

電子工業軟焊作業場排氣再循環可行性之研究

張 良 輝* 鄭 福 田**

摘要

本研究，旨在探討電子工業軟焊作業場，在保護勞工之安全與衛生的前提下，實施排氣再循環系統，以節省空氣調節所需能源之可行性。

由於排氣再循環系統的可行性與很多因素有關，不同的應用例子，需做個別不同的考慮。研究結果顯示：對軟焊作業場而言，經過妥善處理後，作業環境中微粒及鉛之污染，並不是重要因子。但是，有機溶劑蒸氣，不管是在未實施排氣再循環前、部分實施排氣再循環後、或全部實施排氣再循環後，各種不同蒸氣濃度，在視為相加效應之下，容易超出容許濃度標準。所以，在未改善原有的通風系統操作下之作業環境空氣品質前，不宜輕易實施排氣再循環。

壹、緒 言

電子工業為高科技工業。其產品從簡單之電阻、電容到複雜的超大型體積電路(VLSI)，種類包羅萬象，並時時有新產品推出。

電子工業也是我國主要出口產業。根據統計資料〔1〕顯示：1984年，我國電子廠商共有2,481家；從業人員總計有27萬6千人，全年電子產品出口額達54億美元，佔出口總額之17.8%，已接近紡織製品出口之水準，若連同電器製品合併計算（即通稱「電子電器製品」），則出口額達66億美元，佔21.6%為同年外銷產業第一位。

現今的電子工業，同時也是勞力密集的工業，電子工廠內，一條生產線動輒幾十人，甚至幾百人，整個廠加起來幾千個作業員的工廠，也不在少數。由於這個因素，如果廠內作業環境不良，而導致員工健康受損時，人數也通常較多。最有名的一次是民國61年間，位於淡水鎮的飛歌電子公司，由於廠內排氣通風效果不良，使得員工吸入過量的三氯乙烯、四氯乙烯等有機蒸氣，而先後數十人發病送醫診療；並陸續有五人因此而死亡的職業病案例發生。

1.1 研究緣起

由於勞工安全衛生法令規定，對於空氣中可能含有粉塵或有害氣體之工作場所，如使用

* 臺大環境工程研究碩士

** 臺大環境工程研究所教授 本小組委員

有機溶劑，或鉛作業之廠房，必須利用局部排氣或整體換氣之方式，把廠房內經空氣調節、溫度舒適，但可能含有污染物之空氣排出廠外，並補充新鮮空氣進入廠內；此種措施可能會造成下列缺點：

- (1)廠外空氣之溫、濕度並不適當，必須先經過空氣調節機之調理，才能送入廠內，消耗能源。
- (2)廠外之空氣，不一定比經空氣清潔器處理後之空氣乾淨。
- (3)由於排氣的結果，常使廠內變成負壓，廠外之空氣容易經由門、窗滲入廠內，使廠內之空氣，不易維持乾淨。
- (4)直接排至廠外之廢氣，可能會惡化附近地區之環境空氣品質。

近年來，由於空氣清潔器之功能增進，已能有效處理廠內之空氣使排氣直接迴流於廠內，唯空氣清潔器之效能、操作特性、排氣循環比例、工廠管理之配合，都必須經審慎的探討，才能在確保勞工安全與衛生的前提下，進一步節約能源。

1.2 研究目的

美國國家職業安全衛生研究所 (NIOSH) 於1978年發表「排氣再循環之建議方法 (A Recommended Approach to Recirculation of Exhaust Air) 」一篇〔3〕，以為排氣再循環之參考；1979年，該所就十種作業場所，引用此篇建議方法加以證實，並發表「工業排氣再循環建議方法之證實 (Validation of A Recommended Approach to Recirculation of Industrial Exhaust Air) 」二篇〔4,5〕；唯電子工業軟焊作業場尚未被證實其效果；加以我國勞工安全衛生法令，對於局部排氣成整體換氣之硬性規定（如「鉛中毒預防規則」第二十八條：局部排氣裝置，整體換氣裝置成排氣煙囪之排氣口，應設置於室外。）〔6〕；因此有待充分科學之研究結果，以探討其排氣再循環之可行性；

1.3 研究範圍

- (1)空氣清潔器效能之鑑定：

排氣在迴流於廠內之前，必須先經過空氣清潔器 (air cleaner) 之處理，所以本研究首先針對空氣清潔器對污染物質之處理效率、操作特性，等做深入評估。

- (2)作業場所之環境測定：

為了探討迴流空氣對作業環境之影響，所以必須針對作業場所中，粉塵、鉛、有機溶劑、二氧化碳等，實施採樣分析，並測試溫、濕度，以評估勞工作業環境之空氣品質。

貳、軟焊作業場污染概況及其排氣再循環系統

2.1 軟焊作業場之污染概況

本研究對象之軟焊作業場，主要為將電子零件組裝成電視機及其附件之作業場所。

2.1.1 作業流程

一般作業流程，如圖 2.1 所示：

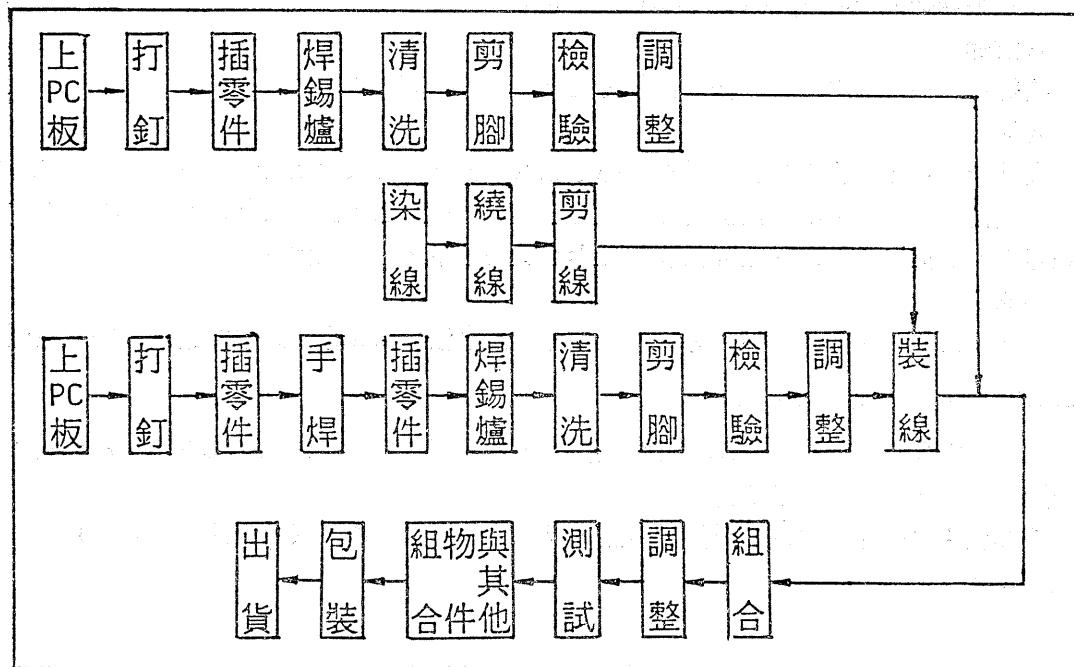


圖 2.1 本研究對象之軟焊作業場，一般作業流程圖

(1) 手焊 [7]

將烙鐵加熱到 $200^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 之間，以錫鉛合金為焊料，包在線芯之松香為助焊劑 (flux)，將其熔融，而後使 PC 板 (印刷電路板) 之通孔與零件腳接合。

(2) 焊錫爐 [8]

為自動連續密閉作業，操作程序如下：

1. 助焊

以活性松香為助焊劑，並以異丙醇 (IBA) 為稀釋劑 (thinner)，利用通入壓縮氮氣於松香槽內之發泡石，產生松香泡沫，使通過之 PC 板背面，沾滿松香。活性松香之作用如下：

- a. 具清除表面金屬氧化物之能力。
- b. 防止焊接時，產生氧化膜。
- c. 優良的傳熱介質。
- d. 無腐蝕性容易清洗。

2. 預熱

預熱溫度在零件面達 93°C ，目的如下：

- a.增進助焊劑之活性化。
- b.沖釋助焊劑。
- c.降低焊接時對 PC 板和零件之熱衝擊，以防止變形。
- d.去除造成吹孔 (blow hole) 之濕氣。

3. 波焊

波焊槽之溫度為 260°C ，輸送帶和錫波夾角為 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，錫接時間控制在 4~5 秒。

(3) 清洗

大部分為自動清洗爐操作，另有少部分之人工清洗；主要目的是將 PC 板上殘留之助焊劑及雜質清洗。自動清洗爐內主要使用之有機溶劑為三氟三氯乙烷 (Freon-113)，及二氯甲烷等；人工清洗為 1,1,1-三氯乙烷、丙酮、丁酮、甲苯、異丙醇等。

(4) 染線

以含有丙酮、丁酮、及甲苯等成分之各種顏色之油墨 (ink)，將電線染成所需之顏色。

2.1.2 污染物之種類與來源

(1) 煙塵主要污染來源是手焊及波焊操作。由於波焊在密閉之焊錫爐內進行，所以造成廠內煙塵污染的主要來源為手焊操作。

手焊使用之焊線主要成分為錫鉛合金，及包在線芯之助焊劑 (重量比率 2.2%)，成分如表 2.1。

表 2.1 焊線 (除線芯外) 之成分表

| 成 分 | 商 業 級 | | 電 子 級 | |
|-------|-----------|-----|-----------|----------|
| | 百 分 比 | | 百 分 比 | |
| 錫 | 59.5-61.5 | | 59.5-60.5 | |
| 鉛 | 0.20-0.50 | | 0.20-0.50 | |
| 鎳 | .25 max. | | .02 max. | |
| 銀 | .15 max. | | .003 max. | |
| 銅 | .08 max | | .02 max. | |
| 鐵 | .02 max. | | .01 max. | |
| 鋅 | .005 max. | | .001 max. | |
| 鉻 | .005 max. | | .002 max. | |
| 砷 | .03 max. | | .02 max. | |
| 鎘 | .001 max. | | .001 max. | |
| 硫 | - | | .001 max. | |
| 磷 | - | | .001 max. | |
| 氧 化 物 | - | | .001 max. | |
| 其 他 | 總 合 | .08 | | .01 max. |
| 鉛 | 其餘 | | 其餘 | |

燻煙可分為二種：金屬燻煙 (metal fume) 及助焊劑燻煙 (flux fume)。根據 W. Rubin 氏 [9] 及 D. Courtney 氏 [10] 之研究報告指出：在 500°C 以下，實施軟焊時，幾乎全部是助焊劑燻煙 (flux fume)，鉛燻煙幾乎不是問題，而一般手焊淺度在 200°C~300°C 之間，所以鉛污染並不重要。

W. Rubin 氏在同一報告中也指出：松香基的焊劑燻煙 (Rosin-based flux fume)，粒徑在 7 μm 以下之微粒佔全部重量的 97%。顯示助焊劑燻煙之粒徑細小，易於進入呼吸道內部，影響人體健康，粒徑分佈見表 2.2。

表 2.2 松香基助焊劑燻煙之粒徑分佈 [9]

| 安德森篩 (Anderson seive) | | | | |
|-----------------------|--------------------------|-----------|-----------|--|
| 參考編號 | 篩目尺寸 (um) (mesh size) | 殘留重量 (mg) | 累積百分比 (%) | |
| 0 | 11 | 0.07 | 100.0 | |
| 1 | 7 | 0.10 | 97.0 | |
| 2 | 4.7 | 0.12 | 92.6 | |
| 3 | 3.3 | 0.25 | 87.4 | |
| 4 | 2.1 | 0.17 | 76.5 | |
| 5 | 1.1 | 1.10 | 69.1 | |
| 6 | 0.65 | 0.34 | 21.3 | |
| 7 | 0.43 | 0.15 | 6.5 | |
| 全部收集重量 (mg) | | 2.30 | | |

註：焊線進料速度 1cm/sec，操作 1 分鐘，軟焊溫度 300°C。

(2)有機蒸氣

主要污染源是污線及清洗作業。染線之油墨中含有酮類及甲苯等高揮發性之有機溶劑。而清洗作業中仍有手動作業，因此極易使作業勞工直接暴露於高濃度之溶劑蒸氣中。即使是密閉自動清洗爐清洗，如果加熱部分溫度調節不良，或冷卻凝結器之性能不良，會由爐開口面溢出大量溶劑蒸氣，使附近作業環境濃度增加。

表 2.3 為本研究對象之軟焊作業場主要使用有機溶劑之種類，場所及用途。

表 2.3 軟焊作業場主要使用有機溶劑之種類，場所及用途

| 中 文 名 稱 | 通 用 名 稱 | (PPM) | 使 用 場 所 及 用 途 |
|-------------|----------------------|-------|-----------------------------------|
| 丙 酮 | 清潔用汽油 | 1000 | 一般油漆、清潔劑(表面處理)的溶劑主成分，線圈漆用(全廠均用) |
| 異 丙 醇 | 酒 精 溶 劑 (IPA) | 400 | Flux 或 Freon 等溶劑，P.C板洗淨用(全廠均用) |
| 丁 酮 | MEK | 200 | 用途如丙酮，較具毒性，溶解洗淨力價較廉宜，繞線機噴線用(全廠均用) |
| 甲 苯 | 揮 發 油 | 100 | 用途如，較具毒性，溶解洗淨力強價較便宜，一般黏着劑、油漆主成分 |
| 三 氯 乙 烷 | 清 洗 劑 (1,1,1-TCE) | 350 | 特殊用途清洗劑，洗淨零件力強，尤以配合超音波使用 |
| 三 氯 三 氯 乙 烷 | 氟 氯 烷 (Freon-113) | 1000 | 清洗爐使用 |

