經濟部

揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊

經濟部工業局 編印

序

國內近年來臭氧已逐漸取代懸浮微粒成為導致空氣品質不良的主要原因，而臭氧係由氮氧化物、揮發性有機物(VOCs)經光化反應所衍生之二次污染物；國內對氮氧化物的管制已相當成熟，且也已有徵收空污費之機制，因此 VOCs 成為未來環保單位管制的重要污染物之一。

工業製程中使用有機溶劑之場合眾多，因此造成 VOCs 污染機會也相對提高，並引起環保單位的高度重視，將 VOCs 列為未來管制的重點項目之一。為因應此一 VOCs 管制趨勢，進行污染減量成為產業界必須重視的課題。

經濟部工業局為協助產業界因應環保署對於 VOCs 日益嚴格之管制法令，並對於本身產業廢氣特性，以及不同行業別可行之製程減量及處理技術能有深入瞭解，於 93 年度環保技術輔導計畫中，規劃編撰「揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊」，提供產業界充分的法規及技術訊息，期能為相關產業的污染防制工作有所助益。

總覽手冊之編撰過程，承蒙各位委員及撰稿者均能無私的提供相當寶貴的經驗與實例，並於百忙中仍盡心盡力參與編審工作，使本指引得以圓滿完成，除敬表欽佩外，並致最誠摯謝忱。

經濟部工業局謹識

中華民國九十三年十二月

序

國內工業近年來持續蓬勃發展，不但帶動國內生產技術的進步，也因此提供了人民更精良的產品，滿足民眾對於高品質的需求，但工業製程也伴隨著污染問題的產生，尤其是空氣污染的問題，不但對於環境品質有影響，對於工廠員工的健康也潛藏著極大的危機，除此之外，如 VOCs 之空氣污染物，不但會造成上述的影響，也會有危險之虞，因此環保機關也持續對 VOCs 訂定相關規範，對於業者而言，將是必須積極面對的課題。

依據環保署之統計，工業製程中會產生 VOCs 的產業就有 15 大項以上的產業會產生 VOCs，而目前固定源相關法令對於 VOCs 的管制相對較寬鬆，僅 5 個行業別有相關之排放標準，因此環保署持續將尚未納入規範之產業進行法規研訂，以及適用一般性產業之排放標準，未來也將走向徵收空污費的方向規劃，以期將所有污染源進行全面管制。

工業局為協助產業界因應相關法令及技術需求趨勢，特委託本中心辦理「環保技術輔導計畫-空氣污染防制推廣與輔導專案」，規劃將歷年協助產業界之輔導成果，以及最新的法令、製程減量技術及防制處理技術，及產業之應用情形作深入的探討及介紹，以提供產業界污染防制實務的相關經驗編撰「揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊」，主要內容包括 VOCs 法令管制趨勢、六行業製程減量技術、廢氣處理技術及改善案例介紹等章節，以期從工業減廢及清潔生產的角度提供產業界參考及應用。

在此特感謝參與編撰及審訂之專家學者與本社工程師，從資料蒐集、彙整及撰寫，並將個人寶貴的實務經驗提供出來，盡心盡力協助，使本手冊得以順利出版，但由於時間匆促，內容如有疏漏之處，尚祈各界先進不吝指正為感。

財團法人中技社綠色技術發展中心　主任

中華民國九十三年十二月

目　　錄

第一章　前　言 1-1
1.1 緣 由 1-1
1.2 手冊使用說明 1-2
1.3 專有名詞介紹 1-3
第二章　揮發性有機物廢氣特性介紹 2-1
2.1 揮發性有機物特性 2-1
2.2 行業別 VOCs 污染源及廢氣特性 2-8
2.2.1 聚氨基甲酸酯(PU)合成皮業 2-8
2.2.2 印刷業 2-12
2.2.3 塗裝業 2-19
2.2.4 油性膠帶業 2-26
2.2.5 半導體製造業 2-29
2.2.6 光電業 2-33
第三章　VOCs 管制策略與法規發展趨勢 3-1
3.1 固定源 VOCs 管制策略及方向 3-1
3.2 行業別法規發展研訂趨勢 3-6
3.2.1 行業別法規研訂背景 3-6
3.2.2 行業別法規研修重點 3-9
3.2.3 國內 VOCs 收費制度規劃 3-19
3.2.4 行業別 VOCs 排放量估算 3-24
3.2.3 行業別排放量計算方介紹 3-27
第四章　製程 VOCs 減量技術 4-1
4.1 印刷業 4-1
4.2 PU 合成皮 4-14

4.3 塗裝業 4-20
4.4 膠帶業 4-43
4.5 半導體、光電業 4-50
4.6 廠區管理 4-51

第五章 產業揮發性有機物廢氣處理技術 5-1
5.1 集氣系統 5-3
5.2 前處理技術 5-14
5.3 VOCs 處理技術 5-21
5.3.1 吸收法 5-22
5.3.2 焚化處理技術 5-23
5.3.3 生物處理技術 5-40
5.3.4 冷凝回收技術 5-51
5.3.5 活性碳吸附處理技術 5-57
5.3.6 濃縮處理技術 5-70

第六章 VOCs 減量控制技術應用及選擇 6-1
6.1 控制技術應用現況 6-1
6.2 VOCs 主要控制技術比較 6-5
6.3 VOCs 控制技術的選擇方法 6-9
6.4 產業 VOCs 減量技術應用及選擇 6-13
6.4.1 印刷業 6-13
6.4.2 PU 合成皮業 6-19
6.4.3 塗裝業 6-25
6.4.4 膠帶業 6-29
6.4.5 半導體、光電業 6-32

第七章 VOCs 減量處理技術實廠改善案例介紹 7-1
案例 1：專業書報平版印刷 A 廠 7-1

案例 2：專業壁紙印刷 B 廠 7-4
案例 3：汽車輪圈製造 C 廠 7-7
案例 4：烤盤製造 D 廠 7-8
案例 5：專業塗裝代工 E 廠 7-11
案例 6：雙面膠帶業 F 廠 7-14
案例 7：OPP 膠帶業 G 廠 7-16
案例 8：半導體封裝 H 廠 7-17
案例 9：半導體 LED 製造 I 廠 7-19
案例 10：光電業 J 廠 7-23
案例 11：TFT-LCD 光電業 K 廠 7-26
參考文獻 參-1
附錄一　VOCs 特性 附一-1
附錄二　各種塗裝技術及機具常見問題及解決方法 附二-1
附錄三　局部排氣裝置設備注意事項 附三-1
附錄四　風管一般規格 附四-1

表目錄

表 2.1-1 揮發性有機溶劑對人體健康的影響 2-6
表 2.1-2 主要 VOCs 排放之操作型態 2-7
表 2.2.2-1 網版印刷用溶劑性質一覽表 2-17
表 2.2.2-2 印刷業油墨溶劑含量分析 2-19
表 2.2.3-1 表面塗裝業塗裝製程之污染物型態與來源 2-25
表 2.2.3-2 表面塗裝程序排放 VOCs 等性 2-26
表 2.2.4-1 膠帶業主要溶劑特性 2-27
表 2.2.4-2 不同規模的膠帶業排放量與濃度特性 2-29
表 2.2.5-1 半導體製造業使用有機溶劑之相關特性 2-32
表 2.2.6-1 光電製造業使用有機溶劑之相關特性 2-37
表 2.2.6-2 國內光電製造廠有機溶劑使用之種類及年用量 2-38
表 3.1-1 環保署規劃各階段 VOCs 管制標的與重點 3-2
表 3.1-2 國內揮發性有機化合物管制架構及趨勢 3-3
表 3.1-3 我國一般性 VOCs 污染排放管制標準 3-4
表 3.1-4 排放管道排放標準之計算公式 3-5
表 3.1-5 國內現行產業界 VOCs 污染排放管制標準彙整 3-5
表 3.2.1-1 國內行業揮發性有機化合物排放量彙整表 3-8
表 3.2.1-2 行業別 VOCs 法規推動期程參考表 3-9
表 3.2.2-1 印刷業 VOCs 管制法規修訂版草案內容規範重點(暫定) 3-10
表 3.2.2-2 PU 皮製程 VOCs 逸散局部集氣設施之控制風速標準 3-11
表 3.2.2-3 PU 合成皮業管制標準修訂內容重點 3-12
表 3.2.2-4 十四種表面塗裝行業及其主要產品 3-13
表 3.2.2-5 Brandt 依有害物飛散狀況決定吸氣風速的方法 3-17
表 3.2.3-1 國內空氣污染防制費制訂沿革 3-20
表 3.2.3-2 揮發性有機化合物管制對策之成本彙整 3-22

表 3.2.3-3 不同 VOCs 徵收方式差異比較表 3-24
表 3.2.4-1 建議之行業製程排放量計算方式 3-26
表 4.1-1 印刷業中主要之揮發性有機物來源及減量對策 4-3
表 4.2-1 各類溶劑之蒸發熱量 4-16
表 4.2-2 水性 PU 乾燥結果 4-19
表 4.3-1 表面塗裝作業之揮發性有機物減量技術 4-20
表 4.3-2 各種低／無溶劑型塗料應用時揮發性有機化合物排放之減低情形 4-22
表 4.3-3 紫外線硬化型塗料分類及其優缺點比較 4-30
表 4.4-1 感壓膠的各種組份、用量範圍、主要作用及其常用材料 4-45
表 4.4-2 油性膠與水性膠使用有機溶劑比較表 4-47
表 5-1 污染源選擇 VOCS 控制技術須符合之特性 5-3
表 5. 2-1 除塵設備之效率 5-5
表 5.3-1 常見 VOCs 之吸收特性 5-23
表 5.3-2 焚化溫度與破壞效率關係 5-27
表 5.3-3 直接焚化之建議操作溫度 5-27
表 5.3-4 焚化系統熱交換率與壓損關係表 5-28
表 5.3-5 觸媒焚化在工業上的應用 5-30
表 5.3-6 對白金系的觸媒引發中毒、抑制作用及污染的物質 5-31
表 5.3-7 不同種類觸媒之比較 5-32
表 5.3-8 不同種類觸媒之空間速度 5-32
表 5.3-9 不同熱交換率觸媒焚化爐之壓損比較 5-34
表 5.3-10 不同 RTO 形式熱回收效率計算例 5-39
表 5.3-11 三種生物處理技術特性、應用面與優缺點比較 5-41
表 5.3-12 已知生物濾床技術可處理之有害空氣污染物 5-45
表 5.3-13 成功應用生物濾床技術處理廢氣之行業 5-46
表 5.3-14 生物濾床一般設計及操作參數 5-50
表 5.3-15 常見 VOCs 之水中溶解度及亨利常數表 5-56

表 5.3-16 半導體晶圓及光電 TFT-LCD 製造業常見之去光阻剝離液 5-56
表 5.3-17 活性碳的製造原料 5-59
表 5.3-18 活性碳的分類及性質 5-59
表 5.3-19 粒狀活性碳與活性碳纖維優缺點比較 5-60
表 5.3-20 一般常見有機溶劑之物化特性 5-62
表 5.3-21 適合活性碳吸附處理之各類 VOCs 物理性質 5-63
表 5.3-22 活性碳對各種有機物質之保存量 5-65
表 5.3-23 沸石轉輪對 VOCs 之去除效率等級表 5-75
表 5.3-24 GBAC 物質特性分析 5-79
表 6.1-1 美國揮發性有機污染行業控制設備及效率彙整 6-2
表 6.1-2 國內 VOCs 控制設備設置數量統計表 6-3
表 6.1-3 國內行業別控制設備設置數統計 6-4
表 6.1-4 排放量規模與控制設備設置數關聯統計分析表 6-4
表 6.2-1 各種 VOCs 控制技術比較表 6-6
表 6.2-2 VOCs 控制技術之優缺點及設計因子 6-8
表 6.4.1-1 VOC 製程排放調查 16-4
表 6.4.1-2 凹版及凸版印刷業工廠防制設備概況 16-5
表 6.4.2-1 PU 皮製程減量技術成本分析表 6-20
表 6.4.2-2 PU 合成皮工廠防制設備概況 6-21
表 6.4.2-3 DMF 廢氣洗滌處理法比較 6-21
表 6.4.2-4 PU 合成皮業揮發性有機物防制技術成本分析 6-21
表 6.4.2-5 PU 合成皮乾式製程廢氣處理技術應用範圍及限制分析表 6-22
表 6.4.2-6 適合處理 PU 合成皮乾式製程 VOCs 廢氣之技術效率表 6-23
表 6.4.2-7 濕式洗滌＋蓄熱式焚化技術能源消耗及對環境及經濟之衝擊表 6-23
表 6.4.2-8 某 PU 合成皮廠乾式製程三段式濕式洗滌塔對 DMF 廢氣之處理效率 6-24
表 6.4.3-1 國內塗料製造及使用揮發性有機化合物排放量分析 6-25
表 6.4.3-2 表面塗裝程序排放揮發性有機化合物等性 6-26

表 6.4.3-3 乾式及濕式噴漆台特性比較 6-28
表 6.4.3-4 塗裝廢氣處理系統之比較 6-28
表 6.4.4-1 膠帶業 VOCs 控制技術可行性分析 6-30
表 6.4.4-2 膠帶業 VOCs 可行處理技術處理效率排序 6-31
表 6.4.4-3 熱焚化與活性碳吸脫附處理技術所需成本整理(單位:萬元) 6-31
表 6.4.5-1 半導體業工廠空氣污染防制設備設置概況 6-33
表 6.4.5-2 光電業污染防制設備類型分佈 6-34
表 6.4.5-3 光電光廠 VOCs 防制設備處理效率調查整理 6-34
表 6.4.5-4 半導體業 VOCs 控制技術成本分析比較 6-35
表 6.4.5-5 VOCs 控制技術之特性比較 6-35
表 6.4.5-6 TFT-LCD 製程 VOCs 防制設備減量成本彙整 6-36
表 6.4.5-7 LED、其他 LCD 製程 VOCs 防制設備調查資料彙整 6-36
表 6.4.5-8 光電業 VOCs 總排放量與處理效率對應表 6-36
表 6.4.5-9 VOCs 管制削減率提升至不同等級之成本效益評析 6-37
表 6.4.5-10 VOCS 防制設備設置與成本概況 6-38
表 6.4.5-11 新竹科學園區半導體及光電產業 VOCS 防制設備應用情形 6-40
表 7-1 F 廠生產線排放廢氣的特性 7-14

圖目錄

圖 2.1-1 VOCs 於大氣中之化學性反應 2-7
圖 2.2.1-1 PU 合成皮乾式製程(一)：轉塗法 2-9
圖 2.2.1-2 PU 合成皮乾式製程(二)：直接塗佈法 2-9
圖 2.2.1-3 PU 合成皮乾式製程操作流程 2-10
圖 2.2.1-4 PU 合成皮濕式製程(一)：塗佈法 2-10
圖 2.2.1-5 PU 合成皮濕式製程(二)：含浸法 2-11
圖 2.2.1-6 PU 合成皮濕式製程操作流程 2-11
圖 2.2.2-1 凹版印刷製程圖 2-15
圖 2.2.2-2 凸版印刷製程圖 2-15
圖 2.2.2-3 網版印刷製程圖 2-16
圖 2.2.3-1 金屬表面塗裝流程 2-20
圖 2.2.3-2 木材塗裝作業流程圖 2-22
圖 2.2.3-3 塑膠塗裝作業流程圖 2-24
圖 2.2.4-1 膠帶製造流程圖及廢氣流向圖 2-28
圖 2.2.5-1 半導體晶圓製造流程與廢氣產生源示意圖 2-30
圖 2.2.5-2 半導體晶圓封裝製造流程與廢氣產生源示意圖 2-31
圖 2.2.6-1 TN/STN-LCD 液晶顯示器製程及廢氣產生源示意圖 2-34
圖 2.2.6-2 TFT-LCD 製造程序及廢氣產生源示意圖 2-35
圖 2.2.6-3 LED 製造程序及廢氣產生源示意圖 2-36
圖 3.1-1 環保署固定源 VOCs 管制推動期程 3-2
圖 3.2.2-1 永久性集氣隔間(PTEs)示意圖 3-16
圖 3.2.4-1 排放量之計算原則 3-26
圖 4.1-1 商業化洗版機設備圖 4-2
圖 4.1-2 環保植物油墨標示圖 4-10
圖 4.1-3 大豆油墨使用標誌圖 4-12

圖 4.2-1 輻射乾燥與傳統熱風乾燥比較圖 4-17
圖 4.2-2 傳統乾燥及紅外線乾燥示意圖 4-17
圖 4.3-1 不同型態噴槍示意圖 4-33
圖 4.3-2 無氣式噴槍 4-34
圖 4.3-3 傳統噴槍、HVLP 及 LVMP 之性能曲線比較圖 4-35
圖 4.3-4 HVLP 噴槍示意圖 4-36
圖 4.3-5 LVMP 噴槍示意圖 4-36
圖 4.3-6 正確的噴塗作業示意圖 4-37
圖 4.3-7 不同執型態靜電噴塗示意圖 4-38
圖 4.4-1 一般常見的膠帶組成單元 4-44
圖 4.4-2 水性膠帶製作流程圖 4-47
圖 4.4-3 水性膠帶黏著劑聚合分子組合圖 4-48
圖 4.6-1 廠區管理重點工作 4-51
圖 5.1-1 整體換氣及局部排氣系統示意圖 5-3
圖 5.1-2 整體換氣方向與呼吸帶 VOCs 濃度示意圖 5-4
圖 5.1-3 整體換氣方向示意圖 5-5
圖 5.1-4 典型局部排氣裝置 5-6
圖 5.1-5 圍封式氣罩分類圖 5-7
圖 5.1-6 廂式氣罩分類圖 5-8
圖 5.1-7 外部式氣罩分類圖 5-9
圖 5.1-8 接受式氣罩分類圖 5-9
圖 5.1-9 吹、吸式氣罩示意圖 5-10
圖 5.1-10 風管的設計程序 5-12
圖 5.2-1 袋濾集塵機結構示意圖 5-16
圖 5.2-2 文氏洗滌塔示意圖 5-17
圖 5.2-3 填充材料之種類 5-18
圖 5.2-4 填充洗滌塔類型 5-19

圖 5.2-5 靜電集塵機示意圖 5-21
圖 5.3-1 熱焚化設備之分類 5-25
圖 5.3-2 直燃式焚化爐設備示意圖 5-26
圖 5.3-3 直燃式焚化爐設備圖 5-27
圖 5.3-4 觸媒焚化法簡易構造示意圖 5-29
圖 5.3-5 觸媒焚化設備圖 5-31
圖 5.3-6 蓄熱式焚化爐構造圖 5-35
圖 5.3-7 填充床蓄熱材預熱階段空氣溫度變化圖 5-38
圖 5.3-8 不同 VOCs 負荷、氣液分配係數與生物反應器型式應用關係圖 5-41
圖 5.3-9 濾料內部反應示意圖 5-43
圖 5.3-10 純物質之三相圖 5-52
圖 5.3-11 冷凝器某半導體廠去光阻製程各 VOCs 物種及 THC 冷凝去除效率 5-54
圖 5.3-12 常見 VOCs 之飽和蒸汽壓力曲線 5-55
圖 5.3-13 鰭片式冷卻盤管 5-55
圖 5.3-14 應用於光電業之去光阻剝離液廢氣冷凝器外觀提供 5-56
圖 5.3-15 吸附機制示意圖 5-57
圖 5.3-16 固定床式活性碳吸附設備構造圖 5-58
圖 5.3-17 典型活性碳吸附／脫附操作示意圖 5-58
圖 5.3-18 吸附的四階段及出口濃度 5-64
圖 5.3-19 蒸氣壓及溫度關係圖 5-68
圖 5.3-20 濃縮處理系統圖 5-70
圖 5.3-21 沸石轉輪系統圖 5-71
圖 5.3-22 蜂巢狀沸石吸附濃縮轉輪外觀 5-71
圖 5.3-23 轉輪轉速與轉輪效率圖 5-72
圖 5.3-24 濃縮倍率與轉輪去除效率之關係 5-73
圖 5.3-25 脫附溫度與轉輪去除效率之關係 5-74
圖 5.3-26 轉輪轉速與去除效率關係 5-76

圖 5.3-27 不同進流氣流溫度對於轉輪去除 IPA 效率之影響 5-77
圖 5.3-28 環境中存在濕度對於轉輪去除 IPA 效率之影響 5-77
圖 5.3-29 GBAC 外觀 5-79
圖 5.3-30 GBAC SEM 照片 5-79
圖 5.3-31 GBAC SEM 孔洞分析 5-79
圖 5.3-32 活性碳流體化床處理流程 5-80
圖 5.3-33 活性碳對於半導體主要 VOCs 之飽和吸附量 5-81
圖 5.3-34 流體化床孔板氣流分佈 5-82
圖 5.3-35 GBAC 吸附氣體概況 5-82
圖 5.3-36 脫附塔結合 Burn Box 設計 5-83
圖 6.3-1 VOCs 控制技術選用原則及流程 6-11
圖 6.3-2 VOCs 廢氣處理技術相對費用及濃度適用範圍 6-12
圖 6.4.1-1 印刷業製程減量改善方式 6-13
圖 6.4.1-2 印刷業 VOC 質量平衡調查圖 6-15
圖 6.4.1-3 熱回收式焚化設備成本圖 6-17
圖 6.4.1-4 活性碳吸附設備成本圖 6-18
圖 6.4.1-5 生物濾床處理設備成本圖 6-18
圖 6.4.3-1 乾式及濕式噴漆台示意圖 6-27
圖 6.4.4-1 膠帶業有機溶劑使用流程 6-29
圖 6.4.5-1 新竹科學園區半導體及光電產業 VOCs 廢氣之常見處理設備 6-38
圖 7-1 生產及廢氣收集處理流程 7-4
圖 7-2 靜電集塵器併聯使用示意圖 7-5
圖 7-3 濾網裝置示意圖 7-5
圖 7-4 RTO 廢氣處理及熱回收流程 7-6
圖 7-5 C 廠製程及空氣污染源示意圖 7-7
圖 7-6 C 廠廢氣處理流程圖 7-7
圖 7-7 D 廠產品製程及污染源示意圖 7-9

圖 7-8　D 廠廢氣處理流程圖 7-9
圖 7-9　E 廠製造流程圖 7-11
圖 7-10　E 廠廢氣處理流程圖 7-12
圖 7-11　F 廠作業流程及空氣污染防制流程圖 7-14
圖 7-12　G 廠生產流程及空氣污染防制流程圖 7-16
圖 7-13　G 廠甲苯回收流程圖 7-17
圖 7-14　不同型態蓄熱陶瓷材料圖 7-19
圖 7-15　系統風門調整示意圖 7-24
圖 7-16　製程排氣與風門連接的方式示意圖 7-25
圖 7-17　活性碳床修改示意圖 7-26
圖 7-18　K 廠 VOCs 廢氣沸石濃縮轉輪處理系統圖 7-27
圖 7-19　K 廠 VOCs 濃縮轉輪焚化系統之前過濾器 7-28
圖 7-20　K 廠 VOCs 沸石轉輪取樣表面(左)及樣品圖(右) 7-29

第一章 前 言

1.1 緣 由

環保署已著手規劃揮發性有機物（Volatile Organic Compounds，以下簡稱 VOCs）空污費之徵收及總量管制相關法令之推行，未來國內就 VOCs 之管制，將會走向污染者付費且法令規範日趨嚴格的趨勢。而且依歷年統計資料可明顯看出，工業界於製程中使用有機溶劑之機會相當大，因此造成 VOCs 污染機會也相對提高，因此也引起環保單位的重視。為因應此一 VOCs 法令趨勢，進行污染減量成為產業界必須重視的課題。

製程會產生 VOCs 的產業相當多，就環保署對不同產業進行的統計就有 15 大項以上的產業會產生 VOCs，而目前固定源相關法令對於 VOCs 的管制相對較寬鬆，僅 5 個行業別具 VOCs 之排放標準，因此環保署持續將尚未納入規範之產業進行法規研訂，以及適用一般性之 VOCs 排放標準，未來也將走向徵收空污費的方向規劃，以期將所有污染源進行全面管制。

本手冊主要針對印刷業、PU 合成皮業、塗裝製程、黏性膠帶業、半導體業以及光電業等六個行業類別探討 VOCs 之法規與污染防制技術。由於 VOCs 之種類複雜，不同產業及製程所使用的有機溶劑成分及比例差異性相當大，因此產業之 VOCs 廢氣特性也因此有諸多差異，而且 VOCs 不論於高溫或常溫製程下皆會揮發產生，因此許多開放式製程以及清洗作業，成為逸散性 VOCs 的主要來源，而業者在應用 VOCs 減量措施重點，就包括原物料及製程減量、集氣效率、尾氣處理技術選擇等重點。

經濟部工業局為協助產業界因應環保署對於 VOCs 日益嚴格之管制法令，並對於本身產業 VOCs 廢氣特性，以及可行之製程減量及廢氣處理技術能有深入瞭解，期能提供產業界充分的法規趨勢以及技術訊息，做為產業提昇競爭力之努力方向、未來產業之發展趨勢及政府可協助產業之重點方向等角度作全方位說明，以期對整體產業未來發展方向提供產、官及學界有利之參考。

1.2 手冊使用說明

本手冊計七章，包括本文、參考文獻及附錄等三部分。

讀者在閱讀本文，可先對目錄章節作概括性的瞭解，以便對能迅速獲得所需資訊。以下就各章節主要內容大綱作說明，以方便讀者可立即掌握本指引之重點內容。

第一章說明編撰緣由、手冊使用及專有名詞介紹。同時亦針對本手冊所提六行業及減量技術重要的專業用語，彙整於手冊中，俾使讀者能快速獲得想要瞭解之資訊。

第二章主要描述 VOCs 之特性介紹，以及本手冊介紹的六個行業之 VOCs 污染來源，以及不同製程之廢氣特性，做為防制技術選擇之參考依據。

第三章主要介紹環保署於近年推動揮發性有機物管制之趨勢，以及六個行業別法規修訂及研訂重點，並介紹收費制度的概要及排放量之估算方法，期提供給產業界做為未來法令因應的參考。

第四章介紹六個行業有關揮發性有機物之製程減量技術，內容重點主要介紹產業於原物料、製程機具或操作條件之改善，能有效降低揮發性有機物之減量技術，俾使業者可資運用之減量技術重點，由以往只重視尾氣處理方式移轉至原料或機具之製程改善及廠區之管理，將清潔生產及污染預防之觀念推廣至業界，以期能將低污染、高效率之減量技術有效推廣應用，增進整體產業之競爭力。

第五章主要內容為防制技術的深入介紹，從集氣系統之選擇、前處理技術及處理技術做詳盡且完整之說明，並說明各產業之應用現況，以及對各產業技術選擇的建議，提供產業界未來選擇防制技術的重要參考。

第六章主要介紹控制技術之應用現況、比較，以及對於六個行業不同 VOCs 減量技術之選擇及評估，以提供各種減量技術的選用、評估優缺點之比較依據。

第七章主要介紹六個行業相關的改善案例介紹，包括製程減量以及尾氣處理技術的改善及選用，期將不同產業實廠進行 VOCs 減量技術改善之預期成效及成本效益進行案例介紹及探討，以提供給其他相關業者之參考及運用。

附錄則主要彙整本手冊內容更進一步的參考技術資料，以彌補本手冊受篇幅限制之不足。

1.3 專有名詞介紹

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
1	揮發性有機物 volatile organic compounds	一般物化定義：沸點低於100℃，且於20℃下之蒸氣壓大於0.1mmHg之有機化合物。 環保署定義：揮發性有機物係指有機化合物成分之總稱，但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、碳酸、碳化物、碳酸鹽、碳酸銨等化合物。
2	爆炸界限 explosion limit	爆炸界限又稱爆炸範圍、燃燒範圍、燃燒界限等。可燃性氣體與助燃性氣體混合時，必須 在一恰當濃度範圍內方能燃燒或爆炸，例如甲烷在空氣中之爆炸界限約為4.7%～14%。該界限之最高百分比稱爆炸上限，最低百分比稱爆炸下限。當混合濃度在爆炸上限以上或爆炸下限以下時，皆不會發生燃燒也不會發生燃燒性的爆炸。其原因係因濃度過高或過低時，將造成可燃氣體分子與氧分子碰撞機會減少，產生之反應熱小於所散失者，無法使燃燒之連鎖反應持續進行。
3	回收率 recovery efficiency	回收量與供給量的比值稱為回收率。
4	清潔生產 cleaner production	指持續地應用整合及預防的環境策略於製程、產品及服務，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害。對製程而言，清潔生產包含了節省原料及能源、不用有毒原料、並降低排放物及廢棄物的量及毒性。對產品而言，清潔生產在於減少整個產品生命週期；對環境的衝擊；對服務而言，清潔生產在於減少因提供服務，而對於環境造成的影響。(1997年聯合國環境規劃署(UNEP)
5	管末處理 end-of-pipe treatment	工廠於生產過程中所產生之廢棄物質，藉由物理、化學或生物方法之處理方式稱之。
6	廠區管理 house keeping	在工廠生產過程中藉由一些管理方式的改良，以達成減廢的目的。常見的方法有調整操作步驟、廢氣分流收集、物料庫存改善、製造時程改善、損失防止、人員訓練等。
7	PU乾式製程 dry process of PU synthetic leader	指利用加熱使附著於以織布、不織布及皮革等材質為基布上之樹脂熟成固化之製程。
8	PU濕式製程 wet process of PU synthetic leader	指利用凝結、水洗使附著於以織布、不織布及皮革等材質為基布上之樹脂凝固化之製程。
9	PU印刷製程 printing process of PU synthetic leader	指於聚胺基甲酸酯合成皮表層塗佈顏料與樹脂混合形成薄膜之製程。
10	遠紅外線乾燥爐 far infrared ray drying oven	將瓷器、陶器等加熱至一定溫度以上，使其發生波長為5～100μm之紅外線而應用於乾燥的裝置，其特徵為不需高溫即可獲得高熱效率之輻射熱。

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
11	隧道型乾燥爐 tunnel drying oven	設置於輸送帶線上的乾燥爐。藉由隧道內輸送帶兩側之輻射熱（紅外線）或對流熱（熱風）烘烤乾燥被塗物。
13	局部排氣裝置 local exhaust ventilation system	係指藉動力方式收集局部逸散性揮發性有機污染物之設備或系統。
14	密閉排氣系統 closed exhaust ventilation system	係指可捕集製程設備或製程設備元件排出或逸散出之揮發性有機物，並輸送至污染防制設備，使傳送之氣體不直接與大氣接觸之製程，該系統包括管線及連接裝置。
15	印刷 printing	將圖文原稿的信息製成印版，或以其他方式而批量複製於承印物上的工藝工程，以印刷複製方法生產的產品則稱為印刷品（printed matter），與生產印刷複製品相關的各生產部門或行業則稱為印刷業(printing industry)。
16	印刷適性 printability	適合於印刷複製條件的作業性能。
17	PU合成皮 polyurethane synthetic leather	在織布、不織布或編織布等基布之起毛面上，塗上一層聚氨酯（polyurethane,PU）樹脂溶液，當溶劑蒸發後，在基布上形成PU膜，其物性與天然皮革相似。外觀及觸感也都類似天然皮革，以此法所加工製成的皮革稱為PU合成皮。
18	氣泡 bubble / bubbling	發生於塗膜內部的氣泡。多為塗佈時所產生的氣泡無消失而殘留者。
19	針孔 pinhole	發生於塗膜的極細小之孔。
21	麻坑 pitting/depression	塗佈時發生於塗膜的小凹陷。
22	縮邊 cissing/crawling/beading	塗料由於彈撥使其不附著於被塗面，塗膜呈現點狀之不連續部分的現象，係由底材面與塗料之間的表面張力不均勻引起者。
23	縮孔（凹陷、陷穴） Cratering	發生於塗膜的火山噴火口狀、碗形之凹陷。
24	垂流 sagging run curtaining	塗料髮塗於垂直面時，於乾燥期間，其塗料層部份向下流動，而形成厚度不均勻的部位，呈現半圓狀、冰柱狀、波浪狀等現象。由於過度厚塗，塗料之流動性不適當，及大氣狀態不適當等情形下較容易發生。
25	橘皮 orange peel	具有如橘子表皮花紋的小凹陷的塗膜外觀。係於噴塗時，由於塗料之流展性不足所引起的塗料或塗裝上之缺陷。其預防方法為添加遲揮發性溶劑，或多加稀釋即可減少橘皮現象。
26	刷紋（刷痕） brush mark	塗料用毛刷刷塗時，由毛刷之運行後所產生之塗膜高低線痕。
27	絲紋 silking	發於塗面，具絲狀外觀之極細的平行條痕。

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
29	起皺紋 wrinkling Crinkling rivelling Shivelling	塗料於乾燥過程中，發生塗膜凹凸的現象。通常由於表面乾燥顯著時，使表層之面積增大而形成凹凸形狀，例如：平行線狀、不規則線狀、皺摺線狀等。惟不稱謂抽縮、收縮。
30	龜裂 cracking	塗膜由於老化的結果，呈現部分性割斷。
31	轉塗法 transfer coating	本法將PU塗料塗佈於離型紙上乾燥，再塗佈一層接著劑，貼上基布乾燥熟成及離型，即成成品。表面之紋路完全視所用離型紙之皮紋路而定。製造程序為先於離型紙上做二道塗佈，通常第一道塗佈為一液型PU，即為表層，第二道塗佈之塗料為二液型之PU接著劑，之後貼上基布常溫乾燥放置約2至3天使它熟成，以離型機離型之即為成品。
32	直接塗佈法 direct coating	將濕式PU塗料直接塗佈於基布上（起毛布、不織布、無起毛布）而後浸入水中，DMF與水產生擴散作用，而使PU凝固，再經水洗（約60~80℃）將殘存之DMF抽出，後經乾燥則承濕式合成皮半成品，將此半成品加以著色、壓紋、印刷及處理即成成品；或將半成品用砂紙加以研磨，則成為觸感甚佳之磨面皮革。
33	乾燥 drying	經塗布的塗料薄層，由液體變化為固體的現象。塗料之乾燥機構有溶劑之揮發、塗膜形成要素之氧化、聚合、縮合等；乾燥之條件有自然乾燥、強制乾燥、加熱乾燥等；又乾燥之狀態有接觸乾燥、半堅結乾燥及堅結乾燥等。
34	自然乾燥 air drying	在常溫之空氣中乾燥。
35	空床接觸(停留)時間 Empty-bed-retention time(EBRT)	係指待處理之氣體通過生物濾床中空白濾料段所需之時間，而不考慮實質上濾料佔據時將使流速增加、氣體實際停留時間減少之效應 ，為濾床體積(m^3)/氣體體積流率(m^3/min)之值。
36	表面負荷 surface loading	係指生物濾床單面面積所流過之氣體體積流率，(m^3/min/m^2)
37	質量負荷 mass loading	係指生物濾床單位體積所能處理之污染物質量，相當於氣體體積流率×進氣濃度/濾床體積
38	有機顏料 organic pigment	如偶氮系，漢撒黃、永固紅、BON紫紅、亮胭脂紅、聯苯胺黃；鈦菁系顏料，如鈦菁藍、鈦菁綠、陰丹士林系、硫靛系、北系等。
39	無機顏料 inorganic pigment	如鈦系（如鈦白、鈦黃）、鋅白、鉛白、碳黑、氧化鐵黑、氧化鐵紅、氧化鐵黃、鐵藍、群青、鈷藍、鉬鉻紅、鉬橙、鉻黃。
40	展色劑 vehicle	塗料中，使顏料分散的液狀成分。

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
41	結皮現象 skinning	塗料在容器內與空氣之接觸面造成結皮的性質。
42	細度（粒度） grainning bitty	在塗料中或塗面以目視可以見到之粒狀物大小。塗料中的細度以研磨細度計檢測之。
43	著色力 tinting strength	為使某顏色的塗料或顏料改變顏色而添加的塗料或顏料之性質。主要指顏料的著色力。
44	相溶性（混溶性） compatibility	兩種或兩種以上之物質互相具有親和性，混合時能形成溶液或勻質混合物的性質。對塗料而言，即兩種或兩種或以上之塗料混合，但並無成沈澱、凝固、膠化等不良結果的性質。BS標準更包括對塗層上重塗別種塗料時，無造成不良結果的性質。
45	油性膠帶製程 tape process with slovent	指利用揮發性有機物將黏著劑或離型劑溶解，塗佈於紙、布、薄膜、金屬箔、發泡體及覆合體類等材質之基材上，經加熱使黏著劑或離型劑熟成固化之製程。
46	黏合 adhesion	兩個物質表面依靠化學力、物理力或二者兼有的力使之結合在一起的狀態。
47	黏著劑 adhesive	係指具有黏著特性之材料，包括天然橡膠、各種合成橡膠、再生橡膠、壓克力樹脂、天然樹脂系(松脂、聚苹樹脂)、合成樹脂系(石油系樹脂、環氧樹脂、香豆酮-印脂Coumaroneindene樹脂)等，藉由黏合作用，將被黏物結合在一起的物質。
48	離型劑 release agent	係指於油性膠帶中使用之剝離襯墊所塗上之材料，包括矽膠樹脂和氟素樹脂等。
49	內聚 cohesion	單一物質內部各粒子靠主價力、次價力結合在一起的狀態。
50	被黏物 adherend	準備膠接的物體。
51	基材 substrate	用於表面塗覆膠黏劑的材料。
52	浸潤 wetting	液體對固體的親和性。
53	黏接 bond	用膠黏劑將被黏物表面黏接在一起。
54	固化 curing	膠黏劑藉由化學反應(聚合、交聯等)獲得並提高黏接強度等性質的過程。
55	硬化 setting	膠黏劑藉由化學反應或物理作用(如聚合反應、氧化反應、凝膠化作用、水合作用、冷卻、蒸發等)，獲得並提高黏接強度等性質的過程。
56	交聯 cross-linking	在分子間形成化學鍵，產生三維網絡結構的過程。
57	膠層 adhesive layer	膠接件中的膠黏劑層。

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
58	熱塑性彈性體 TPE	兼有塑料和橡膠的特性，被譽為「第三代合成橡膠」。
59	全壓 total pressure	使空氣開始流動，並維持其繼續流動之壓力，即靜壓與動壓之總和。全壓為正值或負值，乃是全壓與大氣壓力相比較之結果。全壓大於大氣壓，其值為正；若全壓小於大氣壓，其值為負。
60	動壓及靜壓 dynamic pressure & static pressure	空氣流動所產生的壓力為動壓，空氣本身具有之壓力為靜壓，大氣壓力本身為正值，動靜壓之正負值乃是與大氣壓力相比較，大於大氣壓力為正值。
61	氣罩壓力損失 pressure drop of hood	於離導管小段距離處呈負靜壓稱為「氣罩靜壓」，此靜壓代表加速氣罩外幾乎靜止之空氣，使達於導管內之流量及克服氣體流入氣罩和導管引起渦流之壓力損失能量，通常於氣罩開口面形成。
62	導管壓力損失 pressure drop of pipe	由於導管突縮、突擴、合流或彎曲，造成導管內氣流產生紊流，故產生壓力損失。
63	動壓損失 dynamic loss	為動壓損失係數(ε)與動壓變化之乘積，所減少之壓力變為熱能
64	塗料(油漆) coating paint	為保護物體表面或外觀、形狀之變化或其他目的所使用的一種材料。以流動狀態展開於物體表面形成薄膜，隨時間經過固著於其上成為固體膜而連續覆蓋物體表面者。流動狀態係包括液狀、熔融狀、空氣懸浮體等狀態。含顏料的塗料也稱謂油漆。
65	清漆(凡立水) clear varnish	樹脂等溶解於溶劑而製成的塗料之總稱，為不含顏料的塗膜，一般而言為透明。
66	底漆(底塗) under coat primer	在塗裝系中最初塗布於被塗物表面的塗料，為適合被塗物之種類或塗裝系之種類而分各種底漆。底漆係為防止被塗物對塗裝系的不良影響，並增加附著性而使用之。
67	面漆(上塗、面塗) top coat	塗料重塗或塗裝修飾時用於上塗的塗料。
68	伐鏽底漆(蝕刻底漆) wash primer etch primer pretreatment primer	用於金屬塗裝時被塗面處理之底漆。成分之一部分與被塗金屬起反應產生化學性生成物，以增加塗膜對被塗物之附著性金屬被塗物處理用塗料。主成分含磷酸、鉻酸，一般將全成分分裝成二罐成組供應，在使用前依規定比例混合後進行塗布。
69	補土(披土、油灰) putty	用於填補被塗物表面之凹陷處、裂痕、孔穴等缺陷，為提高塗裝系之平坦度的增厚塗料。顏料成分含量高，大多數為厚漿狀。
70	一般防鏽漆 anticorrosive paint for general use	用於鋼鐵底塗，對所使用的防鏽顏料無特別限制者。
71	紅丹防鏽底漆 red lead anticorrosive paint	以紅丹作為防鏽顏料的鋼鐵防鏽底塗用塗料。

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
72	透明噴漆 clear lacquer	揮發乾燥性液狀透明塗料，以硝化纖維素為主要塗膜形成要素，於短時間內溶劑揮發自然乾燥而形成塗膜，係將硝化纖維素、樹脂及可塑劑等溶解於溶劑製成。適用於木材之透明塗裝，及噴漆塗裝時之修飾面塗。
73	水性塗料 water-based paint distemper	水溶性塗料之總稱。係用水溶性或水分散性之塗膜形成要素調製而成。分為粉狀水性塗料、合成樹脂乳膠漆、水溶性烤漆、酸硬化水溶性塗料等。
74	粉體塗料 powder coating	由液態、固態合成樹脂，如聚酯、丙烯酸樹脂、環氧樹脂及乙烯基樹脂等與顏料、添加劑、填充劑等混合調色，經造粒粉碎篩選而製成。塗裝後烘烤熔融成膜硬化。一般以靜電塗裝施塗，適用於機器零配件、家庭用器具，及儀器等較小型的被塗物。此塗料具有可以回收再使用，且無有機溶劑揮發之優點。
75	塗膜（漆膜） film（paint film）	塗料塗裝經乾燥形成的固體被覆膜。
76	起泡 blistering	發生於塗膜的起泡。係髹塗時由水分、揮發成分、溶劑所致；或塗膜形成後，於下層面發生或侵入氣體、蒸氣、水分等時所引起者。
77	剝落 scaling	塗膜失去與下層的附著力，使塗膜部分以大面積剝離之現象。
78	老化 aging	隨著時間之經過，塗膜外觀逐漸劣化的現象，另具有熟化，即經儲存可使品質提高的意義。
79	粉化 chalking	塗膜表面成為粉末狀的現象。檢查粉化的方法是以指頭、毛氈、天鵝絨等輕擦拭塗膜表面，並以目視檢查指頭等上面所附著的粉末狀物之程度；或將沾濕後表面具有黏著性的照相紙，以一定載重壓於塗面，檢測塗面分離而黏附於照相紙的粉狀物體，將照相紙面之污染濃度與參比標本比對，作為粉化度。
80	耐候性 weather resistance	塗膜暴露於室外，對日光、風雨、露霜、寒暖、乾濕等自然作用具抵抗而不易變異的性質。
81	顏料 pigment	不溶於水或溶劑的無彩或有彩之無機或有機化合物粉末。乃為著色、補強、增量等目的而使用於塗料、油墨及塑膠。折射率愈大者其隱蔽率愈大。
82	分散 dispersion	在一個相的物質中，使其它物質成微粒狀散布的現象。
83	稀釋劑 diluent	本身雖不具溶解塗膜形成要素的能力，但為蒸發成分之增量或為防止溶劑過度溶解下層塗膜之目的，而使用於清漆及噴漆的揮發性液體。
84	助溶劑 co-solvent	本身雖不具溶解塗膜形成要素的力，但可增進溶劑之溶解力。如用於硝化纖維素噴漆的醇系就是助溶劑。
85	可塑劑 plasticizer	在製造塗料時添加的物質，賦予塗面伸張、堅韌性、柔軟性，以提升塗膜性能。是與塗膜形成要素具相溶性的不揮

編號	中、英文名(俗)稱	釋　　義
		發性液體或固體物質。主要用於製造揮發乾燥性塗料。
86	素地（被塗物體） original surface substrate	施塗前之物體，如木材、混凝土、鋼鐵材等。主要指這些物體之表面。
87	噴漆室(櫥、棚) spray booth	噴塗時為防止塗料之飛散所用的圍房。備有排風機將塗料霧及溶劑廢氣經排氣處理後排放。一般較多在內壁設有流動水簾（牆）以防止附著塗料，並將吸引氣流中之塗料霧沖落。
88	霧化頭 atomizing head	廣義可指所有塗裝機之霧化機構，狹義則指由回轉而行微粒化的靜電塗裝機之噴霧部；最具代表性者為鐘型（杯型）及碟型（圓盤型）霧化頭。
89	靜電效果 electrostatic effect	噴出的塗料因靜電作用而塗著於沒有面對塗裝機之部分的效果。

第二章　揮發性有機物廢氣特性介紹

2.1 揮發性有機物特性

1.揮發性有機化合物定義與主要種類

揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)之定義一般泛指具有揮發性之有機化合物質，或非甲烷碳氫化合物（NMHC），根據行政院環境保護署於民國91年10月16日公告「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」中的定義，「揮發性有機物係指有機化合物成分之總稱。但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、碳酸、碳化物、碳酸鹽、碳酸銨等化合物」。一般係指在20℃，760mmHg的標準狀態下，其蒸氣壓大於0.1mmHg以上之有機化合物。

大氣環境中由於VOCs具有滲透、脂溶及揮發等特性，故極易經由皮膚接觸及呼吸系統而對人體造成危害。多數VOCs均具化學活性，在強烈日照及氮氧化物存在下，將進行一連串光化反應而產生臭氧及過氧硝酸乙醯酯(PAN)等二次污染物。光化反應所產生的光化學煙霧除了會降低能見度及造成植物病變外，更會刺激人類的眼睛、皮膚，進而引起呼吸系統的疾病。近來這類有機化合物更被懷疑是引起癌症的原因。

揮發性有機物的種類眾多，且多數污染物已由動物實驗得知可能對人體有負面的健康影響。典型的揮發性有機物排放源可分為人為排放源（固定源、移動源）及自然源（生物源、非生物源）兩大類。VOCs的人為排放源主要為塗裝(塗料、油漆)、塑膠、橡膠製品、紡織品及合成纖維等之製造，布料、衣服之除污乾洗，零件、材料、設備之清洗、機動車輛、石化工業、電子業及油品輸儲過程等。自然排放源則以植物之生物排放為主。生物排放源的特性除了與植物的種類有關外，另一方面它們的排放量與光合作用、日光強度及溫度有密切關係。一般而言，生物排放源的強度在夏天午後的時段最為顯著。目前國內常用之有機溶劑如下所述：

(1)醇類：甲醇、乙醇、異丙醇、丁醇、異丁醇等。

(2)酯類：乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙酸戊酯、乙酸乙二醇單乙醚(乙酸賽路蘇)等。

(3)醚類：2-乙氧乙醇(賽路蘇)、2-丁氧乙醇(丁賽路蘇)。

(4)酮類：丙酮、丁酮、甲基異丁基酮、環己酮等。

(4)含氯溶劑：三氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯、1,2－二氯乙烷、三氯乙

烷、二氯甲烷等。

(5)烴類：a.芳香烴類：甲苯、二甲苯、油漆溶劑，b.脂肪烴類：石油溶劑(油、煤油)。

2.揮發性有機化合物主要特性

揮發性有機化合物於環境、安全及衛生問題上之主要特性有以下四點：

(1)毒害性

絕大多數的揮發性有機化合物本身即具有危害性，其侵害人體的對象主要為皮膚、呼吸系統、腎、肝、中樞神經系統等，且部分揮發性有機化合物已被列為致癌物，例如非塗料用之苯、氯乙烯、含氯溶劑、甲醛等有機溶劑。

(2)衍生性空氣污染

揮發性有機化合物分子可受 280～730nm 波長之輻射線照射而形成游離基，最後經由一連串大氣光化學反應而生成含有 O_3、PAN 等衍生性空氣污染物，此等物質會刺激眼睛、呼吸道黏膜而危害人體。

(3)臭氧層破壞潛在性

揮發性有機化合物雖不若 CFCs 化學性質安定，但仍有部分揮發性有機化合物，例如 1,1,1－三氯乙烷及四氯化碳，在大氣環境中之宿命高達數年以上，故此等物質之少部分最終會傳輸至臭氧層，而破壞其中所含的臭氧。

(4)火災爆炸安全性

除部分含氯之揮發性有機化合物外，絕大多數 VOCs 皆具有爆炸上下限之值（lower/upper explosive limit, LEL/UEL），故易於封閉性空間或作業環境中，不慎遇點火源而有發生火災爆炸之虞。

就揮發性有機化合物特性與空氣品質惡化之關聯性而言，其因光化學反應（photochemical reaction）產生如 O_3、PAN 及醛類等二次空氣污染物而備受矚目。由於大部分揮發性有機化合物具有高度之光化學反應力，在陽光下經由紫外線照射，此等排放在大氣中之揮發性有機化合物很容易被氧化，氧化形成之游離基（radicals），會再與大氣中其他化學成分（例如 NO 等）反應，形成高濃度之臭氧(O_3)及其他過氧化物（如 PAN 等）。

當然在所有揮發性有機化合物中，並不是每一種皆有相同的光化學臭氧形成潛勢（photochemical ozone creation potential, POCP）。美國 EPA 即列舉 11 種不易參與

光化學反應之化合物，包括 Methane、Ethane、Methylene Chloride、Freon 113、Methyl Chloroform、CFC-11、CFC-12、CFC-22、CFC-23、CFC-114 與 CFC-115 等。扣除此 11 種化合物的揮發性有機化合物，特稱為反應性揮發性有機化合物（reactive volatile organic compounds, RVOCs）。此外，在某些場合，有時反應性揮發性有機化合物又被稱為 RHC（reactive hydrocarbons）或 ROG（reactive organic gas）。然而，由於一般傳統環境空氣品質中碳氫化合物的自動連續監測儀器，其監測項目只有 THC、CH_4 及 NMHC（THC 為 CH_4 與 NMHC 之和），其中 NMHC 並未再予以細分，故一般即將 NMHC 視同為揮發性有機化合物或反應性揮發性有機化合物。

因此歸納而言，廣義的揮發性有機化合物即指以氣態方式存在於大氣中的所有有機化合物；狹義的揮發性有機化合物則指扣除 CH_4 及 CFCs 等 11 種非光化反應性有機化合物的反應性揮發性有機化合物。但值得注意的是，此 11 種非光化反應性揮發性有機化合物，雖不會造成對流層中高濃度臭氧的問題，但其卻是臭氧層破洞(CFCs)及溫室效應（CO_2、N_2O、CH_4 和 CFCs）等其他全球環境問題的元凶之一。而臭氧層破洞所導致紫外線的增加，間接的又可能促使都會區上空臭氧濃度的進一步惡化。而具有光化學反應性的揮發性有機化合物，除了可能造成臭氧問題外，亦會參與酸雨的反應機制。此外，揮發性有機化合物亦可能造成局部性的室內空氣污染、勞工作業環境污染及臭味等問題。未來有害空氣污染物（hazardous air pollutants）的課題，揮發性有機化合物亦佔了一個很重要的角色。

3.揮發性有機化合物主要產生來源

由於近代有機合成工業與石油化學工業的發展，進入大氣中有機化合物愈來愈多，不單是簡單有機化合物，許多是複雜的高分子有機化合物。一般具有惡臭，不但對人體各個器官有刺激作用，而且不少對內臟有毒害作用，尚有致癌物質存在。有的毒性迄今未清楚，有的由於在空氣中含量極微，目前測試技術尚無法進行鑑定。他們的來源不但來自工業廢氣，且有的是工業排出的污染物質進入大氣後，所發生一系列複雜反應，形成刺激性更強、毒性更大的污染物質。

揮發性有機化合物排放主要來自大自然與人為因素，前者大多數來自自然生物，少數則來自採煤區、油田天然氣及自然火災，而自然生物亦可產生較複雜的碳氫化合物，例如由植物與樹所產生之松烯，松烯分子可彼此結合而產生瀰漫在森林區之藍霧（blue haze）。揮發性有機化合物之排放來源相當龐雜，若以行業別觀點加以分類，則可分成工業、商業、住宅、車輛等；若依其排放特性加以區分，則可歸

納為不完全燃燒、製程排放、油品揮發、溶劑使用及生物作用等五大類。

(1)不完全燃燒

各種氣、液、固體燃料在鍋爐、加熱爐等的外部燃燒，與垃圾、廢五金、農業廢料等的露天燃燒，以及汽、柴油在車輛引擎內的內部燃燒等，當燃燒不完全時，皆有可能產生大量的揮發性有機化合物。

(2)製程排放

在煉油、石化等工業，各種氧化、蒸餾等單元程序及單元操作中的製程排放口與設備元件軸封處等，皆有可能排放化學反應狀態中的揮發性有機化合物。

(3)油品揮發

在煉油廠、油庫、加油站的貯槽，可能因日夜溫差效應及進出料作用，而由呼吸閥逸散出大量的油氣。此外，在加油站加油時，或車輛的油箱及曲軸箱，亦有可能逸散出油氣。

(4)溶劑使用

有機溶劑的使用甚為廣泛，煉油、石化及其他製造業等的萃取程序、表面塗裝、表面清洗，乃至汽車保養、乾洗、印刷、建築塗裝、瀝青鋪設及一般消費用品等，皆有有機溶劑的存在。而這些有機溶劑經使用後，若未加以處理，即直接逸散至大氣中。

(5)生物作用

污水廠及垃圾掩埋場等因微生物的作用，會排放出多種的揮發性有機化合物；此外，各植物相亦會排出大量的揮發性有機化合物。

整體性考量揮發性有機化合物的排放源，車輛污染來源（包括排氣、蒸發損失及曲軸箱洩漏等）所排放揮發性有機化合物佔有顯著的比例高達44%，其次為工業及商業住宅活動分別佔 28 及 23%；除此之外，屬不完全燃燒所造成的排放則佔 5%。而一般工業產生揮發性有機化合物的來源包括溶劑塗裝、乾燥的操作工廠(約佔60%)、有機化學物製造工廠(約佔 15%)，以及其他的農藥廠、清洗業、煉油等石化業(約佔 25%)。

4.揮發性有機物對於人體之危害

由環保署的相關研究報告中發現，揮發性有機物對人體的生理會造成一定的危

害，含惡臭性質的揮發性有機物更會造成心理的不適。揮發性有機物的揮發性、脂溶性及滲透性，使其非常容易透過接觸、呼吸等方式進入人體，傷害呼吸系統、刺激黏膜，進而影響神經系統、消化系統等，而造成呼吸急促、咳嗽、頭痛、嘔吐、反胃、刺激呼吸道及眼睛、影響食慾及睡眠、促進皮膚及肌肉的血管收縮，甚至造成呼吸道、肺臟、肝臟、腎臟、神經系統、造血系統及消化系統的病變。幾種常見揮發性有機物對人體健康之影響，如表 2.1-1。揮發性有機物對人體造成的危害可分為四大類：

(1)經由皮膚接觸引起之危害

高濃度之有機溶劑與皮膚接觸會溶解皮膚油脂而滲入組織，干擾生理機能；並會造成皮膚乾裂，甚至感染細菌，引起表皮角質化，或是刺激表皮，引起紅腫及起泡。有機溶劑接觸到眼睛，會刺激眼睛黏膜而使人流淚，滲入人體後亦會破壞血球及骨髓等。

(2)經由呼吸道引起之危害

揮發性有機物經由呼吸器官進入人體後，大部分經氣管而到達肺部，在經由血液或淋巴傳送至其它器官，造成不同程度的中毒現象。由於此種路徑擴散非常迅速，故人體內的呼吸道、神經系統、腎、肺、血液等常因此受到損害，因此經由呼吸器官引起之中毒現象受到很大的重視。

(3)經由消化器官引起之危害

當人體處在有機溶劑的環境中時，容易因進食、抽煙或嘴唇、受污染手指沾口等因素，而使揮發性有機物經由口腔進入食道及胃腸，引發噁心、嘔吐等現象，再經由消化系統危害到其它器官。

(4)惡臭物質引起之危害

惡臭物質對人體生理及心理皆會造成一定的影響。生理方面之危害主要有以下四點：

A.影響嗅覺黏膜功能：由於黏膜為呼吸系統與外來空氣之介面，保護呼吸器官不受外來傷害，因此任何使嗅覺接收細胞一端之纖毛運動減緩或停止之物質，都會破壞或降低黏膜對呼吸器官的屏閉保護。部分化合物會降低嗅覺黏膜的正常 pH 值，使溶膠狀的黏膜變成為凝膠狀，影響嗅覺黏膜功能，而揮發性油氣亦會造成纖毛的傷害。

B.嗅蕾變形：曝露在惡臭環境中，嗅蕾會受惡臭的刺激。如果持續而長期受到惡臭的刺激，嗅蕾會因刺激過度而變形，形成嗅覺障礙。

C.影響腦部傳輸：嗅覺接收細胞的兩端分別為纖毛及腦部的嗅蕾，為外界味道與腦部的橋樑。惡臭物質有可能在進入嗅覺接收器後，於細胞中被吸收合成蛋白質，再由嗅覺的軸突傳輸至腦部的嗅蕾。

D.影響自主神經及內分泌功能：一般的嗅覺、味覺與交感神經相通，而惡臭刺激嗅覺黏膜會引起明顯的呼吸及血管的反應，因此惡臭物質對神經及內分泌功能會有一定程度的影響。

表 2.1-1 揮發性有機溶劑對人體健康的影響

化合物	生理影響										
	刺激、腐蝕性					器官毒性					
	皮膚	眼睛	鼻子	咽喉	呼吸道	系神統經	肝臟	腎臟	肺	胃	致癌
1,3-丁二烯	○	○	○	○				○			※
偏二氯乙烯	○	○			○						※
二氯甲烷	○	◎		○		○					※
1,1-二氯乙烷	○	○			○	○	○	○	○		
三氯甲烷	○	○				○	○	○		○	※
1,1,1-三氯乙烷	○	○			○	○					
苯	○	○			○	○					○
四氯化碳	○	○				○	○	○	○	○	※
1,2-二氯乙烷	○	○	○	○	○	○	○	○			
甲苯	○	○	○	○		◎	◎				
四氯乙烯	○	○		○		○	○	○			※
間二甲苯	○	○			○		◎	◎		○	
順式 1,2 二氯乙烯	○	○			○	○					
氯化甲苯	○	○			○		○				※

1.◎表暴露於高濃度所造成的健康傷害、
○表暴露於低濃度所造成的健康傷害、
※表疑似致癌物質
2.資料來源：經濟部工業局，1995

5.揮發性有機物對於大氣之危害

許多工業製程所排放之揮發性有機物，易與車輛或其他固定源所排放之氮氧化物發化學性反應，產生對人體呼吸器官有害之煙霧(Smog)及過氧硝酸乙醯酯(PAN)，造成空氣品質惡化，化學反應如圖 2.1-1 所示。

◆ 二氧化氮循環

$$NO_2 \xrightarrow{UV} O + NO$$

$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$

$$NO \quad O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

VOCs　　生成 PAN

◆形成光化學煙霧(Smog)

$$NO_x + CH_3COONO_2 + VOC + O_3 \longrightarrow \text{煙霧(Smog)}$$

PAN：過氧硝酸乙醯酯

圖 2.1-1　VOCs 於大氣中之化學性反應

依據目前製程特性、溶劑用途、產品需要及國外 SCC 排放係數分析，計有 7 大類型之操作型態會造成 VOCs 之排放，如表 2.1-2 所示。

表 2.1-2 主要 VOCs 排放之操作型態

類別	細類	說明
表面塗裝作業	表面噴塗	指以噴槍將塗料噴塗於各類介質之作業。例：金屬表面、皮革表面塗裝、汽機車表面塗裝
	一般塗佈	指以刮刀或旋轉方式將各類塗料塗佈於各類介質之作業，如合成皮之 PU 樹脂塗佈、膠帶之黏膠塗佈、光碟片之旋轉塗佈，晶圓光阻劑之旋轉塗佈
印刷作業	凹版印刷	單廠有機溶劑用量大(數百噸/年)，國內約 40~50 廠，一般紙類及各類膠膜(PET、PP、PVC)塑膠袋之印刷
	平版印刷 凸版印刷	使用高沸點油墨，單廠之一般溶劑用量小，主要為水槽液之 IPA 及一般紙類印刷(書籍、印刷品、廣告宣傳單)
	網版印刷	使用高沸點油墨，單廠之一般溶劑用量小，有機溶劑主要用於網版之清洗，例如：印刷電路板
烘乾作業	密閉式烘烤	一般高溫，高濃度，分布於 PU/PVC 皮、膠帶、樹脂粒、汽機車、金屬製品及塑膠製品
	開放式風乾	大型物件之塗裝後風乾或 PU 合成皮之熟成
清洗作業	浸泡	例如：凹版印刷印胴、汽機車塗裝機具、金屬零件、電子零組件(如 LED 晶圓)
	擦拭	各類塗佈、印刷機台之清潔作業
	噴洗	晶圓、TFT-LCD 之表面處理
拌合作業	常壓常溫	油墨及黏膠、塗料及接著劑
	常壓高溫	SM 製造攪拌
	高壓高溫	合成樹脂、單體聚合反應
含浸作業	玻纖布	玻纖布製造
	濕式 PU 皮	濕式 PU 皮製造
	染整定型	金屬零件電著塗裝
	基板作業	銅箔基板製造
射出成型	射出成型	塑膠製品(光碟/安全帽/塑膠手套/……)
	押出成型	橡膠製品(輪胎/橡膠條/橡膠管件/……)
	發泡成型	發泡級聚苯乙烯(EPS)
	乾壓成型	

2.2 行業別 VOCs 污染源及廢氣特性

由於揮發性有機物之種類及特性相當複雜，而且不同行業別之製程及產品皆有相當大之差異性，也會產生不同之產業廢氣特性，直接影響含 VOCs 廢氣減量及處理技術之應用與選擇，所要注意的重點也不盡相同，有關一般性 VOCs 之廢氣特性如附錄一資料所示，本節將針對 1.1 節所述的六行業之 VOCs 產生源及廢氣特性做介紹。

2.2.1 聚氨基甲酸酯(PU)合成皮業

PU 合成皮為人造皮之一種，廣泛應用於皮包、皮鞋、沙發家具、皮衣及運動器材等，是相當大的產業，然而，PU 合成皮的產製造成空氣污染嚴重，主要原因為傳統 PU 合成皮工廠使用大量有機溶劑，製程又趨近開放系統，且溶劑未有效回收使用。分析 PU 合成皮製程中之空氣污染，部分係來自 PU 合成皮在樹脂乾燥時，使用溶劑型 PU，產生大量揮發性有機溶劑污染。

