

綜論

連續進料CNC機台加裝油霧回收機之細菌生物氣膠 移除效能評估

林子賢^{1,2} 賴慶忠³ 洪柏宸⁴ 劉惠銘⁵

¹ 中國醫藥大學職業安全與衛生學系

² 中國醫藥大學口腔衛生學系

³ 弘光科技大學環境工程研究所

⁴ 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

⁵ 弘光科技大學環境與安全衛生工程系暨職業安全與
防災研究所

摘要

本研究針對使用連續進料的數值控制工具機台(Computer Numerical Control, CNC)之金屬加工作業場所，進行具有局部排氣功能的油霧回收機，對於細菌生物氣膠之移除效能的研究調查。研究中以MAS-100生物氣膠採樣器採集局部排氣裝置未運轉及運轉中的細菌生物氣膠，以API™鑑定套件進行鑑定；同時以風罩風量計測定油霧回收機出口處的風量，以及使用直讀式雙通道粉塵計測定粉塵粒數濃度。

連續進料CNC機台的金屬加工作業環境中，其細菌濃度皆低於戶外測值，也低於環保署規範的室內空氣品質標準1,500 CFU/m³。其機台出料口的細菌的移除效能為21.2%，機台前門測點的細菌的移除效能為12.8%；菌種鑑定之後發現以*Staphylococcus hominis*為其優勢菌種。在連續作業進行中，出料口dp介於2.5~5 μm的粉塵粒數濃度，未使用油霧回收機為76,256±34,743粒數/L，使用之後大幅度降至1,014±362粒數/L；至於dp>5.0 μm的粉塵粒數濃度，使用油霧回收機後由11,534±9,784粒數/L降至150±50粒數/L。

本研究發現連續進料CNC機台裝設油霧回收機後，能夠有效移除油霧液滴，並降低室內細菌生物氣膠濃度，使其低於室外測值。

關鍵字：金屬加工液、細菌生物氣膠、油霧回收機、連續進料CNC機台

民國 104 年 1 月 15 日投稿，民國 104 年 5 月 18 日修改，民國 104 年 6 月 14 日接受。

通訊作者：劉惠銘，弘光科技大學環境與安全衛生工程系暨職業安全與防災研究所，43302臺中市沙鹿區臺灣大道六段108號，電子郵件信箱：hmlu@sunrise.hk.edu.tw。

前言

在一般金屬加工業在加工過程中，常使用金屬加工液(metalworking fluid, MWF)，例如銑削、CNC(computer numerical control)車床車削及研磨[1]；金屬加工液也應用在機械或表面的潤滑研磨過程，而帶走接觸面的金屬碎屑、消除接觸面產生的熱能。金屬加工液通常可分為四大類：直餾油（含60-100%礦物油）、可溶性之金屬加工液（含30-85%礦物油）、半合成的金屬加工液（含5-30%礦物油）、合成的金屬加工液（完全不含礦物油）。其中，後三者以水為基底，而水含量可達95%[2]。

於十九世紀中，金屬加工液最早用於汽車業與航空業，當時使用的金屬加工液為油基型金屬加工液，直到西元1915年業界開始使用可溶性的金屬加工液，至於半合成金屬加工液與合成金屬加工液分別於1947與1950年開始使用，而這些含水的金屬加工液通常具有較好的冷卻性能及潤滑效果。但是含水的金屬加工液富含有機質，常導致細菌滋生[3]。因此，大部分金屬加工液除了有添加礦物油或合成油外，通常會含有殺菌劑，以及各種添加劑（例如乳化劑、潤滑劑、抗泡劑、腐蝕抑制劑）[4]。

