

# 樹脂製造業化學桶槽之人工投料 危害暴露評估及介入控制研究

A Study of Hazard Exposure Assessment and Intervention  
Control for Manual Material Feeding of Chemical Tanks in  
Resin Manufacturing Industry

ILOSH



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



樹脂製造業化學桶槽之人工投料危害暴  
露評估及介入控制研究

**A Study of Hazard Exposure  
Assessment and Intervention Control  
for Manual Material Feeding of  
Chemical Tanks in Resin  
Manufacturing Industry**

# 樹脂製造業化學桶槽之人工投料危害暴露評估及介入控制研究

## **A Study of Hazard Exposure Assessment and Intervention Control for Manual Material Feeding of Chemical Tanks in Resin Manufacturing Industry**

研究主持人：鐘順輝、吳俊德

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 109 年 1 月 1 日至 109 年 12 月 31 日

**\*本研究報告公開予各單位參考\***  
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
中華民國 110 年 6 月



## 摘 要

本研究對樹脂製造業現場人工投料至化學桶槽之作業現場危害暴露進行調查、及投料控制措施評估及改善提出建議，以解決投料時粉體及桶槽化學蒸氣或氣體逸散至作業現場環境問題，保障勞工健康權利。

對 10 家樹脂製造工廠之揮發性有機化合物(VOCs)和粉塵環境監測共收集 56 個勞工個人和 99 個區域採樣樣本，結果發現：18 種揮發性有機化合物 8-hr TWA 暴露監測濃度均低於我國職業容許暴露標準值的 1/10，總粉塵和可呼吸性粉塵 8-hr TWA 暴露監測濃度也低於容許暴露標準值的 1/10；僅有一個可呼吸性粉塵短時間暴露監測濃度有高於 1/3 容許暴露標準值的情形，顯示樹脂製造業作業勞工個人揮發性有機化合物和總粉塵 8-hr TWA 暴露監測濃度符合我國法令規定。在正常工作天，人工投料作業頻率每批次製程可能只執行一次且作業時間大部分少於 1 小時，但仍無法排除在人工投料作業時出現短時間高濃度暴露情況。

透過 CFD (computational fluid dynamics)模擬，開發出適用於化學桶槽人工投料作業的環狀側吸式局部排氣裝置；並以 FDS(Fire Dynamics Simulator)模擬該裝置，模擬結果顯示：對氣體污染物於投料口中心風速應達 0.2 m/s 以上、及對 5 和 10  $\mu\text{m}$  粒狀污染物於投料口中心風速應控制在 0.38 m/s 以上，兩者污染物其捕集效率可接近 100%；對模擬結果進行設計與實體模型製作，以 VOCs 逸散有害物質為主的作業現場，將此裝置實體於現場作業環境改善，並利用光離子氣體偵測器(PID)進行 VOCs 濃度監測，結果發現：在投料口 100 cm 內，即作業人員周遭可能的暴露帶，經此局部排氣裝置介入改善後，至少有 91.55%效果，此結果與當初設計與模擬下所設定至少有 90%以上捕集效果相符，其中投料口中心離開口 30 cm 處的風速約為 0.11 m/s，對應捕集效率實測值 96.30~91.55%之間，該結果與模擬結果類似。最後，期望本研究成果對樹脂製造業化學桶槽人工投料作業勞工有害物暴露所造成的健康危害風險能有效降低。

關鍵詞：樹脂製造業、化學桶槽、空氣採樣、揮發性有機化合物、粉塵、暴露測定、通風效能、通風控制。

## Abstract

This study is aimed at the hazard exposures survey for operation of manual feeding chemicals into tanks and to provide recommendations of the assessment and improvement of feeding control measures, and further to solve the problem of powder and tank chemical vapor or gases escaping to the job site during feeding in the resin manufacturing industry. Also, it provides protection workers' health rights.

A total of 56 personal exposure and 99 area fixed-point VOC, and dust samples were collected from 10 resin manufacturing factories. The quantification results of the VOC samples shows that the 8-hr TWA exposure concentrations of all 18 VOCs were less than one-tenth of their corresponding permissible exposure limits; the measured 8-hr TWA exposure concentrations of both total and respirable dusts were also less than one-tenth of their corresponding permissible exposure limits. There was one short-term time-weighted exposure concentration of respirable dust higher than one-third of its corresponding permissible exposure limit. All of these results indicated that the workers' exposure to hazardous agents in the resin manufacturing factories complies with the regulations of our country. However, short-term high-concentration exposure could not be ruled out in the manual feeding operations. Even though the frequency of the manual feeding operation was on a normal working day, it might only be performed once and mostly take less than 1 hour.

Through CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation, a ring-shaped side-drawing local exhaust device suitable for manual material feeding of chemical tanks had been developed and FDS(Fire Dynamics Simulator) was used to simulate it. The simulation results demonstrated that the wind speed at the center of the feed port be recommended above 0.2 m/s for gaseous pollutants, and above 0.38 m/s for 5 and 10  $\mu\text{m}$  granular pollutants, respectively. The collection efficiency could reach almost 100%. A real model of the local exhaust ventilation was made and tested in a work site with main exposure to VOCs. During the testing of the real solid model of the local exhaust ventilation, a PID was used for VOCs concentration monitoring. The results found that within 100 cm of the feeding port, that is, the possible exposure zone around the operators, after the designed local exhaust intervention was introduced, results in at least 91.55% of the collection efficiency being achieved. This result was consistent with the original setting of the collection efficiency of at least 90%. The wind speed at 30 cm from the center of the feeding port was about 0.11 m/s, which corresponded to

the measured capture efficiency between 96.30 and 91.55%. This result was similar to the aforementioned simulation findings. Finally, it is expected that the results of this study can effectively reduce the risk of adverse effects due to the exposure to hazardous agents in the chemical tanks of the resin manufacturing factories.

Key Words: Resin manufacturing industries, Chemical tanks, Volatile organic compounds, Dust, Exposure measurement, Ventilation performance, Ventilation control.

# 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
第二節 目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
第一節 樹脂製造業製程.....	3
第二節 樹脂製造業有害物質暴露.....	4
第三節 樹脂製造業有害物質暴露健康危害.....	13
第四節 樹脂製造業暴露控制與管理.....	16
第三章 研究方法.....	19
第一節 化學桶槽人工投料作業現場訪視.....	19
第二節 化學桶槽人工投料作業環境與勞工有害物暴露評估.....	22
第三節 化學桶槽人工投料作業通風設施檢測與評估.....	27
第四章 結果與討論.....	32
第一節 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業工廠作業環境基準資料.....	32
第二節 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業工廠有害物暴露監測.....	40
第三節 化學桶槽人工投料作業工廠作業通風設施檢測.....	58
第四節 化學桶槽之人工投料作業通風介入改善.....	93
第五節 化學桶槽之人工投料作業安全衛生防護措施.....	110
第五章 結論與建議.....	114
第一節 結論.....	114
第二節 建議.....	115
後記.....	116

參考文獻.....	117
-----------	-----

# 圖目次

圖 1 通風設施性能檢測評估流程 .....	29
圖 2 評估與設計流程規劃 .....	31
圖 3 A 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃 .....	32
圖 4 B 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	33
圖 5 C 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	34
圖 6 D 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	34
圖 7 E 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	35
圖 8 F 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	37
圖 9 G 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	37
圖 10 H 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	38
圖 11 I 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	39
圖 12 J 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃 .....	40
圖 13 樹脂製造業化學桶槽作業 Marple 分徑採樣各階層粉塵質量濃度 .....	53
圖 14 樹脂製造業各廠化學桶槽人工投料作業期間直讀式粉塵計量測總粒數濃度 .....	57
圖 15 各廠化學桶槽人工投料作業期間直讀式粉塵計量測粒數濃度粒徑分布圖 .....	57
圖 16 A 廠投料作業區現場示意圖 .....	59
圖 17 A 廠充填包裝作業區現場示意圖 .....	59
圖 18 A 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	60
圖 19 A 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	60
圖 20 B 廠投料作業區現場示意圖 .....	61
圖 21 B 廠充填包裝作業區現場示意圖 .....	62

圖 22 B 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	62
圖 23 B 廠投料作業區氣罩開口風速分布圖 .....	62
圖 24 B 廠投料作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖 .....	63
圖 25 B 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	63
圖 26 C 廠投料作業區現場示意圖 .....	65
圖 27 C 廠充填包裝作業區現場示意圖 .....	65
圖 28 C 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	66
圖 29 C 廠投料作業區環境氣流方向 .....	66
圖 30 C 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	67
圖 31 C 廠甲充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖 .....	67
圖 32 C 廠甲充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖 .....	67
圖 33 C 廠丙充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖 .....	68
圖 34 C 廠丙充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖 .....	68
圖 35 D 廠投料作業區現場示意圖 .....	70
圖 36 D 廠充填包裝作業區現場示意圖 .....	70
圖 37 D 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	71
圖 38 D 廠投料作業區環境氣流方向 .....	71
圖 39 D 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	72
圖 40 D 廠 3 號桶槽充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖 .....	72
圖 41 D 廠 3 號桶槽充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖 .....	73
圖 42 D 廠 4 號桶槽充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖 .....	73
圖 43 D 廠 4 號桶槽充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖 .....	73
圖 44 E 廠投料作業區與充填包裝區現場示意圖 .....	75

圖 45 E 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果.....	75
圖 46 E 廠 41 號桶槽投料作業區氣罩風速測定結果.....	76
圖 47 E 廠 42 號桶槽投料作業區氣罩風速測定結果.....	76
圖 48 E 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果.....	77
圖 49 E 廠 43 號桶槽充填包裝作業區氣罩風速測定結果.....	77
圖 50 F 廠投料與充填包裝作業區現場示意圖.....	78
圖 51 F 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果.....	79
圖 52 F 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果.....	79
圖 53 G 廠投料、充填與裁切包裝作業區現場示意圖 .....	80
圖 54 G 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	81
圖 55 G 廠投料作業區氣罩開口風速分布圖 .....	81
圖 56 G 廠投料作業區距氣罩下 10cm 之開口風速分布圖 .....	81
圖 57 G 廠充填作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	82
圖 58 H 廠投料與充填包裝作業區現場示意圖 .....	83
圖 59 H 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	84
圖 60 H 廠投料作業區環境氣流方向 .....	84
圖 61 H 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	85
圖 62 H 廠充填包裝作業區環境氣流方向 .....	86
圖 63 I 廠投料作業區現場示意圖.....	87
圖 64 I 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果.....	87
圖 65 I 廠 4 號反應槽投料作業區投料口開口面風速測定結果.....	88
圖 66 I 廠 5 號反應槽投料作業區投料口開口面風速測定結果.....	88
圖 67 J 廠酚醛樹脂投料作業區現場示意圖 .....	90



圖 68 J 廠特殊材料充填包裝、投料作業區現場示意圖 .....	90
圖 69 J 廠酚醛樹脂投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	91
圖 70 J 廠酚醛樹脂投料作業區環境氣流方向 .....	91
圖 71 J 廠特殊材料投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	91
圖 72 J 廠特殊材料投料作業區環境氣流方向 .....	92
圖 73 J 廠特殊材料 2 號桶槽充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	92
圖 74 J 廠特殊材料 5 號桶槽充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果 .....	92
圖 75 FDS 與 Smokeview 組織架構流程圖 .....	94
圖 76 環繞投料口 180 度抽排氣示意圖 .....	95
圖 77 環繞投料口 270 度進行抽排氣示意圖 .....	96
圖 78 氣罩尺寸設計平面圖 .....	96
圖 79 氣罩尺寸立體示意圖 .....	97
圖 80 FDS 模型建置情形 .....	97
圖 81 抽氣風管 10 m/s 之風速模擬結果 .....	98
圖 82 捕集範圍(風速設定 0.2 m/s 狀況下) .....	98
圖 83 氣罩設置開孔面板、抽氣風管 10 m/s 之風速模擬結果 .....	99
圖 84 氣罩設置開孔面板之捕集範圍(風速設定 0.2 m/s 狀況下) .....	99
圖 85 抽氣風管 5 m/s 之風速模擬結果 .....	100
圖 86 抽氣風管 15 m/s 之風速模擬結果 .....	100
圖 87 抽氣風管 20 m/s 之風速模擬結果 .....	101
圖 88 抽氣管管內風速與投料口中心風速關係圖 .....	101
圖 89 風管風速為 5 m/s(投料口中心捕集風速 0.09 m/s)丙酮蒸氣捕集模擬結果 .....	102
圖 90 風管風速為 10 m/s(投料口中心捕集風速 0.2 m/s)丙酮蒸氣捕集模擬結果 .....	103

圖 91 FDS 模擬粉塵揚起位置.....	103
圖 92 風管風速為 10 m/s(投料口中心風速 0.2 m/s) 之 5 $\mu\text{m}$ 粉塵捕集模擬結果 .....	104
圖 93 風管風速為 15 m/s(投料口中心風速 0.27 m/s) 5 $\mu\text{m}$ 粉塵捕集模擬結果 .....	104
圖 94 風管風速為 20 m/s(投料口中心風速 0.38 m/s) 5 $\mu\text{m}$ 粉塵捕集模擬結果 .....	105
圖 95 風管風速為 10 m/s(投料口中心風速 0.2 m/s) 10 $\mu\text{m}$ 粉塵捕集模擬結果 .....	105
圖 96 風管風速為 15 m/s(投料口中心風速 0.27 m/s) 10 $\mu\text{m}$ 粉塵捕集模擬結果 .....	106
圖 97 風管風速為 20 m/s(投料口中心風速 0.38 m/s) 之 10 $\mu\text{m}$ 粉塵捕集模擬結果 ...	106
圖 98 環狀側吸式局部排氣裝置設計圖 .....	107
圖 99 環狀側吸式局部排氣裝置實體成品 .....	107
圖 100 環狀側吸式局部排氣裝置可抽取式開口 .....	108
圖 101 環狀側吸式局部排氣裝置介入改善結果比較 .....	110

# 表目次

表 1 國內樹脂製造業主要使用的有害物質 .....	8
表 2 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業有害物暴露現況調查表 .....	20
表 3 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業有害物暴露採樣測定工作者工作紀錄表 .....	21
表 4 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業揮發性有機化合物測定濃度 .....	44
表 5 樹脂製造業化學桶槽作業區分粉塵類型測定濃度 .....	49
表 6 樹脂製造業化學桶槽作業區分作業項目總粉塵測定濃度 .....	51
表 7 樹脂製造業化學桶槽作業區域定點 Marple 分徑採樣測定結果 .....	52
表 8 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業直讀式儀器 VOCs 即時測定濃度 .....	55
表 9 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業直讀式粉塵計即時測定分徑粒數濃度 .....	56
表 10 環狀側吸式局部排氣裝置實場介入改善結果比較 .....	109
表 11 環狀側吸式局部排氣裝置實場介入改善開口面與前方不同距離風速結果 .....	109



# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

樹脂製造業根據我國行政院主計總處於 2016 年第 10 次修訂的「行業標準分類」，分類編號屬於 C 大類---製造業、18 中類---化學原材料、肥料、氮化合物、塑橡膠原料及人造纖維製造業、184 小類---塑膠及合成橡膠原料製造業、1841 細類---塑膠原料製造業，指”從事塑膠原料製造之行業，如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚醋酸乙烯、酚醛樹脂、環氧樹脂、醇酸樹脂、聚酯樹脂、矽樹脂、離子交換樹脂等製造；纖維素及其化學衍生物製造亦歸入本類[1]，在其行業名稱及定義下所列舉的主要經濟活動，涵蓋許多樹脂製造，如：呋喃樹脂(furan resin)製造、矽酮樹脂(silicone resin)製造、氟碳樹脂(fluorocarbon resin)製造、聚酯樹脂(polyester resin)製造、醇酸樹脂(alkyd resin)製造、三聚氰胺樹脂(melamine resin)製造、尿素甲醛樹脂(urea formaldehyde resin)製造、離子交換樹脂(ion-exchange resin)製造、不飽和聚酯樹脂(unsaturated polyester resin)製造、酚醛樹脂(phenolic resin)製造、馬林酞樹脂(maleic acid resin)製造、環氧樹脂(epoxy resin)製造、聚乙烯醇樹脂(polyvinyl alcohol resin)製造等。此說明我國樹脂製造業包含多種不同類型的樹脂製造，製程所使用原料可能存在相當的差異。

在樹脂製造業工業生產製造過程中，化學桶槽常做為製程所使用化學品儲存、預混合、原料進料、原料混合、投料、反應、包裝等作業程序的儲槽和反應槽。由於化工程序與控制技術的進步，連續式生產製程已逐漸取代傳統的批次式(batch-type)製程，但仍有一些產業受限於規模，依然以人工方式於化學桶槽進行原料預混合、進料投料、混合、包裝等作業，勞工在進行這些作業時，可能暴露到有害物質。國內過去對於使用化學桶槽相關製造業，包括：樹脂製造業[2][3]、塗料製造業[4]、氯丁橡膠樹脂接著劑製造[5]等，進行職業衛生多種有機溶劑暴露控制改善輔導，並獲得相當的輔導成效。但使用化學桶槽相關製造業的有害物質暴露，不只有多種有機溶劑，還有粉塵暴露問題，例如：在氯丁橡膠樹脂接著劑的製程中會投入氧化鎂(MgO)和氧化鋅(ZnO)兩種粉狀原料[5]、在生產環氧樹脂工廠的預混合作業過程中加入非結晶型二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)和碳酸鈣(CaCO<sub>3</sub>)粉狀原料[3]等，可是過去的輔導主要以降低作業勞工的有機溶劑暴露危害，可是在粉狀原料投料進入化學桶槽時，會造成桶槽內壓力瞬間發生變化，導致所投入粉

狀原料及桶槽內已存在的有機蒸氣或氣體逸散到作業環境，使作業勞工暴露於粉塵和有機溶劑。因此，現在有必要對過去較少關注的粉塵暴露也進行調查和研究。

另外，從過去對使用化學桶槽的樹脂製造業的職業衛生輔導迄今已經過 10 多年，以往的工程控制改善所設計裝置的局部排氣設備，主要採用加裝於化學桶槽上方，此類型的裝置設備對於揮發性有機溶劑的氣體分子會有有效的捕集效能，但對於相較於氣體分子而言，具有相當質量的粉塵微粒的捕集效能可能效果不理想。為了瞭解使用化學桶槽的樹脂製造業作業勞工有害物質暴露是否仍維持符合法令規定的低濃度暴露，有必要針對樹脂製造業化學人工投料作業製程進行有害物暴露研究調查，並對於其局部排氣通風設備效能進行量測與評估。

## 第二節 目的

本研究針對樹脂製造業現場人工投料至化學桶槽之作業現場危害暴露評估，及對投料控制措施改善提供建議，以解決投料時粉體及桶槽化學蒸氣或氣體逸散至作業現場環境問題，並提供國內業者生產過程人工投料至化學桶槽之危害物暴露評估及控制措施參考資料，以保障勞工健康權利。

## 第二章 文獻回顧

本研究針對國內外關於樹脂製造業人工投料作業暴露與健康危害相關文獻進行收集分析。透過網路搜尋由美國國家醫學圖書館(National Library of Medicine, NLM)所屬美國國家生物技術資訊中心(National Center for Biotechnology Information, 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。主要以關鍵字"resin manufacture exposure"、"synthetic resin exposure"、"resin health effect"、"resin industry hazard"、"resin exposure control"、"resin chemical exposure"等，搜尋所得的文獻資料，將依樹脂製造業製程、有害物質暴露健康危害、有害物質暴露測定與評估和暴露控制與管理分類，搜尋相關文獻進行回顧探討。

### 第一節 樹脂製造業製程

國內過去對樹脂製造業的職業衛生問題已實施輔導[2][3][6]，有關樹脂的製造較為大量的樹脂主要有聚氨酯(polyurethane, PU)樹脂、壓克力(或丙烯酸)樹脂(acrylic resin)、環氧樹脂(epoxy resin)、醇酸樹脂(alkyd resin)、聚酯樹脂(polyester resin)等[6]，雖然樹脂的種類多元，但其製造過程相當相似，如前所述，包括預混合、進料/投料、原料混合、反應和包裝五個作業程序，其過程簡述如下：(1)預混合作業需要由勞工將粉狀原料拆封與有機溶劑放入小型攪拌裝置混合均勻或直接在化學桶槽的投料口加入粉狀原料與有機溶劑進行混合；(2)進料/投料作業：讓先前預混合的原料和其他原料經由管線或人工投料方式進料於反應桶槽內；(3)原料混合作業：讓所有原料在桶槽內進行攪拌混合，其間作業勞工要注意從投料口觀察桶槽內原料的混拌情形，若有必要需打開投料口，加入少量原料調整；(4)反應作業：在桶槽內依所設定溫度與濕度條件，讓所有原料進行反應，直到產物完成；(5)包裝作業：當產物完成後，液體產物從桶槽中抽離到儲存槽，等待灌注裝桶；有些產物則需灌注到模型中，待其固化後進行切割成不同尺寸的薄片，然後包裝成盒，送入成品倉庫。

從過去對於樹脂製造業職業衛生輔導對於製造流程的描述，已明確指出預混合、進料/投料和包裝作業是造成有害物質暴露的作業[2][3][6]，預混合作業因進行原料混拌、輾壓等操作，會造成粉狀原料逸散或有機溶劑揮發；進料/投料作業雖然大多利用管線將主要原料送進桶槽，但仍有少數少量原料和添加化合物，必須於此過程中加入桶槽

進行反應，因此可能會有揮發性化合物在打開投料口(或觀察口)時發生逸散情形；包裝作業將反應完成的成品從反應桶槽或儲存桶槽以灌注的方式裝填入空桶或模型中，此項作業會造成成品中的揮發性有機化合物逸散。這些逸散到作業環境空氣中的有害物質，經由呼吸途徑造成作業勞工暴露。

## 第二節 樹脂製造業有害物質暴露

從過去的研究中已整理出國內樹脂製造業生產各類不同樹脂所使用的有害物質[2][3][6]，表 1 呈現這些作業勞工可能遭受的有害物質暴露，並將我國「勞工作業場所容許暴露標準」[7]、美國政府工業衛生師協會(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)的恕限值(Threshold Limit Values, TLVs)[8]、職業安全衛生總署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)的容許暴露限值(permissible exposure limits, PELs)[9]、英國職業健康與安全管理局(Health and Safety Executive, HSE)[10]和德國研究協會(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG)的工作場所的最大濃度和生物容許值(Maximum Concentrations and Biological Tolerance Values at the Workplace, MAK and BAT)[11]，對這些有害物質所訂定或建議的職業暴露限值，包括：8 小時日時量加權平均容許暴露濃度(8-hour time-weighted average permissible exposure limit, PEL)、短時間時量平均容許濃度(short-term permissible exposure limit, STEL)和最高容許濃度(ceiling exposure limit, Ceiling)，表列以利比較。

van Tongeren 等人[12]於 1992 年在三個醇酸樹脂製造工廠進行鄰苯二甲酸酐(phthalic anhydride, PA)和偏苯三酸酐(trimellitic anhydride, TMA)作業勞工個人暴露測定，從對 PA 總數 105 個測定樣本，區分高、中、低和無暴露組測定樣本分別為 12、30、41 和 22 個樣本，結果顯示在高、中、低和無暴露組對於 PA 的測定濃度平均值分別為 138、20.1、2.2 和 1.3 mg/m<sup>3</sup>，其中高暴露組的勞工主要從事固體 PA 樹脂作業，中暴露組的勞工主要從事液體 PA 樹脂作業；而在對 TMA 總數 128 個測定樣本，區分高、中、低和無暴露組測定樣本分別為 8、24、73 和 23 個樣本，結果顯示在高、中、低和無暴露組對於 TMA 的測定濃度平均值分別為 15.4、4.9、0.8 和 0.5 mg/m<sup>3</sup>，其中高暴露組的勞工主要從事油墨混合或調色作業，中暴露組的勞工主要從事印刷、捲軸、測試作業或監督工作。此些暴露測定數據和工作習慣、生產製程紀錄等資料整合，用以建立



工作時間暴露矩陣(job-time-exposure matrix)回溯推估作業勞工過去的PA和TMA暴露。

樹脂是各種類型接著劑製造的原料，接著劑的製造時常在樹脂製造廠中進行。國內曾針對氯丁橡膠(或稱氯丁二烯橡膠)(chloroprene rubber, CR)樹脂接著劑製造廠作業勞工有機溶劑暴露進行研究[5]，在此研究中所實施暴露採樣測定的三個工廠(以A、B和C表示)，其實也都是國內從事樹脂製造的工廠。研究中主要測定的揮發性有機化合物，包括：甲苯、乙苯、二甲苯、丁酮、丙酮、正己烷、乙酸乙酯和環己烷，採樣介質為活性碳管，並以區域採樣測定推估作業勞工8小時日時量加權平均暴露濃度(8-hour time-weighted average exposure, 8-hr TWA)，從每個工廠10個在不同作業區域測定樣本分析結果，顯示：A廠在溶劑桶區甲苯最高測定濃度4.33 ppm、成品包裝區丙酮最高測定濃度4.57 ppm和溶劑填充區丁酮最高測定濃度3.07 ppm；B廠在原料捏合區丙酮最高測定濃度2.51 ppm和投料攪拌槽區正己烷最高測定濃度2.25 ppm；C廠在投料攪拌槽區甲苯、丁酮、丙酮和正己烷均有最高測定濃度分別為4.58、7.79、6.03和5.35 ppm，幾乎所有測定化合物最高測定濃度均低於職業容許暴露濃度限值的1/10，雖然以區域測定濃度推估勞工個人暴露會存在相當大的偏差，無論如何，此研究顯示氯丁橡膠樹脂接著劑製造廠作業環境有機溶劑濃度低於法定容許暴露濃度限值。

He等人[13]針對4個生產環氧樹脂的工廠的167位勞工實施丙二酚或雙酚A(bisphenol A, BPA)個人暴露採樣測定，採樣介質為玻璃纖維濾紙，採樣流量率設定為2 mL/min，採樣時間為整個工作輪班，所採集樣本以裝置螢光偵測器(fluorescence detector)的高效液相層析儀(high performance liquid chromatography, HPLC)進行BPA定量分析，並估算勞工BPA暴露8-hr TWA。結果發現：勞工BPA暴露8-hr TWA算術平均值、中位數和第25分位數~第75分位數分別為492、7.89和1.55~55.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，明顯的BPA暴露在此些工廠發生，主要的產生來源是粉碎、進料和包裝作業區。

Hines等人[14]於2013~2014年間調查美國工廠作業勞工BPA暴露研究中，在兩個酚醛樹脂(phenolic resin)製造工廠實施BPA暴露採樣測定。從使用IOM對28位勞工所採集的53個個人8小時輪班的空氣可吸入性粉塵樣本，分析定量發現勞工的BPA 8-hr TWA算術平均值( $\pm$ 標準差)為 $14 \pm 51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，幾何平均值( $\pm$ 幾何標準差)為 $0.85(\pm 15) \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，範圍為 $0.010 \sim 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；若以目前英國HSE所定的容許暴露濃度限值 $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，這兩個酚醛樹脂製造廠作業勞工BPA平均暴露濃度遠低於職業容許暴露限值的1/10。

Yeh 等人[15]在 2002 年曾於 9 家聚胺酯樹脂(polyurethane resin)工廠，以修改美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)對 2,4-和 2,6-甲苯二異氰酸酯(2,4- and 2,6-toluene diisocyanates, TDI)的採樣分析方法(Sampling and Analytical Method No. 42)，進行 TDI 個人和區域採樣測定，從 112 個人採樣測定樣本發現作業勞工 2,4-TDI 和 2,6-TDI 的 8 小時時量加權平均暴露濃度(8-hour time-weighted average exposure, 8-hr TWA)平均值( $\pm$ 標準差)分別為 2.0( $\pm$ 3.5)和 0.7( $\pm$ 1.2) ppb，測定濃度超過我國「勞工作業場所容許濃度標準」(permissible exposure limit, PEL)[7]所訂定 2,4-TDI 和 2,6-TDI 的最高容許濃度(ceiling value) 5 ppb 的百分比，分別為 8.0%和 3.6%；從 52 個區域採樣測定樣本發現作業環境中 2,4-TDI 和 2,6-TDI 的濃度平均值( $\pm$ 標準差)分別為 2.1( $\pm$ 3.9)和 1.2( $\pm$ 3.4) ppb，測定濃度超過最高容許濃度的百分比分別為 13.5%和 9.6%。作者們認為此測定結果顯示聚胺酯樹脂工廠作業勞工的 2,4-TDI 和 2,6-TDI 的暴露濃度存在不應忽視的健康危害風險，應該予以正視。

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯樹脂(acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS)是由 1,3-丁二烯(1,3-butadiene)、丙烯腈(acrylonitrile)和苯乙烯(styrene)三個單體共同聚合而成，國內曾有研究[16]對 4 間 ABS 樹脂製造廠 102 位作業勞工實施 1,3-丁二烯、丙烯腈和苯乙烯三種化合物共同的個人空氣暴露採樣測定，從樣本分析結果顯示：在 1,3-丁二烯、丙烯腈和苯乙烯 8-hr TWAs 幾何平均值分別為 39.94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.018 ppm)、109.59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.051 ppm)和 137.94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.032 ppm)均低於我國現有對此三個化合物的 PELs (1,3-丁二烯 5 ppm、丙烯腈 2ppm 和苯乙烯 50 ppm)，但其中值得注意的是有 3 位勞工的丙烯腈暴露濃度高於 PEL。

Tsuda 等人[17]及 Miyauchi 等人[18]針對相同的一家樹脂製造廠進行約 10 年的作業勞工二甲基甲醯胺(N,N-dimethylformamide, DMF)皮膚吸收的季節差異研究，此些勞工主要參與三種不同的過程，包括：溶解樹脂材料容器的置換，含 DMF 黏性樹脂的混合和灌模(molding)及半成品的處理(保濕、加熱和乾燥)。勞工 DMF 空氣暴露分別於夏、冬兩季以被動式採樣器(diffusive passive samplers)進行 8-小時工作輪班個人呼吸區帶暴露採樣，採樣當天同時收集勞工上工前和下工後的尿液樣本，所採集空氣和尿液樣本均以氣相層析質譜儀(gas chromatography mass-spectrometry, GC-MS)進行 DMF 和其代謝物 N-甲基甲醯胺(N-methylformamide, NMF)及 N-乙醯基-S-(N 甲基氨基甲醯基)-半

胱氨酸(N-acetyl-S-(Nmethylcarbamoyl)-cysteine, AMCC)的定量分析。在 Tsuda 等人所收集的夏季和冬季分別為 100 和 88 個樣本分析，發現勞工 DMF 夏季和冬季暴露 8-hr TWA 幾何平均值( $\pm$ 幾何標準差)分別為 7.4 ( $\pm$ 2.2)和 6.2 ( $\pm$ 2.1) ppm；在 Miyachi 等人所收集的夏季和冬季分別為 128 和 142 個樣本分析，發現勞工 DMF 夏季和冬季暴露 8-hr TWA 幾何平均值( $\pm$ 幾何標準差)分別為 1.7 ( $\pm$ 3.2)和 1.0 ( $\pm$ 3.5) ppm，兩個研究顯示樹脂製造勞工 DMF 空氣暴露濃度存在相當差異，雖然兩個研究的樣本是否有重複不得而知，但在兩個研究均呈現夏季和冬季勞工 DMF 空氣暴露濃度沒有太大差異，不過經由尿液 NMF 和 AMCC 的定量分析，發現勞工尿液樣本 NMF 和 AMCC 的濃度在夏季和冬季比值均大於 1.5，顯示勞工 DMF 皮膚吸收在夏季明顯高於冬季，兩個研究均建議在夏季高溫和高濕作業環境的 DMF 經由皮膚吸收暴露應加以注意。

表 1 國內樹脂製造業主要使用的有害物質

樹脂種類	用途	主要使用有害物質 中文名稱(英文名稱, CSA No.)	暴露濃度限值 ppm (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>				
			我國 <sup>b</sup>	ACGIH TLV <sup>c</sup>	OSHA PEL <sup>d</sup>	HSE PEL <sup>e</sup>	DFG MAK <sup>f</sup>
PU 樹脂	塗料、合成皮、紡織塗層、接著劑、油墨等用途。	乙二醇 (ethylene glycol, 107-21-1)	蒸氣(高): 50 (127) <sup>g</sup> 霧滴(8-hr TWA): 10 mg/m <sup>3</sup>	蒸氣: 25 霧滴(可吸入性粉塵): 10 mg/m <sup>3</sup> STEL: 50	---	蒸氣: 20 (52) STEL: 40 (104) 霧滴: 10 mg/m <sup>3</sup>	10 (26)
		二甲基甲醯胺 (dimethylformamide, 68-12-2)	10 (30)	5	10 (30)	5 (15) STEL: 10 (30)	5 (15)
		甲苯 (toluene, 108-88-3)	100 (376)	20	200	50 (191)	50 (190)
		二異氰酸甲苯 (toluene-2,4-diisocyanate, 584-84-9)	高: 0.005 (0.036)	蒸氣和可吸入性粉塵: 0.001 STEL: 0.005	Ceiling: 0.02 (0.14)	---	Carcinogenic category: 3A
		乙酸乙酯 (ethyl acetate, 141-78-6)	400 (1440)	400	400 (1400)	200 (734) STEL: 400 (1468)	200 (750)
		丁酮 (methyl ethyl ketone, 78-93-3)	200 (590)	200 STEL: 300	200 (590)	200 (600) STEL: 300 (899)	200 (600)
		二乙二醇 (diethylene glycol, 111-46-6)	---	---	---	23 (101)	10 (44)
		1,4-丁二醇 (1,4-butanediol, 110-63-4)	---	---	---	---	---
壓克力樹脂	建築防水、塗料、膠黏劑等用途。	甲基丙烯酸甲酯 (methyl methacrylate, 80-62-6)	100 (410)	50 STEL: 100	100 (410)	50 (208) STEL: 100 (416)	50 (210)
		甲基丙烯酸乙酯 (ethyl methacrylate, 97-63-2)	---	---	---	---	---
		甲基丙烯酸 (methacrylic acid, 79-41-4)	20 (70)	20	---	20 (72) STEL: 40 (143)	50 (180)
		丙烯酸甲酯	10 (35)	2	10 (35)	5 (18)	2 (7.1)

樹脂種類	用途	主要使用有害物質 中文名稱(英文名稱, CSA No.)	暴露濃度限值 ppm (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>				
			我國 <sup>b</sup>	ACGIH TLV <sup>c</sup>	OSHA PEL <sup>d</sup>	HSE PEL <sup>e</sup>	DFG MAK <sup>f</sup>
		(methyl acrylate, 96-33-3)				STEL: 10 (36)	
		丙烯酸乙酯 (ethyl acrylate, 140-88-5)	25 (102)	5 STEL: 15	25 (100)	5 (21) STEL: 10 (42)	2 (8.3)
		苯乙烯 (styrene, 100-42-5)	50 (213)	10 STEL: 20	100	100 (430) STEL: 250 (1080)	20 (85)
		丙烯腈 (acrylonitrile, 107-13-1)	2 (4.3)	2	2 Ceiling: 10	2 (4.4)	Carcinogenic category: 2
		醋酸乙烯酯 (vinyl acetate, 108-05-4)	10 (35)	10 STEL: 15	---	5 (17.6) STEL: 10 (35.2)	10 (36)
		甲苯 (toluene, 108-88-3)	100 (376)	20	200	50 (191) STEL: 100 (384)	50 (190)
環氧樹脂	場地塗裝、膠黏劑、塗料、印刷電路板、各種電子器件、集成電路封裝材料、玻璃鋼製品、水塔、遊艇等複合材料層用途。	丙酮 (acetone, 67-64-1)	200 (475)	250 STEL: 500	1000 (2400)	500 (1210) STEL: 1500 (3620)	500 (1200)
		甲苯 (toluene, 108-88-3)	100 (376)	20	200	50 (191) STEL: 100 (384)	50 (190)
		二甲苯 (xylene, 1330-20-7)	100 (434)	100 STEL: 150	100 (435)	50 (220) STEL: 100 (441)	50 (220)
		甲基異丁酮 (methyl isobutyl ketone, 108-10-1)	50 (205)	20 STEL: 75	100 (410)	50 (208) STEL: 100 (416)	20 (83)
		環氧氯丙烷 (epichlorohydrin or 1-chloro-2,3-epoxypropane, 106-89-8)	2 (7.6)	0.5	0.05 (0.19)	0.5 (1.9) STEL: 1.5 (5.8)	Carcinogen Category 2
醇酸樹脂	木器著色劑、油墨、	乙二醇 (ethylene glycol, 107-21-1)	蒸氣(高): 50 (127) 霧滴(8-hr	蒸氣: 25 霧滴(可吸入性粉	---	蒸氣: 20 (52) STEL: 40 (104)	10 (26)

樹脂種類	用途	主要使用有害物質 中文名稱(英文名稱, CSA No.)	暴露濃度限值 ppm (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>				
			我國 <sup>b</sup>	ACGIH TLV <sup>c</sup>	OSHA PEL <sup>d</sup>	HSE PEL <sup>e</sup>	DFG MAK <sup>f</sup>
脂	磁漆、底漆、面漆、玻璃漆、清漆等用於橋樑、建築物及機械、車輛、船舶、飛機、儀表等塗裝。		TWA) : 10 mg/m <sup>3</sup>	塵) : 10 mg/m <sup>3</sup> STEL: 50		霧滴 : 10 mg/m <sup>3</sup>	
		二甲苯 (xylene, 1330-20-7)	100 (434)	100 STEL: 150	100 (435)	50 (220) STEL: 100 (441)	50 (220)
		順丁烯二酸酐 (maleic anhydride, 108-31-6)	0.25 (1)	蒸氣和可吸入性粉塵: 0.01 mg/m <sup>3</sup>	0.25 (1)	1 mg/m <sup>3</sup> STEL: 3 mg/m <sup>3</sup>	0.02 (0.081)
		偏苯三酸酐 (trimellitic anhydride, 552-30-7)	0.005 (0.04)	蒸氣和可吸入性粉塵: 0.0005 mg/m <sup>3</sup> STEL: 蒸氣和可吸入性粉塵: 0.002 mg/m <sup>3</sup>	---	0.04 mg/m <sup>3</sup>	可呼吸性粉塵: 0.04 mg/m <sup>3</sup>
		鄰苯二甲酸酐 (phthalic anhydride, 85-44-9)	1 (6.1)	1	2 (12)	4 mg/m <sup>3</sup>	---
聚酯樹脂	面漆、底漆、背漆、油墨、熱覆膜卷材；玻璃鋼、雷達天線罩、飛機零件、汽車外殼、小船艇、透明瓦楞	乙二醇 (ethylene glycol, 107-21-1)	蒸氣(高): 50 (127) 霧滴(8-hr TWA) : 10 mg/m <sup>3</sup>	蒸氣: 25 霧滴(可吸入性粉塵) : 10 mg/m <sup>3</sup> STEL: 50	---	蒸氣 : 20 (52) STEL: 40 (104) 霧滴 : 10 mg/m <sup>3</sup>	10 (26)
		苯乙烯 (styrene, 100-42-5)	50 (213)	10 STEL: 20	100	100 (430) STEL: 250 (1080)	20 (85)
		1,4-丁二醇 (1,4-butanediol, 110-63-4)	---	---	---	---	---
		己二酸 (hexanedioic acid or adipic acid, 124-04-9)	---	5 mg/m <sup>3</sup>	---	---	2.1 mg/m <sup>3</sup>
		三乙二醇 (triethylene glycol,	---	---	---	---	1000 mg/m <sup>3</sup>

樹脂種類	用途	主要使用有害物質 中文名稱(英文名稱, CSA No.)	暴露濃度限值 ppm (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>				
			我國 <sup>b</sup>	ACGIH TLV <sup>c</sup>	OSHA PEL <sup>d</sup>	HSE PEL <sup>e</sup>	DFG MAK <sup>f</sup>
	板等製造，衛生盥洗器皿以及化工設備和管道等。	112-27-6)					
酚醛樹脂	木材接合、電燈泡接合、砂紙、研磨器材製造。	甲醛 (formaldehyde, 50-00-0)	1 (1.2)	Ceiling: 0.3	0.75 STEL: 2	2 (2.5) STEL: 2 (2.5)	0.3 (0.37)
		丙二酚或雙酚 A (bisphenol A, 80-05-7)	---	---	---	2 mg/m <sup>3</sup>	5.1 mg/m <sup>3</sup>
其他		二氧化鈦 (titanium dioxide, 13463-67-7)	10 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	15 mg/m <sup>3</sup>	總粉塵：10 mg/m <sup>3</sup> 可呼吸性粉塵：4 mg/m <sup>3</sup>	可呼吸性粉塵：0.3 mg/m <sup>3</sup>
		非結晶型二氧化矽 (amorphous silica)	第四種粉塵 總粉塵：10 mg/m <sup>3</sup> 可呼吸性粉塵：5 mg/m <sup>3</sup>	withdrawn	80 (%SiO <sub>2</sub> ) mg/m <sup>3</sup>	可吸入性粉塵：6 mg/m <sup>3</sup> 可呼吸性粉塵：2.4 mg/m <sup>3</sup>	可吸入性粉塵：4 mg/m <sup>3</sup>

a. 未特別標註說明者，表中數值指 8 小時時量加權平均容許暴露濃度。

b. 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，<https://laws.mol.gov.tw/FLAW/FLAWDAT0202.aspx?lsid=FL015016>, 2014。

c. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati (OH), ACGIH, ISBN: 978-1-607261-12-4, 2020.

d. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Permissible Exposure Limits / OSHA Annotated Table Z-1, <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>, last accessed August 4, 2020.

e. Health and Safety Executive. EH40/2005 Workplace exposure limits---Containing the list of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended),

EH40/2005 (Fourth Edition 2020), ISBN 978-0-7176-6733-8.

