙區、彎壓區、銲接模具區、手動電銲區、自動電銲區、沖床區、噴漆區、行政辦公室、烤漆區、倉庫區、組立區、研發區。

B、採樣儀器：美國 KD Engineering 的 AIRBox 攜帶式 O<sub>3</sub> 測定儀

C、採樣時間：早上 8：00-9：00，中午 12：00-13：00，下午 16：00-17：00 各採一次。(區域採樣選擇是考量該工作場所，可能產生臭氧及因臭氧逸散造成暴露之地點進行偵測；採樣時間選擇早上 8：00-9：00 是配合該工作場所勞工開工之時間，測得勞工開始進行作業時之濃度情況，中午 12：00-13：00 為勞工休息時間，之所以選擇該時間進行測定，原因是評估工作暫止後環境中臭氧逸散情形，了解工作環境中通風換氣之狀況，下午 16：00-17：00 為勞工下班時間，評估作業一整天後，臭氧於此區域整體濃度分佈情形。)

D、當日環保署南投監測站資料：早上平均濃度為 45ppb、中午平均濃度為 71ppb、下午平均濃度為 90ppb。

E、樣本分析方法：美國 KD Engineering 的 AIRBox 攜帶式 O<sub>3</sub> 測定儀進行短時間量測，紀錄即時最高之濃度結果，採樣前以零點及全幅氣體校正其準確度，全幅氣體以 2 ppm 的 O<sub>3</sub> 進行。測定範圍：0-2ppm，靈敏度：0.01ppm。

## (2) VOCs量測-直讀式儀器

- A、採樣地點的選擇：廠區戶外區、攻牙區、彎壓區、銲接模具區、手動電銲區、自動電銲區、沖床區、噴漆區、行政辦公室、烤漆區、倉庫區、組立區、研發區。
- B、採樣儀器：美國 Thermo 的 TVA100B 攜帶式揮發性有機物偵測器
- C、採樣時間：早上9：00-10：00，下午15：00-16：00各採一次
- D、樣本分析方法：美國Thermo的TVA100B攜帶式揮發性有機物偵測器進行短時間測定，5秒紀錄一次偵測數值，將記錄之數值進行分析。採樣前，需將儀器分別以零級氣體、低濃度甲烷、高濃度甲烷等三種氣體進行校正。

## (3) VOCs量測-GC/MS

- A、採樣地點的選擇：自動銲接區
- B、採樣介質：採樣袋共10 L，採樣前需以乾淨空氣進行三次洗袋並將氣體排空，採樣時將低流量泵浦串接採樣袋，並在接口處使用石蠟膜完封以防止採樣氣體洩漏。
- C、採樣流速：0.2 L/min
- D、採樣時間：共採集45min
- E、樣本分析方法：使用GC-MS進行分析，column使用J&W（型號：DB-5MS，規格：30m\*0.25mm\*0.25 $\mu$ m），用氣密針抽取0.5 mL採樣袋氣體，注射入GC-MS進行分析，使用條件為起始溫度33 $^{\circ}$ C維持6分鐘後，升溫至150 $^{\circ}$ C（升溫速率為8 $^{\circ}$ C/min）維持2分鐘，之後進行數據分析。



圖 7 VOCs 採樣裝置圖

(4) 環境中氣、粒狀ROS：以區域採樣進行

A、採樣地點的選擇：噴漆區、自動銲接區、手工電銲區、銲接模具區、彎壓區、沖床區。

B、採樣介質：粒狀ROS採集使用英國職業醫學研究所 (Institute of Occupational Medicine, IOM)所規範之可吸入性氣膠採樣器 (簡稱 IOM)，內置25mm聚碳酸酯濾紙進行採樣，採樣完畢後靜置於乾淨無靜電樣品盒，一小時內帶回實驗室進行稱重及分析。

C、氣狀 ROS 採集使用衝擊瓶 (Impinger)內置 10mL 衝擊液進行採樣，後端接一緩衝瓶防止緩衝液被採樣 pump 吸入，造成採樣 pump 損壞。

D、採樣流速：粒狀以 2.0 L/min 及氣狀 0.5 L/min 各別校正次數為 3 次，並取其平均值。

E、採樣時間：粒狀與氣狀ROS採樣時間為30 min。

F、樣本分析方法：粒狀ROS樣本於採樣完畢後，於一小時內帶回實驗室進行分析，先使用六位數天平進行濾紙稱重，將稱重完濾紙放入15mL離心管並避光。DCFH<sub>2</sub>是一種無螢光探子，DCFH<sub>2</sub>-DA在鹼性環境下

形成游離態之DCFH<sub>2</sub>，經輔酶hydrogen-peroxide oxidoreductase (HRP) (Sigma Chemical)催化可與ROS反應後形成帶二個電子之螢光化合物DCF，本實驗使用DCF來測量粉塵產生之微粒相ROS。本實驗之DCFH<sub>2</sub>-HRP試劑配製流程參考Hung and Wang [74]使用之方法。將DCFH<sub>2</sub>-DA溶解於無水乙醇（99%以上）製成1 mM之儲備溶液並保存於冰上。取0.5 mL儲備溶液加入2 mL 0.01N之NaOH中，使DCFH<sub>2</sub>-DA在鹼性環境下形成不穩定之DCFH<sub>2</sub>。避光並且置於室溫下反應30分鐘後，以10 mL之磷酸鹽緩衝溶液中和(pH=7.2)，避光並且放置於冰上保存。在樣本分析前加入HRP使其在試劑中濃度為2.2 units/mL，HRP主要為催化DCFH<sub>2</sub>與粉塵上ROS之反應。DCFH<sub>2</sub>-HRP為本實驗樣本萃取粉塵上ROS分析之試劑溶液，將DCFH<sub>2</sub>-HRP加入每個樣品與檢量線各3 mL，置入超音波震盪儀震盪10分鐘後，於37°C溫度下培養15分鐘，最後使用螢光分光光譜儀進行分析。

G、氣狀ROS於採樣完畢後直接震盪10分鐘後，於37°C溫度下培養15分鐘，使用螢光分光光譜儀進行分析。



粒狀ROS組裝圖



氣狀ROS衝擊瓶組裝圖

圖 8 ROS 採樣裝置圖



(5) 環境Marple 之採樣與重金屬分析：以區域採樣進行

A、採樣地點的選擇：自動銲接、手動銲接、粉體室、模具區、彎壓區、沖床區

B、採樣介質：聚脂纖維樹脂 (Mixed Cellulose Ester, MCE Filters, SKC)，直徑 34mm，濾紙孔徑為 0.8 μm

C、採樣流速：2.0 L/min

D、採樣時間：8 hrs

E、樣本分析方法：

濾紙前處理使用密閉式微波消化器 (Mars, microwave digestion system, CEM)，將濾紙放入鐵氟龍消化瓶內並分別加入試劑，使用試劑為 8mL 65% $\text{HNO}_3$  與 2ml 30% $\text{H}_2\text{O}_2$ ，以 170°C 將濾紙進行微波消化，完成後將樣品倒入鐵氟龍燒杯並置於加熱板上加熱進行趕酸動作，此動作為純化樣品，最後使用濾紙過濾樣品，以 0.2% $\text{HNO}_3$  定量至 25mL 後，倒入 50mL 離心管中（先以 10% $\text{HNO}_3$  浸泡十二小時以上），並存放於 4°C 冰箱內直到上機分析。

將消化完成樣品使用感應耦合電漿質譜儀 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS) 分析。使用多元素混合標準品 (Multi-Element Calibration Standard 3, PerkinElmer)，測量空氣中元素之濃度。表5為作業環境中空氣重金屬偵測極限與回收率。

表 5 空氣重金屬偵測極限與回收率

| Element | Isotope | MDL(μg/L) | Recovery rate(%) |
|---------|---------|-----------|------------------|
| Co      | 58.933  | 0.366     | 104.5            |
| Mn      | 54.938  | 0.843     | 94.9             |
| Ni      | 59.933  | 0.199     | 109.0            |

|    |        |       |       |
|----|--------|-------|-------|
| Al | 26.982 | 0.780 | 93.4  |
| Cr | 51.941 | 0.497 | 100.2 |
| Cu | 62.929 | 0.319 | 100.6 |
| Mg | 23.985 | 0.621 | 99.8  |
| Zn | 65.926 | 0.537 | 98.9  |
| Fe | 55.934 | 0.862 | 88.0  |
| Pb | 207.97 | 0.518 | 101.0 |

## 2. 空氣個人採樣：IOM、旋風分離器及分析方法

### (1) IOM可吸入性粉塵及重金屬分析

- A.勞工之工作區域：自動銲接、手動銲接、粉體室、模具區、彎壓區、沖床區
- B.採樣介質：聚脂纖維樹脂 (Mixed Cellulose Ester, MCE Filters, SKC)，直徑 25mm，濾紙孔徑為 0.8  $\mu\text{m}$
- C.採樣流速：2.0 L/min
- D.採樣時間：8 hrs/次
- E.樣本分析方法：同Marple採樣分析方法

### (2) 旋風分離器總粉塵及重金屬分析

- A.勞工的選擇：自動銲接、手動銲接、粉體室、模具區、彎壓區、沖床區
- B.採樣介質：聚脂纖維樹脂 (Mixed Cellulose Ester, MCE Filters, SKC)，直徑 37mm，濾紙孔徑為 0.8  $\mu\text{m}$
- C.採樣流速：1.7 L/min
- D.採樣時間：8 hrs/次
- E.樣本分析方法：同 Marple 採樣分析方法

## 第二節 生物偵測

研究對象選取：選取對象為健身器材工廠之暴露組勞工，採樣時間選擇星期五，勞工上班前進行採樣，包括手動銲接區、自動銲接區、噴漆區、彎壓區、模具區、沖床區之勞工，對照組勞工則無直接粉塵及金屬暴露，包括行政、採購、財務、繪圖與文書部門之勞工。

### 1. 血液重金屬採樣與分析

(1)血液採集：以靜脈抽血針先插入手肘內側之靜脈中，再以綠頭(heparin)真空採血管抽取 4mL 靜脈血液，為了避免血液樣品凝固，需均勻搖晃使血液與管內抗凝血劑充份混合，並保存於-20°C 冰箱內直到分析。

(2)分析方法：配製 0.1% HNO<sub>3</sub> (Tamapure-AA-100, Tama Chemicals)與 0.02% Triton X-100 (GR for analysis, Merck)以 1：1 比例混合成稀釋液，取 250μL 血液樣品以稀釋液定量到 25mL，倒入聚乙烯瓶內等待上機分析。採用感應耦合電漿質譜儀分析血中金屬濃度，分析血液樣品前，需使用濃度 1ppb (μg/L)之混合金屬液，對儀器狀態進行調整已達最佳感度，包括霧化器最佳流速調整、氬氣供應之流速、電壓及電漿功率之調整、不同質譜位置（低、中、高質譜位置）之感度測試，儀器每日性能測試需達到所訂定之標準，方可進行樣品測量。使用多元素混合標準品測量空氣中元素之濃度，包含 Cr、Fe、Co、Cu、Zn、Mn、Ag、Cd、Mg、As 等金屬。圖 9 為勞工血液重金屬檢量線與表 6 為血液重金屬偵測極限及回收率。

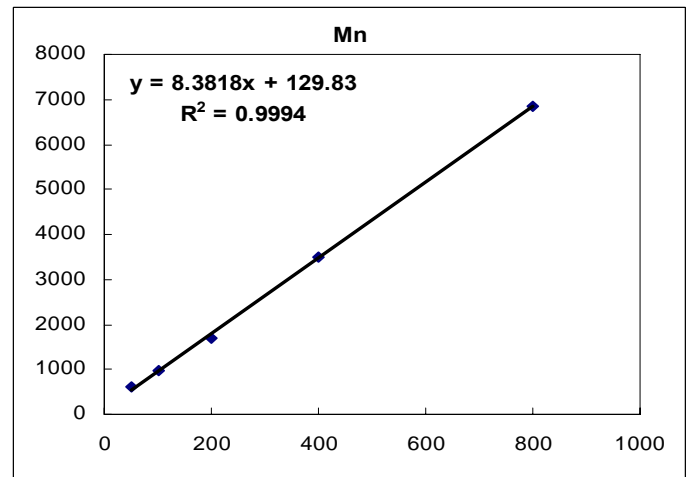
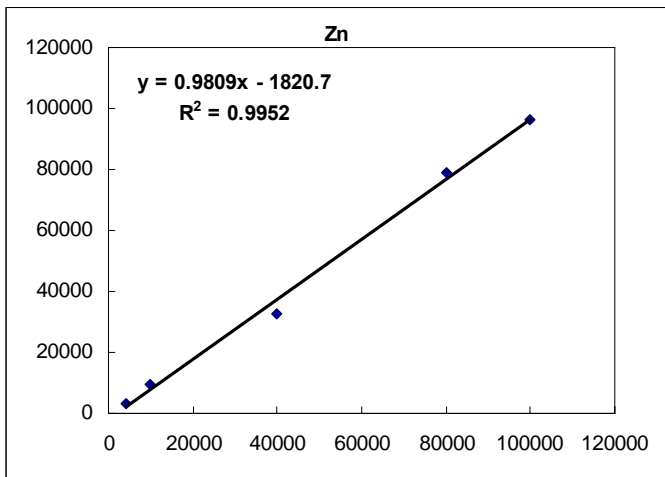
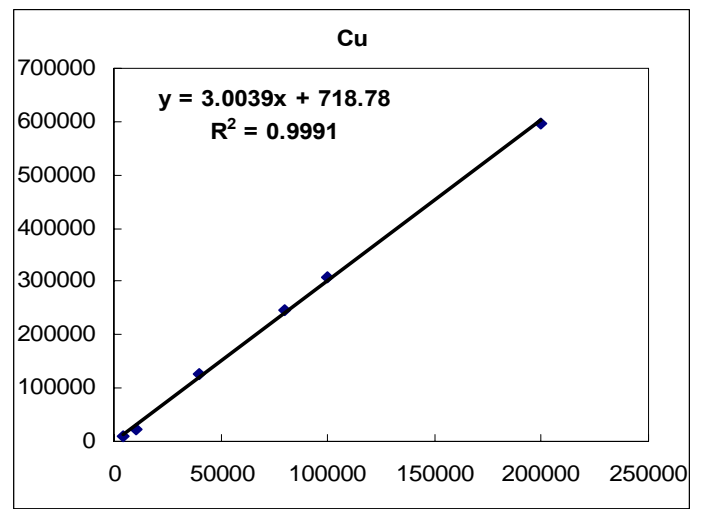
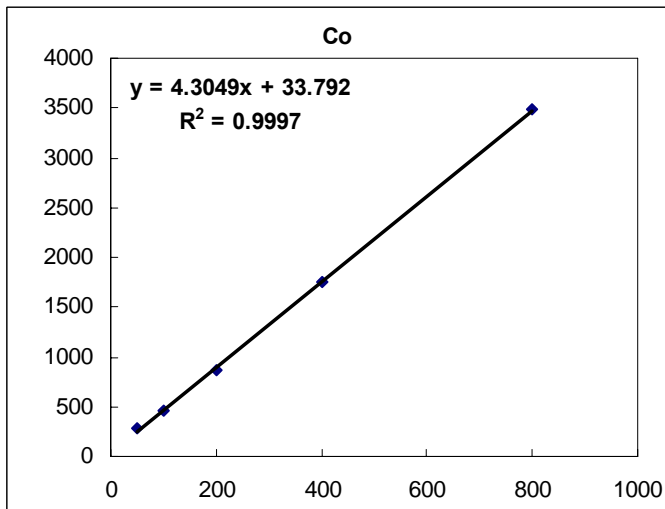
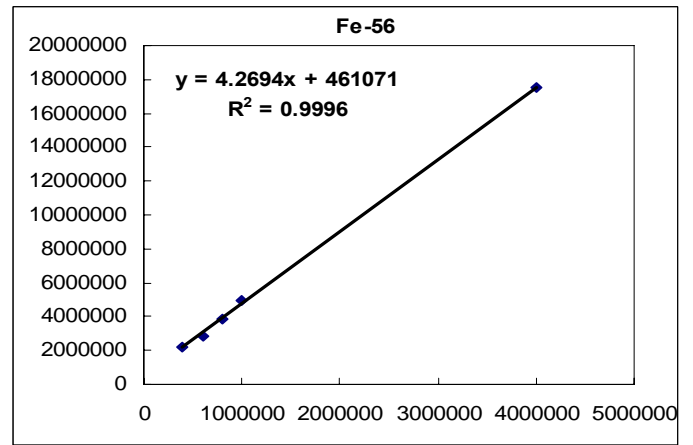
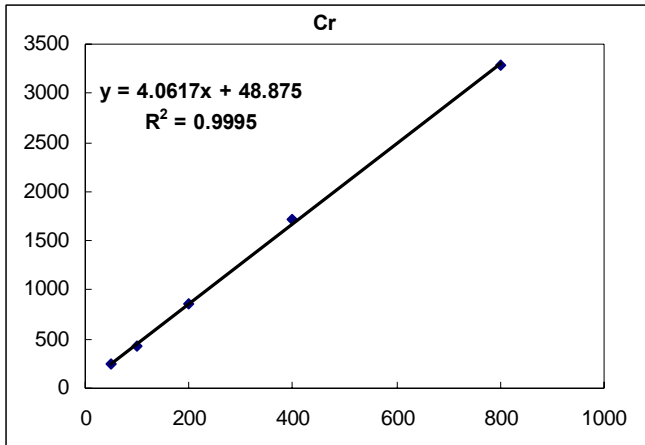


圖 9 血液各重金屬檢量線

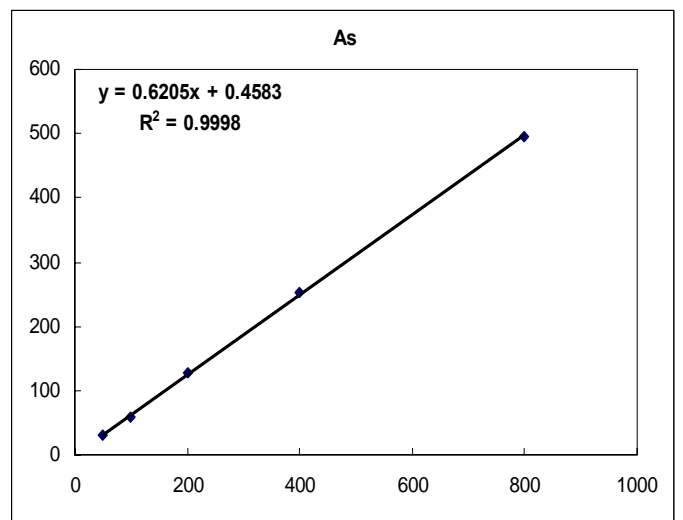
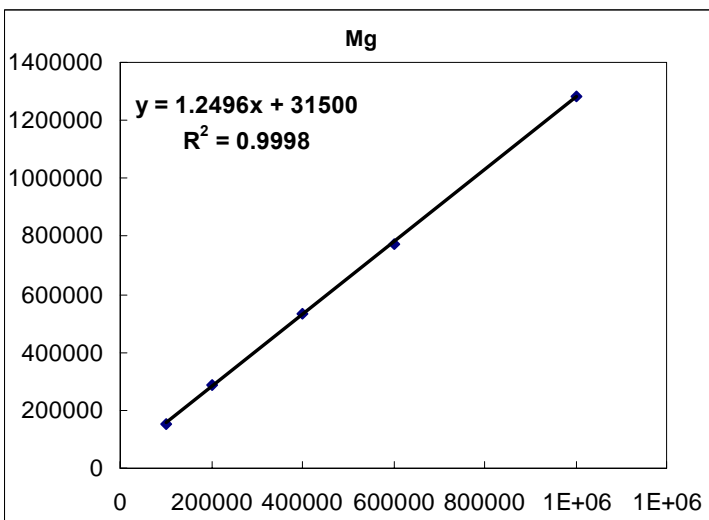
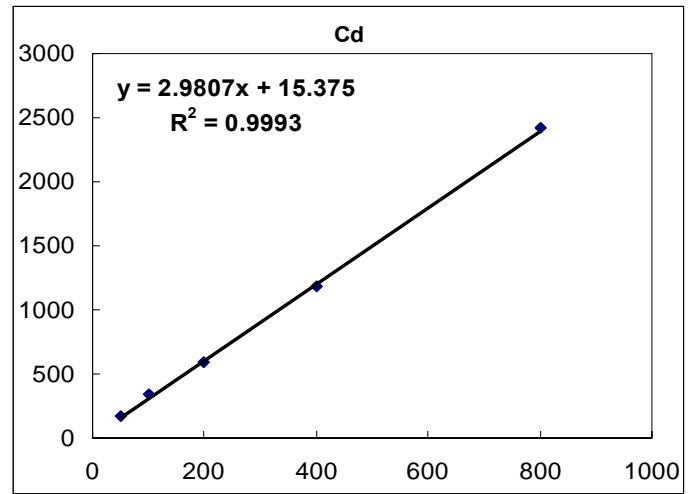
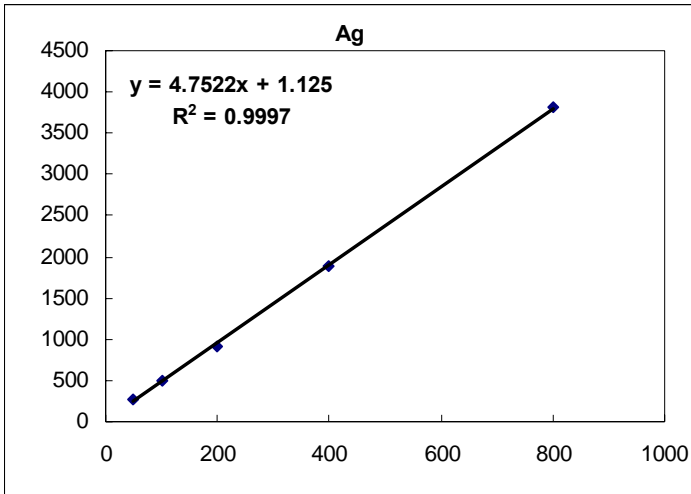


圖 9 血液各重金屬檢量線 (續)

表 6 勞工血液重金屬偵測極限與回收率

| Element | Isotope | MDL( $\mu\text{g/L}$ ) | Recovery rate(%) |
|---------|---------|------------------------|------------------|
| Ag      | 106.905 | 0.001                  | 105.5%           |
| Cd      | 110.904 | 0.001                  | 113.2%           |
| Co      | 58.933  | 0.001                  | 100.8%           |
| Mn      | 54.938  | 0.003                  | 96.1%            |
| Cr      | 51.941  | 0.03                   | 90.3%            |

|    |        |       |        |
|----|--------|-------|--------|
| Cu | 62.929 | 1     | 91.6%  |
| Mg | 23.985 | 1     | 92.1%  |
| Zn | 65.926 | 0.03  | 101.5% |
| Fe | 55.934 | 1     | 94.9%  |
| As | 74.921 | 0.004 | 85.1%  |

## 2. 氧化性傷害：MDA、Comet assay、telomere length、8-OH-dG

### (1) MDA

A. 血液採集：本研究之血液採集部分請勞工於前一晚半夜 12:00 過後禁止進食，以靜脈抽血針先插入手肘內側之靜脈中，再以紫頭之真空抽血管（內加入 EDTA）2500 轉之轉速進行離心後，取其上層血清部分 0.5 mL 至 Eppendorf 試管中（兩管）以作為 MDA 分析之用。

B. 分析方法：分析方法為參考Block與Lykkesfeldt等人之方法[18-19]。

分析步驟如下：

- a、取250  $\mu$ L血液樣品與檢量線標準溶液（檢量線濃度分別為0.075, 0.1, 0.25, 0.4, 0.5, 0.75, 1  $\mu$ M）。
- b、加入25  $\mu$ L 0.2% BHT (butylated hydroxytoluene) 與12.5  $\mu$ L 10N NaOH。
- c、於60°C下，水浴30分鐘。
- d、之後加入1.5 mL 之1% KI (potassium iodide)溶於7.2% TCA (trichloroacetic acid)，離心10分鐘。
- e、取上清液1 mL 至包覆鋁箔紙之玻璃試管中。
- f、加入0.5 mL 之0.6% TBA (thiobarbituric acid)，此時與MDA 結合形成 TBA reactive substances (TBARS)。
- g、於95°C下反應30分鐘。

h、冷卻5分鐘後加入1.5 mL丁醇(1-butanol)，將TBARS萃取出來。以螢光分光光譜儀測定之(EX：515 nm，EM：555 nm)。

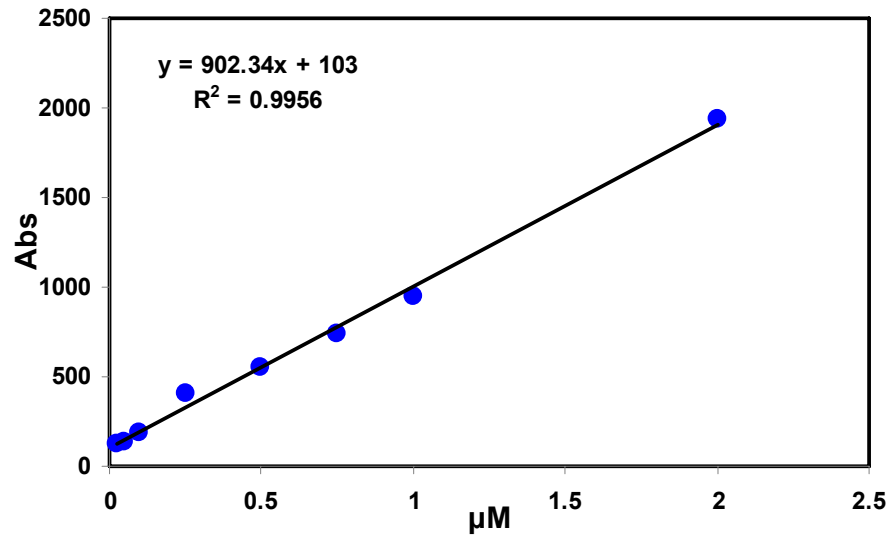


圖 10 MDA 檢量線

## (2) Comet assay

A、血液採集：本研究之血液採集部分請勞工於前一晚半夜 12:00 過後禁止進食，以靜脈抽血針先插入手肘內側之靜脈中，再以紫頭之真空抽血管（內加入 EDTA），均勻混合之後，取出 0.2ml 至微量離心管中（兩管），然後以 1：1 加入抗凍劑作為 Comet 分析之用。

B、分析方法：分析方法參考[75-76]之方法。

分析步驟如下：

- a、將加有抗凍劑之血液樣本由-80°C 冰箱中出於室溫下解凍。
- b、1%NMA 與 1%LMA 於微波爐加熱後，將載玻片、NMA 與 LMA 置於加熱板上保溫，防止凝固。
- c、滴 140µl 之 NMA 於玻片上，蓋上蓋玻片，置於碎冰上固化，此為第一層膠。
- d、50µl 全血(含紅血球)加入 250µl 之 LMA 混合後，取 130µl 於玻片上，蓋上蓋玻片，放置碎冰上固化，為第二層膠。



- e、滴 140 $\mu$ lNMA 於玻片上，蓋上蓋玻片於碎冰上固化，此為第三層膠。
- f、將事先冰於 4 $^{\circ}$ C 冰箱中裝有 Lysis buffer 之玻片浸泡槽從冰箱拿出。
- g、固化後，蓋玻片拿起，玻片背對背插入槽中放入裝有 Lysis buffer 之玻片浸泡槽(Lysis buffer 作用為將細胞膜破裂)。
- h、於 4 $^{\circ}$ C 下放置 1 小時，避光。
- i、放入電泳槽中以電泳液浸泡 15 分鐘(電泳液呈鹼性，可使 DNA unwinding)。
- j、電泳 20 分鐘，以增加(降低 V) 或減少(增加 V) 電泳液來調整到所需條件 25V，300mA (DNA 帶負電，故尾巴會往正極跑)。
- k、Tris buffer 倒入玻片浸泡槽中，室溫下，浸泡 15 分鐘。
- l、以去離子水洗 4-5 次，螢光顯微鏡觀察。
- m、以螢光顯微鏡觀察前，載玻片滴上 EtBr (Ethidium Beomide, 10 $\mu$ g/ml) 呈色劑。
- n、以電腦軟體 (COMET ASSAY IV)分析其拖尾傷害程度，並計算出之 tail moment (TMOM)值。