由於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。為了要降低金屬加工液作業場所的生物性危害，不同作業措施可以降低由於使用金屬加工液而伴隨產生的生物氣膠，例如：金屬加工液的溫度、機台大小及位置，或金屬加工液循環時間、工業通風裝置與使用個人防護具等[5]。一般工廠的最常見措施就是裝置工業通風與使用個人防護具，但是如果密閉系統或局部排氣裝置效能不彰時，會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[6-8]。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而成為生物氣膠；已經有許多的研究指出油霧滴含有細菌生物氣膠[10-13]。Mattsbj-Baltzer等人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，例如在距離作業處0.5、1.5、3、10公尺遠的空氣中測到 3.9×10^4 、 1.6×10^4 、 1.0×10^3 、 2.3×10^2 CFU/m³的濃度[14]，可見距離金屬加工液越近的區域，測得的生物氣膠的濃度越高。

在一般使用金屬加工液的情況下，產生的生物氣膠濃度最高出現在高速工具或深切割金屬加工的操作，特別是當這些過程通風不足或是非封閉系統[8]。Piacitelli等人的研究發現，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[15]；例如CNC切削工人一般全天執行不同的任務，並且都站在機器附近，直到工作的週期完成；因此，這些CNC切削勞工有很多的時間接近機器與金屬加工液；而且，金屬加工液在高速加工過程中的會經由噴射或噴霧逸散到作業場所空氣中，即使在密閉的CNC切削機，也會增加勞工暴露在細菌生物氣膠的風險。

局部排氣裝置是一般作業場所中常見的空氣有害物控制工程改善方法，它是在污染物發生源以抽氣的方式將污染物吸收捕集，並加以排除的通風方式。通常局部排氣裝置均會設置有空氣清淨裝置，其目的為使排出的空氣品質合乎環保標準，與保護排氣機使其不至於受到污染物腐蝕。目前大多數的工廠的CNC工作母機系統會加裝油霧回收機作為空氣清淨裝置，以去除金屬加工液所產生的有毒氣體與生物氣膠[16]。而油霧回收機的種類可分為Machine-mounted systems、Ducted single machining

center systems、Ducted cellular systems與Ducted central mist collection systems[17]。油霧回收機的構造通常為多層式過濾，一般市售第一層為不鏽鋼過濾心器，可濾除大部分的切削油霧，第二層過濾網可加強過濾殘餘的油霧，過濾後的金屬加工液再經過迴油口回流至CNC機台的油槽，金屬加工液可循環使用。

為保障工作者安全及健康，以及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，對於使用金屬加工液的作業場所，不僅應加裝油霧回收機以避免污染物散逸至作業環境而影響作業人員的健康，而且也須要評估工業通風裝置的性能，則可以作為金屬加工液作業場所裝置工業通風之參考依據。

研究方法

1. 採樣策略及規劃

本研究的主要目的在探討使用金屬加工液的作業場所的有害物控制防護裝置的效能評估。於使用金屬加工液的作業環境中，進行現場調查機台的局部排氣裝置，分析在局部排氣裝置有無運轉時，對有害物的移除效能。

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，以調整採樣時間。

2. 採樣方法

在使用金屬加工液的作業場所現場實測時，使用MAS-100生物氣膠採樣器來收集細菌生物氣膠，以了解勞工在使用金屬加工液的

工作環境下，勞工呼吸區所暴露的細菌濃度及菌種分布情形。採樣時機選擇其常日班作業期間，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），高度為1.5公尺，為勞工呼吸區[18]。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。

由於作業場所在局部排氣裝置啟動，能有效排除逸散的生物氣膠，生物氣膠的濃度較低，因此，本研究使用MAS-100採樣器(Andersen sampler, Merck Inc., USA)進行採樣，MAS-100採樣器之流量設定為100 L/min，採樣時的採樣器旋轉90°使採樣入口面向風向，而且在採樣前後以儀器內建系統進行校正流量。

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。採樣時間為1分鐘，採樣完成後先標記並以石蠟膜密封保存。

3. 細菌培養基配製

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[19]。TSA培養基調配均勻後，放置於高壓滅菌釜中，在攝氏121度滅菌15分鐘以滅菌。滅菌後培養基冷卻至攝氏45度，並在無菌操作台內倒入20 ml培養基於培養皿中，放置過夜以使培養基凝固乾燥，再保存於室溫培養箱中待用。

