

102年度研究計畫 IOSH102-H313

金屬加工液作業環境細菌生物氣膠控制技術效能評估 IOSH102-H313



IOSH 勞安所研究報告

金屬加工液作業環境細菌生物 氣膠控制技術效能評估

Evaluation of The Performance for The Removal of
Bioaerosols in Workplaces Using Metalworking Fluids

IOSH 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

ISBN 978-986-04-0756-3



GPN:1010300894
定價：新台幣150元

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

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

金屬加工液作業環境細菌生物氣膠控制
技術效能評估

**Evaluation of The Performance for The
Removal of Bioaerosols in Workplaces
Using Metalworking Fluids**

金屬加工液作業環境細菌生物氣膠控制 技術效能評估

Evaluation of The Performance for The Removal of Bioaerosols in Workplaces Using Metalworking Fluids

研究主持人：洪柏宸、林子賢

計畫主辦單位：行政院勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 102 年 4 月 19 日至 102 年 12 月 31 日

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

中華民國 103 年 3 月

摘要

本研究針對使用金屬加工液的作業場所，選取 2 種 CNC 機台型態，包括隧道式與密閉式，進行油霧回收機運作情形的現場調查。每個作業場所 CNC 機台採樣時段，包含局部排氣裝置未運轉時及運轉中，以 MAS-100 生物氣膠採樣器採集機台前工作者之工作場所之細菌生物氣膠，並利用 apiTM 鑑定套件(bioMerieux, Inc., Hazelood, MO)進行各菌落之菌種鑑定。並以風罩風量計量測油霧回收機出口處之風量，以及使用直讀式雙通道粉塵計(Met One)，進行作業中粉塵粒數濃度之測定。結果發現，受測之 6 間事業單位，其細菌生物氣膠濃度皆低於室內空氣品質標準之 1,500 CFU/m³。其中過半數作業場所之濃度，低於戶外濃度。隧道式 CNC 機台出料口作業場所之細菌生物氣膠之移除效能為 21.2%，機台前門測點之移除效率為 12.8%。細菌生物氣膠經鑑定後發現以 *Staphylococcus hominis* 為主要優勢菌種。在連續作業進行中，出料口 dp > 2.5 μm 之粉塵粒數濃度測定結果發現，由局部排氣裝置未使用時之 87,791±52,231 #/L，驟降至 1164±491 #/L。密閉式 CNC 機台之生物氣膠濃度測定結果發現，在啓用局部排氣裝置後，CNC 前門開啓後濃度上升之趨勢會減緩，其細菌生物氣膠移除效能多在 46%至 72%之間。在採集後之細菌經鑑定後發現，以 *S. capitis*、*Aeromonas hydrophila* 及 *Chryseobacterium indologenes* 為主要優勢菌種。在作業中粉塵粒數濃度測定結果，局部排氣裝置未使用且 CNC 機台作業中前面開啓時，粉塵粒數濃度均會大於局部排氣裝置開啓時之濃度，與粉塵濃度變化趨勢與生物氣膠濃度變化趨勢相當。各廠區現場作業油霧回收機實測風量為設計風量之 37~86%。此比值與細菌生物氣膠移除效能大致呈正相關，實測風量亦與與細菌生物氣膠移除效能大致呈正相關。油霧回收機之現場查核結果發現，設置前之設計階段，多有良好設計，但裝設時及裝設後，並無完善查核制度。局部排氣裝置開啓後，可降低工作場所之細菌生物氣膠濃度及粉塵粒數濃度，部分場所甚至可使其濃度低於戶外。在個人防護具穿戴方面，家庭式工廠之工作者大多未穿戴個人防護具，較具規模之事業單位會要求工作者穿戴口罩，部分事業單位之工作者會使用棉紗手套。事業單位在油霧回收機之維護管理情形，普遍缺乏專業管理人與相關自動檢查制度，建議推廣與落實自動檢查。

關鍵詞：金屬加工液、細菌生物氣膠、油霧回收機

Abstract

Two kinds of CNC machines, tunnel type and enclosure type, were chosen for investigation of the operating conditions of mist recycling machines in workplaces using metalworking fluids (MWFs). Bioaerosol samples in workplaces near the CNC machines were collected using an MAS-100 bacteria bioaerosol sampler when the mist recycling machines were working and again when they were shut down. Recovered colonies were identified using an apiTM Identification Kit (bioMerieux, Inc., Hazelood, MO). Measurement of air flow rates was conducted at the vents of the mist recycling machines, and the concentrations of dust were determined by a dual-channel direct-reading dust meter (Met One). Finally, information about the management of ventilation and personal protection technology for workplaces using MWFs was compiled into a manual.

Six workplaces using MWFs were selected, including one tunnel type and five of the enclosure type. The values of bacterial bioaerosol concentrations were lower than the indoor air quality standard of 1,500 CFU/m³ as stipulated by Taiwan's Environmental Protection Administration. Concentrations in half of the workplace samples were found to be lower than outdoors. The tunnel type CNC mist recycling machine was found able to reduce bacterial bioaerosol concentrations at the discharge port of the tunnel by 21.2%, and at the workplace in front of the machine by 12.8%. *Staphylococcus hominis* was found to be the dominant strain among the bacterial bioaerosol colonies. During continuous operation, the concentration of particles >2.5 μm at the discharge port was found to drop from 87,791+52,231 #/L to 1,164 + 491 #/L when the LE device was turned on.

The results of bioaerosol concentration measurement revealed that for enclosure type CNC machines, the rising trend of concentrations when the front door of the enclosed CNC was open slowed down when the LE was turned on, and that turning it on removed 46% to 72% of the bacteria bioaerosols in most of the workplaces. Identification of recovered bacteria showed that *S. capitis*, *Aeromonas hydrophila*, and *Chryseobacterium indologenes* were the dominant strains. The reduction of the rising trend was also found in the measurement of mist emitted from the front door of the enclosure type CNC machines when the LE device turned on. The measured flow rate of the mist recycling machines was found to be 37% to 86% of the design air volume. Both the value of the flow rate and the flow rate ratio were found to be positively correlated with the value of the efficiency of bacterial

bioaerosol removal by the mist recycling machines. On-site audits of the operation and management of mist recycling machines found most of the machines to be well-designed and installed, but lacking a sound checking and maintenance system after installation. The LE device can reduce both the emission of bacterial bioaerosol from the openings of enclosure type CNC machines and the concentrations of dust in workplaces, bringing the concentrations in half of the measured workplaces to less than that of the outdoors concentrations. The wearing of personal protective equipment was found to be not very popular, especially in small-scale factories, while most of the workers in larger factories wear masks. In addition, the workers in some institutions wore cotton gloves. The companies covered generally lacked professional managers and automated inspection systems for the maintenance and management of mist recycling machines; we recommend, therefore, that automated inspection be promoted and implemented.

Keywords: metalworking fluid, bacterial bioaerosol, mist recycling machine

目錄

摘 要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iv
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 研究目的.....	4
第二章 材料與方法.....	5
第一節 研究設計策略.....	5
第二節 研究對象的選取與研究步驟.....	5
第三節 細菌生物氣膠採樣分析.....	8
第四節 工業通風裝置現況調查.....	13
第三章 結果與討論.....	14
第一節 金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度.....	14
第二節 通風排氣裝置評估.....	25
第三節 細菌生物氣膠移除效能.....	30
第四節 防護具的現況調查與相關性分析.....	62
第四章 結論與建議.....	63
第一節 結論.....	63
第二節 建議.....	63
誌 謝.....	65
參考文獻.....	66

圖目錄

圖 1 金屬加工液作業場所的通風排氣裝置與評估技術關係圖	5
圖 2 CNC 金屬加工機台的局部排氣裝置	6
圖 3 金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度架構	14
圖 4 評估技術架構	15
圖 5 局部排氣裝置設置前有效性評估技術架構	16
圖 6 局部排氣裝置設置後有效性評估技術架構	19
圖 7 性能維護與評估技術內容架構	21
圖 8 A1 廠廠區佈置圖	32
圖 9 A1 廠區的油霧回收機	33
圖 10 A1 廠粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢	34
圖 11 A2 廠廠區佈置圖	37
圖 12 A2 廠的油霧回收機	38
圖 13 A2 廠粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢	40
圖 14 A3 廠廠區佈置圖	42
圖 15 A3 廠的油霧回收空氣清淨機	43
圖 16 A3 粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢	45
圖 17 B1 廠廠區佈置圖	47
圖 18 B1 廠的立式高壓二段式油霧回收機	48
圖 19 B1 粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢	50
圖 20 B2 廠廠區佈置圖	52
圖 21 B2 廠的橫式高壓二段式油霧回收機	53
圖 22 C 廠廠區佈置圖	55
圖 23 C 廠的油霧收集回收過濾機	56
圖 24 細菌生物氣膠移除效能與實測風量之關係	60
圖 25 細菌生物氣膠移除效能與風機實測風量比値之關係	60
圖 26 細菌生物氣膠移除效能與設計風量之關係	61

表目錄

表 1 局部排氣裝置的有效性評估表.....	7
表 2 局部排氣裝置性能維護與評估表.....	8
表 3 局部排氣裝置設置前有效性評估表.....	17
表 4 局部排氣裝置設置後有效性評估表.....	20
表 5 局部排氣裝置效能參數與量化指標.....	22
表 6 六家工廠局部排氣裝置設置前有效性評估結果.....	26
表 7 六家工廠局部排氣裝置設置後有效性評估結果.....	28
表 8 六家工廠局部排氣裝置性能維護與評估表評估結果.....	29
表 9 使用金屬加工液作業場所生物氣膠樣本數.....	30
表 10 A1 廠區環境資訊.....	33
表 11 A1 廠之油霧回收空氣清淨機規格.....	33
表 12 A1 廠粉塵粒數濃度(#/L)與移除效能.....	34
表 13 A1 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能.....	35
表 14 A1 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%).....	35
表 15 A2 廠廠區環境資訊.....	38
表 16 A2 廠之油霧回收空氣清淨機規格.....	39
表 17 A2 廠機台前門開啓時之粉塵粒數濃度(#/L)及移除效率.....	39
表 18 A2 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能.....	39
表 19 A2 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%).....	40
表 20 A3 廠廠區環境資訊.....	43
表 21 A3 廠之油霧回收空氣清淨機規格.....	44
表 22 A3 廠粉塵粒數濃度(#/L)及移除效率.....	44
表 23 A3 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能.....	44
表 24 A3 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%).....	45
表 25 B1 廠廠區環境資訊.....	48
表 26 B1 廠之油霧回收機規格.....	49

表 27 B1 廠粉塵粒數濃度(#/L)及移除效率	49
表 28 B1 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能	49
表 29 B1 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)	50
表 30 B2 廠廠區環境資訊	52
表 31 B2 廠之油霧回收機規格	53
表 32 B2 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能	53
表 33 B2 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)	54
表 34 C 廠廠區環境資訊	56
表 35 C 廠之油霧回收空氣清淨機規格	57
表 36 C 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能	57
表 37 C 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)	58
表 38 油霧回收機風量特性	59
表 39 各廠工作者個人防護具使用情形	62

第一章 計畫概述

第一節 前言

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所曾於 101 年度進行金屬加工液 (metalworking fluid, MWF) 作業環境細菌濃度暴露評估及勞工健康效應調查[1]，此計畫經由現場生物氣膠採樣中部 5 間工廠（其機台皆未裝設局部排氣裝置），結果發現使用切削油(不含水)工廠的 23 組開放式機台，其作業現場生物氣膠濃度，在有塑膠遮布時未檢出細菌，掀開後濃度為 1.47×10^5 CFU/m³，缺口面濃度為 2.30×10^8 CFU/m³。至於使用半合成金屬加工液 4 間工廠，即使目視未見金屬加工液噴濺，細菌生物氣膠濃度也有 300 CFU/m³ 左右；在運轉期間，若勞工有使用噴槍，可見明顯噴濺，濃度比未運轉時高。其中有使用大型風扇通風較良好的工廠，其電腦數值控制(computer numerical control, CNC) 機台附近濃度僅與戶外相當。5 處工廠的戶外細菌濃度在 35~1,105 CFU/m³ 的間，低於工作場所測得的濃度。因此是否作業場所運用適當的通風系統（例如局部排氣裝置），能夠降低作業現場生物氣膠濃度，值得進一步探討。

金屬加工液廣泛應用於 CNC 車床等金屬切削、加工相關作業中[2]，用於冷卻與潤滑，包括用在機械或研磨過程的表面潤滑，或是用在帶走接觸面的金屬碎屑、消除接觸面產生的熱能。由於金屬加工液中富含有機質，常導致細菌滋生。勞工在使用金屬加工液時，會伴隨產生含生物氣膠的油霧滴[3]。

爲了要降低金屬加工液作業場所的生物性危害，最常見的措施就是工業通風裝置與個人防護具，然而一般工業如未設置通風裝置，或密閉系統或局部排氣裝置效能不彰時，導致富含細菌生物氣膠液滴逸散到作業場所空氣中，進而可能危害勞工健康。

目前普遍使用的金屬加工液大多數是以水爲基底質，所以容易孳生微生物。國外

有數篇針對金屬加工液中的微生物進行研究，如 Mattsby-baltzer 等人 (1989) 在瑞典的 Göteborg 的一間使用大量金屬加工液的工廠[4]，觀察了一年的金屬加工液使用情況，發現在 150 m³ 的 MWF 儲槽中，雖然添加大量的抑菌劑，仍含有大量的 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* (>10⁸ CFU/mL)。實驗初期的幾個星期，只有少量的微生物，之後則會產生大量腸內菌 (>10⁷ bacteria/mL) 及革蘭氏陰性菌 (>10⁸ bacteria/mL)。MWF 原樣本中所含菌種特性，在去年研究結果發現未使用及使用中之金屬加工液中，部分有發現細菌的存在，濃度最高可達 10⁷ CFU/mL，推測可能來自製程，包括金屬物件、機台殘留，或因儲槽及管線不易完全清洗乾淨而殘留細菌；主要菌種有發現 *Staphylococcus aureus*、*Bordetella*、*Aneurinibacillus aneurinilyticus* 及 *Comamonas testosteroni/Pseudomonas alcaligenes* 等，優勢菌種可能因機台而異。[1]

國外學者在針對有添加抑菌劑和沒添加抑菌劑的金屬加工液的工廠進行研究發現 [5,6]，在作業場所的金屬加工液中發現存在大量的微生物，不管是沒有添加抑菌劑 (>10⁸ CFU/mL) 和有添加抑菌劑 (44.8%的樣本>10⁵ CFU/mL)。在大的儲槽 (120 m³) 中雖然已經增加抑菌劑的濃度，但是還是沒有辦法完全的抑制細菌的產生。在比較小的儲槽 (2.9 m³) 中，增加抑菌劑的濃度則可以抑制細菌的產生。另外，該作者群也進行了菌種鑑定，發現會潛在引起人類疾病的綠膿桿菌會生長在有添加抑菌劑的金屬加工液的中。另外，在工廠調查有金屬加工液暴露的勞工，可發現在勞工的血清中有我們在金屬加工液常見的 *Pseudomonas* 的抗體[7,8]。

此外在金屬加工液及金屬加工液的霧滴中都可發現內毒素[9]，表示細菌可能曾大量存在於金屬加工液中，且會隨逸散的油霧滴，成為生物氣膠。Mattsby-Baltzer 等人 (1989) 在金屬加工液相關設施附近，測到較高的細菌生物氣膠濃度[4]，例如在距離作業處 0.5、1.5、3、10 公尺遠的空氣中測到 3.9×10⁴、1.6×10⁴、1.0×10³、2.3×10² CFU/m³ 的濃度。由其研究結果得知，相關作業場所的細菌生物氣膠濃度已遠超過一般

室內作業場所的濃度，也遠超過我國環境保護署的室內空氣品質標準值 (1500 CFU/m³) 10 倍以上，因此，金屬加工液作業環境的生物氣膠濃度特性與對通風控制防護設備效能、及勞工防護具使用，有進一步瞭解的需要。

在一般情況下，所產生的生物氣膠濃度最高可能是在高速工具或深切割金屬加工液的操作，特別是當這些過程通風不足或是非封閉系統[10]。Piacitelli 等人 (2001) 的研究發現[11]，非密閉的機器暴露於金屬加工液比那些機器全部或部分封閉更加危險；相反的，例如 CNC 切削工人一般全天執行不同的任務，並且站在機器附近，直到工作週期完成；因此，這些切削工人比工人操作手動機械有更多的時間接近的機器與金屬加工液。由於一般用於高速加工過程中的金屬加工液會經由噴射或噴霧，即使在密閉的 CNC 切削機，也會增加這些工人每天暴露在金屬加工液的風險。Ross 等人針對加拿大 20 家的機械工廠進行採樣[12]，他們的結果發現：以 37 mm 的開口式濾紙採樣器採集到的平均金屬加工液霧滴暴露量為 0.32 mg/m³，而用 PM₁₀ 採樣器採集到的暴露量為 0.27 mg/m³，結果也發現到研磨的時間越長、及使用電腦控制機具皆會增加金屬加工液霧滴的產生；反的，工作檯的高度較高及工廠有通風時則會減少金屬加工液霧滴的產生。

目前在業界為了節能與使用方便，金屬加工液會在同一台金屬加工用機械內循環使用，在此循環使用的過程中，會滋生細菌[9,13,14]。為避免細菌大量滋生，過去會使用殺菌劑[15]，但在環保與醫學意識抬頭下，目前已較少使用抗生素類的殺菌劑[16]，以免抗生素污染環境[17]，或產生抗藥性細菌。目前多數金屬加工液產品，包括油基金屬加工液、半合成、或全合成金屬加工液[2]，可能都會宣稱其具有特殊配方，使乳化劑、洗滌劑等所產生的細菌問題不再出現，而具有生物性穩定，且抗菌性佳，但仍標示應戴護目鏡、口罩、手套等個人防護具。

依上述國內外研究，使用金屬加工液可能會對勞工造成健康危害[18]，若能使用

有效的通風控制防護設備，應可降低金屬加工液作業環境的生物氣膠濃度與生物性危害。工業通風是職業衛生上控制作業場所有害物質的常見的控制方法，工業通風除了能夠控制污染物濃度在容許濃度以下，亦可維持舒適的溫濕條件，提供足夠新鮮空氣以防止作業環境空氣品質惡化而影響健康[19,20,21]。設計良好的通風系統能夠將作業場所中有害物質有效的排除，也同時能改善作業環境的空氣品質，使作業人員能夠有一個安全而又舒適的工作環境。法規上對於危害物的預防控制，也常見有通風設置的要求，原則性規範應該適當設計與維持適當性能。目前有關金屬加工液作業環境的通風排氣實際的狀況與管理作法，鮮少有這方面的資訊與相關研究，本計畫即先以金屬加工勞工最多的中彰投地區為主要目標，對於金屬加工業的製程作業，考量勞工作業型態、使用的機台類型等因素，探討與通風控制防護設備效能，及防護具使用的評估等，期以研究結果導入相關的作業場所管理規範。