解決 PU 合成皮業者溶劑污染之清潔製程為水性 PU 製程及無溶劑貼合製程。

1.製程及廢氣特性

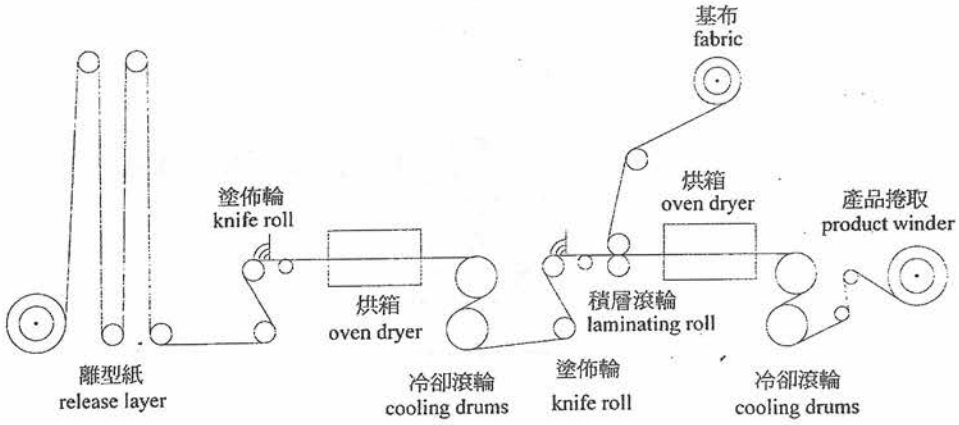
PU 合成皮製造方法係 30 餘年前，永豐公司由日本引進至國內，經國人不斷研發改良，所製產品在品質及外觀上已不亞於日本產品，唯 PU 合成皮製造過程中，排放大量揮發性有機溶劑(VOC)，如甲苯、丁酮及 DMF 等溶劑，造成空氣嚴重污染，且對人體造成不良影響。

由於 PU 合成皮於製造過程需使用 PU 樹脂及二甲基甲醯胺(DMF)、丁酮(MEK)與甲苯等溶劑，故操作時亦容易造成二甲基甲醯胺等揮發性有機物之排放，污染排放時機多在於塗佈、烘乾及印刷等操作階段，排放類型均為連續式管道排放。PU 合成皮業包括乾式、濕式等二種，乾式皮具備較高的韌性；而濕式皮則具有良好的透氣性、透水性、柔軟度與彈性佳及觸感好等優點。製程特性及排放污染物之特性說明如下。

乾式 PU 合成皮製程乃將 PU 樹脂以溶劑稀釋，塗抹在經過表面處理的離形紙上，再經過第一乾燥爐去除部份溶劑形成表皮層之後，於表皮層塗上粘著劑並經過貼合機使其緊密貼合在基布上，最後再經二道乾燥手續、熟成及剝離後，即可獲得成品；另外可使用直接塗佈法，將調製完成之樹脂均勻塗佈於基布上，經烘箱烘乾，使樹脂層乾燥並完全貼合基布，再經加工處理而製成成品。此外，印刷過程則主要是合成皮印刷與乾燥處理，進料與產品均為合成皮革，印刷物質為處理劑、色料與

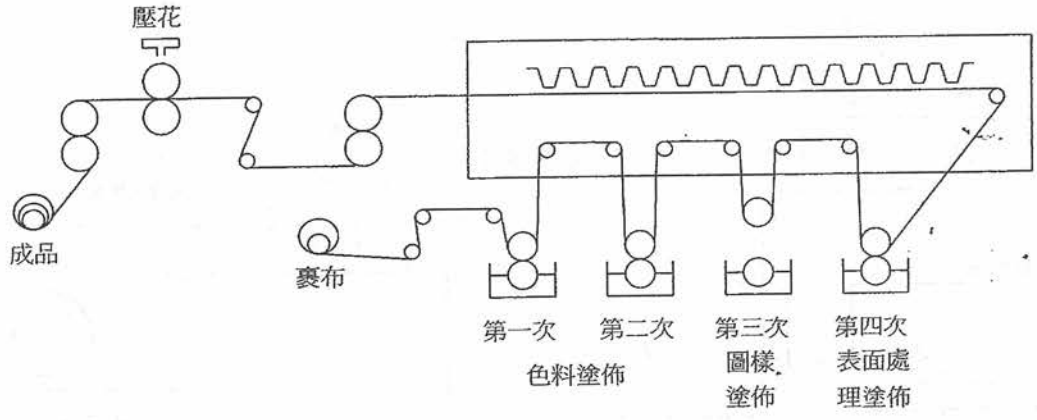
丁酮、甲苯之混合液。製程如圖 2.2.1-1~圖 2.2.1-2 所示，而產生揮發性有機物之單元包括塗佈、烘乾成膜、上糊、貼合、烘乾、印刷處理，如圖 2.2.1-3 所示。

濕式製程主要是將 PU 樹脂與 DMF 攪拌調和而成之樹脂液塗抹在基布上，使其凝固成表皮層之後，再經過水洗擠壓去除水分以及乾燥去除殘存的水分、DMF 之後，而獲得濕式合成皮，此為一般塗佈法；另有直接將基布送入含浸槽內，使塗料均勻分佈於基布內外層，並進入預凝槽內使其成為 PU 基布層，再與前述相同之操作流程，而製成另一種濕式 PU 合成皮，即稱為含浸法。製程如圖 2.2.1-4~圖 2.2.1-5 所示，而產生揮發性有機物之單元包括塗佈、凝結、水洗、燙乾、烘乾、研磨壓花貼合表面膜等，如圖 2.2.1-6 所示。



資料來源：經濟部工業局，工業減廢技術手冊，PU 合成皮工業

圖 2.2.1-1　PU 合成皮乾式製程(一)：轉塗法



資料來源：經濟部工業局。工業減廢技術手冊-PU 合成皮工業

圖 2.2.1-2　PU 合成皮乾式製程(二)：直接塗佈法

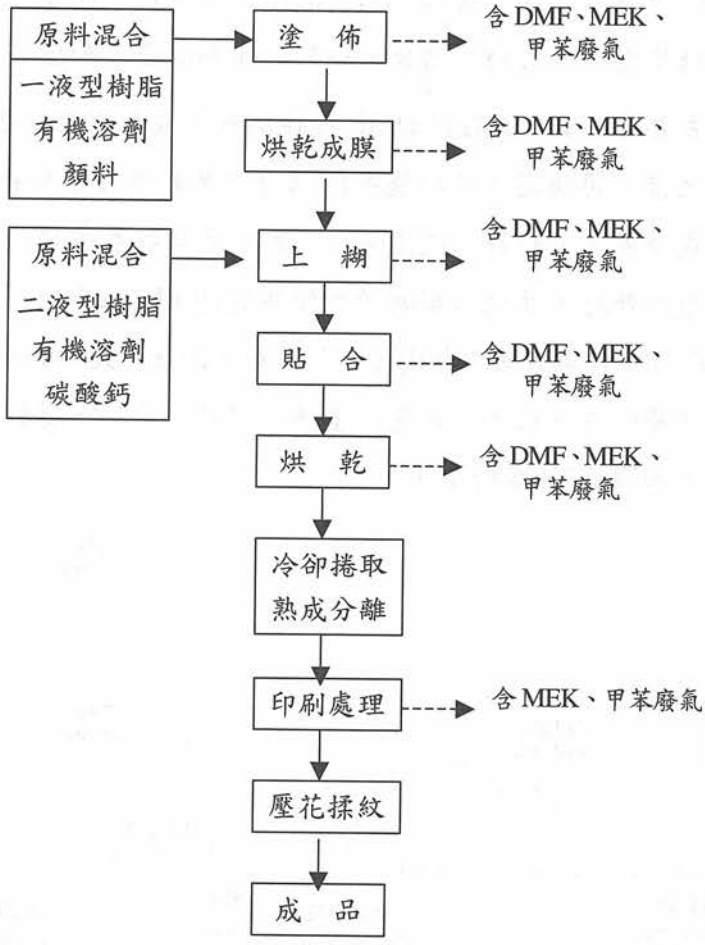
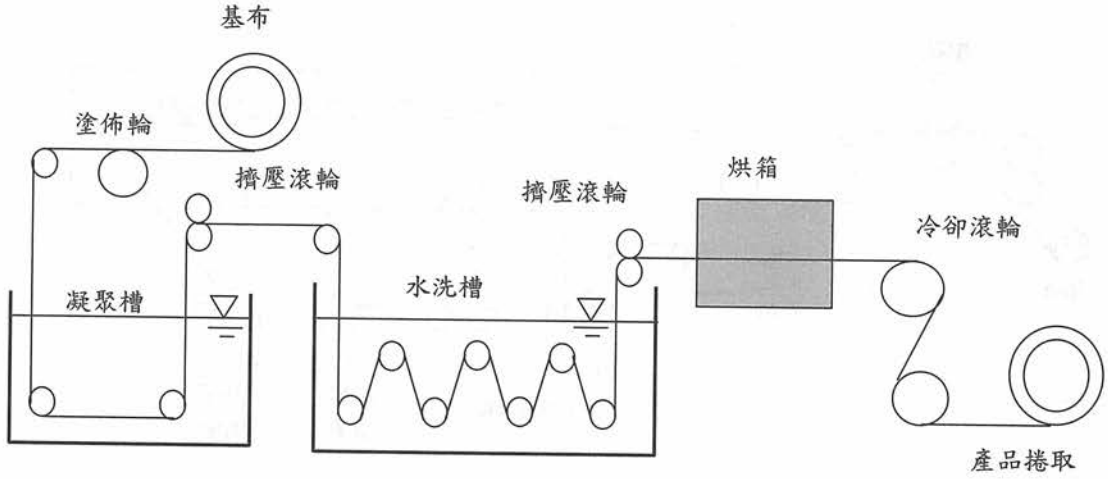
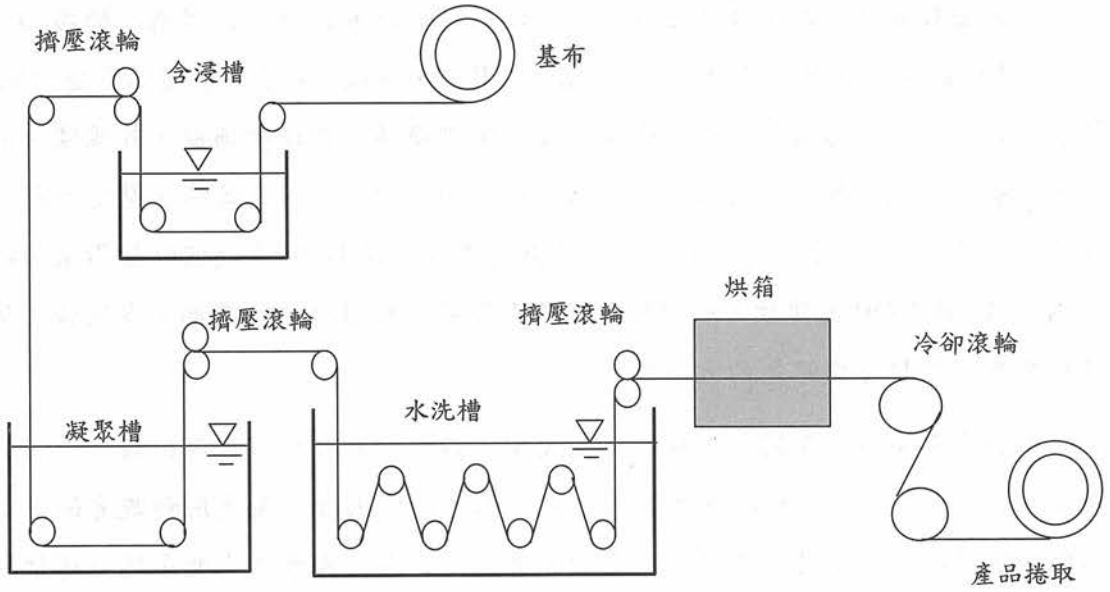


圖 2.2.1-3　PU 合成皮乾式製程操作流程



(資料來源：經濟部工業局。工業減廢技術手冊-PU 合成皮工業)

圖 2.2.1-4　PU 合成皮濕式製程(一)：塗佈法



(資料來源：經濟部工業局。工業減廢技術手冊-PU 合成皮工業)

圖 2.2.1-5　PU 合成皮濕式製程(二)：含浸法

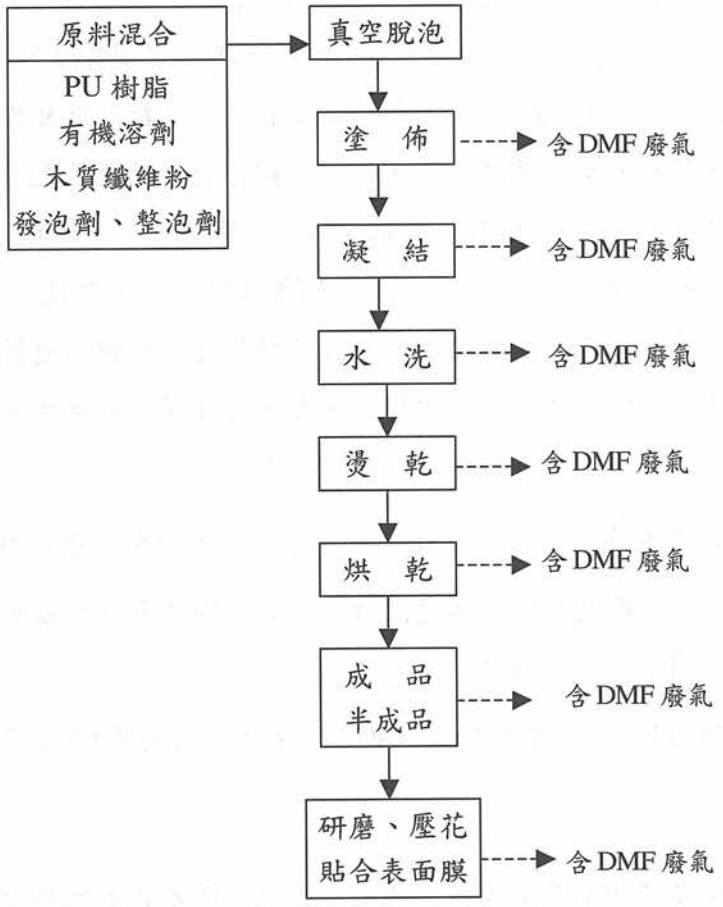


圖 2.2.1-6　PU 合成皮濕式製程操作流程

前述製程操作期間所產生之空氣污染物以揮發性有機物（二甲基甲醯胺 DMF）為主，其組成成分包含丁酮(MEK)、甲苯、二甲基甲醯胺、鄰苯二甲酸二辛酯（DOP，粒狀）等，大部份起因於自然或受熱揮發，污染源通常包括塗佈機、乾燥爐、貼合機、印刷機、凝固槽、含浸槽、預凝槽、反應槽、攪拌機、壓軋機、壓延機及發泡爐等製程設備。一般 PU 業工廠多設有填充式洗滌塔及 DOP 冷凝回收設備來回收以防制 DMF 與 DOP 之排放，然對於丁酮與甲苯的揮發排放，通常都未有適當之防制措施來防止二種有機溶劑的大量排放。

基於環保壓力，不同類型的環保型樹脂，紛紛躍入市場，如高固成份（固成份 80%以 上），UV 固化及粉體塗裝等。由於水性樹脂因加工與應用和既有的溶劑型樹脂相容性高，目前已成為最具有潛力的替代品。在美國水性樹脂平均市場佔有率達 30%，而特殊接著及室內塗裝更高達 63%及 80%以上。水性樹脂現在及未來都是塗料或油墨的主要結合劑（bindor）。

ISO 14000 的全球性環境管理推動，要求產品從設計製造、運輸、行銷，甚至回收，都必須符合環保意識，使得有效降低 VOC 公害，成為由西而東的全球性共同趨勢。符合環保趨勢之產品，將擁有市場。水性油墨之溶劑含量可小於 5 wt%（重量百分比），對公害防治係最具有效果的印刷油墨，同時對火災及作業者的安全性高，水性油墨依其形態有水溶性型、乳化型、膠體分散型及漿狀型等。依樹脂分類有壓克力樹脂、PU 樹脂、環氧樹脂、胺基樹脂等。由於合成皮之組成為 PU 樹脂，印刷油墨以同一樹脂材料，親和性最佳。水性油墨在目前塗裝設備（如滾輪、刮刀、烘箱及離型紙等）均可使用，而其問題主要在乾燥較慢，塗佈流變性較差，及高表面張力是塗裝上須克服處。應用水性塗料作為合成皮油墨，易產生的缺點及克服方法如下：

(1)水蒸發慢，塗裝時不易蒸發：配合紅外線加熱乾燥，增加風速或熱容量。

(2)水的黏度太低，塗膜厚度不均、厚度太薄及塗裝時塗膜易產生氣泡：添加流變改質劑、平坦劑、消泡劑予以改善。

(3)基材表面附著雜物等，易產生凹陷或反撥：透過潤濕劑使用，避免塗膜反撥問題。

2.2.2 印刷業

印刷業係指一般從事印刷及加工技術服務之產業，印刷產品之種類式樣繁多，舉凡圖書、報章雜誌、型錄、表單、包裝袋及日月曆等均屬之。印刷工業依據印版型式

主要分類包括平版印刷、凸版印刷、凹版印刷、網版印刷，分類說明如下：

1.平版印刷：使用的印刷機包括四色機、雙色機、單色機、快速印刷機等。目前多為應用於書籍雜誌，其中廣告印刷（含彩色圖片、畫報、海報），則大部份採用平版印刷。

2.凸版印刷：如名片機、鉛字印刷、鋅凸版、套號碼字等。文具印刷，如信封、信紙、請帖、名片、帳冊、作業簿本、…等，必須成本低廉、大量印刷，因而品質較次，故多以凸版印刷為優先考慮

3.凹版印刷：目前應用於包裝印刷，小如各類鹹甜菜蔬食品、糖果、餅乾、蜜餞，大如各型包裝用之瓦楞紙箱以及室內裝潢佈置用之壁紙等。

4.網版印刷：如電路板印刷、布花印刷、銘版印刷、局部上光等。

（資料來源：李興才教授，印刷工業概論）

臺灣地區之印刷工業屬於傳統內銷產業，自光復初期的百餘家發展至今約 7,000 多家，若以紙類印刷品進行統計，至 91 年印刷產業總產值可達新台幣 603 億元；外銷出口則以美國（新台幣 3.8 億元）、香港（新台幣 5.9 億元）及中國大陸(新台幣 3.7 億元)為主。

就現有台灣印刷工業的經營之困境，主要來自於勞工及環保意識高漲，業者需逐步投入人力與環保處理。另外印刷廠經營趨勢走向兩極化，中型企業發展面臨轉型的瓶頸，同時機器仰賴進口，技術與零件供應不及且造成關鍵技術掌握不易，使得目前印刷工業正面臨著全面的技術革新和改造。

中小型印刷企業主要以內需市場為主，由於出版業之多元化發展以及包裝印刷技術之提昇，消費者對於印刷品質之需求越來越高，相對業者則需面臨創新科技之發展壓力，驅使印刷業加快步伐邁向數碼化、網絡化。目前印刷業投入研發與創新之能力與知識較不足，除引進國外技術新知外，結合國內外許多知識能量，落實本土化技術研發機制，以提高競爭力。

此外，目前印刷業主要面臨困境如下：

1.市場競爭：由於產能過剩之因素導致價格破壞，亦受到景氣之影響。

2.出版業集團化發展：

(1)服務的要求與議價能力：大型出版業集團整合後，印刷業在議價能力與品質要求

之間，受到擠壓。

(2)滿足消費者的需求：個性化、個人化、互動的過程之間，消費者所需要的趨向跟過去不同。對印刷業來說，現有的軟硬件設施有所落差。對於數字化的投資、人才培訓等是否能合乎投資報酬率，將是很大的挑戰。

3.數字化與自動化：人才、技術、設備、投資報酬的困惑。

4.消費者對內容傳播方式的不同需求：互動、實時、個人化、少量多樣。

（資料來源：『2003 印刷市場的開創與挑戰研討會』會議資料）

目前台灣印刷工業正逐步推動及研發新技術，如推動奈米紙張、油墨、塗布技術之研發，與印刷生產技術結合運用後，提升廣大印刷製品的精緻度與耐用性，期可製造更具高附加價值的印刷品，以提升產業競爭力。由 90 年「印刷工業技術推廣與輔導計畫」之建議，面對全球印刷數位技術進步快速，廠商設備差距日益縮小的趨勢，應多加強高附加價值技術的輔導與資訊推廣，增加產業競爭力，同時在我國加入 WTO 之後，兩岸印刷業之間的互動將更加頻繁，而國外出版、印刷相關行業也將進入國內市場。印刷產業因應未來的市場變化，應投入更多資源進行相關策略的規劃研擬。

對於各種製程之特性說明如下：

1.凹版印刷製程

凹版印刷製程如圖 2.2.2-1 所示，凹版印刷之特性主要為印紋凹陷著墨量大，其直接加壓印刷，凹陷之程度具有深淺之別，全依圖像之層次而定。其圖像層次越暗，其深度將越深。印刷時使印版通過油墨槽後，再利用刮刀將非凹陷部分之油墨刮除，使油墨僅留於凹陷圖文處。凹版主要用於大量印刷，其主要原因係其製版不易，費用較為昂貴，因此多採輪轉式設備，被印材料種類範圍則涵蓋各類紙張、OPP、PET 與 PVC 等材質。

2.凸版印刷製程

凸版印刷作業於其版面印紋部分凸起於非印紋部分，被印材為紙質、金屬、塑膠、橡膠、樹脂或其他材料者。係以直接或間接方式將圖文等原稿製成印版，在印版上塗覆印墨，再加壓轉印於被印材料上，以達成大量、迅速複製之一種工藝技術。印刷技術之範圍可依生產製程階段區分為印前、印刷及印後加工技術等三大部份，典型之凸版印刷製程如圖 2.2.2-2 所示。凸版印刷屬於直接加壓印刷方式，印紋部份

凸起，印刷時將沾覆油墨；無印紋部份則凹陷使不沾著油墨，故版面上圖文部份較非圖文部份高，印刷產品之印墨中心較為淺淡而邊緣受印壓擠迫呈現較濃墨色。由於凸版印刷產能較低，國內業者多以承印「事務性少量印刷品」為主，主要業務以印製名片、請柬、信封、表單等為主。

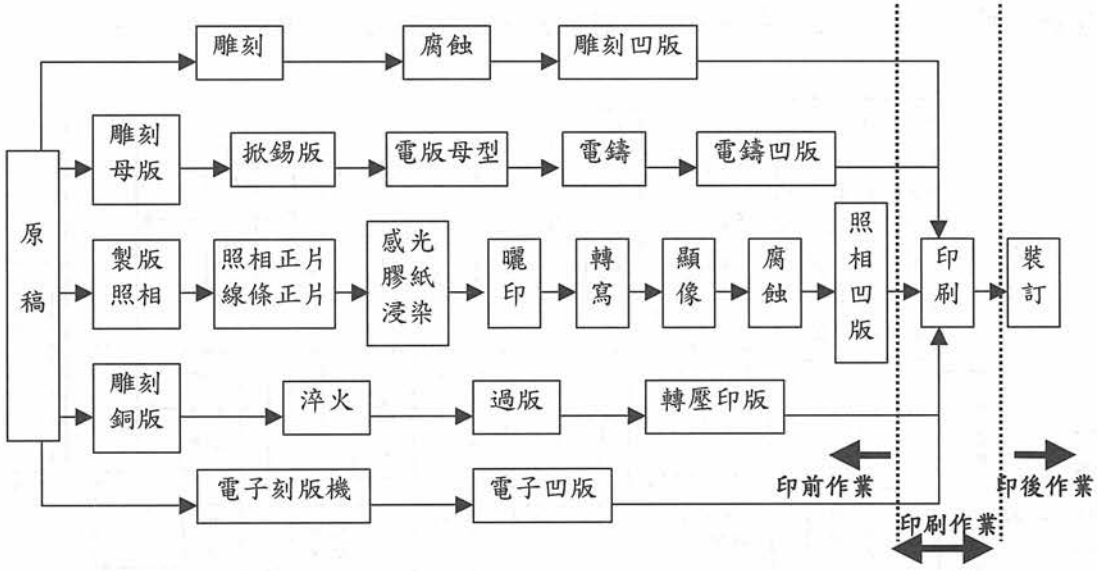


圖 2.2.2-1 凹版印刷製程圖

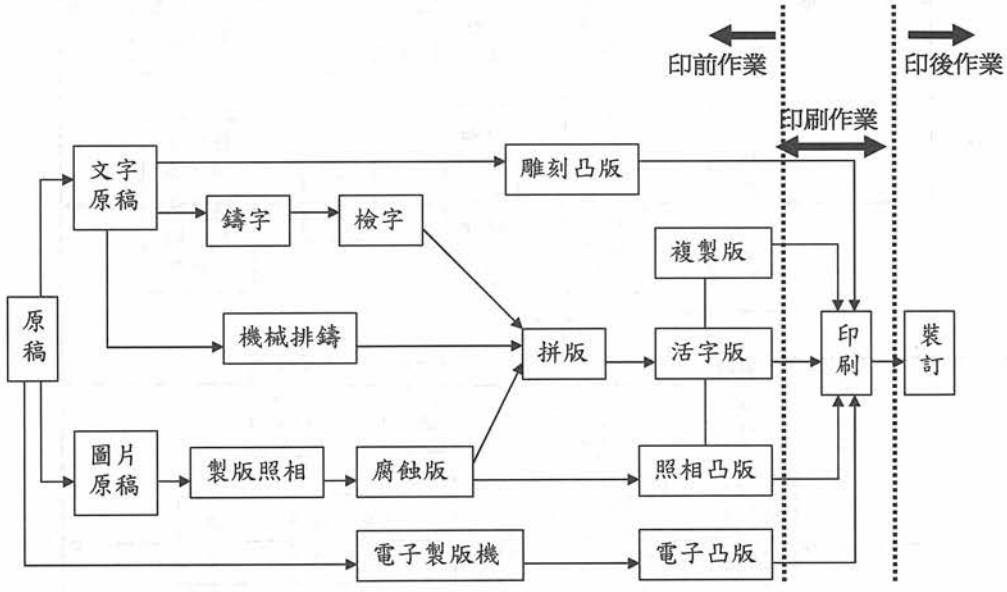


圖 2.2.2-2 凸版印刷製程圖

3.網版印刷製程

網版印刷製程如圖 2.2.2-3 所示，網板印刷之特色主要為墨色濃度較高，其曲面小量多樣化，也因此所使用被印材質最廣，凡不規則表面之印刷，均可利用網版印刷。網版印刷其印紋成毛邊狀，墨層厚實。適於平面及曲面的硬質、軟質印刷物體，包含塑膠面、車外大型海報、印刷電路板、局部上光、轉寫紙、布料等。

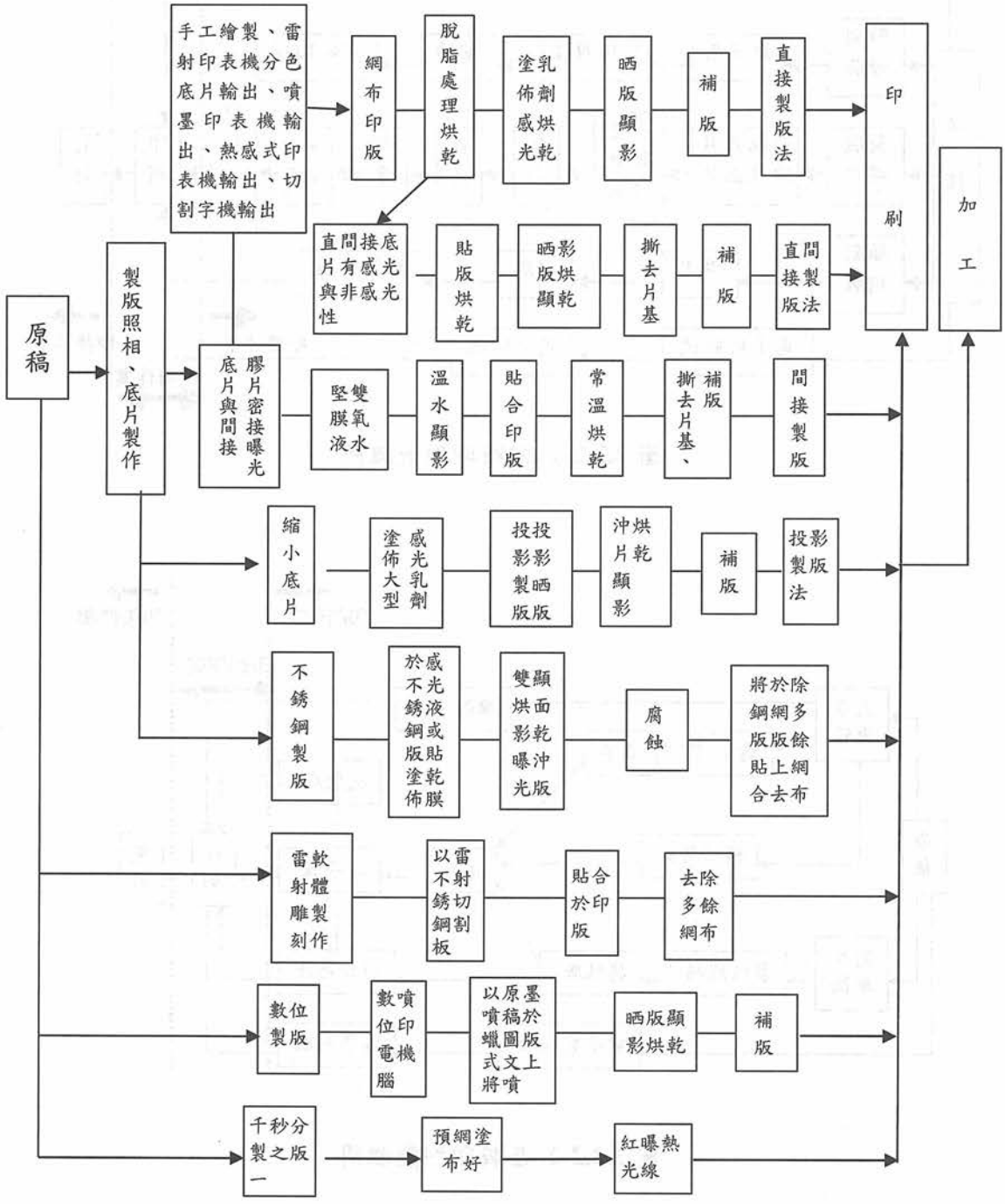


圖 2.2.2-3　網版印刷製程圖

由於網版印刷之產品差異性較大，被印材料種類較廣，因此所使用的油墨與溶劑量不易評估，同時其使用油墨與其他種類不同，同時以自然乾燥因此容易逸散至空氣中，且清洗時由於不如其他印刷類使用滾輪可直接刮除，需大量清洗亦容易逸散揮發性有機物。為瞭解其印墨與溶劑特性，說明分析如下。

目前網版印刷所用的印墨種類依據乾燥形式，主要分為蒸發乾燥型及反應型（氧化型、加熱硬化型、二液反應型）。一般乾燥型印墨中的溶劑蒸發乾燥後，印墨中的皮膜形成物形成皮膜而固著，反應型則需經過如加熱或氧化可加速完成硬化。而溶劑最主要則用以溶解樹脂使印墨具有流動性、具有電性使被印物之含攜體（carrier）的作用，印刷後油墨膜中蒸發逸散。應用在網版印刷的主要溶劑如表2.2.2-1所示。

表 2.2.2-1　網版印刷用溶劑性質一覽表

分類	溶劑名	沸點℃	蒸發速度比
脂肪族類	石油腦 Petroleum Naphtha	100-150	-
	礦物油精 Mineral Spirit	140-180	-
	煤油 Kerosene	180-280	-
芳香族類	甲苯 Toluene	111	2
	二甲苯 Xylene	140	0.7
	芳香族萘	150-200	0.6-0.1
酮類	甲乙基酮 M.E.K	79	4.6
	甲基異丁基酮 M.I.B.K	116	1.6
	環己酮 Cyclohexaone	156	0.3
	異二甲基庚二烯酮 Isophorone	215	<0.1
酯類	醋酸乙酯 Ethyl Acetate	77	4
	醋酸丁酯 Butyl Acetate	126	1
	醋酸戊酯 Amyl Acetate	140	0.7
醇類	乙醇 Ethyl Alcohol	78	1.9
	異丙醇 Isopropyl Alcohol	82	1.7
	丁醇 Buthyl Acohol	117	0.5
	戊醇 Amyl Alcohol	137	0.3
醚類	甲氧基乙醇 Methyl Cellosolve	124	0.5
	乙氧基乙醇 Etyl Cellosolve	135	0.2
	丁氧基乙醇 Buthyl Cellosolve	171	0.1
	二乙二醇甲醚 Methyl Carbitol	194	<0.1
	二乙二醇乙醚 Ethyl Carbitol	202	<0.1
	二乙二醇丁醚 Bythyl Carbitol	230	<0.1

一般而言，溶劑對樹脂因溶解力不同尚可分為主溶劑、助溶劑及稀釋劑，主溶劑為能單獨溶解樹脂的溶劑，助溶劑則對樹脂的溶解力小，但與他種溶劑配合時可發揮其溶解力，稀釋劑則對樹脂無溶解力，需與其他溶劑混合使用。因此使用溶劑時，需考慮三者適量混合以調解溶劑的溶解力保持溶劑的平衡。溶劑中不同成分其沸點及蒸發速率可參考表 2.2.2-1，印刷業者可經由乾燥過程中其蒸發速度比衡量印刷品油墨乾燥的品質外，尚可評估揮發性有機物於製程何處最容易揮發至空氣中，藉以作為裝置氣罩或改善臭氣之參考。蒸發除了瞭解溶劑的成份外，蒸發速度也是影響揮發性有機物蒸發至空氣中的影響因素之一，蒸發速度裡醋酸丁酯是 1，比其數字大表示蒸發速度快，數字小表示蒸發速度慢。

印刷業之主要空氣污染物為揮發性有機物，製程污染源包括印刷機、烘乾機、油墨稀釋調整與設備/印版之擦拭清潔作業。以下扼要說明：

(1)印刷機、烘乾機

印刷時使用之油墨中溶劑含量愈高，則於印刷或烘乾過程中，有機溶劑將因自然揮發或遇熱釋出而造成 VOCs 污染排放。

(2)油墨稀釋作業

為符合印刷機之操作速度與產品色澤要求，須進行油墨稀釋或調色作業，油墨中含有必要之成份溶劑，而油墨稀釋所使用之稀釋劑或凡立水，則幾乎為百分之百之有機溶劑成份。

(3)設備/印版之擦拭清潔作業

擦拭清潔作業係指在換版或每日作業結束時，所進行之橡皮布/墨輥清潔作業。傳統之印刷機清洗劑多為純有機溶劑成份，除造成 VOCs 污染排放外，對現場操作人員之健康或工廠防火安全均造成危害。

印刷製程使用之油墨種類及稀釋程度，與被印材料性質及生產速度有關，輪轉式印刷因生產速度較快，對產品之乾燥速度要求較高，故所需之稀釋溶劑較大。表 2.2.2-1 為網版印刷用溶劑性質一覽表，另根據 92 年環保署委託之調查計畫中現場訪視之 3 家印刷工廠油墨溶劑含量分析結果（如表 2.2.2-2）顯示，購入油墨中成份溶劑含量為 50~60%，經稀釋後溶劑比例上升至 57%以上。

表 2.2.2-2 印刷業油墨溶劑含量分析

工廠代號	原物料	年用量(公噸/年)	溶劑比例(%)	溶劑含量(公噸/年)	稀釋劑用量(公噸/年)	稀釋劑種類	稀釋後溶劑比例(%)
A	油墨	9.14	50	4.58	1.37	酒精/丙二醇/甲醚/乙酸乙酯/異丙醇	57
B	油墨	330	60	198	440	甲苯/丁酮/異丙醇/乙酸乙酯	83
	接著劑	10	1	1	100	乙酸乙酯	92
C	油墨	1.8	50	0.9	2.2	甲苯/MEK/MIBK	78

資料來源：環保署固定污染源揮發性有機空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，92 年。

2.2.3 塗裝業

1.塗裝作業程序

塗裝作業若以被塗物件之材料性質作區分，可概分為金屬製品、木製品及塑膠製品等三大類。其中金屬基材之塗裝一般採用噴塗或靜電塗裝，金屬製品則以汽車、家用電器、金屬家具等為主，而罐頭、漆包線則分別採用滾塗、浸塗之方式，至於體積較大者如建築物、橋樑、鐵架、船舶等，大多不採用刷塗，仍以噴塗及靜電塗裝佔其大部分。

(1)金屬製品

金屬製品由於被塗物表面會產生氧化物，若未清除乾淨則於塗裝進行時塗料只是堆積於表面，無法與素材表面緊密地結合；因此金屬塗裝時，前處理便顯得格外重要，包括素材表面處理、脫脂、除銹及防銹處理等，都可決定後續的塗裝品質好壞。圖 2.2.3-1 為一典型金屬塗裝工程之完整程序，以下將金屬製品表面塗裝之主要處理步驟介紹如下。

A.素材表面處理：表面塗裝前的表面處理工作包括素材表面的整修及表面處理，使用研磨或者化學方法處理。

B.脫脂：將金屬表面於加工時附著的機油、膏脂及其他雜物除去，其方法包括：

(A)溶劑洗滌：為使用有機溶劑溶解油漬，例如業界使用三氯乙烯蒸氣浴來進行溶劑去附油脂的工作。

(B)鹼性洗滌：即用鹼性藥品皂化油脂類而將油脂加以去除，例如使用氫氧化鈉、碳酸鈉、磷酸鈉及矽酸鈉等。

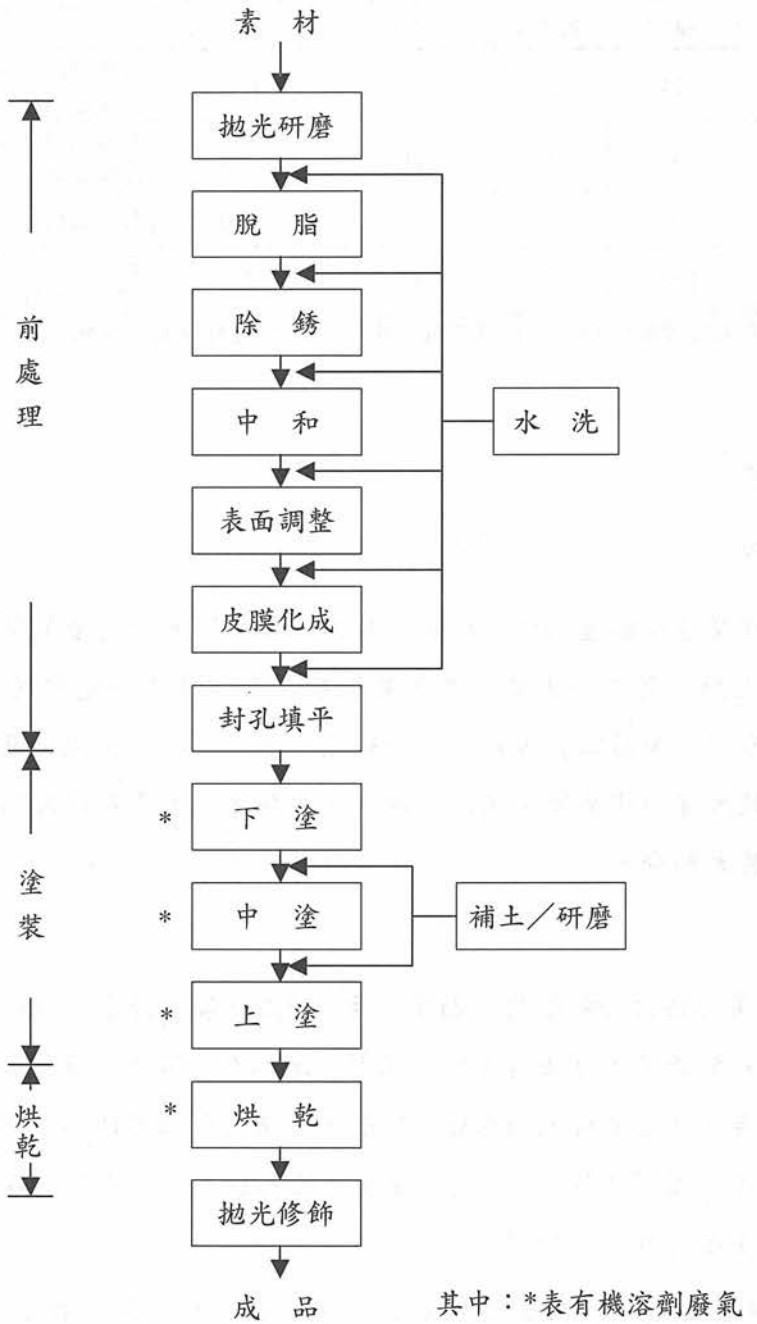


圖 2.2.3-1 金屬表面塗裝流程

(C)面活性劑脫脂：就是利用溶劑的溶解力及界面活性劑的乳化皂化力脫脂。

(D)其他如高溫燒法或以噴砂同時做脫脂、除銹工作。

C.除銹：由於金屬表面的氧化物於塗裝前，必須加以去除以免妨害外觀，以及影響塗裝品質，常見除銹的方法包括：

(A)噴砂：利用高壓空氣噴砂於金屬表面，藉衝擊與研削剝金屬表面一層皮膜而達到去除原殘留於表面之鐵銹。

(B)滾桶研磨：利用在桶內放置物品，磨石及媒劑進行滾轉，藉物素材與研磨材料間之磨擦作用去除銹皮。

(C)酸洗：就是將物品浸漬於酸液中以去除生銹或以布、刷子沾酸液拭去生銹部份。

D.防銹：脫脂、除銹後的金屬表面裸露，為避免與外界接觸再發生生銹情形，通常需進行防銹處理以遮斷被塗物與外界接觸的機會。防銹的方法主要可分為：

(A)皮膜化成處理：即當磷酸與鐵接觸時反應而生成不導電且不溶於水的磷酸鐵，因此可於鐵材表面形成這種具防銹的效果物質。

(B)塗料防銹法：即透過噴塗防銹漆顏料，如鉛丹、氧化鋅等鹼性化合物，與形成塗膜成分反應變成強韌膜，可以有效抑制水份滲入引起氧化作用。

E.底塗：金屬塗裝的底塗(又稱下塗)，主要功能為使塗膜附著於工件，同時也具有防鏽作用，故常以使用防鏽漆為多。

F.補土及磨研：底塗後素材不平或下凹處，使用補土加以填充整平，目前以使用不飽和聚酯的補土居多。研磨可分為乾磨及濕磨，將補土補入凹部，充分乾燥後用耐水砂布磨平補土。

G.中塗：中塗是介於補土與上塗或底塗與上塗之間的夾層，類似三明治一般。中塗的主要功用為填充補土小砂孔的的細小不平處，避免補土吸收上塗塗料，以及能賦予上塗塗料良好的塗裝基面，使塗裝後塗料之吸收有最好的平均分配與增進塗膜的附著效果。

H.上塗：金屬塗裝有各種方法，由手動到輸送帶之自動塗裝皆有使用，使用的塗料種類亦隨著使用的目的而異。

I.乾燥：金屬塗料有常溫乾燥(硬化)與焙烤型，使用焙烤型的塗料即所謂的烤漆，乾燥裝置則包括紅外線、電子線、熱風等。

(2)木材塗裝程序

木材因為較易變形、對溫度及濕度敏感等特點，故木製品的塗裝與金屬的塗裝迥然不同。一般木材塗裝有二種基本型式，一種為可在透明皮膜看清木紋者，稱為木地修飾的木材透明塗裝；另一種為用含有顏料之塗料遮飾木紋者，稱為琺瑯修飾的木材不透明塗裝。以家具椅為例，一般木材塗裝的完整處理程序如圖2.2.3-2所示，以下將木製品表面塗裝主要處理步驟介紹如下。

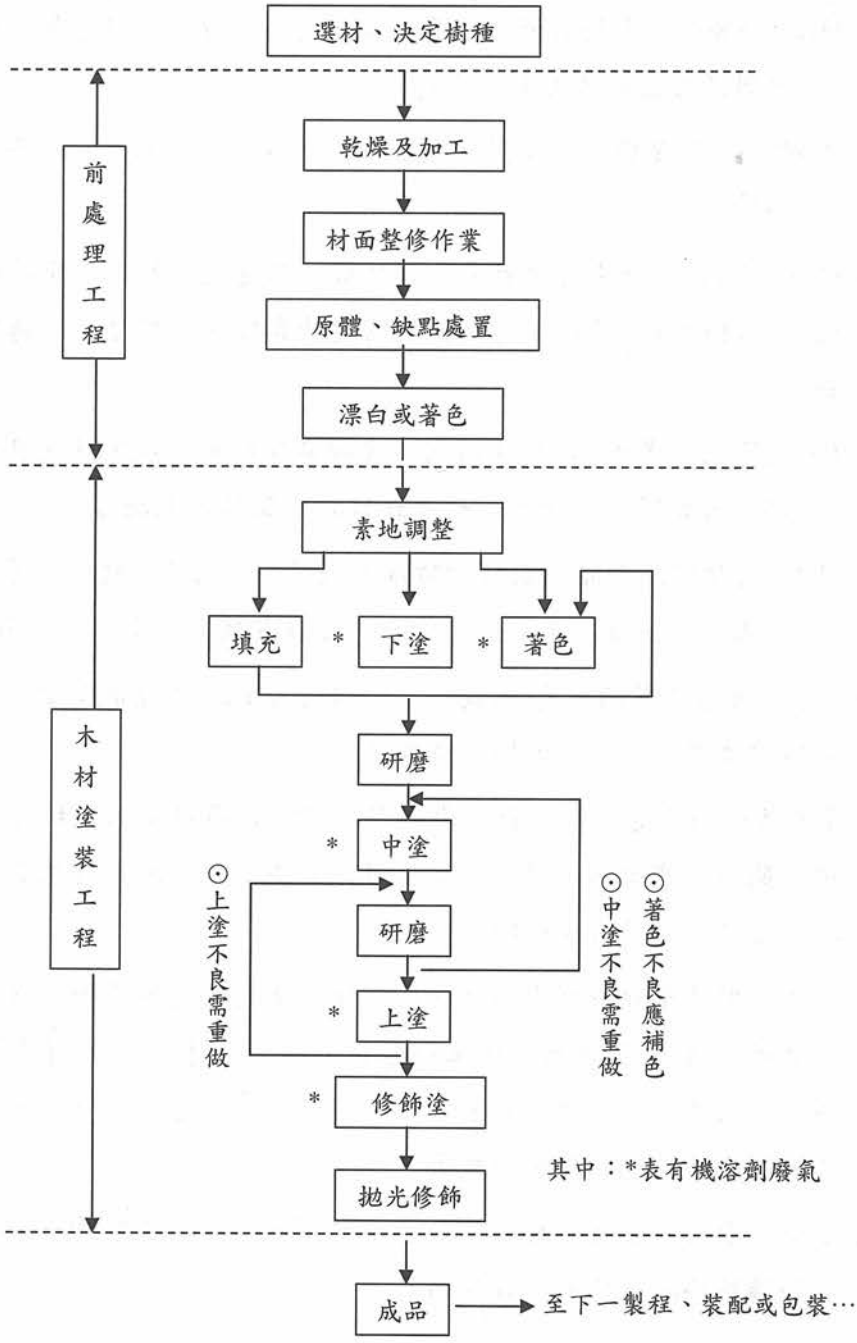


圖 2.2.3-2 木材塗裝作業流程圖

A.素材表面調整：除去被塗物塗裝表面的污漬，以適合表面塗裝之用，調整出平滑的塗膜附著表面，若有因加工作業引起之飽目、逆目或污漬時，通常使用砂布配合纖維方向研磨，大規模生產時使用砂磨機。

B.著色與漂白：有些木材表面的材質顏色不平均，或需特殊的色調，故將木材加以著色或漂白以求材色一致。著色即將染料溶於水或溶劑的水性著色、油性著色、酒精著色、木材封止劑(wood sealer)、透明拉卡(clear lacquer)等著色方式；而漂白包括氧化漂白及還原漂白兩種方式。

C.底塗：使用樹脂封止劑，封止樹脂成分的滲出，防止著色的滲色，防止木材吸液的不平均。底塗不但可以硬化素地表面，更可以提高與中間塗料間的密著性；底塗所使用木材封劑如聚尿酯樹脂類、拉卡類及胺基醇酸樹脂塗料等。

D.封紋理：為了填塞導管使素材表面平滑，對木材賦予一定的色調及使木理明顯化。尤其針對如闊葉樹之類擁有較粗導管的木材進行此項作業。封紋理作業有時在著色前施於素材上，有時則於著色、底漆後施工。

E.中層塗裝：作用為形成某種厚度而製成平滑的表面。在透明塗裝時使用封底漆，不透明塗裝時使用補平漆。

F.中層研磨：塗上封底漆或補平漆二至三次後的塗膜則放置任其充分乾燥後，在凹部抹油灰，然後進行中層研磨，除平滑化目的之外，還有提升塗膜間互相密著性的功能。

G.補修塗裝(塗膜著色)：補充素材著色不足之工程，有時省去素材著色於此時施行著色。

H.面漆塗裝：施塗面漆，除非不得已，不採用強迫乾燥為宜。

I.研磨潤飾：塗面漆後的塗膜再用細粒水砂總加水研磨或使用研磨機。

(3)塑膠塗裝程序

塑膠(塑料)製品之塗裝雖然不似金屬、木材來的容易，但是由於其只要在其上施塗薄薄一層的塗膜，即可賦予塑膠表面美麗的色彩及各種機能特性，是故在業界中仍廣泛的被利用。塑膠若不採行塗裝，也可由塑膠成型加工前，加入一定的添加劑、色料等，經由射出或各成型法得之；但因為這些高分子化合物的材料裡，有太多其他物質的存在時，會影響到材料結構功能等特性，並且由於色料需全面均勻分布的關係，造成色料的浪費。塑膠之前處理工程是否正確，會對塗裝

成品之完美造成重大的影響，經由各種表面處理過後的塑膠表面，最好能夠儘早施以底塗作業，而所用的塗料也不可過強且會溶解塑膠，也不能全無作用，亦不可未經表面粗化研磨處理，而無附著塗料之功能，其塗裝流程如圖 2.2.3-3 所示。

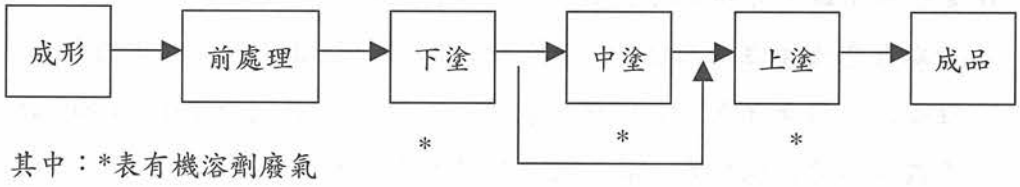


圖 2.2.3-3 塑膠塗裝作業流程圖

不論是下塗、中塗或上塗作業，塗料系統的選擇是相當重要的事，塗裝的特殊機能目的及應用亦是變數的關鍵，並需要在塗裝前就予以充分的瞭解與考慮，才可順利完成品質良好塗裝產品，減少瑕疵品的產生。塑膠材質之下塗作業可使用一般金屬塗裝之伐鏽底漆(預蝕塗漆)，是因其含鉻酸或醇系溶劑的原因，其他常用的塗料系統有(A)聚丙烯酸酯塗料、(B)環氧樹脂塗料、(C)聚胺脂塗料等。當然水性塗料是最符合現代環保無公害之需求，也是未來努力追求的方向，然而水性塗料因水而產生的塗膜特性問題一直未突破。

2.VOCs 廢氣特性

國內目前表面塗裝業使用的塗料除建築業大部份使用水性塗料以及家電業使用粉體塗料之外，大都使用溶劑型塗料進行塗裝作業，而塗佈技術因不同產業需求涵蓋了各種型式，如流塗、浸塗、噴塗、靜電噴塗等，不同的塗佈技術將依其塗料特性、溶劑含量、塗裝效率等因素，產生不同程度污染排放。因塗裝所涵蓋的種類很廣，但就一般塗裝工程而言，從塗裝製程所產生的污染物型態包括粒狀物、酸鹼廢氣、臭味及揮發性有機化合物等，由於揮發性有機化合物為塗裝作業中污染性及污染量較大的污染物，也是業者最困擾及環保單位較為重視的問題，因此本手冊主要將對揮發性有機化合物作介紹。

表面塗裝所有使用之塗料是由凝結原料(樹脂或纖維素)、顏料、溶劑以及各類添加劑所組成，加上塗裝前的前處理如清洗脫脂、稀釋劑的調配等都需要使用有機溶劑，因此在塗裝的過程中揮發性的有機溶劑將會揮發逸散出來，形成所謂的 VOCs；此外於表面塗裝的程序中只要利用到有機溶劑的部分就有可能造成揮發性有機物質的逸散，諸如前處理去脂、塗裝設備的清潔、換色清洗等步驟都會造成揮

發性有機化合物的逸散。以國內塗料製造及使用情形，以使用油性塗料所產生之比例佔最高，可見其為塗料使用是塗裝作業所產生揮發性有機化合物之最主要來源。

由揮發性有機化合物的排放型式來看，表面塗裝作業的污染排放類型屬於逸散污染源，而逸散污染源的污染控制也比較困難，除非將整個污染產生源於密閉內操作例如在塗裝室(booth)內，否則將使得逸散污染源容易對環境造成較大的威脅。現今塗料中除了粉體塗料、水性塗料及無溶劑型塗料之外，幾乎皆無法避免使用有機溶劑，各種表面塗裝工程之污染物型態與來源如表 2.2.3-1 所示。

表 2.2.3-1 表面塗裝業塗裝製程之污染物型態與來源

工業別	程序	板金成型	前處理素地調整	塗裝	乾燥	可能含 VOCs 種類
家電業	VOCs	○	◎	●	●	甲苯、二甲苯、乙醇、丁醇、賽璐素、丙酮、三氯乙烷、甲乙酮
	粒狀污染物	◉	○	◉	○	
金屬家具	VOCs	○	◎	●	●	甲苯、二甲苯、丙醇、丁醇、賽璐素、礦油精、甲基異丁酮
	粒狀污染物	◎	○	◉	○	
汽車工業	VOCs	○	◎	●	◉	甲苯、二甲苯、乙醇、丁醇、賽璐素、丙酮、乙酸乙酯、乙酸丁酯、甲乙酮、甲基異丁酮
	粒狀污染物	◉	○	◉	○	
汽車修護	VOCs	○	○	●	●	甲苯、二甲苯、乙醇、丁醇、賽璐素、乙酸乙酯、乙酸丁酯、甲乙酮
	粒狀污染物	◉	◉	◉	○	
機械	VOCs	○	◎	●	●	甲苯、二甲苯、甲乙酮、丁醇、賽璐素、乙酸、乙酯、乙酸丁酯
	粒狀污染物	◉	◎	◉	○	
樂器	VOCs	○	○	●	●	甲苯、苯、甲乙酮、丁醇、丙酮、乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙醇
	粒狀污染物	●	◉	◉	○	
非金屬家俱	VOCs	○	○	●	●	甲苯、二甲苯、丙酮、甲醛、甲乙酮、乙酸丁酯、乙酸乙酯、甲基異丁酮
	粒狀污染物	●	●	◉	○	

註：1. ●嚴重　◉有　◎可能有　○無

由於表面塗裝作業通常僅為一般工業製程中的一部份，而且涉及表面塗裝的產業繁多，可能各個產業的表面塗裝程序及方法迥異而導致其表面塗裝所產生 VOC 排放的量或濃度皆不同，表面塗裝程序所排放的 VOCs 特性如表 2.2.3-2 所示。一般可能造成 VOCs 排放的典型塗裝程序介紹如下。

(1)溶劑的儲存、操作及裝載：製程中所使用有機溶劑的儲存、操作及裝載時，將會造成少量的 VOCs 外洩。

(2)前處理：包括金屬製品塗裝前之脫脂、清洗及皮膜化成的步驟，一般前處理所排

放的 VOCs 量很少。

表 2.2.3-2 表面塗裝程序排放 VOCs 等性

塗裝程序	排出氣體量	排出 VOCs 濃度
溶劑的儲存、操作及裝載	低	低
前處理	低	低
塗裝作業	高	低
乾燥作業	高	較高
尾氣處理	高	低

(3)塗裝作業：塗裝作業過程，揮發性的 VOCs 會不斷地逸散至大氣中。塗裝作業所產生的 VOCs 佔整個表面塗裝作業的大宗。一般而言，塗裝作業所排放 VOCs 的特性為排放量很大但濃度很低。

(4)乾燥作業：塗裝乾燥作業的方式有很多種，有採用紫外線乾燥(UV curing)、乾燥爐甚至自然風乾等方式，不論使用何種乾燥方式，都將會造成 VOCs 的逸散。塗膜乾燥的過程中，VOCs 會不斷地揮發至大氣中。理論上塗膜中剩餘的所有 VOCs 應被釋放出來。一般說來，乾燥區的排氣量較塗裝作業小，但排放 VOCs 濃度較高。

(5)尾氣處理：由表面塗裝製程所收集的 VOCs 送至空氣污染防制設備，如觸媒焚化、活性碳吸附、直接燃燒..等，進行 VOCs 之去除工作。一般經由防制設備處理後所排放出之 VOCs 濃度甚低，但其設備之設置及操作費用，也常是造成工廠負擔的原因之一。但是在一些小規模的產業或工廠，於表面塗裝作業時並無任何防護措施或處理設備，因此塗料中的有機溶劑將藉由製程作業而逸散至環境中，不但容易造成環境的污染，亦會直接影響作業環境中現場操作人員的健康。

2.2.4 油性膠帶業

1.製程污染源介紹

膠帶業依生產製程使用的基質主要分為油性與水性膠帶，水性膠帶生產過程中所使用之水性壓克力樹脂和接著劑大多以水性為主，所以揮發性有機溶劑使用量很少。油性膠帶生產過程中使用油性壓克力樹脂，內約含 60~70 %有機溶劑，並添加用於混合、調整接著劑的揮發性有機溶劑，因產品不同，故有使用單一溶劑或多種溶劑混合使用，溶劑種類主要有乙酸乙酯、甲苯、正庚烷，少量為丁酮、丁醇等。

這些有機溶劑多為環保署將優先列管之有害空氣污染物(HAPs)。

油性膠帶種類繁多，其主要的功能不外乎為固定（holding）、密封（sealing）、補強（reinforcing）、辨識（identification）、遮蔽（masking）、保護（protection）、接合（splicing）等，如表 2.2.4-1 所示。

表 2.2.4-1 膠帶業主要溶劑特性

溶劑品名	化學式	相態	沸點（℃）	作業環境容許濃度(mg/m^3)
甲苯	$C_6H_5CH_3$	液體	110.7	376
二甲苯	$C_6H_4(CH_3)_2$	液體	160	434
乙酸乙酯	$CH_3COC_2H_5$	液體	77	1,440
丁酮	$CH_3COC_2H_5$	液體	79.6	590

資料來源：環保署固定污染源空氣污染防制輔導案例及執行成效彙編，90 年。

黏性膠帶之製程主要為將壓克力樹脂或橡膠，以揮發性有機溶劑溶解稀釋後(內約含 60～90%有機溶劑)，並添加用於混合、調整黏著劑的揮發性有機溶劑，因產品不同，而有單一溶劑或多種溶劑混合使用，有機溶劑的種類主要有乙酸乙酯、甲苯、正庚烷，及少量的甲醇、丁醇及丁酮等，經塗佈機塗佈於不同的基材(如 OPP、PVC、PE、PET、布、複合材料、玻璃紙類...等)上，再經烘箱加熱烘烤，將有機溶劑蒸發，使樹脂乾燥形成表皮層並完全貼合於基材上，此即為半成品，後續再經加工處理(如捲繞、剪裁...等）而製成成品。在生產黏性膠帶的過程中，會產生揮發性有機物空氣污染的污染源如下：

(1)製膠區—調配樹脂或橡膠時於調合室中的逸散。

(2)塗佈區(或稱上膠區) —基材進行塗佈樹脂或橡膠接著劑之塗佈作業區的逸散。

(3)烘乾區—烘箱高溫烘烤半成品時，造成有機溶劑的揮發等。

其他製程單元中，仍會存有少許揮發性有機物，如成品之再烘乾、製程中之剩餘廢膠，但因其所佔比例極小。膠帶業基本之製造流程及揮發性有機廢氣產生源詳見圖 2.2.4-1。有些黏性膠帶工廠外購現成之塗膠，並無原料混合單元，且由於原料混合及塗佈單元一般在室溫操作，其所產生之有機廢氣排放量並不多，但在烘乾單元中操作溫度都在攝氏一百度以上，所以大部份有機溶劑於此單元中揮發，因此黏性膠帶製程中有機廢氣的主要污染源是來自於烘乾單元。

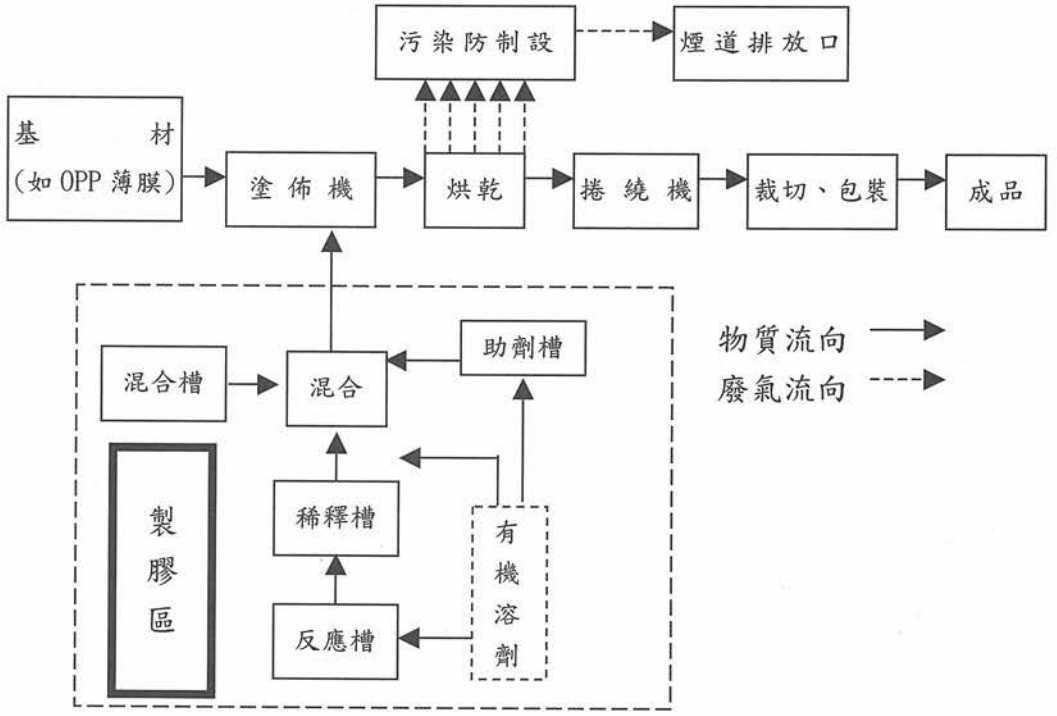


圖 2.2.4-1 膠帶製造流程圖及廢氣流向圖

2.廢氣特性

黏性膠帶的製程中，VOCs 之排放源包括製膠中逸散、上膠過程逸散、製程中廢膠所逸散、烘乾逸散、產品中殘留、廢水中逸散。而上述各項有機溶劑可能排放路徑中，製膠及上膠部份因為原料混合及塗佈之單元一般在室溫操作，故其有機廢氣排放量並不多，而製程中廢膠部份因成本考量多半會回摻再利用，因此這部份的含量亦不大，又在產品中殘留之有機溶劑量一項中，有機溶劑含量也很低，而廢水中所含有機溶劑量也只是在有設置活性碳吸脫附之工廠中才有，因此在沒有設置污染防制設備或未利用蒸氣進行活性碳床之脫附再生的工廠中，有機廢氣最大排放量乃來自於烘乾後之有機廢氣排放量。有關主要溶劑特性請參考表 2.2.4-1。依各廠商產品配方之不同，所使用之有機溶劑亦有所不同，其中最主要亦是最大量之 VOCs 為甲苯，在未處理前總碳氫化合物濃度可高達數千 ppm，而排氣量則因各廠商規模之差異，其範圍從數十至數百 CMM（m^3/min）。依各廠商產品配方之不同，所使用之有機溶劑亦有所不同，其中最主要亦是最大量之 VOCs 為甲苯及乙酸乙酯，在未處理前總碳氫化合物濃度可高達數千 ppm，而排氣量則因各廠商規模之差異，其範圍從數十至數百 CMM（m^3/min），如表 2.2.4-2 所示。