4. 細菌鑑定

MAS-100生物氣膠採樣器所採集的培養皿樣本，放入清潔且經滅菌的市售無菌採樣袋以

避免受到污染，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之間的培養皿，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)，分為革蘭氏陰性桿菌(GNB)/球菌(GNC)、革蘭氏陽性桿菌(GPB)/球菌(GPC)等四大類[20]。再把菌落以劃碟法純化到新鮮的培養基中，把培養基放到 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 的恆溫培養箱中放置24小時，使單一純菌種的菌落數可達到細菌菌種套件所需求的菌落量。培養後再依不同的染色結果選用不同的套件來進行細菌菌種鑑定。

在細菌鑑定方面，利用API™鑑定套組件(bioMerieux, Inc., Hazelood, MO)來針對主要細菌菌種進行鑑定。進行細菌菌種鑑定前，先做其生化實驗及顯微鏡下判別菌種形態，如革蘭氏染色、KOH試驗、過氧化氫酶試驗、氧化酶試驗、三糖鐵培養基試驗(TSIA)[21-22]。本研究除了使用API™鑑定套組之外，無套組鑑定的細菌則送至台美檢驗科技有限公司（台北，台灣）作進一步的確認。

5. 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，除以總採樣體積，即可算出單位為每立方公尺菌落生成數(CFU/m³)的生物氣膠濃度，其濃度計算公式如下所示：

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

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)

6. 局部排氣裝置的細菌移除效能

針對連續進料機台進行油霧回收機開機前後的生物氣膠濃度測定，計算其濃度的減少量，依此建立油霧回收機裝置的效能指標。其公式如下所示：

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

其中 η ：表示局部排氣效能

$C_{\text{LE off}}$ ：表示油霧回收機停止使用時，工作區細菌濃度值 (CFU/m³)

$C_{\text{LE on}}$ ：表示油霧回收機開啟時，工作區細菌濃度值 (CFU/m³)

7. 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。

8. 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)，分別在作業中油霧回收機裝置有開啟及未開啟時，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 $2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 與大於 $5.0 \mu\text{m}$ 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粒數/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。

9. 數據處理與統計分析

所有數據資料的建檔及處理，以Microsoft Excel為主，並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。

結果

本研究評估的工廠內設有6台連續進料CNC機台，均有局部排氣裝置，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，其油與水的比例為1：30。現場機台操作模式以1人操作3台機台為原則。廠房有開窗，且廠房屋頂有開啟整體換氣通風設備，其佈置如圖1所示。工廠的地板為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機台局部排氣裝置的風量為 $7.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ，而設計風量為 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ ，實測風量為為設計風量的37%。採樣時，廠內、外溫度分別為 $27.8 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 、 $28.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，室內、外的相對濕度(RH)分別為 $55.7 \pm 1.2\%$ 、 $54.1 \pm 0.7\%$ 。

