

# 大型工件塗裝作業污染防治工程

謝文德\*

## 摘要

本案塗裝區進行有機溶劑污染防治工程，由於大型工件塗裝時所產生之污染源逸散範圍廣闊，若採用傳統固定式氣罩(hood)，龐大之管路系統須經常維修保養，不僅污染源捕捉效果不佳且浪費能源。本案採用無管路系統(no ductwork)之大型VOC模組化氣流亭(Modularized Environmental Control Booth, MECB)有效控制有機溶劑污染源，使作業區獲得良好的改善。同時配合生產流程進行且保護員工之安全及健康，氣流亭之作業環境與煙道採樣檢測均符合法規容許濃度與排放標準。為廠房建立安全健康環保(Safety Health Environment, SHE)之起始架構，不但創造具體環安與經濟效益，亦成為與社區乃至國際社會良好互動的溝通管道。

### 【關鍵字】

- 1.揮發性有機物(volatile organic compounds)
- 2.模組化氣流亭(Modularized Environmental Control Booth, MECB)
- 3.無管路系統(no ductwork)

---

\*工研院工安衛中心工業通風研究室研究員

## 一、前　　言

模組化氣流亭(MECB)與傳統之局排系統，於過去案例中曾作概略之比較分析<sup>(1)</sup>，在一般工廠常見傳統氣罩之不當設計，不僅無法有效捕捉污染源且浪費能源，對於工作人員安全衛生及環境保護，均造成不良影響。塗裝作業由於擴散效應(diffusion effect)經常造成開闊面污染源之逸散，一般傳統氣罩更難以有效控制大量污染源擴散<sup>(2,3,4)</sup>。由過去的案例驗證，模組化氣流亭(MECB)的確解決了上述傳統局排系統的缺失<sup>(5)</sup>。

過去的設計流程非常適用於一般尺寸氣流亭之案例，然而對於大型工件則必須修正原設計方法。事實上，對於氣流亭之適用性如污染源之濃度、工件大小、不同的作業流程等，必須作更進一步之分析探討。本案例為大型工件之塗裝工廠作業環境改善設計，因此針對大尺寸之工件進行探討，本案將分二階段進行，第一階段先以理論及電腦模擬設計分析工作為主<sup>(6)</sup>，第二階段再執行實際施工工程，並與電腦模擬之結果互相驗證及修正，建立實際與理論結合之機制，以達到提升工程設計之能力，本文主要介紹內容為工程設計及施工部分。

## 二、案　例　分　析

本案例為各式鋼結構如型鋼、廠房鋼結構、橋樑、機械體、化工統槽及高樓建築之製造單位，其生產流程如圖 1 所示，其中塗裝區為本案之主要工程改善範圍。在大型鋼件塗裝工廠之廠房噴漆作業區，現場均為大型之工件(如圖 2 所示)，由於寬闊的廠房內並無裝設任何通風排氣系統，造成有機溶劑四處擴散，影響周圍環境品質。由於油漆主要成分為甲苯及二甲苯，對人體中樞神經系統、肝和腎機能皆會造成傷害，依勞工安全衛生法規"有機溶劑中毒預防規則"之規定，必須設置空氣污染防治設備<sup>(7)</sup>。基於設備及維護費之考量及工廠在處理廢水污染問題，並不十分完善，導致水源污染日益嚴重，為防止廢水二次污染，本案採用乾式 VOC 模組化氣流亭(MECB)以改善作業環境及減少環保污染問題。而本案為考量現場作業情形及台車運送大型工件進出氣流亭之方便性，乃設計為二側開口之方式。由於工件尺寸相當

龐大，本案所設計氣流亭之工作區空間為一般氣流亭之 3~5 倍，為達到符合法規之控制速度，相對所需風量及馬力亦必須提高。然而由於濾材過濾效果與穿透速度有關，因此在大風量之條件下，必須使用足夠之濾材面積，才能有較佳的穿透速度之設計值。由於氣流亭之致密性設計(compacted design)觀念，一般氣流亭之過濾區空間以不超過工作區之一半為主，因此在不希望過濾區空間過大及控制適當風量情況下，本案增設吹氣系統(垂直下吹系統及二側噴流系統)以輔助抽氣量之不足，但仍維持氣流亭整體之性能，並符合法規之要求條件。