- f. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). List of MAK and BAT Values 2019, Maximum Concentrations and Biological Tolerance Values at the Workplace, Report 55 of the Permanent Senate Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, of 1 July 2019, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- g. 括號中的數值為短時間容許暴露限值，若沒有明確訂定短時間容許暴露限值，則以 8 小時容許暴露限值乘上變量係數。



### 第三節 樹脂製造業有害物質暴露健康危害

Cheng 等人[19]針對環氧樹脂製造廠 85 位男性勞工依其工作職稱區分為 5 個分組，收集周邊血液淋巴細胞(peripheral blood lymphocytes)樣本，測定勞工工作區域空氣中環氧氯丙烷(epichlorohydrin, ECH)和二甲基甲醯胺(dimethylformamide, DMF)濃度，計算 ECH 和 DMF 測定濃度中位數，在維修作業分別為 1.1 和 2.9 ppm、ECH 卸載作業分別為 2.0 和 1.1 ppm、研發單位分別為 3.9 和 4.2 ppm 和現場作業區域分別為 0.2 和 2.5 ppm，顯示研發單位有最高 ECH 測定濃度，現場作業區域濃度相比較下反倒是最低。從針對所收集血液樣本以聚合酶連鎖反應(polymerase chain reaction, PCR)執行姐妹染色單體交換(sister chromatid exchange, SCE)發生頻率分析，判定 ECH 和 DMF 暴露與遺傳毒性(genotoxicity)的關係。結果發現：有高濃度 ECH 暴露勞工 SCE 發生頻率統計上顯著意義高於低或無 ECH 暴露勞工，顯示 ECH 暴露與遺傳毒性存在關聯，但 DMF 暴露則無此關聯。Lou 等人[20]針對我國環氧氯丙烷(epichlorohydrin or 1-chloro-2,3-epoxypropane, ECH)暴露勞工肺功能異常和呼吸道刺激症狀關聯的研究中，進行一家環氧樹脂製造廠作業勞工 ECH 暴露採樣測定，採樣介質為活性碳管，所採集測定樣本以搭配火焰離子化偵測器的氣相層析儀(gas chromatography with flame ionization detector, GC/FID)進行，勞工 8-hr TWA 被估算。當對勞工 ECH 暴露以濃度 0.2 ppm 進行分組，結果高暴露組 ECH 暴露濃度平均值( $\pm$ 標準差)為 1.7 ( $\pm$ 2) ppm，低暴露組暴露濃度平均值( $\pm$ 標準差)為 0.064 ( $\pm$ 0.05) ppm，無暴露組平均值為 0 ppm。對於 ECH 高、低和無暴露組勞工的異常平均呼氣中段容量(mean mid-expiratory flow, MMEF)百分比分別為 31.7%(13/41)、28.9%(11/38)和 6.8%(4/59)，在校正其他因素後，ECH 暴露與小氣道異常的盛行率之間存在顯著的線性趨勢( $p=0.007$ )。在 ECH 暴露勞工中，呼吸道刺激症狀(咳嗽、痰、胸悶和呼吸困難)也存在顯著的劑量反應關係，顯示阻塞性肺部異常和小氣道肺部損傷與 ECH 暴露有關，但研究尚無法證實存在因果相關。

Viegas 等人[21]在葡萄牙的職業性甲醛暴露的遺傳毒性作用(genotoxic effects)研究中，收集 30 位在甲醛樹脂製造工廠的作業勞工的頰黏膜脫落細胞(exfoliated cells from buccal mucosa)和周邊血淋巴球(peripheral blood lymphocytes)樣本，進行的微核試驗(micronucleus test, MN)與甲醛暴露的關聯性分析；從暴露測定資料發現反應槽作業勞工(reactor operators)、浸漬機作業勞工(impregnation machine operators)和品管技術員

(quality technicians)的甲醛最高暴露濃度(ceiling values)分別為 1.09、1.04 和 0.52 ppm 均超過美國政府工業衛生師協會(American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)所建議的容忍值(threshold limit value)最高濃度值 0.3 ppm，但他們 8-小時的時量加權平均暴露濃度(time-weighted average exposure, 8-hr TWA)在 0.20~0.22 ppm 間，均未超過職業安全與健康總署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)所訂的容許暴露濃度 0.75 ppm。研究結果發現：作業勞工與對照組僅在頰黏膜脫落細胞中 MN 頻率存在統計上顯著意義差異( $p < 0.001$ )，顯示甲醛樹脂製造工廠作業勞工的甲醛暴露可能與遺傳毒性作用存在關聯性。

Sara 和 Tripathi[22]針對合成樹脂製造廠作業勞工有機溶劑暴露和神經行為表現關聯的橫斷研究(cross-sectional study)，研究中並未對有機溶劑進行暴露測定，隨機從合成樹脂製造廠作業勞工選定研究對象，這些勞工主要從事化合物混合(chemical mixing)，暴露有機溶劑主要為福馬林(formalin)，一份預先設計的問卷用以收集勞工職業和雇病相關資料，並對勞工實施神經行為測驗(neurobehavioral test battery, NTB)含手指靈巧性(finger dexterity)、鑷子靈巧性(tweezer dexterity)、卡片分類(card sorting)、手部穩定性測試(hand steadiness test)、手部握力計(hand dynamometer)和記憶力(memory)各種測試。再區分勞工為實際勞工(actual workers)(暴露組)和工會勞工(allied workers)(非暴露組)，當比較這兩類勞工在鑷子靈巧性、卡片分類和記憶力得分，發現存在顯著差異，顯示勞工有機溶劑暴露對鑷子靈巧性、卡片分類和手部握力得分，存在統計上顯著影響。

Yokota 等人[23]在預防酸酐(acid anhydrides)暴露引起的職業過敏的文獻回顧，描述酸酐在環氧樹脂製造取代胺(amines)作為硬化劑(hardener)，主要酸酐包括：甲基四氫鄰苯二甲酸酐(methyltetrahydrophthalic anhydride, MTHPA)，六氫鄰苯二甲酸酐(hexahydrophthalic anhydride, HHPA)，鄰苯二甲酸酐(phthalic anhydride, PA)，四氯鄰苯二甲酸酐(tetrachlorophthalic anhydride, TCPA)和偏苯三酸酐(trimellitic anhydride, TMA)。對於酸酐如何引發直接皮膚黏膜刺激毒性、過敏和會增強過敏的因素在回顧中均有陳述，主要與酸酐的反應性酸酐基團(reactive anhydride group)會與氨基酸反應形成半抗原(haptens)，即使在極低的暴露濃度下，也可以刺激特異性 IgE 抗體的產生，因而引發各種職業性過敏反應(occupational hypersensitivity)。

Drexler 等人[24]執行環氧樹脂製造廠作業勞工酸酐暴露濃度與引發過敏風險關係

研究，三家工廠(以 A、B 和 C 表示)中，有兩家工廠(A 和 C)均使用 MTHPA、甲基六氫苯酸酐(methylhexahydrophthalic acid anhydride, MHHPA)和四氫鄰苯二甲酸酐(tetrahydrophthalic acid anhydride, THPA)三種化合物，C 工廠還使用 HHPA，B 工廠僅使用 MTHPA。針對這些工廠作業勞工酸酐暴露執行個人暴露與區域採樣測定，採樣介質使用 XAD-2 吸附管，樣本分析定量以搭配火焰離子化偵測器的氣相層析儀(gas chromatography with flame ionization detector, GC/FID)進行。個人暴露測定結果，顯示 A 工廠在 MTHPA、MHHPA 和 THPA 的測定濃度中位數(範圍)分別為 28.5 (8.0~45.0)、2.0 (0.8~3.3)和 3.0 (0.8~6.7)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；B 工廠 MTHPA 的測定濃度中位數(範圍)為 13.0 (<4.7~35.7)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；C 工廠在 MTHPA、MHHPA、THPA 和 HHPA 的測定濃度中位數(範圍)分別為 6.6 (2.0~37.8)、<2.0 (<2.0~2.7)、<0.5 (<1.5~2.0)和 3.0 (2.8~3.3)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在 A、B 和 C 工廠的過敏盛行率分別為 35%、21%和 29%，在任一家工廠內，於高暴露區域作業勞工，並未顯示高過敏盛行率，可能與經常的工作輪調有關。

Grammer 等人[25]在研究使用呼吸防護裝置是否能降低環氧樹脂製造廠作業勞工職業性氣喘(occupational asthma)的發生率，在製程中使用許多熟化爐(curing oven machines)，將製作環氧樹脂的兩種原料以一定比例經管線注入熟化爐的模型中，然後在設定的溫度加熱此混合物一段時間，讓此混合物固化為成品。由於有時候此混合物未完全熟化而產生的 HHPA，會在勞工開啟熟化爐時逸散出來。從針對 66 個作業勞工進行個人暴露採樣，研究中未言明採樣介質，但對於勞工進行暴露分組，由資深製程工程師依據工作項目和相關測定資料將勞工分為 1~6 六個暴露分組，數字越大代表越高暴露。稍後為了後續分析將勞工暴露分組改為高(原分組 5 和 6)、中(原分組 3 和 4)和低(原分組 1 和 2)三個暴露分組，此高、中和低三個暴露分組的 HHPA 測定濃度平均值(範圍)分別為 0.0062 (<0.0022~0.00180)、0.0190 (0.0110~0.0310)和 0.635 (0.0028~0.2500)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，顯示 HHPA 在三個暴露分組確實存在差異。當分析評估三個暴露分組勞工 HHPA 抗體陽性和職業性氣喘發生情形，發現僅在高暴露組有 3 位勞工發生職業性氣喘，配戴呼吸防護裝置使這些勞工每年職業性過敏呼吸道疾病由 10%下降至 2%，但勞工配戴有機蒸氣半面式(half-face)或全面式(full-face)呼吸防護具並未顯示比防塵口罩(dust mask)提供更多的保護。

Nielsen 等人[26]探討使用含有機酸酐(organic acid anhydrides, OAA)之 HHPA 和甲

基六氫鄰苯二甲酸(methylhexahydrophthalic anhydride, MHHPA)作為硬化劑的環氧樹脂進行電容器的固定和隔離的工廠作業勞工呼吸道過敏和健康效應的研究，對勞工實施個人空氣 HHPA 和 MHHPA 暴露和區域採樣測定，採樣介質為 XAD-2 管，樣本以 GC-MS 進行定量分析。從 122 個個人暴露和 97 個區域採樣測定樣本及 140 個尿液樣本，HHPA 和 MHHPA 的分析結果，將勞工空氣 HHPA 和 MHHPA 暴露濃度分類為<10、10~50 和>50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  三個分組，對應於尿液 HHPA 和 MHHPA 濃度總和中位數分別為 43、150 和 500  $\mu\text{mol}/\text{mol creatinine}$ ；經由執行一般過敏原和 HHPA 與 MHHPA 結合物進行皮膚點刺試驗(skin-prick test)，及以放射性過敏吸附試驗(radioallergosorbent test)檢測特定的 IgE 和酶聯免疫吸附試驗(enzyme-linked immunosorbent assay)檢測 IgG 抗體。統計分析三個暴露分組的眼睛、鼻子和下呼吸道過敏檢測結果，發現 HHPA 和 MHHPA 暴露勞工有高過敏盛行率(IgE 22%和 IgG 21%)，且勞工暴露濃度與眼睛、鼻子和下呼吸道過敏症狀風險存在統計上顯著意義劑量反應關係。

#### 第四節 樹脂製造業暴露控制與管理

從職業衛生角度，對於作業環境場所產生的有害物可分別從逸散源、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，僅存在少數成功案例。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，則考慮使用通風設備捕集有害物，以避免其逸散造成作業勞工高濃度暴露。處理有害物的設備，如不能完全做到密閉，則要做到不使有害物擴散至勞工呼吸區帶，如此設置局部排氣裝置是替代的選擇。

我國勞動及職業安全衛生研究所(簡稱勞安所)於 2007~2008 年間對於樹脂製造業職業安全衛生問題連續執行兩年的輔導，並獲得相當改善成效[2-3]，其輔導過程簡述如下：首先從對此行業職業衛生制度面輔導技術的建立開始，包括：(1)瞭解行業暴露危害特性；(2)建立職業衛生制度面技術文件；(3)調查事業單位職業衛生現況；(4)提出暴露改善方案與技術文件及協助改善，在各種基準資料和技術文件完成後，徵求有意願配合的事業單位，經過遴選事業單位後，針對這些事業單位建立作業環境有害物暴

露控制工程改善輔導技術，包括：(1)遴選有害物暴露控制工程改善輔導廠商；(2)現有暴露控制設備效能診斷；(3)暴露改善設計規劃製圖，最後依循這些輔導技術，輔導這些事業單位進行問題改善。最後再從所輔導的事業單位選定配合意願高的單位，進行有害物暴露控制工程改善。這些主要暴露改善項目，包括：(1)在密閉攪拌槽投料口設置包圍式氣罩，降低勞工在投料或進行品管樣本取樣時，槽體內的有害物就會發散到作業現場；(2)預混合作業在攪拌混合過程中，因攪拌桶非密閉，造成溶劑和粉狀原料因攪拌發散，設置包圍式氣罩捕集發散於攪拌桶上方的有害物；(3)包裝作業出料口處原已裝設局部排氣裝置，但因導管分流造成風量不足或但無氣罩，設計合適尺寸的導管和裝置新氣罩與塑膠圍簾，有效捕集發散的有害物質。後續評估這樣的輔導對有害物濃度整體達到有效的削減率，明確顯示這些輔導改善技術可以有效控制樹脂製造業有害物的發散。

我國勞安所多年來結合相關學術單位進行跨領域研究，運用最新的科學與技術，調查、實驗及分析各種工作環境中可能造成作業勞工健康危害的因子，並針對問題提出解決方案。通風設施為降低事業單位業勞工有害物暴露的重要設施，一直都是勞安所研究重點，歷年來持續針對作業環境現場通風控制相關的基礎研究，有關現場資料收集、通風設施設計流程、檢測技術、管理文件等皆已具備，足以對於不同作業危害，以類似方式進行工程控制，達到降低作業勞工有害物暴露的目的。其中如於 2008 年，根據國外資料分析與融合現行國內法規要求，發展出「工業通風裝置性能有效性評估技術手冊」[30]，針對局部排氣裝置設置前、設置後及性能維護等三方面建立評估系統，以符合法規通風管理要求，提供事業單位參考使用，以推動事業單位通風裝置設施效能的提升。

但根據工業通風裝置性能有效性評估推動執行後的調查[31]，發現只有少數高科技產業在部分項目得以使用，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，則沒有任何一個項目(0/9)達到此門檻；性能維護驗證方面，也沒有任何一個項目(0/9)達到此門檻，顯示傳統產業利用 2008 年所發展的評估表，可能因為專業性、技術性或法規驗證項目缺乏明確規範下，推動執行上有其困難，導致可執行率較低。因此，勞安所於 2014 年發佈新版通風設施管理文件[31]，對於部分法規未訂定的

評估細項酌以刪減，此精簡後通風設施管理文件在不影響其性能與運作下，使得傳統產業或中小企業使用意願與可行性提升。另外，顧及傳統產業的專業技術程度可能仍不足，將評估細項的評估基準，區分為專業上屬初階程度的必備條件及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備條件即判定為完成，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[31]。

後續勞安所於 2016 年「通風設施性能測試評估與管理制度探討」研究[32]，建立通風設施管理制度相關規定及技術需求宣導資料庫，以提高國內各產業相關人士知識理解與自主管理為目的，製作 12 則通風設施性能評估示範圖說與 5 則示範影片，透過建立網站持續宣導通風技術，推動通風設施正確管理觀念，協助及引導事業單位執行作業現場通風設施性能測試與製作管理文件，達到逐步推廣與落實管理的目的。

Yokota 等人[23]對於預防酸酐暴露引起的職業過敏的文獻回顧，提出幾項建議措施，以控制環氧樹脂製造勞工酸酐暴露，降低健康危害效應發生，這些措施包括：(1) 停止使用酸酐是防止暴露的最安全作法，若不可行，必須控制環境暴露低於可觀察到最低不良健康效應的暴露限值；(2) 在未安裝局部通風設備前，在維護或裝載操作可預期短時間暴露濃度較高情形，必須使用個人防護設備；(3) 建議勞工戒菸；(4) 對於已因暴露引發重度鼻炎的勞工，在未出現氣喘症狀前，應將該勞工轉換到很少或沒有暴露的替代工作；(5) 患有呼吸系統疾病的勞工，不應該被分配到有任何暴露的工作環境。對於樹脂製造業作業勞工有害物暴露健康危害效應的降低，這些建議措施其實就是職業衛生暴露控制改善從逸散源、傳播途徑及接受者三個面向著手的一般原則，掌握這三個面向努力思考做到極致，就是解決作業環境有害物暴露的根本。

## 第三章 研究方法

本研究依研究目的對樹脂製造業化學桶槽人工投料作業的工廠進行實地訪查，瞭解桶槽製程人工投料的有害物逸散特性，進行作業勞工的有害物暴露測定與評估、及現有有害物暴露控制通風設施樣態與種類勘查和通風設施效能評估。藉由這些工作，獲得更多的使用化學桶槽人工投料作業工廠的有害物暴露評估，累積對有害物暴露控制改善的認知，以提供對這些工廠化學桶槽人工投料作業製程有害物暴露控制改善或設計參考，詳細的研究方法及步驟描述於後。

### 第一節 化學桶槽人工投料作業現場訪視

本研究以樹脂製造業化學桶槽人工投料作業工廠為主要研究調查場域，研究中選定同意配合的工廠中化學桶槽人工投料作業，進行職業衛生現況訪視調查。首先瞭解製程的化學桶槽人工投料作業，然後詢問其製程作業所使用原料，觀察記錄作業勞工可能遭受有害物暴露的主要狀況、暴露時間、工作習慣等，了解人工投料作業的局部排氣通風設備裝置的效能，表 2 為本研究使用的化學桶槽人工投料作業有害物暴露現況調查表，而表 3 為本研究於現場採樣時紀錄勞工工作項目所使用的紀錄表，此紀錄表所記錄的勞工工作項目以每 15 分鐘為一個單位，將勞工於一天 8 小時輪班所參與的工作項目，請採樣人員詢問作業勞工儘可能詳細記錄，以便作為瞭解勞工發生暴露的主要工作項目。對於訪視調查所獲得的資料，進行化學桶槽人工投料作業有害物暴露現況分析，以呈現化學桶槽人工投料作業有害物暴露職業安全衛生管理現況。

表 2 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業有害物暴露現況調查表

工廠名稱：_____		調查日期：_____年_____月_____日	
原料名稱	第一種名稱：_____	作業區域	
	第二種名稱：_____	作業人數	
	第三種名稱：_____	作業時間(小時/天)	
	第四種名稱：_____		
影響有害物逸散因子	<input type="checkbox"/> 桶槽開口 <input type="checkbox"/> 局部排氣效能 <input type="checkbox"/> 其他來源氣流 <input type="checkbox"/> 攪拌 <input type="checkbox"/> 投料方式 <input type="checkbox"/> 密閉 <input type="checkbox"/> 其他 _____		
測定勞工姓名			測定勞工職稱
受測勞工移動情形	<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		受測勞工工作習慣 <input type="checkbox"/> 與其他勞工一樣 <input type="checkbox"/> 與其他勞工不同
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危害因子發散源 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
勞工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：_____	勞工的呼吸防護具多久更換一次 <input type="checkbox"/> 每天 <input type="checkbox"/> 其他：_____	
		勞工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)			
受測勞工作業情形照片(與有害物發生源相		局部排氣設備與有害物發生源相對位置的照片)	
其他暴露狀況的照片		其他暴露狀況的照片	



表 3 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業有害物暴露採樣測定工作者工作紀錄表

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.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(含各類現場工程師) <input type="checkbox"/> 6.倉儲管理人員 <input type="checkbox"/> 7.製程控制技術員 <input type="checkbox"/> 8.維修保養技術員 <input type="checkbox"/> 9.現場安全督導人員 <input type="checkbox"/> 10.其他，請說明_____		
			作業項目
時 段	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	
1	08:00~08:15		1.預混合原料攪拌
2	08:16~08:30		2.桶槽人工投料
3	08:31~08:45		3.桶槽攪拌混合
4	08:46~09:00		4.桶槽清理
5	09:01~09:15		5.品管樣本取樣
6	09:16~09:30		6.成品包裝
7	09:31~09:45		7.倉儲作業
8	09:46~10:00		8.製程現場巡視
9	10:01~10:15		9.維修保養
10	10:16~10:30		10.現場環境清理
11	10:31~10:45		11.抽煙
12	10:46~11:00		12.實驗室分析(品管)
13	11:01~11:15		13.午休吃飯
14	11:16~11:30		14.休息時間(上廁所)
15	11:31~11:45		15.其他(請說明)
16	11:46~12:00		16.
17	12:01~12:15		17.
18	12:16~12:30		18.
19	12:31~12:45		19.
20	12:46~13:00		20.
21	13:01~13:15		21.
22	13:16~13:30		22.
23	13:31~13:45		23.
24	13:46~14:00		24.
25	14:01~14:15		25.
26	14:16~14:30		
27	14:31~14:45		
28	14:46~15:00		
29	15:01~15:15		
30	15:16~15:30		
31	15:31~15:45		
32	15:46~16:00		
33	16:01~16:15		
34	16:16~16:30		
35	16:31~16:45		
36	16:46~17:00		
37	17:01~17:15		
38	17:16~17:30		
39	17:31~17:45		
40	17:46~18:00		

## 第二節 化學桶槽人工投料作業環境與勞工有害物暴露評估

本研究將針對每一個訪視工廠的化學桶槽人工投料作業製程進行作業環境和勞工個人有害物暴露測定，採樣策略將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」[33]，要求實施作業環境監測需要對所有製程作業環境中的作業勞工劃分相似暴露群組(similar exposure groups, SEGs)，而劃分 SEGs 需具有作業勞工所參與的工作製程(processes)、使用的原物料(materials)、執行的作業項目(work tasks)、接觸有害物的時間與頻率等相關資料。而為了辨識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 收集足夠的暴露測定樣本。確定本研究所訪視的每一個測定工廠，作業勞工已依據事業單位的作業環境監測計畫劃分 SEGs，合理推測每一組化學桶槽人工投料作業區作業勞工被視為一個 SEG，因此主要對此 SEG 進行有害物暴露採樣測定，目標測定樣本為有機溶劑和粉塵，規劃以簡單隨機抽樣方式選定至少 6 個勞工進行暴露採樣測定，用以有效估計一個 SEG 勞工有害物暴露實態的平均值和變異數。本研究預定對所訪視工廠至少 10 組的化學桶槽人工投料作業進行其作業勞工所屬 SEG 有害物暴露實態描繪，並配合瞭解作業現場有害物逸散特徵及通風裝置效能評估的需要，在作業現場至少採集 20 個作業環境區域定點測定樣本，總計本研究對人工投料作業區個人暴露與作業環境區域定點測定至少獲得 80 個樣本數。

從過去對樹脂製造業幾個工廠的化學桶槽人工投料作業的研究調查結果，已知此製造業勞工暴露的有害物有丙烯酸甲酯和二甲基甲醯胺及粉塵[2-3]，從文獻回顧知道不同的樹脂製造業存在不同的有害物暴露，包括：甲苯、乙苯、二甲苯、丁酮、丙酮、正己烷、乙酸乙酯、環己烷、甲基丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸乙酯、甲基丙烯酸、丙烯酸乙酯、苯乙烯等。而從現場訪視所收集的化合物使用清單，發現工廠所使用有害物質可能還有：四氫呋喃(tetrahydrofuran, CAS No. 109-99-9)、異丁醇(2-methyl-1-propanol or isobutyl alcohol, CAS No. 78-83-1)、1,2-二氯乙烷(1,2-dichloroethane, CAS No. 107-06-2)、丙二醇甲醚(propylene glycol monomethyl ether, CAS No. 107-98-2)、乙二醇乙醚(ethylene glycol monoethyl ether, CAS No. 110-80-5)、甲基異丁酮(methyl isobutyl ketone, CAS No. 108-10-1)、1,1,2-三氯乙烷(1,1,2-trichloroethane, CAS No. 79-00-5)、乙酸丁酯(butyl acetate, CAS No. 123-86-4)、對,間-二甲苯(m,p-xylene, CAS No. 106-42-3 和 108-38-3)、環己酮

(cyclohexanone, CAS No. 108-94-1)、鄰-二甲苯(o-xylene, CAS No. 95-47-6)和乙二醇乙醚醋酸酯(2-ethoxyethyl acetate, CAS No. 111-15-9)、甲醇(methanol, CAS No. 67-56-1)、甲醛(formaldehyde, CAS No. 50-00-0)和酚(phenol, CAS No. 108-95-2)等 15 種化合物。

本研究針對採樣測定與分析能力可以負荷的有害物，進行這些有害物暴露採樣測定與分析。有關每一個工廠的化學桶槽人工投料作業勞工有害物暴露採樣測定的實施方式，描述如下：

## 一、作業環境與勞工個人有害物暴露採樣測定

### (一) 揮發性有機化合物樣本採集

本研究主要採樣測定的有害物，包括：四氫呋喃、異丁醇、1,2-二氯乙烷、丙二醇甲醚、甲基丙烯酸甲酯、乙二醇乙醚、甲基異丁酮、1,1,2-三氯乙烷、甲苯、乙酸丁酯、乙苯、二甲苯、環己酮、苯乙烯、乙二醇乙醚醋酸酯、甲醇、甲醛和酚等 18 種化合物。依據我國勞動部勞動及職業安全衛生研究所(簡稱勞研所)公告的採樣分析參考方法對四氫呋喃、1,2-二氯乙烷(CLA1106)、丙二醇甲醚(CLA5049)、甲基異丁酮(CLA1211)、乙苯(CLA5039)、甲苯(CLA1235)、對-二甲苯(CLA1239)、環己酮(CLA1225)和苯乙烯(CLA1234)均建議使用活性碳管作為採樣介質；對於甲基丙烯酸甲酯使用 XAD-2 管(CLA5023)；對於二甲基甲醯胺和乙酸丁酯則有建議使用對 PU 人造皮業混存溶劑以活性碳管作為採樣介質的方法(CLA1215)[34]，但在美國職業安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)的分析方法手冊(NIOSH Manual of Analytical Methods, NIOSH NMAM)第四版中，對二甲基乙醯胺(dimethylacetamide; CAS No. 127-19-5)和二甲基甲醯胺建議採樣分析方法(NIOSH Method No. 2004)提出使用矽膠管作為採樣介質的方法[34-44]。至於異丁醇、乙二醇乙醚、1,1,2-三氯乙烷和乙二醇乙醚醋酸酯，我國並沒有採樣分析參考方法，在美國 NIOSH NMAM 第四版中的建議方法分別為異丁醇 NIOSH Method No. 1405、乙二醇乙醚 NIOSH Method No. 1403、1,1,2-三氯乙烷 NIOSH Method No. 1003 和乙二醇乙醚醋酸酯 NIOSH Method No. 1450，這些方法均建議使用活性碳管進行採樣分析。對於甲醇使用矽膠管(CLA1207)、甲醛使用裹敷 2,4-二硝基苯肼(2,4-dinitrophenylhydrazine, 2,4-DNPH)(CLA2404)的矽膠管和酚使用 15 mL 0.1N NaOH 吸收液的小型衝擊瓶(CLA2402)進行採樣[45-52]。

美國 NIOSH NMAM 第四版中 NIOSH Method 2549 已提出使用熱脫附管配合主動式採樣方法，搭配裝置氣相層析儀的熱脫附儀(thermal desorption/gas chromatography)進行所採集空氣中揮發性有機化合物(volatile organic compounds, VOCs)的分析定量方法，執行 VOCs 暴露的篩檢[53]，雖然方法對使用熱脫附管的準備、採樣流量率設定，採樣時間、採樣體積、分析條件等提供基本資料。國際標準化組織(International Organization for Standardization, ISO)對於室內、環境和工作場所空氣中 VOCs 採樣測定，也有使用熱脫附管配合裝置氣相層析儀的熱脫附儀(thermal desorption/capillary gas chromatography)的主動式[54]和被動式[55]的採樣分析方法，且其方法中有關熱脫附管的準備、進行採樣、檢量線製作、定量分析、干擾、品管等均有詳細的描述，提供使用者有用的參考資料。

由於使用多種不同的採樣介質進行採樣會是複雜的工作，且可能增加採樣人員發生錯誤的機會。且使用熱脫附管進行 VOCs 的採樣分析已有相當的研究與資料可供參考，因此本研究將依現場實際狀況需要，使用熱脫附管作為採樣介質進行樹脂製造業化學桶槽人工投料作業有害物暴露採樣測定。

本研究對個人暴露和作業環境監測所要採集的揮發性有機化合物樣本，以填充 Carbopack X (40-60 mesh)吸附劑的熱脫附管，連接個人採樣幫浦(Gil Air-5, Gilian, Sensidyne, USA)以主動式採樣方式執行勞工個人呼吸區帶和作業環境區域定點空氣樣本採集。選用 Carbopack X 吸附劑的主要考量，因為它的材質是石墨化碳黑(graphitized carbon black)，相較於 Tenax TA 的材質是多孔隙的聚合物(porous polymer)，有更強的吸附力和表面積(240 vs. 35 m<sup>2</sup>/g)，能採集更多的揮發性有機化合物，且適用於高濕度的環境採樣[56]。依據熱脫附管供應商的技術手冊中所提列，填充 Carbopack X 吸附劑的熱脫附管對本研究中所測定的 1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、甲苯、乙苯、二甲苯和苯乙烯等 6 個化合物的採樣及分析是適合的[56]，四氫呋喃、甲基異丁酮、環己酮和乙酸丁酯等 4 個化合物在以含有 Carbopack X 的多重吸附劑(multi-sorbent)熱脫附管的採樣分析評估研究中，也顯示有高脫附效率和低破出現象[57]。

對於個人暴露樣本，於勞工上工前配帶裝置熱脫附管的採樣幫浦，將採樣幫浦流量率設定在 35~50 mL/min，採集作業勞工個人呼吸區帶空氣；對於作業環境監測樣本，將與上述個人暴露採樣裝置相同的採樣系列組合，架設於作業環境區域定點，需注意

採樣介質的採樣口高度需接近勞工個人呼吸區帶位置，也就是說，約離地 150 公分高度位置。考量測定樣本分析估算濃度要能與職業容許暴露限值比較，需推估 8 小時時量加權平均暴露濃度，以瞭解作業勞工有害物質暴露是否符合法令規定。因此所有樣本採樣時間至少 6 小時，甚至儘可能涵蓋整個勞工正常工作時段 8 小時，以定量勞工個人和作業環境揮發性有機化合物暴露濃度。於勞工下工後，收回採樣幫浦和採樣管，所採集樣本立即放入 4°C 冰桶中保存，待送回實驗室保存於-20°C 冰箱中保存，並於一週內完成樣本定量分析。

## (二) 作業環境與勞工個人粉塵樣本採集

依我國「勞工作業場所容許暴露標準」對於化學桶槽人工投料作業環境中的粉塵，從過去的研究顯示它們可視為第四類粉塵暴露[7]，因此採用我國勞研所公告的總粉塵採樣分析建議方法(編號 CLA4002)[58]，進行作業環境與勞工個人總粉塵暴露採樣測定。為了瞭解勞工個人可呼吸性粉塵暴露濃度，也將以勞研所公告的可呼吸性粉塵採樣分析建議方法(編號 CLA4001)[59]，進行勞工個人可呼吸性粉塵暴露採樣測定。由於暴露控制需要對粉塵粒徑有清楚了解，本研究中也將依美國 NIOSH 的分析方法手冊(Manual of Analytical Methods, NMAM)第五版中，有關氣膠採樣建議的方法進行粉塵分徑採樣測定[60]。

依所採用的採樣分析方法，對於總粉塵採樣介質選擇填充聚氯乙烯濾紙(polyvinylchloride membrane filter, PVC)的 37 mm 濾紙匣，可呼吸性粉塵怎使用填充 25 mm PVC 濾紙的濾紙匣搭配旋風式分離器，以個人採樣幫浦(Casella APEX air sampling pumps 或 Sensidyne Gilian GilAir-5 air sampling pumps)採樣流量率校正設定總粉塵為 2.0 L/min 和可呼吸性粉塵為 2.5 L/min，進行作業環境總粉塵與勞工個人總粉塵暴露採樣測定。為了瞭解製程作業環境現場空氣中粉塵粒徑大小分佈，以 Marple 個人分徑採樣器各階內裝直徑 34 mm 的 PVC 濾紙，以個人採樣幫浦(Casella APEX air sampling pumps 或 Sensidyne Gilian GilAir-5 air sampling pumps)採樣流量率校正設定為 2.0 L/min，執行作業環境或工作者粉塵粒徑大小分佈量測。

作業環境和勞工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和可呼吸性粉塵的 8-hr TWA。關於勞工

個人暴露採樣，於作業前將個人採樣幫浦配戴於勞工的腰部位置，以不妨礙勞工作業為原則，搭配軟管將採樣介質繫於勞工衣領呼吸區帶內實施個人暴露採樣。作業環境採樣測定，則依作業環境區域大小及氣流流動趨勢，約每隔 1.5~2.0 公尺間隔距離區域定點，放置採樣幫浦並接上採樣介質以進行採樣。採樣介質的採樣口高度，同樣需離地約 150 公分高度接近勞工個人呼吸區帶位置。採樣結束後，將採樣完成的濾紙匣和空白濾紙密封標示後，儘速送回實驗室乾燥皿內進行樣本乾燥與保存，等待後續稱重。

### (三) 直讀式儀器即時濃度測定

本研究中使用手提式 VOC 氣體偵測器(Model: PGM-7320, MiniRAE Lite+, RAE Systems)於人工投料作業進行時，執行 VOCs 即時濃度測定。此直讀式儀器內建吸引式幫浦，反應時間小於 3 秒，偵測器為光離子偵測器(photoionization detector, PID)，光源為 10.6 eV，測定濃度範圍為 0.1~5000 ppm，解析度為 0.1 ppm；儀器具有資料儲存功能，量測設定每 10 秒紀錄儲存一筆測定濃度。

對於粉塵的量測，同樣於投料作業進行時，使用 LIGHTHOUSE 直讀式粉塵計(Handheld 3016 Particle Counter, Lighthouse Worldwide Solutions)進行人工投料作業粉塵粒數濃度測定，測定粒徑範圍為 0.3~10  $\mu\text{m}$ ，抽氣流量率為 2.83 L/min，可於螢幕同時顯示 6 個粒徑濃度，具資料儲存功能，最高可儲存 3000 筆量測數據，最高量測濃度(concentration limit)為 4,000,000  $\#/\text{ft}^3$  (141,258,667  $\#/\text{m}^3$ )。

### (四) 測定樣本分析

#### 1.揮發性有機化合物樣本分析

本研究設定以熱脫附儀(automatic thermal desorption system, ATD)(PerkinElmer TurboMatrix TD-350)搭配火焰離子偵測器的氣相層析儀(gas chromatography with flame ionization detector, GC-FID)(Agilent 6890N)進行揮發性有機化合物樣本分析。在採樣分析前，對於欲分析目標揮發性有機化合物，測試儀器分析最佳分析條件，包含分離管柱的選定、烘箱溫度、升溫模式、時間、流量率等進行測試。在完成最佳儀器定量分析條件下，執行欲分析測定的目標揮發性有機化合物進行定量分析，分析圖譜、檢量線及品保品管分析結果。

#### 2.粉塵樣本稱重

本研究使用六位數微量天平(XP6, Mettler Toledo)，重量單位為  $\mu\text{g}$ ，進行採樣濾紙和粉塵稱重。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  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  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。採樣前後的濾紙均依我國 CLA 4001 及 CLA 4002 採樣分析方法步驟處理。

### 第三節 化學桶槽人工投料作業通風設施檢測與評估

#### 一、通風設施性能檢測與評估

為了實際瞭解國內樹脂製造業化學桶槽人工投料作業目前通風設施實際使用現況，將針對事業單位進行實地查訪。有鑑於產業現場樣態種類繁多，如何能於有限查訪案例中取得具代表性與參考性之資料，則為研究團隊之首要顧慮。為此，研究團隊規劃參考前期調查(ILOSH103-H308)成果及成員既有輔導經驗，規劃協助事業單位進行通風設施性能檢測流程如圖 1 所示。透過文獻資料瞭解化學桶槽人工投料作業、種類、技術等，研判通風設施可能形式與運作現況，預測有害物逸散方式與特徵。首先，研究團隊先行向事業單位取得同意，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，以利事業單位預先配合目標作業場所的工作排程與進廠協助。

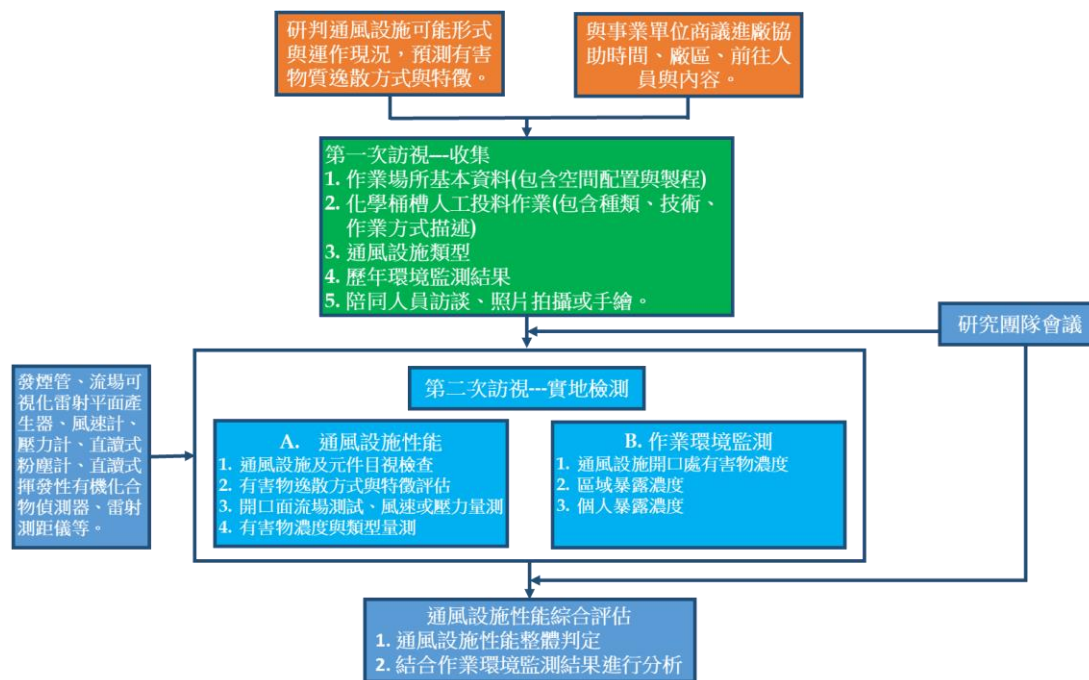
第一次訪視以收集作業場所基本資訊為主，將請事業單位提供包括化學桶槽人工投料作業方式描述與環境資料，包括：人工投料化學品項目或種類、製程解說、空間配置、歷年作業環境監測結果、現有通風設施類型與元件等，並配合現場作業人員訪談了解其作業程序與通風設施之操作。待第一次訪視完成後，研究團隊會召開會議即針對這些資料，藉由研究團隊會議針對化學桶槽人工投料作業場所有害物逸散方式與特徵進行討論及預測，並且研判通風設施形式與實際性能，預測廠商於性能評估時可能出現偏誤的因素，最後針對該作業場所設計合適之通風設施性能評估之方式。掌握上述資訊後，研究團隊進行第二次訪視，根據約定時間攜帶測定儀器設備進廠檢測。檢測時依據實場狀況以發煙管、流場可視化雷射平面產生器、直讀式粉塵計(HANDHELD 3016, LIGHTHOUSE Inc.)、微粒氣動分徑儀(aerodynamic particle sizer, APS 3321, TSI, USA)、揮發性有機化合物直讀式設備、熱線式風速計(Model 405i, Testo, Germany)、熱球式風

速計(Model 480 與 Model 0635 1050, Testo, Germany)、微壓差計(Model DPI 705, Druck, England)等通風性能量測儀器進行通風性能檢測、粉狀物粒徑大小分佈量測、揮發性有機化合物直讀式測定。依照下述步驟進行通風設施性能檢測：

- 1.通風設施及其元件目視檢查。
- 2.為瞭解化學桶槽人工投料作業有害物逸散方式與特徵，利用流場可視化雷射平面產生器搭配攝影方式觀察。
- 3.使用發煙管進行風向測試，觀察開口處之氣流走向，並搭配微壓差計量測系統內外壓力差值，避免粉塵或揮發性有機化合物逸散的風險。
- 4.通風設施性能量測評估(含開口面風速)。
- 5.如現場實際狀況與事業單位允許，則加上直讀式儀器設備(例如直讀式粉塵計或揮發性有機化合物直讀式測定)的評估量測，在化學桶槽人工投料作業區域、人員與通風設施開口進行暴露濃度評估，提供更詳細資訊。
- 6.根據上述有害物逸散方式與實際量測結果結合作業環境監測採樣濃度進行分析與評估，進一步提供事業單位通風設施之現況評估結果與改善建議；或是提供有效設計方式給予廠商，作為未來改善方式參考。

待訪視完成後，進行量測所得結果討論，包含化學桶槽人工投料作業粉塵逸散方式與特徵，結合既有通風設施效能實際量測結果與評估，判斷通風設施是否發揮預設效能，以降低暴露風險，最後提供具化學桶槽人工投料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與性能維護管理觀念。





## 二、化學桶槽工廠人工投料作業有害物暴露控制裝置開發設計與效能評估

在進行局部排氣裝置設計前，要先收集下列資料：(1)確認有害物發生源及各發生

源間之相對重要性；(2)評估有害物的組成、溫度、發散速率及方向；(3)評估工作場所氣流流向及速度；(4)評估勞工作業習慣、安衛知能及接受指導的配合度，以及最重要的不能影響其作業方式。在裝置設置上要注意下列各基本事項：(1)氣罩大小、型式應適合於有害物發生源之狀態。常用氣罩型式有包圍型、崗亭型、外裝型、接收型及吹吸型等五類；(2)為使從有害物發生源以一定速度飛散的有害物，能夠強制被吸引於氣罩中，應設法造成相當的氣流；(3)配置應使作業勞工不接近或不暴露於吸入氣罩的污染氣流內；(4)氣罩導管設計應注意不致有過大的空氣阻力使有害物沉滯於導管內壁，而保暢通；(5)應使用適合於所吸引的有害物性質、濃度等形式的空氣淨化裝置，且施作完畢，要定時檢查、維護及測定，以確保其功能正常並具有高度的妥善運轉率。

