

# 粉體靜電塗裝作業職業衛生法 規暨通風工程介入評估研究

.....

**Study on Intervention and Assessment of Occupational Health  
Regulation and Ventilation Engineering for Electrostatic  
Powder Coating Workers**





粉體靜電塗裝作業職業衛生法規暨通風  
工程介入評估研究

**Study on Intervention and Assessment  
of Occupational Health Regulation and  
Ventilation Engineering for  
Electrostatic Powder Coating Workers**

# 粉體靜電塗裝作業職業衛生法規暨通風 工程介入評估研究

## Study on Intervention and Assessment of Occupational Health Regulation and Ventilation Engineering for Electrostatic Powder Coating Workers

研究主持人：鐘順輝、戴聿彤

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 107 年 1 月 1 日至 107 年 12 月 31 日

**\*本研究報告僅公開予各單位參考\***  
**惟不代表勞動政策立場**

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
中華民國 108 年 6 月

# 摘要

為了瞭解粉體塗裝業工作者有害物暴露是否可能引發健康危害，本研究針對粉體塗裝作業環境粉體逸散特性與現況、工作者暴露、既有通風設施形式與效能評估進行研究調查，並提供業界通風工程實務參考，以保護勞工健康。

研究結果發現，國外對於粉體塗裝作業依國情差異，有的訂有相關法規或指引進行管理，但也有未制訂任何相關法規或指引，僅視為一般職業暴露進行管理。對於粉體塗裝室的管理的規範上，主要著眼於火災、爆炸、感電和機械安全相關措施上的要求，對於化學危害(粉塵、有機及金屬化合物等)、噪音暴露、熱危害等職業衛生上的要求較少。

由 9 家粉體塗裝工廠環境監測結果發現：在粉體室從事塗裝的工作者個人和區域採樣監測的 8 小時時量加權平均(8-hr TWA)總粉塵暴露質量濃度平均值( $\pm$ 標準差)分別為 4.248( $\pm$ 3.902)和 3.473( $\pm$ 7.314)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ；其他作業區域，如：前處理區、粉體室進口處外邊、粉體室內和粉體室出口外邊的區域採樣監測總粉塵質量濃度平均值分別為 3.426、5.010、4.732 和 8.565  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。所有可呼吸性粉塵採樣監測樣本結晶型二氧化矽分析，並未發現樣本中有可偵測量的結晶型二氧化矽。

針對 9 家事業單位共 10 組既有通風設施性能評估，發現部分粉體塗裝室設計未達到負壓避免粉體擴散之目的，因此未能有效減少塗裝工作者的粉塵暴露，需要針對其進行設計改善。在現場電腦模擬與實體模型的測試評估，結果發現：部分採用上吸式通風設施，其效果較側吸式或下吸式設計差。另外，計算流體力學(CFD)電腦模擬之結果與實場個人及區域採樣結果比較，發現有部分相關性存在，因此電腦模擬於設計階段，可提供一定程度的效能初步評估。

最後，本研究完成粉體塗裝業通風設施設計實務手冊及有效通風設施設計之實體模型，可供業界現場通風工程設計實務及改善之參考及教育訓練之工具。

關鍵詞：粉體塗裝、粉塵、空氣採樣、暴露監測。

# Abstract

To prevent the workers of powder coating industries from adverse health effects due to hazardous agent exposure, an investigation of powder coating work environments on characteristics of powder emission, dust exposure levels of workers, types and effectiveness of ventilation systems was conducted.

The study found that foreign countries have different regulations or guidelines for powder coating operations depending on national conditions, but there are also no relevant regulations or guidelines, and they are only considered as general occupational exposure management. For the specification of the management of the powder coating room, the main focus is on fire, explosion, electrical and mechanical safety related measures with less concern about safety for occupational health for chemical hazards (dust, organic and metal compounds, etc.), noise exposure, thermal hazards, etc.

Based on the investigations to nine companies in the study, the results of the data analysis for the dust measurements found that the means ( $\pm$ standard deviations) of the mass concentrations of 8-hour time-weighted average exposure (8-hr TWA) of total dust for personal and area samples were 4.248( $\pm$ 3.902) and 3.473( $\pm$ 7.314) mg/m<sup>3</sup>, respectively. The mean concentrations of other work areas including pre-treatment, outside of the entrance of powder coating booth, inside of powder coating booth and outside of the exit of powder coating booth were 3.426 · 5.010 · 4.732 and 8.565 mg/m<sup>3</sup>, respectively. All of samples of the respirable dust for crystalline silica analysis didn't have any detectable quantity of crystalline silica.

A total of 10 sets of existing ventilation facilities were evaluated for 9 factories. It was found that some powder coating area designs did not reach the negative pressure to avoid dust diffusion. Therefore, it was not effective to reduce the dust exposure of paint workers and was necessary to redesign for its shortcomings. In the field computer simulation and the physical model test evaluation, it was found that some of the upper suction ventilation facilities were used, and the effect was worse than that of the side suction or the lower suction type. In addition, the results of computer simulation of computational fluid dynamics (CFD) compared with the actual field and regional sampling results show that there is some correlation, so computer simulation can provide a certain degree of initial performance evaluation in the design stage.

Finally, this study completed the practice manual and model for the design of ventilation facilities in the powder coating industry. It can be used as a reference for the practice and improvement of on-site ventilation engineering design, and tools for education and training.

Key Words: powder coating, dust, air sampling, exposure measurement.

# 目次

摘要.....	i
Abstract .....	ii
目次.....	iv
圖目次.....	vi
表目次.....	xi
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 粉體塗裝有害物質暴露.....	5
第二節 粉體塗裝通風設施檢測與評估.....	7
第三章 工作方法.....	9
第一節 國外粉體塗裝作業管理方式文獻收集彙整與擴大國內粉體塗裝業現況調查	9
第二節 國內粉體塗裝業作業環境與工作者有害物暴露評估.....	13
第三節 粉體塗裝業作業區通風設施檢測與評估.....	17
第四節 粉體塗裝業有效通風設施設計.....	19
第四章 執行情形與結果.....	21
第一節 國外粉體塗裝作業管理之收集及分析.....	21
第二節 粉體塗裝作業現場作業環境監測.....	30
第三節 粉體塗裝作業通風設備風險評估及最佳化設計.....	65
第四節 建立粉體塗裝業通風設備知識物件.....	128
第五章 結論與建議.....	137
第一節 結論.....	137
第二節 建議.....	138
誌謝.....	139
參考文獻.....	140
附錄一 事業單位粉體塗裝區分事業單位總粉塵樣本金屬監測濃度.....	143
附錄二 事業單位粉體塗裝區分事業單位可呼吸性粉塵樣本金屬監測濃度.....	151

附錄三 事業單位粉體塗裝區分事業單位 $PM_{2.5}$ 粉塵樣本金屬監測濃度 .....	159
附錄四 結晶型二氧化矽樣本分析結果 .....	167

# 圖目次

圖 1 化學品分級管理架構.....	3
圖 2 通風設施性能檢測評估流程.....	18
圖 3 A 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	31
圖 4 B 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	32
圖 5 C 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	33
圖 6 D 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	34
圖 7 E 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	35
圖 8 F 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	36
圖 9 G 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	37
圖 10 H 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	38
圖 11 I 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃.....	39
圖 12 事業單位粉體塗裝作業 MARPLE 分徑採樣各階層粉塵質量濃度.....	45
圖 13 粉體塗裝作業不區分事業單位總粉塵區域與個人採樣樣本金屬監測濃度.....	47
圖 14 粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度.....	51
圖 15 粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵個人採樣樣本金屬監測濃度.....	52
圖 16 粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度超過我國容許暴露標準值的情形.....	53
圖 17 粉體塗裝作業不區分事業單位可呼吸性粉塵區域與個人採樣樣本金屬監測濃度.....	55
圖 18 粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度.....	58
圖 19 粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵個人採樣樣本金屬監測濃度.....	59
圖 20 粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵個人採樣樣本金屬監測濃度超過 ACGIH-TLVs 的情形.....	60
圖 21 粉體塗裝作業不區分事業單位 PM <sub>2.5</sub> 粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度.....	62
圖 22 粉體塗裝作業區分事業單位 PM <sub>2.5</sub> 粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度.....	63
圖 23 A 廠粉體塗裝作業區現場示意圖.....	67

圖 24 A 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	67
圖 25 A1 開口風速分布圖 .....	68
圖 26 A2 開口風速分布圖 .....	68
圖 27 A3 開口風速分布圖 .....	69
圖 28 A4 開口風速分布圖 .....	69
圖 29 A5 開口風速分布圖 .....	70
圖 30 A6 開口風速分布圖 .....	70
圖 31 A 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	71
圖 32 B 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	73
圖 33 B 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	74
圖 34 B1 開口風速分布圖 .....	74
圖 35 B2 開口風速分布圖 .....	75
圖 36 B3 開口風速分布圖 .....	75
圖 37 B4 開口風速分布圖 .....	76
圖 38 B5 開口風速分布圖 .....	76
圖 39 B 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	77
圖 40 C 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	79
圖 41 C 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	79
圖 42 C1 開口風速分布圖 .....	80
圖 43 C2 開口風速分布圖 .....	80
圖 44 C3 開口風速分布圖 .....	81
圖 45 C4 開口風速分布圖 .....	81
圖 46 C5 開口風速分布圖 .....	82
圖 47 C 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	82
圖 48D 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	85
圖 49D 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	86
圖 50 D1 開口風速分布圖 .....	86
圖 51 D2 開口風速分布圖 .....	87

圖 52 D3 開口風速分布圖 .....	87
圖 53 D4 開口風速分布圖 .....	88
圖 54 D5 開口風速分布圖 .....	88
圖 55 D6-1 開口風速分布圖.....	89
圖 56 D 廠粉體塗裝作業區各右艙開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	89
圖 57 D6-2 開口風速分布圖.....	90
圖 58 D7 開口風速分布圖 .....	90
圖 59 D8 開口風速分布圖 .....	91
圖 60 D9 開口風速分布圖 .....	91
圖 61 D10 開口風速分布圖 .....	92
圖 62 D11 開口風速分布圖 .....	92
圖 63 D 廠粉體塗裝作業區各左艙開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	93
圖 64 E 廠粉體塗裝作業區現場示意圖.....	95
圖 65 E 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃.....	96
圖 66 E1 開口風速分布圖.....	96
圖 67 E2 開口風速分布圖.....	97
圖 68 E3 開口風速分布圖.....	97
圖 69 E4 開口風速分布圖.....	98
圖 70 E5 開口風速分布圖.....	98
圖 71 E6 開口風速分布圖.....	99
圖 72 E 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分.....	99
圖 73 F 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	102
圖 74 F 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	102
圖 75 F1 開口風速分布圖.....	103
圖 76 F2 開口風速分布圖.....	103
圖 77 F3 開口風速分布圖.....	104
圖 78 F4 開口風速分布圖.....	104
圖 79 F 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	105

圖 80 G 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	107
圖 81 G 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	107
圖 82 G1 開口風速分布圖 .....	108
圖 83 G2 開口風速分布圖 .....	108
圖 84 G3 開口風速分布圖 .....	109
圖 85 G4 開口風速分布圖 .....	109
圖 86 G5 開口風速分布圖 .....	110
圖 87 G 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	110
圖 88 H 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	112
圖 89 H 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	113
圖 90 H1 開口風速分布圖 .....	113
圖 91 H2 開口風速分布圖 .....	114
圖 92 H3 開口風速分布圖 .....	114
圖 93 H4 開口風速分布圖 .....	115
圖 94 H 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	115
圖 95 I 廠粉體塗裝作業區現場示意圖 .....	118
圖 96 I 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃 .....	118
圖 97 I1 開口風速分布圖 .....	119
圖 98 I2 開口風速分布圖 .....	119
圖 99 I3 開口風速分布圖 .....	120
圖 100 I4 開口風速分布圖 .....	120
圖 101 I5 開口風速分布圖 .....	121
圖 102 I6 開口風速分布圖 .....	121
圖 103 I 廠粉體塗裝作業區 B 艙各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分 .....	122
圖 104 A 廠粉體作業區尺寸 .....	123
圖 105 B 廠粉體作業區尺寸 .....	124
圖 106 F 廠粉體作業區尺寸 .....	124
圖 107 H 廠粉體作業區尺寸 .....	124

圖 108 I 廠粉體作業區尺寸 .....	125
圖 109 A 廠模擬結果 .....	125
圖 110 B 廠模擬結果.....	125
圖 111 F 廠模擬結果 .....	126
圖 112 H 廠模擬結果 .....	126
圖 113 I 廠模擬結果 .....	126
圖 114 第一組模型實際尺寸圖.....	131
圖 115 第一組模型(改善前上吸式).....	131
圖 116 第一組模型(改善後側吸式).....	131
圖 117 第一組模型(改善前上吸式)煙霧流向 .....	132
圖 118 第一組模型(改善前上吸式)集塵開口之風速監測位置與結果.....	132
圖 119 J4 集塵開口風速分佈 .....	132
圖 120 第一組模型(改善後側吸式)煙霧流向.....	133
圖 121 第一組模型(改善後側吸式)集塵開口之風速監測位置與結果.....	133
圖 122 K4 集塵開口風速分佈 .....	133
圖 123 第二組模型設計圖 .....	134
圖 124 第二組模型 .....	134
圖 125 第二組模型煙霧測試結果 .....	134
圖 126 第二組模型各開口之風速監測位置與結果 .....	135
圖 127 第二組模型距離底板集塵開口 1CM 之風速分佈.....	136
圖 128 第二組模型距離底板集塵開口 5CM 之風速分佈.....	136

# 表目次

表 1 作業環境現況調查表.....	11
表 2 有害物暴露採樣監測工作者工作紀錄表.....	11
表 3 樣本金屬成份儀器分析操作條件設置.....	16
表 4 各國粉體塗裝作業管理法規.....	27
表 5 事業單位粉體塗裝作業粉塵採樣監測樣本類型與樣本數 .....	42
表 6 事業單位粉體塗裝作業粉塵採樣監測濃度 .....	42
表 7 事業單位總粉塵區域採樣監測結果統計 .....	43
表 8 事業單位粉體塗裝作業粉塵採樣監測濃度超過容許暴露濃度限值機率估計 .....	43
表 9 事業單位粉體塗裝作業環境區域採樣 MARPLE 分徑採樣監測結果.....	44
表 10 事業單位粉體塗裝作業定點粉塵質量濃度迴歸分析 .....	44
表 11 事業單位粉體塗裝不區分事業單位總粉塵樣本金屬監測濃度.....	48
表 12 事業單位粉體塗裝不區分事業單位可呼吸性粉塵樣本金屬監測濃度.....	56
表 13 事業單位粉體塗裝不區分事業單位 PM2.5 粉塵樣本金屬監測濃度.....	64
表 14 粉體塗裝作業事業單位之粉體作業區型式.....	65
表 15 A 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果 .....	71
表 16 B 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果.....	77
表 17 C 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果 .....	83
表 18 D 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果 .....	93
表 19 E 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果.....	100
表 20 F 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果 .....	105
表 21 G 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果 .....	111
表 22 H 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果.....	116
表 23 I 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果.....	122
表 24 5 組通風設備效能評估電腦模擬 .....	127
表 25 5 組電腦模擬通風設備集塵開口類型與風速設定值 .....	127
表 26 第一組模型改善前(上吸式)與改善後(側吸式)之平均風速與均勻度(CV)比較..	136

表 27 第一組與第二組模型改善前(上吸式)與改善後(側吸式)之平均風速與均勻度(CV) 比較.....	136
---	-----

# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

粉體塗料具有對環境的污染性較低、優異的經濟效益、節約能源及塗膜性能多樣，再加上粉體塗裝具有不含溶劑、不用稀釋或調整黏度、經由升溫熔融塗料、粉體塗料兼具塗料、塑膠、粉末等特性，其應用已超過目前大多數的溶劑型和水性塗料的塗膜。早期金屬表面處理以溶劑進行噴漆調和，再利用噴槍噴塗至被塗物件後，經過烘烤及漆料燒結硬化而成，也就是所謂烤漆塗裝。但由於內含有機溶劑，造成工作者健康不良的影響，因此部分塗裝改以粉體塗料(powder)來取代。目前粉體塗裝作業即是為將由色料、樹脂、固化劑及其他添加劑混合而成的粉體塗料，以噴塗方式將帶電粉體塗料均勻塗佈至金屬表面後，經烘烤爐熔融及硬化，形成特定功能的塗膜。其作業流程依序為金屬表面潔淨處理、粉體噴塗與硬化乾燥。

目前我國將粉體塗裝業歸類於「金屬表面處理業」(C 大類, 2,544 細類)，係指從事金屬及其製品的表面磨光、電鍍、鍍著、塗覆、烤漆、噴漆、染色、壓花、發藍、上釉及其他化學處理的行業。目前粉體塗裝業依照粉塵危害預防標準而言，並非法定的粉塵作業，僅以厭惡性粉塵視之，也未訂定相關的容許暴露標準。惟粉體中的常用色料方面，紅色及黃色的色料均含有鉛及鉻的金屬成份，具致癌性及生殖危害，被歐盟列為不得添加使用的物質；電器及電子產品危害物質限用指令 (Restriction of the use of Hazardous Substance, RoHS)(EC 95/2002)，也訂定 Pb、Cd、Hg、Cr<sup>6+</sup>等重金屬含量限值 [1]。此外，異氰尿酸三縮水甘油酯(triglycidyl isocyanurate, TGIC)約佔 4~10%，為粉體塗裝固化劑，屬致突變及皮膚致敏物質，有關 TGIC 的定量監測方法有不少研究評估 [2][3][4]；反應劑 1,2,4-苯三甲酸酐(trimellitic anhydride, TMAN)亦為強力的呼吸道刺激物，可引發氣喘[5][6]。粉體塗料製造業在生產過程中以化學原料結合各式機械設備與開發的製程，所以無論是在原料儲存期間洩漏及逸散，或是產品製造過程中產生各類有害物，皆可能存在於工作者作業環境中。因此工作者可藉由吸入、食入或是皮膚接觸到有害物，造成急性的中毒或者是慢性疾病等健康危害，甚至危害工作者的性命。

由於目前無法為廠場中數量眾多的化學品建立容許濃度標準，規範工作者對眾多化學品的職業暴露容許量，以控制工作者的危害化學品暴露風險。發展出利用化學品

本身的健康危害特性，加上使用時逸散程度及使用量判斷潛在的暴露程度，透過風險矩陣判斷風險等級及對應的管理方法，進而採取相關控制措施，包括：整體換氣、局部排氣、工程控制、隔離、特殊規定等，加以改善工作者的化學品職業暴露。此即所謂的化學品分級管理(chemical control banding, CCB)，其架構如圖 1 所示，為國際勞工組織(International Labour Organization, ILO)及國際間近年積極發展的一套半定量式健康風險評估工具。此項化學品分級管理工具，無論在基本資料建立，危害與暴露評估等級界定，皆與後續通風方面控制措施中，有關現場相關資料蒐集之前置作業相互呼應，並據以決定整體換氣或局部排氣通風設備設計，藉由維持與提升或更新控制技術，強化通風系統控制的有效性。因此，工業通風系統設計與維護對於現場環境控制，乃至於降低工作者職業暴露，皆是至為重要的工具。

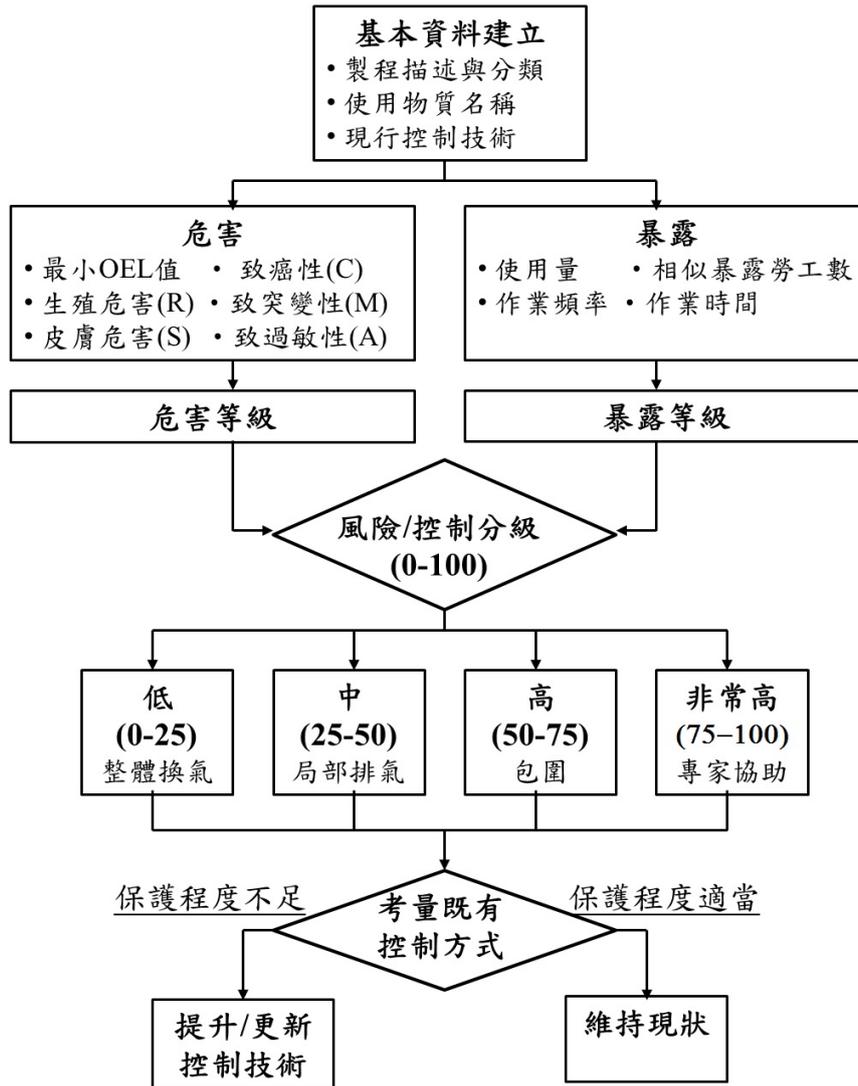


圖 1 化學品分級管理架構

從職業衛生角度，對於現場所產生之有害物可分別從污染源、傳播途徑以及接受者三方面介入控制。其中最有效方法則是從製程改善著手，但其困難度與所需經費較高，僅少數具成功案例。次要選擇則是以密閉作業進行，此方式牽涉現場作業方式、實際作業物件幾何形狀與大小等因素，未必適用於所有現場作業。上述兩優先方式如果都不適用，則考慮引用通風設備捕集有害物，以避免其逸散造成工作者高濃度之暴露。處理有害物的設備，如不能完全做到密閉時，則要做到不致使有害物質擴散至工作者的呼吸帶之對策，為達成此目的設置局部排氣則較有效。局部排氣就是在近於作業場所有害物發生源處設吸入口，以使形成局部且經常性的吸引氣流，而乘氣流擴散有害物之前，儘可能維持足以發散的高濃度狀態吸入，以免工作者暴露於污染氣流。同時儘

可能除去有害物後排出。

通風設施的有效性需要三項主要條件，包括：(1)設置前階段正確設計與規劃；(2)依據設計進行正確施工與驗收驗證；及(3)通風系統運轉期間正確維護保養評估，始得以控制現場有害物與降低暴露風險。因此，自設計階段，乃至於後續自主維護管理缺一不可。

本研究以過去粉體塗裝業的現況調查研究成果為基礎，對粉體塗裝業持續擴大現況瞭解及更深入的研究探討，包括：(1)不同粉體之結晶型二氧化矽與金屬成份分析、不同作業方式與區域人員粉塵暴露現況調查；(2)有效通風控制設計方式，包含現場勘查與蒐集資料、既有通風設備資料蒐集與有效性評估暨建議、通風設施設計與以計算流體力學 (computational fluid dynamics, CFD) 電腦模擬進行設計效能可行性推估；(3)製作實體模型及實際評估其效能。期待藉由部分現場診斷與監測，有效評估粉體塗裝業作業場所通風防護現況，分析危害成因與改善策略，提供資訊作為可行通風控制設計探討。並輔以 CFD 電腦模擬進行有效性評估，選擇部分設計進行實體模型製作後，再度以實際量測予以確認。

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 粉體塗裝有害物質暴露

粉體塗裝作業過程中，吸入及皮膚接觸粉體是暴露的主要途徑[5][6][7]，為防止安全衛生相關危害，英國職業安全衛生署(Health and Safety Executive, HSE)、澳洲職業安全衛生暨職災補償署(Australian Safety and Compensation Council, ASCC)、歐洲塗料製造商聯盟(European Confederation of Paint, Printing Ink and Artists' Colours Manufacturers Associations, CEPE)以及英國表面塗裝聯合會(British Coatings Federation, BCF)分別提出相關實務規範或安全指引[5][7][8][9]。為了使塗膜厚度減薄，新一代的粉末之粒徑已從 100~150  $\mu\text{m}$  大幅減小至平均粒徑約 15  $\mu\text{m}$ [10]，而且幾乎所有的粉末顆粒皆製作成圓球形，有助於靜電作用的效果[11]。而在作業過程中，粒徑較大的顆粒具有更高的動量，也帶有較高的帶電量，除了在物件上附著性更佳外，更不易被載流氣體自噴塗物件上吹離或掉落於噴塗房地面[11]。因此作業過程中未附著於物件表面或未被回收的粉體，粒徑較大者會逐漸沉積在地面，微細粉體則可逸散於空氣中。而根據部分研究發現，經由回收系統收集的粉體，其平均粒徑皆有減小的趨勢[12][13]，推論現場工作者的暴露涵蓋可吸入性，胸腔性及可呼吸性粉塵。

根據調查粉體塗裝廠空氣中微粒中位粒徑(count median aerodynamic diameter, CMAD)介於 0.88~1.69  $\mu\text{m}$ ，粒數濃度由高到低依序為烘烤區、噴塗區、掛料區以及行政區。而部份特殊作業方式時(例如加料)，濃度則可能瞬間增加至 21.8  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，短時間平均濃度則因操作流程亦可達 4-5  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。在工作者暴露方面，噴塗室內部量測之短時間時量平均總粉塵暴露濃度偏高(平均值 14.0  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) [14]。在個人採樣評估部分，噴塗區進行換粉及塗裝室清潔時，總粉塵及可呼吸性粉塵暴露濃度都超過短時間時量平均容許濃度，大約為標準的 6.28 及 5.61 倍[14]。因此噴塗區內部及系統清潔為粉體塗裝作業暴露於粉塵最嚴重作業。而國外針對粉體塗裝作業進行的暴露調查結果，也發現工作者可能暴露於高粉塵濃度之下。1992 年美國的調查結果發現，在一個粉體塗裝作業 8 個環境定點總粉塵採樣監測樣本，監測濃度平均值( $\pm$ 標準差)為 11.7 ( $\pm$ 19.0)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，範圍為 2.4~58.4  $\text{mg}/\text{m}^3$  [15]。另一個在 2009 年研究調查則發現，工作者個人採樣總粉塵及可呼吸性粉塵的平均濃度分別為 26 及 2.3  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，且有二分之一的總粉塵

樣品濃度超過容許暴露標準[6]。在南韓的一個塗裝工廠工作者肺癌與六價鉻暴露評估的研究調查，在工廠所使用的粉體塗裝原料的物質資料，顯示有 6 種原料含有 1~10% 的六價鉻，針對黃綠色和紅色粉體塗裝原料樣本的定量分析，發現這兩種粉體塗料的六價鉻含量分別是 0.27% 和 0.95%，從對粉體塗裝工作者的個人暴露採樣監測，顯示工作者的六價鉻暴露濃度為  $216.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (遠超過韓國的六價鉻容許暴露濃度標準  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，總粉塵暴露濃度超過  $10 \text{mg}/\text{m}^3$ ，可呼吸性粉塵暴露濃度為  $8.1 \text{mg}/\text{m}^3$ ；對於物件清潔工作者(約距離粉替塗裝室 1 公尺)的六價鉻暴露濃度為  $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，總粉塵暴露濃度超過  $5.2 \text{mg}/\text{m}^3$ ，可呼吸性粉塵暴露濃度為  $1.2 \text{mg}/\text{m}^3$ 。由於從罹患肺癌的工作者 13.5 年的工作史中，顯示顯著的高濃度六價鉻暴露，因此認為他的肺癌與職業六價鉻暴露存在高度相關[16]。

## 第二節 粉體塗裝通風設施檢測與評估

目前我國有關粉體塗裝作業並沒有特別的法令規定，對於粉體塗裝作業危害有關的法規，有職業安全衛生法第 6 條第 1 項第 6、7、8、14 款就規定對防止高壓氣體引起的危害；防止原料、材料、氣體、蒸氣、粉塵、溶劑、化學品、含毒性物質或缺氧空氣等引起的危害；防止輻射、高溫、低溫、超音波、噪音、振動或異常氣壓等引起的危害；防止未採取充足通風、採光、照明、保溫或防濕等引起的危害，雇主應有符合規定的必要安全衛生設備及措施[17]。在母法職業安全衛生法架構下，職業安全衛生設施規則第 292 條第一項第一款表示工作場所內發散有害氣體、蒸氣、粉塵時，應視其性質，採取密閉設備、局部排氣裝置、整體換氣裝置或以其他方法導入新鮮空氣等適當措施，使其不超過工作者作業場所容許暴露標準的規定。

在勞安所製作「工業通風裝置性能有效性評估技術手冊」，推動事業單位通風裝置設施效能的提升。根據執行後的調查[18]，顯示只有少數高科技產業在部分項目得以使用，對於傳統產業在設置前有效性驗證共 19 個細項中，如果以 50% 以上的事業單位符合要求為條件下，只有約 21% (4/19) 項目達到此門檻；設置後有效性驗證方面，則沒有任何一項(0/9)項目達到此門檻；性能維護驗證方面，也沒有任何一項(0/9)項目達到此門檻。由此可見，傳統產業利用勞安所於 2008 年發展之評估表可能因為專業性、技術性或法規驗證項目明確規範欠缺下，執行有其困難，導致可執行率較低。因此，2014 年勞安所發佈新版通風設施管理文件，對於部分法規未訂定的評估細項，精簡版的通風設施管理文件在不影響其性能與運作下，酌以刪減項目，以提高傳統產業或中小企業使用意願與可行性。另外，顧及傳統產業的專業技術程度尚未達一定水準下，決定將評估細項的評估基準區分為專業上屬初階程度的必要條件，與具有完整學理與專業基礎的強化條件兩項，事業單位只要達到必要條件即判定為完成，若有餘力則鼓勵往強化條件方向努力。該作法使得通風設施的管理困難度與複雜度大幅減少，可行性亦隨之提升，經過試行結果發現至少有 60% 事業單位得以實施[18]。

勞安所於 2015 年在「通風設施管理文件化落實方案探討」研究中[18]，實施 23 則現場訪視與對應改進後，已具成熟規制與發展潛力，然仍亟需擴大教育宣導，普及職業衛生通風設施設置、使用與管理的正確作為。因此，勞安所嘗試於 2016 年「通風設施性能測試評估與管理制度探討」研究[20]，建立通風設施管理制度相關規定及技術需求

宣導資料庫，以提高產業相關人士知識理解與自主管理為目的，撰擬合計 12 則通風設施性能評估示範圖說與 5 則示範影片，包含下列十二項：「00 通風基本元件及原理」、「01 以煙霧評估氣罩吸引氣流觀察」、「02 氣罩風速分佈暨風量評估」、「03 氣罩中軸靜壓變化量測」、「04 氣罩壓力損失係數量測」、「05 氣罩捕集效率測試」、「06 導管橫斷面風速量測暨風速分佈」、「07 導管動壓量測與轉換風速」、「08 導管壓損量測」、「09 圓形開口或截面風速分佈與風量量測」、「10 矩形開口或截面風速分佈與風量量測」、「11-濃度衰減有效通風量量測」，囊括氣罩、導管與整體換氣等三大通風型式與元件，單一物理參數量測與污染物移除綜效兩種量測方式。研究中完成 28 組次事業單位現場通風設施協助檢測，透過建立網站持續宣導通風技術。此外，透過匯集國內相關領域專家學者，籌組「通風設施性能測試評估團隊」，推動通風設施正確管理觀念，協助事業單位檢測作業現場通風設施性能，並且引導事業單位撰寫通風設施性能測試與管理文件範本，達到逐步推廣、落實管理的目的。

## 第三章 工作方法

本研究依研究目的透過對粉體塗裝業實地訪查，建立粉體塗裝作業型態、作業環境粉體逸散特性、逸散粉體粒徑分佈與結晶型二氧化矽暨金屬成份分析、工作者粉體微粒暴露評估、既有通風設施樣態與種類勘查、通風設施效能評估、最佳化通風設施設計建議、先期設計電腦模擬評估試行、實體模型製作與效能確認等，藉由這些工作項目內容，累積對粉體塗裝業有害物暴露評估與控制改善經驗，彙整實務案例提供未來暴露控制工程改善或設計的建議，詳細的實施方法及步驟描述於後。

### 第一節 國外粉體塗裝作業管理方式文獻收集彙整與擴大國內粉體塗裝業現況調查

#### 一、蒐集彙整國外針對粉體塗裝相關法規、指引與作業安全衛生管理方式

本研究針對國外關於粉體塗裝應用、作業狀況及暴露與健康危害相關文獻進行收集分析。主要以關鍵字”powder coating”、”electrostatic powder coating”、”powder coating exposure”等透過網路搜尋由美國國家醫學圖書館(National Library of Medicine，簡稱 NLM)所屬美國國家生物技術資訊中心(National Center for Biotechnology Information，簡稱 NCBI)所建置的 PubMed 資料庫平台，及在 Google 搜尋引擎下搜尋網路公開文獻資料。搜尋所得的文獻資料，將依粉體塗裝製程特性與應用、健康危害、暴露監測與評估、暴露危害評估與控制、法規指引與管理等大項類別，再個別篩選較相關文獻進行深入分析探討，作為本研究研究執行粉體塗裝業相關作業安全衛生管理方式擬定之參考。

#### 二、調查國內目前常用粉體塗料及其結晶型二氧化矽與金屬成分分析

對於國內粉體塗裝業過去已有研究[19]，得知國內目前約有 10 餘家粉體塗料製造廠，生產各式粉體，主要有環氧系(epoxy system)、壓克力系(acrylic system)、聚酯系(polyester/TGIC system)、聚胺基甲酸乙酯系(polyurethane system)、環氧/聚酯混合系(hybrid system)和非 TGIC 聚酯型(TGIC-free polyester)的粉體塗料；而使用粉體塗料的工廠，不區分其規模大小，推估約有數百家粉體塗裝廠。粉體塗料依其顏色需要，添加不同的金屬成分。本研究針對國內目前常用粉體塗料樣本，進行結晶型二氧化矽與金屬成分分析及比較，此金屬成分分析結果可提供後續作業環境及工作者個人暴露監測

的參考依據。

### 三、評估不同粉體塗裝作業之有害物環境濃度特徵與工作者個人暴露監測

從過去對粉體塗裝作業現場訪評發現，粉體塗裝廠的噴塗區、掛料區與烘烤區為主要的粉塵暴露區域，而噴塗、塗裝室清理及粉體加料為高暴露作業項目，而工作者為求作業方便與確認塗裝物件品質而進入塗裝室導致短時間高濃度暴露[19]。為了進一步對粉體塗裝作業環境與工作者個人工作狀況有清楚的瞭解，本研究進行 9 場次的粉體塗裝業現場訪查，於現場訪查中收集製程(processes)、作業項目(tasks)、控制設備(control equipment)、使用原料物(materials)等相關資料，尤其對工作者所參與的工作製程、使用的原物料、執行的作業項目、接觸有害物的時間與頻率等，提供作為依我國行政院勞動部職業安全衛生署於 2015 年修訂的「作業環境監測指引」[21]，要求實施作業環境監測需對所有作業環境工作者劃分相似暴露群組(similar exposure groups, SEGs)所需使用的資料；而為了辨識目前或預期作業環境中存在的危害及風險，必須描繪所有 SEGs 的有害物的暴露實態(或暴露分佈)，因此需要對每一個 SEG 收集足夠的暴露監測樣本。從採樣前對粉體塗裝業的巡視發現，每一個粉體塗裝工廠工作者主要配置在掛件、塗裝與收件 3 個作業項目，因此 SEGs 主要就區分為掛件、塗裝與收件 3 個群組。規劃在每一個工廠這 3 個 SEGs，均能採集到數個個人暴露監測樣本。

本研究實施個人暴露監測，以描繪 SEGs 的暴露實態。也對訪視粉體塗裝業現場採集區域定點監測樣本，以瞭解作業現場逸散來源、通風裝置效能等可能造成高濃度發生的因素，並評估作業環境監測濃度與個人暴露監測濃度的相關性。

由於對每一個監測工廠工作者已劃分 SEGs，本研究對於每一個場次的所屬 SEGs，以簡單隨機抽樣方式選定暴露監測工作者進行有害物個人暴露監測。在暴露採樣監測同時，要求採樣監測人員對當天工作者作業環境現況進行觀察記錄，所記錄項目如表 1 所示。並且於對工作者配帶採樣監測裝置和介質時，給予工作者如表 2 的紀錄表，請工作者配合紀錄採樣當天每 15 分鐘所執行的作業項目。這些觀察紀錄和作業項目資料，將提供與暴露監測濃度的相關分析，以瞭解造成工作者暴露的主要因子是否與特定作業項目、個人工作習慣、通風設備效能等存在關聯性。因此，本研究藉工作者個人及作業環境監測濃度，調查工作者有害物暴露濃度與工作者的操作特性及作業環境控

制措施的關聯，探討影響工作者暴露濃度及健康風險的主要因子，為暴露控制策略的擬定提供重要參考資料。

表 1 作業環境現況調查表

工廠名稱：_____		採樣日期：_____年_____月_____日	
作業名稱		作業區域	
受測工作者姓名		採樣點編號	
受測工作者移動情形	<input type="checkbox"/> 在不同工作區域遊走 <input type="checkbox"/> 在工作位置 3 公尺範圍內走動 <input type="checkbox"/> 固定在一個工作位置，很少走動	受測工作者工作習慣	<input type="checkbox"/> 與其他工作者一樣 <input type="checkbox"/> 與其他工作者不同
是否有局部排氣通風裝置	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	局部排氣通風裝置是否開啟	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
		局部排氣通風裝置效能是否足夠	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否，說明原因：_____
是否有使用電風扇或冷氣	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	電風扇或冷氣出風口是否吹向有害物發散源	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
工作者是否使用個人防護具與種類	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有： <input type="checkbox"/> 呼吸防護具： <input type="checkbox"/> 手套： <input type="checkbox"/> 其他：	工作者的呼吸防護具多久更換一次	<input type="checkbox"/> 每天 <input type="checkbox"/> 其他：_____
		工作者的呼吸防護具的保存方式	<input type="checkbox"/> 自行攜帶 <input type="checkbox"/> 懸掛於個人置物櫃 <input type="checkbox"/> 懸掛於防護具專用收納櫃 <input type="checkbox"/> 其他：
其他異常狀況說明(可能導致此次採樣濃度較高，如：原料桶未加蓋)			
受測工作者作業情形照片（與污染源相對位置）	局排與污染源相對位置之照片		
其他異常狀況的照片	其他異常狀況的照片		

表 2 有害物暴露採樣監測工作者工作紀錄表

工廠名稱: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 姓名: \_\_\_\_\_

職 稱	<input type="checkbox"/> 1.廠務人員 <input type="checkbox"/> 2.基層值班主管 <input type="checkbox"/> 3.品管人員 <input type="checkbox"/> 4.現場操作技術員 <input type="checkbox"/> 5.生產工程師(現場工程師、製程工程師、機械工程師、助理工程師) <input type="checkbox"/> 6.倉儲管理人員 <input type="checkbox"/> 7.盤控技術員 <input type="checkbox"/> 8.保養技術員 <input type="checkbox"/> 9.安督人員 <input type="checkbox"/> 10.其他，請說明 _____		
	時間	請依右邊一欄所列之工作項目，在每一時段填入對應工作項目的數字編號	作業項目
1	08:00~08:15		5.設備保養
2	08:16~08:30		
3	08:31~08:45		6.現場成品取樣
4	08:46~09:00		
5	09:01~09:15		7.塗料調配
6	09:16~09:30		
7	09:31~09:45		8.文書處理(資料研讀、開會、製作表單)
8	09:46~10:00		
9	10:01~10:15		9.午休吃飯
10	10:16~10:30		10.休息時間(上廁所)
11	10:31~10:45		
12	10:46~11:00		11.抽煙
13	11:01~11:15		
14	11:16~11:30		12.現場製程操作(投料操作)
15	11:31~11:45		
16	11:46~12:00		13.現場環境巡視(現場工作督導、廠區巡檢)
17	12:01~12:15		14.庫房取物(庫房繳物、倉庫或倉儲工作)
18	12:16~12:30		
19	12:31~12:45		15.廠區建築、地面維修、環境清理
20	12:46~13:00		
21	13:01~13:15		16.現場監工
22	13:16~13:30		
23	13:31~13:45		17.實驗室分析(品管)
24	13:46~14:00		18.其他(請說明)
25	14:01~14:15		
26	14:16~14:30		19.
27	14:31~14:45		
28	14:46~15:00		20.
29	15:01~15:15		
30	15:16~15:30		21.
31	15:31~15:45		
32	15:46~16:00		22.
33	16:01~16:15		
34	16:16~16:30		23.
35	16:31~16:45		
36	16:46~17:00		24.
37	17:01~17:15		
38	17:16~17:30		25.
39	17:31~17:45		
40	17:46~18:00		

## 第二節 國內粉體塗裝業作業環境與工作者有害物暴露評估

### 一、粉體塗裝業作業環境與工作者有害物暴露採樣監測

本研究針對粉體塗裝業作業環境與工作者空氣粉塵暴露進行採樣監測，主要監測項目為粉塵。由於我國「勞工作業場所容許暴露標準」對於粉體塗裝業作業環境中的粉塵，視為第四類粉塵暴露[22]，所以必須收集總粉塵，但考量對作業環境空氣中所收集粉塵稱重的準確性，雖然本研究也重視金屬成分分析，對於粉塵採樣介質選擇裝填聚氯乙烯濾紙(polyvinylchloride membrane filter, PVC)，分別搭配 37 或 25 mm 濾紙匣、Marple 個人分徑採樣器(Marple personal cascade impactor)、IOM(Institute of Occupational Medicine)和 37 與 25 mm 旋風式分離器執行工作者粉塵暴露與作業環境定點採樣監測，以準確估計粉體塗裝個人及作業環境中總粉塵、可吸入性或可呼吸性粉塵濃度。為了瞭解粉體靜電塗裝的粉體是否含有我國「粉塵危害預防標準」欲防止的結晶型二氧化矽暴露，研究中也對粉體塗料成分及粉塵採樣樣本中是否含有二氧化矽成分及比例進行監測分析。採樣方法依據勞安所建議的結晶型二氧化矽的採樣分析方法[23]，以旋風分離器加上內裝 25 mm 聚四氟乙烯濾紙裱敷玻璃纖維濾紙(PALL Life Sciences, T60A20)的濾紙匣，進行可呼吸性粉塵個人暴露採樣。詳細採樣監測步驟描述於後。

#### (一) 採樣設備與介質準備

採樣前對於需使用採樣設備與介質進行準備，包括：(1)填裝直徑 37 mm PVC 濾紙的濾紙匣；(2)Marple 個人分徑採樣器各階內裝直徑 34 mm 的 PVC 濾紙；(3)PM<sub>2.5</sub> 個人採樣器(Personal Environmental Monitor, PEM)內裝直徑 37 mm 的 PVC 濾紙；(4)鋁製旋風分離器加上內裝 37 mm PVC 濾紙；(5)鋁製旋風分離器加上內裝 25 mm 聚四氟乙烯濾紙裱敷的採樣介質，個人採樣幫浦(Casella APEX air sampling pumps 及 Sensidyne Gilian GilAir-5 air sampling pumps)採樣流量率分別校正設定為 2.0、2.0、2.0、2.5 和 2.5 L/min。

#### (二) 採樣過程

工作者個人空氣粉塵採樣在正常 8 小時輪班中，至少連續採集 6 小時工作時間的空氣暴露樣本，以估計工作者總粉塵的 8 小時時量加權平均暴露濃度(8-hour

time-weighted average exposure, 8-hr TWA)。於工作者作業前，將個人採樣幫浦設定為適當流量率 2 L/min (總粉塵和可吸入性粉塵)或 2.5 L/min (可呼吸性粉塵)，然後配戴於工作者的腰部位置，在不妨礙工作者作業為原則，搭配軟管將採樣介質繫於工作者衣領呼吸區帶內實施個人暴露採樣。定點區域採樣以不妨礙現場作業狀況且能有效代表現場狀況的定點擺放採樣幫浦，並將採樣裝置和介質架高離地面約 150 cm 處，於工作者呼吸區帶高度進行採樣。記錄採樣幫浦前校正流量率、採樣時間、採樣位置、配戴工作者編號等，觀察記錄工作者採樣期間工作項目，每小時巡查採樣幫浦的運行狀況，遇故障或任何狀況立即予以排除，以降低採樣期間的錯誤。

### (三) 採樣結束後

採樣結束後，收回所有採樣幫浦、裝置和介質，進行採樣幫浦流量率校正，記錄採樣流量率、採樣時間、工作項目觀察記錄表等。將採樣濾紙匣密封標示後，放入夾鏈袋及樣本保存箱，儘速送回實驗室放入乾燥皿內，進行樣本乾燥與保存，等待後續稱重及儀器分析。

## 二、粉塵樣本稱重

本研究將使用六位數微量天平(Mettler Toledo, Switzerland)，重量單位為 $\mu\text{g}$ ，進行採樣 PVC 濾紙和粉塵稱重。空白濾紙及採樣用濾紙均放置於溫濕度控制防潮箱調理，天平置於溫溼度控制的天平室，其溫度控制在  $25\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  範圍內，相對濕度控制在  $40\pm 10\%$ 。所有濾紙在稱重前，需靜置調理 24 小時後，方能取出稱重。微量天平稱重前以內部校正系統實施天平校正，使濾紙通過除靜電器，並將濾紙精確秤至  $1\ \mu\text{g}$ 。採樣前後的濾紙均依照下列步驟處理：

- (一) 檢查濾紙表面是否有破損、髒污或其他缺陷，如有問題則立即丟棄，更換新的正常濾紙。
- (二) 檢查濾紙調理箱內溫濕度控制，溫度須在  $20\sim 23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  範圍內，相對濕度須在  $30\sim 40\pm 5\%$ 。
- (三) 當調理箱內溫濕度條件符合標準，然後將濾紙編號後放入調理箱，調理 24 小時後，才執行濾紙稱重。

- (四) 檢查天平室內溫濕度控制，溫度須在  $25 \pm 5$  °C 範圍內，相對濕度須在  $40 \pm 10$  %。
- (五) 戴上手套避免手部流汗影響濾紙稱重室內濕度。
- (六) 進行天平歸零，然後使用標準砝碼及實驗室標準空白樣本，檢查天平是否能正常。
- (七) 消除濾紙靜電。
- (八) 開始執行濾紙稱重。
- (九) 連續完成三次稱重，並記錄稱重數值。
- (十) 將完成稱重濾紙放回調理箱，並記錄稱重狀況。

### 三、粉體塗料重金屬成分及暴露監測樣本分析

#### (一) 粉體塗料金屬成分分析

本研究針對粉體塗裝工廠所使用的粉體塗料的重金屬成分進行取樣分析，以驗證工作者個人粉塵暴露和作業環境監測數據。粉體塗料樣品的消化前處理與金屬成分分析，參考美國勞動部職業安全衛生總署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)的採樣分析方法(Sampling and Analytical Methods)(Method No. 1006)[24]，以感應耦合電漿質譜儀(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)進行樣品微波消化和樣品分析。

#### (二) 暴露監測樣本分析

本研究針對粉體塗裝工廠工作者個人及區域採樣監測樣本中的金屬元素成份，同樣將以 ICP-MS 進行樣本分析，以了解粉體塗裝業工作者金屬暴露濃度，作為後續暴露控制措施擬定和容許暴露濃度修正參考。從防潮箱中濾紙保存盒中取出濾紙，放入燒杯中，加入硝酸 2 mL 後，放入微波消化爐中消化。待濾紙消化溶解，冷卻完成定量到 25 mL 定量瓶中，用過濾針頭過濾完，裝入 50 mL 離心管等待分析。

本研究樣本金屬成份分析使用 ICP-MS，載流氣體皆為氦氣(He)，進樣前以 0.35 rps 吸取 30 秒穩定 20 秒後，樣本以 0.35 rps 吸取 20 秒經霧化處理後，將所轉化之待測金屬元素(Li、B、Na、Mg、Al、K、Ca、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Sr、Ag、Cd、In、Ba、Tl、Pb 和 Bi)的氣膠(aerosol)送至電漿處(plasma)中，樣本受熱(1500 瓦)，

經由一系列去溶劑、分解、離子化後，將待測元素成正離子，再通過真空管進入質譜儀 (mass spectrometer)，由質量分析器(mass analyzer)將各特定質荷比(mass-to-charge ratios)的離子進行分析後，以偵測器加以偵測，來進行定性及定量，所監測金屬元素以 ppb(wt/wt)濃度單位表示。ICP-MS 的操作條件設置如下表 3。由於本研究所使用的 ICP-MS 金屬元素標準品中含有非金屬或類金屬元素 B(硼)，為了完整呈現分析資料，雖然瞭解 B(硼)一般不歸類為金屬元素，但在分析結果的呈現與描述，仍將 B(硼)列入表格和圖形與文字描述。

表 3 樣本金屬成份儀器分析操作條件設置

分析儀器：ICP-MS	
運行前-沖洗瓶	吸收速度 (霧化泵): 0.35 rps 攝取時間: 30 秒 穩定: 25 秒
進樣	沖洗速度 (霧化泵): 0.35 rps 樣品攝取時間: 20 秒 STD 攝取時間: 20 秒
進樣後沖洗-沖洗瓶一	沖洗速度 (霧化泵): 0.35 rps 攝取時間: 30 秒
進樣後沖洗-沖洗瓶二	沖洗速度 (霧化泵): 0.35 rps 攝取時間: 10 秒
功率 1500 瓦	Matching 1.73V
載流氣體 氦氣	載流速率 0.7 L/min
霧化器 0.1 rps	S/C Temp 2 °C
輔助/稀釋氣體 0.45 L/min	Smpl Depth 10 mm

由於結晶型二氧化矽成份和比例分析需使用 X 光繞射分析儀(X-ray diffraction, XRD)，本研究所採集的二氧化矽樣本，送至具有結晶型二氧化矽分析能力實驗室進行定量分析。

### 第三節 粉體塗裝業作業區通風設施檢測與評估

本研究評估事業單位通風設施性能檢測流程如圖 2 所示。研究前先行取得事業單位同意，由事業單位選定目標作業場所及通風設施，並且告知時間、廠區與人數等資訊，以利事業單位作業場所的工作排程與配合本研究的研究目標。參與研究的事業單位於檢測評估前，提供包括粉體塗裝作業方式描述與環境資料(含製程解說、照片、作業環境監測結果、粉體種類、現有通風設施類型與元件等)，以利研究團隊先行瞭解作業場所基本資訊，並藉由研究團隊會議針對作業場所粉體塗料逸散方式與特徵進行討論，研判通風設施形式與實際性能，並且預測事業單位於性能評估時可能出現偏誤的因素。

掌握上述資訊之後，研究團隊根據排定時間攜帶監測儀器設備進廠檢測。檢測依據實場狀況以發煙管、雷射光頁(流場可視化)、直讀式粉塵計(Handheld 3016, Lighthouse Worldwide Solutions, USA)、微粒氣動分徑儀(aerodynamic particle sizer, APS)(Model 3321 Spectrometer, TSI, USA)、輪葉式風速計(AVM-01, PROVA, Taiwan)、熱球式風速計(Model 400 與 Model 0635.1049, Testo, Germany)、微壓差計(Model 400 與 Model 0638.1345, Testo, Germany)等通風性能量測儀器，進行通風設施性能檢測。首先依據目視、雷射光頁或攝影方式協助，掌握粉體塗料逸散方式。隨後依據 103 年發展的設置前中後有效性評估表中，通風設施性能維護檢測方法與技術規劃，依序執行五項工作：(1)以目視檢查進行系統外在各元件完整的檢查；(2)使用煙流觀察氣罩性能；(3)捕集風速或氣罩表面風速的量測；(4)導管搬運速度的量測；(5)氣罩進入靜壓或流量的量測。若有因現場設施限制而無法實施的項目，則予以刪除而不進行。此外，如現場實際狀況與事業單位允許，則加上直讀式儀器設備(例如直讀式粉塵計)的評估量測，提供更詳細資訊。檢測初步完成後，於現場就檢測結果提出初步評估並口頭告知事業單位。執行檢測同時，評估團隊除了與事業單位陪同人員就通風設施運作現況進行訪談，也以照相或是手繪方式記錄現場狀況。檢測數據進行彙整確認後納入資料庫中，提供後續性能監測結果進行分析與討論。根據前述粉體塗料逸散方式與特徵，結合既有通風設施效能實際量測結果與評估，則可提供具粉體塗裝作業的事業單位通風設施或管理改善建議，並進一步推動通風設施正確設置管理觀念。

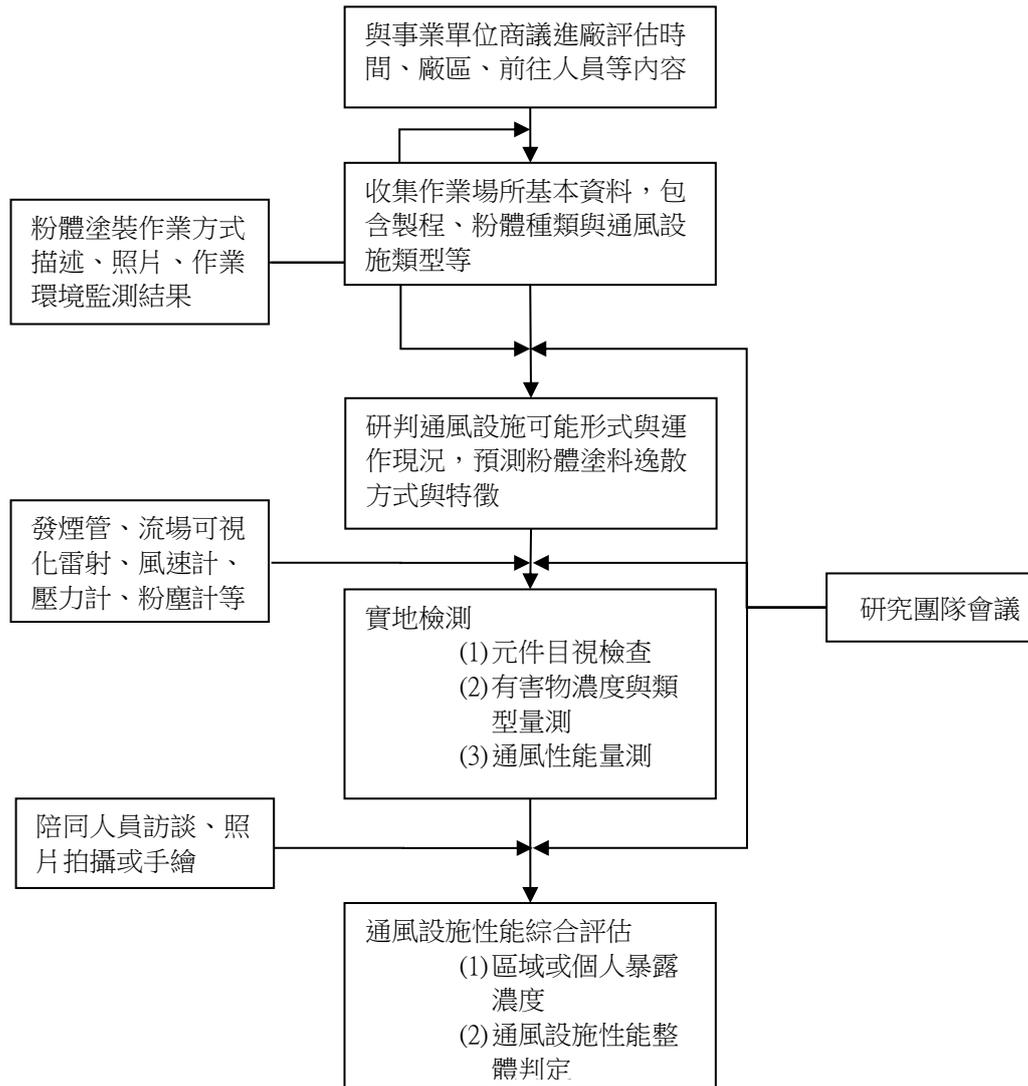


圖 2 通風設施性能檢測評估流程

## 第四節 粉體塗裝業有效通風設施設計

職業衛生對於作業現場所產生的有害物控制原則，可分別從污染源、傳播途徑及接受者三個方面介入。當無法以無毒或較低毒性的原料取代做為實施的方法時，其中最有效方法則是從製程改善著手，但其困難度與所需經費較高，僅少數具成功案例；次要選擇則是從密閉作業進行，此方式牽涉到現場作業方式、實際作業物件幾何形狀、大小等因素，未必適用於所有作業現場。當上述兩優先方式如果都無法適用，則需考慮使用通風設施捕集有害物，以避免其逸散，造成工作者高濃度的暴露。本研究根據文獻回顧工作項目蒐集資料，結合此次訪視作業現場粉體塗裝各類作業使用的通風設施，對於其性能監測結果進行討論，提供改善建議。接著歸納 5 組具代表性且可提供粉體塗裝作業進行粉體逸散控制的通風設施，由提出建議改善策略及圖例的專家，與接受委託負責繪製精緻設計圖例的專業人員溝通討論，直到所繪製的圖示充分表現專家提出的改善設計原理及概念。完成設計圖繪製後，進一步徵詢施工單位意見，逐步修正至完全表達改善設計的概念後定案。

我國在過去雖然在有害物危害預防法規中刪除控制通風設施風速規定，但仍將有害物作業勞工暴露監測要求，於「勞工作業場所容許暴露標準」規定暴露容許濃度[19]，另依「勞工作業環境監測實施辦法」規定事業單位應實施作業環境監測，掌握作業環境實態，評估工作者暴露狀況[25]。其原因乃是以控制風速評估通風設施局部排氣裝置性能，無法確實掌握工作者實際暴露狀況。但在通風設施初始設計中，若無控制風速等參數將無法開始進行設計並加以試算。本研究以美國政府工業衛生學會(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)出版的「工業通風：實務作業建議手冊」(Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design, 26th Edition)為主要通風設施設計參考依據[26]，選擇必要氣罩型式，並參酌研究團隊建議，結合現場情況決定各項設計參數。各設計圖的設計基本假設為：(1)採用溫度 20 °C、氣壓 760 mmHg 及濕度 75%的標準狀態空氣，空氣密度 1.2 kg/m<sup>3</sup>，導管摩擦損失因數 0.024，粗糙度 0.18 mm；(2)假設空氣為不可壓縮性流體(incompressible fluid)；(3)局部排氣裝置設計不考慮位能變化；(4)整體換氣裝置理論換氣量計算，假設導入新鮮空氣與室內空氣良好混合(well mixing)。而 5 組通風設施設計思考方式與流程如下：

一、針對製程中所產生的粉體逸散型態或特性進行判別，決定合適的氣罩型式；

- 二、根據氣罩型式與粉體特性決定發生源應具備的風速；
- 三、依捕集區域與氣罩開口處距離，決定適合的開口風速；
- 四、依開口風速、氣罩開口面大小與發生源條件，決定風量；
- 五、依風量與導管風速設定，決定導管尺寸；
- 六、依導管內風速，參考氣罩型式與開口風速，計算該氣罩的理論靜壓；
- 七、抽風機馬力依氣罩靜壓、吸氣導管壓損、空氣清新裝置壓損、排氣導管等條件，依各型抽風機效能進行計算。

在通風設施設計之初與平日的通風效能自動檢查上，裝置之流量、流速、動靜壓、導管(含尺寸、動靜壓、肘管、清潔口及測定孔等設計)，仍是不可忽略的，因此在前述 5 組通風設施設計條件決定後，嘗試以 ANSYS FLUENT (ANSYS, Inc., USA)、SolidWorks (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation) 或其他計算流體力學 (computational fluid dynamics, CFD) 軟體進行電腦模擬，進行先期設計效能評估，瞭解各項參數是否符合設計與現場實際需求，並持續修正至預期設計效果後定案。從定案的 5 組通風設施設計中選擇 2 組，製作有效通風設施設計的實體模型，然後進行該 2 套通風設施性能檢測與評估，以確認其效能達到預期設計效果。模擬通風設施裝置擬以鐵板或壓克力透明板製作，包含導管、清潔孔、風速測定孔等。導管內氣流是藉由設有變頻裝置且適當馬力的排氣機做為該裝置的動力來源，以達到利用風機轉速控制風速的目的。在鐵板或壓克力透明圓形導管上設有適當大小圓形測定孔，以利風速與壓力監測之用。性能檢測方面，使用煙霧測試獲得氣罩捕集區範圍，以風速計與壓力計量測模擬有害物發生源風速、氣罩表面風速、導管內風速及動靜壓，以評估整個系統的性能。藉此建立粉體塗裝業，包含現場蒐集資料種類與方式、通風設施設計規劃、電腦模擬評估、乃至於實體模型製作與驗證，整套通風設施有效設計流程，提供粉體塗裝作業的事業單位正確且優質的通風設施設計與設置參考，以降低工作者暴露。