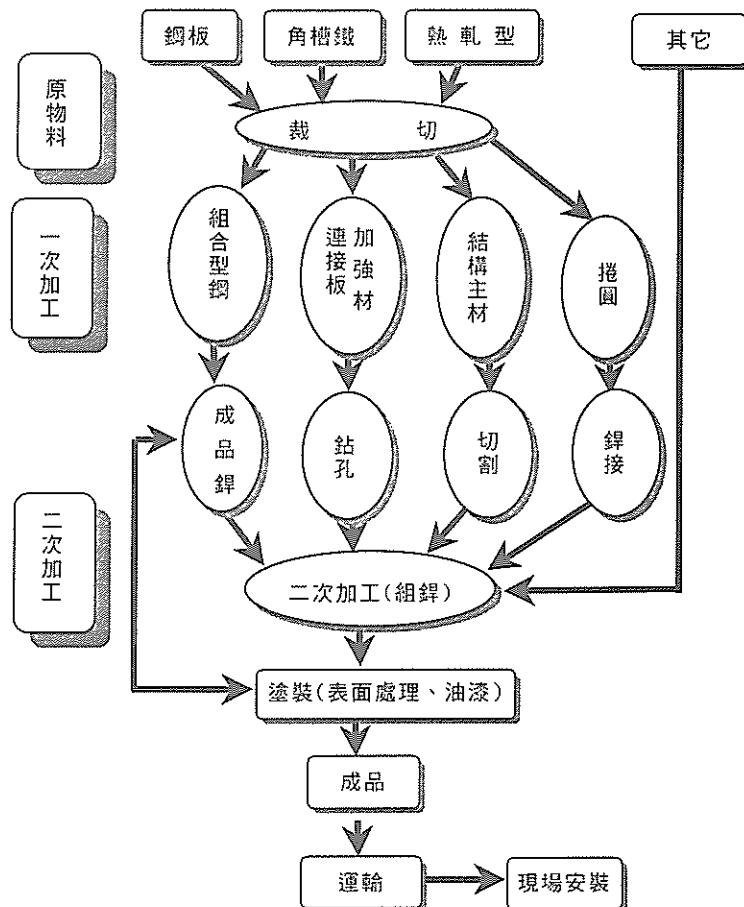


圖 1 生產流程

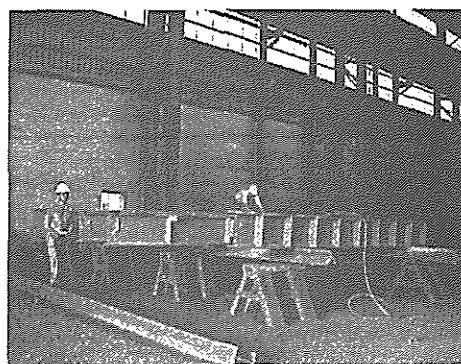
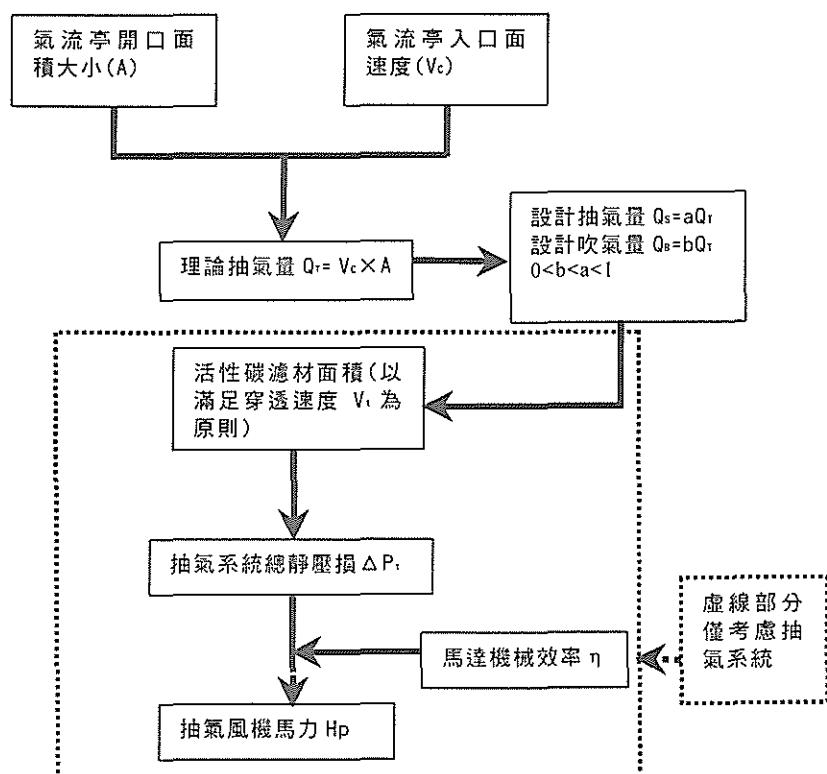


圖 2 現場大型工件工作情形

### 三、大型模組化氣流亭工程設計流程



其中  $a$ ,  $b$  乃經電腦模擬之參數分析所獲得之數值，本案(東側廠)所採用之數值為  $a \approx 0.4$ ,  $b \approx 0.12$

## 四、工程設計方法

本案於塗裝工廠之東、西二側廠房，各裝設二套 VOC 模組化氣流亭，其尺寸分別為  $5m^L \times 5.5m^W \times 5m^H$  及  $5m^L \times 4.5m^W \times 3.5m^H$ ，由於東、西二側廠房設計觀念相似，以較大尺寸設計困難度較高，選擇較大尺寸之東側廠為例，作詳細之說明。

### 4.1 氣流亭硬體尺寸

氣流亭尺寸為  $5m^L \times 5.5m^W \times 5m^H$ ，其中工作區為  $5m^L \times 4.0m^W \times 5m^H$ ，而過濾區為  $5m^L \times 1.5m^W \times 5m^H$ 。若依據勞工安全衛生法規"有機溶劑中毒預防規則"第 12 條，包圍式(崗亭式)氣罩入口面(以二側為主)之最低速度為  $0.4m/s$ ，本案以  $0.6m/s$  為設計值，抽氣量  $Q_T = V_c \times A = 0.6m/s \times 60s/min \times (4m \times 5m + 2.5m \times 1m) \times 2 = 1,620 m^3/min(CMM)$ ，每套(set)其流量為  $1,620 \div 2 = 810CMM$ ，因此所需之風量相當大，並不適合依此法令設計。然於有機溶劑中毒預防規則第九及十二條規定<sup>(7)</sup>，對於大表面積或大型工件之有機溶劑作業，因有機溶劑蒸氣廣泛擴散不易設置密閉設備、局部排氣裝置或整體換氣，則可不必裝設此類設備，但其前提必須已設置吹吸型換氣裝置。而且有機溶劑中毒預防規則第九及十二條附表三之二規定，針對大型工件之控制速度法規標準，於換氣裝置之地板上方 1.5 公尺高處之水平面分成十六個以上等面積之四邊形(邊長在 2 公尺以下)時，每個四邊形中心點之向下速度，必須介於整個平面所有四邊形中心點向下速度之平均值(至少為  $0.2m/s$ )之  $0.5\sim1.5$  倍，亦即速度至少為  $0.1\sim0.3m/s$ (細節請參考勞工安全衛生法令)，因此本案適用此法規標準。為符合上述標準，先以電腦模擬計算出每套 MECB 抽氣與吹氣量之比值，其中抽氣量( $Q_s$ )及吹氣量( $Q_b$ )分別為  $315CMM$  及  $100CMM^{(6)}$ 。本工程案將依此風量設計其濾材及動力源之規格。