依照上述原則，因此本工作項目將針對化學桶槽工廠人工投料作業具代表性作業方式，進行有害物暴露控制的開發。如根據前述採樣或廠訪過程，發現符合化學桶槽工廠人工投料作業實際現場已具有通風設施，首先進入第一階段：依法規面判斷該方式與該通風設備是否適用於該項作業，其次輔以流場可視化、煙流等定性測試，風速、直讀式粉塵計或直讀式揮發性有機化合物偵測器量測，以分析評估該套通風設備的性能(捕集區域或流場狀況)。第二階段：則針對現場有害物種類、有害物發生源與產生方式、現場作業方式等資料進行記錄與蒐集，作為通風設備設計之基礎。如果該作業未設置通風控制設施，則直接進入第二階段評估。無論是已具有但不臻完善或未具有通風控制設施的代表性作業，皆需根據第二階段的現場蒐集資料(包含有害物種類、有害物發生源與產生方式、現場作業方式等)進行設計，確認設計條件並產生設計圖後，經過計算流體力學(computational fluid dynamics, CFD)模擬初步驗證後，確認符合設計條件且足以控制逸散後，則進行適用於人工投料作業的實體通風設施研發製作與驗證。完成後，未來即可提供該項作業事業單位採用，以降低作業勞工暴露。上述評估與設計流程規劃如圖 2 所示。

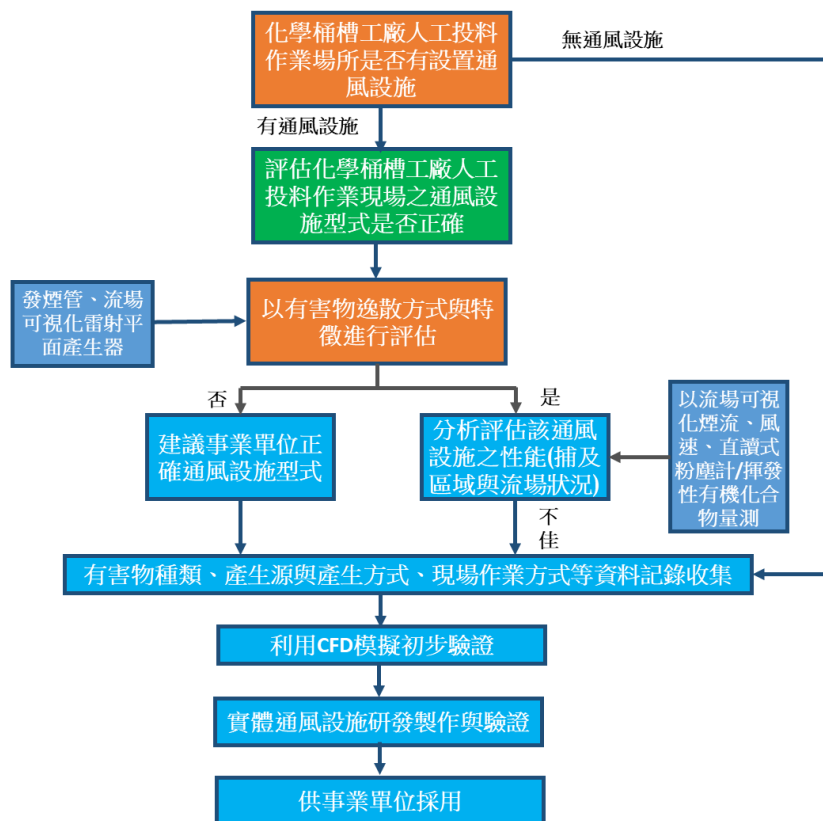


圖 2 評估與設計流程規劃

## 第四章 結果與討論

### 第一節 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業工廠作業環境基準資料

本研究針對 10 家(分別以英文字母 A~J 代表)樹脂製造業有化學桶槽人工投料作業工廠的作業勞工個人與區域定點暴露採樣測定，以下對 A~J 各廠的測定樣本採集位置、作業狀況、通風設置情形、個人防護使用情形等相關基準資料做描述。

#### 一、A 廠

A 廠主要生產各類接著劑，採樣當日針對投料作業和充填包裝作業進行有害物暴露測定。在各投料作業和充填包裝區配置人力分別為 2 和 1~2 名作業勞工。投料作業勞工將粉狀原料投入反應槽中，其作業時間約 5 分鐘，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。作業現場未設有局部排氣通風裝置，採整體換氣方式進行換氣。執行充填包裝作業的勞工站立在秤台前，將待填充的空桶放置在秤台後，確認空桶開口對準卸料口後，開始填充 188 公斤成品至桶中，填充完畢後裝上蓋子，由另一位勞工或該位勞工將包裝成品利用機械設備放置於成品暫存區，勞工充填包裝作業時間約為 0.5~1 小時，填充每一桶成品的時間約為 1~3 分鐘。作業現場有局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置，現場有使用電風扇吹向溶劑發生源，作業進行時勞工未使用呼吸防護具。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 3。

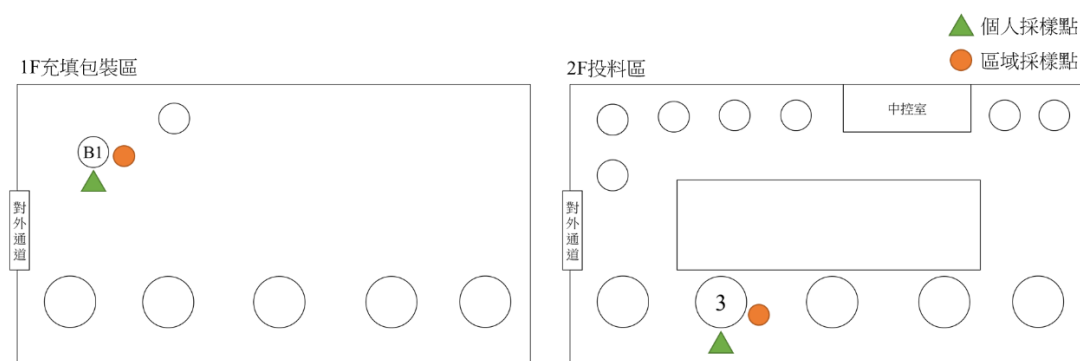


圖 3 A 廠粉體塗裝作業流程及採樣樣本規劃

## 二、B 廠

B 廠主要生產熱熔膠、環氧樹脂、溶劑型等各類型接著劑，採樣當天針對氯丁二烯橡膠(chloroprene rubber, CR)原料前處理滾輪區的橡膠成形作業、投料作業和充填包裝溶劑型接著劑(solvent base adhesive, SBA)和抽原料至反應槽作業進行有害物暴露測定。在各前處理滾輪區、投料作業和充填包裝作業區配置的人力分別為 2、1 和 1 名作業勞工。前處理滾輪區作業的勞工將粉狀原料與塊狀氯丁橡膠投入滾輪進行輾壓，此作業會導致粉狀原料飄散造成粉塵暴露，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向粉狀原料發散源，勞工作業時間分別於上午和下午各實施約 1 小時。作業現場有局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置。投料作業勞工將各種將成型橡膠與粉狀原料投入反應槽中，其作業時間約 5 分鐘，與前處理滾輪區作業相同，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向溶劑發散源，作業現場有局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置。執行充填包裝作業的勞工坐在小板凳上，將待填充的空桶放置在秤台後，確認空桶開口對準卸料口後，開始填充 15 公斤成品至桶中，填充完畢後裝上蓋子，然後將包裝成品推向後方，由另一位勞工將包裝成品排列在棧板上，勞工充填包裝作業時間約為 0.5 小時，填充每一桶成品的時間約為 26 秒。抽原料至反應槽作業實施方式，為將待抽取的原料集中後，利用抽取管深入原料桶底部，抽取原料至反應槽，從原料桶抽取原料的時間略少於 0.5 小時。在充填包裝和抽取原料作業現場均有局部排氣通風裝置，勞工作業期間局部排氣通風裝置均開啟，現場有使用電風扇吹向原料發散源，作業進行時勞工未使用任何個人防護具。對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 4。

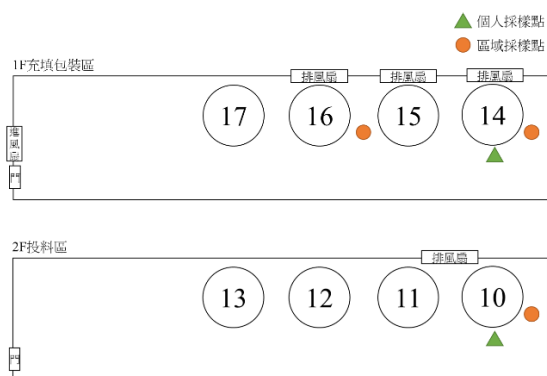


圖 4 B 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

### 三、C 廠

C 廠為丙烯酸樹脂及胺基樹脂專業生產製造工廠，採樣當天針對投料作業和充填包裝作業進行有害物暴露測定，投料作業和充填包裝作業區配置的人力分別為 2 和 3 名勞工。投料作業勞工在操作過程會執行原料攪拌，為影響有害物逸散的因子。作業現場沒有局部排氣通風裝置，勞工於工作時配戴活性碳口罩或濾毒罐防護具，活性碳口罩每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向溶劑發散源。投料作業時間約為 2 小時，包裝作業時間也約為 2 小時。對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 5。

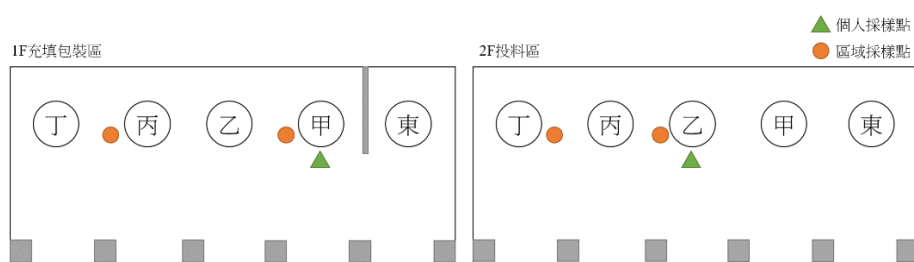


圖 5 C 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

### 四、D 廠

D 廠為工業用油漆塗料的丙烯酸樹脂專業生產製造工廠，採樣當天針對將液體原料以不同比例投入反應槽的投料作業進行有害物暴露測定，該作業配置人力為 2 名勞工。作業現場沒有局部排氣通風裝置，勞工於工作時配戴活性碳口罩或濾毒罐防護具，活性碳口罩每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向溶劑發散源。投料作業時間約為 1 小時，桶槽開口大小為影響有害物逸散的因子。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 6。

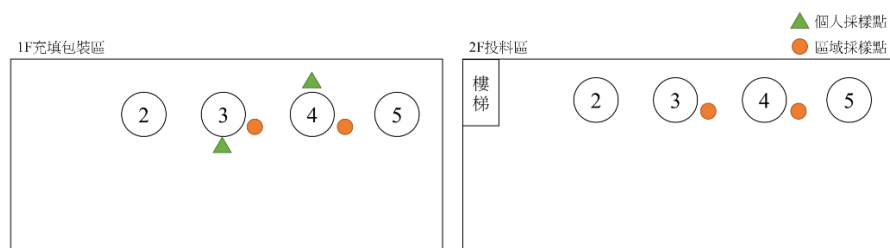


圖 6 D 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

### 五、E 廠

E 廠主要生產熱熔膠、環氧樹脂等各類型接著劑，採樣當天針對投料作業、滾輪



分散作業、充填包裝環氧樹脂型接著劑和當日生產結束的攪拌槽清潔保養，進行有害物暴露測定，該作業配置人力為 5 名勞工。投料作業勞工將各種環氧樹脂與有機溶劑注入攪拌槽中，其批次作業時間共約 40 分鐘，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向發散源，作業現場有局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置。滾輪分散作業為將攪拌完成之接著劑倒入滾輪讓接著劑更細緻，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向發散源，作業現場有局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置。執行充填包裝作業的勞工坐在小板凳上，將待填充的空桶放置在秤台後，確認空桶開口對準卸料口後，開始填充 18 公斤成品至桶中，填充完畢後由另一位勞工進行密封，並將成品放置於成品暫存區，勞工充填包裝作業時間約為 45 分鐘，填充每一桶成品的時間約為 40 秒。於攪拌槽清潔保養時，會利用丁酮(清洗劑)倒入攪拌槽進行自動攪拌，勞工於工作時配戴濾毒罐與耐溶劑防護手套，該作業現場有局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置。自動攪拌完成後，勞工將丁酮抽出，再將攪拌槽推至空曠處進行人工擦拭作業，勞工於工作時配戴濾毒罐與耐溶劑防護手套，將布沾取丁酮擦拭攪拌槽，擦拭作業時間約 30 分鐘，該作業現場未有局部排氣通風裝置，採整體換氣方式進行換氣。本研究對此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 7。

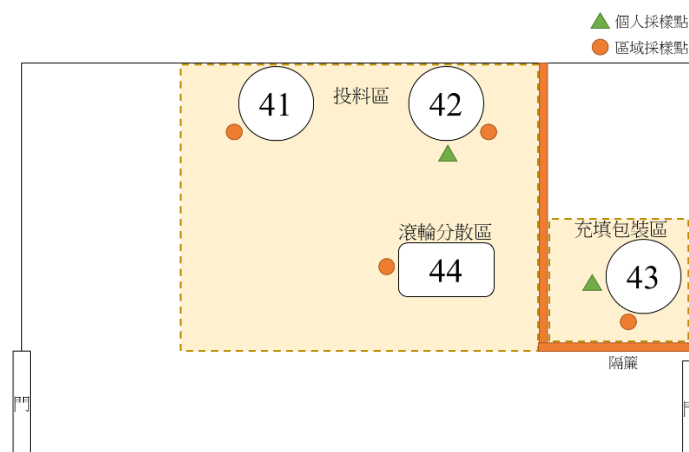


圖 7 E 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

## 六、F 廠

F 廠主要生產熱熔膠、溶劑型等各類型接著劑，採樣當天針對氯丁二烯橡膠

(chloroprene rubber, CR)原料前處理滾輪區的橡膠成形作業、投料作業和充填包裝溶劑型接著劑和抽原料至反應槽作業進行有害物暴露測定。在各前處理滾輪區、投料作業和充填包裝作業區配置的人力分別為 4、2 和 5 名作業勞工。前處理滾輪區作業的勞工將粉狀原料與塊狀氯丁橡膠投入攪拌混和槽，攪拌完成再投入滾輪中進行輾壓成型，此作業會導致粉狀原料飄散造成粉塵暴露，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但未吹向粉狀原料發散源，勞工作業時間為 8 小時。作業現場僅攪拌混和槽有設置局部排氣通風裝置，且在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置，而滾輪作業未設有局部排氣裝置，採整體換氣方式進行換氣。投料作業勞工將成型橡膠與粉狀原料投入反應槽中，其作業時間約 10~30 分鐘，時間會隨當日要投多少個反應槽而變化，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但部分吹向溶劑發散源，未設有局部排氣裝置，採整體換氣方式進行換氣。執行充填包裝作業的勞工，將待填充的空桶放置在秤台後，確認空桶開口對準卸料口後，開始填充 3~15 公斤成品至桶中，填充完畢後裝上蓋子，然後將包裝成品放置於誠品暫存區，勞工充填包裝作業時間約為 1~8 小時。勞工於工作時配戴活性碳口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，但部分吹向溶劑發散源，未設有局部排氣裝置，採整體換氣方式進行換氣。抽原料至反應槽作業實施方式，為將待抽取的原料集中後，利用抽取管深入原料桶底部，抽取原料至反應槽，從原料桶抽取原料的時間約 15 分鐘。勞工於工作時配戴活性碳口罩，並表示每天更換。現場有使用電風扇，並吹向溶劑發散源，該區雖有設置局部排氣裝置，但因位置與效果不佳，於作業期間並未開啟使用。本研究對此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 8。



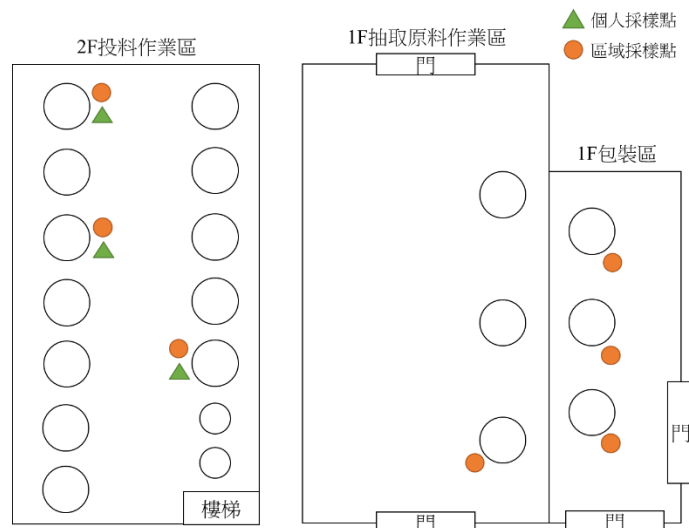


圖 8 F 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

## 七、G 廠

G 廠主要生產熱熔膠並應用在汽車車燈，該作業配置人力為 4 名勞工，採樣當天針對投料作業、充填作業與裁切包裝作業，進行有害物暴露測定。投料作業勞工將各種樹脂原料與粉狀原料投入攪拌槽中，其批次作業時間共約 30 分鐘，勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換。現場使用電風扇，惟吹向發生源，作業現場亦設有局部排氣通風裝置，在勞工作業期間啟用局部排氣通風裝置。執行充填作業的勞工以站立姿勢，將熱熔膠一一注入方型模具中，填充完畢沿著自動化軌道移送至冷卻室進行冷卻。勞工充填包裝作業時間約為 50 分鐘，作業現場未有局部排氣通風裝置。於裁切包裝時，由 1 名勞工使用裁切機將成品裁切後，再由另外 2 名勞工進行包裝封箱作業。該封箱作業作業區未設有局部排氣通風裝置，但設有分離式冷氣，並使用電風扇吹向勞工。本研究對此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 9。

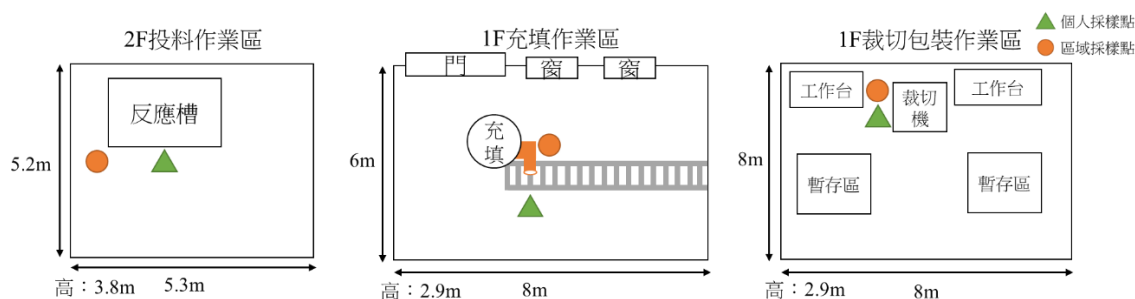


圖 9 G 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

## 八、H 廠

H 廠主要生產胺基樹脂、乳化樹脂及丙烯酸樹脂專業生產製造工廠，採樣當天針對胺基樹脂、乳化樹脂及丙烯酸樹脂之投料作業和充填包裝進行有害物暴露測定，投料作業和充填包裝作業區配置的人力分別為 2 和 3 名勞工。投料作業勞工將粉狀原料投入反應槽中，其作業時間約 30 分鐘，作業現場未設置局部排氣通風裝置，採整體換氣方式進行換氣，勞工於工作時配戴活性碳口罩或 N95 口罩，並表示每天更換。執行充填包裝作業的勞工站立在秤台前，將待填充的空桶放置在秤台後，確認空桶開口對準卸料口後，開始填充 218 公斤成品至桶內，填充完畢後裝上蓋子，由另一位勞工或該位勞工將包裝成品利用機械設備放置於成品暫存區。勞工充填包裝作業時間約為 0.5~1 小時，填充每一桶成品的時間約為 1~2 分鐘。作業現場未設置局部排氣通風裝置，採整體換氣方式進行換氣，勞工於工作時配戴活性碳口罩，並表示每天更換。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 10。

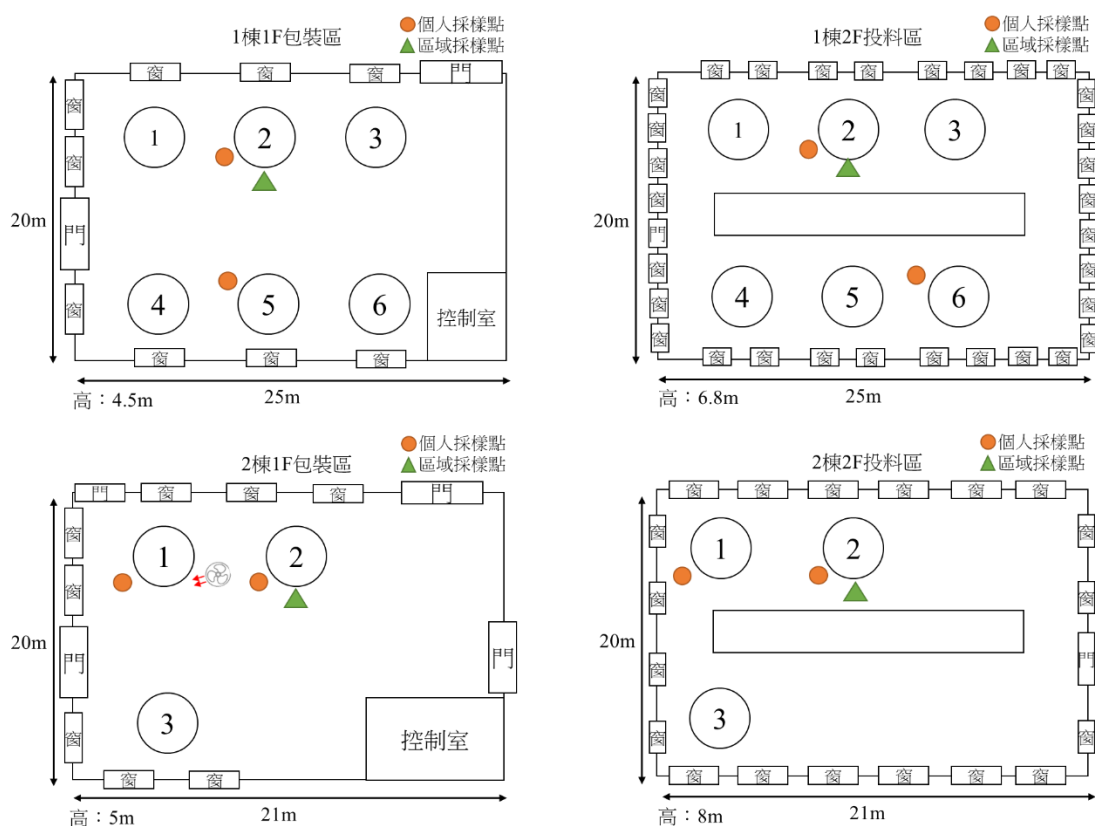


圖 10 H 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

## 九、I 廠

I 廠主要生產尿素甲醛樹脂專業生產製造工廠，採樣當天針投料作業進行有害物暴露測定，投料作業區配置的人力分別為 4~5 名勞工。投料作業勞工將粉狀與粒狀原料投入反應槽中，其作業時間約 0.5~1 小時，作業現場於反應槽內設置具有排氣管之排氣裝置。勞工於工作時配戴 N95 口罩，並表示每天更換，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓成品儲槽，待槽車運送出貨。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 11。

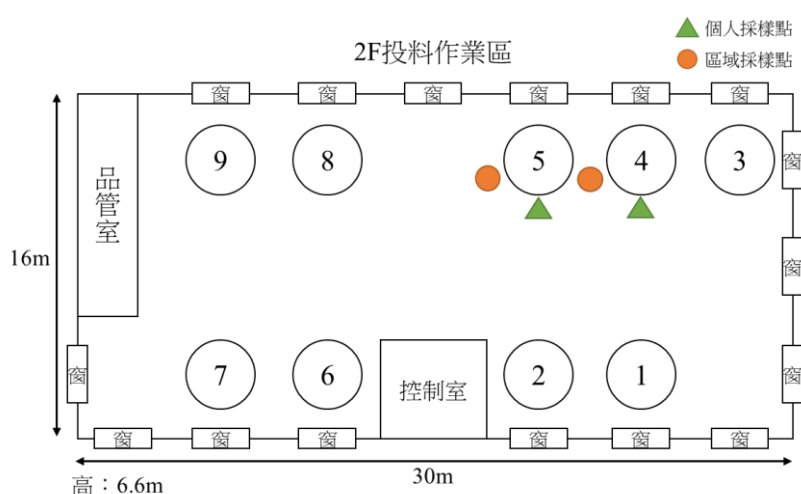


圖 11 I 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

## 十、J 廠

J 廠為酚醛樹脂及丙烯酸樹脂(特殊材料)專業生產製造工廠，採樣當天針對投料作業和充填包裝作業進行有害物暴露測定，在各投料作業和充填包裝區配置人力分別為 2 名和 1~2 名作業勞工。投料作業勞工將粉狀原料投入反應槽中，其作業時間約 5 分鐘，勞工作業時配戴半面體。而酚醛樹脂反應完成後，便將成品打入一樓成品儲槽內，僅用於該廠區內其他製程使用，因此未有充填包裝作業區。而特殊材料充填包裝作業部份，執行作業的勞工站立在秤台前方，將待填充的空桶放置在秤台後，確認空桶開口對準卸料口後再進行。填充完畢後裝上蓋子，由另一位勞工或該位勞工將包裝成品利用機械設備放置於成品暫存區，勞工充填包裝作業時間約為 0.5~1 小時。作業現場設有局部排氣通風裝置，在勞工作業期間啟用局部排氣裝置。本研究對於此工廠的個人及作業環境(區域)採樣測定樣本，採樣位置規劃顯示於圖 12。

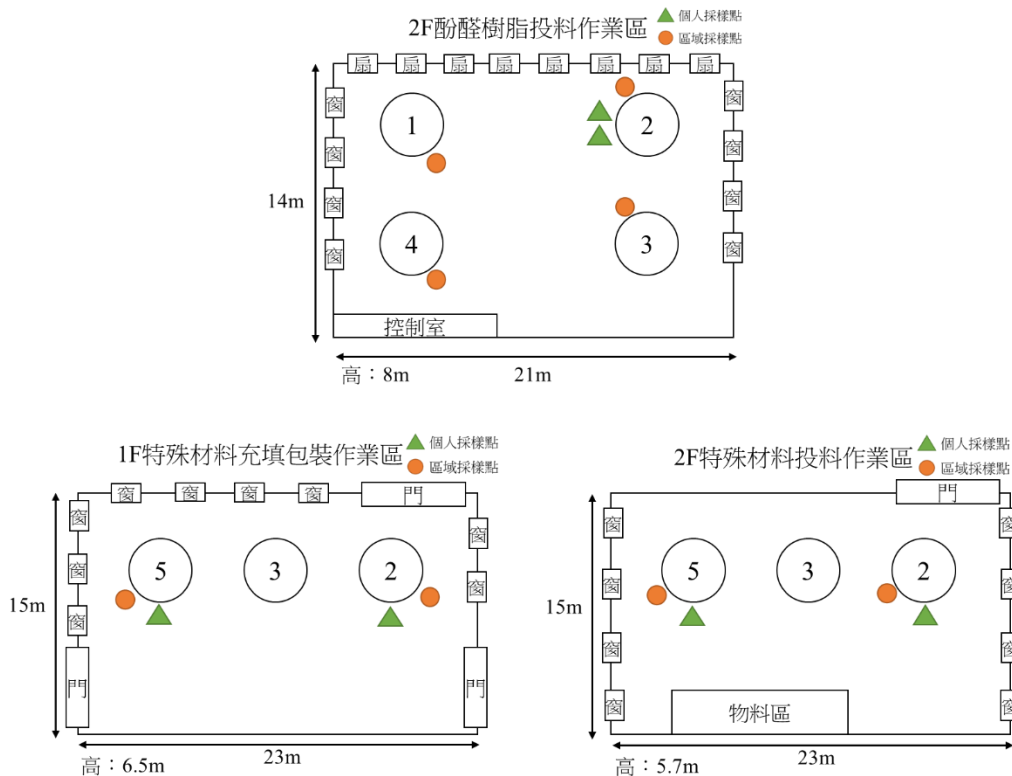


圖 12 J 廠樹脂製造作業流程及採樣樣本規劃

## 第二節 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業工廠有害物暴露監測

### 一、VOCs 環境監測

針對目前已實施訪視和採樣測定的 10 家工廠的測定樣本類型與樣本數表列於表 10，其中個人暴露測定在 VOCs 和粉塵樣本數分為 43 和 13 個，區域定點測定在 VOCs 和粉塵樣本數分為 42 和 57 個，所有樣本數總計 155 個。

表 4 為測定樣本的測定濃度的描述性統計值，從表中可看到在對生產丙烯酸樹脂的 A 工廠對於 3 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在異丁醇和乙二醇乙醚兩個化合物有較明顯測定濃度，它們的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值(±標準差)分別為 0.357(±0.278)和 0.223(±0.217) ppm；2 個短時間個人暴露測定樣本，也是在異丁醇顯示較顯著濃度，其測定濃度算術平均值(±標準差)為 0.119(±0.155) ppm。

在生產環氧樹脂的 B 工廠對於 4 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合

物推估 8-hr TWA 測定濃度，在異丁醇有較明顯測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.638(\pm 1.270)$  ppm；2 個短時間個人暴露測定樣本，也是在異丁醇顯示最高濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.289(\pm 0.407)$  ppm。

在生產丙烯酸樹脂的 C 工廠對於 4 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，在苯乙烯有較明顯測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.048(\pm 0.092)$  ppm；2 個短時間個人暴露測定樣本，則是在異丁醇有最高濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.076(\pm 0.069)$  ppm。

在生產丙烯酸樹脂的 D 工廠對於 4 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在二甲苯和乙二醇乙醚醋酸酯兩個化合物有較明顯測定濃度，它們的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)分別為  $0.153(\pm 0.179)$ 和  $0.099(\pm 0.114)$  ppm；2 個短時間個人暴露測定樣本，則在甲苯有最高濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.098(\pm 0.035)$  ppm。

在生產環氧樹脂的 E 工廠對於 4 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.007(\pm 0.005)$  ppm；6 個短時間個人暴露測定樣本，則在甲苯有最高濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.020(\pm 0.010)$  ppm。

在生產熱熔膠的 F 工廠對於 7 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.131(\pm 0.343)$  ppm；4 個 8 小時個人暴露測定樣本推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在甲基丙烯酸甲酯有最高測定濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.064(\pm 0.124)$  ppm；6 個短時間個人暴露測定樣本，則在四氫呋喃有最高濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $3.233(\pm 5.002)$  ppm，其中有兩個高濃度測值 10.256 和 9.091 ppm，分別發生在包裝和投料作業，顯示在這兩個作業有短時間高濃度暴露發生的可能。

在生產熱熔膠和車燈膠的 G 工廠對於 3 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為  $0.131(\pm 0.343)$  ppm；1 個 8 小時個人暴露測定樣本推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，其測定濃度為

0.069 ppm；3 個短時間個人暴露測定樣本，也是在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為 0.063( $\pm$ 0.041) ppm。

在生產胺基樹脂、丙烯酸樹脂和乳化樹脂的 H 工廠對於 7 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在二甲苯有最高測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為 0.089( $\pm$ 0.090) ppm；4 個 8 小時個人暴露測定樣本推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為 0.117( $\pm$ 0.140) ppm；4 個短時間個人暴露測定樣本，也是在 1,1,2-三氯乙烷有最高測定濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為 0.139( $\pm$ 0.0252) ppm。

在生產尿素甲醛樹脂的 I 工廠對於 2 個區域定點樣本在甲醇和甲醛兩個化合物推估 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)分別為 0.556( $\pm$ 0.005)和 0.015( $\pm$ 0.005) ppm；2 個 8 小時個人暴露測定樣本推估甲醇和甲醛兩個化合物的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)分別為 0.841( $\pm$ 0.289)和 0.014( $\pm$ 0.006) ppm；1 個短時間個人暴露測定樣本在甲醇和甲醛兩個化合物的測定濃度分別為 0.625 和 0.033 ppm。甲醇測定濃度似乎顯示高於其他 VOCs 測定濃度，其實並非如此，是因為甲醇和甲醛的採樣並非使用熱脫附管，而是分別使用矽膠管和裹敷 2,4-二硝基苯肼(2,4-dinitrophenylhydrazine)矽膠管進行採樣，甲醇的可定量極限較高，在 5 個測定樣本中其實只有一個測定濃度 1.046 ppm 高於定量偵測極限，因而造成其 8-hr TWA 測定濃度平均值較其他 VOCs 濃度為高。

在生產酚醛樹脂和特殊材料的 J 工廠對於 4 個 VOCs 區域定點樣本的 15 種揮發性有機化合物推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在四氫呋喃有最高測定濃度，它的 8-hr TWA 測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為 0.894( $\pm$ 0.103) ppm；4 個 8 小時個人暴露測定樣本推估 8-hr TWA 測定濃度，其中在甲醇有最高測定濃度，其測定濃度算術平均值( $\pm$ 標準差)為 0.634( $\pm$ 0.229) ppm；1 個短時間個人暴露測定樣本，雖然顯示甲醇有最高測定濃度，但此測定濃度事實上是低於定量偵測極限，顯示 2.013 ppm 是因為採樣體積小，造成推估的濃度值為小於 4.025 ppm，以 1/2 定量偵測極限取代因而有此測定值。

考量作業勞工 VOCs 暴露是混合物暴露，在假定這些 VOCs 可能產生相加效應下，依我國「勞工作業場所容許暴露標準」第 9 條[28]所列舉的公式，計算勞工每一個 VOC

暴露 8-hr TWA 測定濃度對其容許暴露濃度標準的比值，然後將所有暴露 VOCs 的比值加總，結果發現：所有測定勞工 VOCs 暴露比值加總的值介於 0.0006~0.1023 之間，均未超過 1，顯示 VOCs 混合暴露相加效應發生的機率相當低。無論是個人暴露或區域定點測定樣本，所有測定濃度均顯示遠低於 8-hr TWA 容許暴露濃度限值的 1/10，樹脂製造業作業勞工的 VOCs 暴露符合現有法令規定。

表 4 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業揮發性有機化合物測定濃度

容許暴露濃度 (ppm) 8-hr TWA				化合物名稱																		
工廠	採樣類型	採樣時間	樣本數	200	50	10	100	100	5	50	10	100	100	150	100	100	25	50	5	200	1	5
				四氫呋喃 (ppm)	異丁醇 (ppm)	1,2-二氯乙烷 (ppm)	丙二醇 甲醚 (ppm)	甲基丙烯酸酯 (ppm)	乙二醇 乙醚 (ppm)	甲基異丁酮 (ppm)	1,1,2-三氯乙烷 (ppm)	甲苯 (ppm)	乙酸丁酯 (ppm)	乙苯 (ppm)	二甲苯 (ppm)	環己酮 (ppm)	苯乙烯 (ppm)	乙二酸 乙二酸 酸酯 (ppm)	甲醇 (ppm)	甲醛 (ppm)	酚 (ppm)	
A	區域	8 小時	3	0.013 (±0.000)	0.357 (±0.278)	0.001 (±0.000)	0.000 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.223 (±0.217)	0.024 (±0.001)	0.006 (±0.000)	0.076 (±0.129)	0.007 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.004 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.010 (±0.000)	0.001 (±0.000)	---	---	---	
丙	個人	短時間	2	0.014 (±0.004)	0.119 (±0.155)	0.001 (±0.000)	0.000 (±0.000)	0.003 (±0.001)	0.006 (±0.002)	0.026 (±0.007)	0.007 (±0.002)	0.001 (±0.000)	0.008 (±0.002)	0.003 (±0.001)	0.004 (±0.001)	0.002 (±0.000)	0.011 (±0.003)	0.001 (±0.000)	---	---	---	
酸	區域	8 小時	4	0.002 (±0.001)	0.638 (±1.270)	0.002 (±0.002)	0.000 (±0.001)	0.002 (±0.001)	0.001 (±0.001)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.035 (±0.068)	0.000 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.002)	0.000 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.000 (±0.000)	---	---	---	
B	個人	短時間	2	0.012 (±0.000)	0.289 (±0.407)	0.003 (±0.000)	0.000 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.058 (±0.080)	0.000 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.000 (±0.000)	0.000 (±0.000)	0.000 (±0.000)	---	---	---	
C	區域	8 小時	4	0.002 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.005 (±0.006)	0.001 (±0.000)	0.020 (±0.035)	0.002 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.001 (±0.000)	0.028 (±0.055)	0.010 (±0.018)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.048 (±0.092)	0.019 (±0.036)	---	---	---	
丙	個人	短時間	2	0.016 (±0.002)	0.076 (±0.069)	0.006 (±0.000)	0.067 (±0.001)	0.004 (±0.000)	0.006 (±0.005)	0.002 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.051 (±0.025)	0.010 (±0.005)	0.020 (±0.025)	0.002 (±0.000)	0.030 (±0.010)	0.010 (±0.004)	0.002 (±0.000)	---	---	---	
烯	區域	8 小時	4	0.002 (±0.000)	0.003 (±0.004)	0.083 (±0.095)	0.005 (±0.001)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.001 (±0.000)	0.005 (±0.007)	0.013 (±0.023)	0.153 (±0.179)	0.007 (±0.013)	0.003 (±0.002)	0.099 (±0.114)	---	---	---	



容許暴露濃度 (ppm) 8-hr TWA				化合物名稱																			
工廠	採樣類型	採樣時間	樣本數	200	50	10	100	100	100	5	50	10	100	100	150	100	100	25	50	5	200	1	5
酸樹脂	個人測定樣本	短時間	2	四氫呋喃 (ppm)	異丁醇 (ppm)	1,2-二氯乙烷 (ppm)	丙二醇甲醚 (ppm)	丙烯酸甲酯 (ppm)	乙二醇乙醚 (ppm)	甲基異丁酮 (ppm)	1,1,2-三氯乙烷 (ppm)	甲苯 (ppm)	乙酸丁酯 (ppm)	乙苯 (ppm)	二甲苯 (ppm)	環己酮 (ppm)	苯乙烯 (ppm)	苯乙稀 (ppm)	乙二醇乙醚醋酸酯 (ppm)	甲醇 (ppm)	甲醛 (ppm)	酚 (ppm)	
				0.007 (±0.001)	0.053 (±0.031)	0.011 (±0.007)	0.069 (±0.042)	0.008 (±0.006)	0.014 (±0.001)	0.004 (±0.002)	0.005 (±0.003)	0.098 (±0.035)	0.022 (±0.011)	0.103 (±0.068)	0.010 (±0.005)	0.012 (±0.002)	0.003 (±0.002)	---	---	---	---	---	
E 環氧樹脂	區域定點測定樣本	8 小時	4	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.007 (±0.005)	0.001 (±0.000)	0.006 (±0.005)	0.006 (±0.009)	0.007 (±0.005)	0.002 (±0.002)	0.001 (±0.001)	---	---	---	---	---	
	個人測定樣本	短時間	6	0.010 (±0.014)	0.003 (±0.001)	0.006 (±0.000)	0.006 (±0.004)	0.004 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.011 (±0.020)	0.020 (±0.010)	0.006 (±0.003)	0.016 (±0.009)	0.007 (±0.005)	0.006 (±0.002)	0.002 (±0.000)	---	---	---	---	---	
F 熱熔膠	區域定點測定樣本	8 小時	7	0.006 (±0.004)	0.006 (±0.009)	0.016 (±0.011)	0.012 (±0.019)	0.002 (±0.000)	0.003 (±0.004)	0.005 (±0.007)	0.131 (±0.343)	0.003 (±0.003)	0.003 (±0.004)	0.012 (±0.013)	0.002 (±0.001)	0.003 (±0.001)	0.007 (±0.006)	---	---	---	---	---	
	個人測定樣本	8 小時	4	0.004 (±0.002)	0.008 (±0.008)	0.010 (±0.009)	0.001 (±0.001)	0.064 (±0.124)	0.001 (±0.001)	0.002 (±0.002)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.003)	0.007 (±0.004)	0.012 (±0.013)	0.002 (±0.000)	0.004 (±0.001)	0.002 (±0.002)	---	---	---	---	---	
	個人測定樣本	短時間	6	3.233 (±5.002)	0.004 (±0.004)	0.042 (±0.033)	0.016 (±0.024)	0.120 (±0.123)	0.003 (±0.001)	0.114 (±0.268)	0.006 (±0.008)	0.007 (±0.003)	0.003 (±0.001)	0.013 (±0.008)	0.006 (±0.003)	0.007 (±0.003)	0.002 (±0.000)	---	---	---	---	---	
G 熱熔膠車燈	區域定點測定樣本	8 小時	3	0.002 (±0.000)	0.036 (±0.055)	0.004 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.006 (±0.009)	0.046 (±0.008)	0.003 (±0.001)	0.001 (±0.000)	0.007 (±0.002)	0.002 (±0.001)	0.004 (±0.001)	0.001 (±0.000)	---	---	---	---	---	
	個人測定樣本	8 小時	1	0.003 (±---)	0.024 (±---)	0.007 (±---)	0.003 (±---)	0.005 (±---)	0.003 (±---)	0.002 (±---)	0.069 (±---)	0.009 (±---)	0.002 (±---)	0.005 (±---)	0.003 (±---)	0.005 (±---)	0.002 (±---)	---	---	---	---	---	