## 第四章 執行情形與結果

### 第一節 國外粉體塗裝作業管理之收集及分析

澳洲安全工作署(Safe Work Australia)依據國家所訂的工作衛生與安全法(the Work Health and Safety Act, the WHS Act)制定噴漆與粉體塗裝作業規範(Code of Practice for spray painting and powder coating)[27]，確認粉體塗裝作業可能面對的危害性化學品，主要是 TGIC 和表面清理的化合物(氫氧化鉀、氫氧化鈉、氫氟酸、鉻酸、硫酸等)。會有 TGIC 暴露的作業項目，包括：裝填料斗(filling hoppers)、手動粉體塗裝(如修補塗裝)、粉體塗料回收(reclaiming powder)、工業用真空吸塵器清理、塗裝崗亭清理(cleaning powder coating booths)、粉體塗料洩漏清理等。規範中對於暴露控制的建議方法，包括：(1)使用不含 TGIC 的粉體塗料；(2)工程控制，如：使用塗裝崗亭、裝設局部排氣設備、使用自動噴槍和填料、塗料供應和管線安全聯鎖(interlock)及裝設抽氣系統(air extraction system)、原料開封、填料與回收開口縮小以減少粉塵逸散、塗裝室平面佈局配置和填料開口縮小降低粉塵產生等；(3)行政管理：操作方式設計以減少粉塵產生、限制人員進出、確保人員不會介於塗裝物件和污染空氣之間及物件於崗亭內塗裝、只允許噴槍和塗料供應管線在塗裝崗亭內、實施個人衛生管理(工作後徹底清洗，不可有塗料殘留於臉部等)、塗裝崗亭和塗裝區域定期清理、有塗料意外洩漏時立即清理等。由於粉體塗裝作業可能有電氣安全問題，所有設備(尤其是噴槍和塗裝崗亭)必須完全接地，要求在帶電的噴槍頭 3 公尺範圍內的金屬物件和設備必須接地，此範圍必須規劃為禁區(exclusion zone)，禁區地板需使用能導電的材料建構以利噴槍接地，使用金屬外殼和把手的噴槍，避免因過度噴灑塗料於此區域累積產生絕緣層，也必須定期清理接地掛勾防止絕緣層產生。於禁區工作的人員，身上不可穿戴金屬物品(如金屬手錶)，不可穿會造成靜電累積的絲質和合成纖維材料衣服(包括襪子)，工作人員必須穿戴絕緣手套與防靜電或導電鞋(anti-static or conductive footwear)，導電鞋的電阻必須介於  $7.5 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^7$  ohms，須注意若導電鞋的鞋底若有漆、油或蠟會造成無法導電而累積靜電。粉體塗裝作業要特別注意防火防爆，易燃物質和粉塵累積要特別注意防範，通風和粉塵收集裝置與系統要定期清理和檢查，以防止火災和塵爆發生。

美國加州職業安全與健康處(Division of Occupational Safety and Health, Cal/OSHA)

對於粉體塗裝作業制定一些管理規範[28]，其中包括要求粉體塗裝作業應該在適當設計且有自動滅火系統保護的密閉空間內操作，粉體塗裝室(或崗亭)應該具備有效通風系統，且表面應儘量要求平滑以減少粉體累積和易於清理。所使用的電氣設備應該遵循電氣安全法令規定，粉體塗料運送、應用和回收設備均需接地。粉體塗裝室的所有表面(含壁掛、樑、管線、掛勾、地板等)均應定期清理，防止粉體累積，合乎規範的真空吸塵器應用於這些表面清理。粉體塗裝作業區域應嚴格禁煙，禁煙標誌應標示於易燃蒸氣或易燃粉末使用區域。噴槍設備的電路設計應該要防止火花或點燃粉體空氣混合物，變壓器、高電壓供應控制設備、其他設備的電氣部份，都應該放置於粉體塗裝室外面。導電的粉體塗裝物件在粉體塗裝區域內必需妥善接地，電氣裝置與通風設備應該有安全聯鎖(interlock)裝置，確認通風設備運作時才能執行粉體塗裝作業。

美國職業安全衛生總署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)對於粉體塗裝作業於使用易燃性與可燃性料的噴塗精密加工(Spray finishing using flammable and combustible materials)法令中加以制定規範[29]，其中較為重要者有：(1)乾燥、養護和熔合(fusing)相關電氣設備需符合烤箱與熔爐標準(NFPA No. 86A-1969)規定；(2)粉體塗裝室的所有表面，包括：壁掛、樑、管線、掛勾、地板等，均應定期清理，防止粉體累積；(3)靜電流體化床(electrostatic fluidized bed)及其相關設備必須都是經過認可的類型，這些設備的最高表面溫度不可超過 150°F(≈65.6°C)，高壓電路不可產生火花，在正常操作下所有設備都必須適當接地，以避免感電危害；(4)所有使用有機過氧化物(organic peroxides)和其他兩種成分的塗裝操作，應該在符合標準的噴灑式的塗裝室(sprinklered spray booths)內進行；(5)禁煙標誌應標示於有機過氧化物儲存、混合和使用區域，只有不產生火花工具才能在此區域使用。OSHA 對於塗裝室的設計與建造也規範了一些準則[30]，如塗裝室的建造材料以不鏽鋼、水泥或石材為主，表面要平滑無邊角，防止塗裝物質殘留及易於清理而無缺損，室中氣流必須導向出氣口；一般塗裝室中的氣流平均風速不得低於 100 ft/min (約等於 0.5 m/sec)，靜電塗裝室則氣流平均風速不得低於 60 ft/min (約等於 0.3 m/sec)，風速或壓力指示器或警報裝置必須安裝於塗裝室用以顯示風速；若塗裝室安裝有濾材，需定期檢查並更換。為了防止電氣和其他點火源，塗裝室內和周邊 20 ft (約 6.08 m)範圍(最小隔離距離)，不可以有明火和火花，除非有隔間；在塗裝室外但在最小隔離距離內的固定照明設備，必須有防止掉落和機械破

壞的防護；可移動式照明設備當塗裝作業時，不可在塗裝室內使用，當在清理或維修必須使用時，需使用合格類型的可移動式照明設備。其他如通風排氣設備、防火裝置、絕緣接地、互鎖防護等，也都有要求規範。

英國國家標準(British Standard)依據歐盟 EN12981:2500+A1:2009 法規制定「塗裝工廠---應用有機粉體塗裝的塗裝室規範」(Coating plants --- Spray booths for application of organic powder coating, BS EN12981:2500+A1:2009)[31]，規範中對於使用有機粉體塗裝的塗裝室表列的危害，包括：(1)機械危害；(2)電氣危害；(3)噪音危害；(4)有害物質暴露危害；(5)火災爆炸危害；(6)電力供應和控制系統故障，因此規範中要求：(1)機械安全防護措施：危險點防護、防止擠壓和剪切、護罩與互鎖、可動部件、防止圈閉(entrapment)的保護措施、防止滑倒和跌倒和各種安全控制系統(一般監測系統、安全相關裝置物件、指示警報系統等)；(2)電氣安全要求：防止電氣帶電部件接觸措施、接地防護措施、電磁場影響防護措施和靜電防護措施；(3)噪音安全要求與防護措施；(4)危險性物質的防護措施；防止吸入塗裝粉體，包括：塗裝室氣流方向、風速(無人操作下，要求每一開口風速至少 0.4 m/sec，不得低於 0.3 m/sec；有人操作下，要求每一開口風速至少 0.3 m/sec，任一次量測值至少 0.25 m/sec)；通風設備效能監測(需有壓力監測裝置及與塗裝設備互鎖防護)；(5)火災爆炸預防措施：要求使用防火材料、火警監測系統與互鎖防護、爆炸預防(塗裝粉體濃度不得超過 50%爆炸下限 lower explosive limit (LEL)，若無 LEL，則要求空氣中濃度不得超過 10 mg/m<sup>3</sup>)；危害區域分類；避免及減少火源)；(6)電源供應故障防護措施與要求：塗裝阻斷、無控制啟動防止措施、緊急通風系統、不斷電或緊急備用電力供應等。對於各項防護措施的確認量測重點，包括：(1)要求塗裝室至少要有 600 lux 照度；(2)控制系統需要有明確標示；(3)在塗裝室區域內安裝煙霧產生器，用以確定通風氣流方向及辨識確實吸取煙霧；(4)通風效能量測的風速計必須能量測 0.15~1 m/sec 範圍的風速及確實校正，風速必須在正常操作條件下量測，在每一個量測點至少要量測 1 分鐘並計算其平均風速；(5)在有操作人員的塗裝室內量測風速，量測的水平面需離地面 1 m，量測平面的面積需離塗裝室各邊 0.25 m，量測平面的面積為 1~1.5 m<sup>2</sup>。平面的中心點為量測點，兩個量測位置間隔需小於或等於 1.5 m，對於小的塗裝室長寬需至少各量測 2 點。在每一個量測點，風速必須在氣流方向量測，尋找風速最大值；(6)對於塗裝室外面有操作人員的量測，在每一個塗裝室開

口風速的量測，開口分割為數個長方型的量測方格，在每一個中心點量測，每一個方格的長寬需小於 0.6 m。在每一個量測點，風速必須在氣流方向量測，尋找風速最大值；(7)對於塗裝室無人員在內部作業，但外部有往復式自動塗裝設備的量測，如同第(6)的量測方式；(8)對於塗裝室有人員在內部作業，但外部有往復式自動塗裝設備的量測，如同第(6)的量測方式；(9)對於塗裝室有人員在內部作業，且內部有往復式自動塗裝設備的量測，如同第(5)的量測方式；(10)對於大型物件的塗裝，量測方式另有特殊方式。對於防火防爆的預防措施的維護與確認檢查重點，及塗裝粉體濃度與所需排氣通風量等相較於爆炸下限的計算公式，在此規範中亦有提供。

紐西蘭在有關塗裝的法令 *Spray Coating Regulations 1962* 對於使用乾燥材料和靜電塗裝的規範，比較近似於粉體塗裝的設置和作業要求[32]。其中較為重要的項目，包括：(1)對於塗裝室通風系統要求在作業人員呼吸區帶維持層流且風速不可低於 0.5 m/sec；(2)存放塗裝可燃性材料的物件的乾燥室，在乾燥過程中室內空氣的換氣次數不得少於 15 次，且乾燥室的溫度不可超過 175 °C；(3)塗裝製程和任何火源的距離不可低於 6 m。

日本對於粉體塗裝作業危害並未制定特別的法令加以規範，但日本藉由完整的法令架構對勞工全面的健康檢查和健康監管制度，成功地預防塵肺病的發生。Jp 等人[33]針對日本從 1960 年制定「塵肺病法」(Enforcement Ordinance of Pneumoconiosis Law)，以保護從事粉塵暴露作業勞工的健康並促進其福利，發現塵肺病(pneumoconiosis)盛行率在 1982 年的最高為 17.3% (病例數 6842)，逐年下降到 2013 年的 1% (病例數 227)，顯示日本針對勞工粉塵暴露，以落實法令制度與實施健康檢查和監管制度，達到有效降低塵肺病的發生。依據日本產業衛生學會(Japan Society for Occupational Health, JSOH)建議的職業暴露限值(Recommendation of Occupational Exposure Limits, OEL)[34]，有關粉塵暴露的管制，分為可呼吸性結晶型二氧化矽及非可呼吸性結晶型二氧化矽兩種型態的粉塵，其中可呼吸性結晶型二氧化矽訂定最高暴露限值(OEL-C)為 0.03 mg/m<sup>3</sup>；而非可呼吸性結晶型二氧化矽的粉塵又分為四類，包括：(1) 活性碳(activated charcoal)、礬土(alumina)、鋁(aluminum)、膨土(bentonite)、矽藻土(diatomite)、石墨(graphite)、高嶺土(kaolinite)、寶塔石或壽山石(pagodite)、黃鐵礦(pyrites)、黃鐵燒渣(pyrite cinder)和滑石(talc)---可呼吸性粉塵 OEL 為 0.5 mg/m<sup>3</sup> 和總粉塵 OEL 為 2 mg/m<sup>3</sup>；(2) 結晶型二

氧化矽含量 3% 以下的粉塵、酚醛樹脂或電木(bakelite)、碳黑(carbon black)、煤(coal)、軟木粉塵(cork dust)、棉塵(cotton dust)、氧化鐵(iron oxide)、穀類粉塵(grain dust)、拜香粉塵(joss stick material dust)、大理石(marble)、波特蘭水泥(Portland cement)、氧化鈦(titanium oxide)和氧化鋅(zinc oxide)---可呼吸性粉塵 OEL 為  $1 \text{ mg/m}^3$  和總粉塵 OEL 為  $4 \text{ mg/m}^3$ ；(3) 石灰石(Limestone)、除了上述(1)和(2)類以外的無機和有機粉塵---可呼吸性粉塵 OEL 為  $2 \text{ mg/m}^3$  和總粉塵 OEL 為  $8 \text{ mg/m}^3$ ；(4) 石綿，依石綿型態不同及不同致癌終身風險，分別給予不同的限值：白石綿(chrysotile)--- $0.15 \text{ fibers/mL}$ ( $10^{-3}$  致癌終身風險)、 $0.015 \text{ fibers/mL}$ ( $10^{-4}$  致癌終身風險)，containing asbestos fibers--- $0.03 \text{ fibers/mL}$ ( $10^{-3}$  致癌終身風險)和其他非白石綿(other than chrysotile) --- $0.003 \text{ fibers/mL}$ ( $10^{-4}$  致癌終身風險)。粉體塗裝業作業粉體塗料所產生的粉塵，依日本產業衛生學會有關粉塵暴露的管制，大致上可歸類為非可呼吸性結晶型二氧化矽的粉塵中第(3)類的粉塵，也就是說，除(1)和(2)類以外的無機和有機粉塵，類似我國「勞工作業場所容許暴露標準」中所分類的第四類厭惡性粉塵。

韓國僱傭勞動部(Ministry of Employment and Labor, MOEL)也有訂有預防塵肺病的特別法規”Act on the Prevention of Pneumoconiosis and Protection, etc., of Pneumoconiosis Workers”[36]，其中對於粉塵作業主要著眼於作業中處理土石(earth rocks)、岩石或礦物(rocks or mineral)產生的粉塵暴露，對於有這些粉塵暴露工作者要求每年至少實施一次健康檢查，且雇主必須有合格人員執行作業環境監測(work environmental monitoring)，監測記錄必須依法令保存和報告給主管機關，若雇主不實施作業環境監測，主管機關可以指定作業環境監測機構(work environment monitoring agent)代為執行作業環境監測(vicarious execution of work environment monitoring)，而雇主必須支付監測的費用。同樣地，韓國對於粉塵暴露危害，並未特別針對粉體塗裝作業的粉體粉塵有特別的考量。

我國「粉塵危害預防標準」[37]著眼於對礦石、碳原料或碳製品、粉狀鋁或二氧化鈦、玻璃或珫瑯、陶磁器、耐火物、矽藻土製品或研磨材製造、砂模、製造鑄件等，乾燥、袋裝或裝卸過程和作業場所產生的粉塵，造成工作者暴露引發危害的預防。粉體塗裝作業粉體塗料主要成分為有機化合物聚合物，包括：環氧樹脂、環氧/聚酯混合型、聚酯型、聚氨酯型、壓克力型、壓克力混合型塗料等，並非「粉塵危害預防標準」所列

舉針對的粉塵暴露，要引用此標準要求事業單位對粉體塗裝作業工作者粉體粉塵暴露進行管制，可能有其適法性上的困難。但如果以我國「勞工作業場所容許暴露標準」對於粉體塗裝業作業環境中的粉塵，以第四類厭惡性粉塵暴露加以規範，則可能發生如同現在的狀況，無法得到事業單位的重視，有效改善工作者粉塵暴露的問題。而有關粉體塗裝作業火災爆炸、感電安全等職業安全規範，我國雖然未訂定特別單一法規，但在我國「職業安全衛生設施規則」[38]則有一些相關規範，如：第 8 章---爆炸、火災及腐蝕、洩漏之防止，有類似的要求規定，其相關條文如下：(1)第 171 條：雇主對於對於易引起火災及爆炸危險場所，應依下列規定：一、不得設置有火花、電弧或用高溫成為發火源之虞之機械、器具或設備等；二、標示嚴禁煙火及禁止無關人員進入，並規定勞工不得使用明火。(2)第 172 條：雇主對於工作中遇停電有導致超壓、爆炸或火災等危險之虞者，應裝置足夠容量，並能於緊急時供電之發電設備。(3)第 173 條：雇主對於有危險物或有油類、可燃性粉塵等其他危險物存在之虞之配管、儲槽、油桶等容器，從事熔接、熔斷或使用明火之作業或有發生火花之虞之作業，應事先清除該等物質，並確認無危險之虞。(4)第 175 條：雇主對於下列設備有因靜電引起爆炸或火災之虞者，應採取接地、使用除電劑、加濕、使用不致成為發火源之虞之除電裝置或其他去除靜電之裝置。(5)第 177 條：雇主對於作業場所有易燃液體之蒸氣、可燃性氣體或爆燃性粉塵以外之可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者，應依危險特性採取通風、換氣、除塵等措施外，並依下列規定辦理：...。(6)第 177 條之 1：雇主對於有爆燃性粉塵存在，而有爆炸、火災之虞之場所，使用之電氣機械、器具或設備，應具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造。(7)第 177 條之 2：雇主對於前二條所定應有防爆性能構造之電氣機械、器具、設備，於中央主管機關公告後新安裝或換者，應使用符合中央主管機關指定之國家標準、國際標準或團體標準規定之合格品。(8)第 188 條：雇主對於存有易燃液體之蒸氣、可燃性氣體或可燃性粉塵，致有引起爆炸、火災之虞之工作場所，應有通風、換氣、除塵、去除靜電等必要設施。其中有關粉體塗料從有關靜電塗裝材料爆炸特性研究[39]，指出粉體塗裝材料火災爆炸特性屬於爆炸程度較弱等級，其最小自燃溫度為 490 °C，於高溫時會有火災爆炸風險，應可歸類為可燃性粉塵，而適用上述條文。而上述各國有訂定粉體塗裝作業管理法規比較如表 4。

表 4 各國粉體塗裝作業管理法規

規範管理項目	澳洲	美國 加州	美國 OSHA	英國	紐西 蘭
<p>塗裝室設置規範</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 建材(不鏽鋼、水泥、石材)</li> <li>• 風速</li> <li>• 塗裝室前迎風區域</li> <li>• 傳送帶</li> <li>• 操作者區隔距離</li> <li>• 淨空區域</li> <li>• 照明</li> <li>• 通風裝置</li> <li>• 粉體回收裝置</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>
<p>化學危害</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 皮膚過敏物質、吸入及攝入毒性、基因毒性、嚴重眼睛傷害 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 相關物質：TGIC</li> </ul> </li> <li>• 粉塵暴露</li> <li>• 化學灼傷、全身性毒性、致命性皮膚接觸、癌症、皮膚過敏等 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 相關物質：表面處理化合物 (KOH、NaOH、HF、二氟化鹽、鉻酸、硫酸等)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	
<p>噪音</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 包括：音源去除、取代使用低噪音裝置、隔離或封閉音源、使用吸音材料等</li> </ul>	√			√	
<p>熱危害</p>	√				
<p>空氣監測</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 評估暴露是否超過暴露限值、暴露控制是否有效、是否需使用適當呼吸防護具等</li> </ul>	√				
<p>健康監測</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 化學危害物質暴露的工作者需接受健康檢查評估他們的健康狀況</li> <li>• 必要時實施生物監測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> </ul>				√
<p>電氣(感電)危害</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 禁區或隔離區(噴槍頭 3 m 範圍內)內所有設備、金屬表面接地</li> <li>• 禁區地板接地</li> <li>• 金屬外殼、噴槍握把與金屬區域、金屬屏幕的高壓電纜等</li> <li>• 定期清理接地掛鉤避免絕緣層產生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>√</li> <li>√</li> </ul>

規範管理項目	澳洲	美國 加州	美國 OSHA	英國	紐西 蘭
<ul style="list-style-type: none"> <li>失誤安全控制</li> <li>靜電設備遵循規範</li> <li>塗裝設備遵循規範</li> <li>配線遵循規範</li> <li>燈管(泡)防護、禁用移動燈管(若在清潔或維修時使用，需使用有危害分類 I(Class I)認證核可)</li> <li>穿著防靜電鞋建議</li> </ul>	√	√	√ √ √ √ √	√	√ √ √
<b>火災爆炸危害</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>在每次操作前，徹底清除操作禁區內的易燃物</li> <li>使用金屬容器盛裝溶劑</li> <li>設置滅火器</li> <li>禁止火源(抽菸)</li> <li>互鎖防護</li> <li>粉塵濃度限制</li> <li>偵測裝置</li> <li>危害區域劃分</li> </ul>	√ √ √	√ √	√ √	√ √ √ √ √	√ √ √
<b>靜電防制</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>將物件放置於接地或防靜電表面</li> </ul>		√	√	√	
<b>手動工作項目</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>降低肌肉骨骼傷害風險</li> </ul>	√				
<b>控制措施</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>通風設施</li> <li>控制措施審查 <ul style="list-style-type: none"> <li>有效性評估、修正、增設等，至少 5 年實施一次</li> </ul> </li> </ul>	√ √	√	√	√ √	√
<b>機械危害</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>噴槍噴射傷</li> <li>捲入夾口</li> <li>往復運動裝置</li> <li>切削預防</li> <li>互鎖防護</li> <li>防止圈閉</li> </ul>	√		√	√ √ √ √ √	
<b>人員滑倒、墜落</b>				√	
<b>電源供應中斷危害</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>通風裝置效能減損</li> <li>控制設備失能</li> <li>照明中斷</li> </ul>				√ √ √ √	

規範管理項目	澳洲	美國 加州	美國 OSHA	英國	紐西 蘭
<p>本表各國引用出處如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.澳洲：噴漆與粉體塗裝作業規範(Code of practice for spray painting and powder coating)[27]。</li> <li>2.美國加州：職業安全與健康處(Division of Occupational Safety and Health, Cal/OSHA)[28]。</li> <li>3.美國 OSHA：粉體塗裝作業於使用易燃性與可燃性料的噴塗精密加工(Spray finishing using flammable and combustible materials)[29]。</li> <li>4.英國：EN12981:2500+A1:2009 塗裝工廠---應用有機粉體塗裝的塗裝室規範(Coating plants --- Spray booths for application of organic powder coating, BS EN12981:2500+A1:2009) [31]。</li> <li>5.紐西蘭：塗裝法規(Spray Coating Regulations 1962)[32]。</li> </ol>					

## 第二節 粉體塗裝作業現場作業環境監測

### 一、作業環境監測規劃

本研究目前完成 9 家(分別以英文字母 A~I 代表)具有粉體塗裝作業事業單位的工作者個人與作業環境粉塵暴露監測。其中 6 家(A、B、D、G、H、I)非粉體塗裝專營工廠，這些工廠自己本身擁有物件製造產線，不接受其他工廠所生產物件進行粉體塗裝作業；另外 3 家(C、E、F)則未擁有物件製造產線，單純接受其他工廠所生產物件進行粉體塗裝作業。

#### (一) A 廠

A 廠非粉體塗裝專營工廠，僅針對自己廠內製程生產的物件進行粉體塗裝，全廠僅一條粉體塗裝線，所處理物件為單冷、冷暖氣機等產品為主。整條粉體塗裝線作業流程如圖 3 所示，作業流程依序為：(1)工作者將物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(2)物件經傳送軌道自動送至脫脂、酸洗及純水清洗區域洗淨物件表面，物件經乾燥後再經軌道送至粉體作業區進行粉體塗裝前處理(處理區)；(3)工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下並擦拭清潔物件表面(收件區)。本工廠的粉體塗裝作業單獨設置於一個廠房內，其中粉體塗裝作業區有單獨隔間，與其他作業區形成區隔，減少粉體逸散洩漏到其他作業區域的可能性。粉體塗裝線各作業區的工作者人數，分別為掛件區 2~3 名、粉體塗裝作業區 2 名及收件區 2~3 名，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 3 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

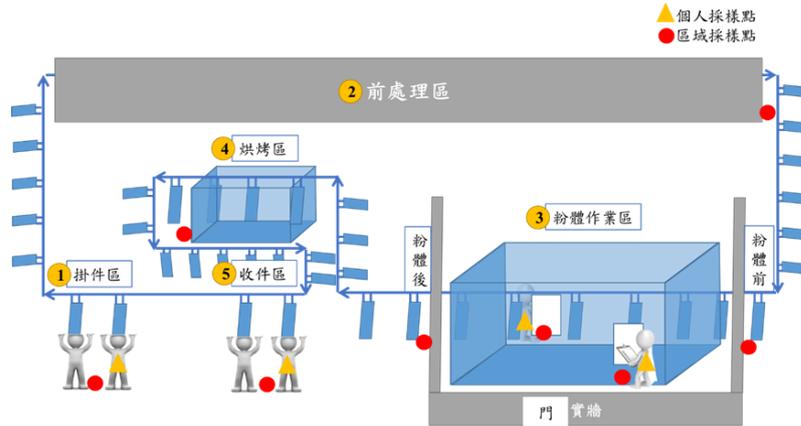


圖 3 A 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

## (二) B 廠

B 廠非粉體塗裝專營工廠，同樣僅針對自己廠內製程生產的物件進行粉體塗裝。本廠以處理電玩機台、電腦、液晶螢幕、轉換式電源供應器及附屬零件等產品為主。整條粉體塗裝線作業流程如圖 4 所示，作業流程依序為：(1)將物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(2)物件經傳送軌道自動送至脫脂、酸洗及純水清洗區域洗淨物件表面，並經過乾燥後，由軌道送至粉體作業區進行粉體塗裝(前處理區)；(3) 工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。本廠的粉體塗裝作業單獨隔離在一區，與其他產線區隔，其中前處理區、粉體塗裝作業區與烘烤區有單獨隔間。粉體塗裝線各作業區的工作者人數，分別為掛件區 2~3 名、粉體塗裝作業區 2 名及收件區 2~3 名，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 4 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

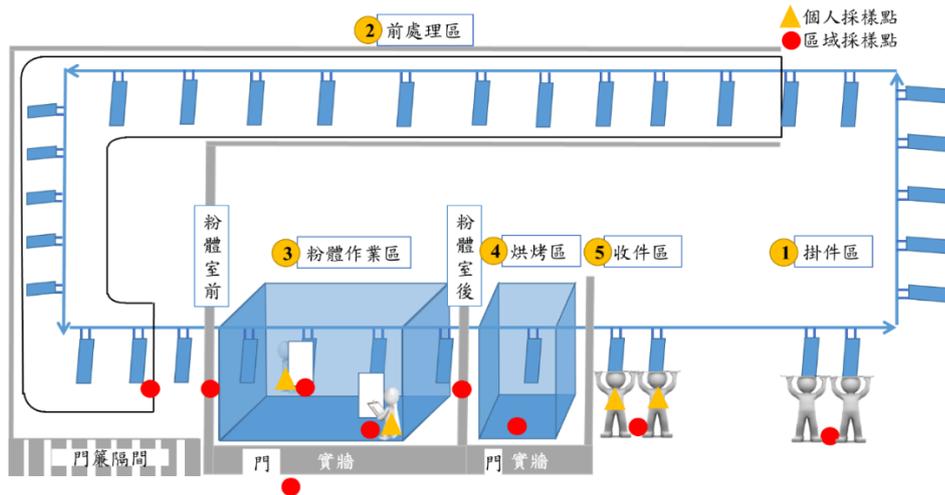


圖 4 B 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

### (三) C 廠

C 廠為粉體塗裝專營工廠，全廠僅一條粉體塗裝線，以處理各類工業產品為主。整條粉體塗裝線作業流程如圖 5 所示，作業流程依序為：(1)將物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(2)物件經傳送軌道自動送至脫脂、酸洗及純水清洗區域洗淨物件表面，並經過乾燥後，由軌道送至粉體作業區進行粉體塗裝(前處理區)；(3)以人工方式利用布料擦拭及拋光機去除物件表面髒污(擦拭區)；(4)工作者使用靜電噴槍將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(5)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(6)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。本廠的粉體塗裝作業單獨隔離在一區，與其他產線區隔，其中前處理區、粉體塗裝作業區與烘烤區有單獨隔間。粉體塗裝線各作業區的工作者人數，在掛件區、粉體塗裝作業區及收件區均為 2~3 名工作者，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 5 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

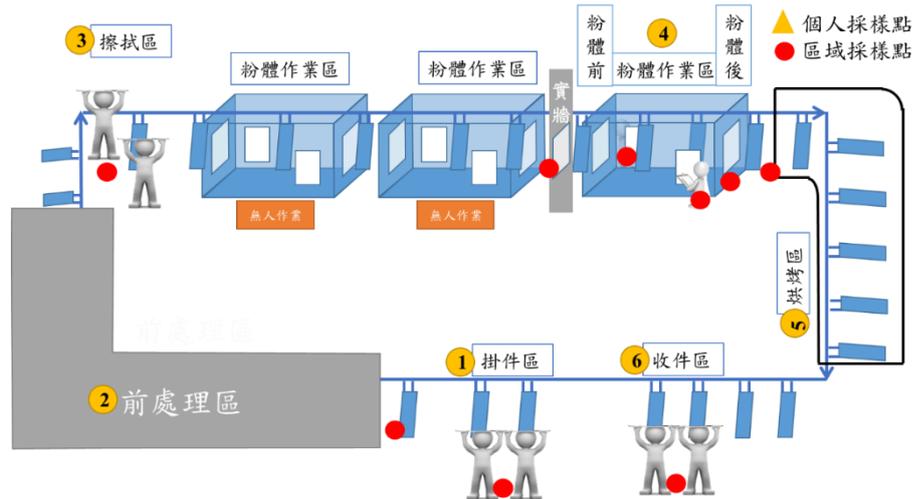


圖 5 C 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

#### (四) D 廠

D 廠非粉體塗裝專營工廠，全廠僅一條粉體塗裝線，僅針對自己廠內製程生產的書桌、電腦椅等產品進行粉體塗裝。整條粉體塗裝線作業流程如圖 6 所示，作業流程依序為：(1)將物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(2)物件經傳送軌道自動送至脫脂、酸洗及純水清洗區域洗淨物件表面，並經過乾燥後，由軌道送至粉體作業區進行粉體塗裝(前處理區)；(3)工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。本廠的粉體作業區有 2 個粉體艙，會依噴塗粉體顏色的深淺切換粉體艙。粉體塗裝各作業區的工作者人數，分別為掛件區 2~3 名、粉體塗裝作業區 2 名及收件區 2~3 名，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 6 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

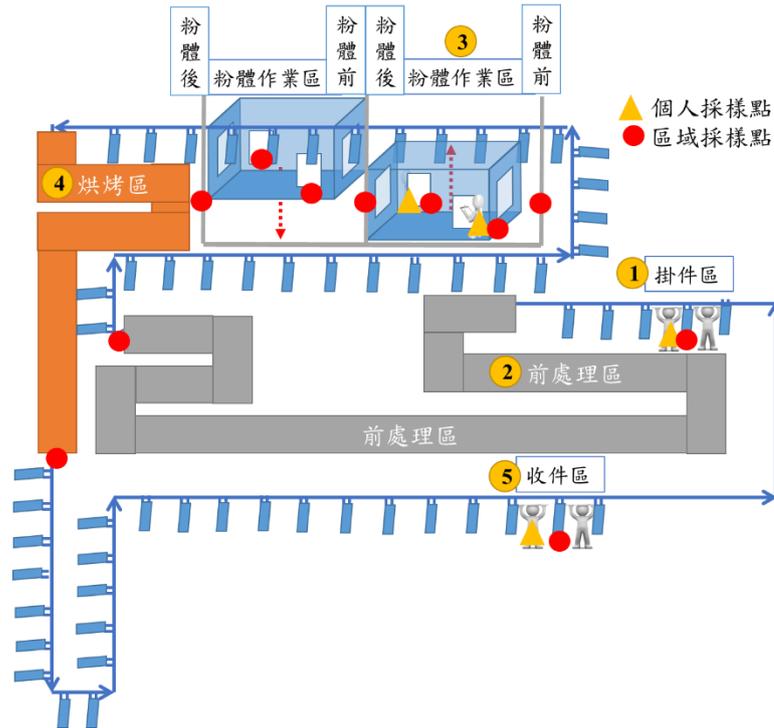


圖 6 D 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

#### (五) E 廠

E 廠為粉體塗裝專營工廠，以處理各類工業產品為主，全廠有二條粉體塗裝線，分別設置在廠房的一樓及二樓。粉體塗裝線的前處理區與其他粉體塗裝作業，分別擁有個別獨立的傳送軌道，整條粉體塗裝線作業流程如圖 7 所示，作業流程依序為：(1)工作者將物件掛置軌道上，經傳送軌道自動將物件送至脫脂、酸洗及純水清洗區，洗淨物件表面並乾燥，然後再由其他工作者將前處理完成的物件收下；(2)將前處理完成的物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(3)工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。前處理區分別有 2 名工作者負責掛件及收件，粉體塗裝作業則在掛件區有 2~3 名工作者，粉體作業區有 3 名工作者及收件區有 2~3 名工作者，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 7 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

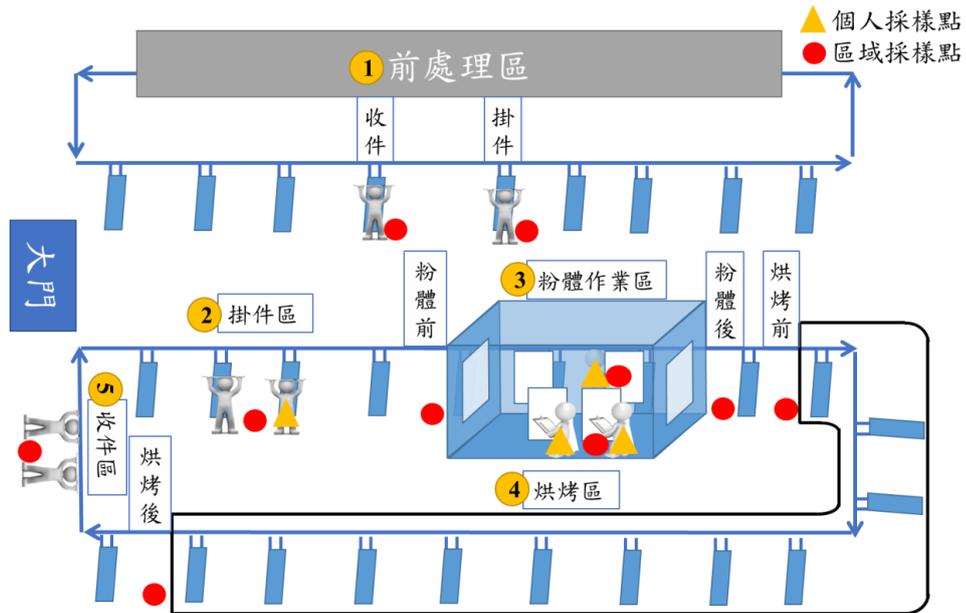


圖 7 E 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

#### (六) F 廠

F 廠為粉體塗裝專營工廠，以處理各類工業產品為主，粉體塗裝線設置於廠區二樓。粉體塗裝線的前處理區與其他粉體塗裝作業，分別擁有個別獨立的傳送軌道，整條粉體塗裝線作業流程如圖 8 所示，作業流程依序為：(1)工作者將物件掛置軌道上，經傳送軌道自動將物件送至脫脂、皮膜及純水清洗區，洗淨物件表面並乾燥，然後再由其他工作者將前處理完成的物件收下；(2)將前處理完成的物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(3)工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。前處理區分別有 2~3 名工作者負責掛件及收件，粉體塗裝作業則在掛件區有 2~3 名工作者，粉體作業區有 3 名工作者及收件區有 2~3 名工作者，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 8 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

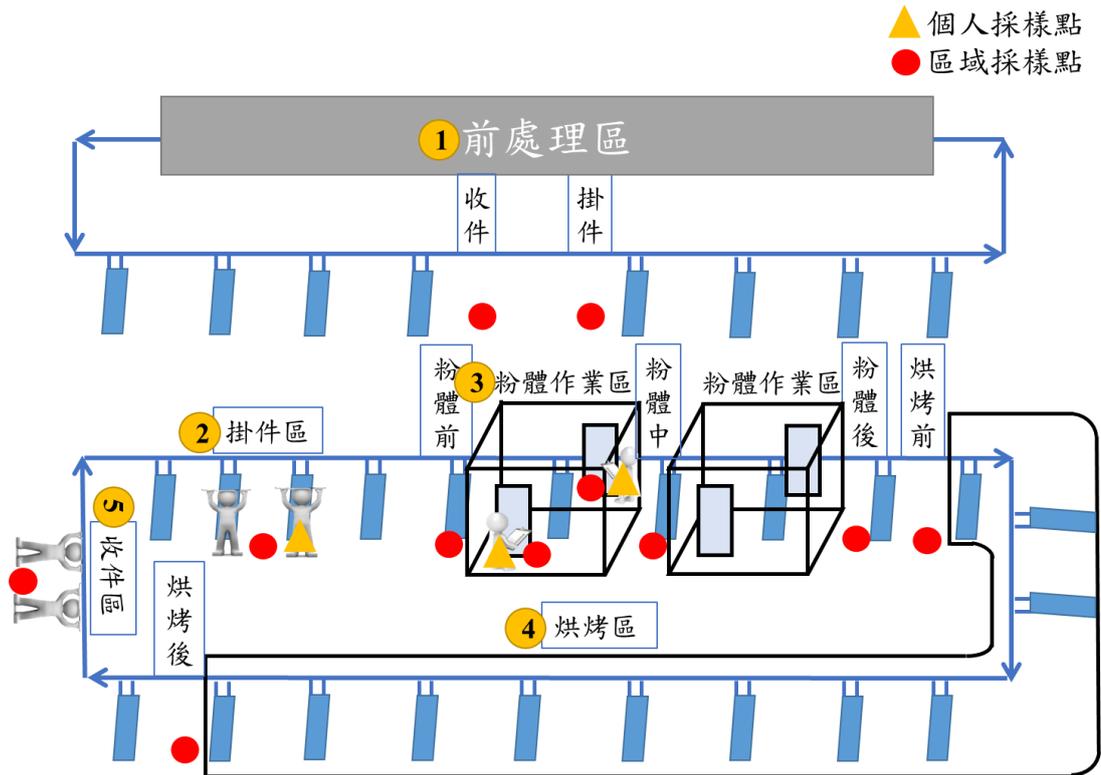


圖 8 F 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

### (七) G 廠

G 廠非粉體塗裝專營工廠，僅針對自己廠內製程生產的物件進行粉體塗裝，全廠僅一條粉體塗裝線，所處理之物件為奶油瓶。整條粉體塗裝線作業流程如圖 9 所示，作業流程依序為：(1)工作者將物件以手工方式，將待噴塗之物件，放置於(前處理區)的槽體內進行脫脂、酸洗及純水清洗作業；(2)工作者將前處理完成之物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(3)物件經傳送軌道經過(液體塗料室)，該作業區之工作者負責奶油瓶瓶內烤漆，粉體塗裝線的軌道僅通過該作業空間；(3) 奶油瓶經傳送軌道送至(粉體塗裝作業區)，工作者使用靜電噴槍將粉體塗料噴塗於物件上；(4)利用高溫烘烤使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。本廠粉體塗裝作業線上之粉體塗裝作業區及烘烤區皆有單獨隔間，與其他作業區形成區隔，減少粉體逸散洩漏到其他作業區域的可能性。粉體塗裝線各作業區的工作者人數，分別為前處理區 2~3 名、掛件區 2~3 名、液體塗料室 1 名、粉體塗裝作業區 1 名及收件區 1~2 名，每位工作者每日工作時間皆為 8

小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 9，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

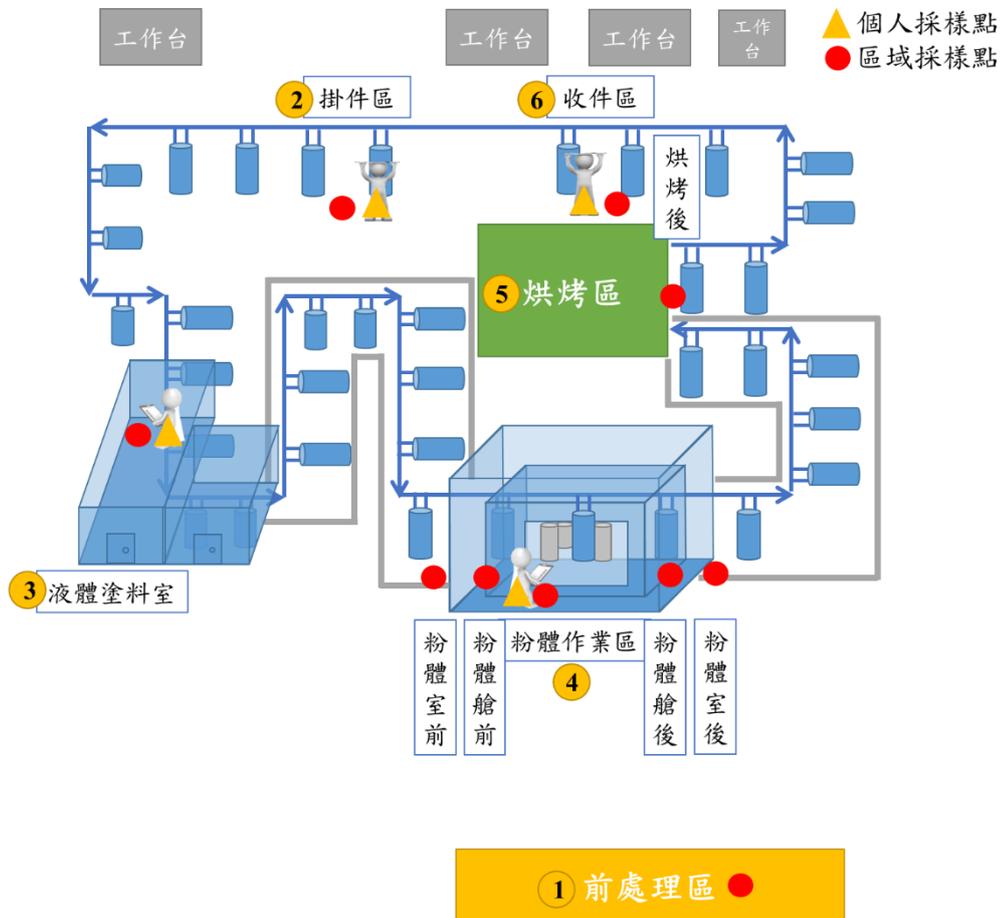


圖 9 G 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

#### (八) H 廠

H 廠非粉體塗裝專營工廠，全廠設置一條粉體塗裝線，僅針對自己廠內製程生產的電腦辦公轉椅進行粉體塗裝。整條粉體塗裝線作業流程如圖 10 所示，作業流程依序為：(1)將物件掛置於傳送軌道上(掛件區)；(2)物件經傳送軌道自動送至脫脂、酸洗及純水清洗區域洗淨物件表面，並經過乾燥後，由軌道送至粉體作業區進行粉體塗裝(前處理區)；(3)工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。本廠的粉體作業區有 2 個粉體艙，會依噴塗粉體顏色的深淺切換使用粉體艙。粉體塗裝各作業區的工作者人數，分別為掛件區 2~3 名、粉體塗裝作業區 1 名

及收件區 2~3 名，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 10 中，個人及區域樣本分別以黃色三角形及紅色圓點表示。

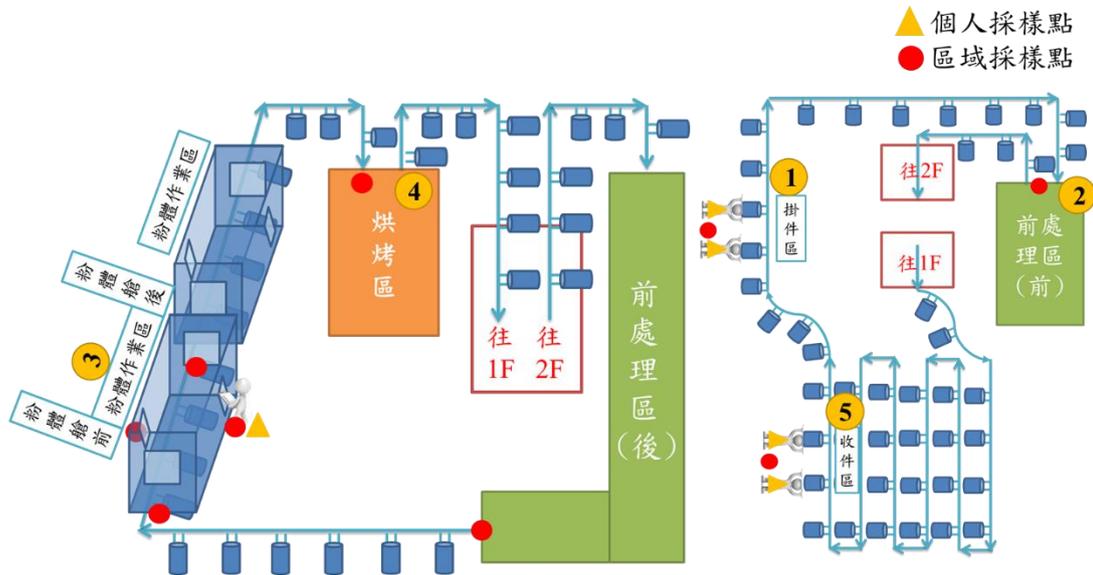


圖 10 H 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

### (九) I 廠

I 廠非粉體塗裝專營工廠，僅針對自己廠內製程生產的自行車零件，設有一條粉體塗裝線進行粉體塗裝。粉體塗裝線的前處理區與其他粉體塗裝作業，分別擁有個別獨立的傳送軌道，整條粉體塗裝線作業流程如圖 11 所示，作業流程依序為：(1)工作者將物件掛置軌道上，經傳送軌道自動將物件送至脫脂、皮膜及純水清洗區，洗淨物件表面並乾燥(前處理區)，然後再由其他工作者將前處理完成的物件收下(收掛件區)；(2)將前處理完成的物件掛置於傳送軌道上(掛件區)，視物件狀況會使用噴槍，將物件火烤乾燥；(3)工作者使用靜電噴槍或機械自動將粉體塗料噴塗於物件上(粉體塗裝作業區)；(4)利用高溫烘烤，使粉體塗料硬化於物件表面(烘烤區)；及(5)工作者將噴塗完成的成品收下(收件區)。本工廠的粉體塗裝作業線上之前處理區、粉體塗裝作業區及烘烤區皆有單獨隔間，與其他作業區形成區隔，減少粉體逸散洩漏到其他作業區域的可能性。前處理區有 2 名工作者負責掛件及收件，粉體塗裝作業則在收掛件區有 2~3 名工作者，粉體作業區有 2 名工作者，每位工作者每日工作時間皆為 8 小時。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣監測樣本，採樣位置規劃顯示於圖 11 中，個人及區域樣本分

別以黃色三角形及紅色圓點表示。

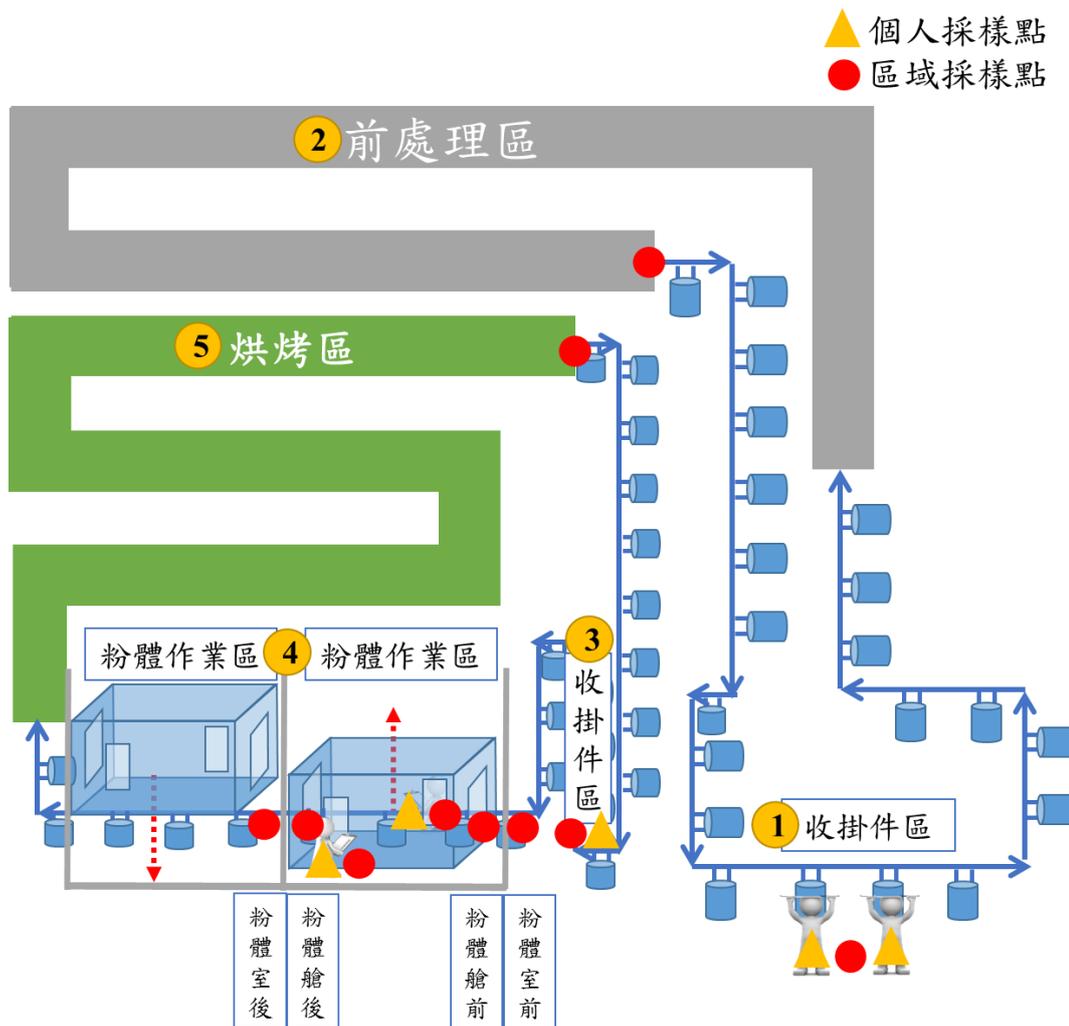


圖 11 I 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

## 二、粉體塗裝作業粉塵暴露監測

本研究針對 9 家事業單位粉體塗裝作業採樣監測樣本類型與樣本數如表 5，其中個人暴露監測與區域採樣監測樣本數分為 43 和 157 個，在個人暴露監測樣本中可呼吸性粉塵、總粉塵和結晶型二氧化矽監測樣本分別為 26、6 和 11 個，區域採樣監測樣本中可呼吸性粉塵、總粉塵、PM<sub>2.5</sub>、結晶型二氧化矽和 Marple 分徑採監測樣本分別為 3、103、23、2 和 26 個。

而針對所採樣監測樣本的監測數值的描述性統計值如表 6。所有事業單位粉體塗裝作業個人暴露監測結果如下：可呼吸性粉塵、總粉塵和結晶型二氧化矽 8-hr TWAs 的質量濃度平均值(±標準差)(mg/m<sup>3</sup>)分別為 0.260(±0.592)、4.248(±3.902)和低於偵測極限；

所有事業單位粉體塗裝作業區域採樣監測結果如下：可呼吸性粉塵、總粉塵、PM<sub>2.5</sub>和結晶型二氧化矽 8-hr TWAs 的質量濃度平均值(±標準差)分別為 0.190(±0.100)、3.473(±7.314)、1.541(±4.856)和低於偵測極限 mg/m<sup>3</sup>。

從粉體塗裝各作業位置總粉塵濃度分析如表 7，在表中可看到粉體室出口外邊有最高的總粉塵監測濃度，平均值(±標準差)達 8.565(±13.741) mg/m<sup>3</sup>，超過 1/2 總粉塵容許暴露濃度限值；粉體室進口處外邊有次高的總粉塵監測濃度，平均值(±標準差)為 5.010(±7.963) mg/m<sup>3</sup>，也超過 1/2 總粉塵容許暴露濃度限值；粉體室內也有相當高的總粉塵監測濃度，平均值(±標準差)為 4.732(±7.039) mg/m<sup>3</sup>，接近 1/2 總粉塵容許暴露濃度限值；前處理區的總粉塵監測濃度較低，平均值(±標準差)為 3.426(±7.226) mg/m<sup>3</sup>，低於 1/2 總粉塵容許暴露濃度限值；其餘作業位置的監測濃度則相當低，均接近或低於 1/10 總粉塵容許暴露濃度限值。至於工作者個人總粉塵採樣監測濃度，主要針對粉體室的塗裝工作者，他們的暴露監測平均值(±標準差)為 6.248(±3.062) mg/m<sup>3</sup>，超過 1/2 總粉塵容許暴露濃度限值，顯示塗裝工作者的總粉塵暴露需要密切注意監測，甚至實施控制改善。

在粉體塗裝作業粉塵採樣監測濃度平均值超過容許暴露濃度限值機率估計如表 8，將暴露監測濃度分別以暴露分組 0、1、2、3 和 4，分別代表如下的暴露濃度範圍：8-hr TWA < 0.01×PEL、0.01×PEL < 8-hr TWA < 0.1×PEL、0.1×PEL < 8-hr TWA < 0.5×PEL、0.5×PEL < 8-hr TWA < 1.0×PEL 和 1.0×PEL < 8-hr TWA，然後計算暴露監測濃度在各暴露分組的百分比，以估計監測濃度超過容許暴露濃度限值機率。從統計假設檢定對於型一錯誤(定義為：虛無假設是對的，可是卻被錯誤的拒絕)的機率設定為 5%，認定若觀察到事件發生的機率太小，寧願相信觀察到的事件是隨機發生的，而不是真的是如此。當在檢定工作者某一化合物職業暴露濃度是否超過容許暴露濃度限值時，虛無假設設定為工作者暴露濃度小於等於容許暴露濃度限值，在考量作業環境變異狀況，我們容許可以有一點機率，工作者暴露可以超過職業容許暴露限值。在 Liedel 等人為美國 NIOSH 在 1977 年所寫的職業暴露採樣策略手冊(Occupational Exposure Sampling Strategy Manual)中，已提出雇主應該限制員工暴露超過職業容許暴露限值的機率不可超過 5% [35]。因此在此以 5% 作為工作者粉體粉塵暴露超過容許暴露濃度限值的可容許暴露風險，判定工作者粉塵暴露濃度是否可接受。結果發現：個人暴露監測濃度在可

呼吸性粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上的機率为 4.0%，總粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上的機率为 33.3%；區域採樣監測濃度在可呼吸性粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上的機率为 0.0%，總粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上的機率为 20.4%。此結果顯示：粉體塗裝作業區域採樣總粉塵濃度超過容許暴露濃度限值機率高於 5% 的可容許暴露風險，個人總粉塵暴露監測濃度也有相當高的機率超過行動準則，應該持續監測其暴露與尋求適當暴露控制改善策略，減少工作者和作業環境總粉塵暴露濃度。

在對於作業環境現場區域採樣 Marple 分徑採樣樣本的分析監測結果如表 9，從表中可看到最高平均質量濃度在第 3 階(粒徑範圍 9.8~14.8  $\mu\text{m}$ )(圖 12)，其次為第 4 階(粒徑範圍 6.0~9.8  $\mu\text{m}$ )，這兩階質量接近 50% (49.0%)。作業環境現場區域採樣相同位置的 Marple 分徑採樣樣本所有階層的粉塵質量濃度總和與總粉塵監測樣本的質量濃度的相關強度為  $r=0.952$  ( $R^2$  值為 0.908)(表 10)，顯示粉體塗裝粒徑在 21.3  $\mu\text{m}$  以下的微粒佔有較多的比重(約 84.3%)，粒徑大小 10  $\mu\text{m}$  以下的胸腔性粉塵(第 4~8 階和 F)的質量，約佔總質量的 38.3%，說明粉體塗裝作業工作者小粒徑的粉塵暴露相當重要。

表 5 事業單位粉體塗裝作業粉塵採樣監測樣本類型與樣本數

事業單位代號	是否為粉體塗裝專營工廠	個人暴露監測樣本			區域採樣監測樣本					總數
		可呼吸性粉塵	總粉塵	結晶型二氧化矽	可呼吸性粉塵	總粉塵	PM <sub>2.5</sub>	結晶型二氧化矽	Marple 分徑採樣	
A	否	2	4	2	0	8	3	0	3	22
B	否	2	0	2	0	14	2	0	3	23
C	是	0	0	0	3	9	2	2	3	19
D	否	3	1	2	0	11	2	0	3	22
E	是	3	0	1	0	10	3	0	3	20
F	是	2	1	1	0	22	3	0	3	32
G	否	4	0	1	0	10	2	0	2	19
H	否	5	0	1	0	9	3	0	3	21
I	否	5	0	1	0	10	3	0	3	22
總數	---	26	6	11	3	103	23	2	26	200

表 6 事業單位粉體塗裝作業粉塵採樣監測濃度

事業單位代號	是否為粉體塗裝專營工廠	個人暴露監測樣本			區域採樣監測樣本			
		可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型二氧化矽 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型二氧化矽 (mg/m <sup>3</sup> )
A	是	0.233 (±0.237)	3.415 (±4.189)	ND*	---	5.922 (±12.759)	8.212 (±13.432)	---
B	是	0.297 (±0.220)	---	ND	---	6.476 (±8.916)	0.540 (±0.593)	---
C	否	---	---	---	0.190 (±0.100)	1.312 (±0.960)	0.481 (±0.459)	ND
D	否	0.186 (±0.074)	3.157 (±---)	ND	---	1.245 (±1.724)	0.883 (±1.099)	---
E	是	1.150 (±1.700)	---	ND	---	5.436 (±14.939)	0.490 (±0.476)	---
F	否	0.304 (±0.005)	8.669 (±---)	ND	---	5.725 (±5.114)	0.913 (±0.695)	---
G	否	0.092 (±0.005)	---	ND	---	0.781 (±0.761)	0.286 (±0.235)	---
H	否	0.082 (±0.020)	---	ND	---	0.302 (±0.184)	0.360 (±0.253)	---
I	否	0.063 (±0.018)	---	ND	---	0.336 (±0.330)	0.382 (±0.211)	---
總數	---	0.260 (±0.592)	4.248 (±3.902)	ND	0.190 (±0.100)	3.473 (±7.314)	1.541 (±4.856)	---

表 7 事業單位總粉塵區域採樣監測結果統計

編號	作業位置	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	最小值 (mg/m <sup>3</sup> )	最大值 (mg/m <sup>3</sup> )	樣本數	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	最小值 (mg/m <sup>3</sup> )	最大值 (mg/m <sup>3</sup> )
1	收件區	9	0.241 (±0.103)	0.143	0.463	2	0.247 (±0.031)	0.226	0.269
2	前處理區	11	3.426 (±7.226)	0.048	18.233	0	---	---	---
3	粉體室進口 處外邊	14	5.010 (±7.963)	0.052	26.922	0	---	---	---
4	粉體室內	27	4.732 (±7.039)	0.287	37.024	4	6.248 (±3.062)	3.157	9.082
5	粉體室出口 外邊	12	8.565 (±13.741)	0.306	47.910	0	---	---	---
6	烘烤區	8	0.797 (±0.961)	0.106	2.356	0	---	---	---
7	掛件區	10	0.348 (±0.287)	0.081	1.005	0	---	---	---
8	粉體作業區 外	1	0.134 (± ---)	0.134	0.134	0	---	---	---
9	擦拭區	2	0.286 (± 0.262)	0.100	0.471	0	---	---	---
10	火烤區	3	0.550 (± 0.305)	0.198	0.752	0	---	---	---
11	液體塗料室	1	0.066 (± ---)	0.066	0.066	0	---	---	---
12	粉體室進口 處內邊	2	1.090 (± 0.979)	0.398	1.783	0	---	---	---
13	粉體室出口 內邊	3	0.917 (± 0.629)	0.544	1.643	0	---	---	---

表 8 事業單位粉體塗裝作業粉塵採樣監測濃度超過容許暴露濃度限值機率估計

暴露 分組	暴露濃度範圍	個人暴露監測樣本				區域採樣監測樣本			
		可呼吸性粉塵 (PEL=5 mg/m <sup>3</sup> )		總粉塵 (PEL= 10 mg/m <sup>3</sup> )		可呼吸性粉塵 (PEL=5 mg/m <sup>3</sup> )		總粉塵 (PEL= 10 mg/m <sup>3</sup> )	
		樣本數	%	樣本數	%	樣本數	%	樣本數	%
0	8-hr TWA ≤ 0.01×PEL	1	4.0	0	0.0	0	0.0	8	8.6
1	0.01×PEL < 8-hr TWA ≤ 0.1×PEL	23	92.0	2	33.3	3	100.0	47	50.5
2	0.1×PEL < 8-hr TWA ≤ 0.5×PEL	0	0.0	2	33.3	0	0.0	19	20.4
3	0.5×PEL < 8-hr TWA ≤ 1.0×PEL	1	4.0	2	33.3	0	0.0	12	12.9
4	1.0×PEL < 8-hr TWA	0	0.0	0	0.0	0	0.0	7	7.5

表 9 事業單位粉體塗裝作業環境區域採樣 Marple 分徑採樣監測結果

階層	粒徑範圍 ( $\mu\text{m}$ )	截斷粒徑 ( $\mu\text{m}$ )	樣本數	質量濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		質量百分 比	質量累積 百分比
				平均值	標準差		
1	> 21.3	21.3	26	0.569	1.361	15.66	100.00
2	14.8 ~ 21.3	14.8	26	0.642	1.538	17.67	84.34
3	9.8 ~ 14.8	9.8	26	1.032	3.045	28.41	66.67
4	6.0 ~ 9.8	6.0	26	0.747	2.370	20.56	38.26
5	3.5 ~ 6.0	3.5	26	0.372	0.938	10.24	17.70
6	1.55 ~ 3.5	1.55	26	0.127	0.227	3.50	7.46
7	0.93 ~ 1.55	0.93	26	0.037	0.026	1.02	3.96
8	0.52 ~ 0.93	0.52	26	0.060	0.063	1.65	2.95
F (濾紙)	0 ~ 0.52	0.0	11	0.047	0.052	1.29	1.29

表 10 事業單位粉體塗裝作業定點粉塵質量濃度迴歸分析  
(Marple 分徑採樣對總粉塵樣本)

模式	平方和	df	平均平方和	F	顯著性
迴歸	108.11	1	108.11	225.92	2.192e-13*
殘差	11.01	23	0.479		
總數	119.12	24			
模式：總粉塵樣本質量濃度= $\beta_0+\beta_1\times(\text{Marple分徑採樣所有階層質量濃度總和})$ $R^2=0.908$ (調整後的 $R^2=0.904$ )					
模式	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性
	$\beta$ 估計值	標準誤差	$\beta$ 分配		
常數	-0.044	0.183	---	-0.242	0.811
Marple分徑採樣 所有階層質量濃 度總和	1.008	0.067	0.946	15.031	2.192e-13*