### 4.2 空氣清淨裝置(air cleaner)設計

VOC 的處理方法主要有冷凝法、吸附法、吸收法、焚化法及生物處理法等<sup>(8,9)</sup>，各種處理技術之優缺點比較如表 1 所示。近來，半導體業者為能符合“半導體製造業空氣污染管制及排放標準”，已有廠商評估採用濃縮轉輪焚化之方式<sup>(10)</sup>，其初設成本相當高，非一般傳統產業業者所青睞。本案仍以活性碳吸附方式為主，活性碳吸附床之吸附量與溫度、壓力、VOCs 種類、活性碳本質及溫濕度有關<sup>(9,11)</sup>。由於

MECB 之過濾區空間不大且工作區塗裝作業濃度高，因此採用之過濾材為活性碳纖維布(Activated Carbon Fibers, AFC)，其比表面積(BET)值可設定在 1,000~2,000m<sup>2</sup>/g，孔洞直徑為顆粒活性碳之 1/3~1/2，不僅吸附容積大且吸脫附速度快。總體吸附效果超過傳統顆粒及粉末活性碳(GAC/PAC)數十倍至數百倍，為工業用過濾臭氣、廢氣、毒氣、廢水、有機溶劑及重金屬離子之最佳材質。以加工成形特性而言，由於 AFC 為織物，故特性較傳統 GAC 或 PAC 優越，其可打摺、捲曲，且藉由縫紉技術能為其它織物疊壓成形。就吸脫附效率而言，儘管 AFC 為布(織物)但其仍為 100%純活性碳，加上大的內部表面積使得吸附能力大幅上升，與傳統高性能之 GAC 比較，AFC 具有較優秀的動態吸附性能，更快之吸附(脫附)速率，及較小的臨界床深度，此性質對於過濾系統提供了輕便化、增加淨化能力的過濾材料<sup>(12,13,14)</sup>。

表 1 各種 VOC 管束控制技術之特性

控制技術	優點	缺點
熱焚化	適合廣範圍之污染源 對高濃度廢氣不需輔助燃料，能源效率佳。 污染物之破壞效率高 有能源回收之可能性	對低濃度廢氣，燃料成本高 操作溫度高
觸媒焚化	操作溫度較熱焚化低 燃料消耗量較小 污染物之破壞效率高 有能源回收之可能性	觸媒易被毒化 對某些污染物成份及濃度有所限制
活性碳吸附	能源需求低 適合於低濃度下的各種污染物 有溶劑回收之可能性	高投資成本，尤其是有再生系統 不適合高濃度廢氣 不適合含水份之溶劑 有火災之虞
吸收	能源需求低 適合於多種污染物 對於臭味的去除有很高的效率	投資成本亦可能高 不適合低濃度廢氣 產生廢水(二次污染)
冷凝	有溶劑回收之可能	能源消耗量高 水溶性混合物易溶於水氣中 只適合高濃度廢氣
生物濾床	低投資成本 低操作成本	高濃度廢氣去除效率有限 有機溶劑去除效率有限

若以過去計算方式，欲使通過活性碳之穿透速度  $V_t$  介於 0.2~0.6m/s<sup>(15)</sup>(本案取 0.6m/s 為設計值，纖維布可達 1m/s)，每套 MECB 所需之活性碳面積  $A_c$  計算如下式

$$A_c = \frac{Q}{V_t} = \frac{810 \text{ m}^3 / \text{min}}{0.6 \text{ m} / \text{s} \times 60 \text{ s} / \text{min}} = 22.5 \text{ m}^2 / \text{set}$$

以每套 MECB 過濾區之面積  $A_f=2.5\text{m}^{\text{l}} \times 1.5\text{m}^{\text{w}}=3.75\text{m}^2/\text{set}$ ，810CMM 之流量通過此一面積其穿透速度高達 3.6m/s，此吸附劑(adsorbent)形同虛設其吸附效果必定不佳。為了不影響模組化氣流亭結構體之緻密性(compactness)，同時有能達到穿透速度 0.6m/s 之最低標準，因此經由修正後風量為 315CMM，每套 MECB 所需之活性碳濾材面積  $A_c$  減少為

$$A_c = \frac{Q}{V_t} = \frac{315 \text{ m}^3 / \text{min}}{0.6 \text{ m} / \text{s} \times 60 \text{ s} / \text{min}} = 8.75 \text{ m}^2 / \text{set}$$

所設計之抽取式活性碳及初級過濾網(pre-filter)卡匣每個面積  $A_f=0.5\text{m}^{\text{l}} \times 0.875\text{m}^{\text{w}}=0.4375 \text{ m}^2$ ，其濾材面積為 0.875 m<sup>2</sup>，每套 MECB 過濾區總共為二層 20 個活性碳卡匣及一層 10 個初級過濾網(如圖 3 所示)，其中初級過濾網先行過濾入口氣流中之雜質及較大粉塵顆粒，不僅可增加活性碳壽命，防止風管內堆積有機溶劑/粉塵引起火災，而且避免粉塵附著於風扇葉片上，造成風機馬達的損傷及能量的耗損。