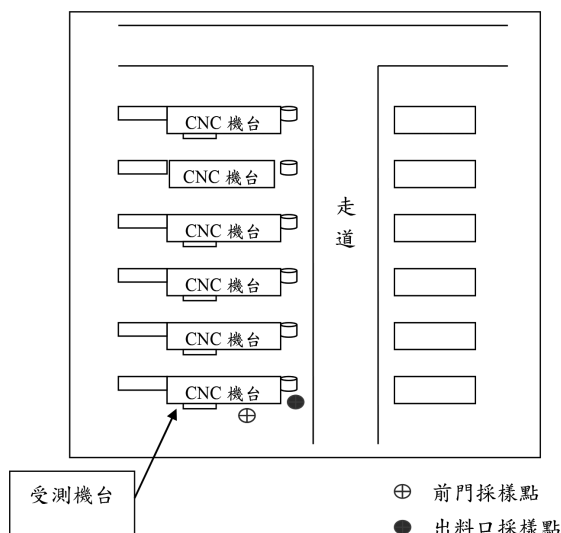


圖1 廠區內的廠區佈置圖

本研究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1所示。其中，出料口測點在局部排氣未使用時， dp 介於 $2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 及 $dp > 5.0 \mu\text{m}$ 的粒數濃度分別為 $76,256 \pm 34,743$ 粒數/L及 $11,534 \pm 9,784$ 粒數/L。局部排氣裝置開啟後， dp 介於 $2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 及 $dp > 5.0 \mu\text{m}$ 的粒數濃度分別降至為 $1,014 \pm 362$ 粒數/L及 150 ± 50 粒數/L。在局部排氣未使用時，CNC前門測點的 dp 介於 $2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 及 $dp > 5.0 \mu\text{m}$ 之粒數濃度分別為 501 ± 132 粒數/L及 92 ± 31 粒數/L。局部排氣裝置開啟後， dp 介於 $2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 及 $dp > 5.0 \mu\text{m}$ 的粒數濃度分別略降為 421 ± 103 粒數/L及 90 ± 16 粒數/L，此數值大約為環境背景的濃度值。由以上的實驗數據可知，本研究探討的工廠的局部排氣裝置使用之後，確實能有效降低CNC前門與出料口的粉塵粒數濃度。

受測CNC機台作業現場的細菌以MAS-100進行採樣，其濃度測定結果如表2所示，本研究的採樣時間為1分鐘時，其偵測下限為 $10 \text{ CFU}/\text{m}^3$ （偵測下限= $1 \times 1000 / (100 \times 1) = 10 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ）。API套件之準確率依API軟體輸出結果，在95%至99%之間。

在未使用局部排氣裝置期間，出料口細菌濃度範圍從247到 $430 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。局部排氣裝置開啟後，出料口細菌濃度範圍降低為227到 $310 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，停止使用局部排氣裝置後，細菌濃度增加為20到 $120 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 。至於CNC前門細菌濃度，也是呈現如此的趨勢，局部排氣裝置開啟後範圍，CNC前門細菌濃度從177到 $360 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 降低為170至 $292 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，在停止使用局部排氣裝置後的濃度增加為7到 $68 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，如表2所示。研究結果得知，相關作業場所的細菌生物氣膠濃度皆未超過我國環境保護署之室內空氣品質標準值($1,500 \text{ CFU}/\text{m}^3$)。

整體而言，粉塵濃度變化趨勢與細菌生物氣膠濃度變化趨勢相當，如圖2，出料口測點

的移除效率大於機台前門測點的移除效率。油霧回收機移除粉塵的效能較佳(98.4%)，而對於細菌移除效能不好，其效率只有21.2%。可見油霧回收機能移除粉塵微粒，在細菌生物氣膠濃度方面，則比較不易看出變化。但是，本研究測定到的戶外濃度為 407 ± 73 CFU/m³，而作業場所濃度大部分比戶外細菌生物氣膠濃度還低。可見工廠內裝置適當的局部排氣裝置，能夠降低作業環境細菌生物氣膠的濃度。

在細菌菌種分布，無論局部排氣裝置是否啟動，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，此兩菌屬皆為格蘭氏陽性球菌(Gram-positive coccus；GPC)。其中*S. hominis*濃度百分比範圍從64.5%到89.7%，是濃度最高的菌種。其次，*Micrococcus*的濃度百分比範圍從6.7%到30.1%，*S. xylosus*濃度百分比範圍從0.6%到10.2%。另外出現的菌種是*Arthrobacter*為格蘭氏陽性桿菌屬(Gram-positive bacilli；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%，廠區內細菌菌種分布如表3所示。