容許暴露濃度 (ppm) 8-hr TWA				化合物名稱																
工廠	採樣類型	採樣時間	樣本數	200	50	10	100	100	100	150	100	100	25	50	5	200	1	5		
四氫呋喃	樣本	短時間	3	0.009 (±0.011)	0.017 (±0.013)	0.022 (±0.020)	0.007 (±0.009)	0.014 (±0.016)	0.063 (±0.041)	0.006 (±0.007)	0.006 (±0.009)	0.008 (±0.006)	0.008 (±0.006)	0.007 (±0.006)	0.014 (±0.015)	0.005 (±0.007)	---	---		
H 胺基樹脂	個人測定樣本	8 小時	7	0.001 (±0.000)	0.024 (±0.060)	0.074 (±0.015)	0.008 (±0.001)	0.013 (±0.022)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.015 (±0.037)	0.063 (±0.149)	0.012 (±0.016)	0.030 (±0.037)	---	---	---		
	區域定點測定樣本	8 小時	4	0.001 (±0.000)	0.075 (±0.015)	0.117 (±0.130)	0.003 (±0.002)	0.012 (±0.012)	0.009 (±0.013)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.076 (±0.063)	0.037 (±0.073)	0.001 (±0.000)	0.046 (±0.039)	0.027 (±0.030)	---	---		
	個人測定樣本	短時間	4	0.002 (±0.000)	0.131 (±0.154)	0.139 (±0.025)	0.003 (±0.002)	0.008 (±0.009)	0.007 (±0.008)	0.002 (±0.000)	0.012 (±0.013)	0.013 (±0.008)	0.003 (±0.004)	0.008 (±0.007)	0.013 (±0.007)	0.029 (±0.043)	---	---		
	區域定點測定樣本	8 小時	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.556 (±0.005)	0.015 (±0.005)	---	
I 尿素 甲醯樹脂	個人測定樣本	8 小時	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.841 (±0.289)	0.014 (±0.006)	---	
	個人測定樣本	短時間	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.625 (±---)	0.033 (±---)	---	
	區域定點測定樣本	8 小時	4	0.894 (±0.103)	0.002 (±0.001)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.004)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.737 (±0.051)	0.004 (±0.005)	0.001 (±0.000)	
J 酚醯	區域定點測定樣本	8 小時	4	0.894 (±0.103)	0.002 (±0.001)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.004)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.002 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.737 (±0.051)	0.004 (±0.005)	0.001 (±0.000)	

容許暴露濃度 (ppm) 8-hr TWA				化合物名稱																
工廠	採樣類型	採樣時間	樣本數	200	50	10	100	100	100	100	150	100	100	25	50	5	200	1	5	
樹脂	個人測定樣本	8 小時	4	四氫呋喃 (ppm)	異丁醇 (ppm)	1,2-二氯乙烷 (ppm)	丙二醇甲醚 (ppm)	100	甲基丙烯酸酯 (ppm)	乙二醇乙醚 (ppm)	1,1,2-三氯乙烷 (ppm)	甲苯 (ppm)	乙酸丁酯 (ppm)	二甲苯 (ppm)	環己酮 (ppm)	苯乙烯 (ppm)	乙二醇醋酸酯 (ppm)	甲醇 (ppm)	甲醛 (ppm)	酚 (ppm)
	個人測定樣本	短時間	1	0.002 (±0.001)	0.002 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.001)	0.003 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.001)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.003 (±0.000)	0.001 (±0.000)	0.634 (±0.229)	0.002 (±0.000)	---
合併	區域定點測定樣本	8 小時	---	0.092 (±0.393) (40)*	0.099 (±0.413) (40)	0.026 (±0.071) (40)	0.004 (±0.010) (40)	0.006 (±0.014) (40)	0.018 (±0.077) (40)	0.003 (±0.006) (53)	0.025 (±0.125) (53)	0.011 (±0.041) (40)	0.007 (±0.020) (40)	0.032 (±0.081) (40)	0.013 (±0.063) (40)	0.009 (±0.030) (40)	0.019 (±0.047) (40)	0.677 (±0.102) (6)	0.008 (±0.007) (6)	0.007 (±0.000) (2)
	個人測定樣本	8 小時	---	0.003 (±0.001) (13)	0.028 (±0.080) (13)	0.040 (±0.084) (13)	0.002 (±0.002) (13)	0.025 (±0.068) (13)	0.035 (±0.048) (13)	---	---	0.002 (±0.003) (13)	0.003 (±0.004) (13)	0.016 (±0.030) (13)	0.002 (±0.001) (13)	0.016 (±0.028) (13)	0.009 (±0.019) (13)	0.738 (±0.244) (4)	0.008 (±0.008) (4)	---
合併	個人測定樣本	短時間	---	0.725 (±2.584) (27)	0.063 (±0.131) (27)	0.035 (±0.099) (27)	0.016 (±0.026) (27)	0.032 (±0.072) (27)	0.011 (±0.023) (27)	0.029 (±0.127) (27)	0.013 (±0.026) (27)	0.024 (±0.033) (27)	0.006 (±0.006) (27)	0.003 (±0.003) (27)	0.008 (±0.008) (27)	0.009 (±0.006) (27)	0.006 (±0.018) (27)	1.319 (±0.981) (2)	0.021 (±0.017) (2)	0.143 (±---) (1)

## 二、粉塵暴露採樣測定

表 5 為樹脂製造業化學桶槽作業工廠粉塵採樣測定濃度，從表中可看總粉塵和可呼吸性粉塵在不同工廠的短時間(接近 15 分鐘)和 8-hr TWA 測定濃度，從表中可看到個人短時間可呼吸性粉塵測定濃度平均值( $\pm$ 標準差)在 A、B、E、F、G、H、I 和 J 廠分別為  $0.152(\pm 0.102)$ 、 $0.088(\pm 0.030)$ 、 $0.331(\pm \text{---})$ 、 $0.469(\pm 0.378)$ 、 $3.766(\pm \text{---})$ 、 $0.868(\pm \text{---})$ 、 $0.002(\pm 0.000)$ 和  $0.545(\pm 0.203)$   $\text{mg}/\text{m}^3$ ，除了 G 廠測值高於我國 8 小時可呼吸性粉塵容許暴露濃度限值  $5 \text{ mg}/\text{m}^3$  的  $1/2$ ，或稍高於短時間可呼吸性粉塵容許暴露濃度限值  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$  的  $1/3$ ，其餘工廠均低於我國可呼吸性粉塵容許暴露濃度限值的  $1/10$ ；區域定點總粉塵測定濃度平均值( $\pm$ 標準差)在 A、B、C、D、E、F、G、H、I 和 J 廠分別為  $0.026(\pm 0.015)$ 、 $0.064(\pm 0.038)$ 、 $0.027(\pm 0.007)$ 、 $0.096(\pm 0.030)$ 、 $0.206(\pm 0.134)$ 、 $0.070(\pm 0.037)$ 、 $0.153(\pm 0.088)$ 、 $0.010(\pm 0.003)$ 和  $0.100(\pm 0.097)$   $\text{mg}/\text{m}^3$ ，也均低於我國總粉塵容許暴露濃度限值  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$  的  $1/20$ 。

表 6 為樹脂製造業化學桶槽作業工廠區分作業項目總粉塵和可呼吸性粉塵測定濃度，從表中可看到區域定點總粉塵 8-hr TWA 測定濃度在 F 廠投料作業有最高測定濃度  $0.434 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，其次為 H 廠包裝作業  $0.304 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，再其次為 J 廠投料作業  $0.283 \text{ mg}/\text{m}^3$ ；個人短時間可呼吸性粉塵的在 G 廠的投料作業有最高測定濃度  $3.766 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，其次為 H 廠的投料作業測定濃度  $0.868 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，再其次為 F 廠的投料作業測定濃度  $0.737 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。雖然測定樣本數不大，且這些測定濃度顯示作業勞工總粉塵暴露濃度遠低於我國的總粉塵容許暴露濃度限值，而可呼吸性粉塵暴露也顯示低於容許暴露濃度限值，但會有測值高於  $1/3$  容許暴露濃度限值，這說明對於樹脂製造業作業勞工投料作業短時間可呼吸性粉塵暴露，可能會有少數情況會發生高濃度暴露，需要加以注意降低其暴露。

在對於樹脂製造業化學桶槽作業 9 個工廠作業環境獲得的區域定點 Marple 分徑採樣樣本，對每個樣本在各階的粉塵稱重，合併 9 個樣本各階稱重測定結果的統計分析如表 7，從表中可看到最高平均質量濃度在第二階(粒徑範圍  $14.8\sim 21.3 \mu\text{m}$ )質量百分比為 19.1%(圖 13)，其次為第 3 和 1 階質量百分比分別為 18.6%和 18.1%，粒徑小於  $10 \mu\text{m}$  的粉塵質量百分比約為 44.1%，雖然有較高質量百分比的非可呼吸性粉塵，但可呼吸性和非可呼吸性粉塵佔比僅差約 10%，由於可呼吸性粉塵會深入到肺泡區，可能引發的健康危害效應大於非可呼吸性粉塵，因此兩種粉塵的暴露均應重視。

表 5 樹脂製造業化學桶槽作業區分粉塵類型測定濃度

採樣類型		個人暴露測定樣本		區域定點測定樣本			總數
粉塵類型		可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )		總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	Marple 分徑採樣總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	---
A	採樣時間	短時間	8 小時	8 小時	8 小時	8 小時	---
	樣本數	2	0	3	0	1	6
B	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.152 (±0.102)	---	0.026 (±0.015)	---	0.135	---
	樣本數	2	0	3	0	1	6
C	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.088 (±0.030)	---	0.064 (±0.038)	---	0.156	---
	樣本數	0	0	4	0	1	5
D	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	---	---	0.027 (±0.007)	---	0.062	---
	樣本數	0	0	4	0	0	4
E	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	---	---	0.102 (±0.033)	---	---	---
	樣本數	1	0	4	0	1	6
F	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.331	---	0.090 (±0.030)	---	0.104	---
	樣本數	2	0	8	3	1	14
G	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.469 (±0.378)	---	0.206 (±0.134)	0.104 (±0.023)	0.361	---
	樣本數	1	0	3	0	1	5

工廠

採樣類型		個人暴露測定樣本		區域定點測定樣本			總數
粉塵類型		可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )		總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	Marple 分徑採樣總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	---
採樣時間		短時間	8 小時	8 小時	8 小時	8 小時	---
	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	3.766 (±---	---	0.070 (±0.037)	---	0.191	---
H	樣本數	1	0	8	0	1	10
	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.868 (±---	---	0.153 (±0.088)	---	0.298	---
I	樣本數	2	0	2	0	1	5
	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.002 (±0.000)	---	0.010 (±0.003)	---	0.146	---
J	樣本數	2	0	6	0	1	9
	平均值 (±標準差) (mg/m <sup>3</sup> )	0.545 (±0.203)	---	0.100 (±0.097)	---	0.387	---

表 6 樹脂製造業化學桶槽作業區分作業項目總粉塵測定濃度

粉塵類型	工廠	作業項目	樣本數	平均值 (mg/m <sup>3</sup> )	標準差 (mg/m <sup>3</sup> )	最小值 (mg/m <sup>3</sup> )	最大值 (mg/m <sup>3</sup> )
總粉塵	A	預混合作業	0	---	---	---	---
		投料作業	1	0.022	---	0.022	0.022
		包裝作業	2	0.027	0.020	0.013	0.042
	B	預混合作業	1	0.103	---	0.103	0.103
		投料作業	1	0.062	---	0.062	0.062
		包裝作業	1	0.027	---	0.027	0.027
	C	投料作業	2	0.023	0.010	0.015	0.030
		包裝作業	2	0.031	0.000	0.031	0.031
	D	投料作業	2	0.073	0.005	0.070	0.077
		包裝作業	2	0.031	0.000	0.031	0.031
	E	預混合作業	1	0.060	---	0.060	0.060
		投料作業	2	0.104	0.038	0.077	0.131
		包裝作業	1	0.093	---	0.093	0.093
	F	預混合作業	2	0.241	0.108	0.000	0.027
		投料作業 0	3	0.217	0.189	0.089	0.434
		包裝作業	3	0.171	0.134	0.019	0.273
	G	投料作業	1	0.079	---	0.079	0.079
		包裝作業 I	1	0.101	---	0.101	0.101
		包裝作業 II	1	0.029	---	0.029	0.029
	H	投料作業	3	0.102	0.056	0.059	0.166
		包裝作業	5	0.184	0.094	0.087	0.304
	I	投料作業	2	0.010	0.003	0.008	0.012
		投料作業 I	4	0.118	0.120	0.011	0.283
		投料作業 II	2	0.064	0.025	0.047	0.082
可呼吸性 粉塵	A	投料作業	2	0.152	0.102	0.080	0.224
	B	預混合作業	1	0.110	---	0.110	0.110
		投料作業	1	0.067	---	0.067	0.067
	E	投料作業	1	0.331	---	0.331	0.331
	F	投料作業	2	0.469	0.378	0.202	0.737
	G	投料作業	1	3.766	---	3.766	3.766
	H	投料作業	1	0.868	---	0.868	0.868
	I	投料作業	2	0.002	0.000	0.002	0.002
	J	投料作業	2	0.545	0.203	0.401	0.688

表 7 樹脂製造業化學桶槽作業區域定點 Marple 分徑採樣測定結果

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	累積質 量百分 比
				平均值	標準差		
1	> 21.3	21.3	9	0.038	0.043	18.6	100.0
2	14.8 ~ 21.3	14.8	9	0.039	0.029	19.1	81.4
3	9.8 ~ 14.8	9.8	9	0.037	0.018	18.1	62.3
4	6.0 ~ 9.8	6.0	9	0.024	0.029	11.8	44.1
5	3.5 ~ 6.0	3.5	9	0.022	0.021	10.8	32.4
6	1.55 ~ 3.5	1.55	9	0.011	0.010	5.4	21.6
7	0.93 ~ 1.55	0.93	9	0.011	0.010	5.4	16.2
8	0.52 ~ 0.93	0.52	9	0.009	0.009	4.4	10.8
F (濾紙)	0 ~ 0.52	0.0	9	0.013	0.013	6.4	6.4



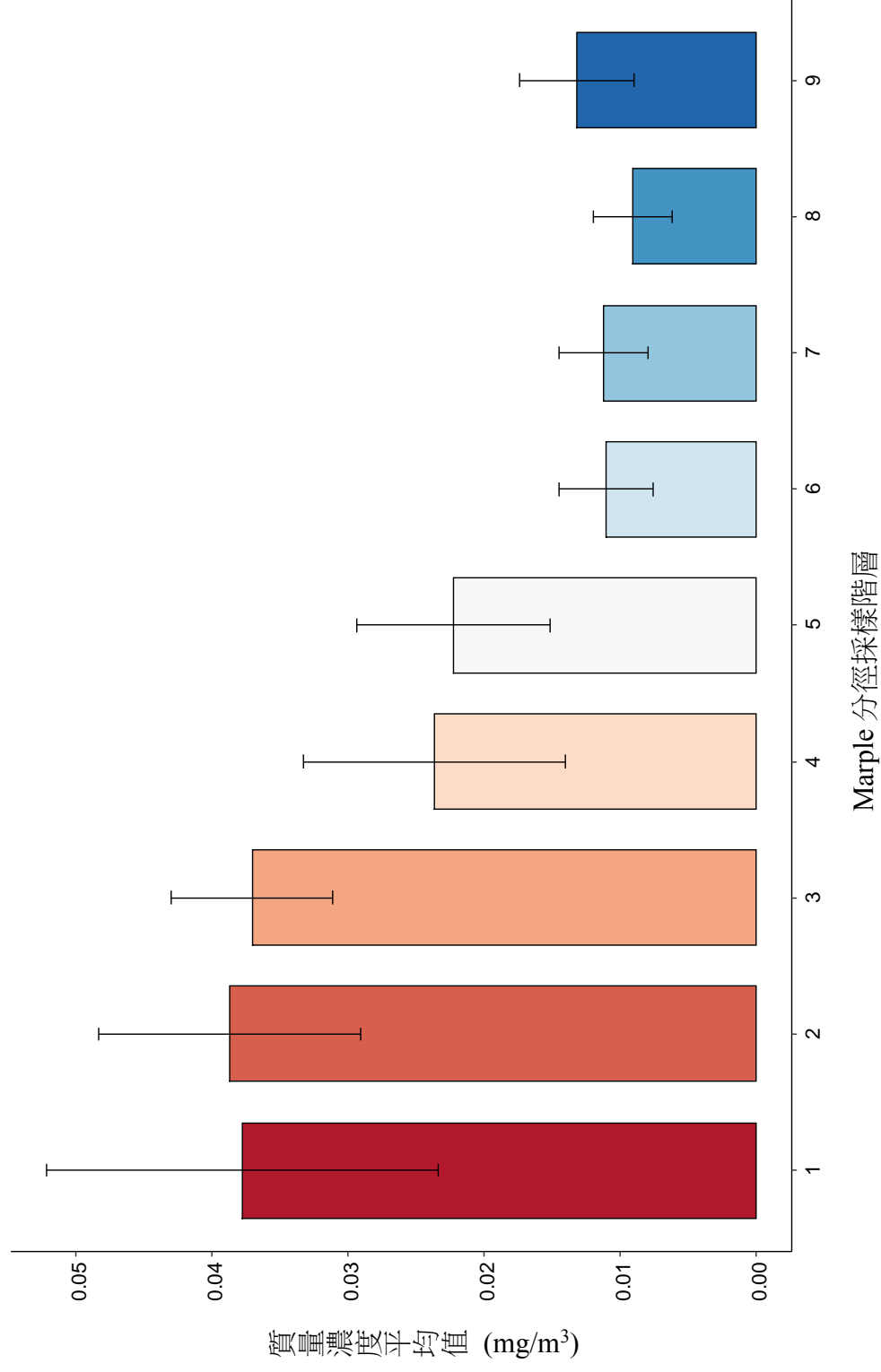


圖 13 樹脂製造業化學桶槽作業 Marple 分徑採樣各階層粉塵質量濃度

### 三、直讀式儀器測定

使用光離子氣體偵測器(PID)於各廠人工投料作業進行時，執行 VOCs 即時濃度測定，量測設定每 10 秒紀錄儲存一筆測定濃度，濃度測定最大值和最小值整理於表 8，從表中可看到投料進行時，在 F 廠可測得最大濃度 390.000 ppm，其他各廠也會有最大測定濃度介於 0.683~78.050 ppm 的情形，顯示人工投料作業確實會有短時間高濃度發生的情形。需注意 PID 可偵測的氣體化合物相當多，且對各化合物相同濃度的反應信號強度並不一致，其操作手冊中說明所有化合物的測定濃度，需以該 PID 所配備光源對異丁烯(isobutylene, CAS No. 115-11-7)測定濃度進行修正，手冊中提供所有可偵測化合物對異丁烯測定濃度的修正因子。本研究測定的 18 種化合物，除 1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、乙二醇乙醚醋酸酯、甲醇和甲醛等 5 種化合物無法測定外，四氫呋喃、異丁醇、丙二醇甲醚、甲基丙烯酸甲酯、乙二醇乙醚、甲基異丁酮、甲苯、乙酸丁酯、乙苯、二甲苯、環己酮、苯乙烯和酚等 13 種化合物對異丁烯測定濃度的修正因子，分別為 1.7、1.8、1.2、1.5、1.3、0.8、0.45、2.6、0.47、0.42、0.9、0.43 和 1.6[63]。雖然在技術上可使用這些修正因子調整 PID 的測定濃度，可是真實的化合物組成並不可知，而且可能在所測定的化合物外，還有其他化合物存在，因此以這些測定濃度的修正因子調整 PID 測定濃度，是否就得到最真實的暴露濃度，也不是有絕對的把握。因此，對於 PID 的測定濃度不進行修正調整，只是強調此人工投料作業短時間高濃度測值，確認在此作業確實會有高濃度暴露發生。

使用 LIGHTHOUSE 直讀式粉塵計進行人工投料作業粉塵粒數濃度測定，10 秒量測 1 筆數據，取至少 6 次量測值的平均值作為紀錄數值，測定粒徑範圍為 0.3~10  $\mu\text{m}$ ，量測結果呈現於表 16，從表中可看到 I 廠投料作業有最高的總粒數濃度 465,268,531  $\#/m^3$ ，其次為 G 廠總粒數濃度 320,479,139  $\#/m^3$ ，A 廠總粒數濃度最低為 57,778,72  $\#/m^3$ ，圖 14 為 10 個工廠人工投料作業總粒數濃度的比較。再從表 9 比較 10 個工廠投料作業不同粉塵粒徑 0.3、0.5、1、3、5 和 10  $\mu\text{m}$  的測定粒數濃度，所有工廠均在 0.3  $\mu\text{m}$  有最高的粒數濃度，其次為 0.5  $\mu\text{m}$ ；I 廠仍是在 0.3  $\mu\text{m}$  有最高的粒數濃度(391,789,383  $\#/m^3$ )的工廠，其次為 G 廠粒數濃度 247,083,383  $\#/m^3$ ，圖 15 將各廠在人工投料作業粉塵粒數濃度粒徑分佈圖，從圖中可看到粉塵粒徑 0.3 和 0.5  $\mu\text{m}$  均有明顯高於其他粒徑的粒數濃度。由於粉塵密度與粒徑的關係無法知悉，此粒數濃度與前面以 Marple 分徑採樣測定測得的質量濃度主要粉塵粒徑尺寸有所不同，但在此難以對此差異有更多的討論。

表 8 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業直讀式儀器 VOCs 即時測定濃度

工廠	作業項目	VOCs 測定濃度 (ppm)	
		最大值	最小值
A	投料作業	46.630	12.150
B	投料作業	63.670	23.360
C	投料作業	13.050	8.140
D	投料作業	78.050	20.590
E	投料作業	18.350	13.590
F	投料作業	390.000	10.000
G	投料作業	0.683	0.448
H	投料作業	2.875	2.624
I	投料作業	1.400	0.200
J	投料作業	140.00	60.00

表 9 樹脂製造業化學桶槽人工投料作業直讀式粉塵計即時測定分徑粒數濃度

工廠	作業項目	0.3 $\mu\text{m}$ (#/m <sup>3</sup> )	0.5 $\mu\text{m}$ (#/m <sup>3</sup> )	1 $\mu\text{m}$ (#/m <sup>3</sup> )	3 $\mu\text{m}$ (#/m <sup>3</sup> )	5 $\mu\text{m}$ (#/m <sup>3</sup> )	10 $\mu\text{m}$ (#/m <sup>3</sup> )	總數 (#/m <sup>3</sup> )	局部排氣 裝置	粉/粒原料 重量(kg)
A 廠	投料作業	49,660,279	5,655,689	1,853,427	318,233	240,212	50,883	57,778,724		300
B 廠	投料作業	98,701,070	11,574,557	1,821,201	218,375	155,477	31,096	112,501,775	有	25
C 廠	投料作業	117,315,900	9,426,148	981,201	111,943	41,131	3,392	127,879,715		125
D 廠	投料作業	124,166,783	16,328,622	5,432,861	559,011	244,523	21,908	146,753,708		200
E 廠	投料作業	230,524,733	56,207,420	3,032,509	258,304	160,071	43,110	290,226,146	有	138
F 廠	投料作業	62,163,250	15,930,033	9,009,186	1,667,138	1,301,060	233,922	90,304,590		400
G 廠	投料作業	247,083,383	55,001,410	17,535,335	652,650	193,993	12,367	320,479,139	有	206
H 廠	投料作業	232,560,233	23,430,210	5,047,703	650,000	389,753	47,350	262,125,249		1,650
I 廠	投料作業	391,789,383	63,377,382	8,472,438	973,498	527,915	127,915	465,268,531	有	1,875
J 廠	投料作業	216,284,100	33,067,844	11,503,462	1,083,816	573,710	167,915	262,680,848		2,000

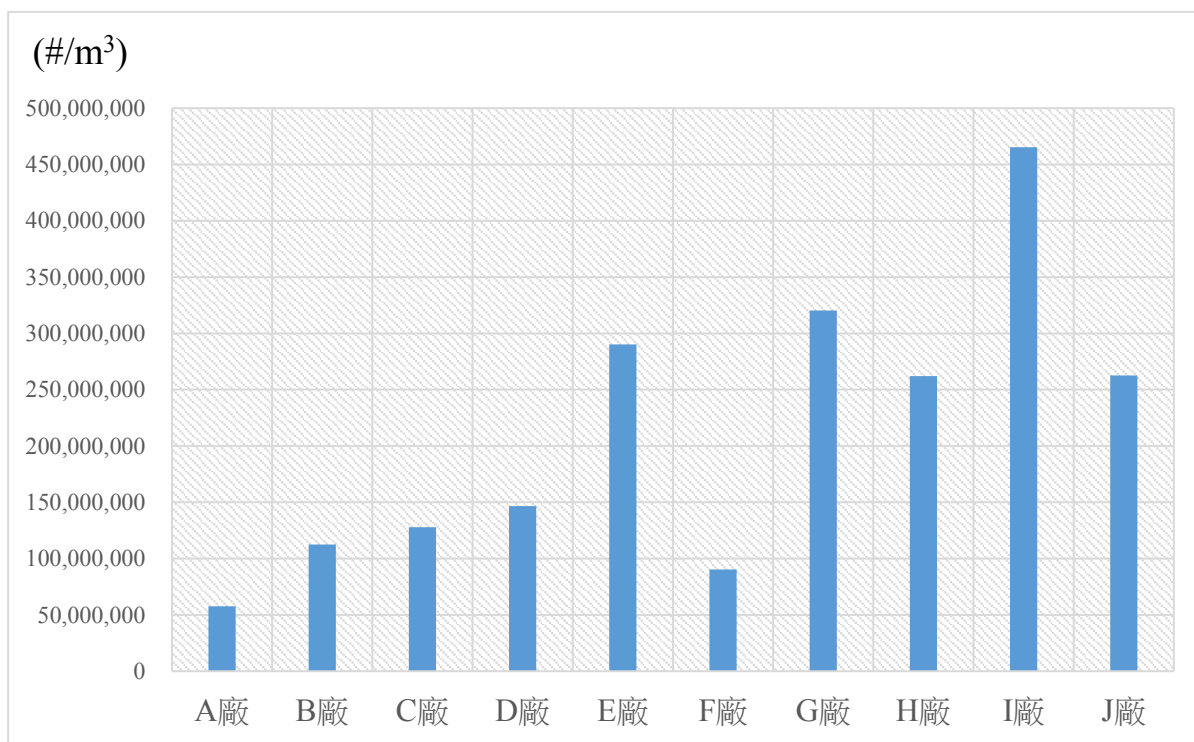


圖 14 樹脂製造業各廠化學桶槽人工投料作業期間直讀式粉塵計量測總粒數濃度

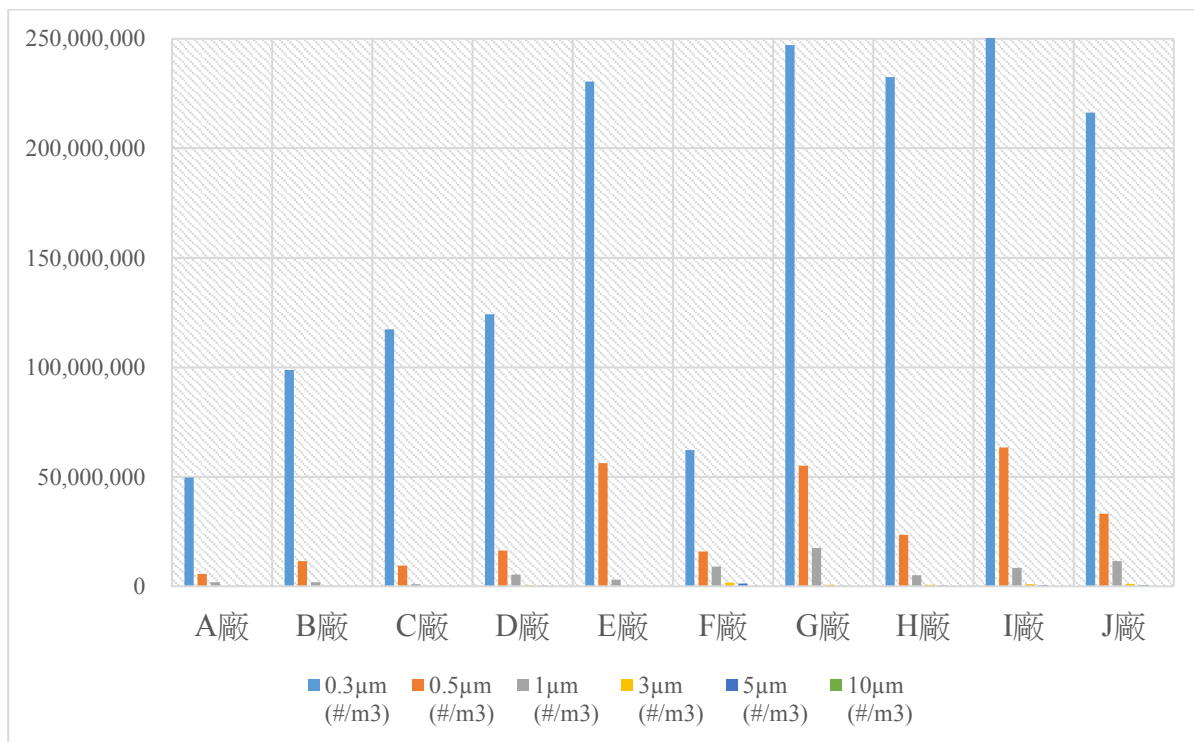


圖 15 各廠化學桶槽人工投料作業期間直讀式粉塵計量測粒數濃度粒徑分布圖

### 第三節 化學桶槽人工投料作業工廠作業通風設施檢測

對於投料作業區通風設施性能檢測，規劃針對勞工作業周遭首先(1)利用發煙管於勞工作業之呼吸帶(離地高度 150cm)，以作業位置為原點，分別再向左右方 45°共三個位置進行風向測試；接續(2)以風速計進行該三位置之風速測定，據以評估各通風設施(含開窗進行整體換氣以及局部排氣)綜整下，於勞工作業位置之成效。而對於具有局部排氣裝置之投料區，則以風速計進行局部排氣裝置之氣罩開口面，以及距氣罩開口面下方 10cm 共兩平面，分別進行每個平面 9 個不同位置風速測定，以評估該局部排氣對於投料作業逸散之控制效果。以下是各廠檢測結果。

#### 一、A 廠

A 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 16，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區如圖 16 所示為一半密閉室內空間(長 25 m、寬 4.8 m、高 5.2 m)，未設有局部排氣裝置，採開窗進行整體換氣。一樓充填包裝區如圖 17 所示為一半密閉室內空間(長 25 m、寬 4.8 m、高 3.4 m)，該作業區設有局部排氣(未具氣罩單純以風管開口進行抽取)，在充填包裝作業時開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集。

採樣當天該產線於 3 號桶槽進行投料作業，針對投料區勞工作業位置測定如圖 18 所示。結果發現 3 號桶槽投料口勞工作業位置之氣流由投料口朝向作業者呼吸帶流向，推測是受到對外通道所引進氣流之影響，風速介於 0.07 m/s 與 0.10 m/s 之間。由於該區以對外通道進行整體換氣，因此針對對外通道開口面進行氣流方向測試，氣流皆由室外朝室內引入。採樣當天充填包裝作業於 B1 桶槽進行，卸料口旁設有上吸式局部排氣裝置。勞工作業位置測定如圖 19 所示，結果發現 B1 充填包裝作業區勞工作業位置之氣流由卸料口朝向作業者呼吸帶流向，風速介於 0.07 m/s 與 0.12 m/s 之間。而該局部排氣由於未設置氣罩，因此量測抽氣風管(直徑 10 cm)開口面、距吸氣風管下 5 cm 以及 10 cm 共三平面風速。測定結果如圖 19 所示，結果顯示吸氣風管開口面風速為 9.01 m/s，距吸氣風管下 5 cm 之開口面風速為 0.69 m/s，而距吸氣風管下 10 cm 之開口面風速為 0.07 m/s。雖然卸料口與吸氣風管開口面接近，但因電風扇之氣流影響，導致氣流

由卸料口朝向作業者呼吸帶流向，可能增加作業者暴露之風險。

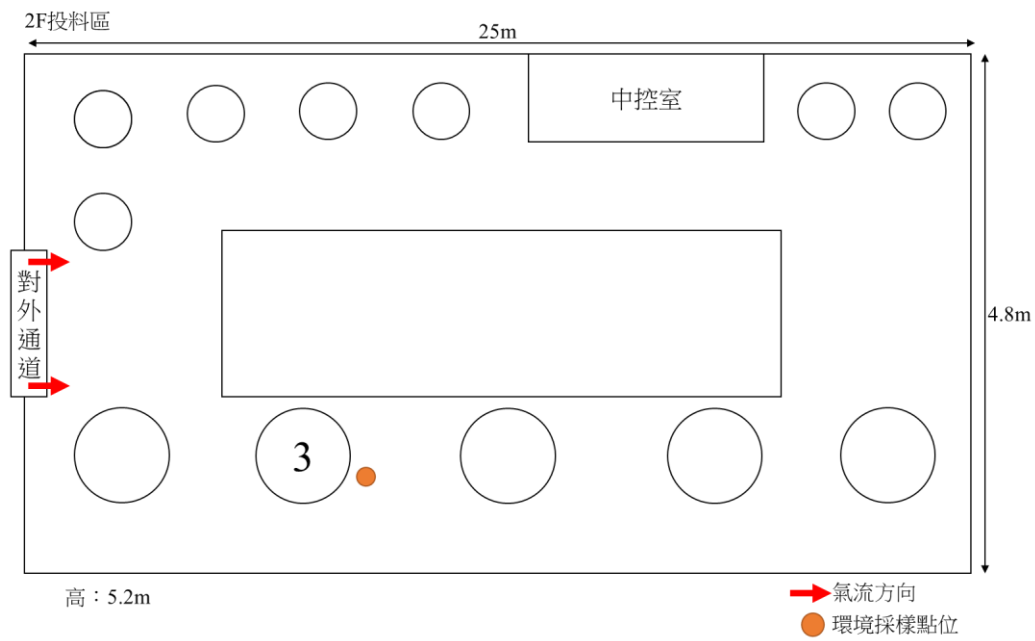


圖 16 A 廠投料作業區現場示意圖

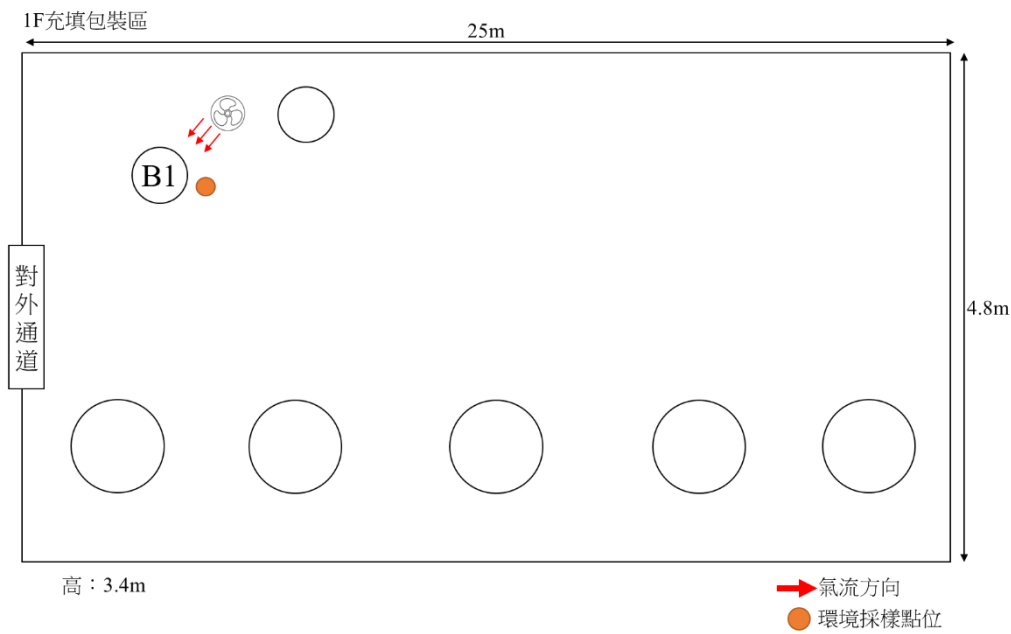


圖 17 A 廠充填包裝作業區現場示意圖

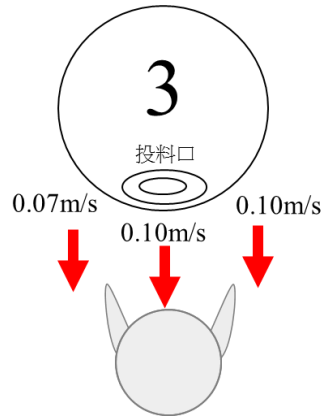


圖 18 A 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

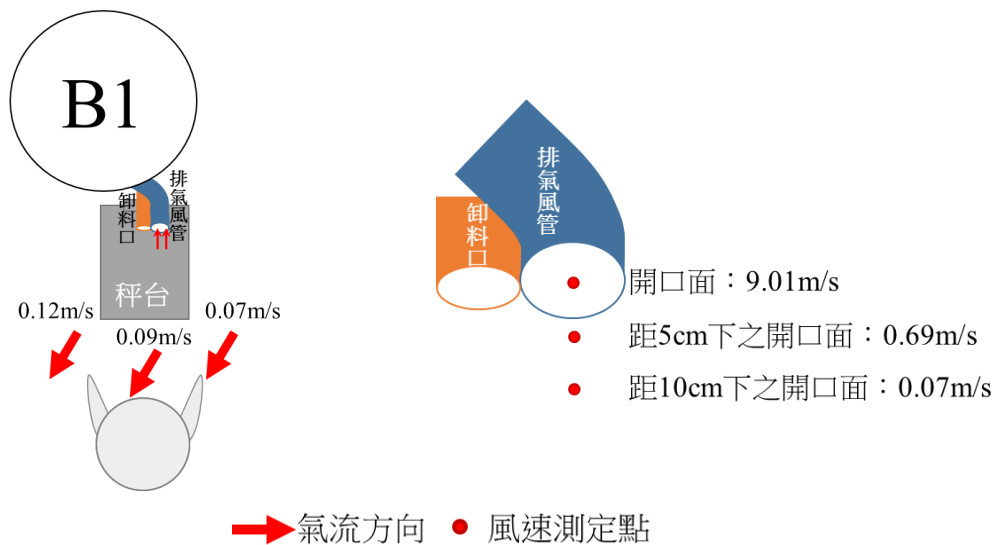


圖 19 A 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

## 二、B 廠

B 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 20，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區如圖 20 所示為一半密閉室內空間(長 22 m、寬 4.6 m、高 4.5 m)，設有局部排氣裝置，於投料口上方設置上吸式氣罩，在投料作業時開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集，進而達到保護勞工之目的。一樓充填包裝區如圖 21 所示為一半密閉室內空間(長 22 m、寬 4.8 m、高 4.3 m)，該作業區設有局部排氣(未具氣罩單純以風管開口進行抽取)，在充填包裝作



業時開啟抽氣，將逸散之溶劑加以捕集。

採樣當天該產線於 10 號桶槽進行投料作業，針對投料區勞工作業位置測定如圖 22 所示。結果發現 10 號桶槽投料口勞工作業位置之氣流由作業者呼吸帶朝向投料口流向，推測是由於 10 號桶槽投料口與 11 投料口之間設有排風扇所形成，風速介於 0.07 m/s 與 0.27 m/s 之間。而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩下 10 cm 平面風速測定結果，以風速分布等高線圖呈現如圖 23~24，結果顯示氣罩開口面風速介於 0.04 m/s 與 0.14 m/s 之間，而距氣罩下 10 cm 之開口面風速介於 0.04 m/s 與 0.12 m/s 之間。但是真正投料口位置離氣罩距 75 cm，推論仍有逸散之風險。

採樣當天該產線於 14 號桶槽進行充填包裝作業，卸料口旁設有上吸式局部排氣裝置。勞工作業位置測定如圖 25 所示，結果發現 14 號充填包裝作業區勞工作業位置之氣流由作業者呼吸帶朝向卸料口流向，風速介於 0.07 m/s 與 0.54 m/s 之間。而該局部排氣由於未設置氣罩，因此量測抽氣風管開口面(直徑 15 公分)、距抽氣風管下 5 cm 以及 10 cm 共三平面風速。測定結果如圖 25 所示，結果顯示抽氣風管開口面風速為 2.44 m/s，距抽氣風管下 5 cm 之開口面風速為 0.27 m/s，而距抽氣風管下 10 cm 之開口面風速為 0.13 m/s。因卸料口與抽氣風管開口面接近，因此逸散之溶劑較能有效被捕集。