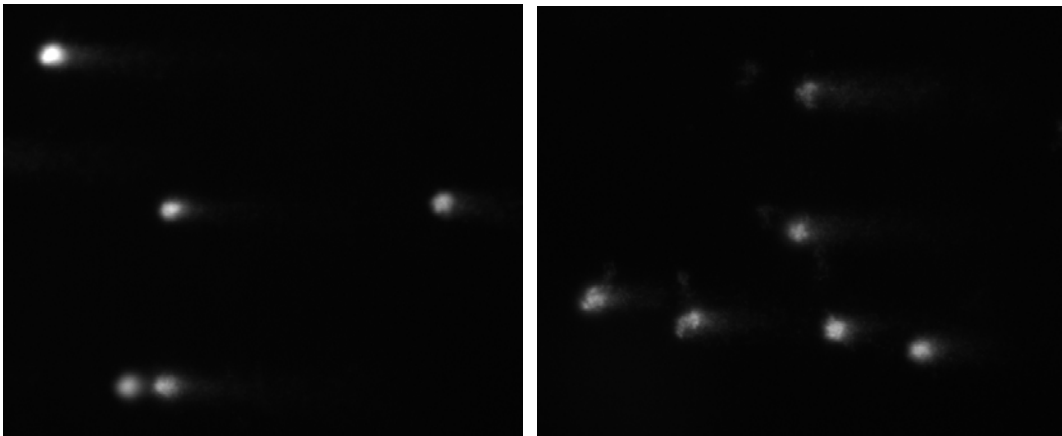


圖 11 彗星圖

### (3) 染色體端粒長度 (telomere length)

以血液中所抽取之DNA，利用Southern blot偵測到放射性訊號的位置與訊號大小。Southern blot先利用膠體電泳分離DNA樣本中各種不同大小的分子。不同大小的分子在膠體電泳之後，會分離而散佈在膠體上不同的位置，本研究採用DNA萃取Kit (DNA extraction kit, Cat.:GC2002, Lot: JoA10-JAH10, VIOGENE Inc.) 與southern kit(Roche Diagnostics GmbH, Mat. No: 12209136001)進行分析。

A、血液採集：本研究之血液採集部分請勞工於前一晚禁食，以靜脈抽血針先插入手肘內側之靜脈中，再以紫頭之真空抽血管（內加入 EDTA）抽取 4mL 靜脈血液，均勻混合之後，取出 0.2ml 至微量離心管中（兩管），作為染色體末端長度分析之用。

B、分析方法：

- a、用 200-500  $\mu$ l 血液加入 8 倍已稀釋過之 RBC lysis Solution，均勻混合。
- b、於室溫下培養 5 分鐘以上，直到細胞完全分解後以 3500 g 離心 5 分鐘，去除上清液。
- c、加入 200  $\mu$ l PBS Buffer 或 TE Buffer 將沉澱物再懸浮，加入 200  $\mu$ l Binding / Extraction Solution 混合。
- d、放入 70°C 反應 10 分鐘混合後用 12000-14000 rpm 離心 5 分鐘，去除沉澱物後收集上清液。
- e、加入 200  $\mu$ l 酒精，混合後放入 Spin Column + Collection tube，12000-14000 rpm 離心 1 分鐘。移除液體，加入 300  $\mu$ l Binding / Extraction Solution，以 12000-14000 rpm 離心 1 分鐘。
- f、移除液體，加入 Wash Solution 700  $\mu$ l 清洗二次，每次以 12000-14000 rpm 離心 1 分鐘。
- g、丟棄 Collection tube，將新的 Spin column 裝入 1.5 ml eppendorf 中，加入 100-200  $\mu$ l 已預熱的 Elution Solution 或去離子水，靜放約 2 分鐘

後離心 1 分鐘，將 DNA 萃取出來，存放於-20°C 中。

- h、加入 15 $\mu$ l kit 中所提供之 DNA 及 2 $\mu$ l Inuclease-free water 進行稀釋，於樣品分析時取 1-2  $\mu$ g 基因組 DNA，並用 Inuclease-free water 定量至總體積 17 $\mu$ l。
- i、每個基因組 DNA 樣本中，添加 2 $\mu$ l digestion buffer 與 1 $\mu$ l Hinf I/Rsa I 酶的混合物，在 37°C 中混合 2 小時。
- j、混合 4 $\mu$ l DIG molecular weight marker，12 $\mu$ l nuclease-free water 和 4 $\mu$ l 的 5 $\times$  loading buffer。
- k、將 1-2  $\mu$ g 之 DNA 加進電泳凝膠內，用相等的 DIG molecular weight marker 進行電泳比對，凝膠電泳在 5 V / cm 的 1 $\times$  TAE buffer，直到溴酚藍色染料分開約 10cm。
- l、電泳凝膠浸在 15-25°C 的 HCl 溶液中震盪 5-10 分鐘，直到溴酚藍染色變成黃色，並用去離水沖洗兩遍。
- m、以 15-25°C 的 denaturation 溶液覆蓋電泳凝膠約 15 分鐘，並用去離水沖洗兩遍，再以 15-25°C 的中和溶液覆蓋電泳凝膠 15 分鐘。
- n、用 15 -25°C，20 $\times$  SSC 的 transfer buffer 壓印消化 DNA 凝膠，用 UV-crosslinking (120 mJ)或放置於 120°C 之烘箱 20 分鐘來修復 DNA 的壓印痕跡，最後以 20 $\times$  SSC 清洗 2 次。
- o、將 bolt 浸入 18ml 的 DIG Easy Hyb (42°C)培養 30-60 分鐘後，加入 1 $\mu$ l 的 Telomere probe 與 5ml DIG Easy Hyb 混合，再用 42°C 震盪 3 小時，倒掉混合液並用 wash buffer I 和預熱的 wash buffer II 各清洗兩次。
- p、用 100ml 的 1  $\times$  washing buffer 攪拌約 5 分鐘後再用 100ml 的 1 $\times$  blocking solution 攪拌 30 分鐘。
- q、以 15-25°C，50-100ml Anti-DIG-AP working solution 攪拌 30 分鐘後，以 1x washing buffer 清洗兩次。以 100ml 的 1  $\times$  detection buffer 攪拌 2-5 分鐘，將 detection buffer 丟棄和去除膜上的多餘液體，DNA 的一

面向上，不要讓膜乾燥。

- r、用 substrate solution 將膜潤濕，DNA 的一面朝上，在 15-25°C 培養 5 分鐘，排除多餘的 substrate solution 及密封混合袋，在 15-25°C 進行 X-ray f 暴露 20 分鐘後將結果進行數據分析。

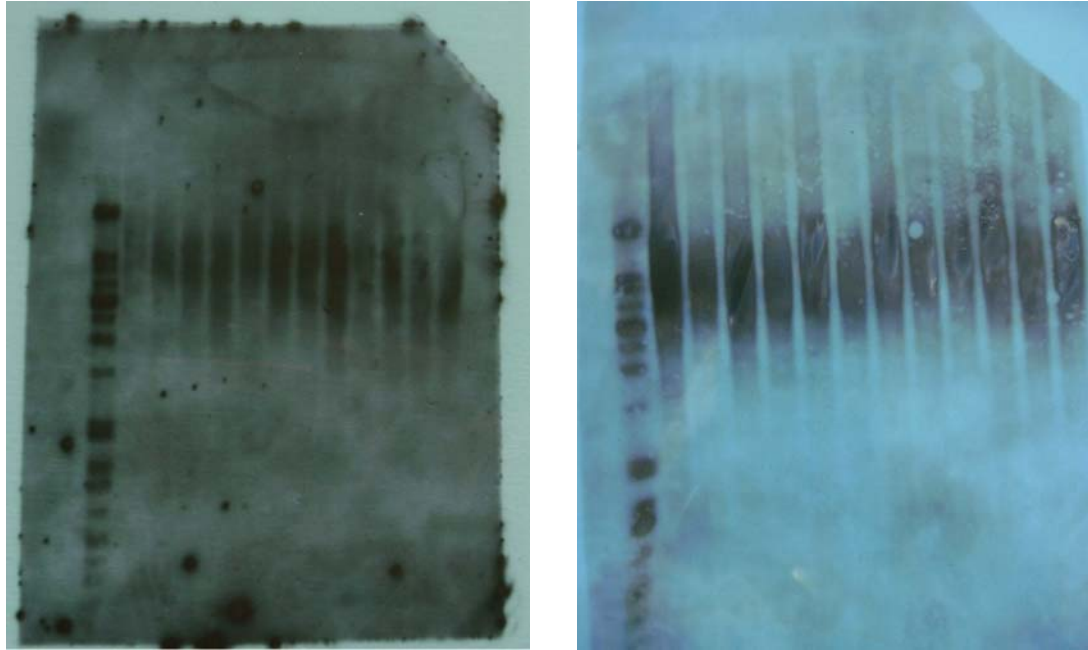


圖 12 染色體端粒長度圖

### 3. 肺部發炎反應：TNF- $\alpha$

- (1) 血液採集：本研究之血液採集部分請勞工於前一晚半夜 12:00 禁止進食，以靜脈抽血針先插入手肘內側之靜脈中，再以紫頭之真空抽血管（內加入 EDTA )2500 轉之轉速進行離心後，取其上層血清部分 0.2 mL 至 Eppendorf 試管中（兩管）以作為分析之用。

- (2) 分析方法：使用 Quantikine\_HS Human TNF-\_Immunoassay kit (Catalog Number HSTA00D)

A、加入 50  $\mu$ l Assay Diluents RD1F。

B、加入 200  $\mu$ l 檢量線及血液，於室溫下培養 3 小時。

C、加入 400  $\mu$ l Wash Buffer，移除 well 內液體，將 plate 倒轉拍打 5 次，重複以上共需清洗 6 次，最後一次將 plate 倒轉拍打 10 次，需完全去

除 Well 中之 Wash Buffer。

D、加入 200  $\mu$ l TNF- $\alpha$  HS Conjugation，於室溫下培養 2 小時。

E、加入 400  $\mu$ l Wash Buffer，移除 well 內液體，將 plate 倒轉拍打 5 次，重復以上共需清洗 6 次，最後一次將 plate 倒轉拍打 10 次，需完全去除 Well 中之 Wash Buffer。

F、加入 50  $\mu$ l Substrate Solution，於室溫下培養 1 小時。

G、加入 50  $\mu$ l Amplifier Solution，於室溫下培養 30 分鐘。

H、加入 50  $\mu$ l Stop Solution。

I、30 分鐘內放入 490 nm 及 650 nm 分光光度計中測量吸光值。

#### 4. 心血管疾病前驅指標：hs-CRP

(1)血液採集：本研究之血液採集部分請勞工於前一晚半夜 12:00 禁止進食，以靜脈抽血針先插入手肘內側之靜脈中，再以紫頭之真空抽血管（內加入 EDTA）2500 轉之轉速進行離心後，取其上層血清部分 0.5 mL 至 Eppendorf 試管中（兩管）以作為 MDA 分析之用。

(2)分析方法：使用 Assay Max Human C-Reactive Protein (CRP) ELISA Kit (Catalog No.EC1001-1)

A、加入 50  $\mu$ l 檢量線及血液，於室溫下培養 2 小時

B、用 200  $\mu$ l Wash Buffer Concentrate 清洗五次，將 plate 內溶液倒出。

C、加入 50  $\mu$ l Biotinylated CRP Antibody，培養 30 分鐘。

D、用 200  $\mu$ l Wash Buffer Concentrate 清洗五次。

E、加入 50  $\mu$ l Streptavidin-Peroxidase Conjugate，培養 30 分鐘。

F、用 200  $\mu$ l Wash Buffer Concentrate 清洗五次。

G、加入 50  $\mu$ l Chromogen Substrate，培養 10 分鐘。

H、加入 50  $\mu$ l Stop Solution，顏色由藍變黃時，立刻放入 450 nm 分光光度計中測量吸光值。

# 第四章結果與討論

## 第一節 環境採樣結果

### 1. 健身器材作業場所中臭氧與 VOCs 量測結果

#### (1) 臭氧量測結果

表 7 A 廠不同工作區域之作業

| 人員分佈  |      |
|-------|------|
| 區域    | 工作人數 |
| 本廠戶外  | 5    |
| 本廠噴漆區 | 4    |
| 本廠防塗區 | 8    |
| 二廠入口  | 6    |
| 自動銲接區 | 16   |
| 手工電銲區 | 10   |
| 攻牙區   | 4    |
| 彎壓區   | 4    |
| 沖床區   | 12   |
| 銲接模具區 | 2    |
| 行政辦公室 | 4    |

表 8 B 廠不同工作區域之作業

| 人員分佈  |      |
|-------|------|
| 區域    | 工作人數 |
| 戶外    | 4    |
| 研發區   | 3    |
| 切管區   | 2    |
| 倉庫區   | 1    |
| 沖管區   | 2    |
| 彎管區   | 2    |
| 手工銲接區 | 9    |
| 烤漆區   | 9    |
| 組立區   | 8    |
| 行政辦公室 | 6    |

表 7 為臭氧測定結果，A 廠作業人員大部份分佈在自動銲接區(共 16 人)、沖床區(共 12 人)、手工電銲區(共 10 人)、防塗區(共 8 人)等四大區域，我們可由圖 13 可看出各區域之臭氧濃度，在自動銲接區部分，測得之平均臭氧濃度 (358 ppb)明顯高於其他區域之濃度，根據 OSHA 之建議，當臭氧濃度超過 300 ppb，勞工長期暴露於處於該環境下，會產生不舒服，噁心之反應產生。

劉氏等人指出在勞工進行銲接作業時，銲接過程中會產生大量臭氧，雖然該區域有考慮通風排氣，然該區域通風換氣之設置位置不佳，無法藉由通風換氣將臭氧導出，導致臭氧滯留，因此有此結果產生[53]；其他區域雖然臭氧平均濃度未超過 300 ppb，除了防塗區、二廠入口、彎

壓區、行政辦公室，其平均濃度 (25、50、68、0 ppm) 未超過 OSHA 建議標準值 100ppb 外，其他皆超過建議標準，針對此部分也應特別注意。

表 8 所示，B 廠作業勞工大部份分佈在手工銲接區 (共 9 人)、烤漆區 (共 9 人)、組立區 (共 8 人)等三大區域，由圖 13 可看出各區域之臭氧濃度，在戶外、倉庫區、組立區之平均臭氧濃度 (459 ppb、298 ppb、437 ppb)明顯高於其他區域，另 B 廠之組立區與研發區於中午休息時間之臭氧濃度高於上午與下午時間，明顯與該日南投測站之臭氧平均值不符，推估其可能原因為週遭環境為工業區與加油站環境，是否有其他影響因子則仍持續探討。

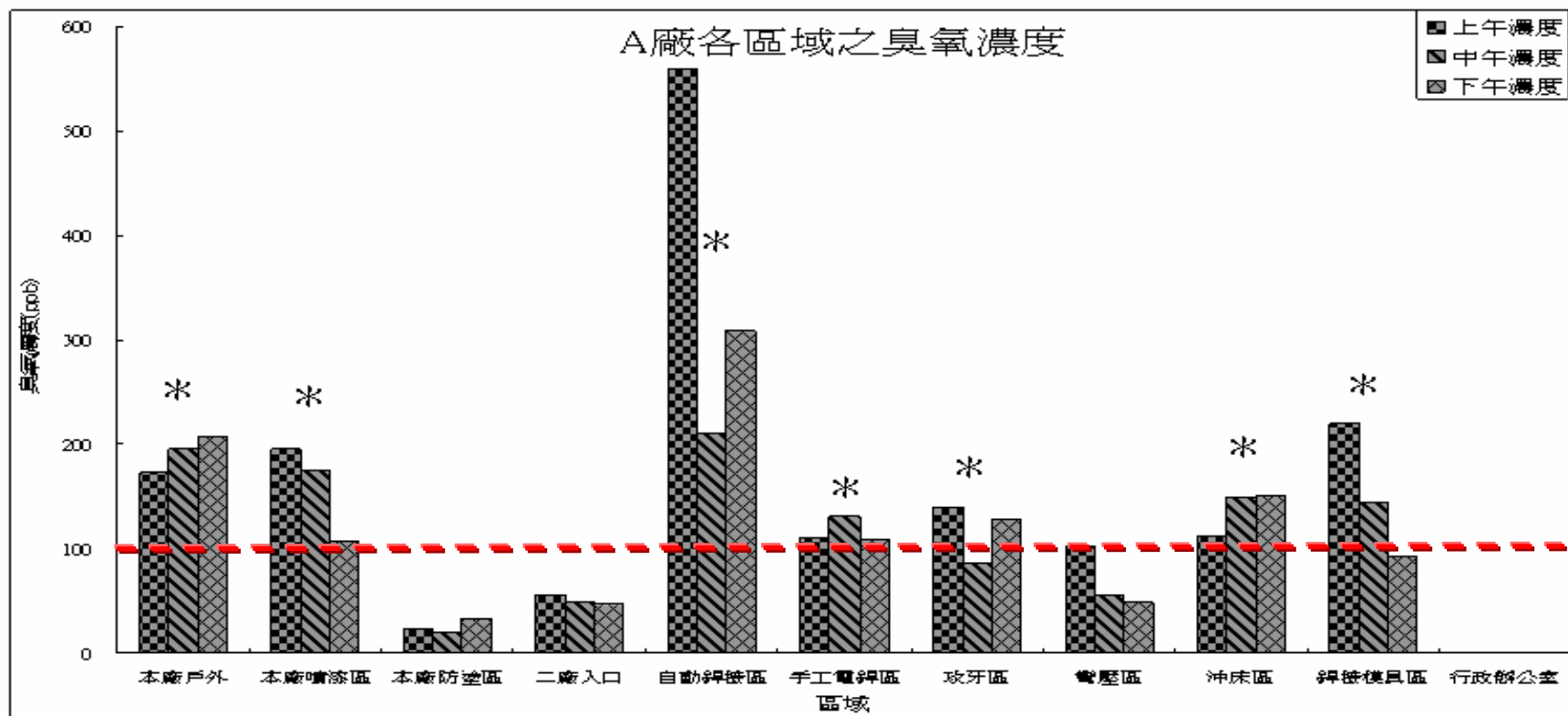


圖 13 A 廠各區之臭氧濃度分佈

備註：臭氧單位為 ppb。

根據 OSHA 對於臭氧之規定，其建議之標準值為 100ppb(超過 300ppb 人體會產生不舒服的狀況)。

\*表示該區域臭氧濃度超過建議標準值。



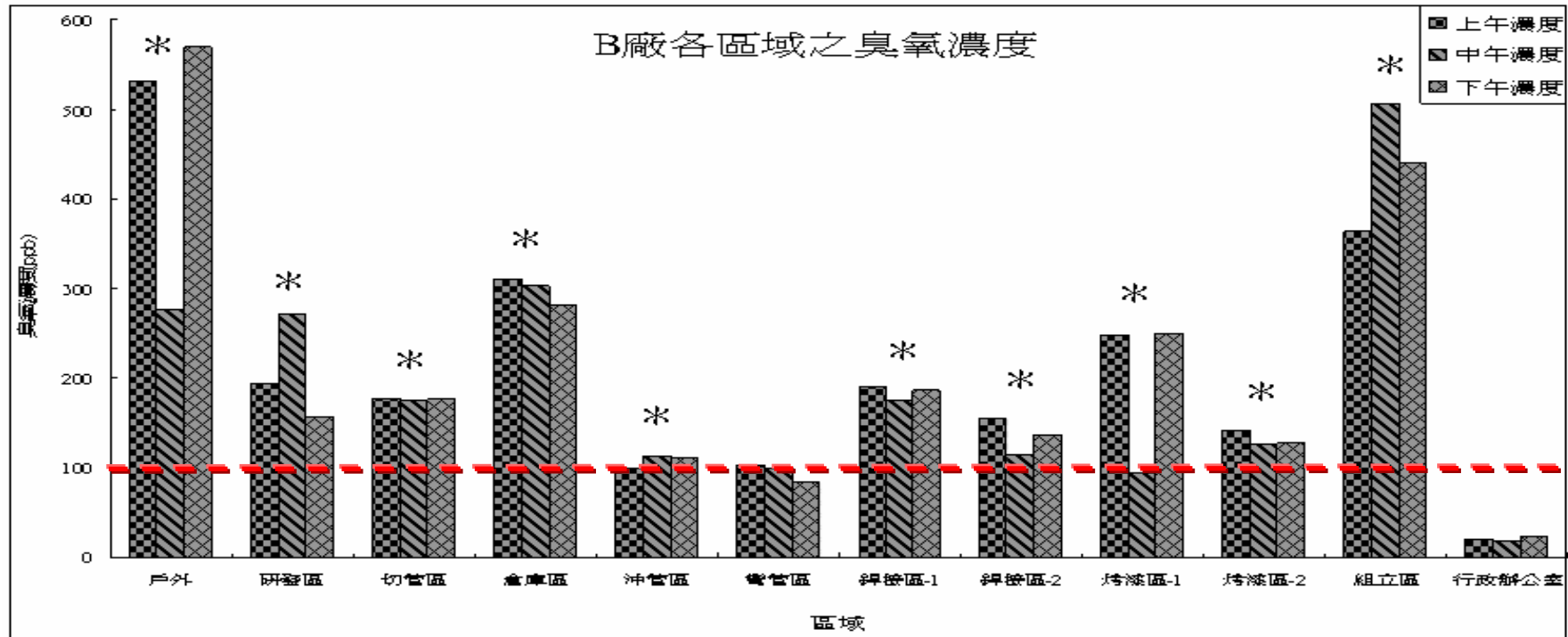


圖 14 廠各區之臭氧濃度分佈

備註：

臭氧單位為 ppb。

根據 OSHA 對於臭氧之規定，其建議之標準值為 100ppb (超過 300ppb 人體會產生不舒服的狀況)。

\*表示該區域臭氧濃度超過建議標準值。

## (2) VOCs 量測結果

圖 15 所示為 VOCs 測量之結果，A 廠之本廠噴漆區、防塗區、自動銲接-2 區之濃度皆超過環保署室內空氣品質建議值 3 ppm 以上；在噴漆區、防塗區之部分，其濃度 (3.92、6.69、3.25 ppm) 超過建議值之原因可能由於該區域使用有機溶劑時，由於室內通風換氣不佳導致 VOCs 滯留，使得 VOCs 無法藉由良好之通風換氣稀釋該區域濃度。此外自動銲接區-2 之 VOCs 之濃度超過建議值之原因可能是因鄰近某工廠之通風排氣孔直接排吹至該廠自動銲接區，才導致該區之 VOCs 濃度較高於其他區域。

針對這三個區域除了建議工廠改善作業環境之通風換氣外，對於該區域之作業勞工也應提供正確之呼吸防護具供勞工使用，以防止勞工因長期暴露而導致發生職業危害；針對防塗區之部分，該區濃度已明顯超出建議值，因此特別針對此區之勞工，除了上述之改善建議外，應採取特別防護如健康追蹤等措施，以保護該作業區域勞工之健康。

圖 16 為 B 廠之 VOCs 之測量結果，所有工作區域皆超過室內空氣品質建議值 3 ppm 以上，烤漆區之 VOCs 平均濃度 (8.3 ppm) 明顯高於其他區域之平均濃度 (平均為 4.7 ppm)，且 B 廠所測得之 VOCs 濃度遠高於 A 廠，其可能原因是由於該廠處於工業區中，其他公司所排出之廢氣可能間接影響環境背景，另兩廠所使用之漆的種類與背景含量亦有所不同，針對此部份建議 B 廠作業之勞工應佩帶正確之呼吸防護具，以降低 VOCs 暴露之情形。此外，於烤漆區 TVOCs 濃度明顯高於其他區域，除對於該區之作業勞工進行特別防護外，也應針對該廠所使用之漆種類與內容進行檢討，如可針對其用漆之 MSDS 進行檢討，選擇對勞工危害較低之用漆以保護勞工之健康。