表 2.2.4-2 不同規模的膠帶業排放量與濃度特性

廠次	產品	規 模 (平方公尺/年)	VOCs 排氣成份	排氣流量 (NCMM)	VOCs 濃度 (mg/Nm^3@THC)
A	OPP 膠帶	2,650	乙酸乙酯	303	500~1200
B	OPP 膠帶	5,400	乙酸乙酯	563	1000~2500
C	OPP 膠帶	1,820	甲苯	220	630~1500
D	OPP 膠帶	6,050	甲苯	650	1510~3200

2.2.5 半導體製造業

1.製程介紹

半導體製程是由原料晶圓片，經由不斷的重覆光學顯影（黃光製程）、蝕刻、薄膜沉積等步驟，最後經由封裝製造而成。原料晶圓片是將二氧化矽，經由電弧爐冶煉、多晶矽融解、單晶矽晶棒拉出、研磨、拋光、切片而製成。黃光製程是利用光學顯影之方式，把光罩上的圖形經過曝光和顯影的程序，轉換到光阻劑下面的薄膜層或矽晶上。蝕刻便是用化學方式（強酸、電漿或強氧化劑）將晶圓上的某一部份物質去除，保留下有作用的線路。在氣態狀況下採用的蝕刻化學通常呈現電漿狀況，稱為乾式電漿蝕刻。化學氣相沉積是以氣相沉積技術在晶圓表面沈澱出絕緣膜、氮化矽、氧化矽及其它非磊晶薄膜。

在此製程中，氣體化學物質，經由熱、氧化物及電場能量在晶圓的表面形成薄膜。離子植入製程中一般應用的離子束是由元素混合物和某一元素所產生，利用離子束可以非常精確的控制半導體晶片中的電流，使得晶片在所需要的區域內元件，可以精確集中地沈積。物理氣相沉積如同化學氣相沉積過程，利用物理氣相沉積技術在高真空中的純物質（矽晶）表面上，噴出鋁或其它金屬，以沈積成薄膜，讓微粒相互結合獲得純金屬。

化學機械式研磨法是把晶片表面起伏的介電層加以平坦化的一項技術。封裝是製程的最後一道手續，包含切割和打線的過程，屬於 IC 製程中用電量較少的作業。切割是晶圓經過所有的製程處理及測試後，切割成壹顆顆的 IC，然後經由焊線、封膠、電鍍等製程。圖 2.2.5-1 為半導體晶圓製造之流程與廢氣產生源示意圖，半導體晶圓被研製成晶片的過程中，依產品功能要求，需多次反覆進行擴散、植入、薄膜沉積（化學或物理氣相沉積）、黃光顯影及濕式蝕刻等步驟。

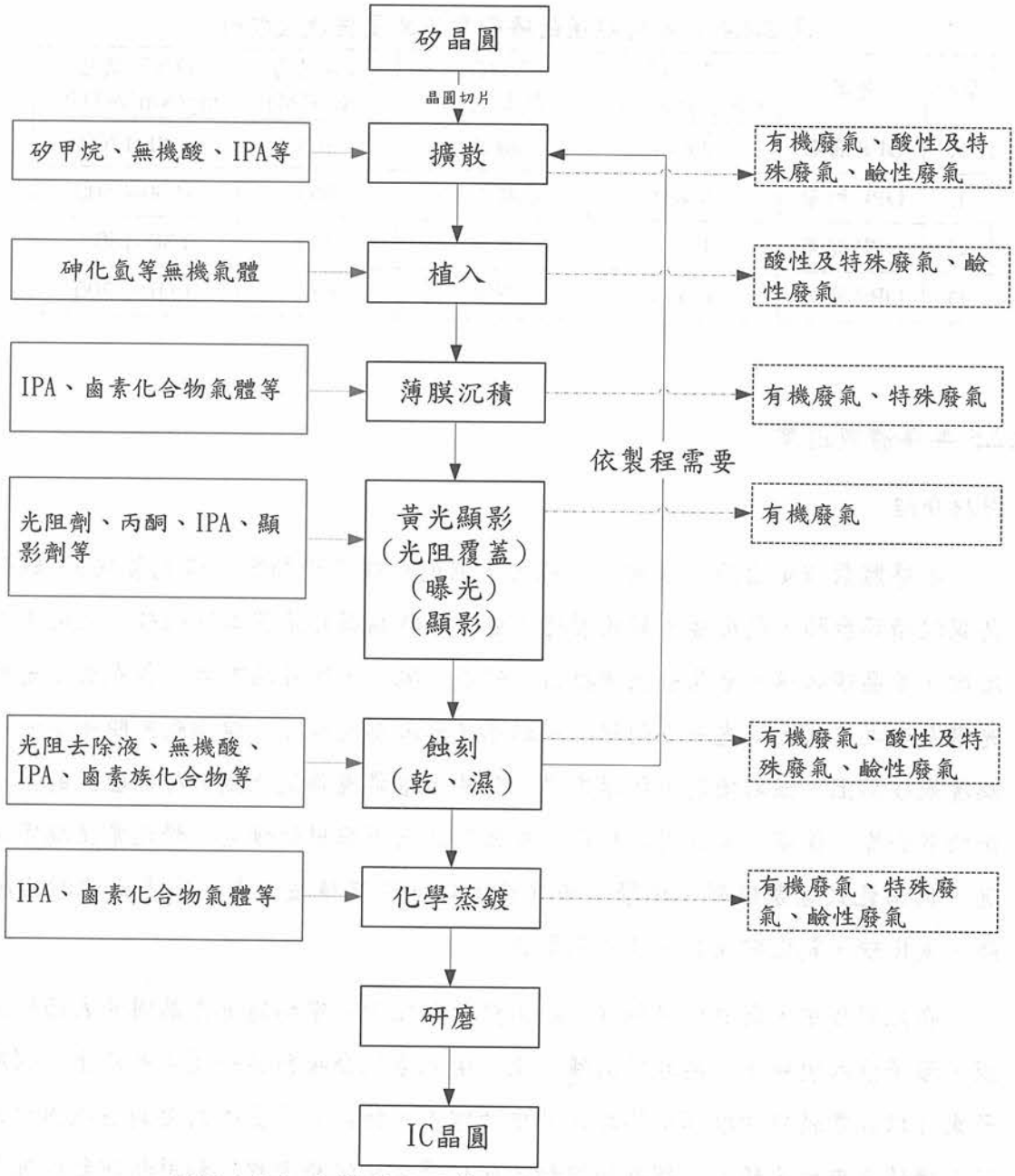


圖 2.2.5-1 半導體晶圓製造流程與廢氣產生源示意圖

圖中的虛線框為產生空氣污染類型之說明，除矽晶圓在進入擴散區前的切片程序外，大部份製程都會產生空氣污染物，如濕式蝕刻製程中需使用高濃度酸液進行蝕刻，化學氣相沉積製程則需使用高揮發性碳氫化合物進行氣相沉積，此外如磊晶沉積、電漿蝕刻(plasma etching)和離子植入等積體電路製程技術，也必須使用具高毒性、致癌性和燃燒性的氣體。排放之污染物包括有機廢氣、無機酸氣及毒性或爆炸性氣體，故此類製程所產生的高濃度酸氣及碳氫化合物氣體在處理上須特別謹慎。

圖 2.2.5-2 為半導體晶圓製造後段封裝製程以及廢氣產生源示意圖，其製程包含切割、上片、焊線、封膠、上印、電鍍、IC 分割以及最後的測試品管過程，除上印區需用丙酮清洗以及調製印墨外，並無其他揮發性有機物的使用，相對於晶圓製造，IC 封裝製程的有機廢氣排放程度則較為輕微。

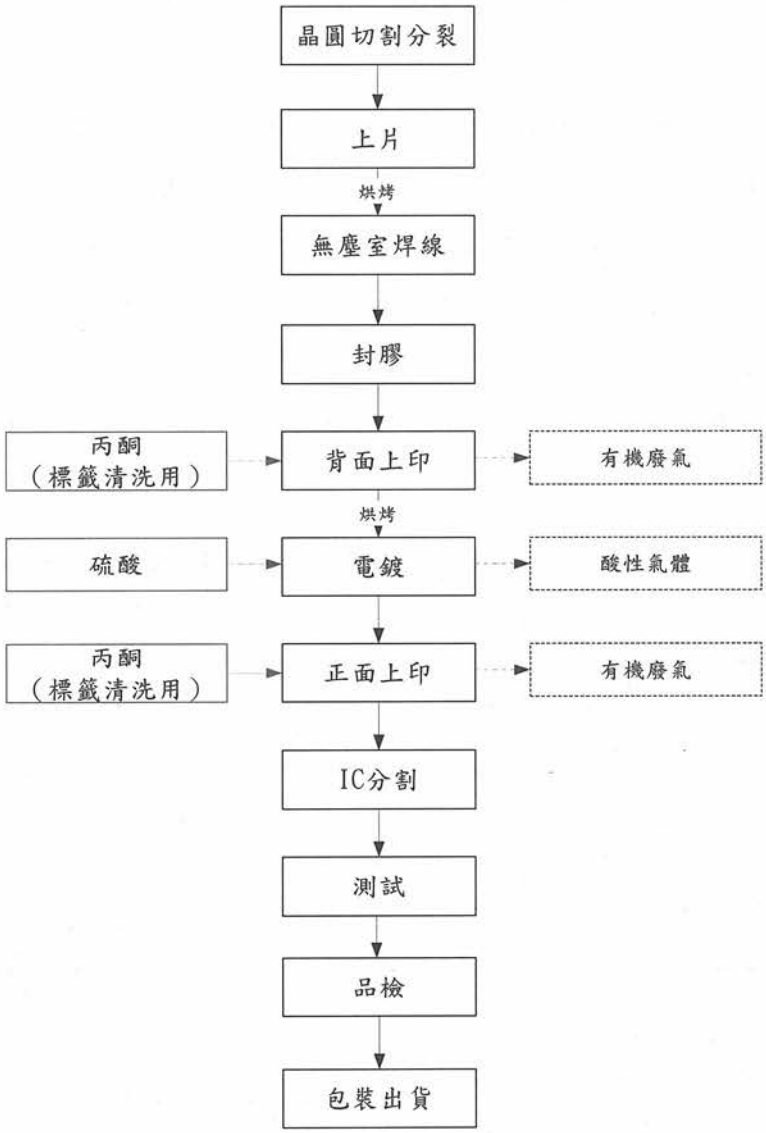


圖 2.2.5-2 半導體晶圓封裝製造流程與廢氣產生源示意圖

2.廢氣特性

國內半導體製造業揮發性有機物主要包括苯、甲苯、甲醇、異丙醇、丙酮、二氯乙烯、三氯乙烯等化學物質，且自「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」實施後，大部分業者已加裝防制設備並有效處理揮發性有機物，致每年排放量從 3,000 公噸下降至 600 公噸，佔使用量 5.2%。

半導體製造業在每一製程都需使用大量之無機酸、無機氣體或有機溶劑，因此每一製程皆會排放廢氣。原料晶圓片生產製程主要之空氣污染物為酸性氣體，黃光製程使用大量有機溶劑，因此空氣污染物為 VOCs，蝕刻製程之主要空氣污染物為酸、鹼。薄膜沉積製程（化學氣相沉積、物理氣相沉積、離子植入）使用大量無機毒性氣體，主要空氣污染物為酸、鹼和該無機毒性氣體。而封裝製程之主要空氣污染物為 VOCs 和酸氣。

根據新竹科學園區歷年工廠採樣檢測結果顯示，各工廠所排放之主要污染物，大多以異丙醇及丙酮為主。兩者對於排放總量的貢獻程度大約在 50~80%左右。另外，依各工廠製程及污染防制設備之差異，而產生不同的污染物，如 2-丁酮、甲苯、二甲苯、乙酸丁酯、Propylene glycol monomethylethyl acetate (PGMEA) 及三氯乙烷等之主要污染排放物。半導體製造業所使用之有機溶劑以及可能排放之主要 VOCs 如表 2.2.5-1 所示。廢氣排放總碳氫化合物（THC）濃度約在 200 ppm 以下，亦屬於大風量低濃度之廢氣特性。

表 2.2.5-1 半導體製造業使用有機溶劑之相關特性

溶劑品名	化學式	物理狀態	沸點 (℃)	密度 (g/mL)	作業環境容許濃度	AALG (g/m^3)	備註
苯	C_6H_6	Liq	80	0.877	5 ppm	0.096	F、T、C、H
甲苯	$C_6H_5CH_3$	Liq	110.7	0.866	100 ppm	1420	F、T
二甲苯	$C_6H_4(CH_3)_2$	Liq	160	0.86	100 ppm	5900	F、T
Ethyl lactate	$C_2H_4OHCO_2C_2H_5$	Liq	154	1.03	-	-	F
甲醇	CH_3OH	Liq	64.5	0.792	200 ppm	3010	F、T
異丙醇	$(CH_3)_2CHOH$	Liq	82.4	0.786	400 ppm	19600	F、T、C
PGMEA	$C_6H_{12}O_3$	Liq	146	0.97	200 ppm	3300*	F、T
2-EEA	$C_6H_{12}O_3$	Liq	156	0.97	5 ppm	90*	F、T
乙酸丁酯	$CH_3CO_2C_4H_9$	Liq	126	0.883	150 ppm	2400*	F、T
二氯乙烯	CHClCHCl	Liq	118	1.265	200 ppm	2600	F、T
三氯乙烯	CCl_2CHCl	Liq	86.7	1.465	50 ppm	0.38	F、T、C、H
HMDS	$C_6H_{19}NSi_2$	Liq	126	0.78	--	--	F
MEA	C_2H_7NO	Liq	170	1.02	--	--	
DMSO	C_2H_6OS	Liq	189	1.10	--	--	
PGME	$C_4H_{10}O_2$	Liq	118	0.92	--	--	F
二氯甲烷	CHClCHCl	Liq	39.8	1.326	50 ppm	0.12	F、T、C、H

F：可燃性；T：毒性; C:疑似致癌物; H:列管毒性化學物質

*作業環境容許濃度三百分之一;

AALG：ambient air level goal

AALG 值來源：Calabrese, E. J.; and Kenyon, E. M. *Air toxics and risk assessment*; Lewis Publishers, Inc.: MA, USA; 1991.

2.2.6 光電業

1.製程介紹

依據環保署「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案(修訂版)」對光電製造業之定義，光電製造業乃指從事液晶顯示器製造(Liquid Crystal Display ，LCD)、發光二極體(Light Emitting Diode，LED)之製造及封裝業者，前者包含液晶顯示器面板製造、彩色濾光片製造、液晶顯示器組裝、光罩製造等工廠，後者依產業鏈特性關係，可區分為上游(晶圓製作、磊晶成長)、中游(擴散製程、金屬蒸鍍、晶粒製作)、下游(產品封裝、看板組裝)等工廠。光電製造業主要產品有 STN/TN-LCD、TFT-LCD 與 LED 等，其製造流程與廢氣產生源略有差異，分述如下。

(1)STN/TN - LCD

本產品製造程序為將洗淨之玻璃基板，先以薄膜處理(另稱沉積)、光阻塗佈、曝光、顯影、蝕刻、光阻剝離與洗淨等步驟，製成基板中間產品，再將基板中間產品切成適當大小填入液晶與貼上偏光片，經組裝測試合格後即得 STN/TN-LCD 成品。STN/TN-LCD 各製程所產生之廢氣有：(1)薄膜(沉積)製程之無機毒性廢氣排放(SiH_4、PH_3、NF_3...等)，(2)光阻塗佈之 VOCs 廢氣排放(有機溶劑、光阻劑)，(3)顯影製程之鹼氣(如 KOH)排放，(4)蝕刻製程之酸氣(鹽酸、硝酸)排放，(5)基板清洗之 VOCs 排放(有機溶劑)。圖 2.2.6-1 為 STN/TN-LCD 製造流程與廢氣產生源示意圖。

(2) TFT – LCD

TFT-LCD 製程與 STN/TN-LCD 類似，但程序較為繁複，最大的不同在製造過程玻璃基板需經多次「清洗→薄膜→光阻塗佈→曝光→顯影→蝕刻→光阻剝離→洗淨」步驟(與半導體製程中沉積→光罩→曝光→顯影→蝕刻須多次重複極為相似)，始完成陣列基板製造，所得之陣列基板再與彩色濾光片結合，進行後段面板組裝、裝填液晶、測試等步驟後，方完成 TFT-LCD 成品。TFT-LCD 各製程中所產生之廢氣源與 STN/TN-LCD 類似，但排放量較大，圖 2.2.6-2 為 TFT-LCD 製造程序及廢氣產生源示意圖。

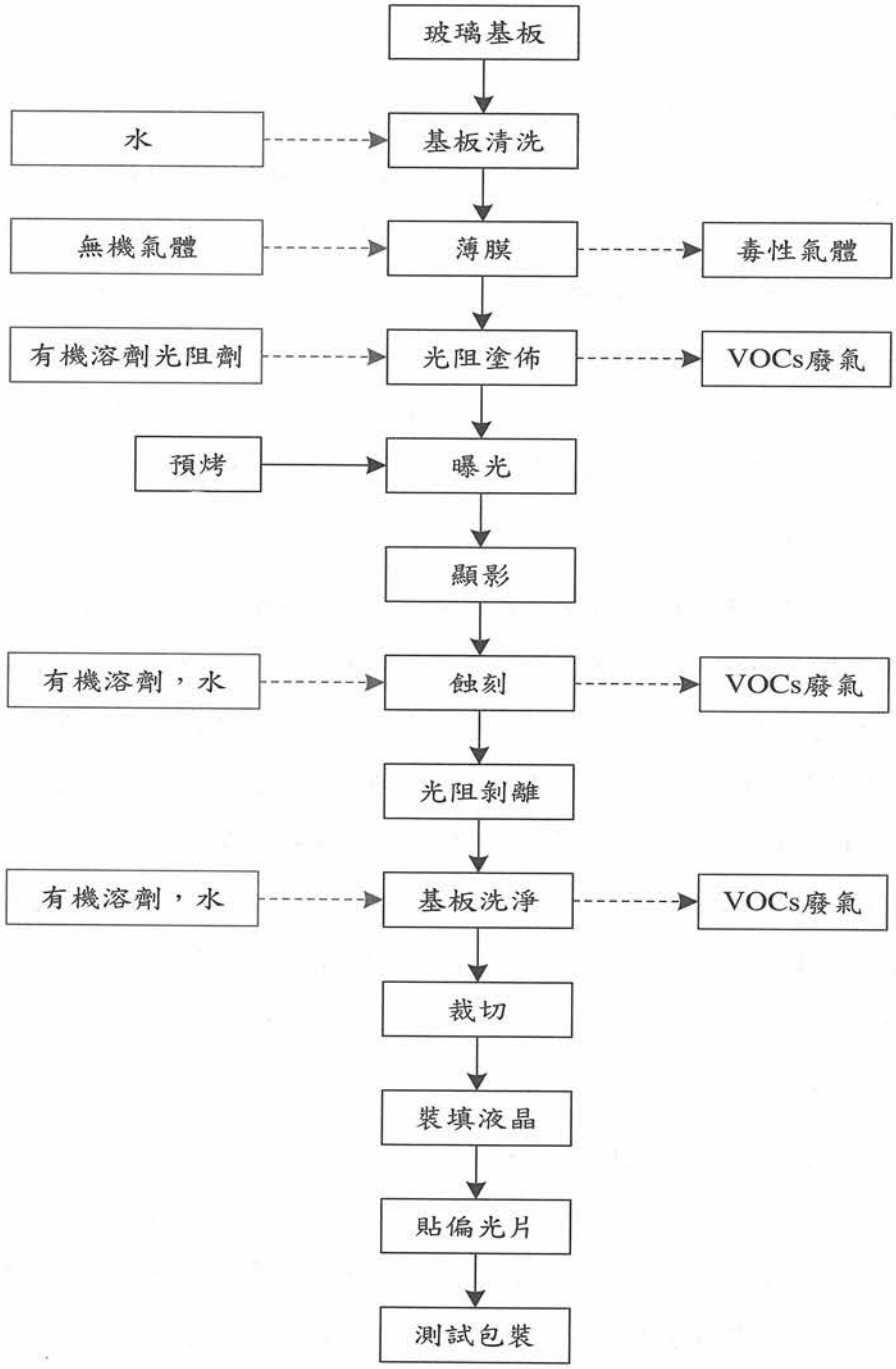


圖 2.2.6-1　TN/STN-LCD 液晶顯示器製程及廢氣產生源示意圖

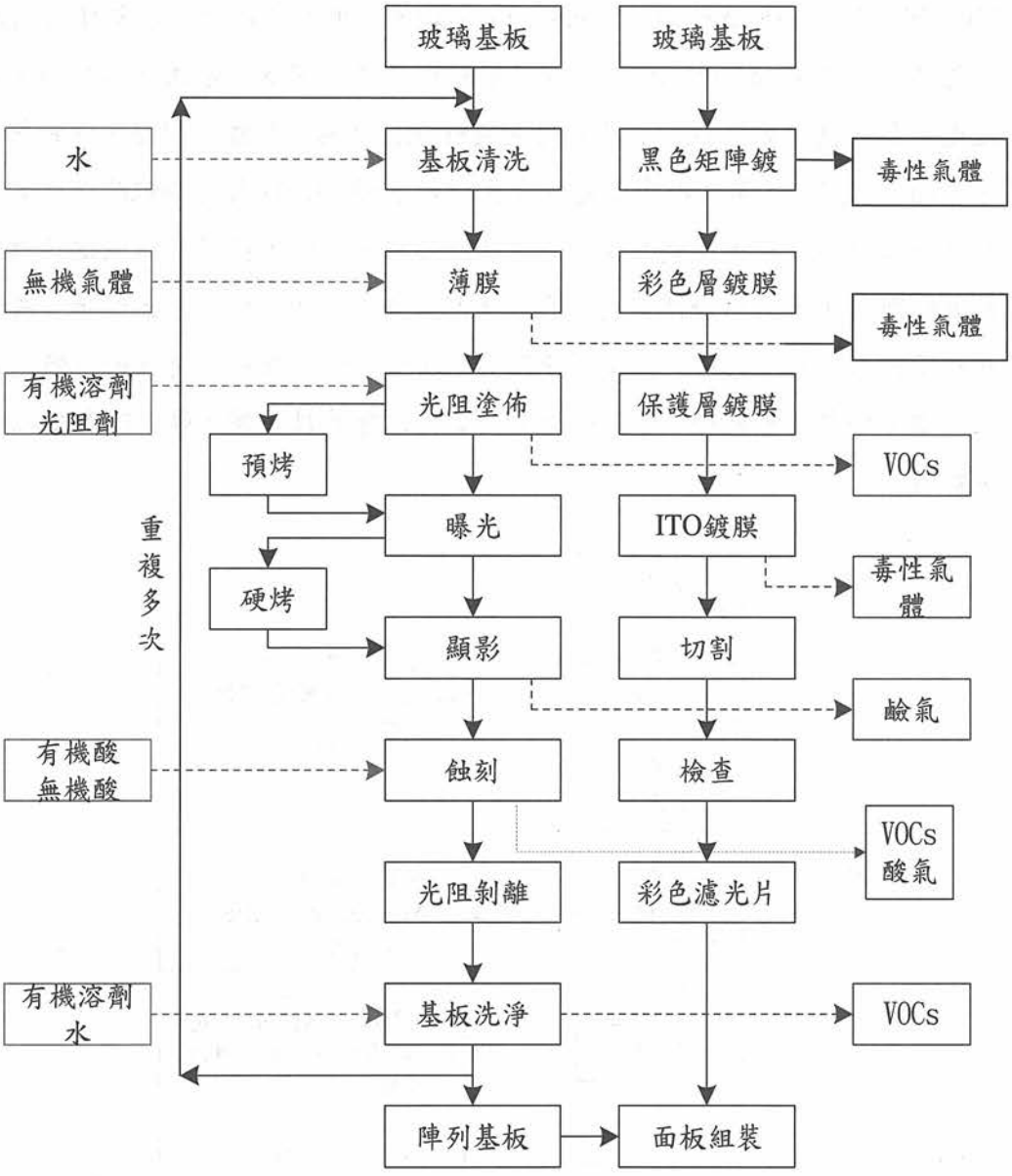


圖 2.2.6-2 TFT-LCD 製造程序及廢氣產生源示意圖

(3)LED

本產品依產業鏈特性關係，可區分為上游(晶圓製作、磊晶成長)、中游(擴散製程、金屬蒸鍍、晶粒製作)、下游(產品封裝、看板組裝)，與半導體製造業製造程序(晶圓生產、晶圓製造、IC 封裝與測試)類似。上游的生產流程順序為：原料(Ga、As、P 等)→單晶棒(GaAs、GaP 等材料)→單晶片(single crystal wafer)→在單晶片上成長多層的磊晶→磊晶片，此階段成品包括單晶片及磊晶片，常用的磊晶技術包括液相磊晶 LPE(Liquid phase epitaxy)，氣相磊晶 VPE(Vapor phase epitaxy)，分子束磊晶 MBE (Molecular beam epitaxy)與有機金屬化學氣相磊晶

MOVPE(Metal-Organic vapor phase epitaxy)等。中游晶粒的製程包括磊晶片擴散→製作金屬電極(metallization)→金屬蒸鍍→光罩蝕刻→熱處理→晶粒切割，此階段成品為各種發光晶粒。下游的封裝製程包括切割、焊線、封膠、電鍍等製程，圖 2.2.6-3 為 LED 製造程序及廢氣產生源示意圖。LED 製造過程除了切片以外，大部份製程均會產生空氣污染物，如蝕刻製程中需使用高濃度酸液進行蝕刻，擴散製程則需使用高揮發性碳氫化合物進行氣相沉積，此外如磊晶沉積、電漿蝕刻和離子植入等製程技術，也必須使用具高毒性、致癌性和燃燒性的氣體。因此排放之污染物包括有機廢氣、無機酸氣及毒性或爆炸性氣體，與以矽為主之半導體業類似。

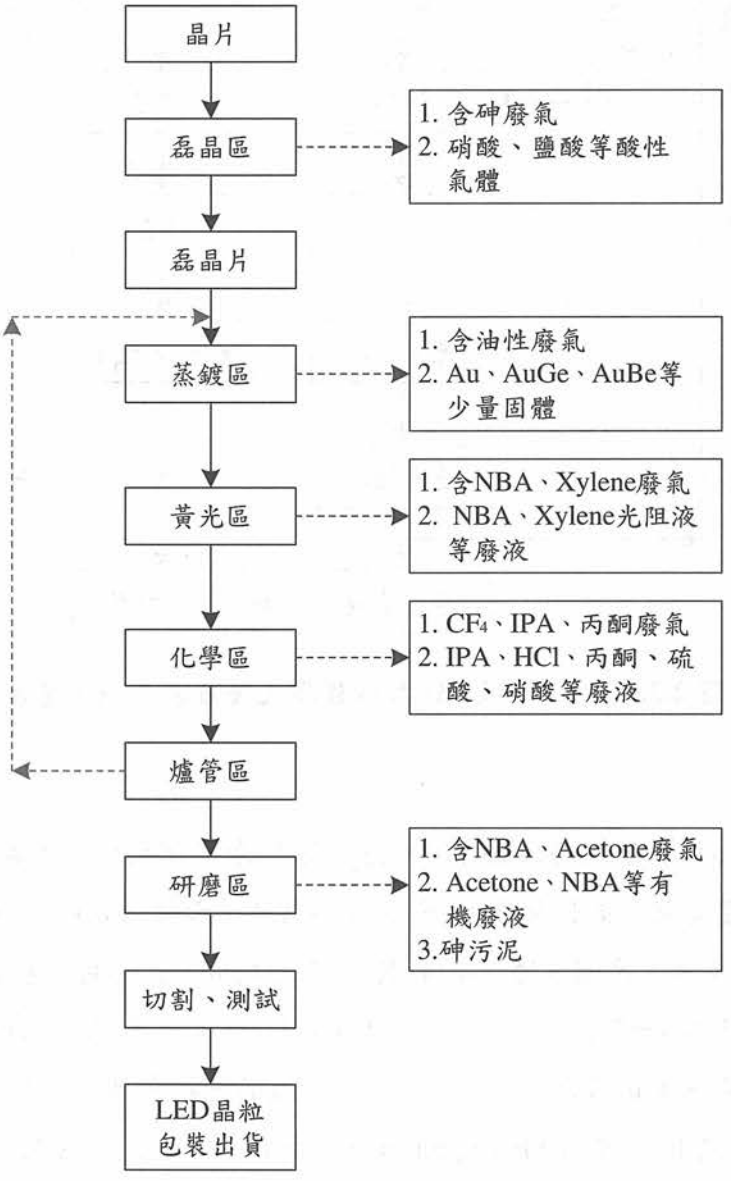


圖 2.2.6-3 LED 製造程序及廢氣產生源示意圖

3.廢氣特性

光電業之 LED 和 LCD 製造業與半導體製造業製造程序類似，因此排放之污染物包括有機廢氣、無機酸氣及毒性或爆炸性氣體，與矽為主之半導體業相似，其主要之空氣污染物為 VOCs 和無機酸氣。製程中之 VOCs 廢氣主要產生源有：顯影製程與基板清洗製程：顯影製程與基板清洗使用有機溶劑（如異丙醇，丙酮...等），且顯影製程使用之光阻劑及去光阻劑亦含有機溶劑，除了產生有機廢液，亦排放有機廢氣。

這些空氣污染物種類繁多，且對人體健康及空氣品質皆有害。為了解光電業排放廢氣對環境之影響，將該行業所使用以及可能排放之主要化學物質如表 2.2.6-1，其中去光阻劑之主成分 DMSO（dimethyl sulfuroxide）、MEA（methyl ethyl amide）和 NMP 是屬於硫類和銨類之有機物，其沸點高、在高溫下較不穩定之有機溶劑，且這些物質具有惡臭。依據環保署 90 年度「電子產業及特定行業空氣污染改善輔導示範推廣及管制標準研訂專案工作計畫」期末報告指出，國內較具規模之光電廠商，大部份都集中於科學園區及加工區。根據其調查結果，光電製造業之有機溶劑(含光阻劑和其他有機物)在處理前之總使用量約為 23,000 噸/年；其中以 TFT-LCD 業之有機溶劑用量最大，大約佔總用量之 85%以上(表 2.2.6-2)。

表 2.2.6-1 光電製造業使用有機溶劑之相關特性

溶劑品名	化學式	物理狀態	密度 g/mL	沸點 (℃)	作業環境容許濃度 (ppm)	AALG[3] (g/m^3)	備註
異丙醇	$(CH_3)_2CHOH$	液	0.786	82.4	400	19,600	F、T
丙酮	$(CH_3)_2CO$	液	0.791	56.2	750	—	—
PGMEA	$C_6H_{12}O_3$	液	0.957	146	200	3,300*	F、T
PGME	$C_4H_{10}O_2$	液	0.915	120	100	1,500*	F、T
HMDS	$C_6H_{19}NSi_2$	液	0.772	399.2	—	—	—
環己酮	$C_6H_{10}O$	液	0.95	157	25		F
甲醇	CH_3OH	液	0.792	64.5	200	3,010	F、T
乙酸丁酯	$CH_3CO_2C_4H_9$	液	0.883	126	150	2,400*	F、T
DMSO	$(CH_3)_2SO$	液	1.095	189	—	—	—
MEA	$CH_3(CH_2)_2NH_2$	液	1.018	172	3	25*	F、T
BDG	$C_8H_{18}O_3$	液	0.904	231	—	—	F、T

資料來源：華茂科技

AALG: ambient air level goal; F：可燃性；T：毒性; C:疑似致癌物; H:列管毒性化學物質

AALG 值來源：Calabrese，E. J.; and Kenyon，E. M. *Air toxics and risk assessment*; Lewis Publishers，Inc.: MA，USA; 1991.

表 2.2.6-2 國內光電製造廠有機溶劑使用之種類及年用量

行業	廠商家數	有機溶劑類(噸/年)	光阻劑、去光阻劑、顯影劑(噸/年)	無機酸類(噸/年)
TFT-LCD	13	4,124	16,500	11,560
其他 LCD 產業	9	424	1,597	444
LED	17	496	62	1,408
估計處理前排放量	1,100(噸/年)			260(噸/年)

資料來源：環保署 90 年度「電子產業及特定行業空氣污染改善輔導示範推廣及管制標準研訂專案工作計畫」，EPA-90-FA12-03-A024。

由有機溶劑使用之種類及年用量和空氣污染物排放量進行統計，LCD 和 LED 有機廢氣為低濃度大風量排放，其濃度約在 500ppm 以下，風量可達 500CMM 以上，甚至到 1,500CMM。光電製造業所排放之 VOCs 廢氣特性為中高風量、低濃度，與半導體產業類似。其中需使用高沸點光阻劑、去光阻劑與顯影劑之 TFT-LCD、STN/TN-LCD 與 LED 工廠，VOCs 污染物又可區分為高沸點與低沸點兩類，因此部分光電工廠為避免高沸點與低沸點 VOCs 污染物共同處理不易(若採用沸石轉輪濃縮焚化處理 VOCs 廢氣，高沸點 VOCs 污染物易造成轉輪吸附表面堵塞，不易脫附，影響處理效率及設備壽命)。

另外，各種光電產品製造工廠 VOCs 廢氣中，丙酮均為最主要 VOCs 污染物，其他如乙醇、異丙醇、甲苯等 VOCs 污染物，雖也為主要 VOCs 污染物，但於不同光電產品製造工廠 VOCs 廢氣中，其所佔比例略有差異。另在沸石轉輪濃縮焚化處理效率不佳之光電製造工廠，可於 VOCs 廢氣中發現較高濃度的高沸點 VOCs 污染物(三甲基矽醇、丙二醇單甲基醚、丙二醇單甲基醚酯)存在，此與一般半導體廠初期使用沸石轉輪濃縮焚化處理 VOCs 廢氣時，因高沸點 VOCs 污染物堵塞沸石轉輪，造成 VOCs 廢氣處理效率不佳狀況類似。業者可將廠內 VOCs 廢氣分流收集，以提昇此設備之 VOCs 廢氣處理效率至符合排放標準之要求。

第三章　VOCs 管制策略與法規發展趨勢

3.1 固定源 VOCs 管制策略及方向

環保署依據「環境基本法」及「國家環境保護計畫」，並參考「國家永續發展行動計畫」，擬定「環境保護施政三年行動計畫」，做為今後環保施政之行動依據。環保署於國家未來三年施政行動計畫中將 VOCs 減量管理工作列為「環境有毒污染物質減量計畫」中之重點工作，以加強 VOCs 排放管制，改善臭氧污染情形。環保署針對固定源 VOCs 規劃管制策略及推動減量措施，同時在 VOCs 減量措施推動過程中，一併規劃有機性有害空氣污染物管制策略架構。由於國內近年來臭氧已逐漸取代懸浮微粒成為導致空氣品質不良之主要原因，因此改善臭氧濃度以維護空氣品質乃當務之急。

臭氧係由氮氧化物(NOx)、揮發性有機氣體(VOCs)經光化學反應所衍生之二次污染物，且依環保署相關研究報告指出，高屏地區 VOCs 減量造成臭氧濃度降低之效益比 NOx 要高，而國內對於 NOx 已能有效控制，而且有空污費之收費制度。依國家環境保護計畫所定之空氣品質改善目標，空氣品質不良日數比例需分別於 90 年降至 3%、95 年降至 2%及 100 年降至 1.5%，且由環保署統計 VOCs 之排放清單顯示，固定源(含逸散面源)總年排放量約佔 79%，移動源約佔 21%，因此，推動固定源 VOCS 之管制成為環保署改善臭氧問題之重點工作。且揮發性有機物中，個別物種亦多具毒性，往往會對生物體造成嚴重之危害，亦對民眾健康有潛在之威脅，這些二次污染物因具有較高之反應性，所帶來的影響將會更甚於一次污染物，因此藉由 VOCs 管制策略的推動及有效控制 VOCs 污染物成長與排放減量成為環保單位之重點工作。

近年來，應用經濟誘因策略解決環境污染問題已成為世界各國逐漸採取之環境政策，經常採行之經濟誘因策略包括收費制度、補貼、排放權交易及污染防制保證金等。國內針對 VOCs 目前僅推動減量獎勵辦法。民國 84 年 7 月 1 日起環保署採行徵收空污費之經濟誘因制度，在第一階段隨燃料油徵收，而第二階段自民國 87 年 7 月 1 日起便針對固定污染源之污染物（SO_X、NO_X）排放量多寡，做為進行徵收空污費之依據，未來 VOCs 也有意朝向徵收空污費的政策方向推動，誘使業者進一步改善而降低排放。

環保署推動降低 VOCs 之管制措施包括(1)污染源清查、(2)法規研訂、(3)減量輔導協談、(4)獎勵、補助、減產停工及其他等。而未來規劃之推動期程及管制重點如圖

3.1-1 及表 3.1-1，主要可分為三階段，內容分別說明如下。

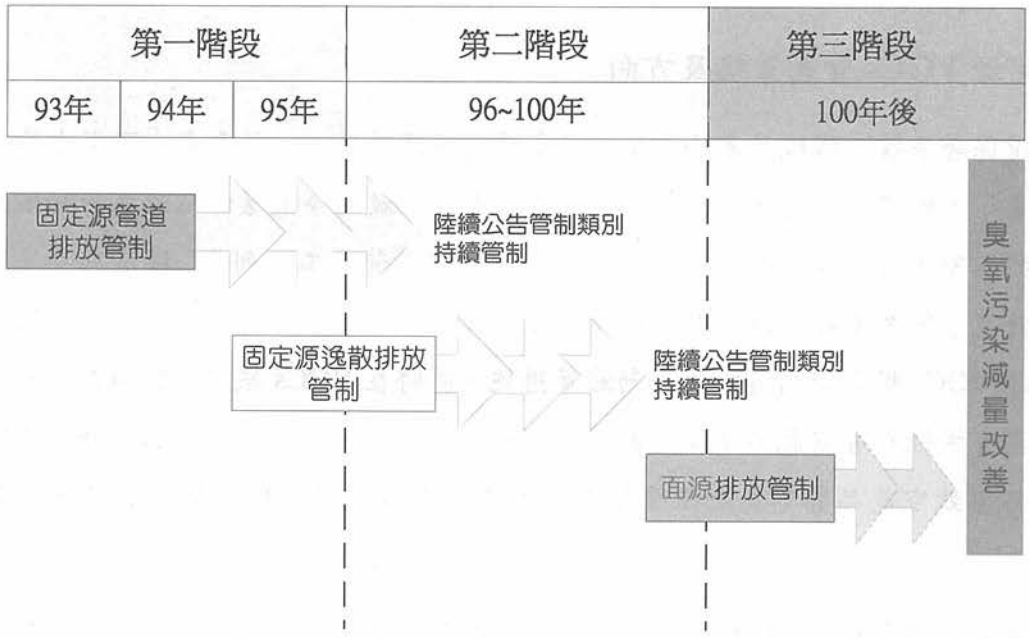


圖 3.1-1 環保署固定源 VOCs 管制推動期程

資料來源：環保署空保處，固定污染源空氣污染法令管制趨勢及行業別法規研訂現況簡報資料，2004 年。

表 3.1-1 環保署規劃各階段 VOCs 管制標的與重點

階段	第一階段 (95 年前)	第二階段 (96~100 年)	第三階段 (100 年後)
管制對象	以管道排放為主	管道+逸散排放	◆持續管制管道/逸散排放 ◆納入面源管制
管制標的	以 NMHC 優先 (光化反應物種納入評估)		個別 VOCs 物種
管制基準	◆採技術基準（technology based）管制架構 ◆以 BACT 精神為管制基準 ◆苯、甲苯、二甲苯等物種之排放管制納入評估		◆納入個別 VOCs 特性，對物種類別進行管制 －光化反應(最大增量反應性 MIR) －有害物質 ◆擴大管制污染源類型，納入面源管制例產品規範 ◆推動有害空氣污染物最大可達成控制技術(MACT)管制

資料來源：環保署空保處，固定污染源空氣污染法令管制趨勢及行業別法規研訂現況簡報資料，2004 年。

環保署於第一階段(95 年前)管制規劃將以 VOCs 排放減量為重點，以非甲烷碳氫化合物(NMHC)為標的污染物，以達成總 VOCs 排放減量為管制策略發展主軸，管制基準為採技術基準管制架構，並以 BACT 精神為管制基準，以及將苯、甲苯、二甲苯等物種之排放管制納入評估。然由於不同 VOCs 成份之臭氧生成潛勢不同，為達成臭氧改善目標，需考量不同物種對臭氧生成效應，因而將標的污染物導向個別 VOCs 物種，以進一步獲得更佳臭氧污染改善成效。

第二階段規劃重點(96~100 年)除了持續第一階段的管制標的及基準外，針對管制對象的範圍，也由管道排放污染源擴及逸散性排放源，依並將其納入管理，以防止逸散性污染源成為 VOCs 防制的漏洞。

第三階段除了持續管制管道排放及逸散排放源外，也將面源管制納為管制重點，管制標的為個別 VOCs 物種，管制基準將以納入個別 VOCs 特性，對物種類別進行管制、擴大管制污染源類型，納入面源管制例產品規範以及推動有害空氣污染物最大可達成控制技術(MACT)管制等。由於本階段管制策略乃規劃於民國一百年後推動，涉及個別物種特性，管制策略需配合建置體系，除達成污染減量外，尚需考量不同行業排放不同物種之效應影響，較為複雜。

國內現行之 VOCs 管制是以行政管制之架構為主，分為既存固定源、新設固定源、逸散源及產品有機成分之管制等既有及預定公告之相關措施等(表 3.1-2)。未來趨勢則將規劃提高相關之經濟誘因措施(目前現行減量獎勵額度為 20 元/公斤)，且若採源頭改善則將再增加獎勵額度；另一措施則是將規劃針對主要揮發性有機化合物排放源研擬空污費徵收作業，以促使污染源自動改善污染，減少揮發性有機化合物之排放量。

表 3.1-2 國內揮發性有機化合物管制架構及趨勢

揮發性有機化合物管制策略			
行政管制		經濟誘因	
既存污染源	石化業、PU 合成皮、汽車製造、半導體業、乾洗業、膠帶業及光電業	減量獎勵	『目前現行減量獎勵額度為 20 元/公斤』
新設固定源	加油站、行業最佳可行控制技術		
逸散性源	建物外牆塗裝管制	收費制度	『針對主要揮發性有機化合物排放源研擬空污費徵收作業，促使其自動改善減少排放』
產品有機成分管制	『含有機成分消費品管制』		

『 』：研擬中措施

國內對空氣污染管制從以往的行為及濃度管制，進一步採積極性之收費及總量管制，朝向行政管制與經濟誘因並存之制度。國內目前在固定源 VOCs 管制上，只有 5 項行業別排放標準規範，因此環保署也陸續對原有 5 個既有行業別，以及 8 個尚未規範之行業製程進 VOC 排放標準之研訂；除了個別行業別法規外，目前尚無針對 VOCs 訂定一般性排放標準，因此環保署也規劃訂定一般性之 VOCs 排放標準，以將大多數 VOC 污染源廣泛納入規範。由於在有害空氣污染物中，VOCs 佔了大多數，對民眾健康具嚴重潛在威脅，環保署希望藉由對 VOCs 之管制，可逐步推動建制有害空氣污染物(HAP)之管制。

1.國內現行管制方式

我國針對一般工廠之 VOCs 排放管制，主要於「固定污染源空氣污染物排放標準」中規範，現行一般性固定污染源 VOCs 排放標準只針對少數幾個化合物(甲醛、苯、甲苯、二甲苯)有訂定排放標準，其餘皆納入〝其他空氣污染物〞進行規範，周界標準則是參考勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準請參考表 3.1-3，而各污染物於排放管道排放標準之計算公式請參考表 3.1-4 所示，由於係針對一般工廠進行管制，故相較之下，濃度標準略嫌寬鬆。此外，於「空氣污染防制法」第 31 條第 4 項，亦針對使用、輸送或貯放有機溶劑或其他揮發性物質，致產生惡臭或有毒氣體之空氣污染行為加以管制。

表 3.1-3 我國一般性 VOCs 污染排放管制標準

空氣污染物	排放標準		換算常數		備註
	排放管道	周界	a_1	a_2	
甲醛	依第七條所列方法計算	0.2ppm	0.31	1.5×10^{-4}	$\frac{C1}{S1}+\frac{C2}{S2}+\frac{C3}{S3}\le 1$ C1、C2、C3 為苯、甲苯、二甲苯之實測濃度。 S1、S2、S3 為苯、甲苯、二甲苯之周界濃度。
苯	依第七條所列方法計算	0.5ppm	2.03	9.9×10^{-4}	
甲苯	依第七條所列方法計算	2ppm	9.58	4.66×10^{-3}	
二甲苯	依第七條所列方法計算	2ppm	10.0	5.36×10^{-3}	
其他空氣污染物	依第七條所列方法計算	A/50	$8.5\times10^{-3}\times A$	$1.1\times10^{-5}\times A$	A：勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，單位為 mg/m^3。

1.資料來源：行政院環保署，「固定污染源空氣污染物排放標準」附表。
2.A 表勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準

表 3.1-4 排放管道排放標準之計算公式

煙道類型	排放管道高度	至周界距離	容許排放量
低排放管道	h≦6 m	—	$q=a_2\times b^{2}$ 註 1
較高排放管道	h>6 m	b≧5×（h-6）	$q=a_2\times b'^{2}$ 註 2
		b＜5×（h-6）	$q=a_2\times b''^{2}$ 註 3
		b＜5×（h-6）	$q=a_2\times 25\times (h-6)^{2}$

註 1：b 為污染源之排放管道口至該污染源周界之最短水平距離（單位：m）。

註 2：b 為污染源之排放管道口至該污染源周界線上垂直高度 6m（公尺）處之最短距離（單位：m）。

註 3:b"以污染源之排放管道口中心為頂點向下十二度俯角所形成之圓錐與他人建築物(無人留守之倉庫除外)相交時，自該排放管道口中心至該建築物之最短距離(單位：m)。

由於 VOCs 成分較為複雜，因此廢氣之排放特性不易掌握，環保署對 VOCs 之管理，除對一些污染排放量較大之污染源有特定之管制規範外，主要是以總碳氫化合物(THC)為管制依據。以產業界相關 VOCs 法規而言，從最早(83 年)針對汽車製造業表面塗裝作業訂定排放標準、86 年對石化製程排放管道、燃燒塔、設備元件、揮發性有機液體儲槽及裝載設施訂定排放標準，再於 86 年針對 PU 合成皮業、88 年對半導體製造業，其相關管制重點如表 3.1-5 所示。

表 3.1-5　國內現行產業界 VOCs 污染排放管制標準彙整

法規名稱	公告日期	管制內容重點
揮發性有機物空氣污染管制及排放標準	86.02.05	1.廢氣燃燒塔母火不可熄滅，且須設置具記錄功能之感知器。廢氣燃燒塔、製程排放管道、揮發性有機液體儲槽、揮發性有機液體裝載操作設施及設備元件等單元分別管制。 2.液體儲槽依實際蒸氣壓分別設定設備規範，或與製程廢氣、裝載操作送入鍋爐或加熱爐處理或加裝處理設備，並設置監測設備。 3.設定儲槽檢查與修護頻率。設定設備元件洩漏檢測與修護規定，並需定期申報。
汽車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準	83.12.07	1.表面塗裝相關作業之 VOCs 排放應符合 110g/m^2（整廠管制）。 2.乾燥室廢氣之 VOCs 應符合總破壞去除效率＞90%，及濃度＜60mg/Nm^3。 3.定期檢測及申報 VOCs 排放量。
聚氨基甲酸酯(PU)合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準	86.12.10	1.集氣設施之控制風速進行規範。 2.規定二甲基甲醯胺之收集總量(>80%)與回收（去除）效率>90%（濃度<20ppm） 3.既設廠：VOCs(不含二甲基甲醯胺)<190g/m^2(<120g/m^2@96.1.1) 4.新設廠：VOCs（不含二甲基甲醯胺）＜65g/m^2 5.需定期檢測及申報。
半導體製造業空氣污染管制及排放標準	88.01.06	1.依原物料年用量設管制下限。 2.污染物排放標準如下： ・VOCs 排放削減率>90%或工廠總排放量<0.6kg/hr ・三氯乙烯排放削減率>90%或工廠總排放量<0.02kg/hr 3.設定空氣污染物連續自動監測器之設備規範。 4.需定期檢測及申報。

1.資料來源：行政院環保署，固定污染源空氣污染相關管制彙編。

以目前固定污染源排放標準而言，VOCs 之排放標準較為寬鬆，部份業者不需進行污染防制設備之增修建，僅將煙囪高度做適度調整，即可符合法規排放標準。現有法令規定對 VOCs 排放減量無法落實管制；而獎勵措施對排放量小之多數中小型工廠而言不具實質誘因；以產業界而言，目前除石化業、PU 合成皮業、半導體業及汽車表面塗裝業有法規規範外，仍有許多污染源尚未有行業別之管制規定，未來環保署對 VOCs 之管制策略，除了分期推動不同行業別之 VOCs 排放管制標準，也會將其他未訂定行業別之其他污染源，納入一般性 VOCs 排放管制標準，希望將各類 VOCs 排放源全數納入管制。

目前規範之空氣污染物如硫氧化物、氮氧化物及粒狀物等，多經由燃燒製程或加熱設備產生，污染物經由集氣設備收集，再導引至防制設備處理後由煙囪排放，其管制多以煙道檢測為主要管制標的。但VOCs污染主要來自於製程或使用含VOCs之原物料所產生污染。因此凡使用含 VOCs 之儲存、運送、混合、攪拌、清洗、乾燥及其他製造程序，均會造成 VOCs 之排放。因此對 VOCs 除了現有對煙道之排放濃度管制外，亦包括所有可能排放 VOCs 之逸散源，這也是 VOCs 之管制與目前規範之空氣污染物不同的地方。

製程中逸散性污染源是一般製程中主要 VOCs 之排放來源，以目前的法令而言，作業場所危害管制屬勞工委員會管轄(廠內)。而環保署僅能針對工廠周界外污染物濃度標準進行規範(廠外)。因此針對 VOCs 於生產製程逸散情形，從規範對 VOCs 污染物之有效收集，將原先逸散至環境之污染物，收集到污染防制設備。由表 3.1-5 可知，目前法規中僅 PU 合成皮業規範對 VOCs 之收集效率須達 80%以上，而其他行業仍著重於排放管道之排放標準，未來在收集效率上應有更明確之規範，以提升製程中逸散源之集氣收集效率，此方式應該是環保署未來管制 VOCs 之重點。

3.2 行業別法規發展研訂趨勢

3.2.1 行業別法規研訂背景

國內目前所訂定之法規許多都參考美國 EPA 現行的管制標準，由於 VOCs 的排放並非如 SO_X、NO_X，大多只在煙道中形成處理後排放，且許多污染源包括原物料調配、製造過程、煙道或廢水等不同管道下逸散，所以通常需要廣泛從其收集效率、製程改善或原物料配方等方向來制訂 VOCs 適用之控制對策。

91 年環保署委辦「固定污染源揮發性有機空氣污染物管制策略規劃與減量措施推

動計畫」，更新排放量為[TEDS5.1 版]，TEDS 為台灣地區排放量資料庫(Taiwan Emission Data System)，故全國固定污染源之揮發性有機物排放情形目前應屬[TEDS5.1 版]最為明確。

[TEDS5.1 版]之清單資料包含結構可概分為固定及移動兩大類，若改依排放性質區分又可分為點源、面源(含逸散)及線源三種，分別說明如下：

1.固定點源：一般係指有獨立廠房周界之污染排放稱之，管制面則是以管制編號作為區隔，若要與固定逸散有所分別時，可再進一步定義為管道排放者。

2.固定逸散：同理，為獨立廠房周界之污染源，但因未有效收集，其污染排放逸散於廠房周界者。

3.面源：一般係指大面積之排放，例如：露天燃燒，而有部份小型污染源因其單獨個體排放量較小，故亦常用面源方式概估排放量，例如：乾洗業。

4.移動線源：有關移動源部份主要是交通機具引起之排放，故不納入固定源之檢討範疇。

一般固定源資料庫主要掌握固定點源及固定逸散兩部份之排放量，但因 VOCs 之排放常常被忽略計算，故固定源資料庫能掌握之逸散量比例有限，而為建立較符合現況之清單資料，部份固定逸散量低估部份則轉由面源推估時補強，但無法展現個體排放情形，整體排放之管道逸散情形如表 3.2.1-1 所示。其中以塑膠製造業佔居第一位，而塗裝相關製程(工業、建物)、印刷、石化、電子及膠帶業，也對整體 VOCs 排放量具相當大之貢獻。

國內目前在固定源 VOCs 管制上，僅有 5 個行業別排放標準規範(PU 合成皮、石化業、汽車表面塗裝、半導體、乾洗業)，在環保署基於排放量大及高科技業優先管制的原則下，彙整污染源排放量資料庫中，有關揮發性有機物排放量之推估結果，統計分析各項行業別之污染總量，自 92 年開始三階段針對原有 5 個既有行業別，以及其他尚未規範之行業製程點源、逸散源及面源陸續規劃進行 VOCs 排放標準之研訂(請參考表 3.2.1-2)，目前已規劃增訂之行業別包括光電業、膠帶業、建物外牆塗裝業、機車表面塗裝業、凸版印刷業、凹版印刷業、印刷電路板業、光碟片製造業等行業，揮發性有機化合物之減量勢必成為未來環保及產業界都需重視的課題。本技術手冊將針對選定之六個行業作法規研修之重點介紹，然而無論法規之推動期程或是草案內容均尚未正式公告，未來可能會隨環保署評估而更動，故僅供相關業者參考之用。

表 3.2.1-1 國內行業揮發性有機化合物排放量彙整表

行業		TEDS 點源排放			面源
		排放量	管道(%)	逸散(%)	
鋼鐵業		11,535	30	70	--
電子業	光電產業	1,940	95	5	--
	印刷電路板	3,970	50	50	47,282
	光碟片	1,923	60	40	--
	電子零組件	1,331	60	40	--
	二極體				
	電子管				
	電容器				
	電阻器				
	其他				
表面塗裝業	機車	800	30	70	--
	木竹製品	1,198	80	20	9,784
	紙類	2,890	85	15	7,156
	紡織品	1,012	90	10	3,075
	金屬製成品	10,664	80	20	12,669
	皮革	33	40	60	180
	其他	1500	50	50	4368
膠帶業		31,168	65	35	--
PVC 皮製造業		6,557	85	15	--
印刷業	凸版印刷	513	30	70	14,650
	凹版印刷	5,750	60	40	37,385
	平版/網版印刷	2,255	40	60	1,000
塑橡膠製造業	塑膠製造業	94,065	20	80	--
	橡膠製造業	10,025	40	60	--
汽車保養					16,986
塗料業					4,571
餐飲業					3,196
其他		25,000	40	60	62,718
小計		214,128			225,020
石油煉製業		14,427	35	65	--
石化業		54,010	35	65	--
乾洗業		825	55	45	3,000
PU 皮製造業		19,612	80	20	--
半導體		521	92	8	--
加油站		9,867	0	100	--
汽車表面塗裝業		4,259	70	30	--
小計		106,521			3,000

資料來源：TEDS5.1 版。

表 3.2.1-2 行業別 VOCs 法規推動期程參考表

階段	管制對象	管制期程(年)					
		92	93	94	95	96-100	100 年後
第一階	●既有法規修訂						
	-PU 合成皮	—					
	-石化業		—				
	-半導體		—				
	-乾洗業					—	
	-汽車表面塗裝				—		
	●法規增訂						
	-膠帶、光電		—				
	-光碟、PCB			—			
	-凹版印刷、建物塗裝				—		
第二階段	●點源管道排放						
	-銅箔基板/乾模光阻					—	
	-凸版印刷					—	
	●點源逸散排放						
	-機車/金屬/木竹器表面塗裝					— — — —	
	-PVC 皮、塑膠、橡膠					— — —	
第三階段	●點源管道排放						
	-鋼鐵業燒結/煉焦/軋造					— —	— —
	●點源逸散排放						
	-平板印刷、紙表面塗裝						— —
	●面源						
	-農業溶劑使用、消費商品、露天燃燒						— —

1.資料來源：環保署空保處，固定污染源空氣污染法令管制趨勢及行業別法規研訂現況簡報資料，2004 年。

3.2.2 行業別法規研修重點

1.印刷業

依據環保署一年統計印刷業(凹、凸、平版/網版印刷)每年 VOC 之總排放量約 8,518 公噸，亦為國內產生揮發性有機物空氣污染的主要來源之一。國內目前尚無公告之印刷業 VOCs 行業別排放標準，環保署所規劃分別針對凹、凸版印刷業之 VOCs 行業別排放標準僅在草案階段，因此有有關 VOCs 之主要管制方式僅限於「固定污染源空氣污染物排放標準」。但印刷業者若符合油墨年使用量達 5 公噸以上者，

需申請設置及操作許可(第七批)及專責人員。印刷業由於規模差異性相當大，且所印之產品種類及材質眾多，基於對不同產品適印性之考量導致各廠使用油墨之成份與溶劑含量差異性很大，為顧及不同規模工廠因符合法規可能產生之衝擊程度互異，環保署將採取設定管制門檻與實施分級管制方式。

許多油墨所採用之溶劑種類、比例也常為生產業者的商業機密，因此使用者往往無法完全得到正確的溶劑資訊，且由於因刷機台本身多為開放式製程，基於實際製程操作情形之考量，VOCs 常無法以密閉方式收集，因此除了能收集進防制設備處理之 VOCs 外，逸散性污染源也是管制重點之一。故環保署於 VOCs 管制法規研訂時，將排放標準區分為逸散管制標準及排放管道標準二類。逸散管制標準係以總有機溶劑投入量之百分比為限值；排放管道標準則可分為 VOCs 排放削減率與工廠總排放量限值等二類。

修訂後之法規草案共計有「凸版印刷業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準草案」全文九條，請參考附件一，以及「凹版印刷業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準草案」全文九條。此二個法規草案內容架構相同，惟適用對象及排放標準有差異。主要針對揮發性有機物年用量大於 5 公噸者進行管制(僅使用水性油墨者豁免)，並區分為 5~15 公噸與大於 15 公噸二類分別加以規範。排放標準則分為 VOCs 收集處理比例要求(75%或 80%)，以及排放削減率(95%或 90%)或排放量限值(0.6 kg/hr)規定等標準。彙整環保署有關印刷業法規修訂方向及重點如表 3.2.2-2 所示。

表 3.2.2-1 印刷業 VOCs 管制法規修訂版草案內容規範重點(暫定)

適用對象/規模	凹版印刷製程之揮發性有機物年用量大於 5 公噸者(僅使用水性油墨者除外)	凸版印刷製程之揮發性有機物年用量大於 5 公噸者(僅使用水性油墨者除外)
排放標準	未連通至污染防制設備處理之排氣中，揮發性有機物總含量不得超過總有機溶劑投入量之 25%(5~15 公噸/年)或 20%(大於 15 公噸/年)。 工廠總削減率應大於 95%或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr (以甲烷為計算)。	未連通至污染防制設備處理之排氣中，揮發性有機物總含量不得超過總有機溶劑投入量 25%(5~15 公噸/年)或 20%(大於 15 公噸/年)。 工廠總削減率應大於 90%或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr (以甲烷為計算)。

資料來源：環保署固定污染源揮發性有機空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003 年。

2.PU 合成皮

PU 合成皮業現行的管制標準概分為二甲基甲醯胺與總揮發性有機物二種，二甲基甲醯胺因具有較佳的洗滌回收成效，其管制期程已如期實施，而總揮發性有機物則因尚有下列的困難待克服，且 PU 皮業因第二階段排放標準過於嚴苛，業者因製程減量技術未臻成熟而尚無法符合規定。現有法規面臨問題，包括製程污染源廢氣全部納入處理，成本負擔太高、現有各製程改善技術無法普遍適用於所有產品、國內尚無 PU 皮製程廢氣焚化成功的實例，業界多不願貿然採行。

行政院環保署於 91 年召開「PU 合成皮業揮發性有機物處理技術可行性檢討確認」會議，在會中透過工業局代表與學者專家共同研商以單位產能容許污染排放量(g/m^2)作為管制標準，同時採逐步加嚴的方式以鼓勵 PU 合成皮業者採用低污染製程，並分階段實施。並於 92 年 1 月 29 日正式公告實施「聚氨基甲酸酯合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」。

在 PU 皮製程中所裝置之 VOCs 逸散局部集氣設施，其集氣設備之控制風速應符合表 3.2.2-2 規定。

表 3.2.2-2 PU 皮製程 VOCs 逸散局部集氣設施之控制風速標準

氣罩型式	控制風速(公尺／每秒)		備　　註
包圍型氣罩	0.4		1.控制風速係指開放全部氣罩時之控制風速。 2.包圍型氣罩風速係指氣罩開口面任一點之最低風速。 3.外裝型氣罩控制風速係指氣罩吸引揮發性有機物逸散範圍內，距該氣罩開口面最遠距離之作業位置之最低風速。
外裝型氣罩	側吸式	0.5	
	下吸式	0.5	
	上吸式	0.8	

1.資料來源：行政院環保署，聚氨基甲酸酯合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準，2003 年。

有關 PU 合成皮業管制標準重點如表 3.2.2-3 所示，在新標準中規定乾式製程及印刷製程之塗佈機烤爐、處理機烤爐及濕式製程之配料室、塗佈單元等之排氣中，二甲基甲醯胺之排放及揮發性有機物（不含二甲基甲醯胺）每月全廠之排放應符合下表規定之排放標準。但排放管道排氣採非破壞性物料回收處理方式，其揮發性有