第二節 研究目的

本計畫的目的在於評估金屬加工液作業環境的工業通風相關設置情形，同時評估其細菌生物氣膠移除效能狀況，研究已完成 6 家金屬加工廠相關調查。執行工作重點如下：

- 一、 探討國內金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度，並進行 6 家事業單位現場查核。
- 二、 評估金屬加工液作業場所進行通風排氣裝置。
- 三、 現場細菌生物氣膠移除效能查核。
- 四、 進行現場個人防護具的現況調查。

第二章 材料與方法

第一節 研究設計策略

本研究的主要目的在蒐集探討使用金屬加工液的作業場所的細菌控制防護裝置之效能評估。於使用金屬加工液的作業環境中(6 家工廠)，進行現場調查各機台的局部排氣裝置，分析在局部排氣裝置有無運轉時，對細菌的移除效能，並針對作業環境通風防護技術與管理現況，進行分析與評估。金屬加工液作業場所的通風排氣裝置與評估技術關係，如圖 1 所示。本研究所提出金屬加工液作業環境的通風排氣效能評估僅適用於金屬加工業的局部排氣裝置，不適用於特定氣罩(如生物安全櫃、化學排氣櫃、危險化學品儲存或配送室等)的評估。本計畫先針對通風排氣設置性能維護等內容的有效性，參酌先進國家資料，以初步擬訂符合國內金屬加工液作業需求的性能評估技術與制度草案。研究再選取六家使用金屬加工液工廠，針對通風排氣效能評估與管理制度加以評估。

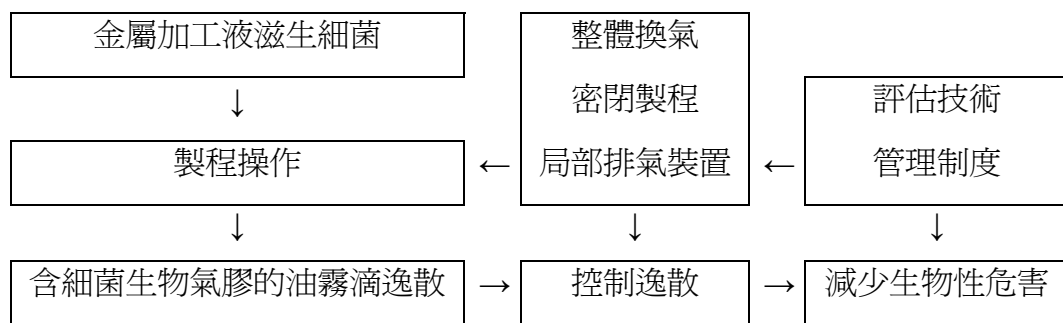


圖 1 金屬加工液作業場所的通風排氣裝置與評估技術關係圖

第二節 研究對象的選取與研究步驟

選取有使用金屬加工液的作業場所，以勞工人數最多的中部地區優先選取，本計畫針對選定的金屬加工液作業環境，進行排氣裝置運作情形的現場調查，選取 2 種 CNC 機台型態，包括隧道式與密閉式(如圖 2 所示)。



(a) 隧道式



(b) 密閉式

圖 2 CNC 金屬加工機台的局部排氣裝置

在本計畫中依據勞安所 97 年度計畫研擬的「工業通風裝置性能有效性評估技術手冊」[22]，分別進行下列各項管理措施之書面資料評估：

一、金屬加工液作業環境的通風排氣裝置的有效性評估

主要針對事業單位在局部排氣裝置設置後，是否有進行性能驗收以確認其效能。其內容包含了驗收人員的資格、是否有性能驗收方法的紀錄（視察法、煙流測試、捕集風速的量測、導管搬運速度的量測、及氣罩靜壓與流量量測）、性能驗收報告書、與操作手冊等，如表 1 所示。

二、金屬加工液作業環境的通風排氣裝置的性能維護與評估

性能維護與評估內容包含管理人員要求、性能維護方法的內容與時程、及系統改變時的性能維護等，如表 2 所示，並於局部排氣裝置運作前後分別測定生物氣膠濃度，採樣方法比照行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 101 年度計畫(IOSH101-H308, 金屬加工液作業環境細菌濃度暴露評估及勞工健康效應調查) [1]。

表 1 局部排氣裝置的有效性評估表

大項評估內容	細項評估內容	評估基準
A.性能驗收人員	1.進行測試的人員必須是經過訓練的合格人員	受過訓練：工業安全或工業衛生等相關科系畢業
		合格人員：具工業衛生或工業安全等與工業通風有關的技師資格，而且需與設計團隊不同的人員。
B.性能驗收方法	1.以視察法進行系統外在各元件完整的檢查	氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機外在損害等情形。
	2.使用煙流觀察氣罩性能	使用發煙管或同等量測方法進行氣罩性能評估。
	3.量測捕集風速	氣罩捕集污染物進入的最低風速是系統有效性指標，必須在建議範圍內。
	4.量測導管搬運速度	導管搬運速度需在建議範圍內，以避免微粒於導管中沈積。
	5.量測氣罩靜壓與流量	所測得靜壓其範圍應為設計書設定基準的上下 20% 範圍內。
C.性能驗收報告書	需有性能驗收報告書	包含測試方法與性能驗收報告。
D.操作手冊	應有參考操作手冊	內容需有完整的標準操作程序(SOP)。

表 2 局部排氣裝置性能維護與評估表

大項評估內容	細項評估內容	評估基準
A. 管理人員	管理人員應受過訓練	需受過在職教育訓練
B. 訂定維護時程表	1. 局部排氣裝置、空氣清淨裝置應定期實施檢查	氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機維護須在法規建議時程內
	2. 應保存檢查紀錄	檢查紀錄要保存三年，紀錄內容包括：檢查年月日、檢查方法、檢查場所、檢查結果、檢查人員姓名、若有損壞則要包括修補的內容。
C. 建立所需維護內容與方法	1. 建立局部排氣裝置各單元維護內容與方法	需有性能區分為氣罩、導管、空氣清淨裝置排氣機。
	2. 建立使用的原則、標準操作程序及勞工的練習，並定期舉行勞工訓練	建立各操作單元的使用原則及使用方法，且於勞工就職每兩年進行六小時在職安全衛生教育訓練。
D. 系統更改時的性能維護	1. 在改變系統後，局部排氣裝置必須進行測試確保系統符合建立的表現準則。	改變後，必須於運作前重新進行測試平衡確保系統符合系統表現準則。
	2. 設計報告書必須保持最新版本。	如系統改變時，設計報告書必須保持最新版本。當每一人員對局部排氣裝置進行測試、維護及重新設計時必須使用最新的設計圖及說明書。

第三節 細菌生物氣膠採樣分析

一、採樣點與採樣時機的擬定

採樣場所選定後，先進行現場訪視(walk through)，以瞭解勞工作業型態、金屬加工液使用情形、及工業通風相關措施等，並與雇主及勞工商討採樣地點及採樣時段等

採樣事宜，正式採樣前先進行測試，主要是檢視其生物氣膠濃度範圍及變化幅度，調整採樣時間及時機。

二、生物氣膠採樣器

本計畫將進行使用金屬加工液的作業場所現場實測。在現場實測時將依現場濃度高低，使用 MAS-100 生物氣膠採樣器來收集細菌生物氣膠，以了解勞工在有使用金屬加工液的工作環境下，勞工呼吸區所暴露的細菌生物氣膠濃度及菌種分布情形。採樣時機選擇機台正在使用金屬加工液時進行採樣，且在局部排氣裝置有開及沒開時分別採樣。採樣位置則是在使用金屬加工液的機台距離 0.5 公尺處(約略是勞工作業位置)，但是工作時，因人員走動及現場環境限制，實際上機台與人之間距離是無法固定的。

本研究所使用的 MAS-100 生物氣膠採樣器適用於一般的環境，主體為不鏽鋼製，且為使用電池的可攜式生物氣膠採樣器，採樣流量設定值為 100 L/min，內含數位式的風速計及流量偵測器，可自動調整流量至設定值。採樣頭內可放置 9 公分的塑膠培養皿。使用 MAS-100 生物氣膠採樣器來進行採樣的地點，預計為濃度較低者，例如工廠戶外及 CNC 機台 0.5 公尺的勞工作業場所，特別是在局部排氣裝置啟動，且有效排除逸散的生物氣膠時。在採樣現場於使用前先以 70%的酒精棉球擦拭後，再將含 TSA 培養基的培養皿置於採樣器中，採集懸浮於空氣中的細菌至培養基表面。為了預估生物氣膠濃度範圍，因此 MAS-100 生物氣膠採樣器的採樣時間將以 5 分鐘內為原則，並確保能採到具有適當菌落數 (25 至 250) 的樣本[23]，採樣完成後先標記並以石蠟膜密封保存。為評估勞工暴露量，採樣器架設於作業人員作業的地點，收集工作人員呼吸區高度 1.5 公尺的生物氣膠。

三、培養基

可培養性細菌為本研究主要分析種類，並以 trypticase soy agar (TSA, Difco, Detroit MI, USA) 採集並培養樣品中的細菌[24]，其中 TSA 培養基為每公升二次去離子水中加

入 40 克，其成分中含有 tryptone 15 克、soytone 5 克、氯化鈉 5 克、agar 15 克。TSA 培養基調配均勻後置入高壓滅菌釜中以攝氏 121 度滅菌 15 分鐘以達到滅菌效果。滅菌後培養基冷卻至攝氏 45 度，並在無菌操作台置入 20 ml 培養基到直徑 9 公分之培養皿中，並放置過夜使培養基凝固乾燥，再保存於室溫培養箱中待用。

四、生物性樣本分析

MAS-100 生物氣膠採樣器所採集的培養皿樣本，於採樣完成後在室溫下送回實驗室，不需經過前處理即可進行培養。細菌樣本以在 $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恆溫箱培養 48 ± 2 小時。培養後，選擇菌落數介於 25 至 250 的間培養皿，計數菌落生成數(colony forming units, CFUs)。培養出的細菌菌落，經革蘭氏染色後，細菌菌落可分成革蘭氏陰性(negative)菌種、革蘭氏陽性(positive)菌種，接著以顯微鏡分辨其型態為桿菌(bacilli)或球菌(cocci)，可分為革蘭氏陰性桿菌(GNB)/球菌(GNC)、革蘭氏陽性桿菌(GPB)/球菌(GPC)等 4 大類 [25]，詳細流程如下所示：

- (一) 現場採樣；
- (二) 將培養皿樣本帶回實驗室，在 $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恆溫培養箱中放置 48 ± 2 小時；
- (三) 革蘭氏染色；
- (四) 利用顯微鏡觀察並決定是 GNB、GNC、GPB、或 GPC；
- (五) 把菌落分離到新鮮的培養基中，放到 $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恆溫培養箱中放置 48 ± 2 小時，
使單一菌種的菌落數可以達到細菌菌種套件所要求的菌落量；
- (六) 選用不同的 apiTM 套件來進行細菌菌種鑑定。

五、細菌菌種鑑定

本研究參考行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所養豬場生物氣膠暴露危害研究 (二)-細菌菌種分析與探討[25]與大眾運輸工具的生物氣膠特性暴露評估[26]的細菌鑑定流程，利用 apiTM 鑑定套件(bioMerieux, Inc., Hazelood, MO)來針對各菌落進行菌種鑑

定。

革蘭氏陽性桿菌(GPB)先以氧化酵素(Oxidase)測試，菌落呈深藍紫色為陽性結果，無顏色變化為陰性結果，陽性以 apiTM 50CHB 的鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有 *Bacillus cereus*, *B. anthracis*, *B. cereus*, *B. mycoides*。陰性以 apiTMCoryne 的鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有 *Actinomyces pyogenes*, *Brevibacterium* spp., *Corynebacterium aquaticum*, *C. bovis*, *C. jeikeium*, *C. pseudodiphtheriticum*, *C. renale* 等。

革蘭氏陽性球菌(GPC)先以氧化氫酶(Catalase)測試，產生氣泡為葡萄球菌，輔以 apiTMStaph 的鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有 *Micrococcus* spp., *Staphylococcus aureus*, *S. hyicus*, *S. auricularis*, *Stomatococcus mucilaginosus* 等。若無產生氣泡則為鏈球菌，輔以 apiTMStrep 的鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有 *Aerococcus viridans*, *Enterococcus faecalis*, *Listeria grayi*, *Streptococcus agalactiae*, *Strep. suis* 等。

革蘭氏陰性桿菌(GNB)以 triple sugar iron agar (TSIA)分為葡萄糖發酵菌與葡萄糖非發酵菌，前者 TSIA 有變黃或變黑的現象，以 apiTM 20E 的鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有 *Aeromonas hydrophila*, *Erwinia* spp., *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas* spp., *Vibrio alginolyticus*, *V. fluvialis* 等。後者 TSIA 維持紅色而無變黃或變黑的現象，以 apiTM 20NE 的鑑定套組鑑定，可檢出的菌種有 *Acinetobacter lowffii*, *Bordetella bronchiseptica*, *Pseudomonas aerruginosa*, *P. putisa* 等。

至於革蘭氏陰性球菌(GNC)則沒有適合的 apiTM 細菌菌種套件可進行鑑定。

六、生物氣膠濃度計算

MAS-100 採樣後得到的菌落數，以採樣器隨附的菌落數校正表(positive hole conversion table)校正菌落數後[23]，除以總採樣體積 (即採樣流量乘以採樣時間)，即可算出單位為每平方公尺的菌落生成數(CFU/m³)的生物氣膠濃度，其濃度計算公式如

下所示：

$$C \text{ (CFU/m}^3\text{)} = \frac{\text{校正後菌落數 (CFU)} * 1000 \text{ (L/m}^3\text{)}}{100 \text{ (L/min)} * t \text{ (min)}} \quad (1)$$

其中，C 為空氣中生物氣膠濃度，單位是 CFU/m³；

1000 (L/m³)為採樣器採樣流量與生物氣膠濃度的體積單位換算；

100 L/min 為 MAS-100 的採樣流量；

t 為採樣時間，單位為分鐘(min)。

七、局部排氣裝置的細菌生物氣膠移除效能

針對隧道式機台進行油霧回收機開啟前後的生物氣膠濃度測定，計算其濃度的減少量，可依此建立局部排氣裝置的效能指標。其公式如下所示：

$$\eta = \frac{C_{LE \text{ off}} - C_{LE \text{ on}}}{C_{LE \text{ off}}} \quad (2)$$

其中 η ：表示局部排氣效能

$C_{LE \text{ on}}$ ：表示局部排氣開啟時，工作區細菌生物氣膠濃度值 (CFU/m³)

$C_{LE \text{ off}}$ ：表示局部排氣關閉時，工作區細菌生物氣膠濃度值 (CFU/m³)

針對密閉式機台，分別在有無使用局部排氣裝置時，量測CNC前門開啟前後的生物氣膠濃度增加量，可依此建立局部排氣裝置的效能指標。其公式如下所示：

$$\eta = \frac{\Delta C_{LE \text{ off}} - \Delta C_{LE \text{ on}}}{\Delta C_{LE \text{ off}}} = \frac{(C_{1, LE \text{ off}} - C_{0, LE \text{ off}}) - (C_{1, LE \text{ on}} - C_{0, LE \text{ on}})}{C_{1, LE \text{ off}} - C_{0, LE \text{ off}}} \quad (3)$$

其中 η ：表示局部排氣效能

C：表示細菌生物氣膠濃度 (CFU/m³)。

$\Delta C_{LE \text{ on}}$ ：表示局部排氣開啟時，工作區濃度增加值 (CFU/m³)

$\Delta C_{LE\ off}$ ：表示局部排氣關閉時，工作區濃度增加值 (CFU/m³)

下標1：表示機台前門開啓時，即工作者作業中，機台暫停運轉。

下標0：表示機台前門關閉時，即機台運轉中，工作者無作業。

LE on：表示局部排氣裝置運轉中。

LE off：表示機台運轉時未開啓局部排氣裝置。

八、評估數據處理與統計分析

所有資料的建檔及處理，以 Microsoft Excel 為主。主要針對使用金屬加工液的機台，比較局部排氣裝置啓動前後的細菌生物氣膠濃度。並利用線性迴歸功能，檢視油霧回收機風量等因素與細菌生物氣膠移除效能之關係。

第四節 工業通風裝置現況調查

一、油霧回收機風量測定

以風罩風量計量(TSI ACCUBALANCE[®], Model 8371)，於油霧回收機出口處進行量測。

二、作業環境粉塵粒數濃度測定

粉塵測定方式，主要與油霧回收機供應商配合，採用直讀式雙通道粉塵計(GT-521 handheld particle counter, Met One Instruments, Inc., Grants Pass, OR, US)，分別在作業中局部排氣裝置有開啓及未開啓時，進行粉塵粒數濃度測定。粒徑範圍，依供應商之原始設定，選擇>2.5 μm 及>5.0 μm 兩種粒徑範圍。此儀器之粒數濃度偵測上限是粉塵粒數 105,900 #/L，採樣流量是 0.1 cfm (2.83 lpm)，利用雷射光散射偵測單一微粒顆粒。

另外調查防護具之使用情形，防護具種類主要包括呼吸防護具、手套、及面罩，並調查這些防護具之型式或材質。

第三章 結果與討論

第一節 金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度

一、重要性

使用金屬加工液(metalworking fluid, MWF)之作業場所，會產生金屬加工液霧滴。由於金屬加工液會孳生細菌等微生物，因此，逸散至空氣中的霧滴可能含有生物氣膠。為保障工作者安全及健康，以防止職業災害與勞動場所的整潔，需採取工業通風等必要的環境控制設備與措施。為維護工業通風裝置的性能，建議建立金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度。

二、架構

金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度可分成評估技術與管理制度 2 大部分，其架構圖如圖 3 所示。評估技術的內容，主要依循行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 97 年度研究報告：作業環境通風系統評估技術開發（計畫編號：IOSH97-H101） [22] 及其完成的工業通風裝置性能有效性評估技術手冊。管理制度的架構，主要參考美國職業安全衛生署於 2001 年建置的金屬加工液安全衛生手冊[27]，其內容有 6 大項，包括指定系統效能的負責人、指定工業通風裝置操作負責人、標準作業程序書面文件、資料收集與追蹤系統、員工參與、安全衛生教育訓練計畫。以下分別進行說明。