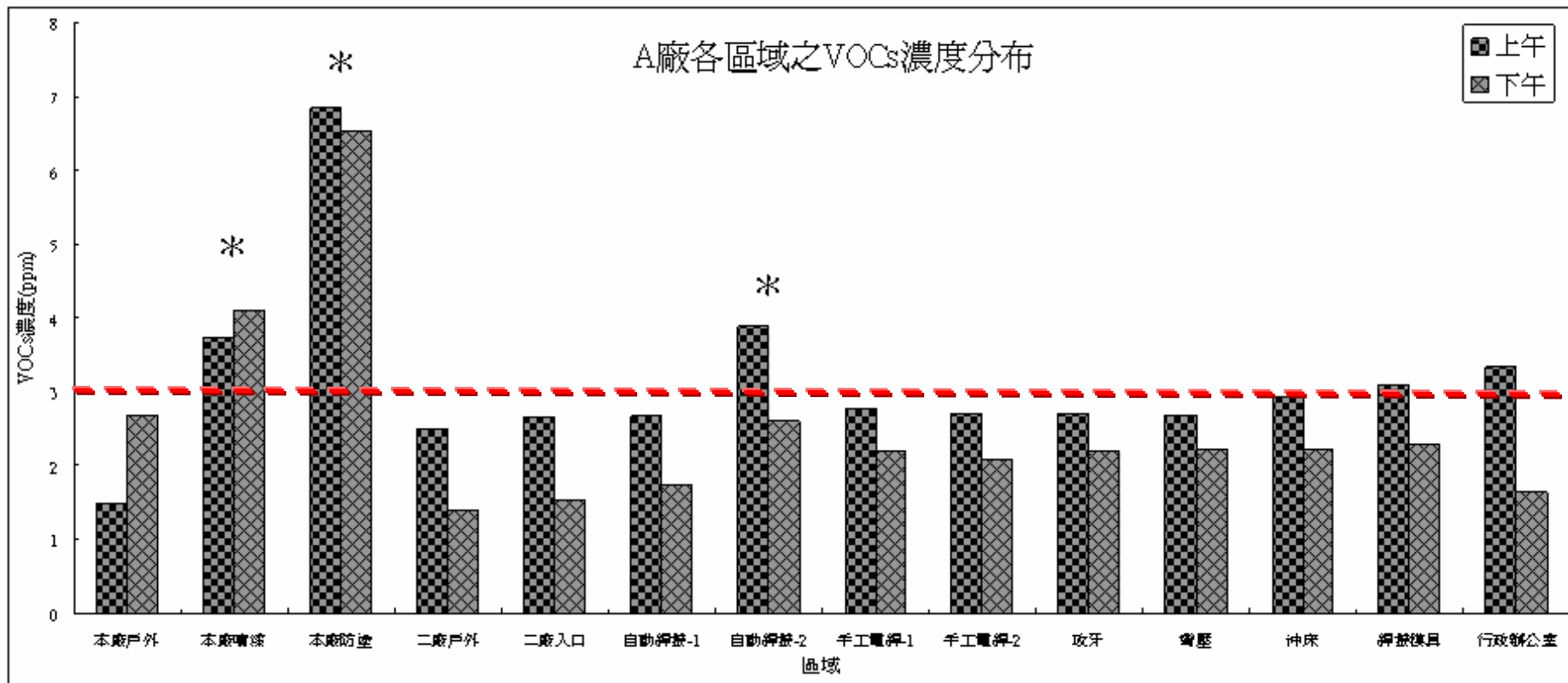


圖 15 A 廠各區之 VOCs 濃度分佈

備註：

VOCs 單位為 ppm。

根據行政院環境保護署，室內空氣品質建議值 VOCs 濃度為 3 ppm。

\* 表示該區域 VOCs 平均濃度超過建議值。

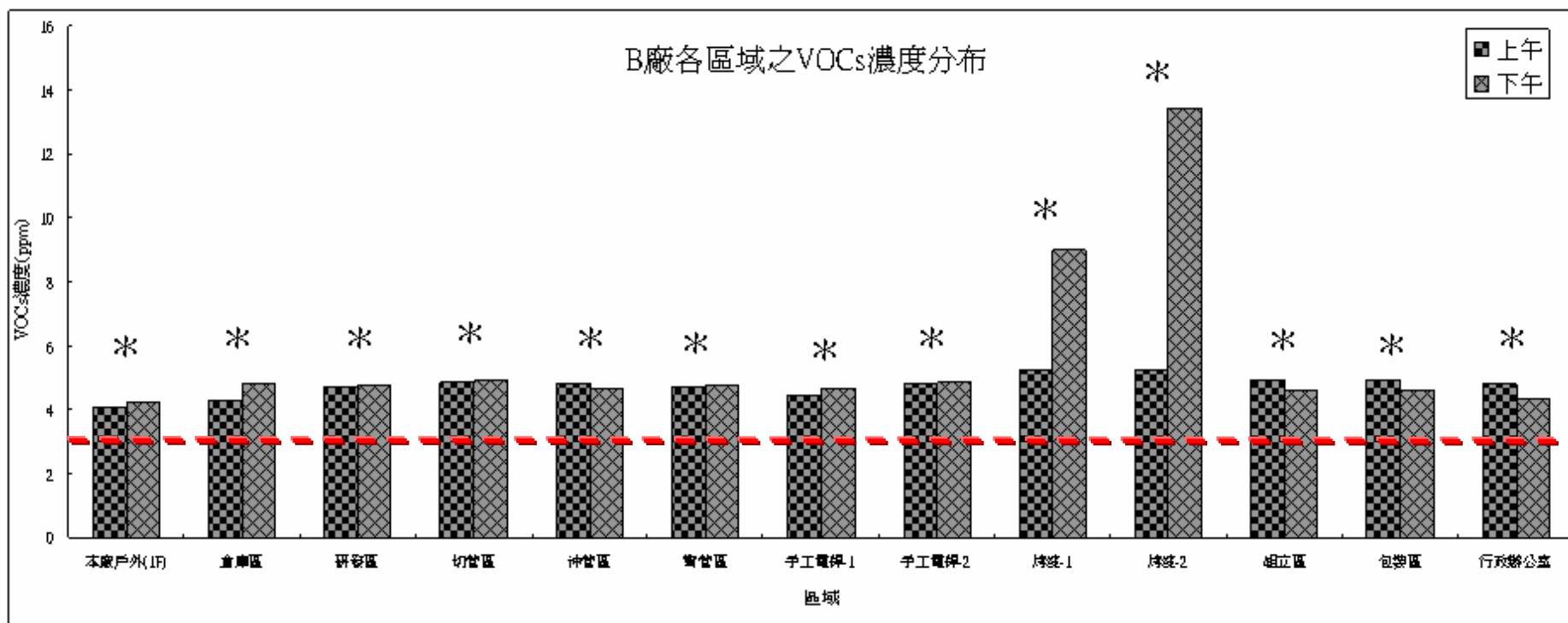


圖 16 B 廠各區之 VOCs 濃度分佈

備註：

VOCs 單位為 ppm。

根據行政院環境保護署，室內空氣品質建議值 VOCs 濃度為 3 ppm。

\* 表示該區域 VOCs 平均濃度超過建議值。

### (3) VOCs 量測結果

圖 17 為 A 廠使用採樣袋採集作業場所之空氣後，經由 GC-MS 初步分析結果顯示自動銲接區顯示有較高濃度之苯環物質存在。

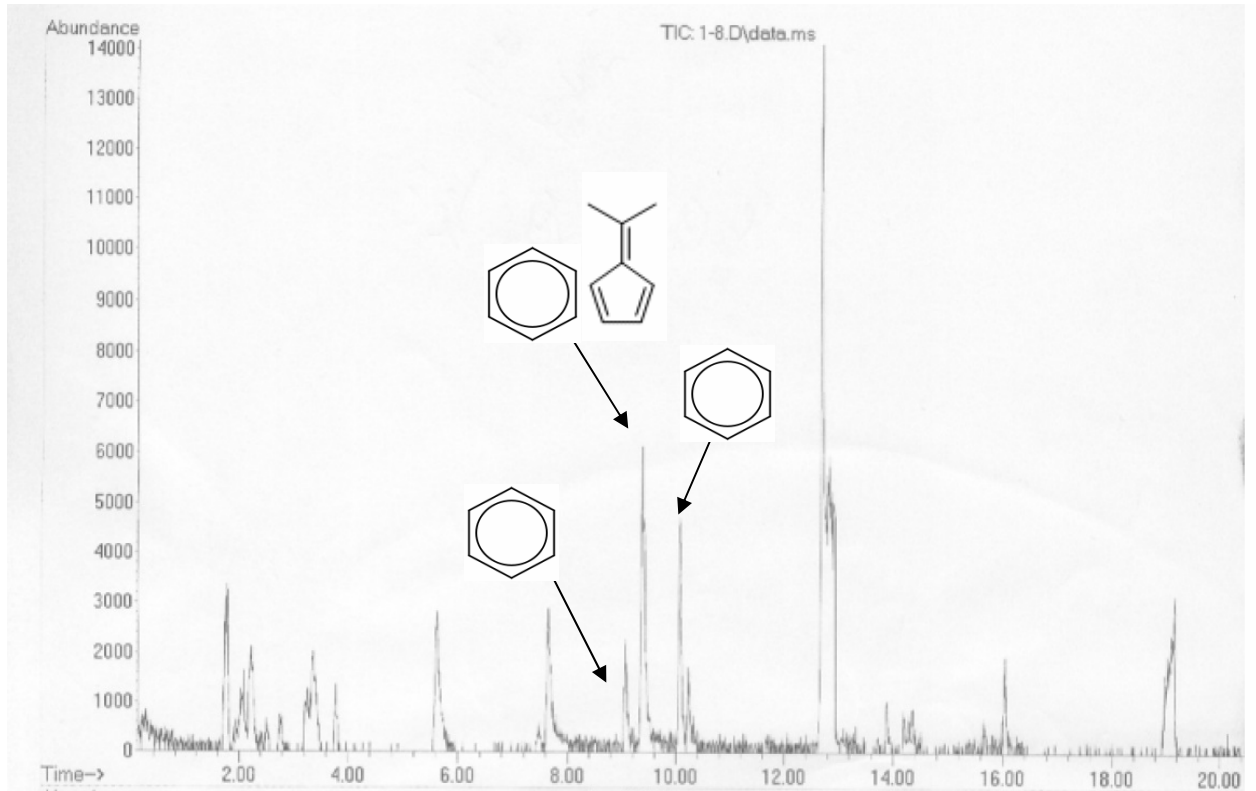


圖 17 VOCs 初步量測結果

圖 18、19、20 為 B 廠之分析結果，顯示 B 廠內有甲苯、酚、氯化甲基苯等物質存在。

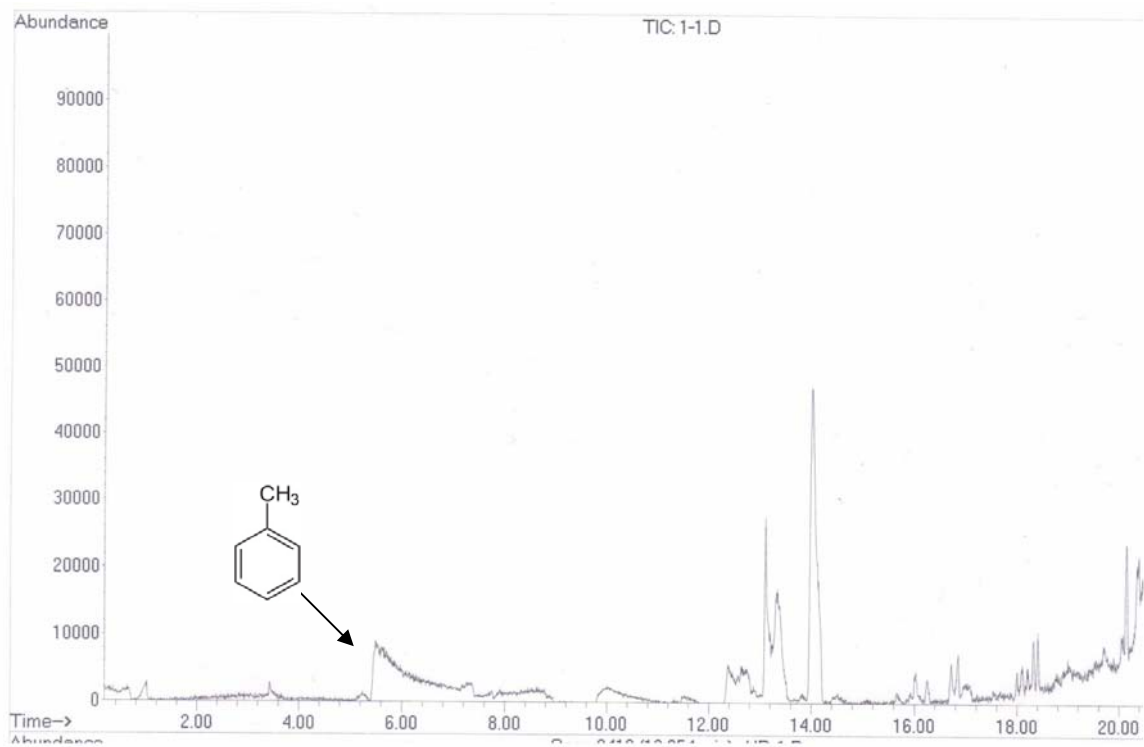


圖 18 於 5.485 分鐘測得甲苯

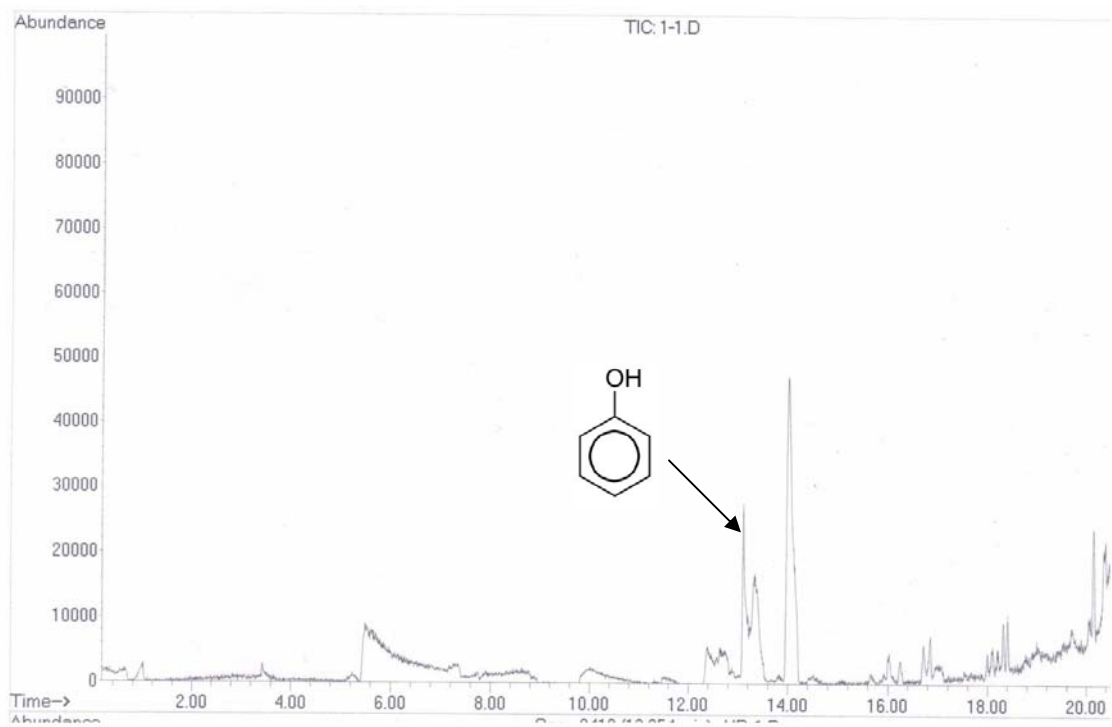


圖 19 於 13.101 分鐘測得酚

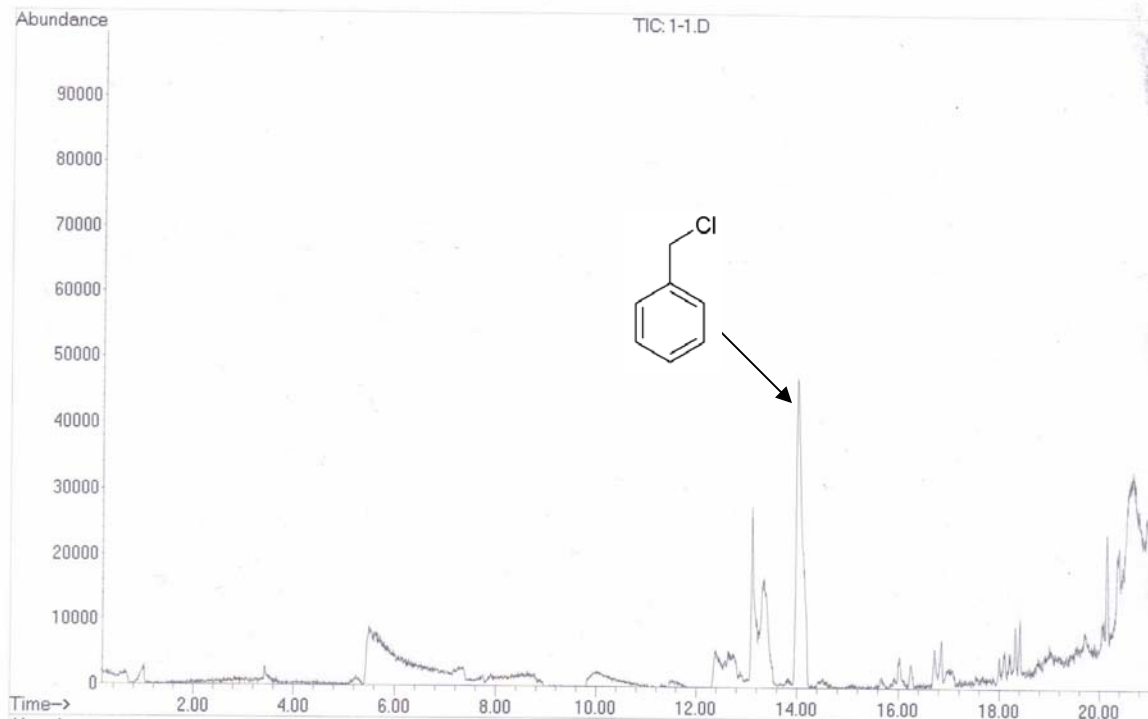


圖 20 於 14.022 分鐘測得氯化甲基苯

## 2. 健身器材作業場所空氣中氣粒狀 ROS 結果

表9為A廠之ROS氣狀與粒狀濃度之分佈結果，由結果可得知A廠區粒狀ROS濃度於自動銲接區-1、-2以及手工銲接區-1、-2較高，但仍低於各區域之氣狀ROS濃度，雖於行政區、噴漆區、裁切區、沖床區並無偵測到粒狀ROS濃度，但以上區域皆有氣狀ROS之存在。粒狀ROS濃度由高到低依序為自動銲接區-1 ( $4.05 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 自動銲接區-2 ( $3.69 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 手工銲接區-2 ( $3.34 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 手工銲接區-1 ( $2.88 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 粉體塗佈區 ( $2.69 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 二廠門口 ( $1.08 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 彎壓區 ( $1.66 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 模具區 ( $0.8 \mu\text{M}/\text{m}^3$ )，氣狀ROS濃度較高至低之區域為彎壓區 ( $23.19 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 模具區 ( $22.72 \mu\text{M}/\text{m}^3$ )、手工銲接區-2 ( $22.48 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 沖床區 ( $22.37 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 裁切區 ( $21.87 \mu\text{M}/\text{m}^3$ )、手工銲接區-1 ( $21.08 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 二廠門口 ( $20.63 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 粉體塗佈區 ( $18.83 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 自動銲接區-1 ( $17.04 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 自動銲接區-2 ( $15.16 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 噴漆區 ( $13.82 \mu\text{M}/\text{m}^3$ ) > 行政區 ( $7.39 \mu\text{M}/\text{m}^3$ )，自動銲接區以及手工銲接區粒狀ROS濃度最高，彎壓以及模具區之氣

狀ROS濃度為最高。就粉塵濃度來結果來看，粉體塗佈區粉塵濃度最高為 3151.60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 2.69  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，自動銲接區-1粉塵濃度為787.62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 4.05  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，自動銲接區-2粉塵濃度為 59.88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 3.69  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，手工銲接區-1粉塵濃度為 255.64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 2.88  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，手工銲接區-2粉塵濃度為 345.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 3.34  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，此結果可得知，銲接作業粉塵濃度雖不高，但發現到銲接作業產生ROS濃度較高，粉體作業粉塵濃度雖較高，但卻無銲接作業時產生之高能量UV光造成更多的ROS產生，使的粉體塗佈區雖有較高的粉塵濃度，但粉塵上包含的ROS濃度較低。

表 9 A 廠 ROS 氣粒狀濃度分佈

| 採樣區域 | 粉塵濃度<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 粒狀<br>( $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) | 氣狀<br>( $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) | 總濃度<br>( $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) |
|------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 行政   | -                                    | -                                  | 7.39                               | 7.39                                |
| 噴漆   | -                                    | -                                  | 13.82                              | 13.82                               |
| 粉體   | 3151.60                              | 2.69                               | 18.83                              | 21.52                               |
| 自動-1 | 787.62                               | 4.05                               | 17.04                              | 21.08                               |
| 自動-2 | 59.88                                | 3.69                               | 15.16                              | 18.85                               |
| 二廠門口 | 181.68                               | 1.08                               | 20.63                              | 21.70                               |
| 手工-1 | 255.64                               | 2.88                               | 21.08                              | 23.97                               |
| 手工-2 | 345.06                               | 3.34                               | 22.48                              | 25.83                               |
| 模具   | 99.75                                | 0.80                               | 22.72                              | 23.51                               |
| 裁切   | -                                    | -                                  | 21.87                              | 21.87                               |
| 沖床   | -                                    | -                                  | 22.37                              | 22.37                               |
| 彎壓   | 126.49                               | 1.66                               | 23.19                              | 24.85                               |

由表10分析結果得知B廠之 ROS氣狀與粒狀濃度分佈，由結果可得知B廠ROS濃度主要集中於銲接區，銲接區之氣粒狀ROS濃度皆較高，粉體塗佈區之ROS濃度則較低。粒狀ROS濃度由高到低依序為，銲接區-2 (5.29  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >銲接區-1 (4.96  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-4 (4.40  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >銲接區-3 (2.11  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >銲接區-4 (2.10  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-1 (1.38  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-2 (0.53  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-3 (0.28  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ )。氣狀ROS濃度較高至低之區域為銲接區-3 (30.25  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >銲接區-4 (22.84  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >銲接區-2 (14.72  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >銲接區-1 (8.11  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-1



(6.34  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-4 (6.04  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-3 (5.80  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) >粉體區-2 (3.66  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ )。B廠之銲接區氣粒狀ROS濃度高於A廠，其餘區域以A廠濃度較高。B廠之銲接區氣粒狀ROS濃度高於A廠，其餘區域以A廠濃度較高。B廠粉塵濃度來看，粉體塗佈區-2粉塵濃度最高為 11417.65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 0.53  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，粉體塗佈區-3粉塵濃度次高為 2620.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 0.28  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，銲接區-2粉塵濃度最高為 535.61  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 5.29  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ，銲接區-2粉塵濃度次高為 362.33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀ROS濃度為 4.96  $\mu\text{M}/\text{m}^3$ 。由此結果可看出，銲接作業時粉塵上ROS濃度較高，進而影響到粒狀ROS的濃度。

表 10 B 廠 ROS 氣粒狀濃度分佈

| 採樣區域  | 粉塵濃度<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 粒狀<br>( $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) | 氣狀<br>( $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) | 總濃度<br>( $\mu\text{M}/\text{m}^3$ ) |
|-------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 銲接區-1 | 362.33                               | 4.96                               | 8.11                               | 13.06                               |
| 銲接區-2 | 535.61                               | 5.29                               | 14.72                              | 20.01                               |
| 銲接區-3 | 168.71                               | 2.11                               | 30.25                              | 32.36                               |
| 銲接區-4 | 165.76                               | 2.10                               | 22.84                              | 24.94                               |
| 粉體區-1 | 1408.25                              | 1.38                               | 6.34                               | 7.72                                |
| 粉體區-2 | 11417.65                             | 0.53                               | 3.66                               | 4.19                                |
| 粉體區-3 | 2620.70                              | 0.28                               | 5.80                               | 6.08                                |
| 粉體區-4 | 905.28                               | 4.40                               | 6.04                               | 10.44                               |

圖 21 與圖 22 為 A、B 兩廠 ROS 氣粒狀濃度比例分佈圖，兩廠各工作區域之氣狀比例明顯皆高於粒狀。於 A 廠之粉體、自動銲接區-1、自動銲接區-2、手工銲接-1、手工銲接-2 區域可見到粒狀比例較高，B 廠則於銲接區-1、銲接區-2、粉體區-1、粉體區-4 的粒狀 ROS 比例較高，推估可能原為銲接所產生之粉塵濃度較高，每單位重量粉塵所產生之 ROS 濃度亦較高。另 B 廠於粉體與銲接區之粒狀 ROS 比例明顯高於 A 廠（B 廠接近於 40%，A 廠最高約 20%），推估此區粒狀 ROS 比例較高原因可能為 B 廠通風系統較不良，因通風排氣系統不良而造成廠內粉塵累積，進而採集到較多粒狀 ROS 原因。

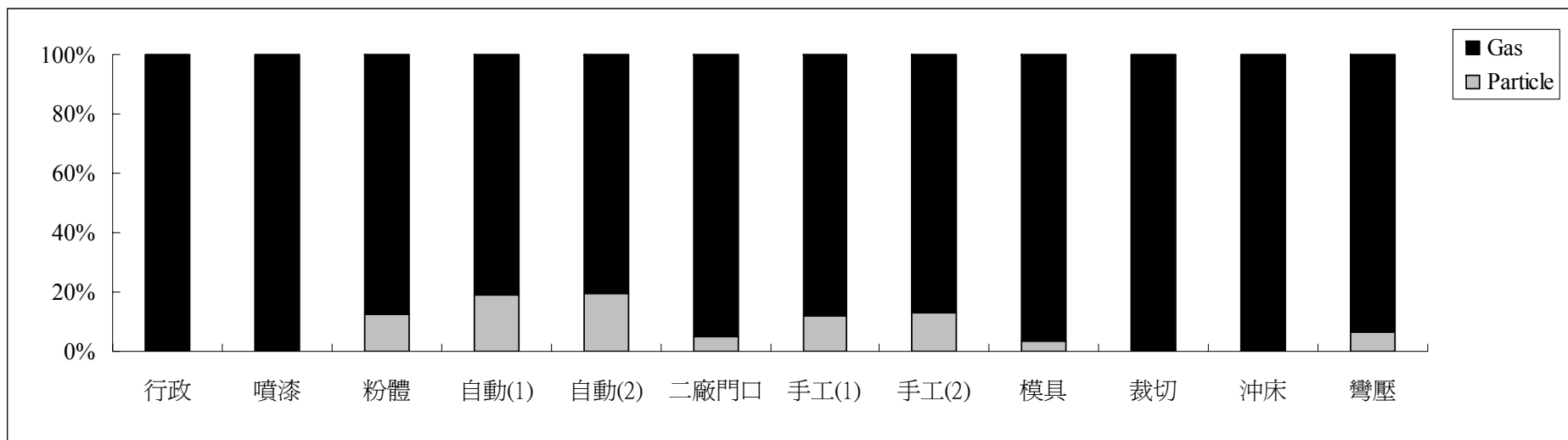


圖 21 A 廠 ROS 氣粒狀濃度比例分佈

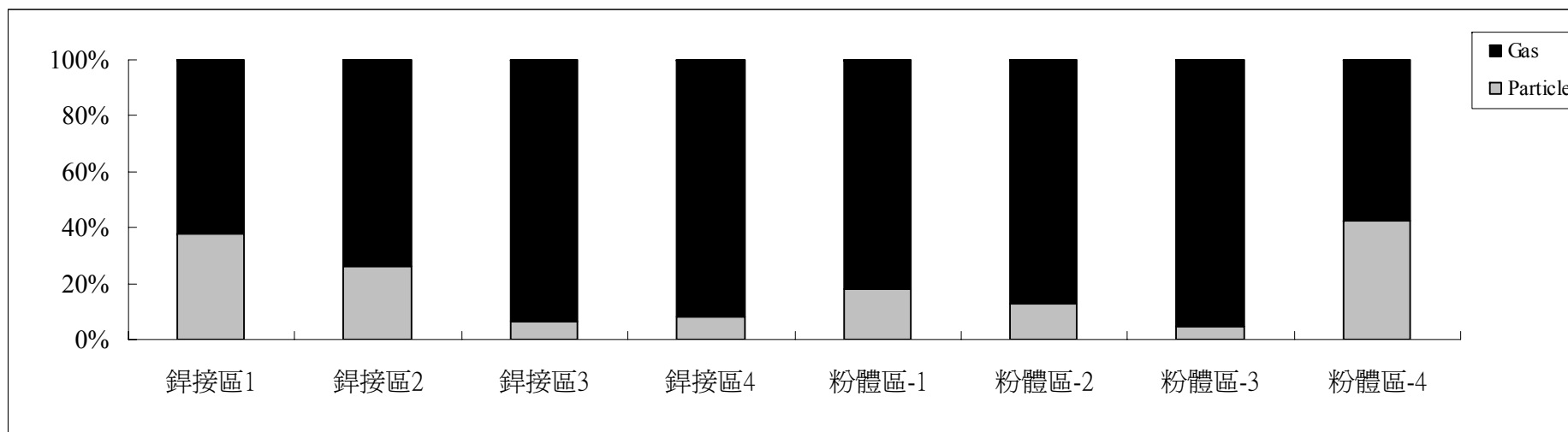


圖 22 B 廠氣粒狀 ROS 濃度比例分佈

圖 23 為 A、B 兩廠 ROS 整體氣粒狀比例，A 廠平均粒狀比為 8%，氣狀比為 92%；B 廠粒狀比為 20%，氣狀比為 80%，整體而言銲接區域之空氣中以氣狀 ROS 濃度較高於粒狀 ROS 之濃度。

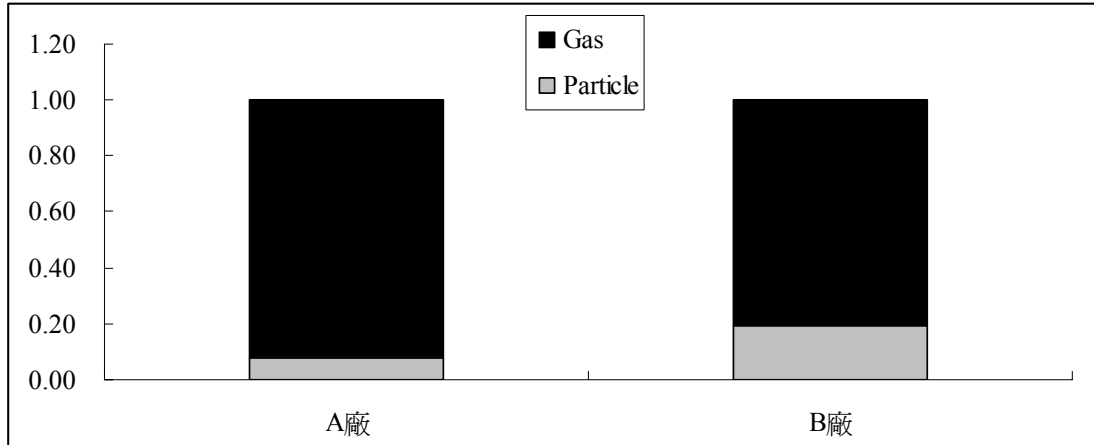


圖 23 A、B 兩廠 ROS 整體氣粒狀比例圖

### 3. 健身器材作業環境重金屬濃度分布

#### (1) 空氣中粉塵濃度之粒徑分佈特性

可吸入性採樣器與旋風分離器採樣器之粉塵數據由表 12 結果顯示，於各區域之粉塵濃度分佈情形如下：

可吸入性粉塵：粉體 > 自動電銲 > B 廠手動電銲 > (沖床區、B 廠粉體) > 手動電銲 > 模具區 > 彎壓區 > (辦公室、警衛室)；

呼吸性粉塵：辦公室 > 警衛室 > 自動電銲 > B 廠手動電銲 > B 廠粉體 > 手動電銲 > (粉體、模具區) > 沖床區 > 彎壓區；

從上述結果，可吸入性粉塵中，於粉體、自動電銲、手動電銲區域之空氣粉塵濃度較高；呼吸性粉塵中，於辦公室、警衛室、自動電銲、手動電銲等區域有較高濃度之情形，上述所有區域之粉塵濃度皆低於作業環境容許濃度，並未超標。然自動銲接區與辦公區之粉塵累積分佈圖則相異於其他作業區域，此結果顯示不同區域之勞工應有不同之職業衛生防護策略（圖 24）。

(2) 空氣中重金屬濃度之粒徑分佈特性

可吸入性採樣器重金屬數據由表 13 結果顯示,於各區域之金屬濃度分佈情形如下:

Ag: B 廠手動電銲 > (B 廠粉體、模具區、粉體) > (手動電銲、沖床區、自動電銲) > 彎壓區 > (辦公室、警衛室);

Cd: 辦公室 > 警衛室 > 粉體 > 手動電銲 > 沖床區 > (模具區、彎壓區、自動電銲) > B 廠手動電銲、B 廠粉體;

Co: 粉體 > 自動電銲 > 手動電銲 > (B 廠手動電銲、B 廠粉體) > (沖床區、彎壓區) > (辦公室、警衛室) > 模具區;

Mn: 沖床區 > 粉體 > 模具區 > 手動電銲 > 彎壓區 > B 廠手動電銲 > 自動電銲 > B 廠粉體 > 辦公室 > 警衛室;

Ni: B 廠手動電銲 > 粉體 > 手動電銲 > 警衛室 > (彎壓區、B 廠粉體) > 自動電銲 > 沖床區 > 辦公室 > 模具區;

Al: 粉體 > 手動電銲 > 自動電銲 > B 廠粉體 > B 廠手動電銲 > 模具區 > 辦公室 > 沖床區 > 彎壓區 > 警衛室;

Cr: B 廠手動電銲 > 手動電銲 > 沖床區 > 彎壓區 > 自動電銲 > 辦公室 > B 廠粉體 > 粉體 > 模具區 > 警衛室;

Cu: 手動電銲 > B 廠手動電銲 > 自動電銲 > 粉體 > 沖床區 > 彎壓區 > B 廠粉體 > 模具區 > 辦公室 > 警衛室;

Mg: B 廠手動電銲 > 自動電銲 > 粉體 > B 廠粉體 > 沖床區 > 手動電銲 > 彎壓區 > 模具區 > 辦公室 > 警衛室;

Zn: 粉體 > B 廠手動電銲 > B 廠粉體 > 手動電銲 > 辦公室 > 自動電銲 > 沖床區 > 警衛室 > 彎壓區 > 模具區;

Fe: B 廠手動電銲 > 手動電銲 > 沖床區 > 粉體 > 自動電銲 > 彎壓區 > 模具區 > B 廠粉體 > 辦公室 > 警衛室;

As: 粉體 > 手動電銲 > 沖床區 > 模具區 > 彎壓區 > B 廠手動電銲 > 自動電銲 > (辦公室、警衛室、B 廠粉體);

Pb: 粉體 > 辦公室 > 警衛室 > 自動電銲 > 手動電銲 > 模具區 > 沖床區 > (彎壓區、B 廠手動電銲) > B 廠粉體;

從上述結果,可吸入性粉塵中,於粉體、自動電銲、手動電銲區域之

空氣重金屬濃度較高，所有區域之重金屬濃度皆低於作業環境容許濃度，並未超標。

呼吸性粉塵之重金屬數據由表 14 結果顯示，於各區域之金屬濃度分佈情形如下：

Ag：(B 廠手動電銲、自動電銲) > (B 廠粉體、彎壓區) > (手動電銲、模具區、沖床區、粉體、辦公室、警衛室)；

Cd：粉體 > (辦公室、警衛室) > 彎壓區 > 沖床區 > 手動電銲 > B 廠手動電銲 > 自動電銲 > 模具區 > B 廠粉體；

Co：沖床區 > 自動電銲 > (手動電銲、彎壓區) > 粉體 > 警衛室 > 模具區 > B 廠手動電銲 > 辦公室 > B 廠粉體；

Mn：自動電銲 > B 廠手動電銲 > 彎壓區 > B 廠粉體 > 粉體 > 辦公室 > 警衛室 > 模具區 > 沖床區 > 手動電銲；

Ni：自動電銲 > 沖床區 > B 廠手動電銲 > 彎壓區 > 粉體 > 手動電銲 > 警衛室 > 辦公室 > 模具區 > B 廠粉體；

Al：沖床區 > 警衛室 > 手動電銲 > 粉體 > 模具區 > 辦公室 > B 廠手動電銲 > 自動電銲 > 彎壓區 > B 廠粉體；

Cr：沖床區 > 彎壓區 > 自動電銲 > 警衛室 > 辦公室 > B 廠手動電銲 > B 廠粉體 > 粉體 > 手動電銲 > 模具區；

Cu：自動電銲 > 彎壓區 > 粉體 > 手動電銲 > 模具區 > 沖床區 > B 廠手動電銲 > 辦公室 > 警衛室 > B 廠粉體；

Mg：自動電銲 > B 廠手動電銲 > 手動電銲 > 模具區 > 沖床區 > 警衛室 > 彎壓區 > 粉體 > B 廠粉體 > 辦公室；

Zn：粉體 > 沖床區 > 模具區 > 警衛室 > 辦公室 > 彎壓區 > 自動電銲 > 手動電銲 > B 廠粉體 > B 廠手動電銲；

Fe：粉體 > 自動電銲 > B 廠手動電銲 > 彎壓區 > 警衛室 > 沖床區 > 辦公室 > 手動電銲 > B 廠粉體 > 模具區；

As：B 廠手動電銲 > (彎壓區、自動電銲) > (模具區、沖床區、手動電銲、粉體、辦公室、警衛室、B 廠粉體)；

Pb：辦公室 > 粉體 > 警衛室 > 彎壓區 > 沖床區 > B 廠手動電銲 > 自動電銲

> 模具區 > 手動電銲 > B 廠粉體；

從上述結果來看重金屬於粉體、自動電銲、手動電銲、彎壓等區域有較高濃度之情形，所有區域重金屬濃度都低於作業環境容許濃度標準，並未超標。

由圖 25 顯示，各區域之空氣中重金屬濃度，如 Co、Ni、Fe、Pb 幾乎存在於粗粒徑中，介於 6.5-21  $\mu\text{m}$ ，結果亦顯示某些金屬如 Zn 於小粒徑中亦有較高的濃度，沖床區之重金屬濃度則主要累積於粒徑為 1-6  $\mu\text{m}$  之粉塵中，粉體則以粒徑範圍 6-10  $\mu\text{m}$  之粉塵中累積較高濃度之重金屬；圖 26 結果顯示，工作區域之重金屬濃度幾乎都是於粗粒徑濃度較高，而粗粒徑之粉塵可建議勞工使用個人防護具，以避免勞工暴露於過量之重金屬，然少數工作區域重金屬亦累積於 0.4-1 $\mu\text{m}$  之細粒徑粉塵中，因此對於細粒徑之粉塵防護應為後續防護重點。

表 11 Marple 採樣器各粒徑粉塵濃度分佈 (單位：mg/m<sup>3</sup>)

| 區域   | 粉塵濃度(mg/m <sup>3</sup> ) |                     |                      |                       |                       |                       |                       |                    |
|------|--------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
|      | 15-21 $\mu\text{m}$      | 10-15 $\mu\text{m}$ | 6.5-10 $\mu\text{m}$ | 3.5-6.5 $\mu\text{m}$ | 1.0-3.5 $\mu\text{m}$ | 0.7-1.0 $\mu\text{m}$ | 0.4-0.7 $\mu\text{m}$ | <0.4 $\mu\text{m}$ |
| 模具區  | 0.42                     | 0.35                | 0.42                 | 0.37                  | 0.47                  | 0.32                  | 0.38                  | 0.49               |
| 手動電銲 | 0.52                     | 0.42                | 0.30                 | 0.40                  | 0.49                  | 0.37                  | 0.18                  | 0.46               |
| 沖床區  | 0.29                     | 0.24                | 0.24                 | 0.21                  | 0.20                  | 0.27                  | 0.29                  | 0.20               |
| 彎壓區  | 0.24                     | 0.27                | 0.27                 | 0.26                  | 0.30                  | 0.29                  | 0.24                  | 0.20               |
| 自動電銲 | 1.22                     | 1.67                | 1.36                 | 0.86                  | 0.72                  | 0.52                  | 0.31                  | 0.36               |
| 辦公室  | 0.21                     | 0.20                | 0.07                 | 0.02                  | 0.05                  | 0.05                  | 0.23                  | 0.10               |
| 警衛室  | 0.18                     | 0.10                | 0.14                 | 0.20                  | 0.18                  | 0.10                  | 0.04                  | 0.16               |
| 粉體   | 0.56                     | 0.89                | 0.23                 | 0.31                  | 0.39                  | 0.16                  | 0.14                  | 0.47               |

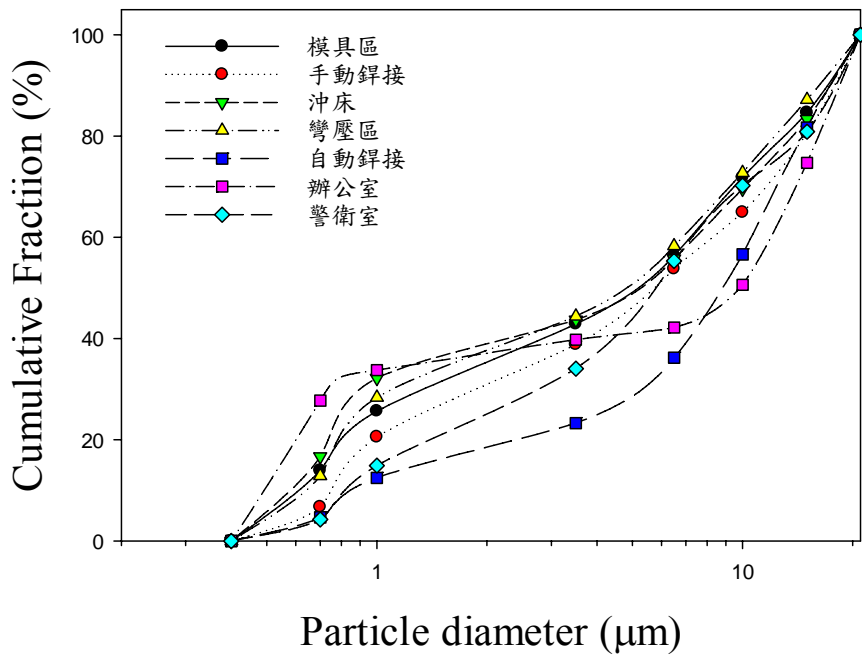


圖 24 各區域粒徑之粉塵濃度累積分佈圖

表 12 可吸入性採樣器及旋風分離器採樣器粉塵濃度分佈 (單位:  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

| 廠別  | 區域   | 可吸入性粉塵濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) | 旋風分離器粉塵濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) |
|-----|------|------------------------------------|-------------------------------------|
| A 廠 | 模具區  | 0.33                               | 0.28                                |
|     | 手動電鐸 | 0.47                               | 0.36                                |
|     | 沖床區  | 0.55                               | 0.18                                |
|     | 彎壓區  | 0.27                               | 0.02                                |
|     | 自動電鐸 | 1.20                               | 0.52                                |
|     | 辦公室  | 0.06                               | 1.74                                |
|     | 警衛室  | 0.06                               | 0.54                                |
| B 廠 | 粉體   | 6.97                               | 0.28                                |
|     | 手動鐸接 | 0.94                               | 0.42                                |
|     | 粉體   | 0.55                               | 0.41                                |



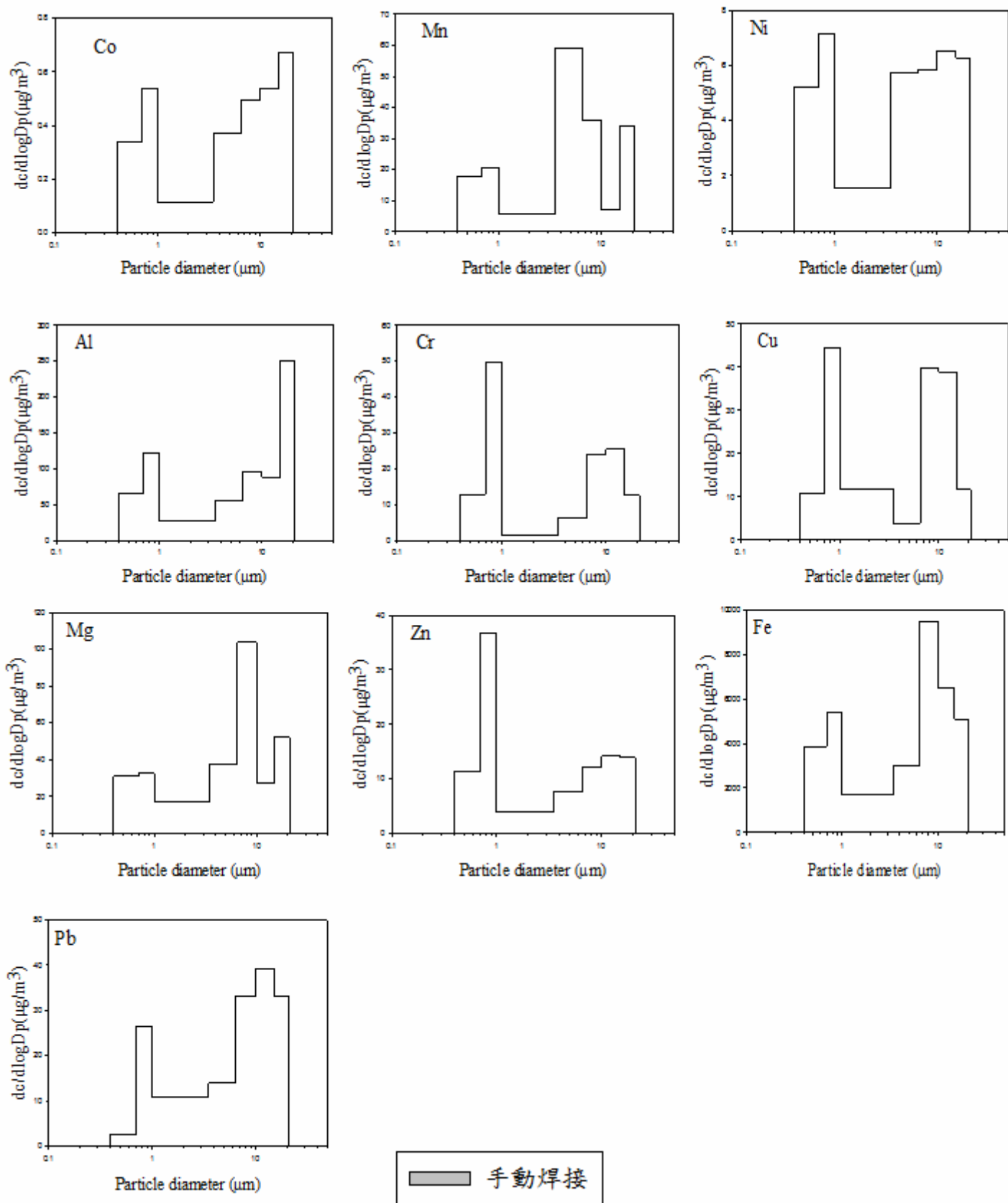


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈

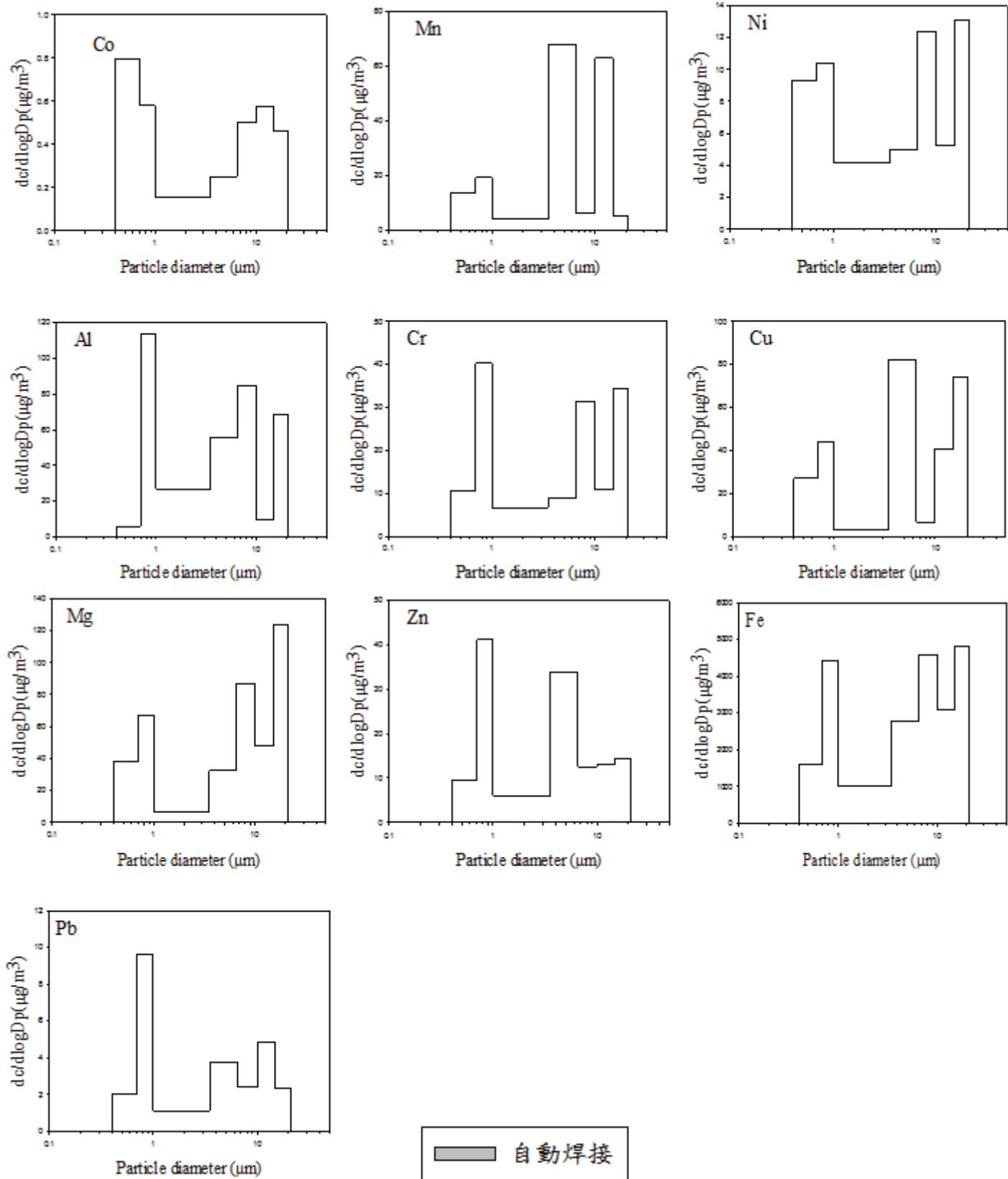


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 1)

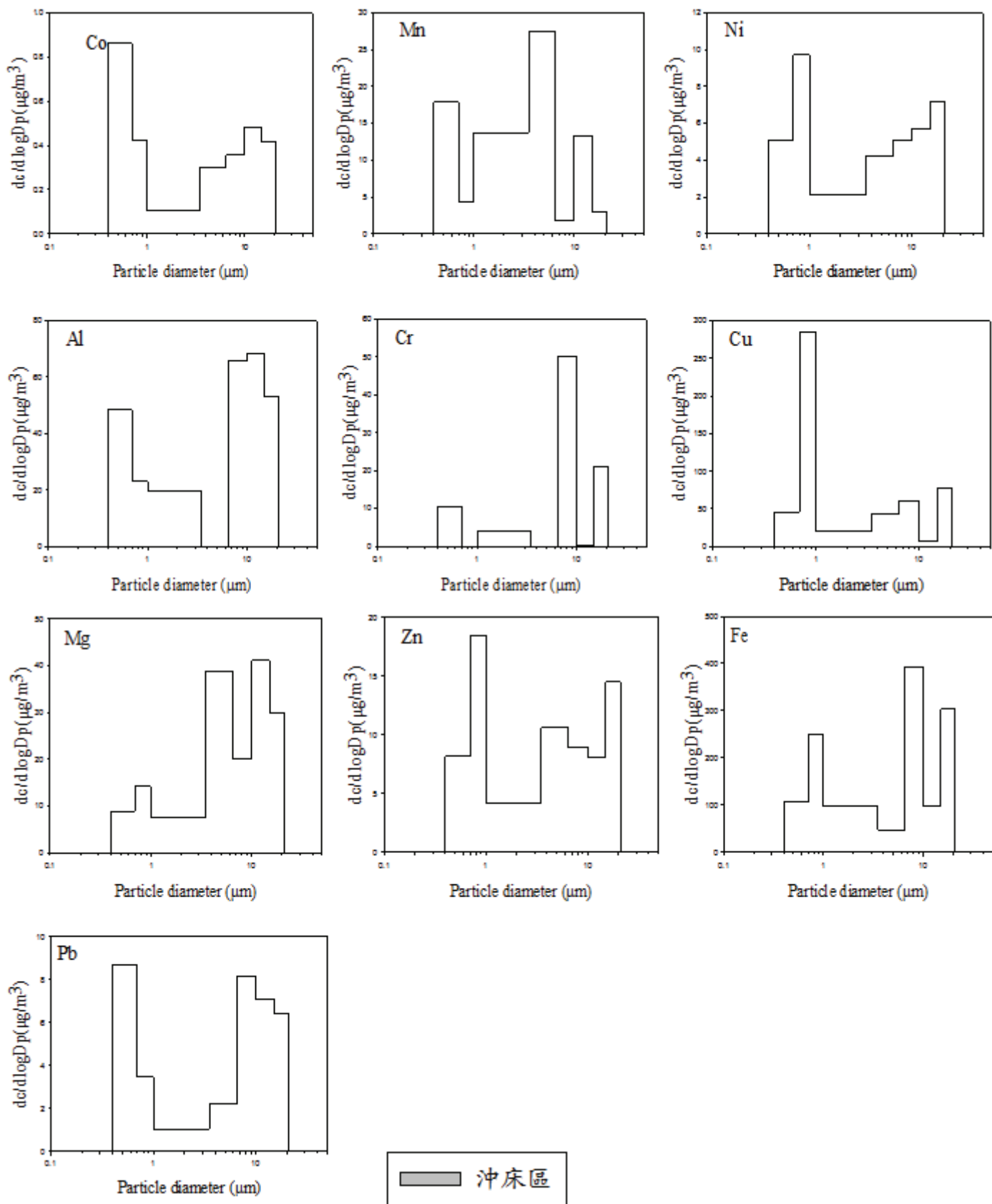


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 2)

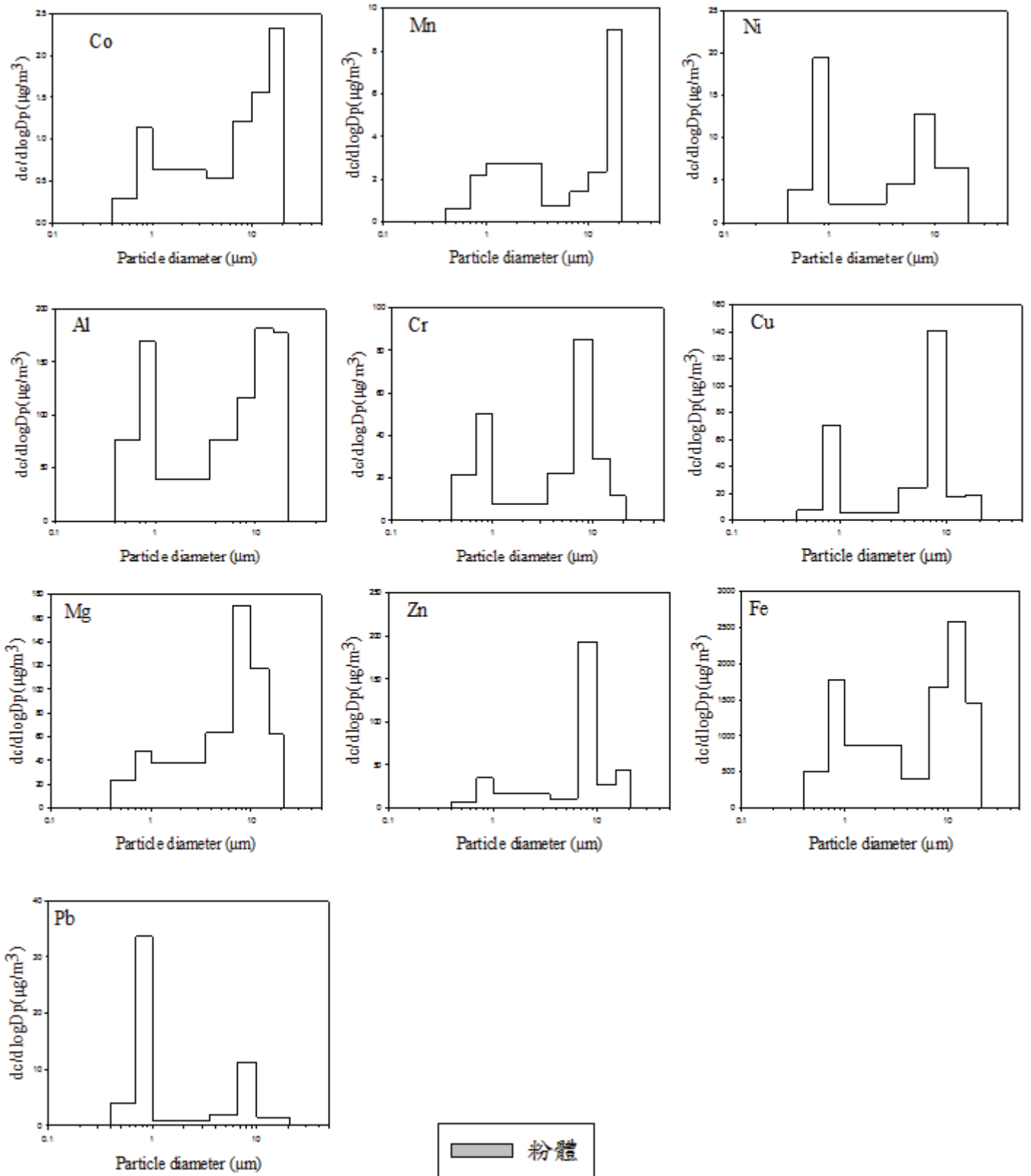


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 3)

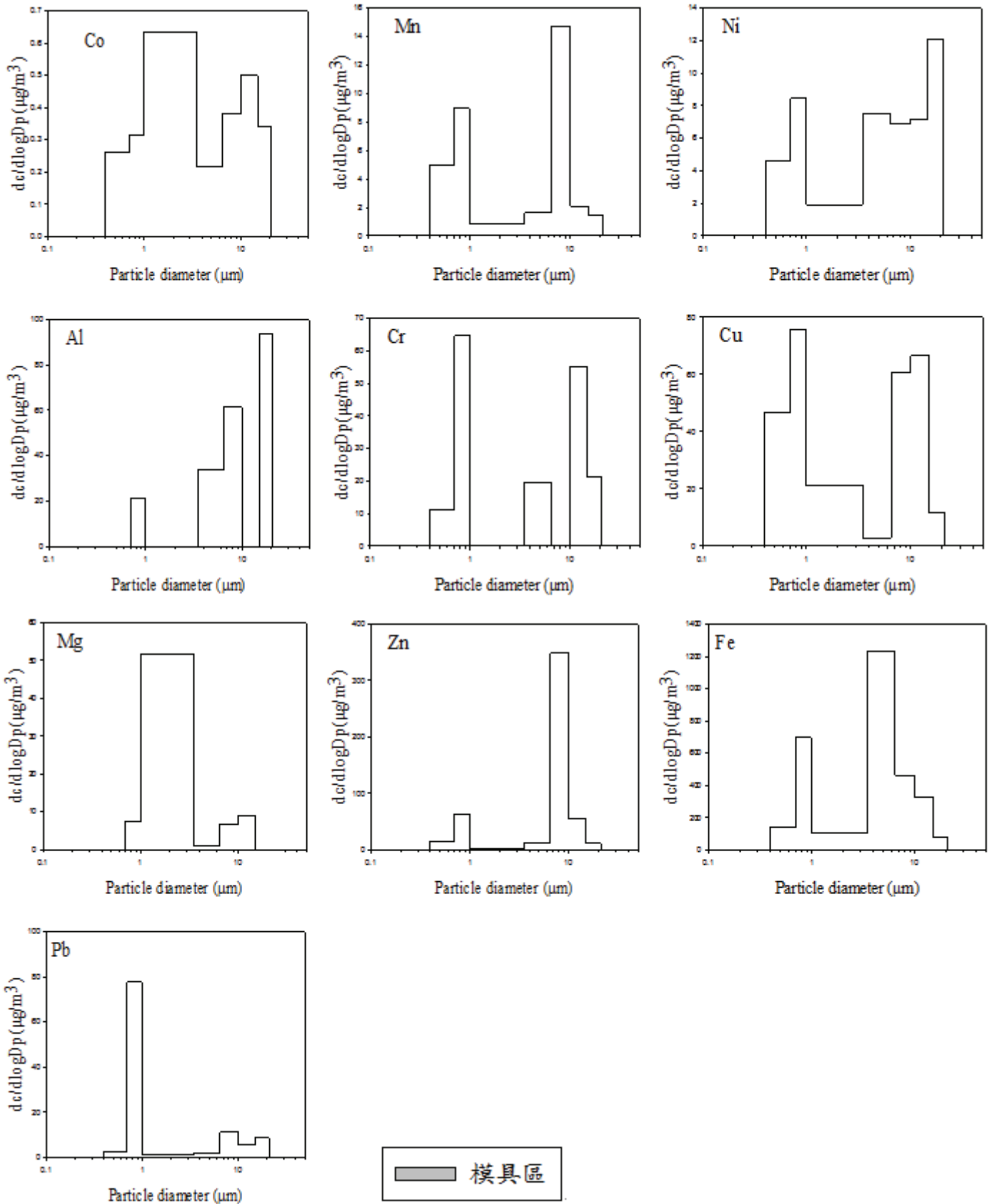


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 4)