機物排放削減率達八十五%以上或以甲烷為計算基準之排放濃度三〇〇ppm 以下者，不在此限。

表 3.2.2-3 PU 合成皮業管制標準修訂內容重點

適用對象	空氣污染物	排放標準	施行日期
八十六年十二月三十一日以前設立之聚氨基甲酸酯合成皮製程	二甲基甲醯胺	未連通至污染防制設備處理之排氣中二甲基甲醯胺總含量不得超過連通至污染防制設備處理者之二十%。集氣處理之二甲基甲醯胺回收率或去除效率九十%以上或二甲基甲醯胺排放濃度二oppm 以下。	發布日
	揮發性有機物（不含二甲基甲醯胺）	全廠排放之揮發性有機物排放標準應符合一九og/m^2。	發布日
		全廠排放之揮發性有機物排放標準應符合一二og/m^2。	九十六年一月一日
八十七年一月一日以後設立之聚氨基甲酸酯合成皮製程	二甲基甲醯胺	未連通至污染防制設備處理之排氣中二甲基甲醯胺總含量不得超過連通至污染防制設備處理者之二十%。集氣處理之二甲基甲醯胺回收率或去除效率九十%以上或二甲基甲醯胺排放濃度二oppm 以下。	發布日
	揮發性有機物（不含二甲基甲醯胺）	全廠排放之揮發性有機物排放標準應符合六五 g/m^2。	發布日

前項揮發性有機物排放標準之計算，係以每月全廠之乾式製程塗佈、貼合程序、濕式塗佈再經乾式製程貼合程序及印刷製程程序所使用之揮發性有機物(不含二甲基甲醯胺)使用量，分別除以各製程程序產品產量(以面積表示)所得值之總和。

第二項之塗佈程序，係指利用刮刀或滾輪將聚氨基甲酸酯樹脂溶液均勻分布於離型紙、織布、不織布或皮革等基材上，經烘乾後，在其表面上形成聚氨酯膜之作業；貼合程序，係指以接著劑、滾輪及烘箱將兩種材質黏合之作業。

3.塗裝業

機車表面塗裝業鑑於漆料所含 VOCs 經塗刷於物體表面後即揮發消失，較不易採取防制措施，除將參考汽車製造業排放標準研擬方式外，擬建議區分鐵件與塑膠件之不同部份，以單位產能容許污染排放量(g/m^2)作為管制標準。

塗裝產業所涵蓋的範圍相當廣，由於表面塗裝並非屬一特定行業，而且在許多產業是屬於製程中的一環，分布的層面極為廣泛。各類有表面塗裝製程之工廠，也分屬於不同之同業公會或甚至無加入公會，依照環保署「工廠臭味及有機廢氣處理輔導計畫」指出國內外 14 種表面塗裝行業如表 3.2.2-4 所示。

以行業別法規而言，目前僅有「汽車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準」，環保署未來規劃將會陸續將機車/金屬/木材等表面塗裝製程納入 VOCs 法規管制。

表 3.2.2-4 十四種表面塗裝行業及其主要產品

行業別	主要產品	行業別	主要產品
車輛工業	汽車、機車、自行車	家電製造業	冰箱、洗衣機
金屬家具業	金屬桌椅、金屬櫃	電機工業	馬達、發電機製造
非金屬家具業	木桌、木椅、木櫃	機械製造業	車床、沖床、電梯等
造船工業	船體上漆	製革工業	皮革塗飾
樂器工業	吉他、鋼琴、喇叭	漆包線製造	各類漆包線
體育用品業	健身器材、木質球拍	拉鏈工業	拉鏈頭塗裝
汽車修理業	汽車板金噴烤漆等	金屬皮罐製品	啤酒、飲料、食品罐

資料來源：行政院環境保護署，工廠臭味及有機廢氣處理輔導計畫，1998。

(1)汽車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準

本標準主要依據空氣污染防法第二十條第二項、第二十二條及第二十三條規定訂定之，主要適用對象適用於汽車製造程序之表面塗裝相關作業，包括儲運、混合、攪拌、清洗、塗裝、乾燥及其後處理單元。本標準所定義之揮發性有機物為含碳之化合物或其混合物於上述處理單元及作業過程排放出者，但並不包括一氧化碳、二氧化碳、碳酸、金屬碳化物或碳酸鹽、碳酸銨、甲烷及氟氯碳化物。本標準對於揮發性有機化合物主要規範標準如下：

乾燥室廢氣之揮發性有機物應符合總破壞去除效率 90%及排放管道排放標準未經含氧量校正 60mg/Nm^3。

汽車製造程序表面塗裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合 110g/m^2 (本標準排放標準之計算係以每月表面塗裝相關作業所排放之揮發性有機物總量除以底塗總面積為基準)，而底塗面積之計算方式如下：

$$\text{A.底塗面積}(m^2)=\frac{\text{電著塗料乾膜淨重}(kg)}{\text{電著塗料乾膜平均厚度}(m)\times\text{電著塗料乾膜密度}(kg/m^3)}$$

$$\text{B.底塗面積}(m^2)=\frac{2\times\text{鋼板淨重}(kg)}{\text{鋼板原始厚度}(m)\times\text{鋼板密度}(kg/m^3)}$$

(2)現行法規修訂重點

A.對於乾燥室廢氣之 VOCs 應符合總破壞去除效率 90%及排放管道排放標準未經含氧量校正 60 mg/Nm^3，環保署可能改為乾燥室廢氣之揮發性有機物應符合

總破壞去除效率 90%及排放管道排放標準未經含氧量校正 40 mg/Nm^3，將加嚴原標準。

B.對汽車製造程序表面塗裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合 110 g/m^2，擬改為汽車製造程序表面塗裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合 90 g/m^2。

C.對年產量大於 30,000 輛工廠而言，較易於中塗作業導入中高固型份塗料製程，進行源頭減量；對於年產量小於 10,000 輛工廠而言，可藉增加溶劑回收率，進行源頭減量，以達汽車製造程序表面塗裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合 90 g/m^2 之目標。針對乾燥室管末處理部分則進行 BACT 管制方式（可行控制技術為熱焚化技術或活性碳吸附回收技術，其 VOCs 排放濃度小於等於 40 mg/Nm^3 或排放削減率大於等於 90%），要求汽車製造業塗裝廠乾燥室加裝污染防制設備或改善污染防制設備操作效率，將可獲得實質汽車表面塗裝程序之 VOCs 減量。

汽車業表面塗裝作業使用替代性塗料是各廠長期努力的方向，未來亦可朝向要塗料限制溶劑含量，並配合含量標示措施，以期藉由加強法規管制促成塗料工業環保化，但也需在產品品質與業者成本得以兼顧的情況下推動。

(3)機車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準

依 91 年度「台灣區車輛工業同業公會會員名錄」資料統計，國內現有機車製造廠計有 6 廠，以北部機車廠分佈較密集，其資本額分佈大多在 5 億元以上，近幾年機車銷售量略為成長，且外銷銷售量已達約 50 萬輛。機車製程主要包括鋼板沖壓、車身製造、塗裝前處理、塗裝、車體組立及零組件、機械加工等 6 大程序，其中 VOCs 污染排放主要來自於塗裝製程。

塗裝作業所產生之空氣污染物以揮發性有機物(VOCs)為主，主要成份包括甲苯、二甲苯、丙酮、丁醇、醋酸乙酯、醋酸丁酯、甲乙酮及甲基異丁酮等。由於有機溶劑之揮發性強，故在塗裝作業過程中將自塗料中逸出造成污染。VOCs 主要污染源包括各塗裝單元(底塗、中塗、表塗、金油)之噴塗、靜置與乾燥作業及塗裝設備清洗過程。

有關「機車製造業表面塗裝作業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準草案」研訂重點如下：

A.適用對象：本標準適用於機車製造程序之表面塗裝相關作業，包括貯存、混合、

攪拌、清洗、塗裝、乾燥及後處理單元。

B.機車製造程序使用含揮發性有機物之物質應記錄其購置、貯存、使用及處理等資料，紀錄應保存二年以上，以供主管機關查驗。

C.機車製造程序表面塗裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合機車製造程序表面塗裝相關作業之揮發性有機物排放標準應符合 850g/台。前項排放標準之計算係以每月表面塗裝相關作業所排放之揮發性有機物總量除以月生產量為基準。

4.膠帶業

針對膠帶業 VOCs 污染物的管制，國內目前可管的法規也僅依照「固定污染源空氣污染物排放標準」進行規範，對於黏性膠帶製造業之排放現況而言，因膠帶業仍有許多業者未裝設控制設備，而使得產業之整體 VOCs 貢獻量仍相當可觀，根據環保署統計膠帶業每年 VOCs 之總排放量約 31,168 公噸，約佔固定源年總排放量 7.2% ，為國內產生揮發性有機物空氣污的主要來源之一。環保署認為現有法規已不符合現況需求，此外，油性膠帶於製造過程所逸散之揮發性有機物多為環保署優先列管之有害空氣污染物，將對區域性空氣品質及人體健康產生影響，因此環保署於民國 89 年 2 月 15 日訂定『黏性膠帶製造業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準』草案，期使業者能有效降低 VOCs 空氣污染物之排放量。

彙整環保署有關膠帶業法規修訂方向如下：

(1)為避免 VOCs 於廠區逸散，可於法規中要求上膠區應設置永久性集氣隔間。

(2)鑑於黏性膠帶製程所用溶劑之水溶性不佳，對於控制設備選用濕式洗滌塔者，應要求設置 THCs 濃度連續監測器，以確認其處理效率。

(3)對於防制設備選用活性碳吸附者(僅有吸附，非吸脫附回收)，應要求定期申報換碳記錄，及設置 THCs 濃度連續監測器，以確認其實際操作及處理效率。

(4)草案適用對象之規模擬以有機溶劑年用量 400 公噸為管制基礎。

(5)為加強掌握工廠 VOCs 之排放情形，定期檢測頻率應將每年一次改為每季一次，而檢測時間由至少 4 小時改為 8 小時。

「黏性膠帶製造業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準草案」之研修重點如下：

(1)適用對象/規模(暫定)：

A.第一階段：揮發性有機物年用量大於或等於 400 公噸。

B.第二階段：揮發性有機物年用量大於或等於 50 公噸。

(2)管制標準(評估中)：油性膠帶製程由密閉排氣系統或局部排氣裝置收集之廢氣，各排放管道之揮發性有機物應分別選定符合下列規定之一，並報經主管機關核定後始得排放。

A.工廠總排放量之小時平均值小於 15kg/hr，且日平均值小於 120kg/day，且個別排放管道之排放量應符合報請主管機關核定之值。

B.個別污染防制設備之削減率大於 80%管道源。

C.工廠總削減率大於 80%，且個別污染防制設備之削減率應符合報請主管機關核定之值。

(3)永久性集氣隔間(PTEs)：係指在油性膠帶製程中可能產生揮發性有機物之作業環境區域裝設局部排氣裝置，該裝置於操作時必要之一面可開放外（或不得已最多二面），其他均完全密閉而污染物則置於其內部不致向外逸散，並於開口面產生吸氣氣流捕集污染物且控制污染物不致向外逸散之局部排氣裝置(圖 3.2-1)，並將其捕集到之污染物運送至污染防制設備處理。

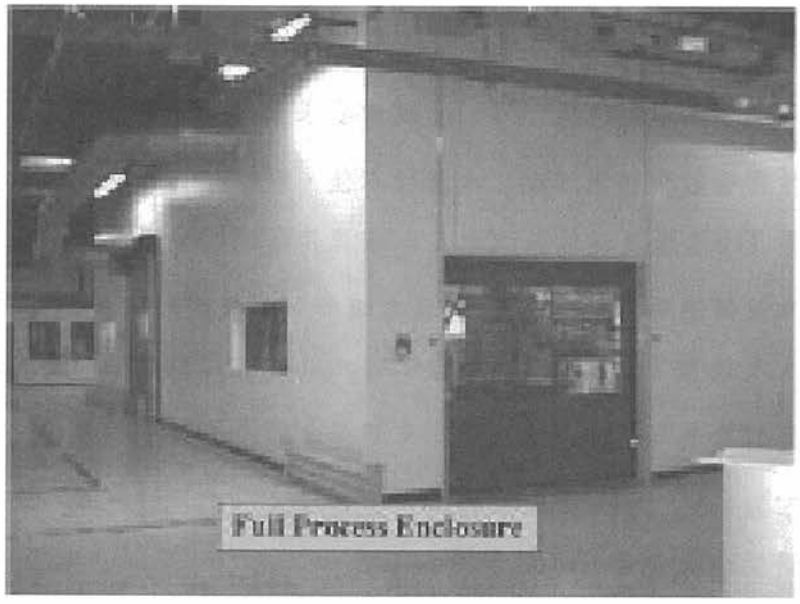


圖 3.2.2-1 永久性集氣隔間(PTEs)示意圖

A.永久性集氣隔間之設置規範(參考美國環保署 method 204 對永久性集氣隔間之規範)：

(A)設置地點：除非業主提出其他具體可行之方案外，否則以任何至少四倍相同直徑的自然開口 (natural draft opening,NDO) 將製程中可能產生揮發性有機物 (VOCs) 排放源包圍起來。

(B)開放面積：自然開口不得超過包圍空間內開放總面積(包含該區域內的牆、地板及天花板）的 5%。

(C)包圍區域的流量：進入該包圍區域內空氣平均速度至少 1 公尺/秒，其區域內之負壓約為 0.02 公分水柱高，其空氣流量的風向必須由外部進入包圍區域內。

(D)包圍區域內的門窗：於平常操作流程中規範予以密閉。

(E)污染排放之捕集：所有該包圍區域內所排放的揮發性有機物必須完全捕集後，送至後續污染防制設備予以處理。

永久性集氣隔間內捕集風速大小，係依據美國環保署 (U.S. EPA)中 method 204 的規範訂定捕集風速為至少 1.0 m/s，藉由操作過程中污染物飛散狀況決定捕集風速的大小，說明規範捕集風速的結果如表 3.2.2-5 所示。

表 3.2.2-5 Brandt 依有害物飛散狀況決定吸氣風速的方法

有害物飛散狀況	實　例	氣罩吸氣風速(m/s)
以接近零的速度釋放入平靜的空氣中	自儲槽蒸發，除污作業	0.25~0.5
以低速釋入低速氣流中	於崗亭式氣罩中吹噴塗裝、斷續的容器裝填作業、低速輸送帶輸送、熔接作業、電鍍作業、酸洗作業	0.5~1.0
以高速釋入高速氣流中	在淺崗亭式內吹噴塗裝、裝桶、輸送帶的卸料、粉碎機	1.0~2.5
以極高速度釋入激烈氣流中	研磨作業、噴砂作業、傾倒作業	2.5~10

1.資料來源：http://www.iosh.gov.tw/data/f2/sp48-2.htm ；

2.環保署固定污染源揮發性有機空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003 年。

5.半導體業

由於半導體業屬生命週期短暫且產品變化快速之高科技行業，故法規自一年公告後部分內容已不符現況，環保署希望對法規之合宜性及減量空間檢討。半導體製造業所涵蓋之產業相當廣泛，除了積體電路製造與封裝等中、下游產業工廠外，同時也含蓋了上游晶圓之製造業者，前二者目前已納入現行排放標準中管制，但後者也由於污染量較小因此未被納入現有規範，但環保署基於公平原則，若業者生產規模與污染排放達規定值以上者，也一併檢討現行法令之管制而酌予將其納入管制，環保署規劃半導體業的法規研修訂重點包括擴大行業列管範圍、明確增訂製程定義，以及對濃度低且廢氣量大之污染源，檢討其排放標準。有關半導體製造業 VOCs 相關排放標準重點如下：

(1)適用對象/規模：半導體製造業者；揮發性有機物用量＞1,700 公斤/年。

(2)管制標準：

A.揮發性有機物排放削減率應大於 90%或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr。

B.三氯乙烯排放削減率應大於 90%或工廠總排放量應小於 0.02kg/hr。

6.光電業

光電製造業為國內近幾年發展迅速的新興產業，由於產業僅分佈於少數國家，目前各國尚無單獨針對光電產業訂定特定的空氣污染排放標準。目前對光電製品製造業之管制措施與半導體業相仿，即去除率或最大排放總量要求，業者只要符合其中之一即可。設定之去除率或最大排放總量之要求乃以最大可達控制技術(MACT)為技術考量基礎，找出適用於該行業之最大可達控制技術可達之去除率和排放總量。根據美國環保署"Guidelines for MACT Determinations"中，對於 MACT 的解釋：『MACT 係指處理效率最佳的前 12 %的控制技術中，排名最低的技術，或是使用於既有排放污染源中處理效率最佳的 12%中，所使用的技術之一』。MACT 分析的目的主要是在尋找出業者盡最大努力所能達成之減量技術，其分析結果可作為環保法令修訂之參考依據。

環保署已擬定「光電製品製造業空氣污染管制及排放標準草案」，由於 TFT-LCD 製程有機物原物料使用量較大，將成為主要的管制對象。然而光電製品製造業屬新興產業，製程種類的新增與污染排放特性的改變較難掌握，為因應相關特性之變動，因此環保署修正部分草案內容重點如下：

A.增加密閉排氣系統定義之明確性

B.分兩階段管制(暫定)：

(A)第一階段：揮發性有機物工廠總削減率應大於 80%(既設應大於 70%)或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr (以甲烷為計算基準)。

(B)第二階段(99 年)：不分新設或既設廠，揮發性有機物工廠總削減率應大於 90%或工廠總排放量應小於 0.6kg/hr (以甲烷為計算基準)。

3.2.3 國內 VOCs 收費制度規劃

政府早期施行之固定污染源收費辦法主要內容為：（1）污染源申報污染物排放量；（2）按污染物種類分別訂定費率；（3）各地方政府可訂定較高收費費率（因地制宜）；（4）費率依據排放總量高低而變動（變動費率）；（5）固定源與移動源空污費皆由地方主管機關徵收。經考量環境背景及行政可行性，民國 84 年公告實施收費辦法則規定收費污染物種類與費率另以公告為之，並將因地制宜與變動費率兩項措施移由費率公告考量。此外，由於固定污染源空氣污染物排放量申報制度尚未建制完成，固定源空污費徵收制度乃分為二階段實施。

民國 86 年第一次修訂空污費收費辦法，將原公告二階段收費制度併列，並增列營建工程依工程類別徵收之條文，由環保局訂定費率，施行一年後，各地方政府可考量地區環境品質特性，在中央訂定費率增減 20 %範圍內，自行訂定費率並徵收之。民國 87 年第二次修訂收費辦法，規定固定污染源空污費改依污染物實際排放量由中央主管機關統籌徵收，再將徵收所得費用 60 %撥交固定污染源所在地地方政府運用，徵收空污費污染物項目除硫氧化物外另再增加氮氧化物；營建工程空污費仍維持由地方政府徵收。民國 88 年第三次修訂收費辦法乃配合釋憲後空氣污染防制法修正內容，原收費辦法條文有關徵收之具體規定，已於母法中載明者則予以刪除。表 3.2.3-1 為國內固定污染源空氣污染防制費法規制訂沿革及重點內容彙整。

環保署在規劃收費制度初期，鑑於固定污染源空氣污染物排放量申報制度尚未建制完成，固定污染源之空污費係依污染物項目分階段開徵；第一階段先依油（燃）料使用量徵收，由環保署向油（燃）料產製者或進口者依銷售量徵收；第二階段再依污染物之種類及實際排放量徵收，並規劃由地方政府訂定費率徵收。依照 91 年 7 月份由行政院國科會主辦之揮發性有機化合物和臭味控制技術研討會中，環保署所提供揮發性有機污染物管制趨勢及收費制度介紹中，其揮發性有機化合物所提的收費方式初

步規劃如下所述(尚未定案)。

表 3.2.3-1 國內空氣污染防制費制訂沿革

訂定/增修日期		訂定/增修重點內容
民國 81 年	02.21	修正公布「空氣污染防制法」 －納入空污費徵收規定
民國 84 年	03.23	制定「空氣污染防制費收費辦法」
	05.31	八十五年度空氣污染防制基金預算經立法院審查通過
	07.01	開徵空氣污染防制費，依油燃料使用量徵收
	07.05	訂定發布「空氣污染防制基金收支保管及運用辦法」
民國 86 年	01.22	修正發布「空氣污染防制費收費辦法」 －將二階段收費制度並列 －增列營建工程空污費徵收條款，由地方政府徵收
	07.01	開徵營建工程空氣污染防制費，由直轄市、縣市政府徵收
民國 87 年	05.13	修正發布「空氣污染防制費收費辦法」 －依污染物實際排放量徵收空污費，由中央主管機關統籌徵收 －徵收空污費污染物項目：硫氧化物、氮氧化物
	07.01	固定污染源空氣污染防制費改為依實際排放量徵收
		成立北中南三區固定污染源空污費徵收審查中心
民國 89 年	01.01	實施車用汽柴油成份及性能管制標準
	03.14	邀集縣市環保局召開「營建工程空氣污染防制費徵收檢討會」。
	04.11	辦理八十八年度空污費科技計畫成果發表會。
民國 90 年	01.31	修正發布「空氣污染防制費收費辦法」。
	03.01	公告廢止「公私場所固定污染源申報空氣污染防制費之空氣污染物排放量計算要點」及「公私場所固定污染源申報空氣污染防制費之硫氧化物及氮氧化物排放係數及控制效率」及「營建工程空氣污染防制費率分期平均繳交或全額繳交之一定金額」

資料來源：空氣污染大事紀，環保署網站, http://www.epa.gov.tw/F/index.htm

1.排放量計算方式如下：

原始排放量 ＝ 【活動強度/計算參數】×【排放係數/排放公式】

其中，活動強度或計算參數將依製程特性選用適當之排放係數或排放公式進行排放量計算，係數建置可參考美國 AP-42 及 SCAQMD 的排放量計算資料及原則，再依選用之係數提報適當之活動強度資料(如有機溶劑清洗依其使用量計算)，而排放量申報時必須依照計算原則提供原物料、產品或公式引用係數等合理之活動強度

或計算參數資料。

2.排放量估算方式

排放量 ＝ 原始排放量 x(1－折扣因子)

VOCs 空污費 ＝ 排放量 x【費率 x調整因子】

其中，折扣因子係指各種減量效益，包括低揮發性溶劑使用、裝設有效集氣設備或控制設備，以及製程改善等數類，但對於廣泛蒐集各項措施之合理削減率、規劃適當之折扣因子，才能提高業者進行廠內改善逸散源的經濟誘因。至於費率將會朝向考慮控制成本且具經濟誘因方向研訂，而調整因子將會配合空氣品質現況或對社會經濟之影響程度不同進行費率調整。

3.申報原則

收費初期將配合排放量申報制度，優先建立主要揮發性有機化合物排放源之排放資料，作為徵收作業之基本資料，而收費制度將會採分階段方式進行，再依徵收技術逐漸擴大為全面性。但收費對象之考量以排放量達一定規模者為徵收對象，然一定規模之研訂會儘可能含括揮發性有機化合物排放量大之行業製程。對於申報方式將比照現行空污費作業模式，依實際排放量進行全廠申報。

4.收費費率考量

以美國(AQMD)而言，揮發性有機化合物收費費率約為 12-28 元(新台幣)/公斤，而且採分級收費制，歐洲之瑞士方面費率約為新台幣 42 元/公斤，且預計在 2003 年提高至約新台幣 65 元/公斤。

至於國內之揮發性有機化合物費率規劃，環保署初期將以財政目的為出發點，建議費率為 12 元(新台幣)/公斤，並規劃將所徵收之費額運用於揮發性有機化合物排放量調查、污染成因探討、控制技術建立等相關專案執行，待資料建立健全的情況下，將走向經濟誘因管制方向，並回歸防制成本，依照環保署之統計揮發性有機化合物管制對策之成本彙整如表 3.2.3-2，不同製程對揮發性有機化合物平均防制成本中位數約為 21 元/公斤，因此環保署未來對於揮發性有機化合物之收費費率應會將防制成本一併納入重要考量依據。

表 3.2.3-2 揮發性有機化合物管制對策之成本彙整

管制對策名稱	平均成本(元/公斤)
加油站裝載操作處理	32
加油站油氣回收	86
PU 合成皮製造加強管制	6
半導體製造業加強管制減量措施	22
石化製程排放管道	10
有機溶劑裝載及運輸	4
有機溶劑儲槽管制規範	54
乾洗作業之排放減量	114
裝載操作設施	9
揮發性有機液體儲槽	67
含有機溶劑廢水處理減量措施	52
合板製程排放管道管制	0.2
印刷作業排放控制	30
膠帶製造業排放減量	12
油庫裝載之管制	88
鋼鐵基本工業	41
金屬表面處理	14
紡織業	48

5.收費方式研訂

由法規可知，固定污染源空氣污染防制費的徵收方式主要分為二種方式，依物質之銷售數量徵收易致空氣污染物質空氣污染防制費，稱其為「源頭徵收」，或依其排放空氣污染物之種類及數量徵收空氣污染防制費，即針對污染源其污染物的實際排放量徵收空污費，稱其為「實際排放量徵收」。VOCs 的複雜性遠高於目前所徵收之硫氧化物、氮氧化物，且國外在 VOCs 徵收制度上較缺乏經驗且可參考之文獻不多，環保署目前依 VOCs 的污染特性及國內外的收費情形，將源頭徵收及實際排放量徵收二種收費方式做優缺點的比較，評估現階段 VOCs 空污費適合的收費方式。

(1)依源頭徵收

依空污法第 16 條第 1 項第 1 款之法規精神，空氣污染物依源頭徵收時須先經中央主管機關指定公告物質，方得依該物質之銷售數量向銷售者或進口者徵收。在環保署公告中有石油焦、含硫份超過一定百分比之燃料油、柴油，再之前尚有氟氯碳化物，由於含硫份超過一定百分比以上之燃料油、柴油及氟氯碳化物均已不再使用，因此目前僅石油焦尚依此方式徵收空污費。若揮發性有機物要依此方式徵收空污費，則首要工作須明確公告徵收物質。

由於 VOCs 的成分複雜及在溶劑中的含量不一，若針對 VOCs 物種一一公告為徵收項目，其可觀作業量在法規研訂上將是一項沉重負擔。加上其 VOCs 物種公告後的費率訂定、徵收 VOCs 空污費大量未退費之金額所造成的民怨、後續相關配套措施及如何與現行 NO_X 與 SO_X 收費系統的結合等，都是在規劃以源頭徵收 VOCs 空污費所必須考慮的。

(2)實際排放量徵收

考量空污費的徵收實應以實際之排放量為計算依據，目前國內空污費收費已走向實際排放量徵收的模式，雖然 VOCs 的逸散特性使其在實際排放量的計算上有所爭議性，但收費原則仍以實際排放量徵收為宜。

現階段空污費徵收方式係依 SOx 及 NOx 實際之排放量來做為收費依據，未來 VOCs 收費型式由源頭徵收方式，將會抹煞業者污染減量之努力。且美國 AQMD 的收費亦是依實際排放量徵收，排放量依排放係數及活動強度計算為主，而以監測或檢測為輔。另在法規層面上，徵收 VOCs 空污費是符合母法精神的，但就源頭徵收時，首先須公告為易致空氣污染物質，由於各物質 VOCs 成分及含量不同，亦牽涉到費率之訂定方式，在法規研修公告上之作業量將會相當龐大。

由於 VOCs 排放特性不易掌握且組成成分複雜，因此其收費遠較 SO_X 及 NO_X 困難，包括排放量計算的不確定性高、VOCs 排放量的審核、收費費率對不同行業的經濟誘因差異性大、其他配套措施之強化機制與過去迥異，故在徵收前的準備工作更為重要。兩種收費方法(源頭徵收、實際排放量)之優缺點如表 3.2.3-3 所述：

表 3.2.3-3 不同 VOCs 徵收方式差異比較表

方式	依源頭徵收	依實際排放量徵收
對象	原料之產製者或進口者	凡排放 VOCs 之固定污染源
優點	1.容易掌握製造商及進口商之 VOCs 總量及銷售網。 2.消費者使用 VOCs 產品，亦包含在徵收對象中。	1.收費較具公平性，符合污染者付費之原則。 2.確實掌握各個污染源之 VOCs 排放量及變化趨勢。 3.依環保署推行一、二階段空污費經驗，此徵收方式之流程與制度成熟。 4.可依污染源申報之原物料操作參數與污染物排放量資料建立本國之 VOCs 排放係數。
缺點	1.缺乏公平性，VOCs 原料物質並非均排放至環境中，部分工業製程使原料轉變為更穩定之物質，因此 VOCs 之排放量會隨製程不同而不同。 2.若為『源頭徵收』，首先須公告為易致空氣污染物質，但 VOCs 種類眾多，列舉不易，其疏漏情形造成執行不易，而在申報方面，因物種名稱的不同導致查核不易。 3.於徵收 VOCs 空污費初期可能累積大量未退費之金額，亦造成民怨。 4.對於 VOCs 原料或產品使用量小之事業單位而言，不具任何經濟誘因，反而增加其成本。	1.一般揮發性消費產品徵收方式較無法規範 2.增加小型業者行政作業之困擾。 3.因監檢測技術尚不純熟，排放量掌握不易，目前代檢驗業者之檢測技術能力參差不齊，降低外界對檢測結果之信賴度。

1.資料來源：劉希平教授，「台北縣固定污染源 VOCs 調查及空污費徵收方式研究計畫」計畫成果，民國 87 年度。

2.行政院環保署，固定污染源揮發性有機空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫整理，2003 年。

3.2.4 行業別 VOCs 排放量估算

1.排放量之計算原則(圖 3.2.4-1)及方法

(1)連續自動監測數值計算

主要污染源之排放都由管道收集，且排放口末端有濃度監視裝置，則依該項監測資料進行排放量之計算，其準確性高且計算作業簡單，列為第一優先採用之排放量計算方式。

(2)檢測數值計算

倘若主要污染源之排放都由管道收集，並有定期檢測作業，則利用檢測資料

進行計算，亦為反應實際排放量之好方法，唯目前工廠現況之收集情形普遍不佳，使得檢測數據不具代表性。

(3)質量平衡計算

質量平衡法是納入 VOCs 環境流佈之考量，其利用流入量應等於流出量之觀念，掌握大氣中 VOCs 排放量，唯必須明確掌握各項 VOCs 變化情形，故計算相當複雜。美國為求計算之精準性多數要求工廠以該項方法計算排放量，但以目前國內之環境仍有要求之困難，故未來應要求工廠逐步建立流佈紀錄作業，以協助質量平衡計算。

(4)質量平衡法+檢測數值計算法

在無法明確執行質量平衡計算及檢測資料不具代表性之情況下，可以結合二種計算方法進行修正，排放管道排放量部份以檢測資料計算，逸散量部份則依源頭 VOCs 排放量扣除管道收集及回收部分而得，總排放量為二者相加，修正檢測資料之不確定性。

(5)排放係數/公式法

由於源頭 VOCs 排放量之掌握仍有部份困難，例如某些物料 VOCs 成份含量百分比無法得知，故業者亦有計算之困擾，可以採取假設方式仍以前述第 4 種方法進行估算，或是直接採用係數法，利用活動強度乘上適合之 SCC 係數計算排放量，但因美國排放係數資料並不完全適用國內製程，有些行業目前仍無適合之對應係數，故工廠可斟酌考量是否採用目前比對之係數進行計算，或是採用其他方法取代。

另石化業部份之儲槽、設備元件、廢水處理及油水分離池等逸散源，目前國內並無相關推估模式，故建議統一採取美國之計算方式。

2.各行業建議計算方法之優先序

雖然資料之精準性相當重要，但評估目前國內環境之可行性係數資料之可用性及業者之配合性，仍有不同計算方式之排序，建議各行業製程計算方式之優先序如表 3.2.4 -1 所示。

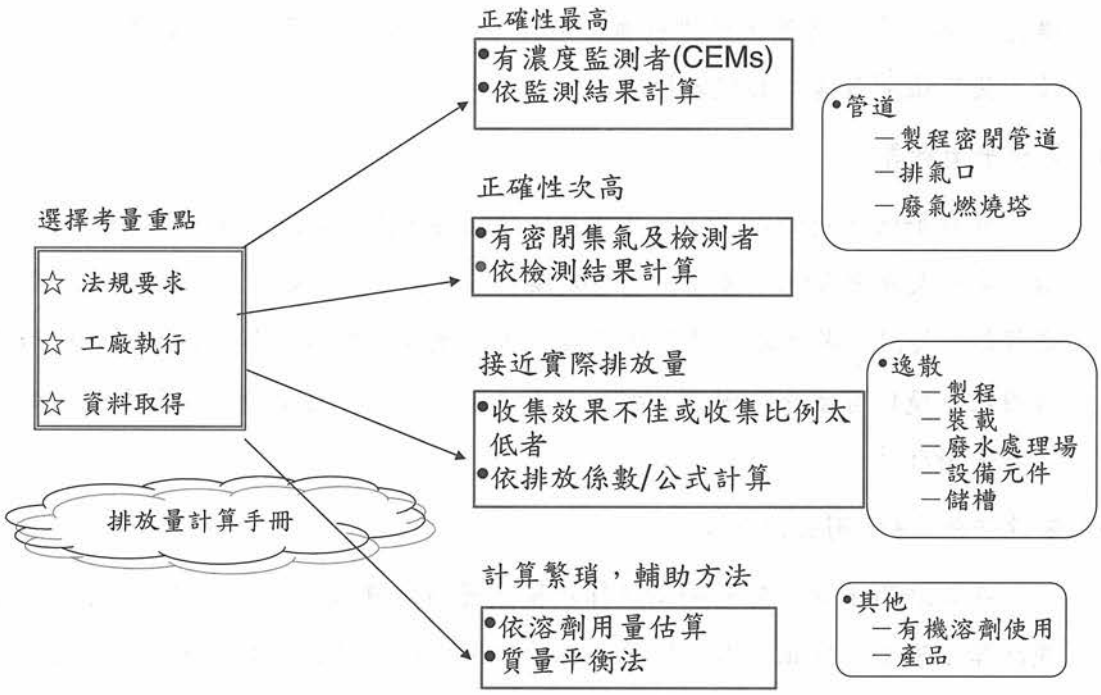


圖 3.2.4-1 排放量之計算原則

1.資料來源：環保署，固定源揮發性有機空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫，92 年。

表 3.2.4-1　建議之行業製程排放量計算方式

行業製程	計 算 方 法				
	監測	檢測	質量平衡	檢測+質量平衡	排放係數/公式
PU 合成皮		B		A	C
膠帶		B		A	C
表面塗裝		C		B	A
印刷		C		B	A
半導體業	A	B		C	
光電	A	B		C	

1.A、B、C 表優先順序。

2.資料來源：環保署，固定源揮發性有機空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫，92 年。

3.2.3 行業別排放量計算方介紹

1.印刷業

參考美國環保署之建議，凸版及凹版印刷製程之 VOCs 排放量可以下列方法進行估算：

(1)質量平衡法

A.各別單元之排放量估算式如下：

$$E_{material}=V\times(1-R/100)\times[1-(K/100\times J/100)]$$

其中　$V=U\times(W/100)$ 或 $G\times C$

$E_{material}$＝VOCs 之排放量，lb

U＝原物料用量，lb

W＝VOCs 含量，重量百分比%

R＝殘留於印物上之 VOCs 含量，%

K＝防制設備處理效率，%

J＝集氣效率，%

V＝VOCs 含量，lb

G＝原物料用量，gal

C＝VOCs 含量，lb/gal

若未裝設防制設備，則上式可簡化成

$$E_{material}=V\times(1-R/100)$$

B.製程總排放量之計算

凸版及凹版印刷製程之總排放來自油墨、稀釋及清洗溶劑、膠裝及其他少量使用溶劑等操作單元，故總排放量之計算式如下：

$$E_{Total}=E_{ink}+E_{dilution\ solvent}+E_{cleaning\ solutions}+E_{coating\ /adhesives}+E_{other}$$

其中　E_{Total}＝製程總排放量，lb

E_{ink}＝油墨之排放量，lb

$E_{dilution\ solvent}$＝稀釋溶劑之排放量，lb

$E_{cleaning\ solutions}$＝清洗溶劑之排放量，lb

$E_{coating\ /adhesives}$＝膠裝之排放量，lb

E_{other}＝其他排放量，lb

前述計算排放量所需之原物料年用量、溶劑所含比例、處理設備集氣及處理效率需由工廠自行提供，然在國內此些數值之取得可能有所困難，因此建議印刷油墨之溶劑含量可以 30%估算，而稀釋及清洗溶劑則大多為純溶劑，其溶劑比例為 100%，於調查各項原物料使用量後，即可加總計算出總使用量。

(2)檢測數值計算法

係以廢氣排放口檢測結果之排氣濃度及排放風量資料計算檢測當時之實際排放情形，依據所得之排放量除以檢測期間之油墨用量，獲得製程本身之排放係數，在搭配製程之操作狀況及用量紀錄等資料換算成年排放量。由於目前印刷業並未規範定期檢測作業，故廠內多數無檢測資料，較無法藉此獲得排放量資訊。

(3)質量平衡法+檢測數值計算法

檢測數值計算法係以廢氣排放口檢測結果包括排氣濃度及排放風量等實際情形，搭配製程操作狀況包括每日操作時數、每用操作天數等條件換算成年排放量，然而僅以檢測數值估算排放量將因未將製程逸散之有機溶劑估算在內，而與實際值有所差距。

(4)排放係數法

美國針對印刷業建立之排放係數相當多，故在無檢測資料之情形下可採用排放係數法，掌握重要污染源如：印刷機、塗佈機其使用之有機溶劑或油墨/塗料/顏料量，利用使用量乘上適合之排放係數計算排放量。

(5)建議估算原則：排放係數及公式法估算

A.計算方法：

(A)空氣污染物年排放量=年活動強度x污染物排放係數x(100%-控制效率)

B.定義重點：

(A)活動強度定義：產品產量或燃(物)料使用量/污染源單位時間

(B)排放係數定義：排放污染物平均值/單位產品產量或原(物)料使用量

(C)控制效率為控制設備削減率，設備失控時段其控制效率為 0%

(D)活動強度需配合排放量計算時間(月排放量計算需配合月活動強度)

2.PU 合成皮製造業

不管是乾式或濕式製程，PU 合成皮製造過程中皆使用大量有機溶劑以稀釋 PU 樹脂，或是以有機溶劑調合接著劑，然後經塗佈、烘乾二步驟處理。因此，在生產 PU 合成皮的過程中，空氣污染產生之處主要在於調配接著劑時於調合室中之逸散、基布進行塗佈接著劑時塗佈作業區之逸散及後續製程中烘箱高溫烘烤半成品時造成溶劑揮發等。

(1)質量平衡法

質量平衡法為估算 PU 合成皮製造業 VOCs 排放量最準確之方法，估算之方法係針對每一操作單元進行溶劑使用之物料平衡，首先需調查操作單元中原物料之有機溶劑總量，包括樹脂、顏料及油墨內 VOCs 含量及稀釋溶劑用量與清洗溶劑用量等，其次必須調查溶劑流向，包括製程中揮發收集量、直接逸散量、回收使用量、廢棄物及廢水中含量及產品攜帶含量等，由於流向產品、廢棄物及廢水中之有機量難以估算，故以質量平衡法估算 PU 合成皮製造業之 VOCs 排放量有其困難性，並降低排放量之準確性。

(2)檢測數值計算法

檢測數值計算法可用於計算排放管道之排放量，但由於 PU 合成皮製程中有多量之 VOCs 以逸散方式排放至周遭環境中，僅計算排放管道之排放量，會低估實際排放量。檢測值與排放量換算公式如下：

A.粒狀污染物排放量(kg/hr) ＝污染物實測濃度(ppm)×10^{-6}×乾基排放量(Nm^3/min)×60(min/hr)×污染物分子量(g/mole)÷〔22.4(Nl/mole)×$10^{-3}$$Nm^3$-Nl〕×$10^{-3}$(kg/g)。

B.氣狀污染物排放量(kg/hr) ＝0.71×污染物實測濃度(ppm)×乾基排放量(Nm^3/min)×60(min/hr)---(THC-以甲烷表示)

(3)質量平衡法+檢測數值計算法

如前所述，質量平衡法有實際計算之困難，而 PU 合成皮因目前有管制法規約束，需按時執行檢測作業，但為避免單以檢測數值計算會低估逸散排放量，故建議以質量平衡法+檢測數值進行 PU 合成皮之 VOCs 排放量估算。

排放管道之排放量藉由檢測濃度乘上排氣量得知，逸散排放量則為溶劑總使用量減去進入排放管道之收集量，該收集量可由排放管道檢測獲得之排放量除上(1-設備處理效率)反推得知，將二項排放量加總即可得總排放量。

(4)建議估算原則：質量平衡法+檢測數值計算法

A.計算項目：

(A)小時排放量(公斤/小時)：0.71×10^{-6} 校正後日平均監測濃度(ppm)×校正後日平均廢氣排放量(Nm^3/min)×60(min/hr) (VOCs 以 CH_4 表示，分子量為16g/mole)。

(B)單位活動強度排放量(公斤/單位)：檢測期間污染物總排放量÷檢測期間主產品總產量或燃(物)料使用量。

(C)年排放量(公斤/年)：污染物單位活動強度排放量(公斤/單位)×年主產品產品產量或燃(物)料使用量(單位/年)

(D)逸散量=總 VOCs 排放量-檢測量/(1-控制效率)

(E)總排放量=檢測量＋逸散量

3.表面塗裝業

表面塗裝作業中除塗裝方式及使用之原物料等因素將影響 VOCs 排放量外，作業空間及防制設備之設置情形亦是影響排放量之重要因素，其可能情形包括在開放空間進行塗裝或設置獨立密閉之空間進行塗裝，塗裝作業區設置情形如後者，多會將廢氣收集至排放管道，又可分為直接排放至大氣或經處理設備去除部分揮發性有機污染物後再排放二種情形，不同之方式對於 VOCs 排放量都將有所影響，排放量估算方法說明如下：

(1)質量平衡法

依據美國環保署之建議，質量平衡法為優先適用於推估表面塗裝製程 VOCs 排放量之方法，包括於開放空間或密閉空間進行塗裝並設置排放管道之方式皆可以此方法進行估算。VOCs 之總使用量包括被收集處理量及逸散損失量，其計算式如下：

$$Evoc = Q \times Cvoc$$

其中 Evoc：揮發性有機溶劑總使用量(kg/hr)

Q：原物料使用量(kg/hr)

Cvoc：原物料中之有機溶劑含量(%)，此部份資料可請原物料供應商提供。

$$被收集之\ Evoc,p = Evoc \times Cap \times F$$

其中 Evoc,p：被收集之 VOCs(kg/hr)

Evoc ：揮發性有機溶劑總使用量(kg/hr)

Cap：補集效率(%)，由設備廠商設計並提供

F：此製程中，有機溶劑揮發比例

有關塗裝製程中揮發性有機溶劑揮發比例 F 值，金屬表面塗裝於噴塗及烘乾製程之揮發比例分別為 70%及 30%，汽車製造分別為 85-90%及 10-15%，大面積塗裝約為 80%及 20%，而線圈塗裝為 8%及 90%，剩餘 2%則於後續淬火製程排放出來。

在質量平衡計算過程中，未被收集處理的量皆可視為逸散量，計算方式如下：

$$Evoc,f = Evoc - Evoc,p$$

其中 Evoc,f：逸散之 VOCs(kg/hr)

Evoc ：揮發性有機溶劑總使用量(kg/hr)

Evoc,p：被收集之 VOCs(kg/hr)

依上述說明，應用於國內表面塗裝 VOCs 逸散量計算時，需加以修正及考量之情形整理如下：

A.VOCs 總使用量(Evoc)應包括原塗料中之溶劑含量加上稀釋溶劑與清洗溶劑用量。在美國因為有製造商提供之原物料成分資料，因此可掌握原物料中有機溶劑成分比例；但在台灣，製造商通常將原物料之組成成分資料視為商業資料，此部份資料之取得極為困難，而一般估算原塗料中之有機溶劑比例約為 70%。

B.若塗裝作業係於開放空間進行，則溶劑於使用過程中全部逸散至週遭環境，溶劑使用量即為揮發性有機物排放量。

C.若塗裝作業於獨立空間進行，廢氣以整體換氣方式或抽取至排放管道後直接排放至廠房外，未設置任何處理設備加以去除，則 VOCs 排放量亦等於溶劑使用量。

D.若塗裝作業於獨立空間進行，廢氣亦收集至防制設備處理後，再經排放管道排放至大氣，則排放量估算必須考量廢氣收集及處理效率。

(2)質量平衡法+檢測數值計算法

倘若工廠有檢測數據時可依照下列流程計算排放量：

A.先進行製程塗料用量調查，將乘上 70%估算來自其中之有機溶劑用量後，與稀釋溶劑及清洗溶劑用量加總，估算製程溶劑總使用量。

B.美國推估排放量所需之參數 Cp 係由設備廠商提供，其已同時考量集氣及處理過程可將 VOCs 捕集去除之效果。國內表面塗裝揮發性有機廢氣處理之最大瓶頸則是廢氣之集氣效率問題，實際操作情形常與設計值不符，增加 Cp 值取得之困難。因此建議在計算被收集之 VOCs(Evoc,p：kg/hr)時，配合排放管道檢測作業，檢測排氣量及 VOCs 濃度，先計算經由排放管道之 VOCs 排放量，再以設備之處理效率，反推防制設備收集去除之污染物量。由於工廠一般未進行防制設備前之濃度及風量檢測，故無法得知防制設備之處理效率，可依一般設計值進行假設回推計算。

C.將溶劑使用量減去經由防制設備去除之污染量，即可得 VOCs 逸散量

D.假設無溶劑回收情形下，則總排放量＝經由排放管道之排放量＋逸散量。

(3)排放係數法

由於目前表面塗裝程序未受法規要求執行定期檢測作業，故檢測數據有限，且實際操作單元之收集狀況亦普遍不佳，故在計算條件不完整之情形下，建議採排放係數方式，根據製程之塗裝型式、使用於混合稀釋或清洗之物料等選用適合之排放係數，以排放係數乘上用量計算得排放量。

(4)建議估算原則：排放係數及公式法估算

A.計算方法：

(A)年排放量＝年使用量×揮發性有機化合物排放係數×（1－總控制效率）

(B)年排放量＝年使用量×揮發性有機化合物含量×（1－總控制效率）

B.定義重點：

(A)活動強度定義：產品產量或燃(物)料使用量/污染源單位時間

(B)排放係數定義：排放污染物平均值/單位產品產量或原(物)料使用量

(C)控制效率為控制設備削減率，設備失控時段其控制效率為 0%

(D)活動強度需配合排放量計算時間(月排放量計算需配合月活動強度)

(E)設施使用物料之揮發性有機化合物含量應先以該物料「物質安全資料表」（MSDS）所列含量為主；若 MSDS 未列其含量，則可利用 MSDS 列出之

化合物所含揮發性有機化合物重量百分比(W%)來計算；使用重量百分比時，其 VOCs 含量計算如下：

$$\text{VOCs (lbs/gal)} = \frac{W\%}{100} \times \text{密度}(lbs/gal)$$

密度= 特定比重（Specific gravity）× 8.34 lbs/gal

W %= 化合物之重量百分比

4.膠帶業

(1)質能平衡法

以質能平衡法估算膠帶製造業揮發性有機物排放量時，需針對每一操作單元進行溶劑使用之物料平衡，包括調查進入操作單元原物料中有機溶劑總含量，例如樹脂、顏料及油墨中之有機溶劑含量，接著調查溶劑流向，包括製程揮發被收集之量、逸散量、回收使用量、廢氣處理去除量及排放管道排放量等，而總排放量則是逸散量加上排放管道之排放量，由於膠帶產品中幾乎已不殘留揮發性有機溶劑，因此針對未設置回收或處理設備之工廠，其調配樹脂、塗佈及烘乾製程產生之大量揮發性有機物或於製程中逸散，或收集至排放管道直接排放至週遭環境，其揮發性有機物排放量等於溶劑使用量，可依據質能平衡觀念，由簡單之計算式即推算出排放量。

(2)質能平衡法+檢測數值計算法

檢測數值計算法可用於計算排放管道之排放量，但由於膠帶製造製程中有多量之揮發性有機物以逸散方式排放至週遭環境中，僅計算排放管道之排放量，將大幅低估實際排放量。因此建議以質能平衡法+檢測數值計算法估算膠帶業之揮發性有機物排放量。

已設置處理設備之工廠，因回收或處理設備已將部分溶劑回收或去除，其揮發性有機污染物排放量小於溶劑使用量，等於製程逸散量加上處理或回收後排放管道之排放量，排放管道之排放量可由檢測結果計算得知，而逸散量為總使用量扣除被排放管道收集之量，被排放管道收集之量可由排放管道排放管道排放量及處理效率推算得知，處理效率最好能由設備進出口之廢氣檢測結果計算，若無法以此方法得知，可採用設計之處理效率或使用之設備可達效率推算，當處理效率確定後，被排放管道收集之量即可由排放管道之排放量除以(1-設備處理效率)計算得知。

(3)排放係數法

根據行政院環保署近年獎勵金申請案件之資料分析，利用檢測結果與產能進行排放係數之建立，當未採取任何防制措施時，排放情形約每平方公尺之膠帶產生 50~90 克之 VOCs，而以活性碳吸附處理後，排放係數降為 0.7~1.1 克/平方公尺左右。故使用排放係數計算法只要將總產品面積乘上相對應推估之排放因子即得總排放量。

(4)建議估算原則：質能平衡法+檢測數值計算法

A.計算項目：

(A)小時排放量(公斤/小時)：0.71×10^{-6} 校正後日平均監測濃度(ppm)×校正後日平均廢氣排放量(Nm^3/min)×60(min/hr) (VOCs 以 CH_4 表示，分子量為 16g/mole)。

(B)單位活動強度排放量(公斤/單位)：檢測期間污染物總排放量÷檢測期間主產品總產量或燃(物)料使用量。

(C)年排放量(公斤/年)：污染物單位活動強度排放量(公斤/單位)×年主產品產品產量或燃(物)料使用量(單位/年)。

(D)逸散量=總 VOCs 排放量-檢測量/(1-控制效率)

(E)總排放量=檢測量＋逸散量

5.半導體製造業

(1)質量平衡法

美國環保署建議應優先以質量平衡法推估半導體製造業 VOCs 之排放量，其估算方式如下：

$$Ex = (Qin - Qout) \times Cx$$

其中 Ex：污染物 x 之總排放量(lb/hr)

Qin：物料進入製程之流量(gal/hr)

Qout：物料流出製程之流量(gal/hr)

Cx：污染物 x 之濃度(lb/gal)

半導體製造業產生 VOCs 之主要作業區為黃光區，包括光阻塗佈、顯影、去光阻及清洗等單元皆大量使用有機溶劑，清洗溶劑使用量之掌握並不困難，然而

光阻劑之成分為原料供應者之商業機密，供應時並不提供其組成，因此並無法掌握其中有機溶劑含量，因此上式中之 Qin 僅能掌握光阻劑用量、稀釋光阻劑溶劑用量、去光阻劑用量、清洗溶劑用量，估算光阻劑中約含有 30%之溶劑，再將各項加總。

在物料流出製程之部分(Qout)包括回收使用或循環再利用之量、流出至廢水中之量或形成廢棄物之部份均需列入考量，需有完整詳盡之資料，才能進行精確之估算。

由於在物料進出部分皆有難以估算之處，且考量國內已有相關管制規範可搭配用於排放量計算，因此針對半導體製造業之 VOCs 排放量並不建議以質量平衡法計算。

(2)連續自動監測數值計算法

如前所述，半導體製造過程中環境潔淨之特殊要求，因此假設製程使用之溶劑皆能密閉收集至排放管道加以處理。配合國內空氣污染管制現況規範 VOCs 年使用量大於 50 公噸之半導體業者需裝設濃度監視器以計算處理效率或小時排放量，雖然現行裝設之監測設施僅能量測總碳氫化合物(THC)及非甲烷碳氫化合物(NMHC)，無法估算個別成分之排放量，但由於監測濃度資料完整，按照公式乘上風量換算即可得監測期間之總排放量，其為掌握正確性排放量最有效率之方法。而除濃度之外，目前配合法規排放標準，業者多已將監測濃度換算成小時排放量，故概算年排放量時，只要將小時排放量乘上年總操作時數即可。

(3)檢測數值計算法

VOCs 年使用量小於 50 公噸之半導體業者雖無需裝設連續自動監測，但其亦需進行檢測方能確定是否符合排放標準，因此可利用此部份數據推估排放量。

(4)建議估算原則：自動連續監測(CEMs)估算

A.計算方法：

(A)日排放量(公斤/日)：0.71×10^{-6} 校正後日平均監測濃度(ppm)×校正後日平均廢氣排放量(Nm3/hr)×有效監測小時數(hr/day)，(VOCs 以 CH_4 表示，分子量為 16g/mole)。。

(B)月排放量(公斤/月)：∑有效監測值計算之日排放量＋∑失控時段替代數據計算之排放量。

(C)年排放量(公噸/季)：∑月排放量

6.光電業

由於發光二極體(LED)製造及液晶顯示器(LCD)製造皆屬於光阻、微影(photolithography)及清洗之溶劑使用，因此其排放量計算可以同前述半導體製程方式。惟目前光電業之法規尚在草案階段，倘若業者已設置防制設備者，可優先以檢測數值推算，未來若法規要求規模較大之業者必須設置濃度自動監測設施時，得以監測數值推算排放量。

(1)建議估算原則：自動連續監測(CEMs)估算

A.計算方法：

(A)日排放量(公斤/日)：0.71×10^{-6} 校正後日平均監測濃度(ppm)×校正後日平均廢氣排放量(Nm^3/hr)×有效監測小時數(hr/day)，(VOCs 以 CH_4 表示，分子量為 16g/mole)。

(B)月排放量(公斤/月)：∑有效監測值計算之日排放量＋∑失控時段替代數據計算之排放量。

(C)年排放量(公噸/季)：∑月排放量

第四章 製程 VOCs 減量技術

一般業者對於 VOCs 廢氣污染防制的努力方向，常常會先從製程末端尾氣處理技術考量，雖然尾氣處理技術也是相當有效的處理方式，但是若能夠先由原物料或製程技術進行改善，不但可直接減少有機溶劑的用量，亦可降低 VOCs 廢氣的產生及末端廢氣處理設備之規模及成本，對於業者而言，應是考量 VOCs 減量的優先思考方向。

4.1 印刷業

印刷業製程減量技術可由製程特性及污染來源進行分析，由於 VOCs 主要來源來自於油墨、水槽液中之異丙醇(IPA)、清洗溶劑、保養用溶劑等。因此，可先考量由原物料著手進行減量，如油墨及溶劑等物料的減量，亦可針對印刷機技術及人員操作技術及管理進行改善，如印刷機密封或儲桶加蓋等減少逸散量，並改善集氣罩收集效率等減量。因此以下針對操作技術及原物料改善二方面進行介紹：

1.操作技術改良

(1)清洗溶劑

清洗溶劑於操作上可做相當的改善動作，以減少操作時 VOCs 之逸散，包括溶劑及印刷油墨之存放需進行加蓋，使用完畢後也應立即蓋上；另外對於清洗程序，如墨槽、版筒或網版之清洗，宜集中於專用房間內，以利於集中處理廢氣，避免溶劑大量擴散。有效減少 VOCs 改善的方式如下：

A.採用新配方植物油清洗劑。

B.隨手將使用後溶劑罐密封。

C.清洗墨輥前先使油墨軟化，以提高清洗效率。

D.使用過之抹布，放置於封閉容器內，並應設置濾網收集溶劑設備。

E.清洗擦拭使用適量之溶劑，如抹布不要沾取過量之溶劑。

F.使用自動清洗橡皮布系統。

(2)供料方式

凸版及凹版印刷之供墨槽若採用封閉式或半封閉式，都可有效減少溶劑揮發之損失及保持較穩定之印刷品質，各種版式非印紋部分保持乾，亦是減少印墨消耗及避免污染印刷機滾筒面之好方法。

(3)油墨包裝

在可搬運範圍內，印刷油墨罐之設計容量不能太小，可以有效減少規模較大業者使用小罐包裝油墨，產生較多氧化結皮機會，同時也會使罐內之殘餘油墨量增大；但在另一方面，小規模業者則需儘量少用大包裝印墨，以免開罐後因需長期使用，造成每次要挖去罐面結皮部分，會造成油墨浪費及增加揮發性有機物之逸散。

(4)改良洗版方式

網版印刷業由於製程中之被印材料多為不規則形狀，無法如紙張使用滾輪製版及印刷，因此清洗網版成為主要污染來源之一，其改善方式包括可於密閉室中進行洗版，但由於經濟效益較低，目前市場上亦發展如密閉式洗版機等，以人工清洗並使用抽氣裝置，藉以減少洗版時所逸散之揮發性有機物，如圖 4.1.1-1 所示。

洗版機　　密閉式抽氣室

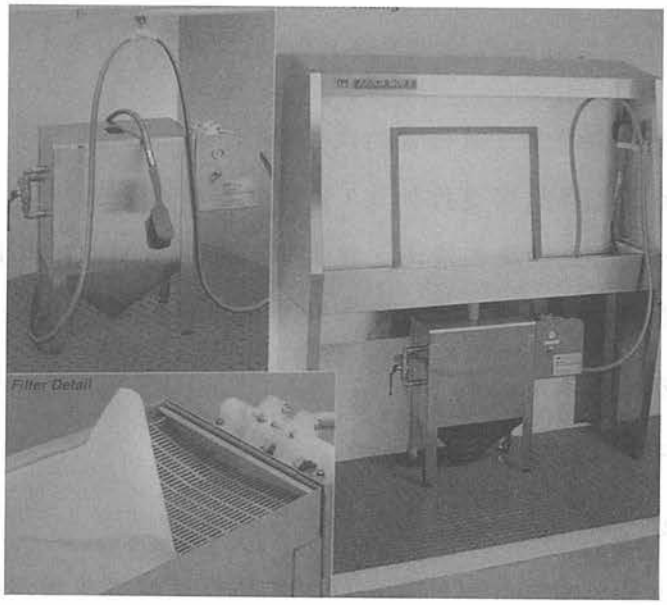


圖 4.1-1 商業化洗版機設備圖

2.原物料之揮發性有機物減量

針對印刷過程之主要 VOCs 之原物料如表 4.1-1 所示。油墨、水槽液及溶劑為主要之來源，因此為了可以將 VOCs 減量，主要策略包括水性油墨或替代性油墨、溶劑回收以及水槽液異丙醇含量降低等，針對各減量對策說明如下。

表 4.1-1 印刷業中主要之揮發性有機物來源及減量對策

含 VOCs 之原物料	說明	製程減量對策
油墨	目前印刷行業中廣泛使用還是傳統的溶劑型油墨，溶劑型油墨由顏料、連結料、溶劑、填充劑和輔助劑組成，所用的溶劑主要是芳香類、酯類、酮類、醚類等有機溶劑。	使用水性油墨或替代性油墨
水槽液	使用水槽液之目的在保證印版空白部份可形成親水鹽層的必要條件，又稱之為潤版液，異丙醇則是其添加劑之一。	降低異丙醇含量 採無水平版印刷
溶劑	溶劑主要使用在清洗及稀釋，其中覆膜過程中使用了甲苯、油性上光材料所使用的稀釋劑含甲苯，都是印刷製程中主要溶劑來源	溶劑回收 選擇低污染清洗劑

(1)水性油墨

一般溶劑型油墨中 VOCs 含量相當高，稀釋後溶劑比例可達 80%以上，因此若以含溶劑量低或不易揮發之油墨來代替溶劑型油墨，可有效降低 VOCs 之排放。印刷業製程揮發性有機物減量主要方向，即以水性油墨或低污染之替代性油墨為主要發展方向。依美國環保署（USEPA）之定義，水性油墨係指含胺類、乙醇或二元醇等成份之油墨，其稀釋後之 VOCs 含量應小於 25%。而一般水性油墨則使用水來稀釋調和油墨，污染程度較低但品質較不如預期，但其蒸發後之水氣不會對人造成影響，目前在彈性凸版使用上較為成功，但在凹版及網版使用上較不普及，主要原因係其對於高品質印刷品之使用則較受限制，因此接受度較低。此外含醇類之水性油墨，其介乎水性油墨和傳統溶劑之間，一方面蒸發出來的醇類污染程度低，對人體之健康影響較低，可長期使用，一方面印刷效果大致可令人滿意，包括紙盒食品的包裝等。

水性油墨最大特點是對環境無污染，對人體健康無影響，同時其不易燃燒，安全性好。製程上之優點則包括其色彩較為鮮豔，同時因不含溶劑成分，不會腐蝕版材，相對增加版材之壽命。水性油墨與溶劑型油墨的最大特色，除了明顯減少 VOC 排放量，能防止大氣污染，不影響人體健康外，其不易燃燒，墨性穩定，色彩鮮艷，不腐蝕版材，操作簡單，價格便宜，印後附著力好，抗水性強，乾燥迅速，亦是其重要特色，故特別適用於食品、飲料、藥品等包裝印刷品，是世界公認的環保型印刷材料，也是目前所有印刷油墨中唯一經美國食品藥品協會認可

的油墨。

目前美國塑膠印刷中有 40%採用水性油墨，其他經濟發達國家(如日本、德國、法國等)在塑膠薄膜印刷中使用水性油墨的用量也愈來愈多。英國已立法禁止溶劑型油墨印刷食品薄膜。據有關資料報導，在美國，符合 VOCs 規定的水性墨必須達到使用狀態的油墨組成中，揮發成分比例在 25%以下，水分在 75%以上；水分少的油墨在使用狀態下，不揮發的成分在 60%以上這兩個標準。水性油墨通常供紙製品包括紙塑複合產品印刷使用。特性是能滿足紙張印刷的吸墨性，使印刷品著色豐滿，更難得的是其溶劑是水和乙醇，對環境污染性小，號稱是環保綠色油墨。

一般食品類、醫藥類、化妝品類對衛生條件要求嚴格的包裝與裝潢印刷產品的印刷與使用，建議可使用水性油墨。水性油墨是目前世界性公認的環保型印刷材料，由於水性油墨中含極少量的有機溶劑甚至完全不含，因可藉此進行揮發性有機物之減量。同時可完全消除溶劑油墨中某些有毒有害物質對於人體的危害和包裝產品的污染，特別適用於食品、藥品、飲料等衛生條件要求嚴格的包裝印刷產品。以下則針對替代性油墨之種類特性說明，以利業者作為油墨選擇之參考依據。

張頁機以熱固型油墨替換水性油墨後，其製程揮發性有機物排放比例可由原先之 10~30%，降至 3~7%，而捲筒紙輪轉印刷所使用之熱固型油墨經取代後，其揮發性有機物量亦可由 35%~45%，降至 25~30%，因此顯示熱固型油墨亦可發揮高的減量效益。此外，熱固性油墨目前亦開發較低溫之油墨，將可有效降低能源消耗，同時為降低揮發性有機物含量，油墨之發展應儘可能以觸媒型油墨、UV 油墨等無溶劑成分之油墨來取代。

(2)紫外線(UV)固化油墨

紫外光固化(UV)油墨是指在紫外線照射下，利用不同波長和能量的紫外光使油墨由液態變成固態膜和乾燥的光固化型油墨，此構想在 1994 年已有人提出，但直到 1960 年由英國的一家公司開發成功。利用不同紫外光譜，可產生不同能量，將不同油墨連結料中的單體聚合成聚合物，所以 UV 油墨的色膜具有良好的機械和化學性能，無論由減量觀點或產品技術發展之角度均屬於較為先進的印刷製程技術。