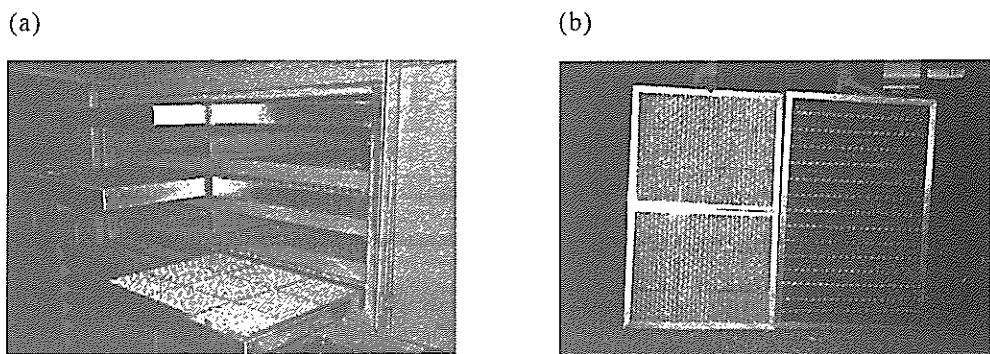


圖 3 (a)過濾區現場安裝情形 (b) 活性碳卡匣與初級濾網

### 4.3 動力及吹氣系統

由模擬預測所獲得之結果，已知設計風量  $Q_s$  及系統壓損  $\Delta P_t$ (估計約 110mmAq)，則可由下列公式計算出東、西側廠所需馬力數分別為

$$H_p = \frac{Q_s \times \Delta P_t}{4500 \times \eta} = \frac{315 \times 110}{4500 \times 65\%} \cong 11.8 (H_p)$$

$$H_p = \frac{Q_s \times \Delta P_t}{4500 \times \eta} = \frac{250 \times 110}{4500 \times 65\%} \cong 7.52 (H_p)$$

其中  $\eta$  為風扇機械效率(Mechanical Efficiency)，為了能達到所需要的風量，本案東、西側廠分別選用每一套 15 及 10Hp 之三相 220V 馬達。風扇為離心式風扇(Centrifugal Fans)中之輻射式(Radial Type)，此類風扇其輪葉強度高於其它型式，常用於運輸粉塵或腐蝕性氣體，且葉片有自行清潔功能，葉片磨耗時容易現場更換，能作高速旋轉以獲得高靜壓值。風扇驅動方式則是由馬達直接驅動，非由皮帶(鍊條)驅動。由於考量塗裝作業之安全性，馬達、氣流亭日光燈及二次側管路均採用防爆設備。另外於動力區內部加裝吸音材(silencer)，以降低馬達產生噪音值。除吹氣系統外，東、西側廠之 MECB 分別裝設二套吹氣系統，其風量及馬力數分別為 100CMM 及 2Hp。此次吹氣系統包含二部分，一則為垂直下吹氣流形成氣簾(air curtain)，保護工作人員呼吸區，避免吸入過多的污染源；一則為側面噴流系統，形成吹吸式架構，以彌補抽氣量之不足(如圖 4 所示)。

### 4.4 排氣尾管及採樣設施

對於有機溶劑其最小搬運速度 10m/s 左右<sup>(2)</sup>，本案排氣尾管選用管徑 550mm 鍍鋅鐵皮螺旋風管，管內搬運速度經估算為 21m/s，因此風管壓力損失較高，為降低風壓損失可加大管徑。採樣設施包括煙函防雨罩(weather cap)、採樣孔(100mm × 2)、安全採樣平台、爬梯。依據空氣污染防治法第二十一條第四項，檢測孔位置應設於造成擾流(如管道彎曲、收縮或放大處)下游大於管道直徑八倍處，該孔位置亦應距下一擾流至少二倍於管道直徑距離。本案由於東側廠須配合門型天車作業，並無法按照 2D 及 8D 設計，改採 0.5D 及 1.5D 之方式，即檢測孔位置得設於造成擾流下游大於管道直徑 1.5 倍處，該孔位置亦應距下一擾流至少 0.5 倍於管道直徑距離(如圖 5)

所示)。至於西側廠則仍採 2D 及 8D 之方式(如圖 6 所示)。

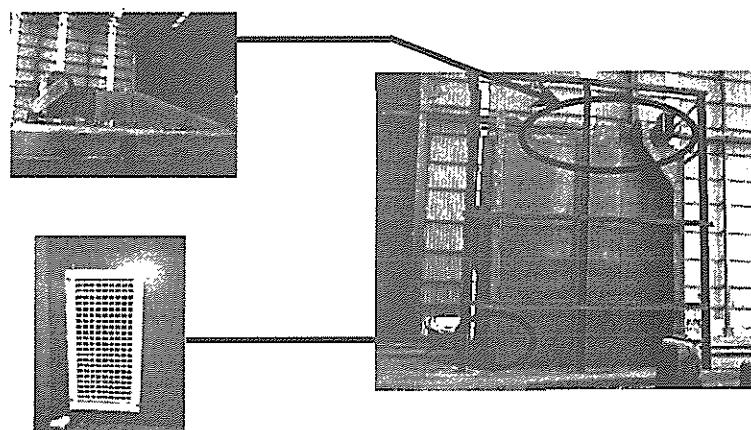
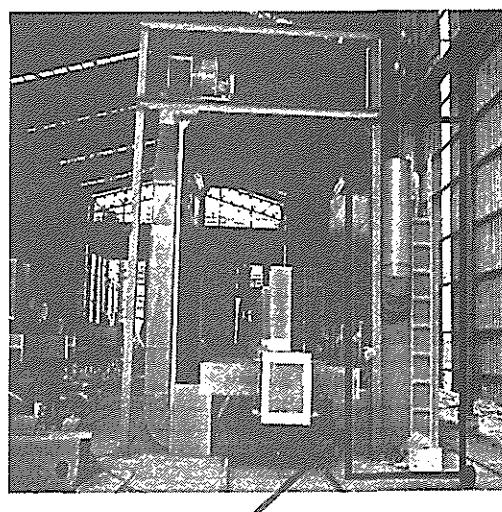