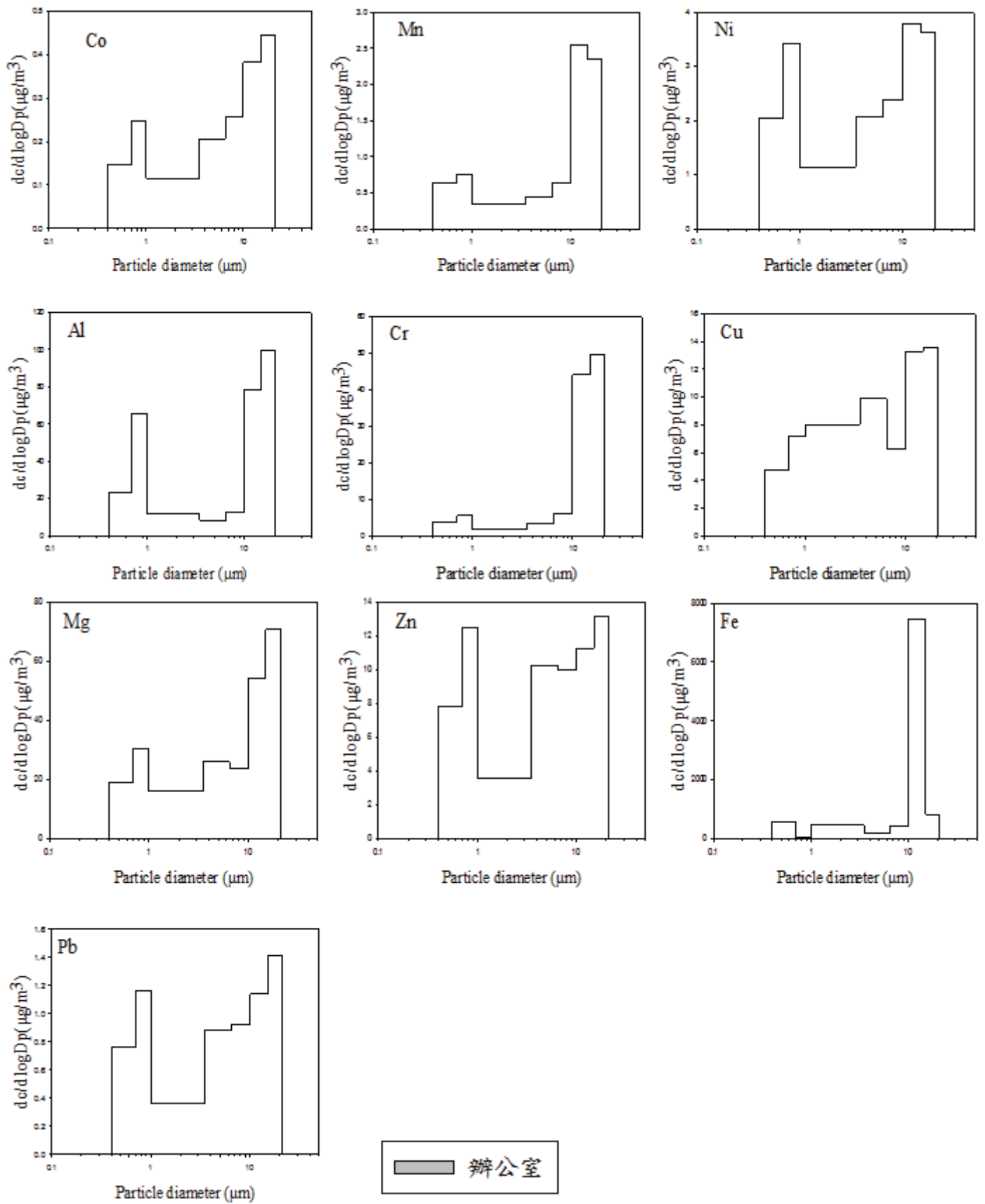


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 5)

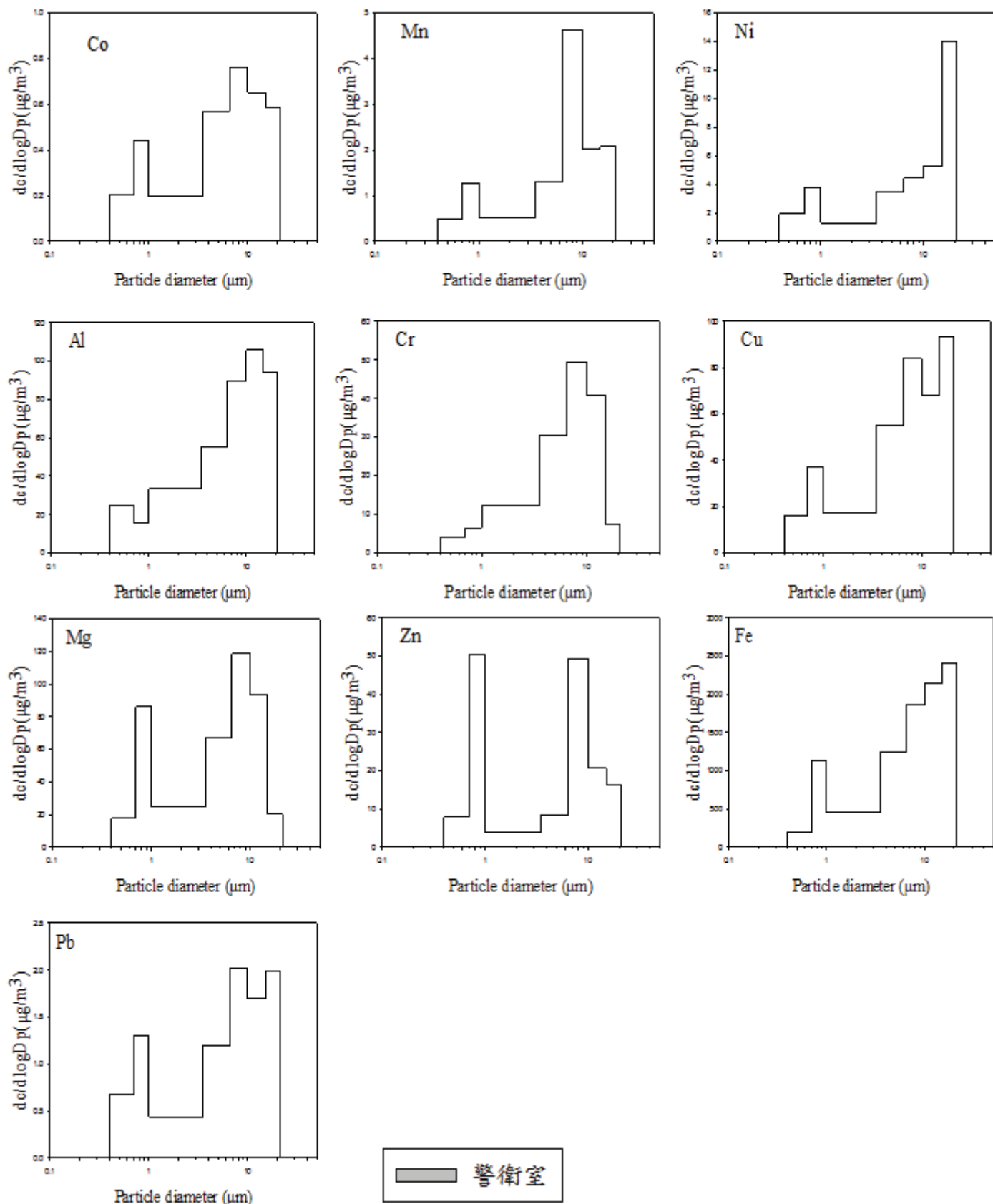


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 6)

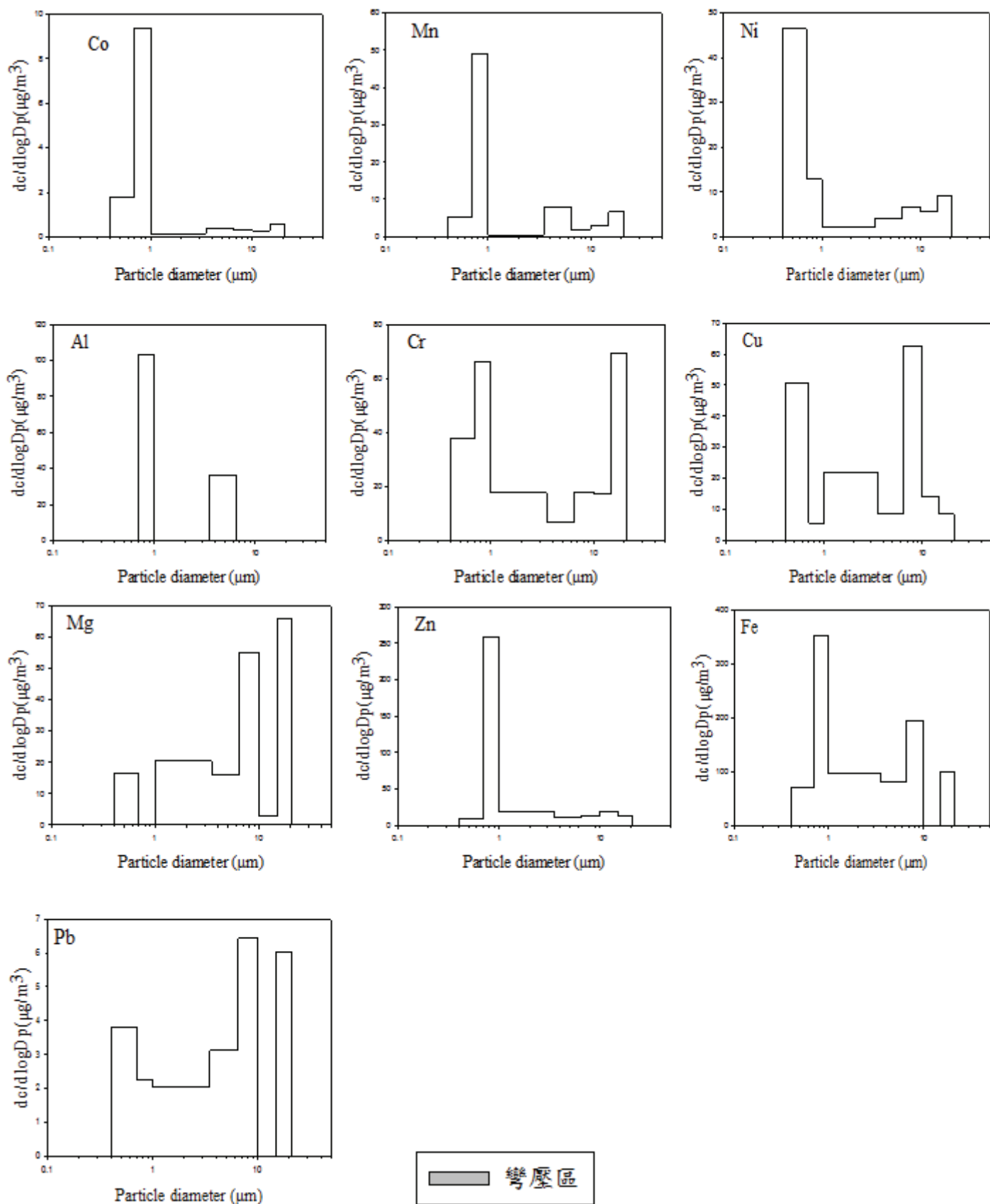


圖 25 各區域之各金屬濃度粒徑分佈 (續 7)



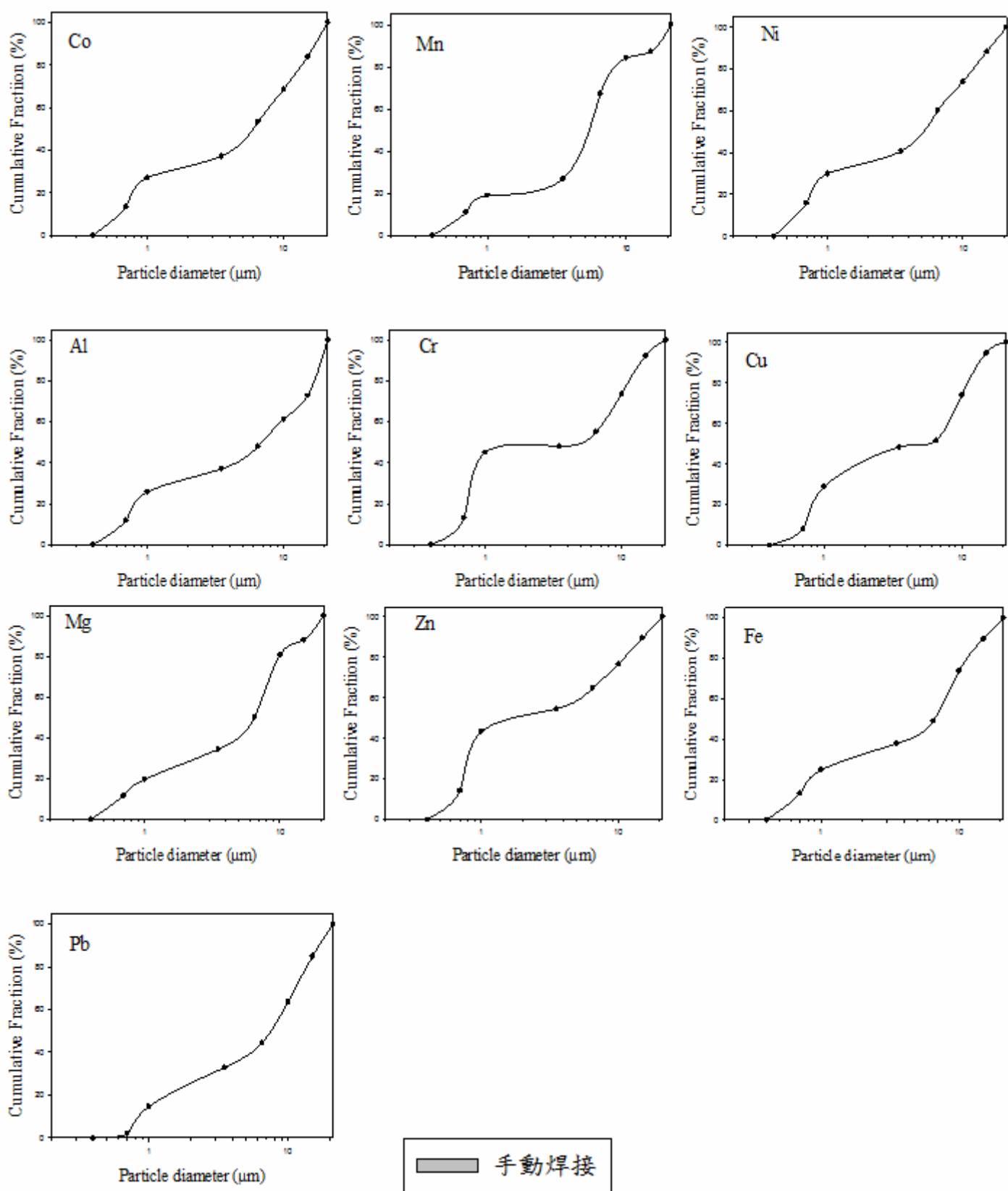


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖

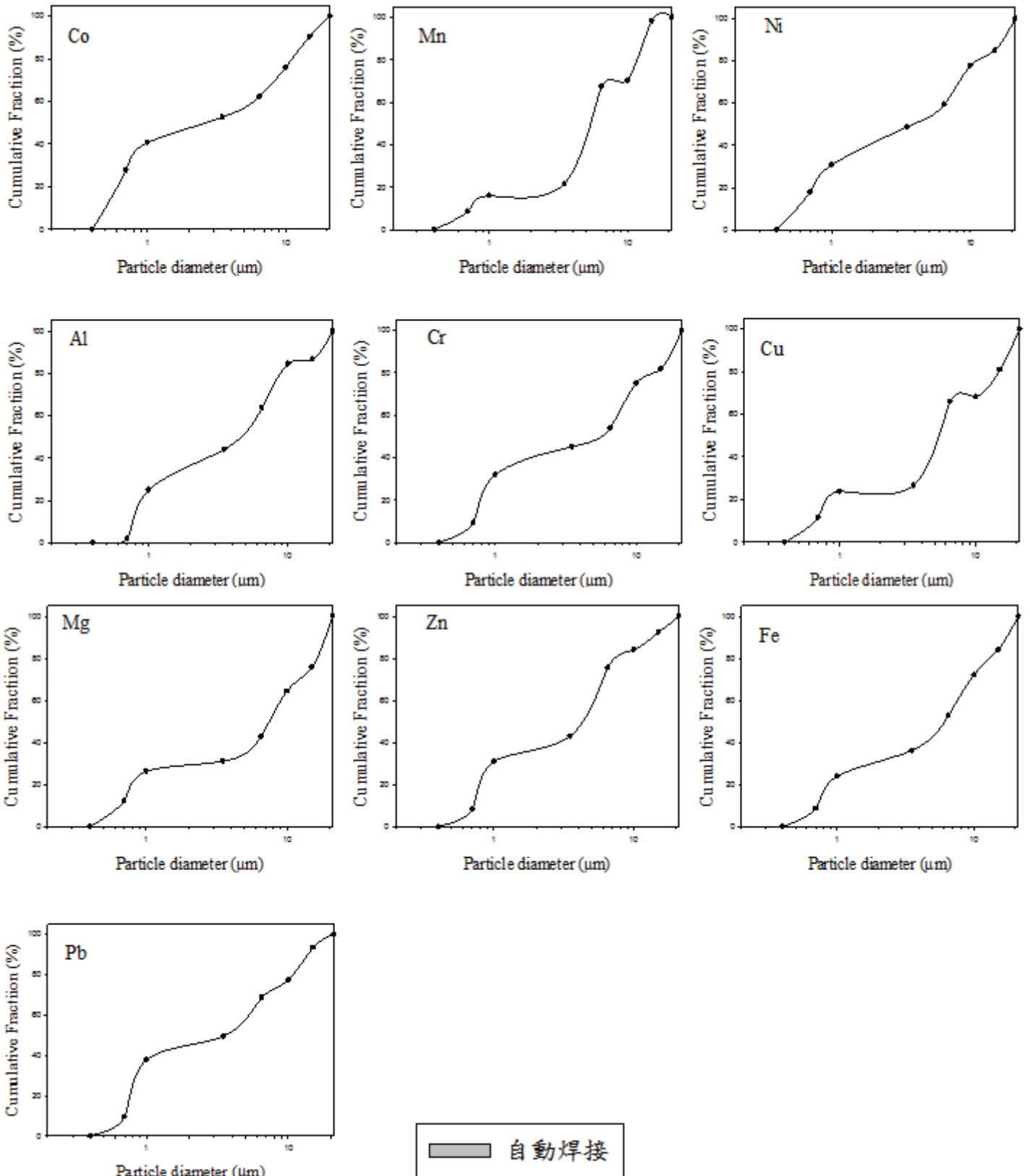


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 1)

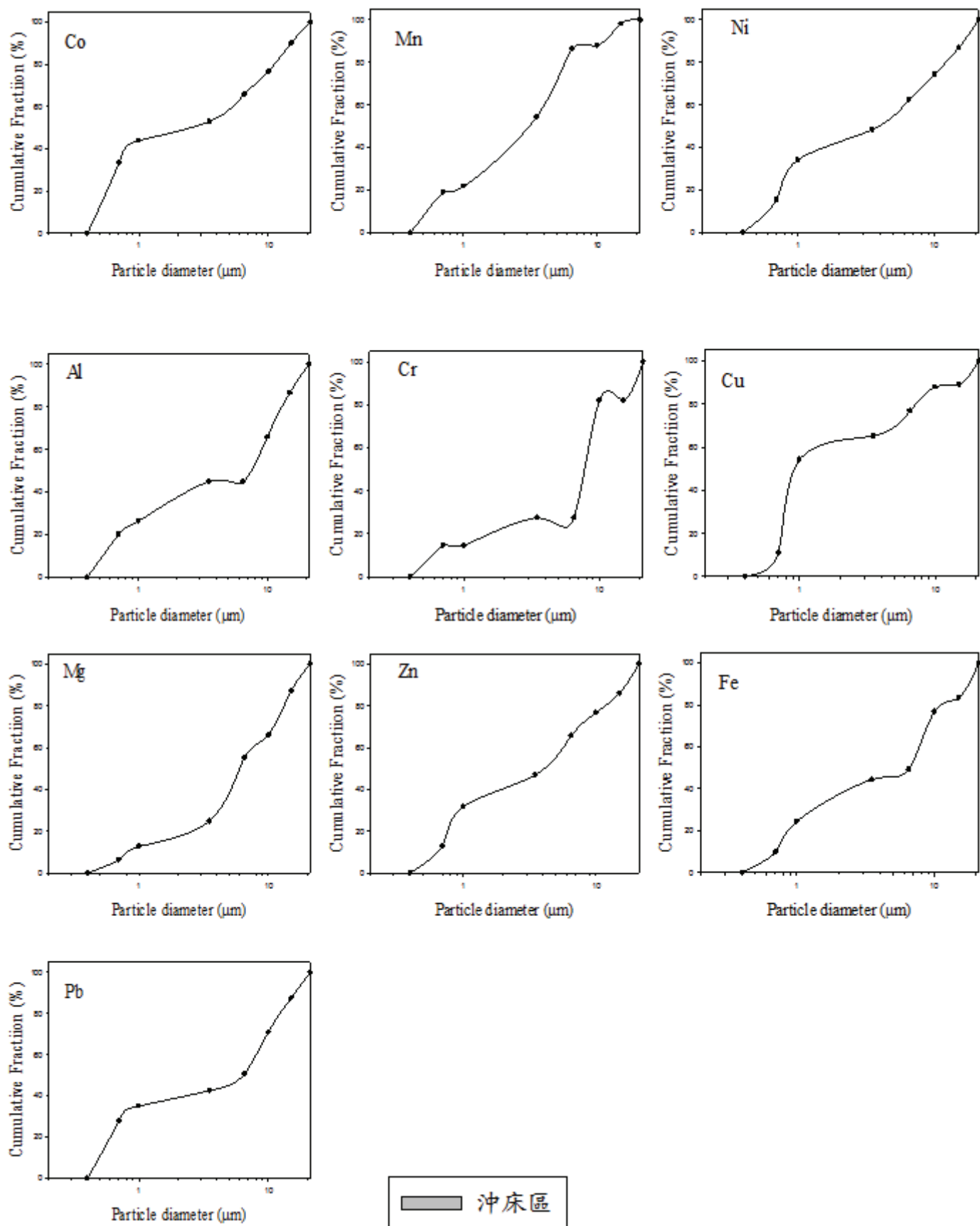


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 2)

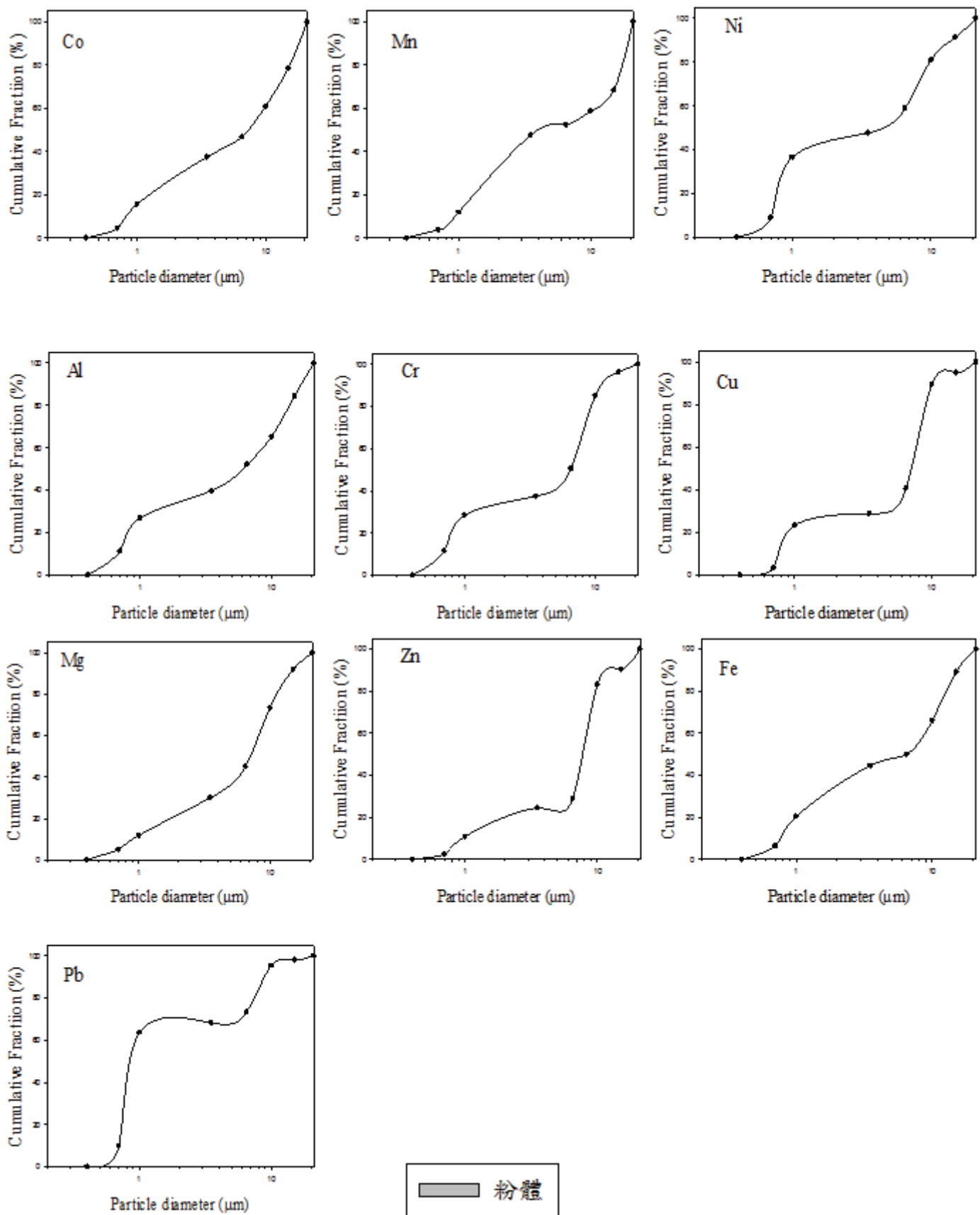


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 3)