\* p 值 < 0.001

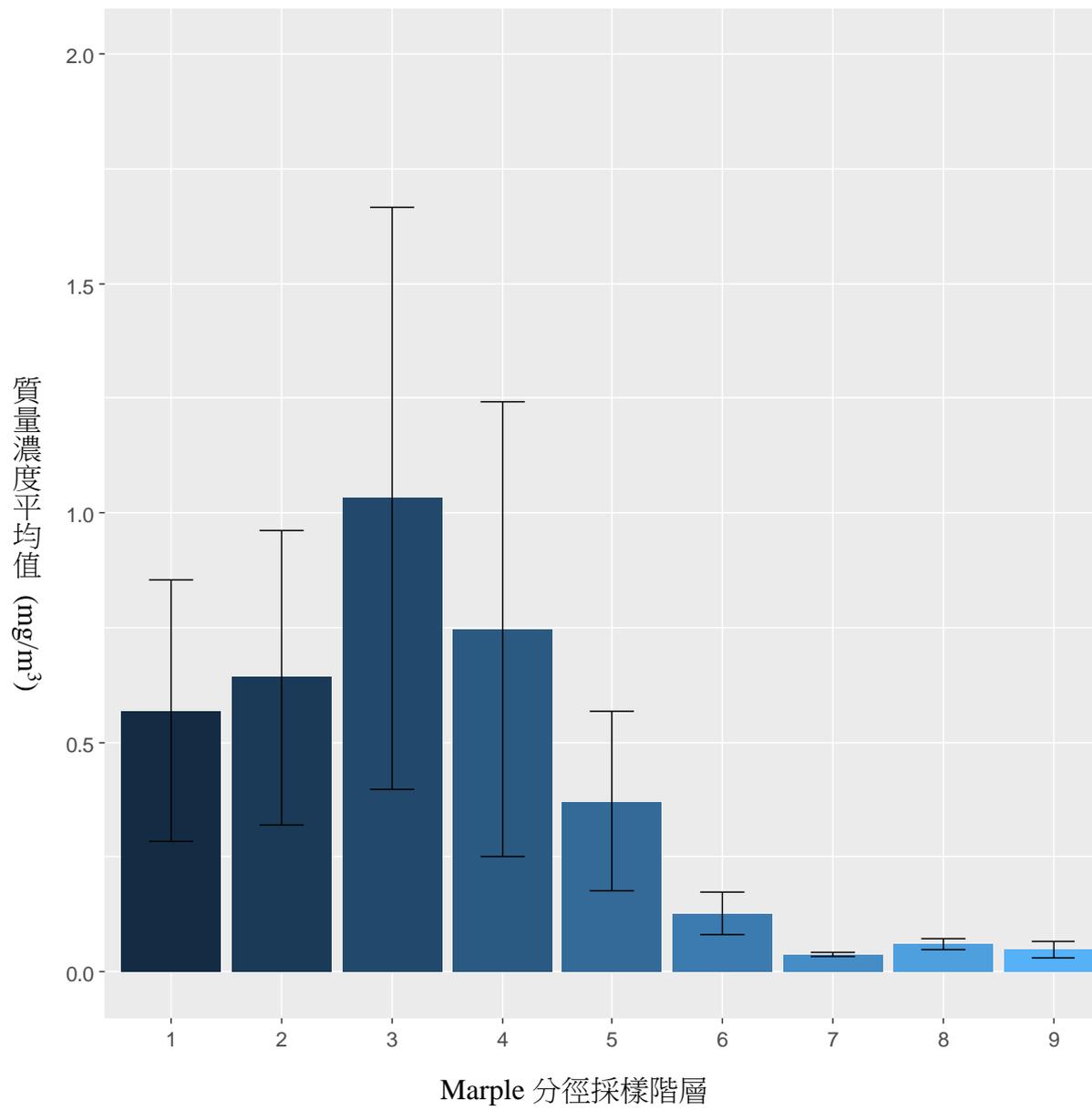


圖 12 事業單位粉體塗裝作業 Marple 分徑採樣各階層粉塵質量濃度

### 三、粉體塗裝作業金屬暴露監測

針對本研究調查的 9 家事業單位粉體塗裝作業所採集粉塵樣本，執行金屬定量分析並估算金屬暴露濃度。圖 13 為不區分事業單位的金屬監測濃度誤差長條圖，圖中對於區域和個人採樣監測樣本質量濃度平均值以不同顏色表示，長條高度表示所有測值的質量濃度平均值，長條頂端的誤差線(error bar)為質量濃度平均值的標準誤，為了讓低濃度測值也能明顯呈現，整個縱軸(Y 軸)的監測濃度以 10 為底的對數刻度表示，並以 1.0 ( $10^0$ )作為基線，大於 1.0 的監測濃度往上描繪長條，當長條越高表示濃度越高，小於 1.0 的監測濃度則往下描繪長條，當長條越長表示濃度越低。從圖中可清楚看出 Ba、Al、Fe 和 Na 四個金屬有高於  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的監測濃度，Ca 有高於  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的監測濃度；Li、K、Mn、Co、Sr、Ba 和 Bi 有明顯個人高於區域採樣樣本監測濃度，B、Mg、Cr、Ni、Cu、Cd 和 Tl 有明顯區域高於個人採樣樣本監測濃度，其餘金屬(Al、Ca、Fe、Zn、Ga、Ag、In 和 Pb)在二者間的監測濃度差異不大。

表 11 為不區分事業單位從 93 和 6 個區域與個人總粉塵暴露採樣監測樣本金屬監測濃度，其中區域採樣樣本監測濃度較高的七個金屬 Ba、Na、Fe、Al、Ca、Zn 和 Mg 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $86.523\pm 234.714$ 、 $25.935\pm 50.095$ 、 $14.100\pm 21.727$ 、 $13.758\pm 29.803$ 、 $6.156\pm 11.134$ 、 $3.671\pm 7.298$  和  $1.460\pm 1.657 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，一般認為危害性較高的金屬 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Cd、In 和 Pb 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.285\pm 0.155$ 、 $0.429\pm 2.616$ 、 $0.006\pm 0.010$ 、 $0.108\pm 0.248$ 、 $0.182\pm 0.385$ 、 $0.009\pm 0.024$ 、 $0.007\pm 0.017$  和  $0.084\pm 0.222 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其他金屬 Li、B、Sr、K、Ga、Ag、Tl 和 Bi 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.008\pm 0.013$ 、 $0.043\pm 0.073$ 、 $1.361\pm 3.355$ 、 $1.028\pm 1.574$ 、 $0.004\pm 0.005$ 、 $0.002\pm 0.004$ 、 $0.002\pm 0.005$  和  $0.004\pm 0.010 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。個人採樣樣本監測濃度較高的七個金屬 Ba、Na、Al、Fe、Ca、Zn 和 Sr 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $228.080\pm 197.923$ 、 $15.321\pm 13.427$ 、 $12.522\pm 319.365$ 、 $12.430\pm 22.001$ 、 $6.991\pm 16.594$ 、 $4.701\pm 1.811$  和  $3.567\pm 3.150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，一般認為危害性較高的金屬 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Cd、In 和 Pb 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.166\pm 0.066$ 、 $1.426\pm 2.114$ 、 $0.027\pm 0.052$ 、 $0.032\pm 0.026$ 、 $0.102\pm 0.084$ 、 $0.005\pm 0.004$ 、 $0.006\pm 0.007$  和  $0.111\pm 0.084 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其他金屬 Li、B、Mg、K、Ga、Ag、Tl 和 Bi 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.024\pm 0.018$ 、 $0.010\pm 0.018$ 、 $0.813\pm 1.947$ 、

1.613±0.985、0.004±0.004、0.001±0.001、0.001±0.0003 和 0.008±0.007  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

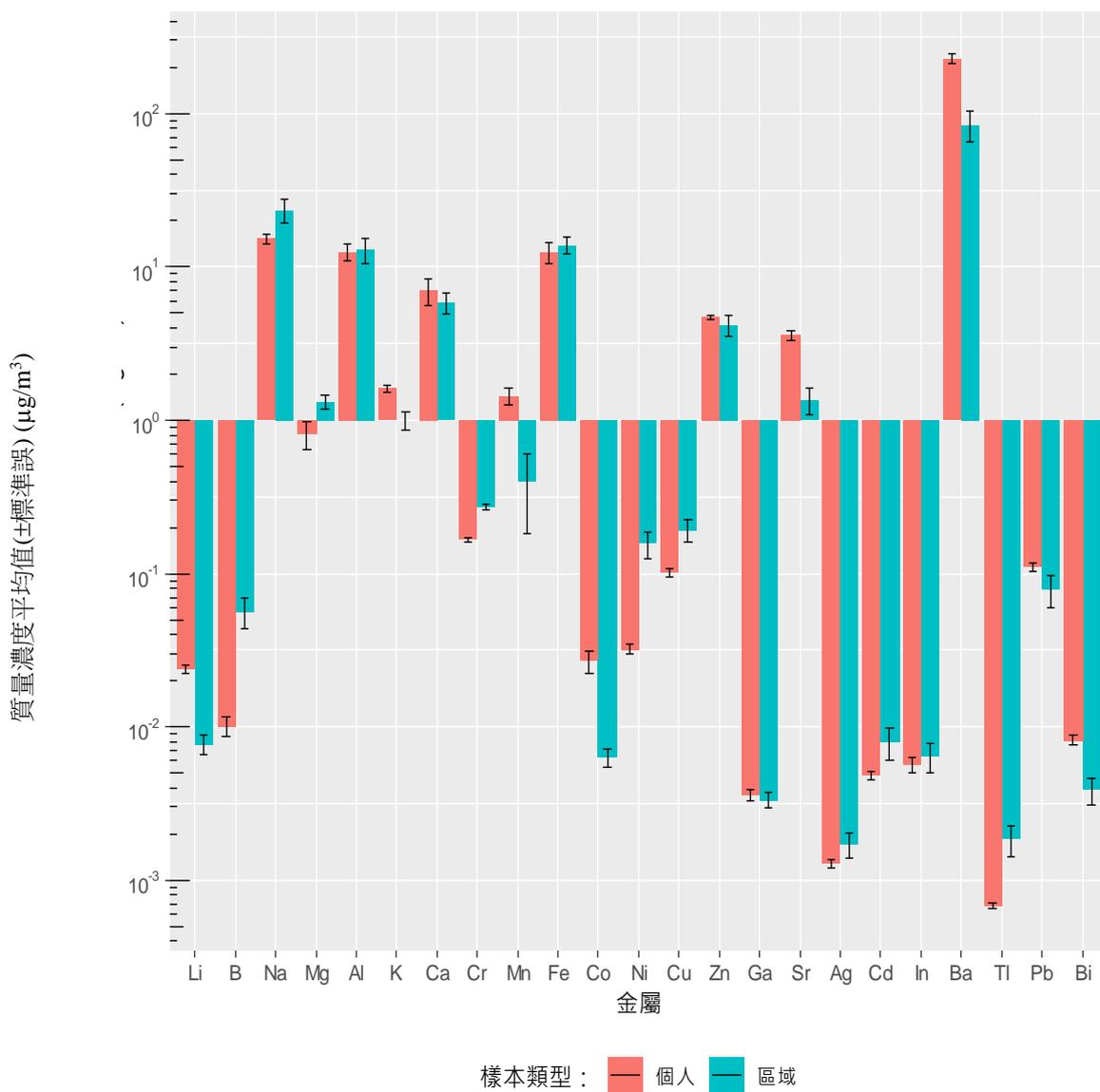


圖 13 粉體塗裝作業不區分事業單位總粉塵區域與個人採樣樣本金屬監測濃度

表 11 事業單位粉體塗裝不區分事業單位總粉塵樣本金屬監測濃度

金屬名稱	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Li	93	0.0079 (±0.0133)	0.0000	0.0792	6	0.0237 (±0.0182)	0.0021	0.0484
B	93	0.0432 (±0.0725)	0.0000	0.4014	6	0.0101 (±0.0179)	0.0028	0.0466
Na	93	25.9352 (±50.0947)	0.0198	195.470	6	15.3214 (±13.4273)	0.0198	29.7679
Mg	93	1.4599 (±1.6571)	0.0181	6.8529	6	0.8129 (±1.9467)	0.0181	4.7866
Al	93	13.7582 (±29.8031)	0.0057	169.9863	6	12.5215 (±19.3645)	0.0057	50.9758
K	93	1.0281 (±1.5739)	0.0000	6.8000	6	1.6126 (±0.9851)	0.0170	3.0783
Ca	93	6.1560 (±11.1342)	0.0000	60.8611	6	6.9912 (±16.5984)	0.0116	40.8621
Cr	93	0.2849 (±0.1552)	0.0253	0.7508	6	0.1659 (±0.0663)	0.1209	0.2963
Mn	93	0.4285 (±2.6155)	0.0007	24.9866	6	1.4256 (±2.1142)	0.0625	5.2658
Fe	93	14.1000 (±21.7269)	0.0027	124.6244	6	12.4302 (±22.0012)	0.3258	57.0450
Co	93	0.0061 (±0.0101)	0.0000	0.0556	6	0.0268 (±0.0522)	0.0017	0.1332
Ni	93	0.1084 (±0.2482)	0.0000	1.8640	6	0.0322 (±0.0263)	0.0041	0.0795
Cu	93	0.1820 (±0.3850)	0.0000	2.8186	6	0.1015 (±0.0843)	0.0013	0.2160
Zn	93	3.6709 (±7.2981)	0.0000	44.3728	6	4.7014 (±1.8113)	1.9070	7.3977
Ga	93	0.0035 (±0.0047)	0.0000	0.0237	6	0.0036 (±0.0035)	0.0006	0.0098
Sr	93	1.3608 (±3.3551)	0.0012	28.0785	6	3.5671 (±3.1498)	0.0957	7.4827
Ag	93	0.0018 (±0.0041)	0.0000	0.0387	6	0.0013 (±0.0010)	0.0000	0.0032
Cd	93	0.0085 (±0.0238)	0.0000	0.1936	6	0.0048 (±0.0037)	0.0023	0.0123
In	93	0.0068 (±0.0166)	0.0000	0.1040	6	0.0057 (±0.0072)	0.0003	0.0194
Ba	93	86.5231 (±234.7144)	0.0014	2053.3336	6	228.0795 (±197.9226)	8.7003	498.5751
Tl	93	0.0020 (±0.0053)	0.0000	0.0476	6	0.0007 (±0.0003)	0.0004	0.0009
Pb	93	0.0840 (±0.2217)	0.0000	2.1104	6	0.1108 (±0.0843)	0.0015	0.2378
Bi	93	0.0041 (±0.0095)	0.0000	0.0706	6	0.0082 (±0.0072)	0.0012	0.0199

圖 14及圖 15為區分事業單位的區域和個人採樣監測樣本金屬監測濃度誤差長條圖，與上述圖 13一樣的描繪方式，對於不同事業單位的區域和個人採樣監測樣本質量濃度平均值以不同顏色表示，長條高度表示所有測值的質量濃度平均值，長條頂端的誤差線為質量濃度平均值的標準誤，整個縱軸(Y軸)的刻度以10為底的對數表示，從圖 14可清楚看出區域採樣監測樣本質量濃度平均值在Na、Al、Ca、Fe、Zn和Ba五個金屬有高於 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的監測濃度平均值，Sr有接近 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的監測濃度平均值，Na、Al、Ca、Fe、Zn、Ba和Sr這些金屬的區域採樣樣本監測濃度平均值均在事業單位間存在差異，Mg、K和Mn金屬在事業單位區域採樣樣本監測濃度平均值間在 $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 上下變動，其餘金屬(Li、B、Cr、Co、Ni、Cu、Ga、Ag、Cd、In、Tl、Pb和Bi)監測濃度平均值在事業單位間雖然也存在差異，但均是低於 $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。從圖 15為可看出並不是每個事業單位有個人採樣監測樣本，實際上只有三個事業單位(A、D和F)有少數監測樣本，這些個人採樣監測樣本質量濃度平均值和區域採樣監測樣本相同，在Na、Al、Ca、Fe和Ba五個金屬監測濃度平均值高於 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，Mg、Zn和Sr的監測濃度平均值接近 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由於監測樣本數少，各金屬的個人採樣樣本監測濃度平均值的變異估計(以誤差線表示)並不穩定，因此難以判定平均監測濃度在這些事業單位間是否存在差異。

在區分事業單位區域與個人總粉塵暴露採樣監測樣本中金屬監測濃度(如附錄一)，發現所監測的9個事業單位在九個金屬(Li、B、Co、Ga、Ag、Cd、In、Tl和Bi)的監測濃度均相當低(小於 $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，顯示粉體塗裝作業在這些金屬不會有明顯的暴露發生，但Ba幾乎在每一個事業單位均存在相當高的監測濃度，區域採樣監測樣本質量濃度平均值介於 $0.757\sim 334.536 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示粉體塗裝作業顯著存在Ba的暴露。在Na、Al、K、Ca、Cr、Fe、Cu、Zn、Sr和Pb這十個金屬的監測濃度，均有幾個事業單位的監測濃度呈現較高的情形，顯示不同事業單位的粉體塗裝作業有不同的金屬暴露，其中區域採樣監測樣本質量濃度平均值在Na介於 $0.020\sim 162.123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Al介於 $0.006\sim 48.549 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、K介於 $0.017\sim 4.541 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ca介於 $0.012\sim 14.468 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Cr介於 $0.058\sim 0.478 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Fe介於 $0.441\sim 39.532 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Cu介於 $0.071\sim 0.489 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Zn介於 $0.320\sim 23.253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Sr介於 $0.076\sim 4.574 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和Pb介於 $0.000\sim 0.504 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在Mg、Mn和Ni這三個金屬的監測濃度，只有少數1~2個事業單位的監測濃度呈現較高的現象，顯示只有特定事業單位的粉體塗裝作業有這些金屬暴露，其中區域採樣監測樣本質量濃度平均值在Mg介於 $0.018\sim 4.835$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Mn介於0.011~3.896  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和Ni介於0.000~1.034  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

我國「勞工作業場所容許暴露標準」中[22]，有關本研究所監測的金屬訂有8-hr TWA容許暴露標準，這些標準以總粉塵濃度為主，包括：Ca (5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Cr (1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Mn (5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Fe (10  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Co (0.05  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ni (1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Cu (1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Zn (5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ag (0.01  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Cd (0.05  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、In (0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ba (0.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )和Pb (0.05  $\text{mg}/\text{m}^3$ )。而美國ACGIH對於金屬訂有暴露限值(Threshold Limit Values, TLVs)，這些限值對某些金屬有區分總粉塵、可吸入性粉塵或可呼吸性粉塵限值，包括：Al(可呼吸性粉塵1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ca (總粉塵2  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Cr (總粉塵0.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Mn (可吸入性粉塵0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; 可呼吸性粉塵0.02  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Fe(可呼吸性粉塵5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Co(總粉塵0.02  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ni(可吸入性粉塵1.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Cu(總粉塵1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Zn(可呼吸性粉塵2  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ag(總粉塵0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Cd(總粉塵0.01  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; 可呼吸性粉塵0.002  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、In(總粉塵0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ )、Ba(總粉塵0.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ )和Pb(總粉塵0.05  $\text{mg}/\text{m}^3$ )。

針對事業單位金屬的區域採樣樣本總粉塵監測濃度平均值所描繪的誤差長條圖與我國金屬容許暴露標準的比較如圖 16，圖中將我國所訂的金屬的總粉塵容許暴露標準值對應到縱軸標示的濃度，由左而右描繪一條細虛線到與橫軸標示的金屬為止，若粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵區域採樣樣本監測濃度超過金屬容許暴露標準，則此細虛線以紅色呈現，若未超過則以藍色呈現，由於有幾個金屬的容許暴露標準值相同(如：Ca、Mn和Zn，Co、Cd和Pb)，因此有同一濃度刻度分別有3條細虛線的情形。從圖 19中可看到，所有事業單位金屬的區域採樣樣本總粉塵監測濃度平均值均低於我國容許暴露標準，顯示所有事業單位的粉體塗裝作業環境沒有造成工作者對於這些金屬過度暴露的情形，唯一需要注意的是事業單位A的金屬Ba總粉塵監測濃度平均值接近我國容許暴露標準的二分之一。

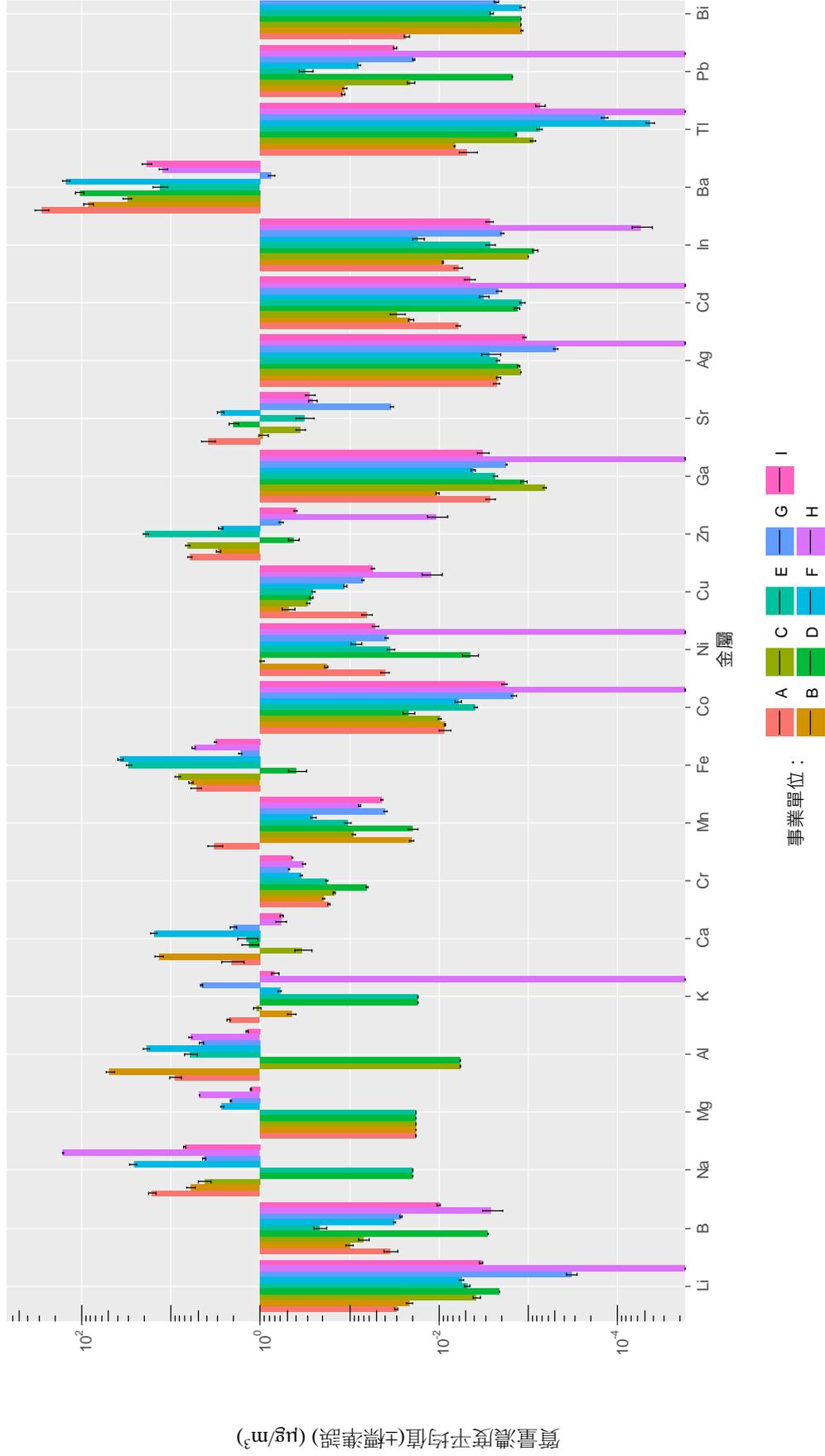


圖 14 粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度

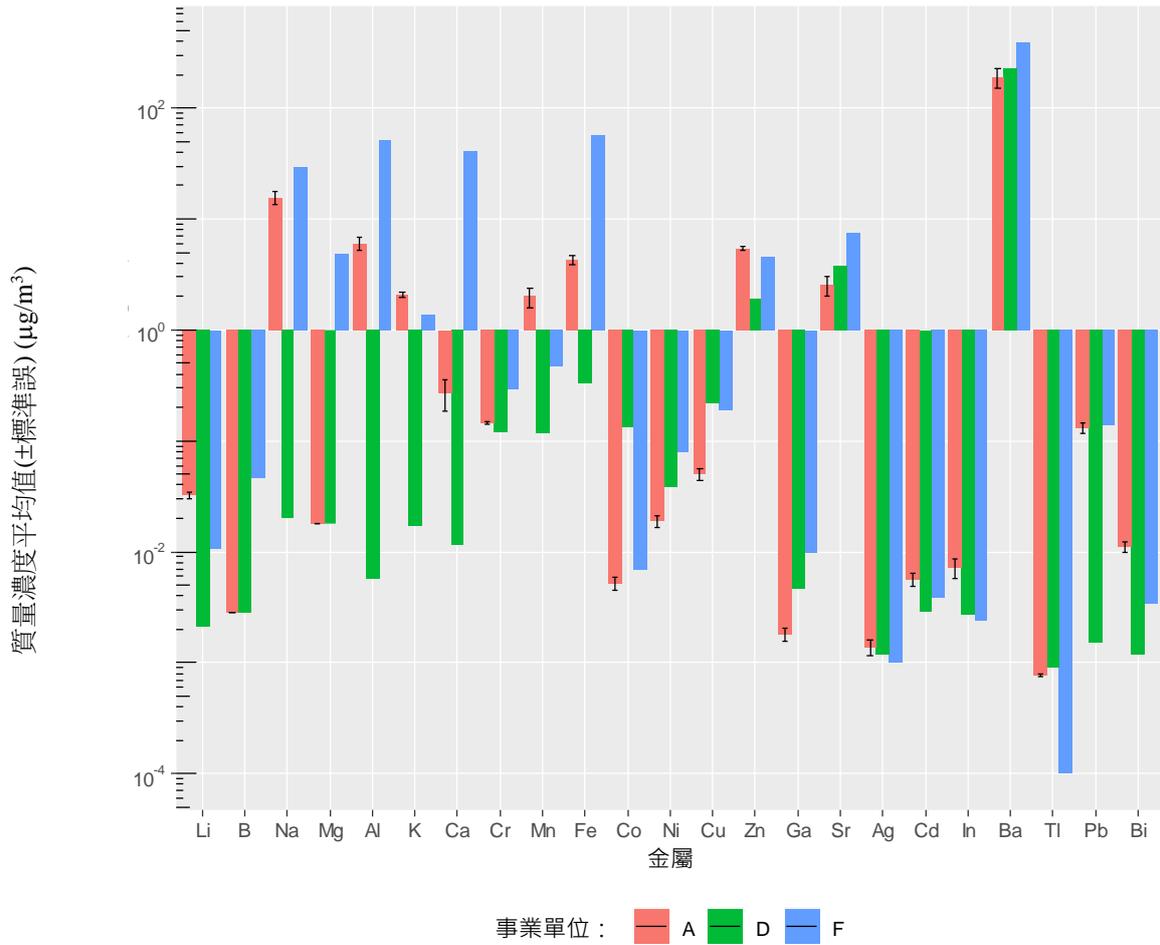
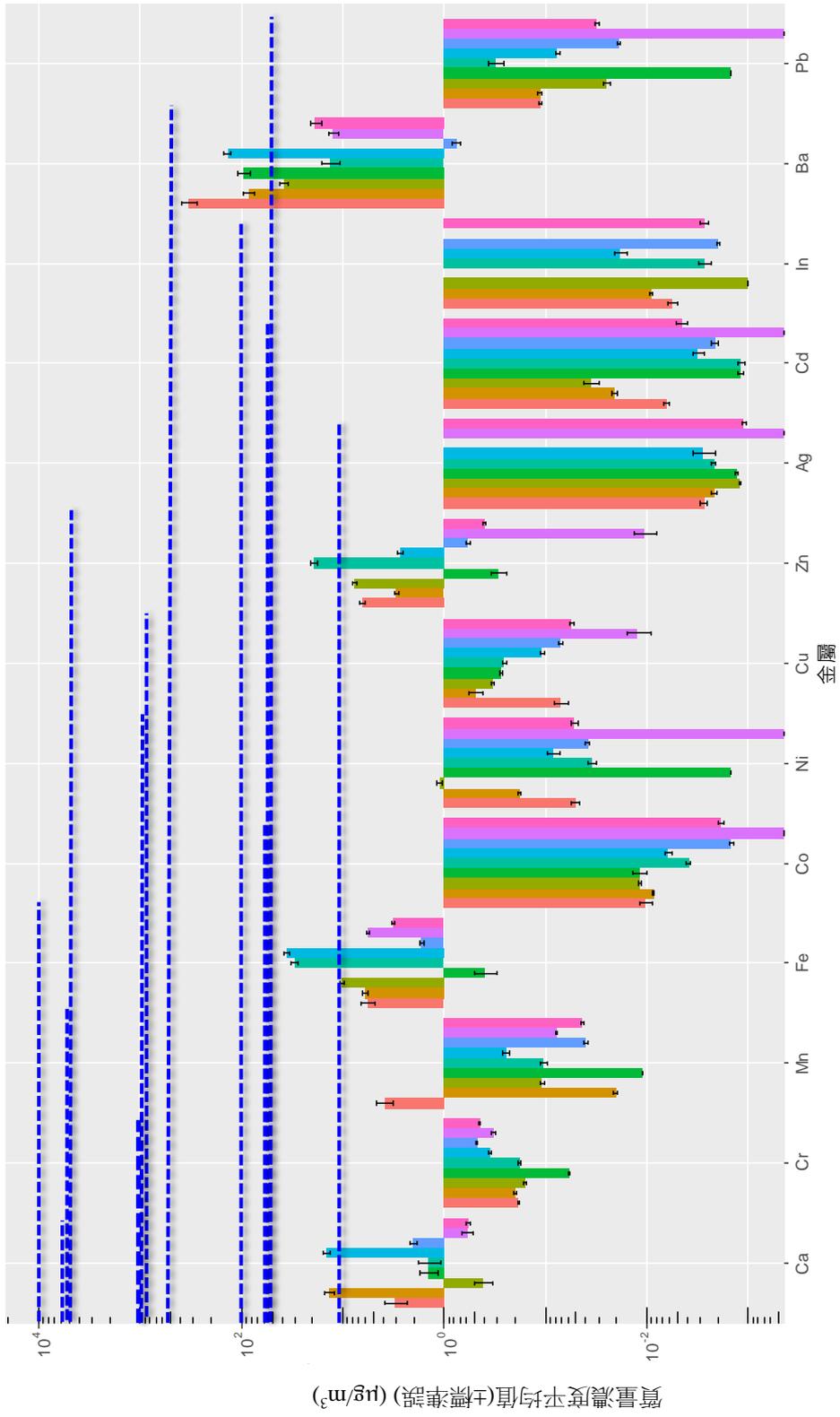


圖 15 粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵個人採樣樣本金屬監測濃度



事業單位： A B C D E F G H I  
 圖 16 粉體塗裝作業區分事業單位總粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度超過我國容許暴露標準值的情形

圖 17 為與上述總粉塵區域和個人採樣監測樣本監測濃度數值相同處理，針對不區分事業單位的可呼吸性粉塵區域和個人採樣監測樣本質量濃度平均值和標準誤所描繪的誤差長條圖。從圖中可清楚看出 Na 和 Zn 兩個金屬有高於  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的監測濃度，Fe 和 Ba 兩個金屬有低於但接近  $5 \text{mg}/\text{m}^3$  的監測濃度，Mg、Al、K、Ca 和 Ni 有介於  $1\sim 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的監測濃度平均值，其中大多數的金屬在區域與個人採樣樣本間的監測濃度平均值存在差異，K、Ni、Cu、Zn、Ag 和 Cd 的區域高於個人採樣樣本監測濃度平均值，Na、Mg、Al、Ca、Mn、Fe、Ga、Sr、In、Ba 和 Bi 金屬有明顯個人高於區域採樣樣本監測濃度平均值。

表 12 為不區分事業單位從 3 和 25 個區域與個人可呼吸性粉塵暴露採樣監測樣本金屬監測濃度，其中區域採樣樣本監測濃度較高的四個金屬 K、Fe、Ni 和 Zn 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $2.045\pm 0.311$ 、 $1.206\pm 0.352$ 、 $1.623\pm 0.410$  和  $7.418\pm 1.601 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，一般認為危害性較高的金屬 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Cd、In 和 Pb 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.174\pm 0.062$ 、 $0.011\pm 0.001$ 、 $0.004\pm 0.001$ 、 $1.623\pm 0.410$ 、 $0.468\pm 0.024$ 、 $0.007\pm 0.001$ 、 $0.001\pm 0.0002$  和  $0.035\pm 0.029 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其他金屬 Li、B、Mg、K、Ga、Ag、Tl 和 Bi 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.003\pm 0.001$ 、 $0.040\pm 0.015$ 、 $0.018\pm 0.000$ 、 $2.045\pm 0.311$ 、 $0.012\pm 0.000$ 、 $0.001\pm 0.001$ 、 $0.001\pm 0.001$  和  $0.001\pm 0.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。個人採樣樣本監測濃度較高的七個金屬 Na、Ba、Fe、Zn、Al、Mg、Ca 和 K 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $33.943\pm 71.554$ 、 $4.539\pm 8.896$ 、 $3.640\pm 5.959$ 、 $3.294\pm 6.890$ 、 $2.573\pm 4.105$ 、 $1.428\pm 1.597$ 、 $1.125\pm 3.630$  和  $1.041\pm 1.143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，一般認為危害性較高的金屬 Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Cd、In 和 Pb 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.288\pm 0.155$ 、 $0.046\pm 0.060$ 、 $0.002\pm 0.002$ 、 $0.036\pm 0.056$ 、 $0.116\pm 0.122$ 、 $0.003\pm 0.005$ 、 $0.003\pm 0.008$  和  $0.030\pm 0.037 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其他金屬 Li、B、Ga、Ag、Tl 和 Bi 的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為  $0.005\pm 0.007$ 、 $0.031\pm 0.053$ 、 $0.002\pm 0.001$ 、 $0.001\pm 0.001$ 、 $0.001\pm 0.002$  和  $0.003\pm 0.007 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

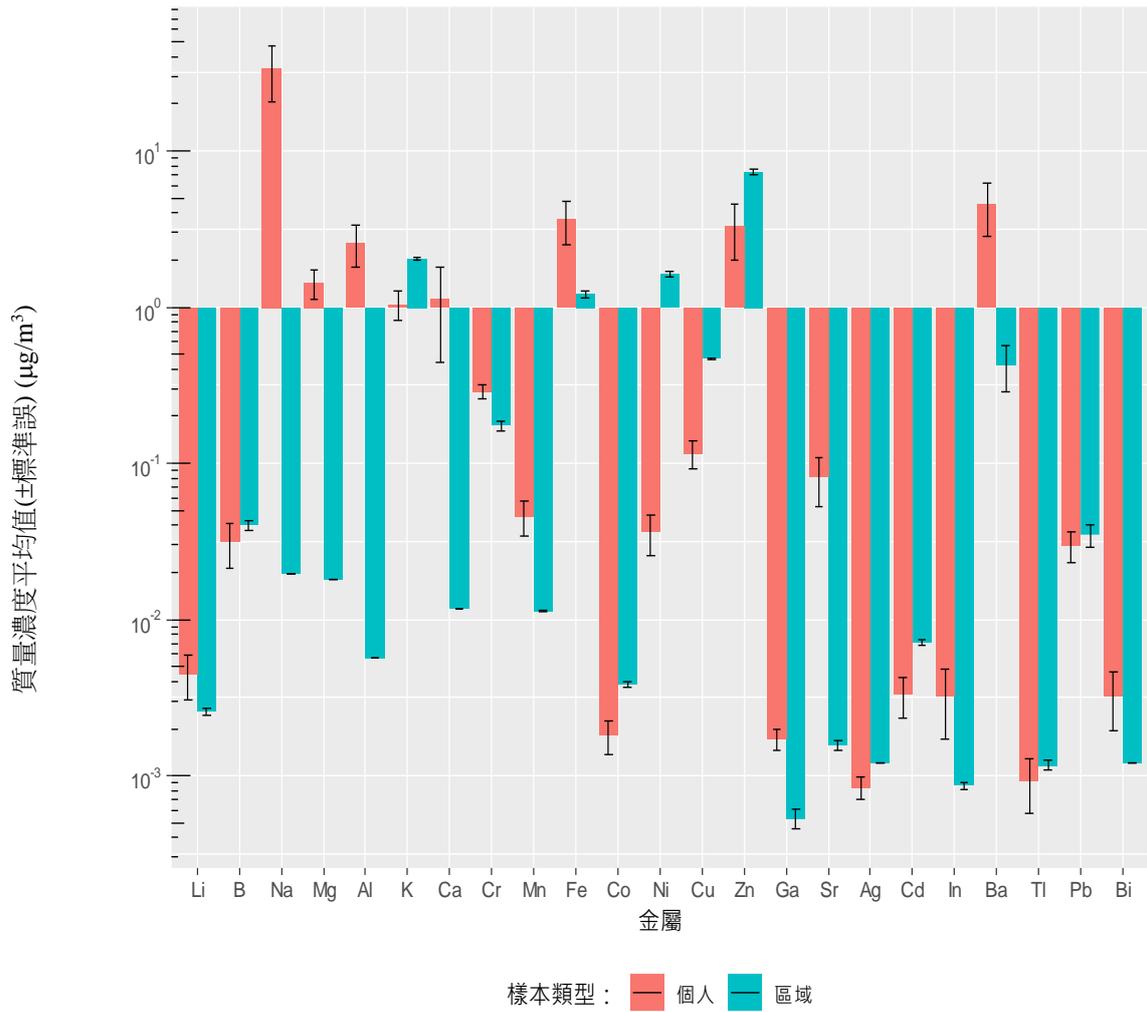


圖 17 粉體塗裝作業不區分事業單位可呼吸性粉塵區域與個人採樣樣本金屬監測濃度

表 12 事業單位粉體塗裝不區分事業單位可呼吸性粉塵樣本金屬監測濃度

金屬名稱	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Li	3	0.0026 (±0.0008)	0.0021	0.0035	25	0.0045 (±0.0074)	0.0000	0.0330
B	3	0.0401 (±0.0153)	0.0231	0.0528	25	0.0314 (±0.0533)	0.0000	0.2140
Na	3	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	25	33.9430 (±71.5537)	0.0198	205.7182
Mg	3	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	25	1.4284 (±1.5973)	0.0181	5.3087
Al	3	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057	25	2.5730 (±4.1046)	0.0057	20.6548
K	3	2.0450 (±0.3111)	1.7947	2.3933	25	1.0408 (±1.1431)	0.0000	3.2484
Ca	3	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	25	1.1245 (±3.6299)	0.0000	18.1176
Cr	3	0.1742 (±0.0623)	0.1075	0.2310	25	0.2875 (±0.1546)	0.0086	0.5337
Mn	3	0.0113 (±0.0008)	0.0108	0.0122	25	0.0459 (±0.0604)	0.0032	0.2773
Fe	3	1.2064 (±0.3516)	0.8008	1.4254	25	3.6400 (±5.9590)	0.0000	25.4666
Co	3	0.0038 (±0.0010)	0.0027	0.0045	25	0.00185 (±0.0023)	0.0000	0.0088
Ni	3	1.6234 (±0.4104)	1.1534	1.9112	25	0.0361 (±0.0563)	0.0000	0.2493
Cu	3	0.4675 (±0.0240)	0.4427	0.4905	25	0.1156 (±0.1220)	0.0000	0.4047
Zn	3	7.4181 (±1.6007)	5.5993	8.6122	25	3.2939 (±6.8902)	0.0000	27.5938
Ga	3	0.0005 (±0.0004)	0.0004	0.0010	25	0.0017 (±0.0014)	0.0000	0.0052
Sr	3	0.0016 (±0.0006)	0.0012	0.0023	25	0.0815 (±0.1493)	0.0000	0.5077
Ag	3	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	25	0.0008 (±0.0007)	0.0000	0.0028
Cd	3	0.0071 (±0.0013)	0.0060	0.0085	25	0.0033 (±0.0051)	0.0000	0.0188
In	3	0.0009 (±0.0002)	0.0004	0.0010	25	0.0032 (±0.0081)	0.0000	0.0404
Ba	3	0.4279 (±0.7387)	0.0014	1.2808	25	4.5393 (±8.8961)	0.0014	38.8493
Tl	3	0.0012 (±0.0005)	0.0004	0.0017	25	0.0009 (±0.0019)	0.0000	0.0068
Pb	3	0.0347 (±0.0294)	0.0015	0.0572	25	0.0299 (±0.0366)	0.0000	0.1503
Bi	3	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	25	0.0033 (±0.0071)	0.0000	0.0352

圖18及圖19為與上述總粉塵區域和個人採樣樣本監測濃度數值相同處理，區分事業單位的區域和個人採樣監測樣本可呼吸性粉塵金屬監測濃度誤差長條圖。由於只有一個事業單位(編號C)有區域採樣樣本，所以圖18中僅有一個顏色的長條，顯示Zn、K、Ni和Fe四個金屬監測濃度平均值高於 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其餘金屬監測濃度平均值均低於 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，甚至於絕大多數監測濃度平均值都低於 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。圖19為區分八個事業單位個人採樣監測樣本監測濃度，從圖中可看到Fe、Zn和Ba四個金屬監測濃度平均值高於 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，Na、Al、K和Ca四個金屬監測濃度平均值高於 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，Mg有監測濃度平均值接近 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其餘金屬監測濃度平均值絕大多數都低於 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

附錄二為區分事業單位從在一個事業單位的3個區域可呼吸性粉塵採樣監測樣本測得的金屬濃度，發現K、Fe、Ni和Zn四個監測濃度較高的金屬的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為 $2.045 \pm 0.311$ 、 $1.206 \pm 0.352$ 、 $1.623 \pm 0.410$ 和 $7.418 \pm 1.601 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，一般認為危害性較高的金屬Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Cd、In和Pb的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為 $0.174 \pm 0.062$ 、 $0.011 \pm 0.001$ 、 $0.004 \pm 0.001$ 、 $1.623 \pm 0.410$ 、 $0.468 \pm 0.024$ 、 $0.007 \pm 0.001$ 、 $0.001 \pm 0.0002$ 和 $0.035 \pm 0.029 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其他金屬Li、B、Mg、K、Ga、Ag、Tl和Bi的監測濃度(質量濃度平均值 $\pm$ 標準差)分別為 $0.003 \pm 0.001$ 、 $0.040 \pm 0.015$ 、 $0.018 \pm 0.000$ 、 $2.045 \pm 0.311$ 、 $0.012 \pm 0.000$ 、 $0.001 \pm 0.001$ 、 $0.001 \pm 0.001$ 和 $0.001 \pm 0.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。從附錄二在每個事業單位有2~3個個人可呼吸性粉塵採樣監測樣本，區分事業單位在這些樣本分析測得的金屬濃度，發現所監測的8個事業單位在十三個金屬(Li、B、Mn、Co、Ni、Ga、Sr、Ag、Cd、In、Tl、Pb和Bi)的監測濃度均相當低(小於 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，顯示粉體塗裝作業在這些金屬不會有明顯的可呼吸性粉塵暴露發生，但Ba幾乎在每一個事業單位均存在較高的監測濃度，個人採樣監測樣本質量濃度平均值介於 $0.195 \sim 20.746 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示粉體塗裝作業勞工會有Ba暴露。在Na、Mg、Al、K、Ca、Cr、Fe、Cu和Zn這九個金屬的監測濃度，均有幾個事業單位的監測濃度呈現較高的情形，顯示不同事業單位的粉體塗裝作業有不同的金屬暴露，其中個人可呼吸性粉塵採樣監測質量濃度平均值在Na介於 $0.020 \sim 193.800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Mg介於 $0.018 \sim 1.760 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Al介於 $0.006 \sim 0.889 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、K介於 $0.017 \sim 2.118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ca介於 $0.012 \sim 6.407 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Cr介於 $0.051 \sim 0.443 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Fe介於 $0.003 \sim 20.436 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Cu介於 $0.037 \sim 0.305 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Zn介於 $0.001 \sim 20.515 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

圖20為與圖 16相同的方式，針對ACGIH訂有可呼吸性粉塵TLVs限值的金屬，包

括：Al(可呼吸性粉塵 $1\text{ mg/m}^3$ )、Mn(可吸入性粉塵 $0.1\text{ mg/m}^3$ ；可呼吸性粉塵 $0.02\text{ mg/m}^3$ )、Fe(可呼吸性粉塵 $5\text{ mg/m}^3$ )、Zn(可呼吸性粉塵 $2\text{ mg/m}^3$ )和Cd(總粉塵 $0.01\text{ mg/m}^3$ ；可呼吸性粉塵 $0.002\text{ mg/m}^3$ )，比較粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵個人採樣樣本監測濃度是否超過金屬TLVs值。從圖 16中可看到，金屬Al、Mn、Fe、Zn和Cd五個金屬，均無事業單位的個人監測樣本可呼吸性粉塵監測濃度平均值高於TLVs的情形，顯示這些事業單位的粉體塗裝作業工作者對於這些金屬無過度暴露的情形，只需持續注意他們的暴露維持低濃度暴露。

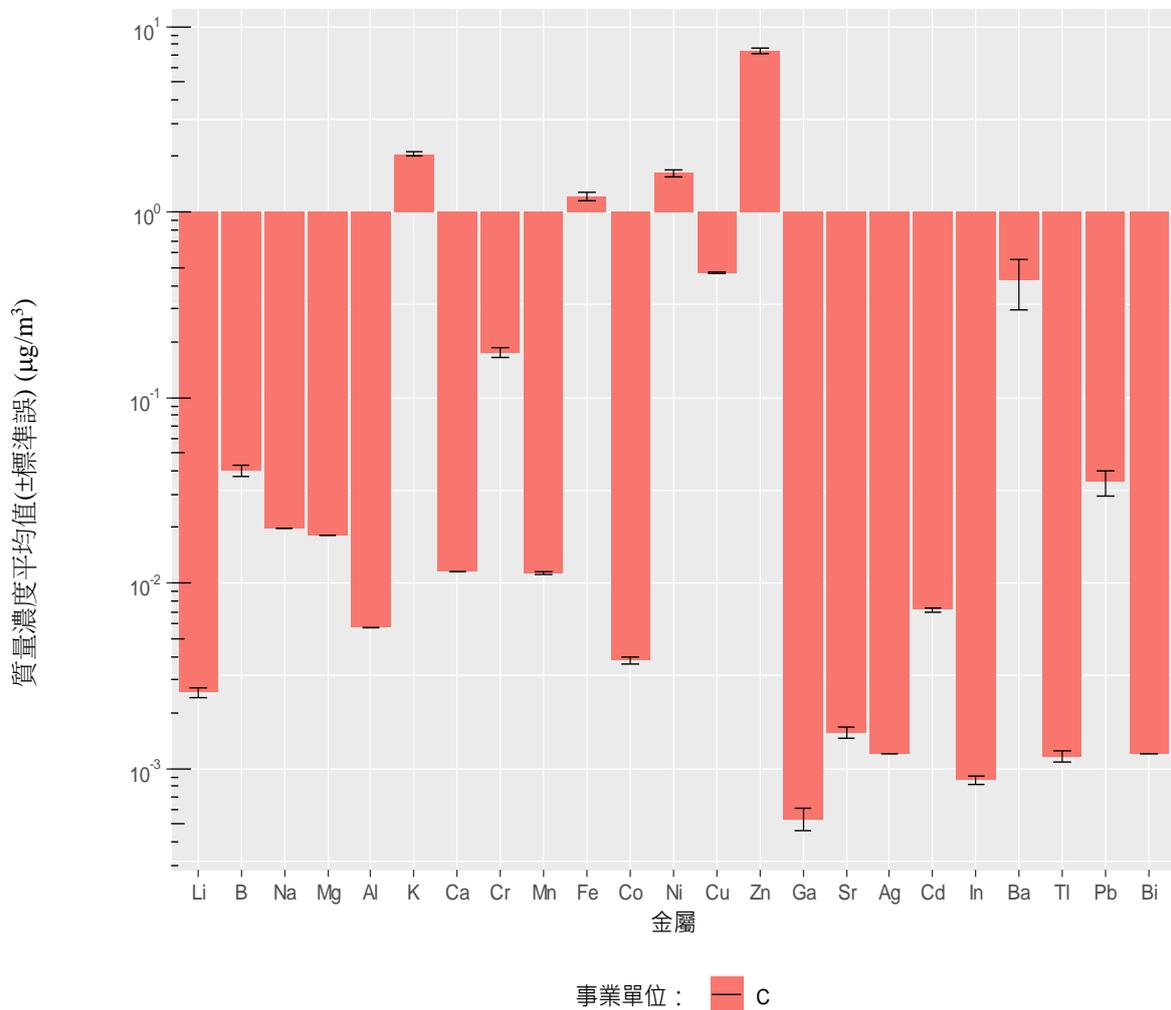


圖 18 粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度

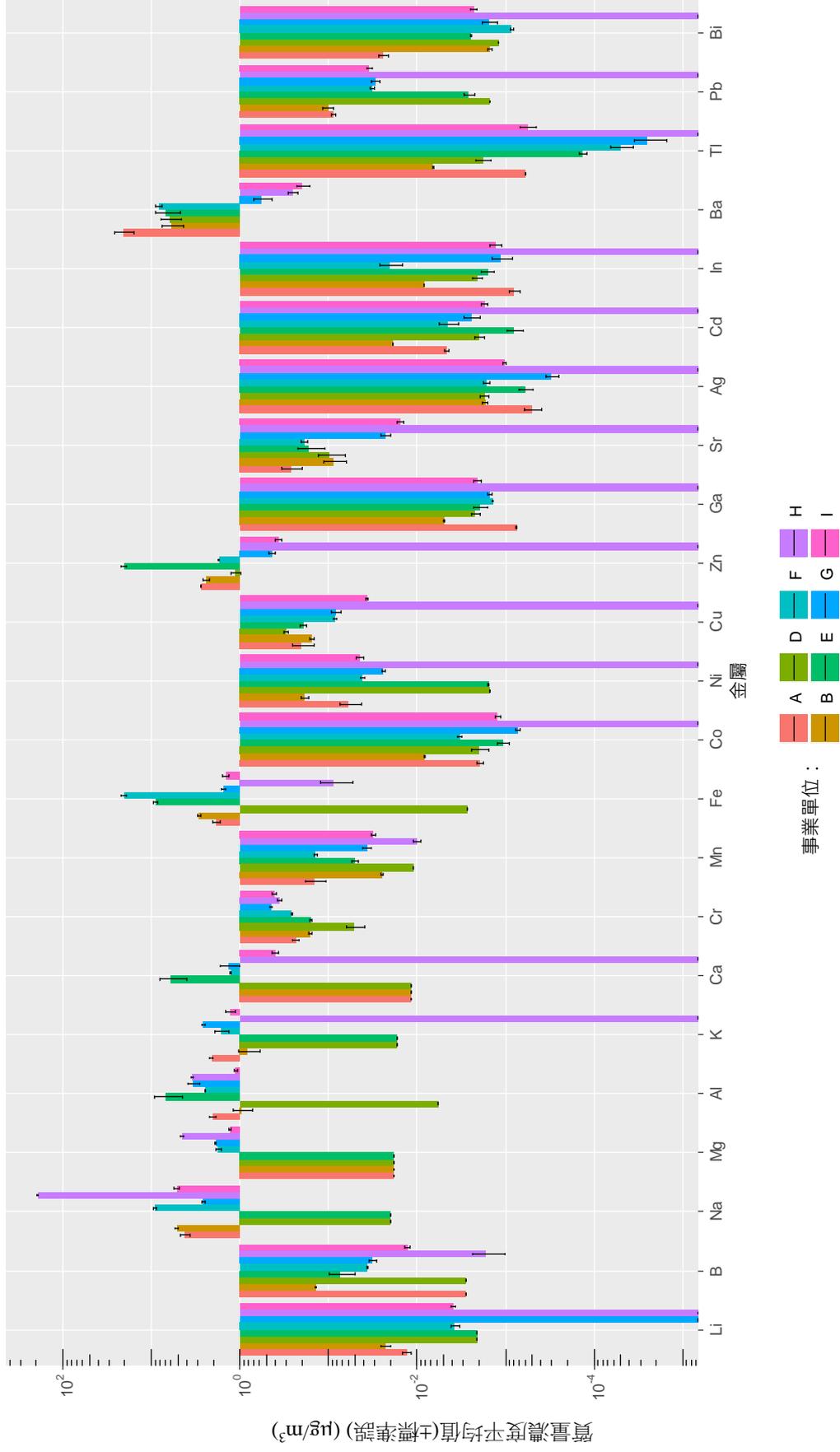


圖 19 粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵個人採樣樣本金屬監測濃度

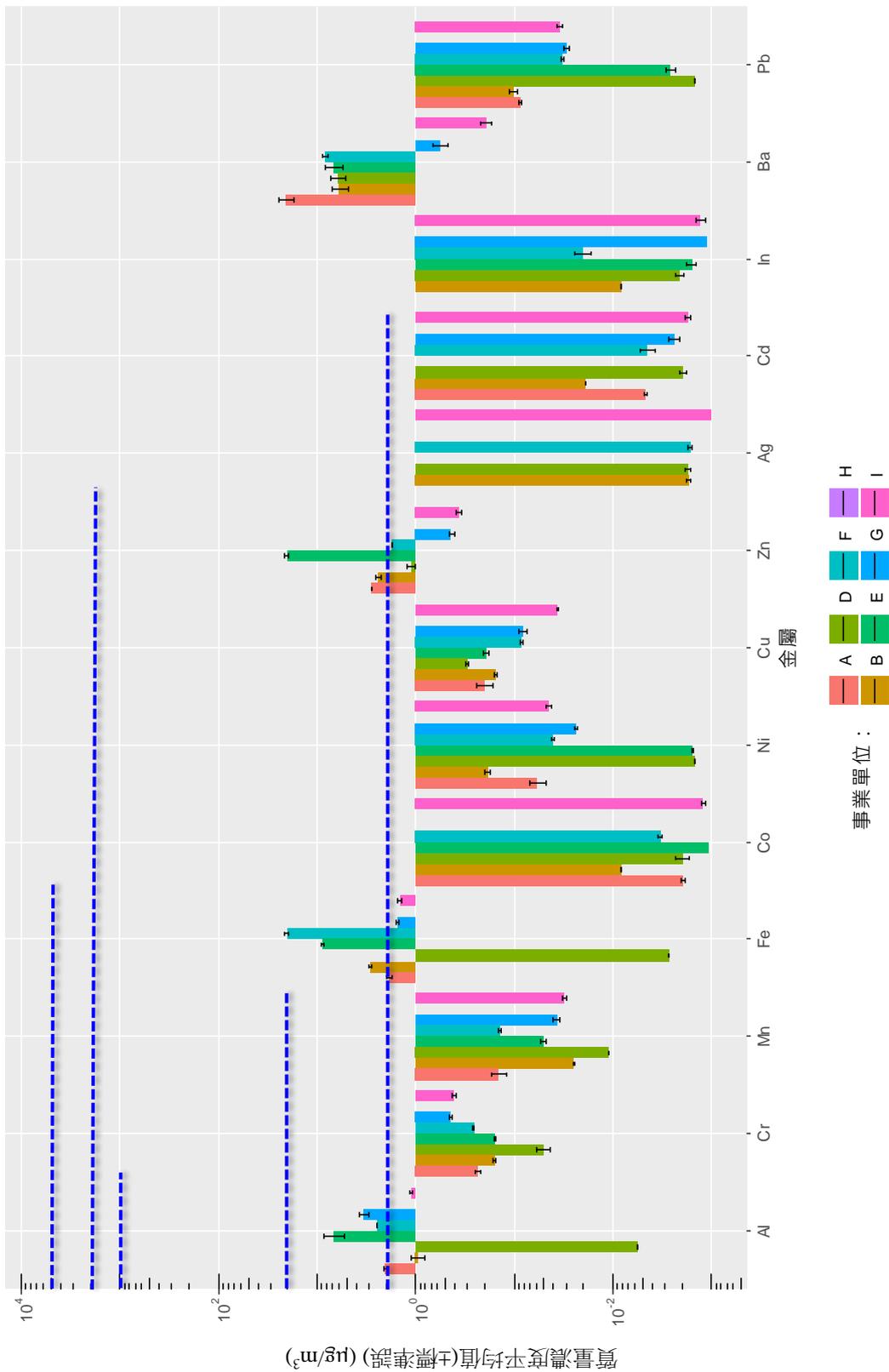


圖 20 粉體塗裝作業區分事業單位可呼吸性粉塵個人採樣樣本金屬監測濃度超過 ACGIH-TLVs 的情形

因為PM<sub>2.5</sub>粉塵無個人採樣監測樣本，圖21及圖22分別為不區分和區分事業單位的PM<sub>2.5</sub>粉塵區域採樣監測樣本金屬監測濃度誤差長條圖。圖21為23個PM<sub>2.5</sub>粉塵區域採樣監測樣本，在不區分事業單位下，只看到一種顏色的誤差長條圖，從圖中可看到Ba金屬PM<sub>2.5</sub>粉塵監測濃度平均值高於50 µg/m<sup>3</sup>，Na、Al和Fe三個金屬監測濃度平均值高於5 mg/m<sup>3</sup>，K金屬監測濃度平均值高於2 µg/m<sup>3</sup>，Ca、Mn、Zn和Sr四個金屬監測濃度平均值高於1 mg/m<sup>3</sup>，其餘金屬監測濃度平均值絕大多數都低於0.1 µg/m<sup>3</sup>。圖22為區分9個事業單位PM<sub>2.5</sub>粉塵區域採樣監測樣本金屬監測濃度平均值，從圖中可看到Na和Ba兩個金屬PM<sub>2.5</sub>粉塵監測濃度平均值高於100 µg/m<sup>3</sup>，Al、K和Fe三個金屬監測濃度平均值高於10 µg/m<sup>3</sup>，Mg、Ca、Mn、Zn和Sr五個金屬監測濃度平均值接近5 µg/m<sup>3</sup>，且這些事業單位在這些金屬(Ba、Na、Mg、Al、K、Fe、Co、Ca、Zn和Sr)監測濃度平均值間存在差異；Cr和Cu三個金屬監測濃度平均值介於0.2~1.0 mg/m<sup>3</sup>，其餘金屬監測濃度平均值絕大多數都低於0.01 µg/m<sup>3</sup>。

表13為不區分事業單位從在每個單位的23個區域PM<sub>2.5</sub>粉塵採樣監測樣本測得的金屬濃度，發現Ba金屬有最高監測濃度(質量濃度平均值±標準差)為81.237±299.088 µg/m<sup>3</sup>，Na、Al和Fe三個監測濃度較高的金屬監測濃度(質量濃度平均值±標準差)分別為28.598±63.421、5.394±10.034和5.946±9.130 µg/m<sup>3</sup>，一般認為危害性較高的金屬Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Cd、In和Pb的監測濃度(質量濃度平均值±標準差)分別為0.241±0.117、0.920±4.073、0.006±0.017、0.041±0.071、0.108±0.115、0.003±0.006、0.002±0.005和0.023±0.030 µg/m<sup>3</sup>，其他金屬Li、B、Mg、K、Ga、Ag、Tl和Bi的監測濃度(質量濃度平均值±標準差)分別為0.005±0.007、0.011±0.014、1.090±1.398、2.066±5.231、0.002±0.002、0.001±0.002、0.001±0.001和0.002±0.003 µg/m<sup>3</sup>。

附錄三為針對在每個單位有2~3個區域PM<sub>2.5</sub>粉塵採樣監測樣本，區分事業單位在這些樣本分析測得的金屬濃度，發現所監測的9個事業單位在十一個金屬(Li、B、Co、Ni、Ga、Ag、Cd、In、Tl、Pb和Bi)的監測濃度平均值均相當低(小於0.15 µg/m<sup>3</sup>)，顯示粉體塗裝作業在這些金屬不會有明顯的PM<sub>2.5</sub>粉塵暴露發生；而Ba在一個事業單位有相當高的監測濃度平均值(510.257 µg/m<sup>3</sup>)，有兩個事業單位監測濃度平均值介於40~60 µg/m<sup>3</sup>，顯示粉體塗裝作業勞工暴露的PM<sub>2.5</sub>粉塵中有Ba金屬存在。在Na、Al、K、Ca、Mn、Fe、Zn和Sr這八個金屬的監測濃度平均值，均有1~2個事業單位的監測濃度平均值

呈現較高(大於 $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )的情形，顯示不同事業單位的粉體塗裝作業有不同的 $\text{PM}_{2.5}$ 粉塵金屬暴露，其中質量濃度平均值在Na介於 $0.020\sim 186.993 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Al介於 $0.006\sim 16.943 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、K介於 $0.000\sim 12.536 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ca介於 $0.012\sim 5.768 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Mn介於 $0.007\sim 6.747 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Fe介於 $0.003\sim 15.216 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Zn介於 $0.001\sim 4.461 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Sr介於 $0.001\sim 7.195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。至於Mg、Cr和Cu三個金屬在事業單位的監測濃度平均值均相當低，顯示不同事業單位的粉體塗裝作業 $\text{PM}_{2.5}$ 粉塵在這三個金屬暴露差異不大，其中質量濃度平均值在Mg、Cr和Cu分別介於 $0.018\sim 3.991$ 、 $0.125\sim 0.414$ 和 $0.062\sim 0.272 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