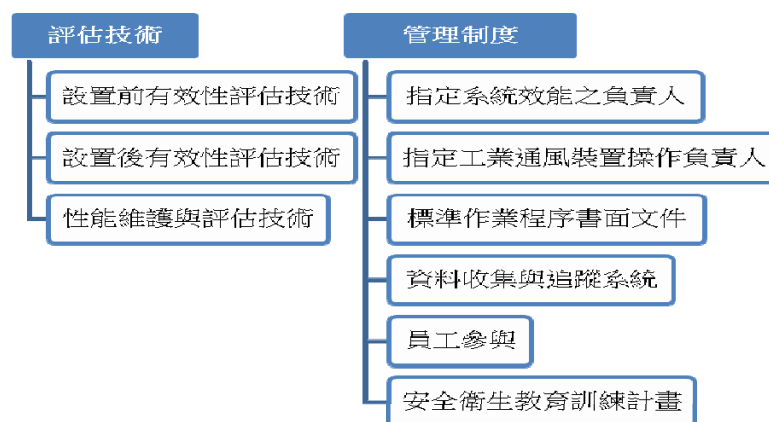


圖 3 金屬加工液作業場所工業通風裝置評估技術與管理制度架構

三、評估技術

根據工業通風裝置性能有效性評估技術手冊的內容[22]，評估技術可依工業通風裝置的設置與操作時機，主要分為三大部分：一、設置前有效性評估技術；二、設置後有效性評估技術；及三、性能維護與評估技術。其架構如圖示 4 所示。使用金屬加工液的作業機台，其主要工業通風裝置為局部排氣裝置。以下即針對上述三大部分，分別進行說明。

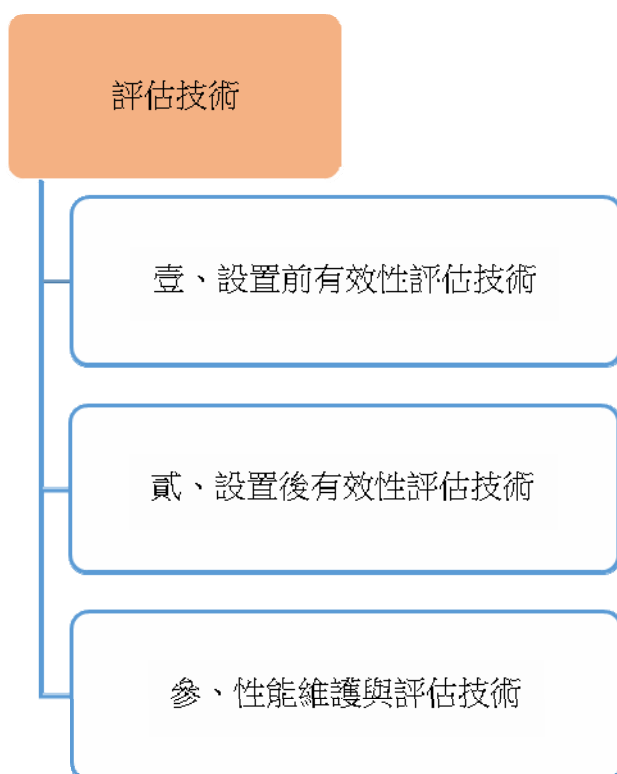


圖 4 評估技術架構

(一) 局部排氣裝置設置前有效性評估技術

局部排氣裝置設置前的有效性評估技術，分為設計、審查與設置等三階段，其架構如圖 5 所示。其中設計部分又細分為四大項評估內容，包括設計人員的資格、設計前資料的收集、局部排氣裝置五大基本元件（氣罩、導管、空氣清淨裝置、排氣機、及排氣口）設計基準，及設計報告書。評估項目與評估基準，如表 3 所示。

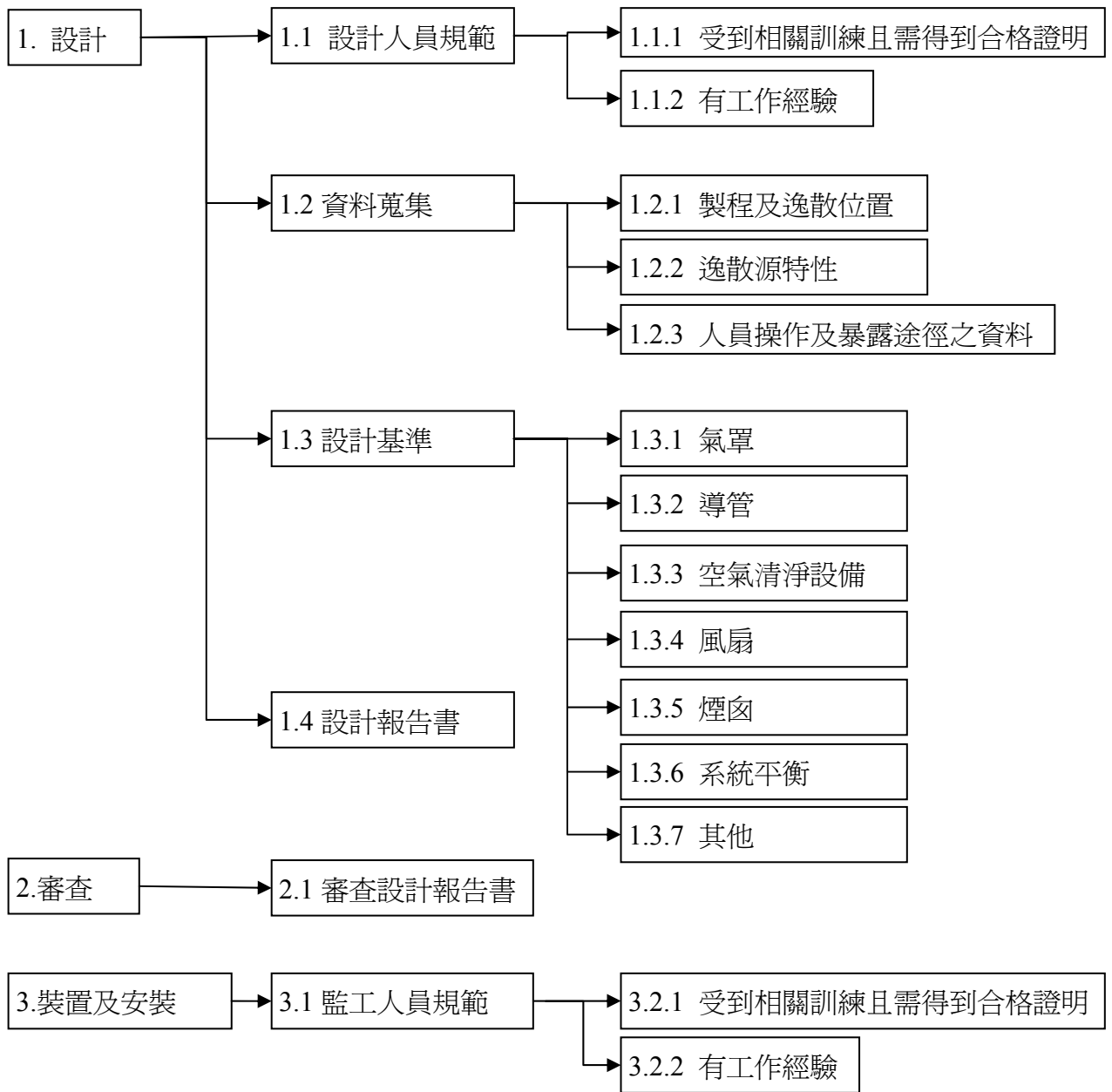


圖 5 局部排氣裝置設置前有效性評估技術架構

表 3 局部排氣裝置設置前有效性評估表

大項評估內容	細項評估內容	評估基準
1.1 設計人員規範	1.1.1 局部排氣裝置設計人員須為受過訓練的合格人員	受過訓練：工業安全、工業衛生、機電、空調及建築等相關科系畢業。 合格人員：具工業衛生或工業安全等與工業通風有關的技師資格
	1.1.2 局部排氣裝置設計人員須為有工作經驗的人員	需提出有關工作經驗的證明資料
1.2 資料收集	1.2.1 場所佈置的資料	需有製程流程圖(PFD)、管線與儀器圖(P&ID)、設備清單、化學物清單等資料
	1.2.2 欲捕集化學物質的物化特性的資料	至少需有物質安全資料表。
	1.2.3 人員操作及暴露途徑的資料	需有人員操作模式及可能暴露途徑等資料。
1.3.1 氣罩設計基準	需考慮捕集風速或表面風速等與氣罩設計的相關基準	捕集風速範圍可以參考ACGIH的建議。
	建造材料需考量符合製程要求	對於溫度高達480度或480度以上的高溫，可以分別使用黑鐵(black iron)及不銹鋼。 對於腐蝕性氣體及蒸氣，必須使用抗腐蝕金屬或聚氯乙烯(PVC)或其他塑膠及塗料。
1.3.2 導管設計基準	需考慮導管搬運風速	導管搬運風速範圍可以參考ACGIH的建議。
	建造材料需考量符合製程要求	如為腐蝕性污染物，導管應塗或漆上抗腐蝕或抗磨損的物質，以增加抗腐蝕及抗磨損的能力。
1.3.3 空氣清淨裝置設計基準	空氣清淨裝置的選取應符合污染物需求	建議或具有相等效力的空氣清淨裝置。
1.3.4 排氣機設計基準	避免排氣機受到污染物的傷害	排氣機必須位於空氣清淨裝置的下風處，保護腐蝕性蒸氣及氣體對排氣機造成的傷害。

表 3 局部排氣裝置設置前有效性評估表(續)

大項評估內容	細項評估內容	評估基準
1.3.5 排氣煙 函設計基準	避免排出污染物回流 (recirculation)	避免進氣口(intake)與排氣口(exhaust)同時存在，建議煙函距離進氣口至少16.7 m 遠、比鄰近的進氣口或屋頂高3 m以上，及讓污染物離開排氣煙函的速度達至少15 m/s。
1.3.6 系統平 衡	使用認可及適當的設計方法 與程序去設計平衡系統。	通常使用設計平衡法與風門調節平衡法。
1.3.7 其他	使用有害性物質機台的排氣 設備均應該使用連鎖設計	審查設計規劃或操作手冊
1.4 設計報告 書	作業場所必須有局部排氣裝 置設計報告書	設計報告書必須有各元件的基本資料， 且需有設計的性能(performance)準則， 系統配置圖、壓力分佈圖、元件基本資 料，測定孔位置分佈圖
2.1 審查設計 報告書	局部排氣裝置的設計、安裝 建造必須通過通風有效性的 鑑定單位認可接受	審查證明文件。
3.1 監造人員 規範	3.1.1 局部排氣裝置監造人 員須為受過訓練的合格人員	受過訓練：工業安全或工業衛生等相關 科系畢業 合格人員：具工業衛生或工業安全等與 工業通風有關的技師資格
	3.1.2 局部排氣裝置監造人 員須為有工作經驗的人員	需提出有關工作經驗的證明資料

(二) 局部排氣裝置設置後有效性評估技術

主要對局部排氣裝置設置後，如何進行性能驗收，以確認其效能，其架構如圖 6 所示。其內容包含了驗收人員的資格、性能驗收的方法 (視察法、煙流測試、捕集風速的量測、導管搬運速度的量測、及氣罩靜壓與流量量測)、性能驗收報告書、與操作手冊。評估項目與評估基準，如表 4 所示。

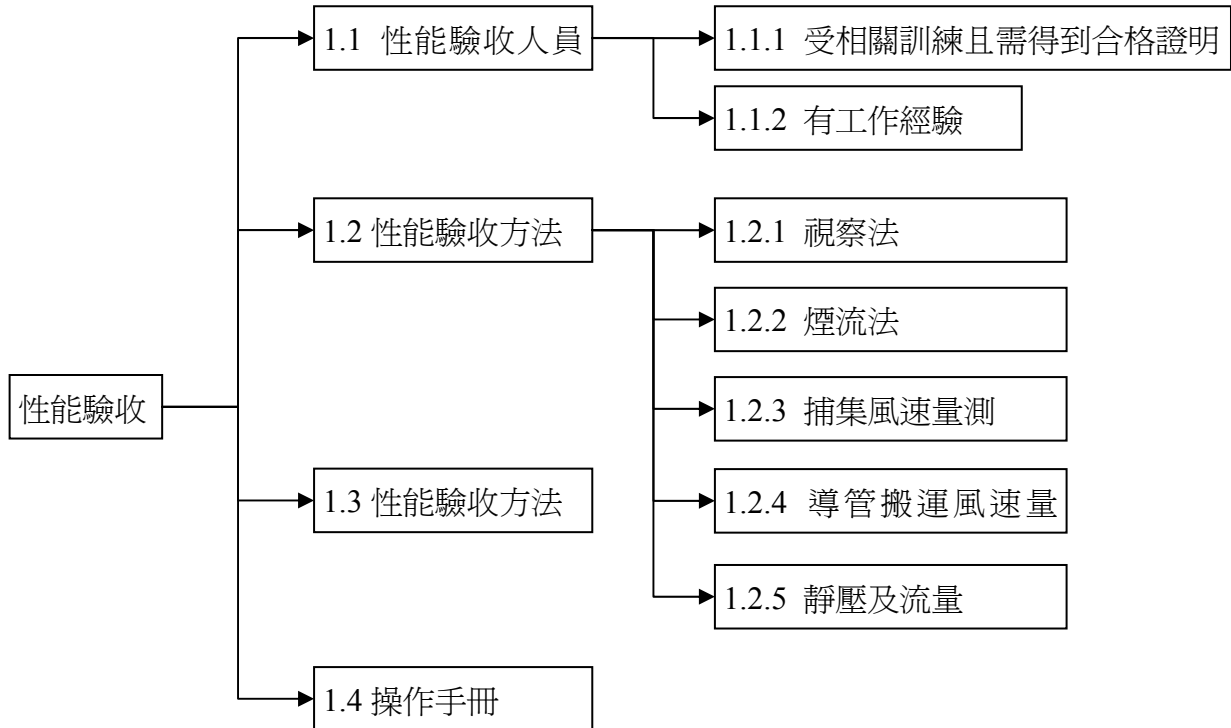


圖 6 局部排氣裝置設置後有效性評估技術架構

表 4 局部排氣裝置設置後有效性評估表

大項評估內容	細項評估內容	評估基準
1.1 性能 驗收人員	1.1.1 人員進行測試及平衡必須經過訓練的合格人員	受過訓練：工業安全或工業衛生等相關科系畢業 合格人員：具工業衛生或工業安全等與工業通風有關的技師資格人員需與設計團隊不同的人員。
	1.2.1 執行局部排氣裝置測試人員須為有工作經驗的人員	需提出有關工作經驗的證明資料。
1.2 性能 驗收方法	1.2.1 以視察法進行系統外在各元件完整的檢查	包含氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機外在損傷和撕裂等情形。
	1.2.2 使用煙流觀察氣罩性能	使用發煙管或同等量測方法進行氣罩性能的評估。
	1.2.3 捕集風速的量測	氣罩捕集污染物進入的最低風速為系統有效性指標。
	1.2.4 應進行氣罩靜壓與流量量測	所測得靜壓其範圍應為設計書設定基準的上下20%範圍內
1.3 性能 驗收報告書	需有性能驗收報告書	需包含測試方法與性能驗收報告內容。
2.1 操作 手冊	應有參考的操作手冊	內容需有完整的標準操作程序(SOP)。

(三) 局部排氣裝置性能維護與評估技術

性能維護與評估技術內容，主要包含管理人員要求、性能維護方法內容與時程及系統改變時的性能維護，其架構如圖 7 所示。事業單位可以依此系統的建議，進行新機台的局部排氣裝置的設置；如對已設置的局部排氣裝置，可以直接進行裝置的評估與驗證。評估項目與評估基準，如表 2 所示。

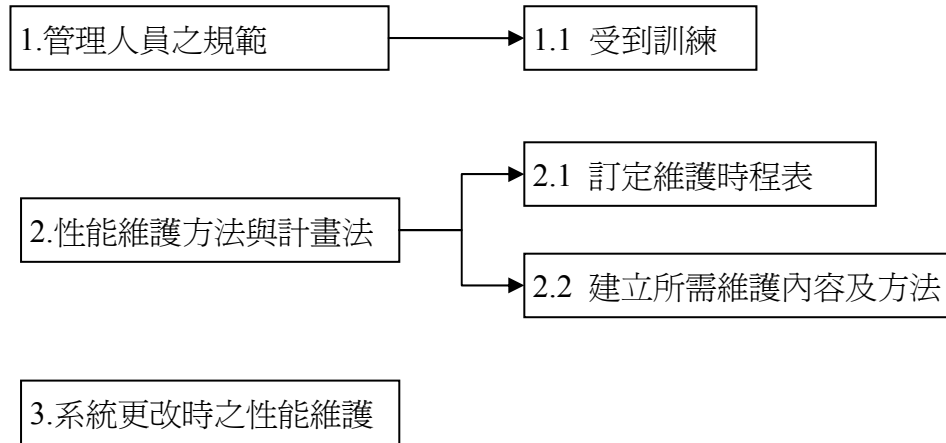


圖 7 性能維護與評估技術內容架構

四、有害物移除效能量化指標

有害物移除效能的主要量化指標，是有無使用局部排氣裝置時，工作者呼吸區有害物的濃度差異。針對密閉式機台的工作者，其暴露時機主要是在打開機台前門時，有害物會由機台內部逸散出來，使工作區的濃度上升。因此，可測定開門後有害物濃度上升幅度。分別在有無使用局部排氣裝置時進行開門前後的有害物測定，評估其濃度的增加量，可依此建立局部排氣裝置的效能指標。密閉式 CNC 機台之效能評估公式如下所示：

$$\eta = \frac{\Delta C_{LE\ off} - \Delta C_{LE\ on}}{\Delta C_{LE\ off}} = \frac{(C_{1, LE\ off} - C_{0, LE\ off}) - (C_{1, LE\ on} - C_{0, LE\ on})}{C_{1, LE\ off} - C_{0, LE\ off}} \quad (4)$$

其中 η ：表示局部排氣效能

C：表示有害物濃度，例如細菌生物氣膠濃度 (CFU/m³)

ΔC_{on} ：表示局部排氣開啓時，工作區濃度增加值

ΔC_{off} ：表示局部排氣關閉時，工作區濃度增加值

下標1：表示機台前門開啓時，即工作者作業中，機台暫停運轉。

下標0：表示機台前門關閉時，即機台運轉中，工作者無作業。

LE on：表示局部排氣裝置運轉中。

LE off：表示機台運轉時未開啓局部排氣裝置。

爲求得平均值與標準差，公式(4)中的分子與分母以至少各 3 組爲原則。理論上，無論局部排氣裝置有無開啓，在每次單一作業結束，工作者打開前門時，工作區的有害物濃度應該會有所增加，意即 ΔC_{on} 及 ΔC_{off} 的值都將會大於零。惟，如果局部排氣裝置有效時，前門打時的有害物濃度應該會比未使用局部排氣時低，意即，開門後有害物濃度增加量應該比較小，意即 $\Delta C_{on} < \Delta C_{off}$ ，此時效率 η 會在 0 至 1 的間。如果 $\Delta C_{on} = \Delta C_{off}$ ，此時效率 $\eta = 0$ 。如果 $\Delta C_{on} = 0$ ，即前門開啓時的工作區有害物濃度沒有增加，此時效率 $\eta = 1$ (100%)。 ΔC_{on} 與 ΔC_{off} 數值大小的關係，如表 5 所示。