UV 油墨中，光引發劑是一種易受光激發的化合物，在吸收光照後激發成自

由基，將能量轉移給感光性分子或光交聯劑，使 UV 油墨發生光固化反應。目前 UV 油墨已成為一種較成熟的油墨技術，其污染物排放幾乎為零。據統計，2000 年 UV 油墨的年產量日本約 1.6 萬噸，歐洲約 1.8 萬噸，北美約 1.9 萬噸。除了不含溶劑，UV 油墨還有如不易糊版，網點清晰，墨色鮮艷光亮，耐化學性能優異，省用量等優點，而美國在使用的柔性版印刷 UV 油墨已達 3,500 噸。

A.UV 油墨之優缺點

UV 即是電磁波的一種型式，而 UV 油墨乃是利用 UV 之輻射能量來達到其乾燥效果。而 UV 乾固系統有許多種，但其原理都係於感光劑吸收高強度紫外線（UV）後所引起的化學反應。而其感光劑則是一種具有特殊反應能力的化學產品，可以將光能轉換成化學能而使不同混合物瞬間固態化。但最重要一點乃是所使用 UV 光線之能量是家用日光燈之六百倍，所以在環境下不會因陽光照射而馬上乾固。其與一般溶劑型油墨比較之優缺點如下：

(A)優點

a.不含揮發性的有機物：多數 UV 產品含有很少或是完全不含有機溶劑。

b.簡便與庫存少：新的 UV 印墨只須具備四基本色即可混成所需之顏色，且其印刷墨膜厚度薄，所需墨量減少，故十分簡便因此庫存可減少。

c.不透明度易控制：可依標準比例加入顏料或色素於延伸基內達到所需要的明度。

d.配色能力：色素之加入延伸基可獲適當的黏度、色調及明度，則可配出極豐富之色彩，只要將兩種或兩種以上之基本色混合而可獲得各種所要顏色。

e.墨量省：由於其成分不含溶劑，故只需傳統的三分之一到二分之一之，用墨量即可獲得預期之效果。

f.上墨輥及印版不被阻塞：未經照射過的印墨，即使在墨輥或印版上可以在至少 48 小時內不會乾燥，因此不必擔心輥上結皮或印版阻塞。

g.省電費：只有傳統油墨熱風爐電費的四分之三到五分之一即可乾燥。

h.光澤度：UV 印墨之光澤度十分討好，也可以特別的處理達到特別效果。

i.提高製成品的品質：經由聚合物高密度交聯結合所產生的組成結構，不但具有高度的堅韌性，也因而得到抗污、抗磨損以及抗溶劑的特性。

j. 能量需求低：乾燥速度快，一個典型的輻射乾固生產線消耗的能量只有用熱能乾燥所需的25%。

k. 印刷品質佳：光澤好，色彩鮮艷、耐水、耐溶劑，耐磨性能好。

(B)缺點

a. 表面乾燥：UV的產品通常只會在UV直接照射下乾固。

b. 對含有顏料系統乾燥較困難：UV對穿透較厚和含有顏料的涂料有困難，近期在化學和光能上的研發，已使UV對產品的效果有所改進。

c. 原料價格過高：目前原料價格偏高是由於市場較小，再加上高金額的研究費用，才造成產品單位價格高於傳統性的產品。在此須注意，UV產品是百分之百的實體，而不像傳統性油墨、塗料和黏著劑含有揮發性溶劑。

d. 乾固設備：費用過高、基本設備投資價格高。

e. UV產品可能的危險性：多數UV的產品在沒有乾固前，可視為皮膚刺激物。但是這些產品，由於揮發性低，在操作使用時若能保持穿戴護膚手套和護目眼罩的習慣，就會減少這類問題。

f. 黏固性不佳：一般而言，和傳統性產品相比，對一些物料包括鋼片和鋁片的黏固性不佳，作化學上的改進和作後烘焙處理（post-baking），可以消除一些黏固性不佳的問題，同時也可降低在乾固過程中由於收縮所帶來的壓力。

g. UV油墨保存期限不長：目前UV油墨保存期限都不長，原因是UV油墨較易產生膠化變質的現象。

h. UV油墨之墨膜厚度、透明度：油墨墨膜厚度太厚，也會影響UV光線照射的速度，造成油墨不易硬化。至於油墨之透明度，透明性的UV油墨要比不透明的UV油墨乾固快得多了。油墨中，UV光線照射的速度不但較快，同時也較均勻的關係，舉例：目前硬化速度最快的顏色，算是彩色四色印刷中的藍色，其次是洋紅和黃色。黑色油墨的硬化速度十分的慢，最難硬化的要算是不透明的白色了。不但如此，不透明白色在UV光線的照射下，還會有發黃的趨向。

(3)水性UV油墨

水性UV油墨是目前UV墨領域研究的新方向。普通UV墨中的預聚物黏度

一般都很大，需加入活性稀釋劑稀釋。而目前使用的稀釋劑丙烯酸酯類化合物具有不同程度的皮膚刺激性和毒性，因此在研製低黏度預聚物和低毒性活性稀釋劑的同時，另一個發展方向是研究水性UV油墨，即以水和乙醇等作為稀釋劑。目前水性UV油墨已研製成功，並在一些印刷中獲得應用。此外，主要在柔印中發揮作用的醇溶性油墨也是一種公害甚小的油墨，主要應用於食品、藥品、飲料、煙酒及與人體接觸的日用品包裝印刷等方面。

(4)陽離子油墨

近年來，柔性版印刷中光固化(UV)技術在紙張和薄膜材料的印刷中，UV技術已經由窄幅的捲筒紙凸版印刷向柔性版印刷技術發展，也瞭解UV油墨快乾系統的種種優勢，它可縮短印刷週期，減少工作量，UV固化系統最重要的特性在於它可提高印刷穩定性(乾燥方面)，縮短印刷過程中等待氧化乾燥的時間，近10年來，UV印刷對傳統帶來很大衝擊，主要在塑料承印物上進行柔性版印刷。

近來，又有新型的油墨－陽離子油墨，與一般印墨相比，陽離子油墨具有揮發性低、氣味小的優點，可說是很好的環保油墨；溶劑型油墨的環保問題，除了VOCs以外，異味也是個非常嚴重的問題，它對操作人員的健康和環境都有負面影響。而陽離子油墨(低揮發性油墨)在這方面卻有很大優勢，如今甚至可應用於一些食品包裝行業。陽離子油墨還有可在塑料片基上附著的好處，正是所有優點中最關鍵的。

陽離子油墨具有固化速度中等(此稍遜於溶劑型油墨)、可二次固化(約延長到24小時)、無阻止氧化、濕度影響輕微、無收縮量及塑料附性優良等特點。雖然固化速度較溶劑型油墨慢，但近來的經改進的陽離子油墨也可適應150-200m/分鐘的印刷。

二次固化的好處是當印刷品從印刷機輸出後，墨膜看上去好像已固化，但仍有部分沒有發生反應(沒乾透)。陽離子固化技術可以繼續反應直到這些材料的大部分都發生反應，固化後的聚合物通常分子量很高，一般不會揮發，陽離子油墨的收縮量較小，因而有很好的附著特性。

在綠色環保呼聲日益高漲的情況下，包裝印刷領域更是要求適於環保的產品。從油墨上來說，要不斷解決油墨中諸如鉛、苯、芳香族化合物、乙基乙二醇等有害物質的含量，保證其對食品、用品的安全和印刷人員的身體健康。；而在現在生產的陽離子油墨中，它的含量極低，使用普通分析技術根本檢測不到。

(5)植物油墨

由於植物油穿透紙張的速度很慢，印刷的表面乾燥是靠氧化，但是內部的完全乾燥卻需要很長的時間，應用在熱固型商業輪轉機、冷固型輪轉印報機、平版張頁機上，不需要改變設備，植物油油墨替代了礦物油在平版印刷油墨中的角色，植物油有亞麻子油、桐油、向日葵油、大豆油等。有些植物油油墨就添加有少許的礦物油來符合原本的適性，至於加入多少的礦物油則需依情況而定。例如熱固型輪轉機用油墨需要很快的乾燥，可能添加較多比例的礦物油；吸收力較強的紙張，可用植物油替代礦物油的比例非常高；黑色乾燥比有顏色的油墨慢，因此有顏色的油墨採用植物油的比例較高等情形。

以美國而言，主要發展的是大豆油油墨；由於美國的農業政策，產量過剩的大豆被鼓勵用於油墨中，美國報紙協會(Newspaper Association of American)於1979 年開始提倡替代石油基質的印刷油墨，當時也由於石油價格提昇，而使溶劑型油墨之供應產生問題，尤其油墨產業對於市場供應問題甚為敏感，需避免影響其他原料的正常供應，經數年研究後植物油墨(vegetable ink，因採用大豆為基質，稱為 soy ink，大豆油墨)，被引進報紙產業使用，因此只要在油墨中採用 20%以上大豆油來替代礦物油，美國政府即發給大豆油油墨的標示如圖 4.1-2。大豆油墨含有不同比例的大豆油，油墨製造廠將其原來為食用大豆油(或其他乾性植物油脂)與顏料、樹脂、臘質等混和以製造油墨。

在美國，大豆油墨廣泛應用在新聞報紙印刷中，一個重要原因是美國政府為了推動農業發展，其次是為了響應美國環保局對 VOC 排放量的限制。大豆提取的植物油屬非礦物油。在實際應用中，除了新聞報紙外，大豆油墨以前很少應用在其它印刷部門，因為它在其它紙張承印物的乾燥速度很慢，許多大豆油會添加有其他植物油或是礦物油，來幫助加速乾燥解決問題。近來，隨著環保呼聲愈來愈高，大豆油墨引起業內人士的注意。例如，大豆油墨現在開始應用於包裝、目錄、商業印刷等。

A.大豆油墨技術特點

(A)不含揮發性有機溶劑，降低對於環境及人體之危害性。

(B)耐擦性佳：大豆油本身具耐擦性，使讀者不受手沾黑的問題，同時無刺激性異味產生。

(C)廢紙的脫油墨容易且紙纖維的損傷較少：在廢紙回收及再生紙作業上，相

當關鍵因素。

(D)印刷量較多：由於大豆油墨提供更為濃厚且亮麗的顏色，因此印刷時會因用油墨量少而提昇印刷量，約可提升 10~15% ，而利於降低成本。

(E)廣範圍彩色印刷：由於顏色深厚、豐富且亮麗，可適用於廣泛的快速印刷，如 Pantone matching system 及 Process colors 均可適用。

(F) 耐雷色性佳：由於大豆油的沸點比石油系有機溶劑高出甚多，當油分受雷色印刷機或影印機加熱時，它不會揮發而黏在紙上，亦不會黏著於印刷機之零件。

B.應用特性

(A)大豆油墨所含植物油(大豆油)是可以永續生產的且是生物可分解的豐富資源，可供永久經營之環保性產品。

(B)因本身為農產品來源豐富，各種植物油均可適用，亦可配合支持農業政策，以不同植物油取代。

(C)以植物油取代部份石油系礦物油以製造油墨，可推展各國其國內生產植物油脂的工業應用，擴大植物油的應用範圍。

C.大豆油墨的種類及用法

(A)報紙油墨：採用捲張印刷的報紙印刷，係屬吸收作用，油墨中的油分被紙吸收而留印顏色在紙表面，完成印刷作業。此種報紙的油分較高，通常黑色油墨最低 40% ，彩色油墨最低 30% 植物油之含量。

(B)張頁油墨：此種油墨所含樹脂比例較高，而植物油所含比例較低，約 20% 左右。

(C)商用表格印刷油墨：油分含量亦約 20% 。

(D)熱固油墨：含油分最低，最低約 7% 。

(E)凸版油墨：此係水基質或溶劑基質的油墨，主要並不含大豆油等植物油，卻含有植物蛋白(如大豆蛋白)，可使原料黏著在紙上，以完成印刷，通常蛋白含量為 15~20% 。

歐洲發展的是以亞麻子油、桐油為主的植物油油墨。採用生化科技結合亞麻子油、桐油的天然雙鍵分子製成植物油，不會有印刷乾燥的問題，也解決大豆油印刷適性不穩定的問題，植物油甚至可以 100% 取代了礦物油在油墨

中的角色。對於環保、健康、安全、及生態有完全的改善和幫助。最具聲譽的如：德國 **K+E** 油墨標示有 **BIO** 的植物油油墨(圖 4.1-2)。

另有一種新的水洗油墨將被使用於平版印刷，它是一種植物油油墨可轉換為含有可釋放的物理性質的油墨，清洗時只需要用水洗即可，可用於傳統印刷機而不須改變任何機器結構。

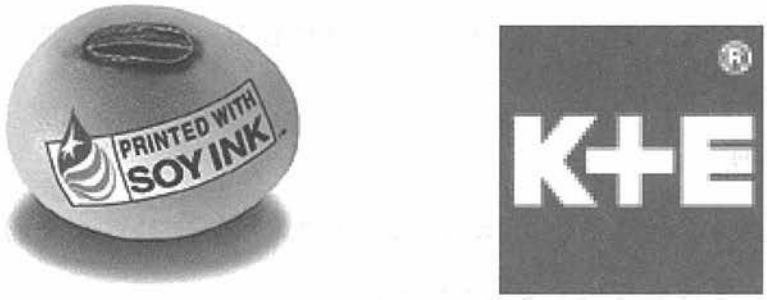


圖 4.1-2 環保植物油墨標示圖

D.環保油墨的應用現況

UV 油墨：由於 UV 油墨所強調的特點是快乾和不含溶劑的全固態成份，其應用在網版相當適合。由於網版印刷，其印刷速度不比其他版式印刷之速度快，嚴格說來相差一大截，且印出之墨膜又特別的濃厚，自然所需時間也就較長，主要原因就是溶劑在網版所帶來之缺點，如因溶劑在網目內蒸發乾掉，導致油墨塞網而無法印刷；且一般溶劑型油墨若溶劑比例調整不適當，常會有油墨太硬不好印及太稀又不能印的問題，皆為溶劑含量不適當所造成，於是 UV 油墨兩大特點解決網印業者所困擾的問題。

(A)熱固油墨：熱固型油墨非常依賴蒸發做表面乾燥，採用植物油油墨可降低 VOCs 之逸散，傳統的熱固型油墨含有比冷固型或張頁機油墨散發更多的 VOCs，熱固型植物油油墨目前仍含有少許的礦物油，增加植物油的含量就需要增高乾燥的溫度，太高的溫度可能烤焦紙張，而使印刷墨膜無光澤，且產生更多的 VOCs 揮發，造成油墨成本也會增加。

(B)植物油墨：一般張頁機油墨採用植物油油墨，可以比熱固型含有的比例更高，甚至 100% 以植物油替代了礦物油在油墨中的功能，採用植物油油墨可印刷得顏色較亮、品質也較佳。有顏色的油墨含油量原本就比黑色低，因此植物油油墨有色的比黑色乾燥快得多，高植物油含量的彩色油墨很容

易作到，即使非塗佈紙採用高植物油含量的彩色油墨，也可以很高速印刷，而且植物油油墨的成本通常比傳統油墨高，但是它對環保之污染防制、人體健康及作業安全等的其他花費卻降低了許多。報紙印刷可用高含量植物油的油墨，因為報紙為高吸收的紙，它可以 100% 用植物油取代礦物油，若彩色的油墨使用植物油油墨，印刷色彩會更亮麗、更容易控制，且更抗磨搓、不會塞墨、不易結皮，其品質非常穩定，也非常容易控制水墨平衡，在機器設定很靈活，而且更多的印刷量。但是報業用的植物油油墨成本非常高，比傳統礦物油油墨高出約 30% ，也是目前油墨製造廠必須再努力的目標。

大豆油墨的採用，首推報紙產業，在美國大約有 10,000 家報社，其中三分之一已使用黃豆油墨，尤其較大的 1,500 家日報的九成以上已肯定其效果而採用之，據估計，若整個美國印刷產業全部採用大豆油墨，每年約會消耗 457 百萬磅的大豆油。大部份的報紙，係供它做彩色印刷，而且因彩色黃豆油墨的價格比較可與石油系彩色油墨競爭，其印刷效果確實優異，顏色甚為亮麗並且環保性佳為其特點。黑色黃豆油墨可供為報紙印刷，就長期而言，其印刷效率好（印刷份數較多，可降低成本），乃將甚具競爭優勢並受好評。

除了報紙印刷以外，其他印刷，諸如張頁油墨、熱固型油墨、冷固型油墨、商用表格印刷油墨以及凸版油墨等，亦可予以採用黃豆油墨，其效果佳而仍需由各廠商自行密集研究其配方以應其需，在美國從 1989 年以來，其使用範圍逐漸擴大而大約五萬家印刷業者的四分之一，經常使用黃豆油墨，大致 100 家較大的油墨廠商至少生產一種黃豆油墨產品。除了美國，在歐洲、澳洲、日本、韓國、等諸國亦經推展使用黃豆油墨，並繼續促銷中。

在日本，大豆油墨的使用剛起步，在經美國黃豆協會的宣導，每年的消費量已超過 900 公噸/年，日本規模較大廠家，將其全球的電器製品的包裝說明、型錄均採用大豆油墨印刷，同時也在印刷品上顯示〝Soy Seal〞標誌。目前在日本已有 230 家油墨廠生產黃豆油墨並已有 175 個單位使用它。東洋油墨公司及板田油墨公司在日本生產黃豆油墨並在台灣設有分公司，另從日本總公司進口日製黃豆油墨在台灣銷售並貼有〝Soy seal〞環保標誌，以宣示對環保的關心。

〝Soy Seal〞環保標誌是經由美國 National Soy Ink Information Center 授權

美國黃豆協會（American Soybean Association，簡稱 ASA）辦理，以顯示黃豆油的工業上新環保用途。使用該商標，只要依〝Soy Seal User Agreement〞登記則可，並不需任何費用。標示〝Soy Seal〞如常使用回收再生紙，均附有〝回收紙張〞標示，以顯示愛惜資源與重視環保的觀念與共識而使用〝Soy Seal〞係顯示該油墨或 印刷品，係採用由永續可再生的植物性黃豆油為原料製造的油墨，可謂新環保油墨，利於宣示環保政策與觀念並促銷產品。

〝Soy Seal 標誌〞

〝標示採用黃豆油墨印刷〞　　〝標示含有黃豆油墨〞

圖 4.1-3 大豆油墨使用標誌圖

在台灣，黃豆油為食用油脂的龍頭，扮演甚重要的角色，約佔總植物油脂消費市場的六至七成。食用油脂的需求穩定而且飽和，將可進一步開拓黃豆油的工業利用，使植物油脂更為貢獻工業界並利於環保。國內於近年也由相關單位協助(如印刷工業技術研究中心)協助推廣大豆油墨於國內印刷產業，目前亦有部份廠家投入使用，成效頗佳，雖在技術上上有待突破之處，但植物油墨將是未來國內環保油墨的另一項主要選擇。

E.溶劑減量

(A)溶劑回收

凹版及彈性凸版印刷對象常為非吸收表面，因此常使用溶劑蒸發乾躁型油墨，這類溶劑包含酮類、酯類、醇類、醚類等，這些佔 70~80%以上的溶劑，若任由自由揮發至大氣中，不只構成環保上的問題，對人體及火災事故也構成威脅。因此，設置溶劑回收系統，不只有利環保、降低對人體危害，同時可防止火災，回收之混合溶劑也可販售作其他用途，所得可做為運轉費用。另活性碳吸收法回收，亦為行之已久的回收方式。輪轉平印機的烘箱，可使油墨快速蒸發、氧化、重合乾躁，同時已把大量高沸點

溶劑蒸發出來。其他凹版、彈性凸版、網版印刷工廠，若溶劑不夠回收成本，可考量使用觸媒法進行燃燒或二次燃燒，使排放出的廢氣不含有害成分，同時產生熱能可供公司熱水、沸水系統使用；更可作為冷凍吸收法的冷氣來源。若產生能量可推動2~50W發電裝置，則用途更廣。不過，應十分小心火災、氣爆發生，在安全上要嚴加注意。

(B)清洗溶劑選擇

清洗溶劑廢氣來源特性係平版、凹版、網版油墨清洗溶劑或一般清洗用煤油及柴油於清洗時所排放之揮發性物質，其主要成分包括苯、戊烷、己烷、庚烷、醇類及醚類等。於國外印刷機維修清洗溶劑以及油墨調墨用溶劑是禁止混合使用，對於印刷機維修溶劑部份甚至要求使用50 g/l或以下的揮發性有機化合物清潔劑，因此對於清洗溶劑上之選擇，應注意使用。

F.改善水槽液

(A)降低異丙醇含量

平版印刷中水槽液蒸發產生之廢氣包括了傳統水槽酸液蒸發、異丙醇蒸發、或膠液蒸發異味，水槽液主要蒸發之揮發性有機物成分為異丙醇(IPA)；目前國內多採用較低異丙醇成分之替代合成液，氣態污染已逐漸降低。國外以管制水槽液中易揮發之異丙醇含量為主要防制措施，同時含量低或不含異丙醇之水槽液由於技術上可行，因此對於使用可行之水槽液將成為製程改善之重要方法之一。此外若使用無水平版印刷則完全可免除此一污染來源。

一般業界亦採用免酒精水槽液，可降低印刷機水槽液酒精含量至5%以下，同時目前異丙醇含量由10%降至2%以下作為主要目標，在水槽液本身無揮發性有機物之含量下，則可有效降低揮發性有機物逸散。其他有關水槽液防制處理技術則包括可使用水槽液低溫冷卻循環系統減低水槽液及酒精的蒸發，或於發生蒸氣之地點進行直接抽氣，在排出前可利用活性碳進行吸附及除臭。

(B)無水或無醇平版印刷

無水平版印刷是一種沒有水槽液（或稱潤版液）的平版印刷技術，由於沒有潤版液，因此也就沒有揮發性有機物之逸散。此外，相似的技術包括有無醇平版印刷，則是將異丙醇用乙醚、乙二醇及其他添加劑的混合物

來代替。這種酒精替代品揮發性較小，燃點高同時無刺激性，為另一種環保型的印刷潤版液。目前國外已發展相當成熟之醇代替用品，主要係異丙醇含量之減少，同時印刷速度仍可維持一般的醇類印刷。

4.2 PU 合成皮

台灣合成皮業生產製程係於三十年前，由永豐公司自日本所引進，屬於多溶劑型製程，排放大量揮發性溶劑(如甲苯、丁酮及 DMF 溶劑)，依據環保署統計資料，其 VOCs 總排放量約與全國石化業之總排放量相當。

基於環保壓力，不同類型的環保型樹脂，紛紛躍入市場，如高固成份(固成份 80% 以上)，UV 固化及粉體塗裝等，由於水性樹脂因加工與應用和既有的溶濟型樹脂相容性高，目前已成為最具有潛力的替代品。在美國水性樹脂平均市場佔有率達 30%，而特殊接著及室內塗裝更高達 63%及 80%以上，水性樹脂現在及未來都是塗料或油墨的主要結合劑（bindor）。

ISO 14000 的全球性環境管理推動，要求產品從設計製造、運輸、行銷，甚至回收，都必須符合環保意識，使得有效降低 VOCs 公害，成為由西而東的全球性共同趨勢。符合環保趨勢之產品，將擁有市場。水性油墨之溶劑含量可小於 5 wt%（重量百分比），對公害防治係最具有效果的印刷油墨，同時對火災及作業者的安全性高，水性油墨依其形態有水溶性型、乳化型、膠體分散型及漿狀型等。依樹脂分類有壓克力樹脂、PU 樹脂、環氧樹脂、胺基樹脂等。由於合成皮之組成為 PU 樹脂，印刷油墨以同一樹脂材料，親和性最佳。水性油墨在目前塗裝設備（如滾輪、刮刀、烘箱及離型紙等）均可使用，而其問題主要在乾燥較慢，塗佈流變性較差，及高表面張力是塗裝上須克服處。應用水性塗料作為合成皮油墨，易產生的缺點及克服方法如下：

(1)水蒸發慢，塗裝時不易蒸發，需配合紅外線加熱乾燥，或增加風速或熱風量。

(2)水的黏度太低，塗膜厚度不均、厚度太薄及塗裝時塗膜易產生氣泡，可添加流變改質劑、平坦劑、消泡劑予以改善。

(3)基材表面附著雜物等，易產生凹陷或反撥，可透過潤濕劑使用，避免塗膜反撥問題。

1.降低 VOCs 排放

PU 合成皮降低 VOCs 排放之常見方法計有下列四種：

(1)活性碳吸收法

(2)水洗、萃取、蒸溜法

(3)燃燒法

(4)濕氣硬化無溶劑貼合法

(5)水性 PU 法

前三種方法為管末處理法，後兩種方法則屬於製程改善技術，其特點為在製程中避免使用溶劑，可減少管末處理之困擾。

(1)活性碳吸收法係利用活性碳將溶劑吸收，活性碳吸收設備分為固定化床及流體化床，前者利用薄片式活性碳，固定於吸收塔中，將溶劑吸收後，須再經處理才可達到溶劑削減效果，吸收之丁酮因揮發性高，須立即回收處理，以避免火災。 流體化床回收法利用顆粒活性碳在吸收塔中流動，將溶劑吸收，可同時進行回收及再生，依據美國環境保護署資料顯示，活性碳吸附系統可吸收多種溶劑，唯不適用於處理含有酮類(如丙酮、丁酮等)的廢氣。酮類會在活性碳上進行散熱聚合反應，阻塞活性碳的孔徑而使活性碳的吸附容量變小，降低系統的效率。

(2)水洗、萃取、蒸溜法係將溶劑溶於水中再蒸餾回收，唯只適用於水溶性高溶劑，如 DMF 等。丁酮及甲苯等溶劑則因水溶性低而無法有效回收。國內業者設備之 DMF 溶劑回收率可達到 96%至 98%，回收設備費用約 600 萬元。

(3)燃燒法係將廢溶劑蒸汽收集後，以燃燒塔燃燒，燃燒後產生二氧化碳，易造成二次公害。

(4)第四種方法係以無溶劑濕氣硬化聚氨酯當接著層，由於接著層不含溶劑，無污染，屬於治本方法。業者原有設備仍可沿用，所增加設備為熱融機及塗佈機。此一方法配合水性當作皮膜層，可大幅降低溶劑排放，整條生產線之溶劑削減率可達 96% 以上。

2.水性 PU 合成皮製程

PU 合成皮製程所使用之為溶劑，如丁酮(MEK)、甲苯及 IPA 等，所佔比率共約佔 80%。在塗佈後，須再經過烘乾處理，將所有溶劑蒸發，平均製造一碼合成皮須使用 350 克溶劑，亦即排放 350 克溶劑至大氣中，造成大量 VOCs 污染，以全台每年九千萬碼為產量為單位基礎，每年會有三萬噸的有機溶劑排放，環境污染量相當。

業界改用水性樹脂時，所遭遇的最大問題為乾燥速度低，生產速率約降低至原來生產速率之 1/2。主要原因係水的蒸發潛熱較其他溶劑為高，約為常用溶劑之 4-5

倍，如表 4.2-1 所示。

表 4.2-1 各類溶劑之蒸發熱量

性質 溶劑	沸點 (℃@760mmHg)	蒸發潛能 (cal)	相對蒸發速度	表面張力 (dyne/cm@20℃)
水	100.0	540	40	73
甲苯	110.6	86	190	29
間位二甲苯	139.1	83	70	29
甲醇	64.5	263	370	23
丙醇	82.3	162	200	23
正丁醇	117.7	139	45	24
醋酸乙酯	77.1	88	410	24
醋酸正丁酯	126.5	74	100	25
丙酮	56.2	120	550	24
甲乙基酮	79.6	165	370	25
甲基丁基酮	115.9	85	150	26

3.PU 合成皮紅外線乾燥方法

PU 合成皮業界在合成皮之溶劑乾燥時，所使用之乾燥系統為熱風烘箱。該系統係靠空氣當熱傳媒介，藉熱傳導方式傳遞熱能，熱能利用率低，僅 35%。藉助輻射快速乾燥技術，可大幅提高水性油墨印刷速度。輻射線與傳統熱風乾燥速率比較如圖 4.2-1 所示，其乾燥速率約為傳統熱風乾燥速率之 30 倍，對合成皮業界使用水性油墨印刷極有助益。

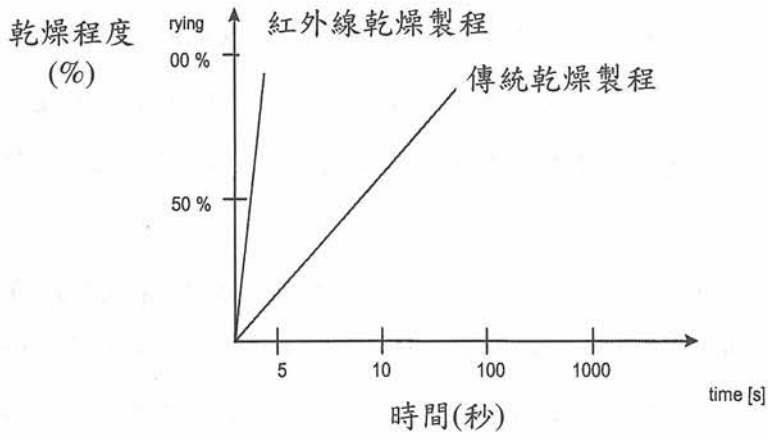


圖 4.2-1 輻射乾燥與傳統熱風乾燥比較圖

傳統聚氨酯合成皮之乾燥烘箱，是利用對流的方式加熱，由於緊附在塗膜表面的空氣界面層，有絕緣的效果，故加熱的速度緩慢；紅外線加熱是利用聚氨酯塗膜吸收紅外線電磁輻射而發生熱傳導的特性，達到加熱物質的目的，避免加熱熱傳媒介(如空氣)，造成能量的損失，係非接觸式熱傳導。由此可知，紅外線加熱乾燥比傳統的熱風加熱更可以有效縮短加熱的時間，依業界經驗，紅外線加熱乾燥速率約為傳統烘箱乾燥速率之 3 倍。除此之外，利用紅外線進行加熱尚有下列優點：

(1)紅外線具有穿透能力，能將聚氨酯塗膜內部及表層同時加熱，傳統的合成皮係以熱風加熱，其熱量的傳遞是從被加熱物體的表面往內部逐漸傳送，因此物質內的溫度分布不均，表面溫度極高，而紅外線具有內外同時加熱的特性，因此被加熱物內部及表層之溫度較為均勻，可增進塗膜的品質，如圖 4.2-2 所示。

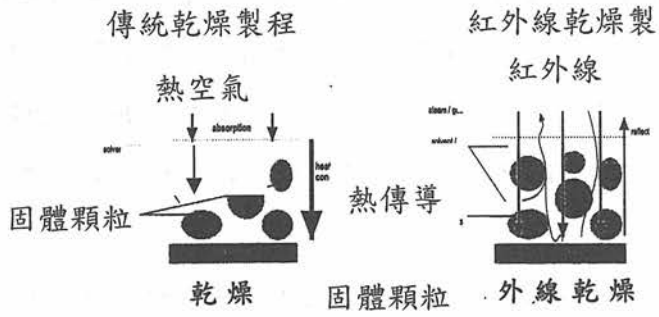


圖 4.2-2 傳統乾燥及紅外線乾燥示意圖

(2)直接輻射式加熱，不需熱傳介質的傳遞，故加熱效率較佳，加上內外同時加熱，可大幅縮短加熱乾燥的時間，並可防止乾燥時氣泡及針孔等缺陷的產生。

(3)可局部加熱：能直接加熱塗膜，減少對不需加熱的物體加熱，節省能源，例如爐體空氣、爐壁及爐體週邊等，故可節省不必要的能量消耗，也可提供較舒適的工作環境。

(4)單位面積內的熱傳輸量大，故紅外線爐體的尺寸遠小於傳統合成皮業的熱風烘箱，可節省爐體的建造費用及設備的空間，且組合、安裝及維修等均較簡單容易。

(5)加熱過程較乾淨，無塵埃附著於塗膜的表面，乾燥後的塗膜品質較佳。

(6)溫度的控制容易且迅速，燈源關閉後即停止加熱，較具安全性。

紅外線加熱系統的設計首先要從聚氨酯塗膜加熱製程的觀點來看，以產品的能源消耗及產品品質為依據，配合合成皮上下游的製造流程來應用紅外線技術。以下是在應用紅外線技術的注意事項：

(1)需要熱風輔助系統及通風排放系統之密切配合，提高紅外線乾燥效率。

(2)傳動系統的設計，使塗膜能依實際需要在設計規格下得到最佳的加熱效果。

(3)選擇適當的控制系統以配合上述各項裝置率，其乾燥速率約為傳統熱風乾燥速率之30倍，對合成皮業界使用水性油墨印刷極有助益。

選擇適當的輻射源亦是成功應用紅外線加熱技術的必要條件之一，市售的紅外線輻射源輻射器的種類很多，有燈式、管式、板式、帶式、圈式及其它特殊型式，不同熱源的紅外線輻射源的結構也有不同，目前最常見的是電熱式紅外線輻射器有：

(1)電器式紅外線加熱器是利用電流通過電阻而發熱，高溫的電阻器以輻射電磁波的方式將能量傳出，最常用的電阻器有鎢絲和鎳鉻絲，鎢絲溫度可升高至2,200~2,500℃，輻射的電磁波穿透石英玻璃外殼後傳至被加熱體，主要型態有紅外線燈泡、鹵素紅外線加熱燈管(T3燈管)、板式紅外線加熱器及管棒狀紅外線加熱器等幾種形式。

(2)燃氣式紅外線加熱器則包括了多孔性陶瓷板燃燒器、強力瓦斯紅外線加熱器、遠紅外線管式加熱器及遠紅外線板式加熱器等4種形式。

由輻射原理來看，輻射能在空間擴展為球狀，輻狀強度隨距離平方成反比，在實際應用時除盡量縮短輻射器與被加熱物體的距離之外，需使用適當的反射器以提

高效率，而反射器按不同需要可作成各種不同形式。良好的反射器應選用對紅外線反射率高而吸收率低的材料，一般採用鋁板，鋁板反射性高，價格也較便宜。

改良印刷製程係以水性油墨塗佈於 PU 合成皮上，再以輻射線快速乾燥技術，開發環保型 PU 合成皮印刷製程。

4.紅外線乾燥系統在 PU 合成皮的印刷塗佈乾燥實驗

(1)設備

A. 塗佈機：德國 usvlab 公司製，型號 1100，印刷寬幅 30cm， 印刷輪網目為 160mesh。

B.乾燥機：紅外線燈管五支，波長 1.6~3μm，燈管長度 405mm，功率 80KW/m^2，燈管離合成皮表面距離 50mm。

(2)塗佈方法

A.合成皮(10cm^2)經塗佈棒(濕塗膜厚 3 條)塗佈後，於塗佈機輸送帶上送入紅外線乾燥機中乾燥，速度為 30~90m/min。

B.連續式 PU 合成皮為已商業化 60cm 寬幅塗佈機及乾燥。

5.紅外線乾燥系統在 PU 合成皮的塗佈實驗結果

德國紙張塗佈機係將塗佈機之輸送帶上，裝上紅外線燈座，共裝三組燈座，每組燈座內含 10 枝燈管，加熱效率極高。PU 合成皮經塗佈水性油墨，塗佈厚度為 0.03mm，其乾燥速率可高達 60m/min，測試結果如表 4.2-2 所示。

表 4.2-2 水性 PU 乾燥結果

塗佈速度 (m/min)	塗佈厚度 (mm)	乾燥	備註
30	0.03	合格	
60	0.03	合格	
90	0.03	稍黏手	試片取出經冷風吹乾後可全乾

在塗佈作業中之樹脂裝料盤寬度會影響溶劑之剩餘逸散量，若採用不同寬度之樹脂裝料盤，可避免樹脂之浪費。在塗佈較窄之基材時，可於裝料盤末端溝槽內加裝一寬度適當之塑膠、木材或金屬板予以調整，以減少樹脂之浪費及逸散。塗佈饋料槽之攪拌方式應採機械攪拌取代人工攪拌，並以密閉方式進行操作，以減少溶劑

之揮發；此外，饋料槽與樹脂裝料盤之輸送管在每一批次操作完成後，殘餘於管線間之樹脂均會損失而無法再使用，因此，縮小輸送管之管徑亦可有效減少樹脂之損失。再者，若塗膜的厚度以自動化監控方式，亦可減少不良品之產生，即減少樹脂及其他原物料之浪費。

幅射線乾燥方式直接將水性 PU 之水分子加熱，未將空氣加熱，熱傳遞效率高，使合成皮水性 PU 乾燥速率達到 35~60 m/min，不亞於溶劑型油墨之印刷速率。合成皮水性 PU 具有良好之物性，如 Tape 測試、耐乾濕擦拭性、耐刮性、不黏手性及外觀等皆符合成皮業者之規格要求。水性 PU 之溶劑含量僅佔 5%，相較於溶劑型 PU(80%)，其 VOCs 之減量效果達到 90%以上。

4.3 塗裝業

表面塗裝業對於揮發性有機物之減量技術包括製程改善及管末處理，如表 4.3-1 所示，而製程改善技術可自選擇低或無有機溶劑型塗料與使用高塗佈效率塗裝設備著手，本節針對塗料、塗裝方式等製程改善與作業措施管理進行介紹。

表 4.3-1 表面塗裝作業之揮發性有機物減量技術

減量技術		控制方式	控制效率(%)	
			粒狀物	揮發性有機物
製程改善	低或無有機溶劑型塗料	高固型塗料	—	40～60 以上
		水性塗料	—	90 以上
		粉體塗料	—	95 以上
	高塗佈效率塗裝設備	靜電塗裝	—	60～80
		電著塗裝	—	90
		浸漬塗裝	—	90
		粉體塗裝	—	100
集氣及尾氣理設備		乾式噴漆台(濾網)	65 以上	—
		水洗式噴漆台		
		旋風集塵機	70	
		袋濾集塵機	90～99	
		濕式洗滌塔	90	
		直接焚化爐	—	90 以上
		觸媒焚化爐	—	90 以上
		活性碳吸附塔	—	70 以上

資料來源：行政院環保署，溶劑清洗暨塗料製造使用及貯存空氣污染管制規範研訂計畫，民國 83 年。

尋求低揮發性溶劑以符合嚴格的管制法規是污染減量的重點之一，但此項目標尚無法適用在所有塗裝產品上，甚至會影響既有產品之品質，因此還無法普及化，但是由於環保法令日趨嚴格，綠色產品、清潔生產也成為世界各國所重視的課題，因此，世界各國的塗料業者也多積極研發更低毒性、低污染及高附加價值的塗料產品，例如許多毒性的顏料如含鉛及鉻的顏料，可以部分不含重金屬的顏料取代，如黃金氧化鐵取代鉻黃。然國內的塗料製造技術雖已迎頭趕上世界水準，但對於高附加價值及低污染性塗料的研發工作仍多依賴國外的技術轉移。

1.塗料的減量方法

要解決塗裝業產生 VOCs 之問題，根本之道是使用低或甚至無溶劑之塗料。所謂低溶劑塗料包括水性塗料及高固型（high solid）塗料；多酯樹脂塗料是與溶劑一起凝固而形成塗膜的特殊塗料，而稱為無溶劑塗料，而一般所稱之粉體塗料亦屬無溶劑型塗料。但由於一般使用溶劑之塗料種類多、效果佳，較能符合大多數塗裝之需求，目前尚很難以低或無溶劑塗料完全取代之，這是值得塗料製造業繼續研究開發的。

此類型之塗料包括低溶劑塗料與粉體塗料，使用粉體塗料之控制效果最佳，為95%以上，而使用水性塗料則略差，約為 90%以上。然而粉體塗料在施用後必須經烤箱高溫烘烤，在被塗物之材質上有所限制；而水性塗料則在乾燥速率、耐候性與光澤度上一直為使用者所垢病。因此，在塗料的應用上仍以溶劑型塗料為主，表 4.3-2 為使用各種低或無溶劑塗料塗裝時，其 VOCs 排放之減低情形。

表 4.3-2 各種低／無溶劑型塗料應用時 VOCs 排放之減低情形

低或無溶劑塗裝技術		應用之行業			VOCs 排放減低比率(%)		
		家電	金屬家具	其他金屬製品	家電	金屬家具	其他金屬製品
粉體塗料		上塗或僅塗此層	上塗或僅塗此層	經烘乾後僅塗此層或上塗	95～99	95～99	95～98
水性塗料	一般塗裝	所有塗裝	下塗、上塗或僅塗此層	經烘乾後僅塗此層、下塗及上塗；自然乾燥後下塗及上塗	70～90	60～90	60～90
	電著塗裝	下塗	下塗	經烘乾後僅塗此層及下塗	90～95	90～95	90～95
高固成分塗料		上塗或僅塗此層	上塗或僅塗此層	經烘乾後僅塗此層及上塗；自然乾燥後之下塗及上塗	60～80	50～80	50～80

資料來源：經濟部工業局，塗料工業及塗裝工程技術手冊，1996 年。

由於工業的高度成長，為避免以往石油危機的重現，以及能符合日益嚴格的環保要求，對於與塗料相關產業所使用之溶劑，必須設法降低或替代其使用，以朝向製造低公害、省資源和省能源的塗料方向發展。以日本而言，在塗料體系發展中，水性塗料方面已有大幅成長；而在美國，不揮發成分占 70%以上之高固成分塗料成長較多。

以污染減量的角度而言，VOCs 污染一直是環保單位重視的課題，也同時是傳統塗裝業者最頭痛的污染問題，而從製程之污染源頭進行改善，包括(a)原物料的改善、(b)塗裝技術效率的提昇及(c)塗裝產品品質之提昇等方法，皆為有效的方式。

原物料的改善，包括低污染溶劑或低污染性塗料的替代，就目前業界常用的低污染性塗料主要包括(a)高固成分塗料、(b)水性塗料(含電著塗料)及(c)無溶劑型塗料(包括粉體塗料、常溫硬化塗料、紫外線硬化塗料)三大類，以下則以污染減量的觀點對於上述三大類塗料及低污染溶劑進行討論。

(1)低污染塗料用溶劑

溶劑在塗膜形成過程中蒸發而逸散到大氣中的揮發性有機化合物，因其本身即為惡臭物質，或會因光化學反應而生成空氣污染物，影響人體健康及污染環境。而早在 1953 年，Shumit 博士證明了光化學大氣污染主要原凶乃是排入大氣中的 VOCs 物質與氮化合物在空氣中起了光化學反應所致。

A.如何選擇低公害溶劑

美國加州於 1970 年試驗 50 種 VOCs 與大氣中存在之活性物質（以羥基(-OH)代表）之反應，發現反應速度因不同物質而有極大差異。若與甲烷的反應性比較，乙烷為其 33 倍，丙烷為其 270 倍，甲苯為其 750 倍，乙苯則為 1,000 倍，以量化的數據界定了不同溶劑造成大氣污染之程度。而 VOCs 與羥基之反應速度，可分成 5 級，可作成不同反應性指標，數字越大其反應性越大，造成光化學污染的可能性也越大，因此這些溶劑的公害性相對就較大。所以選擇溶劑的原則，應擇取反應性較低之溶劑。

B.替代性有機溶劑之使用

傳統有機溶劑的選擇，多以其重要物性為主，如溶解力、揮發度及一般性質（如比重）等，另外單價亦為多數業者重要考慮因素。美國加州洛杉磯於 1966 年通過 66 號法案，規定光活性有機溶劑排放標準後，1985 年成為聯邦法案。其為確保環境空氣品質，規定油漆業者，必須另找低污染的有機溶劑取代現有高污染溶劑，如芳香烴溶劑、含支鏈酮類溶劑和三氯乙烯等溶劑。另外也規定光活性溶劑之使用上限值如下：

(A)含烯屬烴或雙鏈環烯烴之醇類、醛類、脂類、酮類和醚類等混合溶劑允許量為 5%體積比以內。

(B)八個碳數以上芳香烴含量（乙苯除外），不得高於 8%體積比。

(C)乙苯、酮類異構物、甲苯、三氯乙烯等混合溶劑，含量不得高於 20%體積比。

(2)使用低公害塗料使用

A 高固成分塗料

塗料中溶劑含量高低受應用之樹脂黏度高低的影響，樹脂黏度愈高者所需之稀釋溶劑愈多，然而樹脂屬於高分子產品，分子量愈高其穩定性及耐候性愈佳，同時黏度也愈高。國外高固型低黏度之樹脂的研發已有多年，國內亦積極在開發中。據國內樹脂製造業者表示，黏度不變之產品已無困難，但使用此種樹脂所能降低之塗料中溶劑含量相當有限（約為 3～7%），若要大幅降低塗料中溶劑含量尚需降低樹脂之黏度，以降低塗料塗裝時溶劑之稀釋比，而此類樹脂的生產技術已逐漸突破中。

(A)常溫乾燥型高固成分塗料

有些業者認為高固成分雖無法確定固成分須占多少以上才可稱為高固形塗料，但至少都比一般傳統溶劑型塗料所含的溶劑要少，一般業者也會依照塗裝產品的需要及塗裝設備的配合逐量提高固成分的含量，以避免影響塗裝產品應有的品質。而高固成分化的塗料也同時因應市場的需求，可以用來改進塗膜外觀或塗膜厚度需求，亦可同時減少有機溶劑的使用，降低揮發性有機化合物的污染。

a.揮發乾燥型（噴漆型）塗料

此型塗料為藉溶劑蒸發而形成塗膜的塗料，包括硝化纖維素噴漆，丙烯酸噴漆，氯化乙烯基(vinyl)樹脂塗料、氯化橡膠塗料等。為了形成塗膜只有讓溶劑蒸發，主成分於乾燥後就形成連續膜。若使用高分子量的樹脂，樹脂要溶解必須添加多量的溶劑，此時固成分變低，塗裝時又需使用多量之溶劑，因此為達高固成分，樹脂低分子量化（低黏度化）是必要的；但大幅度地降低分子量，塗膜性能會變差。故此類塗料可小幅度削減溶劑，但不能期待其大幅度提高固成分。

b.氧化聚合型塗料

油變性醇酸樹脂與展色劑樹脂是不飽和狀態，可以採雙重結合，而塗裝後因為氧化聚合並進行高分子化而形成塗膜，而油性塗料、鄰苯二甲酸樹脂塗料等均屬之，而漆基樹脂的分子量較低，容易被溶劑所溶解，且本身黏度較低。例如目前固成分 50%的鄰苯二甲酸樹脂塗料，若以降低樹脂分子量等手段，將可提高 10～15%的固成分；若想更大幅削減比10～15%更高的溶劑用量，將同樣會產生塗膜性能變差的問題。

(B)高固成分塗料之應用

高固成分塗料是低揮發性有機化合物塗料中與傳統塗料之特性相近者，因此技術問題比較少，為一般所採用的塗料。

a.主要樹脂

使用聚酯(polyester)和丙烯酸樹脂(acrylic resin)為主要樹脂。為避免高固成分化後，因樹脂的低分子量及低黏度，使得塗膜的物理和化學性能降低，必須於選擇各種單體(monomer)的組合時，兼顧低黏度化及塗膜性能。此項努力並驅使業者發展新的樹脂聚合技術。

b.交聯劑

以往多使用丁基(butyl)化三聚氰胺(melamine)樹脂，目前則主要為低黏度化的甲基(methyl)化三聚氰胺樹脂。但基於性能的考慮，常使用兩種樹脂併用之甲基、丁基樹脂做為交聯劑。

三聚氰胺樹脂比主要樹脂黏度低，以往主要樹脂和交聯劑的比率為70：30，高固成分化後，三聚氰胺樹脂之比率提高至 40～50%，以求低黏度化，但亦有耐酸性等性能變差之問題。

c.硬化觸媒

以往在丁基化三聚氰胺樹脂塗料的硬化時，若樹脂的酸性度大則有助於其硬化；使用甲基化三聚氰胺樹脂時，要促進硬化，則必須要有強的酸觸媒。另外添加有機酸會使儲藏安定性變差。在一定溫度下，要安定地儲存，必須有潛伏觸媒使結塊劑游離，而此種觸媒已有進行實用化之各種檢討，希望開發出較低溫能解離、室溫能安定之潛伏觸媒。

d.顏料分散劑

塗料的黏度受樹脂的分子量所支配；然而使用吸油量多的顏料也會使黏度明顯上升。顏料若能分散至一次粒子的狀態，則可保持安定，使黏度上升較少，故顏料分散劑的開發上，須考慮到其對塗料經常性的黏度變化之影響。

e.流變調整劑

塗料的低黏度化、高固成分化，在塗裝時，容易產生垂流（漆病），也容易受基材和環境污染的影響，產生縮孔和溝狀腐蝕等塗膜缺陷，因此塗料要以無機或有機材流變調整劑來保持適度的觸變性。特別是非水分散性粒子(NDA)和細膠粒子調整劑的開發，使金屬底漆塗裝作業效果有顯著提升；若沒有適當調整劑的開發，金屬漆的高固成分化可以說是無法實現的。

f.其他材料

除前五項外，為了高固成分化，尚有選定適當樹脂和親和力高的溶媒，以降低黏度，並發展出反應性稀釋劑擔任硬化反應時的架橋。但這些溶媒的臭氣、毒性及反應性稀釋劑容易使性能變差等因素，均造成選

用上的困難。經由紫外線吸收劑、光安定劑的開發和改良，使得高固成分化塗料的耐久性也獲得改良。另外，可防止清漆龜裂之助劑的開發，亦有助於清漆的高固分化。

B.水性塗料

(A)水性塗料的定位

水性塗料是利用水的特殊性質代替有機溶劑為溶媒；然而如何消除於塗裝上因水而產生的缺陷則是技術革新的關鍵。以日本在水性塗料的發展為例，自牆壁用的乳膠漆出現後 10 年，也就是 1965 年後，溶劑型塗料被取代一部分，塗料溶劑用量約佔 80%；而在 1985 年後，又增加了電著塗料，此時已使塗料中溶劑用量降至約佔 60%，這對減少有機溶劑有實質的成效。水性系統塗料泛指以水為溶劑之塗料，包括乳化型、分散型、溶解型等，目前之發展可概分為(a)乳化塑膠漆、(b)水性水泥漆、(c)水性環氧樹脂漆、(d)水性聚胺基甲酸樹脂漆、(e)電著塗料、(f)水性烤漆、(g)水性硝化纖維素噴漆及(h)水性醇酸樹脂漆。

(B)水性塗料的優點

水性塗料的優點包括(a)無火災之危險且塗裝之安全性高(b)少有有機溶劑之毒害及臭味的產生、(c)塗裝時不需再添加溶劑稀釋，較為經濟、(d)塗裝器具清洗簡單、(e)塗料設備、塗裝器具不易腐蝕、(f)可應用於能獲致較優性能之滾塗、噴塗、靜電塗裝、電著等各種塗裝。

(C)水性塗料的缺點

水性塗料的缺點包括(a)廢水之處理成本較高、(b)部分顏料被限制使用在水性塗料，如紅丹、甲苯胺紅、鉛白、鹽基性硫酸鉛等、(c)儲存安定性較差，儲存時間較短，較易膠化、(d)使用之水質需先經純化或離子交換後方可使用，增加管理成本、(e)水性塗料耐清潔劑較差、(f)被塗物件表面之質地處理要求，通常比溶劑型嚴苛、(g)水的蒸氣壓低，塗膜硬化需較長時間、(h)水的表面張力大，不易浸濕物體表面，亦影響塗膜流動性。

(D)烘烤型水性塗料的發展

a.電著塗料

汽車用的底漆，是以陽離子電著之環氧異氰酸酯系為主，目前主要

的研究方向包括零件塗裝的邊緣防蝕性之改善、漆液中所含之 3～6%以上的有機溶劑量之減少、鉛系顏料的減量應用、低溫化（130～140℃）烘烤等技術。底面合一(one coat)系塗料大都是丙烯及聚酯樹脂的基材，和三聚氰胺樹脂硬化的陰離子系。從濃至淡的面塗顏料已用於鋼製家具、電氣機器和器具上。具光澤但不鮮艷的清漆則用作鋁窗，鋁框的最終塗覆材。矽烷醇(silanol)系、氟素系等新材料的改善，可利用濕對濕方式來縮短工時，實現厚膜化及多色化。另外，特殊之水性分散體的調製技術複合粒體、聚合技術面之擴大、高分子的水中分散和電氣傳動組合之新技術，則尚待進一步研究。

b.水性噴漆烘烤塗料

由於揮發性有機化合物之管制愈趨嚴格，除汽車用中塗漆是使用水性烘烤塗料外，在歐洲和美國已發展至將水性噴塗用於上塗底漆。以往的上塗底漆為求輕打、輕拍性的效果，使用多量的有機溶劑，以含鋁磷片低固成分濃度塗料來塗裝，目前已有可應用之水性塗料，且其有助於精整效果。另外，採超高速迴轉之外部荷電塗裝機，藉由排水處理設備，閃乾爐等設施，亦可減少揮發性有機化合物產生，但高級的精整則需要高精度的溫、濕度管理。未來趨勢將一面謀求提升超耐候性和耐酸雨性，一面進行上塗清漆之水性化。

一樣的水性塗料，將因使用要求、塗裝流程、塗料中的樹脂之分散狀態、中和劑的沸點、溶劑合宜的親水性程度、保護膠質、分散劑、乳化劑、界面活性劑的不同會有不同的效果。另外，對鋼製結構物、橋樑、船舶等之屋外大型金屬被塗物，水性化的演變緩慢，主要是因其要求厚膜、抗蝕、長耐久性，但目前多液型的塗料有相當的進步和普及。高機能樹脂之氨基甲酸酯、矽丙烯、氟素系均有水性化之塗料產品，此方面的技術開發相當熱門。

c.無溶劑型塗料

(A)粉體塗料

由於粉體塗料全部未使用揮發性有機化合物塗料，有助防止有機溶劑的大氣污染，並改善塗裝時作業環境的安全，為未來有利塗裝方法，但仍要注意塗裝工程的合理化、自動化及塗料回收再利用的技術。

粉體塗料大致可區分為二，一為較早期使用之聚乙烯(polyethylene)、胺化乙烯基尼龍(vinyl nylon)等熱可塑性粉體塗料，主要採流動浸漬塗裝，有超厚膜被覆的特點；另一種為環氧樹脂、聚酯樹脂、丙烯酸樹脂、環氧聚酯樹脂等熱硬化性粉體塗料，主要採靜電塗裝，可視為目前溶劑型烘烤塗料使用範圍的延伸。而粉體塗料使用比率最高者為歐洲，其次為北美。為因應環保要求，以及改善塗裝環境，未來應會有高成長。

a.粉體塗料的種類、品質和用途

粉體塗料之平均粒徑在流動浸漬塗裝的場合為 100～250 μm，靜電塗裝的場合為 30～40 μm，粉體塗料須依用途和使用環境來正確選擇樹脂。目前在粉體塗料發展上，必須面對的課題如下：

(a)品質：薄膜塗裝化（30 μm 以下）、低溫烘烤化、外觀品質的提升、高藝術性粉體（精整用金屬漆等）的開發。

(b)塗裝作業：高塗裝效率系統之開發、顏色更換的簡易化、短時間化。

(c)塗料製造：開發小批量之合理生產系統、調色和色組合之精確度的提高。

b.粉體塗料常見問題、可能原因及解決對策請參考附件資料。

D.無溶劑（液狀）塗料

無溶劑塗料可分為液狀和粉體兩型，以下就前者加以敘述，其又可分為常溫硬化型塗料和紫外線硬化型塗料。

(A)常溫硬化型塗料

無溶劑化的可能性，主要視可否供給低黏度的液狀樹脂，對象為塗料使用的展色劑。塗料用展色劑（樹脂）有許多種類，能供給低黏度素材之樹脂有限，以環氧樹脂之低黏度樹脂之種類較多；另外，環氧樹脂以外之不飽和聚酯樹脂系之無溶劑型塗料也已實用化，以下就環氧樹脂系做一介紹。

a.優缺點

(a)優點：未使用溶劑，揮發分可減少，與溶劑型塗料比較為高固成分者，塗覆量可減少。

(b)缺點：一般之黏度高，需加熱、乾燥慢，可使用時間短，塗裝時需採

兩頭噴槍、使用低分子量樹脂，塗膜硬，柔軟性差。

b.種類

(a)純環氧樹脂塗料：純環氧樹脂(straight epoxy)系中，低分子量環氧樹脂配合一部分反應性稀釋劑，大都以改質胺硬化。在兩頭噴塗方式的場合，主劑和硬化劑的混合比率，容量比約為1：1。

(b)改質環氧樹脂塗料：此樹脂之基本樹脂組成和 a.相同，但因其機能性要求，常要添加未反應性樹脂。

(c)煤焦環氧樹脂塗料：基本的樹脂組成和(b)相同，主要是再添加煤焦，但未來為因應衛生要求，可考慮脫煤焦化。

(B)紫外線硬化型塗料

紫外線硬化型塗料（UV 塗料）是以感光性樹脂為基材的反應硬化型塗料，硬化程度是以秒為單位。

a.優點包括：

(a)超速硬化。

(b)高固成分；大部分未使用溶劑，能減少揮發物。

(c)生產速度快。

(d)能源之成本便宜。

(e)製品處理之時間短。

(f)低溫硬化，適用材質廣。

(g)設備占有面積小。

(h)納入生產線之可能性高。

(i) 品質可改良。

b.缺點包括：

(a)較一般樹脂貴。

(b)用途有限制，如厚膜、影子的部分和不透明材料之硬化問題。

(c)要考慮處理的安全化。

(d)技術的限制，如硬化深度及禁止和氧作用。

(e)黏度高，在噴塗時要用溶劑稀釋。。

(f)低沸點單體的處理問題。

(g)單體對皮膚的刺激性。

(h)收縮率大，可能影響密著性。

(i) 加入著色顏料，塗料可能有膠化性問題。

UV 塗料依硬化機構可區分為自由基(radical)聚合型、自由基加成型和陽離子聚合型，其優缺點如表 4.3-3 之說明。

表 4.3-3 紫外線硬化型塗料分類及其優缺點比較

分　　類	低聚物(oligomer)		優　　點	缺　　點
自由基聚合型	不飽和聚酯		・價格便宜 ・厚膜美觀	・膠化性差 ・易脆、附著性差
	丙烯酸酯系(acrylate)	環氧丙烯酸酯	・硬度高 ・金屬密著性高	・耐候性差 ・可撓性低
		・胺基甲酸酯 ・丙烯酸酯	・可撓性、附著性高 ・耐候性佳、光澤鮮豔	・硬度低
		聚酯丙烯酸酯	・分子量範圍大	・可撓性低
自由基加成型	多烯(polyene)／多硫醇(polythiol)系		・強韌、耐候性 ・氧氣障礙小	・惡臭、價格高
	螺環烷(spirane)系			
陽離子聚合型	環氧樹脂		・密著性、硬度範圍大 ・沒有氧氣障礙	・不適做厚膜

資料來源：工業減廢技術手冊-塗料工業及塗裝工程，經濟部工業局，1996 年。

2.塗裝作業改善

(1)塗裝工程改進

塗裝技術改進主要是針對製程設備技術方面，因此往往藉由安裝更有效率的製程設備，或改進現有的設備及製程，而使物料更為有效地利用，如此一來也可降低產品不良率或減少廢氣產生量，其改善的方法可由 A.工程、裝置改善、B.設備、管線及配置改善、C.自動化的方向著手。

A.工程、裝置改善：重新設計製造程序、設備、或改變其操作條件等。

(A)儘量以單一設備生產單一產品，如此可以大幅降低因配方改變時之人工換裝、清洗時間及各項間接成本，及廢氣產生。

(B)利用貯存槽加蓋、在槽內充填氮氣、用冷卻裝置等方式，皆可減少揮發性

有機化合物的逸散。

(C)可藉由增設槽壁機械式裝置，如橡膠或機械式刮板等，清除槽壁或管壁之附著漆垢，除可提高產品品質及生產量外，並可減少清洗溶劑之用量。

(D)槽壁加襯氟碳樹脂(teflon)材質，可減少油漆的附著，並增加其排放速度及程度，提高清洗效率，減少清洗溶劑的用量。

(E)採用高壓式清洗油漬，其可減少鹼液、用水或溶劑的使用量近80～90%。

B.設備、管線及配置改善

廢氣的產生，有時是因為設備的老舊破損所造成之滲漏所引起的，而設備、管線的設計或操作不當亦會增加廢氣產生的機會，因此在進行改善時，必須要檢修儀器及設備後，確認其效率及管線的配置是否得當，必要時在進行經濟效益評估後，可增設儀器或汰換設備加以改善，其改善的方式可使用塑膠或發泡的小球清洗管線，利用小球可將黏著於管壁的塗料推擠出來，可增加產率並減少管線清洗溶劑的用量。

C.自動化

採用程式控制的自動化批式作業，可以減少人為所造成的誤失，提高生產效率、減少不良品及減少廢氣產生量。

(2)噴塗作業改善

噴塗是各種塗裝方法中，較為普遍被工業界所樂於採用的方式，包括手動及自動噴塗，因為其塗裝效果比刷塗要佳，而且速度較快，適合於量產或大面積的被塗物之噴塗作業。然而由於一般傳統有氣式的噴塗，需添加較大量的有機溶劑，而且其噴塗效率較低，產生過量噴塗及塗料浪費的情況較嚴重，不但造成浪費，也危害了人體健康及環境的污染，使其經濟效益也跟著降低。因此有採用無氣式(airless)噴塗、靜電噴塗等塗裝法相繼推出，與傳統的空氣式噴塗比較起來，不但可節省了大量藉空氣霧化所浪費的塗料，而且塗裝效率也較佳，尤其是採高價高功能塗料時，所產生的影響更大。以下就各種噴塗的種類及方式做詳細的介紹：

A.噴塗作業的種類

(A)有氣式噴塗

有氣式噴塗是最傳統的噴塗方式，主要原理是藉壓縮空氣使塗料霧化

的一種作業方式。然而，以整套的傳統噴塗裝備主要包括壓縮空氣的各式壓縮機及各式噴槍，以及油水過濾裝置、調壓閥與排氣之空氣輸送軟管（耐高壓耐溶劑型）等附屬組合才屬完整，而且每個配備對於噴塗最終效果而言，都具有無比的重要性。

a.空氣壓縮機

若依冷卻及壓縮方式，空氣壓縮機可分為氣冷式、水冷式、無油式、螺旋式及渦捲式等不同型式，各業界可依作業供氣機具及清潔除塵、除水之需予以妥慎抉擇。

水分的去除對於塗裝後塗膜的品質有絕對的影響，最常使用的方法是將壓縮空氣以水冷或氣冷方式冷卻，再經冷凍乾燥機及精密過濾器等裝置去除水分，以確保潔淨的供氣來源，應用在氣動設備等機具及作業環境上。

b.加熱設備（裝置）

各種紅外線乾燥裝置，可應用之減廢技術如下：

(a)紅外線乾燥器之燈泡要使用照射率高之燈泡。

(b)反射板的反射性要良好，最近研究結果以鍍黃金者 IR 反射最佳。

(c)有效地利用對流作用及反射板大小，控制適當的電燈所達成的溫度，並適時切斷，以節省大量電源。

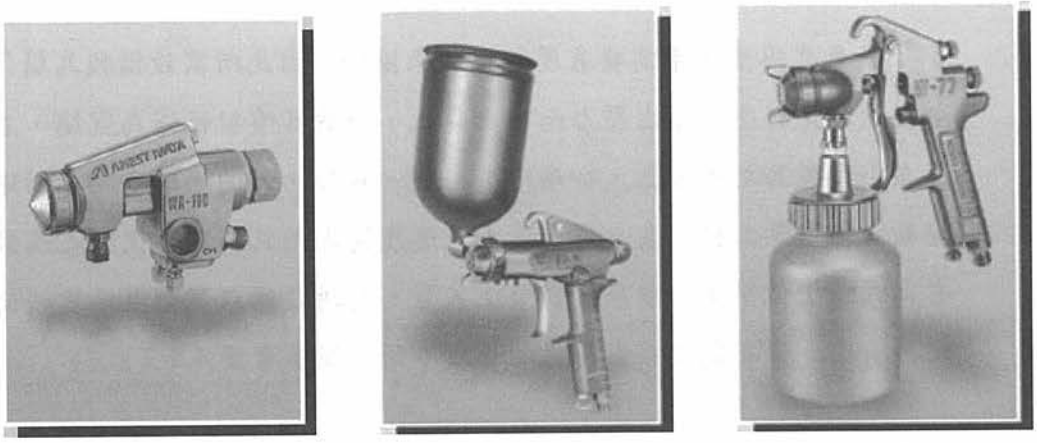
(d)利用最小限度的通風換氣，除去溶劑蒸氣和水蒸氣，確保塗裝品質與安全。亦有一種遠紅線之裝置，其原理與紅外線相同，但利用其不同波長之熱幅射原理，且其熱效應較紅外線佳，國內不少廠家之乾燥裝置亦普遍使用。由於為不可見光，使用時要注意安全。