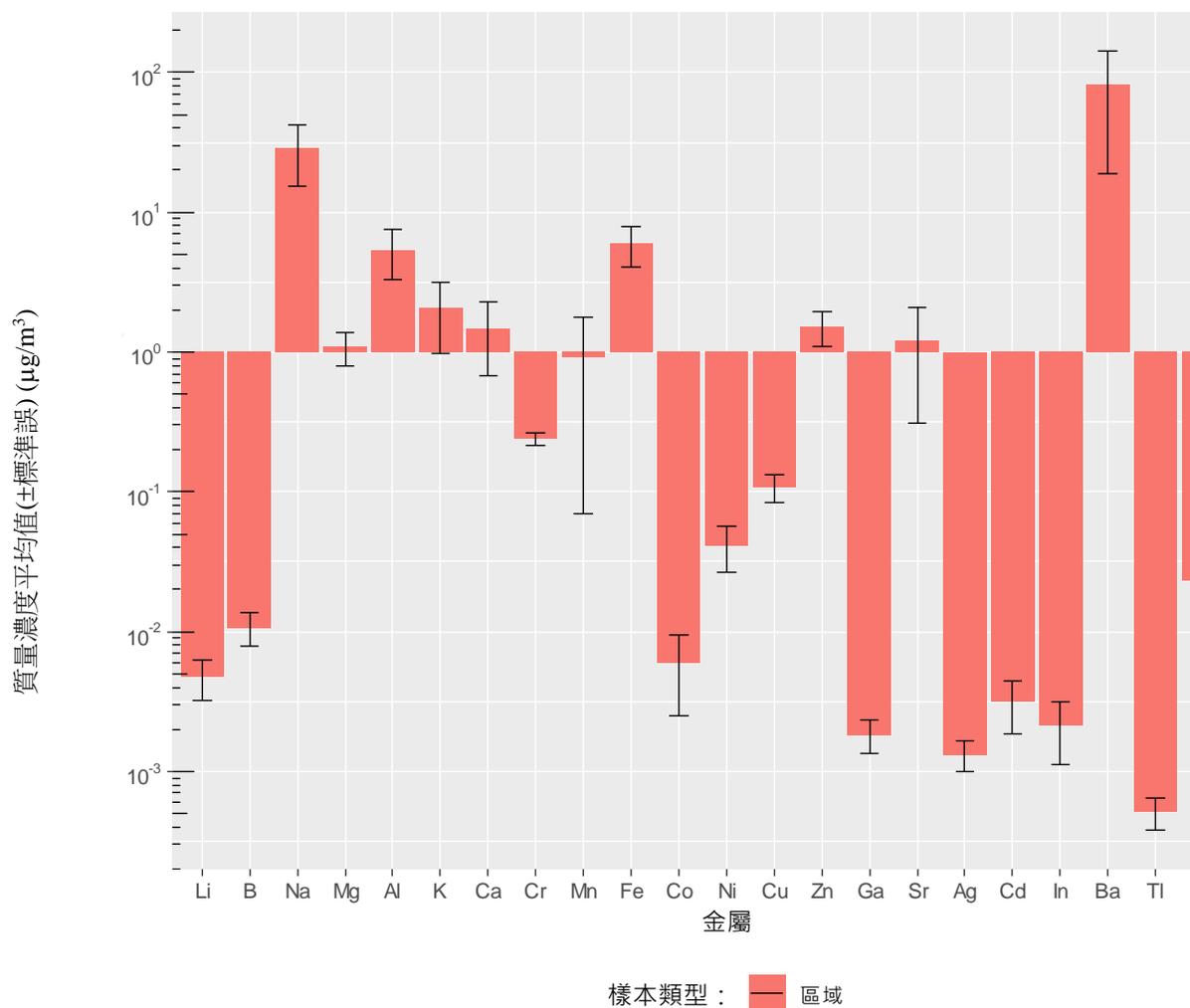


圖 21 粉體塗裝作業不區分事業單位  $\text{PM}_{2.5}$  粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度

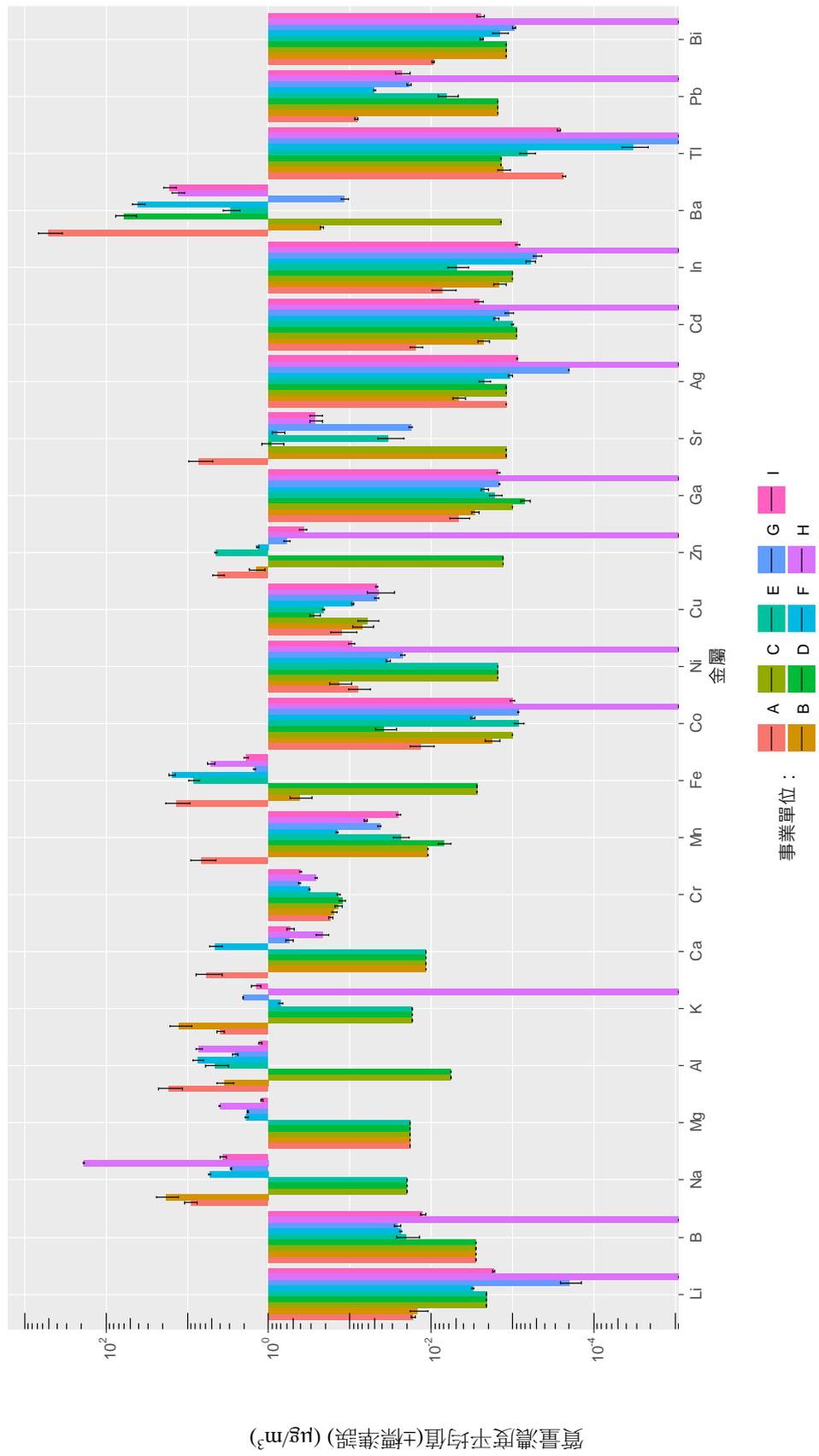


圖 22 粉體塗裝作業區分事業單位 PM<sub>2.5</sub> 粉塵區域採樣樣本金屬監測濃度

表 13 事業單位粉體塗裝不區分事業單位 PM2.5 粉塵樣本金屬監測濃度

金屬名稱	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Li	23	0.0047 (±0.0072)	0.0000	0.0270	0	---	---	---
B	23	0.0107 (±0.0137)	0.0000	0.0550	0	---	---	---
Na	23	28.5977 (±63.4207)	0.0198	197.5181	0	---	---	---
Mg	23	1.0896 (±1.3982)	0.0181	4.2883	0	---	---	---
Al	23	5.3944 (±10.0335)	0.0057	47.7441	0	---	---	---
K	23	2.0658 (±5.2308)	0.0000	25.0539	0	---	---	---
Ca	23	1.4927 (±3.9232)	0.0000	17.2818	0	---	---	---
Cr	23	0.2405 (±0.1169)	0.0843	0.4827	0	---	---	---
Mn	23	0.9198 (±4.0731)	0.0030	19.5949	0	---	---	---
Fe	23	5.9461 (±9.1296)	0.0027	38.5776	0	---	---	---
Co	23	0.0060 (±0.0168)	0.0000	0.0741	0	---	---	---
Ni	23	0.0414 (±0.0714)	0.0000	0.2684	0	---	---	---
Cu	23	0.1075 (±0.1149)	0.0000	0.4109	0	---	---	---
Zn	23	1.5259 (±2.0418)	0.0000	7.6350	0	---	---	---
Ga	23	0.0018 (±0.0023)	0.0000	0.0115	0	---	---	---
Sr	23	1.1952 (±4.2285)	0.0012	20.4497	0	---	---	---
Ag	23	0.0013 (±0.0015)	0.0000	0.0072	0	---	---	---
Cd	23	0.0032 (±0.0063)	0.0000	0.0300	0	---	---	---
In	23	0.0021 (±0.0047)	0.0000	0.0204	0	---	---	---
Ba	23	81.2371 (±299.0877)	0.0014	1445.402	0	---	---	---
Tl	23	0.0005 (±0.0006)	0.0000	0.0021	0	---	---	---
Pb	23	0.0232 (±0.0304)	0.0000	0.1062	0	---	---	---
Bi	23	0.0024 (±0.0030)	0.0000	0.0111	0	---	---	---

### 第三節 粉體塗裝作業通風設備風險評估及最佳化設計

#### 一、粉體塗裝作業通風設施檢測

本研究目前完成 9 家 (分別以英文字母 A~I 代表)具有粉體塗裝作業事業單位共 10 套通風設施性能檢測(其中 D 廠有兩套)。此 9 家粉體塗裝作業事業單位之粉體作業區型式資訊(有無單獨隔間粉體室，粉體艙屬雙艙或單艙，通風設施量測數量，噴塗開口數量，集塵開口數量，集塵開口類型)，整理於表 14 粉體塗裝作業事業單位之粉體作業區型式所示。已完成 9 家共 10 套通風設施檢測結果如下。

表 14 粉體塗裝作業事業單位之粉體作業區型式

工廠代號	有無粉體室	粉體艙				集塵開口類型
		類型	量測通風設備套數	噴塗開口數	集塵開口數	
A 廠	有	單艙	1	2	2	圓桶上吸式集塵
B 廠	有	單艙	1	2	1	圓桶上吸式集塵
C 廠	無	單艙	1	2	1	圓孔下吸式
D 廠	有	雙艙	2	2	1	圓桶上吸式集塵
E 廠	無	單艙	1	3	2(啟動) 1(封閉)	圓孔上吸式
F 廠	無	單艙	1	2	2	圓孔上吸式
G 廠	有	單艙	1	1	1	圓桶上吸式集塵
H 廠	無	單艙	1	2	1	圓桶上吸式集塵
I 廠	有	雙艙	1	2	1	圓桶上吸式集塵

#### (一) A 廠

A 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 23，該粉體塗裝作業區與該廠粉體塗裝線其他作業區區隔，為一單獨隔間。此作業區為將經過前處理之物件，由本作業區之工作者使用靜電噴槍或自動機械將粉體塗料噴塗於物件上。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口前進行作業，開口正對面為粉體艙之通風設施。噴塗作業之同時通風設施亦須開啟進行抽氣，於噴塗作業進行時，將多餘之粉體進行回收，以達到粉體不外洩於粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 23 所示為一半密閉區域，長 915cm、寬 520cm、高 375cm；此半密閉區域內含一粉體艙長 600cm、寬 275cm、高 210cm；粉體艙共計有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側，開口長 102cm、寬 60cm、離地 70cm；每個噴塗開口前方設有長 200cm、深 85cm、高 70cm 之圓桶上吸式集塵開口。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，煙霧方向皆由外往內，顯示其設計正確無誤。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 24 共計有 6 個位置(A1~A6)，每個開口至少量測 9 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 32~圖 37 所示。從風速分布(圖 25~圖 30)發現，人員作業位置 A3 開口之風速為最小，其次為另一位人員作業位置 A4，且 A3 與 A4 多數風速皆小於 0.5 m/s，A3 與 A4 開口處粉體逸散應可預期。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 15 所示。其中發現 A3(11.42 m<sup>3</sup>/min)與 A4(16.40 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，再次顯示 A3 與 A4 開口處粉體逸散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4 (不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。A 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 38。由圖 31 可發現，前述風速分布與風量分析中，預期效果最差人員作業位置之一的 A3 位置，其濃度與風險等級確實為最高，呼應前述之推論。其次依序為粉體室出口處(A6)與另一位人員工作位置(A4)，顯示粉體室出口處仍有部分粉體逸散。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能尚待強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(A3 與 A4)開口正對面設有圓筒式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速與風量之不足，效果未如預期得以將多餘之粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外。而其中以工作者進行噴塗作業位置(A3)效果最差，導致工作者暴露風險提高。
2. 根據作業環境監測結果發現，總粉塵濃度以工作者噴塗作業位置最高，其次為粉體室出口處外邊，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，因而逸散至艙體外，導致不可忽略之暴露風險。

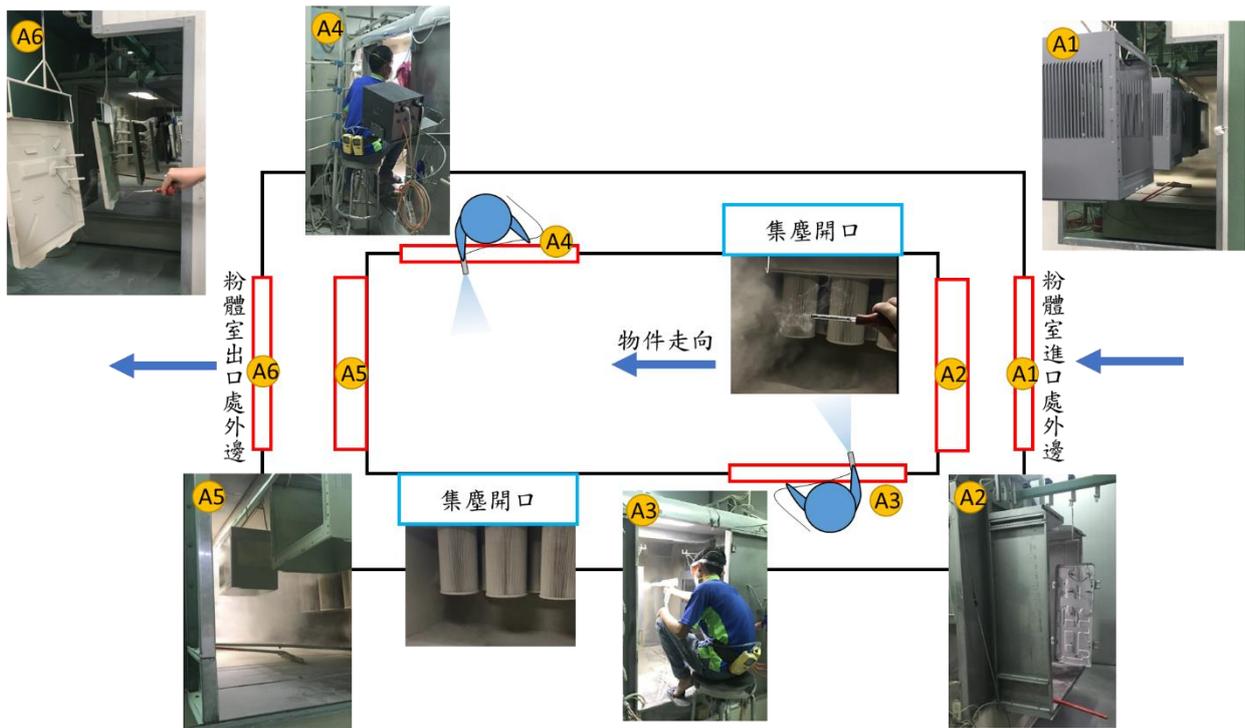


圖 23 A 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

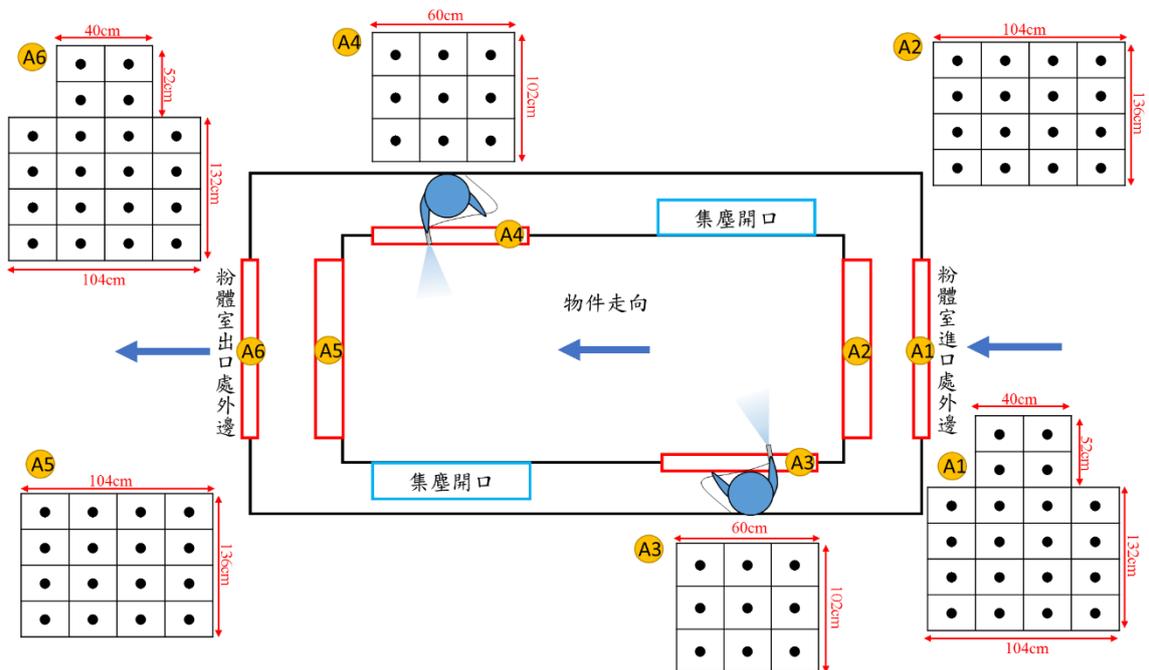


圖 24 A 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

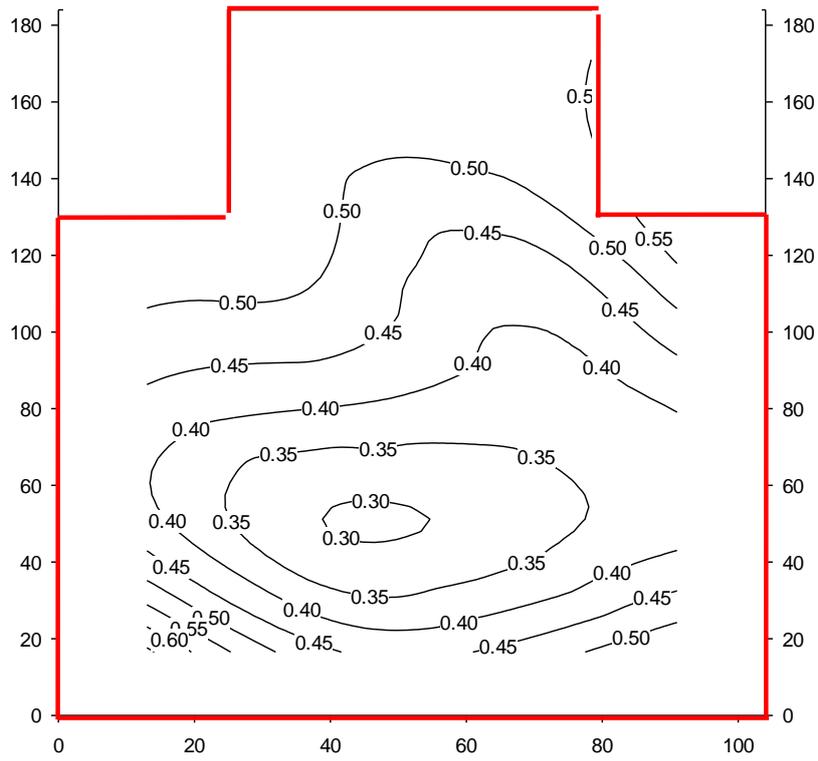


圖 25 A1 開口風速分布圖

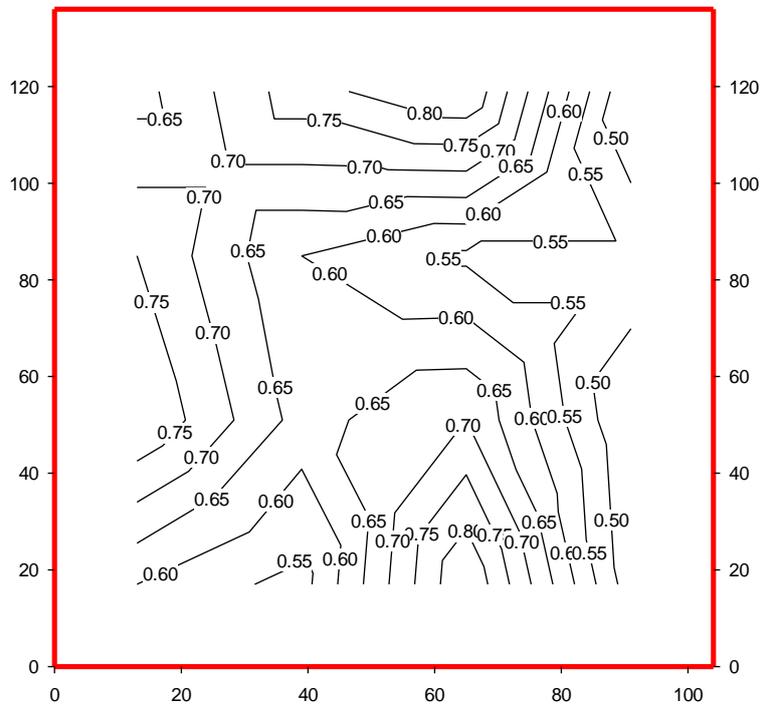


圖 26 A2 開口風速分布圖

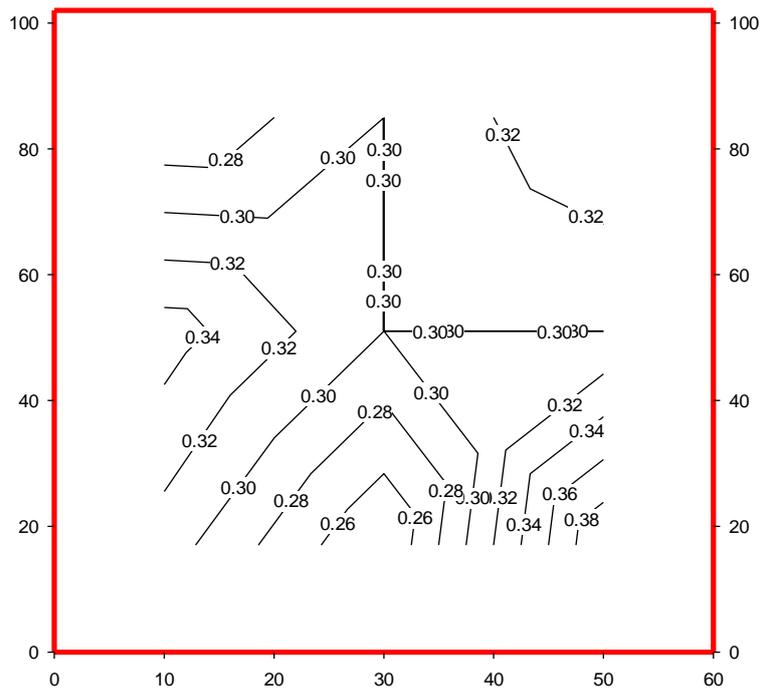


圖 27 A3 開口風速分布圖

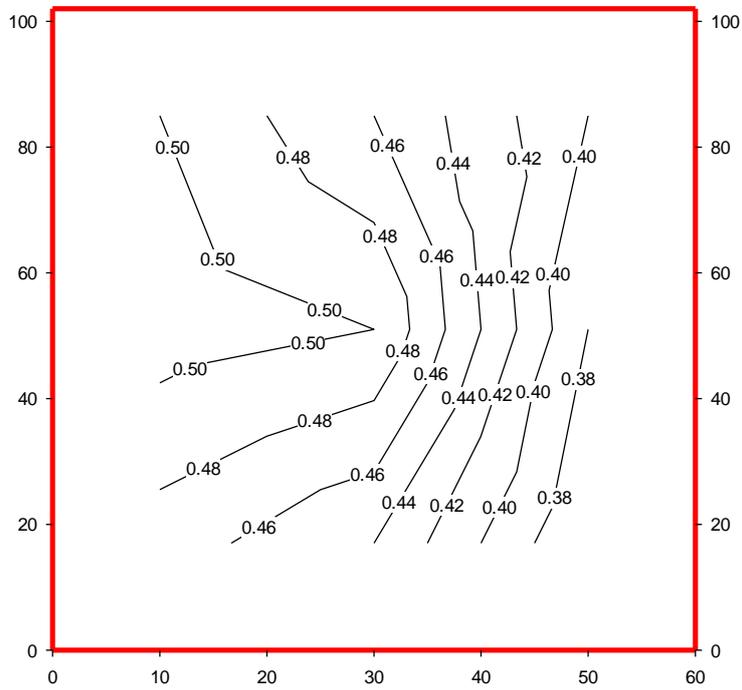


圖 28 A4 開口風速分布圖

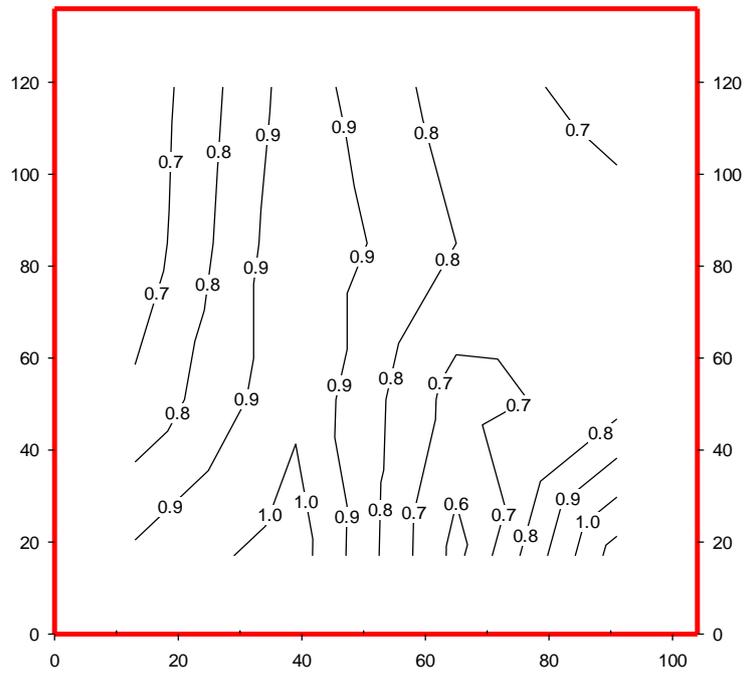


圖 29 A5 開口風速分布圖

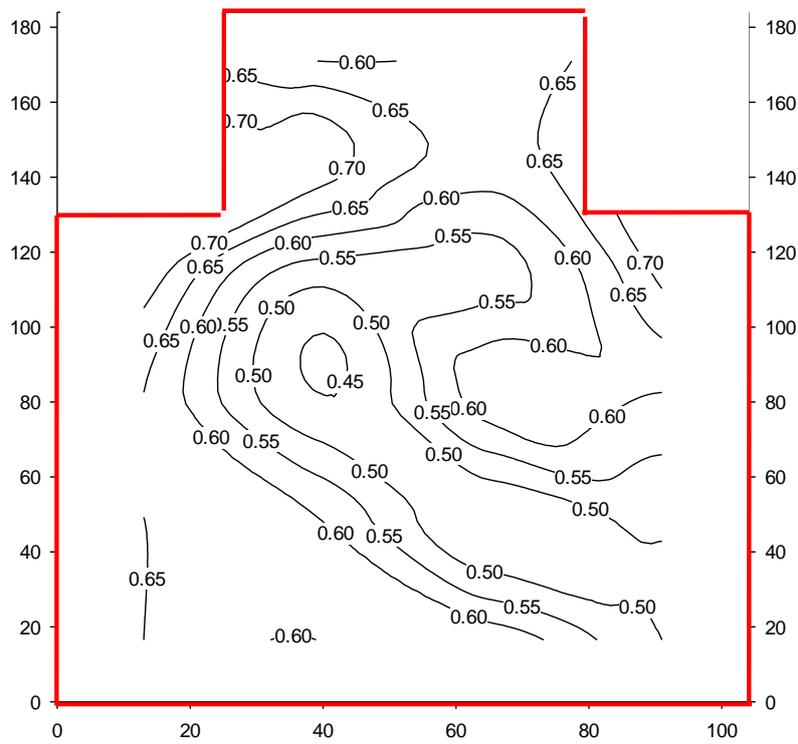


圖 30 A6 開口風速分布圖

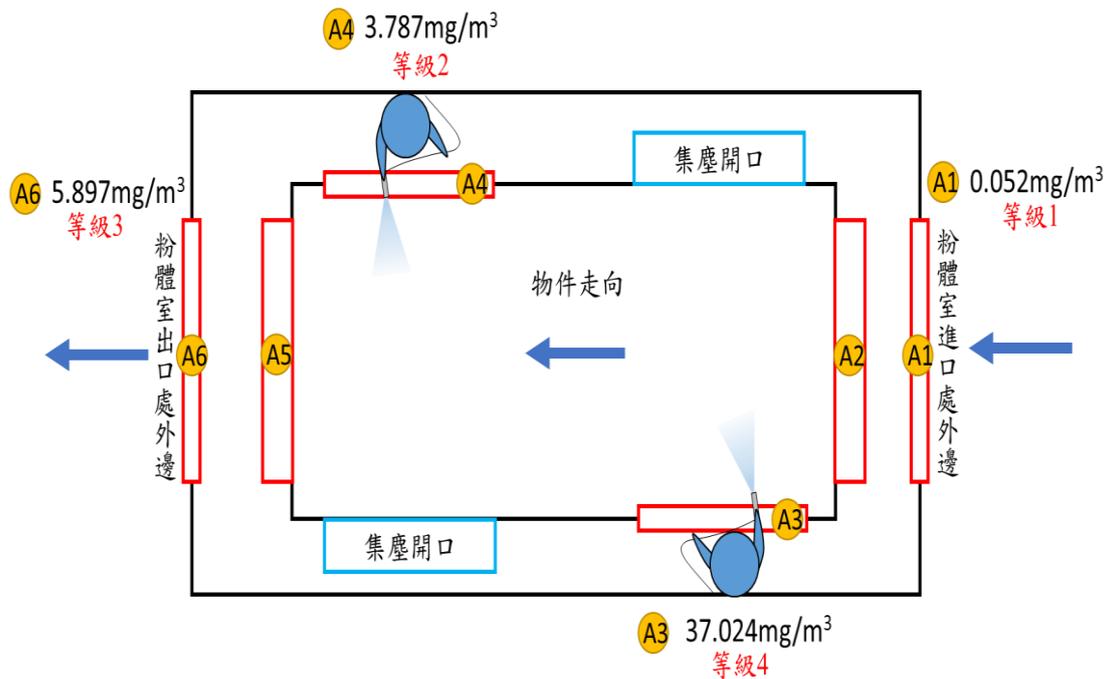


圖 31 A 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 15 A 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
A1	-	0.46	43.82
A2	-	0.64	53.94
A3	-	0.31	11.42
A4	-	0.45	16.40
A5	-	0.81	68.58
A6	-	0.60	57.05

## (二) B 廠

B 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 32，該粉體塗裝作業區與該廠粉體塗裝線其他作業區區隔，為一單獨隔間。此作業區為將經過前處理之物件，由 B1 入口處依序進入粉體艙，由本作業區之工作者使用靜電噴槍或自動機械將粉體塗料噴塗於物件上，現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(B2 與 B3)前進行作業。只有 B2 開口對面設計一座長 120cm、高 100cm 之圓桶上吸式集塵開口作為粉體艙之通風設施，B3 並未設置任何通風設施。在進行噴塗作業同時開啟進行抽氣，將多餘之粉體進行回收，防止粉體逸散至粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 32 所

示為一半密閉區域，長 640cm、寬 540cm、高 490cm；此半密閉區域內含一粉體艙長 600cm、寬 190cm、高 240cm；粉體艙共計有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側(B2 與 B3)，開口長 162cm、寬 72cm、離地 115cm。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，除了 B1 開口煙霧方向較不穩定，其餘煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計未盡正確，無法在每一處開口形成負壓與形成向艙體內之氣流走向。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 33 共計有 5 個位置(B1~B5)，每個開口至少量測 12 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 34~圖 38 所示。從風速分布(圖 34~圖 38)發現，幾乎所有開口面風速小於 0.5 m/s，其中以 B5 開口之風速為最小，其次為 B4 開口，因此 B4 與 B5 開口處粉體逸散應可預期。此外，作業人員工作之 B2 與 B3 開口面風速由於亦多數小於 0.5 m/s，因此推估其總粉塵濃度應與 B5 開口測值相差不大。而 B1 開口部分，綜合其風速分布與前述發煙管測試無一致向艙體內流向之結果，推估其總粉塵濃度應為最高。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 16 所示。其中發現 B4(12.37 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，其次為 B2(17.54 m<sup>3</sup>/min)與 B5(18.00 m<sup>3</sup>/min)，風量多數偏低，因此再次顯示 B2、B4 及 B5 開口處粉體逸散應可預期。而 B1 處風量(61.52 m<sup>3</sup>/min)雖遠超過其他開口，但如前述氣流方向不穩定，因此該處與其他位置相較之下，具有最高粉塵濃度應為合理之推估。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4 (不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。B 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 39。由圖 39 可發現，粉體室進口處(B1)其濃度為最高(19.848 mg/m<sup>3</sup>)，原因可能為其風向經發煙管測試為方向較不穩定，表示無法持續維持一致性負壓，造成擾動氣流方向不穩定，不足以將粉體帶向粉體艙內，而造成此開口逸散濃度較高。綜觀所有開口面濃度，顯示粉體艙各開口仍有部分粉體逸散。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能亟需強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(B2)開口對面設有圓筒式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速與風量之不足，效果未如預期得以將多餘之粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外。而其中以工作者進行噴塗作

業位置(B2)效果最差，導致工作者暴露風險提高。

2. 根據作業環境監測結果發現，由於無法維持氣流一致性向艙內流動與負壓狀態，因此總粉塵濃度以粉體室進口處(B1)開口最高，其次為人員作業位置(B2)，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，因而逸散至艙體外，導致不可忽略之暴露風險，該通風設計急需改善。

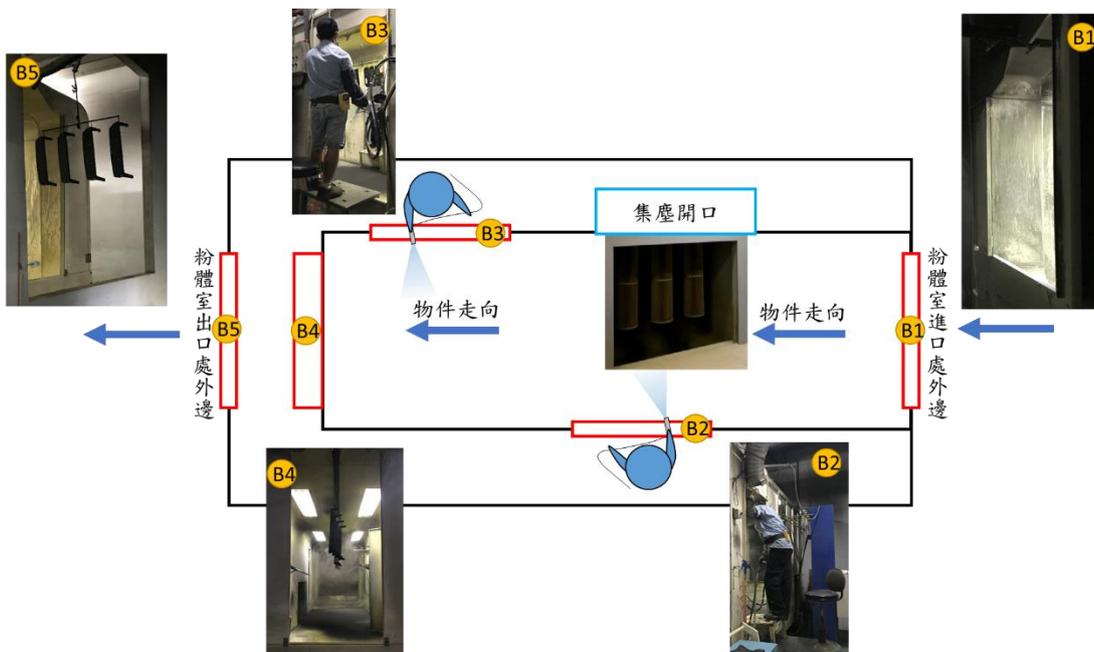


圖 32 B 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

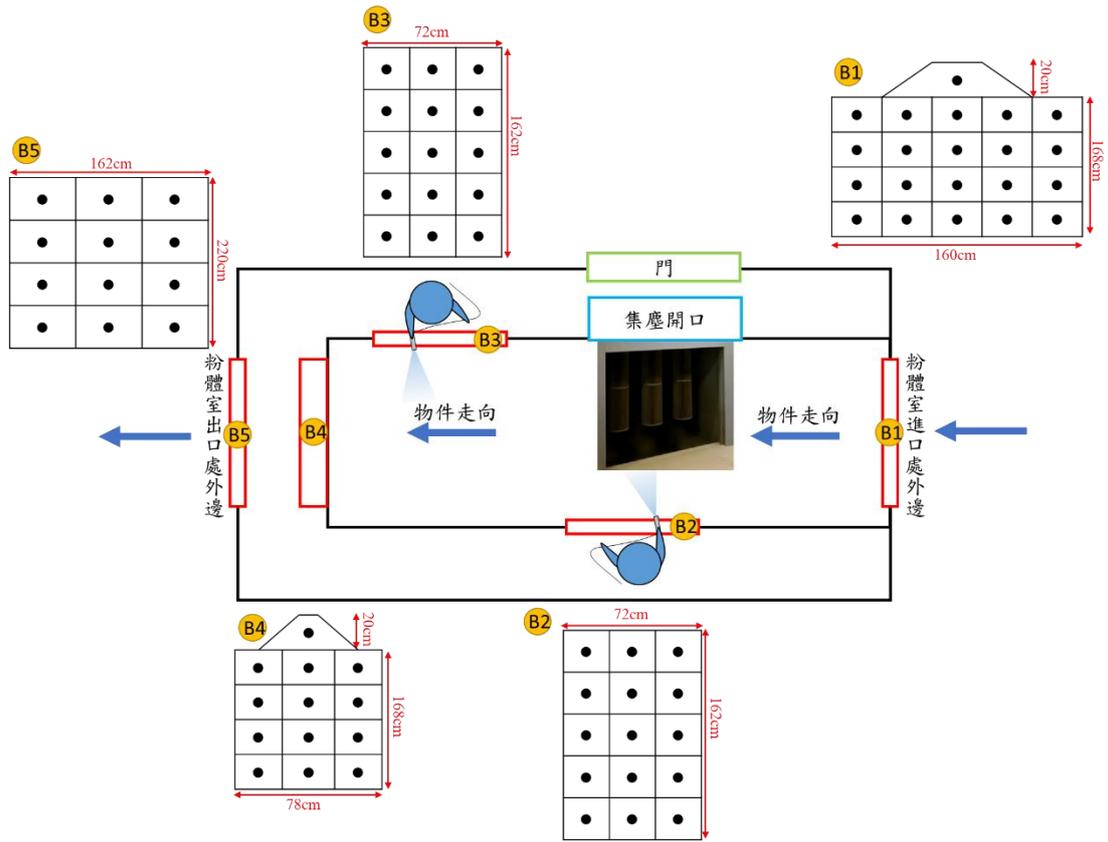


圖 33 B 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

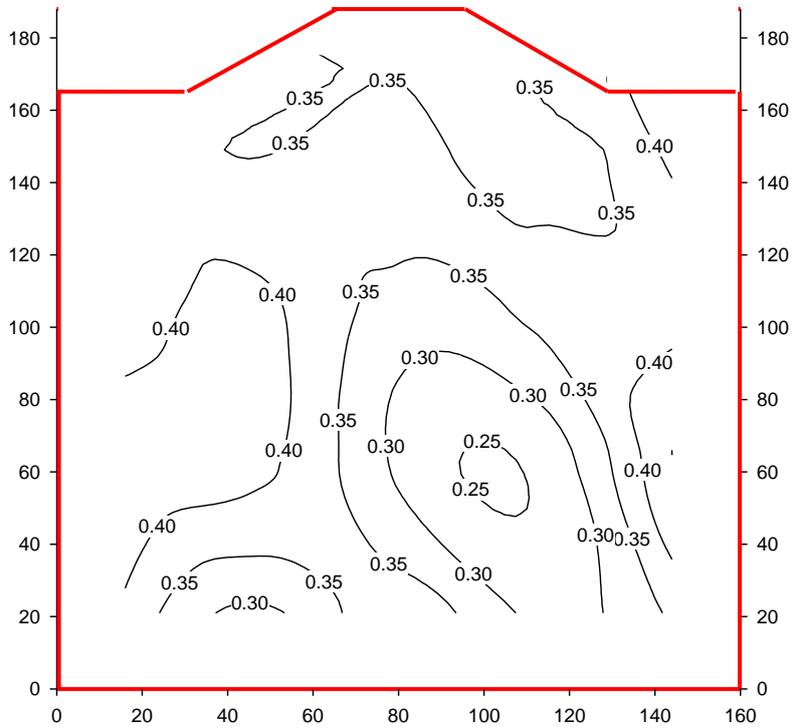


圖 34 B1 開口風速分布圖

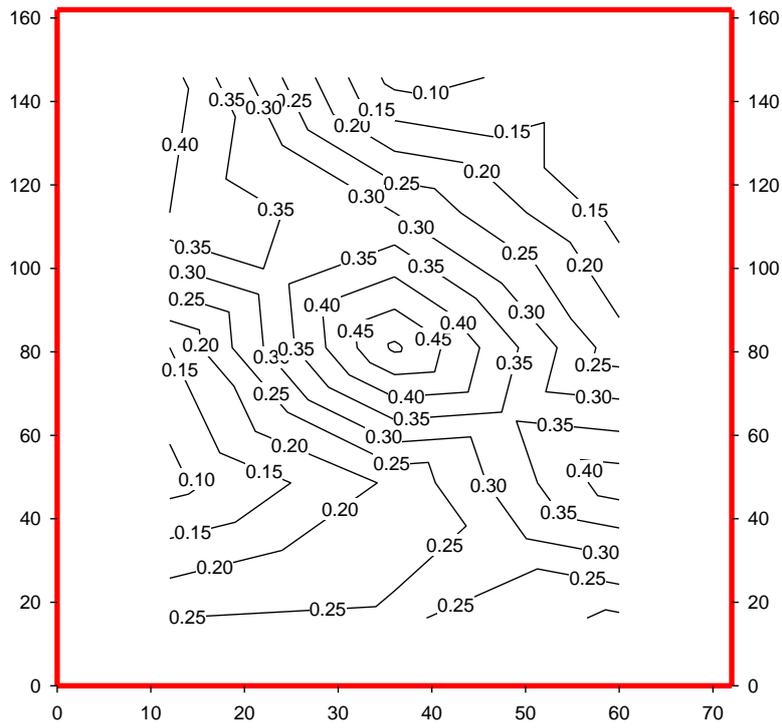


圖 35 B2 開口風速分布圖

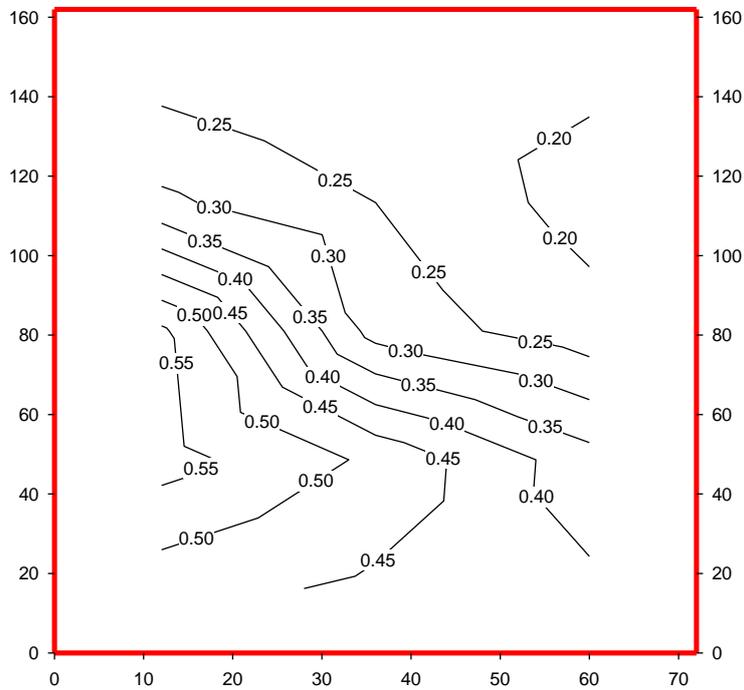


圖 36 B3 開口風速分布圖

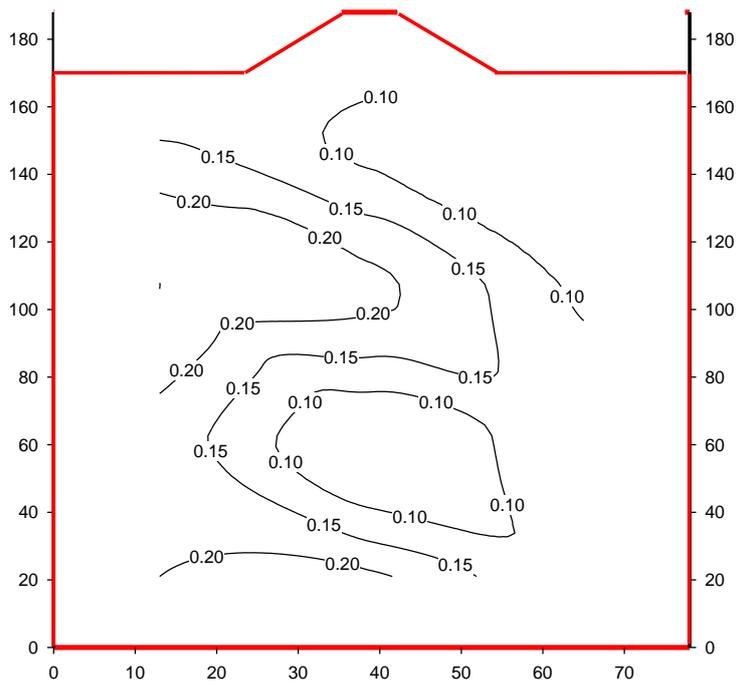


圖 37 B4 開口風速分布圖

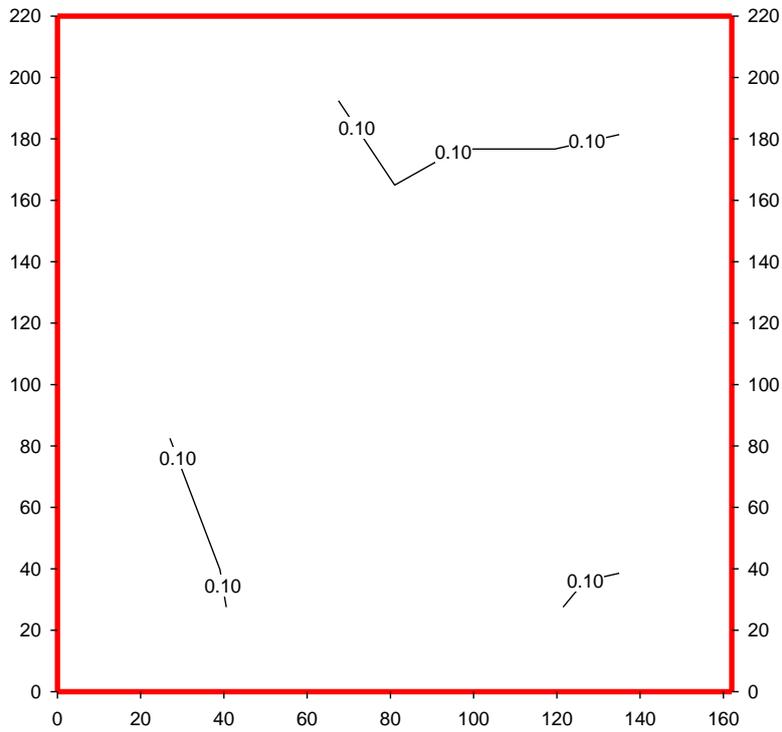


圖 38 B5 開口風速分布圖

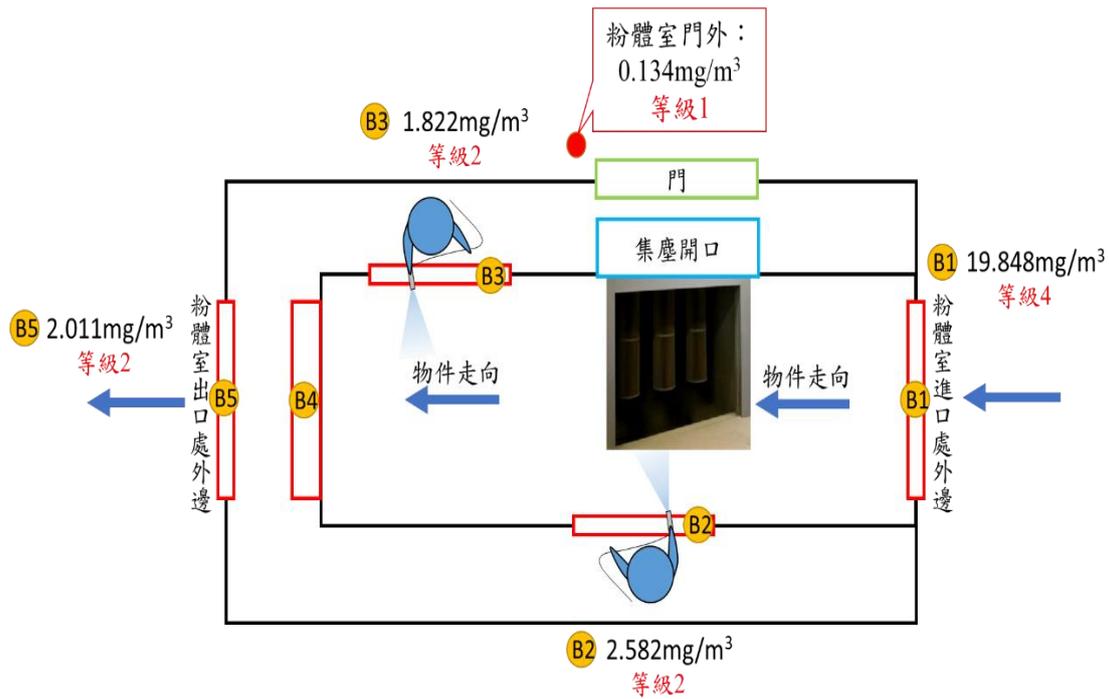


圖 39 B 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 16 B 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
B1	不固定	0.36	61.52
B2	-	0.25	17.54
B3	-	0.35	24.21
B4	-	0.15	12.37
B5	-	0.08	18.00

### (三) C 廠

C 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 40，此作業區為將經過前處理之物件，由 C1 入口處依序進入粉體艙，本作業區之工作者使用靜電噴槍將粉體塗料噴塗於物件上。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(C3 與 C4)或 C2 開口旁進行噴塗作業。C3 開口下方設有直徑 30cm 之圓孔下吸式開口作為粉體艙之通風設施，在進行噴塗作業同時亦須開啟進行抽氣，將多餘之粉體進行回收，防止粉體逸散至粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 40 所示為半開放區域，僅做牆面隔間惟天花板裸空，全區長 530cm、寬 370cm、廠房天花板高 660cm；此半開放區域內含

一粉體艙長 320cm、寬 155cm、高 195cm；粉體艙共計有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側(C3 與 C4)，其開口尺寸皆為長 132cm、寬 78cm。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計正確無誤。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 41 共計有 5 個位置(C1~C5)，每個開口至少量測 12 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 42~圖 46 所示。從風速分布(圖 42~圖 46)發現，C5 開口之風速為最小，其次為 C1 開口與人員作業位置 C3，即便如此，包含 C4 開口在內幾乎所有開口風速皆低於 0.5 m/s，因此 C1、C3、C4 及 C5 開口處粉體逸散應可預期。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 17 所示。其中發現 C3(15.50 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，其次為 C5(23.04 m<sup>3</sup>/min)、C4(24.09 m<sup>3</sup>/min)與 C1(24.84 m<sup>3</sup>/min)，風量多數偏低，因此再次顯示所有開口處粉體逸散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4(不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。C 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 47。由圖 47 可發現，粉體室進口處(C1)其濃度為最高，原因可能為 C2 開口旁有工作者在進行噴塗作業，而其風向即使經發煙管測試為向艙體內流動，但風速仍不足以將粉體帶向粉體艙內。綜觀所有開口面濃度發現，大約介於 1.892 mg/m<sup>3</sup> ~ 2.535 mg/m<sup>3</sup> 之間，顯示粉體艙各開口仍有部分粉體逸散。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能尚待強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(C3)開口正下方設有圓孔下吸式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速與風量之不足，效果未如預期得以將多餘之粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外，導致工作者暴露風險提高。
2. 根據作業環境監測結果發現，總粉塵濃度以粉體室進口處(C1)開口最高，其次為人員工作位置(C4)，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，因而逸散至艙體外，導致不可忽略之暴露風險。

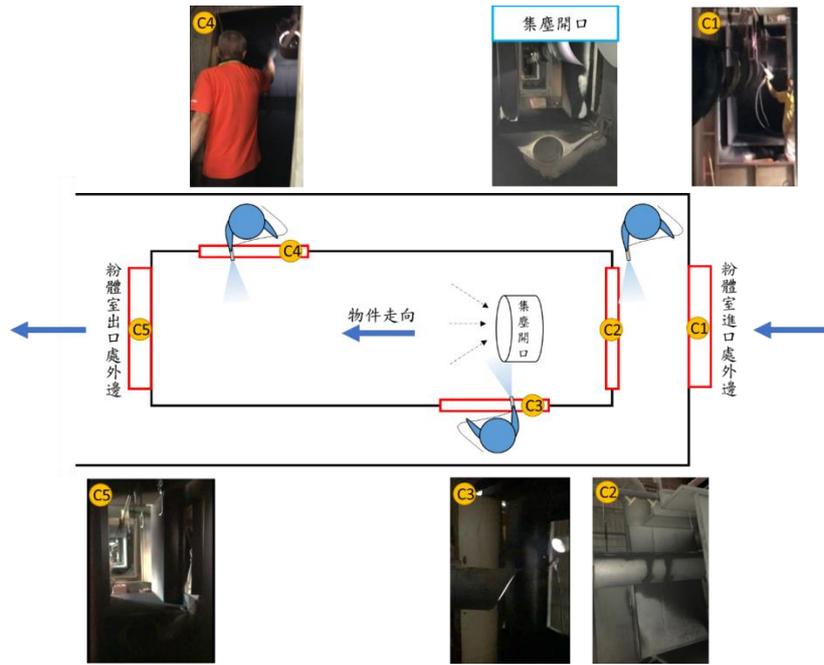


圖 40 C 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

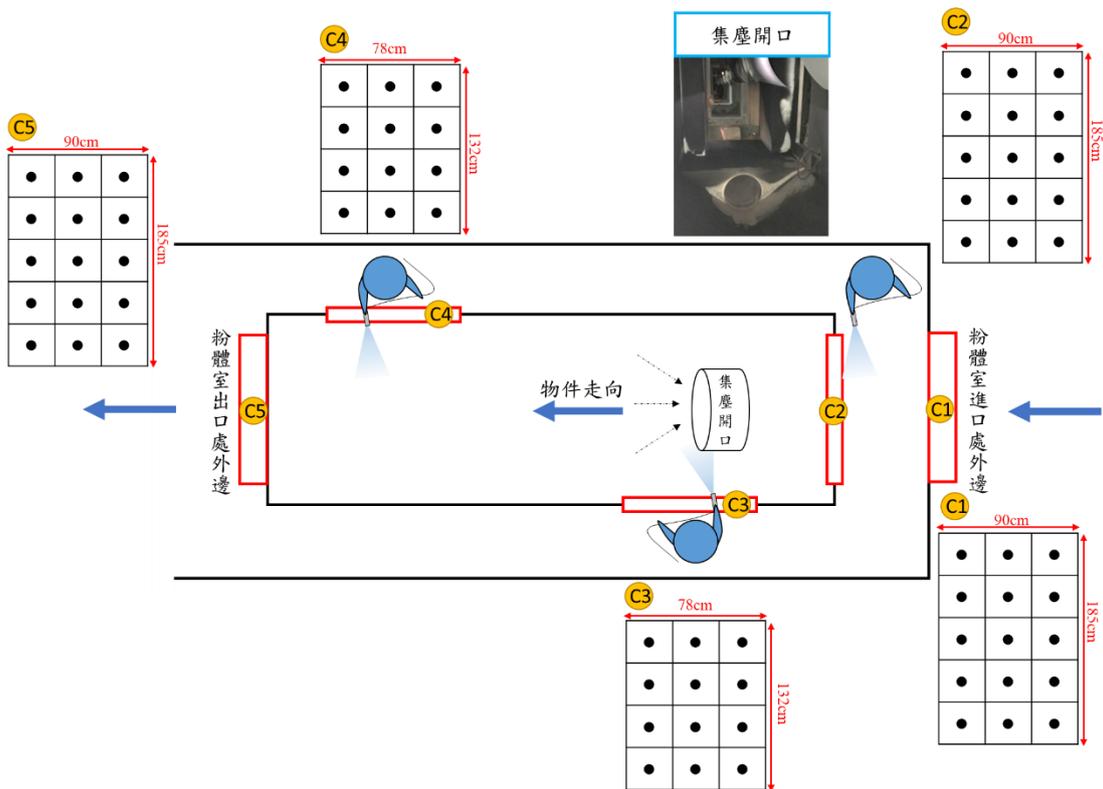


圖 41 C 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

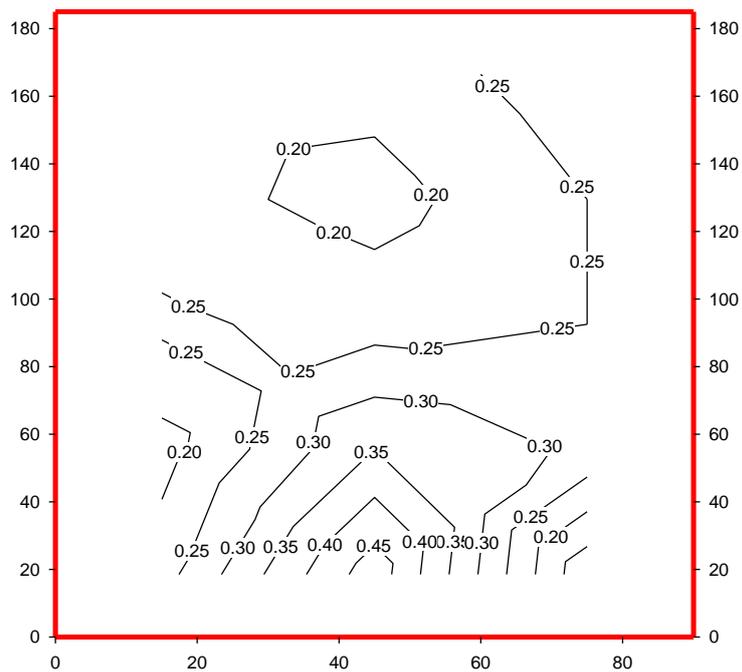


圖 42 C1 開口風速分布圖

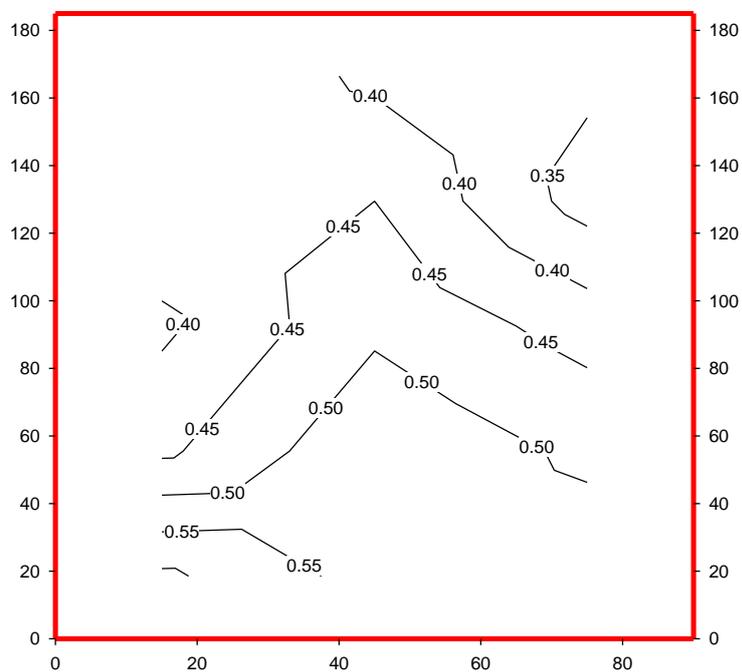


圖 43 C2 開口風速分布圖

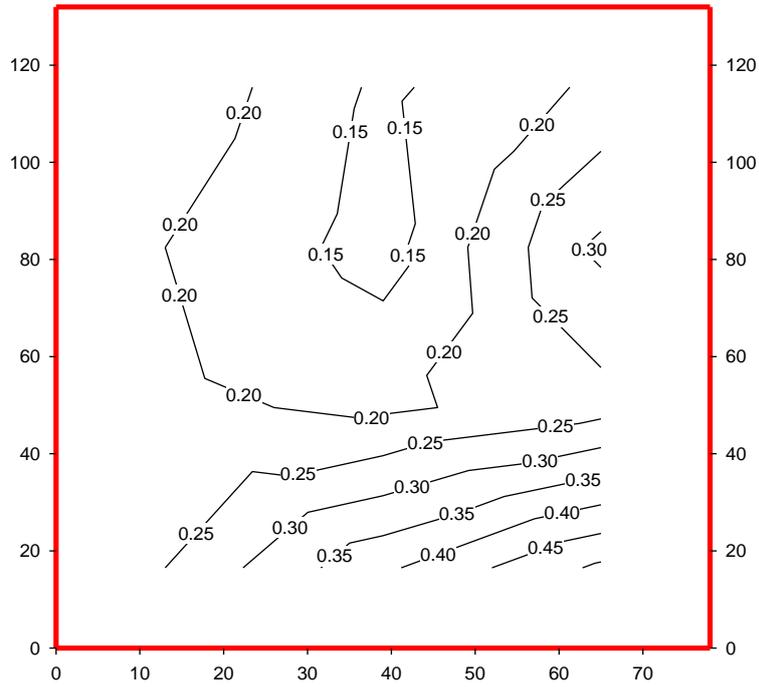


圖 44 C3 開口風速分布圖

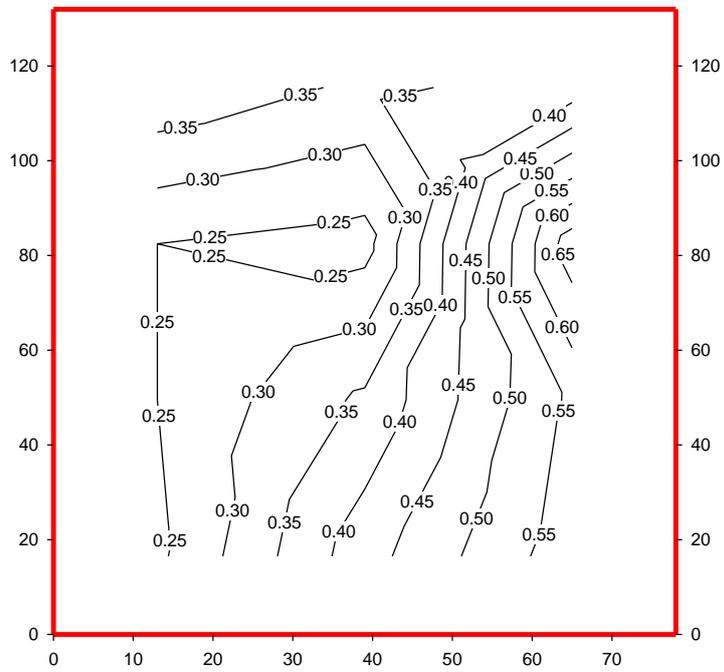


圖 45 C4 開口風速分布圖

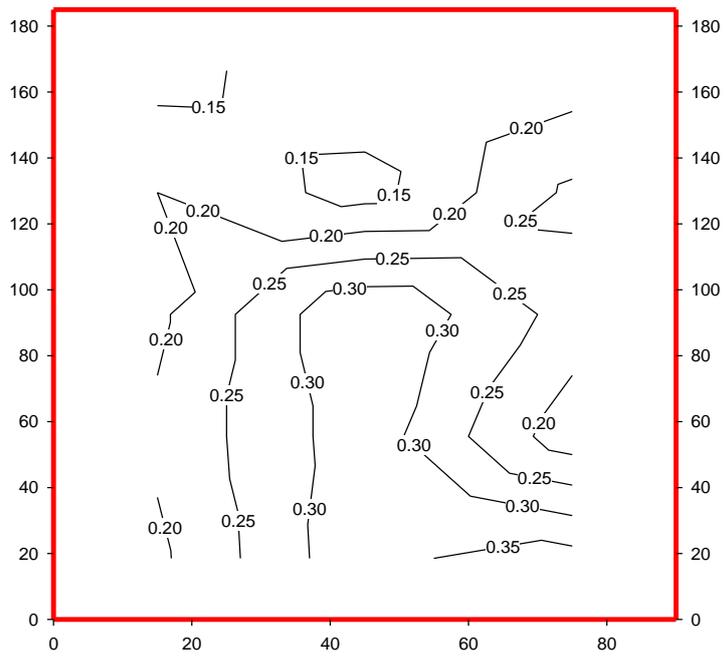


圖 46 C5 開口風速分布圖

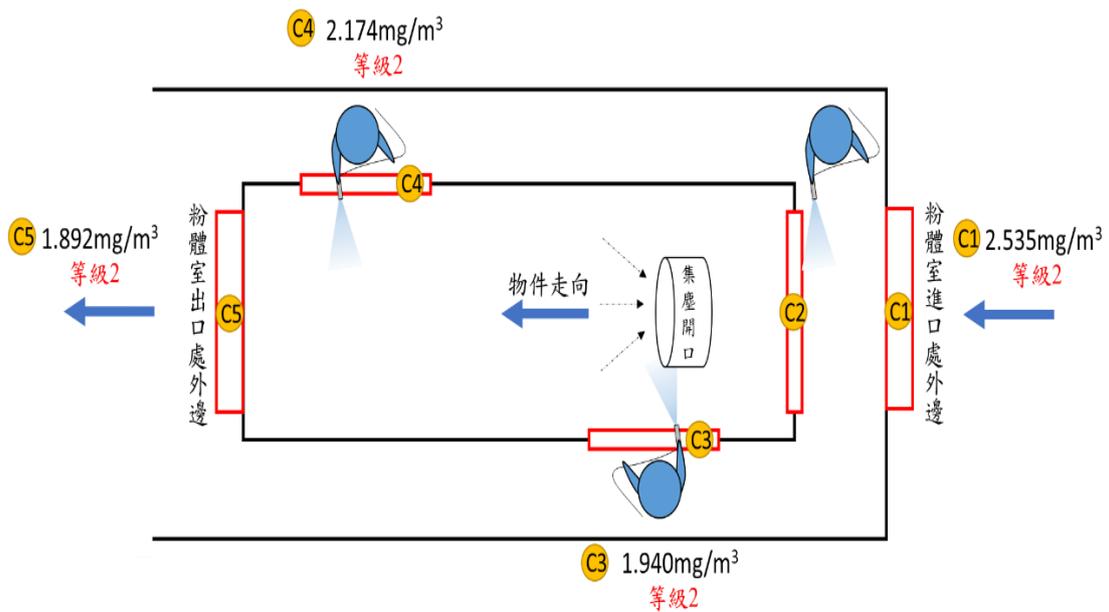


圖 47 C 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 17 C 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
C1	-	0.25	24.84
C2	-	0.46	45.75
C3	-	0.25	15.50
C4	-	0.39	24.09
C5	-	0.23	23.04