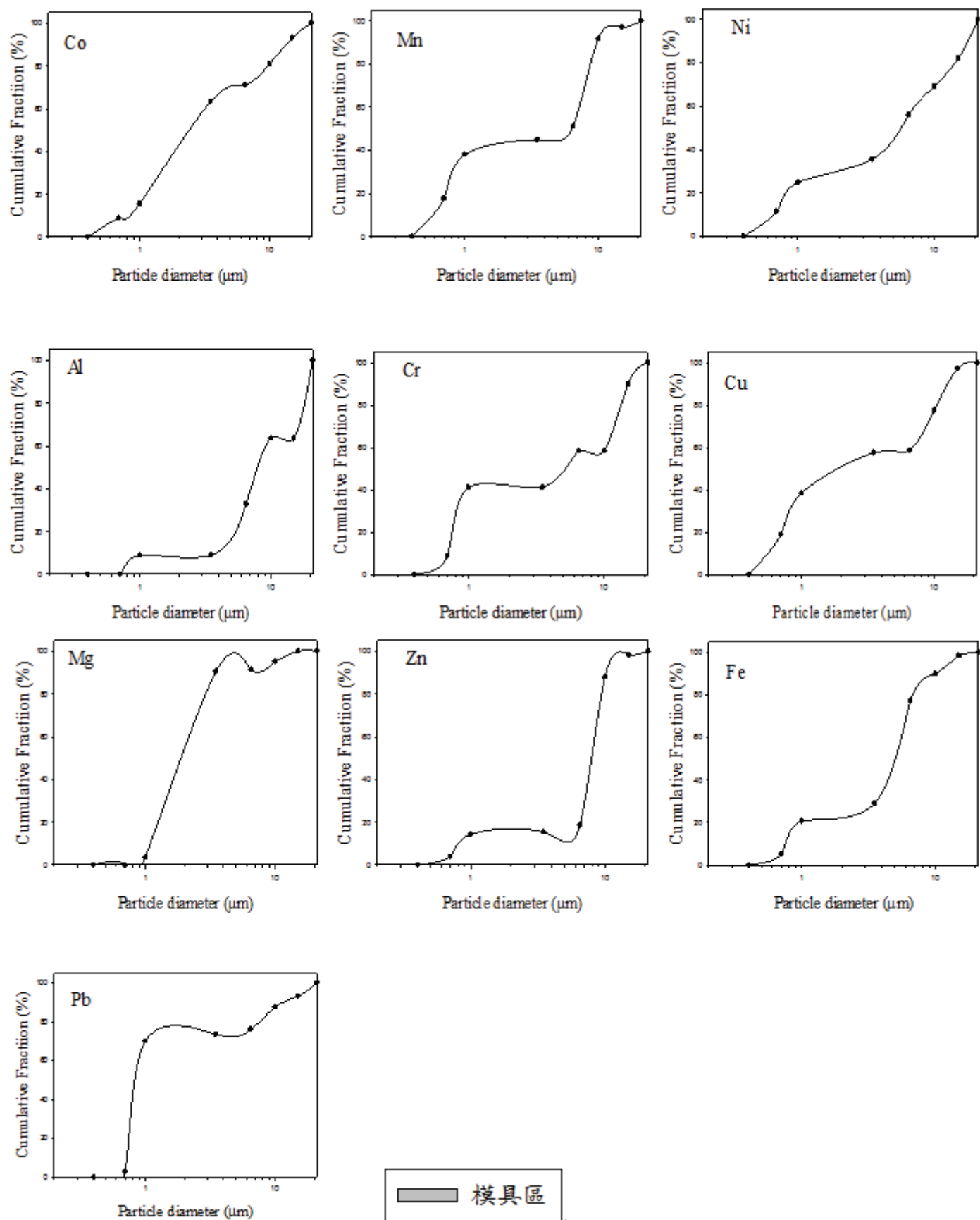


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 4)

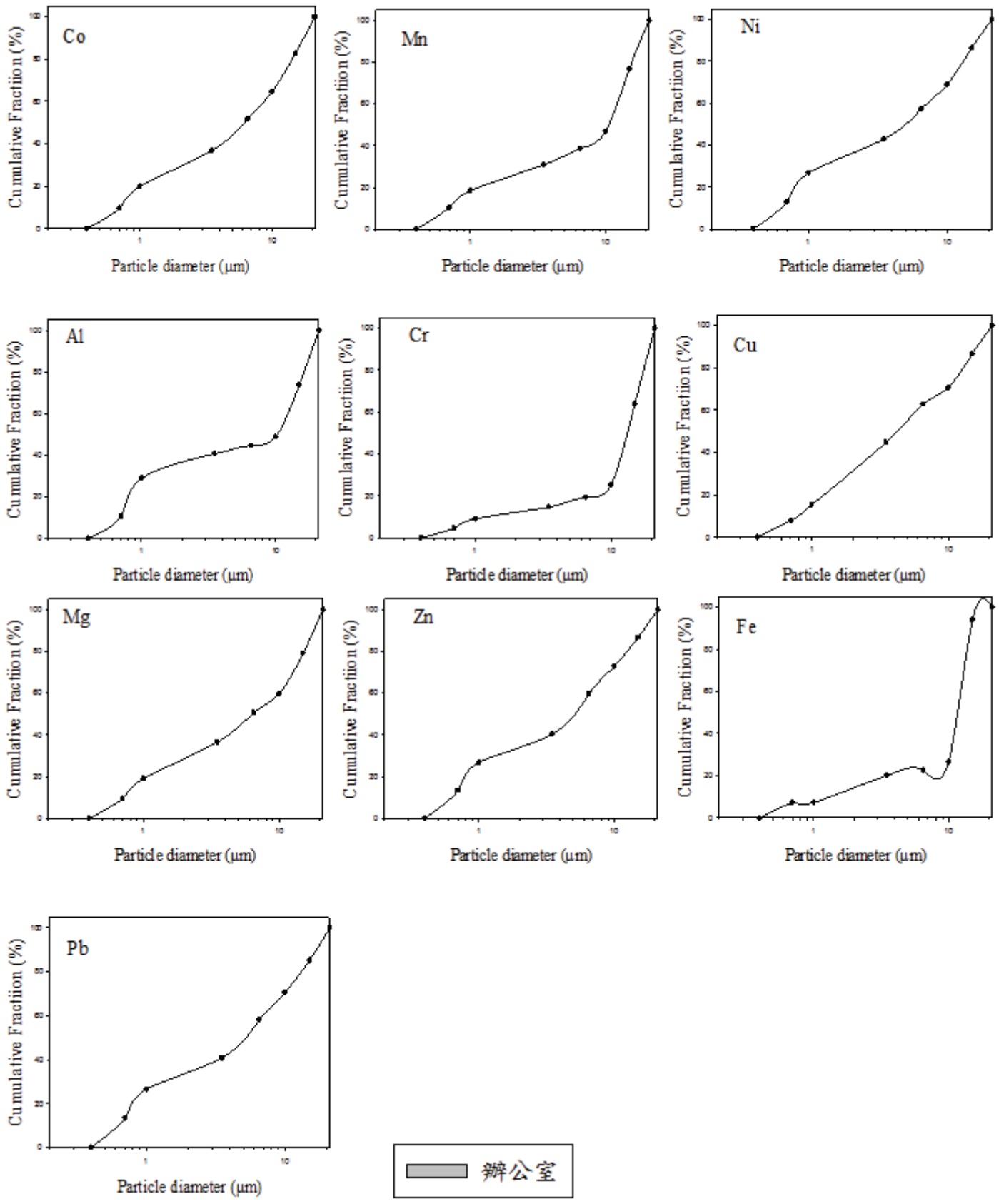


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 5)

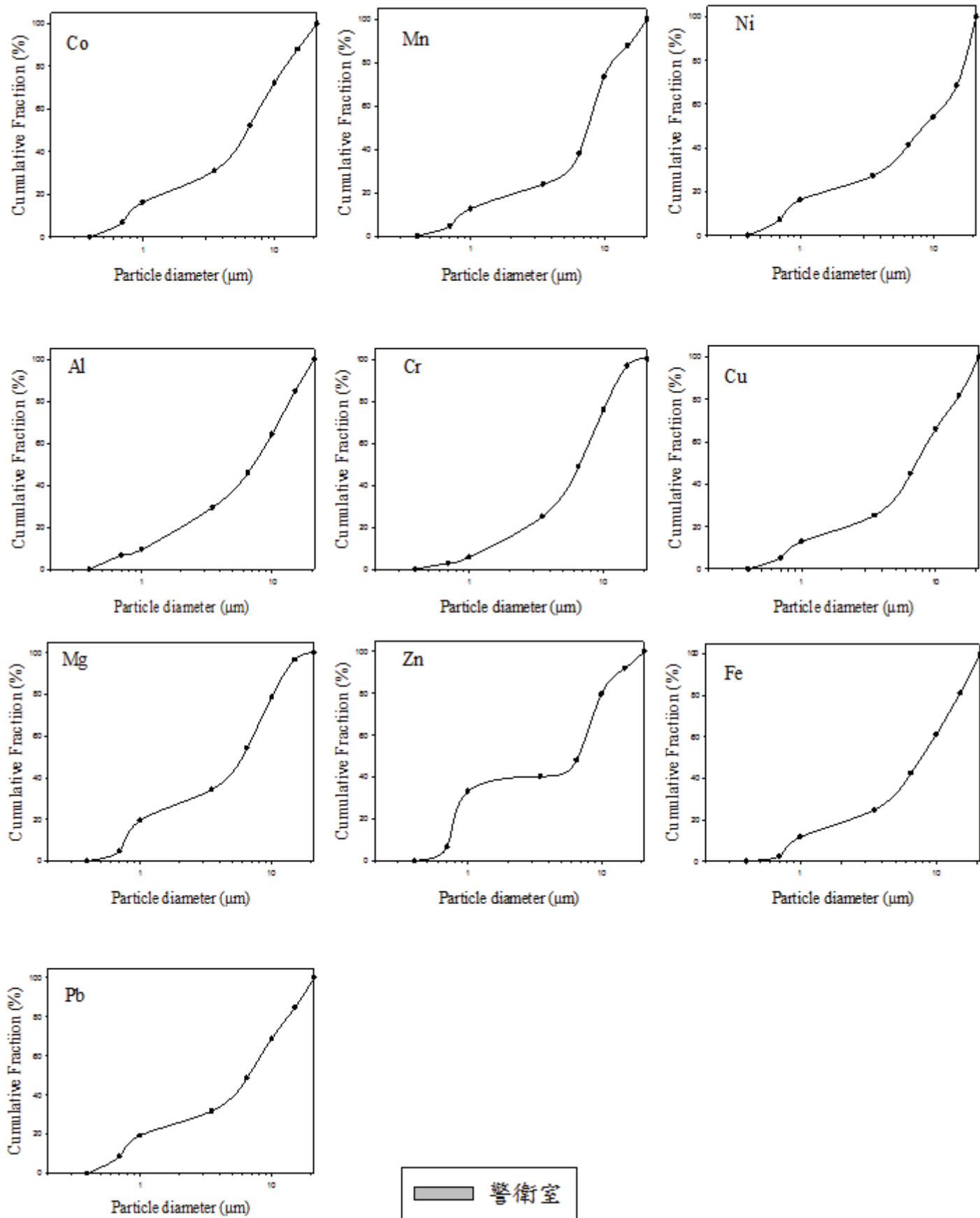


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 6)

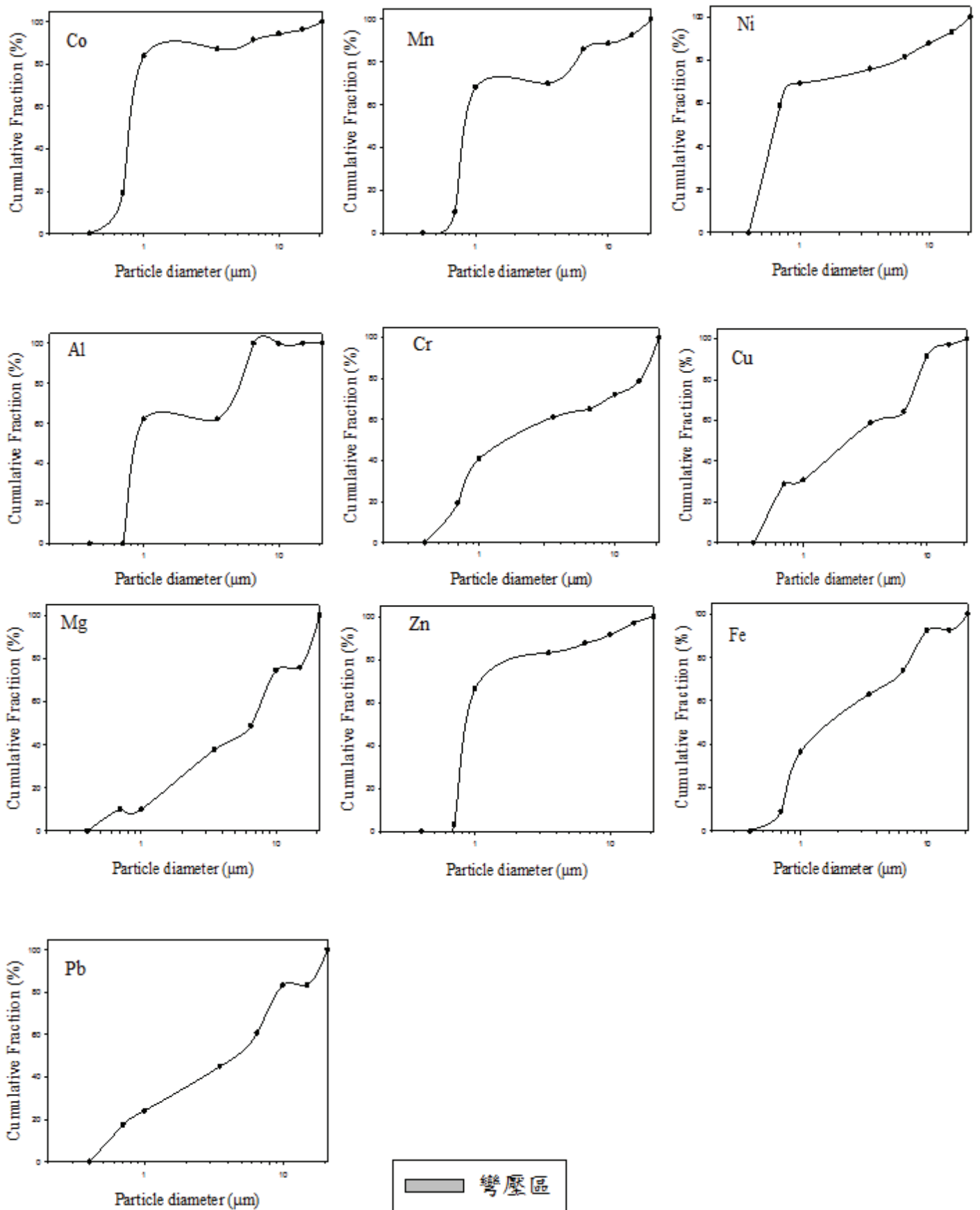


圖 26 各區域之各金屬濃度累積分佈圖 (續 7)



表 13 可吸入性採樣器重金屬濃度分佈 (單位：μg/m<sup>3</sup>)

| 廠別                     | 區域   | Ag   | Cd   | Co   | Mn     | Ni   | Al     | Cr    | Cu    | Mg    | Zn    | Fe      | As   | Pb   |
|------------------------|------|------|------|------|--------|------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|------|------|
| A 廠                    | 模具區  | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 163.20 | 0.36 | 19.36  | 1.69  | 6.07  | 18.21 | 2.08  | 471.15  | 0.08 | 3.82 |
|                        | 手動電焊 | 0.03 | 0.04 | 0.26 | 140.93 | 1.24 | 298.61 | 4.13  | 45.30 | 20.20 | 8.20  | 1466.56 | 0.14 | 5.54 |
|                        | 沖床區  | 0.03 | 0.03 | 0.15 | 276.19 | 0.87 | 18.90  | 2.55  | 18.81 | 21.67 | 4.84  | 1364.23 | 0.11 | 2.70 |
|                        | 彎壓區  | 0.02 | 0.02 | 0.15 | 140.91 | 1.05 | 15.23  | 2.22  | 10.68 | 18.83 | 3.10  | 666.04  | 0.07 | 2.10 |
|                        | 自動電焊 | 0.03 | 0.02 | 0.30 | 28.52  | 1.00 | 63.69  | 2.19  | 33.19 | 32.67 | 6.88  | 826.72  | 0.02 | 5.73 |
|                        | 辦公室  | 0.00 | 0.21 | 0.12 | 2.11   | 0.62 | 19.08  | 2.06  | 1.57  | 15.05 | 7.87  | 50.40   | 0.00 | 6.65 |
|                        | 警衛室  | 0.00 | 0.16 | 0.12 | 0.33   | 1.18 | 3.15   | 1.27  | 0.91  | 13.88 | 3.43  | 28.63   | 0.00 | 6.16 |
|                        | 粉體   | 0.04 | 0.10 | 1.85 | 205.84 | 1.62 | 416.08 | 1.80  | 25.70 | 30.81 | 28.76 | 882.33  | 0.23 | 6.61 |
| B 廠                    | 手動焊接 | 0.05 | 0.02 | 0.23 | 85.63  | 1.90 | 23.85  | 12.96 | 35.76 | 52.48 | 13.45 | 2345.64 | 0.05 | 2.10 |
|                        | 粉體   | 0.04 | 0.00 | 0.23 | 13.88  | 1.05 | 47.25  | 2.03  | 8.49  | 27.30 | 10.72 | 428.02  | 0.00 | 0.44 |
| 容許濃度 μg/m <sup>3</sup> |      | 10   | 50   | 50   | 1000   | 1000 | 1000   | 500   | 1000  | --    | --    | 5000    | 10   | 50   |

表 14 旋風分離器採樣之各區域重金屬數據(單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| 廠別                            | 區域   | Ag   | Cd   | Co   | Mn    | Ni    | Al    | Cr   | Cu    | Mg    | Zn    | Fe     | As   | Pb    |
|-------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|------|-------|
| A 廠                           | 模具區  | 0.00 | 0.02 | 0.14 | 1.26  | 0.89  | 19.13 | 1.14 | 16.53 | 20.95 | 9.88  | 49.30  | 0.00 | 0.34  |
|                               | 手動電焊 | 0.00 | 0.09 | 0.17 | 0.38  | 1.15  | 16.89 | 1.24 | 17.74 | 21.33 | 6.98  | 51.56  | 0.00 | 0.32  |
|                               | 沖床區  | 0.00 | 0.13 | 0.24 | 0.63  | 2.84  | 50.82 | 5.03 | 10.10 | 18.92 | 12.72 | 61.53  | 0.00 | 4.66  |
|                               | 彎壓區  | 0.02 | 0.15 | 0.17 | 22.18 | 1.77  | 14.29 | 3.51 | 30.61 | 12.92 | 8.55  | 374.81 | 0.01 | 5.83  |
|                               | 自動電焊 | 0.03 | 0.03 | 0.22 | 28.57 | 11.80 | 22.29 | 3.11 | 57.21 | 31.57 | 8.14  | 531.36 | 0.01 | 0.50  |
|                               | 辦公室  | 0.00 | 0.26 | 0.09 | 6.13  | 0.90  | 18.90 | 2.82 | 2.28  | 1.81  | 9.08  | 52.73  | 0.00 | 12.34 |
|                               | 警衛室  | 0.00 | 0.26 | 0.15 | 3.38  | 1.09  | 25.73 | 2.85 | 1.38  | 15.92 | 9.54  | 182.96 | 0.00 | 8.74  |
|                               | 粉體   | 0.00 | 0.29 | 0.16 | 9.90  | 1.20  | 20.33 | 1.56 | 21.57 | 8.57  | 14.43 | 600.33 | 0.00 | 12.12 |
| B 廠                           | 手動焊接 | 0.03 | 0.06 | 0.13 | 25.02 | 2.35  | 18.50 | 2.38 | 6.73  | 30.51 | 4.57  | 469.19 | 0.02 | 3.23  |
|                               | 粉體   | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 21.12 | 0.30  | 3.26  | 2.03 | 1.30  | 1.91  | 5.60  | 50.75  | 0.00 | 0.24  |
| 容許濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |      | 10   | 50   | 50   | 1000  | 1000  | 1000  | 500  | 1000  | --    | --    | 5000   | 10   | 50    |

## 第二節 生物偵測結果

### 1.基本資料結果

表 15 為 A、B 兩廠勞工之基本資料，暴露組勞工平均年齡為 34.6 歲，對照組勞工平均年齡 33.1 歲；兩組之間 BMI 沒有顯著性的差異；抽菸習慣方面，暴露組勞工有 31 位抽菸者 (42.47%)，對照組勞工有 3 位抽菸者 (5.88%)，有顯著性差異；喝酒習慣方面，暴露組勞工有 9 位有喝酒習慣 (12.33%)，對照組勞工有 2 位喝酒習慣 (3.92%)；於暴露二手菸方面，暴露組勞工有 61 位有暴露 (83.56%)，對照組勞工有 26 位有暴露 (50.98%)，結果有顯著性差異；於佩戴防護具方面，暴露組勞工有 91.78%有佩戴 (67/73 位)，對照組勞工有 27.45%有佩戴 (14/51 位)，結果有顯著性差異；於運動方面，暴露組勞工有 25 位有運動習慣 (34.25%)，對照組勞工則有 25 位 (49.02%)；於粉塵暴露方面，暴露組勞工有 65 位自覺有粉塵暴露 (89.04%)，對照組勞工有 2 位 (3.92%)，結果有顯著性差異；於嚼檳榔方面，暴露組勞工有 5 位有嚼檳榔習慣 (6.85%)，對照組勞工則無。

表 15 暴露組與對照組之基本資料

|                                      | 暴露組 (n=73)    | 對照組 (n=51)   | <i>p value</i> |
|--------------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| 年齡(year) <sup>a</sup>                | 34.58 ± 12.71 | 33.13 ± 7.10 | 0.921          |
| 性別(%) <sup>b</sup>                   |               |              |                |
| 男                                    | 59(80.82)     | 17(33.33)    | <0.001**       |
| 女                                    | 14(19.18)     | 34(66.67)    |                |
| BMI(kg/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup> | 23.39 ± 5.36  | 22.33 ± 3.85 | 0.102          |
| 腰圍(%) <sup>a</sup>                   |               |              |                |
| 男                                    | 59(80.82)     | 17(33.33)    | <0.001**       |
| 女                                    | 14(19.18)     | 34(66.67)    |                |
| 抽菸(%) <sup>b</sup>                   |               |              |                |
| 有抽                                   | 31(42.47)     | 3(5.88)      | <0.001**       |
| 沒抽                                   | 42(57.53)     | 48(94.12)    |                |
| 喝酒(%) <sup>b</sup>                   |               |              | 0.123          |

|                             |           |           |          |
|-----------------------------|-----------|-----------|----------|
| 有喝                          | 9(12.33)  | 2(3.92)   |          |
| 沒喝                          | 64(87.67) | 49(96.08) |          |
| <b>嚼檳榔(%)<sup>b</sup></b>   |           |           |          |
| 有                           | 5(6.85)   | 0(0.00)   | 0.077    |
| 沒有                          | 68(93.15) | 51(100.0) |          |
| <b>暴露二手菸(%)<sup>b</sup></b> |           |           |          |
| 有                           | 61(83.56) | 26(50.98) | <0.001** |
| 沒有                          | 12(16.44) | 25(49.02) |          |
| <b>運動(%)<sup>b</sup></b>    |           |           |          |
| 有                           | 25(34.25) | 25(49.02) | 0.136    |
| 沒有                          | 48(65.75) | 26(50.98) |          |
| <b>粉塵暴露(%)<sup>b</sup></b>  |           |           |          |
| 有                           | 65(89.04) | 2(3.92)   | <0.001** |
| 沒有                          | 8 (10.96) | 49(96.08) |          |
| <b>防護具配戴(%)<sup>b</sup></b> |           |           |          |
| 有                           | 67(91.78) | 14(27.45) | <0.001** |
| 沒有                          | 6 (8.22)  | 37(72.55) |          |
| <b>服務年資(%)<sup>b#</sup></b> |           |           |          |
| ≥3.43年                      | 15(20.55) | 15(29.41) | 0.290    |
| <3.43年                      | 58(79.45) | 36(70.59) |          |

<sup>a</sup>: mean±SD, 由 Wilcoxon test 統計方法分析

<sup>b</sup>: 利用 Fisher's Exact test 統計方法分析

<sup>#</sup>: 3.43 年為勞工工作年資之中位數

\*:  $p < 0.05$

\*\* :  $p < 0.001$

## 2.氧化性傷害

表 16 於不同年齡、抽菸習慣、喝酒習慣、防護具佩戴以及服務年資之分組中，進一步探討勞工 TMOM 與 MDA 之分佈差異。結果發現於不同抽菸習慣、嚼檳榔與服務年資分組中，其氧化傷害呈現有顯著性差異之情形 ( $p<0.05$ )，其中有抽菸者與嚼檳榔者，其 DNA 斷裂情形顯著偏高於無抽菸者與沒有嚼檳榔者，反之工作年資較低者，其 DNA 斷裂情形偏高於工作年資較高者。MDA 分析結果則顯示勞工自訴作業時有粉塵暴露者與佩戴防護具情形者其 MDA 濃度分析結果顯著高於無暴露與未配戴防護具者 ( $p<0.05$ )，然是否配戴防護具與其工作特質應為相關之結果，因此以上結果僅可顯示粉塵暴露可能影響體內 MDA 濃度。

表 16 勞工之不同年齡與個人生活習慣對於 TMOM 與 MDA 長度之分佈影響

|            | TMOM |             |          | MDA <sup>a</sup> |             |         |
|------------|------|-------------|----------|------------------|-------------|---------|
|            | n    | mean±SD     | p value  | n                | mean±SD     | p value |
| 性別         |      |             |          |                  |             |         |
| 男          | 76   | 6.91 ± 3.66 | <0.001** | 76               | 8.09 ± 1.67 | 0.009*  |
| 女          | 48   | 4.56 ± 2.57 |          | 48               | 6.89 ± 2.34 |         |
| 年齡 (years) |      |             |          |                  |             |         |
| ≥33.99     | 50   | 6.34 ± 3.56 | 0.280    | 50               | 7.97 ± 1.87 | 0.135   |
| <33.99     | 74   | 5.77 ± 3.41 |          | 74               | 7.39 ± 2.12 |         |
| 抽菸習慣       |      |             |          |                  |             |         |
| 是          | 34   | 7.62 ± 3.78 | <0.001** | 34               | 7.96 ± 1.64 | 0.242   |
| 否          | 90   | 5.38 ± 3.15 |          | 90               | 7.49 ± 2.16 |         |
| 喝酒習慣       |      |             |          |                  |             |         |
| 是          | 11   | 6.46 ± 3.41 | 0.452    | 11               | 7.66 ± 1.45 | 0.574   |
| 否          | 113  | 5.95 ± 3.48 |          | 113              | 7.62 ± 2.09 |         |
| 運動         |      |             |          |                  |             |         |
| 是          | 50   | 6.34 ± 3.66 | 0.409    | 50               | 7.90 ± 1.97 | 0.363   |
| 否          | 74   | 5.77 ± 3.33 |          | 74               | 7.44 ± 2.07 |         |

|                   |     |             |               |     |             |               |
|-------------------|-----|-------------|---------------|-----|-------------|---------------|
| 嚼檳榔               |     |             |               |     |             |               |
| 是                 | 5   | 9.66 ± 3.13 | <b>0.018*</b> | 5   | 8.67 ± 1.89 | 0.278         |
| 否                 | 119 | 5.84 ± 3.41 |               | 119 | 7.58 ± 2.03 |               |
| 服務年資 <sup>#</sup> |     |             |               |     |             |               |
| ≥1.02 年           | 93  | 5.64 ± 3.39 | <b>0.022*</b> | 93  | 7.78 ± 1.67 | 0.740         |
| <1.02 年           | 31  | 7.07 ± 3.51 |               | 31  | 7.16 ± 2.85 |               |
| 粉塵暴露              |     |             |               |     |             |               |
| 是                 | 67  | 6.18 ± 3.42 | 0.316         | 67  | 8.20 ± 1.56 | <b>0.005*</b> |
| 否                 | 57  | 5.78 ± 3.53 |               | 57  | 6.95 ± 2.31 |               |
| 防護具佩戴             |     |             |               |     |             |               |
| 是                 | 81  | 6.51 ± 3.79 | 0.052         | 81  | 8.02 ± 2.39 | <b>0.032*</b> |
| 否                 | 43  | 5.04 ± 2.52 |               | 43  | 6.87 ± 2.92 |               |

<sup>a</sup>: μM

<sup>#</sup>: 1.02 年為勞工工作年資之 75 百分位

\*:  $p < 0.05$

\*\* :  $p < 0.001$

備註:由 Wilcoxon test 統計方法分析，年齡以平均為分組

### 3.染色體末端長度之分析結果

表 17 於不同年齡、抽菸習慣、喝酒習慣、防護具佩戴以及服務年資之分組中，進一步探討勞工染色體端粒長度之分佈差異。結果發現以平均年齡（33.99 歲）進行分組，高年齡勞工之染色體端粒長度有顯著性低於低年齡組之情形 ( $p < 0.001$ )。而有抽菸習慣、有嚼檳榔與服務年資較長者，其染色體端粒長度有顯著性較低之情形 ( $p < 0.05$ )；另勞工作業時是否有粉塵暴露與佩戴防護具情形也有顯著性之影響 ( $p < 0.05$ )。以上結果顯示高年齡、抽菸習慣、嚼檳榔習慣、防護具佩戴以及服務年資都會影響染色體端粒長度。