(e)另有瓦斯紅外線裝置，效果相當不錯，且在電力能源上使用較節省，不少廠家亦相繼使用，以降低生產之成本。此種產品國內已能自製，且品質亦相當不錯，欲大量使用之廠家，在成本上似可考慮以其代替，使電力利用上較為划算；甚至於將這些熱風回收，用於生產線之水洗乾燥或靜置區之昇溫用，可節省大量能源。

c.噴槍

噴塗依塗料供給的方式不同而有不同的作業方法，其施工對象亦不

同。一般而言，可將其分為重力式、吸上式、壓送式三種，噴槍各型式之功能特性大致如下(圖 4.3-1)：



壓送式　　重力式　　吸上式

資料來源：http://www.athc.com.tw/Anest-1d.htm

圖 4.3-1 不同型態噴槍示意圖

(a)重力式：塗料容器較小，機動性極強，用在少量多色或補修的場合，非常方便作業，但要常補充塗料。

(b)吸上式：介於重力及壓送式之間，容器杯較大，歐美人士經常採用，東方人較不愛使用；可用於較大物品的噴塗作業。

(c)壓送式：塗料供給量大，適用於不經常換色且量又大的生產線上；有些較刻苦的業界不利用氣壓供給塗料，直接將塗料置於高處，利用重力亦可將重力式變成類似壓送式，然而這終究不是真正的壓送式。

此型甚至於可以結合流量控制計，使用在二液型自動混合的作業上，或者利用塗料泵，以管路閥控制，而成一循環供料及清洗系統，塗料並可集中配料及管理，提高工作效率與成品之品質。此法廣用在汽車、五金零件廠，或依各人所需，配合自動化系統以自動噴槍及機械手臂來進行噴塗作業，在節省人工、減少污染及避免危害上成效斐然，值得業界效行。

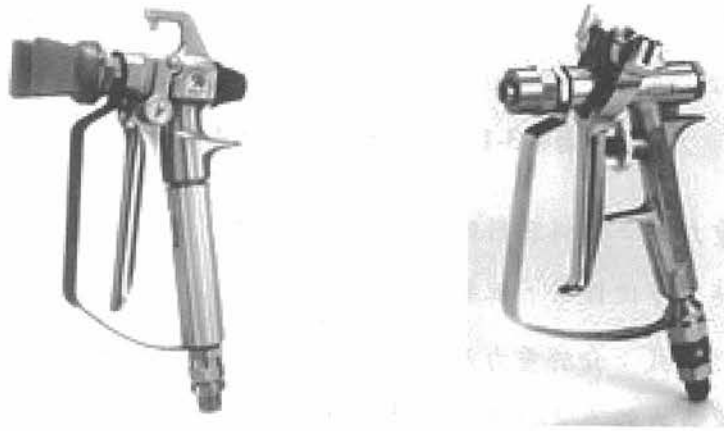
d.高黏度噴槍

高黏度噴槍係使用於其它一般小型噴槍無法噴塗時，例如建築塗裝水泥砂漿，汽車底盤防鏽、防蝕塗料、遊艇不飽和聚酯高黏性塗料等噴

塗，都少不了高黏度噴槍。由於它具有空氣調節鈕、塗料調節鈕、塗料加壓調節鈕等功能，可控制塗料粒子粗細，應用極廣。

(B)無氣式噴塗

無氣式噴塗並不需要靠壓縮空氣來協助，因此所需設備較為簡化，其主要原理是將塗料藉由壓力而噴出霧化，由於其噴射幅極為寬闊，並不適用在小型製品之作業上，卻廣用於船體、貨櫃、大的構形建物、新建物的牆面、地板等工程塗裝。作業量大及速度驚人為其特點，塗料之逸散也較有氣式噴塗低很多，惟無氣式噴塗裝置，需藉泵浦以高壓壓縮塗料使之霧化再噴出，與有氣式吹出霧化的原理不同，請參考圖 4.3-2。



資料來源：http://www.bfcoating.com/complicate.htm

圖 4.3-2 無氣式噴槍

一般無氣式噴塗裝置可分為電動、氣動及油壓縮驅動各型。雖然推動柱塞的能源不同，其作用卻不外乎霧化塗料使之進行噴塗。此外亦有加熱式無氣噴塗循環裝置可供業界選用，採此種噴塗方式的優缺點如下：

a.優點包括(a)塗料噴出量大，作業效率較高，附著效率可達 60～80%、(b)可噴塗較高黏度之塗料，並得到均勻的塗膜、(c)稀釋比較低，一次塗裝即可達到較高的膜厚、(d)不直接用壓縮空氣，故油分及水分不易滲入塗料中、(e)噴出之塗料較不易回彈，可節省塗料用量。

b.缺點包括(a)無法如有氣噴塗般，任意調整塗料噴出量、(b)始噴和終噴階段壓力過低時，噴出之粒子較不均勻、(c)含多量體質顏料之塗料，容易

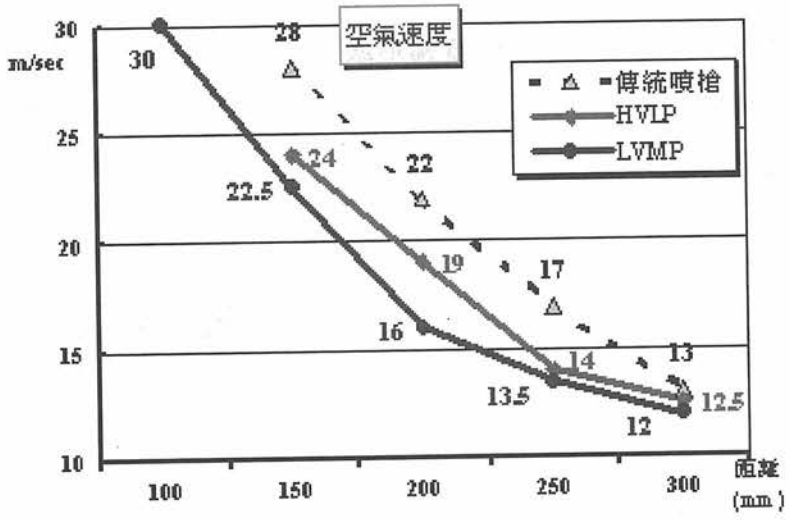
導致噴嘴之阻塞、(d)塗料噴出量大，不適合小型物、少量物或形狀複雜之被塗物，否則不但操作不易更會造成浪費、(e)因高壓作業，必須加強作業人員教育。

(C)其它改良性噴塗

有氣式噴塗雖然其設備的價格最便宜，但是一般噴塗效率大約只有30%至40%，因此容易產生超量噴塗的現象，不但造成塗料的浪費，也影響到週遭環境及現場操作人員的健康，因此才會陸續發展出許多高效率及低耗能的塗裝設備來取代傳統的噴塗方法。為了改善一般噴塗時塗料霧化所逸散出之塗料浪費，而研發出其他較高效率及省能源之噴塗方式。

a.空氣混合補助式(air-mix-asistant)噴塗：此噴塗方法主要是讓塗料一方面藉由較低的壓力，另一方面仍以空氣壓力霧化塗料，藉以提高塗料之附著效率，一般而言，效率約可達70%-85%左右。

b.高流量低壓式(high volume low pressure；簡稱HVLP)噴塗，與一般傳統噴槍塗著效率不同之處在於空氣的速度，兩種噴槍的空氣自氣帽中瞬間噴出時，幾乎一樣且皆在音速範圍；然而當距離噴槍 200mm 左右時，HVLP 噴槍的流速就與傳統噴槍有極大的不同(參考圖 4.3-3)，控氣數度較傳統噴槍少 3m/sec，因此噴塗距離較小時，其塗著效率較佳，一般效率約可達80%-90%(圖 4.3-4)。



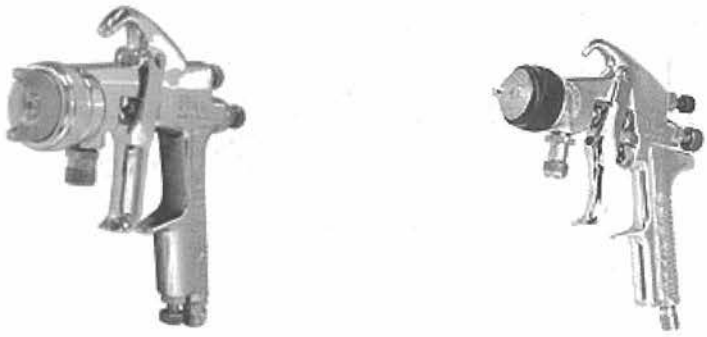
資料來源：http://www.bfcoating.com/Devilbiss.htm

圖 4.3-3 傳統噴槍、HVLP 及 LVMP 之性能曲線比較圖

資料來源：http://www.bfcoating.com/Devilbiss.htm

圖 4.3-4　HVLP 噴槍示意圖

c.另一種較新型噴槍為低流量中壓力(low volume medium pressure；簡稱LVMP)噴塗，此種噴槍即使塗料霧化壓力高於HVLP噴槍，也使用較少量的空氣，但是速率同在200mm的距離時較低，其塗著效率則可比HVLP更勝一籌，一般效率約可達90%以上，且其對塗料微粒化效果也更好。LVMP這類超微霧化所噴出的性能高之微粒化(0.7kgf/cm^2)塗料，塗料之附著率佳，也改善了一般霧化所產生的回彈效應，的確是業界一大福音。現時幾乎世界各知名噴槍生產廠商，如：西德Sata、美國Devilbiss、Bink、Graco、日本Iwata、Meiji等亦相繼推出，功能大同小異的類似產品，皆能符合潮流並應業界所需；當然我們也希望業界使用這類能省料、省錢及降低污染的新產品，惟價格稍貴，但僅以品質而言則是相當值得。其主要作用可分為兩個階段：(a)在空氣帽和噴嘴之間的小空間，塗料與空氣在此充分混合，造成噴幅形狀，由空氣帽噴出。(b)由側邊空氣帽所噴出之空氣撞上塗料之噴幅，而促使其更進一步霧化，使塗料形成高微粒化(圖4.3-5)。



資料來源：http://www.bfcoating.com/Devilbiss.htm

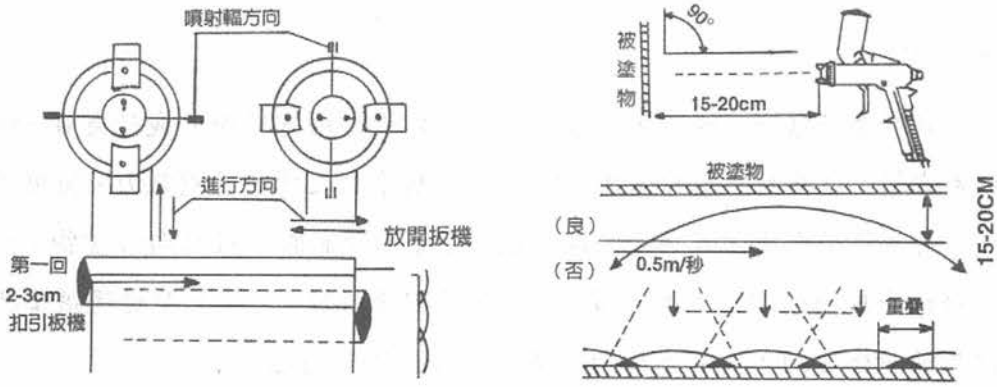
圖 4.3-5　LVMP 噴槍示意圖

B.噴塗作業技巧改進

除了從提昇塗裝設備本身著手外，亦可視其需求由噴塗作業的技巧上著手，比如可採加熱型之熱噴塗方式，此方式可分為兩種改良方式，一種是將塗料預先加溫，以塗料溫度升高而黏度下降的特性取代有機溶劑之添加；另一種方式則是預先將被塗物件加溫至塗料最佳展開之溫度，依樣也可以有效提昇塗膜之展開性及增加塗膜的流動性，一般常應用在固成分小幅提昇的噴塗作業，但其應用範圍則需視塗裝產品及塗料本身的需求而定，其最佳操作參數往往也需要業者自行試驗，才可找出最佳化的操作點。

傳統之有氣式噴塗及各種高效率噴塗作業，雖然在塗料供給方式、霧化條件、塗料出量及作業速度上雖有不同，但施塗時之操作要領與技巧卻大同小異，正確的噴塗觀念及良好的塗裝技巧，往往也是造成塗裝品質好壞的重要關鍵，故不將其分開說明。正確的噴塗作業如圖 4.3-6 所示。

另外在對各種噴槍所產生的塗料形狀判定上，可以參考圖 3.2-7 其中以圖中第一種的形狀最標準，其他各種產生之不良塗料形狀皆有其產原因，因其原因相當廣泛且複雜，難以一概而論，因此建議其相關之改善對策可參閱各操作手冊或實務經驗進行排除。



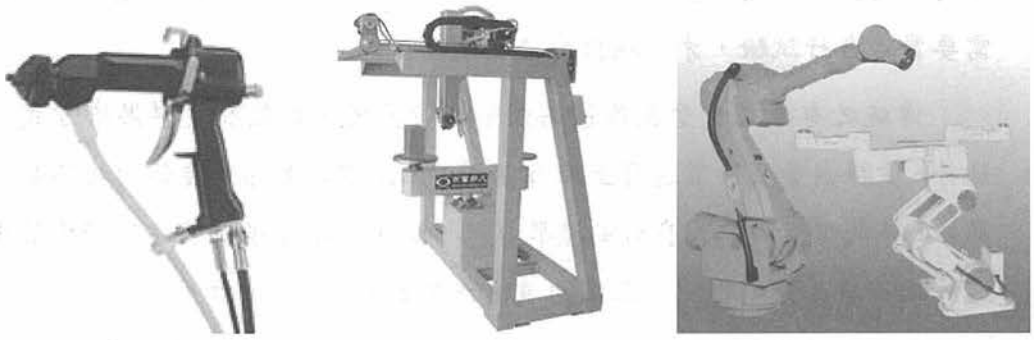
資料來源：工業減廢技術手冊-塗料工業及塗裝工程，經濟部工業局，1996 年。

圖 4.3-6 正確的噴塗作業示意圖

C.污染減量及省能方法

噴塗作業之污染減量，應以正確之噴塗設備選用及其正確操作為主要改善方向，其可行方案包括(a)以高效率的螺旋式代替傳統往復式壓縮機，以節省能源、(b)空氣壓縮機應設自動裝置，以節省不必要的電力耗費、(c)經常保

養機具設備，延長使用年限並確保塗裝品質、(d)儘量採 HVLP 噴槍代替傳統式噴槍，以節省材料及能源、(f)儘量採用較高固成分的塗料來施塗，可減少塗布次數、(g)清洗機具容器後之廢溶劑要進行回收再用、(h)排氣後之粉塵或漆渣應進行處理，避免污染、(i)工廠可規劃全自動作業系統，增加產量消除污染減少浪費、(j)熟練機具操作及施塗技巧，能節省不必要的浪費，以及避免因操作不當帶來的危害及損失，如用手指摀無氣式噴嘴頭即為危險且須導正之習慣。



手動式　　定置式　　自動式

資料來源：http://www.bfcoating.com/complicate.htm

圖 4.3-7 不同執型態靜電噴塗示意圖

3.塗裝技術改進

(1)靜電塗裝

在靜電噴塗時，被霧化的塗料粒子得到過剩的電荷而變成帶負電，被塗物接地為中性，這相反的電荷造成帶電塗料與被塗物之間的靜電吸力。使用靜電噴槍時，塗料粒子從噴槍或得電荷及動能，噴塗時塗料粒子被拉向被塗物而吸引，使塗料粒子飛過被塗物之機會減少，增加了附著效率，也使一些通過被塗物的帶電粒子做曲線運動，轉彎而回到被塗物，就是所謂的包覆效果。

A.分類

依靜電噴塗之方式，可將其分為(a)定置式：如槍體固定裝置，定時定量噴出者屬之、(b)手持式：如需由人手持噴槍噴塗的方式，均稱之及(c)自動式：如往復（機）自動噴塗或機械手臂之噴塗。以上三種方式各具特性，手持式噴塗具機動性，但需要具備較高之技術素養，新手要一段適應期間，塗裝的好壞靠感覺與經驗行之；而固定式及自動式，則全靠設計及管制的正確與精密性得之，經常屬工廠自動化控制作業系統之一。

若以塗料霧化之方式區分時，靜電塗裝又可分為(a)空氣霧化、(b)壓力霧化、(c)離心力霧化、(d)靜電力霧化及(e)磨擦力霧化等型式，各種方式無所謂好壞之分，均視業者本身需求而定。

B.優缺點

靜電塗裝在歐、美、日及一些工業較先進的國家裡，是一種應用廣泛與普及各行業塗裝的方法之一，其原因是由於它具有的優點包括(a)節省人力資源：在導入自動化系統時，可節省大量人力、(b)作業具快速性：配合輸送帶作業時，可以大量量產化之特點、(c)節省塗料用量：具靜電吸引包覆效果，噴塗效率佳(90%以上)、(d)塗裝產品品質穩定性高：噴塗作業程式化能使被塗物塗膜厚度均勻一致、(e)改善作業環境：塗料逸散較傳統噴塗方法少，可有效提高工作環境品質。

國內近幾年來也已普遍接受並採用靜電塗裝的方法，因此原本不能導電的被塗物如木材、塑膠等製品，也想盡辦法讓它能導電而利用此法來進行施塗，像使木材之含水率維持 7%以上（木材平衡含水率原本就具足此條件），或將塑膠製品進行表面處理來滿足靜電塗裝要件;甚至於粉體也可進行靜電方式的塗裝作業。

另外，在靜電塗裝前，塗料與稀釋溶劑極性的選擇、塗料微粒化、噴出量多寡、周邊附屬設備裝置、安全措施等的認知，以及設備的選用與掌控，也是不可或缺的。雖然，靜電塗裝能更進一步地將其導入自動塗裝系統，進行量產化、高效率的塗裝作業，但仍有下列各項缺點，包括(a)設備裝置費用較高昂、(b)塗料及溶劑具選擇性、(c)尖端部位厚度會增大、(d)邊隅死角處要補塗裝、(e)使用高電壓靜電，必須加強安全教育等，也是業者於換裝前必須考慮的因素。

C.靜電塗裝的技巧

靜電塗裝時，定置式及自動式的作業與手持式有較大的差異性存在，前二型著重於機具設備的應用、調整與管理，整個作業系統都可在精密計算後，以自動程序控制，爾後再做人工的補塗;後者則較具不定性且依對作業的熟練度，而有不同的塗裝成果及效率，主要操之在持靜電噴槍者手、眼上。其優點是具機動性、方便性、判斷性和即刻修正性，同時其機具設備之價格也較前者經濟。

不論是採何種靜電塗裝方式，其塗料、稀釋溶劑、輸送帶、周邊裝置、品質管理、作業安全、缺陷處理、保養維修等都具有同等的重要性及大同小異的互通性，應予正視。在此，將其分為塗裝前、塗裝時、塗裝後說明如下：

(A)塗裝前

塗裝前最重要的事莫過於檢查，只要是與整個作業有關的東西及事務都要仔細且認真的檢查，其內包括被塗物狀態、塗裝步驟、輸送帶系統、塗裝室狀態、往復驅動裝置、高壓電源裝置、塗料供給裝置、噴槍、空氣供給裝置、自動控制系統、照明系統、乾燥系統、安全配備等裝置是否正常，業界可視各人所需，將上列各項作一檢查表，每日作業前逐項檢視並予劃記管理，至於詳細的檢查項目可參考廠商提供之操作手冊。

(B)塗裝中

在塗裝要進行時，若屬新塗料系統或新樣被塗物，應該做試噴的檢查工作，包括 a.靜電包覆性試驗：即可得知塗料的帶電效果。然後據以校正調整塗料及稀釋劑，以求得最佳的塗膜效果、b.噴幅、塗型的調整：由噴嘴角度、大小及型式組合位置來加以妥善地調整，包括塗料黏度、出漆量、電壓、噴塗距離、電氣霧化時之旋轉極轉速、杯之大小、空氣霧化時之氣壓、噴嘴輔助構造等，均有所影響，最主要目的是要得到最佳的靜電包覆塗裝效果，尤其是對定置式及自動式更是重要。

(C)塗裝後

靜電塗裝後所需注意的事，以調整及整理最為重要。不僅是作業場所、周遭環境的清潔打掃、機具、設備塗料及稀釋溶劑等也應注意維護，重點包括塗料應妥當保存並加蓋、加溫乾燥時溫度與時間之控制、塗裝室之確實清掃、關妥電源、檢視成品、所有器物歸定位及在必要時可繪製技術條件之管制圖或統計表，以利後續作業及管理工作。

(D)污染減量及省能要點

靜電噴塗比有氣噴塗或無氣噴塗之作業更節省塗料。雖然其初期投入設備及裝置的經費也較它法為多，但以企業長期經營利益的整體性考量而言，是值得業者來投資。從整個系統而言，包括靜電塗裝前之前處理作業及電著塗裝作業在內，由於設備裝置大小的不同，其設計管制要點都不盡相同，但可從幾個方面來著手進行污染減量工作：

a.輸送帶：將單軌單向式輸送帶，更改為多功能用途之可調式輸送帶可節省裝置費用。

b.整體裝置：選擇最需要、最適用、最自動化程度、最高級、最經濟的裝置，避免不必要的浪費；對未來功能需求擴充亦要一併考慮，以免爾後不能相容的狀況發生。

c.換色裝置：具快速換色及清洗功能者，能節省大量因清洗造成的有機溶劑污染與人工浪費，對需做多色替換與操作裝置，更可考慮採行。

d.霧化裝置：不管圓盤式或圓杯式的靜電塗裝，可由改良其霧化效果，增進塗裝品質，減少塗料浪費著手，可採用改良型的溝紋渦輪圓杯以達上述效果。

(2)電著塗裝

電著塗裝（簡稱 ED），是將水溶性帶有正或負離子的塗料，施以直流電使之電著於金屬表面，再經水洗、乾燥過程使之堅牢地附著於被塗物面的塗裝方式稱之。電著塗裝在整個塗裝工程上很像電鍍，從前處理到作業原理，乃至成品，兩者有極相似之處，故有人稱電著塗裝為電泳塗裝或電鍍塗裝。尤其是新的電著法之一是電鍍與電著塗裝的複合化，另外也有高附加價值的電著塗裝法，在塗裝後具有一般塗裝法所沒有的特性。電著塗裝之所以能為廣大業界所接受，因為其具有下列特點所致：

A.塗膜的附著性良好，均勻而完全，縱使複雜的形狀及凹洞、邊緣、隙縫都可以完整包覆。

B.因為是水性塗料，可以在水溶液的狀態下塗裝，與前處理流程相續一貫化，無火災危險的顧慮，符合作業環境安全要件。

C.可作自動化設計，不需人為特殊技術能力，只需依規劃管理查核，即可達到製程合理化。

D.塗料有效利用率（塗裝效率 95%以上）比其他塗裝方式更好。

E.一次即可達到所需膜厚，密著性、耐候性、防蝕性均佳。

(A)分類

a.陰離子電著塗裝(AED)：

AED（anionic electrodeposition coatings），因為被塗物是在正極，故

亦稱 anodic ED。美國 Ford 汽車於 1963 年起應用於汽車底漆開始，至今仍廣泛用於須具較高光澤平坦面之鋁製品、小五金零件、照明燈具、家電產品上。

b.陽離子電著塗裝(CED)：

CED（cationic electrodeposition coatings），由於被塗物置於負極，有時稱其為 cathodic ED。1976 年由美國 PPG 公司成功推出，並獲執牛耳的地位，因其防鏽力甚佳，故用在較需防蝕特性的被塗物時，比 AED 更佳。此外，一些欲得到不反光的產品如：車殼雨刷、自行車、車輛零件，甚至於鋼鐵、鋅、鋁合金之電子零件均能適用。

(B)電著塗料之種類

業界常用的電著塗料可分為下列幾種，包括陰離子丙烯酸樹脂型(AA)、陰離子油性基樹脂型(AO)、陰子碳酸樹脂型(AC)、陽離子及環氧樹脂型(CE)、陽離子胺基樹脂型(CA)及其他如 PU、silicone、含氟之 FEVE 型（主鎖型）、PFAC（氟丙烯樹脂）等機能性電著塗料。

選用電著塗料必須注意其是否具有下列特性，包括塗料安定性良好，不生膠化或分離現象、塗膜形成之成分不變，可長期連續施工、塗膜不易氧化，溫度稍變亦能安定、塗料靈敏度不可過高，應具較大包容性、塗料中之顏料，無上浮或沈澱現象發生、電著塗膜的均勻平坦性及包覆性良好。

(3)粉體塗裝

電著塗裝及粉體塗裝皆是塗裝界的偉大成就，值得學界及業界予以重視並發展。粉體塗裝於 1950 年代，在美國與歐洲幾乎同時推出。不過前者用來做功能性的絕緣塗裝，後者則應用在防蝕性裝飾目的上；1960 年代後則廣為業界所使用。

A.優缺點

我國從 80 年代起，小五金業界產量較暢銷，為應加工所需，此時大量採用粉體塗裝方式者，數量增加，加上國人亦自行開發一系列的塗裝設備配合供需。粉體塗裝之所以能有如此的發展，除了具高性能的機具設備外，工作簡單化也是特色之一，其具有之優點包括產量高、能源成本較低、施工容易、遮蓋性佳、清理費用低、節省塗料儲藏面積、粉體取得容易及不含有機溶劑。

然而粉體塗裝也有如下幾項缺點，使用者不得不事先予以考量，包括有粉塵爆炸的可能性、塗膜流動的平坦性較溶劑型差、膜厚較高，不易薄塗作業、塗料不易調色，需熔融後比對、被塗物凹部不易形成充分塗膜、需要回收裝置及考慮換色裝置，通常設備費用較高。粉體塗裝雖一次就能達到 100 μm 以上之厚膜，目前粉體製造業者已有致力改善塗膜厚度之降低努力，但對低膜厚平坦需求的塗裝物，以及不能高溫乾燥的製品較不適用；對小五金、汽車零件卻非常適用，但無法代替所有的塗裝方式。

B.分類

粉體塗裝可分為將被塗物加熱產生吸附的浸漬方式，及利用靜電的粉體靜電塗裝方式；前者可配合流動床作業，例如影印機就是，後者有各式的裝置及設備組合，甚至於可規劃完全自動化作業系統，相當先進與省人力。以塗裝方式又可細分為流動浸漬法、靜電吸著法、粉體熔射法、分散噴塗法、散布塗裝法及靜電噴塗法等。上述各法各有其特點，目前以靜電噴塗所規劃而成的自動化靜電粉體噴塗裝置系統，及一般手持式噴槍最為業界所採用。

C.粉體之回收

業界常使用旋風分離器回收，這也是最經濟的回收方式，但以此法回收時需注意幾個重點，包括(a)粉體塗料粒徑不均、(b)多色塗裝時，回收粉適用問題、(c)換色時機具之清潔困難、(d)換色時間過長等問題，均為業者需納入考量的問題。

另外一種較符合經濟要求且快速換色之粉體回收裝置，其特性有(a)在裝置上有一組粉體過濾回收裝置，使整個集塵部分具可活動性，且具換裝容易及保養方便、(b)具多組塗料過濾回收裝置，換色快速，且分開收集不同色塗料，回收再利用價值較高。

4.4 膠帶業

膠帶係運用黏著劑塗佈於基材上而產生黏性，基材要求均勻，伸縮性小的且對溶劑浸潤性好，包括 (1)織物類的如棉布、玻璃布或無紡布等，（2）塑料薄膜類如 PE、PP、PVC、PET 和聚酯薄膜等，(3)紙類如牛皮紙、玻璃透明紙等，基材厚度在 0.1-0.5mm 之間，除基材外其組成還包括背面處理、底膠、黏著劑及離型紙，膠帶若是以帶狀形式捲起來時，則離型層可塗在背面，以減小使用時的開卷拉力，如圖 4.4-1 所示；底

膠的作用是增加黏著劑與基材間的黏附強度，以便揭除膠黏帶時不會導致黏著劑與基材脫開而污染被黏表面，並使膠黏帶具有復用性。常用的底膠是使用異氰酸酯部分硫化的氯丁橡膠或改性的氯化橡膠等；背面處理一般由聚丙烯酸酯、PVC、纖維素衍生物或有機矽化合物等材料配製而成的，可以達到隔離的作用，雙面膠帶則須加一層離型紙，如半硬 PVC 薄膜、PP 薄膜或牛皮紙等。

運用在膠帶或自黏性產品常用的黏著劑一般為感壓型黏著劑，簡稱感壓膠，此類黏著劑對壓力敏感，使用時只要輕施壓力即可與各種不同的表面牢固黏合，有運用範圍廣泛及使用方便性等優點；感壓膠以有機高聚物為膠液的基本組成，膠液中除有高彈性物質外，也有高黏附性物質，與其它類型的黏著劑最大不同的地方為於乾燥及室溫下，膠液長期會處於有黏性與彈性的狀態，無需以水、溶劑或熱活化便能產生較強的黏著力，亦稱為不乾膠。

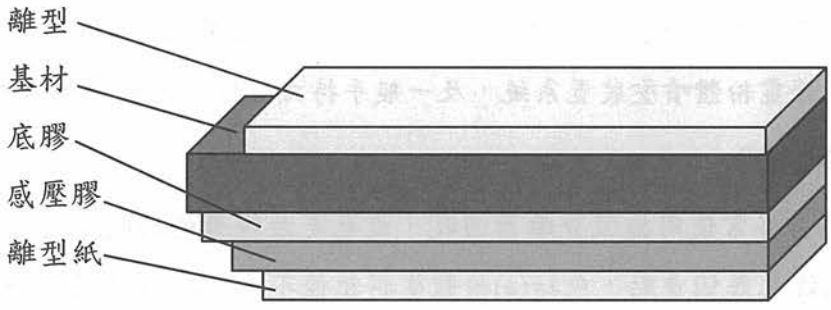


圖 4.4-1 一般常見的膠帶組成單元

若按照膠體的化學組成區分，感壓膠帶主要成分為橡膠型及丙烯酸酯型(壓克力樹酯)兩大類。按照膠體的形態，感壓膠帶主要分為溶劑型（一般稱為油性膠帶）、乳液型（一般稱為水性膠帶）和熱熔型三類。

黏著劑是膠帶或自黏性產品中最重要也最關鍵的組成元素之一，大多數感壓黏著劑所使用的膠體為天然橡膠或丙烯酸酯類，橡膠本身因為黏性很小，故要加入松香、石油類衍生增黏樹脂等後才能與表面黏合，另外，有些製程會加入氫化樹脂，有助於長期耐老化；丙烯酸酯聚合物感壓黏著劑目前用量僅次於天然橡膠，與天然橡膠相比，丙烯酸酯聚合物有許多優點，如對紫外線具良好的穩定性、耐水解、不變色、耐老化及耐變性等。

黏著劑需要按不同的用途及功能來做配方的調整，各種乳液本身的化學及物理性質並不能滿足黏著功能的要求，工廠需要在乳液加工時加入不同比例的輔助劑及添加

劑，常見的種類有增塑劑、增稠劑、增粘劑、溶劑、表面活性劑、pH 調整劑、防腐劑、消泡劑、阻燃劑、濕強劑、吸濕劑、防凍劑、成膜助劑、水及填料等，感壓膠的各種組份、用量範圍、主要作用及其常用材料如表 4.4-1 所示。

表 4.4-1 感壓膠的各種組份、用量範圍、主要作用及其常用材料

組份	高聚物	增黏樹脂	增塑劑	填料	黏度調節劑	防老劑	硫化劑	溶劑
用量範圍	30-50%	30-50%	0-10%	0-40%	0-10%	0-2%	0-2%	適量
主要作用	給予膠層足夠的內聚強度。	增加黏著劑的黏附力和黏結力，賦予黏著劑黏著性。	降低黏附力和內聚力增加耐寒性，易於加工。	增加內聚強度和黏附力，降低成本並賦予其它性能。	調節黏著劑黏度以滿足要求。	提高黏著劑耐老化性能。	使樹脂或橡膠交聯，以增加膠層內聚強度，提高耐熱和耐溶劑性。	調節黏度以利於塗佈。
常用材料	1.天然和改性天然橡膠。 2.合成橡膠，如丁苯橡膠、丁基橡膠、聚異丁烯、氯丁橡膠、丁腈橡膠等。 3.烯類聚合物，如聚乙烯基醚、聚丙烯酸酯、聚醋酸乙烯等。 4.其他，如有機矽、聚氨酯、各種纖維素等。	1.天然和改性天然樹脂，如松香、氫化松香、松香脂、烯樹脂、蒎烯樹脂。 2.合成樹脂，如酚醛樹脂、醇酸樹脂、石油樹酯、古馬隆樹脂、烯樹脂。 3.其他，如中等分子量的聚異丁烯，聚異戊二烯。	1.各種塑料用增塑劑，如鄰苯二甲酸酯、磷酸甲酚酯、癸二酸酯。 2.低分子量的聚異丁烯。 3.其他，如松脂油等。	氧化鋅、二氧化鈦、二氧化硅、氫氧化鋁、碳酸鈣、黏土、澱粉、陶瓷、焦油渣、瀝青等。	蓖麻油、大豆油、液體石蠟、氯化石蠟、甘油、機油、操作油等	常用的各種防老劑。	硫黃、各種硫載體、過氧化物、樹脂等。	汽油、甲苯、二甲苯、醋酸乙酯、醋酸丁酯、甲乙酮等有機溶劑。

資料來源：Pressure-Sensitive Tape and Techniques for its Removal From Paper，By Merrily A. Smith, Norvell M. M. Jones, II, Susan L. Page and Marian Peck Dirda.

目前以溶劑型感壓膠帶市場佔有率最高，且運用範圍也最廣泛，但隨著環保法規及工安法規的日趨嚴格及人們自身健康意識的抬頭，無污染、品質佳及與國際標準接軌的環保型膠帶正逐漸成為主流產品。

現今膠帶業使用的黏著劑因環保及工安的重視，主要有兩個趨向，同時也是未來將快速發展的重點：一是水性化（水性黏著劑），二是熱熔化（熱熔或反應熱熔型黏著劑），當然也不是所有水性黏著劑都是無污染、無毒害的，如尿醛膠和 107 膠也是水性膠，但污染卻很嚴重，因為會釋出甲醛而造成工安上的問題。以下就針

對水性膠帶及熱熔膠帶做相關介紹。

(1)水性膠帶

一般通用型水性黏著劑可分成兩種：(A)溶液黏著劑，及(B)乳膠黏著劑兩種。

A.溶液黏著劑

溶液是由只溶解於水中或鹼性水中的材料所製成，在水中溶解的材料有動物膠、澱粉、糊精、血膠蛋白、甲基纖維素和聚乙烯醇等；在鹼水中溶解的材料有酪朊、松香、蟲膠、醋酸乙烯或含羧基丙烯酸酯的聚合物及羧甲基纖維素等。

B.乳膠黏著劑（復合乳膠）

乳膠是聚合物材料主要在水介質中的穩定分散體，乳膠是兩種或多種不混單體溶液體靠乳化劑使其懸浮而成的穩定分散體，單體被攪拌成小液滴，並在水介質中進行的乳化聚合反應(emulsion polymerization)，得到粒徑約為 0.5～10 微米的聚合物。

乳膠有三種類型：天然乳膠、合成乳膠、人造乳膠。天然乳膠主要是從橡膠樹中得到的物質。合成乳膠是乳化聚合而得到的聚合物水乳膠，這些聚合物有聚氯丁二烯、聚丁二烯-苯乙烯、聚丁二烯-丙烯腈、聚醋酸乙烯、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸酯、聚氯乙烯、聚苯乙烯及聚偏氯乙烯等。人造乳膠是固體聚合物分散而成，包括再生膠、丁基橡膠、松香、松香衍生物、瀝青、煤焦油和大量的石油合成的樹脂分散體。

乳膠黏著劑比溶液黏著劑更有可能取代溶劑型黏著劑。大多數乳膠黏著劑都是由單體聚合產生的，因此配方各異，以使黏著劑有適當的用途和性能。乳膠黏著劑的塗佈施工方法有刷塗、噴塗、滾塗、漏塗、流涎和刮塗等，基本上與溶劑型黏著劑相似。

膠帶依生產製程中所使用溶劑類別的不同，可簡單區分為有機溶劑型（油性膠帶）與無有機溶劑型(水性膠帶)，有機溶劑型水性膠帶生產過程中所使用之黏著劑大多為化學單體經乳化程序聚合成聚合體，再經製膠程序（與油性膠帶製膠程序大致相同）製成所需的原料，流程如圖 4.4-2 所示，膠帶黏著劑常用的單體有 MMA（甲基丙烯酸酯）、AA（丙烯酸）、BA（丙烯酸丁酯）及 2EHA（丙烯酸異辛酯）等，再依所需功能性或物性的差異添加不同比例的輔助劑及添加

劑，水取代了有機溶劑，故有機溶劑的使用量幾乎等於零（少部分有機溶劑使用於機台或每次起機之前的擦拭工作），水性與油性有機溶劑使用量如表 4.4-2 所示；目前水活化型膠帶雖然在臺灣僅有三、四家工廠生產，但世界上已有多家規模較大的廠投入生產並積極研發相關產品，增加產品的耐候性（抗寒及抗熱）、耐水性、耐污染、耐摩擦等。

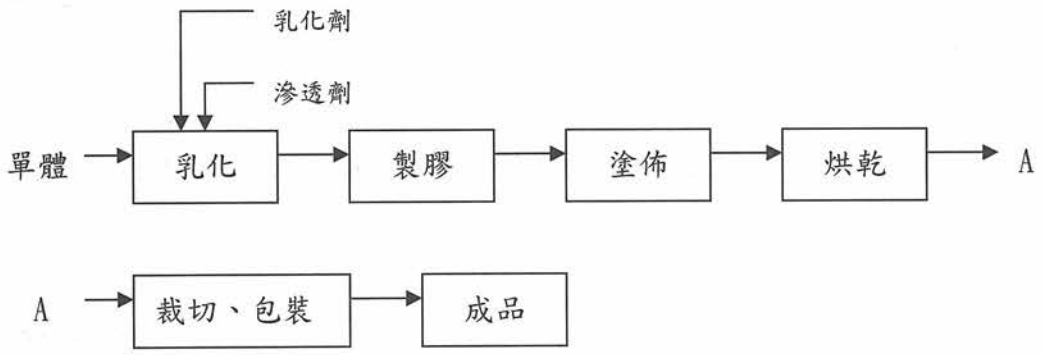


圖 4.4-2 水性膠帶製作流程圖

表 4.4-2 油性膠與水性膠使用有機溶劑比較表

項目	產量 (億 m^2/年)	有機溶劑使用量（萬公噸/年）				排放係數 (g/m^2)
		甲苯	乙酸乙酯	其他	合計	
油性膠	15.1	1.56	3.22	0.24	5.02	33
水性膠	4.9	-	-	0.00014	0.00014	0
合計	20.0	1.56	3.22	0.24	5.02	-

資料來源：環保署固定污染源空氣污染防制輔導案例及執行成效彙編，90 年。

水性黏著劑所製成的膠帶較溶劑型膠帶價格約低 10～15%，即使是便宜的有機溶劑，與水相比，價格也是很高，採用水當溶劑不僅可消除工業安全衛生上顧慮並可兼顧法規；使用有機溶劑時，在處理和操作上需特別裝設通風排氣設施及考量防爆，除此之外，為應付日趨嚴格的空污排放標準，設置揮發性有機廢氣處理設備是必然結果，防制設備價格少則百萬動輒千萬元，運轉後又有操作及維修成本的增加。

但目前溶劑型膠帶比水性膠帶市佔率還是較高，因溶劑型膠帶在耐候性、耐水性、初黏力、保持力、包裝外觀（水性膠帶若使用於含水氣環境下時會變成白色，包裝時外觀不佳）等皆優於水性膠帶，水性黏著劑固含量為 40～50%，而溶劑型黏著劑的固含量約 20～30%，故需要較長的乾燥時間，才能建立黏性強度，

因黏著劑含有大量水的緣故，貯存和運輸過程中必須注意保存及防凍，一般會採用密封或使用氮封，因為可能會造成永久性的腐敗。

目前水性黏著劑所需克服的是黏著劑的問題，聚合物經烘乾後所留下的黏性體(主要為單體及其他添加劑)，但因單體與添加劑並非完全溶合在一起，且乳化劑親水基部分是在外部與被黏物接觸，如圖 4.4-3 所示，故黏性才會大打折扣，尤其是在有水的環境下時，親水基會與水結合，不僅會失去黏性且會產生蠕變，若能克服此問題將單體與添加劑做充分的混合與溶合，水性膠帶的運用範圍將更廣泛，效能將再提升，畢竟黏性膠帶已經發展有五十餘年，而水性膠帶的歷史才十餘年，水性膠帶目前的使用大部分還是以民生為主，至於工業用的膠帶還是以油性為主。

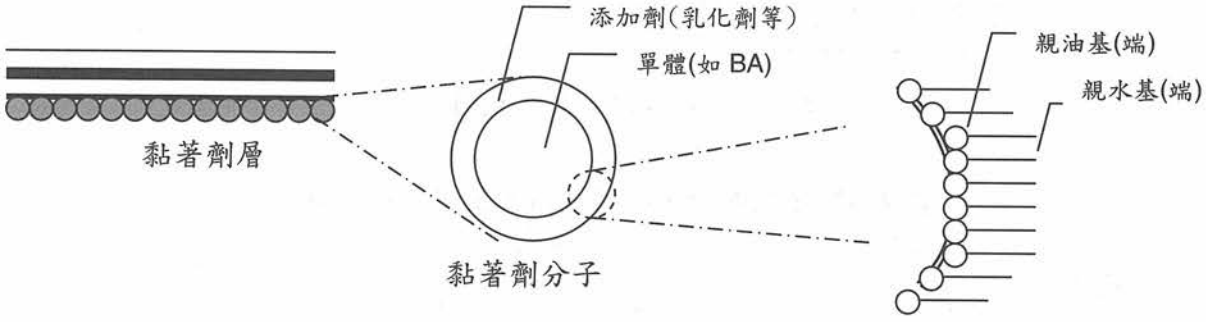


圖 4.4-3 水性膠帶黏著劑聚合分子組合圖

(2)熱熔感壓膠

熱熔型黏著劑，簡稱熱熔膠，為一種熱塑性彈性體（TPE），以熱塑性樹脂為基體，熱熔膠同樣也為無污染的黏著劑之一，對於各種材料，包括一些用其它黏著劑難以膠接的非極性塑料，都具有良好的浸潤性及較高的膠接強度，另外，固化速度快、黏接面廣、生產可連續化、貯存、運輸方便、原料來源豐富、價格低廉等皆是它優於一般黏著劑的原因。此產品近年來發展迅速，此材料已成熟運用於衛生用品、尿布、電子零件黏接、書本裝訂、鞋材黏著、膠帶及商標籤等，不僅膠帶業，其他民生用品及工業物料黏著劑也正朝此方向不斷的投入做開發及研究。

熱熔膠大致上可分為乙烯-醋酸乙烯聚合型（簡稱 EVA）、聚　胺型(簡稱 PA)、聚酯型、聚氨酯型及苯乙烯類（簡稱 SBC）等多種，其中運用最廣泛的是 EVA 型。熱熔膠的固化與其它類型的黏著劑不同，它不產生交聯反應，也不依

靠溶劑，而僅是從加熱熔融狀態通過冷卻過程自然恢復到固態或半固態。

熱熔膠在進行配製時，會加入少量的添加劑，主要有稀釋劑、增塑劑、增黏劑和防老化劑等。稀釋劑的作用是為了降低黏度，提高施工時的流動性，不僅可控制固化速度且可增加黏合表面的浸潤性，主要為蠟類化合物（烷烴石蠟、植物石蠟、礦物蠟等）；增黏劑的作用主要是增加黏接強度和柔韌性，常用的增黏劑為樹酯類（如：松香樹脂、石油樹脂、古馬隆樹脂油等），增黏劑的用量對膠液的黏合強度具有明顯影響；增塑劑的作用也是為了提高柔韌性和浸潤性，常用的增塑劑有鄰苯二甲酸酯類、甘醇酸酯類、礦物油類和聚丁烯類等。防老劑則為提高黏著劑耐老化性能。

除此之外，為了改善某些方面的性能，還可加入另外一些添加劑，例如加入適量的丁基橡膠以提高耐寒性，加入少量的過氧化物以提高耐熱性，加入廉價的聚丙烯以降低成本等。

近幾年來熱塑性彈性體的新品種不斷問世，目前正逐步取代許多原有熱固性材料的市場，特別在新一代感壓熱熔膠方面，主要的彈性體是EVA(乙烯-醋酸乙烯聚合物)、SIS(苯乙烯-異戊二烯-苯乙烯聚合物)和SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯聚合物)等。

A.EVA

聚乙烯是目前產量最大的熱塑性樹脂之一，就價格和原料來源來說，以它作為熱熔膠的基體是十分理想的，但是由於它分子結構的高結晶性，使它與其它材料的浸潤性較差，因此必須用其他化學物質改變其化學性質，已經出現的聚合物有乙烯-醋酸乙烯聚合物（EVA）、乙烯-丙烯酸乙酯聚合物（EEA）、乙烯-丙烯酸聚合物、乙烯-丙烯酸異丁酯聚合物等；乙烯-醋酸乙烯聚合物是目前用得最多的熱熔膠基體，運用於感壓膠的部分也大都以此為主。

乙烯-醋酸乙烯聚合物結晶性較小，極性和柔韌性較高，在加熱熔融時具有良好的浸潤性，在冷卻固化時具有良好的撓曲性、抗應力開裂性和膠接強度，因而是十分理想的熱熔膠的基體。

B. SIS & SBS

在熱塑性彈性體中，苯乙烯聚合物(Styrenic Block Copolymers，簡稱SBC)佔有重要的地位，是目前世界上產量最大，發展最快的一種熱塑性彈性體，工業上主要由苯乙烯與丁二烯（或異戊二烯）以烷基鋰為引發劑進行陰離子聚合

製成，按鑲段成分不同，SBC 可分為苯乙烯-丁二烯-苯乙烯聚合物（SBS）、苯乙烯-異戊二烯-苯乙烯聚合物（SIS）以及它們相應的加氫產物--氫化 SBS（SEBS）和氫化 SIS（SEPS）四種類型。

此類產品具有優異的波紋密封性、高溫保持性和黏著性，與極佳的物理機械性能，這類的熱塑性彈性體主要用來製造增黏劑、黏著劑與密封材料等。

C. SBS

具優良的耐熱、耐侯、耐老化性，優良的增粘效果，按聚合物結構可分為線型和星型兩種類型；按性能可分為純料（非充油型和充油型）和各種填充粒料（即混合料）兩大類。依據各類硬段和軟段的比例和分子量的差異，又可分為若干牌號。

4.5 半導體、光電業

由於國內半導體及光電產業為高科技之代工業，因此製程的汰換率相當高，隨著侍常需求及製造技術的進步，新的製程設備也日新月異，因此對於高科技業而言，若因為改善空氣污染問題而去影響到製程的正常操作，將很難被業者所接受，其可能所受的損失也難以估計，因此一般業者對於 VOCs 由製程減量著手的空間不大，僅能就較為原則性的方法盡量降低可能的污染，可行方法包括：

1.機台與空氣接觸面積大小會影響 VOCs 逸散量，在進行塗佈、清洗及其他相關作業時，可於機台上方或溶劑貯存處進行覆蓋處置，減少其與空氣之接觸面，以減少溶劑之逸散量。

2.改善原物料之 VOCs 含量：例如以毒性較低或揮發性較低之溶劑替代原使用之溶劑，如下所述：

(1)將氧氣導入電漿中去除光阻之乾式製程，取代原使用如 N-methyl 2 pyrrolidone 去除光阻之濕式製程。

(2)於封裝製程以 d-limonenefm 取代三氯乙烯，作為將松烯(tterpene)去除之溶劑。

(3)在光阻、清洗及去光阻製程中，以 chlorofluorocarbons 及 1,1,1-trichloroethane 取代二甲苯(xylenes)及 1,2,4-trichlorobenzen，約可減少 33%之使用量。

(4)二甲苯(xylenes)於去除以 polyisoprene 或 ethylene glycol ether 為主成分之負光阻使用量極大，在使用以 propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA)為主成

分之正光阻後，亦大量降低二甲苯之使用量，而近年亦有使用 negtive-tone I-line 光阻劑者。

4.6 廠區管理

由上述之章節得知，爲達成工廠揮發性有機物污染防制之目的，主要方法分為製程改善及管末處理等二種防制方式，其中製程減量技術可直接由製程中降低污染物之產生，管末處理則係於排放管道裝置污染防制設備以去除污染物。然由於操作過程常見因物料不當使用、槽液洩漏等因素導致揮發性污染物逸散於廠區中，此類包括人員操作或管理不當所產生之污染，往往成為揮發性有機物主要污染之來源。因此做好廠區管理來達成污染防制，將是最簡易、花費最少之方法之一。針對廠區管理之重點工作如圖 4.6-1 所示，並逐一說明如后，藉以提供工廠對於自身工廠廠區管理之指引。

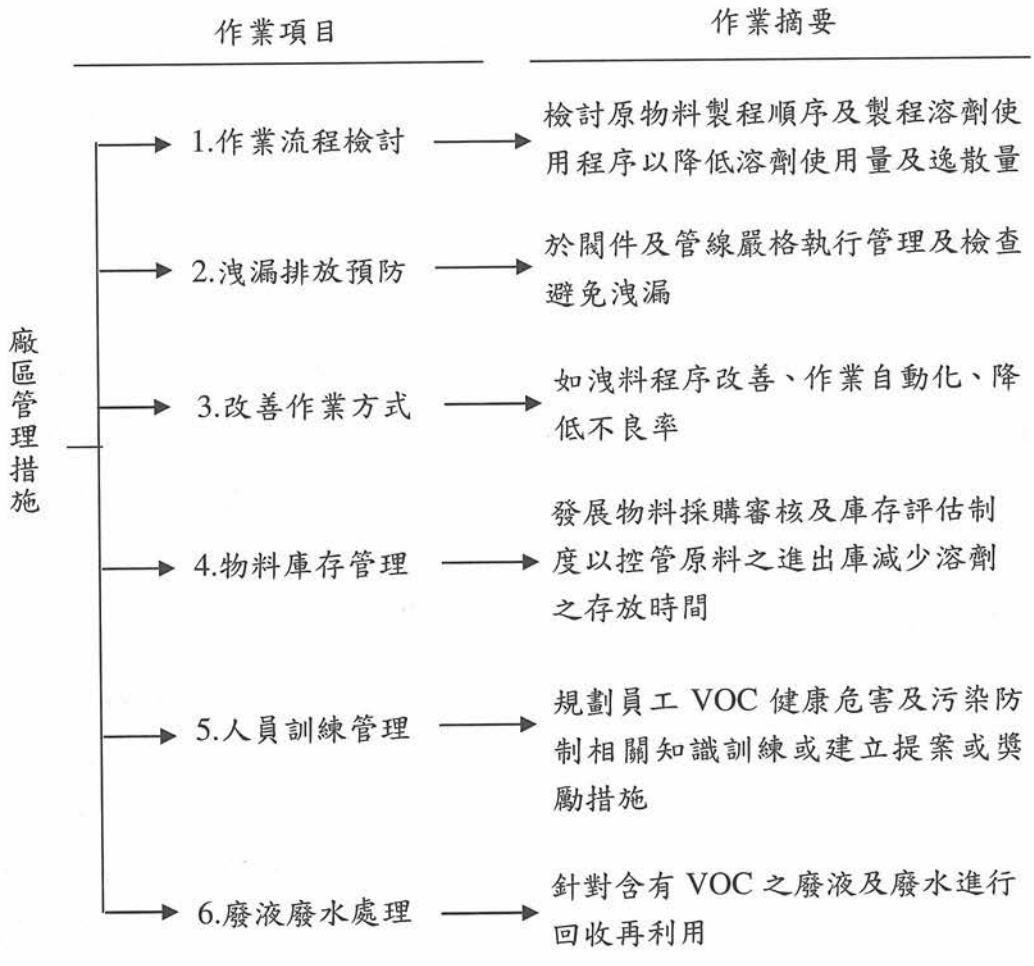


圖 4.6-1 廠區管理重點工作

1.作業流程檢討

調整工廠作業員作業之操作方式主要係將不合理之流程進行修正，因良好之作業方式可有效提升效率，省卻多餘之步驟，針對製程檢討之重點項目說明如下：

(1)生產排程調整

製程單元中對於使用大量溶劑之單元，檢討其是否可與其他流程進行調整，並檢討現有生產排程是否合理。

(2)清洗步驟

工廠內之溶劑多用來進行稀釋或清洗，因此對於清洗程序應考量如何減少清洗溶劑之用量。其中現場員工於每批產品生產完成後應確實立即清洗，立即清洗可提高清洗效率，減少清洗時間及洗劑用量，且減少揮發性有機物逸散。

(3)清洗液回收流程

就整體作業流程應評估清洗液作為原物料配方或再次清洗之用，一方面減少廢液之處理量，一方面可減少逸散量，惟對於額外增加之儲槽及傳輸管線則應避免造成逸散或洩漏。

2.洩漏排放預防

工廠常因槽液或廢液洩漏或不當排放，造成溶劑之浪費或廢液處理困難，尤其造成揮發性有機物逸散置空氣中，一方面造成工安問題影響員工安全，一方面向廠外逸散造成環保問題。主要原因包括製程設備日常保養管理不當、裝置不相容之槽液至槽體、製程槽液更新時機過於集中、廢棄物及廢液並未妥善放置於槽體或容器內、進出槽液控管不當造成溢滿現象。

(1)製程設備洩漏預防

對製程設備及槽體及其附屬設備之管、閥等應嚴格實行管理及檢查，若接頭固定不良或閥件損壞，將引起槽液洩漏發生。其中針對石化製程之設備元件，包括泵浦、壓縮機、釋壓閥、安全閥等釋壓裝置、取樣連接系統、開口閥、閥、法蘭或與製程設備銜接之其他連接頭，應依照「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準（91.10.16）」設備元件洩漏之管制規定，如設備元件軸封處之製程流體包括重質液及輕質液，滴漏不得超過每分鐘三滴。

(2)製程原物料貯存洩漏預防

針對酸性及鹼性液的貯存應分別選擇耐酸鹼材質之貯存桶，且具有耐腐蝕材質之液位控制器，並應經常檢視及各項保養作業，以避免故障發生。最妥善之安全對策，於製程槽周圍設置防溢堤及地下貯槽，貯槽內應設置液位警報系統，當發生洩漏時，即發出警報。

(3)廢棄物貯存洩漏預防

製程廢棄物於處理過程中，貯存方式大多以儲槽或容器加以貯存，尤其屬於有害業廢棄物若在清除前的儲存不當，將容易造成洩漏或逸散，如半導體業廢溶劑、廢酸鹼、廢顯影劑等都需要使用密閉容器或密閉儲槽，因此在選擇設計時材質應選擇相容性材質。大型貯槽則設有液位量測及液位顯示裝置，並於超過液位警戒線時發出警訊，此外，若安裝不良亦可能發生洩漏，尤其 FRP 等較為脆性材質貯槽安裝過程中，襯墊及填土選用不當場引致槽體洩漏。爲避免溢漏造成揮發性有機物之逸散，對於大型貯槽須設置溢液暫存系統，且至少可容納總容量10%，必要時需備有緊急處理設備。

3.改善作業方式

(1)卸料程序改善

盡量減少槽桶之入料及卸料次數，並於卸料程序中加裝氣罩或以密閉式管線入卸料。同時卸料程序應逐步自動控制化，盡量避免人力加料。

(2)產品不良率降低

不良品率之降低除了降低成本增加利潤，於污染防制方面即減低製程中溶劑使用量，相對減少揮發性有機物逸散量。如 PU 合成皮業一般不良品率約 1%，不良品重約 10 公噸/萬碼，因此造成桶槽或反應槽 1%之清洗量，或 DMF 量之增加。

(3)良好的作業管理

製程中常發生藥品或溶劑不必要之浪費，因此除經常進行貯槽及設備保養維護及檢查外，良好的作業管理方案，可減少揮發性有機物之逸散同時達到使用最佳化。如溶劑之管理方案，將溶劑貯存、使用、回收在利用等各階段作業進行整體規劃；在貯存方面，應設置未使用溶劑專區以利存放，且密封加蓋；使用及取用上，應採用低逸散方式進行取用，如取樣口裝置活栓避免以傾倒方式取樣；並於取用後將未使用完畢之溶劑進行回收，或放置於抽風口以降低與大氣接觸的時

間，減少逸散損失。

(4)作業自動化

依據產業特性不同，自動化程度不同，如光電業作業單元中以自動化機械完成製程作業並密封，如光阻塗佈、基板清洗等，則較不易逸散於廠區。部份產業如塗裝或印刷業，須由人力完成作業之單元，除加強氣罩收集之效率，針對應規劃或設計自動化流程以減少員工暴露之可能性，如印刷機之更新或規劃自動輸送系統避免人力移動製版及印刷品之作業。

4.物料庫存管理

一般庫存管理之原則為掌握生產所需之用量並盡可能減少庫存量，同時也可揮發性有機物污染減量之效益，其中包括應發展物料採購審核，以及庫存評估制度，以控管原料之進出庫，並減少溶劑之存放時間。物料使用之合理化，可避免物料過時或超量而造成報廢品。

(1)僅購置某一期間生產工作量所需之原物料數量，減少庫存。

(2)購買適當大小數量且可回收再使用之容器

(3)對於物料採購程序進行審核，同時應制度化，藉以評估物料純度、使用期限、有毒成份、物料安全資料表。此外，供應商或代理商對容器、過時品或廢棄物是否有處理或回收再用的服務。

(4)先入庫之原料須先使用以避免原物料庫存過久產生敗壞現象或惡臭。

(5)使用自動化控制系統並控制進出貨及庫存量，以達最適之狀況。

5.人員訓練管理

(1)建立提案及獎勵制度

污染改善方案除了由公司主管提出外，也可以鼓勵員工對於工廠污染減量提出具體方案，再經由討論及決策模式，推行到廠區。由於員工對於本身作業程序之熟悉，因此若能藉由揮發性有機物污染防制相關知識之訓練，並且鼓勵其進行污染減量之提案。

(2)環境教育訓練

啟發員工之環境認知是環境教育訓練的主要目的，且經由教育訓練以維持人員素質及能力，同時要讓所有人體會自己工作與環境保護的關聯性與重要性。一

般從業人員對於「環境」的概念並不是很清楚，在缺乏足夠資訊的情況之下，員工很難瞭解自己會對環境造成什麼影響，更不用說如何進一步保護環境。因此環境教育訓練的要求，除了工作技術外，更強調認知的提升。

(3)環境教育之組織管理

一般工廠都有自己訓練或內部訊息交流的方法及程序，可能是師徒相授、定期開課、不定期刊物宣導、品管圈或是以層層佈達方式來運作。組織可以選擇最適合工廠文化的方式，建立標準作業程序，將環境教育訓練傳達到每個人身上，使每個階層的人都能瞭解公司環境政策與自己工作的關係，以及遵循程序與要求的重要性。每個人明白自己在系統中的角色及責任，與工作對環境的影響後，能夠提升與個人作業相關的環境績效，並對發生意外或緊急事件等特殊狀況，能夠有相當準備及因應能力。

6.廢液廢水處理

一般揮發性有機物污染源除了製程單元所產生外，針對含有揮發性有機物之廢液及廢水若處理不當，也會產生嚴重的揮發性有機物逸散。因此目前最有效的方式係針對廢液進行回收再利用，可大量減少揮發性有機物之逸散。另外在廢水處理方面，一般廢水廠之曝氣池為主要逸散來源，因此加強曝氣池

(1)有機廢液

目前容易產生揮發性有機物之有機廢液為有機溶劑，因此針對廢有機溶劑回收即成為揮發性有機物主要的減量方式之一。目前較常用的回收再利用技術有三種，包括吸附法、蒸餾法及凝結法。處理方式簡述如下：

A.吸附法

吸附法為目前最有效及最經濟的回收技術，一般採用此法回收的溶劑包括甲苯、丙酮、乙酸乙酯、四氯化碳、甲基乙基酮(MEK)等，其操作原理係使用適合之吸附劑，經過吸附程序後，再將吸附於吸附劑上之溶劑進行脫附以加以回收。

B.蒸餾法

溶劑種類不同，因此沸點有所差異，可利用此一特性將溶劑以蒸餾法加以分離。通常沸點差距越大分離越容易，沸點越接近的分離越困難。從事廢溶劑之回收時，需考慮事前的分流。由溶劑的種類、組成及含量比例。可得知大

約性質，如沸點、對水之溶解度、親和力、可燃性等，常有助於處理與回收設備之設計。

C.凝結法

凝結法係利用冷卻系統透過媒介，將有機溶劑溫度降至凝結點以下，將其氣態轉變成液體，進而回收再利用的方式，此法常廣泛應用於各產業有機溶劑的回收。

(2)廢水分類收集

廢水種類因不同產業種類及特性迥異，濃度高低相差懸殊，因此避免廢水中揮發性有機物之逸散，除了加強各項處理程序減少暴露於空氣中之防制措施，最重要之做法係良好的廢水處理，包括有效回收再利用或處理各股不同特性的污染源，妥善分類收集，且應於製程規劃設計之初即應加以確立。

基本上各工廠應依本身製程的污染特性，並考量所欲採用的處理方式，始訂定分類收集方式，即在正確掌握污染特性的前提下，依照各類不同性質的污染源採用不同的處理方式，以達最有效的處理效果。

第五章　產業揮發性有機物廢氣處理技術

近年來由於硫氧化物、氮氧化物及粒狀物等空氣污染物管制工作的落實，以及工業發展大量 VOCs 的使用，國內外空氣污染防制焦點主要針對 VOCs 進行管制及減量工作，大量 VOCs 的排放對於空氣品質具有相當程度之影響，除了對於民眾健康可能產生之危害，其衍生之地表臭氧濃度居高不下，更是近年來各都會區空氣品質難以大幅改善的主要原因之一。