#### (四) D 廠

D 廠粉體塗裝作業區與該廠粉體塗裝線其他作業區區隔，為一單獨隔間，現場示意圖詳見圖 48。此粉體塗裝作業區隔間內具有兩座粉體艙(左艙與右艙)，各設置一套獨立通風設施，兩粉體艙間有一道牆面，將粉體艙分別區隔。粉體艙下方分別設計具有軌道，使用上依噴塗之粉體顏色深淺切換不同粉體艙交替使用，如要切換時則將欲使用之粉體艙移到物件吊掛軌道下方，不使用之粉體艙則移到吊掛軌道範圍外。此作業區為將經過前處理之物件，由 D1 入口處依序進入粉體艙，本作業區之工作者使用靜電噴槍或自動機械將粉體塗料噴塗於物件上。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(右艙 D3 與 D4，左艙 D8 與 D9)進行噴塗作業，只有 D4 與 D9 開口對面設計一座長 200cm、高 125cm 之圓桶上吸式集塵開口作為粉體艙之通風設施，D3 與 D8 並未設置任何通風設施。在進行噴塗作業同時開啟進行抽氣，將多餘之粉體進行回收，防止粉體逸散至粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 55 所示為一半密閉區域，長 1580cm、寬 840cm、高 395cm；此半密閉區域內含二個尺寸一樣之粉體艙，長 570cm、寬 170cm、高 200cm；每個粉體艙分別有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側(左艙為 D3 與 D4，右艙為 D8 與 D9)，其開口皆長 170cm、寬 66cm。

針對右艙之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計正確無誤。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 49 共計有 6 個位置(D1~D6-1)，每個開口至少量測 15 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 50~圖 55 所示。從風速分布(圖 50~圖 55)發現，A 艙粉體室除了 D5 開口因為最靠近集塵開口而具有較高風速(0.52 m/s)，其餘開口風速皆小於 0.5 m/s，而以出口(D6-1)開口之風速為最小。因此除了 D5 開口，其餘開口處粉體逸散應可預期。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲

得每個開口之平均風速與風量，結果如表 18 所示。其中發現人員工作位置 D3(19.12 m<sup>3</sup>/min)與 D4(23.38 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，再次顯示 D3 與 D4 開口處粉體逸散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4(不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。右艙各開口總粉塵濃度監測結果與暴露風險等級劃分如圖 56。由圖 56 可發現，人員工作位置 D4，其濃度為最高(3.157 mg/m<sup>3</sup>)，其次為粉體室出口處(D6-1)(2.868 mg/m<sup>3</sup>)，顯示人員工作位置 D4 由於風量最小，因此濃度偏高。而粉體室出口處(D6-1)仍有部分粉體逸散，其原因可能為受到左艙前批次作業殘留粉體之影響。

針對左艙之通風設施，首先(1)先以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計正確無誤。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 49 共計有 6 個位置(D8~D11)，每個開口至少量測 15 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 57~圖 62 所示。從風速分布(圖 57~圖 62)發現，左艙粉體室 D11 開口之風速最大，因此評估其他開口處由於風速不足，粉體逸散應可預期。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 18 所示。其中發現人員工作位置 D8(19.88 m<sup>3</sup>/min)與 D9(17.05 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，再次顯示 D8 與 D9 開口處粉體逸散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4(不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。左艙各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 63。由圖 63 可發現，人員工作位置 D9 其濃度為最高(5.708 mg/m<sup>3</sup>)，其次為另一位工作者作業位置 D8 (2.029 mg/m<sup>3</sup>)，與前述在 D8 與 D9 開口處風量偏低導致可能逸散之預期結果吻合。因此工作者作業位置 D8 與另一位工作者作業位置 D9 仍有部分粉體逸散，具一定風險存在。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能尚待強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(D4 與 D9)開口對面設有圓筒式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速與風量之不足，效果未如預期得以將多餘之粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外，導致工作者暴露風險提高。

2. 根據作業環境監測結果發現，右艙總粉塵濃度以工作者進行噴塗作業位置(D4) 最高，其次為可能受到左艙前批次作業殘留粉體影響之粉體室出口處(D6-2)；而左艙總粉塵濃度以工作者進行噴塗作業位置(D9) 最高，其次為另一位工作者作業位置(D8)，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，因而逸散至艙體外，導致不可忽略之暴露風險。

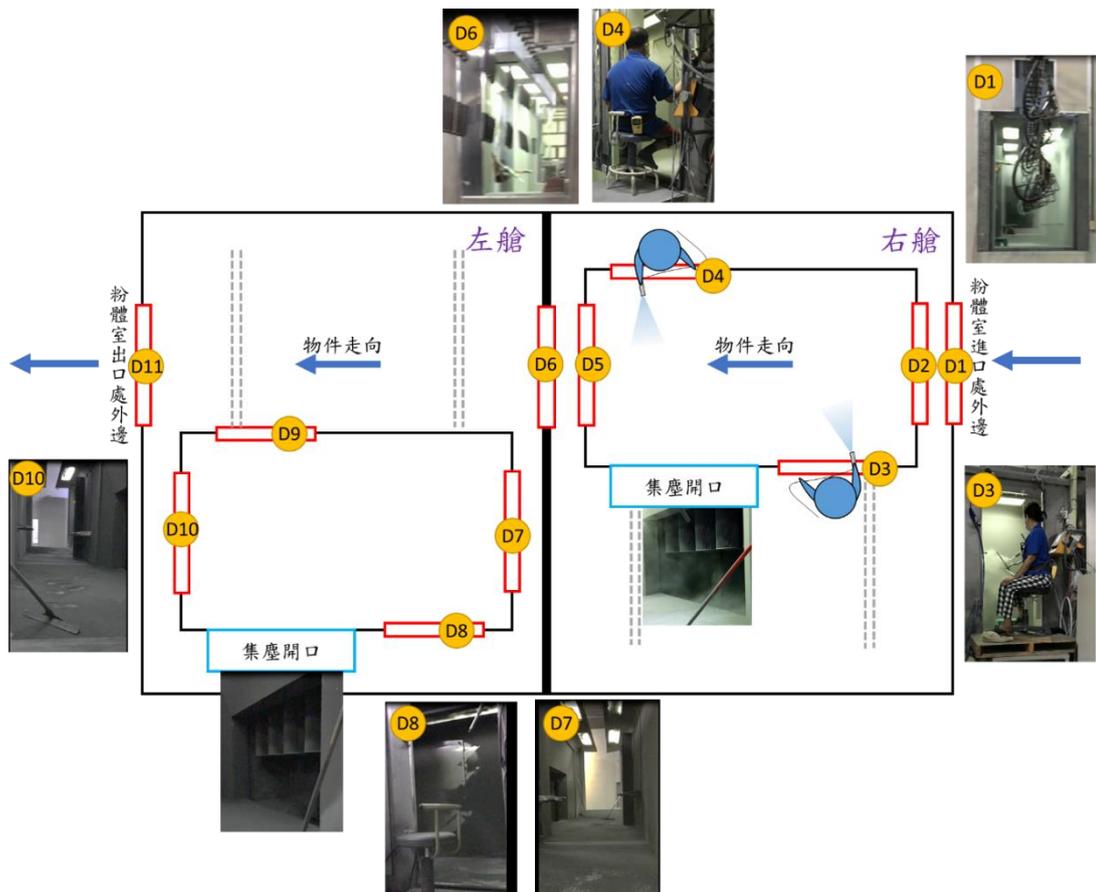


圖 48D 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

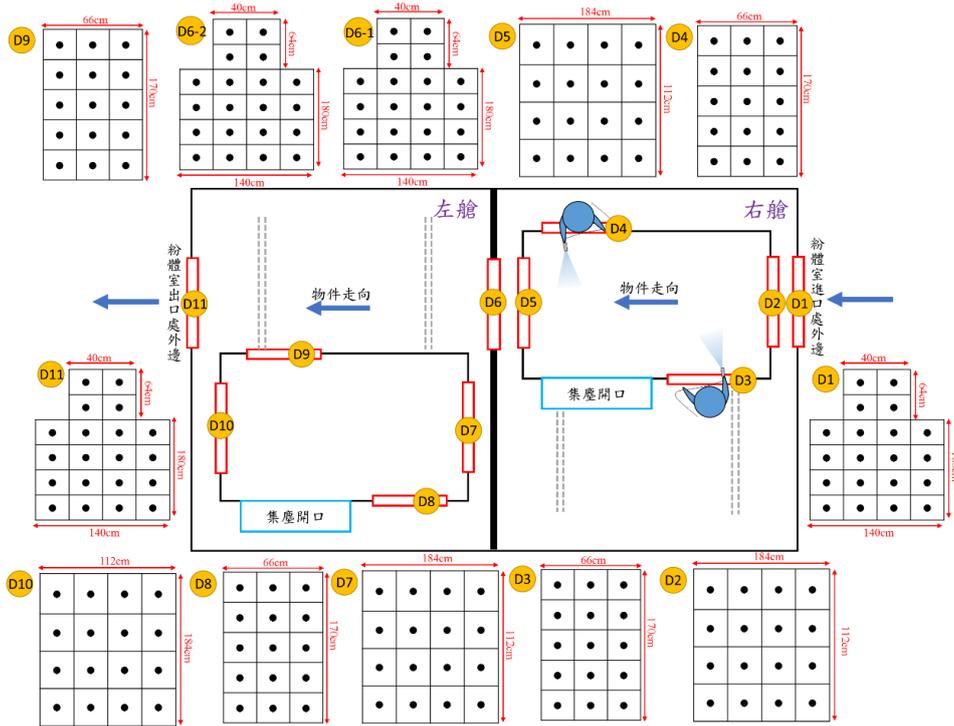


圖 49D 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

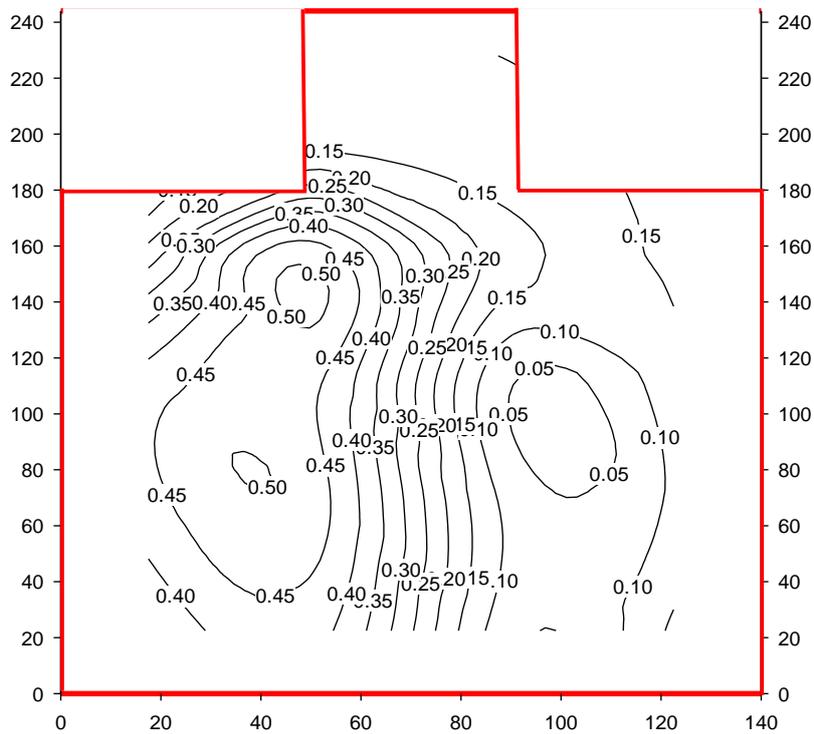


圖 50 D1 開口風速分布圖

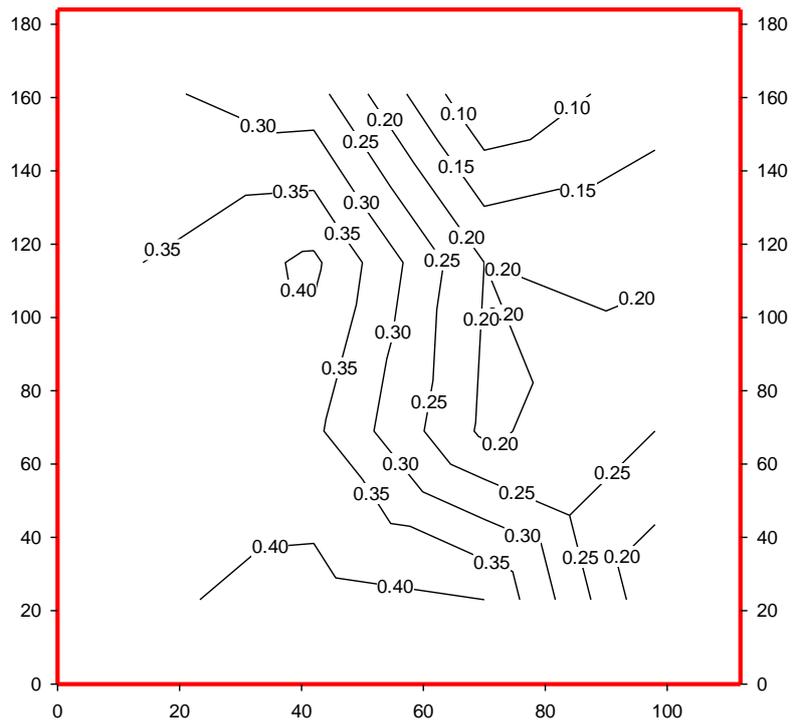


圖 51 D2 開口風速分布圖

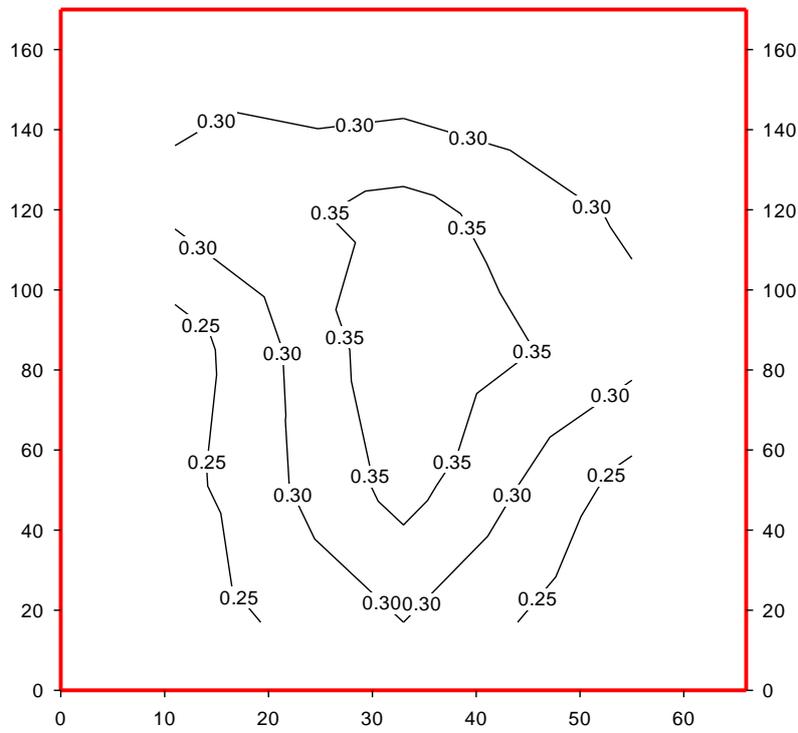


圖 52 D3 開口風速分布圖

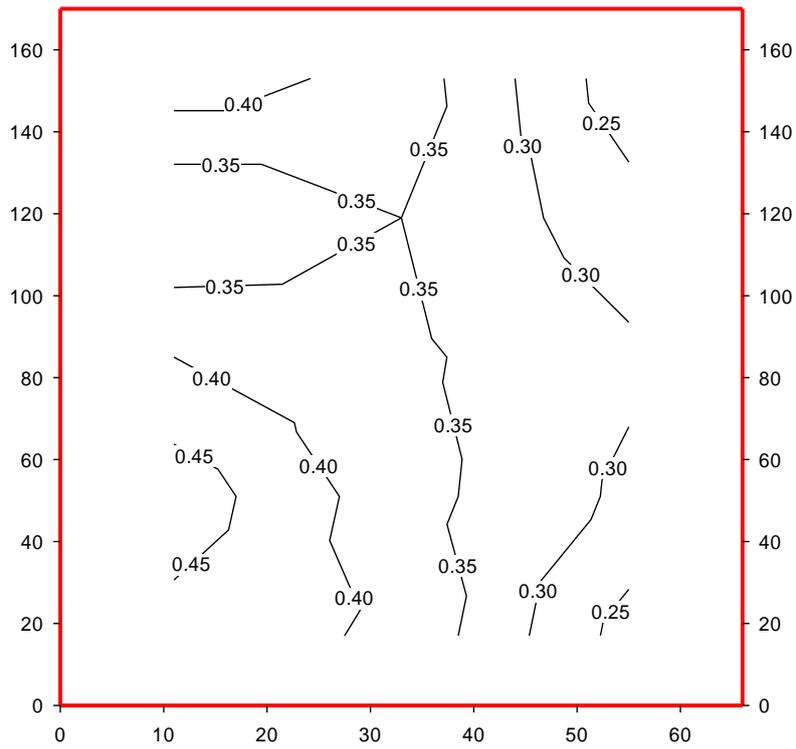


圖 53 D4 開口風速分布圖

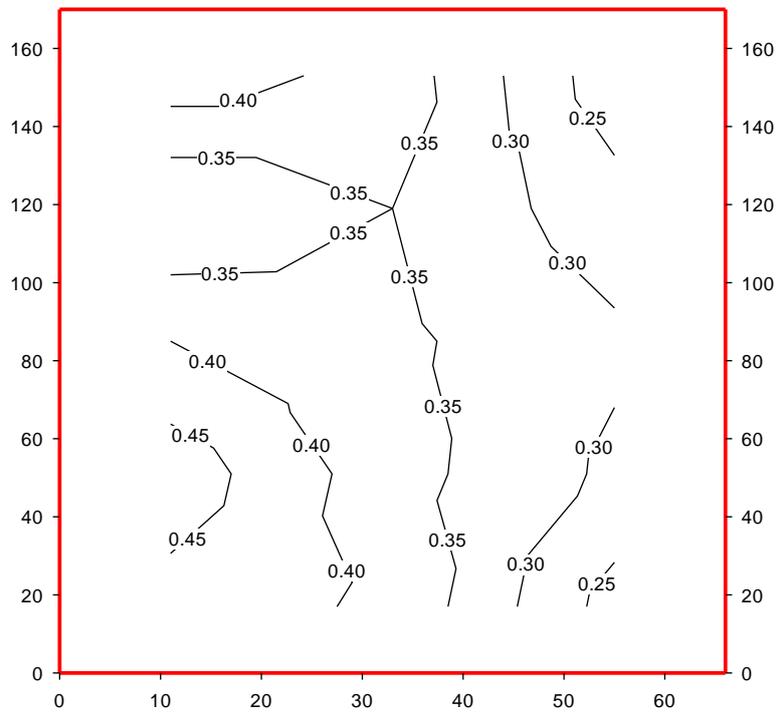


圖 54 D5 開口風速分布圖

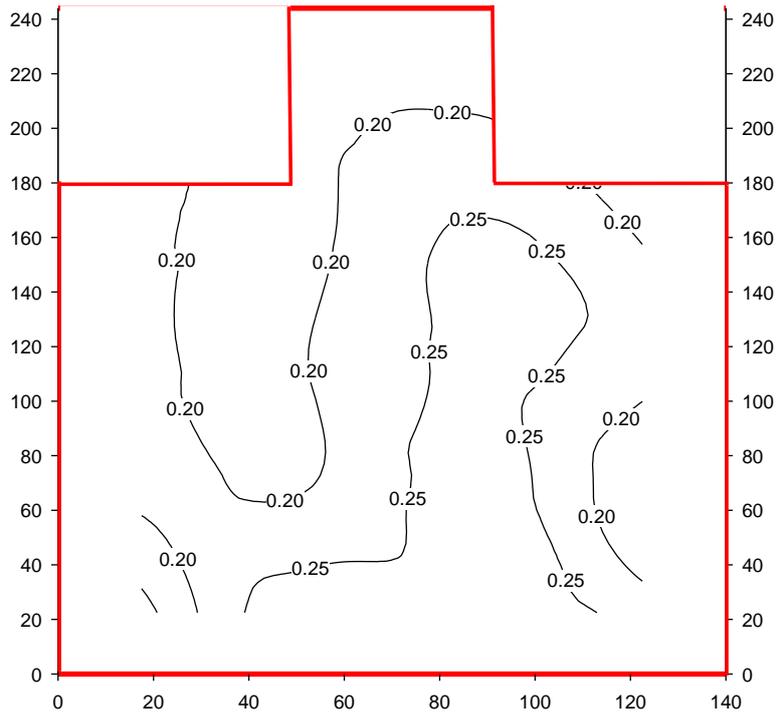


圖 55 D6-1 開口風速分布圖

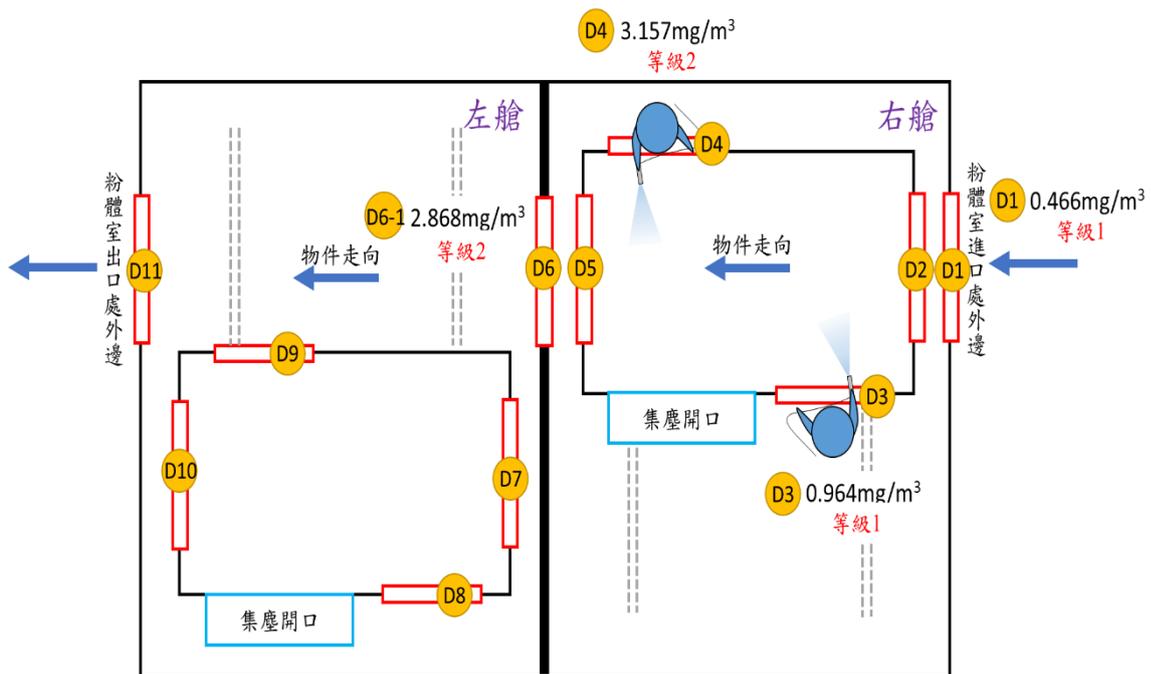


圖 56 D 廠粉體塗裝作業區各右艙開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

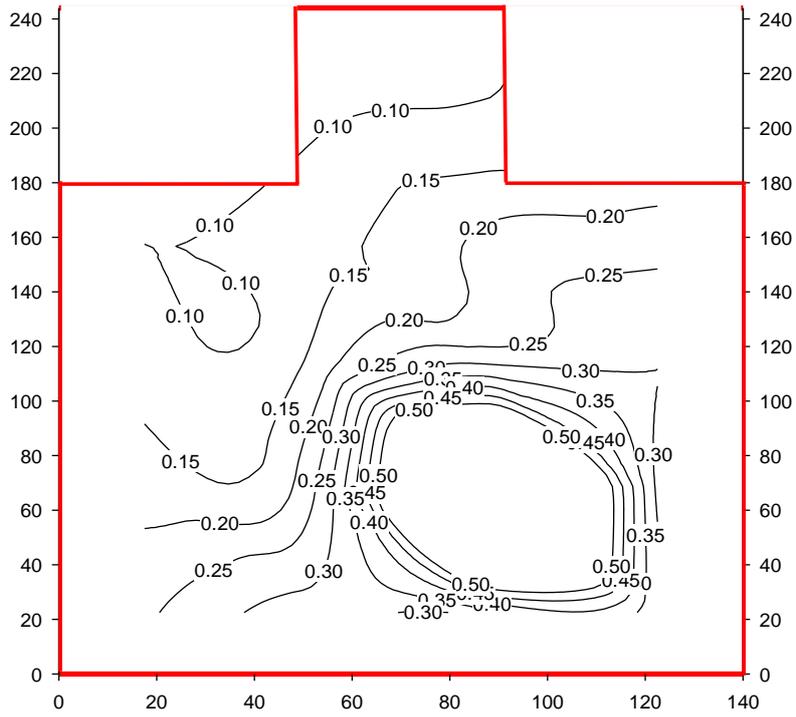


圖 57 D6-2 開口風速分布圖

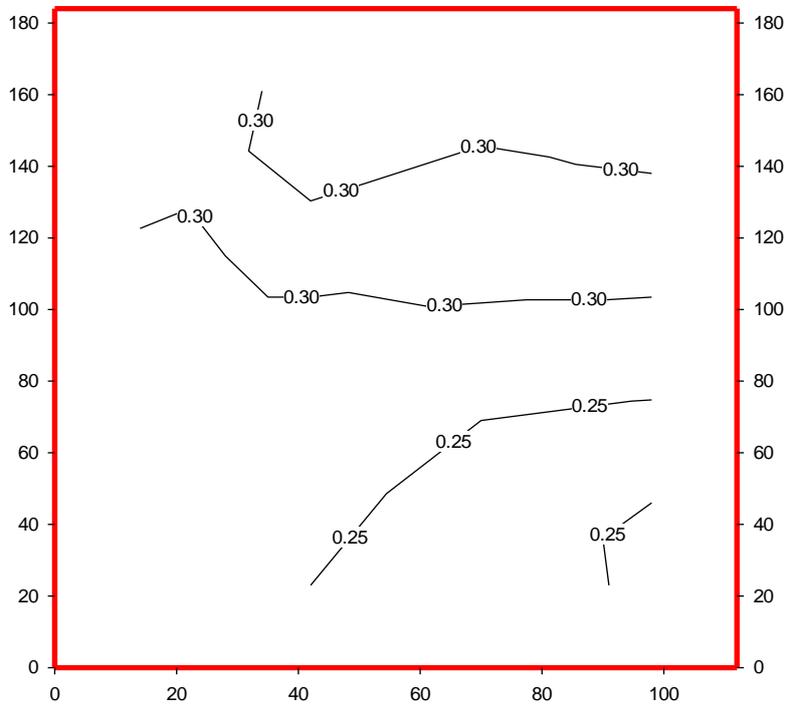


圖 58 D7 開口風速分布圖

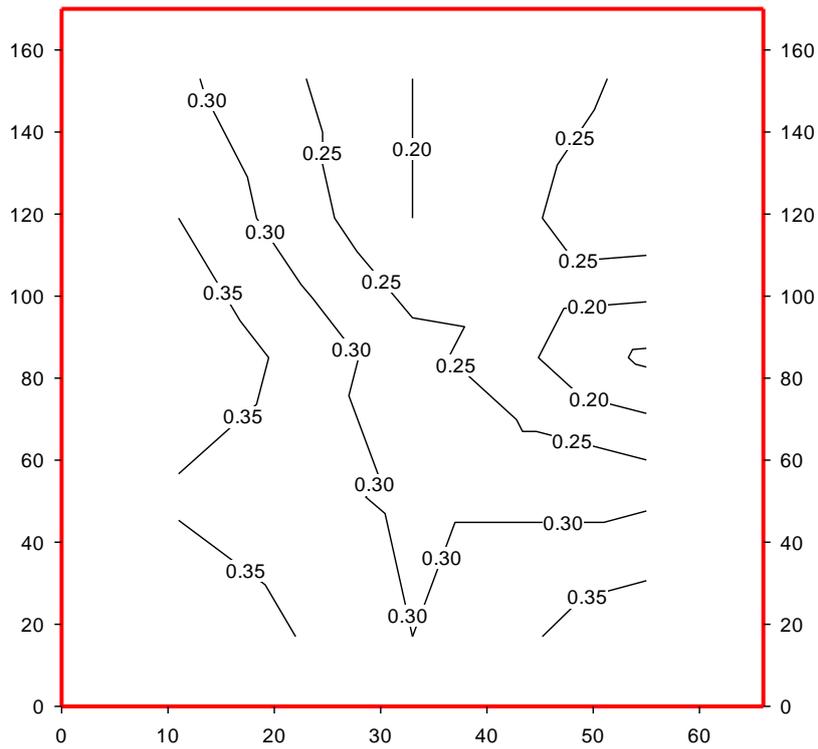


圖 59 D8 開口風速分布圖

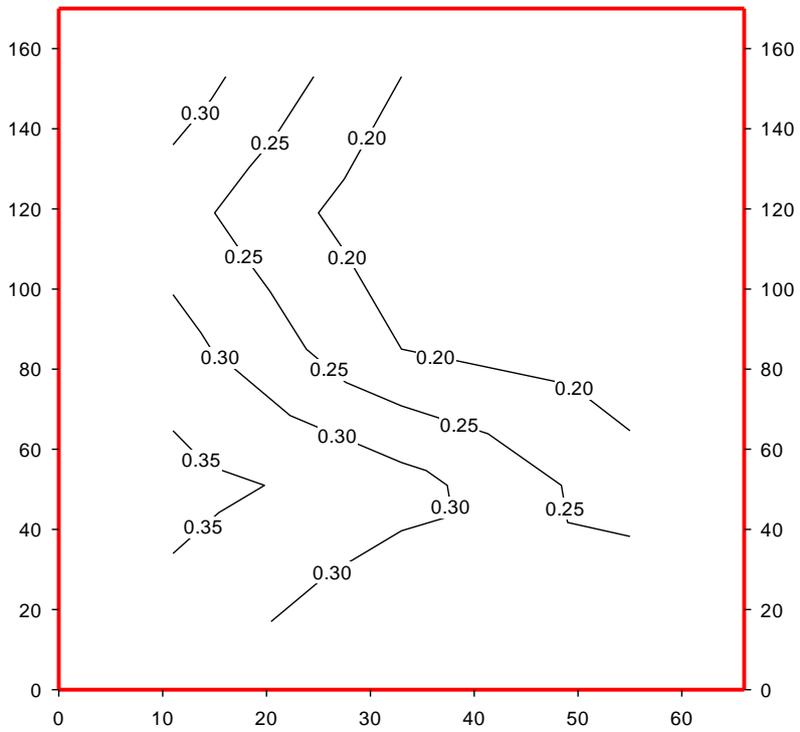


圖 60 D9 開口風速分布圖

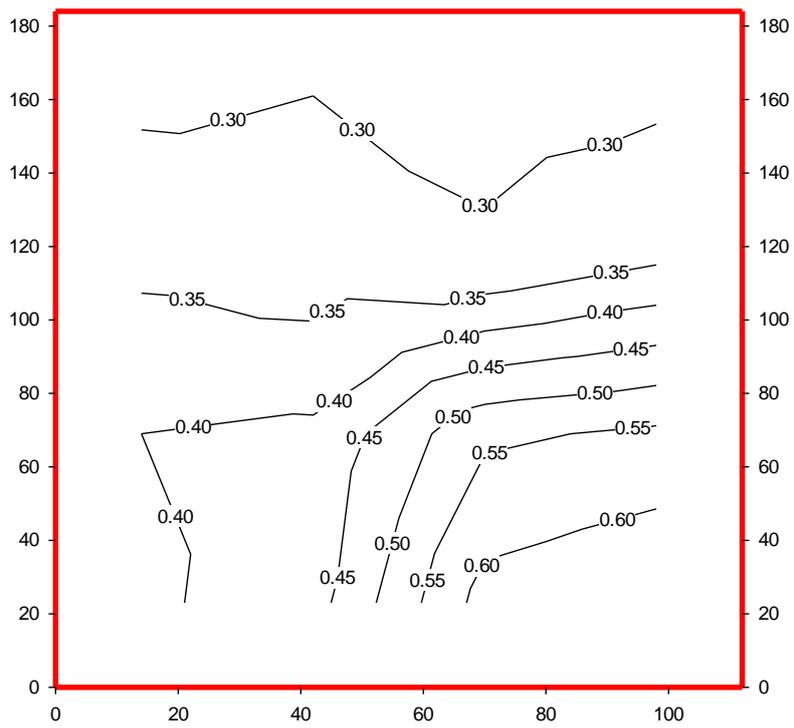


圖 61 D10 開口風速分布圖

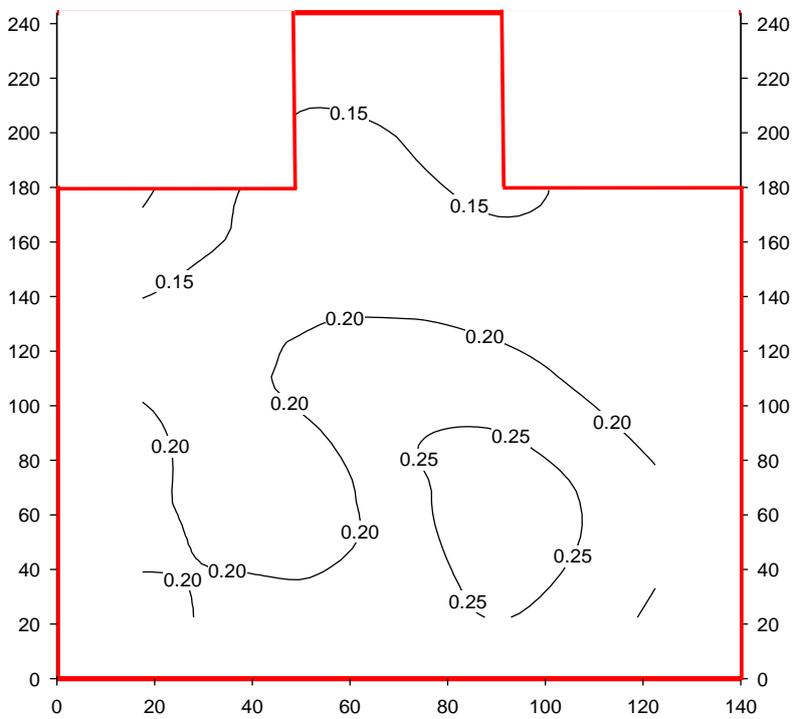


圖 62 D11 開口風速分布圖

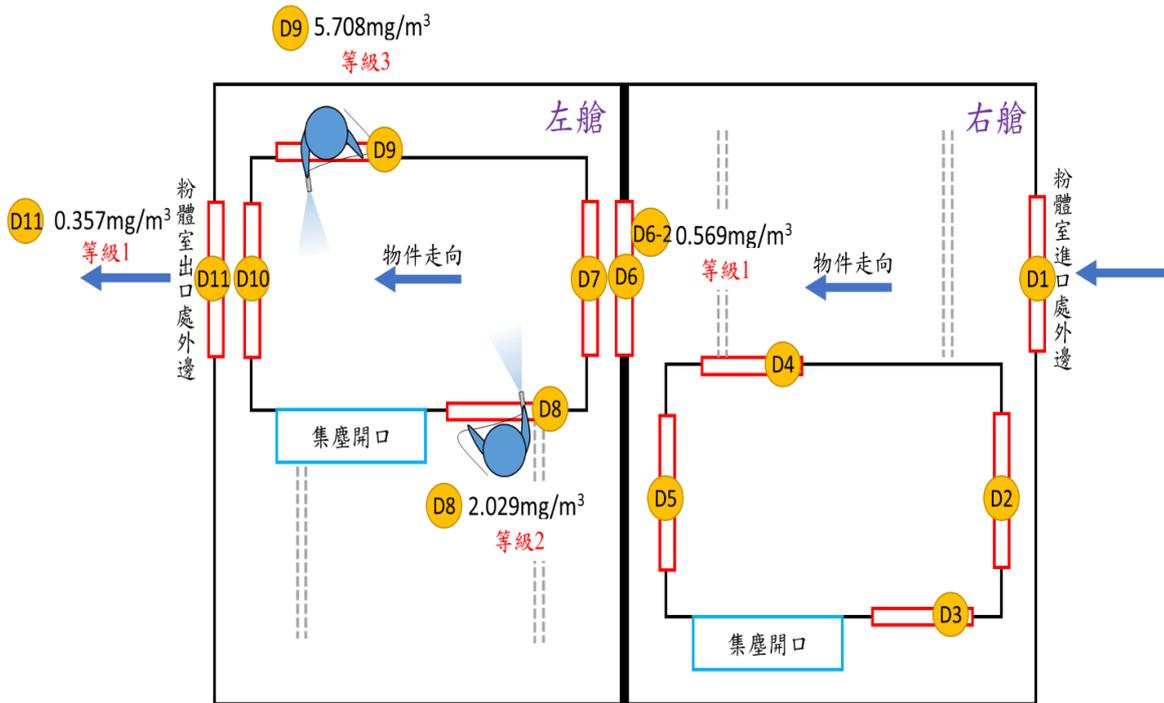


圖 63 D 廠粉體塗裝作業區各左艙開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 18 D 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
D1	-	0.24	39.39
D2	-	0.28	34.47
D3	-	0.28	19.12
D4	-	0.35	23.38
D5	-	0.52	64.76
D6-1	-	0.21	35.56
D6-2	-	0.24	39.89
D7	-	0.28	34.70
D8	-	0.30	19.88
D9	-	0.25	17.05
D10	-	0.41	50.08
D11	-	0.19	30.81

#### (五) E 廠

E 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 64，此作業區為將經過前處理之物件，由 E1 入口處依序進入粉體艙，本作業區之工作者使用靜電噴槍將粉體塗料噴塗

於物件上。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(E3、E4 與 E5)，有時會使用機械自動噴塗(E2)。E2、E4 與 E5 對面設有一長 154cm、寬 120cm 長方形開口，此開口上方設置直徑 35cm 之圓型集塵開口作為粉體艙之通風設施，在進行噴塗作業同時亦須開啟進行抽氣，將多餘之粉體進行回收，防止粉體逸散至粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區為半開放區域，此區廠房天花板高 680cm，且與烘烤區相鄰；此半開放區域內含一粉體艙長 650cm、寬 150cm、高 320cm、離地 50cm；粉體艙共計有 4 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側(E2~E5)，其開口尺寸皆為長 240cm、寬 96cm，其中 E2 開口以使用可移動式機械自動噴塗為主。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，除了 E3 開口煙霧方向較不穩定，其餘煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計未盡正確，無法在每一處開口形成負壓與形成向艙體內之氣流走向。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 65 共計有 6 個位置(E1~E6)，每個開口至少量測 3 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 66~圖 71 所示。從風速分布(圖 66~圖 71)發現，人員作業位置 E5 開口之風速為最小，其次為 E6 開口與人員作業位置 E3，除了 E1 開口其餘開口風速皆低於 0.5 m/s，因此 E5 與 E6 開口處粉體逸散應可預期。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 19 所示。其中發現 E2(24.90 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，其次為 E5(26.50 m<sup>3</sup>/min) 與 E3(29.84 m<sup>3</sup>/min)，風量多數偏低，因此再次顯示 E2、E3 與 E5 開口處粉體逸散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4 (不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。E 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 72。由圖 72 可發現，粉體室出口處(E6)其濃度為最高(48.061 mg/m<sup>3</sup>)，原因可能為雖其風向即使經發煙管測試為向艙體內流動，但風速過小(0.20 m/s)仍不足以將粉體帶向粉體艙內。其次，在 E5 開口風速也僅有 0.19 m/s，因此也導致濃度為 1.521 mg/m<sup>3</sup>，僅次於 E6 開口之濃度。綜觀所有開口面濃度，顯示粉體艙工作位置 E5 與粉體室出口 E6 有粉體逸散風險。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能尚待強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(E4 與 E5)開口對面設有圓孔上吸式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速不足，效果未如預期得以將多餘之

粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外，導致工作者暴露風險提高。

2. 根據作業環境監測結果發現，總粉塵濃度以粉體室出口處(E6)開口最高，其次為人員工作位置(E5)，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，因而逸散至艙體外，導致不可忽略之暴露風險。

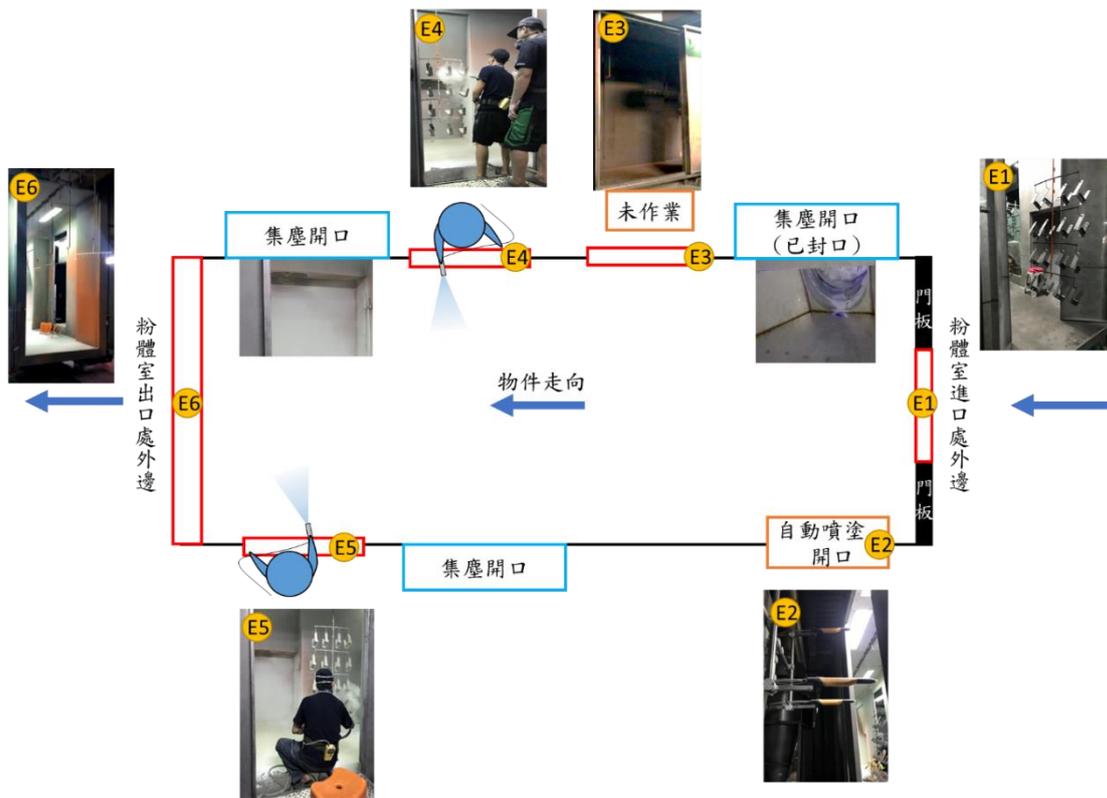


圖 64 E 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

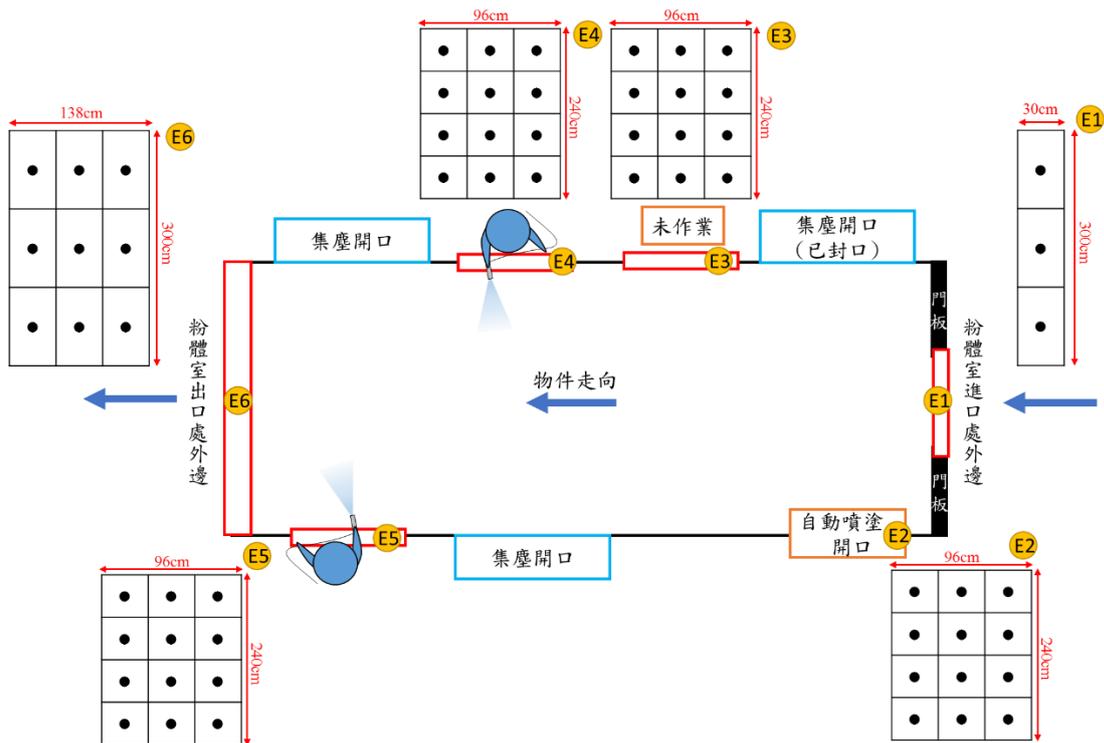


圖 65 E 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

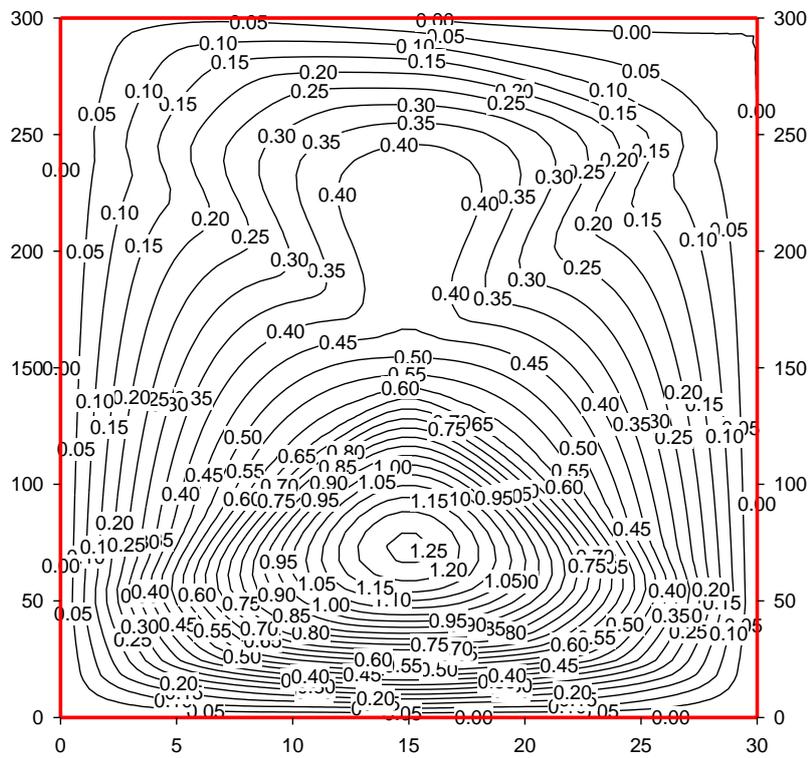


圖 66 E1 開口風速分布圖

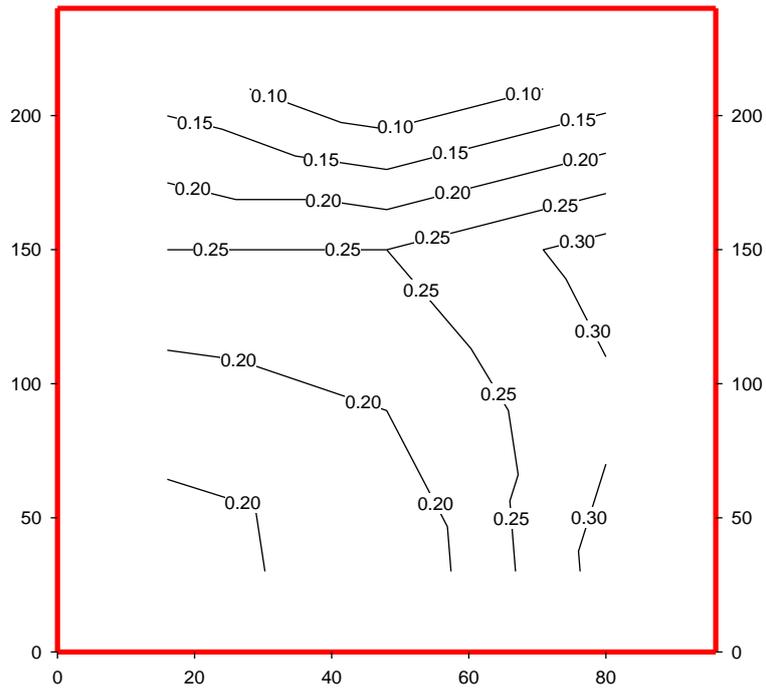


圖 67 E2 開口風速分布圖

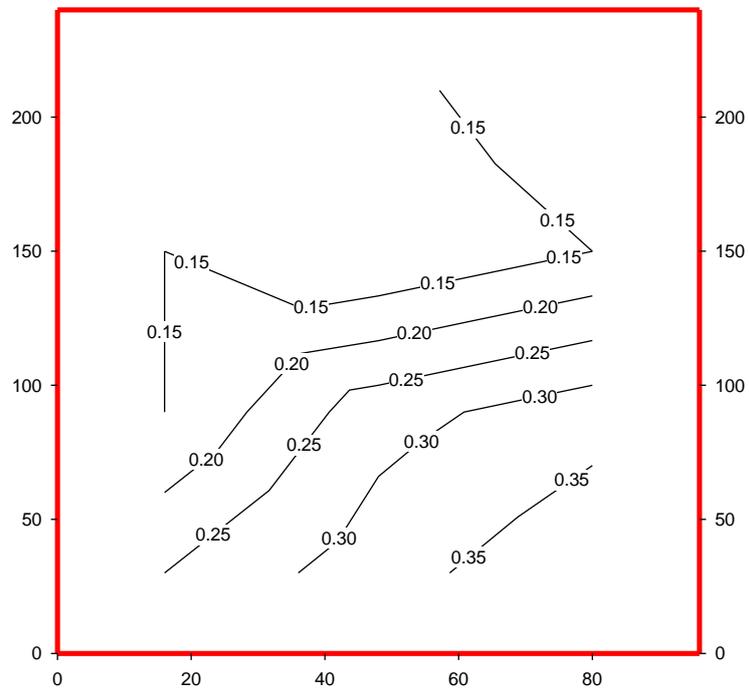


圖 68 E3 開口風速分布圖

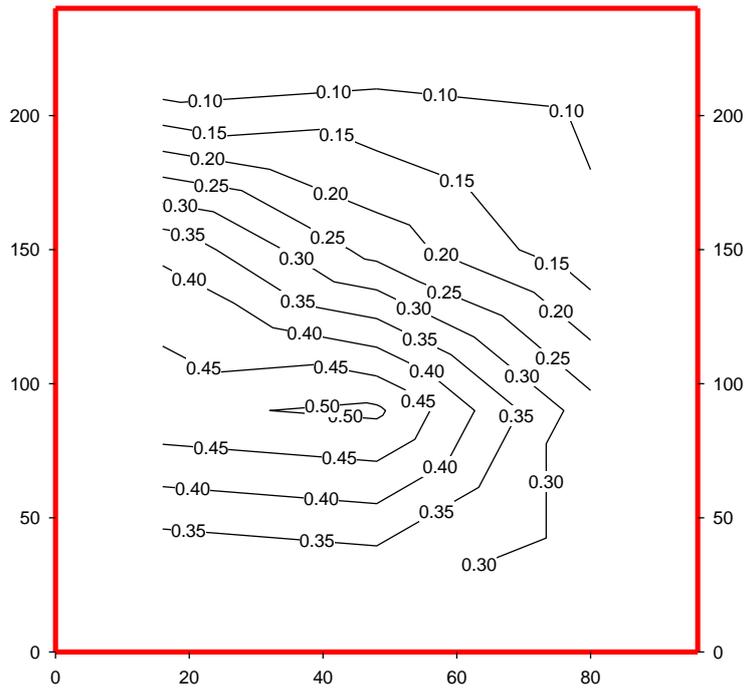


圖 69 E4 開口風速分布圖

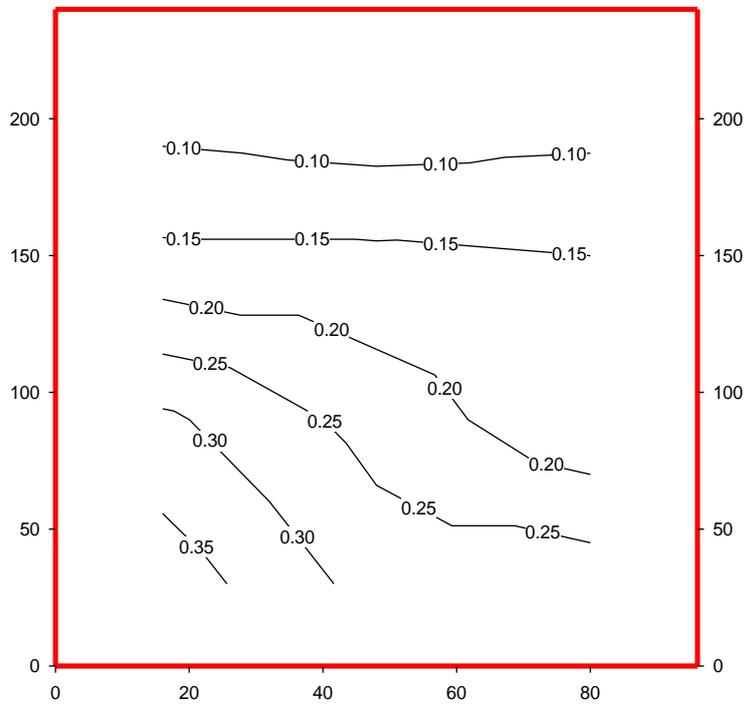


圖 70 E5 開口風速分布圖

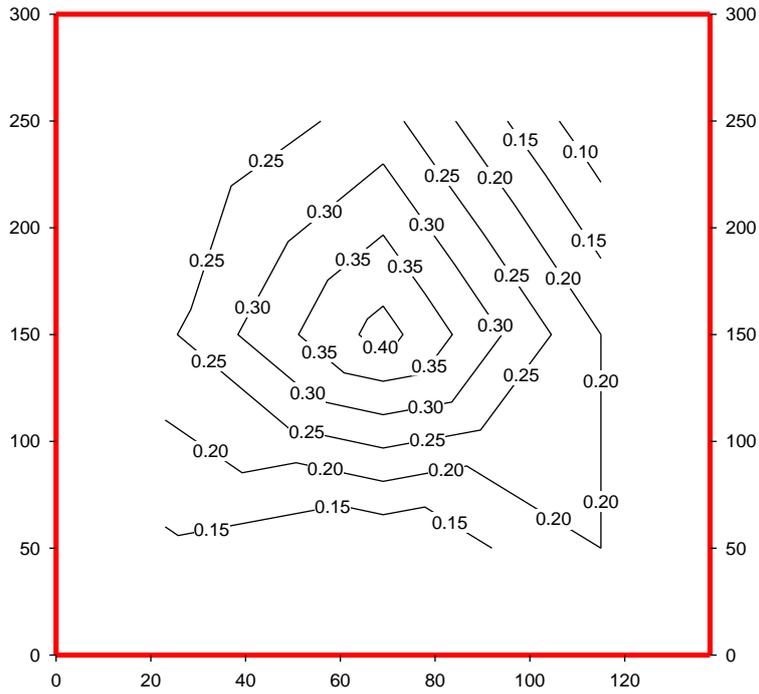


圖 71 E6 開口風速分布圖

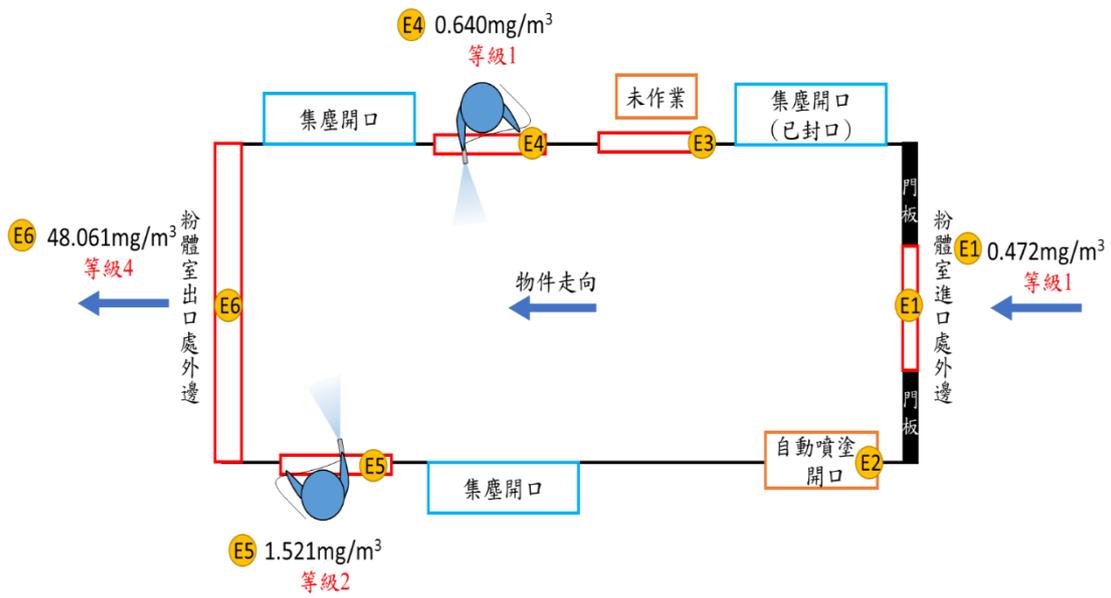


圖 72 E 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 19 E 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
E1	-	0.67	36.18
E2	-	0.21	24.90
E3	不固定	0.22	29.84
E4	-	0.26	36.40
E5	-	0.19	26.50
E6	-	0.20	50.51