2.2 軟焊作業場之排氣再循環系統

本研究對象之某軟焊作業場，未實施排氣再循環前，部分實施排氣再循環後，及全部實施排氣再循環後之排氣通風系統簡圖，分別如圖 2.2 及圖 2.4 所示。

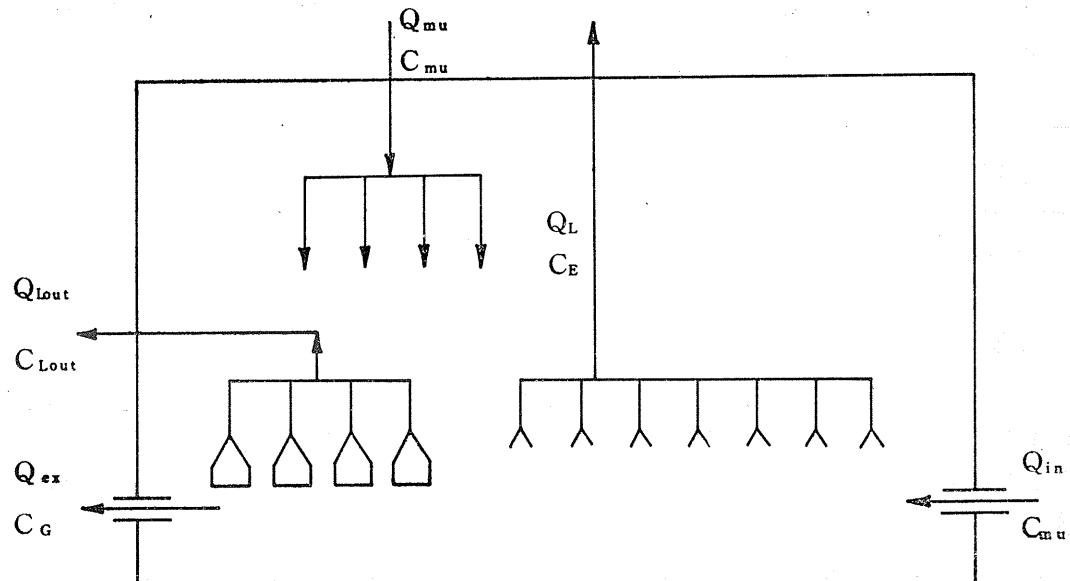


圖 2.2 未實施排氣再循環前之通風系統簡圖

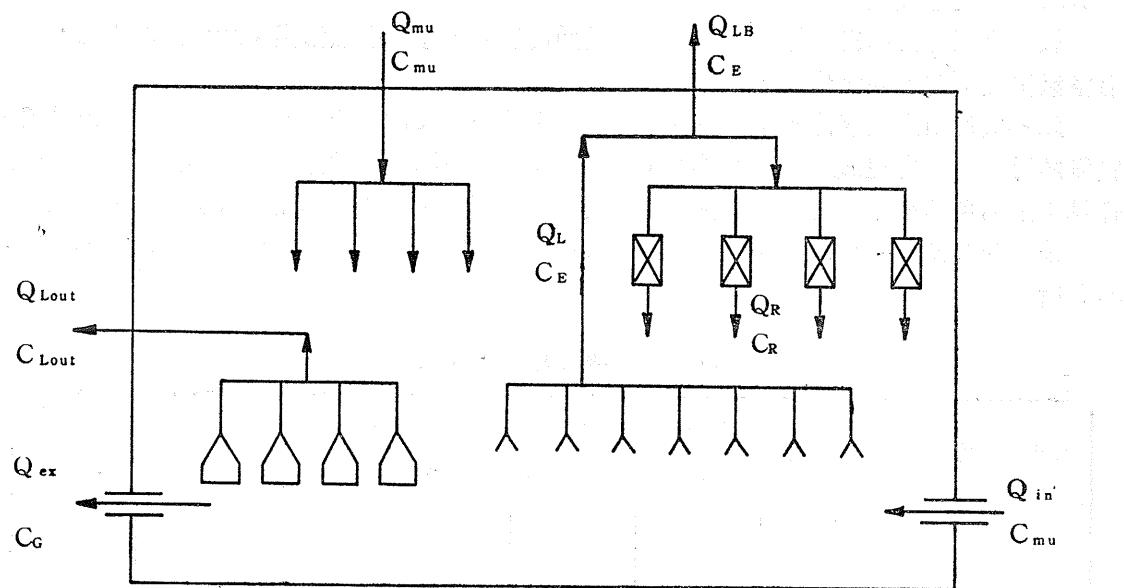


圖 2.3 部分實施排氣再循環後之通風系統簡圖

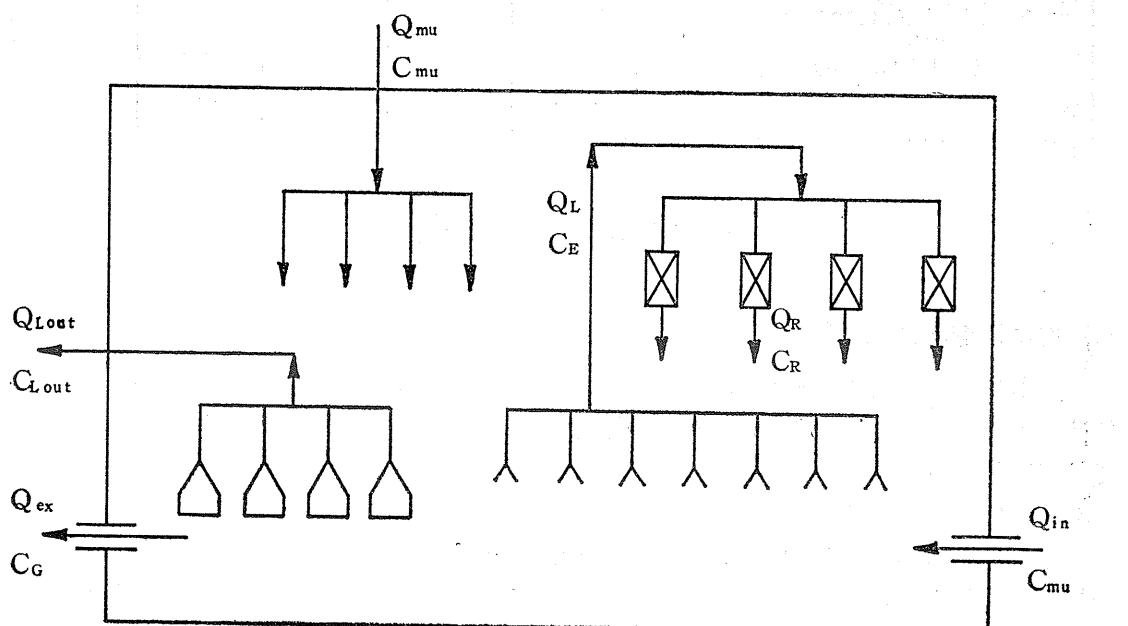


圖 2.4 全部實施排氣再循環後之通風系統簡圖

2.2.3 系統通風量

假設當廠房內部為負壓時，僅有空氣從門窗滲入，並無空氣滲出；廠房內部為正壓時僅有空氣滲出，並無空氣滲入。

此系統使用之空氣清潔器，設計之處理風量為 3600cfm (101.9 m³/min)，但是經由實測結果，平均處理風量，僅達 2000cfm (56.6m³/min)，當部分排氣再循環時，有五部運轉；兩部再循環時，有十部運轉。另外實施排氣再循環前後之補充空氣量，由廠方提供。

未實施排氣再循環前，部分實施排氣再循環後及全部實施排氣再循環後之通風量如表 2.4 所示。

表 2.4 排氣再循環前、後之通風量

| 參數 | 說 明 | 未實施排氣再循環前 | | 部分實施排氣再循環後 | | 全部實施排氣再循環後 | |
|-------------------|---|-----------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|
| | | cfm | m ³ /min | cfm | m ³ /min | cfm | m ³ /min |
| Q _{Lout} | 不考慮再循環之氣罩收集風量 | 2,640 | 74.8 | 2,640 | 74.8 | 2,640 | 74.8 |
| Q _L | 考慮再循環之氣罩收集風量 | 20,000 | 566.3 | 20,000 | 566.3 | 20,000 | 566.3 |
| Q _{mu} | (make up) | 16,200 | 458.7 | 10,800 | 305.8 | 4,640 | 131.4 |
| Q _{LB} | 旁路風量 (By Pass) | 0 | 0 | 10,000 | 283.2 | 0 | 0 |
| Q _R | 迴流空氣量 (Q _L -Q _{LB}) | 0 | 0 | 10,000 | 283.2 | 20,000 | 566.3 |
| Q _{in} | 空氣滲入量 (infiltration) | 6,440 | 182.4 | 1,840 | 52.1 | 0 | 0 |
| Q _{ex} | 空氣滲出量 (exfiltration) | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,000 | 56.6 |
| Q _T | 總通風量 | 22,640 | 641.1 | 22,640 | 641.1 | 24,640 | 697.7 |

三、研究方法與實驗設備

3.1 空氣清潔器效能之鑑定

由氣罩收集之廢氣，經過通風管輸送到空氣清潔器處理後，再排放至廠房內，所以空氣清潔器在排氣再循環系統中，具有樞紐的地位，稱之為排氣再循環系統之心臟亦不為過〔11,12,13〕。

3.1.1 空氣清潔器規格

本研究對象軟焊作業場之空氣清潔器為靜電集塵器 (Electrostatic precipitator)，及一片前置過濾網 (pre-filter) 所組成，並在後面裝有抽風扇；設計規格如表 3.1 所示；廠牌名稱為 AAF Model GV-3600。在集塵器，進流及出流處裝有靜壓差監測器，並可設定警告壓差值；當壓差超過設定值會有訊號傳出，由管理人員得知後，才開始清洗集塵單元。

表 3.1 靜電集塵器之設計規格

| | | |
|---------|--------------------------------------|---------------|
| 處 理 風 量 | 3,600cfm (101.9 m ³ /min) | |
| 總 長 度 | 4' 9 $\frac{9}{16}$ " | |
| 總 寬 度 | 4' 3 $\frac{1}{16}$ " | |
| 總 高 度 | 2' 1 $\frac{1}{8}$ " | |
| 風 扇 馬 達 | 3/4 HP | |
| 風 扇 轉 速 | 1725 rpm | |
| 總 安 培 數 | 14.9 A | |
| <hr/> | | |
| 內 部 靜 壓 | 前 置 過 濾 網 | 0.31 in. W. G |
| | 靜 電 集 塵 單 元 | 0.15 in. W. G |
| | 總 靜 壓 | 0.46 in. W. G |

3.1.2 測定方法

在空氣清潔器上、下游分別測定微粒、鉛、異丙醇 (IPA)、1,1,1-三氯乙烷 (1,1,1-TCE)、丙酮 (Acetone)、丁酮 (MEK)、甲苯 (Toluene) 及二氧化碳 (CO₂) 濃度、流量、溫度、濕度等，測定之儀器設備如下：

(1) 空氣清潔器上游：

1. 微粒：Ishibashi Auto-Balancer Model-IB524，自動平衡煙道採樣系列。
2. 鉛：將微粒採集後之濾紙，經濃硝酸硝化後，以原子吸收光譜儀 (A. A.) 分析之 [14]。
3. 有機蒸氣：Foxboro-Wilks Portable Infrared Gas Analyzer MIRAN 1A。
4. 二氧化碳：ADC Carbon Dioxide Analyzer SB-100
5. 流量：以 Kanomax Anemometer Model 24-6111 測定風速，再乘上風管截面積。
6. 溫、濕度：Rotronic ag ch 8040

(2) 空氣清潔器下游：

1. 微粒：改裝之高量採樣器 (High Volume Sampler)。（見圖 3.1），先測定風管之風速，再乘上改裝高量採樣器之收集管截面積以決定高量採樣器之流量。
2. 其他各項與測定上游時相同。