目前可應用於防制固定污染源揮發性有機化合物及臭味氣體的處理技術，包括有破壞性及回收性兩大類。破壞性處理技術主要又分焚化技術、生物處理技術及化學吸收洗滌技術。其中焚化技術包括直燃熱焚化、觸媒焚化(直燃熱焚化及觸媒焚化依熱回收方式可再分類為熱交換式及熱蓄積式)、鍋爐焚化及製程加熱器(process heater)；生物處理技術則可分為生物濾床、生物滴濾塔及生物洗滌塔三項技術；化學吸收洗滌技術包含化學氧化洗滌、酸鹼中和；若以加藥方式分類則可區分為傳統加藥式及電解再生式；而回收性處理技術則有冷凝、吸附、物理吸收洗滌、蒸氣平衡等等技術。其中冷凝依冷凝溫度可分為一般冷凝(冷凝溫度在 0℃以上，通常為 5~ 7℃)及低溫冷凝(冷凝溫度在 0℃以下)，吸附技術則依其硬體設計可分為固定床式、轉輪式及流動床式等三類，物理吸收洗滌則依其使用之洗滌介質可區分為單純水洗及低揮發性溶劑吸收等兩種。

各類處理技術皆有其較為適合的處理風量及濃度範圍，一般說來，冷凝適合處理高濃度(一般約 5,000 ppmv)、低風量(約低於 50 CMM)的揮發性有機廢氣；直燃、熱焚化、觸媒焚化等焚化技術則適於處理高濃度(>1,000 ppmv)的廢氣；而搭配活性碳或沸石等吸附劑之吸脫附濃縮後再焚化或冷凝處理的方式，則可有效應用於中高濃度(≧ 200 ppmv)、中高風量(約大於 200 CMM)廢氣的處理；此外對於低濃度(< 200 ppmv)、高揮發性之污染物，雖然也可配合吸附濃縮技術與熱回收技術，以減少焚化破壞處理所需的能源消耗，但整體而言，利用焚化方法處理中低濃度廢氣，所使用之能源仍相當可觀。

一、各項技術簡述說明

(一)熱焚化技術

通常熱焚化器適合處理小風量高濃度高溫之廢氣，幾乎可完全去除 VOCs，但含塵濃度高者須前處理，若使用蓄熱式熱焚化器將可大量減少燃料使用量；若使用觸媒焚化器或蓄熱式觸媒焚化(regenerative catalytic oxidation,

RCO)，需先將會造成觸媒毒化之物質除去。

(二)吸附法

吸附法適用於小風量低溫低濃度之廢氣，在處理低濃度氣體時有甚佳效率，對含大量粉塵水份之氣體需前處理，但若廢氣中含大量高沸點 VOCs 則不適合以吸附設備處理，避免脫附再生效果不佳。此外高風量低濃度之廢氣可先以轉輪濃縮再進行熱焚化處理，更可提高經濟效益。

(三)生物處理

生物處理設備為最符合環保之處理設備，適合處理水溶性 VOCs 廢氣，且初設成本與操作成本皆很低，但不適用於高濃度高溫及含生物具毒害物質之廢氣，且反應時間較長，所需佔地面積較大，控制之技術層次較高。

(四)濕式洗滌

濕式洗滌處理設備有設置及操作成本低且操作簡易之優勢，但吸收廢氣後會產生大量的洗滌廢液需進行二次處理，且除水溶性 VOCs 可被大量洗滌液移除外，對大部份 VOCs 去除效率皆很低。

(五)冷凝處理

冷凝處理技術因其設置與操作成本皆偏高，故多用於與其它控制技術合併使用，以彌補其它控制設備之缺點，如置於其它防制設備之前可做預處理去除特定物質；置於處理設備之後可提高去除效率。

二、控制技術選用原則

配合上述技術之特性，工廠在選擇處理技術時可依有機廢氣之濃度高低、排氣成分是否易溶於水及是否具回收價值等因素進行評估，參考圖 5-1 之架構圖，其提供業者在不同因素組合考量下之建議技術。在選擇 VOCs 控制技術時，污染源須符合之條件、特性彙整於表 5-1。

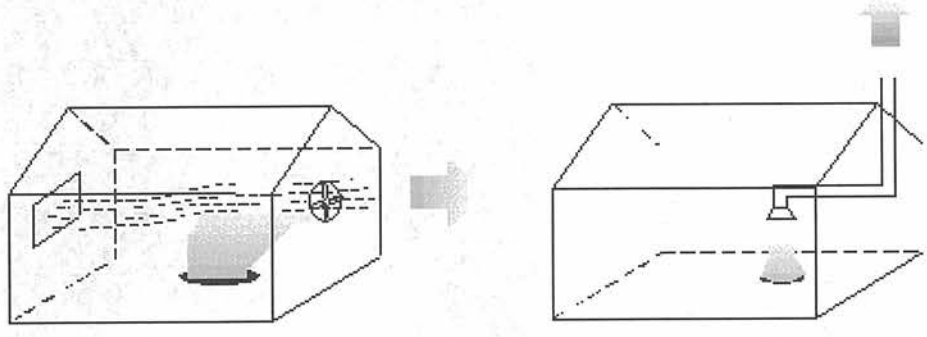
表 5-1　污染源選擇 VOCs 控制技術須符合之特性

控制技術	排放特性				污染物特性				
	濃度 (PPM)	熱值 (kcal/NCM)	相對濕度 (%)	廢氣量 (Nm^3/min)	溫度 (℃)	分子量 (g/mole)	溶解度	蒸氣壓 (mmHg)	吸附性質
吸附法	1,000~10,000	—	<50	10~2,800	<40	45~130	—	—	須可吸附及脫附
吸收法	250~10,000	—	—	30~2,800	—	—	溶於水或其他溶劑	—	—
冷凝法	>5,000	—	—	<60	—	—	—	>10 (室溫)	—
生物處理	<50	—	—	—	<30	—	—	—	—
直燃焚化	>20	—	—	<2,800	—	—	—	—	—
觸媒焚化	50~10,000	—	—	<2,800	—	—	—	—	—
沸石吸附濃縮轉輪結合焚化系統*	50~1,500	—	—	可處理風量 200~2000	污染物種不受限				
活性碳流體化吸脫附結合冷凝系統*	100~1,500	—	—	可處理風量 200~1300	污染物種不受限、建議高低沸點 VOCs 分流處理				

資料來源：經濟部工業局，揮發性有機物減量管理研討會，民國 86 年 5 月。
＊資料來源：華懋科技。

5.1 集氣系統

經由製程產生之廢氣，應予以有效收集、處理再排放。廢氣收集之主要原則乃在不影響操作之前題，盡量靠近發生源收集或把發生源予以有效包圍，使滲入之乾淨空氣越少越好，一般所應用的排氣系統包括局部排氣及整體換氣系統(如圖 5.1-1 所示)。



資料來源：經濟部工業局，揮發性廢氣減量處理技術講習會簡報資料，2004 年。

圖 5.1-1 整體換氣及局部排氣系統示意圖

1.系統選用因素

局部排氣與整體換氣兩者最大的差別在於局部排氣適用在污染物一旦生成即需立即排除，去除污染效率較佳；而整體換氣則允許污染物逸散到整個作業場所，只要不超過容許濃度即可，兩種系統所考量選用之因素在於：

(1)污染物的毒性強弱與濃度高低

(2)污染物產生量多寡

(3)污染源分佈狀況

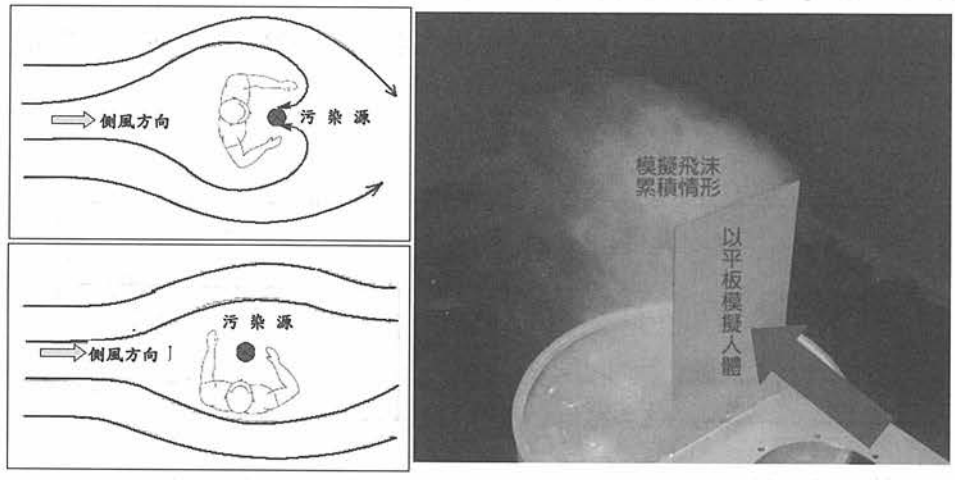
(4)污染源與作業人員之距離

(5)設備費用

2.系統特點

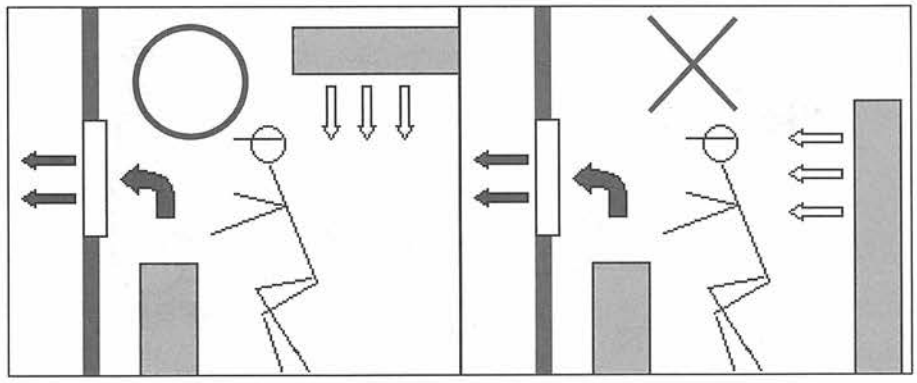
(1)整體換氣(稀釋通風)

供給新鮮空氣以稀釋作業場所中污染物濃度，或自作業場所中將污染空氣排除並導入新鮮空氣，以降低污染空氣之濃度，系統應用特點及時機包括(A).污染物濃度較低之場所、(B)污染物產生量少時、(C)污染發生源均勻且廣佈時、(D)發生源遠離呼吸帶或濃度低時，可提高室內空氣置換率、(F)換氣風量大，處理設施設置成本較高、(G)整體換氣需考量氣流方向，避免廢氣產生累積現象(如圖5.1-2 及 5.1-3)。



資料來源：經濟部工業局，揮發性廢氣減量處理技術講習會簡報資料，2004 年。

圖 5.1-2 整體換氣方向與呼吸帶 VOC 濃度示意圖



資料來源：經濟部工業局，揮發性廢氣減量處理技術講習會簡報資料，2004 年。

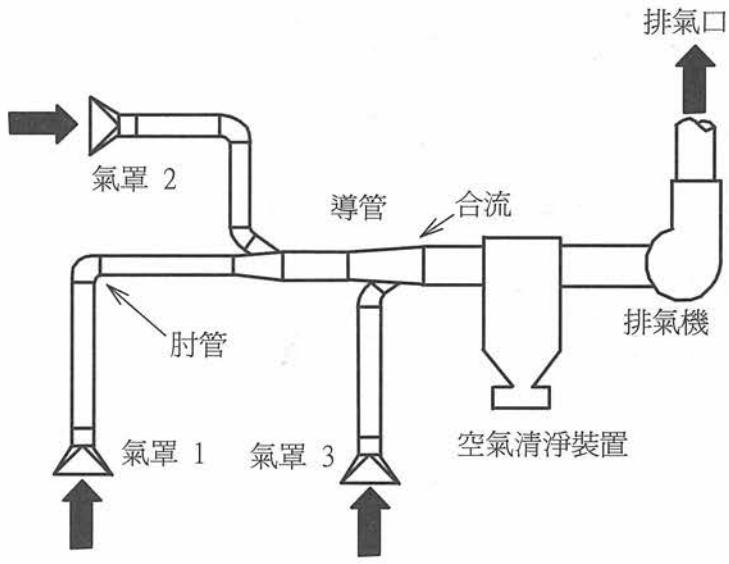
圖 5.1-3 整體換氣方向示意圖

(2)局部排氣的特點

於高濃度污染物未混合分散於一般空氣之前，利用氣罩將污染物侷限及吸氣氣流將污染物捕集，並在清淨後排出於大氣之中，系統特點及應用時機包括(A)污染物毒性強或濃度高時、(B)污染物產生量多時、(C)污染物進入空氣流速快之場所、(D)作業人員距離污染源近時，可就近蒐集污染物、(E)換氣風量少，近距離捕集 VOCs，易控制 VOCs 擴散範圍、(F)包圍式氣罩最理想，但不易應用於大範圍污染源、(G)外裝式氣罩捕集效果易受側風影響、(H)有安裝導管系統的可用空間，以導引氣罩接近污染源。

氣罩及風管之選擇及設計乃局部排氣系統中最重要之一環，其大小之設計及安裝位置之選定也直接影響局部排氣系統之功能。設計選用前必須先瞭解氣流之理論，實驗程序及實驗人員工作型態，俾能在最少之抽氣量下，發揮最有效之集氣功能。作業環境常由於廢氣處理通風設備操作故障造成局部高濃度廢氣的積存，而造成作業人員健康危害。

局部排氣裝置是主要的工業通風設備，其操作方式是以將空氣中有害物於發生源處以氣罩抽氣方式將有害物質連同空氣經導管排出作業場所。典型的局部排氣裝置設有一至數個氣罩，這些氣罩經導管連經將所抽取的污染空氣由共同的出口排出，抽氣所需的氣流則由排氣機帶動（如圖 5.1-4）。大部分的局部排氣裝置尚設有空氣清淨裝置，一方面保持廢氣之清潔，避免污染外界大氣，另一方面則防止排氣機受污染空氣損害。



資料來源：行政院勞委會勞安衛研究所，局部排氣導管設計程式使用手冊。

圖 5.1-4 典型局部排氣裝置

局部排氣裝置在設計上最為困難的問題之一在於壓力平衡。也就是當兩導管匯流於一導管時，兩導管中的風量會依一定的比例分配，使匯流點處的壓力無論沿任何一匯入導管計算均相同。若局部排氣裝置未經妥善的設計，會使部分的氣罩風量不足，進而使控制風速無法達到法規的要求，也有可能使部分氣罩的風量過高，造成能源的浪費，或者是物料的散失。

(3)局部排氣系統設置應注意事項

A.氣罩應儘可能設置於每一發生源及接近發生源。

B.必須具備足夠之控制風速。

C.不使被污染之空氣流動經作業人員之呼吸帶。

D.須供給與排出風量相同之空氣。

E.排氣位置應遠離入氣口並應避免排出空氣回流室內。

F.減少或消除週圍氣流對氣罩吸引空氣流線之影響。

G.儘量密閉發生源及製程，儘可能使用包圍型氣罩。

H.應視作業方法、擴散狀況，選擇適當之氣罩型式及大小。

I.導管應易於清潔、保養及測定。

J.作業時間內應保持有效運轉。

K.應使用氣罩吸引污染空氣，儘可能不使用導管吸引。

L. 導管內輸送風速應至少在 7m/sec 以上，而以 10m/sec 以上較適當。

M.氣罩於必要時可加裝凸緣。

N.排氣機應置於空氣清淨機後之位置。

O.連接排氣管與導管時，為減低噪音、振動與不漏氣，可以可撓性接頭或帆布連接。

P.為防止震動，排氣機應固定於堅固之水泥基礎或支撐物，或套以防振橡膠、墊片，或其他防震材料。

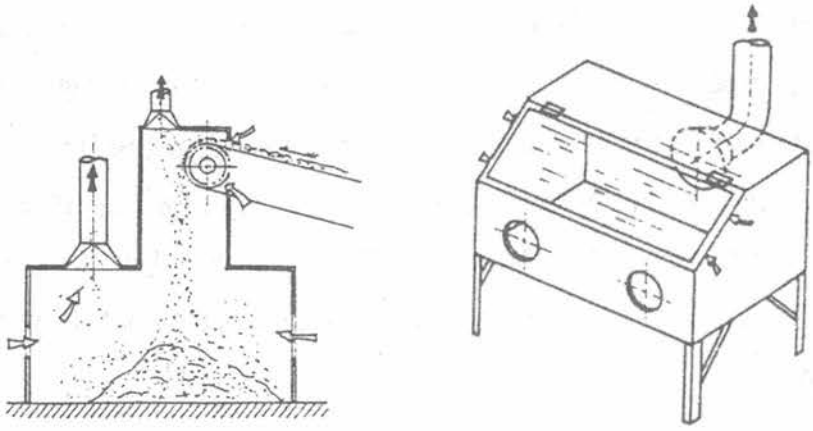
Q.為提高排氣機性能，將排氣機串聯或並聯使用時，應充分瞭解各該排氣機之特性。

3.集氣罩

集氣罩(hood)係指局部排氣系統之入口端，乃是包圍排氣、蒸氣、粉塵等污染源，或指未能包圍時儘可能接近污染源所設之開口部(含狹縫)，而於此開口部以抽引氣流吸入污染物。氣罩依其與污染源及污染物散佈之相對位置，主要可分為圍封式、廂式、外部式及接收式等 4 種形式。

(1)圍封式氣罩

如圖 5.1-5 所示，圍封式氣罩外型幾乎完全包圍污染源，僅有物品出入口、檢視孔等較小之開口，其所需抽引氣流極少，即可達最佳之抽(排)氣效果。本類型氣罩包括(A)密閉型(cover)及箱型(box)兩種。



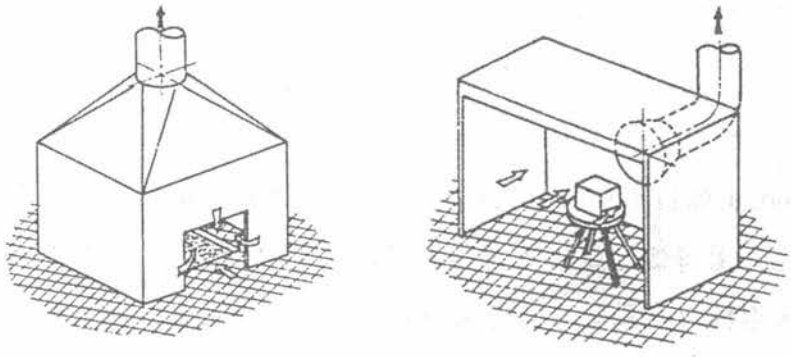
(A) 密閉型　　(B) 箱型

資料來源：經濟部工業局，局部排氣氣罩設計實例，1996 年。

圖 5.1-5 圍封式氣罩分類圖

(2)廂式氣罩

廂式(booth)氣罩係指污染源周圍除因作業需要而留下一面外，其餘各面基本商皆須圍封之氣罩，為防止污染物逸散出氣罩，需於開口部進行抽引氣流，以控制污染物避免外洩。本類氣罩如圖 5.1-6 所示，包括(A)抽氣櫃型(draft chamber)及(B)崗亭型(booth)兩種，前者較不易受外來亂流影響，排氣量亦較小，屬一般常用氣罩之標準型；後者開口面積較大，故排氣量隨之增大，但作業及出入較為方便。



(A)抽氣櫃型　　(B)崗亭型

資料來源：經濟部工業局，局部排氣氣罩設計實例，1996 年。

圖 5.1-6 廂式氣罩分類圖

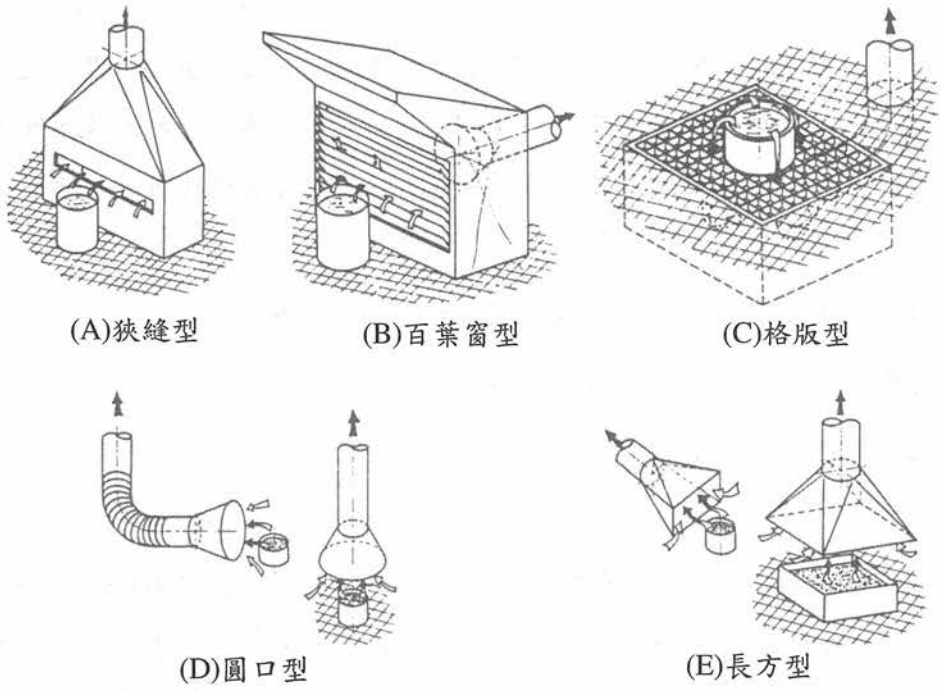
(3)外部式氣罩

外部式氣罩乃由於作業上無法將污染源包圍時，在不妨礙作業之原則下，與污染源分開而獨立設置之氣罩。本型氣罩需抽引開口面外污染源所產生之污染物，通常無法避免吸入多餘空氣，且易受外部亂流干擾所抽引之氣流等缺點。開口面外捕集點之抽引氣流之流場分佈非直線性，因此，欲抽引距開口面較遠處之污染物時，需較大抽氣量。氣罩型式如圖 5.1-7 所示，包括(A)狹縫型(slot)、(B)百葉窗型(louver)、(C)格版型、(D)圓口型(round opening)及(E)長方型(rectangle opening)等五種。

(4)接受式氣罩

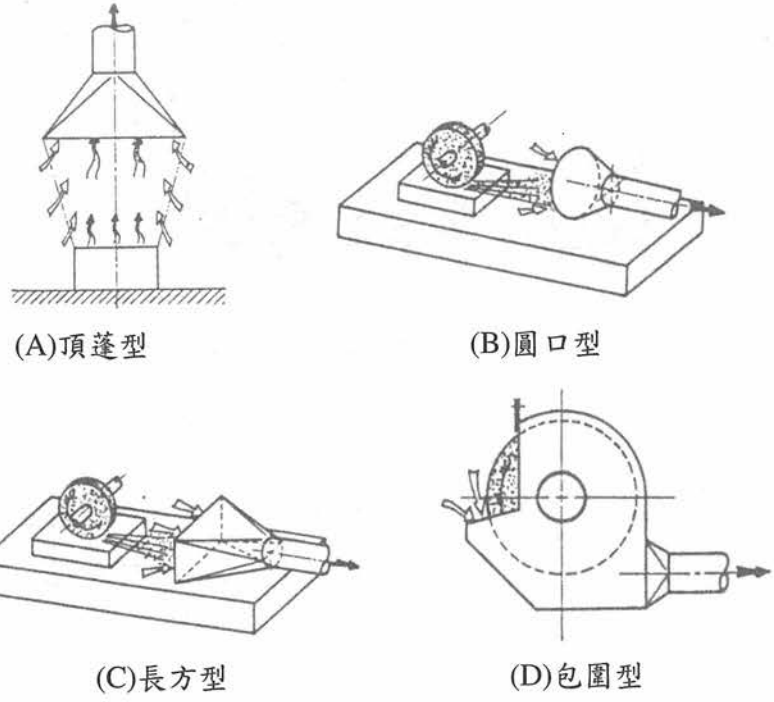
接受式氣罩是由於污染源排放因熱浮力產生之上昇氣流，或因機具轉輪迴流運轉產生之慣性氣流等具固定方向之廢氣時，順著氣流方向以接受的方式捕集氣流所設之氣罩。其構造外觀與外部式氣罩較相似，但其機能特性迥然不同，本型

氣罩如圖 5.1-8 所示，包括(A)頂蓬型、(B)圓口型、(C)長方型、(D)包圍型等四種。



資料來源：經濟部工業局，局部排氣氣罩設計實例，1996年。

圖 5.1-7 外部式氣罩分類圖



資料來源：經濟部工業局，局部排氣氣罩設計實例，1996年。

圖 5.1-8　接受式氣罩分類圖

(5)氣罩設置要點

氣罩為局部排氣系統入口部份，是整個系統中最重要的一環。氣罩外型集排氣量均將影響後續設備，如風車、風管及處理裝置等之容量大小及消耗動力，其排氣效果更直接影響作業環境改善及污染防制成效，因此，氣罩若無實際之集氣效果，或雖具良好效果但妨礙作業之進行，或欠缺安全衛生方面之考慮等，均非設計良好之集氣設備，因此氣罩之設置需具備下列三要件：

A.以排氣量最小且排氣效果最大之型式及構造為考量；

B.應以不妨礙作業場所作業及操作為考量；

C.應充分考慮安全衛生方面之需求。

(6)氣罩的應用

基於上述考量，氣罩在實際選用時，需配合污染源的實際情形來設計，也可將相關氣罩予以應用或修改，例如吹、吸式氣罩，又稱為推拉式氣罩，意為於氣罩收集的另一方以吹氣的方式，幫助廢氣推向吸氣端，以有效節省能源及提高收集效率，適合應用在集氣範圍面積較廣之污染源，相關設置方式如圖 5.1-9 所示。

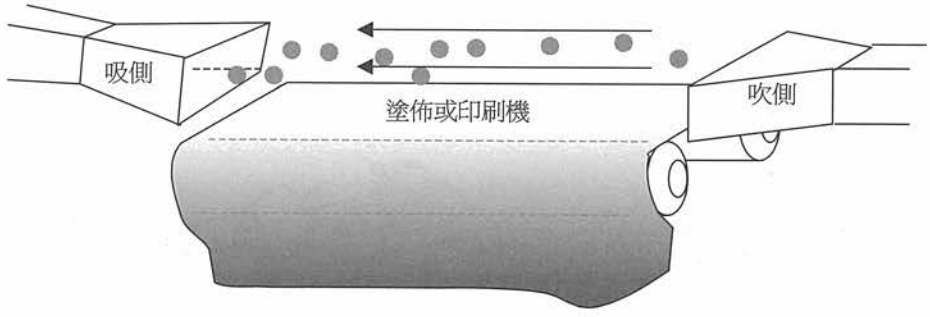


圖 5.1-9 吹、吸式氣罩示意圖

4.集氣系統設計考量

決定使用氣罩型式後，即可進行通風系統設計，先在平面圖上安排風管、空氣清淨裝置及風車之位置，整個系統之設計程序與方法，如下所述。

(1)設計優先次序

氣罩是整個系統中最重要之一環，選擇不適之氣罩或風量計算錯誤，則即使風管和風車設計正確，也無法使整個系統發揮應有之功能。風車之重要性居次，其實應包括導引空氣進出風車之風管，如果風車容量不足，則經過此系統之風量

不足。風車前後之風管如果設計不當，產生渦流或不均勻之流型，也會減少風車之抽風能力，幸好風車本身都具有操作彈性，例如藉增加轉速以增加其抽風能力。

風管之重要性為第三，風管尺寸、肘管之數目與型式都會影響壓力降。風管設計最困難之工作是如何決定適當之風管尺寸，使進入氣罩之氣流量合乎氣罩流量之設計標準。

(2)設計步驟

A.風車大小：風車大小依抽風量（m^3/min）和風車靜壓（mmH_2O）而定。

B.風管：通風系統之壓力降依速度之平方而變化，而風管中之風速，和風管直徑有關，風管直徑參考下列原則決定之。

(A)小風管之購置費較低，但由於其風速較大，因此壓降較大，須選用較大尺寸之風管，以降低耗電量。

(B)設計氣罩系統時，所選定風管之尺寸應使壓力降正確，而且經過每一氣罩之風量應符合設計規範。

(C)由於圓形管較長方形管能使風速均勻分佈，儘可能設計使用圓形風管。

C.設計

(A)標出污染源之位置。

(B)列出每一氣罩之風量，進口壓力損失係數及最小風管速度。

(C)列出空氣清淨裝置之壓力降，此可由空氣清淨裝置之製造商提供資料。

(D)列出風管壓力損失計算之係數。

(E)計算不同尺寸風管，及其截面積。

(F)計算風管之速度壓力。

(G)計算風管之摩擦損失。

(H)計算風管之肘管壓力損失。

(I) 計算支管進入主風管之壓力損失。

(J) 如為單一氣罩系統時，則總合以上之壓力損失，以選定風車大小，如為複合氣罩，則要平衡會合點之風壓，以決定其風量再總合串聯系統之壓力損失，以選定風車大小。

5.風管

(1)基本要點

A.風管管線的配置，應考慮最合理且經濟之途徑。

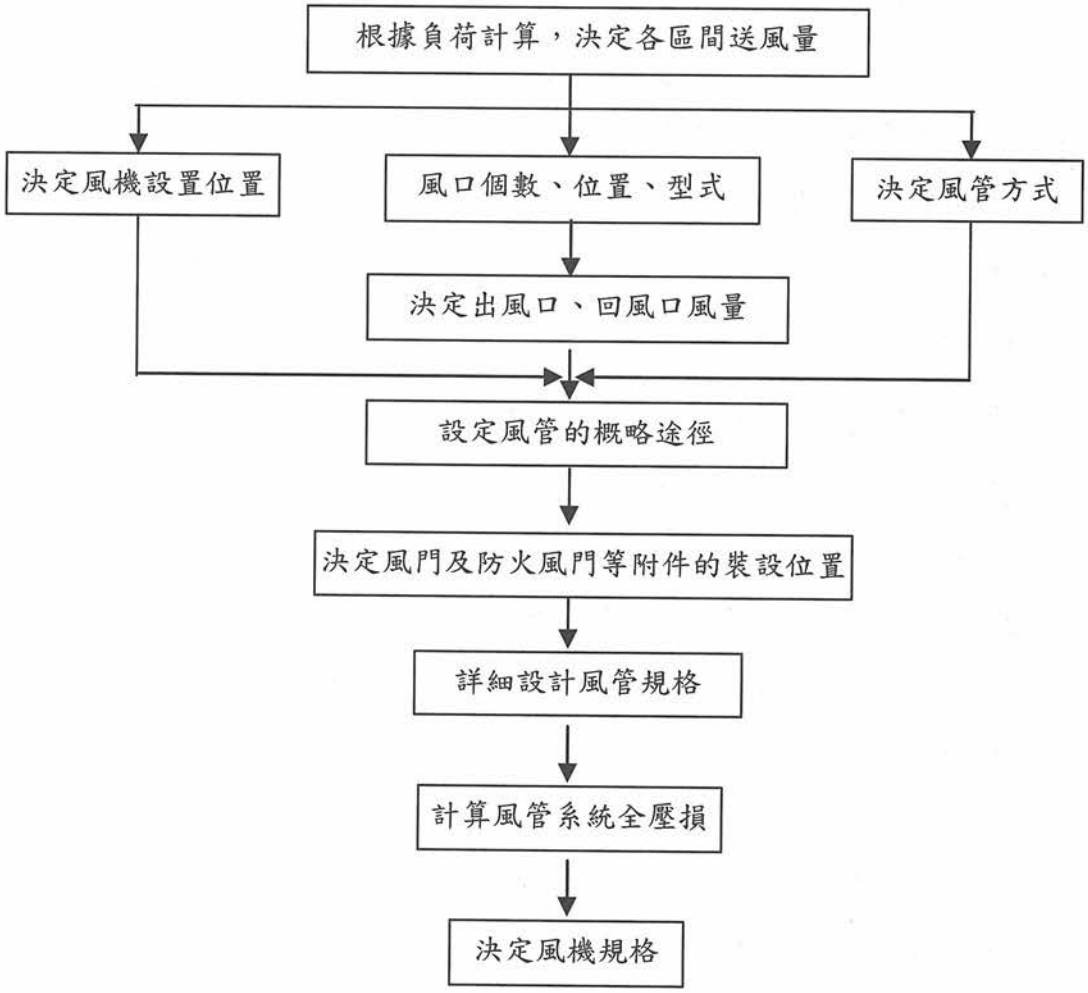
B.設定風管的途徑，應考慮維護管理；風門(damper)裝置等位置必須設有安全檢查口等。

C.設有天花板或管道間時，應預留風管裝設之空間。

D.需要安靜的空間，風管系統配置應注意風速不宜太快。

(2)風管的設計程序

風管的設計程序如圖 5.1-10 所示。



資料來源：日本平成十年版「建築設備設計基準.同要領」

圖 5.1-10 風管的設計程序

(3)風管設計程序說明

A.風管設計程序

(A)設定主風管途徑：從風機到最遠距離的抽引空間，或是最理想的出風口(回風口)部分與風機連結而成。

(B)設定分歧風管途徑：將剩餘的出風口與主風管進行適當的連結。

B.從最遠出風口、回風口根據「熱負荷計算」算出各抽引空間的出風口與回風口之風量，並順序累積各支管的出風與回風管風量到各主風管上。

C.建築物的空調、通風(排煙除外)風管，原則上使用低壓風管（運轉壓力在 500Pa 以下）。壓力如果超過時，應特別記錄其範圍，並加強氣密處理。

D.主風管規格的決定，可參考以下程序。

(A)風機全壓未定的情況，在推薦風速線上找出適合主風管系統的最大風量，再依照該處所顯示的摩擦損失，決定風管系統各部分的規格。

(B)如果已經知道風機的全壓，將風機全壓扣除機內壓損，求得風管系統的容許摩擦損失，依此決定各部分的規格。

E.分歧風管的規格，根據分歧點到主風管末端的摩擦壓損，算出等值摩擦壓損產生的容許摩擦損失，再做決定。這時如果風速過大，使用風量調節風門調整。另有一簡便法，就是依照風管等值摩擦壓損，來決定規格。此時，需裝設風量調節風門，調節與主風管間的壓損差。

F.風機的全壓，在風管規格、風管附件決定後才計算；至於風機，要計算機外全(靜)壓，同時應考慮風管系統效應問題。

(4)風管系統節能設計要點

A.風管系統的省能，至少應做到下列幾點：

(A)風量：總風量及各分支風管風量，由負荷計算中求得。

(B)適當的規劃選擇與詳細計算通風壓損。

(C)出、回風口選擇適當位置，主風管與支風管適當的分佈可減少風管長度。

(D)風管製作型式與走向，設計時宜考量順暢性與容易施工。

(E)風管截面盡可能採用圓形或接近正方形的風管。

(F)選擇適當的風量以及出風與回風溫差。

(G)適當的選用可變風量系統。

(H)風口風量正確之分佈及風管洩漏之防止。

(I)適當選用風管隔熱材質與正確的安裝施工。

(J)選擇適當的風管管徑及風速。

B.降低風管表面熱損失之影響因素：

(A)寬高比：寬高比較大的風管比寬高比較小的風管，熱損失大，且寬高比增加會增加安裝費與維護費。

(B)風速高低：管徑較大之低速風管，熱損失較高速風管大。

(C)隔熱材：隔熱材之熱阻值愈大，其表面熱損失愈小。

C.風管隔熱

(A)空調冷卻用風管，隔熱材之熱阻 R 值，建議使用 1.41 m^2 k/w。

(B)加強隔熱材厚度。

(C)風管隔熱應加強防水氣之保護層。

(D)選用適當的隔熱材料與厚度，使風管表面溫度高於周圍空氣的露點溫度。

(E)隔熱材種類之選用必須考量防火安全需求。

5.2 前處理技術

製程產生之揮發性有機物經由集氣系統收集後，進入處理設備中加以處理。各項處理技術之篩選原則除了考量不同性質之污染物及製程特性，若可提高前處理之效率，可有效降低整體操作費用，同時達成最佳化之處理。由於揮發性有機物屬於氣態污染物，因此對於塵粒之干擾相當敏銳，尤其屬於化學反應如吸收或吸附法，塵粒將造成吸附劑或吸收單元損壞，顯示塵粒之去除效率將降低處理設備之使用壽命，因此有效分析收集廢氣中粒狀物之特性，並選擇適用之除塵技術可提升處理設備之效率及延長其使用壽命。

一般揮發性有機物常用活性碳吸附法處理，若塵粒過多易造成碳床阻塞，吸附劑需更換或再生；若極性較強之粒狀物則易取代 VOCs 吸附能力，導致 VOCs 去除率之降低。焚化法之處理塵粒所造成之影響主要係安全性問題，粉塵燃燒有爆炸之虞，危險性較高。但對於觸媒焚化法，重金屬塵粒則導致觸媒之阻塞甚至毒化。若廢氣中含有多量不適燃粉塵，則必須先利用水洗或集塵設備進行前處理。目前半導體業或光電

業常用之轉輪濃縮技術，則對於進入轉輪之氣體前必須進行粒狀物去除，以避免濃縮轉輪遭受阻塞或損害。

依據不同除塵技術其所設計之效率及處理之粒徑大小同時有所差異，除塵設備之效率如表 5.2-1 所示。其中對於粒徑較大之粒狀物可先使用旋風集塵機加以去除，較小粒徑則以袋濾集塵機、靜電集塵機以及文氏洗滌塔去除效率較高。因此依據不同防制設備之需求及廢氣中粒狀物之特性，廠商可委由專業工程公司進行設計，以利選擇最適用之除塵設備。

表 5. 2-1 除塵設備之效率

粒狀物大小 / 除塵設備	不同去除粒徑之效率		
	5μm	2μm	1μm
旋風集塵機	30%	15%	10%
高效率旋風集塵機	75%	50%	30%
靜電集塵機	99%	95%	85%
袋濾集塵機	99.8%	99.5%	99%
填充洗滌塔	95%	85%	70%
文氏洗滌塔	99.7%	99%	97%

揮發性有機物製程廢氣於進入防制設備前，先經除塵設備之前處理，以去除廢氣中之粉塵雜質，避免設備遭受阻塞或損害。一般常用之除塵設備包括說明如下：

1.簡易乾式過濾網

乾式過濾網及利用濾布上附著之塵餅而將粉塵顆粒去除，由於廢氣中之粉塵雜質可能具有潮解或黏著等特性，因此，在處理上須格外小心，以避免過濾壓損太大而造成系統異常。一般可採多段式過濾方式(cassette filter)，並在濾網操作一段時間或壓損到達某一程度後即予丟棄。過濾網設計要點為過濾速度，濾布材質與濾布清洗系統等。

2.袋濾集塵機

袋濾集塵機之優點包括集塵效率高以及價格較低，且處理容量範圍自 $10m^3/min$~$10,000m^3/min$ 以上。目前市面上袋濾集塵機之濾袋具有較新之材質，同時振落方法亦較過去改進，因此對於各產業進行揮發性有機物前處理時應用上較為廣泛。一般袋濾集塵機若無濾袋破損及粉塵洩漏現象，可輕易達成 $10mg/m^3$ 之出口含塵

濃度，去除效率較靜電集塵機為高。

但由於袋濾集塵機一般所需空間較大，同時由於廢氣中含有大量揮發性有機物質，需慎選對於通過濾布時所造成的影響。其他可能會影響袋濾集塵機之因素包括廢氣之組成，尤其水分含量和酸露點，如果纖維過濾在酸露點附近操作，則可能會導致酸腐蝕的問題，此問題最常見於艙口蓋（hatches）、靜滯氣袋(deadair pockets)、漏斗等處；或者在低溫處(heat sinks；如外部支撐造成溫度較低處)也會發生。如果操作溫度降到水露點之下，不論在剛開始或是在正常操作之時刻，過濾袋阻塞的情形都會發生。有些微量化合物如氟之存在，會對某種纖維造成傷害(圖 5.2-1)。

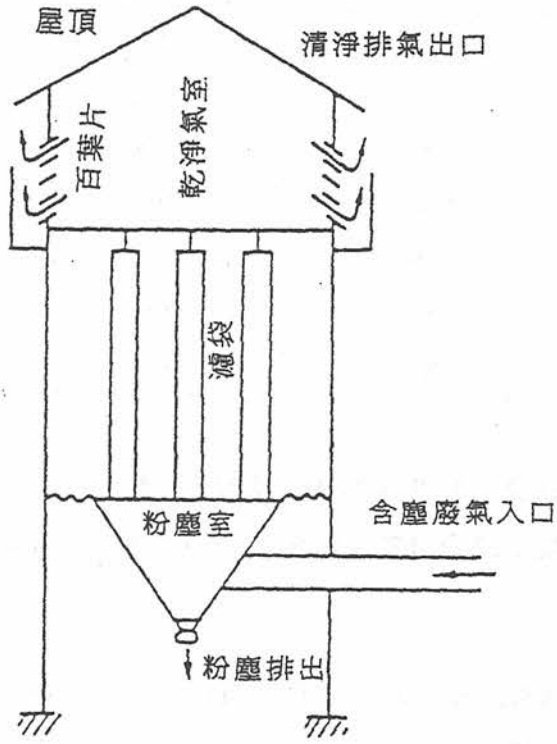


圖 5.2-1 袋濾集塵機結構示意圖

3.文氏洗滌塔

文氏洗滌器為在除塵設備中常見的型式，其有效收集氣體中微小的顆粒，其構造簡單，細小微粒均能捕集，對 1 微米以下的粒子有超過 90%的收集效率。其集塵效率與流速成正比，捕集之粒徑愈小時需要較高的流速，對 0.5 微米以下的粒子，使用 110m/sec 流速可得高效率。設備之簡圖如圖 5.2-2 所示。

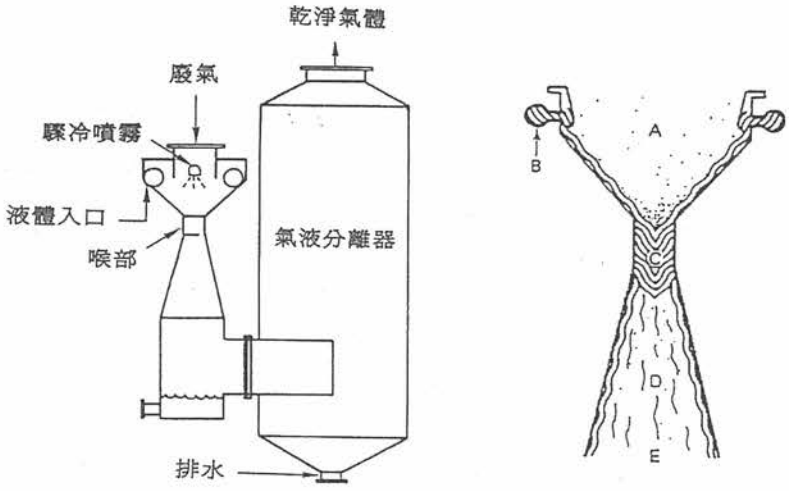


圖 5.2-2 文氏洗滌塔示意圖

此種型式的的洗塵器主要是使液滴在紊流區中產生，使得細小的液滴具有較大的初速度來與氣流中的顆粒產生碰撞，以增加收集微粒的效率，但其價格較高。主要形式有文氏管（venturi scrubbers）、變段喉頭式文氏管（variable-throat venturi scrubbers）及孔口式洗塵器（orifice scrubbers）三種。通常注入噴霧與氣體成直角，喉部流速最好在 60m/sec 以上，效果較佳。最大缺點是壓力損失大，動力費用高。本設備乃利用文氏管喉部之束縮，造成廢氣中粉塵加速撞擊至水膜中而加以收集。粉塵之去除效率與系統之壓力損失成近乎比例之關係；因此，在粉塵粒徑愈小時，文氏管喉部之廢氣流速須增加，以達到預期之處理效率，而系統之壓損將隨流速之增加而加大。本設備設計之要點為喉部廢氣流速、液氣比與氣液分離設施等。

(1)除塵機制說明

A.收縮段：廢氣進入並在收縮截面被加速。

B.液體入口：洗滌液均勻導入收縮截面因受重力與速度壓力作用而朝向喉管。

C.喉管：廢氣洗滌液進入喉管後受高能量與極大之擾動而混合。

D.擴散段：氣體及液滴進入擴張段再行進一步碰撞與聚結而產生更大之液滴。

E.氣液分離器：使得液滴自氣流中被移除。

4.填充洗滌塔

(1)填充洗滌塔之原理及型式

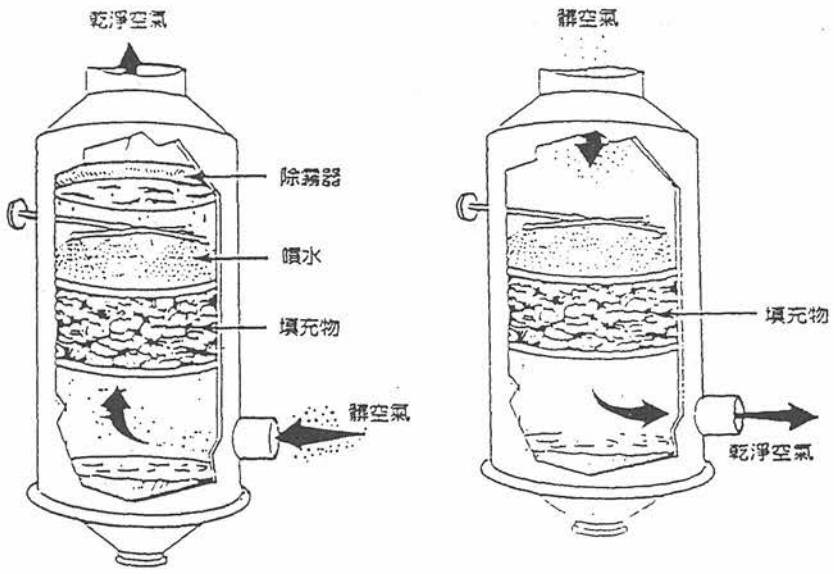
填充洗滌塔使用塑膠或陶瓷製之填充材料，水噴灑或流在填充材料上充當除

塵面，當廢氣通過一層層濕潤之填充材料時，其運動方向改變使得微粒因慣性而撞擊在填充料上。

如圖 5.2-3 所示之填充材料多為捲曲型，其目的在於提供一個大而濕潤之除塵表面，且不影響氣體或液體之流動。填充洗滌塔在應用上有兩種型式，圖 5.2-4 左方為逆流式填充洗滌塔（空氣向上，液體向下），右方則為同流式填充洗滌塔（空氣及液體均向下）。同流式填充洗滌塔內之空氣速度可設計較高，因此收集效率較逆流式高，所能收集到微粒之粒徑亦較小。

填充洗滌塔使用不當時，將會導致多項操作問題之發生。使用厚度較大之填充床可以提高除塵效率，但是其壓力損失亦隨之增加，且有被粉塵阻塞之虞。使用厚度較小之填充床，氣體可能因分配不均，使得填充床之某處填充物被吹開，而影響除塵之效果。

圖 5.2-3　填充材料之種類



逆流式　　同流式

圖 5.2-4　填充洗滌塔類型

(2)填充洗滌塔之設計使用注意事項

填充洗滌塔主要係利用填充料形成之液膜吸收氣狀污染物，而當液體流過填充層時，常有向塔壁匯集或是向塔中央集中之傾向。為避免此不良現象發生，塔徑與填充料尺寸之比值宜等於 10。此外，為避免操作時出現乾填充料狀況，液體噴淋密度之範圍為 15～20m^3/m^2-hr。若算出之填充層高度太大，則需分成若干段處理，每段高度一般應在 3～5m 以下，或按下列建議之倍數決定：對拉西環而言，每段填充高度為塔徑 3 倍，對貝爾鞍填充料者為 5～10 倍。填充洗滌塔之一般設計值為：氣體空塔速度為 0.3～1.5m/sec、液氣比為 1mol/m^3、壓力損失則為 50～200mm H_2O/m 填充高度。

濕式洗滌設備主要之配備包括槽本體、噴嘴、填充料及散氣、散液設施等，其所需考慮之各項要點各不相同，以下分別說明之。

A.槽本體

採用濕式洗滌設備需對本體材質或附屬設備予以特別考慮，尤其在處理具有腐蝕性之氣體時，例如二氧化硫氣體易由於降濕而凝結成稀硫酸致腐蝕本體內壁，此時可於低溫部份設備採內襯 PVC 或橡膠方式進行改善。在設置洗滌塔本體時宜注意下列事項：

・材質及接縫之密合性。

・宜預留觀測窗孔，以利操作觀察紀錄。

・填充料支撐板或開口應留意調整或補充填充料時之方便性。

・應留有備用排液孔。

・採循環方式操作應留有監測設備或採樣口，以供查驗吸收劑濃度。

B.噴嘴及散氣設施

選擇噴嘴須考慮之因素為：

・流量與壓力。

・噴灑角度分佈與距離。

・材質具耐腐蝕及耐磨性。

・噴嘴之孔隙需防止化學藥劑結垢、結晶、沉降現象而致阻塞。

若廢氣進入槽體係以切線交叉方式，在進氣口部份易發生氣流分佈不均勻之現象，致使吸收液呈現局部短流現象。因此，廢氣轉彎向上之漸變段宜設導流板，使廢氣能夠均勻向上，以避免造成散氣不足之效應，另亦可藉由增長緩衝段高度進行改善。

C.填充材料

填充材料具有均勻分散氣體與液體之功能，因此良好之填充材料應具有疏鬆之表面、較大之自由容積及較大之表面積等，使氣、液體之接觸停留時間增長。填充料之間宜有較大之空隙，以減少氣體向上升之阻力，並減少壓力降及節省動力。此外，使用質量較輕之填充料，則全塔之重量可以減輕，致減少塔身及塔底基礎之建造費用。採用堅固耐用而不與氣體或液體起化學作用之材料，亦可降低處理成本，因此可使用黏土、瓷器或碳等物質製成之填充料，亦可使用鋁、鎳金屬或其他合成材料製成者。

填充料之裝填方式分為隨意堆置(dumped)及整齊堆置(stacked)，前者適用小型填充洗滌塔，後者適用於大型填充洗滌塔。選購填充料時，應注意供應商提供之填充料特徵值是否齊全，以方便設計之用。

5.靜電集塵機

靜電集塵機在各種大型工廠已經有相當除塵之成功經驗，於不同產業則需依據粒狀物之特性再加以分類，若捕集的對象係以乾燥之固體粒子者，稱之為乾式。如

在集塵極上噴水造成水膜或噴水在集塵室把累積在集塵上之粒子洗掉者稱為濕式。濕式靜電集塵機利用異性電荷相吸原理並用水進行調理，以增加粉塵電導度及使粉塵顆粒變大，且無逆電暈和再揚起之問題，故集塵效果較高，同時亦能處理含有 SOx、HCl 等成份之廢氣，應用上對於如半導體業、光電業等處理揮發性有機物廢氣進入濃縮轉輪，進行塵粒之前處理則相當適合，但洗塵下來之廢水需處理是其缺點。對於設計要點在於進氣分佈、粒子飄移速度及廢氣特性（如塵粒電阻）、極板、極線之形狀等。一般初設費用遠高於文氏洗滌塔及乾式過濾網，至於操作費用由於系統壓損一般在 50mmH_2O 以下，故除非極線不正常損壞外，一般操作費用均極低。其設備示意圖如圖 5.2-5 所示。

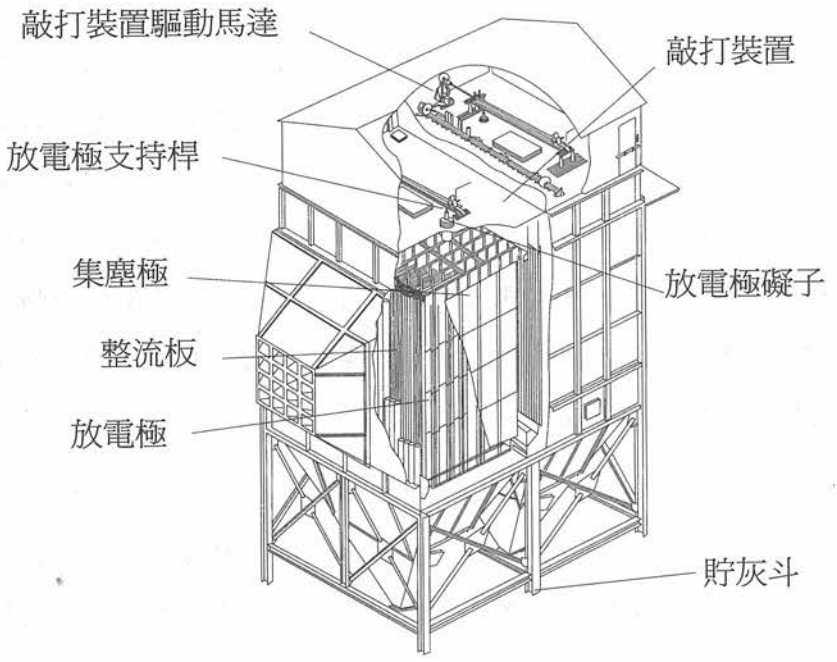


圖 5.2-5 靜電集塵機示意圖

5.3 VOCs 處理技術

從原物料、製程及藉由作業管理著手可以有效降低塗裝作業 VOCs 之產生量，但是若想達到 VOCs 零排放的目標，除非使用無溶劑型的塗料，否則仍無法避免 VOCs 之產生，因此對於以產生的 VOCs 還是需要依賴管末處理技術來作作污染防制工作的最後一到防線。管末處理技術包括目前已商業化之成熟技術及開發研究中之新穎技術，種類相當多；若針對國內常見之技術作分類，主要可區分為非燃燒式控制（如吸

收法、吸附法、冷凝法及生物處理）及燃燒式控制（如直接焚化、觸媒焚化、鍋爐／加熱爐及廢氣燃燒塔）等二大類：

5.3.1 吸收法

1.作用原理

吸收法為氣態污染物於廢氣與洗滌液接觸時，藉由分子擴散、紊流等質量傳送及化學反應等現象傳入洗滌液，使污染物質分離而去除，以達到淨氣的效果。一般的吸收程序通常包括吸收單元、再生單元及一些輔助設備等。吸收單元的主體為吸收塔，伴隨溶質之廢氣從吸收塔底進入，而吸收劑從塔頂進入，以進行氣、液相之接觸。經處理過乾淨氣體自塔頂流出，可逕行排放或導入其他單元處理，而從塔底流出之液體則需送入再生單元處理。

吸收可區分為物理吸收與化學吸收二種，亦可稱之為洗滌。化學吸收主要是利用吸收劑與氣體污染物產生反應而予去除；而物理吸收主要是藉由氣體在液體中的溶解度，而達到去除空氣污染物的目的。通常化學吸收可藉升高操作溫度、壓力來增加反應速率，不過同時卻降低了物理吸收的速率，至於物理吸收在較低溫操作下可達到較佳的去除效果。一般而言，化學吸收可使污染物濃度趨近於零排放，而物理吸收只能把污染物濃度降低至某程度，因此化學吸收在某些氣體污染物的控制及應用上相當重要。

2.應用範圍

在製程之原料或產品的回收技術中，常使用吸收法分解及純化含高濃度VOCs之氣體，因此當廢氣中含有高濃度、溶解性及反應性之污染物，採用吸收法可達到較高的效率。吸收法之設備一般有噴霧塔、填充式洗滌塔及板狀式洗滌塔等，一般業者基於經濟性與效率的考量，以填充式洗滌塔最常為業者所應用。吸收法對VOCs的去除率與所選擇之吸收劑種類、吸收塔之設計及系統操作情形有關，因此選用特定之吸收劑、降低操作溫度或加大吸收設備，理論上皆可有效提高VOCs去除率。

在使用吸收法作為VOCs控制技術時，業者需注意以下幾個限制要點：

(1)在以符合環保相關法規之前提下，通常需設計較高的液氣比及接觸時間，因此往往會設計較大之吸收塔容量及洗滌液使用量，如此將相對造成較高的初設費用及廢水處理的問題。

(2)如何找到適當的吸收溶劑使 VOCs 能有效的被吸收，且使用過的吸收溶劑能容易的再生使用或處理。當 VOCs 廢氣利用洗滌方式處理時，尤其適用於低級醇類、胺類、酮類、醛類及低級有機酸等親水性物質，表 5.3-1 為常見 VOCs 之吸收特性。

表 5.3-1　常見 VOCs 之吸收特性

VOC	低爆炸下限 (atm)	蒸氣壓，25℃ (atm)	洗滌水需求量，25℃ (水莫耳數/VOC莫耳數)
甲醇	0.061	0.161	4.33
乙醇	0.035	0.075	9.43
正丙醇	0.021	0.026	17.6
正丁醇	0.017	0.009	26.7
丙酮	0.026	0.291	80.0
甲乙酮	0.018	0.131	128
乙酸乙酯	0.022	0.121	364
醋酸丁酯	0.017	0.018	883
乙醚	0.018	0.701	2,780
苯	0.015	0.131	—

資料來源：劉文華，揮發性有機廢氣處理技術與應用實務，化工雜誌第75期，民國88年6月。

(3)吸收法是將空氣污染轉變為水污染，因此需要另外設廢水處理場來處理洗滌廢液。如果要對吸收後的溶劑回收處理，則可採用氣提法，即吸收法的逆處理，但需要考量是否具經濟效益。由於吸收液經氣提處理後，所含有機物濃度要相當低才值得回收，因此氣提塔的設置費用都相當高。

D.VOCs 特性的液、氣平衡圖值，不只影響有機氣體的吸收性，也直接影響吸收系統的設計。然而，此值對於對特殊的 VOCs 卻不一定有用。

5.3.2 焚化處理技術

1.焚化處理原理

一般產業製程所產生之揮發性有機物來源多為溶劑廢氣或臭味有機物質，其成份一般概含碳、氫、氧、氮、硫、鹵素等元素，因此焚化法之處理原理即在高溫下同時供給足夠的氧氣，與揮發性有機物中之各種元素進行混合燃燒，將有機廢氣轉化成無臭無害氣體。此法主要優點為適用於所有揮發性有機物成份，且去

除效率高，同時廢熱可回收再利用；然其缺點為燃料消耗量大、操作成本及技術較高、無法回收 VOCs。

一般常稱燃燒三要素即是：助燃之空氣、可燃之物質及燃點溫度，意即要使物質燃燒，須具備燃燒三要素始可造成燃燒。但除了造成空氣中之氣態污染物之燃燒現象外，更需使其完全燃燒以達成轉化為無害物質之目的，因此必須具備下列四個要件：

(1)空氣條件：物質燃燒必須供應足夠的空氣量(或氧氣量)才可使氧化反應完全。如果空氣量供應不足，燃燒就不完全，易產生黑煙、一氧化碳或其他污染物。反之，若空氣供應量過大，則會降低爐溫，增加排煙量及熱量損失。因此，供應適當的空氣量是十分必要的。

(2)溫度條件：燃料只有達到自燃點才能與氧化合而燃燒。所謂自燃點(autoignition temperature)亦稱著火溫度，係指在該溫度時，物質不需要外來火源即可發火的溫度，亦為在氧氣存在下，可燃物質開始燃燒所必須達到的最低溫度。當溫度高於發火溫度，且燃燒放熱速率高於向週圍散熱的效率，能夠維持較高溫度時，燃燒過程才能持續進行。若揮發性有機物之濃度不高，則來自污染物成份之燃燒產生熱對廢氣溫度提升相當有限，欲如此處理尚需添加適量輔助燃料，才能達到所需之燃燒溫度。

(3)時間條件：燃料在燃燒室停留的時間是影響燃燒完全程度的另一重要因素。燃料在高溫區的停留時間應超過燃料及其後氧化反應所需時間，而氣流的停留時間將決定燃燒室的大小及形狀。

(4)混合條件：即燃料與空氣中的氧充分混合，這也是有效燃燒的要件之一。混合程度取決於氣流的紊流強度。

其中除了空氣條件外，一般將溫度(temperature)、停留時間(time)與紊流強度(turbulence)合稱為燃燒的"3T"原則，每個條件皆可視需要情況加以修正，並準確控制，以使廢氣完全燃燒，達到預期之處理效果。

2.焚化處理設備

利用焚化法來處理 VOCs，為一最有效的控制處理方法，一般最簡單之焚化方式為直燃式焚化法，若選用直燃式焚化法，則因燃燒溫度較高（650～850℃），一般需考慮廢熱回收問題（熱交換器最高熱回收率可達 70%），近來已發展出一種高熱回收率之蓄熱式焚化法，其熱回收率可達 95%以上，大大地減少了所

需輔助燃料的用量。至於選用觸媒焚化法，則可藉觸媒的催化作用而降低有機物的氧化溫度（250～400℃）。因此一般常見處理設備種類之分類方式可依熱回收方法以及觸媒的有無分類。若以觸媒的有無分類，則可分為無觸媒之直燃式焚化法以及觸媒焚化法兩種，其主要差異在於燃燒溫度的不同及觸媒之有無。若以熱回收形式進行分類，則可分為熱回收型（thermal recuperative）及蓄熱型（thermal regenerative），熱回收型設備以表面式熱交換器（surface heat exchanger）回收焚化設施高溫排氣熱量，但熱回收率<70%；蓄熱型者以陶磁或石質蓄熱才回收排氣熱量，一般熱回收率可達 85%以上。

焚化設備之分類示意圖如圖 5.3-1 所示。對於大風量之 VOCs 廢氣處理而言，若採直接焚化處理，則可能甚不經濟，故針對此類廢氣之處理，可採用轉輪濃縮技術先行將廢氣濃縮後再予以焚化。

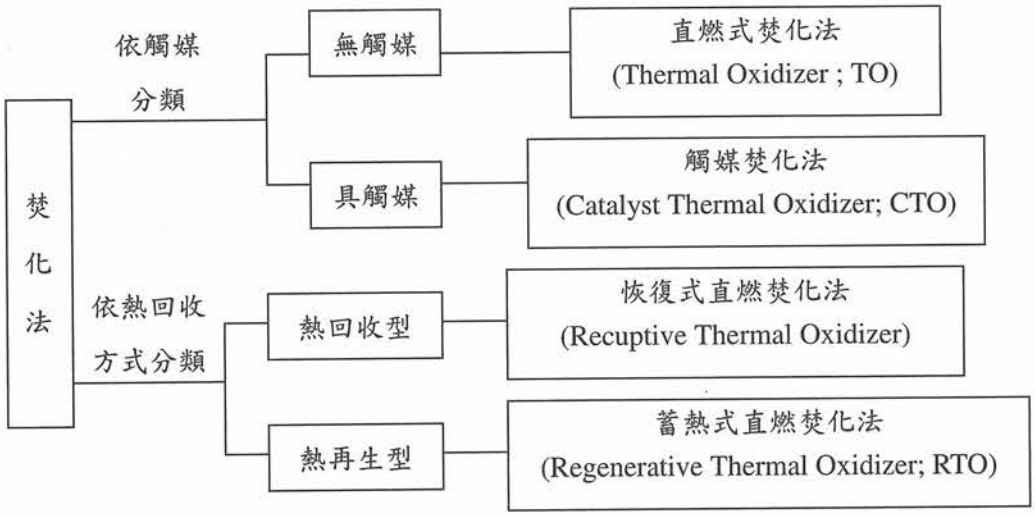


圖 5.3-1 熱焚化設備之分類

(1)直燃式焚化法

直燃式焚化法之優點為適於處理各類有機廢氣及臭味氣體，處理效果極佳且可回收廢熱利用。但缺點為燃料費可觀、操作成本高，同時若無連續且高濃度之廢氣污染源，則會造成能源之浪費。若操作不當則燃燒後排出之產物仍可能造成空氣污染，如 SOx、NOx 等，甚至產生氯化物等物質。尤其高濃度廢氣可以熱焚化直燃法處理，在廢氣含大量粒狀物或金屬等毒化觸媒成份之情況更顯見其適用性。一般而言，若 VOCs 濃度高於爆炸下限值（LEL,lower explosive limit），則需先稀釋才能適用此方法。