#### (六) F 廠

F 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 73，此作業區具兩組粉體艙，第一組粉體艙主要為人工噴塗，第二組粉體艙主要為機械自動噴塗。經前處理之物件，由 F1 入口處依序進入粉體艙，本作業區之工作者使用靜電噴槍將粉體塗料噴塗於物件上。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(F2 與 F3)，有時會使用機械自動噴塗(F2 與 F3)。F2 與 F3 工作者作業開口對面設有直徑 35cm 之圓孔上吸式開口作為粉體艙之通風設施，在進行噴塗作業同時開啟進行抽氣，將多餘之粉體進行回收，防止粉體逸散至粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區為半開放區域，此區廠房天花板高 360cm，且與烘烤區相鄰；此半開放區域內含兩組粉體艙長 600cm、寬 140cm、高 200cm、離地 60cm。第一組粉體艙共計有 2 個大小一樣的噴塗作業開口(F 2 與 F3)位於相對兩側，其開口尺寸皆為長 150cm、寬 180cm；採樣當日並未啟動第二組粉體艙作業，因此未列入本次之評估範圍。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計正確，能在每一處開口形成負壓與形成向艙體內之氣流走向。再接續以(2)風速計進行各開口之風速監測，監測位置規劃如圖 74 共計有 4 個位置(F1~F4)，每個開口至少量測 12 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 75~圖 78 所示。從風速分布(圖 75~圖 78)發現，F4 開口之風速為最小，其次為人員作業位置 F3，而且所有開口風速皆低於 0.5 m/s，因此各開口粉替逸散應可預期，而且推估以 F3 與 F4 開口處粉體逸散最嚴重。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 20 所示。其中發現 F4(24.80 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，其次為 F3(36.94 m<sup>3</sup>/min)，因此再次顯示 F3 與 F4 開口處粉體逸

散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度  $10 \text{ mg/m}^3$  為標準，濃度高於  $10 \text{ mg/m}^3$  為等級 4 (不可承受風險)，濃度界於  $5 \text{ mg/m}^3$  至  $10 \text{ mg/m}^3$  之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於  $1 \text{ mg/m}^3$  至  $5 \text{ mg/m}^3$  之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於  $1 \text{ mg/m}^3$  為等級 1(無危害風險)。F 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 79。由圖 79 可發現，人員作業位置 F3 開口濃度最高( $8.623 \text{ mg/m}^3$ )，其次為 F4 開口濃度為  $6.805 \text{ mg/m}^3$ ，顯示人員工作位置 F3 與 F4 開口有粉體逸散風險，證明前述根據風速分布與風量推估粉體逸散以 F3 與 F4 兩開口最為嚴重相符。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能急需強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(F2 與 F3)開口對面設有圓孔上吸式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速與風量之不足，效果未如預期得以將多餘之粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外，導致工作者暴露風險提高。
2. 根據作業環境監測結果發現，總粉塵濃度以人員作業位置 F3 開口最高，其次為 F4 開口，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，而 F3 為人員作業位置，暴露風險不可忽略，因此建議須立即改善。

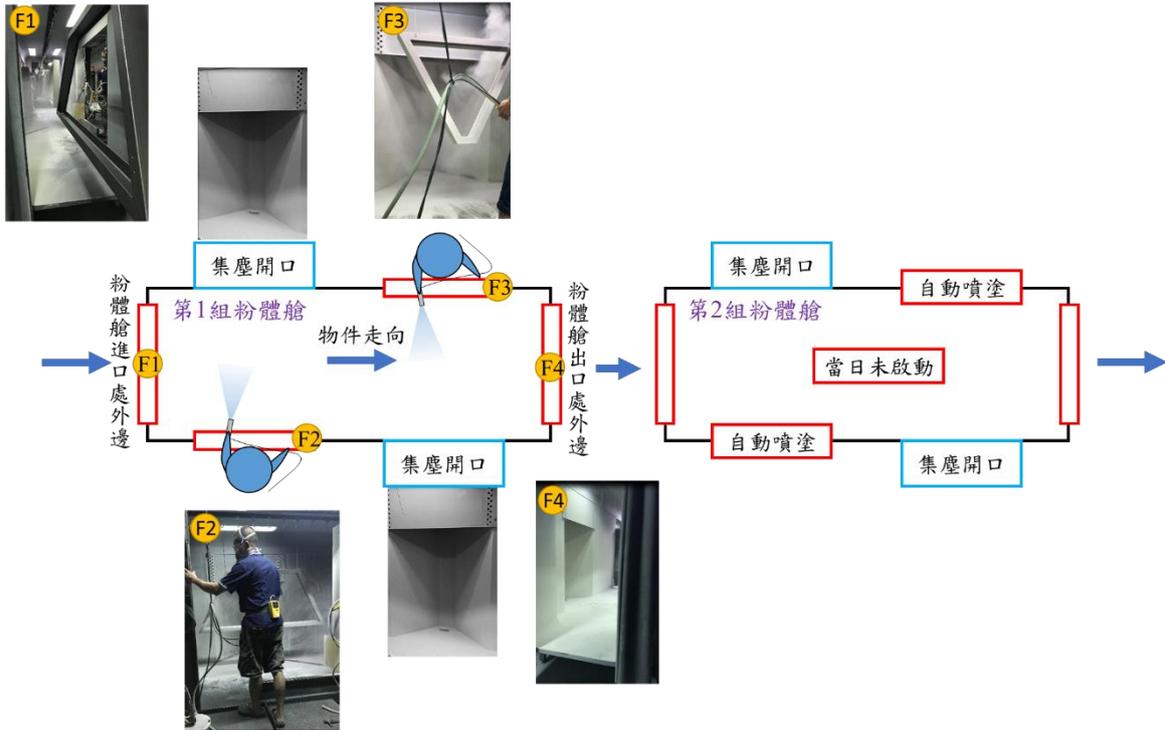


圖 73 F 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

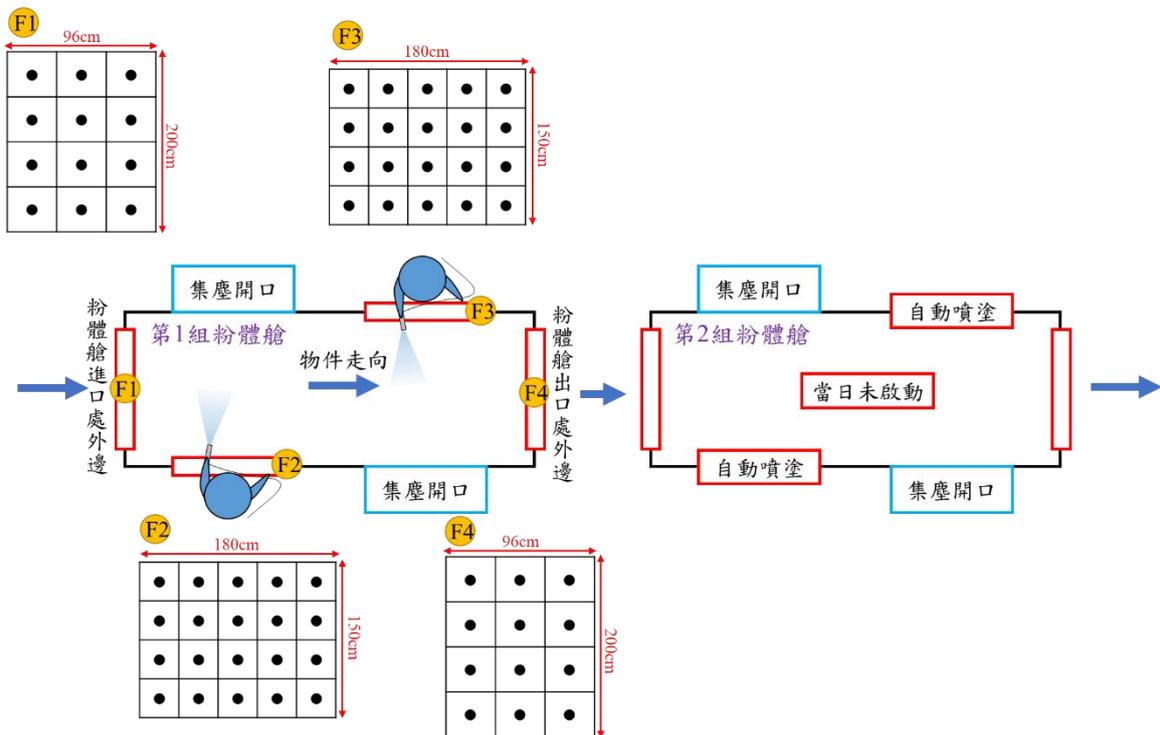


圖 74 F 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

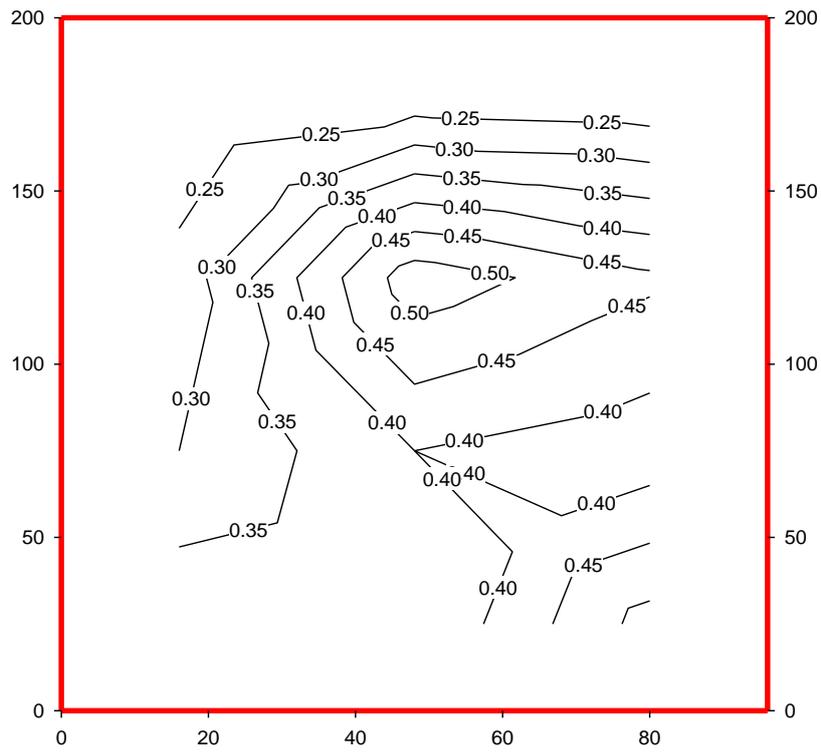


圖 75 F1 開口風速分布圖

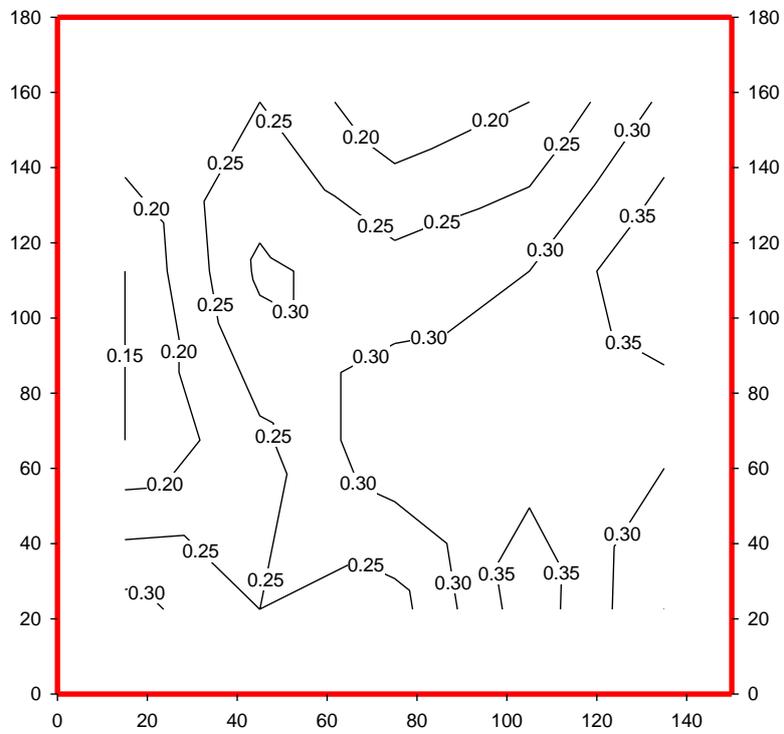


圖 76 F2 開口風速分布圖

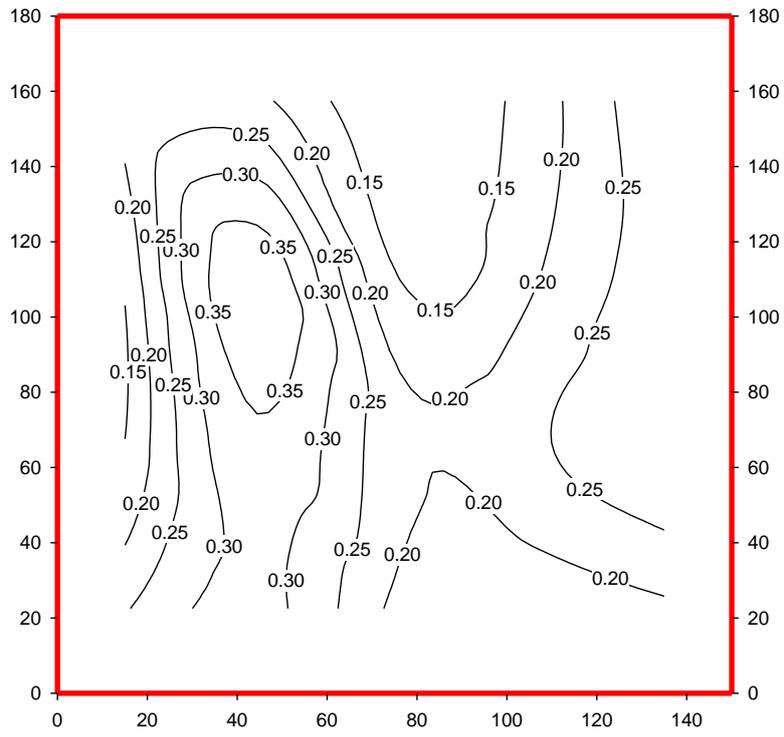


圖 77 F3 開口風速分布圖

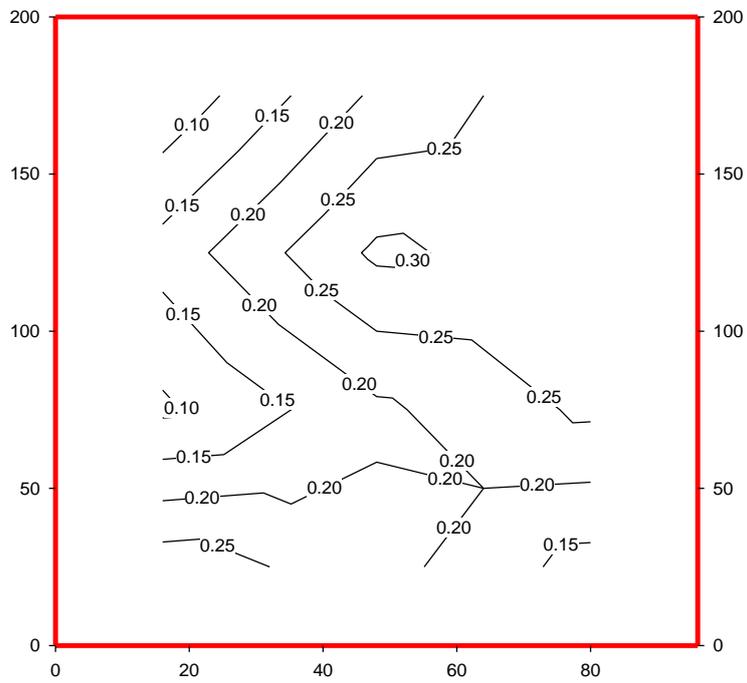


圖 78 F4 開口風速分布圖

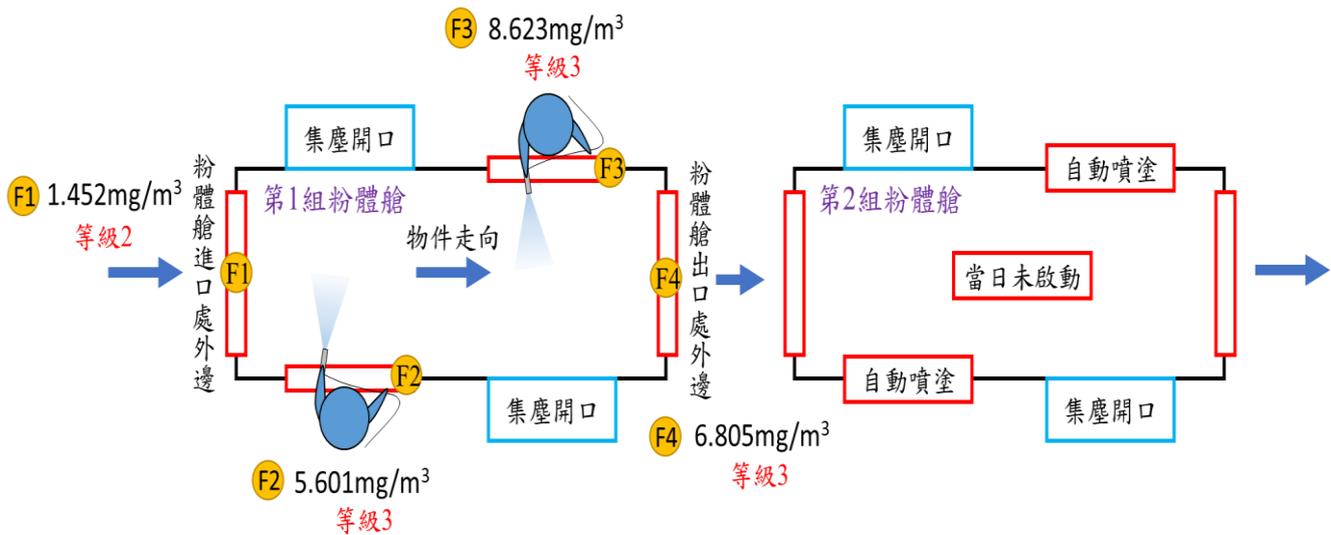


圖 79 F 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 20 F 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
F1	-	0.35	42.40
F2	-	0.27	43.66
F3	-	0.23	36.94
F4	-	0.21	24.80

### (七) G 廠

G 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 80，該粉體塗裝作業區與該廠粉體塗裝線其他作業區區隔，為一單獨隔間。此作業區為將經過前處理之物件，由本作業區之工作者使用靜電噴槍或自動機械將粉體塗料噴塗於物件上。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(G3)進行作業，開口正對面為粉體艙之通風設施。噴塗作業之同時通風設施亦須開啟進行抽氣，於噴塗作業進行時，將多餘之粉體進行回收，以達到粉體不外洩於粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 80 所示為一單獨隔間，長 490cm、寬 435cm、高 350cm；此單獨隔間(粉體室)內含一粉體艙長 200cm、寬 140cm、高 200cm；粉體艙僅有 1 個噴塗作業開口，開口長 85cm、寬 190cm、離地 85cm；噴塗開口前方設有長 140cm、深 80cm、高 105cm 之圓桶上吸式集塵開口。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之 G1、

G4 與 G5 開口，煙霧方向皆由粉體艙(粉體室)內往外流動，顯示其設計未盡正確，無法在此三個開口(G1、G4 與 G5)形成負壓與形成向艙體內之氣流走向。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 81 共計有 5 個位置(G1~G5)，每個開口至少量測 5 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 82~圖 86 所示。從風速分布(圖 82~圖 86)發現，G2 開口之風速為最小，其次為 G4 與 G3 開口，且 G2~G4 風速皆小於 0.5 m/s，因此 G2~G4 開口處粉體逸散應可預期。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 21 所示。其中發現 G2(1.71 m<sup>3</sup>/min)與 G4(2.39 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，再次顯示 G2 與 G4 開口處粉體逸散應可預期。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4(不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。G 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 87。由圖 87 可發現，前述風速分布與風量分析中，預期效果最差之 G2 開口濃度為(1.783 mg/m<sup>3</sup>)，歸因於前述發現 G2 開口風速與風量皆不足。其次為 G4 開口濃度為(1.643 mg/m<sup>3</sup>)，其原因除前述發現 G2 開口風速與風量皆不足外，由於設計錯誤而造成 G2 開口未具負壓則是另一個原因。G2 與 G4 濃度相對較高情形皆呼應前述壓力、風速與風量結果之推論。而逸散濃度除 G2 與 G4 較高外，接續為人員工作位置 G3 開口濃度為(1.535 mg/m<sup>3</sup>)，其原因則為風速僅有 0.19 m/s 所導致；而 G5 則由於未形成負壓所造成。由上述結果顯示 G2~G5 開口仍有粉體逸散現象，而人員工作位置 G3 急需加以改善。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能尚待強化，其原因為：

1. 即使工作者進行噴塗作業之位置(G3)開口正對面設有圓筒式通風裝置，以進行集塵與粉體回收之目的，由於開口平均風速與風量之不足，加上 G1、G4 與 G5 之煙流方向皆由內往外流動，造成部分粉體艙(粉體室)開口未呈現負壓狀態，導致效果未如預期得以將多餘之粉體直接回收，因此粉體仍經由不同開口位置逸散至粉體艙外。
2. 根據作業環境監測結果發現，總粉塵濃度以 G2、G3 與 G4 最高，顯示仍有部分粉體艙內之粉體由於通風設施效能未達理想，其中 G3 為人員作業位置，導致不可忽略之暴露風險，因此建議須立即改善。

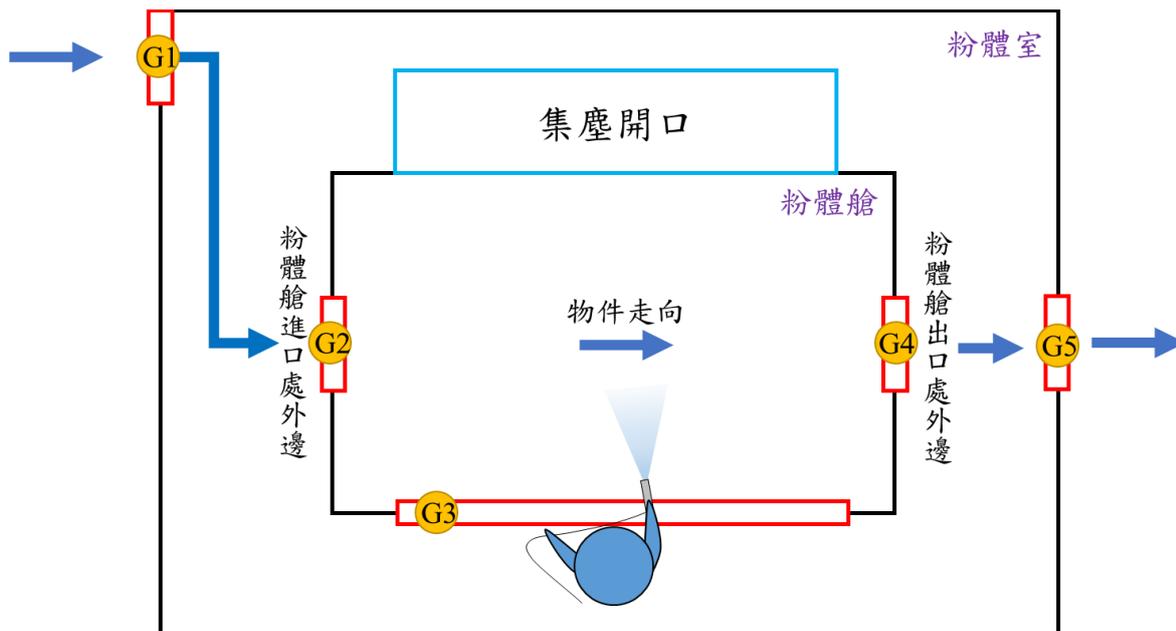


圖 80 G 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

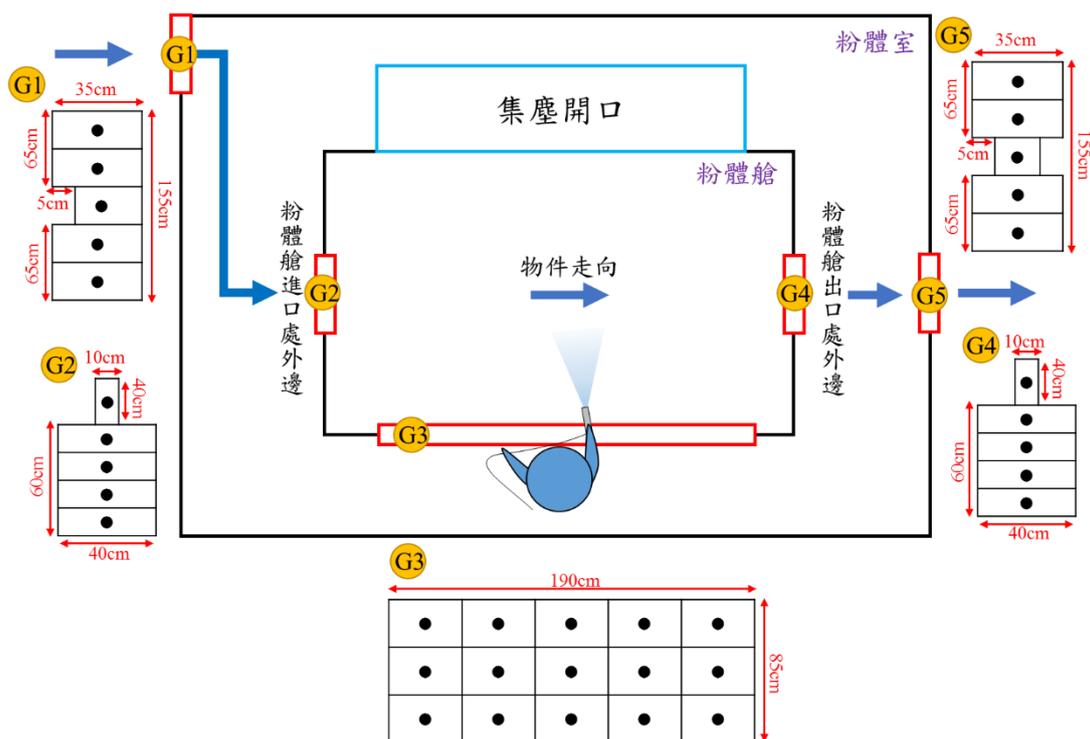


圖 81 G 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

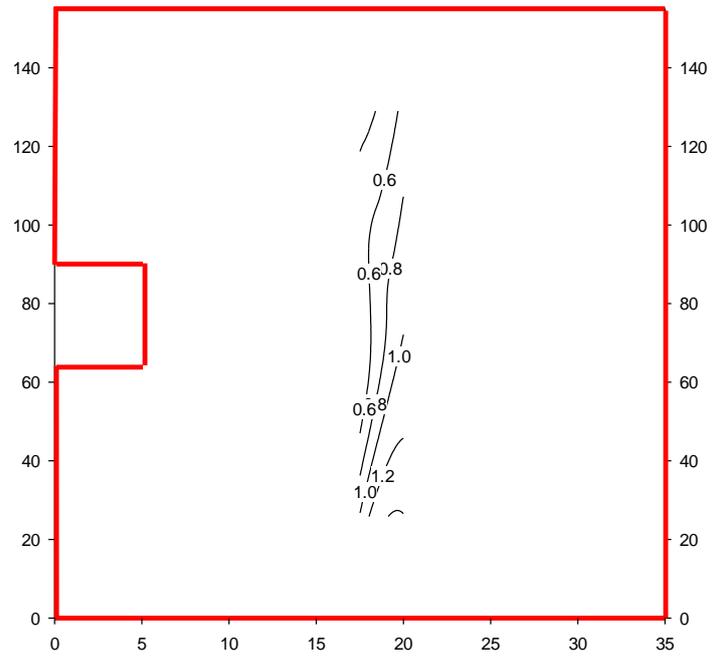


圖 82 G1 開口風速分布圖

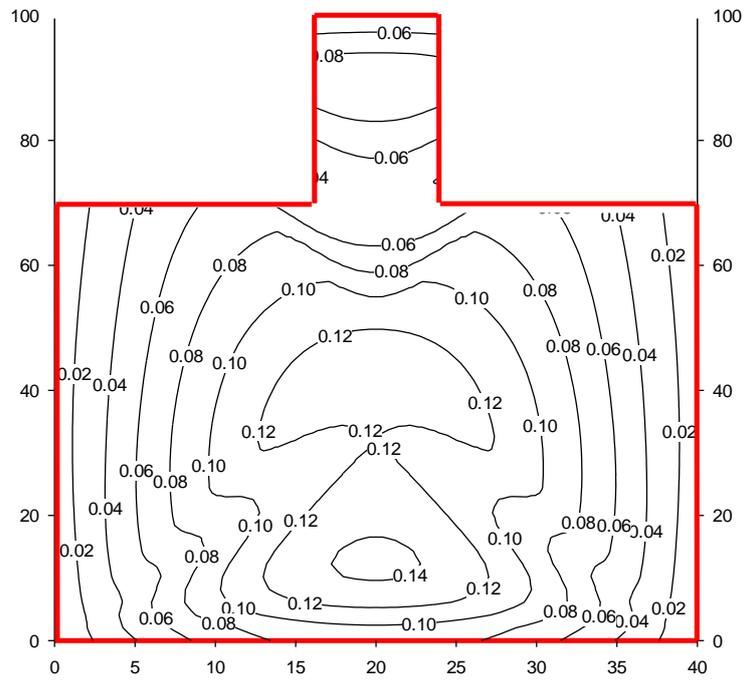


圖 83 G2 開口風速分布圖

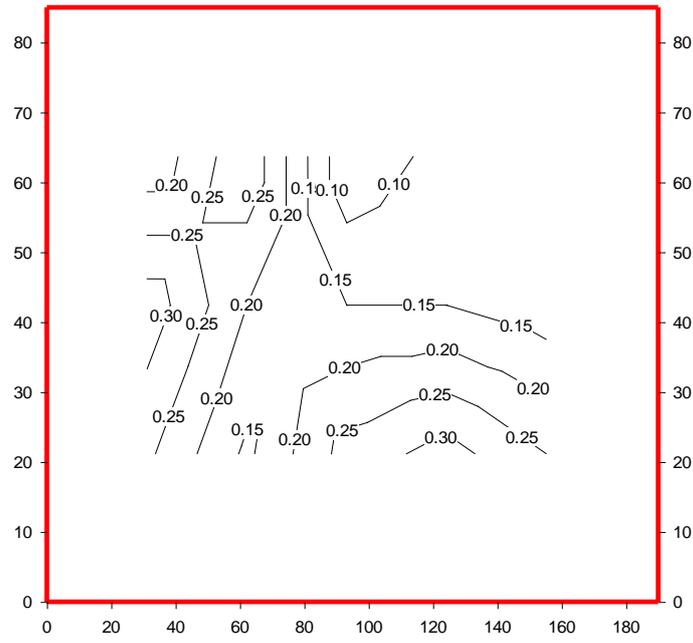


圖 84 G3 開口風速分布圖

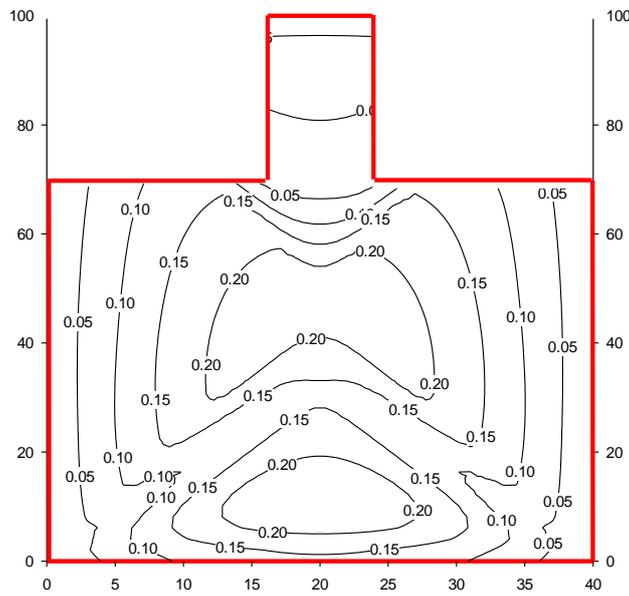


圖 85 G4 開口風速分布圖

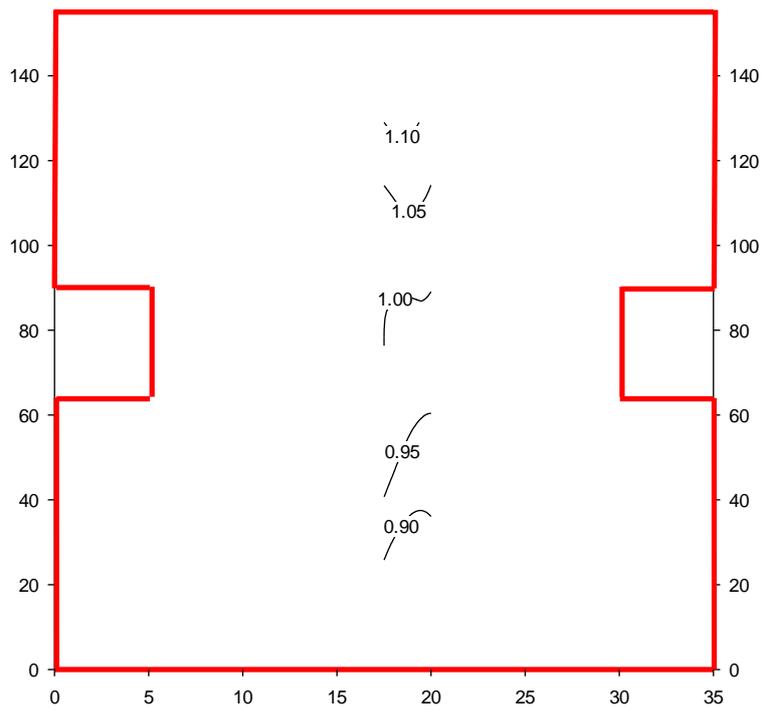


圖 86 G5 開口風速分布圖

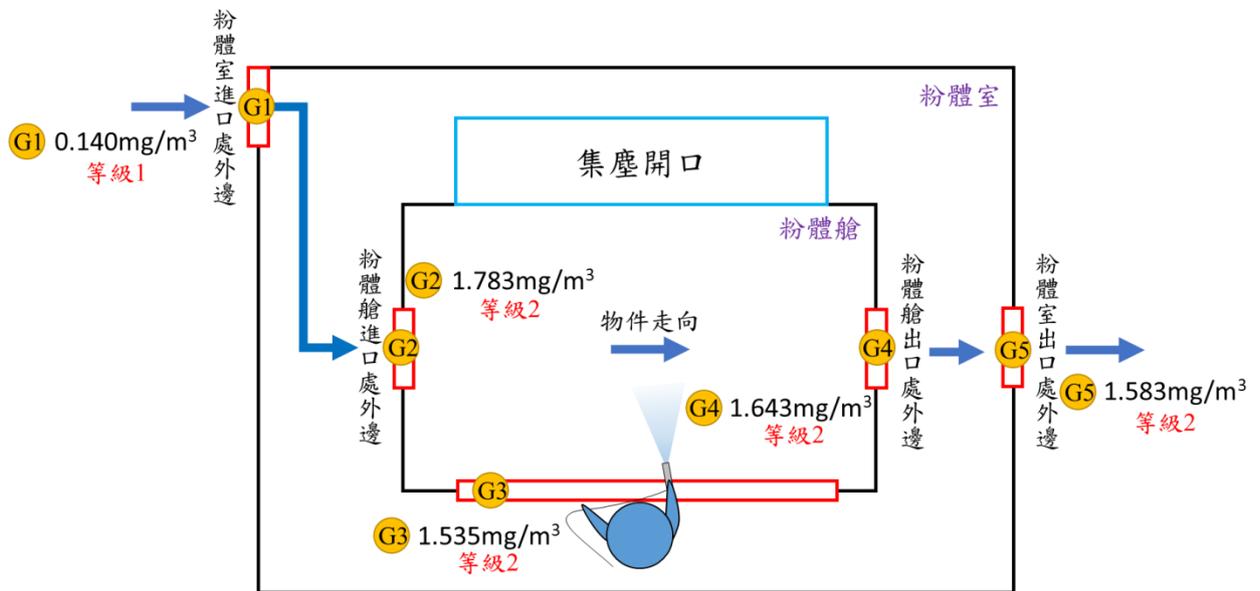


圖 87 G 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 21 G 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
G1	+	0.67	0.35
G2	-	0.10	0.03
G3	-	0.19	0.31
G4	+	0.14	0.04
G5	+	1.00	0.53

#### (八) H 廠

H 廠粉體塗裝作業區未規劃於單獨隔間內，而僅以一粉體艙設置於廠房內，該粉體塗裝線現場示意圖詳見圖 88。此作業區為將經過前處理之物件，自 H1 入口處依序進入粉體艙，由本作業區使用靜電噴槍或自動機械於 H2 處將粉體塗料噴塗於物件上(機械自動噴塗為主，人工噴塗為輔)，現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(H3)前進行作業。該區僅一位工作者進行噴塗作業，且工作者因工作需要將至 H2 開口處進行倒料(補充粉體原料)。通風設施部分，H3 開口對面設計一座長 200cm、高 150cm 之圓桶上吸式集塵開口，作為粉體艙之通風設施。在進行噴塗作業同時開啟進行抽氣，將多餘之粉體進行回收，防止粉體逸散至粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 88 所示，粉體艙長 775cm、寬 170cm、高 290cm；粉體艙共計有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側(H2 與 H3)，開口長 120cm、寬 70cm、離地 130cm。

針對此作業之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之所有開口，煙霧方向皆流向艙體內，顯示其設計正確無誤。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 89 共計有 4 個位置(H1~H4)，每個開口至少量測 8 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 90~圖 93 所示。從風速分布(圖 90~圖 93)發現，其中以 H2 開口之風速為最小，其次為 H4 開口。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 22 所示。其中發現每個開口平均風速皆大於 0.3 m/s，其中以工作者作業開口 H3 最大達到 0.5 m/s，因此逸散應不至於嚴重。而風量部分以 H2(16.55 m<sup>3</sup>/min)開口風量最小，其次為 H3(25.33 m<sup>3</sup>/min)，H1 與 H4 風量皆大於 30 m<sup>3</sup>/min。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4 (不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受

風險)，濃度界於  $1 \text{ mg/m}^3$  至  $5 \text{ mg/m}^3$  之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於  $1 \text{ mg/m}^3$  為等級 1(無危害風險)。H 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 94。由圖 94 可發現，本廠各開口之暴露風險等級皆為 1 級，代表該粉體艙之逸散量少，工作者之暴露風險也相對降低，此結果是因為艙體負壓設計、開口風速大於  $0.3 \text{ m/s}$  以及風量足夠之緣故。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能良好，其原因為：

1. 每個開口以發煙管測試，氣流皆向艙體內流動，艙體負壓設計落實。
2. 開口風速足夠，尤其以 H3 工作者開口風速達  $0.5 \text{ m/s}$  以上，有效防止粉體逸散。

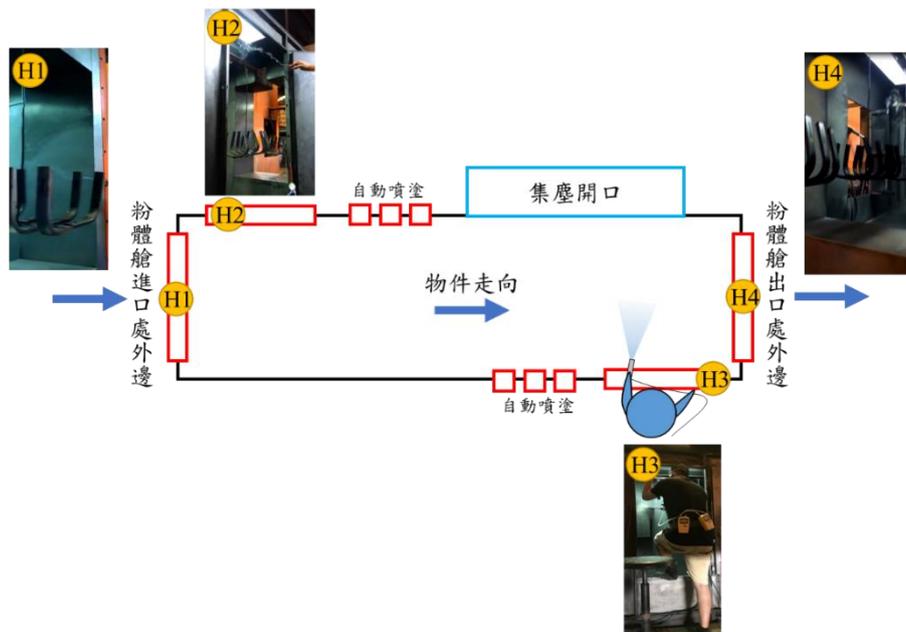


圖 88 H 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

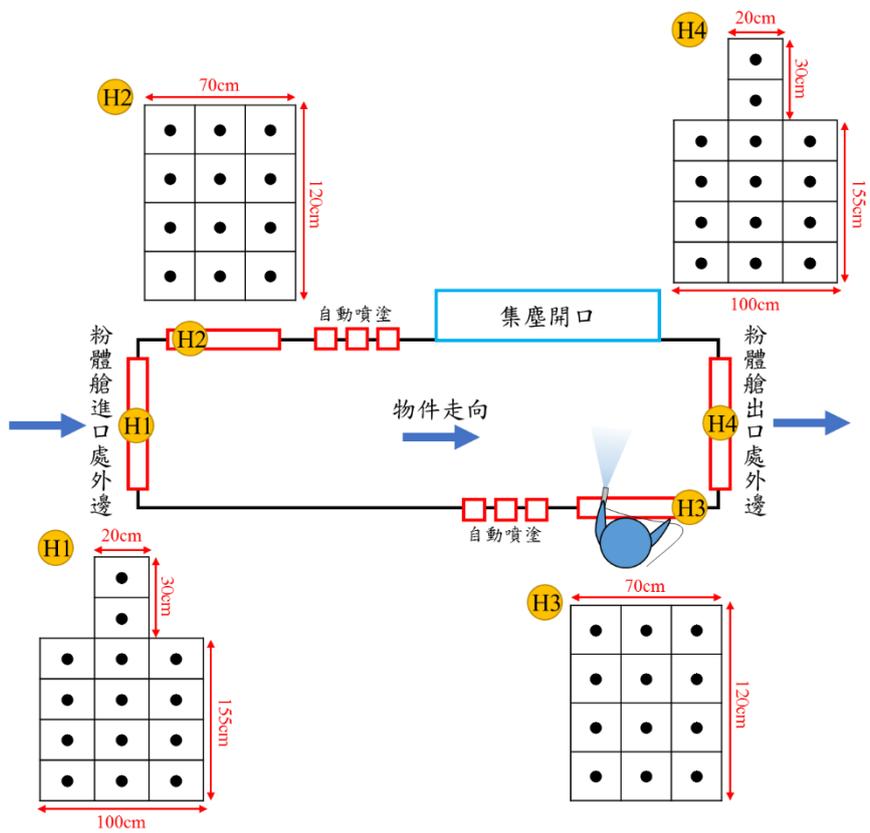


圖 89 H 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

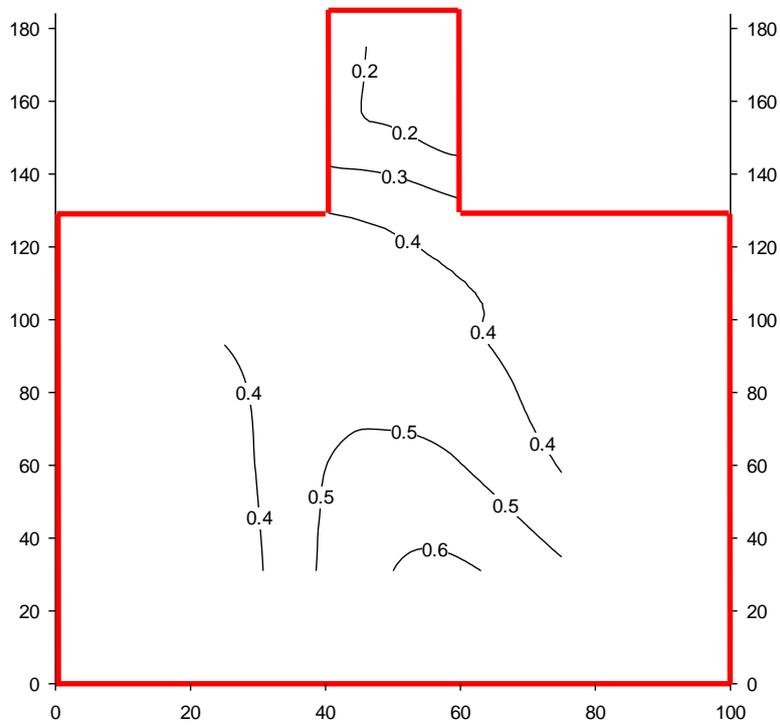


圖 90 H1 開口風速分布圖

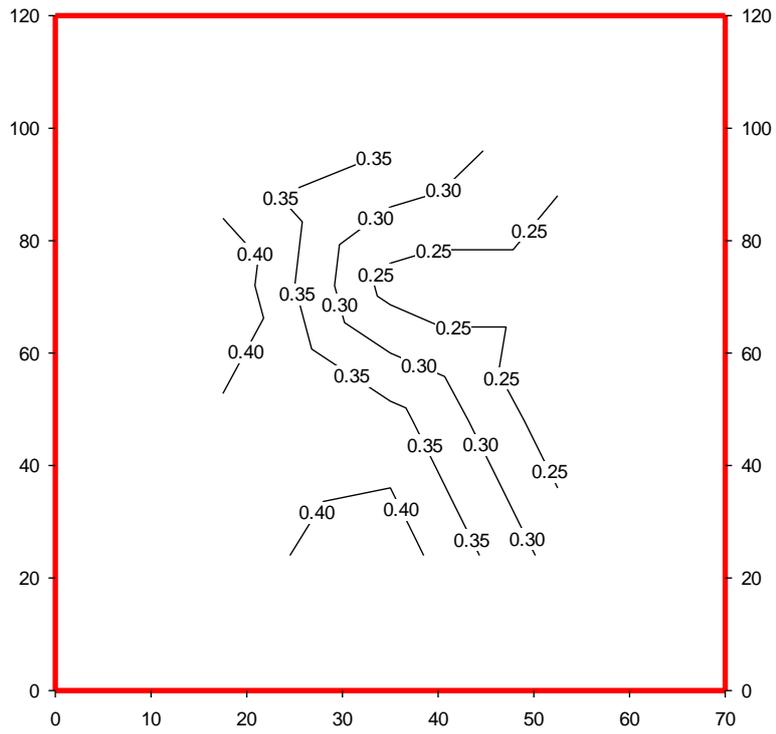


圖 91 H2 開口風速分布圖

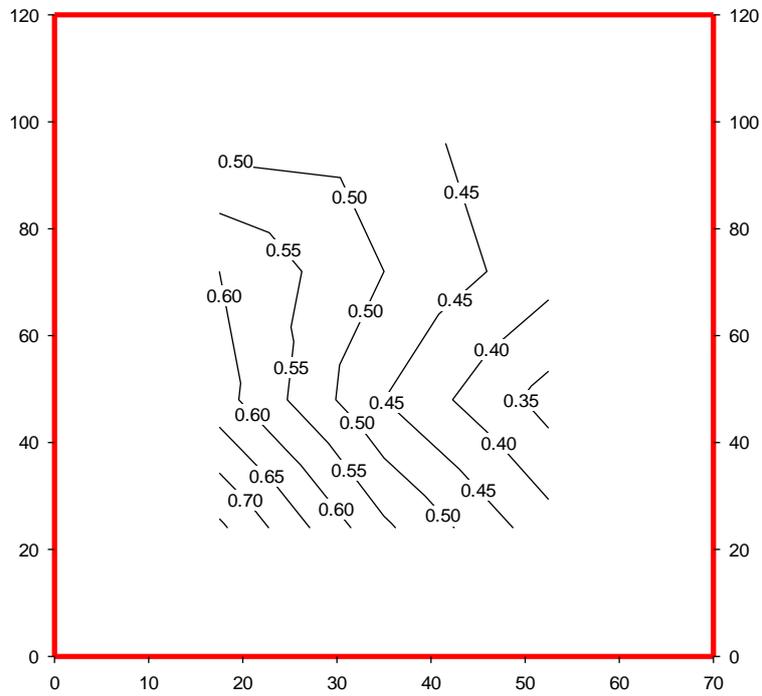


圖 92 H3 開口風速分布圖

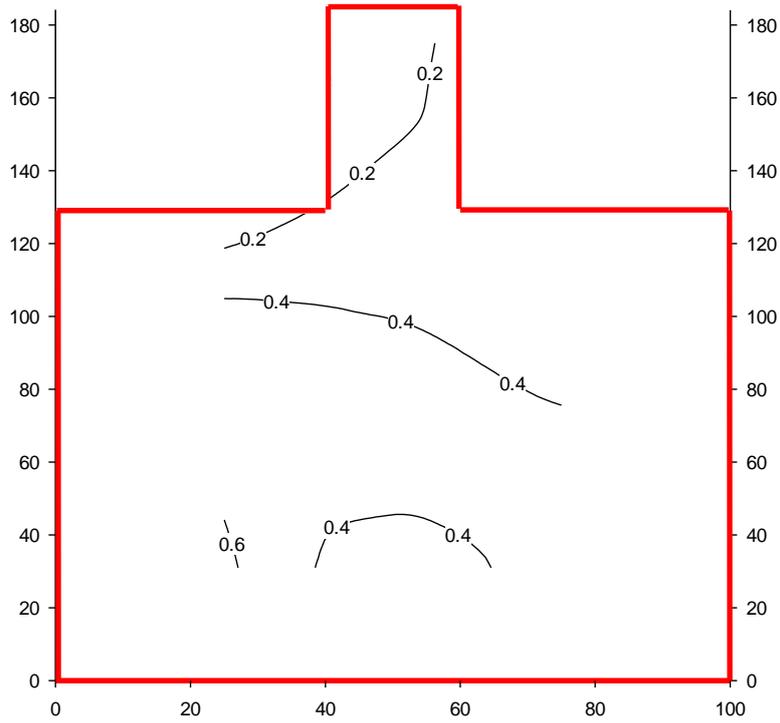


圖 93 H4 開口風速分布圖

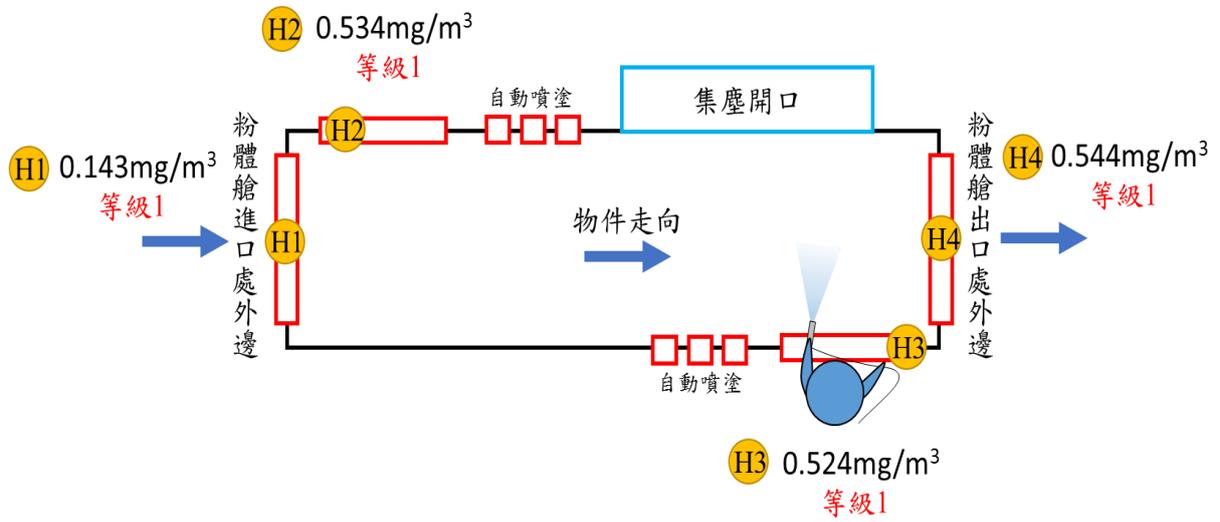


圖 94 H 廠粉體塗裝作業區各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 22 H 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
H1	-	0.39	37.74
H2	-	0.33	16.55
H3	-	0.5	25.33
H4	-	0.38	36.98

### (九) I 廠

I 廠粉體塗裝線之粉體塗裝作業區現場示意圖詳見圖 95，此粉體塗裝作業區於一具單獨隔間之粉體室內設置兩座粉體艙，靠近粉體室進口處外邊為 A 艙，靠近粉體室出口處外邊為 B 艙，粉體艙間有一道牆面，將粉體艙分別獨立一個房間，且各自設有一套獨立通風設施。使用上將依噴塗之粉體顏色深淺切換此兩座粉體艙交替使用，粉體艙下方設有軌道，如要切換使用粉體艙，會將欲使用之粉體艙移到吊掛軌道下方，不使用之粉體艙則移到吊掛軌道範圍外。作業時將經過前處理之物件經粉體室開口 I1 由粉體艙之 I2 開口進入，本作業區之工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(I3 與 I4)前進行作業，使用靜電噴槍或自動機械將粉體塗料噴塗於物件上(以機械自動噴塗為主)。現場工作者以站姿或坐姿於粉體艙之噴塗開口(I3 與 I4)前進行作業，I4 開口斜對面為粉體艙之通風設施。噴塗作業之同時通風設施亦須開啟進行抽氣，於噴塗作業進行時，將多餘之粉體進行回收，以達到粉體不外洩於粉體艙外，進而達到保護工作者之目的。該粉體塗裝作業區如圖 95 所示長 1400cm、寬 1660cm、高 360cm；此半密閉區域內含二粉體艙皆長 600cm、寬 130cm、高 265cm；粉體艙共計有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側(B 艙 I3 與 I4)，其開口皆長 135cm、寬 60cm；而 I4 噴塗開口斜對面設有長 180cm、高 100cm 之圓桶上吸式集塵開口。採樣當日並未啟動 A 粉體艙作業，因此未列入本次之評估範圍。

針對 I 艙之通風設施，首先(1)以發煙管進行風向測試，發現粉體塗裝作業區之 I6 開口，煙霧方向不固定流動，顯示其設計未盡正確，無法在此開口(I6)形成負壓與形成向艙體內之氣流走向。再接續以(2)風速計進行個開口之風速監測，監測位置規劃如圖 96 共計有 6 個位置(I1~I6)，每個開口至少量測 8 個不同位置之風速，並將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 97~圖 102 所示。從風速分布(圖 97~圖 102)發現，B 艙粉體除

了 I1 與 I6 開口外，其餘開口風速皆大於 0.5 m/s。根據前述風速數據結果，搭配面積，可計算獲得每個開口之平均風速與風量，結果如表 23 I 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果所示。其中發現與風速分布圖有相同趨勢，除了 I1 與 I6 開口外，其餘開口風速皆大於 0.5 m/s。其中風速最大依序為工作者作業開口 I3(0.81 m/s)，I2 與 I5(皆為 0.97 m/s)，I4(0.47 m/s)，顯見足以保護位於 I3 開口之工作者不至於具過高之粉體暴露，至於位於 I4 之工作者，則風險稍高。此外，亦發現粉體艙進口處 I2 開口(11.32 m<sup>3</sup>/min)，與粉體艙出口處 I5 開口(11.38 m<sup>3</sup>/min)風量最小。最後，(3)根據作業環境監測各開口總粉塵濃度監測結果，進行暴露風險分級，以第四種總粉塵容許濃度 10 mg/m<sup>3</sup> 為標準，濃度高於 10 mg/m<sup>3</sup> 為等級 4 (不可承受風險)，濃度界於 5 mg/m<sup>3</sup> 至 10 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 3(可接受風險)，濃度界於 1 mg/m<sup>3</sup> 至 5 mg/m<sup>3</sup> 之間為等級 2(無顯著風險)，濃度低於 1 mg/m<sup>3</sup> 為等級 1(無危害風險)。B 艙各開口總粉塵濃度監測結果，與暴露風險等級劃分如圖 103。由圖 103 可發現，除了工作者作業位置 I4 濃度為(1.139 mg/m<sup>3</sup>)屬於等級 2，其餘開口風險等級皆為等級 1，顯示工作者作業位置 I4 仍有部分粉體逸散。如同前述根據發煙管測試與風速結果推論，對於開口 I3 之工作者之保護(0.287 mg/m<sup>3</sup>)優於開口 I4 之工作者(1.139 mg/m<sup>3</sup>)。

綜合上述結果發現，該作業區通風換氣設施捕集效能尚足夠，其原因為：

1. 粉體艙各開口平均風速皆大於 0.47 m/s，且皆呈現負壓狀態，氣流都由艙外往艙內流動，讓噴塗過程中多餘的粉體不易逸散到粉體艙外。
2. 根據作業環境監測結果發現，除了工作者作業位置(I4)仍有部分粉體逸散，可能導致工作者暴露風險提高，但與其他事業單位相較之下，仍屬風險較低之狀況。其餘開口所監測的濃度皆屬於安全範圍，加上本廠以機械自動噴塗為主，因此工作者暴露風險大幅降低。

整合所有事業單位粉體塗裝作業區開口通風設施風速量測值與在這些開口區域的總粉塵監測濃度執行線性迴歸分析，結果並未發現二者間有統計上顯著意義的相關性，顯示粉體塗裝作業區各開口的風速大小，雖然是通風設施效能好壞的重要影響因素，但它並非是唯一決定因素。通風設施效能好壞，還會受風速分佈均勻性、現場人員作業情形、作業環境現場氣流特性等因素所影響，在通風設施效能評估時，需注意觀察記錄這些相關影響因素。針對風速、風量對通風設施效能與區域採樣粉塵監測數值的關聯性，未來仍需更多研究、收集更多實測數據，再做深入研究探討。