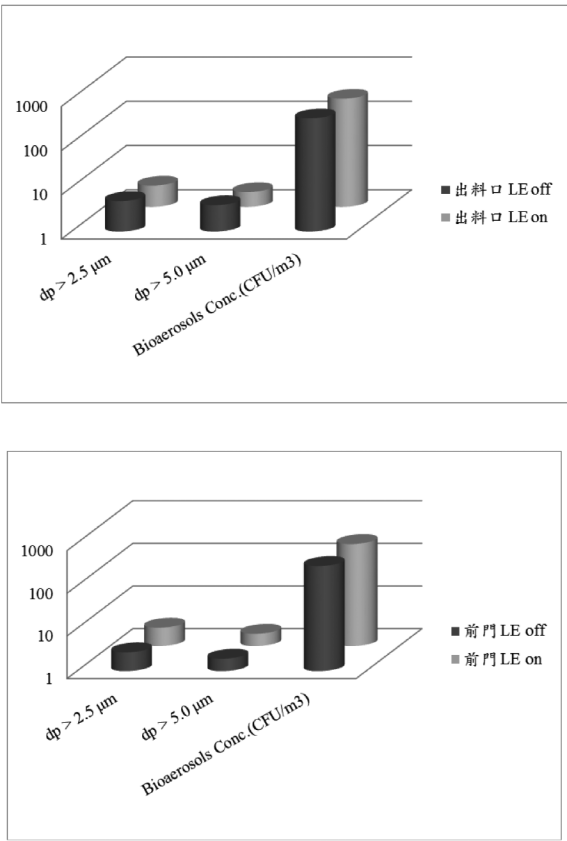


圖2 廠區內粉塵計數與細菌濃度變化趨勢

表1 廠區內的粉塵粒數濃度(粒數/L)與移除效能

dp		2.5 ~5.0 µm		>5.0 µm		樣本數
測點	LE	算術平均±SD	幾何平均	算術平均±SD	幾何平均	
出料口	off	76,256 ± 34,743	78,849	11,534 ± 9,784	8,954	3
	on	1,014 ± 362	1,078	150 ± 50	144	3
移除效能		98.7%	98.6%	98.7%	98.4%	
前門	off	501 ± 132	574	92 ± 31	90.3	3
	on	421 ± 103	499	90 ± 16	89.3	3
移除效能		16.0%	13.1%	2.2%	1.1%	

表2 廠區內CNC機台作業現場的細菌濃度及移除效能

測點	採樣批次	LE	樣本數	平均濃度(CFU/m3)	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	8.10			
		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	4.00			
		on	2	170				
	戶外	--	--	6	407±73			

*表示濃度高於戶外平均值。

表3 廠區內細菌菌種分布(%)

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 spp.</i>	GPB	0.6	--	0.6	0.6	0.8	1.5	1.3	0.6	--	--	0.9	--	0.3
<i>Micrococcus spp.</i>	GPC	7.9	7.9	9.0	11.4	16	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	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	79.0	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	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

討論

局部排氣系統是藉由氣罩的抽氣來達到排除有害物，因此，氣罩的捕集能力可說是局部排氣系統中重要的一環，氣罩若依其發生源與氣罩位置之關係及污染源之發生狀態而分為包圍式、崗亭式、外裝式及接收式等四種方式，此工廠的CNC機台同時具有前門與出料口，因此，此機台的氣罩形式為隧道型氣罩，與崗亭型類似。而油霧回收機裝置的作用，形同局部排氣裝置的空氣清淨裝置及排氣機，故風量一致。油霧回收機裝置的作用主要是移除粉塵以

及有害的氣體等，本研究的結果證實油霧回收機能夠降低dp 介於2.5 ~5.0 μm及dp>5.0 μm的粉塵濃度。

此外，本研究也發現選用油霧回收機作為局部排氣裝置，也可降低工作場所之細菌生物氣膠濃度，裝有油霧回收機的CNC機台前門與出料口的細菌濃度在使用之後都有降低，迄今尚未有探討油霧回收機與細菌生物氣膠移除效能的相關研究。尤其Perkins與Angenent以16S rRNA基因檢驗技術的研究結果發現[23]，使用金屬加工液的工廠空氣的細菌生物氣膠平均濃度為 4.8×10^5 cells/m³，金屬加工液中的細菌平