3.2 作業場所環境測定

依圖 2.2、圖 2.3、及圖 2.4 所示三種不同循環比例、分別對鉛作業實施個人採樣，及

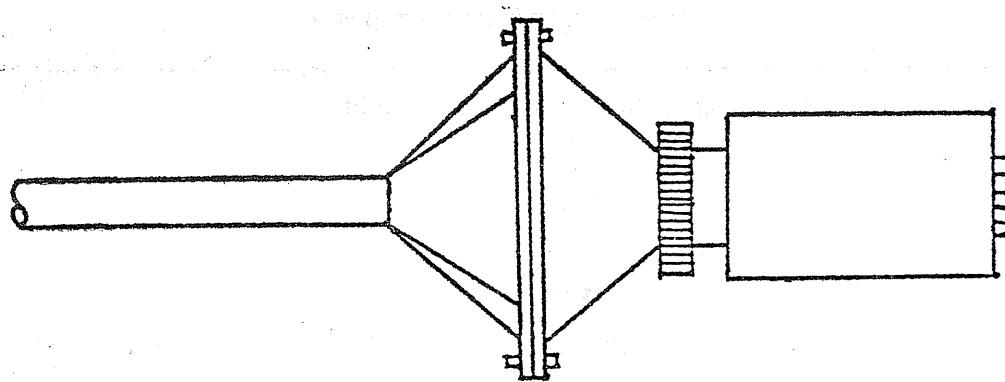


圖 3.1 改裝後之高量採樣器

全部廠區實施作業環境測定〔15〕；採樣點如圖 3.2 所示。

3.2.1 鉛作業測定

在軟焊操作之作業員，呼吸帶附近，測定微粒及鉛之濃度。採樣儀器有三種，1. Bendix Personal Sampler BDX44；2. High-Volume Sampler（高量採樣器）；3. GCA Real-Time Areosol Monitor Model PDM-3；比較採樣結果，再統一取一類可靠值；鉛濃度測定與空氣清潔器效能鑑定時相同。

3.2.2 廠區環境測定

在廠內各區域取代表點，分別對微粒、鉛、有機溶劑蒸氣（包括異丙醇，1,1,1-三氯乙烷、丙酮、丁酮、甲苯），二氧化氮，溫、濕度實施測定，測定儀器分述如下：

(1)微粒：測定儀器有二；1. High-Volume Sampler, 2. GCA Realtime Aerosol Monitor Model PDM-3；比較採樣結果，統一取一類可靠值。

(2)其他各項與空氣清潔器效能鑑定時相同。

肆、結果與討論

4.1 空氣清潔器效能之鑑定

此軟焊作業場之排氣再循環系統，所使用之空氣清潔器為加一片前置過濾網之靜電集塵器。在其上、下游分別針對微粒、鉛及有機溶劑蒸氣測定之結果，分別如表 4.1 及表 4.2 所示。

由表 4.1 可以看出在連續 48 天的操作中，平均的處理風量僅約為 2,000cfm (566.6 m³/min)，比原設計的 3600cfm (101.9 m³/min) 少了很多，減少的原因可能有二：1. 設計之處理風量為僅存在內部靜壓損失時之值，但實際上除此之外尚有氣罩收集空氣時之進口損 (entry loss)，風管輸送過程中轉彎及摩擦損失，和由支風管進入主風管處之進口損失等；2. 空氣清潔器內，過濾網及集塵板收集微粒後，內部靜壓損失愈來愈大之故。另外對微粒

◎ 為採樣點
▣ 為空氣清潔器

點樣採爲

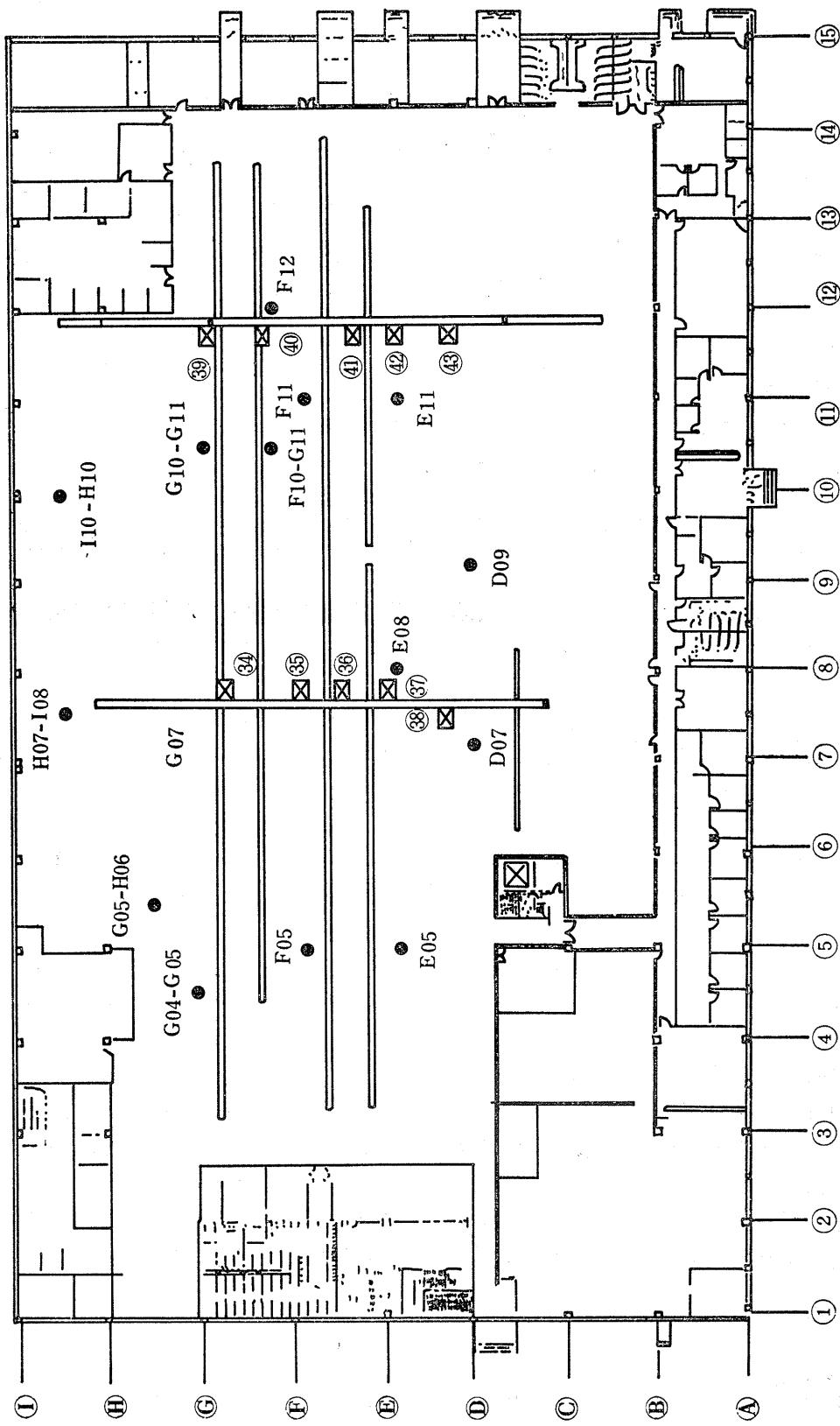


圖 3.2 本研究對象之軟焊作業場平面配置圖

表 4.1 空氣清潔器（靜電集塵器）之操作特性——微粒

| 項目 日期 | 操作 天數 | 處理 風量 cfm | 進 口 濃 度 | | | | 出 口 濃 度 | | | | 效 率 | |
|----------|----------|-----------------|----------|------------|----------------------------------|--------------------------------|----------|------------|----------------------------------|--------------------------------|---------|--------|
| | | | 溫度 °C | 濕度 R.H. | 微 粒 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 鉛 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 溫度 °C | 濕度 R.H. | 微 粒 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 鉛 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 微粒 % | 鉛 % |
| 10/29 | 5 | 2747 | 24.8 | 53.2 | 297 | — | 26.0 | 56.3 | 85 | — | 71.4 | — |
| 11/4 | 11 | 2615 | 23.1 | 48.9 | 584 | 2.50 | 23.9 | 49.6 | 274 | 0.55 | 53.1 | 78.1 |
| 11/6 | 13 | 1626 | 23.2 | 49.6 | 628 | 1.21 | 24.0 | 52.0 | 287 | 0.30 | 54.2 | 75.3 |
| 11/18 | 25 | 1881 | 24.0 | 52.5 | 301 | 1.62 | 24.3 | 54.7 | 162 | 0.41 | 46.1 | 74.7 |
| 11/25 | 32 | 1581 | 24.2 | 52.2 | 182 | 0.67 | 25.0 | 55.4 | 102 | 0.18 | 43.9 | 73.1 |
| 12/11 | 48 | 1570 | 23.0 | 50.2 | 327 | 2.29 | 22.9 | 51.0 | 190 | 0.52 | 41.9 | 77.3 |
| 、 | 、 | 2003 | 23.7 | 51.1 | 387 | 1.66 | 24.4 | 53.2 | 183 | 0.39 | 51.8 | 75.7 |

表 4.2 空氣清潔器（靜電集塵器）之操作特性——有機溶劑蒸氣

| 項目 日期 | 進 口 濃 度 | | | | | 出 口 濃 度 | | | | | 效 率 | | | | | |
|----------|------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|------------|---------------------|------------|---------------------|----------|----------|-------------------|----------|-------------------|---------|
| | IPA ppm | TCE ppm | Ace- tone ppm | MEK ppm | Tol- uene ppm | IPA ppm | TCE ppm | Ace- tone ppm | MEK ppm | Tol- uene ppm | IPA % | TCE ~ | Ace- tone % | MEK % | Tol- uene % | 平均 % |
| 10/29 | 64.00 | 37.60 | — | — | — | 53.0 | 24.0 | — | — | — | 17.2 | 13.0 | — | — | — | — |
| 11/4 | 70.7 | 31.6 | — | — | — | 73.0 | 33.6 | — | — | — | -3.3 | -5.3 | — | — | — | — |
| 11/6 | 53.0 | 29.9 | — | — | — | 53.4 | 25.7 | — | — | — | -0.8 | 7.6 | — | — | — | — |
| 12/9 | 39.0 | 19.8 | 75.5 | 86.1 | 141.2 | 35.2 | 23.6 | 75.5 | 97.0 | 130.1 | 9.7 | -19.2 | 0 | -12.7 | 7.9 | |
| 12/11 | — | — | — | — | — | 30.4 | 16.6 | 71.1 | 88.8 | 140.3 | — | — | — | — | — | |
| 平均 | 56.7 | 27.0 | 75.5 | 86.1 | 141.2 | 46.0 | 24.9 | 73.3 | 92.9 | 135.2 | 5.7 | -1.2 | 0 | -12.7 | 7.9 | -0.06 |

及鉛之去除效率平均分別為 51.8% 及 75.7%。

由表 4.2 可看出靜電集塵器，對於本研究所關心的五種有機溶劑蒸氣，並無去除效率。表中效率有正有負的原因，可能是測定時間不同及儀器、人為之誤差值所造成。

再將表 4.1 之微粒去除效率及處理風量與操作天數，繪成圖 4.1 及圖 4.2，可以明顯地看出來：微粒去除效率隨著操作天數的增加，初期是逐漸下降，但是到了第 25 天以後，就沒有顯著地變化，而處理風量 (capacity)，也有隨著操作天數下降的傾向。