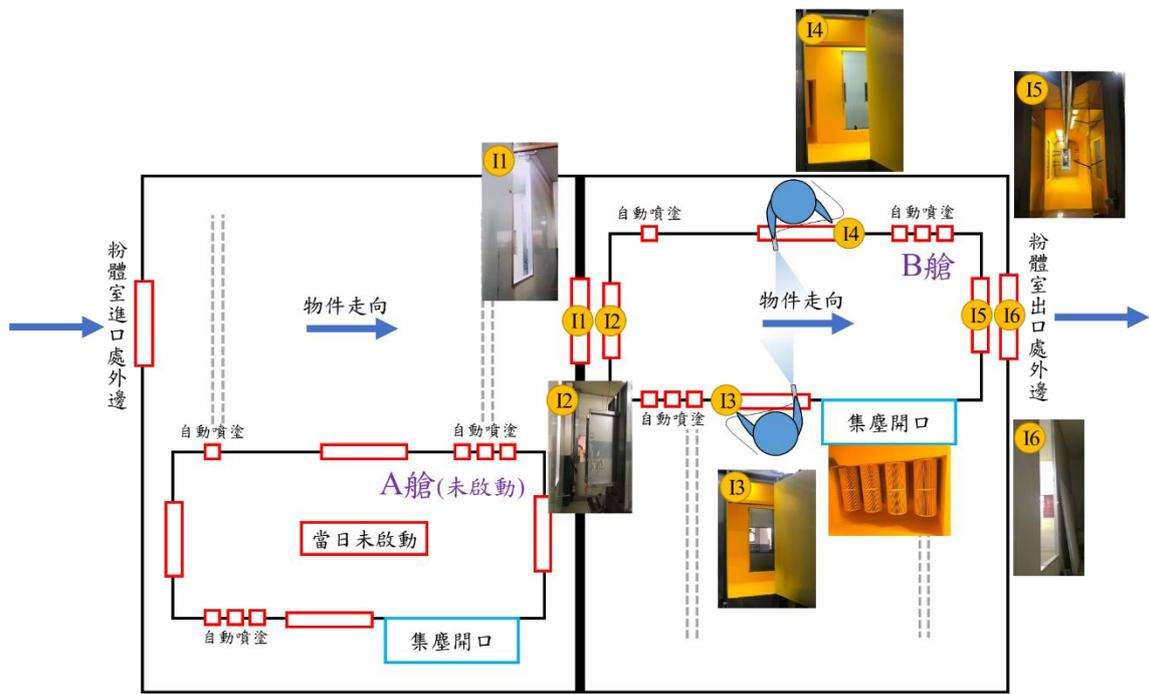


圖 95 I 廠粉體塗裝作業區現場示意圖

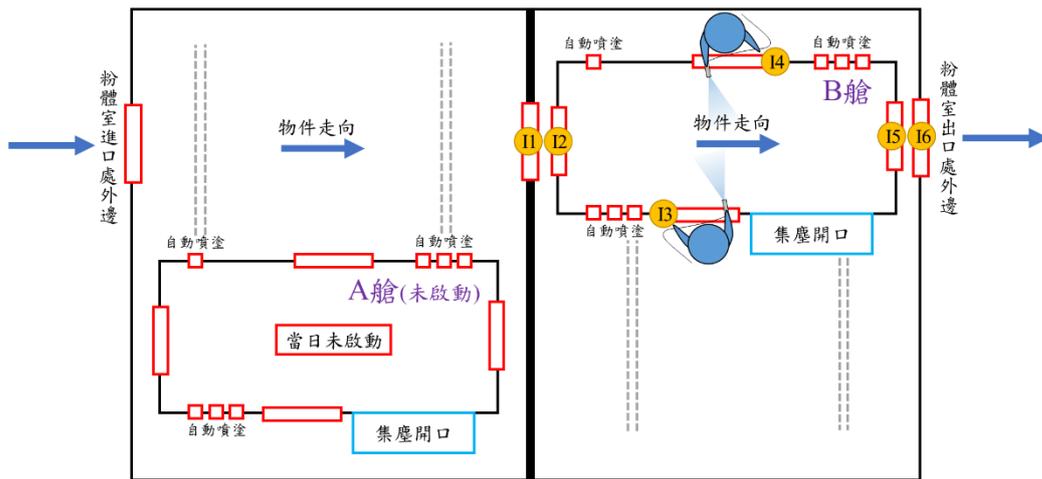
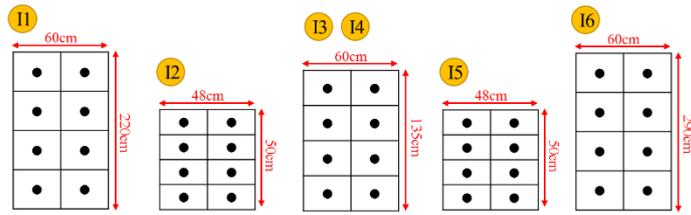


圖 96 I 廠粉體塗裝作業區風速監測點規劃

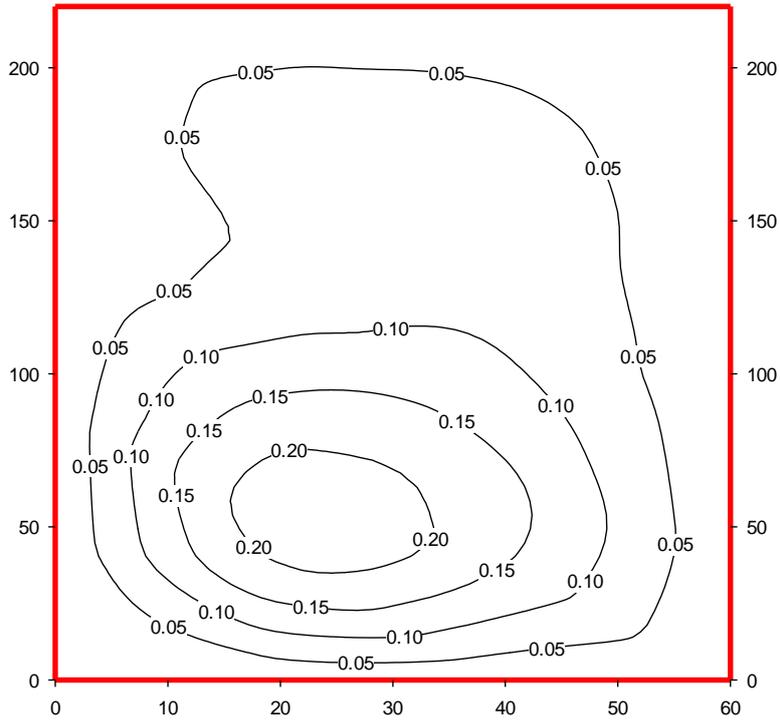


圖 97 I1 開口風速分布圖

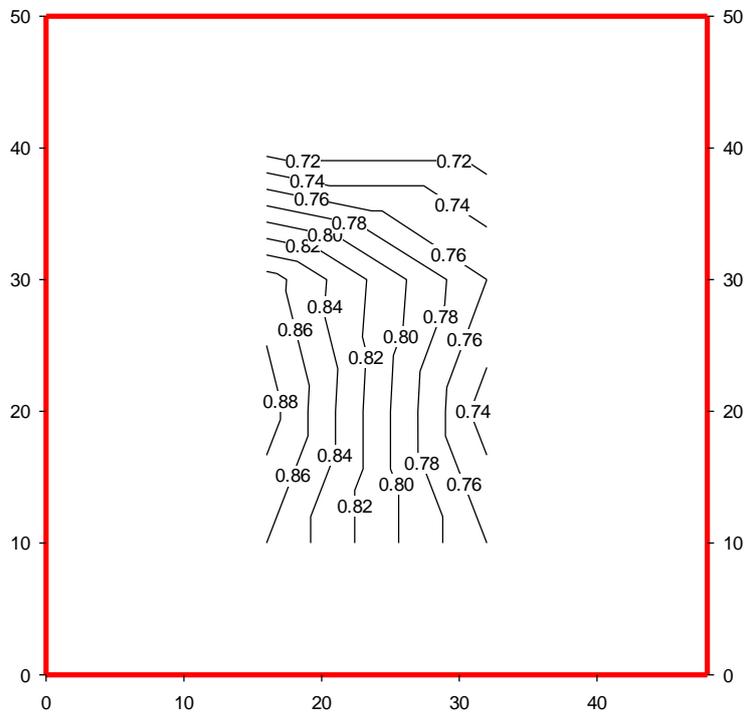


圖 98 I2 開口風速分布圖

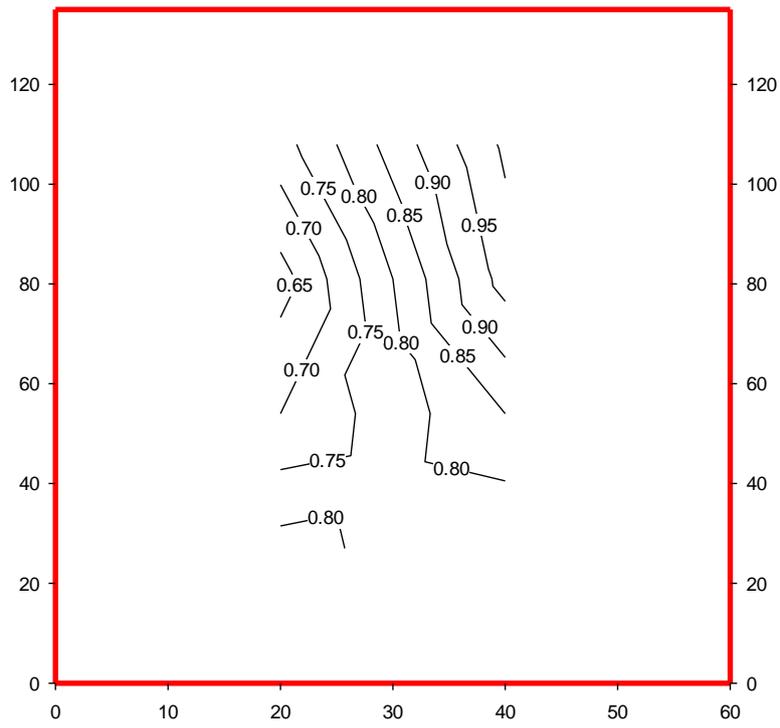


圖 99 I3 開口風速分布圖

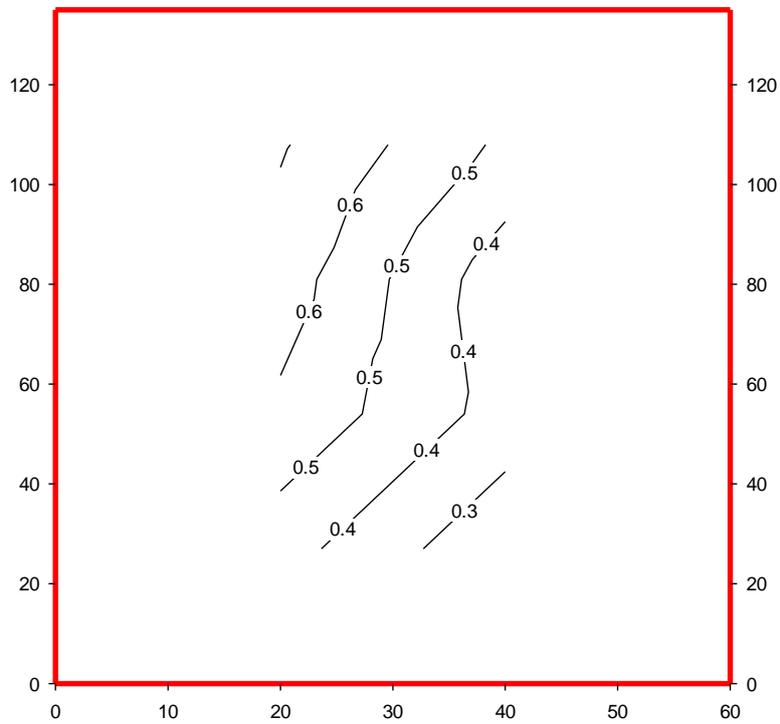


圖 100 I4 開口風速分布圖

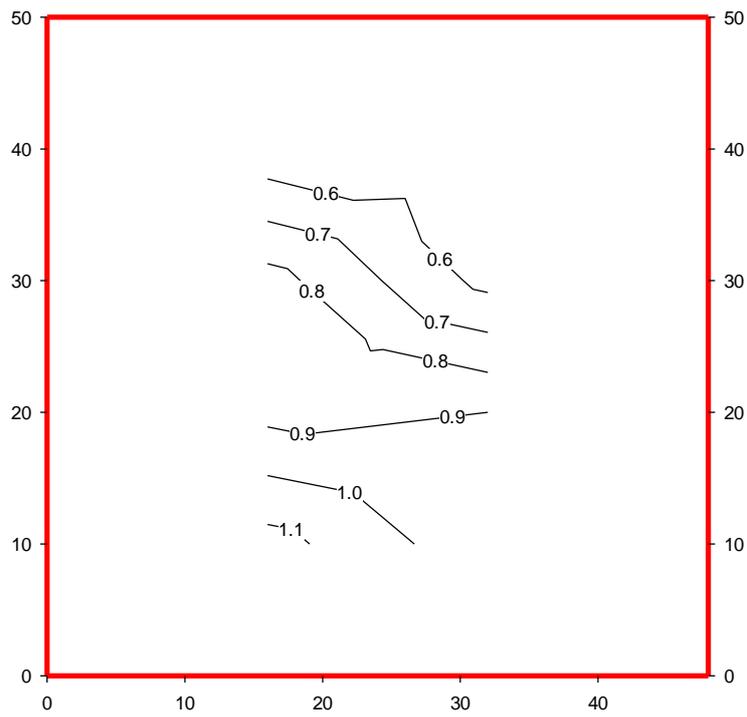


圖 101 I5 開口風速分布圖

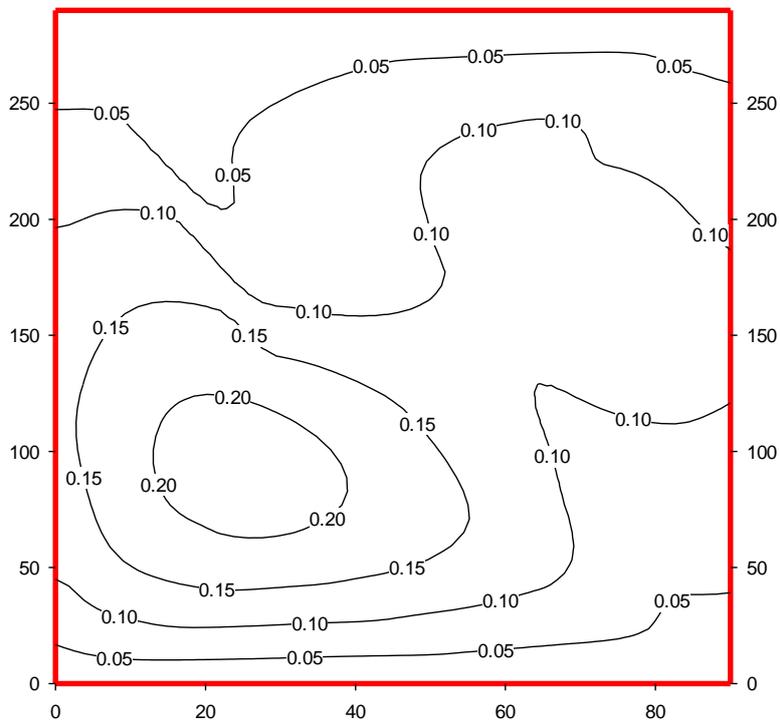


圖 102 I6 開口風速分布圖

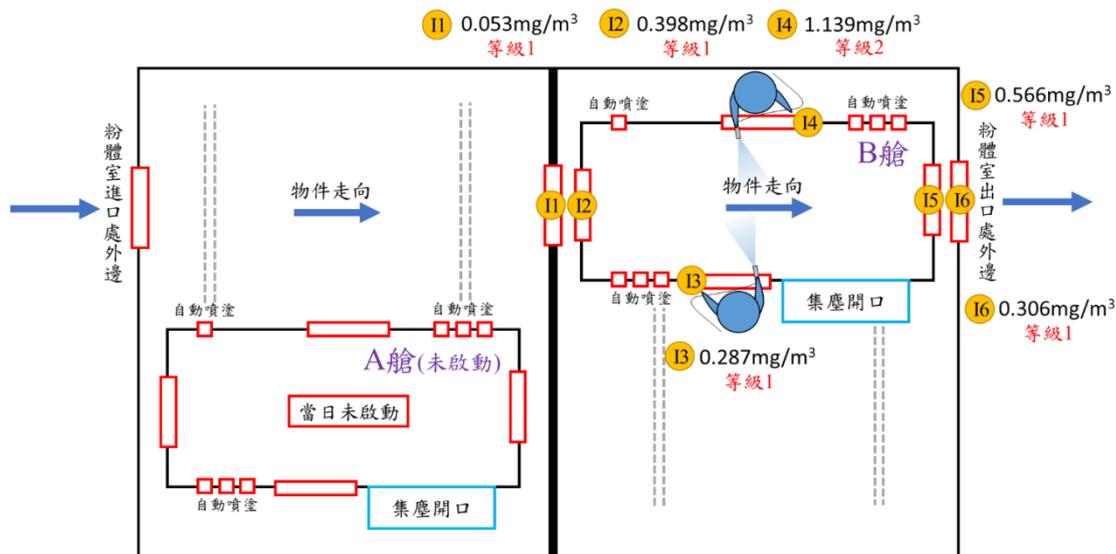


圖 103 I 廠粉體塗裝作業區 B 倉各開口總粉塵濃度結果與暴露風險等級劃分

表 23 I 廠粉體塗裝作業區各開口氣流方向與風速暨風量監測結果

項目 位置	氣流方向 (+流向艙體外) (-流向艙體內)	平均風速(m/s)	風量(m <sup>3</sup> /min)
I1	-	0.23	18.12
I2	-	0.79	11.32
I3	-	0.81	39.24
I4	-	0.47	22.96
I5	-	0.79	11.38
I6	不固定	0.12	19.38

## 二、電腦模擬進行通風效能評估

根據前述本次 A~J 9 家粉體塗裝事業單位共 10 組通風設施評估結果，選定如表 24 的 5 家事業單位各 1 組通風設施(A、B、F、H、D)，以原尺寸進行電腦模擬。選擇該 5 組粉體塗裝通風設施之原則為應包含下列各種類型，有無獨立隔間之粉體室，單、雙艙皆納入，以及不同集塵開口數量。A 廠選擇因素主要為單獨隔間粉體室內建置一粉體艙，兩處集塵開口，型式為圓桶上吸式，作業區與粉體艙尺寸詳見圖 104。B 廠與 A 廠差異在於只具有單一集塵開口，作業區與粉體艙尺寸詳見圖 105。F 廠與 A、B 廠差異在於未具有粉體室之單一粉體艙，而且集塵開口類型為圓孔上吸式，粉體艙尺寸詳見圖 106。H 廠則為未具有粉體室之單一粉體艙，而且集塵開口數僅有 1 個，類型為圓桶上吸式集

塵，粉體艙尺寸詳見圖 107。H 廠則為粉體作業區則由單獨隔間之粉體室內含有雙艙，每個艙體有 1 個集塵開口，相關尺寸詳見圖 108。

電腦數值模擬部分，參數設計方面設定各艙體集塵開口風速為表 25 所示之現場量測值，再進行模擬後根據其結果與實場各開口面風速量測值比較，印證是否相符。圖 109 為 A 廠模擬結果，其中發現人員作業開口風速幾乎接近 0，因此人員暴露風險相對較高，此結果與前述圖 38 環境監測與通風設施評估結果之綜合結論一致。圖 110 為 B 廠模擬結果，其中發現除了集塵開口風速較高外，該艙體設計下物件進出口與人員作業開口約 0.27 ~ 0.5 m/s 之間，顯示與圖 46 綜合環測與通風評估類似，風險等級至少為 2 以上，尤其物件進口處為最嚴重。圖 111 為 F 廠模擬結果，其中發現人員作業開口風速幾乎接近 0，因此人員暴露風險相對較高，此結果與前述圖 86 環境監測與通風設施評估結果之綜合結論判定風險至少 3 以上一致，尤其在兩處人員作業開口位置(等級 3)最為嚴重。圖 112 為 H 廠模擬結果，其中發現人員作業開口風速約為 0.6 m/s 左右，而且集塵開口面風速接近 1 m/s，相較之下人員風險較低。圖 113 為 I 廠模擬結果，此類設計 1 處集塵開口但 2 處人員作業開口，且艙體較小，因此在人員作業開口處可觀察到 0.5 ~ 0.8 m/s 間之風速，人員暴露風險可接受，結果與前述圖 103 環境監測與通風設施評估結果之綜合結論一致。

綜合前述電腦模擬結果驗證發現，電腦模擬於設計階段之效能初步評估方面，結果與真正實場現況風速與其分布相近，亦可結合環境監測之結果推論，不失為一可行之初步評估。

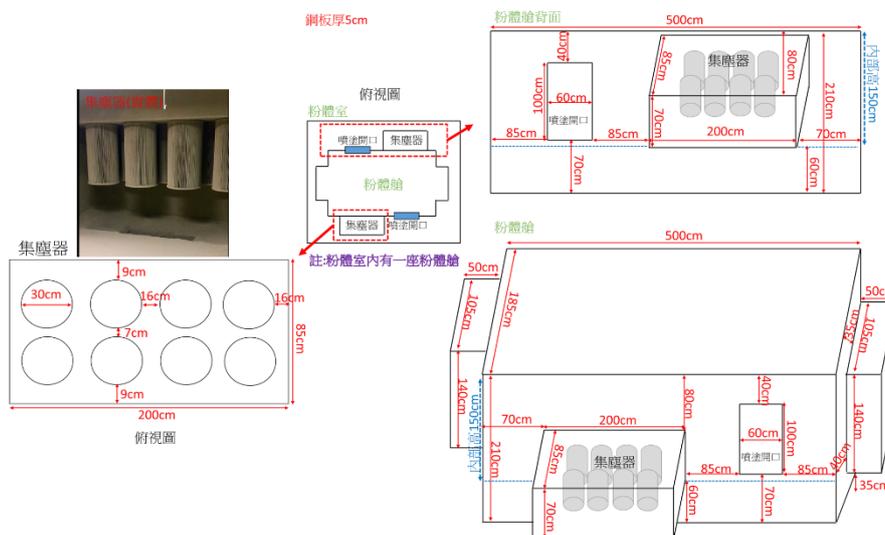


圖 104 A 廠粉體作業區尺寸

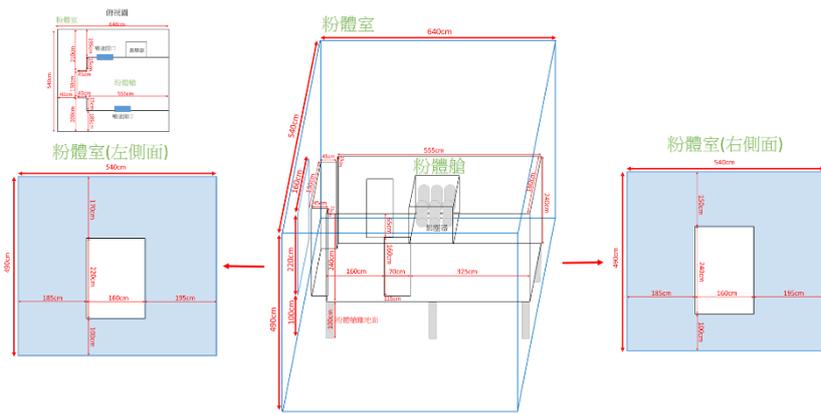


圖 105 B 廠粉體作業區尺寸

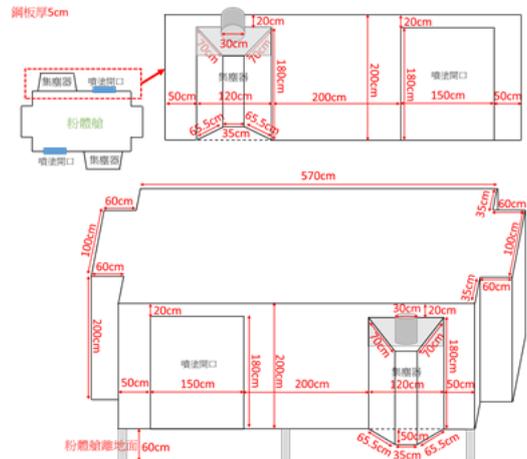


圖 106 F 廠粉體作業區尺寸

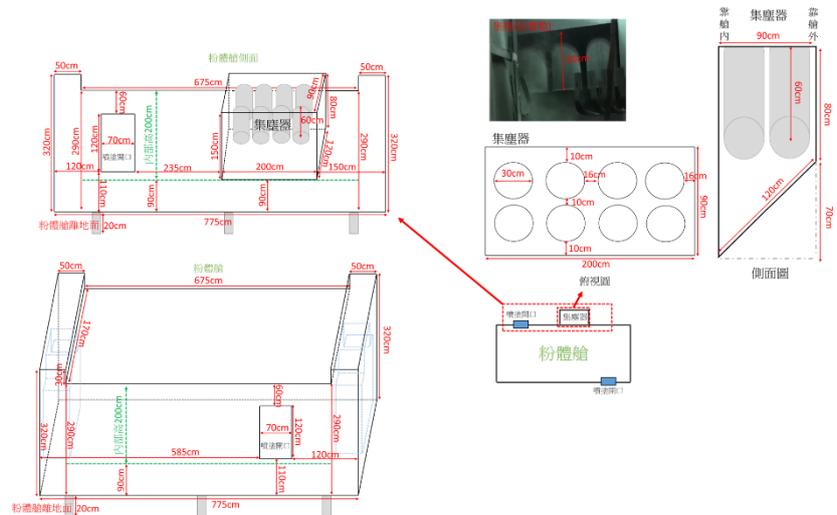


圖 107 H 廠粉體作業區尺寸

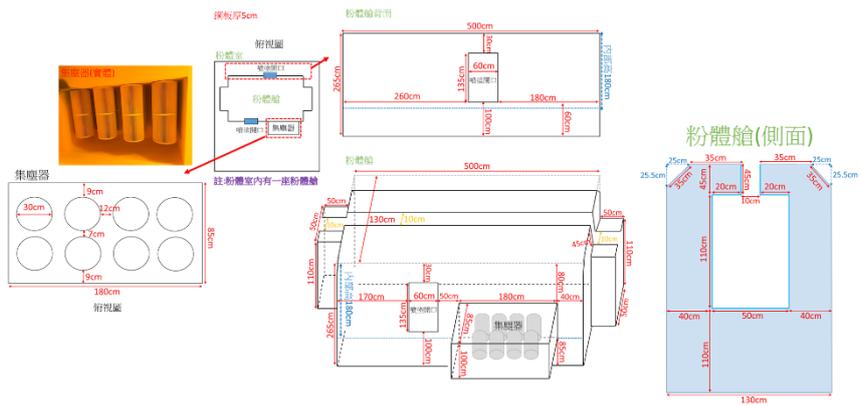


圖 108 I 廠粉體作業區尺寸

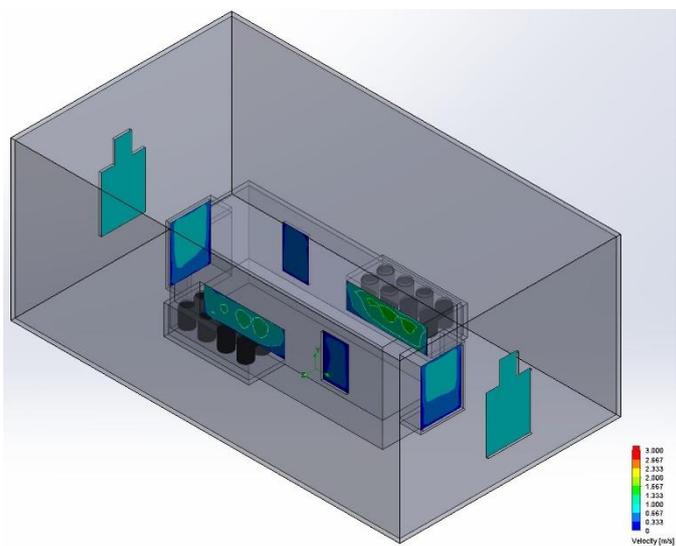


圖 109 A 廠模擬結果

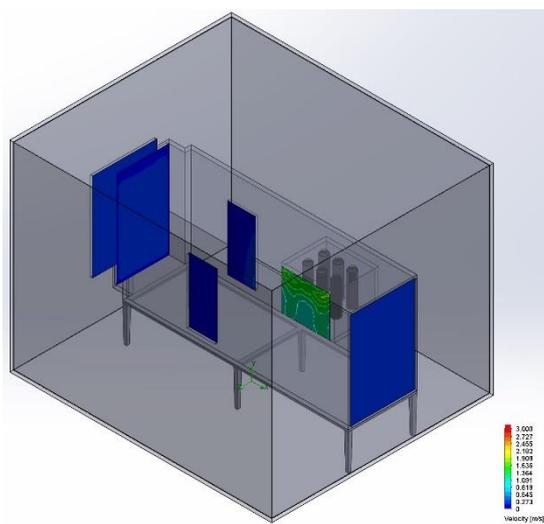


圖 110 B 廠模擬結果

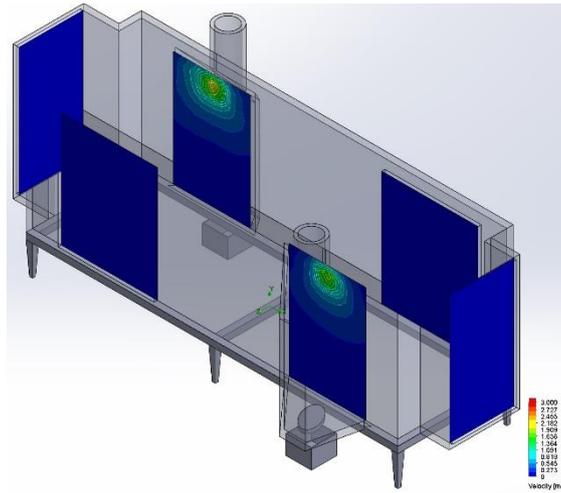


圖 111 F 廠模擬結果

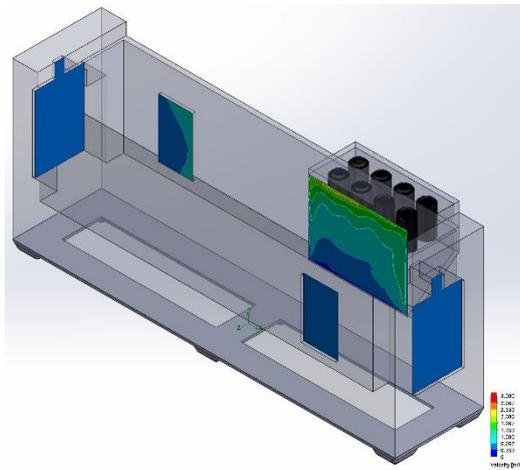


圖 112 H 廠模擬結果

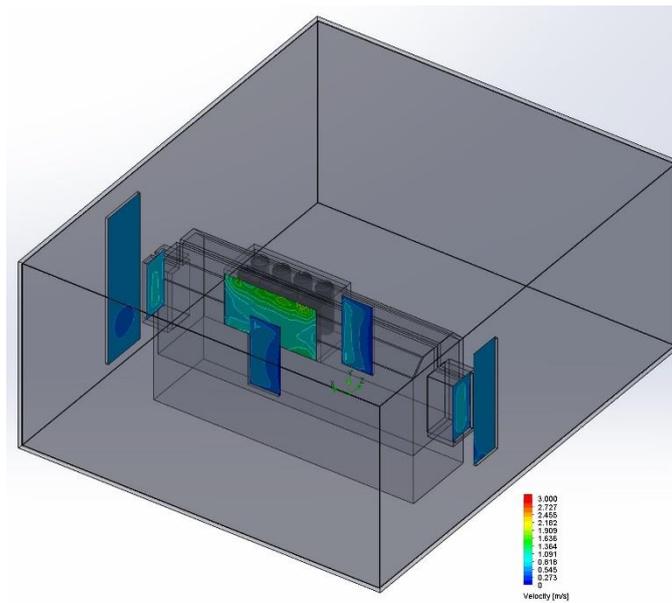
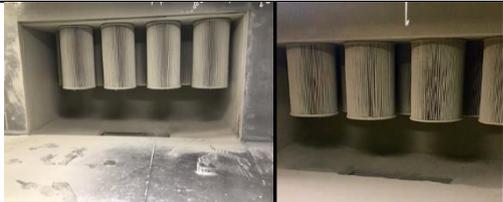


圖 113 I 廠模擬結果

表 24 5 組通風設備效能評估電腦模擬

工廠代號	有無粉體室	粉體艙				集塵開口類型
		類型	量測通風設備套數	噴塗開口數	集塵開口數	
A 廠	有	單艙	1	2	2	圓桶上吸式集塵
B 廠	有	單艙	1	2	1	圓桶上吸式集塵
F 廠	無	單艙	1	2	2	圓孔上吸式
H 廠	無	單艙	1	2	1	圓桶上吸式集塵
I 廠	有	雙艙	1	2	1	圓桶上吸式集塵

表 25 5 組電腦模擬通風設備集塵開口類型與風速設定值

工廠代號	集塵開口平均風速 (m/s)	集塵開口類型
A 廠	1.15	
	0.97	
B 廠	1.29	
F 廠	0.37	
	0.29	
H 廠	0.87	
I 廠	1.15	

## 第四節 建立粉體塗裝業通風設備知識物件

### 一、粉體塗裝業通風設施設計實務手冊

對於粉體塗裝業通風設施設計實務手冊部分，藉由邀請參與本研究採樣事業單位安衛主管以及現場作業主管，針對粉體塗裝實際作業需求與方式、各類設備用途與概況、以及危害控制方式等，提供現場實務相關資料，以作為本手冊撰寫之參考。接續則由職業衛生與通風專長之專家學者，提供撰寫方向及涵蓋內容之意見，決定各章節名稱與內容。目前指引已完成，各章節介紹如下。

#### 第一章 粉體塗裝用途與職業暴露

##### 第一節 粉體塗裝之應用與原理

##### 第二節 粉體塗裝有害物質暴露

##### 第三節 各國粉體塗裝作業管理方式

#### 第二章 粉體塗裝作業設備與危害控制

##### 第一節 粉體塗裝作業流程與設備

##### 第二節 粉體塗裝危害控制

#### 第三章 粉體塗裝通風設施設計建造性能維護與檢測

##### 第一節 有效粉體塗裝通風設施之設計建造性能維護流程

##### 第二節 粉體塗裝通風設施設計

##### 第三節 粉體塗裝通風設施性能指標與評估檢測方式(定性與定量)

針對上述章節，以下簡單說明其考量與內容。首先第一章先針對粉體塗裝用途與職業暴露進行簡單介紹。在第一節中，先針對粉體塗裝之用途、應用及原理進行簡單介紹；第二節則介紹衍生出相關有害物質之職業暴露危害；第三節則將各國粉體塗裝作業規定與管理方式進行整理，以及各項措施以降低工作者暴露風險。

在第二章中，則導入粉體塗裝現場作業設備計危害控制措施介紹。第一節先對於粉體塗裝作業整個流程以及相關設備予以簡介；第二節則介紹對於職業衛生方面可能引起相關危害，如何進行有效之控制方式。

第三章則切入適用危害控制措施，即通風設施設計乃至於如何檢測進行系統性介紹。首

先第一節對於通風設施整個設計前、建造以及設置後維護程序提出架構及概念；之後於第二節導入正確設計流程、進行設計及其設計條件進行解說；第三節則對於欲維持通風設施有效性，提出可利用之各類性能種類與指標，並提供具體檢測方式與步驟。

本手冊提供未來新建粉替艙之設計概念、流程、設計條件建議、乃至於檢測方式之提供，對於既有粉替艙進行修改與平時檢測效能之相關實務，亦可予以引用，達到通風設計最適化，效能最佳化，避免粉體逸散與降低工作者暴露之多重目的。

## 二、有效通風設施設計實體模型製作與評估

自前述 5 組通風設施電腦模擬中，選擇 F 廠之通風設施設計進行製作第一組套實體模型。由於 F 廠實際現場通設施採用圓孔上吸式通風設施，惟效果不盡理想，因此除保留原通風設計方式外，亦同時提出側吸式改善類型且為可抽換之設計，以比做兩種方式之效果。另一組為整合專業人員與現場工作者的建議，所提出之下吸式圓形孔洞通風設備。將上述兩套設計製作實體模型，然後進行模型之通風設施性能檢測與評估，以確認其效能達到預期設計效果。而採用或比較此三種不同設計方式之主要原因為粉體作業欲探討與控制危害物屬粒狀物，有其沉降特性，依照學理採用上吸式效果有限且不利於節能目的，以側吸或下吸方式，應可獲得較佳之控制效果。模擬通風設施裝置擬以碳纖維或壓克力透明板製作，導管內氣流是藉由設有變頻裝置且適當馬力的排氣機，作為該裝置動力來源，以達到利用風機轉速控制風速之目的。性能檢測方面，使用定性煙霧測試評估各開口是否具預期負壓狀態之設計，以及艙體內氣流走向是否如預期往抽氣口方向。另外，以風速計量測通風設施開口面風速大小並評估其分布是否均勻，綜合前述兩指標作為該艙體通風設施性能。

第一組模型以 F 廠如圖 114 之原始尺寸縮小為實際尺寸 1/10 倍，製作成可抽換式改善前上吸式(如圖 115)與改善後側吸式(如圖 116)之通風設施。該粉體艙設有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側，開口長 10cm、寬 5cm；每個噴塗開口前方設有長 12cm、深 5cm、高 18cm 之上吸式開口(如圖 115，改善前)，此開口上方設置直徑 3.5cm 之上吸式圓孔開口作為粉體艙之通風設施。而改善後之通風設施開口如圖 116 所示長 11.5cm、深 5cm、高 11.5cm，在開口中間下方設置直徑 3.5cm 之側吸式圓孔開口。

針對改善前(上吸式)之通風設施僅開啟一面集塵開口與一面噴塗開口進行通風效能評估，首先將開口風速設定與現場實際量測相同後，(1)以發煙管進行風向測試，如圖 117 所示發現粉體艙之所有開口煙霧方向皆流向艙體內，顯示艙體內呈現負壓狀態，可有效抑制粉體自該

開口逸散。接續(2)以風速計進行各開口之風速監測監測位置規劃與結果如圖 118 所示。發現該集塵開口平均風速為 0.22 m/s，將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 119 所示，發現風速主要集中於上吸式圓孔開口附近，結合粉體自然沉降特性之綜合考量，顯示該設計不利於粉體之捕集。

針對改善後(側吸式)之通風設施僅開啟一面集塵開口與一面噴塗開口進行通風效能評估，首先將開口風速設定與現場實際量測相同後，(1)以發煙管進行風向測試，如圖 120，發現粉體艙之所有開口煙霧方向皆流向艙體內，顯示艙體內呈現負壓狀態，可有效抑制粉體自該開口逸散。接續(2)以風速計進行各開口之風速監測監測位置規劃與結果如圖 121 所示。發現集塵開口平均風速為 0.24 m/s，將監測數據以風速分布等高線圖呈現，結果如圖 122 所示，發現風速未如前一型改善前集中於上方小區域，相較上呈現較均勻分布型態，而上方雖風速最大僅約 0.25 m/s，但考量粉體沉降特性，該高度未必須要太高之風速。表 26 分析第一組模型改善前(上吸式)與改善後(側吸式)之平均風速與變異係數(coefficient of variation, CV)值，從結果發現側吸式之風速分布(CV=0.52)比上吸式風速分布均勻(CV=1.32)，且集中於艙體高度一半，顯示有利於粉體捕集。

第二組模型為藉由粉體自然沉降特性並考量實務可行性，整合現場工作者的建議，設計一座下吸式圓形孔洞通風設施，模型設計如圖 123。粉體艙設有 2 個大小一樣的噴塗作業開口位於相對兩側，開口長 12 cm、寬 8 cm；粉體艙內設有長 50 cm、寬 15 cm 底板，底板板面左右各留 5 cm 寬度，中間部分每間隔 1 cm 設有直徑 1 cm 之圓形孔洞開口。於艙體底部設有 2 個直徑 5 cm 圓形開口，並連接至 1 條直徑 2 cm 之導管，連接風扇作為粉體艙之通風設施，如圖 124。針對第二組模型之通風設施進行通風效能評估，首先將開口風速設定，(1)以發煙管進行風向測試，如圖 125，發現粉體艙之所有開口煙霧方向皆流向艙體內，顯示艙體內呈現負壓狀態，可有效抑制粉體自該開口逸散。接續(2)以風速計進行各開口之風速監測監測位置規劃與結果如圖 126 所示。發現距離底板集塵開口 1 cm 高度之平均風速為 0.20 m/s；距離距離底板集塵開口 5 cm 高度之平均風速為 0.09 m/s。風速分布監測以等高線圖呈現，結果如圖 127 與圖 128 所示，發現風速均勻分布在集塵開口，結合粉體自然沉降特性之綜合考量，顯示該設計有利於粉體捕集。

表 27 分析第一組模型與第二組模型之平均風速與 CV 值，從結果發現下吸式之風速分布(CV=0.35)比上吸式(CV=1.32)與側吸式(CV=0.52)之風速分布均勻，且符合粉體自然沉降特性，顯示更有利於粉體捕集。

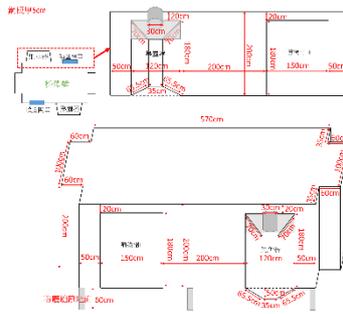


圖 114 第一組模型實際尺寸圖



圖 115 第一組模型(改善前上吸式)



圖 116 第一組模型(改善後側吸式)

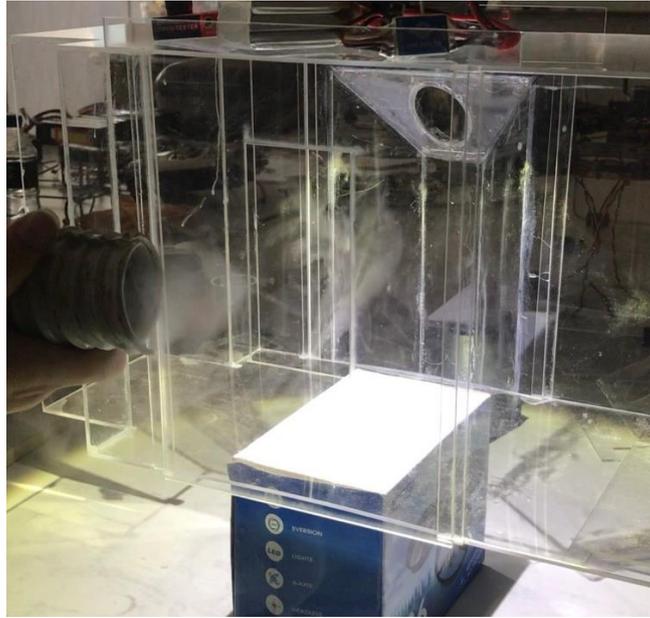


圖 117 第一組模型(改善前上吸式)煙霧流向

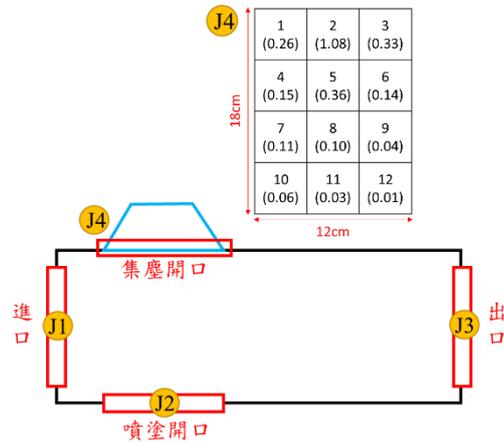


圖 118 第一組模型(改善前上吸式)集塵開口之風速監測位置與結果

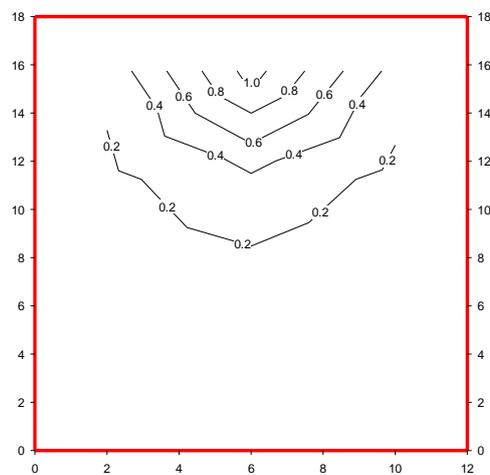


圖 119 J4 集塵開口風速分佈



圖 120 第一組模型(改善後側吸式)煙霧流向

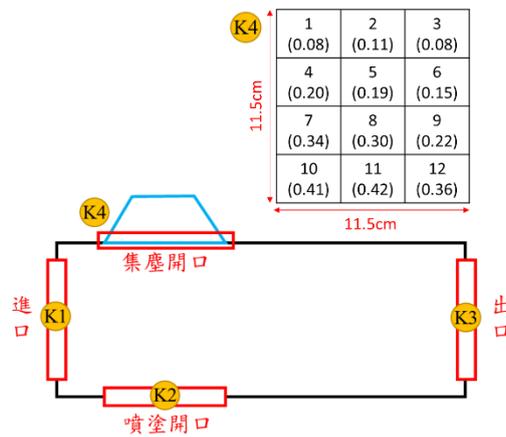


圖 121 第一組模型(改善後側吸式)集塵開口之風速監測位置與結果

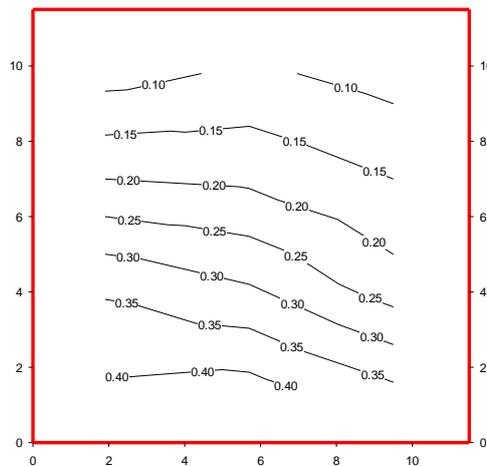


圖 122 K4 集塵開口風速分佈

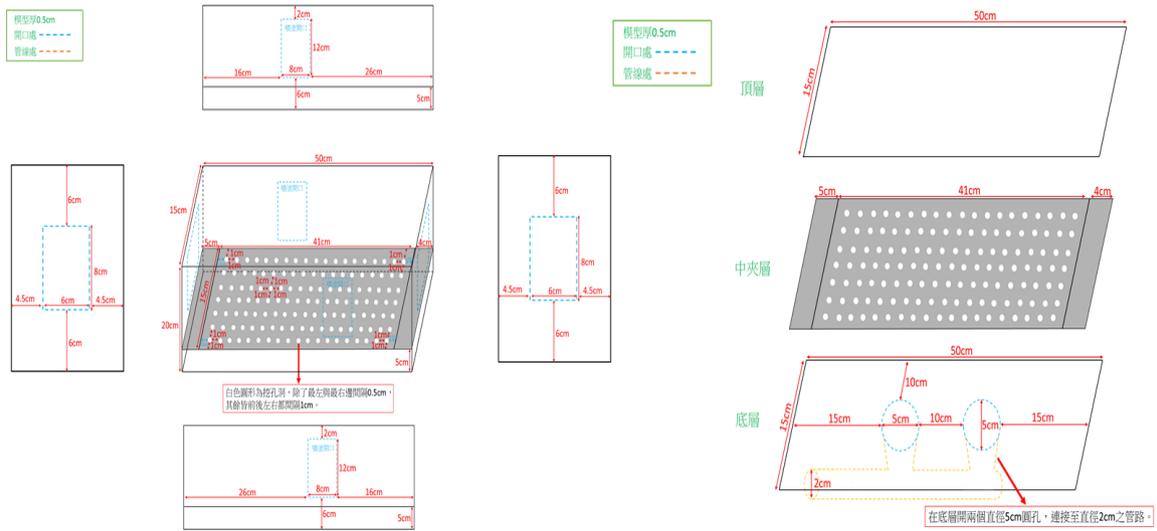


圖 123 第二組模型設計圖

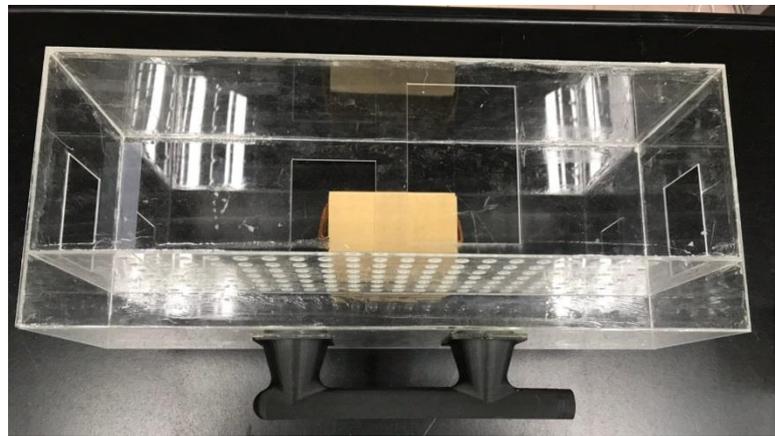


圖 124 第二組模型

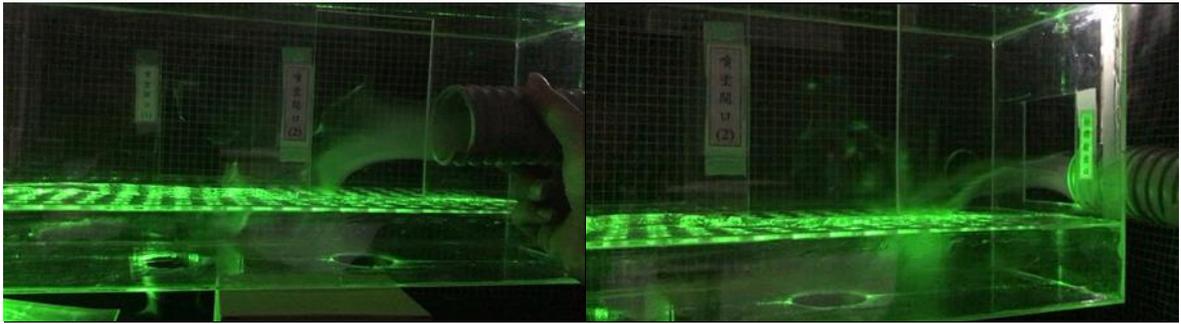


圖 125 第二組模型煙霧測試結果

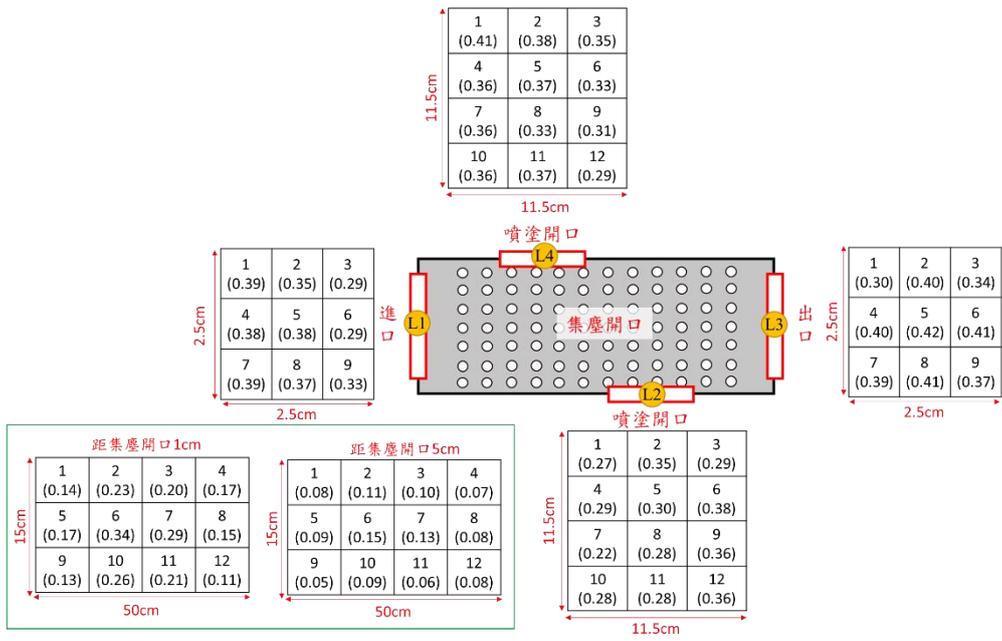


圖 126 第二組模型各開口之風速監測位置與結果

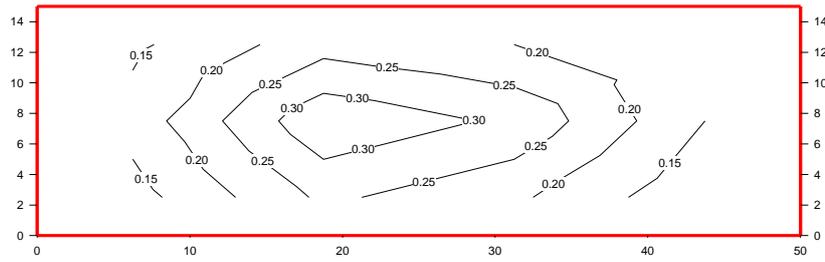


圖 127 第二組模型距離底板集塵開口 1cm 之風速分佈

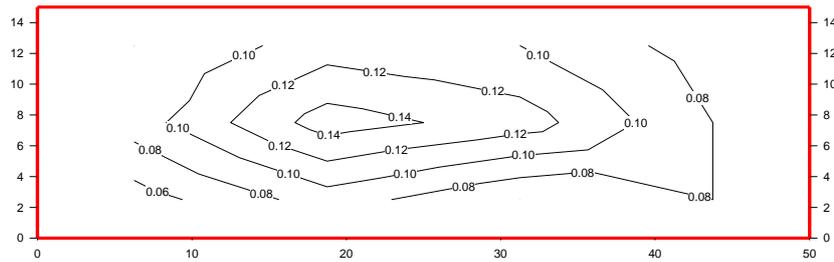


圖 128 第二組模型距離底板集塵開口 5cm 之風速分佈

表 26 第一組模型改善前(上吸式)與改善後(側吸式)之平均風速與均勻度(CV)比較

	平均風速 (m/s)	標準差	CV
第一組模型 (改善前上吸式)	0.22	0.29	1.32
第一組模型 (改善後側吸式)	0.24	0.12	0.52

表 27 第一組與第二組模型改善前(上吸式)與改善後(側吸式)之平均風速與均勻度(CV)比較

	平均風速 (m/s)	標準差	CV
第一組模型 (改善前上吸式)	0.22	0.29	1.32
第一組模型 (改善後側吸式)	0.24	0.12	0.52
第二組模型 (下吸式)	0.20	0.09	0.35

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、國外對於粉體塗裝作業依國情差異，有的訂有相關法規或指引進行管理，但也有未制訂任何相關法規或指引，僅視為一般職業暴露進行管理。對於粉體塗裝室的管理的規範上，主要著眼於火災、爆炸、感電和機械安全相關措施上的要求，對於化學危害(粉塵、有機及金屬化合物等)、噪音暴露、熱危害等職業衛生上的要求則較少。
- 二、有關國外粉體塗裝作業火災爆炸、感電安全等職業安全規範，我國雖然未訂定特別單一法規，在我國「職業安全衛生設施規則」中則有一些相關條文規範，且由於粉體塗料應可歸類為可燃性粉塵，應可使用這些條文作為粉體塗裝作業火災爆炸、感電安全預防的職業安全規範，說明我國對於此產業的職業安全問題已有規範。若在執法檢查上，強調粉體塗料的可燃性和作業易引發火災及爆炸危險，要求雇主依現有法令要求規範配合注意和設置應有措施，將可有效預防這些職業安全事故的發生。
- 三、粉體塗裝作業工作者個人和區域採樣監測總粉塵 8-hr TWA 暴露質量濃度平均值( $\pm$ 標準差)分別為 4.248( $\pm$ 3.902)和 3.473( $\pm$ 7.314)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，介於 1/3~1/2 我國總粉塵容許暴露濃度限值，但有一些區域採樣總粉塵暴露監測濃度值，會有高於容許暴露濃度限值的可能，顯示粉體塗裝作業工作者的總粉塵暴露需要加以控制改善。
- 四、事業單位粉體塗裝作業粉塵監測濃度，發現個人可呼吸性粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上(超過行動準則)的機率為 4.0%，總粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上的機率為 33.3%；作業環境區域採樣在可呼吸性粉塵的監測濃度在暴露分組 3 以上的機率為 0.0%，總粉塵的監測濃度在暴露分組 3 和 4 的機率分別為 12.9%和 7.5%，顯示粉體塗裝作業總粉塵濃度超過容許暴露濃度限值機率高於 5%的可容許暴露風險，應該要注意降低工作者粉塵暴露。
- 五、粉體塗裝作業粉體塗料所產生的粉塵，並無結晶型二氧化矽成分，因此無法以我國「粉塵危害預防標準」所針對的礦物粉塵進行管制。
- 六、在通風設施評估發現部分粉體艙設計上未達到負壓，意即每個開口空氣流向未一致性由艙外往艙內流入，造成在部分開口處發生較嚴重的粉體逸散，在個人與區域粉塵採樣監測濃度，顯示在這些位置高濃度的監測結果，與此通風設施評估結果一致。
- 七、雖然通風設施效能評估不佳與個人或區域粉塵採樣監測濃度存在一些相關，粉體塗裝作

業區各開口的風速大小，是影響通風設施效能的重要因素，如本研究所觀察，當風速達 0.4 m/s 以上，較不會測得高粉塵濃度測值，但須注意風速大小並非唯一決定因素，通風設施效能好壞，還會受風速分佈均勻性、現場人員作業情形、作業環境現場氣流特性等因素所影響，在通風設施效能評估時，需注意觀察記錄這些相關影響因素。

八、在集塵開口類型部分採用上吸式的效果未如預期，經實體模型製作與評估後，發現藉由粉體沉降特性考量，採側吸或下吸式效果較佳，未來可做為現場改善之參考。

九、綜合電腦模擬結果與真正實場現況風速與其分布相近，與個人及區域採樣監測結果驗證發現具有部分關聯性，因此，電腦模擬於設計階段可提供初步評估。

## 第二節 建議

一、本研究完成粉體塗裝業通風設施設計實務手冊及有效通風設施設計之實體模型，建議提供業者做為粉體塗裝作業現場通風工程設計實務及改善之參考及教育訓練之工具。

二、未來可針對粉體塗裝作業通風設施效能影響因素及區域採樣粉塵監測濃度進行更多研究，並收集更多的作業現場量測數據，針對風速、風量、風速分佈均勻性、現場人員作業情形、作業環境現場氣流特性等相關影響因素的關聯模式深入探討，以獲得具高實務應用價值的經驗模式。

## 誌謝

本研究計畫參與人員除鐘順輝副研究員、彭君傑助理研究員外，另包括長榮大學職業安全與衛生學系戴聿彤副教授、吳俊德助理教授、陳婕嫻小姐等人，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council. On the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal of the European Union, 2003; L 37/19-L37/23.
- [2] White J. Determination of triglycidyl isocyanurate from powder coatings in occupational hygiene samples by gas chromatography with mass spectrometric detection, *Ann Occup Hyg.* 2004;48(6):555-63.
- [3] Thygerson SM, West JH, Merrill RM. Field comparison of two sampling methods for triglycidyl isocyanurate, *Open Journal of Safety Science and Technology*, 2013; 3:105-108.
- [4] Gagné S, Carrier M, Aubin S. Determination of triglycidyl isocyanurate from air samples by ultra-performance liquid chromatography coupled with coordination ion spray mass spectrometry, *Rapid Commun Mass Spectrom.* 2015;29(10):913-8.
- [5] Health and Safety Executive (HSE, UK). Reducing risks associated with using coating powders. Retrieved Jan; 2016.
- [6] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Evaluation of Employees' Exposures to Welding Fumes and Powder Paint Dust during Metal Furniture Manufacturing. Health Hazard Evaluation Report HETA 2007-0199-3075, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. January; 2009.
- [7] Australian Government Comcare. Work Health and Safety Codes of Practice 2012 -Spray Painting and Powder Coating. APPENDIX 11.
- [8] Confederation of European Paint Manufacturers (CEPE). "Safe Powder Coating Guideline", 7th Edition. 28 April; 2005.
- [9] British Coatings Federation "The BCF Code of Safe Practice: Powder Coating" HS 004, version 3, August; 2015.
- [10] Hughes JF. Electrostatic Powder Coating (Electrostatics & Electrostatic Applications), Research Studies Press; 1984.
- [11] ASTM D3335-85a. Standard Test Method for Low Concentrations of Lead, Cadmium and Cobalt in Paint by Atomic Absorption Spectroscopy. Revised, 2014.
- [12] Meng X, Zhang H, Zhu JJ. Characterization of particle size evolution of the deposited layer during electrostatic powder coating processes. *Powder Technology* 2009; 195(3): 264-270.
- [13] Fu J, Krantz M, Zhang H, Zhu J, Kuo H, Wang YM, et al. Investigation of the recyclability of powder coatings. *Powder Technology* 2007; 211(1):38-45.
- [14] Visser J. Van der Waals and other cohesive forces affecting powder fluidization. *Powder Technology* 1989; 58(1): 1-10.
- [15] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Modern Materials Incorporated, Rochester, Indiana, Health Hazard Evaluation Report HETA 90-174-2231, July, 1992.
- [16] Lee KG, Park DU, Kim BW, Shin JG. Exposure assessment of hexavalent chromium for a powder coating spray painter associated with the development of lung cancer, *Aerosol and Air Quality Research*, 2017, 17: 2076-2080.
- [17] 職業安全衛生署：職業安全衛生法。2013年7月3日修正，行政院勞動部職業安全衛生署。
- [18] 陳春萬、戴聿彤：通風設施管理文件化落實方案探討---以研磨切割作業為例。勞動部勞動及職業安全衛生研究所；2015。
- [19] 錢葉忠、鐘順輝：粉體靜電塗裝作業勞工危害調查及粉塵暴露特性評估研究。勞動部勞動及職業安全衛生研究所；2017。
- [20] 陳春萬、戴聿彤：通風設施性能測試評估與管理制度探討。勞動部勞動及職業安全衛生研究所；2017。
- [21] 職業安全衛生署：作業環境監測指引。2015年10月6日修正，行政院勞動部職業安全