圖 4 垂直與側面噴流系統



過濾區及排放設施

圖 5 東側廠排放設施

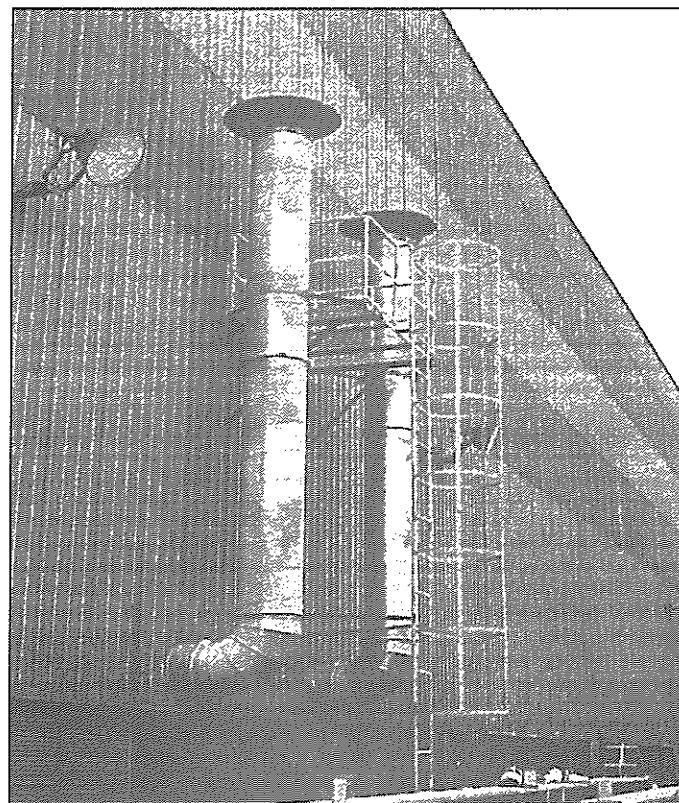


圖 6 西側廠排放設施

#### 4.5 配電箱

配電箱採用 SUS304 不鏽鋼材質，接上一次側電源(breaker 150A，最大值 250A)，配電箱面板上包含 4 個 A 錶(電流指示)、一個 V 錶(電壓指示)、一個防爆燈開關(switch)

一組 on(紅色)/off(綠色)按鈕。配電箱內部含 125A 之斷路器(breaker)，2 個計時器(timer)，每個 timer 設定二個馬達啟動時間間距，最長時間為 12 分鐘，此種裝置乃基於安全考量。由於馬達在啟動時，其瞬間電流為全負載電流之 6~8 倍，因此為了避免 2 台馬達同時起動，所產生的瞬間過高電流之危險性，於是加裝延時定時器設備。以 15HP、3  $\phi$  220V、效率  $\eta = 0.82$ 、功率因數  $\cos \theta = 0.8$  之馬達電流求法如下：

$$I = \frac{746 \times HP}{\sqrt{3}V \eta \cos \theta} = \frac{746 \times 15}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.82 \times 0.8} = 44.77 (A)$$

由上式可發現當 2 台馬達全負載時其所耗總電能  $I_t = 44.77 \times 2 = 89.5(A)$ ，因此配電箱內採用 125A 之斷電器是合理的。事實上現場試車時，每台防爆馬達負載之平均電流為 38A(10Hp 為 25A，2Hp 為 5A)。另外有關配線線徑大小選用亦必須謹慎，以防止電線走火之外意外事件發生。

## 五. 標準操作及異常處理程序

模組化氣流亭最主要的必須要有足夠之抽氣量，風量太小，無法捕捉污染源，對人員安全衛生會有負面影響；風量過大，系統壓損增加，不僅浪費能源，同時會有靜電發生之虞。影響抽氣量的因素很多，必須對系統中每個組成元件(component)，分別進行檢查。任何新設置之機台必須有操作程序說明及異常處理措施，讓現場工作人員能夠熟悉機台運轉操作及緊急應變處理程序，其目的在降低人員及財物之損失，同時亦可做為平時設備維修保養檢查之用，表 2 為針對本案之模組化氣流亭所列出之標準操作及異常處理程序表。

表 2 標準操作及異常處理程序表

標準操作步	操作注意事項	控制範圍	可能之異常狀況	可能原因	處理對策	預防對策
確認電壓	高電壓	220V	1.電壓不足 2.無電源	主電源供應不良 本身電器故障 電器接觸不良 開關故障	清查主電源 檢查本身電源供應零組件 更換開關	平時預防保養 記錄於保養手冊
照明開關 ON	確認 ON	置放於 ON 位置	照明燈不亮	燈管燒壞 燈管電壓不正確 電壓不足 照明啟動開關故障 開關故障	更換燈管(220V) 檢查本身電源供應組件	平時預防保養 記錄於保養手冊
抽風機 ON	確認 ON	綠燈亮	抽風機不轉 電流大於額定電流 抽風機不吸風	無電源 風機故障 風機線路不良 風機卡住有異物 過濾器塞住 活性碳濾材塞住 指示燈不亮 啟動 TIMER 故障 控制電源故障	檢查電源供應 檢查風機 更換風機 風機電路檢查 更換過濾器 更換活性碳濾材 更換指示燈 檢修 TIMER 計時 電器人員檢修	教育訓練 預防保養 定期保養