4.2 作業場所環境測定

4.2.1 微粒及鉛

未實施排氣再循環前，部分實施排氣再循環後及全部實施排氣再循環後之測定結果，分

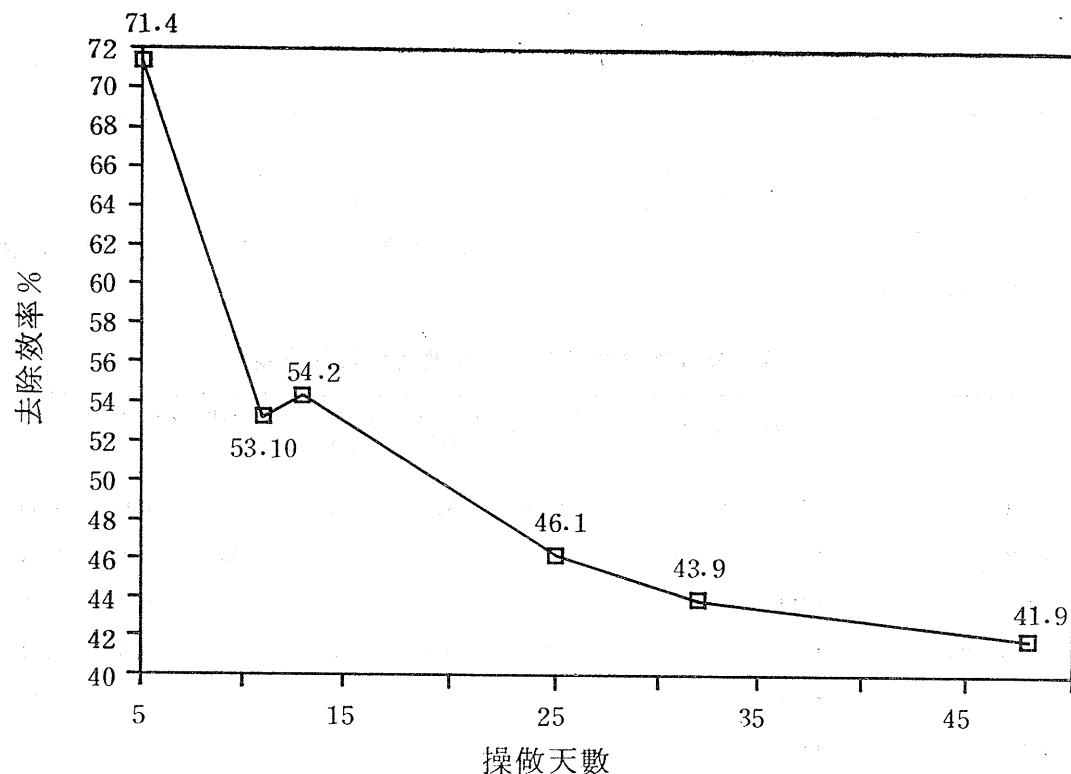


圖 4.1 空氣清潔器（靜電集塵器）之操作特性——微粒去除效率

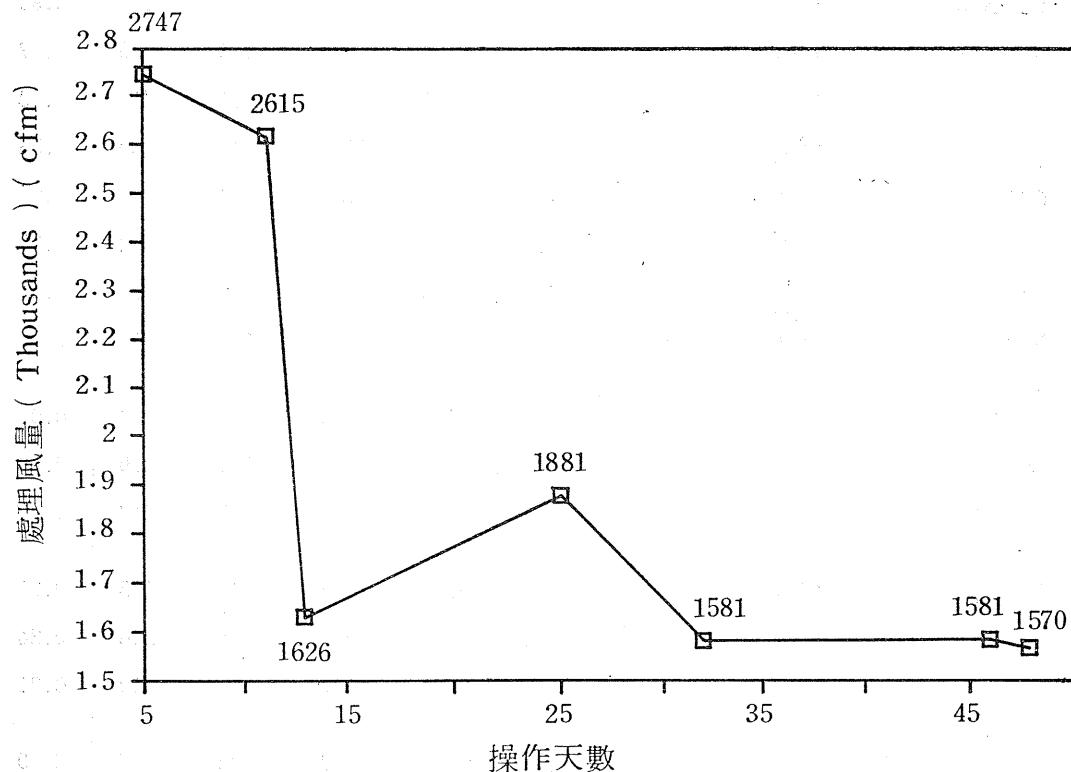


圖 4.2 空氣清潔器（靜電集塵器）之操作特性——處理風量

別列於表 4.3, 表4.4及表4.5。所有數據皆已換算成常態溫度 (25°C) 下之濃度。

由表 4.3 可知，未實施排氣再循環前，廠區採樣平均微粒濃度為 $213\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $0.96\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ；個人採樣平均微粒濃度是 $339\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $2.18\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ；補充空氣採樣平均微粒濃度是 $175\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $0.29\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。個人採樣平均微粒及鉛濃度皆比廠區採樣平均要高。

表 .3 微粒及鉛之濃度——未實施排氣再循環前

| 位 置 | 日 期 | 採 樣 型 式 | 溫 度 °C | 濕 度 RH | 採樣流量 1pm | 採樣時間 min | 微 粒 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 鉛 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ |
|---------|------|---------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|
| E08 | 4/11 | 廠 區 | 21.3 | 53.8 | 1432 | 176 | 186 | 0.95 |
| D07 | 4/8 | " | 22.3 | 55.1 | 1369 | 168 | 361 | 1.51 |
| E05 | 4/14 | " | 21.9 | 50.9 | 1528 | 177 | 158 | 0.48 |
| G05-H06 | 4/20 | " | 23.3 | 56.2 | 1382 | 70 | 176 | 1.11 |
| F11 | 4/14 | " | 22.8 | 50.3 | 1524 | 169 | 149 | 0.45 |
| E11 | 4/15 | " | 22.4 | 51.3 | 1532 | 177 | 156 | 0.40 |
| H07-I08 | 4/20 | " | 22.9 | 57.4 | 1274 | 261 | 159 | 1.54 |
| I10-H10 | 4/8 | " | 21.8 | 54.5 | 1374 | 146 | 290 | 0.95 |
| G04-G05 | 4/15 | " | 22.7 | 53.7 | 1324 | 146 | 220 | 1.17 |
| D09 | 4/11 | " | 22.5 | 52.1 | 1369 | 141 | 310 | 1.43 |
| F05 | 4/20 | " | 21.8 | 62.8 | 1440 | 145 | 180 | 0.58 |
| G10-G11 | 4/11 | 個 人 | 22.6 | 53.6 | 1182 | 136 | 347 | 2.93 |
| G07 | 4/15 | " | 22.3 | 55.0 | 1227 | 156 | 422 | 2.39 |
| F10-G11 | 4/18 | " | 24.0 | 45.8 | 1200 | 132 | 371 | 2.54 |
| F12 | 4/14 | " | 22.4 | 47.7 | 1200 | 120 | 216 | 0.86 |
| 廠 區 平 均 | | | 22.3 | 54.4 | 1413 | 161 | 213 | 0.96 |
| 個 人 平 均 | | | 22.8 | 50.5 | 1202 | 136 | 339 | 2.18 |
| 全 部 平 均 | | | 22.5 | 53.3 | 1357 | 155 | 247 | 1.29 |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | | 22.0 | 57.1 | 1432 | 161 | 169 | 0.31 |
| " | 4/18 | | 22.9 | 53.4 | 1382 | 191 | 246 | 0.24 |
| " | 5/4 | | 26.9 | 77.1 | 1407 | 165 | 110 | 0.31 |
| 平 均 | | | 23.9 | 62.5 | 1407 | 172 | 175 | 0.29 |

由 4.4 表可知，部分實施排氣再循環後，廠區採樣平均微粒濃度是 $221\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $1.18\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ；個人採樣平均微粒濃度是 $326\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $3.58\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ；補充空氣平均微粒濃度是 $178\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $0.28\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。個人採樣平均微粒及鉛濃度皆比廠區採樣平均要高；而部分再循環後，補充空氣之微粒及鉛濃度皆與未實施排氣再循環前之濃度相差不多；顯示：從廠內排出廠外之廢氣，對補充空並無顯著之影響。

表 4.4 微粒及鉛之濃度——部分實施排氣再循環後

| 位 置 | 日 期 | 採 樣 型 式 | 溫 度 °C | 濕 度 RH | 採 樣 流 量 1pm | 採 樣 時 間 min | 微 粒 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 鉛 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ |
|---------|------|---------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|
| E08 | 2/5 | 廠 區 | 22.5 | 56.9 | 1357 | 199 | 206 | 1.13 |
| D07 | 2/9 | " | 23.0 | 50.8 | 1188 | 372 | 339 | 1.89 |
| E05 | 2/10 | " | 22.0 | 53.9 | 1181 | 159 | 161 | 0.67 |
| G05-H06 | 2/10 | " | 21.6 | 54.5 | 1170 | 48 | 212 | 0.66 |
| F11 | 2/12 | " | 22.6 | 55.3 | 1374 | 467 | 224 | 0.91 |
| E11 | 2/24 | " | 23.2 | 55.3 | 1407 | 269 | 165 | 0.49 |
| H07-I08 | 2/24 | " | 24.6 | 29.9 | 1357 | 184 | 205 | 2.66 |
| I10-H10 | 2/29 | " | 21.9 | 59.9 | 1424 | 286 | 281 | 1.11 |
| G04-G05 | 2/29 | " | 21.7 | 56.3 | 1357 | 166 | 247 | 0.94 |
| D09 | 3/2 | " | 21.3 | 52.9 | 1457 | 285 | 203 | 0.83 |
| F05 | 3/4 | " | 21.0 | 55.1 | 1382 | 195 | 185 | 1.66 |
| G10-G11 | 2/25 | 個 人 | 24.1 | 53.4 | 1424 | 271 | 304 | 6.01 |
| G07 | 2/25 | " | 24.0 | 53.5 | 1357 | 170 | 495 | 5.83 |
| F10-G11 | 3/2 | " | 21.1 | 53.3 | 1349 | 173 | 336 | 1.87 |
| F12 | 3/14 | " | 24.2 | 57.8 | 1170 | 183 | 168 | 0.61 |
| 廠 區 平 均 | | | 22.3 | 52.8 | 1332 | 239 | 221 | 1.18 |
| 個 人 平 均 | | | 23.4 | 54.5 | 1325 | 199 | 326 | 3.58 |
| 全 部 平 均 | | | 22.6 | 53.3 | 1330 | 228 | 249 | 1.82 |
| 補 充 空 氣 | 3/11 | | 22.5 | 66.3 | 1283 | 193 | 198 | 0.40 |
| " | 3/11 | | 23.5 | 65.1 | 1294 | 201 | 152 | 0.22 |
| " | 3/14 | | 26.8 | 61.1 | 1283 | 245 | 185 | 0.22 |
| 平 均 | | | 24.3 | 64.2 | 1287 | 213 | 178 | 0.28 |

由表 4.5 可知，全部實施排氣再循環後，廠區採樣平均微粒濃度是 $228\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $1.29\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ；個人採樣平均微粒濃度是 $340\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $1.29\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ；個人採樣平均微粒濃度是 $340\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，鉛濃度是 $3.94\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。個人採樣平均微粒及鉛濃度還是都比廠區採樣平均要高。

為了進一步比較三種不同再循環比例濃度之差異，將表 4.3 至表 4.5 之數據繪成柱狀圖，如圖 4.3 至 4.6 所示。

由圖 4.3 及圖 4.5 可看出三種不同再循環比例之微粒濃度並無顯著之差異；原因可能是補充空氣之平均微粒濃度 ($175\sim178\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) 與經空氣清潔器處理後之迴流空氣平均微粒濃度 ($183\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，見表 4.1) 相差不多之故。

由圖 4.4 及圖 4.6 可看出全部實施排氣再循環後之鉛濃度，比部分實施排氣再循環後要高，而部分實施排氣再循環後及比未實施排氣再循環前要來得高；原因可能是迴流空氣平均

表 4.5 微粒及鉛之濃度——全部實施排氣再循環後

| 位 置 | 日 期 | 採 样 型 式 | 溫 度 °C | 濕 度 RH | 採樣流量 lpm | 採樣時間 min | 微 粒 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 鉛 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|
| E08 | 12/18 | 廠 區 | 23.2 | 52.2 | 1320 | 213 | 219 | 0.65 |
| D07 | 12/28 | " | 22.3 | 52.8 | 1235 | 251 | 325 | 1.98 |
| E05 | 12/16 | " | 21.5 | 50.2 | 1152 | 168 | 152 | 1.23 |
| G05-H06 | 1/6 | " | 24.0 | 51.1 | 1227 | 250 | 178 | 0.75 |
| F11 | 12/11 | " | 22.1 | 50.8 | 1320 | 208 | 212 | 1.14 |
| E11 | 12/9 | " | 21.8 | 49.6 | 1176 | 188 | 173 | 0.61 |
| H07-I08 | 2/3 | " | 21.5 | 49.8 | 1232 | 164 | 256 | 2.55 |
| I10-H10 | 12/9 | " | 22.0 | 50.3 | 1320 | 242 | 293 | 1.25 |
| G04-G05 | 2/3 | " | 22.2 | 48.2 | 1182 | 92 | 215 | 1.15 |
| D09 | 1/15 | " | 24.5 | 50.8 | 1176 | 247 | 270 | 1.06 |
| F05 | 1/15 | " | 24.8 | 49.7 | 1182 | 180 | 217 | 1.80 |
| G10-G11 | 12/16 | 個 人 | 22.1 | 50.1 | 1182 | 204 | 340 | 6.85 |
| G07 | 12/11 | " | 21.8 | 51.4 | 1227 | 182 | 505 | 5.08 |
| F10-G11 | 1/6 | " | 24.9 | 50.2 | 1200 | 183 | 339 | 2.91 |
| F12 | 12/18 | " | 22.8 | 54.3 | 1200 | 167 | 177 | 0.91 |
| 廠 區 平 均 | | | 22.7 | 50.5 | 1229 | 200 | 228 | 1.29 |
| 個 人 平 均 | | | 22.9 | 51.5 | 1202 | 184 | 340 | 3.94 |
| 全 部 平 均 | | | 22.8 | 50.8 | 1222 | 196 | 258 | 1.99 |