衛生署；2016。

- [22] 職業安全衛生署：勞工作業場所容許暴露標準。2014年6月27日修正，行政院勞動部職業安全衛生署；2014。
- [23] 勞動及職業安全衛生研究所：方法編號：4003---可呼吸性結晶型游離二氧化矽。行政院勞動部勞動及職業安全衛生研究所；2009。
- [24] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Sampling and Analytical Methods , Method number: 1006 Arsenic, Cadmium, Cobalt, Copper, Lead, and Nickel (Open Vessel Microwave Digestion/ICP-MS Analysis), United States, Department of Labor, [https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc\\_c.htm](https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc_c.htm), 2005.
- [25] 職業安全衛生署：勞工作業環境監測實施辦法。2016年11月2日修正，行政院勞動部職業安全衛生署。
- [26] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design, 26th Edition, Cincinnati, Ohio, USA, ISBN: 978-1-607260-87-5, 2016.
- [27] Safe Work Australia. Spray Painting and Powder Coating ---Code of Practice, ISBN 978-0-642-78423-0, September, 2012。
- [28] Division of Occupational Safety and Health (DOSH or Cal/OSHA). California Code of Regulations, Title 8, Section 5460. Powder Coating, Subchapter 7. General Industry Safety Orders Group 20. Flammable Liquids, Gases and Vapors Article 137. Spray Coating Operations, The Division of Occupational Safety and Health (DOSH), Department of Industrial Relations, State of California, Last updated May 16, 2018.
- [29] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Code of Federal Regulations (CFR) - Title 29 (29 CFR), 1910 Occupational Safety and Health Standards, Subpart H, Hazardous Materials, 1910.107 Spray finishing using flammable and combustible materials, United States Department of Labor, March 26, 2012.
- [30] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Code of Federal Regulations (CFR) - Title 29 (29 CFR), 1910 Occupational Safety and Health Standards, Subpart D, Occupational Health and Environmental Controls, 1926.66 Criteria for design and construction of spray booths, United States Department of Labor, July, 1993, Last updated 2012.
- [31] British Standards Institution (BSI). BS EN12981:2500+A1:2009, Coating plants---Spray booths for application of organic powder coating, May 31, 2009.
- [32] New Zealand Government. Spray Coating Regulations 1962 (SR 1962/54), Parliamentary Counsel Office (PCO), New Zealand Government, Wellington, New Zealand, Reprint as at July 1, 2013.
- [33] Jp NA, Imanaka M, Suganuma N. Japanese workplace health management in pneumoconiosis prevention. J Occup Health. 2017;59(2):91-103.
- [34] The Japan Society for Occupational Health (JSOH). Recommendation of Occupational Exposure Limits (2017-2018). J Occup Health. 2017;59(5):436-469.
- [35] Leidel NA, Busch KA, Lynch JR. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Center for Disease Control and Prevention, U.S. Department of Health & Human Services, Cincinnati, OH, Publication No. 77-173, January 1977.
- [36] Ministry of Employment and Labor. Act on the Prevention of Pneumoconiosis and Protection, etc., of Pneumoconiosis Workers (Act No. 3784), Amended by Act No. 10339, 04. June, 2010; Enforcement Date 05. July, 2010
- [37] 職業安全衛生署：粉塵危害預防標準。2014年6月25日修正，行政院勞動部職業安全衛生署。
- [38] 職業安全衛生署：職業安全衛生設施規則。2014年7月1日修正，行政院勞動部職業安全衛生署。

[39] 吳鴻鈞、洪維松：靜電塗裝材料爆炸特性研究。勞動部勞動部勞動及職業安全衛生研究所；2016。

附錄一 事業單位粉體塗裝區分事業單位總粉塵樣本金屬監測濃度

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Li	A	8	0.0286 (±0.0157)	0.0150	0.0620	4	0.0323 (±0.0154)	0.0138	0.0484
	B	14	0.0214 (±0.0219)	0.0009	0.0792	0	---	---	---
	C	4	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021	0	---	---	---
	D	10	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021	1	0.0021 (±---)	0.0021	0.0021
	E	6	0.0038 (±0.0030)	0.0021	0.0095	0	---	---	---
	F	22	0.0054 (±0.0034)	0.0020	0.0170	1	0.0106 (±---)	0.0106	0.0106
	G	10	0.0003 (±0.0006)	0.0000	0.0015	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0034 (±0.0015)	0.0011	0.0071	0	---	---	---
B	A	8	0.0511 (±0.0888)	0.0028	0.2406	4	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028
	B	14	0.1001 (±0.1119)	0.0028	0.4014	0	---	---	---
	C	4	0.1404 (±0.1661)	0.0028	0.3375	0	---	---	---
	D	10	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028	1	0.0028 (±---)	0.0028	0.0028
	E	6	0.0916 (±0.0823)	0.0028	0.2201	0	---	---	---
	F	22	0.0307 (±0.0084)	0.0185	0.0474	1	0.0466 (±---)	0.0466	0.0466
	G	10	0.0268 (±0.0101)	0.0171	0.0486	0	---	---	---
	H	9	0.0026 (±0.0078)	0.0000	0.0234	0	---	---	---
	I	10	0.0100 (±0.0047)	0.0013	0.0171	0	---	---	---
Na	A	8	16.6827 (±20.5173)	4.7597	66.1022	4	15.5352 (±12.3618)	3.9206	28.7778
	B	14	6.0502 (±7.4090)	0.0198	30.4709	0	---	---	---
	C	4	10.3528 (±12.3123)	0.0198	24.4071	0	---	---	---
	D	10	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	1	0.0198 (±---)	0.0198	0.0198
	E	6	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	0	---	---	---
	F	22	26.3257 (±28.8984)	6.3498	133.5039	1	29.7679 (±---)	29.7679	29.7679
	G	10	4.2990 (±2.0083)	2.0242	7.6626	0	---	---	---
	H	9	162.1232 (±44.7940)	54.5381	195.4700	0	---	---	---
	I	10	7.0812	4.5047	9.5383	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±1.8066)						
Mg	A	8	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	4	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181
	B	14	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	C	4	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	D	10	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	1	0.0181 (±---)	0.0181	0.0181
	E	6	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	F	22	2.5974 (±1.1341)	1.5572	6.8529	1	4.7866 (±---)	4.7866	4.7866
	G	10	2.1468 (±0.2547)	1.7200	2.5944	0	---	---	---
	H	9	4.8347 (±0.3914)	4.2887	5.3888	0	---	---	---
	I	10	1.2888 (±0.2400)	1.0026	1.7521	0	---	---	---
Al	A	8	10.3683 (±18.8760)	0.6430	56.1638	4	6.0369 (±4.8762)	1.7848	12.7745
	B	14	48.5488 (±61.0439)	0.4260	169.9863	0	---	---	---
	C	4	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057	0	---	---	---
	D	10	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057	1	0.0057 (±---)	0.0057	0.0057
	E	6	2.6257 (±5.4832)	0.0057	13.7900	0	---	---	---
	F	22	17.5841 (±17.9828)	1.7898	82.2034	1	50.9758 (±---)	50.9758	50.9758
	G	10	4.5622 (±3.3747)	1.5136	9.9026	0	---	---	---
	H	9	6.0548 (±3.1324)	4.0002	13.8831	0	---	---	---
	I	10	1.4079 (±0.4197)	0.8911	2.0980	0	---	---	---
K	A	8	2.3646 (±1.1664)	1.2331	4.4163	4	2.0721 (±0.6837)	1.6029	3.0783
	B	14	0.4492 (±0.5411)	0.0170	1.6588	0	---	---	---
	C	4	1.3024 (±1.3852)	0.0170	2.9681	0	---	---	---
	D	10	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170	1	0.0170 (±---)	0.0170	0.0170
	E	6	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170	0	---	---	---
	F	22	0.5763 (±0.2069)	0.2926	0.9778	1	1.3699 (±---)	1.3699	1.3699
	G	10	4.5407 (±1.8110)	1.9862	6.8000	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.6846 (±0.6827)	0.1934	2.4022	0	---	---	---
Ca	A	8	3.0537	0.0116	24.3486	4	0.2684	0.0116	1.0389

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±8.6044)				(±0.5137)		
	B	14	13.6071 (±17.3236)	0.0116	60.8611	0	---	---	---
	C	4	0.7441 (±1.4651)	0.0116	2.9417	0	---	---	---
	D	10	0.4809 (±1.4840)	0.0116	4.7044	1	0.0116 (±---)	0.0116	0.0116
	E	6	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	0	---	---	---
	F	22	14.4684 (±12.1804)	0.5833	45.8977	1	40.8621 (±---)	40.8621	40.8621
	G	10	2.0314 (±2.0072)	0.3900	5.1134	0	---	---	---
	H	9	0.5923 (±0.9116)	0.0000	2.2183	0	---	---	---
	I	10	0.5777 (±0.3301)	0.2634	1.2982	0	---	---	---
Cr	A	8	0.1849 (±0.0537)	0.1267	0.2611	4	0.1446 (±0.0194)	0.1209	0.1644
	B	14	0.1970 (±0.0707)	0.0447	0.3181	0	---	---	---
	C	4	0.1333 (±0.0349)	0.0884	0.1736	0	---	---	---
	D	10	0.0579 (±0.0151)	0.0253	0.0770	1	0.1209 (±---)	0.1209	0.1209
	E	6	0.2095 (±0.0282)	0.1888	0.2653	0	---	---	---
	F	22	0.3514 (±0.1111)	0.2519	0.7508	1	0.2963 (±---)	0.2963	0.2963
	G	10	0.4784 (±0.0680)	0.3931	0.5864	0	---	---	---
	H	9	0.3263 (±0.1570)	0.1616	0.5751	0	---	---	---
	I	10	0.4437 (±0.0771)	0.2948	0.5237	0	---	---	---
Mn	A	8	3.8961 (±8.6385)	0.0062	24.9866	4	1.9945 (±2.4770)	0.0625	5.2658
	B	14	0.0205 (±0.0143)	0.0007	0.0565	0	---	---	---
	C	4	0.1237 (±0.0613)	0.0541	0.2012	0	---	---	---
	D	10	0.0109 (±0.0000)	0.0109	0.0109	1	0.1154 (±---)	0.1154	0.1154
	E	6	0.1421 (±0.0955)	0.0404	0.2732	0	---	---	---
	F	22	0.2454 (±0.2152)	0.0549	0.9912	1	0.4604 (±---)	0.4604	0.4604
	G	10	0.0400 (±0.0212)	0.0185	0.0880	0	---	---	---
	H	9	0.0780 (±0.0195)	0.0458	0.1067	0	---	---	---
	I	10	0.0435 (±0.0181)	0.0236	0.0694	0	---	---	---
Fe	A	8	5.7155 (±10.6199)	0.2922	31.6012	4	4.3025 (±2.5181)	1.8356	7.8004
	B	14	5.9745	0.6846	17.4490	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±4.1944)						
	C	4	10.5097 (±7.5939)	4.1032	20.4004	0	---	---	---
	D	10	0.4413 (±1.2157)	0.0027	3.8701	1	0.3258 (±---)	0.3258	0.3258
	E	6	39.5320 (±29.1718)	8.0519	73.5711	0	---	---	---
	F	22	36.3358 (±27.9159)	8.0801	124.6244	1	57.0450 (±---)	57.0450	57.0450
	G	10	1.6637 (±0.8049)	0.8662	3.3244	0	---	---	---
	H	9	5.5743 (±2.1414)	2.3884	7.9097	0	---	---	---
	I	10	3.2100 (±1.2160)	1.7729	4.8456	0	---	---	---
	Co	A	8	0.0104 (±0.0180)	0.0006	0.0543	4	0.0052 (±0.0044)	0.0017
B		14	0.0086 (±0.0011)	0.0065	0.0099	0	---	---	---
C		4	0.0102 (±0.0056)	0.0064	0.0183	0	---	---	---
D		10	0.0126 (±0.0227)	0.0001	0.0556	1	0.1332 (±---)	0.1332	0.1332
E		6	0.0045 (±0.0019)	0.0024	0.0080	0	---	---	---
F		22	0.0061 (±0.0063)	0.0014	0.0316	1	0.0069 (±---)	0.0069	0.0069
G		10	0.0015 (±0.0011)	0.0007	0.0043	0	---	---	---
H		9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
I		10	0.0019 (±0.0014)	0.0010	0.0057	0	---	---	---
Ni	A	8	0.0515 (±0.0579)	0.0015	0.1411	4	0.0189 (±0.0126)	0.0041	0.0299
	B	14	0.1821 (±0.0767)	0.0072	0.2971	0	---	---	---
	C	4	1.0343 (±0.6371)	0.4703	1.8640	0	---	---	---
	D	10	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	1	0.0381 (±---)	0.0381	0.0381
	E	6	0.0326 (±0.0484)	0.0015	0.1192	0	---	---	---
	F	22	0.0849 (±0.1442)	0.0079	0.6995	1	0.0795 (±---)	0.0795	0.0795
	G	10	0.0385 (±0.0186)	0.0166	0.0680	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0521 (±0.0481)	0.0150	0.1721	0	---	---	---
Cu	A	8	0.0714 (±0.1305)	0.0013	0.3798	4	0.0500 (±0.0341)	0.0013	0.0771
	B	14	0.4888 (±0.9094)	0.0705	2.8186	0	---	---	---
	C	4	0.3165	0.1797	0.4407	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			(±0.1152)							
	D	10	0.2770 (±0.1553)	0.0416	0.4750	1	0.2160 (±---)	0.2160	0.2160	
	E	6	0.2855 (±0.1375)	0.1211	0.5035	0	---	---	---	
	F	22	0.1085 (±0.0644)	0.0430	0.3322	1	0.1928 (±---)	0.1928	0.1928	
	G	10	0.0711 (±0.0301)	0.0420	0.1393	0	---	---	---	
	H	9	0.0124 (±0.0373)	0.0000	0.1118	0	---	---	---	
	I	10	0.0555 (±0.0258)	0.0216	0.1024	0	---	---	---	
	Zn	A	8	6.4733 (±4.5754)	2.1602	15.1663	4	5.4336 (±1.4644)	4.0663	7.3977
		B	14	2.9654 (±1.7893)	0.7683	7.5292	0	---	---	---
C		4	8.8708 (±5.4696)	2.9145	14.5788	0	---	---	---	
D		10	0.3201 (±0.5713)	0.0013	1.6654	1	1.9070 (±---)	1.9070	1.9070	
E		6	23.2530 (±17.9302)	2.6964	44.3728	0	---	---	---	
F		22	2.7228 (±1.9162)	0.7031	9.9103	1	4.5669 (±---)	4.5669	4.5669	
G		10	0.5846 (±0.3448)	0.3379	1.4868	0	---	---	---	
H		9	0.0108 (±0.0323)	0.0000	0.0968	0	---	---	---	
I		10	0.4048 (±0.1873)	0.2236	0.8216	0	---	---	---	
Ga	A	8	0.0031 (±0.0043)	0.0005	0.0134	4	0.0018 (±0.0016)	0.0006	0.0040	
	B	14	0.0104 (±0.0064)	0.0048	0.0237	0	---	---	---	
	C	4	0.0006 (±0.0005)	0.0001	0.0010	0	---	---	---	
	D	10	0.0009 (±0.0006)	0.0002	0.0021	1	0.0046 (±---)	0.0046	0.0046	
	E	6	0.0021 (±0.0007)	0.0013	0.0029	0	---	---	---	
	F	22	0.0039 (±0.0027)	0.0017	0.0136	1	0.0098 (±---)	0.0098	0.0098	
	G	10	0.0018 (±0.0003)	0.0014	0.0022	0	---	---	---	
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---	
	I	10	0.0033 (±0.0056)	0.0010	0.0189	0	---	---	---	
Sr	A	8	4.5741 (±9.6961)	0.0012	28.0785	4	2.5488 (±3.1676)	0.0957	6.7886	
	B	14	0.9236 (±1.3173)	0.0012	4.4808	0	---	---	---	
	C	4	0.3938 (±0.7634)	0.0036	1.5388	0	---	---	---	
	D	10	1.2218	0.0012	7.0926	1	3.7247	3.7247	3.7247	

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±2.2725)				(±---)		
	E	6	0.0756 (±0.1725)	0.0012	0.4274	0	---	---	---
	F	22	2.6061 (±2.4967)	0.0680	10.3192	1	7.4827 (±---)	7.4827	7.4827
	G	10	0.0339 (±0.0149)	0.0120	0.0538	0	---	---	---
	H	9	0.2585 (±0.3370)	0.0094	0.7433	0	---	---	---
	I	10	0.2790 (±0.3765)	0.0129	1.2112	0	---	---	---
	A	8	0.0028 (±0.0023)	0.0004	0.0066	4	0.0014 (±0.0013)	0.0000	0.0032
	B	14	0.0022 (±0.0015)	0.0006	0.0050	0	---	---	---
	C	4	0.0012 (±0.0001)	0.0010	0.0013	0	---	---	---
Ag	D	10	0.0013 (±0.0003)	0.0012	0.0023	1	0.0012 (±---)	0.0012	0.0012
	E	6	0.0029 (±0.0010)	0.0015	0.0044	0	---	---	---
	F	22	0.0028 (±0.0080)	0.0005	0.0387	1	0.0010 (±---)	0.0010	0.0010
	G	10	0.0005 (±0.0003)	0.0002	0.0011	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0011 (±0.0006)	0.0006	0.0025	0	---	---	---
	A	8	0.0064 (±0.0038)	0.0029	0.1209	4	0.0056 (±0.0045)	0.0023	0.0123
	B	14	0.0207 (±0.0168)	0.0113	0.0778	0	---	---	---
	C	4	0.0753 (±0.0908)	0.0016	0.1936	0	---	---	---
Cd	D	10	0.0011 (±0.0009)	0.0001	0.0037	1	0.0029 (±---)	0.0029	0.0029
	E	6	0.0008 (±0.0003)	0.0004	0.0012	0	---	---	---
	F	22	0.0031 (±0.0045)	0.0009	0.0225	1	0.0038 (±---)	0.0038	0.0038
	G	10	0.0021 (±0.0020)	0.0010	0.0075	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0046 (±0.0071)	0.0009	0.0242	0	---	---	---
	A	8	0.0056 (±0.0079)	0.0002	0.0226	4	0.0072 (±0.0087)	0.0003	0.0194
	B	14	0.0090 (±0.0026)	0.0065	0.0148	0	---	---	---
	C	4	0.0010 (±0.0000)	0.0010	0.0010	0	---	---	---
In	D	10	0.0007 (±0.0004)	0.0000	0.0010	1	0.0027 (±---)	0.0027	0.0027
	E	6	0.0013	0.0003	0.0027	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±0.0009)						
	F	22	0.0181 (±0.0312)	0.0001	0.1040	1	0.0024 (±---)	0.0024	0.0024
	G	10	0.0020 (±0.0010)	0.0007	0.0038	0	---	---	---
	H	9	0.0001 (±0.0002)	0.0000	0.0005	0	---	---	---
	I	10	0.0027 (±0.0031)	0.0006	0.0109	0	---	---	---
Ba	A	8	334.5356 (±708.7707)	0.9710	2053.3336	4	187.5281 (±232.0950)	8.7003	498.5751
	B	14	84.9624 (±126.7666)	1.2939	352.8818	0	---	---	---
	C	4	35.0120 (±66.4017)	0.5676	134.6054	0	---	---	---
	D	10	66.6971 (±124.1071)	0.0014	390.3379	1	223.9489 (±---)	223.9489	223.9489
	E	6	4.3175 (±7.1951)	0.7078	18.9579	0	---	---	---
	F	22	138.2583 (±139.2129)	2.6384	596.4032	1	394.5356 (±---)	394.5356	394.5356
	G	10	0.7572 (±0.7797)	0.0524	2.0306	0	---	---	---
	H	9	12.3683 (±15.8414)	0.8499	35.0282	0	---	---	---
	I	10	18.7394 (±27.4195)	0.3063	88.3461	0	---	---	---
Tl	A	8	0.0069 (±0.0165)	0.0006	0.0476	4	0.0008 (±0.0001)	0.0006	0.0009
	B	14	0.0067 (±0.0040)	0.0006	0.0476	0	---	---	---
	C	4	0.0012 (±0.0011)	0.0002	0.0023	0	---	---	---
	D	10	0.0014 (±0.0002)	0.0018	0.0010	1	0.0009 (±---)	0.0009	0.0009
	E	6	0.0009 (±0.0007)	0.0002	0.0019	0	---	---	---
	F	22	0.0000 (±0.0001)	0.0000	0.0002	1	0.0001 (±---)	0.0001	0.0001
	G	10	0.0001 (±0.0001)	0.0000	0.0004	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0007 (±0.0011)	0.0002	0.0039	0	---	---	---
Pb	A	8	0.1122 (±0.0539)	0.0642	0.2254	4	0.1316 (±0.0841)	0.0562	0.2378
	B	14	0.1137 (±0.0636)	0.0153	0.0560	0	---	---	---
	C	4	0.0266 (±0.0233)	0.0015	0.0560	0	---	---	---
	D	10	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	1	0.0015 (±---)	0.0015	0.0015
	E	6	0.5037 (±0.7903)	0.1143	2.1104	0	---	---	---
	F	22	0.0763	0.0438	0.2167	1	0.1366	0.1366	0.1366

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±0.0373)			(±---)			
	G	10	0.0191 (±0.0062)	0.0133	0.0322	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0312 (±0.0177)	0.0124	0.0568	0	---	---	---
Bi	A	8	0.0290 (±0.0182)	0.0140	0.0706	4	0.0112 (±0.0071)	0.0034	0.0199
	B	14	0.0012 (±0.0004)	0.0004	0.0018	0	---	---	---
	C	4	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
	D	10	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	1	0.0012 (±---)	0.0012	0.0012
	E	6	0.0031 (±0.0012)	0.0019	0.0051	0	---	---	---
	F	22	0.0011 (±0.0010)	0.0004	0.0049	1	0.0034 (±---)	0.0034	0.0034
	G	10	0.0023 (±0.0016)	0.0007	0.0057	0	---	---	---
	H	9	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	10	0.0053 (±0.0062)	0.0015	0.0220	0	---	---	---

附錄二 事業單位粉體塗裝區分事業單位可呼吸性粉塵樣本金屬監測濃度

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Li	A	0	---	---	---	2	0.0132 (±0.0078)	0.0076	0.0187
	B	0	---	---	---	2	0.0230 (±0.0142)	0.0129	0.0330
	C	3	0.0026 (±0.0008)	0.0021	0.0035	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021
	E	0	---	---	---	3	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021
	F	0	---	---	---	2	0.0038 (±0.0021)	0.0023	0.0052
	G	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0039 (±0.0012)	0.0025	0.0052
B	A	0	---	---	---	2	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028
	B	0	---	---	---	2	0.1389 (±0.0078)	0.1333	0.1444
	C	3	0.0401 (±0.0153)	0.0231	0.0528	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028
	E	0	---	---	---	3	0.0743 (±0.1210)	0.0028	0.2140
	F	0	---	---	---	2	0.0364 (±0.0040)	0.0335	0.0392
	G	0	---	---	---	4	0.0316 (±0.0145)	0.0188	0.0496
	H	0	---	---	---	4	0.0017 (±0.0034)	0.0000	0.0067
	I	0	---	---	---	5	0.0127 (±0.0046)	0.0055	0.0168
Na	A	0	---	---	---	2	4.1605 (±2.5640)	2.3474	5.9735
	B	0	---	---	---	2	5.1965 (±1.0791)	4.4334	5.9595
	C	3	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198
	E	0	---	---	---	3	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198
	F	0	---	---	---	2	9.1807 (±1.6318)	8.0268	10.3345
	G	0	---	---	---	4	2.5857 (±0.4441)	2.1666	3.1253
	H	0	---	---	---	4	193.8003	166.6365	205.7182

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
						(±18.3231)			
	I	0	---	---	---	5	5.1673 (±1.3899)	3.1540	7.7009
Mg	A	0	---	---	---	2	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181
	B	0	---	---	---	2	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181
	C	3	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181
	E	0	---	---	---	3	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181
	F	0	---	---	---	2	1.7601 (±0.6044)	1.3327	2.1874
	G	0	---	---	---	4	1.8933 (±0.1852)	1.7267	2.1346
	H	0	---	---	---	4	4.4919 (±0.8148)	3.3717	5.3087
	I	0	---	---	---	5	1.2937 (±0.2061)	1.0103	1.4637
Al	A	0	---	---	---	2	2.0124 (±0.8485)	1.4124	2.6124
	B	0	---	---	---	2	0.9562 (±1.1353)	0.1534	1.7590
	C	3	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057
	E	0	---	---	---	3	6.8887 (±11.9218)	0.0057	20.6548
	F	0	---	---	---	2	2.4538 (±0.0695)	2.4046	2.5029
	G	0	---	---	---	4	3.3540 (±2.5259)	1.4479	7.0000
	H	0	---	---	---	4	3.4470 (±0.6198)	2.8890	4.1037
	I	0	---	---	---	5	1.1187 (±0.2080)	0.8517	1.3140
K	A	0	---	---	---	2	2.1182 (±0.4225)	1.8194	2.4169
	B	0	---	---	---	2	0.8222 (±1.1387)	0.0170	1.6274
	C	3	2.0450 (±0.3111)	1.7947	2.3933	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170
	E	0	---	---	---	3	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170
	F	0	---	---	---	2	1.6278 (±1.4802)	0.5811	2.6744
	G	0	---	---	---	4	2.5839 (±0.5787)	1.8651	3.2484
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	1.2895	0.1095	2.5542

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ca	A	0	---	---	---	2	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116
	B	0	---	---	---	2	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116
	C	3	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116
	E	0	---	---	---	3	6.0469 (±10.4535)	0.0116	18.1176
	F	0	---	---	---	2	1.2715 (±0.1380)	1.1739	1.3690
	G	0	---	---	---	4	1.3394 (±1.6596)	0.4287	3.8271
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.3982 (±0.1635)	0.2513	0.6557
Cr	A	0	---	---	---	2	0.2353 (±0.1011)	0.1638	0.3068
	B	0	---	---	---	2	0.1606 (±0.0359)	0.1352	0.1860
	C	3	0.1742 (±0.0623)	0.1075	0.2310	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0511 (±0.0604)	0.0086	0.1203
	E	0	---	---	---	3	0.1578 (±0.0183)	0.1369	0.1709
	F	0	---	---	---	2	0.2587 (±0.0359)	0.2333	0.2840
	G	0	---	---	---	4	0.4427 (±0.0695)	0.3741	0.5296
	H	0	---	---	---	4	0.3587 (±0.1193)	0.2350	0.4937
	I	0	---	---	---	5	0.4093 (±0.1085)	0.2879	0.5337
Mn	A	0	---	---	---	2	0.1451 (±0.1870)	0.0128	0.2773
	B	0	---	---	---	2	0.0250 (±0.0034)	0.0226	0.0274
	C	3	0.0113 (±0.0008)	0.0108	0.0122	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0109 (±0.0000)	0.0109	0.0109
	E	0	---	---	---	3	0.0505 (±0.0235)	0.0302	0.0763
	F	0	---	---	---	2	0.1401 (±0.0305)	0.1185	0.1617
	G	0	---	---	---	4	0.0371 (±0.0216)	0.0170	0.0670
	H	0	---	---	---	4	0.0101 (±0.0055)	0.0032	0.0165
	I	0	---	---	---	5	0.0310 (±0.0096)	0.0164	0.0394
Fe	A	0	---	---	---	2	1.8600	1.1616	2.5584

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
						(±0.9877)			
	B	0	---	---	---	2	2.9013 (±0.5359)	3.2802	2.5223
	C	3	1.2064 (±0.3516)	0.8008	1.4254	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0027 (±0.0000)	0.0027	0.0027
	E	0	---	---	---	3	8.9341 (±2.3589)	6.2339	10.5942
	F	0	---	---	---	2	20.4356 (±7.1149)	15.4046	25.4666
	G	0	---	---	---	4	1.5389 (±0.3933)	1.1306	1.9510
	H	0	---	---	---	4	0.0883 (±0.1765)	0.0000	0.3530
	I	0	---	---	---	5	1.4577 (±0.5817)	0.8027	2.3684
Co	A	0	---	---	---	2	0.0020 (±0.0008)	0.0014	0.0025
	B	0	---	---	---	2	0.0083 (±0.0008)	0.0077	0.0088
	C	3	0.0038 (±0.0010)	0.0027	0.0045	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0020 (±0.0022)	0.0000	0.0044
	E	0	---	---	---	3	0.0011 (±0.0008)	0.0004	0.0019
	F	0	---	---	---	2	0.0033 (±0.0011)	0.0025	0.0041
	G	0	---	---	---	4	0.0007 (±0.0002)	0.0005	0.0009
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0012 (±0.0005)	0.0008	0.0020
Ni	A	0	---	---	---	2	0.0587 (±0.0809)	0.0015	0.1159
	B	0	---	---	---	2	0.1873 (±0.0878)	0.1252	0.2493
	C	3	1.6234 (±0.4104)	1.1534	1.9112	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015
	E	0	---	---	---	3	0.0016 (±0.0002)	0.0015	0.0017
	F	0	---	---	---	2	0.0412 (±0.0092)	0.0347	0.0477
	G	0	---	---	---	4	0.0239 (±0.0053)	0.0162	0.0277
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0446 (±0.0204)	0.0206	0.0742
Cu	A	0	---	---	---	2	0.2016 (±0.2832)	0.0013	0.4018
	B	0	---	---	---	2	0.1555	0.1272	0.1837

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
						(±0.0400)			
	C	3	0.4675 (±0.0240)	0.4427	0.4905	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.3051 (±0.0864)	0.2501	0.4047
	E	0	---	---	---	3	0.1929 (±0.0906)	0.1130	0.2914
	F	0	---	---	---	2	0.0849 (±0.0155)	0.0739	0.0958
	G	0	---	---	---	4	0.0822 (±0.0550)	0.0427	0.1604
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0365 (±0.0051)	0.0306	0.0434
	Zn	A	0	---	---	---	2	2.7865 (±0.0373)	2.7601
B		0	---	---	---	2	2.4090 (±1.0250)	1.6842	3.1337
C		3	7.4181 (±1.6006)	5.5993	8.6122	0	---	---	---
D		0	---	---	---	3	1.1185 (±0.6709)	0.4608	1.8019
E		0	---	---	---	3	20.5153 (±7.3282)	12.9607	27.5938
F		0	---	---	---	2	1.7407 (±0.1397)	1.6419	1.8395
G		0	---	---	---	4	0.4357 (±0.2058)	0.2312	0.7211
H		0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
I		0	---	---	---	5	0.3661 (±0.1652)	0.2428	0.6412
Ga	A	0	---	---	---	2	0.0008 (±0.0001)	0.0007	0.0008
	B	0	---	---	---	2	0.0049 (±0.0004)	0.0046	0.0052
	C	3	0.0005 (±0.0004)	0.0002	0.0010	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0022 (±0.0012)	0.0010	0.0034
	E	0	---	---	---	3	0.0019 (±0.0018)	0.0008	0.0040
	F	0	---	---	---	2	0.0014 (±0.0001)	0.0013	0.0015
	G	0	---	---	---	4	0.0015 (±0.0004)	0.0011	0.0020
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0021 (±0.0009)	0.0013	0.0035
Sr	A	0	---	---	---	2	0.2643 (±0.3443)	0.0208	0.5077
	B	0	---	---	---	2	0.0880 (±0.1227)	0.0012	0.1747
	C	3	0.0016	0.0012	0.0023	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ( $\pm 0.0006$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	D	0	---	---	---	3	0.0972 ( $\pm 0.1662$ )	0.0012	0.2891	
	E	0	---	---	---	3	0.1668 ( $\pm 0.2869$ )	0.1291	0.2450	
	F	0	---	---	---	2	0.1871 ( $\pm 0.0820$ )	0.1291	0.2450	
	G	0	---	---	---	4	0.0226 ( $\pm 0.0139$ )	0.0131	0.0430	
	H	0	---	---	---	4	0.0000 ( $\pm 0.0000$ )	0.0000	0.0000	
	I	0	---	---	---	5	0.0155 ( $\pm 0.0061$ )	0.0074	0.0227	
	Ag	A	0	---	---	---	2	0.0005 ( $\pm 0.0006$ )	0.0001	0.0009
		B	0	---	---	---	2	0.0017 ( $\pm 0.0006$ )	0.0013	0.0021
		C	3	0.0012 ( $\pm 0.0000$ )	0.0012	0.0012	0	---	---	---
D		0	---	---	---	3	0.0017 ( $\pm 0.0009$ )	0.0012	0.0028	
E		0	---	---	---	3	0.0006 ( $\pm 0.0005$ )	0.0002	0.0012	
F		0	---	---	---	2	0.0017 ( $\pm 0.0006$ )	0.0012	0.0021	
G		0	---	---	---	4	0.0003 ( $\pm 0.0002$ )	0.0001	0.0006	
H		0	---	---	---	4	0.0000 ( $\pm 0.0000$ )	0.0000	0.0000	
I		0	---	---	---	5	0.0010 ( $\pm 0.0002$ )	0.0008	0.0013	
Cd	A	0	---	---	---	2	0.0047 ( $\pm 0.0012$ )	0.0038	0.0055	
	B	0	---	---	---	2	0.0188 ( $\pm 0.0000$ )	0.0188	0.0188	
	C	3	0.0071 ( $\pm 0.0013$ )	0.0060	0.0085	0	---	---	---	
	D	0	---	---	---	3	0.0020 ( $\pm 0.0012$ )	0.0009	0.0032	
	E	0	---	---	---	3	0.0008 ( $\pm 0.0009$ )	0.0000	0.0017	
	F	0	---	---	---	2	0.0045 ( $\pm 0.0055$ )	0.0006	0.0084	
	G	0	---	---	---	4	0.0024 ( $\pm 0.0024$ )	0.0006	0.0059	
	H	0	---	---	---	4	0.0000 ( $\pm 0.0000$ )	0.0000	0.0000	
	I	0	---	---	---	5	0.0017 ( $\pm 0.0008$ )	0.0010	0.0031	
In	A	0	---	---	---	2	0.0008 ( $\pm 0.0006$ )	0.0004	0.0012	
	B	0	---	---	---	2	0.0083 ( $\pm 0.0004$ )	0.0080	0.0021	
	C	3	0.0009 ( $\pm 0.0002$ )	0.0006	0.0010	0	---	---	---	
	D	0	---	---	---	3	0.0021	0.0006	0.0034	

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
						(±0.0014)				
	E	0	---	---	---	3	0.0016 (±0.0013)	0.0003	0.0029	
	F	0	---	---	---	2	0.0204 (±0.0284)	0.0006	0.0010	
	G	0	---	---	---	4	0.0011 (±0.0014)	0.0001	0.0032	
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	
	I	0	---	---	---	5	0.0013 (±0.0010)	0.0006	0.0028	
	Ba	A	0	---	---	---	2	20.7461 (±25.6019)	2.6428	38.8493
		B	0	---	---	---	2	5.9439 (±7.7820)	0.4412	11.4466
		C	3	0.4279 (±0.7387)	0.0014	1.2808	0	---	---	---
D		0	---	---	---	3	6.1717 (±7.9864)	0.0014	15.1922	
E		0	---	---	---	3	6.8873 (±10.6577)	0.4283	19.1886	
F		0	---	---	---	2	8.3237 (±3.7101)	5.7002	10.9471	
G		0	---	---	---	4	0.5693 (±0.6968)	0.1418	1.6025	
H		0	---	---	---	4	0.2559 (±0.1635)	0.0703	0.4606	
I		0	---	---	---	5	0.1954 (±0.1674)	0.0605	0.4713	
Tl	A	0	---	---	---	2	0.0006 (±0.0000)	0.0006	0.0006	
	B	0	---	---	---	2	0.0066 (±0.0003)	0.0064	0.0068	
	C	3	0.0012 (±0.0005)	0.0009	0.0017	0	---	---	---	
	D	0	---	---	---	3	0.0001 (±0.0017)	0.0002	0.0036	
	E	0	---	---	---	3	0.0001 (±0.0001)	0.0001	0.0002	
	F	0	---	---	---	2	0.0001 (±0.0001)	0.0000	0.0001	
	G	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0001)	0.0000	0.0001	
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	
	I	0	---	---	---	5	0.0006 (±0.0006)	0.0003	0.0016	
Pb	A	0	---	---	---	2	0.0874 (±0.0251)	0.0696	0.1051	
	B	0	---	---	---	2	0.1016 (±0.0689)	0.0529	0.1503	
	C	3	0.0347 (±0.0294)	0.0015	0.0572	0	---	---	---	
	D	0	---	---	---	3	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	
	E	0	---	---	---	3	0.0026	0.0015	0.0048	

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				個人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
						(±0.0019)			
	F	0	---	---	---	3	0.0324 (±0.0095)	0.0257	0.0391
	G	0	---	---	---	4	0.0298 (±0.0156)	0.0147	0.0483
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0345 (±0.0141)	0.0141	0.0526
Bi	A	0	---	---	---	2	0.0243 (±0.0154)	0.0134	0.0352
	B	0	---	---	---	2	0.0015 (±0.0004)	0.0012	0.0018
	C	3	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
	D	0	---	---	---	3	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012
	E	0	---	---	---	3	0.0025 (±0.0002)	0.0023	0.0027
	F	0	---	---	---	2	0.0009 (±0.0002)	0.0007	0.0010
	G	0	---	---	---	4	0.0015 (±0.0014)	0.0002	0.0035
	H	0	---	---	---	4	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000
	I	0	---	---	---	5	0.0023 (±0.0009)	0.0015	0.0039

附錄三 事業單位粉體塗裝區分事業單位 PM<sub>2.5</sub> 粉塵樣本金屬監測濃度

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) (µg/m <sup>3</sup> )	最小值 (µg/m <sup>3</sup> )	最大值 (µg/m <sup>3</sup> )	樣本數	平均值 (±標準差) (µg/m <sup>3</sup> )	最小值 (µg/m <sup>3</sup> )	最大值 (µg/m <sup>3</sup> )
Li	A	3	0.0167 (±0.0038)	0.0125	0.0200	0	---	---	---
	B	2	0.0146 (±0.0176)	0.0021	0.0270	0	---	---	---
	C	2	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021	0	---	---	---
	D	2	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021	0	---	---	---
	E	3	0.0021 (±0.0000)	0.0021	0.0021	0	---	---	---
	F	3	0.0031 (±0.0003)	0.0027	0.0033	0	---	---	---
	G	2	0.0002 (±0.0003)	0.0000	0.0004	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0031 (±0.0003)	0.0027	0.0033	0	---	---	---
B	A	3	0.0028 (±0.0000)	0.028	0.0028	0	---	---	---
	B	2	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028	0	---	---	---
	C	2	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028	0	---	---	---
	D	2	0.0028 (±0.0000)	0.0028	0.0028	0	---	---	---
	E	3	0.0202 (±0.0301)	0.0028	0.0550	0	---	---	---
	F	3	0.0238 (±0.0040)	0.0198	0.0278	0	---	---	---
	G	2	0.0260 (±0.0095)	0.0192	0.0327	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0127 (±0.0044)	0.0092	0.0176	0	---	---	---
Na	A	3	9.0701 (±7.5589)	1.8249	16.9079	0	---	---	---
	B	2	18.4635 (±26.0833)	0.0198	36.9072	0	---	---	---
	C	2	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	0	---	---	---
	D	2	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	0	---	---	---
	E	3	0.0198 (±0.0000)	0.0198	0.0198	0	---	---	---
	F	3	5.3216 (±0.8738)	4.3651	6.0779	0	---	---	---
	G	2	2.8670 (±0.2985)	2.6589	3.0810	0	---	---	---
	H	3	186.9931	168.2575	197.5181	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本			人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±16.2667)						
	I	3	3.5957 (±1.5308)	1.8754	4.8077	0	---	---	---
Mg	A	3	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	B	2	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	C	2	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	D	2	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	E	3	0.0181 (±0.0000)	0.0181	0.0181	0	---	---	---
	F	3	1.8627 (±0.5074)	1.4475	2.4283	0	---	---	---
	G	2	1.8261 (±0.1315)	1.7331	1.9191	0	---	---	---
	H	3	3.9911 (±0.4840)	3.4326	4.2883	0	---	---	---
	I	3	1.2100 (±0.1671)	1.0211	1.3383	0	---	---	---
Al	A	3	16.9431 (±26.6882)	0.6859	47.7441	0	---	---	---
	B	2	3.5158 (±3.8278)	0.8091	6.2224	0	---	---	---
	C	2	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057	0	---	---	---
	D	2	0.0057 (±0.0000)	0.0057	0.0057	0	---	---	---
	E	3	4.5535 (±6.7242)	0.0057	12.2774	0	---	---	---
	F	3	7.3443 (±5.0619)	1.6969	11.4731	0	---	---	---
	G	2	2.6138 (±0.9251)	1.9596	3.2679	0	---	---	---
	H	3	7.1481 (±3.1979)	4.5884	10.7329	0	---	---	---
	I	3	1.2742 (±0.2729)	0.9607	1.4583	0	---	---	---
K	A	3	3.9486 (±2.0009)	2.4860	6.2289	0	---	---	---
	B	2	12.5355 (±17.7038)	0.0170	25.0539	0	---	---	---
	C	2	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170	0	---	---	---
	D	2	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170	0	---	---	---
	E	3	0.0170 (±0.0000)	0.0170	0.0170	0	---	---	---
	F	3	0.7097 (±0.2347)	0.5339	0.9762	0	---	---	---
	G	2	2.0419 (±0.0086)	2.0358	2.0479	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	1.4219	0.3943	1.9762	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±0.8908)						
Ca	A	3	5.7683 (±9.9710)	0.0116	17.2818	0	---	---	---
	B	2	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	0	---	---	---
	C	2	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	0	---	---	---
	D	2	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	0	---	---	---
	E	3	0.0116 (±0.0000)	0.0116	0.0116	0	---	---	---
	F	3	4.5075 (±3.7625)	0.4132	7.8131	0	---	---	---
	G	2	0.5539 (±0.2401)	0.3841	0.7236	0	---	---	---
	H	3	0.2205 (±0.1965)	0.0000	0.3771	0	---	---	---
	I	3	0.5438 (±0.2798)	0.2207	0.7065	0	---	---	---
Cr	A	3	0.1722 (±0.0557)	0.1311	0.2356	0	---	---	---
	B	2	0.1561 (±0.0590)	0.1143	0.1978	0	---	---	---
	C	2	0.1387 (±0.0769)	0.0843	0.1930	0	---	---	---
	D	2	0.1249 (±0.0517)	0.0883	0.1614	0	---	---	---
	E	3	0.1378 (±0.0235)	0.1155	0.1623	0	---	---	---
	F	3	0.3131 (±0.0245)	0.2973	0.3414	0	---	---	---
	G	2	0.4136 (±0.0576)	0.3728	0.4543	0	---	---	---
	H	3	0.2594 (±0.0299)	0.2300	0.2898	0	---	---	---
	I	3	0.4057 (±0.0668)	0.3631	0.4827	0	---	---	---
Mn	A	3	6.7470 (±11.1310)	0.0109	19.5949	0	---	---	---
	B	2	0.0109 (±0.0000)	0.0109	0.0109	0	---	---	---
	C	2	0.0109 (±0.0000)	0.0109	0.0109	0	---	---	---
	D	2	0.0070 (±0.0056)	0.0030	0.0109	0	---	---	---
	E	3	0.0239 (±0.0239)	0.0088	0.0514	0	---	---	---
	F	3	0.1446 (±0.0256)	0.1240	0.1732	0	---	---	---
	G	2	0.0434 (±0.0078)	0.0378	0.0489	0	---	---	---
	H	3	0.0635 (±0.0111)	0.0510	0.0721	0	---	---	---
	I	3	0.0252 (±0.0087)	0.0169	0.0343	0	---	---	---
Fe	A	3	13.7692	1.1369	38.5776	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本				人暴露監測樣本			
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±21.4859)						
	B	2	0.4149 (±0.5829)	0.0027	0.8270	0	---	---	---
	C	2	0.0027 (±0.0000)	0.0027	0.0027	0	---	---	---
	D	2	0.0027 (±0.0000)	0.0027	0.0027	0	---	---	---
	E	3	8.3146 (±5.4952)	4.4146	14.5993	0	---	---	---
	F	3	15.2156 (±6.4153)	9.3475	22.0650	0	---	---	---
	G	2	1.4798 (±0.2422)	1.3085	1.6510	0	---	---	---
	H	3	5.1477 (±2.6814)	2.1095	7.1831	0	---	---	---
	I	3	1.8730 (±0.5708)	1.4001	2.5071	0	---	---	---
Co	A	3	0.0136 (±0.0215)	0.0005	0.0384	0	---	---	---
	B	2	0.0018 (±0.0017)	0.0006	0.0030	0	---	---	---
	C	2	0.0010 (±0.0000)	0.0010	0.0010	0	---	---	---
	D	2	0.0376 (±0.0517)	0.0010	0.0741	0	---	---	---
	E	3	0.0008 (±0.0005)	0.0004	0.0014	0	---	---	---
	F	3	0.0031 (±0.0009)	0.0023	0.0040	0	---	---	---
	G	2	0.0009 (±0.0001)	0.0008	0.0009	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0010 (±0.0003)	0.0007	0.0012	0	---	---	---
Ni	A	3	0.0792 (±0.1130)	0.0015	0.2088	0	---	---	---
	B	2	0.1350 (±0.1887)	0.0015	0.2684	0	---	---	---
	C	2	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	0	---	---	---
	D	2	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	0	---	---	---
	E	3	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	0	---	---	---
	F	3	0.0337 (±0.0080)	0.0275	0.00427	0	---	---	---
	G	2	0.0225 (±0.0056)	0.0185	0.0264	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0961 (±0.0386)	0.0524	0.1253	0	---	---	---
Cu	A	3	0.1269 (±0.2175)	0.0013	0.3780	0	---	---	---
	B	2	0.0714	0.0013	0.1414	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本			人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±0.0991)						
	C	2	0.0617 (±0.0854)	0.0013	0.1221	0	---	---	---
	D	2	0.2720 (±0.1964)	0.1331	0.4109	0	---	---	---
	E	3	0.2114 (±0.0330)	0.1821	0.2471	0	---	---	---
	F	3	0.0930 (±0.0155)	0.0751	0.1024	0	---	---	---
	G	2	0.0466 (±0.0142)	0.0365	0.0566	0	---	---	---
	H	3	0.0446 (±0.0772)	0.0000	0.1337	0	---	---	---
	I	3	0.0472 (±0.0078)	0.0410	0.0559	0	---	---	---
	Zn	A	3	4.1510 (±3.1485)	1.5094	7.6350	0	---	---
B		2	1.4067 (±1.4523)	0.3797	2.4336	0	---	---	---
C		2	0.0013 (±0.0000)	0.0013	0.0013	0	---	---	---
D		2	0.0013 (±0.0000)	0.0013	0.0013	0	---	---	---
E		3	4.4605 (±0.6941)	3.7009	5.0617	0	---	---	---
F		3	1.3741 (±0.2176)	1.1372	1.5652	0	---	---	---
G		2	0.5968 (±0.2603)	0.4127	0.7808	0	---	---	---
H		3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
I		3	0.3757 (±0.1847)	0.2271	0.5825	0	---	---	---
Ga	A	3	0.0046 (±0.0059)	0.0012	0.0115	0	---	---	---
	B	2	0.0029 (±0.0014)	0.0016	0.0039	0	---	---	---
	C	2	0.0010 (±0.0000)	0.0010	0.0010	0	---	---	---
	D	2	0.0007 (±0.0004)	0.0004	0.0010	0	---	---	---
	E	3	0.0016 (±0.0013)	0.0003	0.0029	0	---	---	---
	F	3	0.0022 (±0.0010)	0.0011	0.0029	0	---	---	---
	G	2	0.0015 (±0.0001)	0.0014	0.0015	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0015 (±0.0003)	0.0012	0.0017	0	---	---	---
Sr	A	3	7.1945 (±11.4933)	0.0012	20.4497	0	---	---	---
	B	2	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
	C	2	0.0012	0.0012	0.0012	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本			人暴露監測樣本					
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			(±0.0000)							
	D	2	0.9305 (±1.3142)	0.0012	1.8597	0	---	---	---	
	E	3	0.0336 (±0.0561)	0.0012	0.0984	0	---	---	---	
	F	3	0.7716 (±0.6572)	0.0406	1.3135	0	---	---	---	
	G	2	0.0179 (±0.0039)	0.0151	0.0206	0	---	---	---	
	H	3	0.2658 (±0.2352)	0.0055	0.4630	0	---	---	---	
	I	3	0.2637 (±0.2222)	0.0105	0.4260	0	---	---	---	
	Ag	A	3	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
		B	2	0.0046 (±0.0037)	0.0020	0.0072	0	---	---	---
C		2	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---	
D		2	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---	
E		3	0.0022 (±0.0017)	0.0012	0.0042	0	---	---	---	
F		3	0.0011 (±0.0003)	0.0007	0.0013	0	---	---	---	
G		2	0.0002 (±0.0000)	0.0002	0.0002	0	---	---	---	
H		3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---	
I		3	0.0009 (±0.0001)	0.0008	0.0009	0	---	---	---	
Cd	A	3	0.0155 (±0.0126)	0.0066	0.0300	0	---	---	---	
	B	2	0.0023 (±0.0017)	0.0011	0.0035	0	---	---	---	
	C	2	0.0009 (±0.0000)	0.0009	0.0009	0	---	---	---	
	D	2	0.0009 (±0.0000)	0.0009	0.0009	0	---	---	---	
	E	3	0.0010 (±0.0002)	0.0008	0.0011	0	---	---	---	
	F	3	0.0016 (±0.0006)	0.0010	0.0021	0	---	---	---	
	G	2	0.0011 (±0.0006)	0.0007	0.0015	0	---	---	---	
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---	
	I	3	0.0026 (±0.0016)	0.0010	0.0041	0	---	---	---	
In	A	3	0.0073 (±0.0114)	0.0004	0.0204	0	---	---	---	
	B	2	0.0015 (±0.0012)	0.0006	0.0023	0	---	---	---	
	C	2	0.0010 (±0.0000)	0.0010	0.0010	0	---	---	---	
	D	2	0.0010	0.0010	0.0010	0	---	---	---	

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本			人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±0.0000)						
	E	3	0.0049 (±0.0070)	0.0007	0.0129	0	---	---	---
	F	3	0.0006 (±0.0004)	0.0002	0.0010	0	---	---	---
	G	2	0.0005 (±0.0003)	0.0003	0.0007	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0009 (±0.0003)	0.0006	0.0011	0	---	---	---
Ba	A	3	510.2574 (±810.9247)	1.1229	1445.4019	0	---	---	---
	B	2	0.2227 (±0.0523)	0.1857	0.2597	0	---	---	---
	C	2	0.0014 (±0.0000)	0.0014	0.0014	0	---	---	---
	D	2	59.3210 (±83.8906)	0.0014	1118.6406	0	---	---	---
	E	3	2.9417 (±3.3949)	0.5707	6.8307	0	---	---	---
	F	3	40.2611 (±35.4060)	1.4788	70.8566	0	---	---	---
	G	2	0.1162 (±0.0555)	0.0769	0.1554	0	---	---	---
	H	3	13.0506 (±11.1491)	0.6776	22.3169	0	---	---	---
	I	3	16.5327 (±14.2134)	0.3254	26.8751	0	---	---	---
Tl	A	3	0.0002 (±0.0006)	0.0002	0.0003	0	---	---	---
	B	2	0.0013 (±0.0011)	0.0005	0.0021	0	---	---	---
	C	2	0.0014 (±0.0000)	0.0014	0.0014	0	---	---	---
	D	2	0.0014 (±0.0000)	0.0014	0.0014	0	---	---	---
	E	3	0.0007 (±0.0007)	0.0000	0.0014	0	---	---	---
	F	3	0.0000 (±0.0001)	0.0000	0.0001	0	---	---	---
	G	2	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0003 (±0.0001)	0.0002	0.0003	0	---	---	---
Pb	A	3	0.0830 (±0.0212)	0.0646	0.1062	0	---	---	---
	B	2	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	0	---	---	---
	C	2	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	0	---	---	---
	D	2	0.0015 (±0.0000)	0.0015	0.0015	0	---	---	---
	E	3	0.0065	0.0015	0.0164	0	---	---	---

金屬名稱	事業單位編號	區域採樣監測樣本			人暴露監測樣本				
		樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	樣本數	平均值 (±標準差) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最小值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	最大值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
			(±0.0086)						
	F	3	0.0502 (±0.0073)	0.0426	0.0572	0	---	---	---
	G	2	0.0188 (±0.0047)	0.0154	0.0221	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0227 (±0.0215)	0.0079	0.0473	0	---	---	---
Bi	A	3	0.0095 (±0.0015)	0.0081	0.0111	0	---	---	---
	B	2	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
	C	2	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
	D	2	0.0012 (±0.0000)	0.0012	0.0012	0	---	---	---
	E	3	0.0024 (±0.0005)	0.0019	0.0029	0	---	---	---
	F	3	0.0014 (±0.0014)	0.0006	0.0031	0	---	---	---
	G	2	0.0010 (±0.0002)	0.0008	0.0011	0	---	---	---
	H	3	0.0000 (±0.0000)	0.0000	0.0000	0	---	---	---
	I	3	0.0025 (±0.0011)	0.0014	0.0036	0	---	---	---

# 附錄四 結晶型二氧化矽樣本分析結果

## A 廠 (個人採樣、原料)

地址：台中市北區學士路 91 號  
 委託單位：長榮大學作業環境監測  
 樣品接受日期：107.07.05  
 分析日期：107.07.10

電話：(04)22053366-6103  
 分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481  
 樣品名稱：20180628001  
 樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
收件區( ) 鱗矽石 方矽石 石英	0.09	ND ND ND	0.93	ND	5.00	R*
粉體室( ) 鱗矽石 方矽石 石英	0.25	ND ND ND	0.95	ND	5.00	R*
粉體粉末原料				ND		

備註：N.D.為 non-detect；T\*為總粉塵；R\*為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$ 光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm $\phi$ 、方矽石 0.03 mg/25mm $\phi$ 、鱗矽石 0.04 mg/25mm $\phi$ 。



收件區( )



粉體室( )



粉體粉末原料

實驗室負責人：

*(Handwritten signature)*

B 廠 (個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481

樣品接受日期：107.07.26

樣本名稱：20180717001

分析日期：107.07.27

樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
收件區( )						
鱗矽石	0.09	ND	0.93	ND	5.00	R*
方矽石		ND				
石英		ND				
粉體作業區( )						
鱗矽石	0.25	ND	0.95	ND	5.00	R*
方矽石		ND				
石英		ND				

備註：N.D.為 non-detect；T\*為總粉塵；R\*為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$ 光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm  $\phi$ 、方矽石 0.03 mg/25mm  $\phi$ 、鱗矽石 0.04 mg/25mm  $\phi$ 。



收件區( )



粉體作業區( )

實驗室負責人：

郭錦堂

C 廠 (個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號  
 委託單位：長榮大學作業環境監測  
 樣品接受日期：107.08.03  
 分析日期：107.08.08

電話：(04)22053366-6103  
 分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481  
 樣本名稱：20180719001  
 樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
掛件區						
鱗矽石	0.12	ND	0.93	ND	1.00	R*
方矽石		ND				
石英		ND				
粉體作業區						
鱗矽石	0.25	ND	0.99	ND	1.00	R*
方矽石		ND				
石英		ND				

備註：N.D. 為 non-detect；T\* 為總粉塵；R\* 為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/γ 光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm φ、方矽石 0.03 mg/25mm φ、鱗矽石 0.04 mg/25mm φ。



掛件區( )



粉體作業區( )

實驗室負責人：郭錦堂

D 廠 (個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481

樣品接受日期：107.08.03

樣本名稱：20180724001

分析日期：107.08.08

樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
粉體作業區 ( )	0.54	ND	0.95	ND	1.00	R*
鱗矽石		ND				
方矽石		ND				
石英						

備註：N.D.為 non-detect；T\*為總粉塵；R\*為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/γ 光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm φ、方矽石 0.03 mg/25mm φ、鱗矽石 0.04 mg/25mm φ。



粉體作業區( )

實驗室負責人：郭錦堂

E 廠 (個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481

樣品接受日期：107.08.17

樣本名稱：20180802001

分析日期：107.08.21

樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	備註
粉體作業區 ( )		ND				
鱗砂石	0.80	ND	0.97	ND	1.00	R*
方砂石		ND				
石英						

備註：N.D. 為 non-detect；T\* 為總粉塵；R\* 為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$  光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm $\phi$ 、方砂石 0.03 mg/25mm $\phi$ 、鱗砂石 0.04 mg/25mm $\phi$ 。



粉體作業區( )

實驗室負責人：郭錦堂

報告頁數共 04 頁第 01 頁

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：JIS A1481-1，JIS A1481-2

樣品接受日期：107.08.13

樣本名稱：粉體粉末原料

分析日期：107.08.21

樣本儲存期限：穩定

檢測結果：

結果

- |           |    |           |
|-----------|----|-----------|
| 1. 黑色粉體粉末 | 未含 | 結晶型游離二氧化矽 |
| 2. 紅色粉體粉末 | 未含 | 結晶型游離二氧化矽 |
| 3. 銀色粉體粉末 | 未含 | 結晶型游離二氧化矽 |
| 4. 橘色粉體粉末 | 未含 | 結晶型游離二氧化矽 |

實驗室負責人：

郭錦堂



寄達樣品共四件

註：黑色為 B 廠原料；紅色為 C 廠原料；銀色為 D 廠原料；橘色為 E 廠原料。  
F 廠（個人採樣）

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481

樣品接受日期：107.10.02

樣本名稱：20180920001

分析日期：107.10.03

樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比(%)	採樣體積(m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度(mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
粉體作業區 (陳國文)		ND				
鱗砂石	2.30	ND	1.14	ND	1.00	R*
方砂石		ND				
石英						

備註：N.D.為 non-detect；T\*為總粉塵；R\*為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$ 光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm $\phi$ 、方砂石 0.03 mg/25mm $\phi$ 、鱗砂石 0.04 mg/25mm $\phi$ 。



粉體作業區( )

實驗室負責人：郭錦堂

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：JIS A1481-1, JIS A1481-2

樣品接受日期：107.10.02

樣本名稱：粉體粉末原料

分析日期：107.10.03

樣本儲存期限：穩定

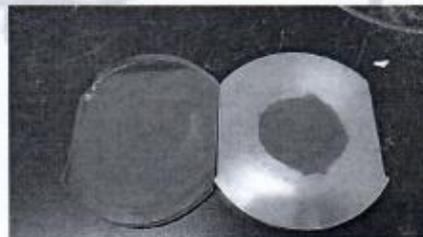
檢測結果：

結果

1. 紫色粉體粉末 未含 結晶型游離二氧化矽

實驗室負責人：

郭錦堂



紫色粉體粉末

G 廠 原料(個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481

樣品接受日期：107.11.26

樣本名稱：20181116001

分析日期：107.11.27

樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
粉體作業區 ( )		ND				
矽砂石	0.09	ND	1.18	ND	1.00	R*
方矽石		ND				
石英						

備註：N.D.為 non-detect；T\*為總粉塵；R\*為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$  光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm $\phi$ 、方矽石 0.03 mg/25mm $\phi$ 、矽砂石 0.04 mg/25mm $\phi$ 。



粉體作業區( )

實驗室負責人：

*郭錦堂*

H 廠 (個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481

樣品接受日期：107.11.26

樣本名稱：20181121001

分析日期：107.11.27

樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
粉體作業區 ( )		ND				
矽砂石	0.17	ND	1.11	ND	1.00	R*
方砂石		ND				
石英						

備註：N.D.為 non-detect；T\*為總粉塵；R\*為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$  光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm $\phi$ 、方砂石 0.03 mg/25mm $\phi$ 、矽砂石 0.04 mg/25mm $\phi$ 。



粉體作業區( )

實驗室負責人：

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：JIS A1481-1，JIS A1481-2

樣品接受日期：107.11.26

樣本名稱：粉體粉末原料透明、黑色

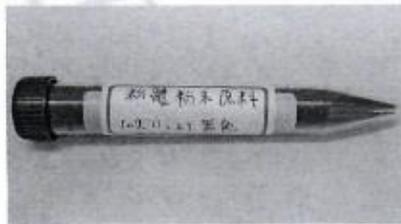
分析日期：107.11.27

樣本儲存期限：穩定

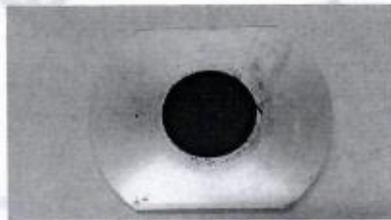
檢測結果：

	結果
1. 黑色粉體粉末	未含 結晶型游離二氧化矽 含有碳酸鈣
2. 透明粉體粉末	未含 結晶型游離二氧化矽

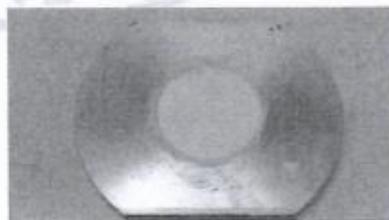
實驗室負責人：郭錦堂



黑色粉體粉末



透明粉體粉末



註：黑色為 H 廠原料；透明為 G 廠原料。

I 廠 (個人採樣)

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號  
 委託單位：長榮大學作業環境監測  
 樣品接受日期：107.12.06  
 分析日期：107.12.07

電話：(04)22053366-6103  
 分析方法：CLA4003, 4004, JIS A1481  
 樣本名稱：20181204001  
 樣本儲存期限：穩定

樣品編號	粉塵重量(mg)	SiO <sub>2</sub> 含量百分比 (%)	採樣體積 (m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub> 粉塵濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	法規容許濃度(mg/m <sup>3</sup> )	備註
粉體作業區 (杜俊顯)		ND				
鱗矽石	0.06	ND	1.10	ND	1.00	R*
方矽石		ND				
石英						

備註：N.D. 為 non-detect；T\* 為總粉塵；R\* 為可呼吸性粉塵

本分析方法依據第一種粉塵，第二種粉塵(可呼吸性粉塵 CLA4003，總粉塵 CLA 4004)，及日本 JIS A1481/ $\chi$  光繞射分析方法(XRD)進行定性定量分析。

LOQ：石英 0.03mg/25mm $\phi$ 、方矽石 0.03 mg/25mm $\phi$ 、鱗矽石 0.04 mg/25mm $\phi$ 。



粉體作業區( )

實驗室負責人：郭錦堂

中國醫藥大學 公共衛生學系 郭錦堂研究室

地址：台中市北區學士路 91 號

電話：(04)22053366-6103

委託單位：長榮大學作業環境監測

分析方法：JIS A1481-1, JIS A1481-2

樣品接受日期：107.12.06

樣本名稱：粉體粉末原料-黃色

分析日期：107.12.07

樣本儲存期限：穩定

檢測結果：

結果

1. 紫色粉體粉末 未含 結晶型游離二氧化矽

實驗室負責人：

郭錦堂



黃紫色粉體粉末

國家圖書館出版品預行編目資料

粉體靜電塗裝作業職業衛生法規暨通風工程介入評估研究 / 戴聿彤等著. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民 108.06  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-05-9101-9(平裝)

1. 勞工衛生 2. 職業衛生

412.53

108006600

粉體靜電塗裝作業職業衛生法規暨通風工程介入評估研究  
著(編、譯)者: 戴聿彤、吳俊德、陳婕煒、彭君傑、鐘順輝

出版機關: 勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號  
電話: 02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月: 中華民國 108 年 6 月

版(刷)次: 1 版 1 刷

定價: 500 元

展售處:

五南文化廣場  
台中市區中山路 6 號  
電話: 04-22260330

國家書店松江門市  
台北市松江路 209 號 1 樓  
電話: 02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「研究成果／各年度研究報告」，網址為：  
<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 1010801229

ISBN: 978-986-05-9101-9



勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號

電話：(02) 26607600

傳真：(02) 26607732

網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-05-9101-9



00500

GPN:1010801229

定價：新台幣500元