表 5 局部排氣裝置效能參數與量化指標

ΔC_{off}	ΔC_{on}	η	說明
= 0	-	-	有害物未逸散，無局部排氣裝置的需求
>0	= ΔC_{off}	0	局部排氣有無開啓，工作區濃度增高量一致
>0	< ΔC_{off}	0~1	局部排氣開啓時，有害物逸散量減少
>0	= 0	1	局部排氣開啓時，無有害物逸散

五、管理制度

金屬加工液的操作系統是複雜而具有生物活性的，而其逸散特性可不斷地隨使用條件而有所變化，例如待處理金屬物件的表面與材質特性、處理時間長短與處理方式、局部排氣效能等等。然而，金屬加工液系統與逸散特性，是可以在相對長的時間

週期內，保持穩定狀態。要做到這一點，應該有一個深思熟慮和貫徹執行的工業通風裝置管理制度。此制度應確定程序和使用者的負責實施的關鍵要素。

(一)指定系統效能維護的負責人

此負責人員的職責，在於工業通風裝置管理制度中，應該從所有可用的來源接收信息，例如金屬加工機台的規格、機台附屬局部排氣種類、及機台操作模式等等。無論是誰被選定要來追蹤金屬加工作業型態及維護工業通風裝置的效能，應該明白在金屬加工過程中所涉及的金屬加工液液滴的產生機制與逸散特性。

(二)指定局部排氣裝置效能評估負責人

指定效能評估的責任，所有的局部排氣裝置操作控制與使用記錄，應由指定的人負責。要記錄的操作控制條件，可能包括使用時機、使用累計時數、每日檢點、定期檢查、金屬加工液種類與循環使用時間、操作者作業型態、效能評估測定結果等。

(三)標準作業程序書面文件

依上述三個不同的評估時機，建立一份標準作業程序(standard operation procedure, SOP)書面文件。這樣的 SOP 應包括：

1. 在何機台以及何時進行局部排氣效能評估；
2. 應如何進行評估；
3. 應該進行的評估項目；
4. 每個評估項目的執行方式；
5. 用於執行和記錄評估結果的負責人的名稱。

(四)資料收集與追蹤系統

要妥善管理局部排氣裝置效能評估的紀錄，並收集與追蹤操作數據。這些數據應包括相關法規規定的項目，例如勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法第 40 條，有關局部排氣裝置每年定期實施檢查 1 次的規定與 8 個項目。其中第 6 項有關吸氣及排氣

的能力，如果有量化的數據，可以被用來改善局部排氣裝置的效能，也可以發現局部排氣裝置效能的變化趨勢。藉由 PDCA 的反饋機制，可提早發現局部排氣裝置可能出現的問題，進而提早因應或採取改善措施。

(五)員工參與

事業單位的製造、維護、及技術支援勞工，以及金屬加工機台和局部排氣裝置供應商的員工，每個人都有自己擅長的領域，他們可以一起創造最佳的局部排氣裝置效能。雇主可以訓練機台操作人員檢點局部排氣裝置，並向負責維護者報告任何不尋常的狀態。

(六)安全衛生教育訓練計畫

雇主應依勞工安全衛生教育訓練規則規定，將金屬加工機台的局部排氣裝置相關議題，納入新進與在職勞工一般安全衛生教育訓練計畫與課程的中，以使管理階層和勞工瞭解局部排氣裝置的基本功能，包括可以影響局部排氣裝置正常運作的因素，如何會延長或縮短其使用壽命，以及可能發生的問題與徵兆。操作金屬加工液的勞工也應該瞭解，他們所接觸的金屬加工液霧滴的安全和健康危害。

依勞工安全衛生教育訓練規則第 16 條規定，雇主對新僱勞工或在職勞工於變更工作前，應使其接受適於各該工作必要的安全衛生教育訓練。但在職勞工工作環境、工作性質與變更前相當者，不在此限。至於在職勞工的安全衛生教育訓練，則依第 17 條規定，每 3 年至少 3 小時。

事業單位對於一般新進或在職勞工安全衛生教育訓練的實施，依第 18 條的規定，可由事業單位自行實施，不用由訓練單位辦理。依第 27 條規定，雇主辦理的教育訓練，應將包含訓練教材、課程表等的訓練計畫、受訓人員名冊、簽到紀錄、課程內容等實施資料保存 3 年。但不用比照訓練單位，頒發結業證書或發給勞工在職教育訓練紀錄。

有關新進勞工安全衛生教育所需時數，依表 7 所示，因金屬加工製程大致都有從事使用生產性機械或設備，因此需增列 3 小時。至於有害物的認定，因勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準中有列出油霧滴(礦物性) (第 342 項有害物 Oil mist (Mineral)，化學文摘社號碼(CAS No.)：8012-95-1, 8 小時日時量平均容許濃度濃度：5 mg/m³)，因此，金屬加工製程產生的金屬加工液油霧滴，屬於勞工安全衛生設施規則第 19 條所稱的經中央主管機關指定的有害物，從表 9 得知，對於對製造、處置或使用此有害物者應再增列 3 小時。總結各項規定，使用金屬加工液的新進勞工，所需的勞工安全衛生教育訓練時數為 9 小時，包括一般 3 小時、使用生產性機械 3 小時、使用有害物 3 小時。

第二節 通風排氣裝置評估

各廠局部排氣裝置有效性評估結果，如表 6 至 8 所示。其中，油霧回收機之設計人員非工業安全或工業衛生等相關科系畢業，亦無工業衛生或工業安全等與工業通風有關的技師資格，但具有相關工作經驗。

由表 8 可發現，A1 廠為規模較大之事業單位，有專責勞安部門與勞安管理人員。油霧回收機之相關管理事宜，較為完整。其他 5 家大致都屬家庭企業，規模不超過 10 人，在安全衛生管理方法，很難周全。

表 6 六家工廠局部排氣裝置設置前有效性評估結果

大項評估內容	細項評估內容	A1	A2	A3	B1	B2	C	評估基準
1.1 設計人員 規範	1.1.1 局部排氣裝置設計人員須為受過訓練的合格人員	X	X	X	X	X	X	受過訓練：工業安全或工業衛生等相關科系畢業 合格人員：具工業衛生或工業安全等與工業通風有關的技師資格
	1.1.2 局部排氣裝置設計人員須為有工作經驗的人員	O	O	O	O	O	O	需提出有關工作經驗的證明資料
1.2 資料收集	1.2.1 場所佈置的資料	O	O	O	O	O	O	需有製程流程圖(PFD)、管線與儀器圖(P&ID)、設備清單、化學物清單等資料
	1.2.2 欲捕集化學物質的物化特性的資料	O	O	O	O	O	O	至少需有物質安全資料表。
	1.2.3 人員操作及暴露途徑的資料	O	O	O	O	O	O	需有人員操作模式及可能暴露途徑等資料。
1.3.1 氣罩設計 基準	需考慮捕集風速或表面風速等與氣罩設計的相關基準	O	O	O	O	O	O	捕集風速範圍可以參考 ACGIH 的建議。
	建造材料需考量符合製程要求	O	O	O	O	O	O	對於溫度高達 480 度或 480 度以上的高溫，可以分別使用黑鐵(black iron)及不銹鋼。 對於腐蝕性氣體及蒸氣，必須使用抗腐蝕金屬或聚氯乙烯(PVC)或其他塑膠及塗料。
1.3.2 導管設計 基準	需考慮導管搬運風速	-	-	-	-	-	-	本項目可不適用。
	建造材料需考量符合製程要求	O	O	O	O	O	O	如為腐蝕性污染物，導管應塗或漆上抗腐蝕或抗磨損的物質，以增加抗腐蝕及抗磨損的能力。

表 6 六家工廠局部排氣裝置設置前有效性評估結果(續)

大項評估內容	細項評估內容	A1	A2	A3	B1	B2	C	評估基準
1.3.3 空氣清淨裝置設計基準	空氣清淨裝置的選擇應符合污染物需求	O	O	O	O	O	O	建議或具有相等效力的空氣清淨裝置。
1.3.4 排氣機設計基準	避免排氣機受到污染物的傷害	O	O	O	O	O	O	排氣機必須位於空氣清淨裝置的下風處，保護腐蝕性蒸氣及氣體對排氣機造成的傷害。
1.3.5 排氣煙函設計基準	避免排出污染物回流(recirculation)	-	-	-	-	-	-	本項目可不適用。
1.3.6 系統平衡	使用認可及適當的設計方法與程序去設計平衡系統	-	-	-	-	-	-	本項目可不適用。
1.3.7 其他	使用有害性物質機台的排氣設備均應該使用連鎖設計	X	X	X	X	X	X	審查設計規劃或操作手冊
1.4 設計報告書	作業場所必須有局部排氣裝置設計報告書	X	X	X	X	X	X	設計報告書必須有各元件的基本資料，且需有設計的性能(performance)準則，系統配置圖、壓力分佈圖、元件基本資料，測定孔位置分佈圖
2.1 審查設計報告書	局部排氣裝置的設計、安裝建造必須通過通風有效性的鑑定單位認可接受	X	X	X	X	X	X	審查證明文件。
3.1 監造人員規範	3.1.1 局部排氣裝置監造人員須為受過訓練的合格人員	X	X	X	X	X	X	受過訓練：工業安全衛生等相關科系畢業。合格人員：具工業安全衛生等與工業通風有關的技師資格
	3.1.2 局部排氣裝置監造人員須為有工作經驗的人員	O	O	O	O	O	O	需提出有關工作經驗的證明資料

表 7 六家工廠局部排氣裝置設置後有效性評估結果

大項評估內容	細項評估內容	A1	A2	A3	B1	B2	C	評估基準
1.1 性能 驗收人員	1.1.1 人員進行測試及平衡必須經過訓練的合格人員	X	X	X	X	X	X	受過訓練：工業安全或工業衛生等相關科系畢業 合格人員：具工業衛生或工業安全等與工業通風有關的技師資格人員需與設計團隊不同的人員。
	1.2.1 執行局部排氣裝置測試人員須為有工作經驗的人員	O	O	O	O	O	O	需提出有關工作經驗的證明資料。
1.2 性能 驗收方法	1.2.1 以視察法進行系統外在各元件完整的檢查	O	O	O	O	O	O	包含氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機外在損傷和撕裂等情形。
	1.2.2 使用煙流觀察氣罩性能	X	X	X	X	X	X	使用發煙管或同等量測方法進行氣罩性能的評估。
	1.2.3 捕集風速的量測	X	X	X	X	X	X	氣罩捕集污染物進入的最低風速為系統有效性指標，可以參考ACGIH的建議。
	1.2.4 導管搬運速度的量測	-	-	-	-	-	-	本項目可不適用。
	1.2.5 應進行氣罩靜壓與流量量測	X	X	X	X	X	X	所測得靜壓其範圍應為設計書設定基準的上下 20%範圍內
1.3 性能 驗收報告書	需有性能驗收報告書	O	O	O	X	X	X	需包含測試方法與性能驗收報告內容。
2.1 操作 手冊	應有參考的操作手冊	O	O	O	O	O	O	內容需有完整的標準操作程序(SOP)。

表 8 六家工廠局部排氣裝置性能維護與評估表評估結果

大項評估內容	細項評估內容	A1	A3	A2	B1	B2	C	評估基準
1. 管理人員	1.1 管理人員應為受過訓練的人員	O	X	X	X	X	X	需經在職教育訓練。
2.1 訂定維護時程表	局部排氣裝置、空氣清淨裝置應定期實施檢查	O	X	X	X	X	X	氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機有設定護時程。
	應保存檢查紀錄	O	X	X	X	X	X	檢查紀錄要保存 3 年，內容包括：檢查年月日、檢查方法、檢查場所、檢查結果、檢查人員姓名、若有損壞則要包括修補的內容。
2.2 建立所需維護內容與方法	建立局部排氣裝置各單元的維護內容與方法	O	X	X	X	X	X	區分為氣罩、導管、空氣清淨裝置與排氣機。
	建立使用的原則、標準操作程序及勞工的練習，並定期舉行勞工訓練	O	X	X	X	X	X	建立各操作單元的使用原則及使用方法，且於勞工就職每 3 年進行至少 3 小時在職安全衛生教育訓練。
3. 系統更改時的性能維護	在改變系統後，局部排氣裝置必須進行測試確保系統符合建立的表現準則	O	X	X	X	X	X	改變後，必須於運作前重新進行測試平衡確保系統符合系統表現準則。
	設計報告書必須保持最新版本	O	X	X	X	X	X	如系統改變時，設計報告書必須保持最新版本。當每一人員對局部排氣裝置進行測試、維護及重新設計時必須使用最新的設計圖及說明書。

第三節 細菌生物氣膠移除效能

6 家金屬加工液作業場所分別以 A1、A2、A3、B1、B2、C 廠表示。其中，A 代表該廠之受測機台採用廠牌甲油霧回收機，B 代表採用廠牌乙油霧回收機，C 則是代表採用廠牌丙油霧回收機。以下即依各廠廠區環境資訊、通風裝置特性、及細菌生物氣膠測定結果，分別進行說明。

各廠主要採集油霧回收機使用中及未使用時之勞工作業呼吸區之生物氣膠樣本，每次有 side-by-side 2 個樣本，重複 2 或 3 次，故每廠個別樣本數是 8 或 12。另安排 2 至 3 次之戶外採樣，每次也是 side-by-side 採樣，故每廠個別樣本數是 4 或 6。空白樣本採樣策略是將空白樣品含培養基的培養皿置入採樣器內，置放時間與樣品採樣時間相同，但是不進行抽氣。空白樣本則都是每廠安排 3 個。總樣本數如表 9 所示，其中，作業場所之總樣本數為 136 個 (68+68)，戶外共 32 個，空白樣本共 18 個，總計為 186 個。

表 9 使用金屬加工液作業場所生物氣膠樣本數

廠別	油霧回收機		戶外	空白樣本	小計
	使用中	未使用			
A1	12	12	6	3	33
A2	8	12	4	3	27
A3	12	12	6	3	33
B1	12	8	6	3	29
B2	12	12	4	3	31
C	12	12	6	3	33
合計	68	68	32	18	186

A1 廠的廠區佈置如圖 8 所示，廠區環境資訊如表 10 所示。廠區內設有 6 台隧道

式 CNC 機台，均有局部排氣裝置(圖 9)，機台為自動進料方式加工，採用的金屬加工液為半合成切削液，其油水比為 1：30。現場機台操作人員共 2 人，作業模式以 1 人操作 3 台機台為原則，其餘無人操作的機台則不開機。廠房有開窗，且廠房屋頂有開啓整體換氣通風設備。地板為 PU 材質，肉眼看不到油漬殘留。選定某一 CNC 機台，以風罩風量計量測 CNC 機台局部排氣裝置之風量為 $7.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 。採樣時，廠內、外溫度分別為 27.8°C 、 28.2°C ，室內、外的相對濕度(RH)分別為 55.7%、54.1%。

A1 廠區油霧回收機之規格如表 11 所示。設計風量為 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ ，由表 10 得知實測風量為 $7.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ，為設計風量之 37%。

使用直讀式雙通道粉塵計(Met One, GT-521)，進行作業中粉塵粒數濃度測定，結果如表 12 所示，每筆數據皆為 3 重複之平均值。其中，出料口測點在油霧回收機未使用時， $dp>2.5 \mu\text{m}$ 及 $dp>5.0 \mu\text{m}$ 之粒數濃度分別為 $87,791\pm 52,231 \text{ \#}/\text{L}$ 及 $11,534\pm 9,784 \text{ \#}/\text{L}$ 。局部排氣裝置開啓後， $dp>2.5 \mu\text{m}$ 及 $dp>5.0 \mu\text{m}$ 之粒數濃度分別大幅降至為 $1164\pm 491 \text{ \#}/\text{L}$ 及 $150\pm 50 \text{ \#}/\text{L}$ 。前門測點在油霧回收機未使用時， $dp>2.5 \mu\text{m}$ 及 $dp>5.0 \mu\text{m}$ 之粒數濃度分別為 $594\pm 190 \text{ \#}/\text{L}$ 及 $92\pm 31 \text{ \#}/\text{L}$ 。局部排氣裝置開啓後， $dp>2.5 \mu\text{m}$ 及 $dp>5.0 \mu\text{m}$ 之粒數濃度分別略降為 $511\pm 142 \text{ \#}/\text{L}$ 及 $90\pm 16 \text{ \#}/\text{L}$ 。

CNC 機台作業現場之細菌生物氣膠以 MAS-100 進行採樣，其濃度測定結果如表 15 所示，其偵測下限為 $10 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。在未使用局部排氣裝置期間，出料口細菌生物氣膠濃度範圍從 247 到 $430 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。局部排氣裝置開啓後，出料口細菌生物氣膠濃度範圍降為 227 到 $302 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。戶外濃度為 $407\pm 73 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。

未使用局部排氣裝置期間，前門細菌生物氣膠濃度數值範圍從 177 到 $360 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。局部排氣裝置開啓後，前門細菌生物氣膠濃度範圍略降到 170 至 $292 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 之間。戶外濃度為 $407\pm 73 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，作業場所濃度皆比戶外濃度低。出料口測點之移除效率為 $21.2\pm 11.3\%$ (範圍：8.1%~27.9%)，機台前門測點之移除效率為

12.8±7.9% (範圍：4.0%~18.9%)(表 13)。整體而言，粉塵濃度變化趨勢與生物氣膠濃度變化趨勢相當，如圖 10 所示。

細菌生物氣膠菌種分布如表 14，無論局部排氣裝置是否啓動，甚至包括戶外，出料口及 CNC 機台前門所有樣本均有出現 *Staphylococcus hominis*、*S. xylosus* 及 *Micrococcus* 屬，此兩菌屬皆為 GPC。其中 *S. hominis* 濃度百分比範圍從 64.5%到 89.7%，皆超過半數，是濃度最高的菌種。其次，*Micrococcus* 之濃度百分比範圍從 6%到 30.1%，*S. xylosus* 濃度百分比範圍從 0.6%到 10.2%。另會出現的菌種是 *Arthrobacter*(屬 GPB)及 *S. capitis*，濃度百分比最高值別是 1.5%及 3.8%。廠區內樣本除了測得 *S. hominis*、*Micrococcus* 屬、*S. xylosus* 及 *S. capitis* 外，亦有少數樣本測得 *S. saprophyticus*，其濃度百分比最高值為 1.6%。