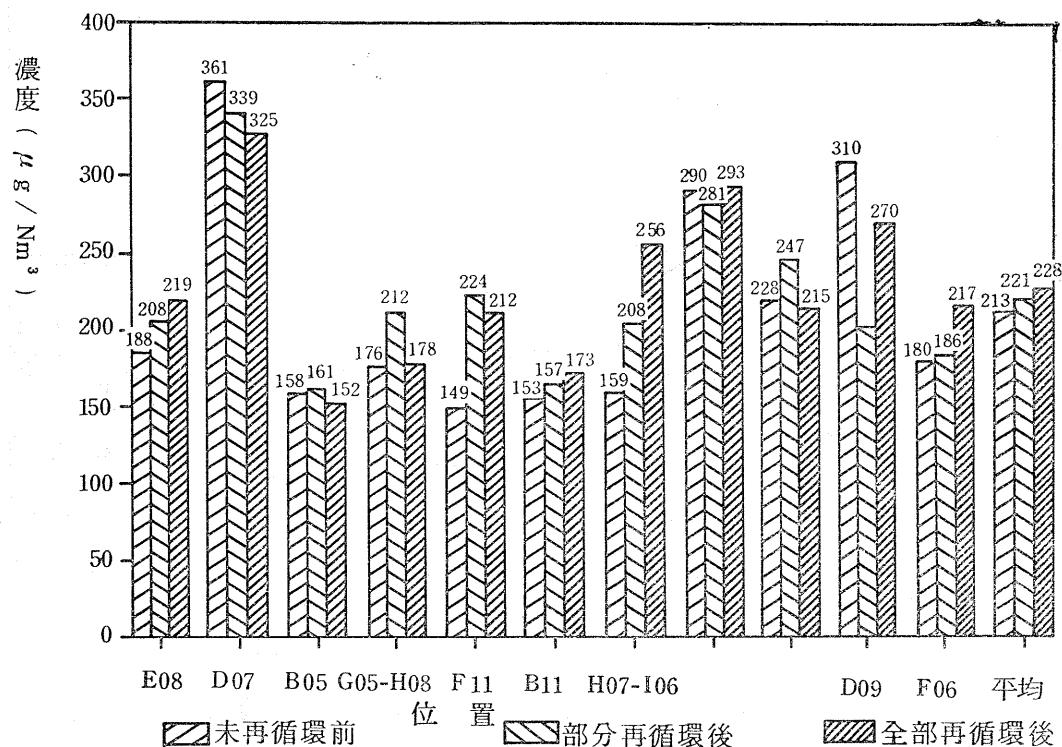


圖 4.3 廠區微粒之濃度

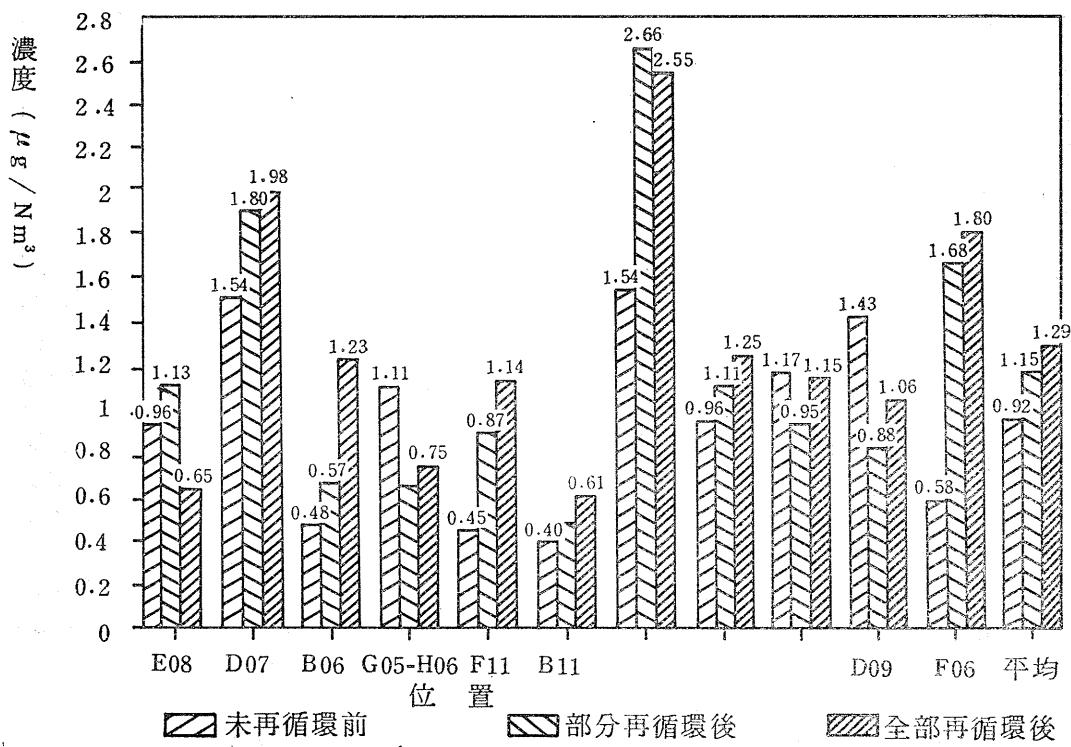


圖 4.4 廠區鉛之濃度

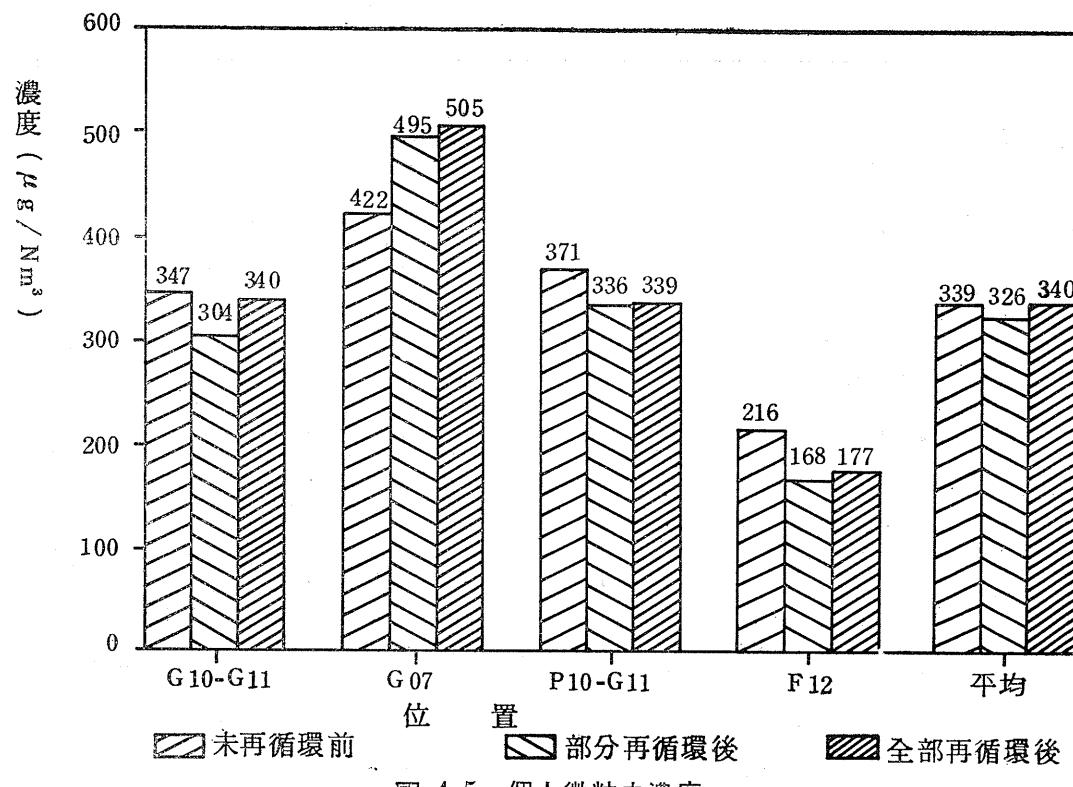


圖 4.5 個人微粒之濃度

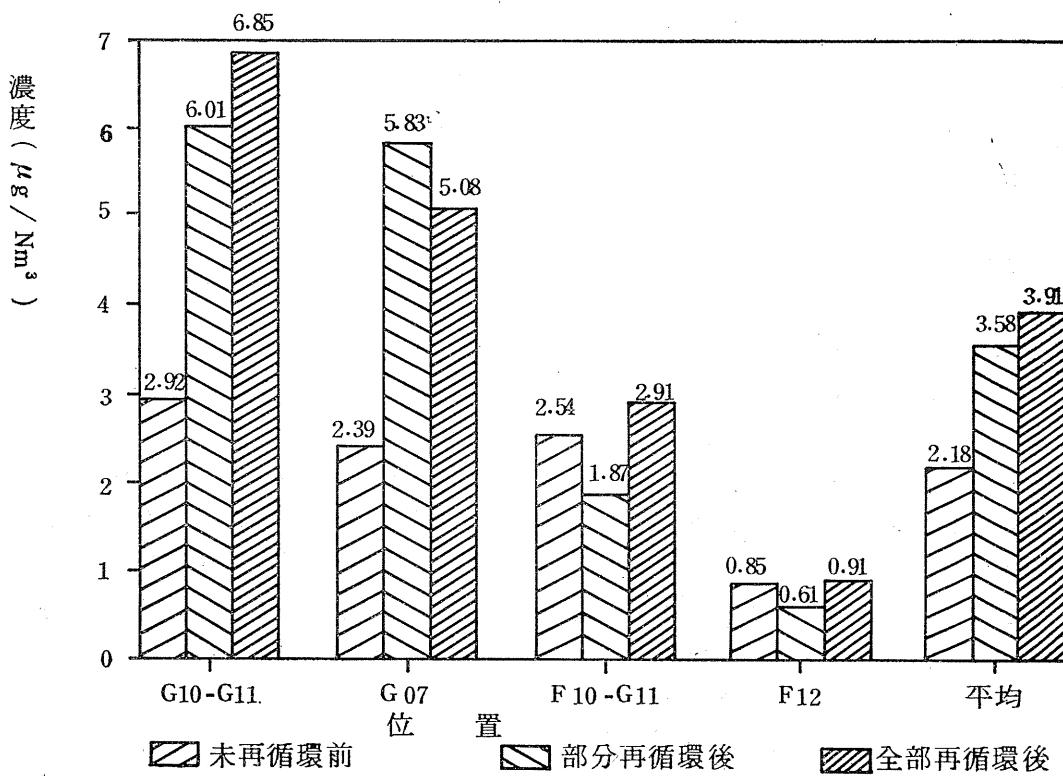


圖 4.6 個人鉛之濃度

鉛濃度 ($0.39\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, 見表 6.1) 要比補充空氣平均鉛濃度 ($0.28\sim0.29\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) 來得高之故。

綜合以上之討論，可知實施排氣再循環的結果，對廠內微粒濃度並無顯著影響，但是鉛濃度，則略有增加；不過距離容許濃度標準（鉛： $100\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）皆尚有一大段距離，因此對軟焊作業場排氣再循環之可行性而言，微粒及鉛並不是一個重要因素。

4.2.2 有機溶劑蒸氣及二氧化碳

針對本研究對象之軟焊作業場比較顯著之五種有機溶劑蒸氣及二氧化碳，分三種不同循環比例進行採樣的結果，如表4.6至表4.11所示。

由表 4.6 至表 4.11 顯示，未實施排氣再循環前廠區採樣平均濃度，異丙醇 (IPA) 是 21.4ppm , $1,1,1$ -三氯乙烷 ($1,1,1\text{-TCE}$) 是 12.7ppm , 丙酮 (Acetone) 是 84.1ppm , 丁酮 (MEK) 是 71.6ppm ; 甲苯 (Toluene) 是 50.3ppm ; 二氧化碳 (CO_2) 是 636ppm ；而補充空氣濃度，除了二氧化碳是 342ppm 外，其餘五種有機蒸氣皆在儀器的偵測範圍之外。

部分實施排氣再循環後，廠區採樣平均濃度，異丙醇是 30.4ppm ， $1,1,1$ -三氯乙烷是 16.8ppm ，丙酮是 126.1ppm ，丁酮是 103.0ppm ，甲苯是 72.7ppm ，二氧化碳是 671ppm ；而補充空氣濃度，除了二氧化碳是 343ppm ，與未實排氣再循環前之濃度 342ppm 相差不多外，其餘五種有機溶劑蒸氣濃度也都是在儀器偵測範圍之外，顯示廠內排出廠外之廢氣，跑到補充空氣入口之量並無顯著變化。

全部實施排氣再循環後，廠區採樣平均濃度異丙醇是 38.9ppm ， $1,1,1$ -三氯乙烷是 21.6ppm ，丙酮是 139.3ppm ，丁酮是 123.0ppm ，甲苯是 99.3ppm ，二氧化碳是 722ppm ；值得一提的是甲苯平均濃度已逼近許濃度標準（甲苯： 100ppm ），並有許多點已經超過。

爲了進一步比較三種不同再循環比例之濃度差異，將表 4.6 至表 4.11 繪成柱狀圖，如圖 4.7 至圖 4.12 所示。由圖中明確地顯示出，全部實施排氣再循環後之廠區採樣平均濃度，皆比實施排氣再循環後要高，而部分實施再循環後又比未實施排氣再循環前要高；這是由於靜電空氣清潔器無法去除有機溶劑蒸氣及二氧化碳所造成；另外由二氧化碳濃度也可以得知，未實施排氣再循環前廠內與廠外之換氣率，要比部分再循環後來得好，而部分再循環後又比全部再循環後要好。