均濃度為 5.1×10^8 cells/mL，兩者濃度皆不低，值得人們關注。雖然本研究測試的工廠內的細菌濃度低於戶外的細菌濃度，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)。這有可能是在未開啟局部排氣狀況下的勞工作業時段，相對而言是短暫的，且其他未受測機台的油霧回收機並未暫停運轉，不致造成作業場所細菌濃度上升而超過戶外濃度。

本研究測試的工廠的CNC機台於加工時間很短暫，前門開啟頻繁，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的金屬加工液，此時可能會造成含細菌的金屬加工液的液滴逸散，使作業中細菌停留在空氣中無法有效去除；而且，我們的實驗結果也發現，不論是粉塵或是細菌的移除效能，機台前門測點的移除效率都小於機台出料口的移除效率。行政院勞動部勞動與職業安全衛生研究所曾於101年度進行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[24]，其研究發現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CNC機台運轉期間，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CNC機台附近濃度僅與戶外相當。Oudyk等人探究暴露金屬加工液對呼吸道症狀之效應，他們的研究發現2,377位的勞工暴露於水溶性金屬加工液之後，有42%的勞工每週甚至每天會流鼻水或鼻塞[25]。Park等人也發現使用水溶性金屬加工液的汽車零件製造業勞工，有鼻腔症狀或不適的症狀出現[26-27]。而在我們研究發現，在菌種分佈方面，其中的*S. capitis*是人體頭皮、臉部、頸部和耳朵皮膚上的常見菌種之一[28]，若是會經由傷口進入體內，會引起發炎及化膿，雖然在現場的

濃度不高，但是應該要求現場的勞工配戴適當的防護具或是手套，以免避免*S. capitis*經由傷口進入人體，造成感染。

由於本研究測試的CNC機台是有兩個開口以利製程操作方便，因此，污染物發生源仍在氣罩內，需有足夠開口面速度以防止污染物逸散；為提昇油霧回收機對於細菌生物氣膠移除效能，應儘量選定設計風量較高的油霧回收機，一般建議提昇實測風量與設計風量之比值。但是設計風量愈大油霧回收機，所需電量及電費就會愈高，事業單位應該就CNC機台的操作特性與作業環境品質之需求，選定最適當規格。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，建議依據勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法第40條規定，每年定期實施檢查一次。再者，油霧回收機屬於空氣清淨裝置的一種，依據第41條規定，有四項檢查要點：構造部份之磨損、腐蝕及其他損壞之狀況及程度；除塵裝置內部塵埃堆積之狀況；濾布式除塵裝置者，有濾布之破損及安裝部份鬆弛之狀況；以及其他保持性能之必要措施。

油霧回收機的效果如同室內空氣清淨機，它不僅可以減少在工作環境金屬加工液的氣膠產生，也可以使室內的生物氣膠濃度低於室外值；因此，為降低作業環境空氣中有害物的濃度，維護勞工的健康，使用金屬加工液的事業單位，應設置有效的油霧回收機。

結論與建議

本研究主要是針對連續進料機台以油霧回收機為局部排氣裝置的金屬加工液作業環境之細菌移除效能探討；經由現場測定分析後得到結論與建議如下：

1. 由本研究結果得知：作業場所濃度大部分比戶外細菌生物氣膠濃度還低。可見在工廠內連續進料的CNC機台加裝油霧回收機，確實能夠有效移除作業環境細菌生物氣膠，尤其對於出料口處的細菌移除率高達98%。
2. 對於機台前門處的細菌的移除率很低，可能造成在打開機台前門時更換物件時，或前門未妥善關閉時的生物氣膠暴露。因此，建議勞工於機台前門作業時，儘可能與機台前門保持距離，以減少暴露危害。
3. 由本研究也發現大多數的勞工不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。建議雇主應提供適當之個人防護具，並使勞工穿戴。