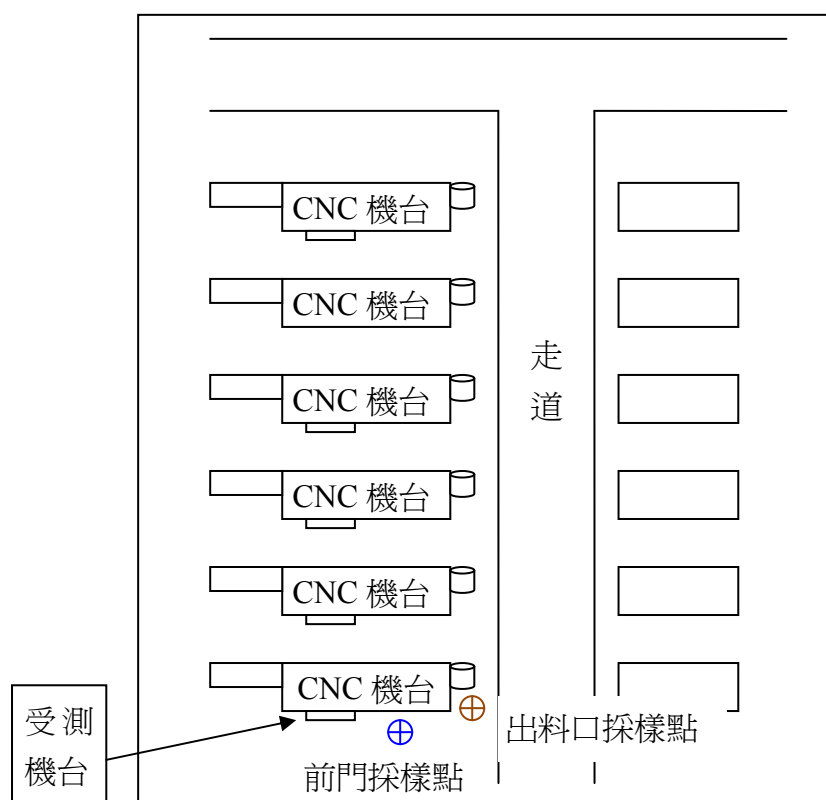


圖 8 A1 廠區佈置圖

表 10 A1 廠區環境資訊

項次	項目	內容	說明
1	機台	6 台隧道式 CNC	皆有安裝局部排氣裝置
2	MWF	半合成切削液	油水比=1：30
3	人數	2	皆為現場機台操作人員
4	作業模式	1 人操作 3 台機台	機台採自動進料方式加工
5	通風模式	整體換氣	有開窗，廠房屋頂有抽風設備
		局部排氣	實測風量 = 7.3 m ³ /min
6	地板	PU 地板	肉眼看不到油漬殘留
7	操作時室溫	27.8±0.4 °C	
8	操作時 RH	55.7±1.2%	
9	戶外氣溫	28.2±0.1 °C	
10	戶外 RH	54.1±0.7%	



圖 9 A1 廠區的油霧回收機

表 11 A1 廠之油霧回收空氣清淨機規格

項目	功率	吸入口徑	電壓	週率	轉速	噪音	靜壓	設計風量
單位	kW	mm	V	Hz	rpm	dB	mmAq	m ³ /min
數值	0.6	148	220	50	3400	70	295	20

表 12 A1 廠粉塵粒數濃度(#/L)與移除效能

測點	LE	>2.5 μm		>5.0 μm		樣本數
		算術平均 \pm SD	幾何平均	算術平均 \pm SD	幾何平均	
出料口	off	87,791 \pm 52,231	78,849	11,534 \pm 9,784	8,954	3
	on	1164 \pm 491	1,078	150 \pm 50	144	3
移除效能		98.7%	98.6%	98.7%	98.4%	
前門	off	594 \pm 190	574	92 \pm 31	90	3
	on	511 \pm 142	499	90 \pm 16	89	3
移除效能		14.0%	13.1%	2.2%	1.1%	

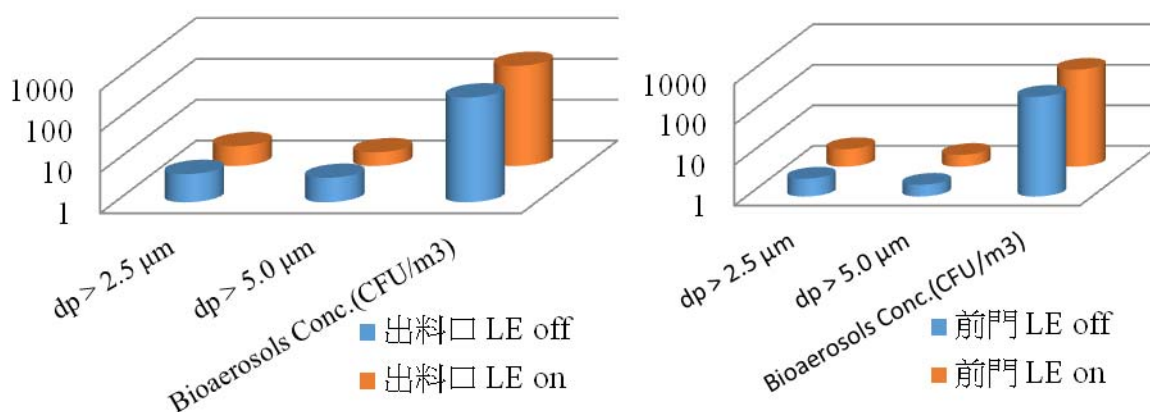


圖 10 A1 廠粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢

表 13 A1 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能

測點	採樣批次	LE	樣本數	平均濃度(CFU/m ³)*	移除效能(%)	平均值(%)
出料口	1	off	2	417 #	27.6	21.2±11.3
		on	2	302		
	2	off	2	430 #	27.9	
		on	2	310		
	3	off	2	247	8.1	
		on	2	227		
前門	1	off	2	332	15.7	12.8±7.9
		on	2	280		
	2	off	2	360	18.9	
		on	2	292		
	3	off	2	177	4.0	
		on	2	170		
戶外	-	-	6	407±73	# 濃度高於戶外平均值	

* 方法偵測下限為 10 CFU/m³

表 14 A1 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)

菌種	類別	出料口						前門						戶外
		1		2		3		1		2		3		
		LE on	LE off	LE on	LE off	LE on	LE off	LE on	LE off	LE on	LE off	LE on	LE off	
<i>Arthrobacter</i> spp.	GPB	0.6		0.6	0.6	0.8	1.5	1.3	0.6			0.9		0.3
<i>Micrococcus</i> spp.	GPC	7.9	7.9	9.0	11.4	16.0	16.3	19.9	10.2	11.5	9.5	20.4	30.1	6.7
<i>Staphylococcus capitis</i>	GPC				1.1	0.8		2.0	1.7	0.6			2.2	3.8
<i>S.hominis</i>	GPC	89.7	88.8	81.9	86.4	76.8	79.3	74.8	85.8	79	86.2	68.5	64.5	80.4
<i>S. saprophyticus</i>	GPC					1.6	0.7	0.7						
<i>S. xylosus</i>	GPC	1.8	3.3	8.4	0.6	4.0	2.2	1.3	1.7	8.9	4.2	10.2	3.2	8.7
合計	GPB	0.6		0.6	0.6	0.8	1.5	1.3	0.6			0.9		0.3
	GPC	99.4	100	99.4	99.4	99.2	98.5	98.7	99.4	100	100	99.1	100	99.7

A2 廠的工廠佈置如圖 11 所示，廠區環境資訊如表 15 所示。廠內設有 4 台 CNC 機台，均有局部排氣裝置(圖 12)，採用的金屬加工液為半合成切削液，其油水比為 1：20。現場機台操作人員共 3 人，作業模式以 1 人操作 2 台機台為原則，其餘無人操作的機台則不開機。廠區有設置窗戶，後門在作業時會打開，並使用電風扇輔助廠內通風。地板為水泥地板，有微量油漬殘留。選定某一 CNC 機台，以風罩風量計量測其局部排氣裝置風量為 6.2m³/hr。採樣時，廠內、外溫度分別為 28.9°C、29.1°C、室內、外的相對濕度(RH)分別為 67%、65.7%。

A2 廠油霧回收機之規格如表 16 所示。設計風量為 10.5 m³/min，由表 15 得知實測風量為 6.2 m³/min，為設計風量之 58%。

使用直讀式雙通道粉塵計(Met One, GT-521)，進行作業中粉塵粒數濃度測定，結果如表 19 所示。由於檢測時，作業時間僅 10 餘秒，很難進行前面關閉之檢測，因此僅檢測作業暫停，打開前面時。對 dp>2.5 μm 之微粒而言，油霧回收機未使用時之粒數濃度為 14,773±2458 #/L。油霧回收機開啓後，粒數濃度降為 6,127±1003 #/L。對 dp>5.0 μm 之微粒而言，油霧回收機未使用，且 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 1104±213 #/L。油霧回收機開啓後，粒數濃度降至 442±118 #/L。

CNC 機台作業現場之細菌生物氣膠以 MAS-100 進行採樣，其濃度測定結果如表 20 所示。戶外濃度為 152 CFU/m³，作業場所濃度皆比戶外濃度高。在未使用局部排氣裝置期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 70 到 112 CFU/m³，平均值為 91 CFU/m³。局部排氣裝置開啓後，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 17 到 50 CFU/m³，平均值為 38 CFU/m³，局部排氣效能為 58%。無論局部排氣裝置是否啓動，CNC 前門開啓後所測得之濃度，均大於前門開啓前之濃度，但有使用 LE 時，增加量減少 58%。整體而言，粉塵濃度變化趨勢與生物氣膠濃度變化趨勢相當，如圖 13 所示。

在細菌生物氣膠菌種分布中如表 19 所示。無論局部排氣裝置是否啓動，甚至包括戶外，所有樣本均有出現 *Staphylococcus warneri*，其類別爲 GPC，且是濃度最高的菌種，其濃度百分比範圍從 68.5%到 97.3%。另一種幾乎都有出現的菌種是也屬於 GPC 的 *Micrococcus* 屬，其濃度百分比範圍從 0%到 31.5%。另會出現的菌種是 *S. capitis* 及 *S. caprae*，也都是 GPC，濃度百分比最高值別是 4.3%及 1.7%。廠區內樣本除了 *S. warneri*、*Micrococcus* 屬、*S. capitis* 及 *S. caprae*，另外亦有測得 *S. hominis* (0.7%)。

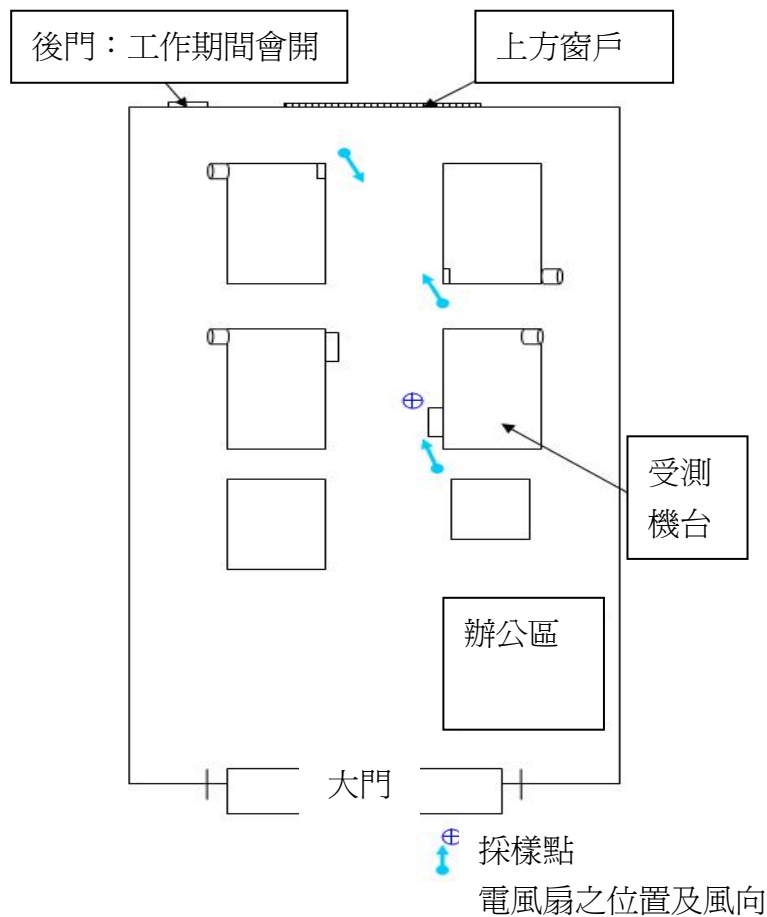


圖 11 A2 廠廠區佈置圖

表 15 A2 廠廠區環境資訊

項次	項目	內容	說明
1	機台	4 台密閉性 CNC	皆有裝局部排氣裝置
2	MWF	半合成切削液	油水比=1：20
3	人數	3	2 人為現場機台操作人員，1 人為工廠負責人
4	作業模式	1 人操作 2 台機台	無人操作的機台則不開機
5	通風模式	整體換氣	有用電風扇輔助，有開窗
		局部排氣	實測風量 = 6.2 m ³ /min
6	地板	水泥地板	在勞工操作處有油漬殘留
7	操作時室溫	28.9±0.1°C	
8	操作時 RH	67±0.6%	
9	戶外氣溫	29.1±0.2°C	
10	戶外 RH	65.7±1.2%	



圖 12 A2 廠的油霧回收機

表 16 A2 廠之油霧回收空氣清淨機規格

項目	功率	吸入口徑	電壓	週率	轉速	噪音	靜壓	設計風量
單位	kW	mm	V	Hz	rpm	dB	mmAq	m ³ /min
數值	0.2	148	220	60	3485	71.5	137	10.5

表 17 A2 廠機台前門開啓時之粉塵粒數濃度(#/L)及移除效率

LE	dp > 2.5 μm		dp > 5.0 μm	
	算術平均+SD	幾何平均	算術平均+SD	幾何平均
off	14,773±2,458	14,642	1,104±213	1,092
on	6,127±1,003	6,071	442±118	432
移除效能	58.5%	58.5%	60.0%	60.4%

表18 A2廠CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能

採樣批次	LE	門	樣本數	濃度 CFU/m ³	O-C [#] CFU/m ³	O-C 平均值 CFU/m ³	效能 %
1	on	close/C	2	260 *	47	38	58
		open/O	2	307 *			
2	on	close/C	2	157 *	50		
		open/O	2	207 *			
3	on	close/C	2	197 *	17		
		open/O	2	213 *			
4	off	close/C	2	203 *	70	91	
		open/O	2	273 *			
5	off	close/C	2	163 *	112		
		open/O	2	275 *			
戶外	-	-	4	152	* 濃度高於戶外平均值		

[#]表示開門時(O)的濃度減去關門時(C)之濃度。

表 19 A2 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)

		LE on						LE off				戶外
		1		2		3		4		5		
菌種	類別	C*	O	C	O	C	O	C	O	C	O	
<i>Micrococcus</i> spp.	GPC		31.5	4.3	0.9	2.8	2.5	5.0	2.7	4.7	2.7	4.7
<i>Staphylococcus capitis</i>	GPC	4.2		4.3	2.6	0.7	0.8	1.7		0.9		0.6
<i>S. caprae</i>	GPC							1.7		0.9		1.7
<i>S. hominis</i>	GPC			0.7		0.7						
<i>S. warneri</i>	GPC	95.8	68.5	91.3	96.5	95.8	96.6	91.7	97.3	93.4	97.3	93.0
合計	GPC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* C 表示 CNC 機台之前面關閉，O 表示前面打開中。

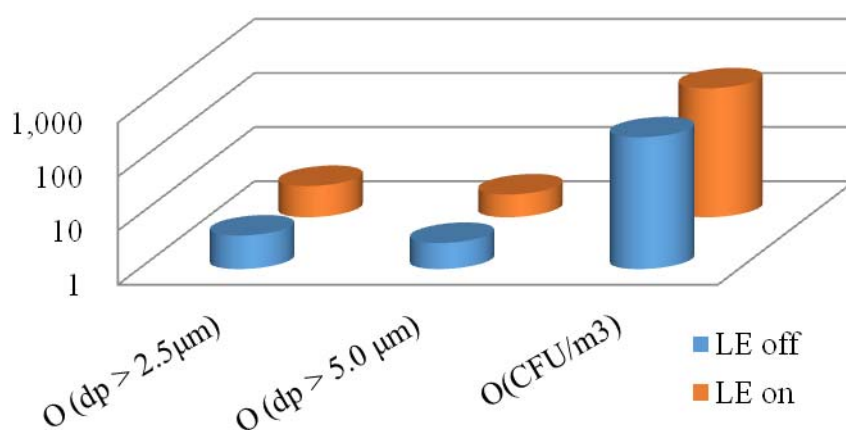


圖 13 A2 廠粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢

A3 廠的工廠佈置如圖 14 所示，廠區環境資訊如表 20 所示。廠內設有 6 台 CNC 機台，均有局部排氣裝置(圖 15)，採用的金屬加工液為半合成切削液，其油水比為 1:10。現場機台操作人員共 4 人，作業模式以 1 人操作 1 台機台為原則，其餘無人操作的機台則不開機。廠區有設置窗戶，後門在作業時會打開，並使用電風扇輔助廠內通風。地板為 PU 材質，肉眼看不到油漬殘留。選定某一 CNC 機台，以風罩風量計量

測其局部排氣裝置風量為 $6.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 。採樣時，廠內、外溫度分別為 32.6°C 、 36°C 、室內、外的相對濕度(RH)分別為 62.7% 、 51.7% 。

A3 廠局部排氣裝置為油霧回收空氣清淨機，其規格如表 21 所示。設計風量為 $12 \text{ m}^3/\text{min}$ ，由表 22 得知實測風量為 $6.1 \text{ m}^3/\text{min}$ ，為設計風量之 65% 。

粉塵粒數濃度測定結果如表 22 所示。對 $dp>2.5 \mu\text{m}$ 之微粒而言，油霧回收機未使用，且 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 $2,949\pm 2031 \text{ \#/L}$ 。前門打開後，粒數濃度大幅增為 $13,253\pm 8,311 \text{ \#/L}$ 。在啓動油霧回收機之後，當 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 $1844\pm 1281 \text{ \#/L}$ 。前門打開後，粒數濃度增為 $5,727\pm 5,645 \text{ \#/L}$ 。