爲了評估此軟焊作業場，在現有的排氣再循環系統是否可行，將有機溶劑蒸氣之影響視爲相加效應，計算公式如下：

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \leq 1$$

式中， C_n ：污染物濃度

T_n ：容許濃度標準

(1)未實施排氣再循環前

$$\frac{21.4}{400} + \frac{12.7}{350} + \frac{84.1}{1,000} + \frac{71.6}{200} + \frac{50.3}{100} = 1.035 > 1$$

式中，分母第一項至第五項，分別爲異丙醇， $1,1,1$ -三氯乙烷，丙酮，丁酮及甲苯之容許濃

表 4.6 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—異丙醇

IPA (ppm)

| 位 置 | 未再循環前 | | 部分再循環後 | | 全部再循環後 | |
|---------|-------|------|--------|------|--------|------|
| | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 |
| E08 | 4/11 | 19.2 | 2/5 | 31.9 | 12/18 | 32.7 |
| D07 | 4/20 | 11.1 | 2/24 | 17.5 | 12/16 | 18.7 |
| E05 | 4/18 | 24.4 | 3/4 | 26.6 | 12/28 | 33.8 |
| F11 | 4/14 | 18.4 | 3/14 | 22.7 | 1/15 | 40.1 |
| H07-I08 | 4/15 | 19.6 | 3/11 | 40.6 | 2/3 | 51.8 |
| G10-G11 | 4/20 | 16.2 | 2/25 | 24.4 | 1/6 | 26.3 |
| H10-I10 | 4/11 | 31.7 | 2/29 | 33.9 | 12/16 | 43.3 |
| G04-G05 | 4/15 | 31.1 | 3/4 | 46.8 | 1/25 | 68.6 |
| F10-G11 | 4/14 | 20.7 | 3/2 | 28.9 | 1/6 | 34.5 |
| 平 均 | | 21.4 | | 30.4 | | 38.9 |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | N.D | 3/11 | N.D | | |
| " | 5/4 | N.D | 3/14 | N.D | | |

表 4.7 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—1,1,1-三氯乙烷

1,1,1-TCE (ppm)

| 位 置 | 未再循環前 | | 部分再循環後 | | 全部再循環後 | |
|---------|-------|------|--------|------|--------|------|
| | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 |
| E08 | 4/11 | 10.7 | 2/5 | 16.9 | 12/18 | 19.8 |
| D07 | 4/20 | 8.6 | 2/24 | 10.7 | 12/16 | 15.2 |
| E05 | 4/18 | 9.3 | 3/4 | 14.7 | 12/28 | 16.2 |
| F11 | 4/14 | 11.9 | 3/14 | 9.6 | 1/15 | 15.7 |
| H07-I08 | 4/15 | 18.1 | 3/11 | 24.4 | 2/3 | 26.1 |
| G10-G11 | 4/20 | 9.6 | 2/25 | 13.5 | 1/6 | 21.7 |
| H10-I10 | 4/11 | 13.5 | 2/29 | 20.5 | 12/16 | 24.9 |
| G04-G05 | 4/15 | 15.6 | 3/4 | 14.2 | 1/25 | 25.6 |
| F10-G11 | 4/14 | 17.2 | 3/2 | 26.5 | 1/6 | 29.1 |
| 平 均 | | 12.7 | | 16.8 | | 21.6 |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | N.D | 3/11 | N.D | | |
| " | 5/4 | N.D | 3/14 | N.D | | |

表 4.8 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—丙酮

Acetone (ppm)

| 位 置 | 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|-------|-------|------|--------|-------|-----|--------|-------|-----|
| | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 |
| E08 | 4/11 | 129.3 | 2/5 | 167.6 | 12/18 | | | 156.3 | |
| D07 | 4/20 | 44.3 | 2/24 | 86.9 | 12/16 | | | 89.2 | |
| E05 | 4/18 | 64.3 | 3/4 | 86.1 | 12/28 | | | 99.2 | |
| F11 | 4/14 | 36.7 | 3/14 | 89.3 | 1/15 | | | 107.9 | |
| H07-I08 | 4/15 | 72.6 | 3/11 | 120.1 | 2/3 | | | 135.5 | |
| G10-G11 | 4/20 | 73.3 | 2/25 | 108.2 | 1/6 | | | 116.4 | |
| H10-I10 | 4/11 | 160.6 | 2/29 | 226.1 | 12/16 | | | 184.9 | |
| G04-G05 | 4/15 | 129.1 | 3/4 | 170.6 | 1/25 | | | 238.5 | |
| F10-G11 | 4/14 | 46.4 | 3/2 | 79.7 | 1/6 | | | 125.7 | |
| 平 均 | | 84.1 | | 126.1 | | | | 139.3 | |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | N.D | 3/11 | N.D | | | | | |
| " | 5/4 | N.D | 3/14 | N.D | | | | | |

表 4.9 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—丁酮

MEK (ppm)

| 位 置 | 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|-------|-------|------|--------|-------|-----|--------|-------|-----|
| | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 | 濃 度 | 日 期 |
| E08 | 4/11 | 79.8 | 2/5 | 124.1 | 12/18 | | | 132.9 | |
| D07 | 4/20 | 40.0 | 2/24 | 74.8 | 12/16 | | | 76.3 | |
| E05 | 4/18 | 44.1 | 3/4 | 76.8 | 12/28 | | | 97.2 | |
| F11 | 4/14 | 42.1 | 3/14 | 62.9 | 1/15 | | | 112.8 | |
| H07-I08 | 4/15 | 69.7 | 3/11 | 121.6 | 2/3 | | | 128.4 | |
| G10-G11 | 4/20 | 74.3 | 2/25 | 91.7 | 1/6 | | | 105.5 | |
| H10-I10 | 4/11 | 99.7 | 2/29 | 124.2 | 12/16 | | | 157.2 | |
| G04-G05 | 4/15 | 142.5 | 3/4 | 159.9 | 1/25 | | | 169.7 | |
| F10-G11 | 4/14 | 52.2 | 3/2 | 90.8 | 1/6 | | | 127.0 | |
| 平 均 | | 71.6 | | 103.0 | | | | 123.0 | |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | N.D | 3/11 | N.D | | | | | |
| " | 5/4 | N.D | 3/14 | N.D | | | | | |

表 4.10 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—甲苯

(Toluene (ppm))

| 位 置 | 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|-------|------|--|--------|------|--|--------|-------|--|
| | 日 期 | 濃 度 | | 日 期 | 濃 度 | | 日 期 | 濃 度 | |
| E08 | 4/11 | 45.7 | | 2/5 | 76.9 | | 12/18 | 108.4 | |
| D07 | 4/20 | 58.9 | | 2/24 | 64.2 | | 12/16 | 72.3 | |
| E05 | 4/18 | 30.6 | | 3/4 | 80.0 | | 12/28 | 89.6 | |
| F11 | 4/14 | 53.6 | | 3/14 | 60.0 | | 1/15 | 73.9 | |
| H07-I08 | 4/15 | 56.0 | | 3/11 | 80.5 | | 2/3 | 86.0 | |
| G10-G11 | 4/20 | 52.7 | | 2/25 | 74.6 | | 1/6 | 108.0 | |
| H10-I10 | 4/11 | 52.7 | | 2/29 | 76.1 | | 12/16 | 112.4 | |
| G04-G05 | 4/15 | 51.6 | | 3/4 | 71.5 | | 1/25 | 116.2 | |
| F10-G11 | 4/14 | 50.6 | | 3/2 | 70.9 | | 1/6 | 127.0 | |
| 平 均 | | 50.3 | | | 72.7 | | | 99.3 | |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | N.D. | | 3/11 | N.D. | | | | |
| " | 5/4 | N.D. | | 3/14 | N.D. | | | | |

表 4.11 廠區二氧化碳之濃度

(ppm)

| 位 置 | 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|-------|-------------|-----|--------|-------------|-----|--------|-------------|-----|
| | 日 期 | 採樣時間 min | 濃 度 | 日 期 | 採樣時間 min | 濃 度 | 日 期 | 採樣時間 min | 濃 度 |
| E08 | 4/11 | 75 | 691 | 2/5 | 165 | 720 | 12/18 | 135 | 708 |
| D07 | 4/20 | 75 | 654 | 2/24 | 165 | 614 | 12/16 | 105 | 652 |
| E05 | 4/18 | 90 | 594 | 3/4 | 180 | 690 | 12/28 | 150 | 745 |
| F11 | 4/14 | 90 | 593 | 3/14 | 315 | 652 | 1/15 | 135 | 695 |
| H07-I08 | 4/15 | 120 | 668 | 3/11 | 150 | 732 | 2/3 | 150 | 790 |
| G10-G11 | 4/20 | 135 | 685 | 2/25 | 150 | 680 | 1/6 | 165 | 630 |
| H10-I10 | 4/11 | 90 | 601 | 2/29 | 135 | 633 | 12/16 | 120 | 713 |
| G04-G05 | 4/15 | 105 | 609 | 3/4 | 135 | 635 | 1/25 | 90 | 743 |
| F10-G11 | 4/14 | 75 | 632 | 3/2 | 150 | 687 | 1/6 | 75 | 820 |
| 平 均 | | 95 | 636 | | 172 | 671 | | 125 | 722 |
| 補 充 空 氣 | 4/18 | 90 | 339 | 3/11 | 90 | 338 | | | |
| " | 5/4 | 90 | 344 | 3/14 | 90 | 348 | | | |
| 平 均 | | 48 | 342 | | 86 | 343 | | | |