致謝

本研究承蒙勞動部勞動與職業安全衛生研究所102年度研究計畫(IOSH102-H313)經費支持，謹此敬表謝忱，並感謝配合本研究之工廠。

參考文獻

- [1] Furture Fluid Solutions. Cutting oils. 2012.
- [2] Wang HX, Reponen T, Li W, Martuzevicius D, Grinshpun SA, Willeke K. Aerosolization of fine particles increases due to microbial contamination of metalworking fluids. *Journal of Aerosol Science* 2005; 36: 721-34.
- [3] Mirer FE. New evidence on the health hazards and control of metalworking fluids since completion of the OSHA Advisory Committee Report. *American Journal of Industrial Medicine* 2010; 53: 792-801.
- [4] Howell JK, Lucke WE, Steigerwald JC. Metalworking fluids: composition and use, p.13-20. In *Proceedings of the Industrial Metalworking Environment- Assessment and Control*; 1995 Nov 13-16; Dearborn, Michigan.
- [5] Mirabelli MC, Zock JP, Bircher AJ, Jarvis D, Keidel D, Kromhout H, et al. Metalworking exposures and persistent skin symptoms in the ECRHS II and SAPALDIA 2 cohorts. *Contact Dermatitis* 2009; 60: 256-63.
- [6] Górny RL, Szponar B, Larsson L, Pehrson C, Prażmo Z, Dutkiewicz J. Metalworking fluid bioaerosols at selected workplaces in a steelworks. *American Journal of Industrial Medicine* 2004; 46: 400-3.
- [7] Wang HX, Reponen T, Adhikari A, Willeke K, Grinshpun SA. Effect of fluid type and microbial properties on the aerosolization of microorganisms from metalworking fluids. *Aerosol Science Technology* 2004; 38: 1139-48.
- [8] Liu HM, Lin YH, Tsai MY, Lin WH. Occurrence and characterization of culturable bacteria and fungi in metalworking environments. *Aerobiologia* 2010; 26: 339-50.
- [9] Cyprowski M, Piotrowska M, Żakowska Z, Szadkowska-Stańczyk I. Microbial and endotoxin contamination of water-soluble metalworking fluids. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 2007; 20: 365-71.
- [10] Simpson AT, Stear M, Groves JA, Piney M, Bradley SD, Stagg S, et al. Occupational exposure to metalworking fluid mist and sump fluid contaminants. *Annual of Occupational Hygiene* 2003; 47: 17-30.

- [11] Lillienberg L, Burdorf A, Mathiasson L, Thorneby L. Exposure to metalworking fluid aerosols and determinants of exposure. *Annual of Occupational Hygiene* 2008; 52: 597-605.
- [12] Park DU, Stewart PA, Coble JB. A comprehensive review of the literature on exposure to metalworking fluids. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2009; 6: 530-41.
- [13] Park DU, Stewart PA, Coble JB. Determinants of exposure to metalworking fluid aerosols: A literature review and analysis of reported measurements. *Annual of Occupational Hygiene* 2009; 53: 271-88.
- [14] Mattsby-Baltzer I, Sandin M, Ahlstrom B, Allenmark S, Edebo M, Falsen E, et al. Microbial growth and accumulation in industrial metalworking fluids. *Applied and Environmental Microbiology* 1989; 55: 2681-9.
- [15] Piacitelli GM, Sieber WK, O'Brien DM, Hughes RT, Glaser RA, Catalano JD. Metalworking fluid exposures in small machine shops: An overview. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2001; 62: 356-70.
- [16] Linnainmaa M, Kiviranta H, Laitinen J, Laitinen S. Control of workers' exposure to airborne endotoxins and formaldehyde during the use of metalworking fluids. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2003; 64: 496-500.
- [17] Daniel Rousseau. Choosing oil mist collectors. *Cutting Tool Engineering Magazine* 2008; 60: 88-95.
- [18] 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 E301.14C. 2014.11.15生效。Available at: <http://www.niea.gov.tw/niea/doc/E30114C.doc>
- [19] 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.
- [20] 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。
- [21] Berghofer LK, Hocking AD, Miskelly D, Jansson, E. Microbiology of wheat and flour milling in Australia. *International Journal of Food Microbiology* 2003; 85(1-2): 137-49.
- [22] Krysińska-Traczyk E, Pande BN, Skórska C, Sitkowska J, Prazmo Z, Cholewa G, et al. Exposure of Indian agricultural workers to airborne microorganisms, dust and endotoxin during handling of various plant products. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2005; 12: 269-75.
- [23] Perkins SD, Angenent LT. Potential pathogenic bacteria in metalworking fluids and aerosols from a machining facility. *FEMS Microbiology Ecology* 2010; 74: 643-54.
- [24] 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。
- [25] Oudyk J, Haines AT, D'Arcy J. Investigation