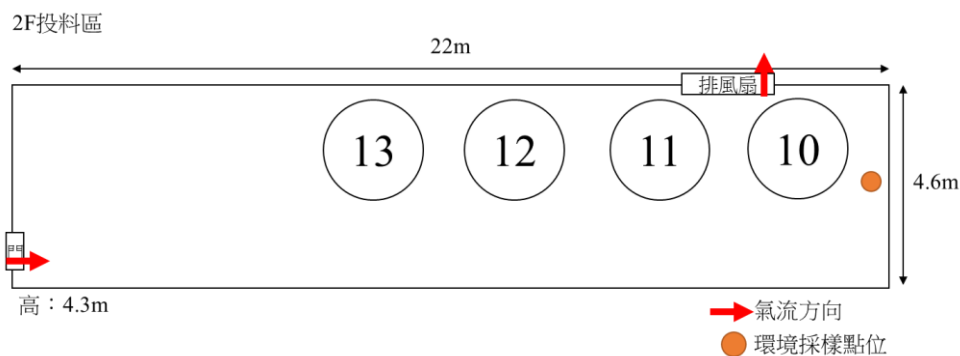


圖 20 B 廠投料作業區現場示意圖

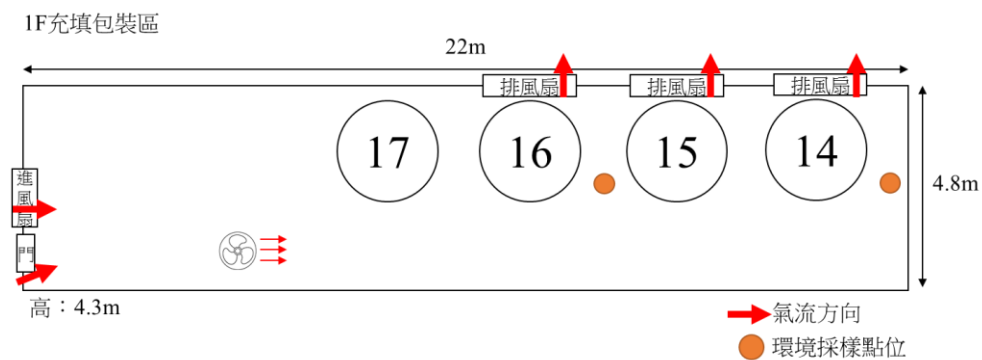


圖 21 B 廠充填包裝作業區現場示意圖

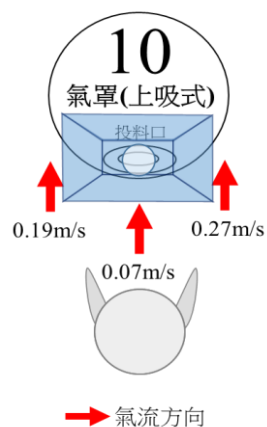


圖 22 B 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

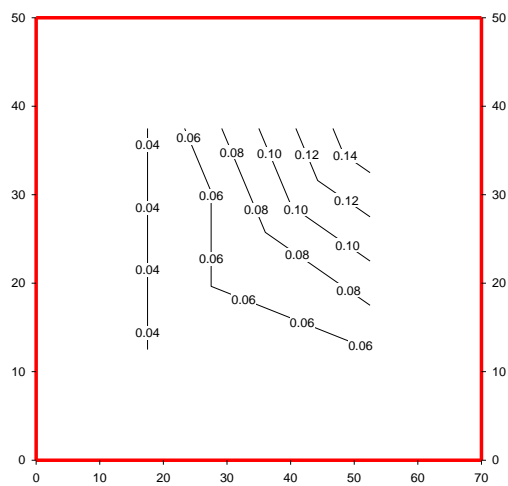


圖 23 B 廠投料作業區氣罩開口風速分布圖

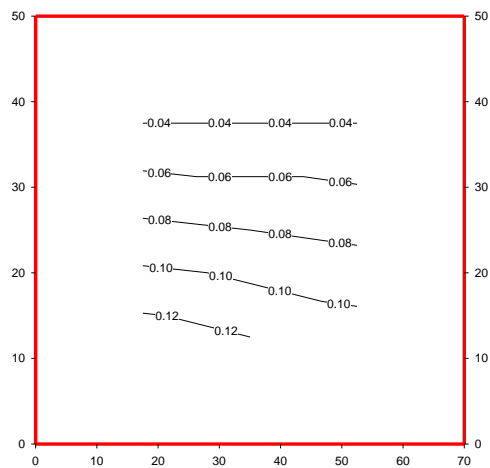


圖 24 B 廠投料作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖

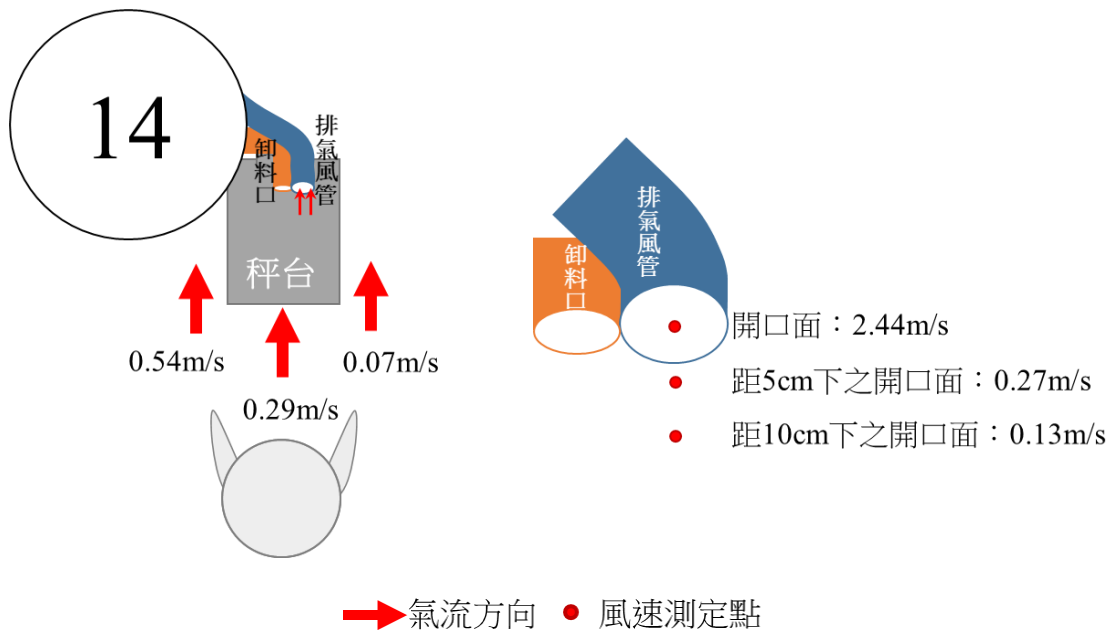


圖 25 B 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

### 三、C 廠

C 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 26，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區如圖 26 所示為一半密閉室內空間(長 29 m、寬 7 m、高 5.7 m)，未設有局部排氣裝置，採開窗進行整體換氣。一樓充填包裝區如圖 27 所示為一半密閉室內空間(長 29 m、寬 7 m、高

3.5 m)，該作業區設有局部排氣，於卸料口上方設置上吸式氣罩，在充填包裝作業時開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集，進而達到保護勞工之目的。

採樣當天該產線分別於乙與丁兩桶槽進行投料作業，針對兩投料區勞工作業位置測定如圖 28 所示。結果發現乙投料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速介於 0.69 m/s 與 1.29 m/s 之間；而丁投料口之風速介於 0.04 m/s 與 0.08 m/s 之間，氣流則無特定方向性。由於該區採開窗進行整體換氣，因此進一步分別於窗戶開口及投料區整體環境進行氣流方向測試。結果如圖 29 所示，乙丙丁三投料口之風向受到窗戶、風扇氣流之影響，未一致性地往遠離工作者方向流動。

採樣當天該產線分別於甲與丙兩桶槽進行充填包裝作業，而兩桶槽皆設置上吸式局部排氣裝置。勞工作業位置測定如圖 30 所示，結果發現甲充填包裝作業區之氣流為由卸料口朝向作業者呼吸帶之流向，風速介於 0.21 m/s 與 0.69 m/s 之間。而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩下 10 cm 平面風速測定結果，以風速分布等高線圖呈現如圖 31~32，結果顯示氣罩開口面風速介於 0.30 m/s 與 0.60 m/s 之間，而距氣罩下 10 cm 之開口面風速介於 0.15 m/s 與 0.35 m/s 之間。但是真正卸料口位置離氣罩距 20 cm，推論仍有逸散之風險。至於丙充填包裝作業區部分，其氣流方向為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口，風速介於 0.22 m/s 與 0.51 m/s 之間；而氣罩開口面與距氣罩下 10 cm 開口面之風速分布等高線圖如圖 33~34 所示，氣罩開口面風速介於 0.20 m/s 與 0.35 m/s 之間，距氣罩下 10 cm 之開口面風速介於 0.05 m/s 與 0.20 m/s 之間。但卸料口離氣罩實際距離為 60 cm，因此仍有逸散之風險。

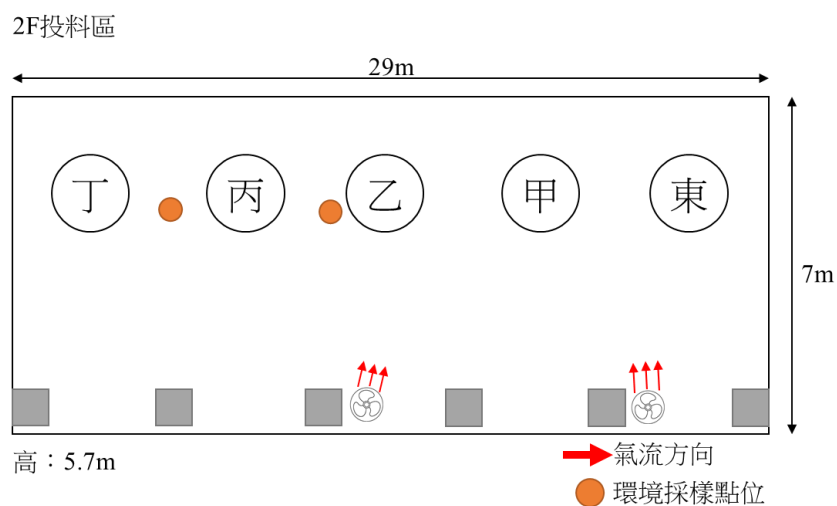


圖 26 C 廠投料作業區現場示意圖

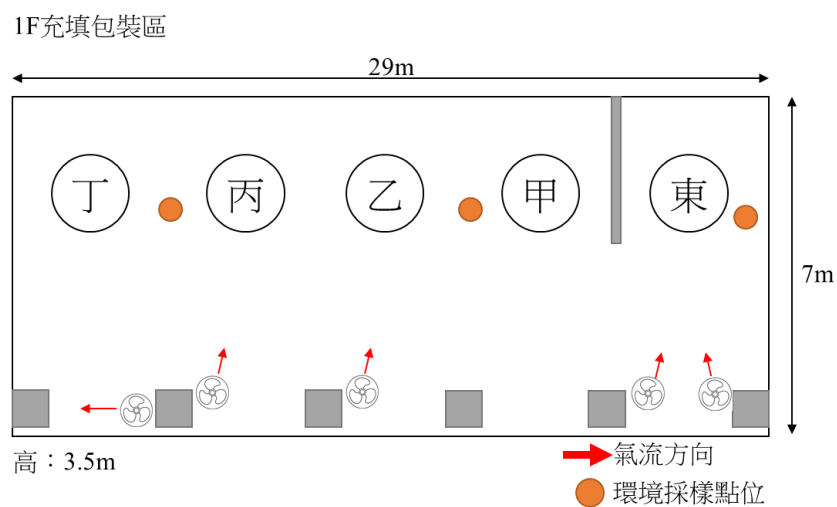


圖 27 C 廠充填包裝作業區現場示意圖

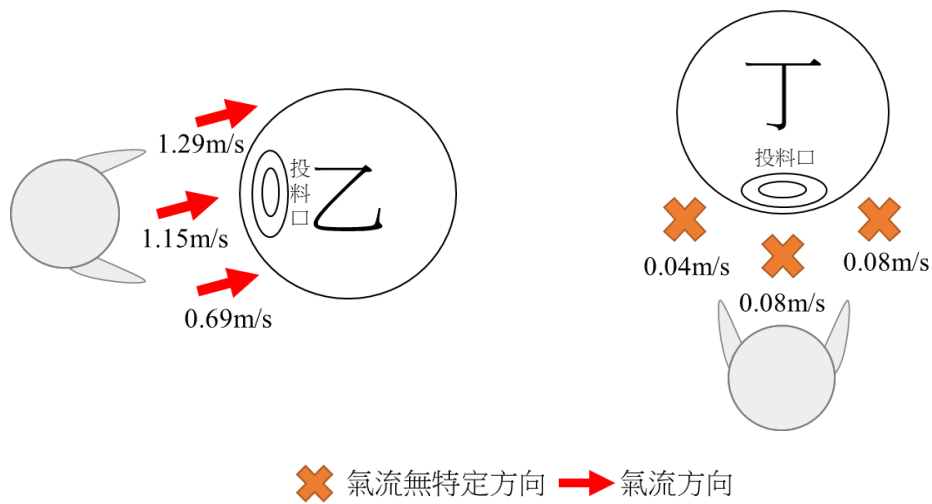


圖 28 C 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

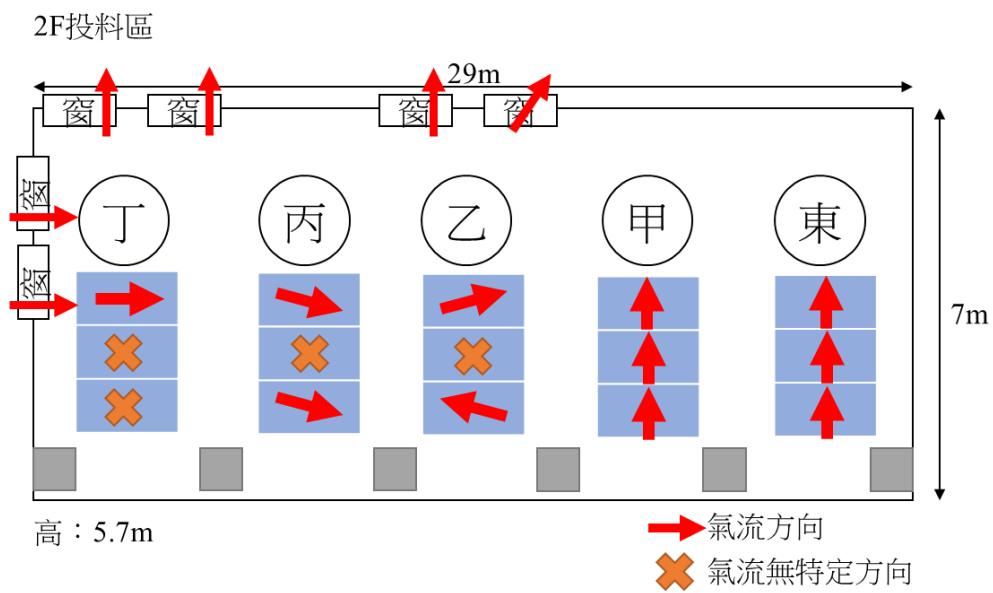


圖 29 C 廠投料作業區環境氣流方向

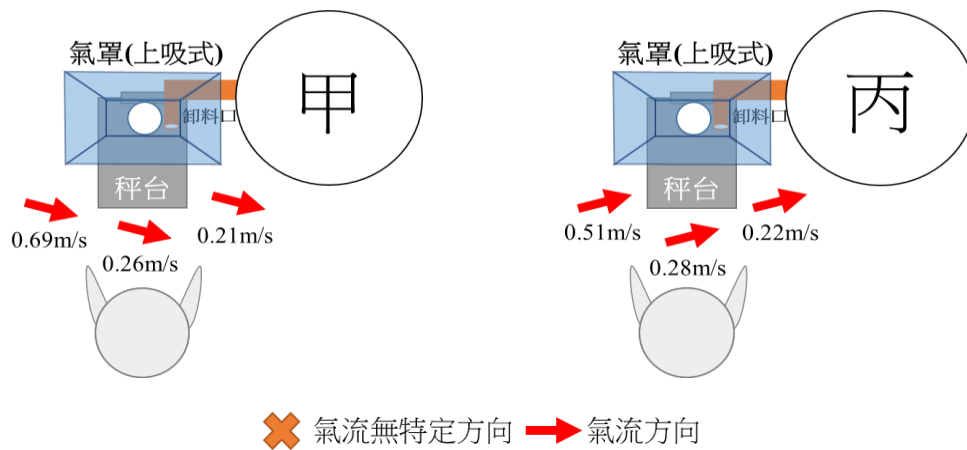


圖 30 C 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

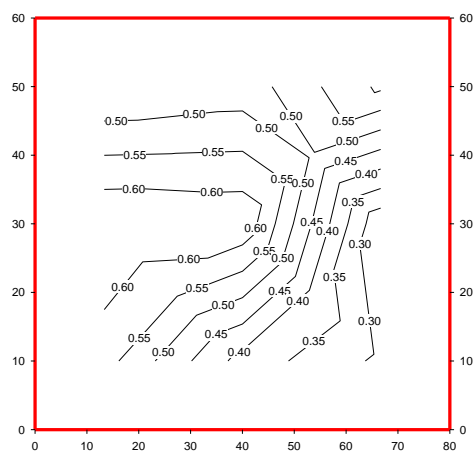


圖 31 C 廠甲充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖

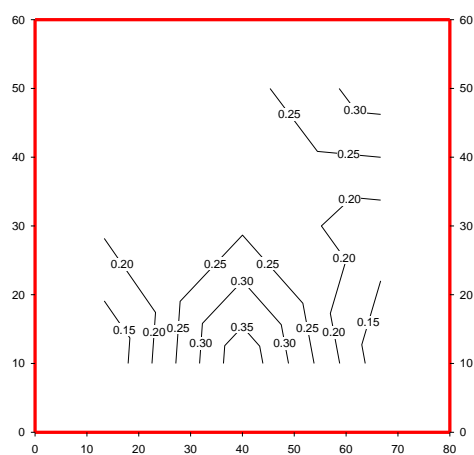


圖 32 C 廠甲充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖

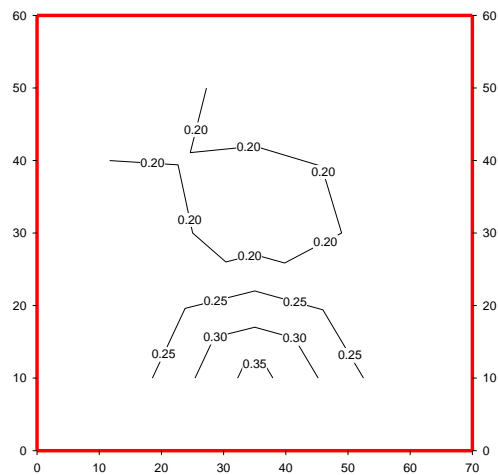


圖 33 C 廠丙充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖

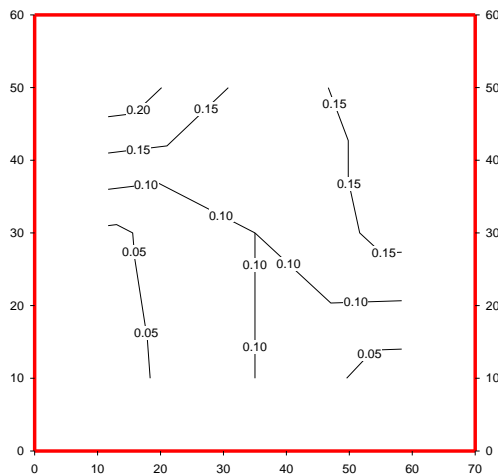


圖 34 C 廠丙充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖

#### 四、D 廠

D 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 35，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區如圖 35 所示為一半密閉室內空間(長 19.6 m、寬 5.9 m、高 3.6 m)，未設有局部排氣裝置，採開窗進行整體換氣。一樓充填包裝區如圖 36 所示亦為一半密閉室內空間(長 17.7 m、寬 8.0



m、高 4.5 m)，該作業區設有局部排氣，於卸料口上方設置上吸式氣罩，在充填包裝作業時開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集，進而達到保護勞工之目的。

採樣當天該產線分別於 3 號與 4 號兩桶槽進行投料作業，針對兩投料區勞工作業位置測定如圖 37 所示。結果發現 3 號桶槽投料口之氣流向右遠離投料口流向，風速介於 0.41 m/s 與 0.85 m/s 之間；而 4 號桶槽投料口之風速介於 0.57 m/s 與 0.58 m/s 之間，氣流向右遠離投料口流向。由於該區採開窗進行整體換氣，因此進一步分別於窗戶開口及投料區整體環境進行氣流方向測試。結果如圖 38 所示，2、3、4、5 四投料口之風向受到窗戶、風扇氣流之影響，一致性地往遠離工作者方向流動。

採樣當天該產線分別於一樓充填包裝區之 3 號與 4 號兩桶槽進行充填包裝作業，而兩桶槽皆設置上吸式局部排氣裝置。勞工作業位置測定如圖 39 所示，結果發現 3 號桶槽充填包裝作業區之氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速介於 0.25 m/s 與 0.34 m/s 之間。而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩下 10 cm 平面風速測定結果，以風速分布等高線圖呈現如圖 40~41，結果顯示氣罩開口面風速介於 0.30 m/s 與 5.00 m/s 之間，而距氣罩下 10 cm 之開口面風速介於 0.30 m/s 與 2.00 m/s 之間。但是真正卸料口位置離氣罩距 45 cm，推論其效果有限。至於 4 號桶槽充填包裝作業區部分如圖 39 所示，其氣流方向為由卸料口往作業者呼吸帶之流向，風速介於 0.11 m/s 與 0.17 m/s 之間；而氣罩開口面與距氣罩下 10cm 開口面之風速分布等高線圖如圖 42~43 所示，氣罩開口面風速介於 0.30 m/s 與 3.50 m/s 之間，距氣罩下 10 cm 之開口面風速介於 0.20 m/s 與 1.20 m/s 之間。但卸料口離氣罩實際距離為 45 cm，因此仍有逸散之風險。

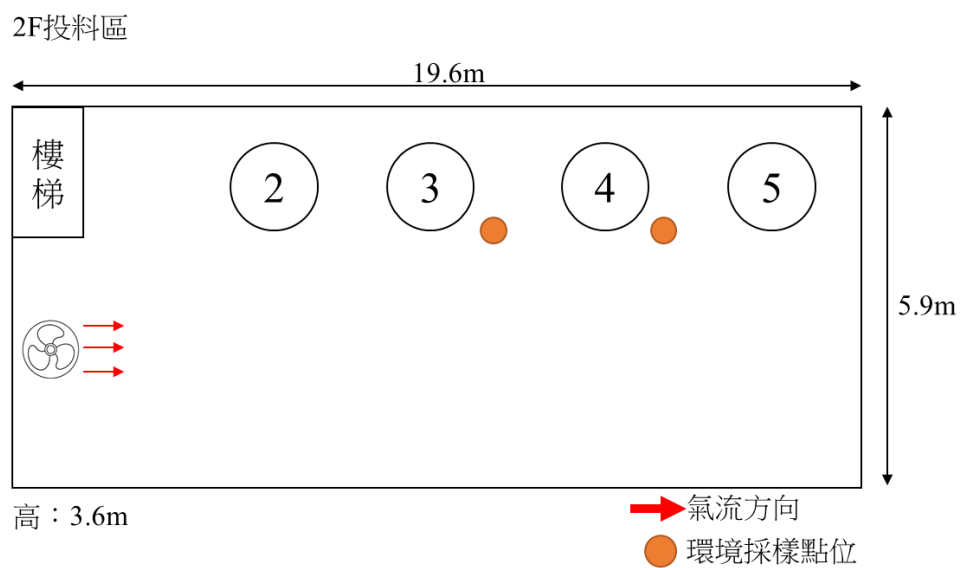


圖 35 D 廠投料作業區現場示意圖

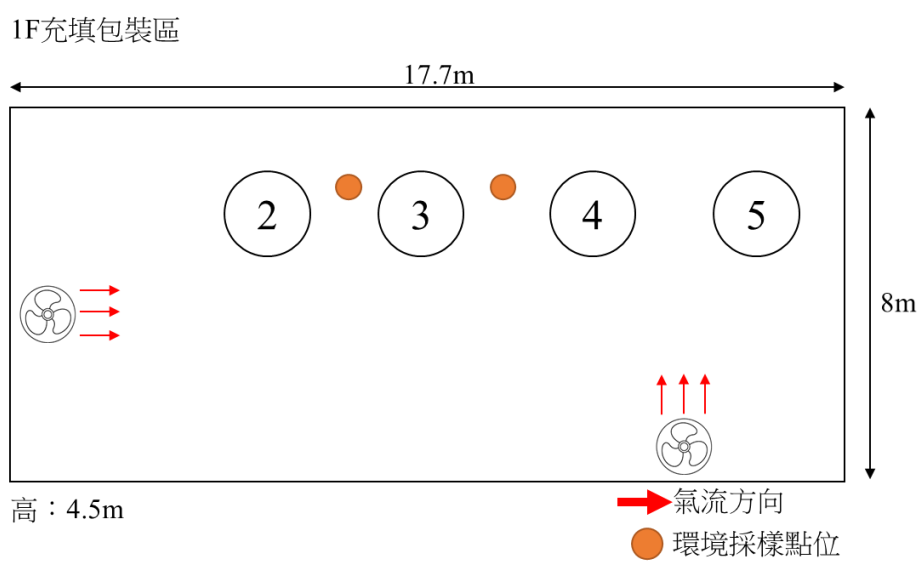


圖 36 D 廠充填包裝作業區現場示意圖

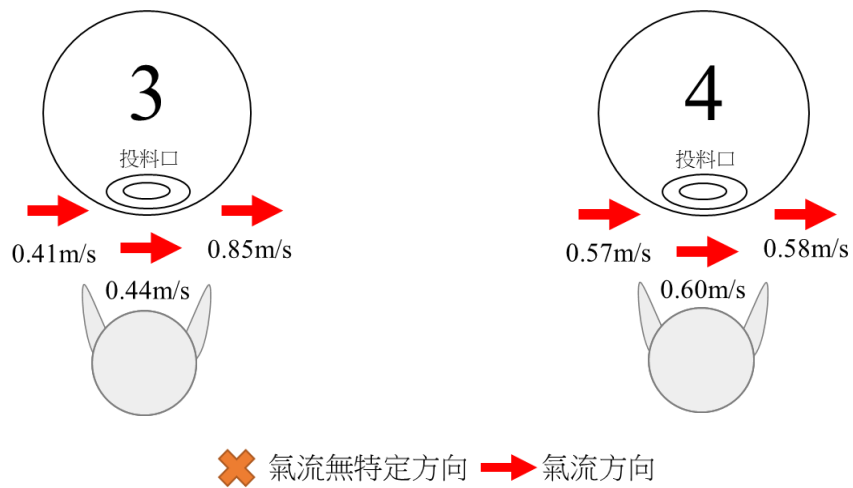


圖 37 D 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

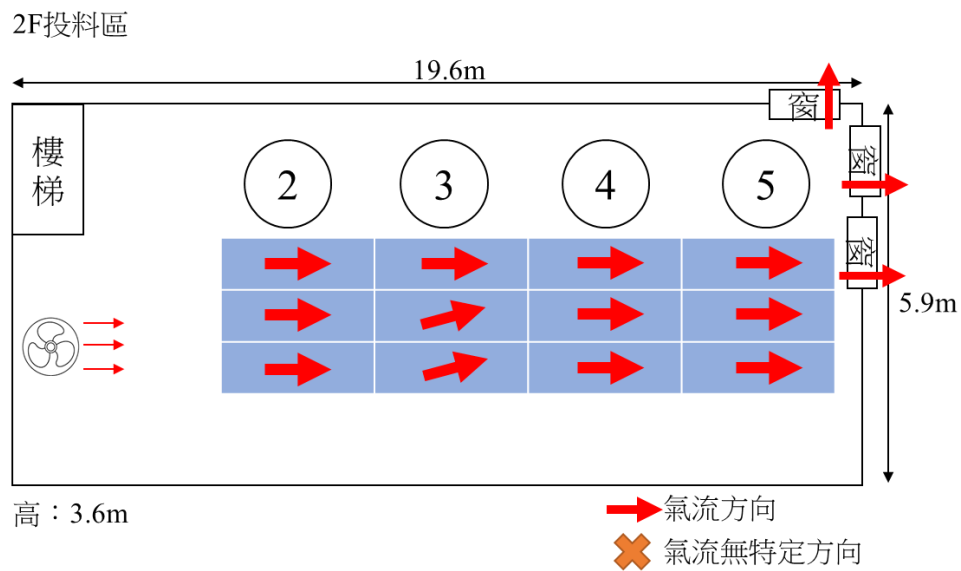


圖 38 D 廠投料作業區環境氣流方向

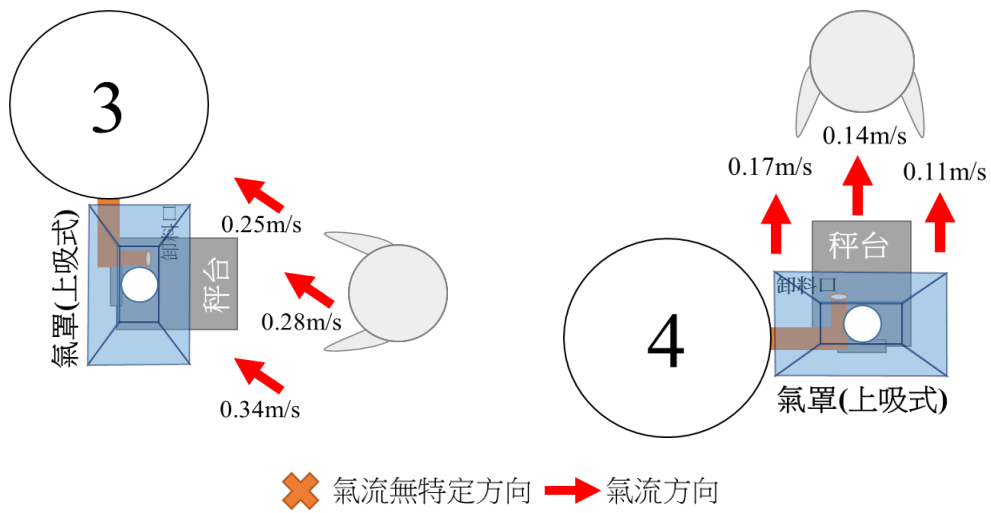


圖 39 D 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

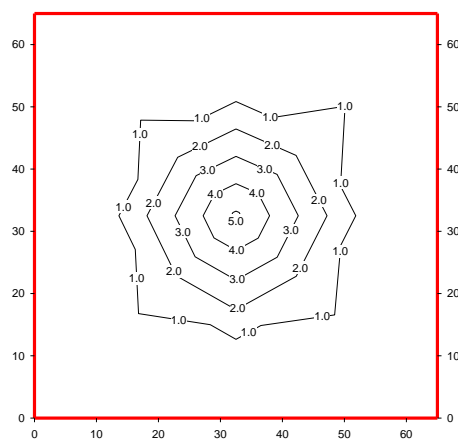


圖 40 D 廠 3 號桶槽充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖

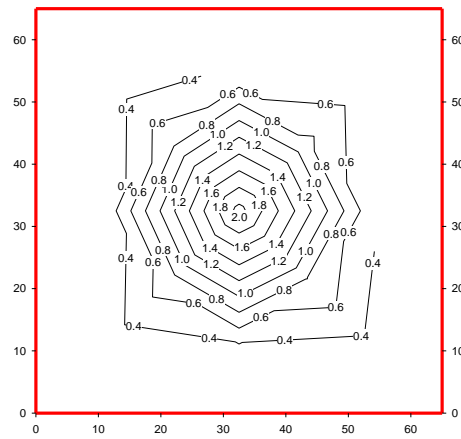


圖 41 D 廠 3 號桶槽充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖

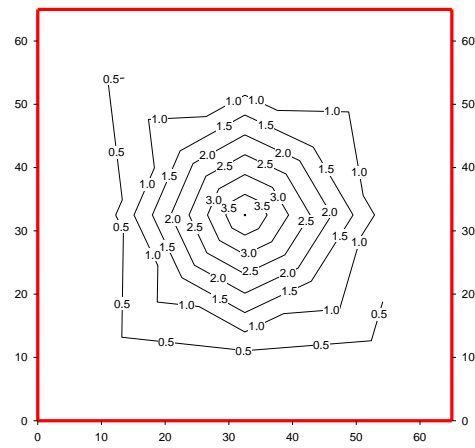


圖 42 D 廠 4 號桶槽充填包裝作業區氣罩開口風速分布圖

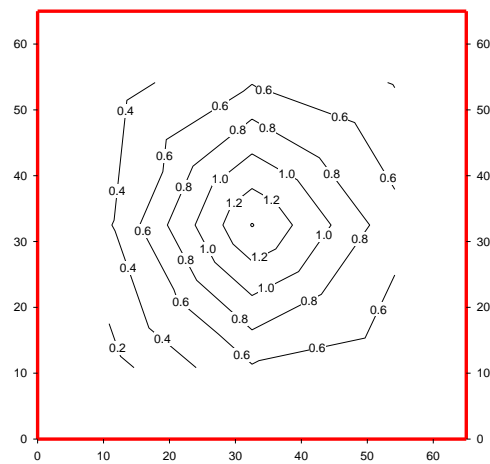


圖 43 D 廠 4 號桶槽充填包裝作業區距氣罩下 10 cm 之開口風速分布圖

## 五、E 廠

E 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 44，投料作業區位於廠房一樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將半成品倒入滾輪中進行分散作業，為了讓接著劑更細緻，完成後移動至充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區如圖 44 所示為一半密閉室內空間(長 17 m、寬 12 m、高 4.3 m)，於投料口後方設置側吸式氣罩之局部排氣裝置，在投料與反應期間皆開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集，進而達到保護勞工之目的。充填包裝區如圖 44 所示為一半密閉室內空間(長 6 m、寬 5 m、高 4.3 m)，設有局部排氣裝置，於卸料口後方設置側吸式氣罩，在充填包裝作業時開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集。

採樣當天該產線分別於 41 號與 42 號兩桶槽進行投料作業，針對兩投料區勞工作業位置測定如圖 45 所示。結果發現 41 號桶槽投料口勞工作業位置之氣流由作業者呼吸帶朝向投料口流向，風速介於 0.01m/s 與 0.17m/s 之間；而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩前方 10 cm 共兩平面風速，測定結果如圖 46 所示。結果顯示氣罩開口面風速介於 2.39 m/s 與 5.06 m/s 之間，而距氣罩前方 10 cm 之開口面風速介於 0.86 m/s 與 2.18 m/s 之間。而 42 號桶槽投料口勞工作業位置之氣流如圖 45 由作業者呼吸帶朝向投料口流向，風速介於 0.01 m/s 與 0.06 m/s 之間。而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩前方 10 cm 共兩平面風速，測定結果如圖 47 所示，結果顯示氣罩開口面風速介於 1.10 m/s 與 4.73 m/s 之間，而距氣罩前方 10 cm 之開口面風速介於 0.54 m/s 與 1.81 m/s 之間。雖然氣罩位於桶槽(直徑 120 cm)正後方，但作業者投料位置距氣罩 140 cm 之距離，推論仍有逸散之風險。

採樣當天該產線於 43 號桶槽進行充填包裝作業，距卸料口上方 120 cm 設有側吸式局部排氣裝置。勞工作業位置測定如圖 48 所示，結果發現 43 號充填包裝作業區勞工作業位置之氣流則無特定方向性，風速介於 0.01 m/s 與 0.03 m/s 之間，因此該側吸式局部排氣裝置並無達到預期之效果。而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩前方 10 cm 共兩平面風速，測定結果如圖 49 所示，結果顯示氣罩開口面風速介於 0.78 m/s 與 2.95 m/s 之間，而距氣罩前方 10 cm 之開口面風速介於 0.27 m/s 與 0.97 m/s 之間。雖然有設置氣罩 (高度距面地 200 cm)，但卸料口(高度距地面 80 cm)與氣罩距離 120 cm 之距離，再者作業者進行包裝時，以坐在板凳之方式進行作業，因此氣罩難以捕集從卸料

口逸散之溶劑，因此作業者仍有暴露風險。

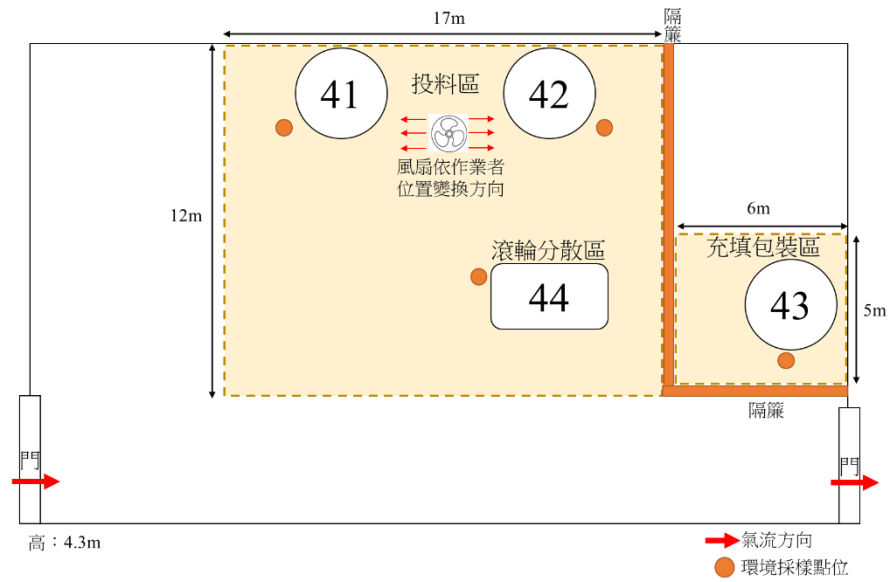


圖 44 E 廠投料作業區與充填包裝區現場示意圖

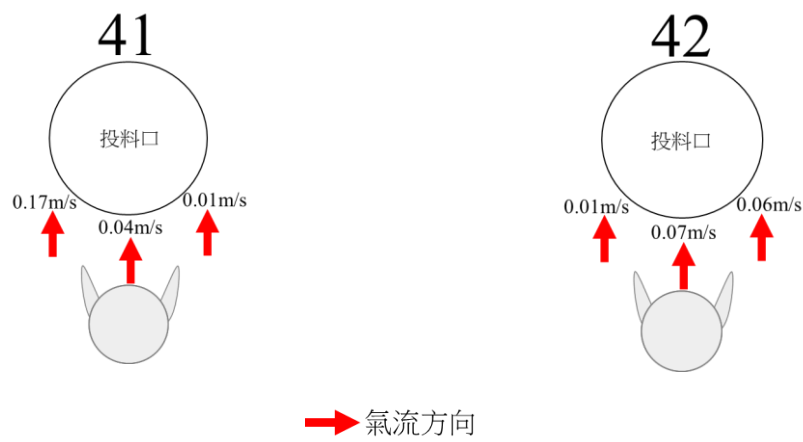


圖 45 E 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

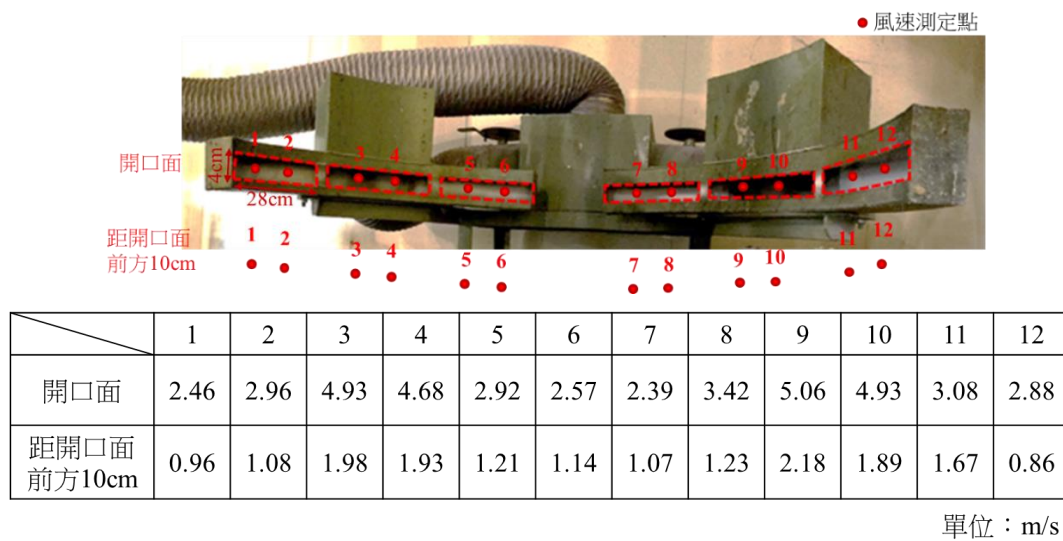


圖 46 E 廠 41 號桶槽投料作業區氣罩風速測定結果

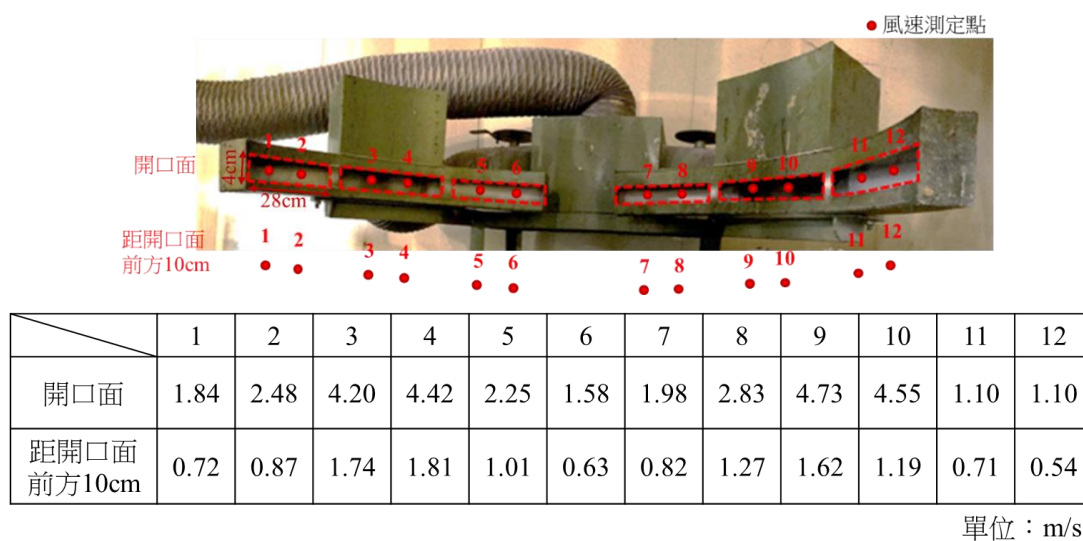


圖 47 E 廠 42 號桶槽投料作業區氣罩風速測定結果



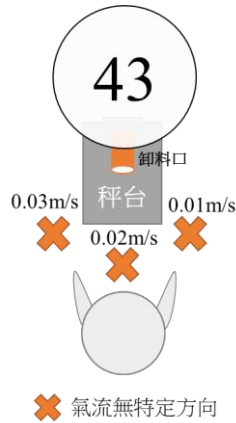


圖 48 E 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

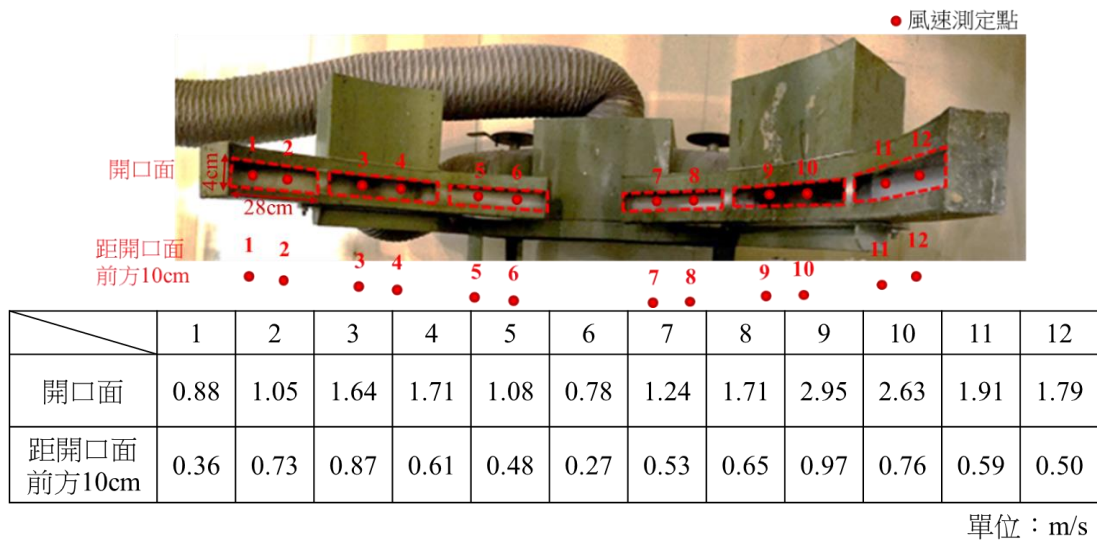


圖 49 E 廠 43 號桶槽充填包裝作業區氣罩風速測定結果

## 六、F 廠

F 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 50，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區如圖 50 所示為一半密閉室內空間(長 11 m、寬 29 m、高 6 m)，未設有局部排氣裝置，採開窗及排風扇進行整體換氣。充填包裝區如圖 50 所示為一半密閉室內空間(長 24m、寬 6 m、高 10 m)，未設有局部排氣裝置，採開窗及排風扇進行整體換氣。