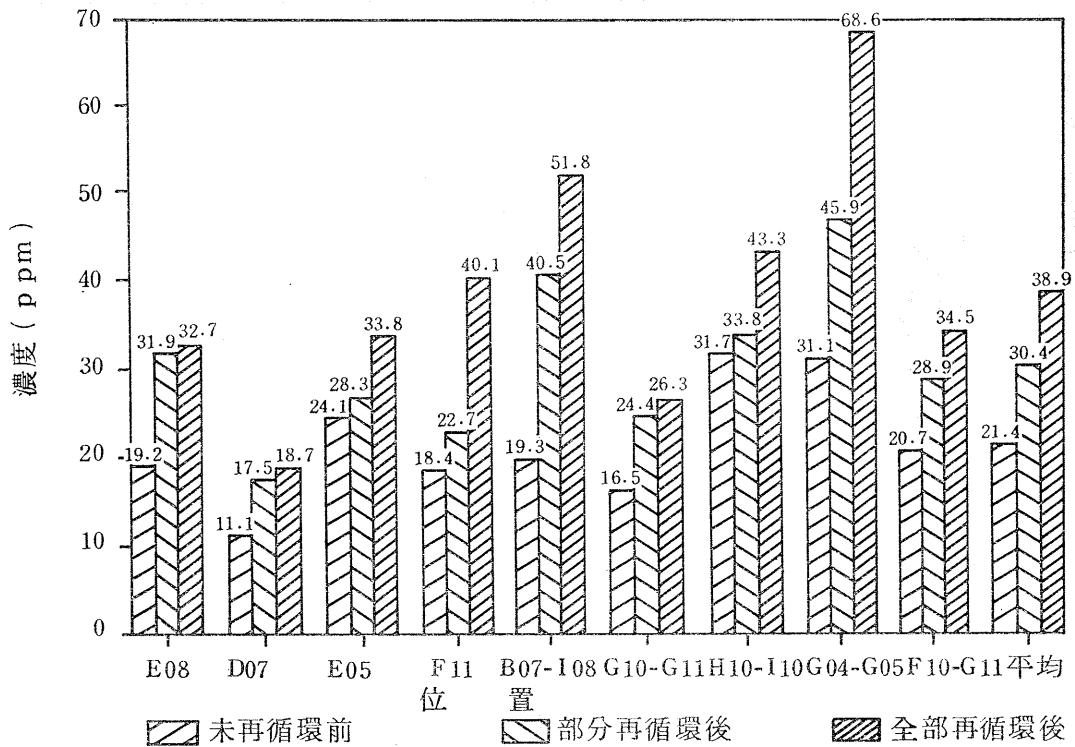


圖 4.7 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—異丙醇

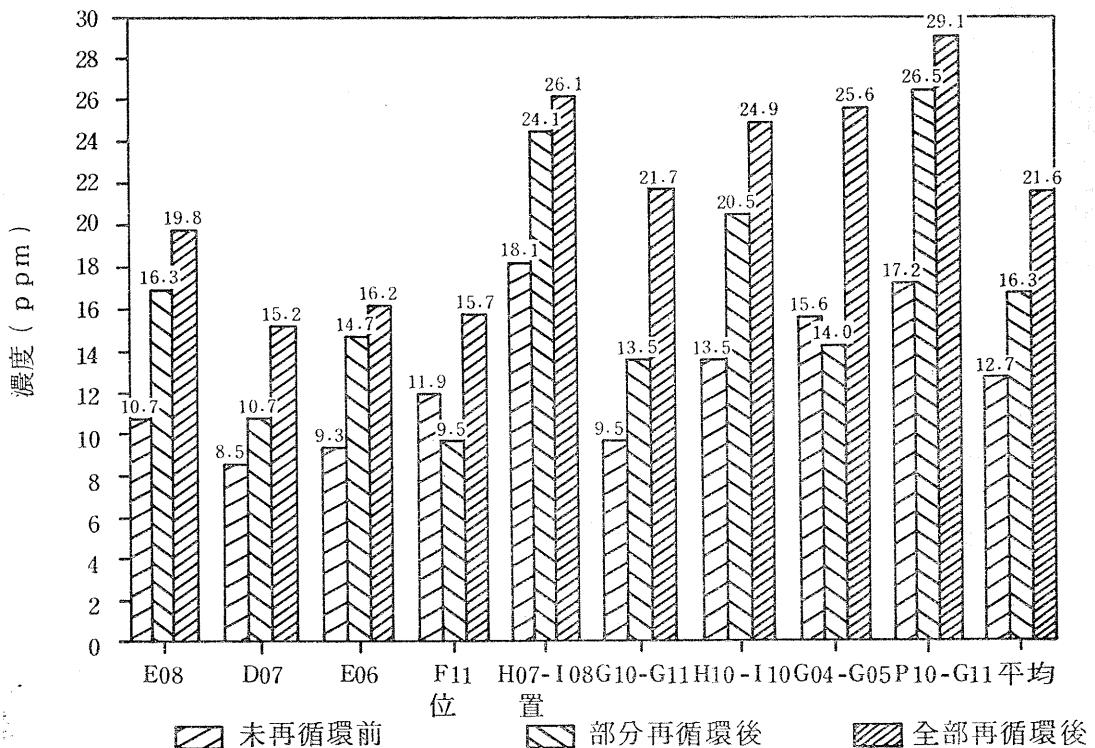


圖 4.8 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—1,1,1-三氯乙烷

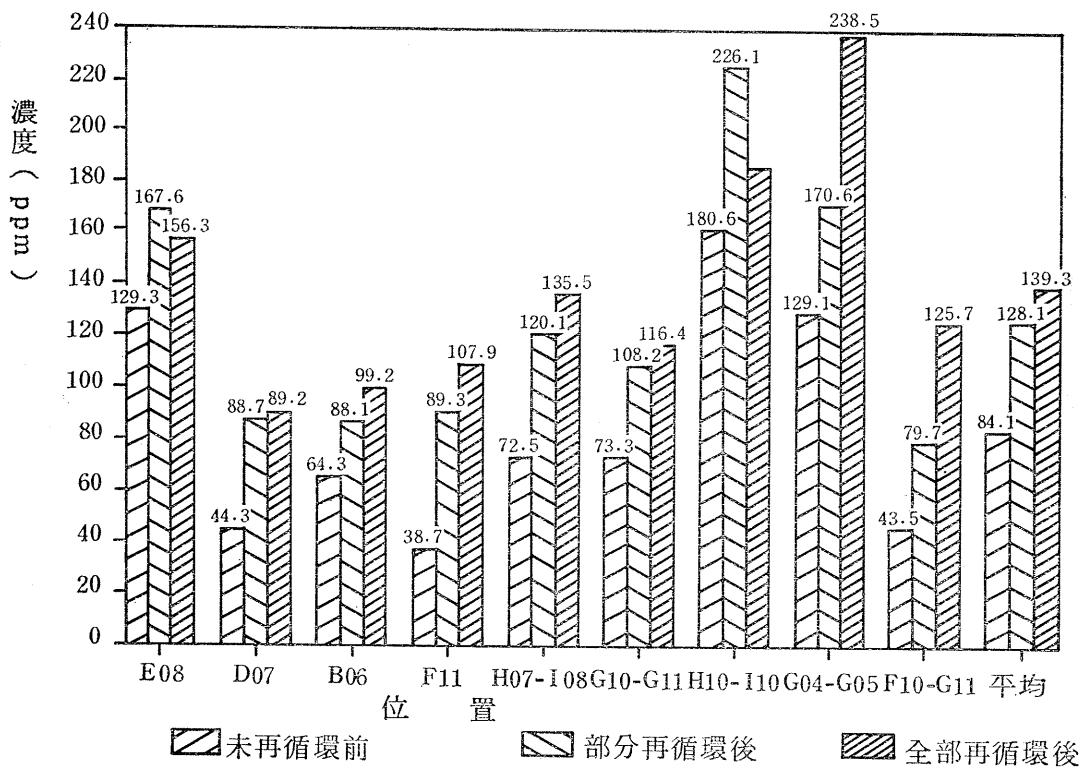


圖 4.9 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—丙酮

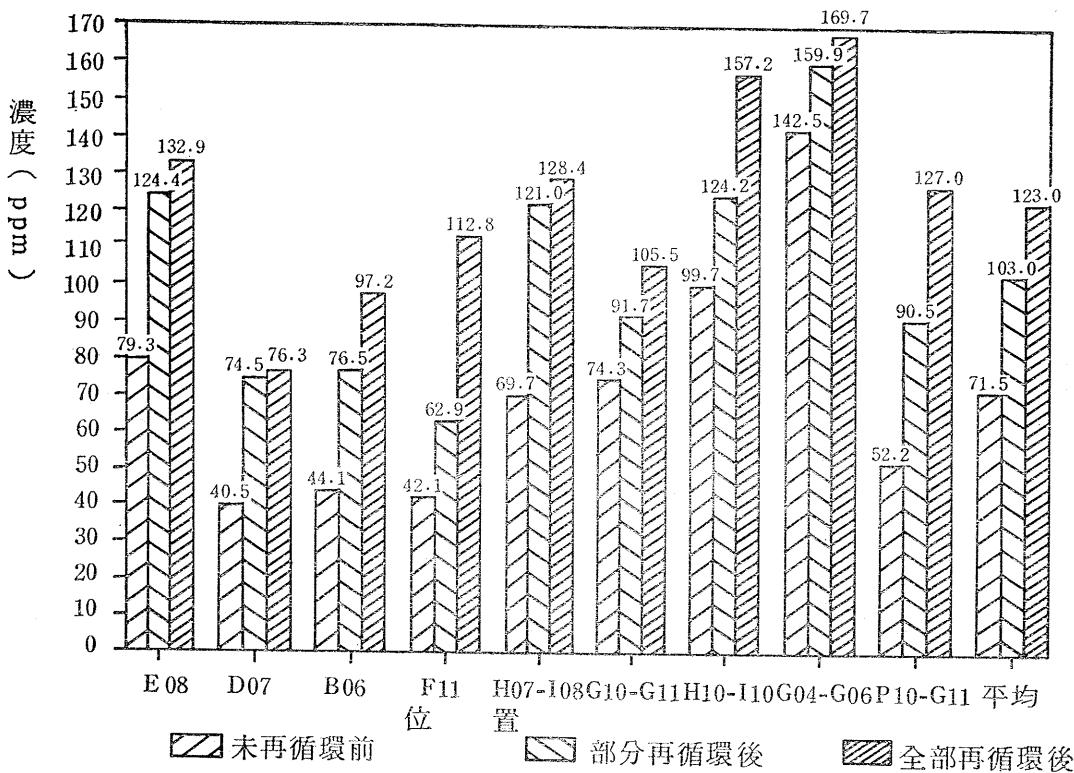


圖 4.10 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—丁酮

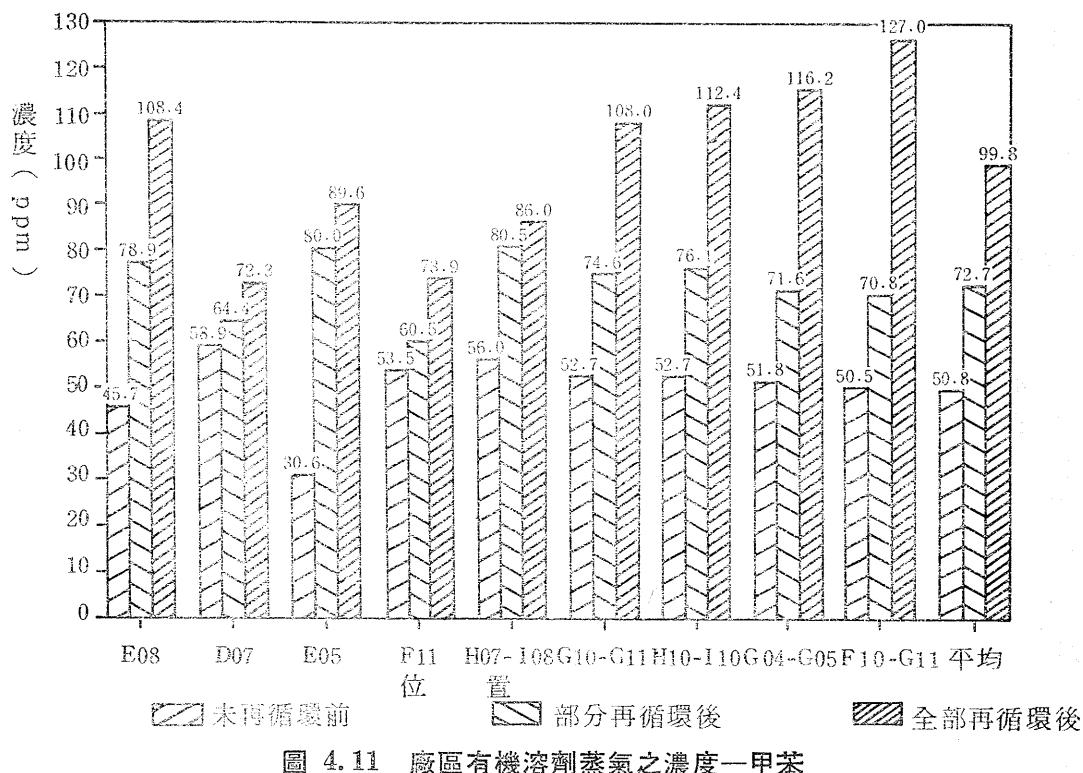


圖 4.11 廠區有機溶劑蒸氣之濃度—甲苯

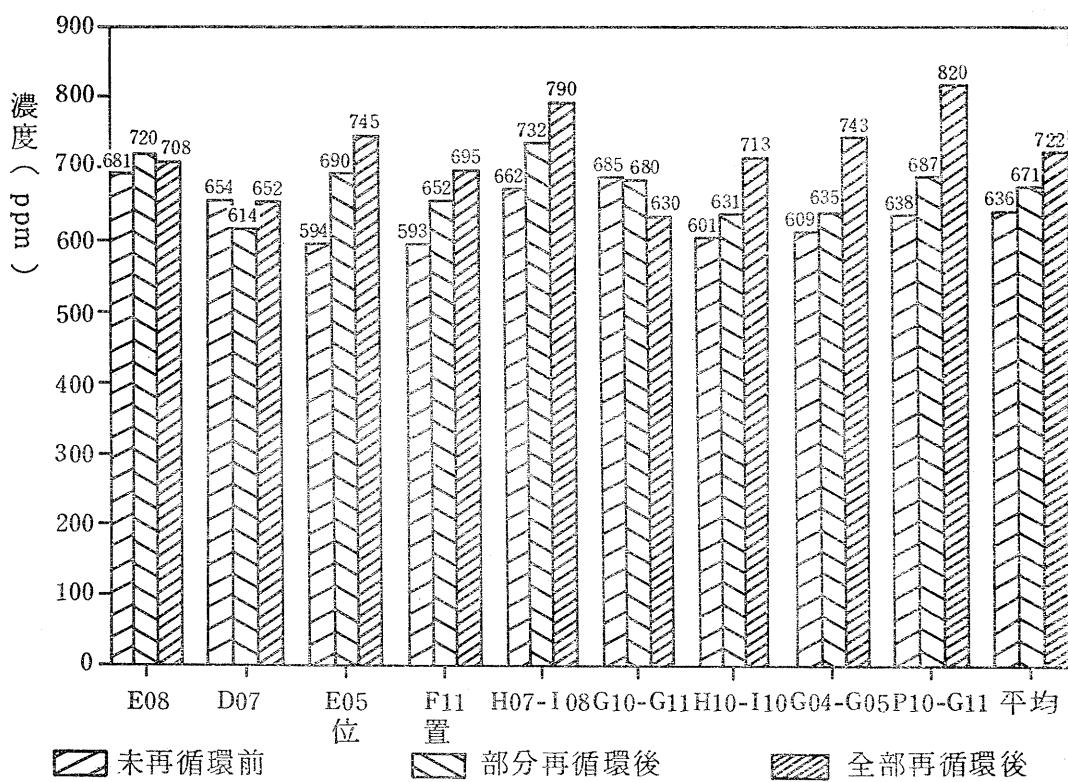


圖 4.12 廠區二氧化碳之濃度

度標準（8小時平均）〔16〕。

(2)部分實施排氣再循環後

$$\frac{30.4}{400} + \frac{16.8}{350} + \frac{126.1}{1,000} + \frac{103.0}{200} + \frac{72.7}{100} = 1.492 > 1$$

(3)全部實施排氣再循環後

$$\frac{38.9}{400} + \frac{21.6}{350} + \frac{139.3}{1,000} + \frac{123.0}{200} + \frac{99.3}{100} = 1.906 > 1$$