表 17 勞工個人生活習慣與染色體末端長度之分佈情形

| Telomere length <sup>a</sup> |     |              |                    |
|------------------------------|-----|--------------|--------------------|
|                              | n   | mean±SD      | p value            |
| 性別                           |     |              |                    |
| 男                            | 76  | 9.95 ± 3.17  | <b>0.007*</b>      |
| 女                            | 48  | 11.75 ± 3.94 |                    |
| 年齡 (years)                   |     |              |                    |
| ≥33.99                       | 50  | 8.99 ± 2.51  | <b>&lt;0.001**</b> |
| <33.99                       | 74  | 11.76 ± 3.77 |                    |
| 抽菸習慣                         |     |              |                    |
| 是                            | 34  | 9.41 ± 2.52  | <b>0.034*</b>      |
| 否                            | 90  | 11.11 ± 3.81 |                    |
| 喝酒習慣                         |     |              |                    |
| 是                            | 11  | 9.26 ± 2.40  | 0.142              |
| 否                            | 113 | 10.78 ± 3.65 |                    |
| 嚼檳榔                          |     |              |                    |
| 是                            | 5   | 8.96 ± 3.49  | <b>0.050*</b>      |
| 否                            | 119 | 10.71 ± 3.58 |                    |
| 運動                           |     |              |                    |
| 是                            |     |              | 0.574              |
| 否                            | 50  | 10.42 ± 3.50 |                    |
|                              | 74  | 10.80 ± 3.64 |                    |
| 粉塵暴露                         |     |              |                    |
| 是                            | 67  | 9.80 ± 3.09  | <b>0.004*</b>      |
| 否                            | 57  | 11.64 ± 3.87 |                    |
| 防護具佩戴                        |     |              |                    |
| 是                            | 81  | 10.21 ± 3.42 | <b>0.037*</b>      |
| 否                            | 43  | 11.46 ± 3.77 |                    |
| 服務年資                         |     |              |                    |
| ≥1.02 年                      | 93  | 10.24 ± 3.37 | <b>0.013*</b>      |

|         |    |              |
|---------|----|--------------|
| <1.02 年 | 31 | 11.86 ± 3.96 |
|---------|----|--------------|

<sup>a</sup>; kbp (kilo base pair)

\*:  $p < 0.05$

\*\*:  $p < 0.001$

備註:由 Wilcoxon test 統計方法分析，年齡以平均為分組

#### 4. TNF- $\alpha$ 傷害之分析結果

表 18 於不同年齡、抽菸習慣、喝酒習慣、防護具佩戴以及服務年資之分組中，進一步探討勞工 TNF- $\alpha$  之分佈差異。結果發現勞工有抽菸喝酒習慣與服務年資較長者，其 TNF- $\alpha$  濃度顯著較高 ( $p < 0.05$ )；另勞工作業時是否有粉塵暴露與佩戴防護具情形也有顯著性差異 ( $p < 0.05$ )。以上結果顯示抽菸習慣、喝酒習慣、粉塵暴露以及防護具佩戴都會影響 TNF- $\alpha$ 。

表 18 勞工個人生活習慣與 TNF- $\alpha$  之分佈情形

|            | TNF- $\alpha$ <sup>a</sup> |             |               |
|------------|----------------------------|-------------|---------------|
|            | n                          | mean±SD     | p value       |
| 性別         |                            |             |               |
| 男          | 74                         | 1.55 ± 2.02 | <b>0.014*</b> |
| 女          | 48                         | 1.10 ± 2.64 |               |
| 年齡 (years) |                            |             |               |
| ≥33.99     | 49                         | 1.06 ± 1.47 | 0.167         |
| <33.99     | 73                         | 1.58 ± 2.68 |               |
| 抽菸習慣       |                            |             |               |
| 是          | 34                         | 1.82 ± 2.12 | <b>0.030*</b> |
| 否          | 88                         | 1.20 ± 2.33 |               |
| 喝酒習慣       |                            |             |               |
| 是          | 11                         | 3.38 ± 3.60 | <b>0.028*</b> |
| 否          | 111                        | 1.17 ± 2.03 |               |
| 嚼檳榔        | 5                          | 2.84 ± 2.81 | 0.132         |



|         |     |             |                    |
|---------|-----|-------------|--------------------|
| 是       | 117 | 1.31 ± 2.25 |                    |
| 否       |     |             |                    |
| 運動      |     |             |                    |
| 是       | 48  | 1.01 ± 1.26 | 0.194              |
| 否       | 74  | 1.60 ± 2.73 |                    |
| 粉塵暴露    |     |             |                    |
| 是       | 67  | 1.90 ± 2.92 | <b>&lt;0.001**</b> |
| 否       | 55  | 0.73 ± 0.71 |                    |
| 防護具佩戴   |     |             |                    |
| 是       | 80  | 1.56 ± 2.62 | <b>0.048*</b>      |
| 否       | 42  | 1.00 ± 1.40 |                    |
| 服務年資    |     |             |                    |
| ≥1.02 年 | 91  | 1.45 ± 2.53 | 0.613              |
| <1.02 年 | 31  | 1.15 ± 1.33 |                    |

<sup>a</sup>: pg/ml

\*:  $p < 0.05$

\*\* :  $p < 0.001$

備註:由 Wilcoxon test 統計方法分析，年齡以平均為分組

## 5. hs-CRP 分佈情形

表 19 於不同年齡、抽菸習慣、喝酒習慣、防護具佩戴以及服務年資之分組中，進一步探討勞工 hs-CRP 之分佈差異。結果發現均無顯著性差異。

表 19 勞工個人生活習慣與 hs-CRP 之分佈情形

|    | hs-CRP <sup>a</sup> |             |               |
|----|---------------------|-------------|---------------|
|    | n                   | mean±SD     | p value       |
| 性別 |                     |             |               |
| 男  | 76                  | 4.19 ± 4.71 | <b>0.024*</b> |
| 女  | 45                  | 3.32 ± 4.87 |               |

|            |     |             |       |
|------------|-----|-------------|-------|
| 年齡 (years) |     |             |       |
| ≥33.99     | 49  | 4.48 ± 4.81 | 0.053 |
| <33.99     | 72  | 3.45 ± 4.73 |       |
| 抽菸習慣       |     |             |       |
| 是          | 34  | 4.30 ± 4.94 | 0.145 |
| 否          | 87  | 3.70 ± 4.72 |       |
| 喝酒習慣       |     |             |       |
| 是          | 11  | 5.77 ± 6.76 | 0.360 |
| 否          | 110 | 3.68 ± 4.52 |       |
| 運動         |     |             |       |
| 是          | 48  | 4.60 ± 5.30 | 0.382 |
| 否          | 73  | 3.39 ± 4.36 |       |
| 嚼檳榔        |     |             |       |
| 是          | 5   | 6.05 ± 7.23 | 0.329 |
| 否          | 116 | 3.77 ± 4.66 |       |
| 服務年資       |     |             |       |
| ≥1.02 年    | 90  | 3.49 ± 4.59 | 0.099 |
| <1.02 年    | 31  | 4.97 ± 5.19 |       |
| 粉塵暴露       |     |             |       |
| 是          | 67  | 3.29 ± 4.44 | 0.387 |
| 否          | 54  | 4.58 ± 5.10 |       |
| 防護具佩戴      |     |             |       |
| 是          | 79  | 3.68 ± 4.61 | 0.961 |
| 否          | 42  | 4.23 ± 5.09 |       |

<sup>a</sup>; µg/ml

\*:  $p < 0.05$

備註:由 Wilcoxon test 統計方法分析，年齡以平均為分組

## 6. 各生物偵測指標之相關性

由表 20 可看出暴露組與對照組勞工血液中 MDA(µM)、DNA strand breaks、

TNF- $\alpha$  (pg/ml) 值均高於行政人員，MDA 以暴露組 (8.09 $\mu$ M)為最高，對照組勞工為 (5.56 $\mu$ M)；DNA strand breaks 則以暴露組 (6.31)為最高，對照組勞工為 (4.99)；TNF- $\alpha$ (pg/ml)以暴露組勞工較高 (1.85 $\mu$ g/ml)，對照組勞工為 (0.65 $\mu$ g/ml)，其結果顯示暴露組勞工有顯著偏高於對照組勞工；染色體端粒長度 (kpb)則以對照組勞工 11.63 kpb 較長；hs-CRP( $\mu$ g/ml)以對照組勞工較高 (4.38 $\mu$ g/ml)，暴露組勞工為 (3.53 $\mu$ g/ml)。整體而言，勞工之職業暴露對於氧化傷害、發炎指標與染色體端粒長度皆有影響。

表 20 健身器材廠暴露組與對照組之血液中氧化性傷害與心血管疾病及肺部發炎反應之分析

|                       | 暴露組(n=73)       | 對照組(n=51)             | p value           |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| MDA( $\mu$ M)         | 8.09 $\pm$ 1.66 | 5.56 $\pm$ 3.12       | <b>0.015*</b>     |
| TMOM(tail moment)     | 6.31 $\pm$ 3.68 | 4.99 $\pm$ 2.46       | 0.229             |
| hs-CRP( $\mu$ g/ml)   | 3.53 $\pm$ 4.50 | 4.38 $\pm$ 5.16(n=48) | 0.832             |
| TNF- $\alpha$ (pg/ml) | 1.85 $\pm$ 2.81 | 0.65 $\pm$ 0.65(n=49) | <b>&lt;0.001*</b> |
| Telomere length (kpb) | 9.95 $\pm$ 3.09 | 11.63 $\pm$ 4.01      | <b>0.013*</b>     |

<sup>a</sup>: mean $\pm$ SD, 由 Wilcoxon test 統計方法分析

\*:  $p < 0.05$

表 21 為將暴露組 (n=73)與對照組 (n=51) DNA strand breaks (tail moment)、hs-CRP、TNF- $\alpha$ 、染色體端粒長度進行相關性分析，結果顯示勞工體內 hs-CRP 與 DNA strand breaks (tail moment)其呈現顯著正相關 ( $p < 0.05$ )。

表 21 勞工氧化性傷害之相關性

| r               | TNF- $\alpha$ | TMOM         | Telomere length | MDA    |
|-----------------|---------------|--------------|-----------------|--------|
| hs-CRP          | 0.08          | <b>0.26*</b> | -0.08           | 0.11   |
| TNF- $\alpha$   |               | 0.03         | -0.04           | -0.01  |
| TMOM            |               |              | -0.13           | <0.001 |
| Telomere length |               |              |                 | -0.08  |

\*:  $p < 0.05$

備註：利用 Spearman's test 統計方法分析

### 7. 勞工生活習慣與氧化性傷害與心血管疾病及肺部發炎反應複回歸分析

從表 22 到 26 的結果顯示，於性別及抽菸習慣中，其氧化傷害呈現有顯著性相關之情形 ( $p < 0.05$ )。MDA 分析結果則顯示，粉塵暴露可能影響體內 MDA 濃度。而染色體端粒長度與服務年資方面有顯著性相關之情形 ( $p < 0.05$ )。在 TNF- $\alpha$  方面，發現勞工與年齡、喝酒與粉塵暴露皆有顯著性相關之情形 ( $p < 0.05$ )。從 hs-CRP 結果發現均無顯著性相關。

表 22 勞工生活習慣與 TMOM 之複回歸關係 ( $R^2=0.191$ ,  $p$  value  $< 0.001$ )

| 依變項  | 自變項       | $\beta$ | P value           |
|------|-----------|---------|-------------------|
| TMOM | intercept | 9.867   | <b>&lt;0.001*</b> |
|      | 性別        | 0.882   | <b>0.008*</b>     |
|      | 嚼檳榔       | -1.304  | 0.093             |
|      | 抽菸        | -3.138  | <b>0.006*</b>     |

\*:  $p < 0.05$

表 23 勞工生活習慣與 MDA 之複回歸關係 ( $R^2=0.135$ ,  $p$  value = 0.002)

| 依變項 | 自變項       | $\beta$ | P value           |
|-----|-----------|---------|-------------------|
| MDA | intercept | 6.555   | <b>&lt;0.001*</b> |
|     | 性別        | 0.429   | 0.051             |
|     | 抽菸        | 1.022   | 0.136             |
|     | 粉塵暴露      | -0.473  | <b>0.021*</b>     |

\*:  $p < 0.05$

表 24 勞工生活習慣與 TL 之複回歸關係 ( $R^2=0.202$ ,  $p$  value  $< 0.001$ )

| 依變項 | 自變項 | $\beta$ | P value |
|-----|-----|---------|---------|
|-----|-----|---------|---------|

|    |           |        |               |
|----|-----------|--------|---------------|
| TL | intercept | 9.656  | <0.001*       |
|    | 年齡分組 mean | -0.765 | 0.032         |
|    | 粉塵暴露      | 0.792  | 0.008         |
|    | 服務年資 25%  | -1.195 | <b>0.001*</b> |

\*: p<0.05

表 25 勞工生活習慣與 TNF- $\alpha$  之複回歸關係 (R<sup>2</sup>=0.160, p value<0.001)

| 依變項           | 自變項       | $\beta$ | P value       |
|---------------|-----------|---------|---------------|
| TNF- $\alpha$ | intercept | 1.821   | <0.001*       |
|               | 年齡分組 mean | -0.530  | <b>0.022*</b> |
|               | 喝酒        | -0.956  | <b>0.006*</b> |
|               | 粉塵暴露      | -0.562  | <b>0.005*</b> |

\*: p<0.05

表 26 勞工生活習慣與 hs-CRP 之複回歸關係 (R<sup>2</sup>=0.050, p value=0.051)

| 依變項    | 自變項       | $\beta$ | P value |
|--------|-----------|---------|---------|
| hs-CRP | intercept | 3.734   | <0.001* |
|        | 性別        | 0.983   | 0.053   |
|        | 粉塵暴露      | 1.104   | 0.026   |

\*: p<0.05

### 第三節 勞工血液重金屬

表 27 為 A 廠電鍍部門、噴漆部門、行政部門之勞工血液重金屬濃度分析，結果顯示電鍍部門的重金屬 Cr 有顯著偏高於其他部門；噴漆部門的重金屬 Mn 有顯著偏高於其他部門；其他重金屬濃度在行政部門皆高於另兩個部門。重金屬 Fe、Cu、Zn、Cd、Mg、As 濃度於三部門皆有顯著性差異。

表 27 A 廠之勞工血液重金屬濃度與部門差異分析

|           | 電銲(n=51)      | 噴漆(n=6)       | 行政(n=49)      | p value           |
|-----------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| Cr (µg/L) | 2.65 ± 2.10   | 2.29 ± 0.60   | 2.17 ± 3.32   | <b>0.004*</b>     |
| Fe (mg/L) | 495.9 ± 95.6  | 553.47 ± 51.3 | 901.4 ± 205.4 | <b>&lt;0.001*</b> |
| Co (µg/L) | 16.30 ± 1.81  | 14.96 ± 1.65  | 16.93 ± 5.69  | 0.239             |
| Cu (µg/L) | 600.3 ± 162.5 | 576.3 ± 33.4  | 895.8 ± 190.3 | <b>&lt;0.001*</b> |
| Zn (mg/L) | 4.86 ± 1.05   | 5.34 ± 0.51   | 6.65 ± 1.52   | <b>&lt;0.001*</b> |
| Mn (µg/L) | 16.54 ± 7.52  | 17.82 ± 2.53  | 13.99 ± 9.94  | <b>0.007*</b>     |
| Ag (µg/L) | 2.57 ± 10.88  | 0.30 ± 0.39   | 7.85 ± 26.26  | 0.291             |
| Cd (µg/L) | 0.88 ± 1.50   | 0.56 ± 0.50   | 2.60 ± 3.81   | <b>0.020*</b>     |
| Mg (mg/L) | 35.55 ± 5.79  | 37.72 ± 2.88  | 59.93 ± 9.42  | <b>&lt;0.001*</b> |
| As (µg/L) | 9.06 ± 2.14   | 11.65 ± 2.02  | 12.04 ± 4.85  | <b>&lt;0.001*</b> |

※mean±SD, 由 Wilcoxon test 統計方法分析

\*:  $p < 0.05$

由表 28 進行 B 廠電銲部門、行政部門之勞工血液重金屬濃度分析，結果顯示電銲部門的重金屬 Fe、Co、Cu、Zn、Mn 高於行政部門，其 Fe、Cu 更有顯著性差異。

表 28 B 廠之勞工血液重金屬濃度與部門差異分析

|           | 電銲 (n=12)    | 行政 (n=4)      | p value       |
|-----------|--------------|---------------|---------------|
| Cr (µg/L) | 0            | 0             | --            |
| Fe (mg/L) | 55.01 ± 7.12 | 32.87 ± 18.96 | <b>0.008*</b> |
| Co (µg/L) | 8.43 ± 2.49  | 7.98 ± 1.98   | 0.808         |
| Cu (µg/L) | 564.5 ± 25.2 | 456.4 ± 100.8 | <b>0.004*</b> |
| Zn (mg/L) | 0.42 ± 0.06  | 0.38 ± 0.09   | 0.225         |
| Mn (µg/L) | 16.73 ± 3.73 | 12.17 ± 4.49  | 0.146         |
| Ag (µg/L) | 0            | 0             | --            |
| Cd (µg/L) | 0            | 0             | --            |
| Mg (mg/L) | 194.6 ± 16.6 | 217.7 ± 24.0  | 0.089         |

|           |   |   |    |
|-----------|---|---|----|
| As (µg/L) | 0 | 0 | -- |
|-----------|---|---|----|

※mean±SD, 由 Wilcoxon test 統計方法分析

\*:  $p < 0.05$ ; --: 未進行統計

表 29 將暴露組勞工分為無配戴防護具及配戴防護具，對照組勞工亦同。結果顯示暴露組勞工無配戴防護具者其 Cr、Fe、Co、Cu、Zn、Mn、Cd、As 濃度高於暴露組勞工配戴防護具者，其中以 Fe、Zn、Cd 達到顯著差異；對照組勞工配戴防護具者 Mg 顯著高於對照組勞工無配戴防護具者。此結果顯示現場勞工如有配戴呼吸防護具，其體內重金屬均有顯著較低之現象，因此配戴呼吸防護具可能為有效之防護重金屬暴露之方法。

表 29 勞工血液重金屬濃度與防護具使用分析

|                  | 暴露組勞工<br>無配戴防護具<br>(n=6) | 暴露組勞工<br>配戴防護具<br>(n=67) | p-value       | 對照組勞工<br>無配戴防護具<br>(n=37) | 對照組勞工<br>配戴防護具<br>(n=14) | p-value |
|------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|---------|
| <b>Cr (µg/L)</b> | 3.66 ± 2.39              | 2.10 ± 2.04              | 0.126         | 2.16 ± 3.57               | 1.53 ± 2.32              | 0.925   |
| <b>Fe (mg/L)</b> | 680.1 ± 205.3            | 418.6 ± 189.3            | <b>0.005*</b> | 876.7 ± 215.1             | 726.6 ± 468.0            | 0.916   |
| <b>Co (µg/L)</b> | 17.75 ± 5.03             | 14.78 ± 3.58             | 0.228         | 16.73 ± 5.94              | 14.42 ± 5.53             | 0.311   |
| <b>Cu (µg/L)</b> | 747.6 ± 252.2            | 592.9 ± 141.9            | 0.192         | 897.1 ± 210.6             | 743.9 ± 208.5            | 0.080   |
| <b>Zn (mg/L)</b> | 5.99 ± 0.93              | 4.07 ± 1.94              | <b>0.006*</b> | 6.50 ± 1.56               | 5.33 ± 3.43              | 0.899   |
| <b>Mn (µg/L)</b> | 18.01 ± 4.56             | 16.85 ± 6.88             | 0.252         | 12.36 ± 5.16              | 17.46 ± 16.59            | 0.370   |
| <b>Ag (µg/L)</b> | 1.25 ± 3.07              | 2.02 ± 9.53              | 0.664         | 9.87 ± 30.00              | 0.86 ± 1.94              | 0.989   |
| <b>Cd (µg/L)</b> | 2.45 ± 3.34              | 0.66 ± 1.33              | <b>0.034*</b> | 2.54 ± 4.08               | 1.74 ± 2.26              | 0.647   |
| <b>Mg (mg/L)</b> | 46.58 ± 10.31            | 64.12 ± 61.99            | 0.113         | 59.47 ± 9.89              | 106.7 ± 74.03            | 0.043*  |
| <b>As (µg/L)</b> | 11.56 ± 4.79             | 7.67 ± 4.12              | 0.165         | 11.87 ± 4.99              | 8.76 ± 6.75              | 0.213   |

※ mean±SD, 由 Wilcoxon test 統計方法分析 \* :  $p < 0.05$



## 1. 勞工氧化性傷害與血液重金屬

表 30 結果為電鍍部門作業勞工體內 DNA strand breaks (tail moment)、hs-CRP、TNF- $\alpha$ 、染色體端粒長度與血液重金屬進行相關性分析，結果顯示在電鍍部門勞工體內 DNA strand breaks 與 Mg 濃度呈現顯著正相關 ( $p<0.05$ )，代表 Mg 增加會導致 DNA strand breaks 上升；MDA 與 Mn、Ag 呈現顯著正相關 ( $p<0.05$ )，表示 Mn、Ag 增加會導致 MDA 濃度之上升；TNF- $\alpha$  與 Fe、Zn 呈現顯著正相關 ( $p<0.05$ )，代表 Fe、Zn 增加可能會使 TNF- $\alpha$  上升；hs-CRP 與 Cu、Mn、Ag、Mg 呈現顯著正相關 ( $p<0.05$ )，代表 Cu、Mn、Ag、Mg 增加可能會使 hs-CRP 上升；Telomere length 與 Cr、Fe、Co、Zn 呈現顯著正相關 ( $p<0.05$ )，代表 Cr、Fe、Co、Zn 暴露增加可能不易使 Telomere length 變短，而與 Mg 呈現顯著負相關 ( $p<0.05$ )，代表 Mg 增加會導致 Telomere length 變短。

表 30 電鍍部門之血液重金屬濃度與氧化性傷害相關性分析 (n=63)

|                        | TMOM         | MDA          | TNF- $\alpha$ | hs-CRP       | TL 長度         |
|------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Cr ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.05        | 0.08         | 0.21          | 0.14         | <b>0.25*</b>  |
| Fe (mg/L)              | -0.22        | 0.10         | <b>0.25*</b>  | <0.01        | <b>0.39*</b>  |
| Co ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.18        | -0.23        | 0.20          | 0.22         | <b>0.26*</b>  |
| Cu ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.01        | 0.06         | -0.04         | <b>0.35*</b> | -0.12         |
| Zn (mg/L)              | -0.18        | 0.05         | <b>0.25*</b>  | 0.09         | <b>0.25*</b>  |
| Mn ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0.03         | <b>0.35*</b> | -0.12         | <b>0.30*</b> | -0.12         |
| Ag ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.07        | <b>0.28*</b> | -0.03         | <b>0.29*</b> | 0.18          |
| Cd ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0.15         | 0.11         | 0.02          | 0.10         | 0.09          |
| Mg (mg/L)              | <b>0.25*</b> | 0.23         | -0.24         | <b>0.26*</b> | <b>-0.54*</b> |
| As ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.17        | -0.14        | 0.16          | 0.02         | 0.22          |

\*:  $p<0.05$

備註：利用 Spearman's test 統計方法分析

表 31 人體血液金屬正常值範圍 (µg/L)

| Mg    | Fe       | Mn     | Zn       |
|-------|----------|--------|----------|
| 18-23 | 2.1-15.1 | 0.0265 | 800-1200 |

表 32 為扣除低於人體血液正常值後，取數值在 75%以上之勞工。結果顯示，在電鍍部門勞工 Telomere length 與 Mg 呈現顯著正相關 ( $p < 0.05$ )，代表 Mg 增加可能為 Telomere length 變短之保護因子。

表 32 電鍍部門勞工其血液重金屬濃度高於國人背景值者其血液重金屬濃度與體內氧化性傷害之相關性分析 (n=15)

|                  | TMOM  | MDA   | TNF- $\alpha$ | hs-CRP | TL 長度        |
|------------------|-------|-------|---------------|--------|--------------|
| <b>Fe</b>        | -0.24 | -0.10 | -0.22         | 0.08   | -0.11        |
| <b>Zn (n=17)</b> | 0.16  | 0.11  | -0.19         | 0.10   | -0.05        |
| <b>Mn</b>        | -0.41 | -0.13 | -0.51         | -0.18  | 0.32         |
| <b>Mg</b>        | 0.32  | 0.42  | -0.47         | -0.30  | <b>0.51*</b> |

\*:  $p < 0.05$

備註：利用 Spearman's test 統計方法分析

表 33 結果為噴漆部門作業勞工體內 DNA strand breaks (tail moment)、hs-CRP、TNF- $\alpha$ 、染色體端粒長度與血液重金屬之相關性分析結果，結果顯示在噴漆部門勞工體內 DNA strand breaks 與 Cr、Ag 呈現顯著正相關 ( $p < 0.05$ )，代表 Cr、Ag 增加會導致 DNA strand breaks 上升；TNF- $\alpha$  與 Cr 呈現顯著正相關 ( $p < 0.05$ )，代表 Cr 增加可能會使 TNF- $\alpha$  上升；hs-CRP 與 As 呈現顯著正相關

( $p < 0.05$ )，代表 As 增加可能會使 hs-CRP 上升；Telomere length 與 Cr、Co 呈現顯著負相關 ( $p < 0.05$ )，代表 Cr、Co 增加會導致 Telomere length 變短。然因噴漆部門僅 6 人參與本計畫，其暴露與傷害之關係性需增加研究對象人數以進一步探討。

表 33 噴漆部門之血液重金屬濃度與氧化性傷害相關性分析 (n=6)

|                        | TMOM         | MDA   | TNF- $\alpha$ | hs-CRP       | TL 長度         |
|------------------------|--------------|-------|---------------|--------------|---------------|
| Cr ( $\mu\text{g/L}$ ) | <b>0.83*</b> | -0.60 | <b>0.83*</b>  | 0.43         | <b>-0.82*</b> |
| Fe (mg/L)              | 0.14         | -0.60 | 0.31          | -0.09        | 0.33          |
| Co ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0.31         | 0.03  | 0.20          | 0.49         | <b>-0.88*</b> |
| Cu ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.31        | 0.26  | -0.31         | 0.26         | -0.39         |
| Zn (mg/L)              | 0.14         | -0.31 | 0.20          | 0.66         | -0.33         |
| Mn ( $\mu\text{g/L}$ ) | -0.31        | 0.09  | -0.23         | 0.17         | -0.24         |
| Ag ( $\mu\text{g/L}$ ) | <b>0.84*</b> | -0.46 | 0.61          | 0.64         | -0.65         |
| Cd ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0.60         | -0.31 | 0.66          | 0.66         | -0.21         |
| Mg (mg/L)              | -0.14        | -0.20 | 0.14          | -0.49        | 0.52          |
| As ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0.37         | -0.37 | 0.14          | <b>0.89*</b> | -0.21         |

\*:  $p < 0.05$

備註：利用 Spearman's test 統計方法分析

## 2. 職業暴露指標與生物偵測之相關性分析結果

表 34 暴露指標--血中 Mn 與可吸入性粉塵-Mn (IOM-Mn) 及可呼吸性粉塵-Mn (Cyclone-Mn)之相關性分析結果

| 空氣暴露濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 服務年資(year)         | 防護具使用情形  |
|------------------------------------|--------------------|--|
| 根據不同樣品之重金屬、ROS 分析濃度                | 依問卷調查得知個勞工在廠區服務年資。 | 問卷得知勞工有無佩帶防護具給分<br>有配戴 $\times 0.1$<br>沒有配戴 $\times 1$ |

備註：暴露指標 = 空氣濃度 $\times$ 服務年資 $\times$ 防護具使用之情形

表 35 為將勞工血中 Mn 濃度與 IOM-Mn、Cyclone-Mn 之暴露指標進行相關性分析，結果顯示血中 Mn 濃度與 IOM-Mn、Cyclon-Mn 均無統計上之相關性。此結果表示整合職業場所之暴露因子後，可吸入性粉塵-Mn 及可呼吸性粉塵-Mn 濃度不會影響勞工血中 Mn 濃度。