採樣當天該產線分別於 R1、R5 與 R7 兩桶槽進行投料作業，針對三投料區勞工作業位置測定如圖 51 所示。結果發現 R1 投料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口

之流向，風速介於 0.13 m/s 與 0.33 m/s 之間；而 R5 投料口之風速介於 0.37 m/s 與 1.31 m/s 之間，氣流由作業者呼吸帶之右方往左方流向；R7 投料口之風速介於 0.21 m/s 與 0.33 m/s 之間，氣流由作業者呼吸帶之右方往左方流向。R1、R5 與 R7 投料口風向皆受到風扇氣流之影響。

採樣當天該產線分別於 T1、T2、與 T4 三桶槽進行充填包裝作業。勞工作業位置測定如圖 52 所示，結果發現 T1 充填包裝作業區之氣流為由作業者呼吸帶之左方往右方流向，風速介於 0.18 m/s 與 0.45 m/s 之間。T2 充填包裝作業區之氣流為由作業者呼吸帶之右方往左方流向，風速介於 0.11 m/s 與 0.17 m/s 之間。T4 充填包裝作業區之氣流為由作業者呼吸帶之右方往左方流向，風速介於 0.74 m/s 與 1.26 m/s 之間。T1、T2、與 T4 卸料口風向亦皆受到風扇氣流之影響。

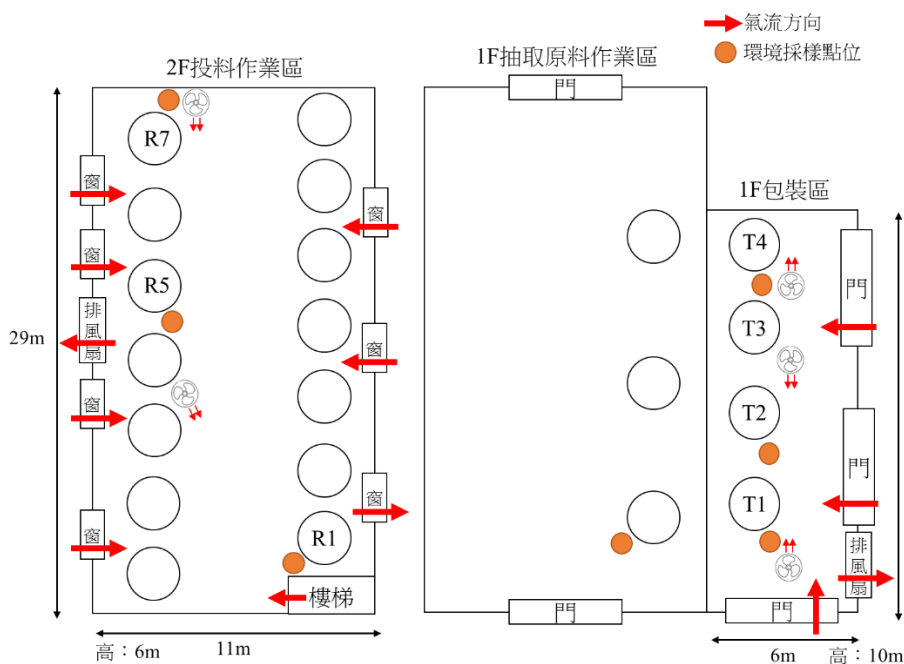


圖 50 F 廠投料與充填包裝作業區現場示意圖

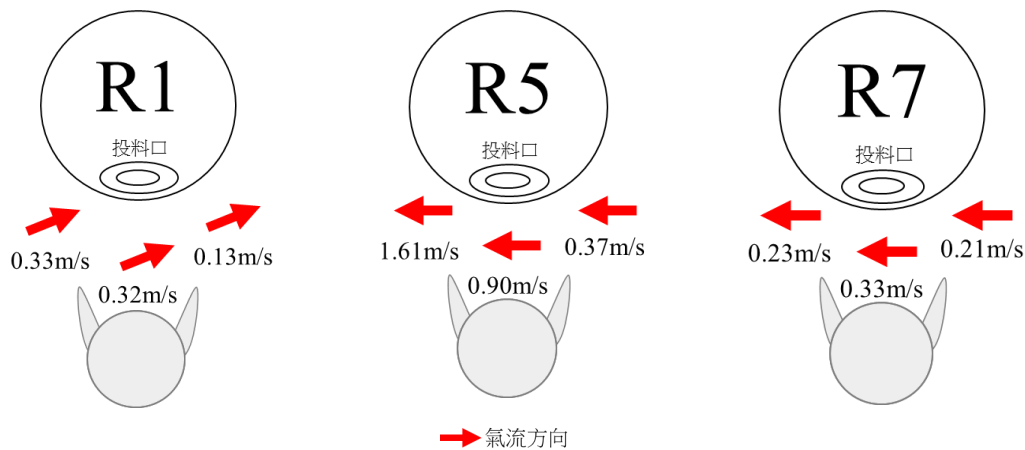


圖 51 F 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

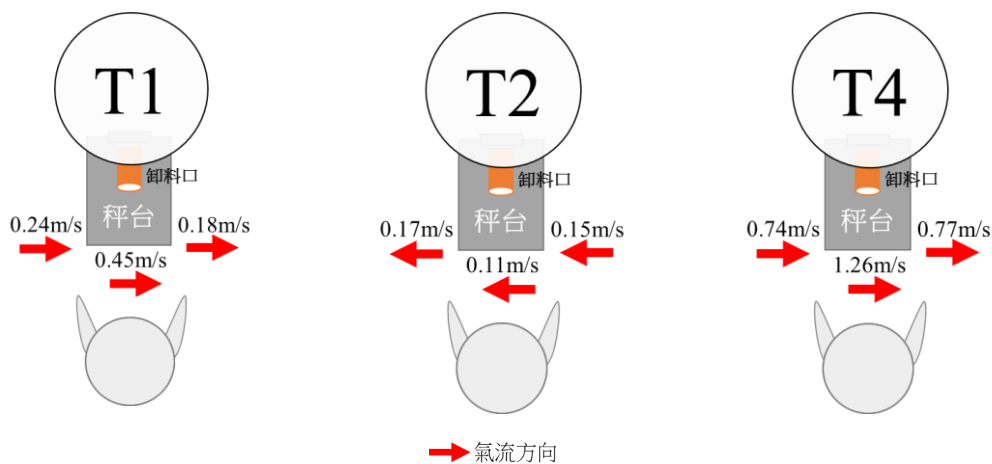


圖 52 F 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

## 七、G 廠

G 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 53，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填作業區進行充填作業。投料作業區如圖 53 所示為一半密閉室內空間(長 5.2m、寬 5.3m、高 3.8m)，設有局部排氣裝置，於投料口上方設置上吸式氣罩，在投料作業時開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集，進而達到保護勞工之目的。一樓充填包裝區如圖 53 所示為一半密閉室內空間(長 8m、寬 6m、高 2.9m)，該作業區未設有局部排氣，採開門或開窗方式進行整體換氣。

採樣當天於反應槽進行投料作業，針對投料區勞工作業位置測定如圖 54 所示。結

果發現投料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速介於 1.36m/s 與 1.80m/s 之間。而該局部排氣之氣罩開口面以及距氣罩下 10cm 平面風速測定結果，以風速分布等高線圖呈現如圖 55~56，結果顯示氣罩開口面風速介於 0.07m/s 與 0.29m/s 之間，而距氣罩下 10cm 之開口面風速介於 0.11m/s 與 0.36m/s 之間，因有風扇持續吹向投料作業位置，因此氣罩開口面下方氣流易受到其影響而不穩定。雖然氣罩與真正投料口位置距離長達 160cm，根據氣罩開口面與氣罩下 10cm 處之風速大小與分佈，推論仍有逸散之風險。

採樣當天亦於該產線卸料口進行充填作業之採樣，該處未設有局部排氣裝置，單純利用門、窗引入進行整體換氣，勞工作業與風速測定位置如圖 57 所示。結果發現充填作業區之氣流為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口之流向，風速介於 0.02m/s 與 0.16m/s 之間，推測是因為當天門、窗引入之換氣效能過低所導致。

採樣當天亦於該產線卸料口進行充填作業之採樣，該處未設有局部排氣裝置，單純利用門、窗引入進行整體換氣，勞工作業與風速測定位置如圖 57 所示。結果發現充填作業區之氣流為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口之流向，風速介於 0.02m/s 與 0.16m/s 之間，推測是因為當天門、窗引入之換氣效能過低所導致。

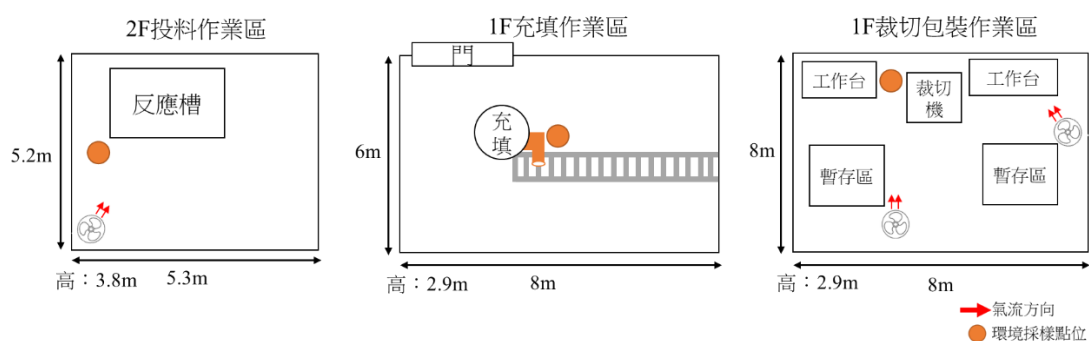


圖 53 G 廠投料、充填與裁切包裝作業區現場示意圖

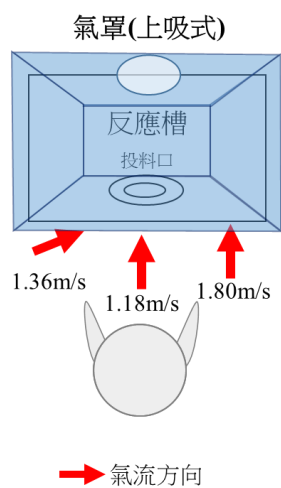


圖 54 G 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

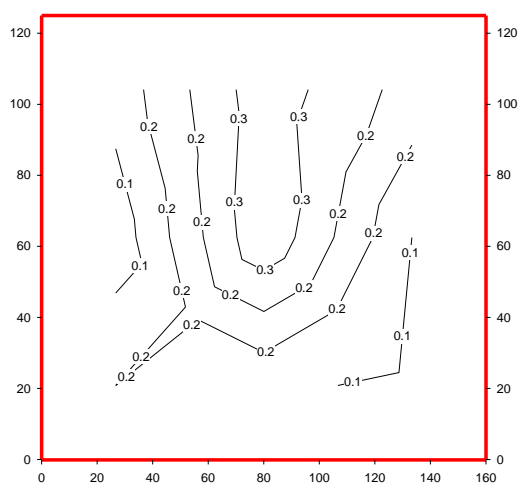


圖 55 G 廠投料作業區氣罩開口風速分布圖

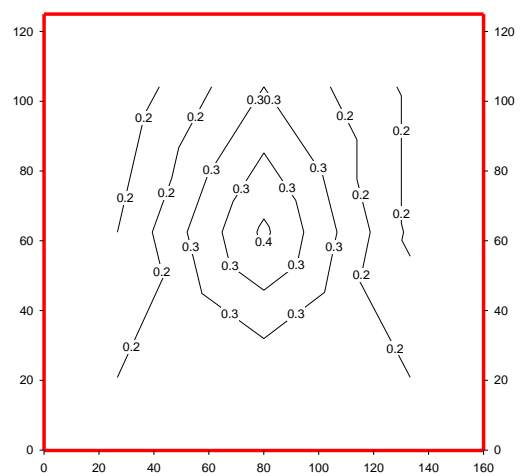


圖 56 G 廠投料作業區距氣罩下 10cm 之開口風速分布圖

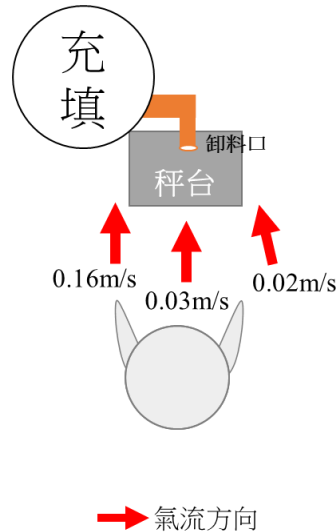


圖 57 G 廠充填作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

## 八、H 廠

H 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 58，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。投料作業區分別位於 1 棟與 2 棟廠房如圖 58 所示，1 棟廠房(長 25m、寬 20m、高 6.8m)與 2 棟廠房(長 25m、寬 20m、高 6.8m)皆為半密閉室內空間，未設有局部排氣裝置，採開窗進行整體換氣。而充填包裝區亦如圖 58 所示分別位於 1 棟(長 25m、寬 20m、高 4.5m)與 2 棟廠房(長 21m、寬 20m、高 5m)，未設有局部排氣裝置，採開窗進行整體換氣。

採樣當天該產線分別於 1 棟 2 號、6 號及 2 棟 1 號、2 號共四個反應槽進行投料作業，針對此四個投料區勞工作業位置風向與風速測定如圖 59 所示。結果發現 1 棟 2 號投料口勞工作業位置之氣流無特定方向性，風速介於 0.07m/s 與 0.09m/s 之間；而 1 棟 6 號投料口勞工作業位置之氣流亦無特定方向性，風速介於 0.29m/s 與 1.45m/s 之間。2 棟 1 號與 2 號投料口氣流皆為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速分別介於 0.05m/s 與 0.08m/s 之間以及 0.02m/s 與 0.15m/s 之間。由於該區採開窗進行整體換氣，因此進一步分別於窗戶開口及投料區整體環境進行氣流方向測試。結果如圖 60 所示，1 棟 2 號與 6 號及 2 棟 1 號三投料口之風向受到窗戶、風扇氣流之影響，未能一致性地往遠離工作者方向流動，仍有暴露之風險。

採樣當天該產線分別於 1 棟 2 號與 5 號及 2 棟 1 號與 2 號四個反應槽進行充填包裝作業，針對四充填包裝區勞工作業位置測定如圖 61 所示。結果發現 1 棟 2 號卸料口勞工作業位置之氣流無特定方向性，風速介於 0.02m/s 與 0.07m/s 之間；而 1 棟 5 號卸料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口之流向，風速介於 0.19m/s 與 0.57m/s 之間；2 棟 1 號卸料口勞工作業位置之氣流無特定方向性，風速介於 0.06m/s 與 0.19m/s 之間；2 棟 2 號卸料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口之流向，風速介於 0.16m/s 與 0.43m/s 之間。由於該區採開窗進行整體換氣，因此進一步分別於窗戶開口及充填包裝區整體環境進行氣流方向測試。結果如圖 62 所示，1 棟 2 號及 2 棟 1 號兩卸料口之風向受到窗戶、風扇氣流之影響，未能一致性地往遠離工作者方向流動，仍有暴露之風險。

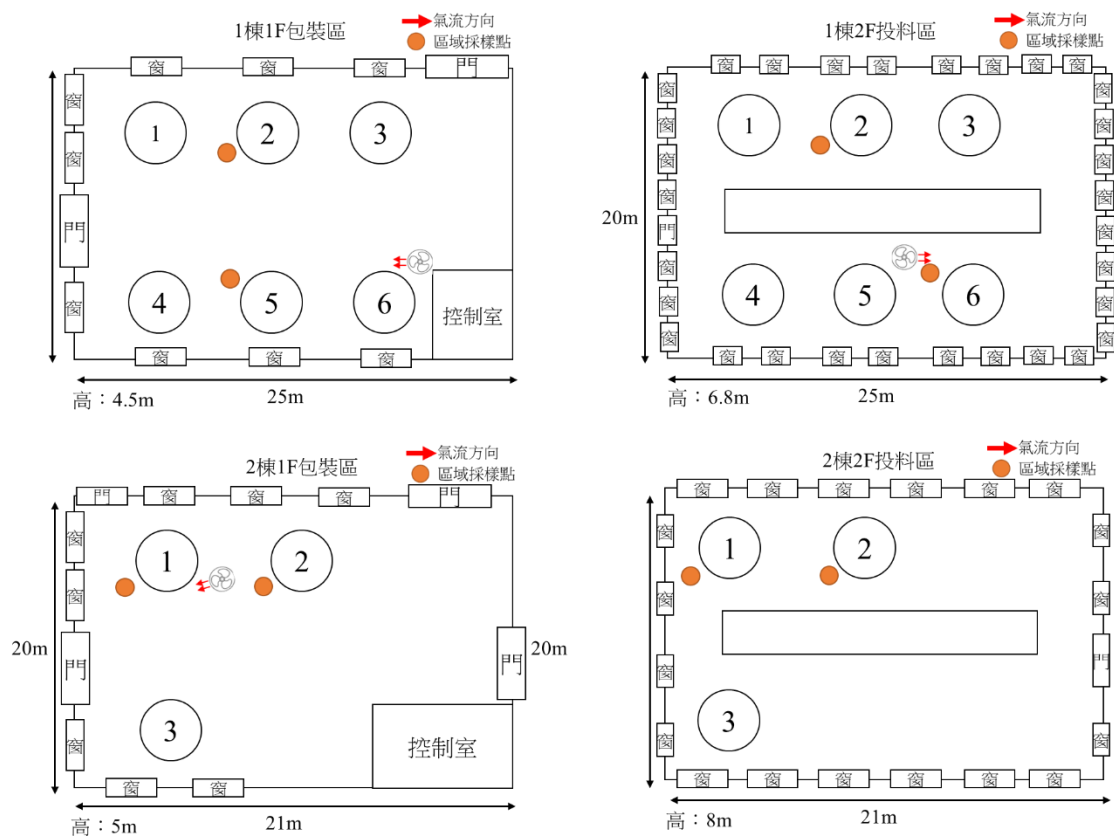
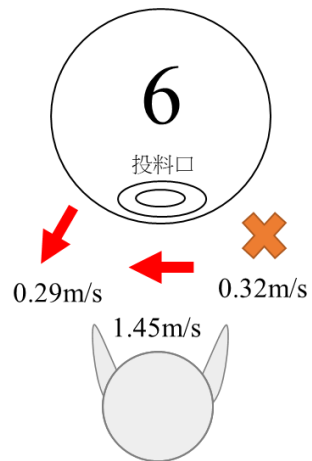
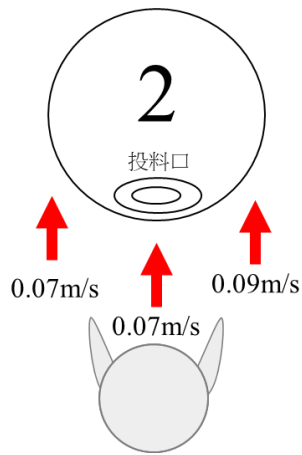
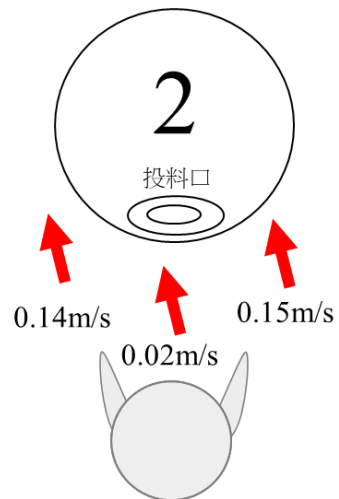
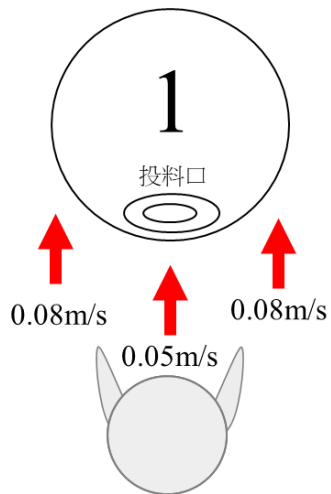


圖 58 H 廠投料與充填包裝作業區現場示意圖



1 棟 2F 投料作業



1 棟 2F 投料作業

✕ 氣流無特定方向 ➡ 氣流方向

圖 59 H 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

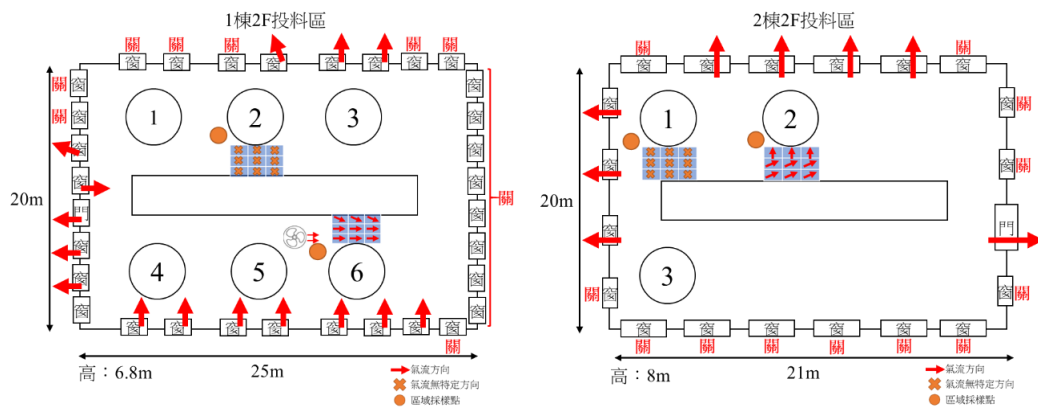
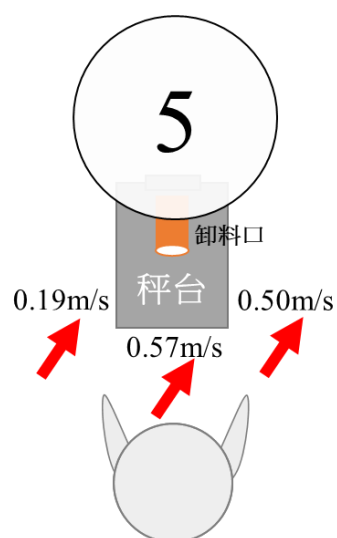
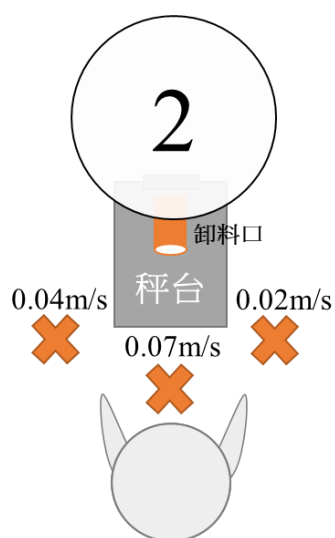
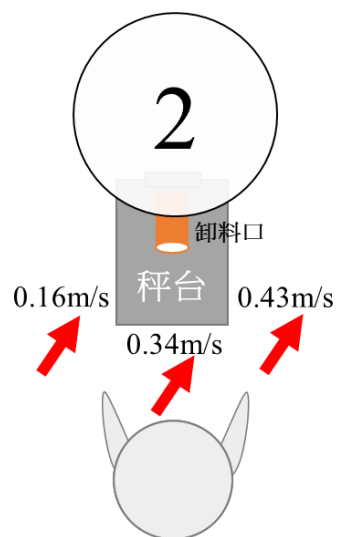
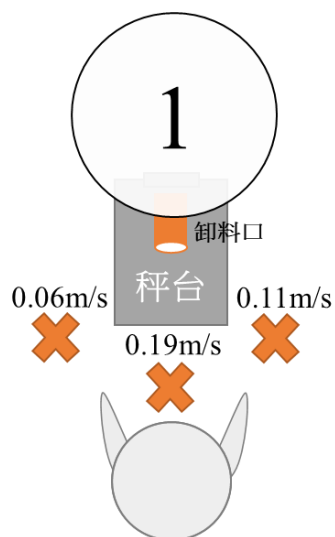


圖 60 H 廠投料作業區環境氣流方向





1 棟 1F 充填包裝作業



1 棟 1F 充填包裝作業

✕ 氣流無特定方向 → 氣流方向

圖 61 H 廠充填包裝作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

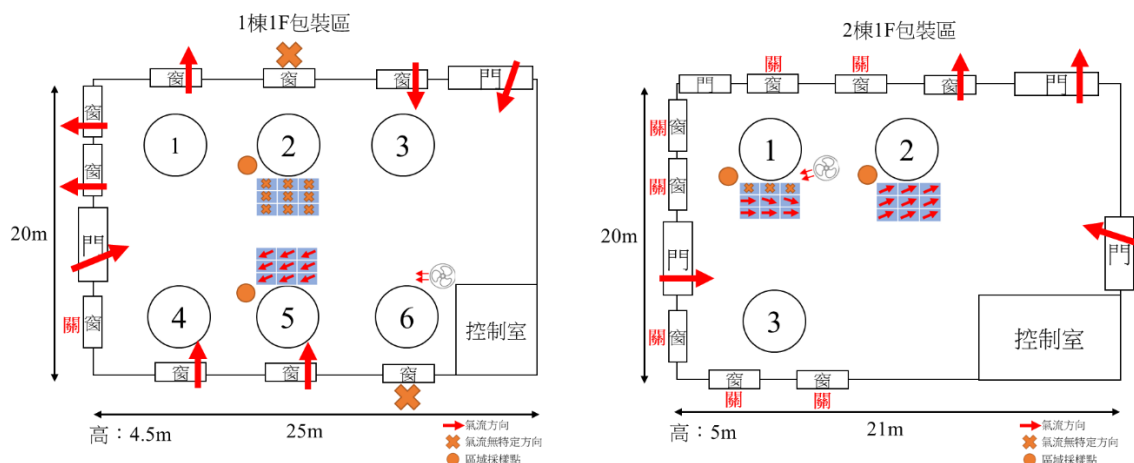


圖 62 H 廠充填包裝作業區環境氣流方向

## 九、I 廠

I 廠樹脂製造業化學桶槽人工投料作業區現場示意圖詳見圖 63，投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓成品儲槽內，待槽車運送出貨。投料作業區如圖 63 所示為一半密閉室內空間(長 30m、寬 16m、高 6.6m)，於反應槽內設置具有排氣管之排氣裝置，當反應槽運作時則持續開啟抽氣，將逸散出之溶劑加以捕集，進而達到保護勞工之目的。

採樣當天該產線分別於 4 號與 5 號兩反應槽進行投料作業，針對兩投料區勞工作業位置測定如圖 64 所示。首先使用發煙管於作業人員前呼吸帶進行氣流測定，發現無特定方向性，顯示該槽內排氣裝置無法形成負壓氣流，以達到減少投料作業人員之暴露風險。另外，4 號投料口作業人員前呼吸帶之風速測定結果發現，其風速介於 0.01m/s 與 0.13m/s 之間。而投料口(直徑 60 公分)開口面、開口面上方 5cm 以及 10cm 之三平面風速測定結果如圖 65 所示。結果顯示投料口開口面風速介於 0.71m/s 與 1.00m/s 之間，距投料口開口面上方 5cm 之開口面風速介於 0.30m/s 與 0.62m/s 之間，而距投料口開口面上方 10cm 之開口面風速介於 0.26m/s 與 0.32m/s 之間。5 號投料口作業人員前呼吸帶之發煙管測試，發現氣流無特定方向性，而風速介於 0.05m/s 與 0.12m/s 之間。投料口(直徑 60 公分)開口面、開口面上方 5cm 以及 10cm 之三平面風速測定結果如圖 66 所示。結果顯示投料口開口面風速介於 0.84m/s 與 1.06m/s 之間，距投料口開口面上

方 5cm 之開口面風速介於 0.50m/s 與 0.85m/s 之間，而距投料口開口面上方 10cm 之開口面風速介於 0.33m/s 與 0.44m/s 之間。由前述測定發現，該設計雖意圖形成投料口氣流向反應槽內之負壓氣流，但真正進行投料時卻無法達到預期效果，甚至可能降低其效能，而產生逸散之風險。

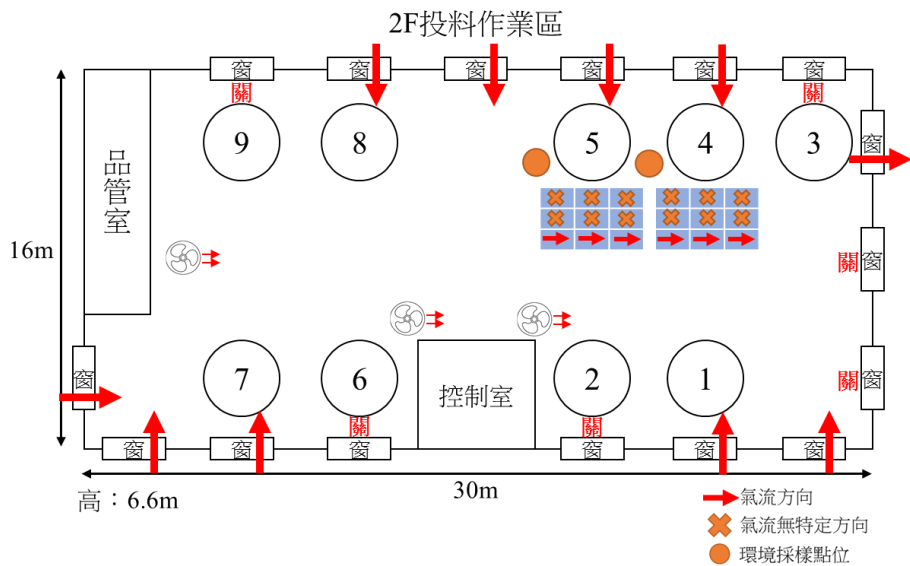


圖 63 I 廠投料作業區現場示意圖

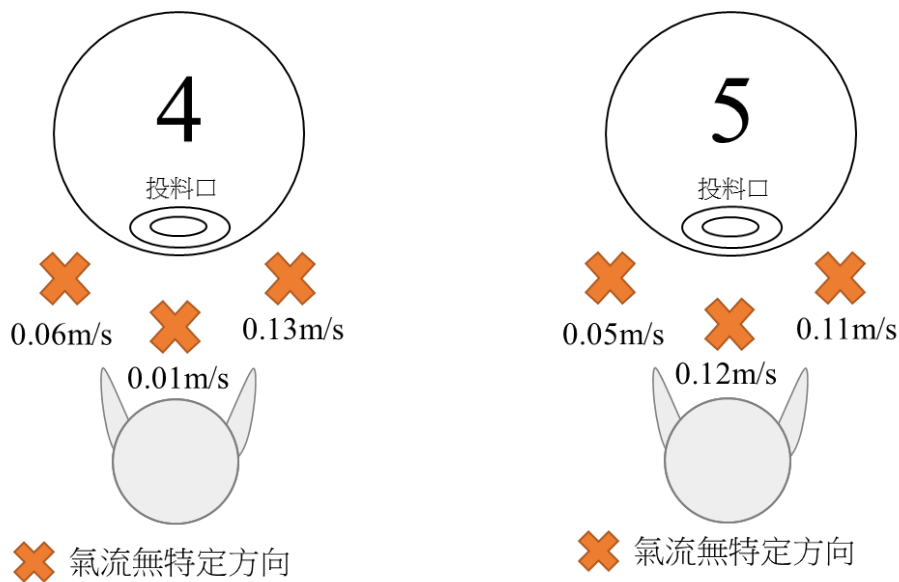


圖 64 I 廠投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

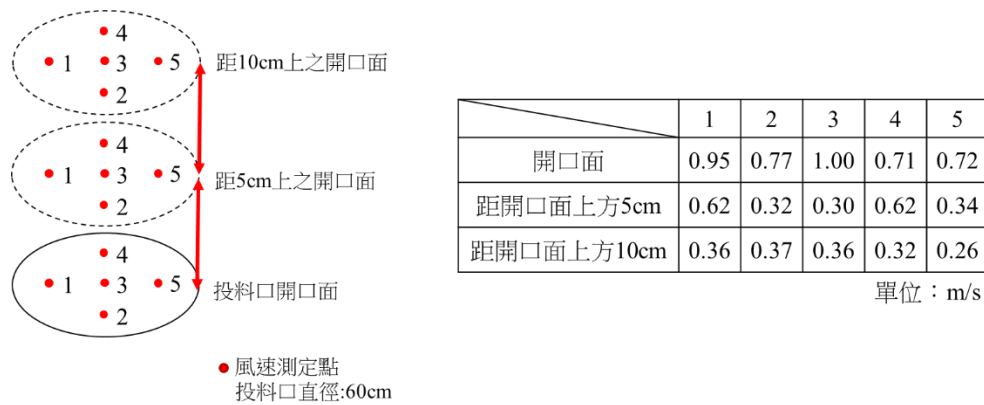


圖 65 I 廠 4 號反應槽投料作業區投料口開口面風速測定結果

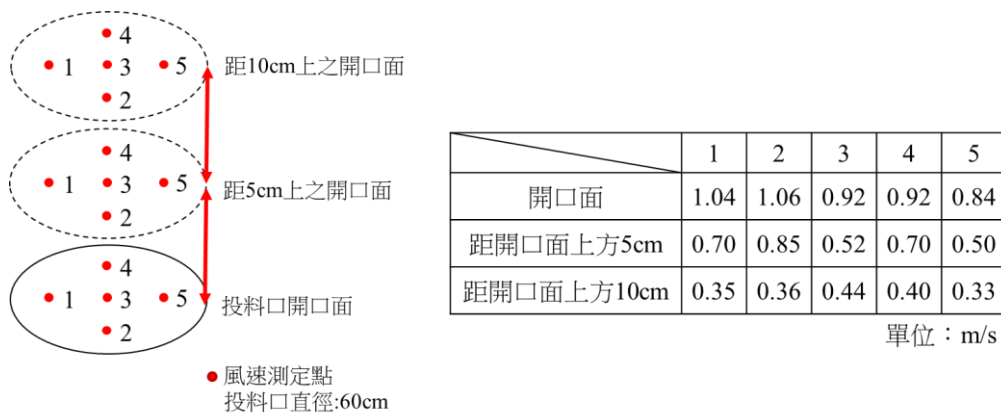


圖 66 I 廠 5 號反應槽投料作業區投料口開口面風速測定結果

## 十、J 廠

J 廠樹脂製造業化學桶槽酚醛樹脂與特殊材料人工投料作業區現場示意圖詳見圖 67~68，採樣當日分別於酚醛樹脂產線與特殊材料產線進行量測。酚醛樹脂投料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓成品儲槽內，僅用於該廠區內其他製程使用。酚醛樹脂投料作業區如圖 67 所示為一半密閉室內空間(長 21m、寬 14m、高 8m)，未設有局部排氣裝置，採開窗及排風扇進行整體換氣。特殊材料作業區位於廠房二樓，勞工以站姿方式將粉狀原料投入反應槽中，待反應槽內之溶劑與粉狀原料反應完成後，便將成品打入一樓充填包裝區進行充填包裝作業。而投料作業區如圖 68 所示為一半密閉室內空間(長 23m、寬 15m、高 5.7m)，未設有局部排氣裝置，採開窗進行整體換氣。特殊材料充填包裝區如圖 68 所示為一半密閉室內空間(長 23m、寬 15m、高 6.5m)，該作業區

設有局部排氣，將卸料口主管側邊設置一條排氣管，在充填包裝作業時開啟抽氣，將逸散之溶劑加以捕集。

採樣當天酚醛樹脂產線分別於 1 號、2 號、3 號與 4 號四桶槽進行投料作業，針對四投料區勞工作業位置測定如圖 69 所示。結果發現 1 號投料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速介於 0.57m/s 與 0.68m/s 之間；2 號投料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速介於 0.83m/s 與 1.02m/s 之間；3 號投料口之氣流由投料口朝向作業者呼吸帶流向，風速介於 0.09m/s 與 0.12m/s 之間；4 號投料口之氣流由投料口朝向作業者呼吸帶流向，風速介於 0.10m/s 與 0.19m/s 之間。3 號與 4 號投料口因為受到電扇氣流之影響，氣流皆由投料口朝向作業者呼吸帶流向。由於該區採開窗及排風扇進行整體換氣，因此進一步分別於窗戶開口及投料區整體環境進行氣流方向測試。結果如圖 70 所示，3 號與 4 號兩投料口之風向受到窗戶、風扇氣流之影響，所以未一致性地往遠離工作者方向流動，印證前述勞工作業位置風向測定發現作業者附近之氣流，皆由投料口朝向作業者呼吸帶方向流動，增加其暴露之風險。

在特殊材料產線部分，採樣當天僅於 2 號與 5 號兩桶槽進行投料作業，針對兩投料區勞工作業位置測定如圖 71 所示。結果發現 2 號投料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向投料口之流向，風速介於 0.15m/s 與 0.19m/s 之間；5 號投料口氣流無特定方向性，風速介於 0.02m/s 與 0.08m/s 之間。由於該區採開窗進行整體換氣，因此進一步於窗戶開口及投料區整體環境進行氣流方向測試。結果如圖 72 所示，5 號投料口之風向受到窗戶氣流之影響，未一致性地往遠離工作者方向流動。

採樣當天特殊材料產線分別於 2 號與 5 號兩桶槽進行充填包裝作業，針對兩充填包裝區勞工作業位置測定如圖 73~74 所示。結果發現 2 號卸料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口之流向，風速介於 0.11m/s 與 0.24m/s 之間；而該局部排氣設置在卸料口主管側邊裝設一條排氣管(直徑 3 公分)，其功能為當卸料口對接到待充填之鐵桶注入孔時，其側邊之排氣管能及時將洩漏之溶劑捕集，因此評估排氣管開口面(直徑 3 公分)、距排氣管開口下 5cm 以及 10cm 共三平面風速。測定結果如圖 73 所示，結果顯示排氣管開口面風速為 2.19m/s，距抽氣風管下 5cm 之開口面風速為 0.88m/s，而距抽氣風管下 10cm 之開口面風速為 0.23m/s。5 號卸料口氣流為遠離作業者呼吸帶朝向卸料口之流向，風速介於 0.13m/s 與 0.16m/s 之間，而該局部排氣設置與 2 號卸料口類似。測定

結果如圖 74 所示，結果顯示排氣管開口面風速為 0.86m/s，距抽氣風管下 5cm 之開口面風速為 0.39m/s，而距抽氣風管下 10cm 之開口面風速為 0.16m/s。因卸料口與待充填之注入口密合，且排氣管開口面在卸料口側邊，因此逸散之溶劑能有效被捕集。