對 $dp>5.0 \mu\text{m}$ 之微粒而言，油霧回收機未使用，且 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 $337\pm 225 \text{ \#/L}$ 。前門打開後，粒數濃度大幅增為 $1,817\pm 1,118 \text{ \#/L}$ 。在啓動油霧回收機之後，當 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 $253\pm 185 \text{ \#/L}$ 。前門打開後，粒數濃度增為 $838\pm 597 \text{ \#/L}$ 。增加幅度或濃度低於油霧回收機未使用時。

CNC 機台作業現場之細菌生物氣膠濃度測定結果如表 23 所示。戶外濃度為 133 CFU/m^3 ，作業場所濃度皆比戶外濃度低。無論局部排氣裝置是否啓動，CNC 前門開啓後所測得之濃度，均大於前門開啓前之濃度。局部排氣裝置開啓期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 5 到 25 CFU/m^3 ，平均值為 15 CFU/m^3 。未使用局部排氣裝置期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 40 到 50 CFU/m^3 ，平均值為 43 CFU/m^3 ，局部排氣效能為 65% ，意即局部排氣裝置之使用，會減少機台作業現場 65% 的逸散量。整體而言，粉塵濃度變化趨勢與生物氣膠濃度變化趨勢相當，如圖 16 所示。

在細菌生物氣膠菌種分布中如表 24 所示。無論局部排氣裝置是否啓動，也無論 CNC 機台前門是否開啓，甚至包括戶外，所有樣本均有出現 *Vibrio alginolyticus*，其類別為 GNB，但其濃度不見得最高的，其濃度百分比範圍從 23.1% 到 95.6% 。另一種幾

乎都會出現的菌種是 *Bacillus pumilus*，其濃度百分比範圍從 0%到 42.9%。另一種會出現的菌種是 *Aeromonas hydrophila*，類別屬於 GPB，濃度百分比最高分別是 30.0%。戶外樣本主要是 *A. hydrophila* (51.3%)及 *Bacillus*sp.(37.5%)，至於 *A. alginolyticus* 則有 8.8%。其中 *A. hydrophila* 屬 RG2。

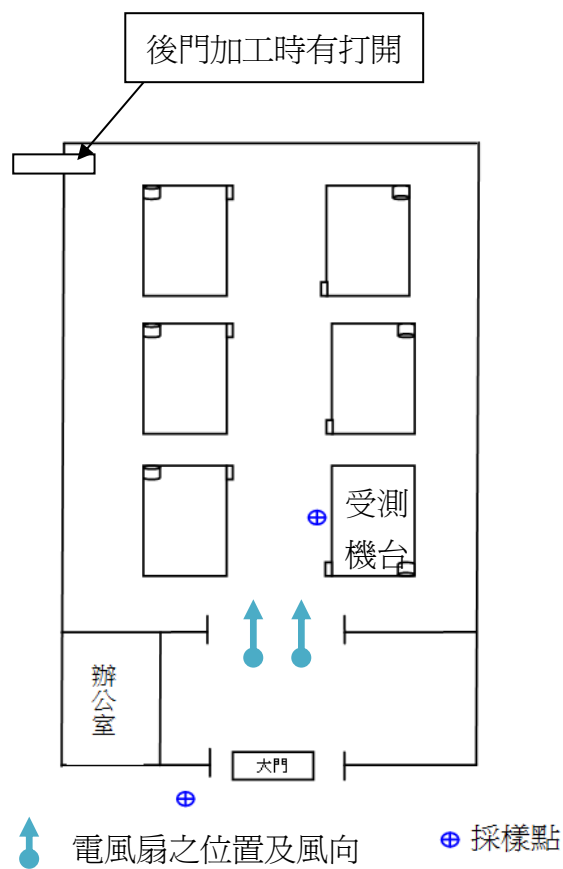


圖 14 A3 廠廠區佈置圖

表 20 A3 廠廠區環境資訊

項次	項目	內容	說明
1	機台	6 台密閉式 CNC	有裝局部排氣裝置
2	MWF	半合成切削液	油水比=1：10
3	人數	5	4 人爲現場機台操作人員， 1 人爲辦公室人員
4	作業模式	1 人操作 1 台機台	其餘無人操作的機台則不開機
5	通風模式	整體換氣	無窗戶，後門在作業時會打開， 有用電風扇輔助；
		局部排氣	實測風量 = 6.1m ³ /min
6	地板	PU 地板	肉眼看不到油漬殘留
7	操作時室溫	32.6±0.1°C	
8	操作時 RH	62.7±0.8%	
9	戶外氣溫	36.0±0.2°C	
10	戶外 RH	51.7±0.8%	



圖 15 A3 廠的油霧回收空氣清淨機

表 21 A3 廠之油霧回收空氣清淨機規格

項目	功率	吸入口徑	電壓	週率	轉速	噪音	靜壓	設計風量
單位	kW	mm	V	Hz	rpm	dB	Pa	m ³ /min
數值	0.2	148	220	60	3485	68	137	12

表22 A3 廠粉塵粒數濃度(#/L)及移除效率

	dp > 2.5 μm				dp > 5.0 μm			
	前門關閉		前門開啓		前門關閉		前門開啓	
	算術 平均	幾何 平均	算術 平均	幾何 平均	算術 平均	幾何 平均	算術 平均	幾何 平均
LE off	2949±2031	2200	13253±8311	10782	337±225	262	1817±1118	1487
on	1844±1281	1503	5727±5645	3795	253±185	202	838±597	718
移除效能 (%)	37.5	31.7	56.8	64.8	24.9	22.9	53.9	51.7

表23 A3廠CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能

編號	LE	門	樣本數	濃度 CFU/m ³	O-C [#] CFU/m ³	O-C 平均值 CFU/m ³	移除效能 %
1	on	close/C	2	65	25	15	65
		open/O	2	90			
2	on	close/C	2	105	5		
		open/O	2	110 *			
3	on	close/C	2	40	15		
		open/O	2	55			
4	off	close/C	2	30	40	43	
		open/O	2	70			
5	off	close/C	2	40	50		
		open/O	2	90			
6	off	close/C	2	20	40		
		open/O	2	60			
戶外	-	-	6	133 ±40	* 室內濃度皆低於戶外平均值		

表示開門時(O)的濃度減去關門時(C)之濃度。

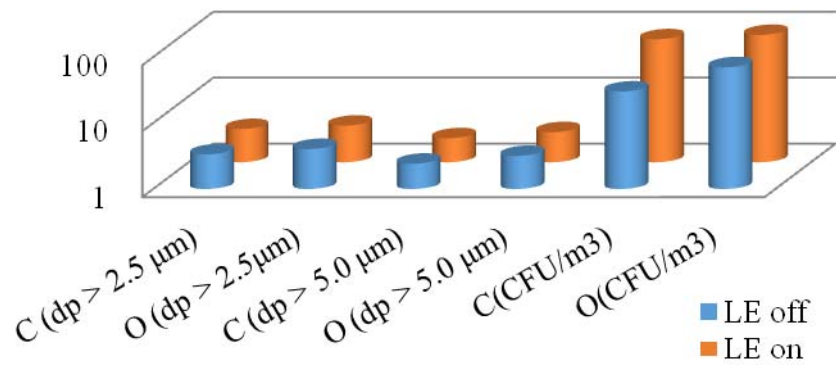


圖 16 A3 粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢

表24 A3 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)

		LE on						LE off						戶外
		1		2		3		4		5		6		
菌種	類別	C*	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	
<i>Aeromonas hydrophila</i> [#]	GNB		30.0		2.0	25.0	9.1	9.1	2.2	16.7			30.0	8.75
<i>Vibrio alginolyticus</i>	GNB	23.1	55.0	52.4	95.6	50.0	54.5	63.6	88.1	50.0	28.6	88.9	40.0	51.25
<i>Bacillus pumilus</i>	GPB	38.5	10.0	28.6	0.5	25.0	18.2	18.2	8.9		42.9	11.1	20.0	2.5
<i>Bacillus sp.</i>	GPB	38.5	5.0	19.0	2.0		18.2	9.1	0.7	33.3	28.6		10.0	37.5
合計	GPB	76.9	15.0	47.6	2.4	25.0	36.4	27.3	9.6	33.3	71.4	11.1	30.0	40.0
	GNB	23.1	85.0	52.4	97.6	75.0	63.6	72.7	90.4	66.7	28.6	88.9	70.0	60.0

* C 表示 CNC 機台之前面關閉，O 表示前面打開中。

屬於 RG2 菌種

B1 廠的工廠佈置如圖 17 所示，廠區環境資訊如表 25 所示。廠內設有 6 台機台，包括 5 台有局部排氣裝置之 CNC(圖 18)及 1 台一般開放式機台，開放式機台無局部排氣裝置。採用的金屬加工液為半合成切削液，其油水比為 1：10。現場機台操作人員共 5 人，作業模式為 1 人操作 1 台機台為原則，其餘無人操作的機台則不開機。廠房有開窗，並使用電風扇輔助廠內通風。選定某一 CNC 機台，以風罩風量計量測 CNC 機台局部排氣裝置之風量為 5.6 m³/hr。採樣時，廠內、外溫度分別為 33.5°C、34.0°C，室內、外的相對濕度(RH)分別為 65.0%、62.5%。

B1 廠局部排氣裝置為立式高壓二段式油霧回收機，其規格如表 26 所示。設計風量為 9 m³/min，由表 25 得知實測風量為 5.6 m³/min，為設計風量之 62%。

粉塵粒數濃度測定結果如表 27 所示。對 dp>2.5 μm 之微粒而言，油霧回收機未使用，且 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 2043±353 #/L。前門打開後，粒數濃度大幅增為 13016±5001#/L。在啟動油霧回收機之後，當 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 1135±192 #/L。前門打開後，粒數濃度增為 2837±232#/L。

對 dp>5.0 μm 之微粒而言，油霧回收機未使用，且 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 154±34 #/L。前門打開後，粒數濃度大幅增為 1037±349#/L。在啟動油霧回收機之後，當 CNC 機台前門關閉時，粒數濃度為 137±35 #/L。前門打開後，粒數濃度增為 249±51 #/L。增加幅度或濃度低於油霧回收機未使用時。

CNC 機台作業現場之細菌生物氣膠濃度測定結果如表 28 所示。戶外濃度為 147 CFU/m³，作業場所濃度只有 1 筆(150 CFU/m³)比戶外濃度高，是在未啟動油霧回收機，且打開 CNC 前門作業時。無論局部排氣裝置是否啟動，CNC 前門開啓後所測得之濃度，都會增加。局部排氣裝置開啓期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 0 到 55 CFU/m³，平均值為 22 CFU/m³。未使用局部排氣裝置期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 15 到 35 CFU/m³，平均值為 27

CFU/m³，局部排氣效能僅有 19%。整體而言，粉塵濃度變化趨勢與生物氣膠濃度變化趨勢相當，如圖 19 所示。

細菌生物氣膠菌種分布如表 29 所示，僅有 3 種菌。無論局部排氣裝置是否啓動，也無論 CNC 機台前門是否開啓，甚至包括戶外，所有樣本均有出現 *Staphylococcus capitis*，其類別爲 GPC，且通常是濃度最高的菌種，其濃度百分比範圍從 41.2%到 100%。另二種會出現的菌種是 *Bacillus stearothermophilus* 及 *Micrococcus* 屬，分別屬於 GPB 與 GPC，兩者濃度百分比最高分別是 47.1%及 41.2%。戶外樣本僅 2 種菌，*S. capitis* (68.2%)及 *Micrococcus* 屬(31.8%)，未發現 *B. stearothermophilus*。

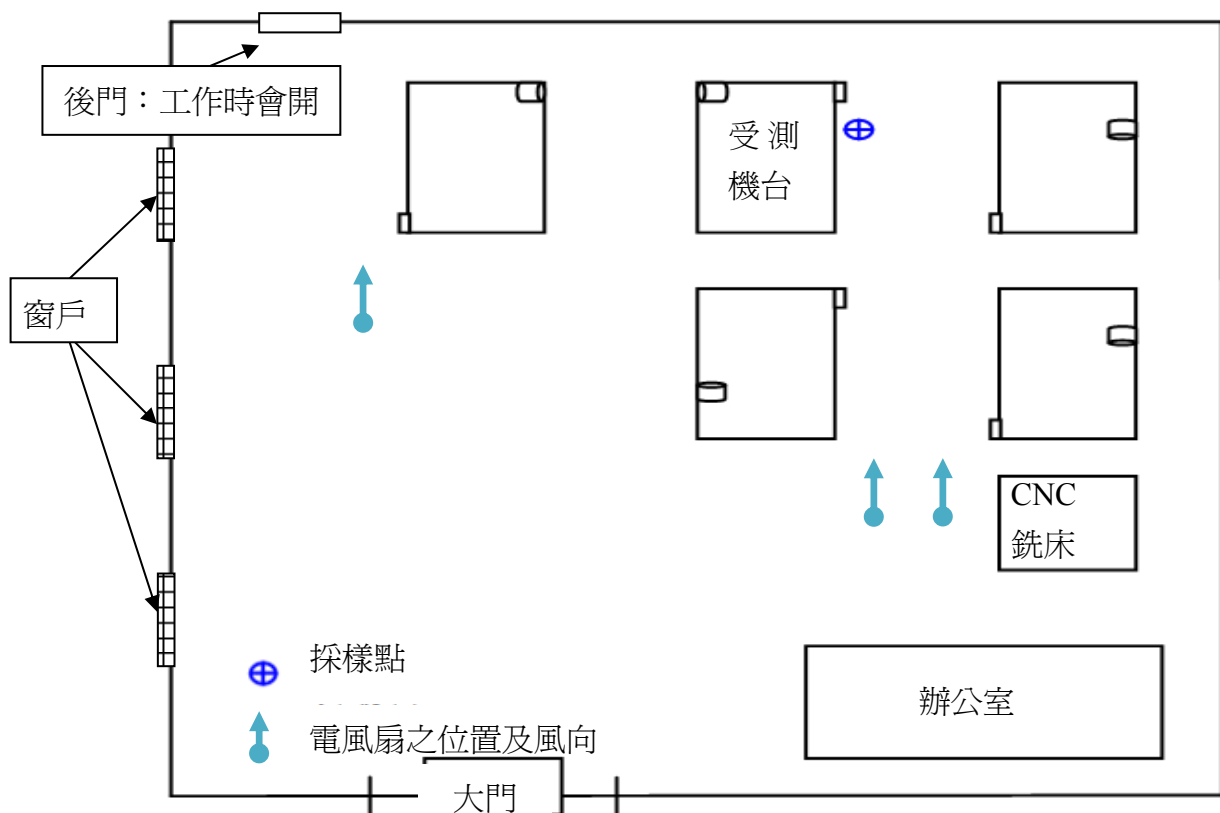


圖 17 B1 廠廠區佈置圖

表 25 B1 廠廠區環境資訊

項次	項目	內容	說明
1	機台	6	5 台有局部排氣裝置之 CNC 1 台一般開放式 CNC 機台
2	MWF	半合成切削液	油水比=1：10
3	人數	5	皆為現場機台操作人員
4	作業模式	1 人操作 1 台機台	無人操作的機台則不開機
5	通風模式	整體換氣	有開窗，有用電風扇輔助
		局部排氣	實測風量=5.6 m ³ /min
6	地板	PU 地板	肉眼僅見微量油漬殘留
7	操作時室溫	33.5±0.3°C	
8	操作時 RH	65.0±0.6%	
9	戶外氣溫	34.0±0.1°C	
10	戶外 RH	62.5±0.5%	



圖 18 B1 廠的立式高壓二段式油霧回收機

表 26 B1 廠之油霧回收機規格

項目	型號	功率	吸入口徑	電壓	週率	轉速	噪音	電流	靜壓	風量
單位	Type No.	kW	mm	V	Hz	rpm	dB	A	mmAq	m ³ /min
數值	LG-200A	0.37	100	220	60	3500	56	1.5	150	9

表 27 B1 廠粉塵粒數濃度(#/L)及移除效率

	dp > 2.5 μm				dp > 5.0 μm			
	前門關閉		前門開啓		前門關閉		前門開啓	
	算術 平均	幾何 平均	算術 平均	幾何 平均	算術 平均	幾何 平均	算術 平均	幾何 平均
off	2043±353	2021	13016±5001	12245	154±34	151	1037±349	992
on	1135±192	1345	2837±232	2831	137±35	134	249±51	245
移除效能 (%)	44.4	33.4	78.2	76.9	11.0	11.3	76.0	75.3

表 28 B1 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能

編號	LE	門	樣本數	濃度 CFU/m ³	O-C [#] CFU/m ³	O-C 平均值 CFU/m ³	移除效能 %
1	on	close/C	2	80*	15	10	63
		open/O	2	95*			
2	on	close/C	2	55	10		
		open/O	2	65			
3	on	close/C	2	55	5		
		open/O	2	60			
4	off	close/C	2	70	15	27	
		open/O	2	85*			
5	off	close/C	2	115*	35		
		open/O	2	150 *			
6	off	close/C	2	55	30		
		open/O	2	85*			
戶外	-	-	6	73±25	* 濃度高於戶外平均值		

[#]表示開門時(O)的濃度減去關門時(C)之濃度。

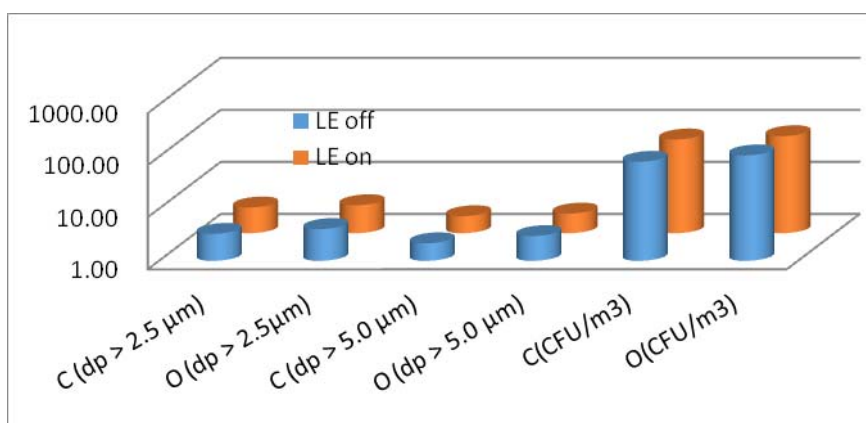


圖 19 B1 粉塵計數與細菌生物氣膠濃度變化趨勢

表 29 B1 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)

		LE on						LE off						戶外
		1		2		3		4		5		6		
菌種	類別	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	GPB	21.1	10.5			9.1	13.6	7.1	47.1	2.7	1.3	18.2		
<i>Micrococcus</i> spp.	GPC	15.8	21.1		38.5	27.3	27.3	35.7	11.8		16.7	27.3	41.2	31.8
<i>Staphylococcus capitis</i>	GPC	63.2	68.4	100	61.5	63.6	59.1	57.1	41.2	73.9	80	54.5	58.8	68.2
合計	GPB	21.1	10.5			9.1	13.6	7.1	47.1	2.7	1.3	18.2		
	GPC	78.9	89.5	100	100	90.9	86.4	92.9	52.9	73.9	96.7	81.8	100	100