表 35 血中 Mn 與 IOM-Mn 及 Cyclon-Mn 相關性分析

| r     | IOM-Mn * | Cyclone-Mn * |
|-------|----------|--------------|
| 血中 Mn | 0.074    | 0.142        |

備註：利用 Spearman's test 統計方法分析

\*：經過暴露指標加權過後之結果

表 36 為將勞工血中 Mn、IOM-Mn、Cyclon-Mn、粒狀 ROS 與 DNA strand breaks、MDA、8-OH-dG、染色體端粒長度、hs-CRP、TNF- $\alpha$  進行相關性分析，

結果顯示勞工體內 MDA 與血中 Mn 濃度呈現顯著正相關 ( $p<0.05$ )，代表血中 Mn 濃度越高會導致勞工體內 MDA 濃度上升，而 MDA 與粒狀 ROS 呈現顯著負相關 ( $p<0.05$ )，代表粒狀 ROS 越高會導致勞工體內 MDA 濃度下降；染色體端粒長度與 IOM-Mn、Cyclon-Mn、粒狀 ROS 呈現顯著負相關 ( $p<0.05$ )，代表勞工暴露於空氣中之 Mn 與粒狀 ROS 會導致染色體端粒長度變短。此整合性結果顯示勞工之職業錳金屬與粒狀 ROS 之暴露會導致勞工體內氧化傷害與染色體端粒變短。根據研究顯示染色體端粒變短與心血管疾病[77-78]、高密度膽固醇累積[79]與增加氧化傷害[80]有關，因此本研究結果也可推論此類型之職業暴露會增加勞工未來罹患相關健康疾患之可能性。

表 36 氧化性傷害與血中 Mn、IOM-Mn、Cyclon-Mn、ROS-粒狀相關性分析

| r                              | 血中 Mn          | IOM-Mn          | Cyclon-Mn      | 粒狀 ROS         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>TMOM</b>                    | -0.109         | -0.014          | -0.116         | -0.031         |
| <b>MDA</b>                     | <b>0.270*</b>  | -0.126          | 0.002          | <b>-0.210*</b> |
| <b>8-OH-dG</b>                 | <b>-0.234*</b> | 0.143           | 0.032          | 0.234°         |
| <b>Telomere length</b>         | -0.015         | <b>-0.426**</b> | <b>-0.217*</b> | <b>-0.295*</b> |
| <b>hs-CRP</b>                  | 0.101          | -0.057          | -0.036         | -0.164         |
| <b>TNF-<math>\alpha</math></b> | -0.026         | <b>-0.209*</b>  | -0.040         | -0.172         |

\*:  $p<0.05$

\*\* :  $p<0.001$

° : 0.05~0.1 之間

備註：利用 Spearman's test 統計方法分析

從表 37 到 42 的結果顯示，於 TMOM 方面發現勞工與暴露指標氣狀 ROS、暴露指標粒狀 ROS 皆有顯著性相關 ( $p<0.05$ )；MDA 與血中 Mn 有顯著性相關

( $p < 0.05$ )。從 8-OH-dG、TL、TNF- $\alpha$  及 hs-CRP 結果發現均無顯著性相關。

表 37 8-OH-dG 與血中 Mn 及 ROS-粒狀與氣狀之複回歸關係

( $R^2=0.014$ ,  $p \text{ value}=0.860$ )

| 依變項     | 自變項         | $\beta$ | P value           |
|---------|-------------|---------|-------------------|
| 8-OH-dG | intercept   | 0.933   | <b>&lt;0.001*</b> |
|         | 血中 Mn       | -0.001  | 0.829             |
|         | 暴露指標-ROS-粒狀 | 0.003   | 0.814             |
|         | 暴露指標-ROS-氣狀 | <0.001  | 0.817             |

\*:  $p < 0.05$

表 38 TMOM 與暴露指標-ROS-氣狀及暴露指標-ROS-粒狀之複回歸關係

( $R^2=0.108$ ,  $p \text{ value}=0.022$ )

| 依變項  | 自變項         | $\beta$ | P value           |
|------|-------------|---------|-------------------|
| TMOM | intercept   | 0.749   | <b>&lt;0.001*</b> |
|      | 暴露指標-ROS-氣狀 | -0.029  | <b>0.007*</b>     |
|      | 暴露指標-ROS-粒狀 | 0.006   | <b>0.011*</b>     |

\*:  $p < 0.05$

表 39 MDA 與血中 Mn、暴露指標-ROS-氣狀及粒狀之複回歸關係

( $R^2=0.129$ ,  $p \text{ value}=0.027$ )

| 依變項 | 自變項         | $\beta$ | P value           |
|-----|-------------|---------|-------------------|
| MDA | intercept   | 0.843   | <b>&lt;0.001*</b> |
|     | 血中 Mn       | 0.004   | <b>0.005*</b>     |
|     | 暴露指標-ROS-氣狀 | -0.003  | 0.408             |
|     | 暴露指標-ROS-粒狀 | <0.001  | 0.864             |

\*:  $p < 0.05$

表 40 TL 與 C-Mn、I-Mn 及暴露指標-ROS-粒狀之複回歸關係

( R2=0.028, p value=0.593 )

| 依變項 | 自變項         | $\beta$ | P value |
|-----|-------------|---------|---------|
| TL  | intercept   | 1.015   | <0.001* |
|     | C-Mn        | -0.002  | 0.379   |
|     | I-Mn        | <0.001  | 0.766   |
|     | 暴露指標-ROS-粒狀 | <0.001  | 0.315   |

\*: p < 0.05

表 41 TNF- $\alpha$  與 I-Mn 及暴露指標-ROS-粒狀之複回歸關係

( R2=0.028, p value=0.144 )

| 依變項           | 自變項         | $\beta$ | P value |
|---------------|-------------|---------|---------|
| TNF- $\alpha$ | intercept   | -0.008  | 0.940   |
|               | I-Mn        | 0.002   | 0.802   |
|               | 暴露指標-ROS-粒狀 | 0.004   | 0.052   |

\*: p < 0.05

表 42 hs-CRP 與 I-Mn 及 C-Mn 之複回歸關係

( R2=0.070, p value=0.087 )

| 依變項    | 自變項       | $\beta$ | P value |
|--------|-----------|---------|---------|
| hs-CRP | intercept | 2.920   | <0.001* |
|        | C-Mn      | 0.22    | 0.073   |
|        | I-Mn      | -0.01   | 0.247   |

\*: p < 0.05

表 43 健身器材作業環境空氣採樣與生物偵測進度表

| 執行項目          | 內容       | 細項                        | 需完成數量 | 共採集數量 | 已完成 | 未分析完成 | 完成率  |
|---------------|----------|---------------------------|-------|-------|-----|-------|------|
| 健身器材廠<br>(兩廠) | 環境測定     | 臭氧                        | 20    | 23    | 23  | 0     | 115% |
|               |          | VOCs(直讀式)                 | 20    | 27    | 31  | 0     | 155% |
|               |          | VOCs(採樣袋)                 |       | 4     |     |       |      |
|               |          | 氣、粒狀 ROS                  | 20    | 20    | 20  | 0     | 100% |
|               |          | 重金屬<br>(marple)           | 20    | 11    | 41  | 0     | 205% |
|               | 重金屬(IOM) | 15                        |       |       |     |       |      |
|               | 重金屬(SKC) | 15                        |       |       |     |       |      |
|               | 生物偵測     | MDA                       | 100   | 124   | 124 | 0     | 124% |
|               |          | Comet assay               | 100   | 124   | 124 | 0     | 124% |
|               |          | 8-OH-dG                   | 100   | 108   | 108 | 0     | 108% |
|               |          | 細胞老化<br>(telomere length) | 100   | 124   | 124 | 0     | 124% |
|               |          | hs-CRP                    | 100   | 124   | 124 | 0     | 124% |
|               |          | TNF- $\alpha$             | 100   | 124   | 124 | 0     | 124% |
| 血液重金屬         |          | 100                       | 124   | 124   | 0   | 124%  |      |



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

1. 作業環境中臭氧濃度結果顯示在 A 廠的自動銲接區（358ppb）及 B 廠戶外（459ppb）、倉庫區（298ppb）、組立區（437ppb）濃度為最高，皆高於 OSHA 建議標準值為 100ppb，此作業類型勞工長期暴露於處於該環境下，未來應注意此作業類型勞工暴露於臭氧環境下之健康情形。
2. VOCs 測量結果顯示在 A 廠的噴漆區、防塗區、自動銲接-2 區及 B 廠所有作業區域皆超過環保署室內空氣品質建議值 3 ppm，B 廠之 TVOC 濃度高於 A 廠。
3. 各區域之空氣中重金屬濃度，如 Co、Ni、Fe、Pb 幾乎存在於粗粒徑中（介於 6.5-21  $\mu\text{m}$ ），結果亦顯示某些金屬如 Zn 於小粒徑中亦有較高的濃度，沖床區之重金屬濃度則主要累積於粒徑為 1-6  $\mu\text{m}$  之粉塵中，粉體則以粒徑範圍 6-10  $\mu\text{m}$  之粉塵中累積較高濃度之重金屬。
4. 健身器材作業中肺部發炎反應指標 TNF- $\alpha$  及 MDA 之分析結果顯示暴露組勞工有顯著偏高於對照組勞工；染色體端粒長度 Telomere length 之分析結果則相反之，此結果顯示此類型之作業場所，勞工之職業暴露可能已經造成體內氧化傷害與發炎反應。
5. 暴露組勞工無配戴防護具者其 Cr、Fe、Co、Cu、Zn、Mn、Cd、As 濃度高於暴露組勞工配戴防護具者，其中以 Fe、Zn、Cd 達到顯著差異。此結果顯示現場勞工如有配戴呼吸防護具，其體內重金屬均有顯著較低之現象，因此於此類型工作場所，配戴呼吸防護具為有效之防護重金屬暴露之方法。
6. 電銲部門勞工體內 DNA strand breaks 與 Mg 濃度呈現顯著正相關，代表 Mg 增加會導致 DNA strand breaks 上升。MDA 與 Mn、Ag 呈現顯著正相關，表示 Mn、Ag 增加會導致 MDA 濃度之上升。TNF- $\alpha$  與 Fe、Zn 呈現顯著正相關，表示 Fe、Zn 增加可能會使 TNF- $\alpha$  上升。hs-CRP 與 Cu、Mn、Ag、Mg 呈現顯著

正相關，表示 Cu、Mn、Ag、Mg 增加可能會使 hs-CRP 上升。Telomere length 與 Cr、Fe、Co、Zn 呈現顯著正相關，表示 Cr、Fe、Co、Zn 暴露增加可能不易使 Telomere length 變短，而與 Mg 呈現顯著負相關，表示 Mg 增加會導致 Telomere length 變短。因此重金屬暴露對於體內氧化傷害與發炎指標為重要之影響因子。

7. 研究結果顯示勞工之職業錳金屬與粒狀 ROS 之暴露會導致勞工體內氧化傷害與染色體端粒變短。而根據研究文獻顯示染色體端粒變短與心血管疾病、高密度膽固醇累積與增加氧化傷害有關，因此本研究也可推論此類型之職業暴露會增加勞工未來罹患相關健康疾患之可能性。

## 第二節 建議

1. 由 VOCs 之調查結果，建議勞工應佩帶適合之呼吸防護具，以預防勞工吸入過量之 VOCs 而影響健康。除勞工防護外，也應針對工廠用漆之 MSDS 進行檢討，選擇對勞工危害較低之用漆以保護勞工之健康。
2. 於健身器材製造業之製造區域，其重金屬濃度分佈大都於粗粒徑粉塵中有較高濃度，故可建議勞工使用個人防護具去除粗粒徑粉塵，以避免勞工暴露於過量之重金屬。
3. 結果顯示個人習慣、服務年資與粉塵暴露這些干擾因子皆會影響勞工體內氧化傷害、TL 及肺部發炎反應指標 TNF- $\alpha$ ，建議除減少職場暴露外，亦可同時宣導良好的個人生活習慣，以減少相關健康疾患的發生。

## 誌謝

本研究計畫參與人員除本所林洺秀副研究員、弘光科技大學環安系暨職安所陳秀玲教授外，另包括行政院勞工委員會中區勞動檢查所。本研究計畫感謝參與此計畫之承辦人員的推動、採樣同學等努力，和事業單位的支持與配合，僅此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] 行政院勞工委員會；<http://statdb.cla.gov.tw/psdn/Query/PSDNQ00.aspx>。
- [2] Dennis JH, Mortazavi SB, French MJ, Hewitt PJ, Redding CR. The effects of welding parameters on ultra-violet light emissions, ozone and CrVI formation in MIG welding .The Annals of Occupational Hygiene 1997; 41: 95-104.
- [3] Yu IJ, Song KS, Chang HK, Han JH, Kim KJ, Chung YH et al. Lung fibrosis in Sprague-Dawley rats induced by exposure to manual metal arcstainless steel welding fumes. Toxicology Science 2001; 63: 99-106.
- [4] Palmer W. In: Effects of Welding on Health- VII. 1989.
- [5] 葉寶華：利用不銹鋼罐採樣 GC/MS 分析檢測 VOC 方法之建立與應用。高雄：國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系；2005。
- [6] Krystek P, Ritsema R. Monitoring of chromium species and 11 selected metals in emission and immission of airborne environment. International Journal of Mass Spectrometry 2007; 265: 23-29.
- [7] Kimbrough DE, Cohen Y, Winer AM, Creelman L, Mabuni C. A critical assessment of chromium in the environment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 1999; 29: 1-46.
- [8] Sinczuk-Walczak H, Jakubowski M, Matczak W. Neurological and neurophysiological examinations of workers occupationally exposed to manganese. International Journal of Occupational and Medicine Environmental Health 2001; 14: 329-337.
- [9] Halatek T, Sinczuk-Walczak H, Szymczak M, Rydzynski K. Neurological and respiratory symptoms in shipyard welders exposed to manganese. International Journal of Occupational and Medicine Environmental Health 2005; 18: 315-326.

- [10] Bowler RM, Gysens S, Diamond E, Nakagawa S, Drezgic M, Roels HA. Manganese exposure: neuropsychological and neurological symptoms and effects in welders. *Neurotoxicology* 2006; 27(3): 315-326.
- [11] Racette BA. Welding-related parkinsonism: clinical features, treatment, and pathophysiology. *Neurology* 2001; 57(5): 936-937.
- [12] 行政院勞工委員會。電銲煙霧暴露勞工細胞毒性與奈米微粒相關性研究。新北市：行政院勞工委員會；2007。
- [13] Halliwell B. Reactive oxygen species in living systems: source, biochemistry, and role in human disease. *American Journal of Medicine* 1991; 91: 14S-22S.
- [14] Imamoglu N, Yerer MB, Donmez-Altuntas H, Saraymen R et al. Erythrocyte antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in the erythrocyte membrane of stainless-steel welders exposed to welding fumes and gases. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2008; 211: 63-68.
- [15] Venkatachari P, Hopke PK, Grover BD, Eatough DJ. Measurement of particle bound reactive oxygen species in Rubidoux aerosols. *Journal of Atmospheric Chemistry* 2005; 50: 49-58.
- [16] Antonini JM, Clarke RW, Krishna Murthy GG, Sreekanthan P, Jenkins N, Eagar TW, Brain JD. Freshly generated stainless steel welding fume induced greater lung inflammation in rats as compared to aged fumes. *Toxicology Letters* 1998; 98: 77-86.
- [17] 陳怡如：底渣處理廠及飛灰固化處理廠勞工體內脂質過氧化反應及氧化性傷害之研究。台中市：弘光科技大學職業安全與防災研究所；2008。
- [18] Block G, Dietrich M, Norkus EP, Morrow JD, Hudes M, Caan B, et al. Factors Associated with Oxidative Stress in Human Populations. *American Journal of Epidemiology* 2002; 156: 274-285.

- [19] Lykkesfeldt J. Malondialdehyde as biomarker of oxidative damage to lipids caused by smoking. *Clinica Chimica Acta* 2007; 380: 50-58.
- [20] Valavanidis A, Vlahogianni T, Dassenakis M, Scoullou M. Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2006; 64: 178-189.
- [21] Zhu CQ, Lam TH, Jiang CQ, Wei BX, Xu QR, Chen YH. Increased lymphocyte DNA strand breaks in rubber workers. *Mutation Research* 2000; 470: 201-209.
- [22] Zhu CQ, Lam TH, Jiang CQ. Lymphocyte DNA damage in bus manufacturing workers. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagenesis* 2001; 491: 173-181.
- [23] Hongping D, Jianlin L, Meibian Z, Weic W, Lifen J, Shijie C, et al. Detecting the cytogenetic effects in workers occupationally exposed to vincristine with four genetic tests. *Mutation Research* 2006; 599: 152-159.
- [24] Lam TH, Zhu CQ, Jiang CQ. Lymphocyte DNA damage in elevator manufacturing workers in Guangzhou, China. *Mutation Research* 2002; 515: 147-157.
- [25] Fracasso ME, Perbellini L, Solda S, Talamini G, Franceschetti P. Lead induced DNA strand breaks in lymphocytes of exposed workers: role of reactive oxygen species and protein kinase C. *Mutation Research* 2002; 515: 159-169.
- [26] Cawthon RM, Smith KR, O'Brien E, Sivatchenko A, Kerber RA. Association between telomere length in blood and mortality in people aged 60 years or older. *Lancet* 2003; 361: 393-395.
- [27] Pavanello S, Pesatori AC, Dioni L, Hoxha M, Bollati V, Siwinska E et al. Shorter telomere length in peripheral blood lymphocytes of workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Carcinogenesis* 2010; 31: 216-221.
- [28] Hoxha M, Dioni L, Bonzini M, Pesatori AC, Fustinoni S, Cavallo D. Association between leukocyte telomere shortening and exposure to traffic

pollution: a cross-sectional study on traffic officers and indoor office workers.

*Environmental Health* 2009; 8: 41.

- [29] 江書慧：Metformin 對於 TNF- $\alpha$  所誘發之內皮細胞發炎反應的抑制作用及其機轉探討。台北市：台灣大學藥理學研究所；2005。
- [30] 林英助：國中氣喘學童費功能下降與 IgE、嗜伊紅性白血球以及遺傳感受性因子的相關性研究。台南市：國立成功大學基礎醫學研究所；2002。
- [31] Tillett WS, Francis T Jr. Serological reactions in pneumonia with a non-protein somatic fraction of pneumococcus. *Journal of Experimental Medicine* 1930; 52: 561-571.
- [32] 徐嘉吟、方信智：心血管疾病的新指標—高敏感性 C-反應蛋白(hs-CRP)。基層醫學 2006；21(3)：63-67。
- [33] Costa M. Molecular mechanisms of nickel carcinogenesis. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 1991; 31, 321-337.
- [34] Costa M, Zhitkovich A, Toniolo P. DNAprotein cross-links in welders: molecular implications. *Cancer Research* 1993; 53: 460-463.
- [35] Andronikashvili EL. Malignation and changing of some physicochemical features of biomolecules and supermolecular structures. *Biophysika* 1987; 32: 782- 799.
- [36] Cai Y, Zhuang Z. DNA damage in human peripheral blood lymphocyte caused by Ni(II) and Cd(II). *Mutation Research* 1999; 33: 75-77.
- [37] Saenger W, editors. *Principles of Nucleic Acids Structure*. France: Lavoisier; 1984; p. 574.
- [38] Hassett C, Mustafa MG, Coulson WF, Elashoff RM. Murine lung carcinogenesis following exposure to ambient ozone concentrations. *Journal of the National Cancer Institute* 1985; 75: 771-777.

- [39] Last JA, Warren DL, Pecquet-Goad E, Witschi H. Modification by ozone of lung tumor development in mico. *Journal of the National Cancer Institute* 1987; 78: 149-154.
- [40] 高瑄倅：臭氧和氣懸微粒對人類上皮細胞 DNA 傷害之研究。台北市：國立台灣大學職業醫學與工業衛生研究所；2002。
- [41] Lockey JE, Schenker MB, Howden DG, Meules MJA, Saracci R, Sprince NL, et al. Current issues in occupational lung disease. *The American Review of Respiratory Disease* 1988; 138: 1047- 1050.
- [42] Yu IJ, Kim KJ, Chang HK, Song KS, Han KT, Han JH et al. Pattern of deposition of stainless steel welding fume particles inhaled into the respiratory systems of Sprague-Dawley rats exposed to a novel welding fume generating system. *Toxicology Letters* 2000; 116: 103-111.
- [43] Lillienberg L, Zock JP, Kromhout H, Plana E, Jarvis D, Torèn K et al. A population-based study on welding exposures at work and respiratory symptoms. *Annals of Occupational Hygiene* 2008; 52: 107-115.
- [44] Loukzadeh Z, Sharifian SA, Aminian O, Shojaoddiny-Ardekani A. Pulmonary effects of spot welding in automobile assembly. *Occupational Medicine* 2009; 59: 267-269.
- [45] Siew SS, Kauppinen T, Kyyrönen P, Heikkilä P, Pukkala E.. Exposure to iron and welding fumes and the risk of lung cancer. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 2008; 34: 444-450.
- [46] Antonini JM. Health Effects of Welding. *Critical Reviews in Toxicology* 2003; 33: 61-103.
- [47] Antonini JM, O'Callaghan JP, Miller DB. Development of an animal model to study the potential neurotoxic effects associated with welding fume inhalation. *NeuroToxicology* 2006; 27: 745-751.



- [48] Yu IJ, Song KS, Maeng SH, Kim SJ, Sung JH, Han JH et al. Inflammatory and genotoxic responses during 30-day welding-fume exposure period. *Toxicology Letters* 2004; 154: 105-115.
- [49] Park R M, Schulte PA, Bowman JD, Walker JT, Bondy SC, Yost MG et al. Potential occupational risks for neurodegenerative diseases. *American Journal of Industrial Medicine* 2005; 48: 63-77.
- [50] Hunnicutt TH, Cracovaner DJ et al. Spirometric measurements in welders. *Arch Environ Health* 1964; 8: 661-669.
- [51] Cejas P, Casado E, Belda-Iniesta C, Castro JD. Implications of oxidative stress and cell membrane lipid peroxidation in human cancer (Spain). *Cancer Causes & Control* 2004; 15: 707.
- [52] Kendall BW. *Free radical toxicology*. Taylor&Francis 1997; 413-414.
- [53] Liu HH, Wu YC, Chen HL. Production of Ozone and Reactive Oxygen Species After Welding. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2007; 53: 513-518.
- [54] Savolainen K, Kekoni J, Riihimäki V. Immediate effects of m-xylene on the human central nervous system. *Arch Toxicol* 1984; 84: 412-417.
- [55] Engstrom K, Riihimaki V, Laine A. Urinary disposition of ethylbenzene and m-xylene in man following separate and combined exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1984; 54: 355-363.
- [56] 鄭淑芳、毛義方、陳美蓮：造船廠噴漆勞工有機溶劑暴露調查及其防護具現場防護效果評估。勞工安全衛生研究所；2006。
- [57] Rademaker M. Occupational epoxy resin allergic contact dermatitis. *Australasian Journal of Dermatology* 2000; 41: 222-224.
- [58] 熊映美：噴漆作業致敏化學物對員工健康危害評估研究。勞工安全衛生研究所；2003。

- [59] Brown LM, Moradi T, Gridley G, et al. 2002. Cancer Risks in the Painting Trades: Exposures in the Painting Trades and Paint Manufacturing Industry and Risk of Cancer among Men and Women in Sweden. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2002; 44: 258-264.
- [60] 謝俊明：造船作業勞工電銲煙煙錳暴露評估研究。勞工安全衛生研究所；2009。
- [61] Kautiainen A, Vaca CE, Granath F. Studies on the relationship between hemoglobin and DNA adducts of malonaldehyde and their stability in vivo. *Carcinogenesis* 1993; 14: 705-708.
- [62] Lawrence JM. Lipid peroxidation—DNA damage by malondialdehyde. *Mutation Research* 1999; 424: 83–95
- [63] Fangxu L, Zhilai Y, Yang L et al. Malondialdehyde Suppresses Cerebral Function by Breaking Homeostasis between Excitation and Inhibition in Turtle *Trachemys scripta*. *PLoS ONE* 2010; 5(12): e15325
- [64] Y.M. Dennis L. Fetal DNA in Maternal Plasma: Biology and Diagnostic Applications. *Clinical Chemistry* 2000; 46(12): 1903–1906.
- [65] Zheng Y, Sheppard TL. Malondialdehyde as biomarker of oxidative damage to lipids caused by smoking. *Chemical Research in Toxicology* 2004; 17(2):197-207.
- [66] Helmut D, Gerhard S, Kirsten R et al. DNA adducts in human placenta in relation to tobacco smoke exposure and plasma antioxidant status. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology* 1997; 123: 141-151
- [67] Michelle L, Hamilton, Zhong MG et al. A reliable assessment of 8-oxo-2-deoxyguanosine levels in nuclear and mitochondrial DNA using the sodium iodide method to isolate DNA. *Nucleic Acids Research* 2001; 29(10): 2117-2126.

- [68] Henry J. Thompson DNA Oxidation Products, Antioxidant Status, and Cancer Prevention. *American Society for Nutritional Sciences* 2004; 134: 3186S–3187S.
- [69] Hansel DE, Meeker AK, Hicks J et al. Telomere length variation in biliary tract metaplasia, dysplasia, and carcinoma. *Modern Pathology* 2006; 19(6):772-779.
- [70] Hans K, Meier E, Paul M et al. Mullington Absence of Diurnal Variation of C-Reactive Protein Concentrations in Healthy Human. *Subjects Clinical Chemistry* 2001; 47(3); 426-430.
- [71] AFAA. <http://www.c-reactive-protein.com/102.htm>
- [72] Haruhiko K, Yasuo T, Yoko Y et al. Antitumor Activity of Tumor Necrosis Factor- $\alpha$  Conjugated with Polyvinylpyrrolidone on Solid Tumors in Mice. *Cancer Research* 2000; 60: 6416-6420.
- [73] Éric T, Gérald S, Daniel W. Infectious Complications with Anti-TNF  $\alpha$  Therapy in Rheumatic Diseases. *Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery* 2007; 1: 39-47.
- [74] Hung HF, Wang CS. Experimental determination of reactive oxygen species in Taipei aerosols. *Journal of Aerosol Science* 2001; 32: 1201-1211.
- [75] Chia TP, Hsu CY, Chen HL. Oxidative Damage of Workers in Secondary Metal Recovery Plants Affected by Smoking Status and Joining the Smelting Work. *Industrial Health* 2008; 46: 174-182.
- [76] Garaj-vrhovac V, Zeljezic D. Evaluation of DNA damage in workers occupationally exposed to pesticides using single-cell gel electrophoresis (SCGE) assay Pesticide genotoxicity revealed by comet assay. *Mutation Research* 2000; 469: 279-285.
- [77] Salpea KD and Humphries SE. Telomere length in atherosclerosis and diabetes. *Atherosclerosis* 2010; 209: 35-38.

- [78] Chen W, Gardner JP, Kimura M, Brimacombe M, Cao X, Srinivasan SR, et al. Leukocyte telomere length is associated with HDL cholesterol levels: The Bogalusa heart study. *Atherosclerosis* 2009; 205: 620-625.
- [79] Stanley AG, Hastings RA, Ahmad T, O'Brien DG, Lacy PS and Williams B. Hypertensive subjects with increased leukocyte oxidative damage have shorter telomere DNA. *American Journal of Hypertension* 2002; 15: A227.
- [80] Satoh M, Ishikawa Y, Takahashi Y, Itoh T, Minami Y and Nakamura M. Association between oxidative DNA damage and telomere shortening in circulating endothelial progenitor cells obtained from metabolic syndrome patients with coronary artery disease. *Atherosclerosis* 2008; 198: 347-353.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

健身器材製造業勞工職業暴露與健康傷害之研究 /  
陳秀玲, 林洺秀研究主持. -- 1版. -- 新北市 :  
勞委會勞安所, 民101.03  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-03-2133-3(平裝)

1. 勞工衛生 2. 職業衛生 3. 運動器材業

412.53

101005147

健身器材製造業勞工職業暴露與健康傷害之研究

著(編、譯)者：陳秀玲、林洺秀

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 101 年 3 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：150 元

展售處：

國家書店

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為  
[http://www.iosh.gov.tw/Book/Report\\_Publish.aspx](http://www.iosh.gov.tw/Book/Report_Publish.aspx)。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

ISBN：978-986-03-2133-3

GPN：1010100613