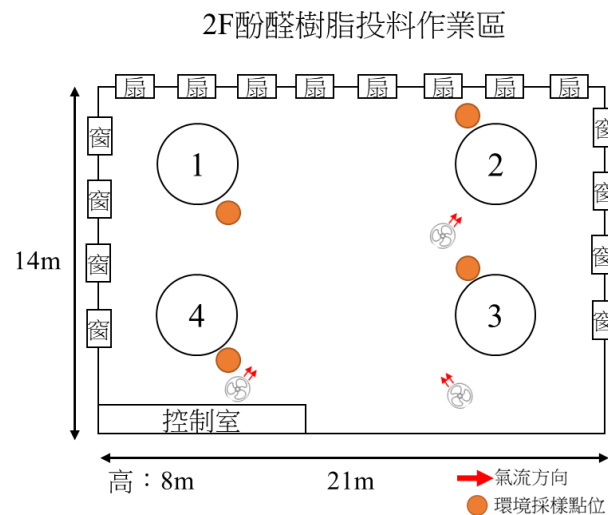


圖 67 J 廠酚醛樹脂投料作業區現場示意圖

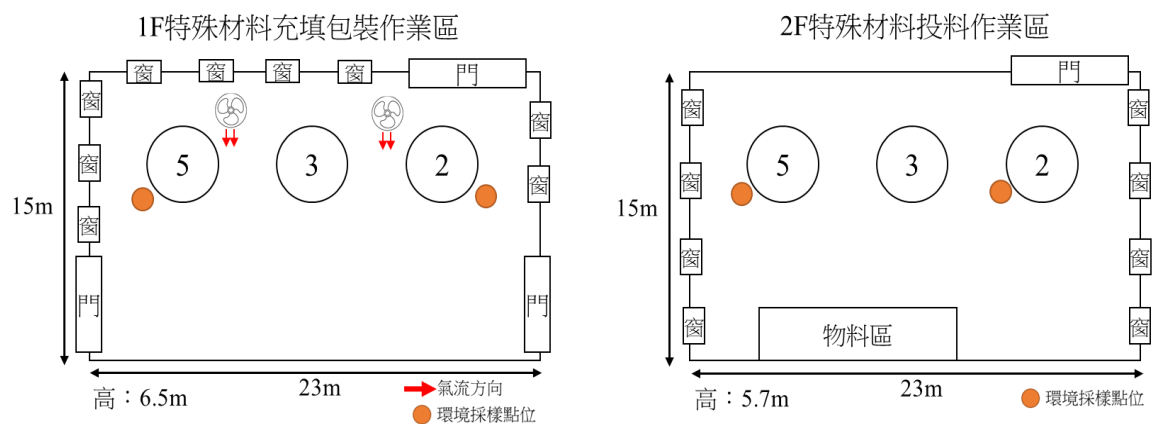


圖 68 J 廠特殊材料充填包裝、投料作業區現場示意圖

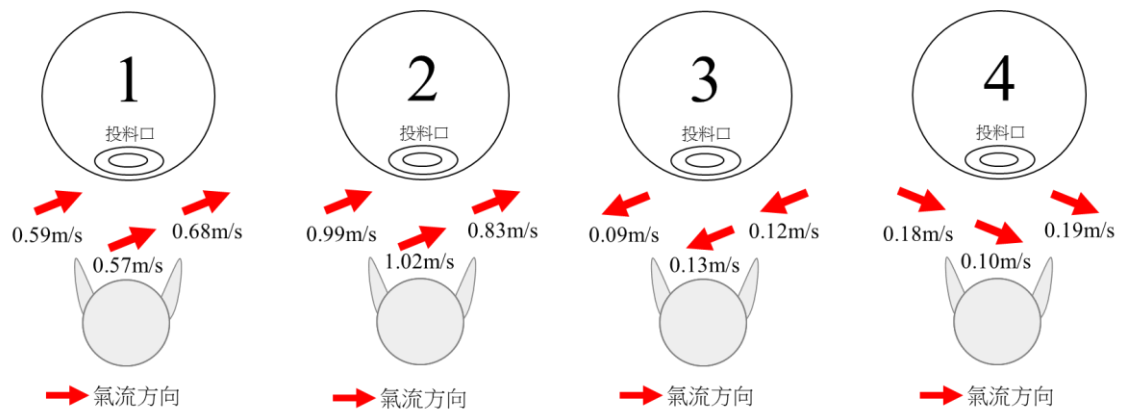


圖 69 J 廠酚醛樹脂投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果

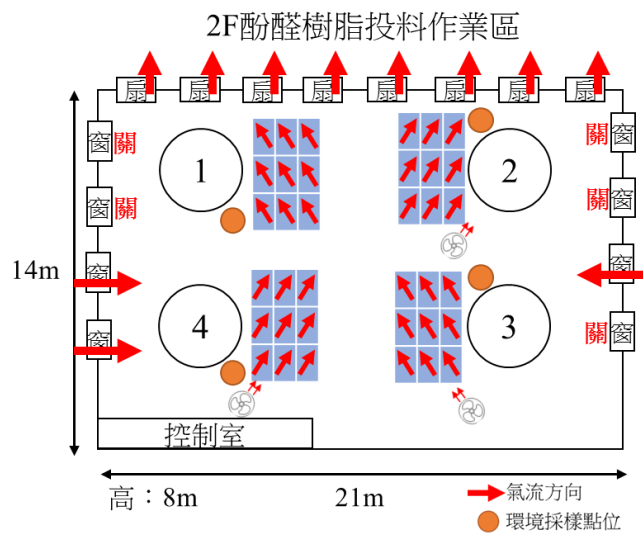


圖 70 J 廠酚醛樹脂投料作業區環境氣流方向

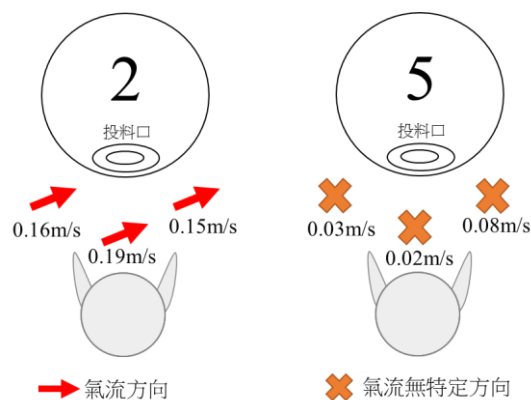


圖 71 J 廠特殊材料投料作業區勞工作業位置氣流方向與風速測定結果





結論，從 10 個工廠多組化學桶槽通風設備檢測結果，發現其局部排氣裝置效能未達理想的主要原因，包括：

- 1.作業現場整體換氣所引入的氣流或使用風扇，自投料口將逸散的有害物質帶向作業勞工呼吸區帶，增加作業勞工有害物質暴露風險。
- 2.作業現場投料口至氣罩距離過長(通常大於 30 cm)，導致開口面風速過低，無法對逸散至作業勞工呼吸區帶的有害物質有效捕集。
- 3.作業現場使用風扇往往在氣罩開口面製造不穩定氣流，未能一致地將逸散有害物質帶往遠離作業勞工方向，造成逸散有害物質捕集上的干擾和困難。

對於作業現場局部排氣裝置在設計上的問題，需要在裝置上重新調整或設計，而對於因使用風扇或整體換氣造成氣流干擾，則須檢討能否改變作業現場位置配置或作業習慣，未必需要改變局部排氣裝置設計。無論是哪一種問題項目，如能針對這些問題加以注意和改善，局部排氣裝置的效能將可望提升，達到有效捕集逸散有害物質的目的。

## 第四節 化學桶槽之人工投料作業通風介入改善

人工投料作業根據現場觀察，多數由於投料過程中桶槽內部呈現正壓，以及投料過程物料慣性，導致可能從投料口逸散而造成人員短時間高濃度暴露。因此以工程控制角度，於投料口附近，根據污染物逸散特性提供有效通風設施設計，為改善工作環境與降低人員暴露的方法之一。本研究針對現場觀察，於投料口引用有效局部排氣設計，經過火災動態模擬軟體(Fire Dynamics Simulator, FDS)進行電腦模擬初步確認其成效後，再製作實體模型進行驗證。

### 一、FDS 軟體介紹

隨著電腦技術進步，電腦數值運算能力大幅提升，計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)分析工具技術亦漸趨成熟，CFD Model 也成為空間流場模擬主流。本研究採用的 CFD Model 為美國國家標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology, NIST)所研發的火災模擬軟體 FDS(Fire Dynamics Simulator)。FDS 主要係採用大渦流模擬法 (Large Eddy Simulation, LES)以及直接數值模擬法 (Direct Numerical Simulation, DNS)為基礎的 CFD 模擬軟體，可用於模擬三維空間氣流動態及

火災情境，它須將模擬空間分割為多格細小格點，利用數值方法求解各個守恆方程式，可更精確地預估模擬空間的溫度、速度、氣流流動等物理數據，因此也更適合於形狀複雜空間的動態模擬。近年來，也因電腦技術進步，FDS 也導入平行運算方式，使得複雜形式空間流場模擬的應用更加普遍。

FDS 裡結合一個數據後處理軟體 Smokeview，可將 FDS 所計算出來的結果，利用 Open GL 繪圖軟體以 2D 圖形或 3D 動畫的效果呈現。其軟體架構如圖 75 所示。模擬對象物可經由 Smokeview 觀看整個模擬計算過程，其功能包含模擬空間之溫度分布、氣流流動方向、速度、氧氣、一氧化碳、二氧化碳或其他可燃性氣體與粉塵的濃度分布及流場等[62]。

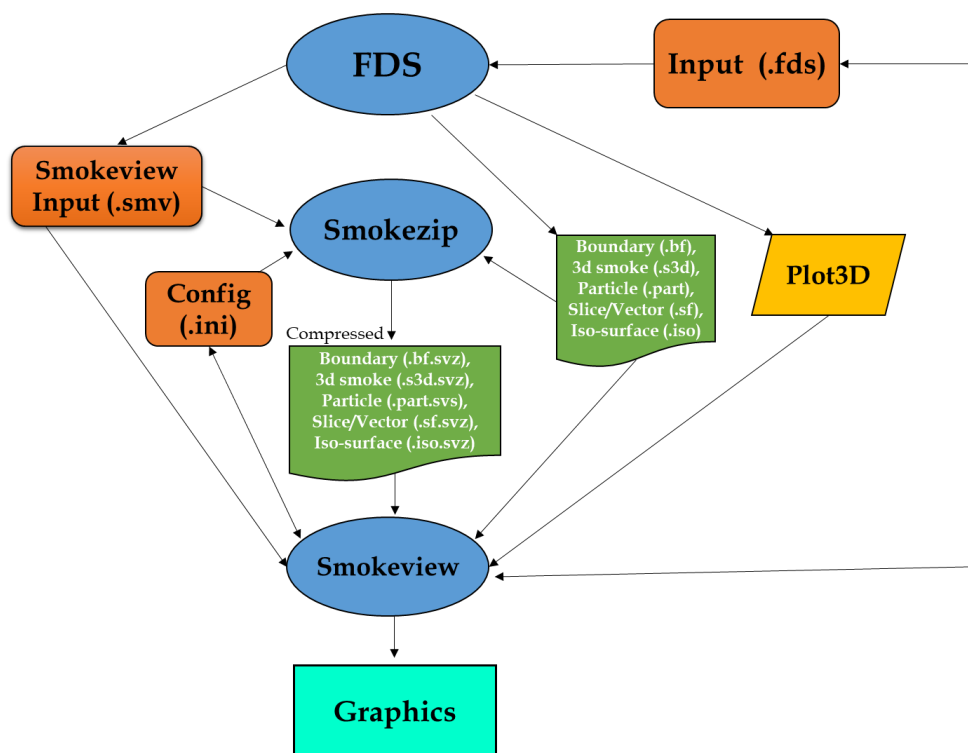


圖 75 FDS 與 Smokeview 組織架構流程圖

## 二、局部排氣裝置設計與 FDS 模擬

本研究藉由現場勘查方式，得知樹脂製造業在進行人工投料作業過程中，大多數化學桶槽投料口直徑約為 0.6 公尺，且設置的局部排氣裝置多採用上抽式或側吸式氣罩。現場以發煙管進行通風效能定性測試，發現大多數局部排氣裝置效果甚差，無法有

效抽除作業人員於投料過程中逸散的有害物質。有鑑於此，本研究將規劃設計一環狀側吸式局部排氣裝置模組，首先藉由 FDS 進行該排氣裝置抽氣的氣流流場模擬，以利於後續實體側吸式局部排氣裝置設計，進而提升該裝置的抽氣效果。

### 三、環狀側吸式局部排氣裝置模組規劃

本研究的環狀側吸式局部排氣裝置將以模組方式進行規劃設計，該模組可視作業現場需求進行組合，以環繞投料口 180 度或 270 度範圍進行抽氣，如圖 76 與圖 77 所示。此外，另於該裝置中設置一感知元件(如紅外線感應裝置)，當該感知元件偵知作業人員位於工作位置時、或物料通過投料口，則可立即連動此局部排氣裝置據以啟動；而人員離開該位置後，局部排氣裝置則會再持續作動一段時間後方停止。在風管與氣罩部分，本研究規劃採用 4 吋(10 cm)之管線連接氣罩進行抽氣，抽氣風管與氣罩側板之角度為 45 度，氣罩設計之尺寸如圖 78 所示；而氣罩高度與排氣管管徑相同皆為 10 cm，如圖 79 所示。

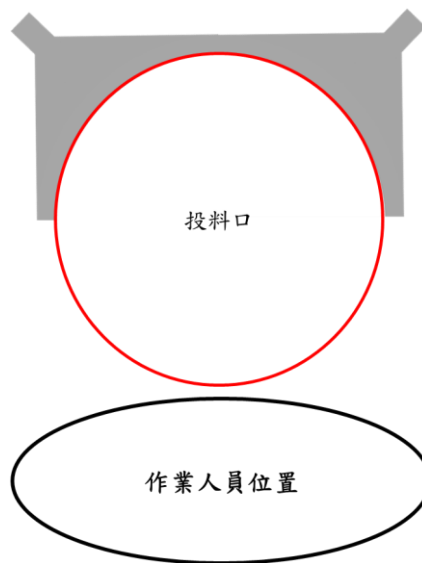


圖 76 環繞投料口 180 度抽排氣示意圖

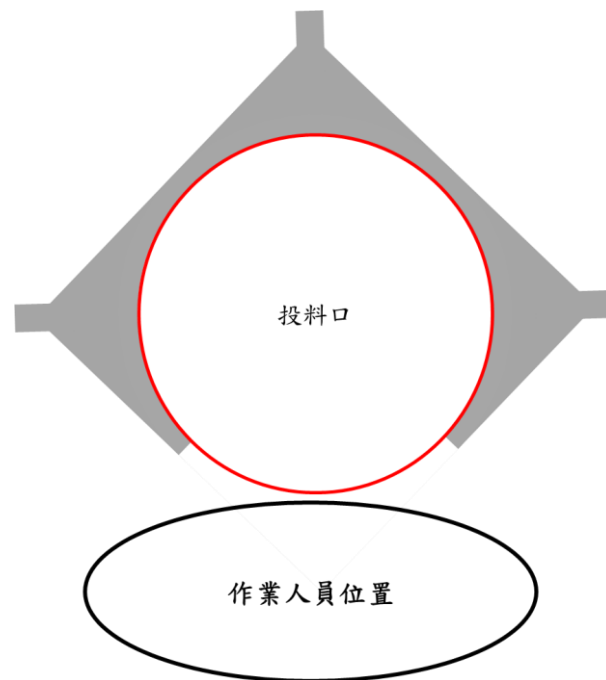


圖 77 環繞投料口 270 度進行抽排氣示意圖

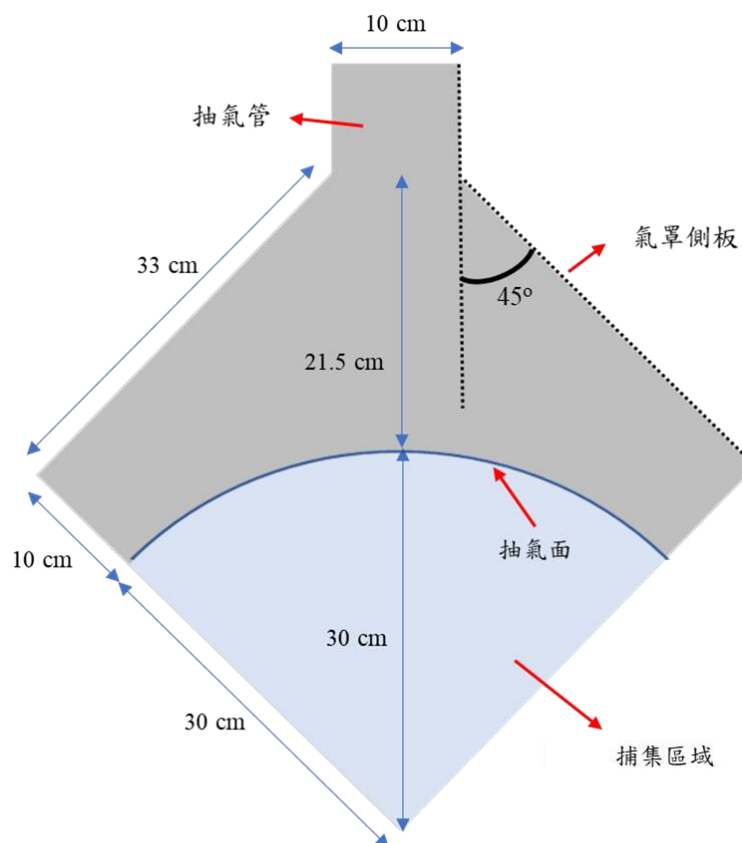


圖 78 氣罩尺寸設計平面圖

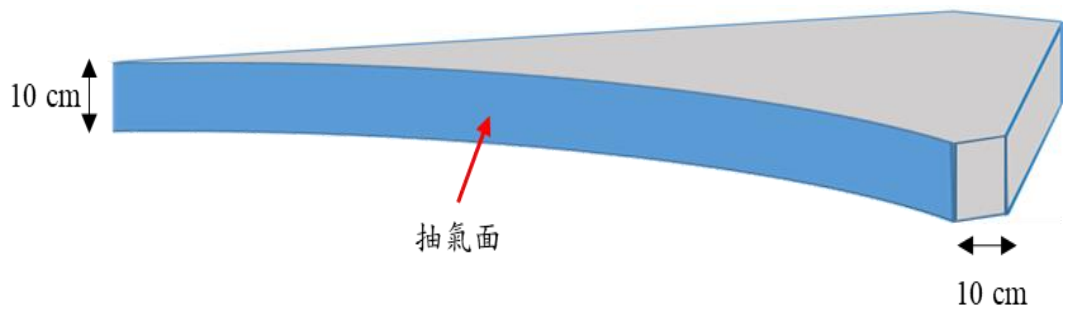


圖 79 氣罩尺寸立體示意圖

#### 四、FDS 氣罩設計流場模擬分析

為使設計的局部排氣裝置效果達到最佳化，故本研究另採用 FDS 進行氣罩抽氣氣流電腦模擬，探討有效風速與捕集範圍，以及氣罩在無裝設抽氣面板情況下的氣流分布情況，以作為後續氣罩開口面開孔設計規劃。依據前述的設計進行 FDS 電腦模擬建模，以 10 cm 風管管線加上氣罩之上、下底板與側板(如圖 80 所示)，並以 10 m/s 之風管內風速(抽氣量  $4.71 \text{ m}^3/\text{min}$ )進行抽氣模擬。

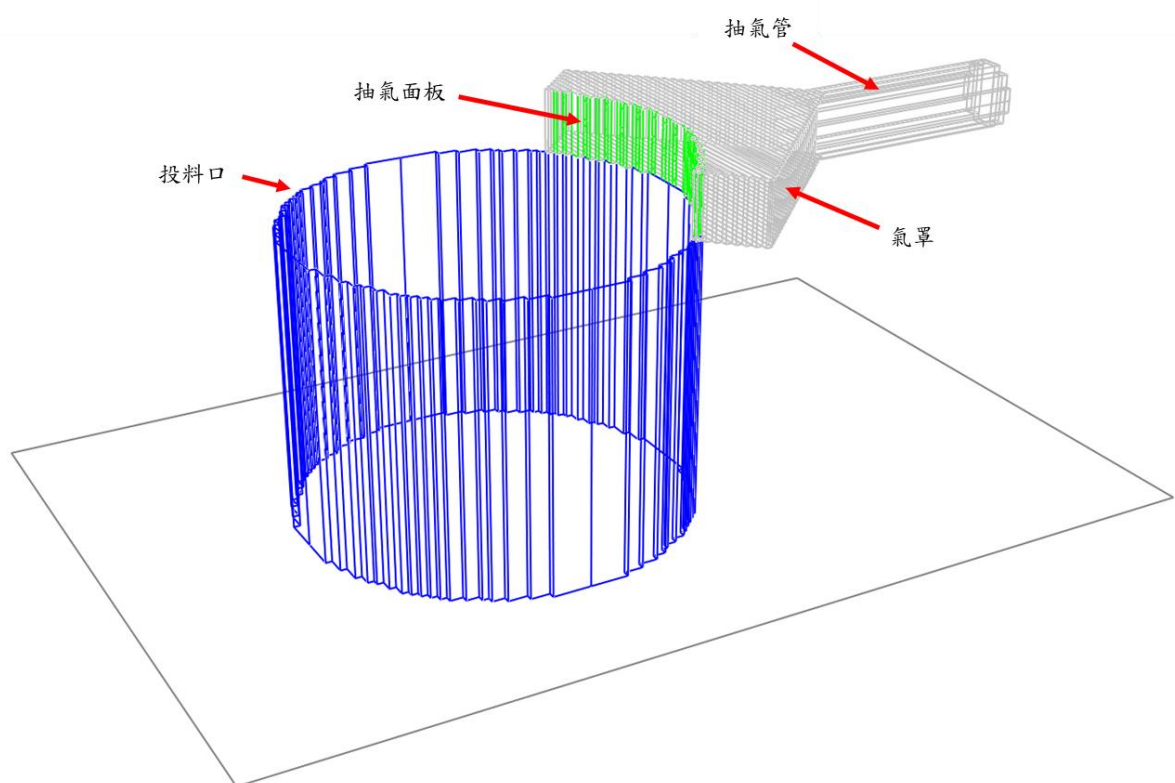


圖 80 FDS 模型建置情形

藉由模擬結果得知，在抽氣面板規劃設置位置(白色虛線)的風速雖可達 2.6 m/s(圖 81 黑色部分)，但風速較大的區域大多集中於氣罩中央，抽氣速度無法均勻分布於面板上。由圖 82 顯示，抽風管於 10 m/s 之抽風風速條件下，捕集風速 0.2 m/s(圖 82 黑色區域)以上範圍，並無法涵蓋有效捕集區域(圖 82 紅色虛線)，故後續進行面板開孔設計有其必要性。

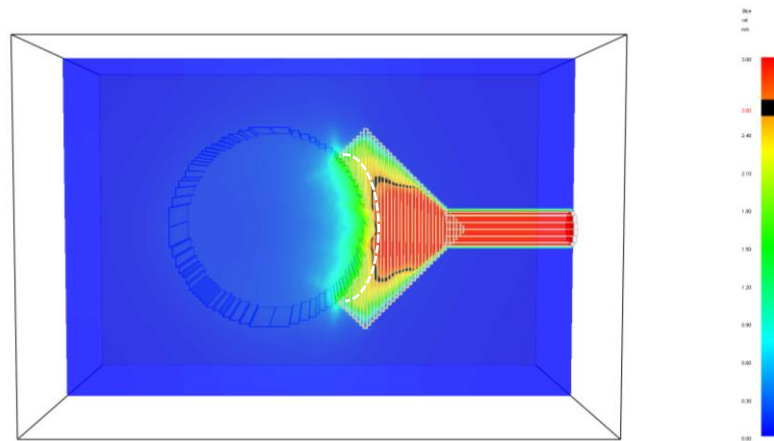


圖 81 抽氣風管 10 m/s 之風速模擬結果

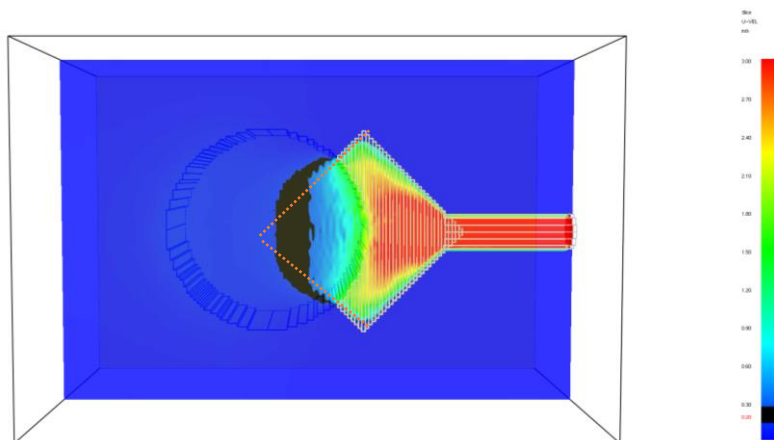


圖 82 捕集範圍(風速設定 0.2 m/s 狀況下)

本研究另於抽氣面板處設置一開口面板，面板上的開孔率約為 39%，亦以抽風管 10 m/s 之抽風風速條件下進行模擬。模擬結果顯示，在抽氣面板開孔處位置的風速均勻分布於面板上，並可達 2.9 m/s(圖 83 黑色部分)；此外，由圖 84 顯示，捕集風速 0.2 m/s(圖 84 黑色區域)以上範圍，較前述之模擬條件下，可有效涵蓋捕集區域(圖 84 紅色

虛線)。由此結果得知氣罩抽氣面板進行開孔設計時，不僅可使氣罩均勻抽氣，另可涵蓋的捕集範圍較大。

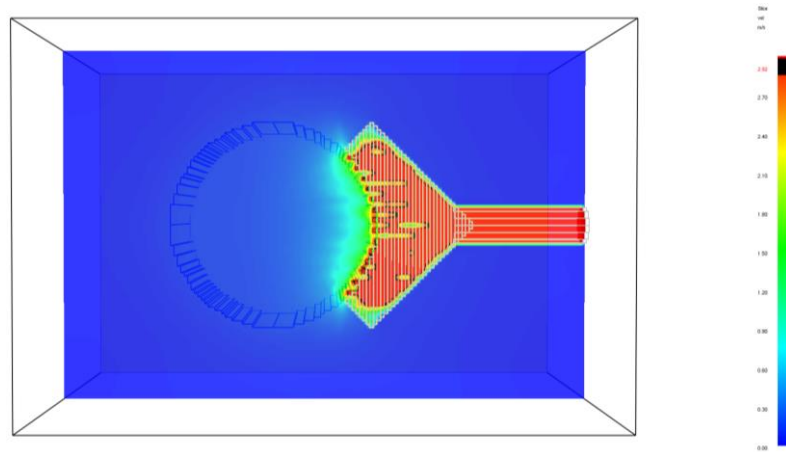


圖 83 氣罩設置開孔面板、抽氣風管 10 m/s 之風速模擬結果

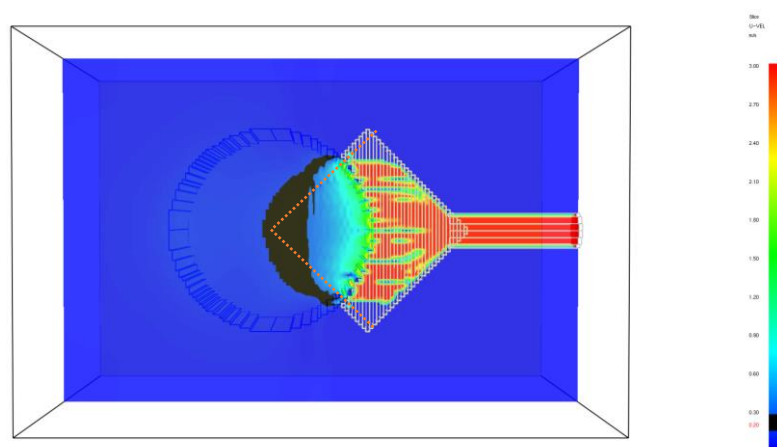


圖 84 氣罩設置開孔面板之捕集範圍(風速設定 0.2 m/s 狀況下)

本研究於抽氣面板處設置開孔面板之情境，另以抽氣管抽風風速 5、15，以及 20 m/s (抽氣量依序為 2.36、7.07 以及 9.42 m<sup>3</sup>/min) 條件下分別進行模擬。結果顯示抽氣風速為 5、15 以及 20 m/s 時，投料口中心位置之捕集風速分別為 0.09、0.27 以及 0.38 m/s，如圖 85 至 87 所示。本研究將抽氣管管內風速與投料口中心風速進行作圖(如圖 88)，發現抽氣管管內風速與投料口中心風速呈現線性關係，即投料口中心風速 = 0.0188 × 抽氣管管內風速 ( $R^2=0.9928$ )。故未來本研究開發設計的風罩，其投料口中心位

置之風速可藉由抽氣管管內風速或風量進行估算。

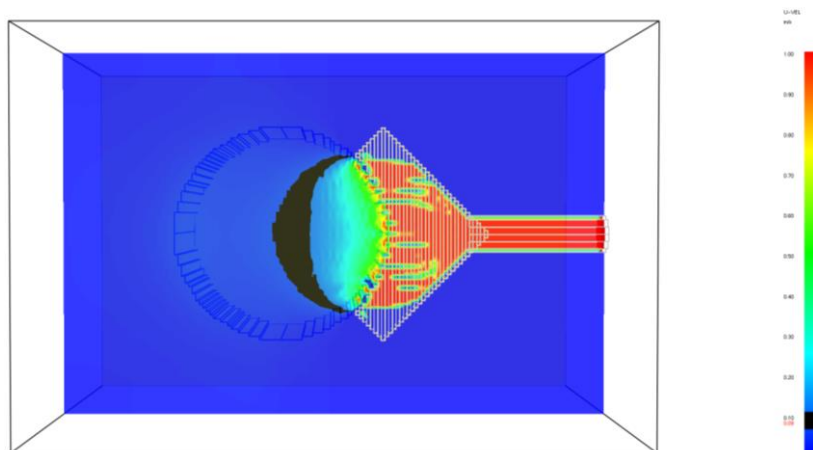


圖 85 抽氣風管 5 m/s 之風速模擬結果

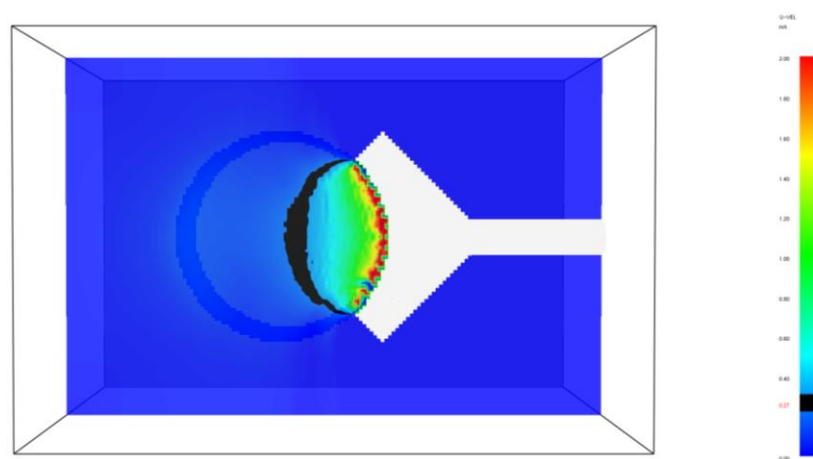


圖 86 抽氣風管 15 m/s 之風速模擬結果



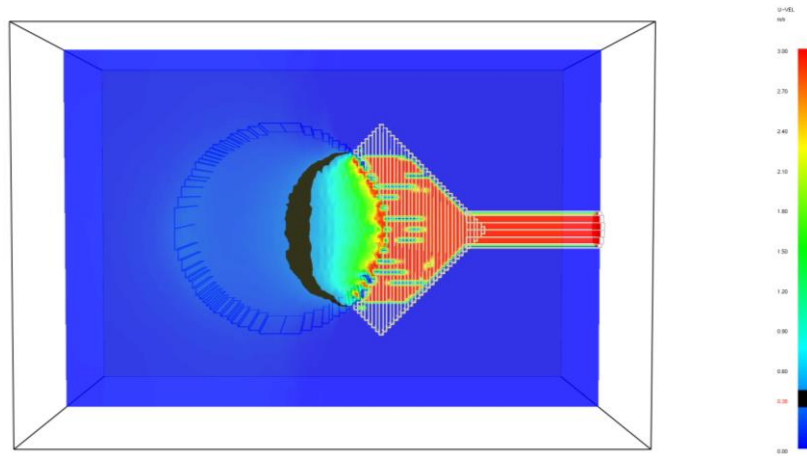


圖 87 抽氣風管 20 m/s 之風速模擬結果

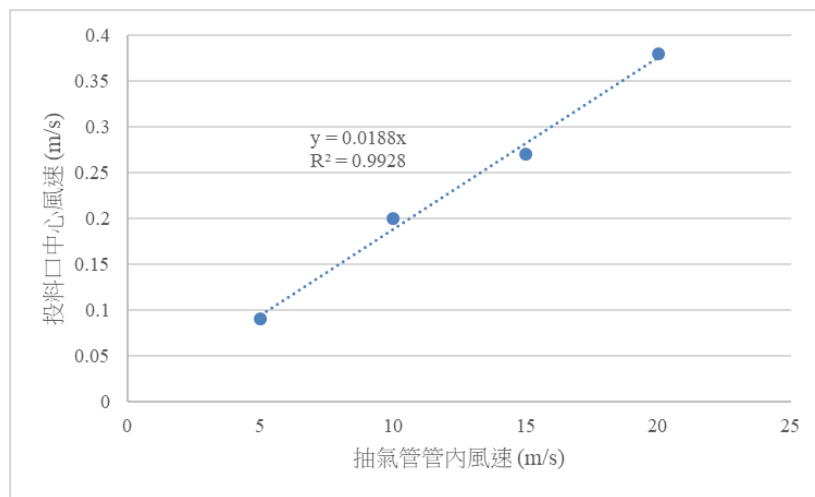


圖 88 抽氣管管內風速與投料口中心風速關係圖

## 五、FDS 危險物逸散捕集模擬分析

### (一) FDS 氣狀污染物逸散捕集模擬結果

本研究依上述的氣罩抽氣面板處設置開孔面板情境，以抽氣管風速 5 m/s 以及 10 m/s 的抽風條件，分別進行氣狀污染物逸散的捕集模擬。本研究氣狀污染物的模擬情境設定為丙酮揮發，丙酮其分子量為 58 g/mol，揮發量經由馬扎克公式(如式一)進行估算後為 0.016 kg/m<sup>2</sup>。

$$G = \frac{(5.34 + 4.1u) \times P_v \times F \times M^{0.5}}{133.32} \dots\dots\dots [式一]$$

G：揮發量 (g/hr)

u：風速 (m/s)

P<sub>v</sub>：飽和蒸汽壓 (Pa)

F：面積 (m<sup>2</sup>)

M：分子量 (g/mol)

本研究對於此環狀側吸式局部排氣裝置設定對於氣狀污染物的捕集效率應至少有 90%以上，而圖 89 與圖 90 為丙酮揮發自投料口逸散的捕集模擬結果。模擬結果顯示，當丙酮蒸氣(圖 89 與圖 90 中之黑色粒子)自投料口處逸散時，氣罩的風管風速為 5 m/s(投料口中心捕集風速 0.09 m/s)，仍有部分丙酮蒸氣會逸散至其他位置，並無法完全將其完全捕集抽除，其捕集效率約 95%。而當風管風速增至 10 m/s(投料口中心捕集風速 0.2 m/s)時，氣罩即可將丙酮蒸氣完全捕集，捕集效率可達 100%。故後續針對丙酮揮發蒸氣捕集，氣罩抽風設計，建議於投料口中心風速應達 0.2 m/s 以上。

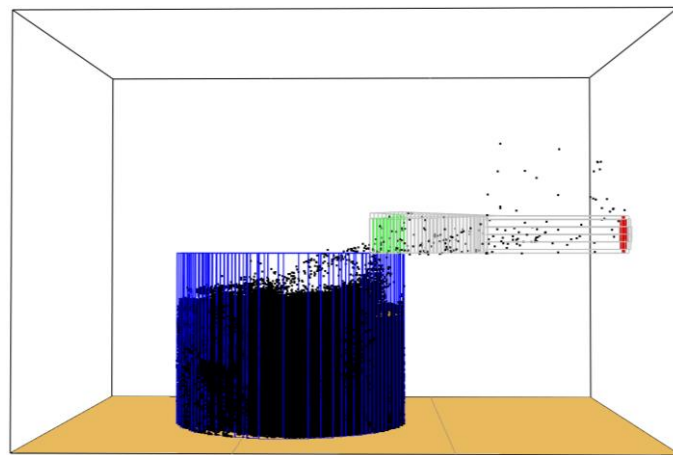


圖 89 風管風速為 5 m/s(投料口中心捕集風速 0.09 m/s)丙酮蒸氣捕集模擬結果

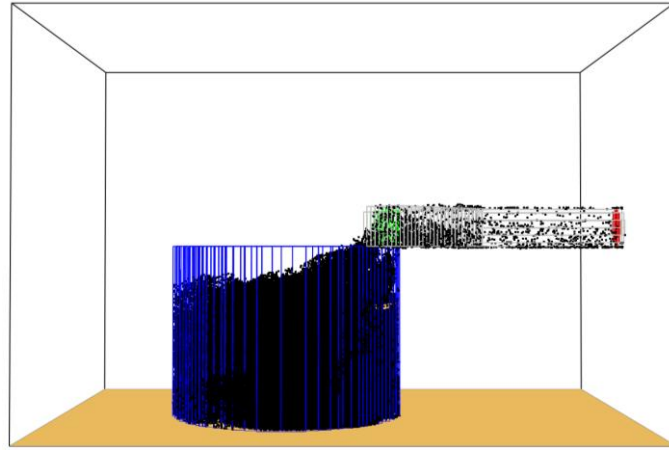


圖 90 風管風速為 10 m/s(投料口中心捕集風速 0.2 m/s)丙酮蒸氣捕集模擬結果

## (二) FDS 粒狀污染物逸散捕集模擬結果

在粒狀污染物之模擬條件設定，本研究以比重 1.19、粒徑分別為 5、10  $\mu\text{m}$  之粉塵進行模擬，而粉塵產生位置為投料口靠近風罩之區域(如圖 91 中紅色區域)，粉塵揚起後於風罩位置之速度為 0.7 m/s，進而評估單一氣罩分別於抽氣管風速 10、15，以及 20 m/s(投料口中心風速 0.2、0.27，以及 0.38 m/s)模擬條件下，對於其負責的捕集區域粉塵捕集效果。

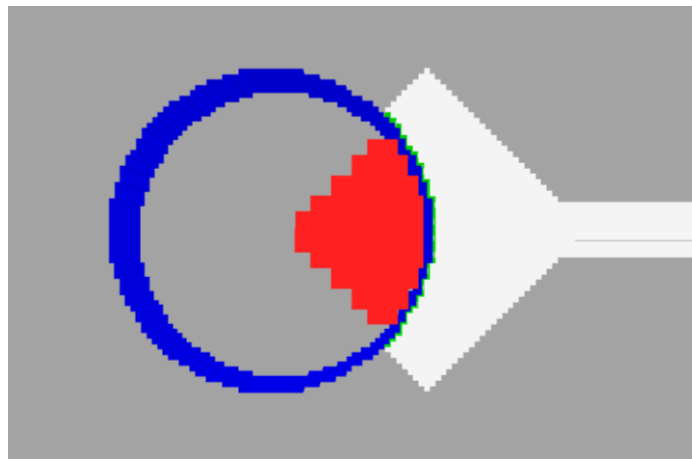


圖 91 FDS 模擬粉塵揚起位置

由粒徑為 5  $\mu\text{m}$  粉塵的捕集模擬結果顯示，當風管的風速為 10 m/s(投料口中心風

速 0.2 m/s)模擬條件下(如圖 92)，氣罩僅能將部分揚起的粉塵抽除，仍有 70%粉塵會逸散，捕集效率僅能達到 30%。基於前述結果，因此本研究將此氣罩設計的捕集效率設定至少為 90%，以作為後續模擬與實作模型的目標。而繼續將風管風速增至 15 m/s 時(投料口中心風速 0.27 m/s)，雖然揚起的粉塵可完全被氣罩抽除，但過程中因有部分粉塵會先逸散至氣罩上方後再被抽除，仍有可能會有揚起至操作人員呼吸帶之疑慮(如圖 93)。因此將風管風速增至 20 m/s 時(投料口中心風速 0.38 m/s)進行模擬，結果顯示在此抽氣條件下，被揚起的 5  $\mu\text{m}$  粉塵到達投料口上方(即氣罩下緣)時，則立即被氣罩抽除，且不會逸散至氣罩上方，捕集效率可達幾乎 100%，如圖 94 所示。故後續針對 5  $\mu\text{m}$  粉塵，該氣罩的抽風設計，建議於投料口中心風速應達 0.38 m/s 以上。

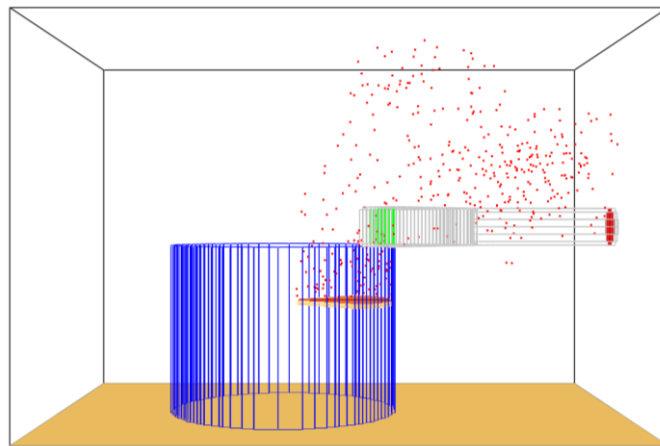


圖 92 風管風速為 10 m/s(投料口中心風速 0.2 m/s) 之 5  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果

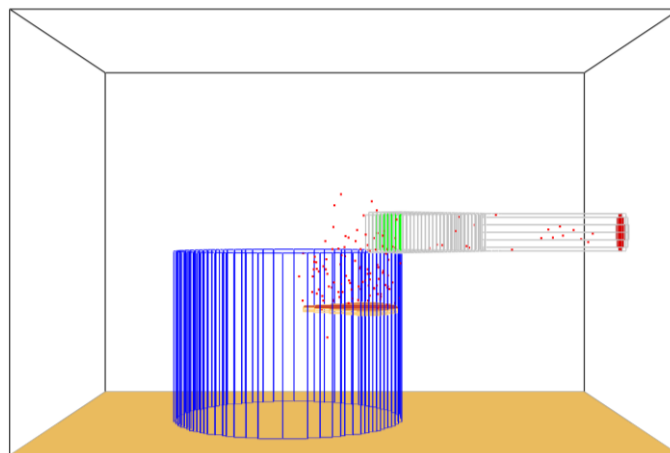


圖 93 風管風速為 15 m/s(投料口中心風速 0.27 m/s) 5  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果

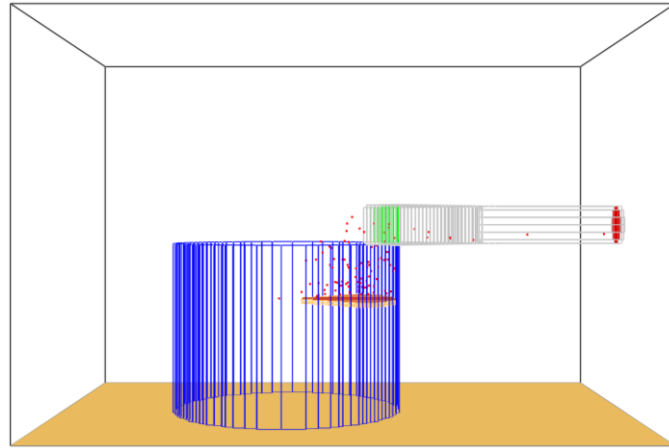


圖 94 風管風速為 20 m/s(投料口中心風速 0.38 m/s) 5  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果