C 表示 CNC 機台之前面關閉，O 表示前面打開中。

B2 廠的工廠佈置如圖 20 所示，廠區環境資訊如表 30 所示。廠內設有 14 台機台，包括 4 台有局部排氣裝置之 CNC(圖 21)、6 台無局部排氣裝置之 CNC、及 4 台一般開放式機台，此開放式機台無局部排氣裝置。採用的金屬加工液為半合成切削液，其油水比為 1：10。現場機台操作人員共 10 人，作業模式以 1 人操作 1 台機台為原則，其餘無人操作的機台則不開機。廠房有開窗，並使用電風扇輔助廠內通風，且廠房屋頂有開啓通風設備。地板為水泥材質，肉眼可見油漬殘留。選定某一 CNC 機台，以風罩風量計量測 CNC 機台局部排氣裝置之風量為 7.8 m³/hr。採樣時，廠內、外溫度分別為 32.0°C、31.4°C，室內、外的相對濕度(RH)分別為 66.5%、68.5%。

B2 廠局部排氣裝置為橫式高壓二段式油霧回收機，其規格如表 31 所示。設計風量為 9 m³/min，由表 32 得知實測風量為 7.8 m³/min，為設計風量之 72%。

CNC 機台作業現場之細菌生物氣膠濃度測定結果如表 32 所示。戶外濃度為 375 CFU/m³，作業場所濃度有 3 筆數值比戶外濃度高，都是出現在未啓動油霧回收機，且打開 CNC 前門作業時。無論局部排氣裝置是否啓動，CNC 前門開啓後所測得知濃度，均大於前門開啓前之濃度。局部排氣裝置開啓期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 70 到 80 CFU/m³，平均值為 75 CFU/m³。未使用局部排氣裝置期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 190 到 335 CFU/m³，平均值為 268 CFU/m³，局部排氣效能為 72%。

在細菌生物氣膠菌種分布中如表 33 所示，無論局部排氣裝置是否啓動，也無論 CNC 機台前門是否開啓，甚至包括戶外，所有樣本均有出現 *Aeromonas hydrophila*、*Staphylococcus hominis* 及 *Vibrio fluvialis*，分別屬於 GNB、GPC 及 GNB。其中，*A. hydrophila* 濃度百分比數值範圍從 46.2%到 70.5%，*S. hominis* 濃度百分比數值範圍從 1.1%到 15.8%，*V. fluvialis* 濃度百分比數值範圍從 15.9%到 48.4%。另會出現的菌種是 *Bacillus licheniformis* 及 *Staphylococcus* spp.，類別分別為 GPB 及 GPC，濃度百分比最

高值別是 4.4%及 5.9%。B2 廠細菌生物氣膠，以 GNB 佔多數，濃度百分比數值範圍從 78.9%到 94.5%。

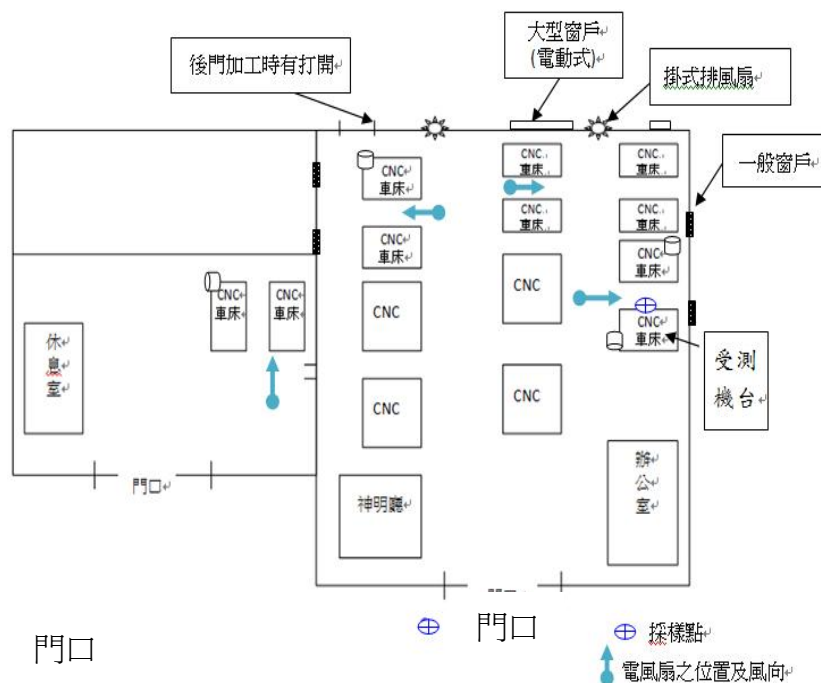


圖 20 B2 廠廠區佈置圖

表 30 B2 廠廠區環境資訊

項次	項目	內容	說明
1	機台	14	4 台有局部排氣裝置之密閉式 CNC 6 台無局部排氣裝置之 CNC 4 台一般開放式 CNC 機台
2	MWF	半合成切削液	油水比=1：10
3	人數	10	皆為現場機台操作人員
4	作業模式	1 人操作 1 台機台	其餘無人操作的機台則不開機
5	通風模式	整體換氣	有用電風扇輔助，有開窗，廠房屋頂有通風設備
		局部排氣	實測風量=7.8 m ³ /min
6	地板	水泥	肉眼可見油漬殘留
7	操作時室溫	32±0.1°C	
8	操作時 RH	66.5±0.6%	
9	戶外氣溫	31.4±0.1°C	
10	戶外 RH	68.5±1.1%	



圖 21 B2 廠的橫式高壓二段式油霧回收機

表 31 B2 廠之油霧回收機規格

項目	型號	功率	吸入口徑	電壓	週率	轉速	噪音	電流	靜壓	風量
單位	Type No.	kW	mm	V	Hz	rpm	dB	A	mmAq	m ³ /min
數值	LG-200B	0.37	100	220	60	3500	56	1.5	150	9

表 32 B2 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能

編號	LE	門	樣本數	濃度 CFU/m ³	O-C [#] CFU/m ³	O-C 平均值 CFU/m ³	移除效能 %
1	on	close/C	2	270*	80	75	72
		open/O	2	350*			
2	on	close/C	2	225*	70		
		open/O	2	295*			
3	off	close/C	2	120	280		
		open/O	2	400 *			
4	off	close/C	2	205*	335	268	
		open/O	2	540 *			
5	off	close/C	2	295*	190		
		open/O	2	485 *			
戶外	-	-	4	188	* 濃度高於戶外平均值		

[#]表示開門時(O)的濃度減去關門時(C)之濃度。

表 33 B2 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)

		LE no				LE off						戶外
		1		2		1		2		3		
菌種	類別	C*	O*	C	O	C	O	C	O	C	O	
<i>Aeromonas hydrophila</i> *	GNB	65.4	53.7	70.5	59.6	50.0	51.3	46.2	64.4	61.8	46.2	43.2
<i>Vibrio fluvialis</i>	GNB	25.0	35.8	15.9	19.3	41.7	39.5	46.2	18.8	32.7	48.4	54.1
<i>Bacillus licheniformis</i>	GPB	1.9	1.5					2.6	3.0	1.8	4.4	
<i>Staphylococcus hominis</i>	GPC	7.7	7.5	13.6	15.8	8.3	7.9	5.1	7.9	3.6	1.1	2.7
<i>Staphylococcus spp.</i>	GPC		1.5		5.3		1.3		5.9			
合計	GPB	1.9	1.5					2.6	3.0	1.8	4.4	
	GPC	7.7	9.0	13.6	21.1	8.3	9.2	5.1	13.9	3.6	1.1	2.7
	GNB	90.4	89.6	86.4	78.9	91.7	90.8	92.3	83.2	94.5	94.5	97.3

C 表示 CNC 機台之前面關閉，O 表示前面打開中。

*屬於 RG2 菌種

C 廠的工廠佈置如圖 22 所示，廠區環境資訊如表 34 所示。廠內設有 1 台 CNC 機台，均有局部排氣裝置(圖 23)，採用的金屬加工液為半合成切削液，其油水比為 1：20。現場機台操作人員共 1 人，作業模式以 1 人操作 1 台機台為原則，其餘無人操作的機台則不開機。廠區有設置窗戶，並使用電風扇輔助廠內通風。地板為水泥地板，肉眼看不到油漬殘留。選定某一 CNC 機台，以風罩風量計量測其局部排氣裝置風量為 3.2 m³/hr。採樣時，廠內、外溫度分別為 31.5°C、33.2°C、室內、外的相對濕度 (RH)分別為 49.5%、50.3%。C 廠局部排氣裝置為油霧回收空氣清淨機，其規格如表 35 所示。設計風量為 8.3 m³/min，由表 36 得知實測風量為 3.2 m³/min，為設計風量之 39%。

CNC 機台作業現場之細菌生物氣膠濃度測定結果如表 36 所示。戶外濃度為 238 CFU/m³，作業場所濃度只有 1 筆(253 CFU/m³)比戶外濃度高，是在啓動油霧回收機，且打開 CNC 前門作業時。無論局部排氣裝置是否啓動，CNC 前門開啓後所測得之濃

度，均大於前門開啓前之濃度。局部排氣裝置開啓期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 12 到 33 CFU/m³，平均值為 21 CFU/m³。未使用局部排氣裝置期間，前門打開後細菌生物氣膠濃度增加量，數值範圍從 32 到 48 CFU/m³，平均值為 38 CFU/m³，局部排氣效能為 46%。

在細菌生物氣膠菌種分布中如表 37 所示。在局部排氣裝置是否啓動，與 CNC 機台前門是否開啓，甚至包括戶外，所有樣本均有出現 3 種菌，濃度最高的菌種是 *Chryseobacterium indologenes*，其類別為 GNB，其濃度百分比從 74.1%到 91.6%，皆超過半數。另一種也是 GNB 的菌種是 *Aeromonas hydrophila*，濃度百分比範圍從 3.7%到 18.8%。第 3 種也都有出現的菌種是 *S. capitis*，其類別為 GPC，濃度百分比 0.7%到 5.9%之間。*Bacillus pumilus* 也幾乎出現在所有樣本中，最高值是 5.9%。廠區內樣本亦有測得 *Pantoea* spp.(2.4%)、*Micrococcus* spp.(1.0%~1.2%)，其類別為 GNB 及 GPC。整體而言，各樣本幾乎都是 GNB，佔 90.6%~98.6%，因為濃度最高的 2 種菌皆屬於 GNB。

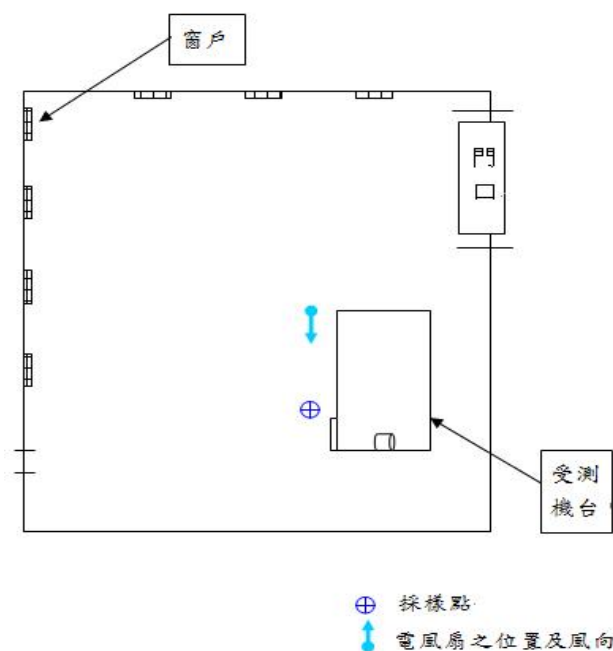


圖 22 C 廠廠區佈置圖

表 34 C 廠廠區環境資訊

項次	項目	內容	說明
1	機台	1 台密閉式 CNC	有裝局部排氣裝置
2	MWF	半合成切削液	油水比=1：20
3	人數	1	現場機台操作人員
4	作業模式	1 人操作 1 台機台	無人操作的機台則不開機
5	通風模式	整體換氣	有用電風扇輔助，有開窗
		局部排氣	實測風量 = 3.2 m ³ /min
6	地板	PU 地板	肉眼看不到油漬殘留
7	操作時室溫	31.5±0.3°C	
8	操作時 RH	49.5±0.8%	
9	戶外氣溫	33.2±0.3°C	
10	戶外 RH	50.3±0.1%	



圖 23 C 廠的油霧收集回收過濾機

表 35 C 廠之油霧回收空氣清淨機規格

項目	功率	吸入口徑	電壓	週率	噪音	風量
單位	kW	mm	V	Hz	dB	m ³ /min
數值	0.55	15	220	60	65	8.3

表 36 C 廠 CNC 機台作業現場的細菌生物氣膠濃度及移除效能

編號	LE	門	樣本數	濃度 CFU/m ³	O-C [#] CFU/m ³	O-C 平均值 CFU/m ³	移除效能 %
1	on	close/C	2	172	17	21	46
		open/O	2	188			
2	on	close/C	2	220	33		
		open/O	2	253 *			
3	on	close/C	2	218	12		
		open/O	2	230			
4	off	close/C	2	140	48	38	
		open/O	2	188			
5	off	close/C	2	200	33		
		open/O	2	233			
6	off	close/C	2	190	32		
		open/O	2	222			
戶外	-	-	6	238±34	* 濃度高於戶外平均值		

#表示開門時(O)的濃度減去關門時(C)之濃度。

表 37 C 廠所使用之細菌生物氣膠菌種分布(%)

		LE on						LE off						戶外
		1		2		3		4		5		6		
菌種	類別	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	
<i>Aeromonas hydrophila</i> *	GNB	7.2	14.1	9.8	5.0	8.3	8.7	10.0	18.8	18.3	9.3	3.7	8.1	14.8
<i>Chryseobacterium indologenes</i>	GNB	90.7	74.1	84.4	93.5	84.3	89.0	82.5	74.1	79.8	86.8	91.6	88.6	83.2
<i>Pantoea</i> spp.	GNB		2.4											
<i>Bacillus pumilus</i>	GPB		2.4	2.5	0.7	5.0	1.6	2.5	5.9	1.0	0.8	3.7	1.6	1.3
<i>Micrococcus</i> spp.*	GPC	1.0	1.2											
<i>Staphylococcus capitis</i>	GPC	1.0	5.9	3.3	0.7	2.5	0.8	5.0	1.2	1.0	3.1	0.9	1.6	0.8
合計	GNB	97.9	90.6	94.3	98.6	92.6	97.6	92.5	92.9	98.1	96.1	95.3	96.7	98.0
	GPB		2.4	2.5	0.7	5.0	1.6	2.5	5.9	1.0	0.8	3.7	1.6	1.3
	GPC	2.1	7.1	3.3	0.7	2.5	0.8	5.0	1.2	1.0	3.1	0.9	1.6	0.8

C 表示 CNC 機台之前面關閉，O 表示前面打開中。

*屬於 RG2 菌種

統整 6 家事業單位 CNC 機台設置之油霧回收機之資訊，如表 38 所示，設計風量數值範圍自 8.3 至 20.0 m³/min，實測風量數值範圍自 3.2 至 7.8 m³/min，實測風量會低於設計風量，此風量比值數值範圍自 37 至 86%，相對應之細菌生物氣膠移除效能數值範圍自 21 至 72%。由於 A1 為隧道式 CNC 機台，其移除效能之評估方式與其他 5 台不同，不宜一起比較。因此，就以 A2 至 C 廠之 5 台油霧回收機之特性，進行分析。

表 38 油霧回收機風量特性

廠別	A1	A2	A3	B1	B2	C
實測風量(m ³ /min)	7.3	6.2	6.1	5.6	7.8	3.2
設計風量(m ³ /min) [#]	20.0	10.5	12.0	9.0	9.0	8.3
風量比值(%)	37	59	51	62	86	39
移除效能(%)	21	58	65	63	72	46

[#]依廠商提供之規格，為沒有過濾設備時之風量。

而 CNC 機台之前面門開關對菌落數的差異性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定，發現達顯著性差異 ($p=.001$)。再者，細菌生物氣膠移除效能與實測風量之關係，如圖 24 所示，細菌生物氣膠移除效能大致與實測風量呈正相關 ($R^2=0.89$)，意即油霧回收機的實測風量愈大，細菌生物氣膠移除效能愈高。

細菌生物氣膠移除效能與風機實測風量比值之關係，如圖 25 所示。細菌生物氣膠移除效能大致與風機實測風量比值呈正相關 ($R^2=0.73$)，意即實測風量愈接近設計風量，細菌生物氣膠移除效能就愈高。但其實這也跟設計風量有關，因自變項是比值，分母是設計風量。這 5 台油霧回收機之設計流量並不相同。

細菌生物氣膠移除效能與風機設計風量之關係，如圖 26 所示。細菌生物氣膠移除效能與風機設計風量無顯著相關 ($R^2=0.11$)。

細菌生物氣膠移除效能(%)

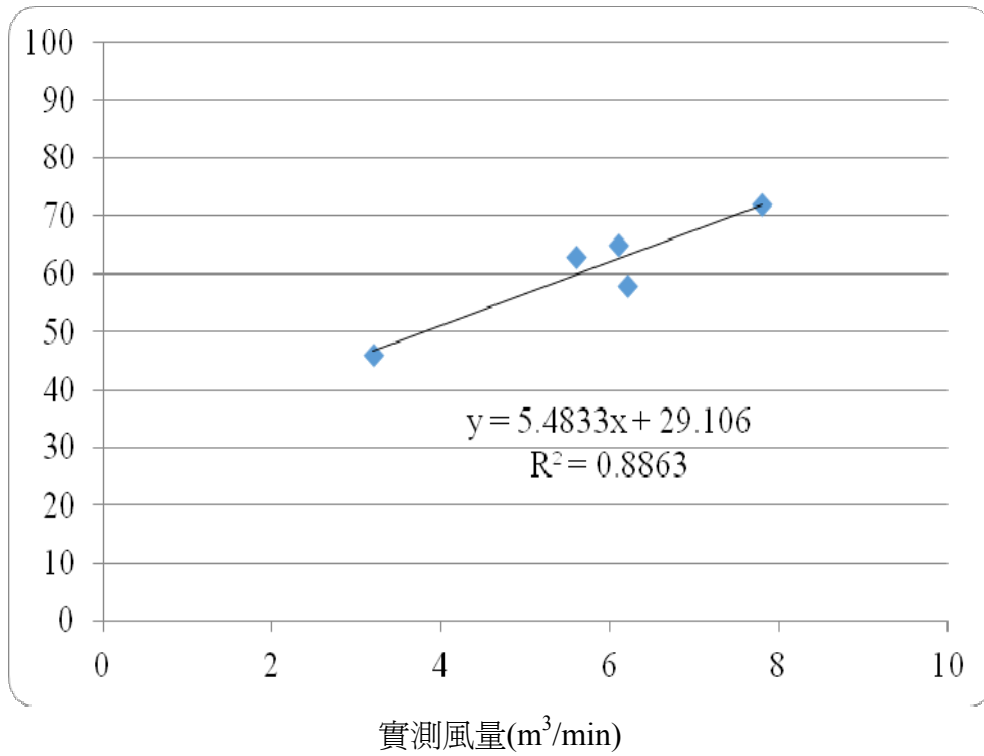


圖 24 細菌生物氣膠移除效能與實測風量之關係

細菌生物氣膠移除效能(%)