- respiratory responses to metalworking fluid exposure. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2003; 18: 939-46.
- [26] Park DU, Choi BS, Kim SB, Kwag HS, Joo KD, Jeong JD. Exposure assessment to suggest the cause of sinusitis developed in grinding operations utilizing soluble metalworking fluids. *Journal of Occupational Health* 2005; 47: 319-26.
- [27] Park DU, Chin K, Kwag H, Youn K, Choi S, Ha K, et al. Effect of metalworking fluid mist exposure on cross-shift decrement in peak expiratory flow. *Journal of Occupational Health* 2007; 49: 25-31.
- [28] Bannerman TL, Kloos WE. *Staphylococcus capitis* subsp. *ureolyticus* subsp. nov. from human skin. *International Journal of Systematic Bacteriology* 1991; 41: 144-7.

Commentary

Evaluation of the Bacterial Removal Efficacy for Mist Recycling Machines from the Tunnel Type CNC Equipment

Tzu-Hsien Lin^{1,2} Qing Zhong Lai³ Po-Cheng Hung⁴
Hui-Ming Liu⁵

¹ Department of Dental Hygiene, China Medical University

² Department of Occupational Safety and Health, China Medical University

³ Institute of Environmental Engineering, Hungkuang University

⁴ Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Ministry of Labor

⁵ Department of Safety, Health and Environmental Engineering and Institute of Occupational Safety and Hazardprevention, Hungkuang University

Abstract

This study is to survey the efficiencies of oil mist collector to remove the bacterial bioaerosols emitted from tunnel type computer numerical control (CNC) machine using metalworking fluids. Bacterial bioaerosols near the CNC machine were collected by MAS-100. The colonies were identified using API identification kit. The air flow rate was measured at the vent of the oil mist collector, and the particle concentrations were determined by the dual-channel direct-reading dust meter.

The bacterial concentrations in the tunnel type CNC machine working environment were lower than 1,500 CFU/m³, the indoor air quality standards regulated by Taiwan EPA. The removal efficiencies of bacterial bioaerosols were 21.2% and 12.8% at the discharge port of the tunnel and in front of the closed door, respectively. *Staphylococcus hominis* was found to be the dominant identified strains. After oil mist collector turned on, particulate matter size in range of 2.5~5.0 μm concentrations

Accepted 14 June, 2015

Correspondence to: Hui-Ming Liu, Department of Safety, Health and Environmental Engineering and Institute of Occupational Safety and Hazardprevention, Hungkuang University, No. 1018, Sec. 6, Taiwan Boulevard, Shalu District, Taichung City 43302, Taiwan(R.O.C), Email address: hmliu@sunrise.hk.edu.tw

were decreased from $76,256 \pm 34,743$ #/L to $1,014 \pm 362$ #/L and from $11,534 \pm 9,784$ #/L to 150 ± 50 #/L for particulate matter size larger than $5.0 \mu\text{m}$.

The oil mist collector could not only remove the oil mist but also decrease the bacteria bioaerosols. Therefore, the concentrations of bacteria bioaerosols emitted from tunnel type CNC and in metalworking workplace were lower than those of outdoors.

Keywords: Metalworking fluid, Bacterial bioaerosols, Oil mist collector, Tunnel type CNC