而在粒徑為 10  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果中，當風管風速為 10 m/s(投料口中心風速 0.2 m/s)模擬條件下(如圖 95)，氣罩僅能將部分揚起的粉塵抽除，仍有約 80%粉塵會逸散，捕集效率僅能達到 20%。當風管抽氣風速增至 15 m/s 時(投料口中心風速 0.27 m/s)，仍因有部分粉塵會先逸散至氣罩上方後再被抽除，亦可能會有揚起至操作人員呼吸帶之虞(如圖 96)。而本研究再以風管風速增至 20 m/s (投料口中心風速 0.38 m/s)進行模擬，結果顯示在此抽氣條件下，被揚起的 10  $\mu\text{m}$  粉塵到達投料口上方(即氣罩下緣)時，則立即被氣罩抽除，且無法逸散至氣罩上方，捕集效率可達幾乎 100%，如圖 97 所示。因此，針對 10  $\mu\text{m}$  粉塵，該氣罩的抽風設計，仍建議於投料口中心風速應控制在 0.38 m/s 以上。

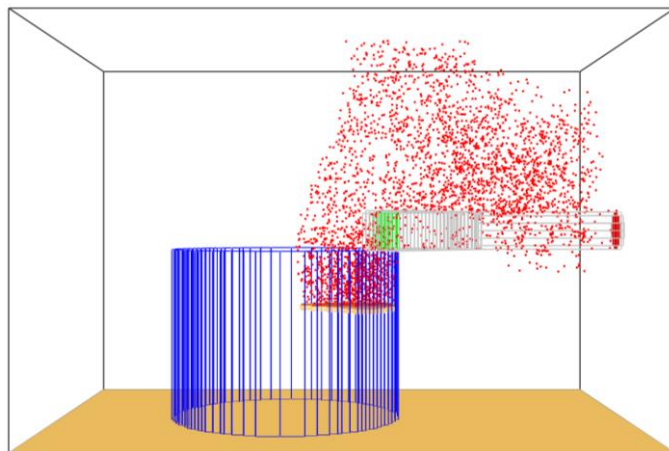


圖 95 風管風速為 10 m/s(投料口中心風速 0.2 m/s) 10  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果

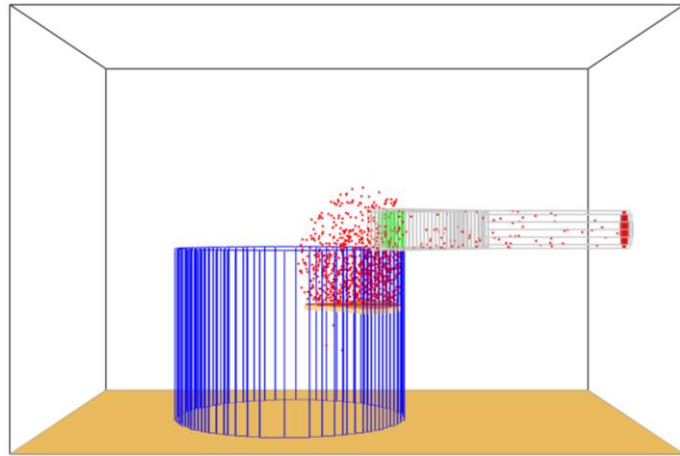


圖 96 風管風速為 15 m/s(投料口中心風速 0.27 m/s) 10  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果

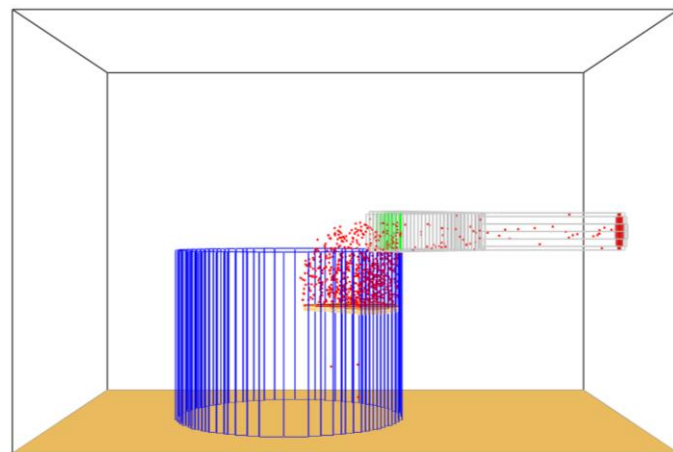


圖 97 風管風速為 20 m/s(投料口中心風速 0.38 m/s) 之 10  $\mu\text{m}$  粉塵捕集模擬結果

## 六、環狀側吸式局部排氣裝置實體製作與介入改善成效

根據前述模擬結果確認環狀側吸式局部排氣設計有效性後，即進行設計圖與實體模型製作，作為後續介入改善成效評估之用。經與製作團隊討論後，依照前述原進行模擬之環狀側吸式局部排氣裝置尺寸規劃，設計圖如圖 98 所示。該設計以投料口 1/4 開口面(即 90 度)為一個單元，未來可增列 2-3 單元，增擴為約投料口 2/4~3/4 開口面(即 180~270 度)進行，以維持實場應用彈性。而實體製作後的模型詳見圖 99，為了維持前

端開孔率以及未來使用方便性，因此其開口面設計為如圖 100 之可抽取式。

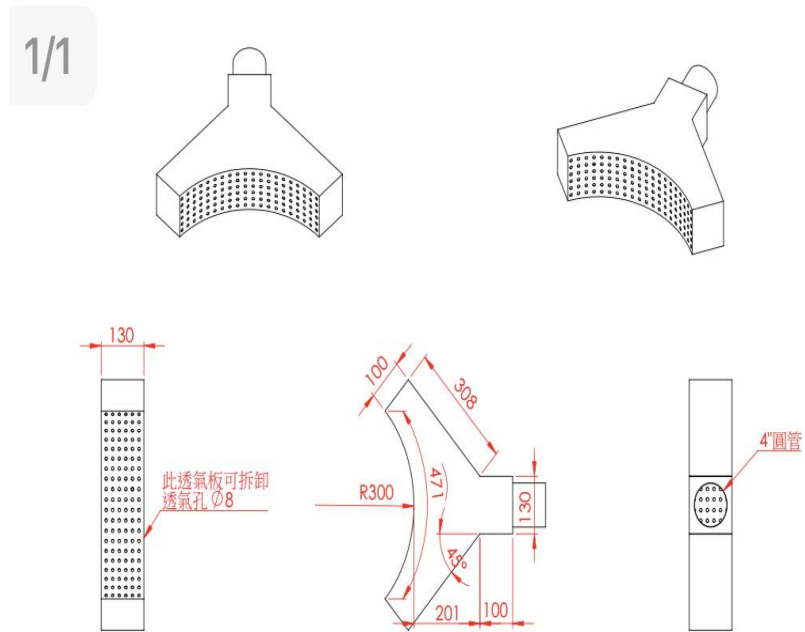


圖 98 環狀側吸式局部排氣裝置設計圖

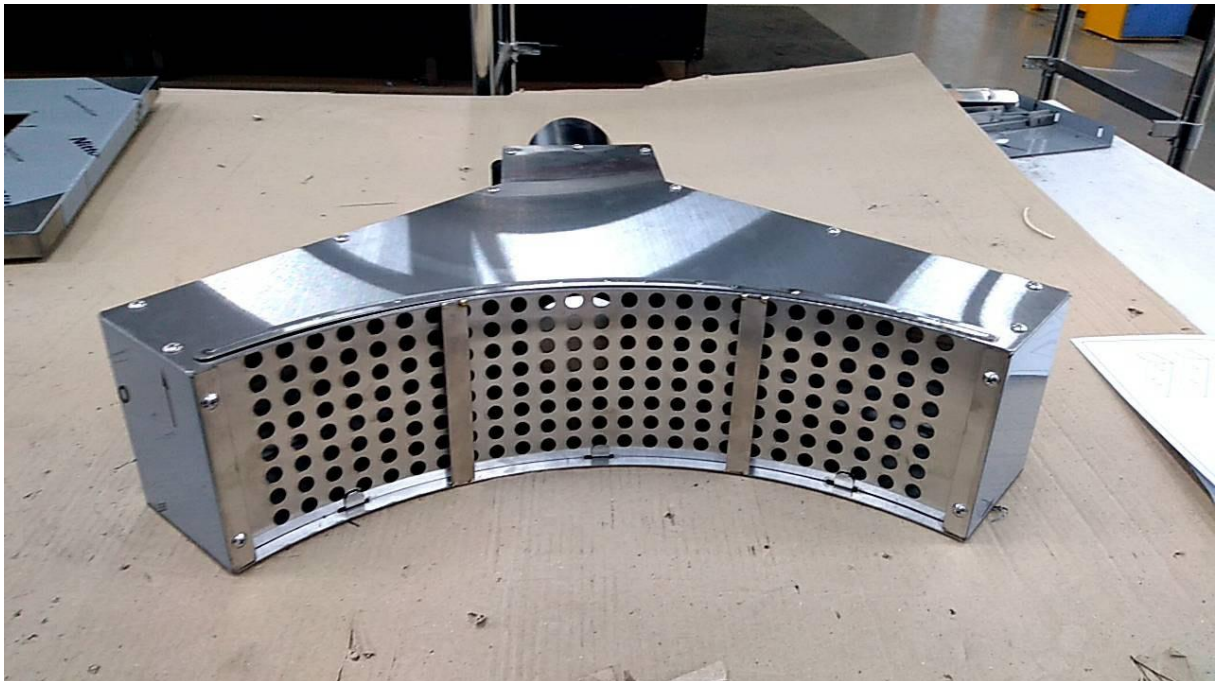


圖 99 環狀側吸式局部排氣裝置實體成品



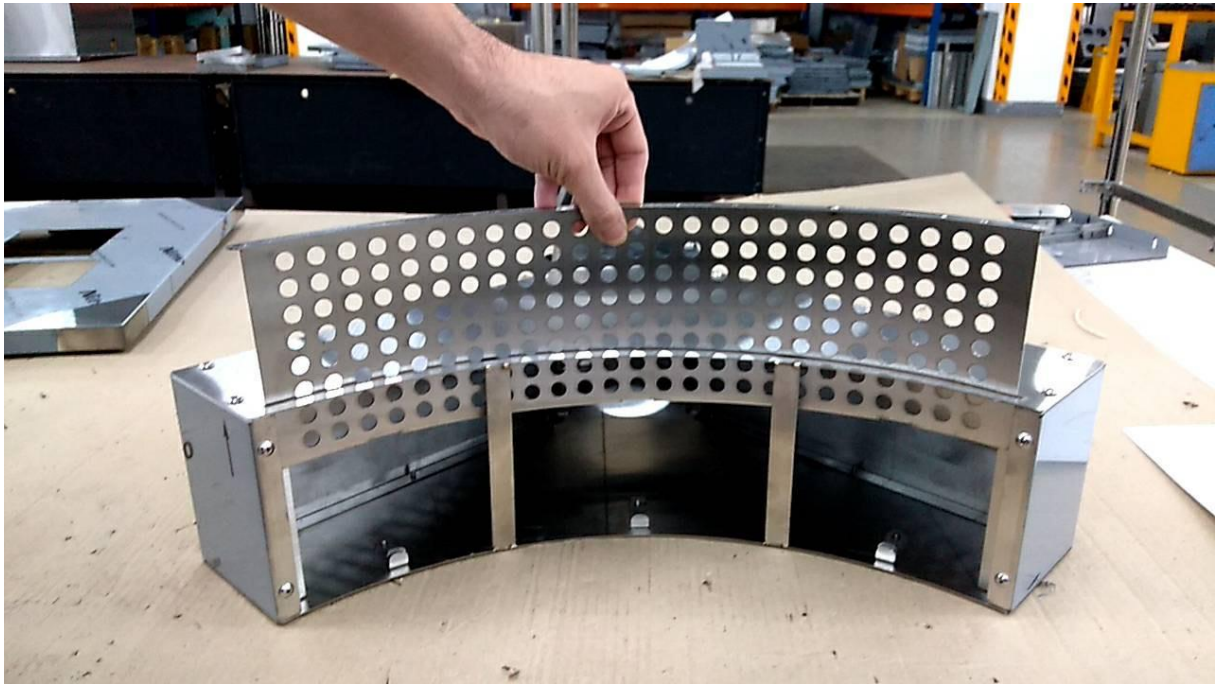


圖 100 環狀側吸式局部排氣裝置可抽取式開口

本研究根據前述 10 場次環境監測與通風設施評估的事業單位配合度，選取一處將此環狀側吸式局部排氣裝置實體，運用於實際現場介入改善。選取的場址其逸散污染物以有機氣體(VOCs)為主，因此選擇使用光離子氣體偵測器(PID)，分別於未使用本研究設計的環狀側吸式局部排氣裝置時以及介入改善後，於作業員工位置附近(距離投料口逸散處、50 cm、100 cm 以及 150 cm)監測有機氣體之濃度結果；另外，該氣罩開口面(0 cm)以及距離開口 5 cm、10 cm、15 cm 以及投料口中心(30 cm)處之風速也同時進行量測，並與模擬結果進行比較。有機氣體濃度監測結果如表 10 所示，發現在投料口 100 cm 內，即作業人員周遭(可能的暴露帶)經此局部排氣介入改善後，至少有 96.30%~91.55%效果；在 150cm 外環境中，亦具有約 82.02%效果。該結果符合當初設計與模擬下所設定至少有 90%以上捕集效果相符，在設計的局部排氣裝置介入改善後，不同位置有機氣體濃度監測結果同時呈現於圖 101。風速量測結果如表 11 所示，其中投料口中心(30 cm)風速約為 0.11 m/s，對應捕集效率實測值 96.30%~91.55%之間，該結果與前述模擬結果類似(投料口中心捕集風速 0.09 m/s 對應捕集效率約 95%)，顯見該設計經模擬與實測值兩相驗證下，已達到其設計規劃預期效能。



表 10 環狀側吸式局部排氣裝置實場介入改善結果比較

距離 (cm)	未使用環狀側吸式 局部排氣裝置		使用環狀側吸式 局部排氣裝置介入改善		平均捕集效率(%)
	VOCs 測定濃度 (ppm)		VOCs 測定濃度 (ppm)		
	平均值	SD	平均值	SD	
0	233.88	67.27	8.6543	0.300724	96.30
50	150.70	28.26	8.5428	0.566306	94.33
100	137.86	23.54	11.652	0.753861	91.55
150	65.05	15.40	11.698	0.546541	82.02

表 11 環狀側吸式局部排氣裝置實場介入改善開口面與前方不同距離風速結果

距離(cm)	風速 (m/s)
0 (開口面)	0.77
5	0.42
10	0.27
15	0.21
25	0.16
30 (投料口中心)	0.11

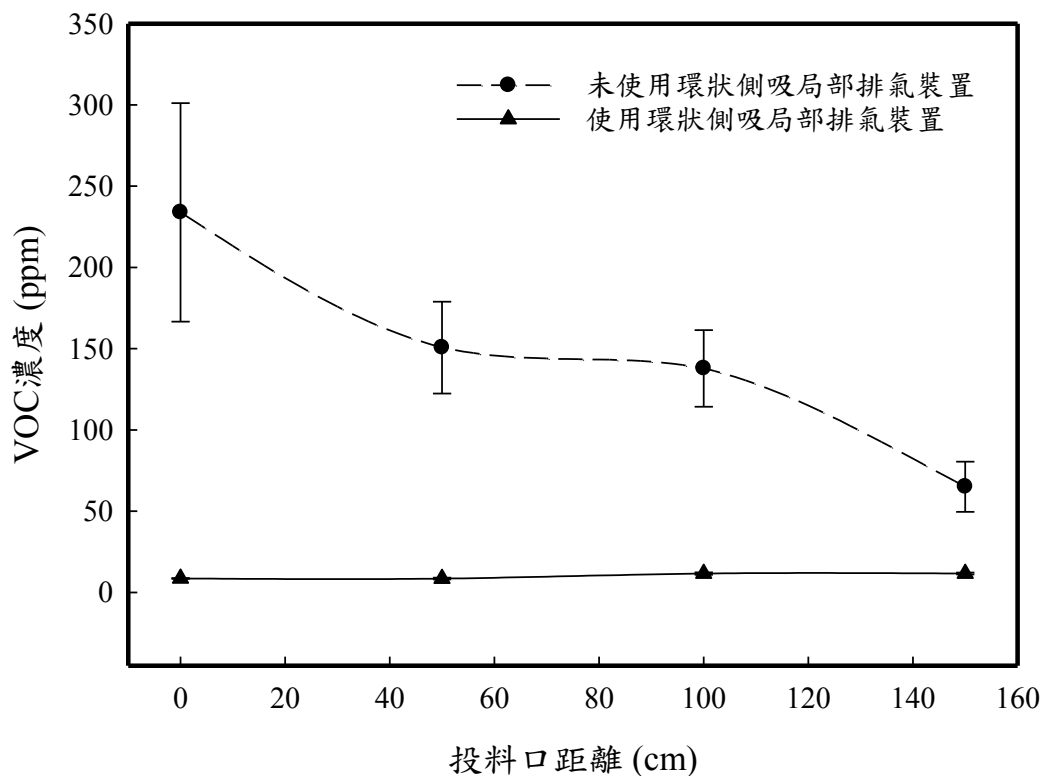


圖 101 環狀側吸式局部排氣裝置介入改善結果比較

## 第五節 化學桶槽之人工投料作業安全衛生防護措施

本研究結果發現樹脂製造業作業勞工對在所有暴露採樣測定的有害物質，其 8 小時時量加權平均暴露濃度，均遠低於我國「勞工作業場所容許暴露標準」[7]所規定的職業暴露限值的 1/10，顯示因長時間暴露的累積劑量造成慢性健康危害效應發生的機率不高，而從現場作業觀察和短時間暴露測定，確實發現仍有少數時間會有短時間高濃度暴露發生，無法完全排除短時間高濃度暴露誘發急性健康危害效應。為了保護樹脂製造業製程作業勞工於人工投料作業、巡察化學反應作業和成品包裝作業免於有害物質暴露危害，對於這些作業現場和勞工應實施必要的安全衛生防護措施，包括：

### 一、局部排氣裝置設計製作及性能維護與檢測

#### (一) 局部排氣裝置的設計製作及性能維護原則

為了確保局部排氣裝置的有效性，必須有正確的設計、施工、驗收及確實的維護

保養。於未設置前，先執行三項工作：(1)實場相關資料蒐集與需求考量衍生的設計；(2)施工設置與驗收；(3)運轉後性能維護保養與評估，每一項工作均需要相關專業技術文件，搭配可執行的簡易評估技術，真正落實執行維護保養工作，確認設計、驗收與維護保養均具有一定程度有效性。

如前面已提過的，在進行局部排氣裝置設計前，須先以不影響勞工作業方式為最重要考量，然後收集下列相關資料：(1)確認有害物發生源及各發生源間的相對重要性；(2)評估有害物的組成、溫度、發散速率及方向；(3)評估工作場所氣流流向及速度；(4)評估勞工作業習慣、職業安全衛生知能及接受指導的配合度。

在局部排氣裝置設置需注意的基本事項，則包括：(1)氣罩大小、型式應適合於有害物發生源的狀態；(2)為使從發生源具相當速度飛散的有害物，能夠被強制吸引於氣罩中，應設法產生一定速度以上的氣流；(3)配置應使作業勞工不接近或不暴露於吸入氣罩的有害物氣流內；(4)氣罩導管設計應注意保持暢通，不可有過大的空氣阻力使有害物沉滯於導管內壁造成阻塞；(5)應使用適合於所吸引的有害物密度、尺寸、濃度、物化特性等形式的空氣淨化裝置，且施作完畢，要定期檢查、維護及測定，以確保其功能正常並妥善運轉。

## (二) 局部排氣裝置設計製作

根據上述作業現場蒐集資料進行設計，確認設計條件並產生設計圖後，經過計算流體力學模擬初步驗證後，確認符合設計條件且足以控制逸散後，進行適用於人工投料作業的實體局部排氣裝置研發製作與驗證，完成後即提供業事業單位採用，以降低作業勞工有害物暴露。

## (三) 定期局部排氣裝置性能評估檢測

在局部排氣裝置運轉後，定期實施裝置性能評估檢測，其實施步驟如下：

- 1.裝置及其元件目視檢查，確定無破損、鏽蝕和漏氣狀況。
- 2.使用發煙管進行風向測試，觀察開口處氣流走向，確認捕集區域或流場符合預期；  
搭配微壓差計量測局部排氣裝置系統內外壓力差值，避免有害物逸散的風險。
- 3.量測局部排氣裝置開口面風速，以確認裝置性能符合初始設計要求。
- 4.以粉塵或揮發性有機化合物直讀式儀器量測化學桶槽人工投料作業區域、人員與局

部排氣裝置開口濃度，確認暴露濃度評估結果符合法令規定。

## 二、提供作業勞工適當個人呼吸防護裝置

依我國勞動部職業安全衛生署發布的「呼吸防護計畫及採行措施指引」[64]，要求雇主使勞工於有害環境作業需使用呼吸防護具時，應依其作業環境空氣中有害物的特性，採取適當的呼吸防護措施，訂定呼吸防護計畫。為了協助事業單位擬定擬定適合其暴露狀況的呼吸防護計畫，更製作「呼吸防護計畫技術參考手冊」[65]，提供呼吸防護計畫所應涵蓋內容之參考，期望事業單位訂出適合自身使用的計畫。雖然目前的量測數據，均顯示作業環境現場空氣和作業勞工暴露有害物濃度遠低於當前的職業容許暴露限值，但為了提供勞工完善的健康保護，仍建議提供勞工適當個人呼吸防護裝置。並教導勞工注意使用時機，包括：

- 1.依「呼吸防護計畫技術參考手冊」中有關呼吸防護具之選擇一節中，依有害物的的狀態、暴露程度及毒性選用適當防護具，主要是防毒面具或 N95 口罩。
- 2.當製程使用環氧氯丙烷或甲醛時，於投料作業建議提供勞工防毒面具，並注意面具濾罐的有效期限。
- 3.對於粉狀原料投料或混拌短時間作業時，建議提供作業勞工呼吸防護具，如防毒面具或 N95 口罩。
- 4.對於無致癌性危害的有機化合物液體原料投料或混拌短時間作業時，建議提供作業勞工防毒面具，於作業完成後，則可不配戴。
- 5.注意於每次作業前，檢測局部排氣裝置是否正常運轉，若有異常情形，應先停止作業並回報相關維修保養管理人員。
- 6.在未安裝局部排氣裝置前、裝置故障處理、維護或保養操作時，可預期短時間高濃度暴露情形，除呼吸防護裝置防毒面具或 N95 口罩外，必須要求有皮膚暴露可能性時，也應注意使用手套、防護衣等個人防護裝置。
- 7.審慎評估是否停止使用環氧氯丙烷、甲醛和酸酐類化合物，若不可行，必須控制環境暴露低於可觀察到最低不良健康效應的暴露限值。
- 8.對於已因暴露引發呼吸道過敏的勞工，在未出現嚴重過敏症狀或氣喘症狀前，應將該勞工轉換到很少或沒有暴露的替代工作。患有呼吸系統疾病的勞工，不應該被分配到有任何暴露的工作環境。

### 9.建議勞工戒菸。

使用呼吸防護具可能會對勞工造成額外的負荷，雇主使勞工於須使用緊密貼合式呼吸防護具(如：半面體或全面體呼吸防護具)的有害環境作業時，應於初次戴用前或每年至少一次，依法令規定實施生理評估[66]。此外，依呼吸防護計畫及採行措施指引規定，對於每位使用緊密貼合式呼吸防護具的勞工都應進行密合度測試，有關防護具密合度測試、使用、維護及管理、教育訓練、成效評估及改善等相關事項要求，應依「呼吸防護計畫技術參考手冊」規定實施，使呼吸防護裝置的使用確實發揮降低勞工有害物暴露風險。

## 三、實施作業勞工職業安全衛生教育訓練

對於作業勞工實施「呼吸防護計畫技術參考手冊」中規定的教育訓練內容，並注意於各種作業操作能儘量避免暴露，主要內容包括：

- 1.必須確保勞工瞭解為何要使用呼吸防護具，訓練內容必須包含有害物確認及其可能造成的健康效應。
- 2.要求勞工要確認如何進行呼吸防護具的檢查、穿戴、使用、移除及密合檢點測試。
- 3.要求勞工使用前確認呼吸防護具密合良好且正確地使用與維護。
- 4.瞭解所選用的呼吸防護具的性能及限制。
- 5.瞭解呼吸防護具維護及儲存的程序。

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、在 10 個樹脂製造工廠所收集的 56 個勞工個人和 99 個區域採樣樣本，結果發現：18 種揮發性有機化合物 8-hr TWA 暴露測定濃度均低於我國職業容許暴露濃度限值的 1/10，總粉塵和可呼吸性粉塵 8-hr TWA 暴露測定濃度也低於容許暴露濃度限值的 1/10；只有在一個可呼吸性粉塵短時間暴露測定濃度有高於 1/3 容許暴露濃度限值的情形出現，顯示樹脂製造業作業勞工個人揮發性有機化合物和總粉塵 8-hr TWA 暴露測定濃度符合我國法令規定。在正常工作天，人工投料作業頻率每批次製程可能只執行一次且作業時間大部分少於 1 小時，仍無法排除在人工投料作業時出現短時間高濃度暴露情況。
- 二、10 個工廠多組化學桶槽通風設備檢測結果，發現其局部排氣裝置效能未達理想的主要原因為：1. 作業現場整體換氣所引入的氣流或使用風扇，自投料口將逸散的有害物質帶向作業勞工呼吸區帶，增加作業勞工有害物質暴露風險。2. 作業現場投料口至氣罩距離過長(通常大於 30 cm)，導致開口面風速過低，無法對逸散至作業勞工呼吸區帶的有害物質有效捕集。3. 作業現場使用風扇往往在氣罩開口面製造不穩定氣流，未能一致地將逸散有害物質帶往遠離作業勞工方向，造成逸散有害物質捕集上的干擾和困難。
- 三、以 FDS 模擬環狀側吸式局部排氣裝置，其模擬結果顯示分別對氣體污染物於投料口中心風速應達 0.2 m/s 以上、及對 5 和 10  $\mu\text{m}$  粒狀污染物逸散捕集模擬，則建議該氣罩的抽風設計於投料口中心風速應控制在 0.38 m/s 以上，其捕集效率可接近 100%。
- 四、進行環狀側吸式局部排氣實體模型測試，結果發現：在投料口 100 cm 內，即作業人員周遭可能的暴露帶，經此局部排氣介入改善後，至少有 91.55%效果；此結果符合當初設計與模擬下所設定至少有 90%以上捕集效果相符，其中投料口中心離開口 30 cm 處的風速約為 0.11 m/s，對應捕集效率實測值 96.30~91.55%之間，該結果與前述模擬結果類似。

## 第二節 建議

- 一、對於作業現場局部排氣裝置在設計上的問題，部分作業現場投料口至氣罩距離過長，造成投料口中心風速不足，需要在裝置上重新調整或設計；而對於因使用風扇或整體換氣造成氣流干擾，則須檢討能否改變作業現場位置配置或作業習慣。如能針對這些缺點加以注意和改善，局部排氣裝置的效能將可望提升，以達到有效捕集逸散有害物質的目的。
- 二、作業環境現場通風裝置如完成後，建議應定期實施通風設施檢測與評估及維護保養，以確保其功能正常並妥善運轉。
- 三、從現場勞工作業觀察和短時間暴露測定結果，發現部分化學桶槽人工投料作業會有短時間高濃度暴露發生，為了保護製程作業勞工免於短時間高濃度有害物質暴露危害，應實施必要的安全衛生防護措施。

## 後記

本研究計畫主持人為鐘副研究員順輝及吳助理教授俊德，並由彭助理研究員君傑等共同參與。

另外，感謝長榮大學戴副教授聿彤、陳婕偉小姐等協助辦理，謹此敬表謝忱。

研究執行期間，獲得安全衛生技術中心余總經理榮彬、中華民國工業安全衛生協會湯理事長大同、中山醫學大學劉教授宏信、輔仁大學汪博士禧年、高雄市勞動檢查處黃科長耀銘等提供諸多建議，使本研究更臻於完善，謹此一併致謝。



## 參考文獻

- [1] 行政院主計總處。行業標準分類(第 10 次修訂)，中華民國統計資訊網，2016 年 1 月，<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?mp=4&xItem=42276&ctNode=1309>，搜尋日期：2020/07/08。
- [2] 李聯雄、鐘順輝：IOSH96-A304，樹脂製造業職業衛生輔導技術建立。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2008。
- [3] 李聯雄、黃奕孝：IOSH97-A305，樹脂製造業職業衛生輔導技術建立(二)。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2009。
- [4] 周瑞淑、鐘順輝：IOSH96-A305，塗料製造業職業衛生輔導技術建立。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2008。
- [5] 李聯雄、賴嘉祥：IOSH102-A307，氯丁橡膠樹脂接著劑製造及使用之勞工有機溶劑危害暴露調查研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2014。
- [6] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所：樹脂製造業職業衛生輔導研究成果輯。<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/Other/Detail?id=27>, 2010。
- [7] 勞動部職業安全衛生署。勞工作業場所容許暴露標準，2014 年 6 月 27 日修正，勞動部職業安全衛生署，<https://laws.mol.gov.tw/FLAW/FLAWDAT0202.aspx?lsid=FL015016>, 2014。
- [8] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, Cincinnati (OH), ACGIH, ISBN: 978-1-607261-12-4, 2020.
- [9] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Permissible Exposure Limits / OSHA Annotated Table Z-1, <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>, last accessed August 4, 2020.
- [10] Health and Safety Executive. EH40/2005 Workplace exposure limits---Containing the list of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended), EH40/2005 (Fourth Edition 2020), ISBN 978-0-7176-6733-8.

- [11] Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). List of MAK and BAT Values 2019, Maximum Concentrations and Biological Tolerance Values at the Workplace, Report 55 of the Permanent Senate Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, of 1 July 2019, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [12] van Tongeren MJ, Barker RD, Gardiner K, Harris JM, Venables KM, Taylor AJ, Harrington JM. Exposure to acid anhydrides in three resin and one cushioned flooring manufacturing plants, *Ann Occup Hyg.* 39(5):559-571, 1995.
- [13] He Y, Miao M, Wu C, Yuan W, Gao E, Zhou Z, Li DK. Occupational exposure levels of bisphenol A among Chinese workers, *J Occup Health.* 51(5):432-436, 2009.
- [14] Hines CJ, Jackson MV, Christianson AL, Clark JC, Arnold JE, Pretty JR, Deddens JA. Air, hand wipe, and surface wipe sampling for Bisphenol A (BPA) among workers in industries that manufacture and use BPA in the United States, *J Occup Environ Hyg.* 14(11):882-897, 2017.
- [15] Yeh HJ, Shih TS, Tsai PJ, Chang HY. Toluene diisocyanate concentration investigation among TDI-related factories in Taiwan and their relations to the type of industry, *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 12(2):157-164, 2002.
- [16] 汪禧年、李俊璋：IOSH102-A314，ABS樹脂製造勞工丙烯腈、1,3-丁二烯、苯乙烯暴露評估研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2014。
- [17] Tsuda Y, Miyauchi H, Minozoe A, Tanaka S, Arito H, Tsukahara T, Nomiya T. Seasonal difference in percutaneous absorption of N,N-dimethylformamide as determined using two urinary metabolites, *J Occup Health.* 2014;56(4):252-259, 2014.
- [18] Miyauchi H, Tsuda Y, Minozoe A, Tanaka S, Arito H, Tsukahara T, Nomiya T. Occupational exposure to N,N-dimethylformamide in the summer and winter, *Ind Health.* 52(6):512-520, 2014.
- [19] Cheng TJ, Hwang SJ, Kuo HW, Luo JC, Chang MJ. Exposure to epichlorohydrin and dimethylformamide, glutathione S-transferases and sister chromatid exchange frequencies in peripheral lymphocytes, *Arch Toxicol.* 73(4-5):282-287, 1999.
- [20] Luo JC, Kuo HW, Cheng TJ, Chang MJ. Pulmonary function abnormality and respiratory tract irritation symptoms in epichlorohydrin-exposed workers in Taiwan, *Am J Ind Med.* 43(4):440-446, 2003.

- [21] Viegas S, Ladeira C, Nunes C, Malta-Vacas J, Gomes M, Brito M, Mendonca P, Prista J. Genotoxic effects in occupational exposure to formaldehyde: A study in anatomy and pathology laboratories and formaldehyde-resins production, *J Occup Med Toxicol*. 5(1):25-32, 2010.
- [22] Saha A, Tripathi SR. A Study on neurobehavioral performance of workers occupationally exposed to solvent in synthetic resin manufacturing, *Toxicol Int*. 21(3): 264–268, 2014.
- [23] Yokota K, Takeshita T, Morimoto K. Prevention of occupational allergy caused by exposure to acid anhydrides, *Ind Health*. 37(3):281-288, 1999.
- [24] Drexler H, Jönsson BA, Göen T, Nielsen J, Lakemeyer M, Welinder H. Exposure assessment and sensitisation in workers exposed to organic acid anhydrides, *Int Arch Occup Environ Health*. 73(4):228-234, 2000.
- [25] Grammer LC, Harris KE, Yarnold PR. Effect of respiratory protective devices on development of antibody and occupational asthma to an acid anhydride, *Chest*. 121(4):1317-1322, 2002.
- [26] Nielsen J, Welinder H, Jönsson B, Axmon A, Rylander L, Skerfving S. Exposure to hexahydrophthalic and methylhexahydrophthalic anhydrides--dose-response for sensitization and airway effects, *Scand J Work Environ Health*. 27(5):327-334, 2001.
- [27] 行政院勞工委員會。職業安全衛生法，2013 年 7 月 3 日修正，勞動部職業安全衛生署，<https://laws.mol.gov.tw/FLAW/FLAWDAT0201.aspx?lsid=FL015013>。
- [28] 勞動部職業安全衛生署。勞工作業場所容許暴露標準，2014 年 6 月 27 日修正，勞動部職業安全衛生署，<https://laws.mol.gov.tw/FLAW/FLAWDAT0202.aspx?lsid=FL015016>, 2014。
- [29] 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.
- [30] 蔡朋枝、林文海：IOSH97-H101，作業環境通風系統評估技術開發。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2008。
- [31] 陳春萬、戴聿彤：ILOS103-H308，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。

- [32] 陳春萬、戴聿彤：ILOSH105-H303，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。
- [33] 勞動部職業安全衛生署。作業環境監測指引，2015 年 10 月 6 日修正，<https://laws.mol.gov.tw/FLAW/FLAWDAT0202.aspx?id=FL052505>，搜尋日期：2020/2/11。
- [34] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---四氫呋喃 Tetrahydrofuran，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/%e5%9b%9b%e6%b0%ab%e5%91%8b%e5%96%83-tetrahydrofuran/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [35] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1106 1,2-二氯乙烷 Ethylene dichloride，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/1106-1-2-%e4%ba%8c%e6%b0%af%e4%b9%99%e7%83%b7-ethylene-dichloride/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [36] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA5049 丙二醇甲醚、丙二醇甲醚醋酸酯 Propylene glycol methyl ether(PGME), Propylene glycol methyl ether acetate(PGMEA)，<https://www.ilosh.gov.tw/media/2667/fl395458733722.pdf>，搜尋日期：2020/07/31。
- [37] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1211 甲基異丁酮 Methyl isobutyl ketone，<https://www.ilosh.gov.tw/media/2652/fl395712337973.pdf>，搜尋日期：2020/07/31。
- [38] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA5039 乙苯 Ethyl Benzene，<https://www.ilosh.gov.tw/media/2655/fl395712162255.pdf>，搜尋日期：2020/07/31。
- [39] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1235 甲苯 Toluene，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/1235-%e7%94%b2%e8%8b%af-toluene/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [40] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1239 對-二甲苯 Ethyl Benzene，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/1239-%e5%b0%8d-%e4%ba%8c%e7%94%b2%e8%8b%af-p-xylene/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [41] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1225 環己酮 Cydohexanone，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/1225-%e7%92%b0%e5%b7%b1%e9%85%ae-cydohexanone/>，搜尋日期：2020/07/31。

- [42] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1234 苯乙烯 Styrene , <https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/1234-%e8%8b%af%e4%b9%99%e7%83%af-styrene/> , 搜尋日期：2020/07/31。
- [43] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA5023 甲基丙烯酸甲酯 Methyl Methacrylate , <https://www.ilosh.gov.tw/media/2652/f1395712337973.pdf> , 搜尋日期：2020/07/31。
- [44] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1215 PU 人造皮業混存溶劑(丙酮.甲苯.二甲基甲醯胺.乙酸丁酯.丁酮.乙酸乙酯) PU mixture solvent(DMF.toluene.acetone.ethyl acetate) , <https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/9885/> , 搜尋日期：2020/07/31。
- [45] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods 4th edition, Dimethylacetamide and Dimethylformamide, Method No. 2004, National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health & Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/2004.pdf>, issue 2: 1994/08/15, Page last reviewed: 2016/04/28.
- [46] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods 4th edition, Alcohols Combined, Method No. 1405, National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health & Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1405.pdf>, issue 1: 2003/03/15, last accessed: 2020/08/16.
- [47] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods 4th edition, Alcohols IV, Method No. 1403, National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health & Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1403.pdf>, issue 3: 2003/03/15, last accessed: 2020/08/16.
- [48] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods 4th edition, Hydrocarbons, Halogenated, Method No. 1003, National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health & Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1003.pdf>, issue 3: 2003/03/15, last accessed: 2020/8/16.

- [49] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods 4th edition, Esters 1, Method No. 1450, National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health & Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1450.pdf>, issue 3: 2003/03/15, last accessed: 2020/08/16.
- [50] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA1207 甲醇 Methanol, <https://www.ilosh.gov.tw/media/2679/f1395718926837.pdf> , 搜尋日期：2020/07/31。
- [51] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA2404 甲醛 Formaldehyde, <https://www.ilosh.gov.tw/media/2626/f1395715071124.pdf>, 搜尋日期：2020/07/31。
- [52] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA2402 酚 Phenol, <https://www.ilosh.gov.tw/media/2624/f1395715175379.pdf> , 搜尋日期：2020/07/31。
- [53] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Volatile Organic Compounds (screening) Method 2549, Issue 1: dated 15 May 1996, NIOSH Manual of Analytical Methods, Fourth edition, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/2549.pdf>, last accessed: 2020/8/16.
- [54] International Organization for Standardization (ISO). ISO 16017-1:2000(en), Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 1: Pumped sampling, International Organization for Standardization, 2000.
- [55] International Organization for Standardization (ISO). ISO 16017-2:2003, Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 2: Diffusive sampling, International Organization for Standardization, 2003.
- [56] Supelco. Technical Report: A Tool for Selecting an Adsorbent for Thermal Desorption Applications, [https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/docs/Supelco/General\\_Information/t402025.pdf](https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/docs/Supelco/General_Information/t402025.pdf), last accessed: 2020/12/16.

- [57] Ribes A, Carrera G, Gallego E, Roca X, Berenguer MA, Guardino X. Development and validation of a method for air-quality and nuisance odors monitoring of volatile organic compounds using multi-sorbent adsorption and gas chromatography/mass spectrometry thermal desorption system, *J Chromatogr A*. 1140(1-2):44-55. doi: 10.1016/j.chroma.2006.11.062, 2007.
- [58] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA4002 總粉塵，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/cia4002-pdf%E6%A0%BC%E5%BC%8F%E7%B8%BD%E7%B2%89%E5%A1%B5-total-dust-cia4002/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [59] 勞動部勞動及職業安全衛生研究所。分析方法資料庫---CLA4001 可呼吸性粉塵，<https://www.ilosh.gov.tw/menu/1188/1196/1197/9785/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [60] Lindsley WG, Green. BJ, Blachere FM, Martin SB, LawS BF, Jensen PJ, Schafer MP. Chapter BA. Sampling and Characterization of Bioaerosols, in *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*, 5th Edition, pp. BA-1~BA-115, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), March, 2017.
- [61] Jahn SD, Bullock WH, Ignacio JS. Appendix VIII: Analysis of Censored Data, in *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*, 4th edition, pp. 475~484, American Industrial Hygiene Association, Exposure Assessment Strategies Committee, Falls Church, VA, ISBN 978-1-935082-46-0, 2015.
- [62] Forney GP, Smokeview (Version 5)-A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User's Guide, NIST, 2010.
- [63] RAE Systems. A guideline for PID instrument response, Technical Note TN-106 11/18/VK,Honeywell,file:///G:/20200603harddisk/chemical\_tank20200803/report20201101/Technical-Note-106\_A-Guideline-for-Pid-Instrument-Response.pdf, last accessed: 2020/12/16.
- [64] 勞動部職業安全衛生署，呼吸防護計畫及採行措施指引，<https://www.osha.gov.tw/1106/29647/29814/29816/29829/>，搜尋日期：2020/07/31。
- [65] 勞動部職業安全衛生署。呼吸防護計畫技術參考手冊，<https://www.osha.gov.tw/1106/29647/29814/29816/29827/>，搜尋日期：2020/07/31。

[66] 勞動部職業安全衛生署。「呼吸防護計畫相關醫學評估參考注意事項」, <https://www.osha.gov.tw/1106/29647/29814/29816/29824/>，搜尋日期：2020/07/31。



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

樹脂製造業化學桶槽之人工投料危害暴露評估及介入控制研究 = A Study of Hazard Exposure Assessment and Intervention Control for Manual Material Feeding of Chemical Tanks in Resin Manufacturing Industry / 吳俊德, 戴聿彤, 陳婕煒, 彭君傑, 鐘順輝著. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞動及職業安全衛生研究所, 民 110.06  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-5466-08-4(平裝)

1.勞工衛生 2.職業衛生

412.53

110004519

樹脂製造業化學桶槽之人工投料危害暴露評估及介入控制研究  
著(編、譯)者: 吳俊德、戴聿彤、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 110 年 6 月

版(刷)次: 1 版 1 刷

定價: 300 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/static-page/page-01#content>
- 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: 1011000518

ISBN: 978-986-5466-08-4







## 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

221新北市汐止區  
橫科路407巷99號  
TEL 02-26607600  
FAX 02-26607732



[www.ilosh.gov.tw](http://www.ilosh.gov.tw)

ISBN 978-986-5466-08-4



9 789865 466084

00300

GPN : 1011000518 定價:新台幣300元