表 2 標準操作及異常處理程序表(續)

標準操作步	操作注意事項	控制範圍	可能之異常狀況	可能原因	處理對策	預防對策
確認電流	額定電流	電流穩定	電流不穩定	馬達故障 風機故障	檢修	定期保養
風機運轉聲	風機運轉聲音 正常	異常聲 無聲音	機械故障 馬達故障 超過額定電流 抽風機方向錯誤 風葉裝反	軸承久未加潤滑 年久失修 零件故障 電流錶故障 電流正負極相反 風葉方向不知	加潤滑油 更新檢修 電源正負極更換 風向作記號 馬達運轉作記號	定期保養 電源作記號
檢查吸風口	紙條被緊緊吸住	紙條被緊緊吸住	抽風機方向錯誤 過濾網塞住 活性碳濾材塞住 抽風機未運轉 風葉裝反	電源正負極相反 風葉方向不知 過濾網久未更換 活性碳濾材久未更換 吸入髒空氣	更換過濾器 更換活性碳濾材 電源正負極更換 風向作記號 馬達運轉作記號	定期保養 電源作記號 過濾器及活性碳濾材裝置計時器記錄 運轉時間，記錄更換時間及下次更換時間
關機	抽風機 OFF	機組停止運轉	繼續運轉 紅燈不亮	開關故障 燈泡燒毀	更換開關 更換燈泡	定期保養
照明關閉	照明熄滅	燈不亮	燈未熄滅 燈原就沒亮	開關故障 燈管故障	更換開關 更換燈管	定期保養
收拾工具並清掃	工具正常無缺	歸回定位	工具遺失 環境未清潔			教育訓練

## 六、控制風速量測

本案經過將近半年時間之規劃、電腦模擬、工程圖面設計，配合氣流亭硬體施工、安裝及試車，於 88 年 5 月正式完成，圖 7~8 為東、西側廠氣流亭之實體及作業情形。於試車時以熱線式(hot wire)風速計所量測 1.5 米高之平面，其垂直向下之平均速度為符合法規之至少 0.2m/s，二側入口面之速度均並無向外流出現象(以煙流實驗亦可證實如圖 9 所示)。表 3 及表 4 分別為東、西側二氣流亭 1.5 米高平面垂直向下速度之量測值，量測儀器為 TSI VelociCalc® Plus V/T/P/RH% Meter 風速計。



圖 7 西側廠氣流亭實體



圖 8 東側廠氣流亭實體

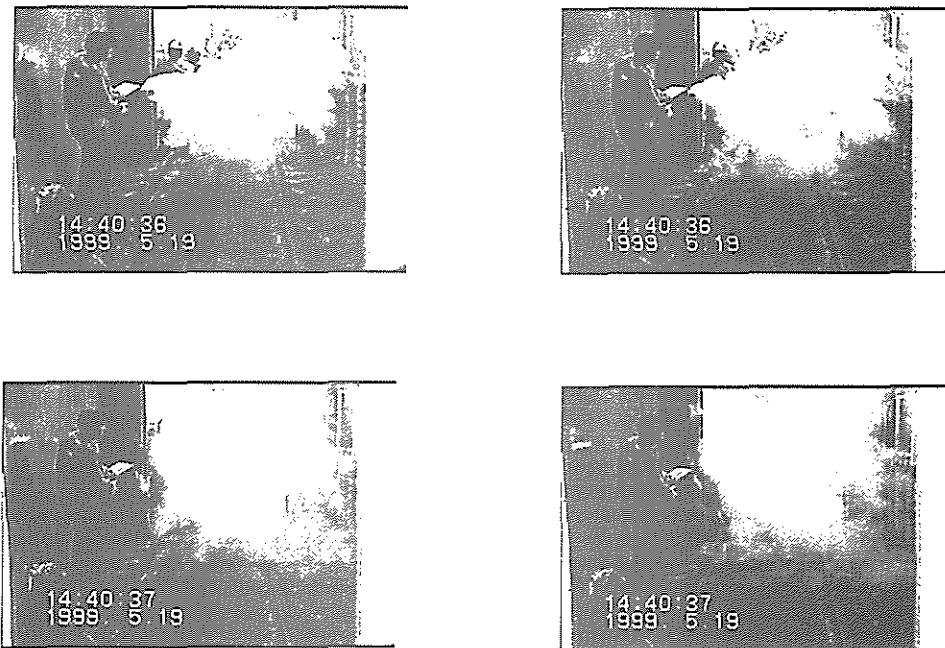


圖 9 煙流可視化試驗

表 3 東側廠控制風速量測數據表

Q(CMM)	306		290	
	0.83	0.95	1.23	0.23
V(m/s)	0.51	0.57	0.39	0.42
	0.30	0.45	0.59	0.37
	0.61	0.34	0.53	0.21
	V <sub>av</sub> (m/s)	0.57	0.50	

V<sub>av</sub>:每一套八個量測點向下速度之平均值

表 4 西側廠控制風速量測數據表

Q(CMM)	220		212	
	0.12	0.44	1.80	0.20
V(m/s)	0.23	0.14	0.16	0.30
	0.17	0.26	0.22	0.17
	0.26	3.05	2.80	0.20
	V <sub>av</sub> (m/s)	0.58	0.73	