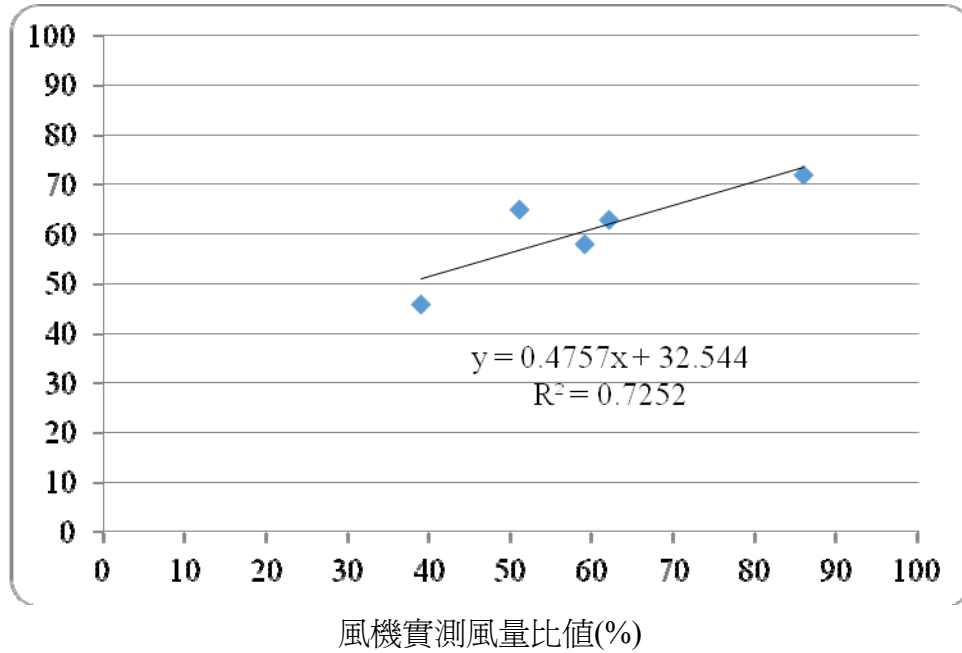


圖 25 細菌生物氣膠移除效能與風機實測風量比值之關係

細菌生物氣膠移除效能(%)

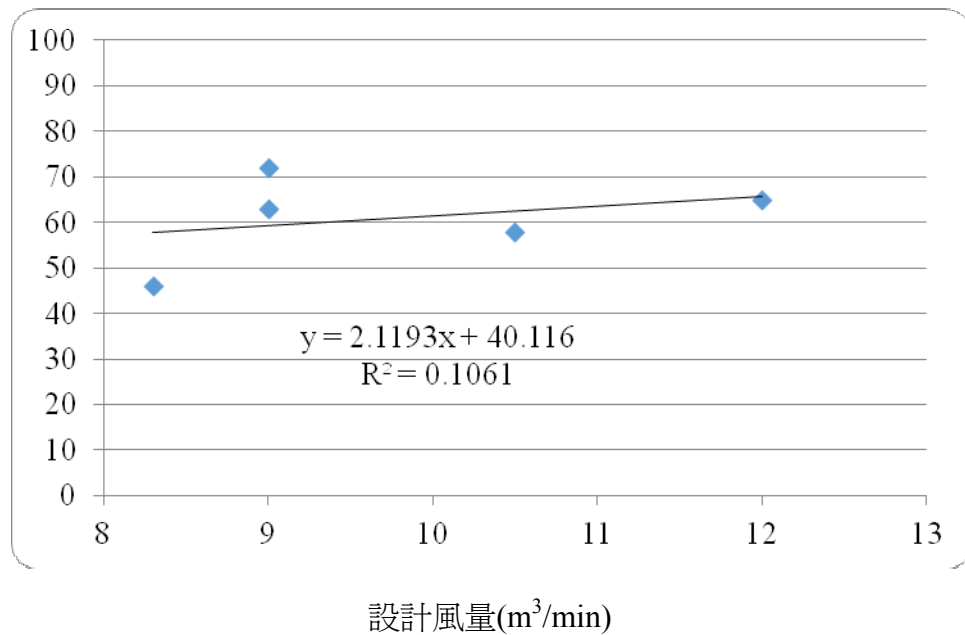


圖 26 細菌生物氣膠移除效能與設計風量之關係

由圖 24 及圖 25 得知，為提昇油霧回收機對細菌生物氣膠之移除效能，應儘量選定設計風量較高之油霧回收機，並儘量提昇實測風量與設計風量之比值。但設計風量愈大，所需用電量及電費就會愈高。事業單位應就 CNC 機台操作特性與作業環境品質之需求，選定最適當之規格。

實測風量與設計風量之比值，與使用年限及濾材之壓損等因素有關。目前大部分事業單位並無明確定期檢測壓損或風量之管理機制，建議依勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法之規定，每年定期實施檢查1次。依40條規定，檢查項目包括：

- 一、氣罩、導管及排氣機之磨損、腐蝕、凹凸及其他損害之狀況及程度。
- 二、導管或排氣機之塵埃聚積狀況。
- 三、排氣機之注油潤滑狀況。
- 四、導管接觸部分之狀況。
- 五、連接電動機與排氣機之皮帶之鬆弛狀況。[本項目可能不適用於油霧回收機]
- 六、吸氣及排氣之能力。

七、設置於排放導管上之採樣設施是否牢固、鏽蝕、損壞、崩塌或其他妨礙作業安全事項。[本項目可能不適用於油霧回收機]

八、其他保持性能之必要事項。

油霧回收機屬空氣清淨裝置之一種，依第41條規定，它另有4項檢查要點：

- 一、構造部份之磨損、腐蝕及其他損壞之狀況及程度。
- 二、除塵裝置內部塵埃堆積之狀況。
- 三、濾布式除塵裝置者，有濾布之破損及安裝部份鬆弛之狀況。
- 四、其他保持性能之必要措施。

第四節 防護具的現況調查與相關性分析

經由現場觀察，在各廠防護具使用方面，大部分都未佩戴防個人防護具，只有A1及A2廠之主要工作者有使用口罩。另外，B1及B2廠區內各有2位員工穿戴棉紗手套，至於護目鏡或面罩，則無人穿戴。其個人防護具使用特性如表39所示。

表 39 各廠工作者個人防護具使用情形

廠別	呼吸防護具		手套		護目鏡/面罩	
	種類	穿戴比例	種類	穿戴比例	種類	穿戴比例
A1	活性炭 口罩	2/2	未使用	0/2	未使用	0/2-
A2	醫用 口罩	1/3	未使用	0/3	未使用	0/3
A3	未使用	0/5	未使用	0/5	未使用	0/5
B1	未使用	0/5	棉紗	2/5	未使用	0/5
B2	未使用	0/10	棉紗	2/10	未使用	0/10
C	未使用	0/1	未使用	0/1	未使用	0/1

第四章 結論與建議

第一節 結論

- 一、油霧回收機設計人員雖然非職安衛相關科系所畢業的合格人員，但具有相關工作經驗。油霧回收機之效能，大致符合事業單位之需求。
- 二、除了較具規模之大廠以外，一般小型企業在裝置油霧回收機後，較少按時定期實施維護與檢查時程，亦較少有受過訓練之管理人員。
- 三、選用油霧回收機作為局部排氣裝置，可降低工作場所之細菌生物氣膠濃度及粉塵粒數濃度。本計畫所選用之有使用油霧回收機之工作場所，其細菌生物氣膠濃度皆未超過室內空氣品質標準 (1,500 CFU/m³)。
- 四、使用油霧回收機，有機會使作業場所之細菌生物氣膠濃度低於戶外濃度值。
- 五、油霧回收機對細菌生物氣膠之移除效能，與該回收機之實測風量有正相關。
- 六、一般小型企業大多未穿戴個人防護具。中大型事業單位較可能要求勞工穿戴口罩。部份事業單位之勞工會穿戴棉紗手套。

第二節 建議

- 一、機台在運轉時，由於加工時間短暫，開門次數頻繁，容易造成細菌生物氣膠無法完整被去除，可針對加工時間長短，進一步評估生物氣膠逸散特性。
- 二、機台機身，包括其前門，如果密閉性不好，容易逸散油霧滴及生物氣膠，也可能降低油霧回收機之集氣效果，作業時需隨時注意。
- 三、因勞工不見得清楚金屬加工液的成分，也常未使用個人防護設備，容易遭受油霧滴及生物性危害。建議僱主應提供適當之個人防護具，並使勞工穿戴。由於金屬加工液產生之氣膠主要是油性霧滴，因此可優先選擇佩戴 P 級或 R 級口罩，N 級口罩則可能比較不適當。但對稀釋之水溶性切削液，就比較可以不用考慮此限制。
- 四、由於操作密閉式 CNC 機台之主要暴露時機是在打開機台前門以便更換物件時，

或前門未妥善關閉時。因此，未於機台前門作業時，可儘量與機台前門保持距離，以減少暴露危害。

- 五、在金屬加工製程結束後，作業員需開前門取件，並使用空氣噴槍噴除物件上殘留之金屬加工液，此時可能會造成含細菌之金屬加工液液滴之逸散，使作業中細菌生物氣膠停留在空氣中無法有效去除。故，在使用空氣噴槍時，應儘量在機台內，使切削液及產生之油霧滴留在機台內，避免霧滴逸散或噴濺至機台外。
- 六、細菌生物氣膠之採樣，可選擇其他替代方案，例如內毒素及無法被廣效性培養出來的細菌。至於這些評估方法及採樣所需時間等採樣策略相關議題，可進一步研究。
- 七、各廠區採集之細菌生物氣膠樣本之優勢菌種分布不見得一致，可能與製程及金屬加工物件特性有關，此現象可進一步評估。
- 八、所選定之 CNC 機台，其所使用的都是半合成切削液，非純礦物性之切削油，因此，CNC 機台所產生之霧滴，是否仍屬礦物性之油霧滴，需進一步評估。而霧滴質量濃度之量測，可考慮於未來相關研究中採行。
- 九、粉塵濃度量測之粒徑選擇，建議在未超過該儀器之濃度偵測上限(105,900 #/L)的前題下，設成 0.3 μm 及 2.5 μm ，其中 0.3 μm 是 Met One 的偵測下限，意即 Met One 能測得之最大範圍粒徑之粒數濃度，可相當於環保署之 TSP；2.5 μm 即相當於環保署 PM2.5 之粒徑大小。如此，>0.3 μm 與 >2.5 μm 所測得數值之差，即可對應於 PM2.5。對於生物氣膠，可將其中一數值，設成與生物氣膠採樣器之 dp_{50} 一致，如此測得之粒數濃度，可與生物氣膠濃度比對。例如安德森一階或 SKC Biostage 的 dp_{50} 是 0.65 μm ，意即該儀器可設成 0.6 μm 或 0.7 μm 。
- 十、油霧回收機，效果形同室內空氣清淨，致使室內濃度低於室外。本計畫在未開啓局部排氣狀況下之勞工作業時段，相對而言是短的，且其他未受測機台之油霧回收機並未暫停操作，因此不太會馬上造成作業場所濃度迅速上升到超過戶外濃度。再者，部分廠區的室內濃度低於室外(未開啓局部排氣)，且菌種相關性極高，主要可能是因戶外採樣點就在門口附近，與室內空氣相通。因此，為降低作業環境空氣中有害物之濃度，維護工作者健康，使用金屬加工液之事業單位，應設置有效之局部排氣裝置及油霧回收機。

誌 謝

本研究參與人員除本所洪柏宸副研究員、羅仕麟助理研究員外，尚包括台灣職業衛生學會林子賢副教授研究團隊等人，在此深表感激。在研究過程中，感謝參與本計畫審查之所有委員提供寶貴之審查意見，使本研究更臻於完善，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 林子賢、洪柏宸、羅仕麟：使用金屬加工液作業產生之生物氣膠濃度特性與勞工健康效應評估 (IOSH101-H308)。新北市：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2013。
- [2] Furture Fluid Solutions. Cutting oils. 2012. <http://www.ffs.url.tw/index.htm>
- [3] Gilbert Y, Veillette M, Mériaux A, Lavoie J, Cormier Y, Duchaine C. Metalworking fluid-related aerosols in machining plants. *J Occup Environ Hyg* 2010; 7(5): 280-9.
- [4] Mattsby-Baltzer I, Sandin M, Ahlstrom B, Allenmark S, Edebo M, Falsen E, et al. Microbial growth and accumulation in industrial metal-working fluids. *Appl Environ Microbiol* 1989; 55(10): 2681-9.
- [5] Boucher D, Laffaire JB, Jaziri F, David C, Biderre-Petit C, Duquenne P, et al. Bacterial community composition of biological degreasing systems and health risk assessment for workers. *Microbial Ecology* 2011; 62(4): 868-81.
- [6] Dilger S, Fluri A, Sonntag HG. Bacterial contamination of preserved and non-preserved metal working fluids. *Int J Hyg Environ Health* 2005; 208: 467-76.
- [7] Saha R, Donofrio RS, Bagley ST. Development of a real-time TaqMan assay to detect *mendocina* sublineage *Pseudomonas* species in contaminated metalworking fluids. *J Ind Microbiol Biotechnol* 2010; 37: 843-8.
- [8] Saha R, Donofrio RS, Goeres DM, Bagley ST. Rapid detection of rRNA group I *Pseudomonas* in contaminated metalworking fluids and biofilm formation by fluorescent in situ hybridization. *Appl Microbiol Biotechnol* 2012; 94(3): 799-808.
- [9] Cyprowski M, Piotrowska M, Żakowska Z, Szadkowska-Stańczyk I. Microbial and endotoxin contamination of water-soluble metalworking fluids. *Int J Occup Med Environ Health* 2007; 20(4): 365-71.

- [10] Liu HM, Lin YH, Tsai MY, Lin WH. Occurrence and characterization of culturable bacteria and fungi in metalworking environments. *Aerobiologia* 2010; 26: 339-50.
- [1] Piacitelli GM, Sieber WK, O'Brien DM, Hughes RT, Glaser RA, Catalano JD. Metalworking fluid exposures in small machine shops: an overview. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001; 62(3): 356-70.
- [12] Ross AS, Teschke K, Brauer M, Kennedy SM. Determinants of exposure to metalworking fluid aerosol in small machine shops. *Ann Occup Hyg* 2004; 48(5): 383-91.
- [13] Veillette M, Thorne PS, Gordon T, Duchaine C. Six month tracking of microbial growth in a metalworking fluid after system cleaning and recharging. *Annals Occup Hyg* 2004; 48(6): 541-6.
- [14] Gilbert Y, Veillette M, Duchaine C. Metalworking fluids biodiversity characterization. *J Appl Microbiol* 2010; 108(2): 437-49.
- [15] Rossmore HW. Antimicrobial agents for water-based metalworking fluids. *J Occup Health* 1981; 23(4): 247-54.
- [16] Rossmore HW, Rossmore LA. Factors affecting selection of metalworking fluid biocides. *Lubrication Engineering* 1996; Jan: 23-8.
- [17] Chazal PM. Pollution of modern metalworking fluids containing biocides by pathogenic bacteria in France. Reexamination of chemical treatments accuracy. *Eur J Epidemiol* 1995; 11: 1-7.
- [18] Barber CM, Burton C, Robinson E, Crook B, Evans G, Fishwick D. To the editors: Hypersensitivity pneumonitis and metalworking fluids contaminated by mycobacteria. *Eur Respir J* 2011; 38(2): 486-7.
- [19] 林子賢：工業通風。3 版，新北市，新文京開發出版股份有限公司；2012。
- [20] 林子賢、賴全裕、呂牧蓁：作業環境控制-通風工程。3 版，新北市，新文京開發出版股份有限公司；2012。

- [21] 陳友剛：局部排氣裝置設計的探討 (IOSH86-H303)。新北市：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；1998。
- [22] 蔡朋枝、林子賢：作業環境通風系統評估技術開發 (IOSH97-H101)。新北市：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2009。
- [23] 行政院環境保護署環境檢驗所：空氣中細菌濃度檢測方法 (NIEA E301.13C)。2013.8.15 生效。Available at: <http://www.niea.gov.tw/niea/doc/E30113C.doc>
- [24] Burge HA, Feeley JC, Kreiss K, Milton D, Morey PR, Otten JA, et al. Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment. Cincinnati, OH, US: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1989.
- [25] 張靜文、林洺秀、周晉澄、潘銘正、鄭純彬、林宜謙：養豬場生物氣膠暴露危害研究(二)-細菌菌種分析與探討 (IOSH85-H302)。新北市：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；1997。
- [26] 林子賢、黃彬芳：大眾運輸工具的生物氣膠特性暴露調查 (IOSH96-H101)。新北市：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2008。
- [27] Metalworking Fluids Standard Advisory Committee (MWFSAC). Metalworking fluids: safety and health best practices manual. Washington, DC: Occupational Safety and Health Administration (OSHA); 1999. Available at: https://www.osha.gov/SLTC/metalworkingfluids/metalworkingfluids_manual.html
- [28] 永印科技股份有限公司，http://www.yoen.com.tw/c_product_05.asp。
- [29] 升圓企業有限公司，<http://www.serve-well.com/cht/oil-mist-collectors/lg-200a.html>。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

金屬加工液作業環境細菌生物氣膠控制技術效能評估 / 洪柏宸, 林子賢研究主持. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民 103.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-0756-3(平裝)

1. 職業衛生 2. 環境衛生

412.53

103004979

金屬加工液作業環境細菌生物氣膠控制技術效能評估
著(編、譯)者: 洪柏宸、林子賢

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 103 年 3 月

版(刷)次: 1 版 1 刷

定價: 150 元

展售處:

五南文化廣場

台中市中區中山路 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「出版中心」, 網址為 <http://www.ilosh.gov.tw/wSite/np?ctNode=273&mp=11>
- 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。

【版權所有, 翻印必究】

GPN: 1010300894

ISBN: 978-986-04-0756-3