綜合以上之討論及計算可知，在僅考慮主要的五種有機溶劑蒸氣之下，未實施排氣再循環前，就已經超出標準，遑論實施排氣再循環後；更何況，尚有一些沒有測定之次要污染物，未加入計算；所以在未改善傳統通風系統操作下之作業環境空氣品質之前，不應考慮實施排氣再循環。

4.2.3 風管內之測定

為了驗證排氣再循環系統模式，所以實施風管內之測定，由於微粒及鉛經過前面之討論，知其在排氣再循環系統中，並不重要，故不測定，而僅測定五種有機溶劑蒸氣及二氧化碳。

由於靜電式空氣清潔器時五種有機蒸氣及二氧化碳，並無去除效率，所以實施排氣再循環後之廻流空氣濃度，應與風管內之濃度相同 ($C_R = C_E$)。

表4.12至表4.17為五種有機蒸氣及二氧化碳，在三種不同循環比例情況下，所測得之濃度值。

由表4.12至表4.17可知，在未實施排氣再循環前、部分實施排氣再循環後及全部實施排氣再循環後，異丙醇濃度分別是 23.6ppm, 27.7ppm 及 44.4ppm；1,1,1-三氯乙烷濃度分別是 9.4ppm, 12.8ppm 及 23.2ppm；丙酮濃度分別是 47.7ppm, 57.3ppm 及 67.2ppm；丁酮濃度分別是 48.8ppm, 68.2ppm 及 84.8ppm；甲苯濃度分別是 43.4ppm, 65.2ppm 及 116.8ppm；二氧化碳濃度分別是 617ppm, 655ppm 及 690ppm。可以明顯地看出來，五種有機蒸氣及二氧化碳平均濃度，全部再循環後皆比部分再循環後要高，而部分再循環後又皆比未再循環前要來得高這也是廠區平均濃度會隨著排氣再循環之增加而昇高的原因。

5.1 結 論

1. 本研究對象之軟焊作業場排氣再循環系統，所使用之空氣清潔器，為靜電集塵器加一片前置過濾網所組成。其僅對微粒有去除效果，對有機溶劑蒸氣，並無去除作用；且其對微粒之去除效率，隨着操作天數的增加呈明顯遞減的傾向；處理風量也有隨着操作天數增加而減少的趨勢。
2. 作業環境微粒濃度，在未實施排氣再循環前，部分實施排氣再循環後及全部實施排氣再循環後，並無顯著的差異。原因是由於補充空氣微粒與經空氣清潔器處理後之廻流空氣微粒濃度，相差不多之故。
3. 作業環境鉛濃度，全部實施再循環後又比未實施再循環前略高。原因是廻流空氣之鉛濃度，比補充空氣中鉛濃度要略高之故。

表 4.12 風管內有機溶劑蒸氣之濃度—異丙醇

IPA (ppm)

| 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|------|------|--------|------|------|--------|-------|------|
| 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 |
| In Duct | 4/11 | 22.4 | A35 | 2/24 | 17.0 | A38 | 10/29 | 53.0 |
| In Duct | 4/14 | 29.1 | A37 | 2/25 | 29.3 | A38 | 11/4 | 73.0 |
| In Duct | 4/15 | 19.8 | A36 | 3/2 | 18.3 | A38 | 11/6 | 53.4 |
| In Duct | 4/18 | 23.1 | A38 | 3/4 | 32.4 | A38 | 12/9 | 35.2 |
| | | | A34 | 3/11 | 41.5 | A37 | 12/11 | 30.4 |
| 平 均 | | 23.6 | | | 27.7 | | | 44.4 |

表 4.13 風管內有機溶劑蒸氣之濃度—1,1,1-三氯乙烷

1,1,1-TCE (ppm)

| 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|------|------|--------|------|------|--------|-------|------|
| 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 |
| In Duct | 4/11 | 12.2 | A35 | 2/24 | 8.1 | A38 | 10/29 | 24.0 |
| In Duct | 4/14 | 8.3 | A37 | 2/25 | 13.5 | A38 | 11/4 | 33.6 |
| In Duct | 4/15 | 9.2 | A36 | 3/2 | 9.3 | A38 | 11/6 | 26.7 |
| In Duct | 4/18 | 7.7 | A38 | 3/4 | 13.5 | A38 | 12/9 | 23.6 |
| | | | A34 | 3/11 | 19.5 | A37 | 12/11 | 16.6 |
| 平 均 | | 9.4 | | | 12.8 | | | 23.2 |

表 4.14 風管內有機溶劑蒸氣之濃度—丙酮

Acetone (ppm)

| 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|------|------|--------|------|------|--------|-------|------|
| 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 |
| In Duct | 4/11 | 71.6 | A35 | 2/24 | 40.5 | A38 | 12/9 | 75.5 |
| In Duct | 4/14 | 73.2 | A37 | 2/25 | 74.4 | A37 | 12/11 | 71.1 |
| In Duct | 4/15 | 27.1 | A36 | 3/2 | 50.3 | A40 | 1/15 | 55.1 |
| In Duct | 4/18 | 18.8 | A38 | 3/4 | 60.1 | | | |
| | | | A38 | 3/9 | 32.3 | | | |
| | | | A34 | 3/11 | 86.1 | | | |
| 平 均 | | 47.7 | | | 57.3 | | | 67.2 |

表 4.15 風管內有機溶劑蒸氣之濃度—丁酮

MEK (ppm)

| 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|------|------|--------|------|------|--------|-------|------|
| 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 |
| In Duct | 4/11 | 67.8 | A35 | 2/24 | 51.0 | A38 | 12/9 | 97.0 |
| In Duct | 4/14 | 71.2 | A37 | 2/25 | 90.7 | A37 | 12/11 | 88.8 |
| In Duct | 4/15 | 33.4 | A36 | 3/2 | 54.9 | A40 | 1/15 | 68.5 |
| In Duct | 4/18 | 22.6 | A38 | 3/4 | 74.8 | | | |
| | | | A38 | 3/9 | 46.0 | | | |
| | | | A34 | 3/11 | 91.7 | | | |
| 平 均 | | 48.8 | | | 68.2 | | | 84.8 |

表 4.16 風管內有機溶劑蒸氣之濃度—甲苯

Toluene (ppm)

| 未再循環前 | | | 部分再循環後 | | | 全部再循環後 | | |
|---------|------|------|--------|------|------|--------|-------|-------|
| 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 濃 度 |
| In Duct | 4/11 | 26.5 | A35 | 2/24 | 53.3 | A38 | 12/9 | 130.1 |
| In Duct | 4/14 | 38.8 | A37 | 2/25 | 43.3 | A37 | 12/11 | 140.3 |
| In Duct | 4/15 | 68.7 | A36 | 3/2 | 61.6 | A40 | 1/15 | 80.1 |
| In Duct | 4/18 | 39.5 | A38 | 3/4 | 89.6 | | | |
| | | | A38 | 3/9 | 47.6 | | | |
| | | | A34 | 3/11 | 95.5 | | | |
| 平 均 | | 43.4 | | | 65.2 | | | 116.8 |

表 4.17 風管內二氧化碳之濃度

(ppm)

| 未再循環前 | | | | 部分再循環後 | | | | 全部再循環後 | | | |
|---------|------|-------------|-----|--------|------|-------------|-----|--------|-------|-------------|-----|
| 位 置 | 日 期 | 採樣時間 min | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 採樣時間 min | 濃 度 | 位 置 | 日 期 | 採樣時間 min | 濃 度 |
| In Duct | 4/11 | 75 | 598 | A35 | 2/24 | 75 | 640 | A38 | 11/4 | 60 | 735 |
| In Duct | 4/14 | 105 | 634 | A37 | 2/25 | 90 | 677 | A38 | 11/6 | 60 | 706 |
| In Duct | 4/15 | 75 | 601 | A36 | 3/2 | 135 | 595 | A38 | 12/9 | 120 | 662 |
| In Duct | 4/18 | 75 | 634 | A38 | 3/4 | 120 | 606 | A37 | 12/11 | 120 | 668 |
| | | | | A38 | 3/9 | 90 | 686 | A40 | 1/15 | 75 | 680 |
| | | | | A34 | 3/11 | 120 | 723 | | | | |
| 平 均 | | 83 | 617 | | 105 | 655 | | | | 87 | 690 |

4. 作業環境之微粒及鉛濃度，不管在實施排氣再循環前後，皆與內政部（現為勞委會）頒布的容許濃度標準有相當大的差距，所以在軟焊作業場實施排氣再循環的考慮中，並不是一個重要的因素。

5. 五種有機溶劑蒸氣（異丙醇，1,1,1-三氯乙烷，丙酮、丁酮及甲苯）之作業環境平均濃度，全部再循環後皆比部分再循環後高出許多，而部分再循環後又皆比未再循環前高出許多，這是由於空氣清潔器對有機溶劑蒸氣沒有去除效率，使得迴流空氣中有機溶劑蒸氣濃度比補充空氣濃度高出許多之故。

6. 如果將五種有機溶劑蒸氣濃度視為相加效應，則不管在實施排氣再循環前後，皆已超過容許濃度標準，因此在尚未改善傳統式通風系統前（即未實施排氣再循環前），以何種再循環比例實施，皆無法達到容許濃度標準，所以在此軟焊作業場既有的排氣再循環系統中，如要實施排氣再循環，應進一步改善作業環境之有機蒸氣濃度。

7. 在排氣風管內五種有機溶劑蒸氣之平均濃度全部再循環後，皆比部分再循環後高出許多，而部分再循環後，又皆比未再循環前高出許多。這是由於作業環境平均濃度隨著再循環比例之增加而昇高之故。

8. 作業環境與排氣風管內之二氧化碳平均濃度，隨著再循環空氣量的增加而昇高，顯示廠內空氣與廠外空氣之換氣率，隨著再循環空氣量的增加而減少。

5.2 建議

1. 軟焊作業場之排氣再循環系統，在目前的操作狀態下，不具可行性。若欲再考慮實施排氣再循環之前，應先改善傳統通風系統操作下之空氣品質，改善方式可從幾個方面著手：(1)。將人工清洗操作儘量改為自動清洗操作；(2)。更改氣罩之設計，將包圍型氣罩之操作口儘量縮小，並增加抽氣量；(3)。將由高污染源收集之廢氣逕行排出廠外，不考慮再循環，但須考慮是否符合空氣污染物排放標準；(4)考慮以較不具毒性之溶劑取代目前使用之溶劑；(5)。將污染源，如染線作業等，從軟焊作業場中隔離。

2. 由於靜電集塵器無法去除有機溶劑蒸氣；軟焊作業場，若決定實施排定再循環時，應謹慎選擇空氣清潔器及監測器之型式，以確保有效地去除及監測廠內有機溶劑蒸氣及其他污染物。

3. 多種溶劑產品之成分複雜，常摻有高毒性之有機溶劑，如苯、四氯化碳、正己烷等；且沒有標示成分比例，致讓使用者掉以輕心。建議生產溶劑產品之廠商，應在其產品上，以中、英文誠實地標示成分比例、毒性及使用時應注意事項等。

誌謝：

本研究承蒙國科會經費補助，行政院勞委會葉科長文裕、林技正嶽昌之協助及北部某工廠之配合得以順利完成，謹誌謝忱。

參考文獻

1. 國建會，「七十五年國建會研討專輯一電子工業組」，75年。
2. 於幼華、鄭福田、劉志成「污染物質對環境之影響」，台大環境工程研究所，71.8。
3. Partridge, L. J., Nayak, P. R., Stricoff, R. S., and Hagopian, J. H., "A recommended Approach to Recirculation of Exhaust Air", DHEW (NIOSH), 1978. 1.
4. Hagopian. J. H., "Validation of A Recommended Approach to Recirculation of Industrial Exhaust air Vol. I", DHEW (NIOSH), 1979.8.
5. Bullock, L.F., "Validation of A Recommended Approach to Recirculation of Industrial Exhaust Air Vol. II", DHEW (NIOSH), 1979.8.
6. 「鉛中毒預防規則」，內政部，63.6.
7. 譚啓平，「錫焊設計與作業」，徐氏基金會，67.12.
8. 梁靈平，「焊接技術簡介」，電子發展月刊，61期，72.1, pp3-12
9. W. Rubin,"Environmental Effects of Fumes Created Soldering", Brazing & Soldering No.3, 1982, pp22-23.
10. D. Courtney, "Health and safety in Soft Soldering", Circuit World, Vol. 9, No.4, 1983, pp2-4.
11. Gregory R. Thiel, "Cleaning and Recycling Plant Air", Plant Engineering, 1982.11, pp71-72.
12. John t. Talty, "Utilization of Air cleaning Equipment in Exhanst Air Recirculation Systems", JAPCA, 1978.6, Vo1.28, No.6, pp633-637.
13. Holcomb, M.L., "Evaluation of Air Cleaning and Monitoring Equipment Used in Recirculation Systems", DHHS (NIOSH), 1981.4.
14. 「作業環境測定及分析方法——參考資料」，內政部，70.11.
15. 葉文裕、藍福良，「勞工作業場所環境測定」，七十四年全國勞工安全衛生研討會，74.3.
16. 「勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準」，內政部，74.4.