V<sub>av</sub>:每一模組八個量測點向下速度之平均

由表中數據發現，東側及西側廠之平均控制速度分別為 0.54 及 0.66m/s 均符合法規標準，但與電腦模擬預測結果仍有部分差異<sup>(6)</sup>，分析其原因為(1)由於工程施工因素造成上方垂直吹氣系統出口速度之均勻性(uniformity)不佳(如圖 4 所示)及平面上控制速度量測之不對稱性(asymmetry)。(2)下方側面噴流吹氣系統之可調式格柵(adjustable grill)，由於可作水平及垂直方向之調整，因此於水平方向往內微調 15 度與模擬條件一致(如圖 4 所示)，而向之調整，因此於水平方向往內微調 15 度與模擬條件一致(如圖 4 所示)，而由模擬結果發現在垂直方向有往上之分量，將影響垂直氣流往下之動量，因此為避免此一現象，吾人於垂直格柵仍維持零度角(水平方向)，使擴張角度(diffusion angle)不致太大，而產生垂直分量之速度，因此實際量測數據並未發現有向上垂直分量之速度。(3)另外由於季節性側風效應(side-wind effect)導致氣流亭捕捉效率及控制速度量測之對稱性(symmetry)均受到影響。以上為模擬及實際工程之差異分析，其中第二項雖已將垂直向上速度分量消除，但第一項則由於氣流亭硬體架構之限制因素，造成垂直向下吹氣系統其工程施工部分較難產生均勻氣流(uniform flow)，若增加氣流整流段(straightened section)，將會使管路系統更佔空間。至於第三項側風效應實非人為因素所造成，為降低其影響程度，建議可採用活動式簾幕(curtain)，增加兩側開口之屏蔽(shielding)，以增加其捕捉效率。

## 七、作業環境及排放濃度檢測

### 7.1 作業環境檢測

作業環境檢測由認證之檢測單位於東、西側 VOC 氣流亭內各取 10 點採樣點(包含一點個人採樣點)，以 Gilian 公司之 LFS 113D 低流量採樣器(low flow sampler)加活性碳管(如圖 10a 所示)，配合氣相層析(Gas Chromatography, GC)方式分析，其結果如表 5 及表 6 所示。其中個人採樣(personal sampling)為勞檢單位較認同之方式，雖然其濃度均為各廠檢測點之較高值，但仍在 1/10TLV(Threshold Limit Value)以下。

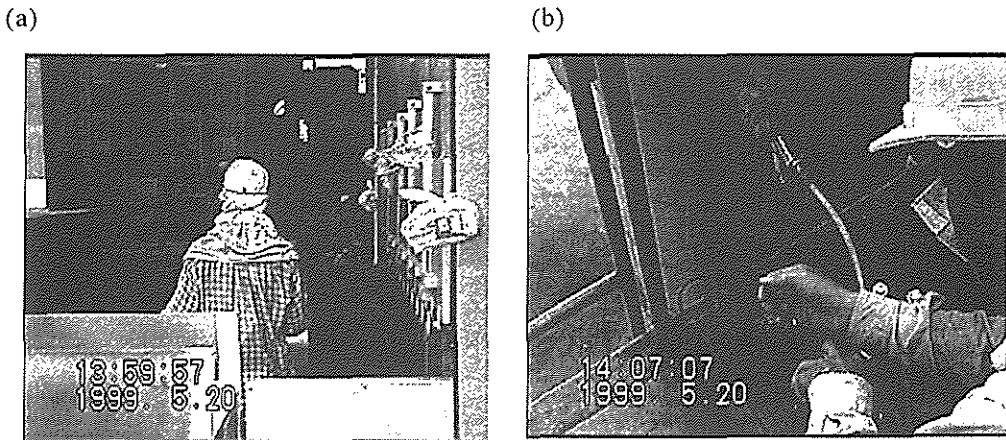


圖 10 東側廠氣流亭之(a)作業環境檢測(b)排放檢測

表 5 東側廠作業環境採樣檢測分析表

測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10*
採樣 pump 流速 (mL/min)	57.9	63.3	87.2	92.2	60.6	64.5	89.7	92.9	86.6	87.6
採樣時間(min)	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
校正後採樣體積 (m <sup>3</sup> )	0.0206	0.0226	0.0311	0.0329	0.0216	0.0230	0.032	0.0331	0.0309	0.0309
分析物:二甲苯 (Xylene) 分子量:106.17 法定容許濃度:100ppm										
分析量(mg)	0.0595	<0.0428	0.0694	0.0560	0.0702	0.0478	0.0775	<0.0428	<0.0428	1.1560
空氣中濃度 (ppm)	0.6640	ND	0.5142	0.3924	0.7485	0.4788	0.5583	ND	ND	8.6152

測定條件:氣壓 760mmHg 溫度:28°C 檢量下限:0.0428mg/mL

表 6 西側廠作業環境採樣檢測分析表

測定點	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20*
採樣 pump 流速 (mL/min)	87.3	83.6	93.5	96.0	88.6	63.8	89.9	87.5	87.4	80.0
採樣時間(min)	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
校正後採樣體積(m <sup>3</sup> )	0.0311	0.0298	0.0333	0.0342	0.0316	0.0227	0.032	0.0312	0.0312	0.0285
分析物:二甲苯 (Xylene) 分子量:106.17 法定容許濃度:100ppm										
分析量(mg)	0.2023	0.2861	0.3342	1.4612	0.2047	0.1748	0.1673	0.3687	0.5753	0.3865
空氣中濃度(ppm)	1.4943	2.2112	2.3095	9.8347	1.4928	1.7703	1.2024	2.7226	4.2531	3.1217

測定條件:氣壓 760mmHg 溫度:28°C 檢量下限:0.0428mg/mL

註 1:ND:未檢測出分析物(小於檢量下限)

註 2:\*表示個人採樣點

註 3:檢測單位:中華民國工業安全衛生協會

## 7.2 煙道檢測

由認證之檢測單位選擇二個採樣點(東、西側廠各一支排氣尾管，如圖 10b 所示)，以 NIEA A722.70B 氣相層析火燄游離偵測器(Gas Chromatography/Flame Ionization Detector, GC/FID)方法分析，其分析結果如表 7 所示。其中西側廠距周界較遠，因此其標準濃度值較東側廠為低。整體而言，二廠之實測值比標準值低一至三個數量級(order of magnitude)。

表 7 東、西側廠煙道排放採樣檢測分析表

尾管	相對濕度(%)	溫度(°C)	速度(m/s)	流量(CMM)	二甲苯量測濃度(g/s)	二甲苯標準濃度(g/s)
東側廠	2.4	30.2	25.45	308.33	$4.12 \times 10^{-2}$	13.4
西側廠	2.7	30.4	19.1	203	$7.8 \times 10^{-2}$	0.55

註:檢測單位:南台灣環境科技股份有限公司

## 八、結論與建議

- 8.1 因應現場作業環境而設計之大尺寸 VOC 模組化氣流亭，有效控制廠內主要之污染源，不僅符合法規要求，更確保工作人員之安全衛生，達到良好之污染改善效果。由於本案採用高吸附及脫附效率之波浪型活性碳纖維布，且穿透速度控制在設計值 1m/s 範圍內。因此作業環境與煙道檢測，其結果均符合容許及排放標準濃度值。
- 8.2 於勞工安全衛生法中所指大型工件之吹吸換氣裝置為一完全封閉空間 (enclosure)，然而本案為了配合現場作業流程，必須改變 VOC 氣流亭之標準設計，於二側各開一進料及出料口，無形中正是污染源逸散之處，此為本案主要困難點。為了抑制污染源逸散，必須提供抽氣系統，然而僅靠抽氣系統之一般設計理念，對於氣流亭而言其可行性仍有困難，其中濾材設計與過大抽風量為主要考量因素，因此增加吹氣系統為較佳之解決途徑。第一階段，以電腦模擬對氣流亭內部流場現象進行分析，初步結果證實本案之設計方法，的確具有抑制污染源 (contaminant)之功能。第二階段於工程施工方面，同時驗證電腦模擬設計之合理性與可行性(feasibility)，並作適當之修正，發展出實用之大尺寸 VOC 模組化氣流亭。因此建立理論分析與工程實務結合之機制，相信對於工程設計能力之提升必能有相當大的幫助。
- 8.3 由本次工程驗證模組化氣流亭(MECB)已涵蓋小尺寸至大尺寸結構體(full-range construction)，且經環安檢測均能符合標準，為配合政府宣導工安及環保結合策略，相信模組化氣流亭已逐漸符合綠色技術(green technology)綠色清潔生產

(cleaner production)之精神<sup>(16)</sup>。

8.4 本中心一直致力於模組化氣流亭(MECB)之技術推廣及研發，相信此設備對工業界作業環境安全改善必有所助益。然 VOC 模組化氣流亭之系統必須繼續對不同有機溶劑及濃度之作業環境進行測試，並選用適當之濾材，尋求配套措施，以推廣其應用性(applicability)。

## 參考文獻

1. 謝文德，“模組化 VOC 氣流亭之設計與工程實務”，工業污染防治季刊，第 72 期,pp. 101-117,民國 88 年 10 月。
2. ACGIH, “Industrial Ventilation-A Manual of Recommended Practice” 22<sup>nd</sup> ed., American Conference of Governmental Industrial Hygienists,1995.
3. Heinsohn, R. J., “Industrial Ventilation: Engineering Principles” , John Wiley & Sons Inc., 1991.
4. Burgess, W. A., Ellenbecker, M. J., and Treitman, R. D., “Ventilation for Control of the Work Environment” , John Wiley & Sons Inc., 1989.
5. 謝文德，“模組化氣流亭於工業界之應用”，第六屆海峽兩岸環境保護研討會,pp.22-27,民國 88 年 12 月 7-11 日,高雄市國立中山大學。
6. 謝文德，“發展適用於大型工件之 VOC 氣流亭之研究”，工業安全科技,pp.9~16, 民國 88 年 4 月。
7. 行政院勞工委員會，“有機溶劑中毒預防規則”，民國 80 年。
8. 王佑靖,邱宗文,繆佐君,余秉量，“化工廠 VOCs 廢氣收集處理系統設計及實例”，工業污染防治季刊,第 67 期,pp. 84-98, 民國 87 年 7 月。
9. 劉文華，“揮發性有機物廢氣之處理技術與應用實務”，化工技術,第 75 期,pp.242~260, 民國 88 年 6 月。
10. 王耀銘,賴慶智，“半導體業揮發性有機物之空氣污染防治”，化工資訊,第 6 期,pp.45-51, 民國 88 年 6 月。
11. 張振平,蘇振榮,石東生，“溫濕度對六種工業用有機溶劑分析方法回收率之影響”，勞工安全衛生研究季刊,第 2 期,pp.71~80,民國 87 年 12 月。

- 12.柯澤豪,李建鴻,胡忠華,“活性碳纖維之發展及其應用”,化工技術,第 4 期, pp.134-141, 民國 87 年 4 月。
- 13.蔣本基,1996,“活性碳物理化學特性對 VOCs 吸附之影響”,工業污染防治季刊,第 58 期,pp.145~161,民國 85 年 4 月。
- 14.林文川,“臭味控制技術的介紹”,環保特刊'96 年台北國際環保暨能源展專刊,pp.171~187,民國 85 年 5 月。
- 15.郝吉明,馬廣大,“空氣污染控制工程”,科技圖書股份有限公司,民國 82 年。
- 16.謝文德,“從通風專案改善談工安與環保結合之機制”工業安全衛生技術服務團簡訊,第 54 期,pp.3~5,民國 88 年 5 月。