一般熱焚化的火焰溫度可達 1,370℃，混合氣體在燃燒室燃燒溫度為 650-820℃，氣體停留時間為 0.3-0.5 秒，氣流速度為 3-15m/s。在上述條件下，VOCs 之去除率可達 99%以上，燃燒產物通常為水、二氧化碳、氮氧化物、硫氧化物等。熱焚化之一般可有效改善由各種成份所致之高濃度 VOCs 及臭氣問題，但相當耗費燃料。

根據焚燒火焰之有無，直燃式焚化法可分為直接火焰燃燒法及熱焚化。直接火焰燃燒法以燃燒器直接燃燒廢氣，燃燒溫度約控制於 650～850℃；熱焚化法使用電熱方式以提高廢氣溫度，但因無火焰存在，故如欲達到與前者相同之處理效果，則需較高溫度約 820～1000℃，因兩者原理相同，一般統稱為直燃式焚化法，其裝置構造簡圖如圖 5.3-2 所示，實際設備圖如圖 5.3-3 所示。廢氣在燃燒室內滯留時間為 0.3～0.5 秒，燃燒室出口之廢氣溫度約在 800℃左右，可先行將廢熱回收利用於預熱廢氣；也可不需預熱廢氣而將燃燒室排放出來的廢氣熱能直接回收利用。焚化所需溫度一般視廢氣成份、滯留時間及破壞效率而定，表 5.3-2 為典型 VOCs 及臭味氣體之焚化溫度與破壞效率之代表值，表 5.3-3 為建議之操作溫度，若操作溫度愈高，則破壞效率愈高。設計時須準確的控制燃燒溫度、滯留時間及廢氣的擾流性等三個主要因素，以使廢氣獲得完全燃燒。

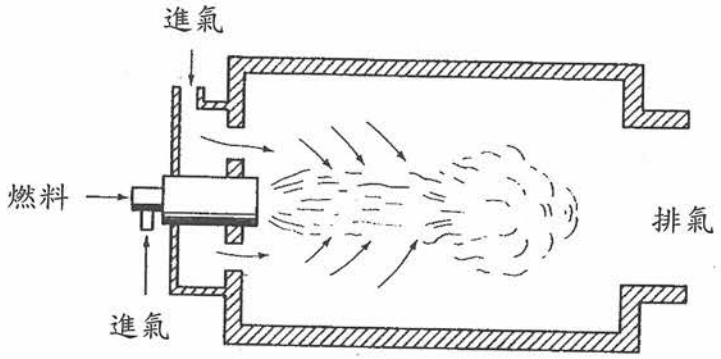


圖 5.3-2 直燃式焚化爐設備示意圖

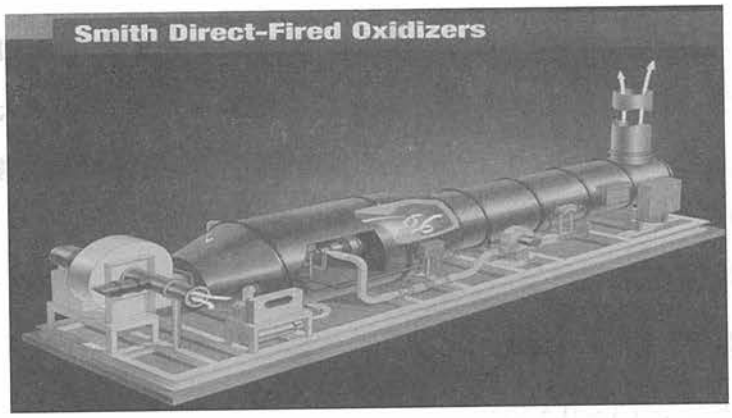


圖 5.3-3 直燃式焚化爐設備圖

表 5.3-2　焚化溫度與破壞效率關係

有機成份	滯留時間(秒)	處理溫度(℃)	破壞效率(%)
乾性油樹脂	0.45	640	80
聚酯樹脂	—	695	99.6
低級脂酸、胺類	0.3	720	無臭
低級脂酸、丙烯類	0.5	550	無臭
酚、氨	0.5	700	無臭
油臭	0.5	700	98
甲醛、一氧化碳	1.0	650	無臭
甲苯、二甲苯	—	650	92
照相凹印墨、光油	—	735	97
碳氫化合物*	0.3～0.5	590～680	90以上
碳氫化合物＋一氧化碳	0.3～0.5	680～820	90以上

註*：甲烷、芳香劑、溶纖劑轉化率為90%以上時，反應溫度為760～820℃。

表 5.3-3　直接焚化之建議操作溫度

污　染　源	操作溫度(℃)
臭味控制	700～850
油脂排煙	650～850
烤漆爐	650～820
揮發溶劑	700～820
漆包線	760
精製操作	650
炊具上漆	650
乙烯塑料溶膠處理	650～760
燻煙	650
註：廢氣滯留時間控制於0.3～0.5秒	

直燃法在設計時，VOCs 濃度必須限制於低爆炸下限(LEL)的 25%以下。因此，當 VOCs 濃度過高時，必須引入空氣加以稀釋，而大部份 VOCs 可達 98%以上之去除效率。設計直燃式焚化爐時，一般設計的步驟如下：決定爐體燃燒溫度、計算空燃比、計算廢氣量、計算爐體尺寸。此外，VOCs 去除效率主要受爐溫及滯留時間所影響，因此一般設計參數，如下所示：

A.操作溫度：650～850℃

B.滯留時間：0.3～0.5 sec

C.焚化爐內氣體流速：6～12 m/sec

D.VOCs 破壞率：95%以上

E.熱回收率：

- 單一熱交換單元：35～40%
- 二個熱交換單元：45～50%
- 三個熱交換單元：65～70%

F.系統壓損如表 5.3-4

表 5.3-4 焚化系統熱交換率與壓損關係表

設　　備	熱交換率(%)	壓損(mmH_2O)
焚化爐本體	0	105
熱 交 換 器	35	105
	50	210
	70	385

G.輔助燃料用量：為最主要之操作成本項目

H.設置與操作成本

I.設備尺寸大小與所需空間

(2)觸媒焚化法

觸媒焚化法其構造原理及方法均和直燃式焚化法類似，而主要差異在觸媒焚化法由於觸媒可在較低的溫度下完成分解破壞之作用，其火焰狀態與直燃法也所有差異。其優點在於處理溫度低（約 250～400℃，即可產生反應），可大幅節約燃料費用，且設備不需特殊昂貴的材質，耐久性良好，安全性高。同

時於低溫操作可抑制 NOx 的形成。但是相對其缺點則因觸媒易為粉塵、煙霧、有機矽、鹵素化合物、硫磺化合物及各種重金屬所劣化或毒害，因此必要時須作前處理去除之。

對於中濃度有機廢氣（VOCs 含量 500～5,000mg/Nm^3），觸媒焚化法屬於經濟有效處理方法之一，觸媒具有特殊的化學性質，能將有機廢氣在較低的溫度下（250～400℃）分解破壞而轉化成無害物質，其滯留時間約為 0.1～0.2 秒，可依不同的廢氣成分、濃度及所需的破壞效率而選用不同的觸媒與操作溫度。在一般使用狀況下，觸媒每 1～3 年須更換或再生，以維持其處理功能，較常用之觸媒主要成份一般為 Pt、Pd、Mn、Fe、Cr_2O_3、V_2O_5 或其他合金之混合體。至於 VOCs 焚化所使用之觸媒大多為貴重金屬、鹼金屬或其鹽類化合物，而其附著或支撐物材質則以惰性物質（如 Al、陶瓷）為佳。

圖 5.3-4 為觸媒焚化法簡易構造示意圖，而其實際設備圖如圖 5.3-5 所示，廢氣由風車送經預熱器預熱後，再進入燃燒室燃燒，最後經觸媒床反應而將有機廢氣成份予以破壞，同時由於安全之考量，進流廢氣 VOCs 濃度應在該 VOCs 低爆下限(LEL)之 25%以下。焚化爐中裝置燃燒器，於操作未穩定前（例如剛開機）如廢氣溫度尚未達到催化所需燃燒溫度，此一燃燒器可自動打開補足所需熱量。燃燒室排出之廢氣，在通過預熱器時，將一部份熱能傳給進來之低溫廢氣，再由煙囪排放至大氣。

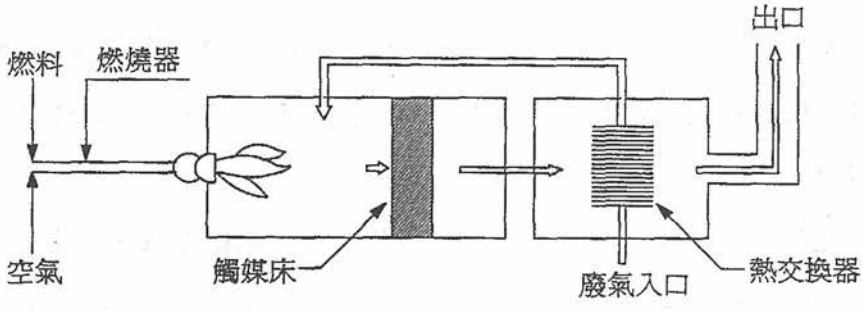


圖 5.3-4 觸媒焚化法簡易構造示意圖

表 5.3-5 為觸媒焚化法在工業上的應用及觸媒反應所需的操作溫度。一般而言，在同樣操作條件下，有機物之觸媒焚化難易程度由易而難依次為：醇、醛、芳香烴、酮、乙酸、脂肪烴、氯烴。

表 5.3-5　觸媒焚化在工業上的應用

程序	廢氣中之污染物	觸媒反應溫度(℃)
瀝青氧化	醛類、油、蒸氣	320～370
石油裂解	一氧化碳、碳氫化合物	340～370
砂心烘箱	蠟、油氣	320～370
甲醛	氫、甲烷、一氧化碳、甲醛	350
硝酸*	一氧化氮、二氧化氮	260～650
石皮印刷烘箱	溶劑、樹脂	260～400
辛酚	酚	320～430
鄰苯二甲酐	順丁烯二酸、鄰苯二甲酸、一氧化碳、甲醛	320～350
聚乙烯	碳氫化合物	260～650
印刷	溶劑	320
煮漆	碳氫化合物	320～370
漆包線、烘箱	溶劑、油漆	320～370

* 還原反應，其餘為氧化反應

觸媒焚化法是利用觸媒來氧化 VOCs，故為了維持觸媒良好的使用壽命及處理效果，須注意下列影響之因素：

A.廢氣中可能含有膠質物質，當溫度降低時，容易附著在觸媒及管壁上，因而增加壓降，而降低了觸媒的處理效果。

B.粉塵會附著於觸媒表面上，使其表面活性下降，並引起堵塞，而致壓降增大。

C.不純物如無機鹽類氧化後的生成物，會附著在觸媒表面而使觸媒活性降低，甚至永久中毒。

D.硫化物及鹵化物合物經氧化分解的物質會使觸媒腐蝕、中毒。

E.處理氣體的熱值不可過高，否則大量放熱，會使觸媒產生燒結作用，降低處理效果。

F.裝置之氣密性及氣體混合的均勻性，均會影響處理效果，表 5.3-6 所列為一般的污染物對白金系的觸媒所造成的不良後果。

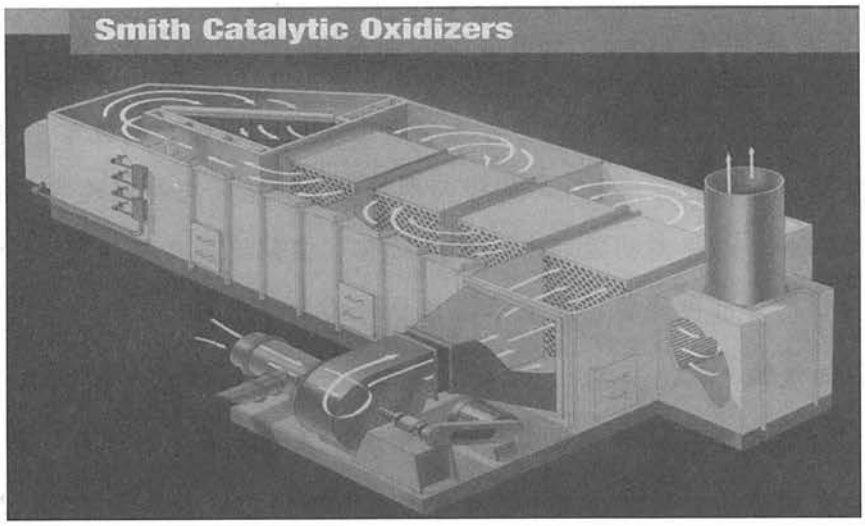


圖 5.3-5 觸媒焚化設備圖

表 5.3-6　對白金系的觸媒引發中毒、抑制作用及污染的物質

中　毒	重金屬 磷酸鹽 砷
抑　制	鹵素及其化合物 硫化物
污　染	無機微粒 鋁及其氧化物 矽化物 鐵氧化物

一般使用觸媒常為鉑金屬之合金，而以多孔性形態沉積於惰性擔體上。由於觸媒採用貴金屬合金，其價格昂貴，因此適當的選用與設計，除可確保觸媒之使用壽命及效率外，亦可減少觸媒之購置費用。一般影響觸媒焚化爐之設計參數及影響因子，如下所述。

A.氣流之均勻性

為避免 VOCs 廢氣通過觸媒時因氣流分佈不均勻，致使局部觸媒因操作溫度過高而造成觸媒金屬或擔體燒結；或廢氣集中於某部份觸媒處理，而使該部位觸媒之使用壽命縮短。因此，設置良好之氣流分配器，使廢氣平均通過觸媒截面，以達觸媒有效之利用，增加其使用壽命，並提高處理效率。

B.空間速度（volume hourly space velocity,VHSV）

空間速度乃指單位觸媒體積所處理之氣流流量，如下式所示：

$$空間速度(h^{-1}) = \frac{處理氣體流量(m^3/hr)}{觸媒體積(m^3)}$$

當空間速度愈大，則停留時間愈短，因而造成控制效率下降之現象，然若空間速度值設計過低，即停留時間增長，雖能提高處理效率，卻因觸媒需求體積增加，而提高初設成本。一般而言，空間速度之設計值多介於 12,000～30,000hr^{-1}，亦即停留時間宜維持在 0.3～0.6 秒之間。

C.觸媒之種類

觸媒種類因擔體形狀而有不同型式，其特性及適用場合如表 5.3-7 所示。另外在觸媒的材料選擇上，包括貴重金屬觸媒及鹼金屬觸媒（以 MnO_2 最為常用），最常用之貴重金屬觸媒是將白金添加少許鈀使其成為一種催化劑，此催化劑被塗佈於安定物質的表面，因其具有相當大的活性，且不易破碎，故在處理相同廢氣量時所需之用量較少，但價錢較昂貴。此外，對於不同的觸媒可能產生之空間速度並不同，如表 5.3-8 所示。

表 5.3-7 不同種類觸媒之比較

觸媒種類	特性	適用場合
金屬帶狀、發泡金屬	壓損大、易阻塞 觸媒被覆效果較差	低風量廢氣處理 不含酸性成份物質之廢氣
金屬蜂巢	壓損小、耐碰撞 使用效果佳 可配合製作各類外型、尺寸 國內已能量產供應	高風量廢氣處理 不含酸性成份物質之廢氣
陶磁蜂巢	壓損小、效果佳 易碎裂 國內可製作，但品質不穩定	高風量廢氣處理 適於處理酸性氣體
顆粒	壓損很大 製作成本便宜	適於處理低風量廢氣 儀器（如檢測分析設備）排氣處理

表 5.3-8 不同種類觸媒之空間速度

觸媒種類	90%轉化率 (hr^{-1})	95%轉化率 (hr^{-1})
貴重金屬	40,000	30,000
鹼金屬	15,000	10,000

D.壓力損失

系統壓損之大小直接關係風車功率之需求及將來操作成本之多寡。其為觸媒床深、廢氣空塔速度、觸媒孔隙率及熱交換器效率之函數。

(A)觸媒床深 L

觸媒床之設計深度與污染物之去除效率，即其進、出口濃度有關。

$$L = -L_m \ln \frac{[A_L]}{[A_O]}$$

L：觸媒床深(m)

L_m：質傳單元長度(Length of a mass-transfer unit, m)

$[A_O]$：觸媒床入口污染物濃度，ppm

$[A_L]$：觸媒床出口污染物濃度，ppm

$$\text{又} \quad L_m = \frac{ud^2}{4ShD_A}$$

u：容積速度(bulk velocity)，m/s

d：觸媒之有效孔徑

Sh：Schmidt number，根據 Holman(1990)之實驗推測，圓形蜂巢之 Sh 為 4.364，方形蜂巢孔之 Sh 為 3.61

D_A：擴散係數（甲苯：$2.46\times10^{-5} m^2/s$ at 650°K）

(B)觸媒床之壓力損失與廢氣流速成正比，一般為避免系統之壓損過大，空塔速度 v 之設計值一般以不大於 10m/s 為原則。

a.觸媒床所造之功損失$\triangle P_c$

$$\triangle P_c = \frac{2fLv^2\rho}{d}$$

$\triangle P_c$：觸媒床所造成之壓力損失(kPa)

f：摩擦因子

$$f = \frac{16}{Re}$$

Re＝雷諾數（$Re = \frac{\rho vd}{\mu}$）

ρ：廢氣密度(kg/m^3)

v：廢氣空塔速度(m/s)

d：觸媒之有效孔徑(m)

μ：黏滯係數(kg/m・s)

L：觸媒床深度(m)

b.熱交換器所造成之壓力損失$\triangle P_E$

熱交換器若欲獲得較高之熱回收率，就必須增加氣體與金屬管壁的接觸面積，因而亦提高壓力損失，根據 Katari 等國外專家所發表文獻，不同熱回收率交換器之壓力損失如表 5.3-9 所示。

表 5.3-9 不同熱交換率觸媒焚化爐之壓損比較

設　　備	熱交換率（%）	壓損(kPa)
觸媒焚化爐（未設熱交換器）	0	1.03
觸媒焚化爐（設熱交換器）	35	1.57
	50	2.06
	70	3.78

c.其它$\triangle P_O$

除觸媒床、熱交換器所造成之壓力損失外，由管線及入口端所產生之壓力(entrance effect)損失約 0.05～0.01kPa。

d.總壓力損失$\triangle P_{TOT}$

$$\triangle P_{TOT}=\triangle P_C+\triangle P_E+\triangle P_O$$

(C)風車所需之功率 W

$$W=\frac{Q\Delta P_{TOT}}{E_m}$$

W：風車功率(kw)

Q：廢氣流率(m^3/s)

E_m：風車之效率(%)，包括風車之機械效率η_m及考慮之安全係數η_n，一般設計值$E_m=\eta_m\times\eta_n=0.8\times0.7=0.56$

(3)蓄熱式焚化法

蓄熱式焚化法為最新發展出來的一種高熱回收率焚化裝置，它是屬於直

燃式焚化爐的一種衍生體，其處理設備如圖 5.3-6 所示。廢氣於進入主燃燒室之前，部份 VOCs 已先於預熱室中燃燒破壞，剩餘 VOCs 則在高溫主燃燒室中（1,000～1,500°K）完全燃燒去除。

預熱室中填充陶瓷材質或能耐高溫的填充物，其蓄熱效果甚佳，熱回收率可高達 95%以上，故僅須極少量的輔助燃料即可將 VOCs 完全破壞去除，設備使用年限更可高達 20 年。對於 85%及 95%之熱回收率操作，系統壓損分別為 400 及 500mmH_2O。

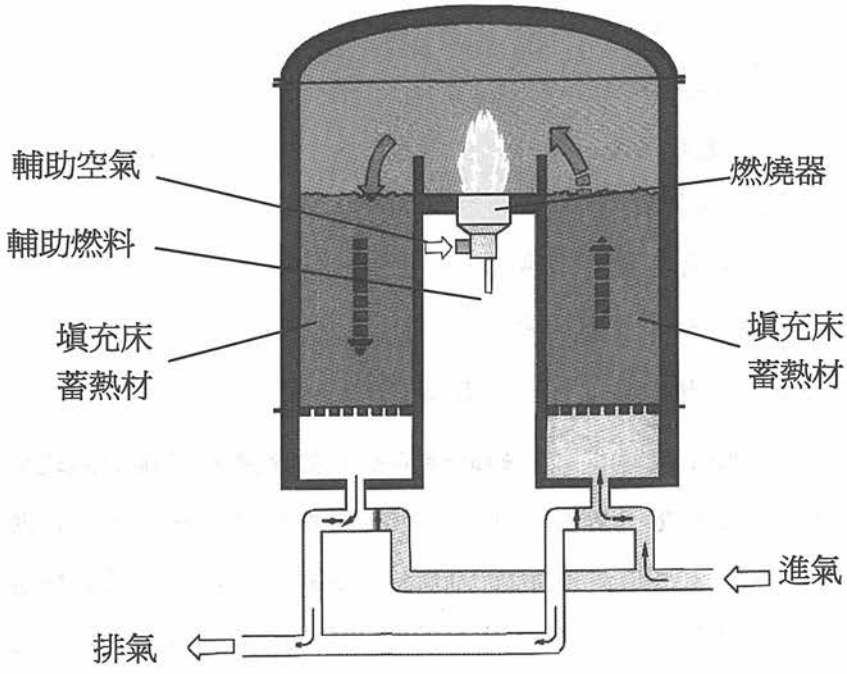


圖 5.3-6　蓄熱式焚化爐（regenerative incinerator）構造圖

不同形式的 RTO 均在相同的基本原則下進行操作，其目的均以回收廢熱以提供進流廢氣可進行預熱以減少熱能之損失，但一般不同設計結構的蓄熱床以及控制系統，則係為了以最低成本達成最高去除效率。由於 RTO 無法達成 100%燃燒熱之回收，且熱能會經由隔熱牆而造成損失，因此當空氣中沒有足夠的 VOCs 來維持燃燒時，通常需增加額外的燃料，燃料之形式則多以天然氣較多，並混合空氣進行燃燒。以下針對三種使用輔助燃料之不同方式及原理進行說明。

A.輔助燃料隨廢氣進入系統

這一類的燃燒方式，燃燒室中的燃燒器只用來進行預熱，當 RTO 操作時，燃燒器是關起來的。輔助燃料加到廢氣中，藉以提高廢氣中足夠的 VOCs 含量，維持燃燒室足夠的熱度。由質量平衡之觀點，離開 RTO 的排氣中，其質量流率則與進流之質量流率相同，因此評估 RTO 熱效率則可藉由進氣溫度、排氣溫度及燃燒室溫度計算得知，如下列公式：

$$\eta = \frac{M_{out}(T_c - T_s)}{M_{in}(T_c - T_i)} = \frac{(T_c - T_s)}{(T_c - T_i)}$$

η：熱效率

T_c：燃燒室溫度

T_i：進氣溫度

T_s：排氣溫度

M_{in}：進氣質量流率

M_{out}：排氣質量流率

B.由燃燒器進入燃燒室之氣流－固定流率

這一類的燃燒方式，輔助燃料如天然氣並不直接加到進流氣體，而是與燃燒器之氣體一併混合進入具有火焰之燃燒室中。此類輔助燃料加入的方式，排氣質量流率則等於 VOCs 進流質量流率加上隨著燃燒器氣體進入燃燒室之混合氣流。(燃燒器必須與燃燒氣體注入空氣，以避免造成產生多煙的火焰）此系統中須具有可控制輔助燃料天然氣注入流率之控制閥，以維持燃燒室溫度，燃燒器的氣流流率仍是固定的，因此熱效率可由氣流流率及溫度加以計算，如下公式。

$$\eta = \frac{M_{out}(T_c - T_s)}{M_{in}(T_c - T_i)} = \frac{(M_{out} + M_b)(T_c - T_s)}{M_{in}(T_c - T_i)}$$

η：熱效率

T_c：燃燒室溫度

T_i：進氣溫度

T_s：排氣溫度

M_{in}：進氣質量流率

M_{out}：排氣質量流率

M_b：燃燒器輔助燃料氣體質量流率

包括進流空氣流速、進氣溫度、排氣溫度以及循環時間、燃燒空氣流率或燃燒器進氣流率與廢氣進氣流率比，都必須掌握以利進行控制並提高熱效率（如典型的燃燒器進氣流率與廢氣進氣流率比約為 2~5%）。值得注意的是，儘管 RTO 消耗較多的輔助燃料，但對於相同的進氣溫度、排氣溫度、燃燒溫度等，由固定流率計算之熱效率較高，顯示使用第二種方式設計之 RTO 可達成之效率較高。

但若經由燃燒器注入過多的空氣至燃燒室，則將造成浪費，主要原因係這些空氣並未經過預熱，將此過多空氣由常溫提升至燃燒溫度，其能量即來自於更多的輔助燃料，因此需精確控制進入燃燒器的空氣流率以避免造成輔助燃料之浪費。

C.由燃燒器進入燃燒室之氣流－可變動流率

這一類的燃燒方式，輔助燃料如天然氣並不直接加到進流氣體，而是與燃燒器之氣體一併混合進入具有火焰之燃燒室中，與第二種 RTO 之設計方式相同。此類輔助燃料，但氣流將調整成固定氣燃比，因此控制加入空氣的流率藉以節省能源。如此一來，燃燒器中氣流之質量流率則不再是常數，計算上將更為繁複。

若將以上三種形式以實際設計參數及效益，以 LANTEC 公司 MLM-200 型之設計參數加以說明，其設備圖及填充床蓄熱材預熱階段空氣溫度變化如圖 5.3-7，並將三種不同型的 RTO 其熱回收效率評估結果列如表 5.3-10。由表中得知三種系統之熱回收效率分別為 95%、96.2%、95.8%，顯示仍以第二種系統中達成最高之熱回收效率。因此業者選擇 RTO 作為主要焚化設備時，除了考慮其初設成本價格外，應對於不同形式之熱回收效率進行瞭解，以利評估操作所消耗之輔助燃料成本，減少操作費用並達成最高之熱回收效率。相關設計參數如下：

(A)進氣質量流率（M_{in}）：10,000 scfm

(B)進氣溫度（T_i）：100°F

(C)燃燒室溫度（T_c）：1500°F

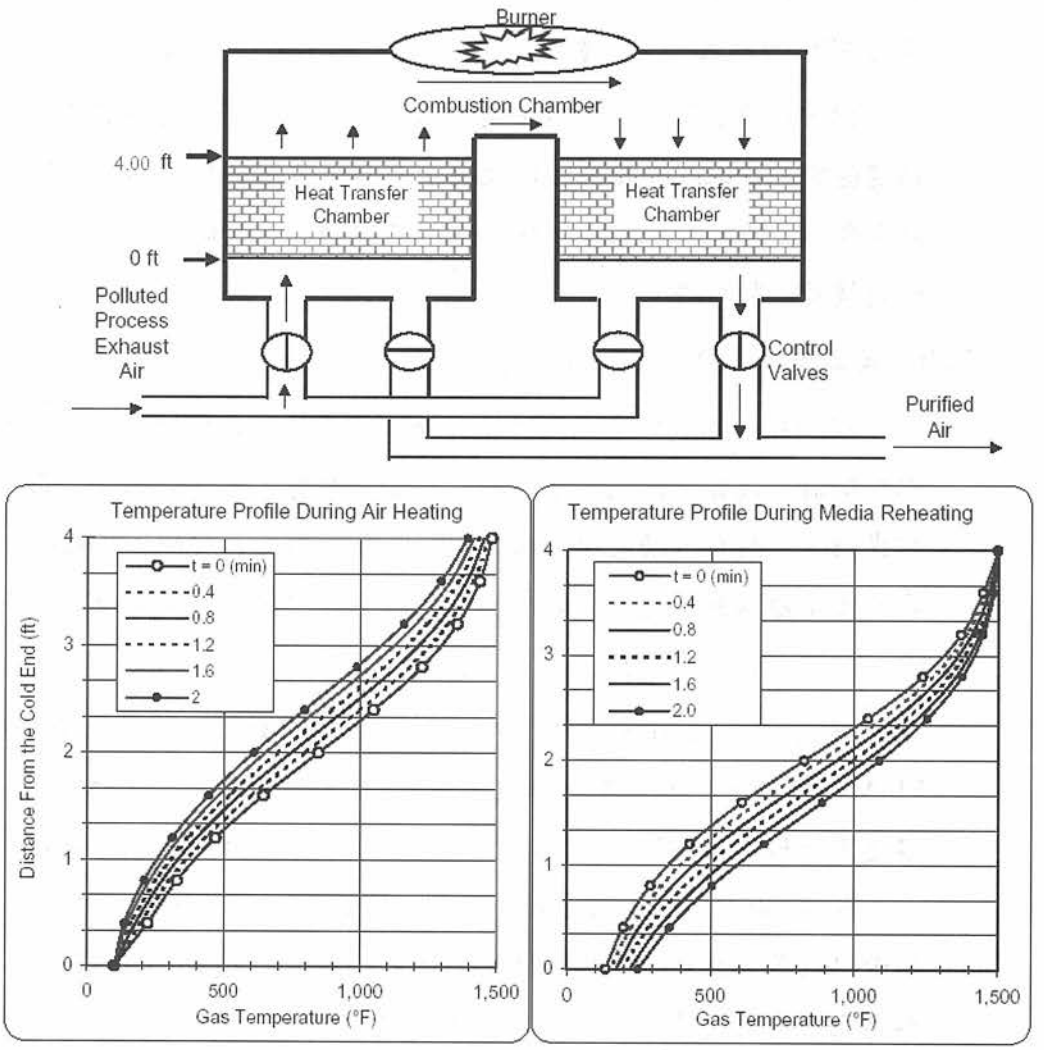
(D)蓄熱材面積：50 ft^2

(E)蓄熱材深度：4 ft

(F)循環時間（加熱或冷卻）：2min

(G)燃燒器空氣/進流空氣比：0.03 scfm/scfm

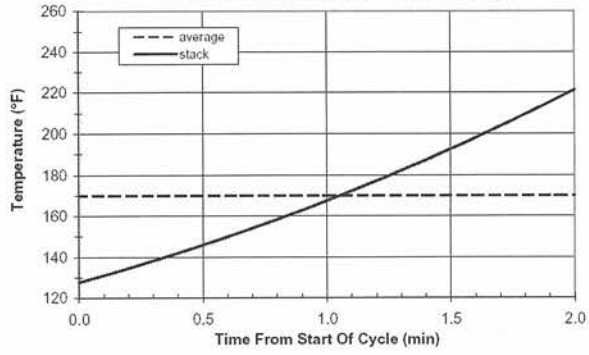
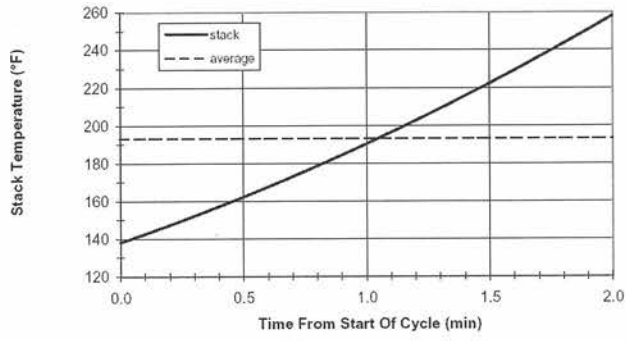
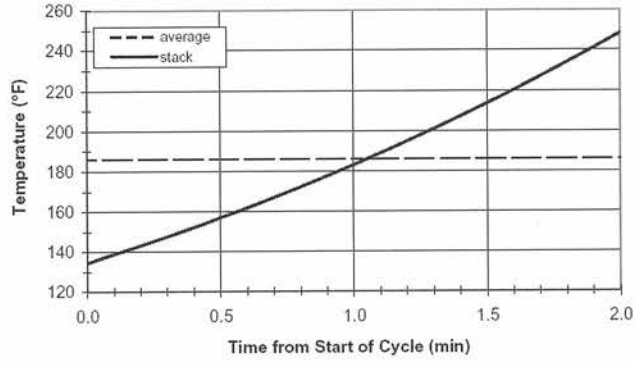
(H)氣體流速：200 scfm/ ft^2



資料來源：Lantec Products,Inc. MLM-200

圖 5.3-7 填充床蓄熱材預熱階段空氣溫度變化圖

表 5.3-10 不同 RTO 形式熱回收效率計算例

系統一 輔助燃料隨廢氣進入系統 熱回收效率：95% 燃燒器質量流率（M_b）：0 scfm 排氣平均溫度（T_s）：170°F	$\eta = (T_c - T_{out}) / (T_c - T_{in}) \times 100$ $\eta = (1,500 - 170) / (1,500 - 100) \times 100 = 95.0\ \%$ 
系統二 燃燒器氣流－固定流率 熱回收效率：96.2% 燃燒器質量流率（M_b）：300 scfm 排氣平均溫度（T_s）：193°F	$\eta = M_o(T_c - T_{out}) / M_i(T_c - T_{in}) \times 100$ $\eta = (10,000 + 300) \times (1,500 - 193) / (10,000) \times (1,500 - 100) \times 100 = 96.2\ \%$ 
系統三 燃燒器氣流－可變動流率 熱回收效率：95.8% 燃燒器質量流率（M_b）：198 scfm 排氣平均溫度（T_s）：186°F	$\eta = M_o(T_c - T_{out}) / M_i(T_c - T_{in}) \times 100$ $\eta = (10,000 + 198) \times (1,500 - 186) / (10,000) \times (1,500 - 100) \times 100 = 95.7\ \%$ 

資料來源：Lantec Products,Inc. MLM-200

5.3.3 生物處理技術

生物處理技術對於中低濃度揮發性有機廢氣及臭味氣體的處理具有低操作成本之優點。依反應器之設計，生物處理技術可進一步細分成生物濾床(biofilter)、生物洗滌塔(bio-scrubber)、生物滴濾塔(bio-trickling filter) 等三種。其中，生物濾床是去除臭味氣體成份最古老的生物處理方法，也是目前應用最為廣泛，使用最成熟的廢氣生物處理技術。從 1920 年代開始，生物濾床即以土壤濾床的形式出現，成功應用於廢水處理場臭味廢氣的處理，去除廢氣中之臭味成份(主要為硫化物)。到了 1980 年以前生物濾床主要仍被用於處理廢氣中的臭味物質，但是在 1980 年代早期，應用的領域逐漸被擴展到去除微生物容易分解的許多其他揮發性有機化合物上。在濾床的外觀上也由粗糙的土壤濾床，發展到有屋頂防止暴雨沖刷的堆肥濾床，及封閉式調溫調濕的新式人工濾料濾床。

生物處理技術中生物洗滌塔、生物滴濾床較適於處理水溶性高的污染物，例如丁酮、丙酮、醇類、硫化氫、…等等污染物。而生物濾床除可處理上述水溶性較高的污染物以外，對水溶性較差的苯環類(苯、甲苯、二甲苯及乙基苯)污染物亦具一定的處理效率。

整體而言，生物處理技術的處理效率，依污染物本身的水溶性及生物可分解性，以及在生物反應器中停留時間的長短而有所不同，平均處理效率約可達到 85% 以上。表 5.3-11 為 van Groenestijn 及 Hesselink 二人對三種生物處理技術間特性、應用面與優缺點之比較。Kok 則對於不同生物反應器型式適用的 VOCs 負荷，與污染物氣液相分配係數(distribution coefficients)做了如圖 5.3-8 的整理。當廢氣中污染物負荷較高時，適合以生物洗滌塔來處理，而生物滴濾塔與生物濾床則適於處理低有機負荷的廢氣，當氣液分配係數較大(即水溶性較差)時，則以生物濾床較適合。

表 5.3-11 三種生物處理技術特性、應用面與優缺點比較

	生物濾床	生物滴濾塔	生物洗滌塔
特性	1.生質(biomass)固定化 2.水相固定化 3.單一反應器	1.生質固定化 2.單一反應槽體 3.水相可移動	1.生質大部份為懸浮態 2.水相可移動 3.兩個槽體
應用面	1.污染物濃度< 1.0g/m^3 2. H* < 10	1.污染物濃度< 0.5g/m^3 2. H* < 1	1.污染物濃度 < 5g/m^3 2. H* < 0.01
優點	1.高氣液接觸表面積 2.適於處理低濃度臭味及VOCs 廢氣 3.操作、啟動容易 4.可處理濃度不穩定之廢氣 5.低設備、操作成本 6.無二次污染	1.可處理中、低濃度臭味及VOCs廢氣 2.反應條件(pH值及營養份)較易控制 3.低設備、操作成本	1.可處理較高濃度臭味及VOCs廢氣 2.反應條件(pH、營養份)較易控制 3.可避免反應產物累積 4.洗滌設備構造簡單 5.壓損低
缺點	1.易因濾料壓密、結塊造成穿流(channeling)現象，降低處理效率 2.反應條件(pH值及營養份)不易控制 3.含水率易失控；太乾時，易造成乾透、失效；過濕時，壓損增加及造成厭氧 4.對於瞬間濃度劇烈變化廢氣，無法處理 5.佔地面積需求大	1.易因有機物負荷過高而使生物膜過度生長，造成生物膜內層厭氧發臭 2.啟動程序較複雜 3.易產生生物污泥 4.操作費用較高	1.需兩個反應槽體，設備投資成本較高 2.為避免有機物負荷過高，造成洗滌循環液厭氧發臭，需加強生物反應槽之曝氣與停留時間 3.啟動程序較複雜 4.易產生生物污泥 5.操作費用較高

* H：亨利常數(氣液相分配係數)，$[g/m^3]_{gas\ phase}$ / $[g/m^3]_{liquid\ phase}$

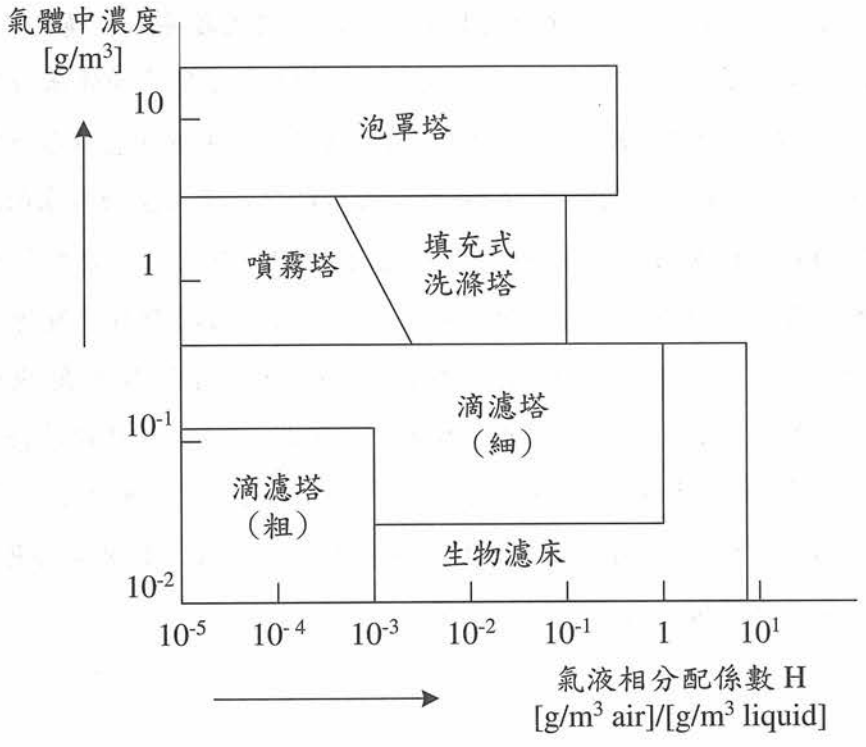


圖 5.3-8 不同 VOCs 負荷、氣液分配係數與生物反應器型式應用關係圖

生物處理法於處理低濃度廢氣時具有低操作成本的優點，而且在國外也有許多實廠經驗，但缺點在於生物處理所需停留時間較長，設備佔地面積大。在國外(德、荷、美)由於地廣人稀，生物處理設備(特別是生物濾床)可不考慮佔地面積大小，而採過大設計(overdesign)方式裝設處理設備，僅強調其污染物去除效率即可。但若將此類技術直接引用於國內，則在國內對於風量較大的廢氣將因所需佔地面積大而無法使用。因此，要將此一技術成功應用於國內廢氣處理，必需設法提高生物反應器單位體積的處理效率，減低處理系統所需的佔地面積。

1.基本原理

在生物濾床的處理方式中，含臭味物質或揮發性有機化合物之廢氣被強制通過一裝填生物濾料的填充床。生物濾料上有大量的微生物附著，並於濾料上形成一層生物膜(biofilm)，微生物可分解的臭味物質或揮發性有機化合物於廢氣通過濾床時，依靠質傳由氣相傳送到氣相與濾料上之生物膜的界面，然後為微生物膜所吸收；或是傳送至氣相與濾料層的界面，而為堆肥等濾料所吸附，再利用濾料中的微生物將污染物分解去除。在生物膜內，污染物可以作為微生物食物的碳源及能量的來源，藉著微生物的新陳代謝，將污染物分解成無害的二氧化碳、水、無機酸鹽類(NO_3^-、SO_4^{-2})及產生新的細胞質量(cell mass)。

Ottengraf 及 van den Oever 曾對於生物濾床的整體程序做了廣泛的分析，並以微觀及巨觀的角度說明動力學程序之間的差異，且提供了簡易的濾床設計模式。在巨觀模式中，Ottengraf 及 van den Oever 兩人認為濾床是由許多覆蓋著一層潮濕、具生物活性薄層(生物膜)的固體顆粒(濾料)所構成，在廢氣通過生物濾床的過程中，污染物輸送穿過氣液相界面並且擴散進入此一生物膜中，使得污染物分子可被存在於生物膜中的微生物所使用，氧氣和營養劑也分別藉由來自於廢氣及濾材物質的擴散而供應(如圖 5.3-9 所示)。每一種污染物的氣相及液相濃度假設在氣-液相界面為氣液平衡狀態，並且遵循亨利定律。Ottengraf 及 van den Oever 模式的其他主要假設為：廢氣以柱塞流(plug flow)形式流過濾床、發生於生物膜中的生物分解之微動力學，遵循 Michaelis-Menten 關係式，並假設生物膜中分解反應的速率與基質(污染物)濃度無關，亦即分解反應遵循零階動力學。

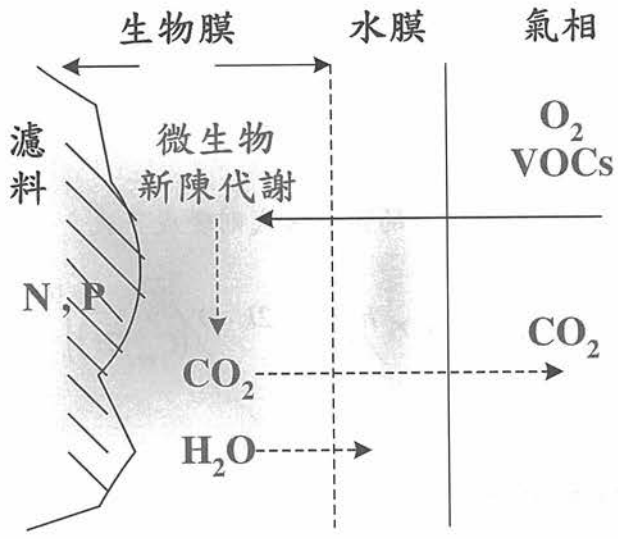


圖 5.3-9 濾料內部反應示意圖

在此一動力學假設下，對於僅含單一污染物成份之廢氣，大致可區分成兩種狀態：(1)當污染物氣相濃度 C_g，高於某臨界濃度(C_{crit})時，生物膜內污染物會呈現飽和，污染物對於微生物消化代謝的供給不成問題，污染物的去除速率受到生物膜內污染物分解速率快慢的限制，稱為反應限制(reaction limitation)。在此種情形，Ottengraf 及 van den Oever 的模式預測在生物濾床中污染物濃度隨穿過濾床之距離成線性減少。(2)當污染物氣相濃度 C_g 小於臨界濃度時，污染物於生物膜中的擴散速率會限制污染物的去除速率，稱為擴散限制(diffusion limitation)，生物膜不再是完全被滲透，亦即污染物在生物膜內不再是飽和，而去除速率會隨著廢氣中污染物濃度的減少而逐漸減少。

下列方程式為 Ottengraf 及 van den Oever 所提出在反應限制狀態下處理效率的預測模式：

$$f = 1 - {C_{ge}}/{C_{go}} = K \times h / C_{ge} / U_g$$

其中　f = 處理效率

C_{ge}=出口氣體濃度(g/m^3)

C_{go}=進口氣體濃度(g/m^3)

U_g=比表面流速(m^3/s/m^2)

h =濾床高度(m)

$K = k \cdot A_s \cdot \delta$

A_s=濾料比表面積(m^2/m^3)

k=零階反應速率常數(g/m3.s)

δ=生物膜厚度(m)

而在受擴散限制時，處理效率的預測模式則變成下式：

$$f = 1 - C_{ge}/C_{go} = A_s \times h/U_g \times \left(2k \cdot D'/(C_{go}/H)\right)^{1/2}$$

其中　D' =有效擴散係數

H=氣液相分佈係數

在較高氣相濃度時可得到一線性的濃度曲線，在氣相濃度低於 C_{crit} 時，受擴散限制，去除速率會隨廢氣濃度的下降而減低。

Ottengraf 及 van den Oever 的模式可用以說明生物濾床中基本程序的定量敘述，並且對於單一污染物成份的廢氣可準確決定生物濾床的大小。但是，此一模式對於多成份廢氣，由於不同成份可能產生之共代謝現象與毒性抑制等等事實，以及隨多成份所增加的數學複雜性，使得實用性大為受限，同時由於濾料成份會隨著每批次濾料製造來源或配比之不同而使得實際之反應動力學略有不同。因此，對於實際污染源的廢氣處理，通常仍需要利用小型濾床單元進行模廠測試，以擷取實廠設計所需之參數，然後配合 scaleup 之技巧決定實廠系統的規格大小。

2.生物濾床的應用

生物濾床技術在國外，特別是歐洲的德國和荷蘭，已有近千座之生物濾床實廠及長久發展經驗，成功地應用在許多實廠臭味及揮發性有機化合物廢氣的處理，對於許多常見的有機污染物皆可輕易達成 90%以上的處理效率。

生物濾床於國內曾應用於處理半導體黃光區製程含 PGMEA(polyglycol monoethylene acetate)、xylene 成份之廢氣，廢氣之特性為低溫(~20℃)、低濕、低濃度(PGMEA 約 4~10ppmv、THC 約 50~70ppmv as methane)，風量為 200CMM (m^3/min)。設計上濾床截面積為 100 m^2，濾料深度~50cm(相當於 15 秒之空床接觸時間)，濾料含水率控制於 40~60 wt%之範圍，廢氣濕度之增濕除塔頂灑水系統外，於廢氣進入生物濾床時並以高壓霧化器增加廢氣中之含水率，濾床於正常狀態時，THC 及 PGMEA 去除率各約為 80%及 90%以上，處理系統相關設計參數如下：

(1)空床接觸時間：15 秒

(2)表面負荷：120 $m^3/m^2/h$

(3)質量負荷：8.1 $g/m^3/h$

(4)體積處理能力：6.5 $g/m^3/h$

(5)去除效率(THC) 80%

表 5.3-12 為 Ziminski 及 Yavorsky 提到生物濾床可處理之有害空氣污染物，其他文獻中提及可以生物濾床技術處理之污染物尚有乙醇、丙酮、硫化氫、二硫二甲基、二氯甲烷、三氯乙烯、甲硫醇、異戊烷、氨、正丁烷、汽油衍生之揮發性有機化合物、…等等污染物。而 Bohn 將此類污染物依生物分解之難易程度區分為(1)微生物可快速分解(碳數 <7)：包括醇類、二醇類、酮類、醛類、酯類、醚類、有機酸類、胺類；(2)微生物分解速率較慢者(碳數 > 6)，包括酚類、丙烯酸酯類、苯乙烯、芳香族、脂肪族碳氫化合物、含 mono- & di-鹵素之碳氫化合物。而表 5.3-13 為文獻資料中曾提及將生物濾床處理技術成功應用於廢氣處理之行業。

表 5.3-12 已知生物濾床技術可處理之有害空氣污染物

Acetaldehyde	Dimethyl formamide	4,4-methylenedianiline
Acetamide	1,2-Epoxybutane	Naphthalene
Acetonitrile	Ethyl acrylate	Nitrobenzene
Acrolein	Ethyl benzene	Phenol
Acrylamide	Ethyl chloride	Propylene dichloride
Acrylic acid	Ethylene dichloride	Styrene
Aniline	Ethylene glycol	Toluene
Benzene	Ethylidene chloride	o-Toluidine
1,3-butadiene	Formaldehyde	Triethylamine
Carbon disulfide	Glycol ethers	2,2,4-trimethylpentane
Catechol	Hexane	Vinyl acetate
Chloroform	Methanol	Vinyl chloride
Cresylic acid	Methyl chloride	Vinylidene chloride
Cresol	Methyl ethyl ketone	Xylenes
Cumene	Methyl isobutyl ketone	
1,4-dichlorobenzene	Methyl methacrylate	

表 5.3-13 成功應用生物濾床技術處理廢氣之行業

飼料化製廠	化學工業	鋼鐵鑄造廠
植物油煉製廠	石化工業	表面塗裝業
可可豆烘烤	石化業儲槽	樹脂製造業
漁產加工廠	垃圾掩埋場	合板製程
堆肥廠	工業及都市廢水處理廠	紙漿及造紙業
印刷電路板業	橡膠業	電子半導體業

3.生物濾床成功應用之關鍵因素

由文獻資料及工程實務之經驗，一座生物濾床欲成功操作，除最初設計時需考量氣體表面流速、質量負荷(濾床之尺寸規格)、空床停留時間(濾床濾料厚度)之外，主要之關鍵性因素包括有(1)濾料組成、(2)啟動與植種、(3)濾料含水率之控制、(4)營養份之補充、(5)濾料 pH 值之調整，以及(6)濾料之翻堆。以下分別說明各項因素之影響與要求：

4.濾料組成

濾料組成包括生物膜依附的母體(matrix)、酸鹼緩衝劑及增加孔隙度及支撐性的分散度改良劑。各成分之功能為：

(1)母體：供應微生物無機及微量有機營養分，微生物膜生長於其外表。目前使用於生物濾床的濾料母體種類可概分為天然母體，如堆肥、泥碳土、鋸木屑、…；以及人工母體，如陶磁環、塑膠填料等。一般以堆肥為佳，營養分高、微生物數量多。

(2)酸鹼緩衝劑：固體鹼性物質，如碳酸鹽類、碎蚵殼，用以中和緩衝因微生物消化代謝含硫、氮、氯等成份污染物的無機酸(硫酸、硝酸、亞硝酸、鹽酸)，防止填充層酸化失活。

(3)分散度改良劑：樹皮、碎木片、細樹枝、稻殼、蛇木屑，保麗龍球，多孔黏土、蛭石等，使母體及緩衝劑分散良好，減少濾床壓差，並防止穿流(channelling)及部分結塊。

此外，Leson 及 Winer 的報告中曾提及 Eitner 對於濾料適用性所提出的建議：濾料之 pH 值範圍在 7～8 之間，整體孔隙度大於 80 %，有 60 wt%以上的濾料直徑

大於 4 mm(d_{60} > 4 mm)，以及濾料總有機物含量高於 55 wt% 。

5.啟動與植種

生物濾床的作用主要倚賴於使用有機成份作為碳源及能量來源的異質營(heterotrophic)的微生物，在啟動(start-up)期間將含有有機化合物的廢氣引進濾料中，通常會將濾料中既有的微生物族群分佈轉變到可代謝標的污染物的族群，對於常見、易於生物分解的有機化合物，一般需要大約十天馴化以使微生物適應環境，如果所要處理的化合物是生物難分解的，以及對於最初時適合的微生物較不可能存在於濾料中的化合物，以適當的培養菌植種可以減短馴化的期間。

由於土壤與堆肥皆擁有大量的微生物族群，每一克約有 5×10^7 至 3×10^{10} 個細菌，幾乎可氧化所有的有機化合物，因此使用此類天然材質做為濾料的生物濾床，通常無需特別植種，但若使用人工合成的濾料，則在最初必須以活性污泥進行植種，以發展出它們自己的微生物，微生物菌種會隨著進料的組成而變化，而且數量會隨濃度變化而變動。其中生物較難分解的代合物之分解可能需要以已預先曝露於某污染物之微生物在濾床的植種。

6.濾料含水率之控制

許多文獻皆顯示生物濾床濾料水份含量的變化是濾床處理效率惡化的最大因素，過乾與太濕的情形對於生物濾床的處理效率皆有不利的影響。生物濾床濾料含水率過高時易因水份佔據濾料孔洞的空間而造成高壓損與減低氣體的停留時間，同時因水膜過厚造成氧氣傳輸減少，形成局部厭氧狀態(單位生物膜體積的空氣/水接觸界面減少)，促使臭味氣體之生成與減緩 VOCs 之分解速率。此外濾料中微生物生長所需之營養份也會被沖洗流失，而產生需要另外處理之高強度(高 BOD)的滲濾液(leachate)。生物濾床濾料含水率過低時，濾料會因乾燥而收縮，以及隨之碎裂、分解、坍塌及壓密，進而減低氣體停留時間，同時也會使分解 VOCs 的微生物失去活性，影響濾床整體之處理效率。

文獻中提及最適之生物濾床濾料含水率範圍由 30 至 70 wt %，而以 40 至 60 wt %為多數文獻所認同。而維持濾料含水率一般是在廢氣進入濾床之前，預先對廢氣進行增濕操作，使廢氣處於飽和或接近於飽和狀態(相對濕度 > 95%)，或是利用安裝噴嘴的灑水系統將水直接添加到生物濾床濾料的表面，以降低濾床因廢氣濕度過低而乾燥的潛在威脅。

欲對濾料含水率適當的控制，需要瞭解濾料含水量的變化情形。文獻中提及利用於監測濾料含水率變化的儀器有三種：張力計(tensiometer)、導電度(conductivity)、以及荷重計(load cell)。其中以荷重計監測所得最為準確。透過荷重計的安裝，可連續性監測濾床水份的質量變化，並自動啟動灑水系統以重新補足濾料的含水率。在新近發展的生物濾床系統，並已將廢氣進流方式改為向下流動(down-flow)，如此濾床上方的灑水系統可以將水提供給快速乾燥的進氣端，此外，滲濾液也可循環到增濕塔或是回濾床表面以減低系統的水量需求，減少廢水處理的問題。

7.營養份之補充

一般以堆肥為基礎的濾料可提供微生物充足的營養份，而不需要額外營養份的添加，但是在某些情況，特定營養份的足夠與否，可能成為微生物消化代謝程序的限制因子，Weckhuysen et al.就提到在一長期的實驗操作中，添加無機營養份，可顯著改進丁醛(butanal)的分解，並避免不完全分解的代謝產物丁酸(butyric acid)的產生，明顯提升整體的去除效率。這種效應在 Morgenroth et al.以堆肥為濾料主體，對正己烷的生物濾床實驗中也可見到。

8.濾料 pH 值之調整

Leson 及 Winer 的報告中提到對於使用堆肥濾料之生物濾床最佳的處理條件在 pH 值 7～8 之間，pH 值的降低對於一般有機化合物(如 BTEX)的分解通常並不成為問題，但對於含有硫、氮及氯的化合物之氧化作用會導致酸性中間物的生成，使濾床的 pH 值降低，因此對於處理具產生酸性產物潛在性的污染物時，於濾料中添加緩衝鹽類皆可有效緩衝 pH 的變動。

9.濾料之翻堆

生物濾床之濾料於使用 2~3 年後，容易因為所含營養份減少，與本身重力而產生結塊、破碎、壓密等濾料老化現象；或是因處理含硫、氯、氮之化合物成份廢氣，致使濾料產生酸化現象，造成處理效率降低，在無法藉由外界以灑水方式添加營養份、pH 值緩衝劑時；即需進行濾料之翻堆，並於翻堆時加入營養鹽與 pH 緩衝劑，調整其 pH 值於 7~8 之間，而最終甚至需更換濾料，以維持微生物生長之活性。

10.工程設計

生物濾床的設計與操作需要考量許多關鍵技術，前面已概略敘述過這些關鍵。

在濾床硬體的設計上，雖然文獻中有許多研究團隊分別依據所做的實驗(絕大多數為單成份污染物)，提出不同的預測模式，希望透過數學模式以求出實廠應用時生物濾床的尺寸。但在實務上，遇到僅含單一污染物廢氣的情形畢竟不多，常見的是混雜有多種(至少有 2~3 種以上)污染物成份的廢氣，此時除對於主要污染物的種類與濃度，以及廢氣溫度與相對濕度等物理條件的考慮外，不同污染物成份於微生物消化代謝時所可能產生的共代謝(可提升處理效率)或抑制(可減低處理效率)現象，所使用之濾料本身也會造成處理效率差異性的產生。所以，文獻中的資料一般僅能作為生物濾床一般化的設計規範，很難直接引用進行設計。因此，運用小型模廠設備以進行實際污染源長期測試的工作非常重要，對於生物濾床實廠的尺寸規格具有決定性的影響。

整套生物濾床處理系統會因為所要處理之廢氣特性差異而有所不同，一般說來，完整的生物濾床系統可將之分成前處理設備與濾床本體。前處理設備又可因廢氣特性而包括粒狀物去除設備與溫度、濕度調整設備。對於含有過量粒狀物的廢氣，為避免造成生物濾床的堵塞造成壓損上升與空床流速增加，而降低處理效率，於廢氣進入生物濾床之前安裝除塵設備是必需的。就廢氣溫度而言，雖然以反應動力學的觀點，高溫可以促進生化反應的進行，但因為高溫也會使污染物於氣液相之間平衡趨向氣相，不利於污染物於液相中的溶解，造成液相與生物膜之間濃度梯度趨緩，進而使擴散進入生物膜的速率減低，降低處理效率。因此維持適當的廢氣溫度是使生物濾床有效運作的一大關鍵。此外，生物濾床中的微生物大多屬於中溫性(mesophilic)的菌種，溫度對於處理效率影響巨大，溫度過低會抑制微生物的活性，減低處理能力；溫度過高可能會使濾料中的菌相改變，失去處理效率。

其次，若廢氣之相對濕度太低，則廢氣於通過生物濾床時，濾床中的水份會被蒸發以使廢氣飽和水氣，而造成濾床失水，此外含污染物之氣體通過生物濾床時生物分解的作用以會使濾床內部上升 2~4℃，這些現象皆會使濾床因失水而逐漸乾涸，最後乾透(dry-out)。

生物濾床主要之設計參數包括有：空床接觸時間(EBCT)、表面負荷、質量負荷、體積處理能力(elimination capacity)，一般之參數範圍如表 5.3-14 所示。另外在日後之操作維護上尚需考慮前述之濾料含水率控制、營養劑添加、濾料翻堆與 pH 之緩衝。

表 5.3-14 生物濾床一般設計及操作參數

參數名稱	參數意義	參數範圍
空床接觸時間	氣體於濾床內停留時間之量度 =濾床體積/氣體體積流率	15~60 秒
表面負荷	氣體體積負荷 =氣體體積流率/濾床表面積	50~200 $m^3/m^2/h$
質量負荷	單位濾床體積之污染物質量負荷 =氣體體積流率×進氣濃度/濾床體積	10~160 $g/m^3/h$
體積處理能力	單位濾床體積之污染物質量負荷 =氣體體積流率× (進氣濃度－尾氣濃度)/濾床體積	10~160 $g/m^3/h$
去除效率	濾床處理能力之量度 =(進氣濃度－尾氣濃度)/進氣濃度×100%	90~99%

前面已經提到，未飽和水氣的氣流以及放熱的生物反應會引起濾料的乾涸，由未飽和氣流所引起的乾燥效應在氣流進入濾料的地方最為強烈，只要進到濾料內部，氣流很迅速地變成飽和，而放熱反應在污染物最高濃度的地方最為強烈，同樣位於濾料入口處，因此，在氣流進入濾料那一點乾燥進行將會是最快速的。很明顯地，直接潤濕的理想位置在相同的一點，透過安置於濾料上方的霧化噴嘴，向下噴霧的方式是補充水最容易添加的方式，因此建議最好將氣流方向安排向下做為標準設計。

生物濾床可用以去除廢氣中臭味及生物可分解的揮發性有機物，藉由選擇適當濾料，廢氣溫度、相對濕度的調整，以及濾料含水率、pH、營養份的控制，維持濾料上微生物的生長，使濾床處理效率達到最適之狀態；透過微生物對污染物的消化代謝，將污染物轉化為無害的水、二氧化碳及其他無機鹽類。此一處理技術正受到空氣污染防治市場逐漸增加的重視與歡迎。

在合理成本範圍內生物濾床技術可達到一般物化技術所能達到的去除效率，而此一技術的適用範圍正透過不斷的實驗研究、模廠測試與實廠驗證，將其適用範圍擴展到更高的濃度、氣體流率(超出 200,000m^3/h)，以及更多種類的生物可分解化合物。未來，在相關動力學及微生物學上更深入的瞭解，及描述微生物廢氣處理模式的發展下，生物濾床的設計及操作之改進是有可能的。總而言之，在處理低濃度生物可分解污染物情形的尾氣，生物技術是有效且具成本效益的，在未來幾年，在空氣污染防治上將扮演重要的角色。

5.3.4 冷凝回收技術

冷凝(condensing)處理係利用廢氣成分中凝結溫度之不同而將較易冷凝之成分分離出來。冷凝作用可包括兩種方式：(1)在定壓下，降低系統之溫度、(2)在定溫下，增加系統之壓力。其中，由於加壓所需設備較多且操作成本較貴，一般都使用降溫方式以達到冷凝之目的。

冷凝器(condenser unit)屬於熱交換器(heat exchanger)的一種，通常熱交換器後均會配合裝置微霧滴除霧器(demister)，在冷凝器中可將氣體轉換成液體液膜(liquid film)而因重力累積作用而成液滴(droplet)滴落及剛凝結之微霧滴(micro mist)。在許多工業場合可以見到以冷凝器作為氣狀污染物控制與削減的設備，應用範圍十分廣泛。最常見到的就是應用於氣態高沸點溶劑的回收，具有設備簡單、操作容易、高濃縮回收率等優點，然必須考慮冷凝後之液體二次水污染處理的問題。

1.冷凝及除霧原理

首先介紹冷凝的原理，其係基於熱量交換達到冷卻降溫結露為其主要機制，例如一股高溫的氣體接觸到較冷的物體表面時，熱量即由高溫之氣體傳至物體上。由於氣體體積在相同下與絕對溫度成正比，因此，溫度降低後不但一些沸點較高的物質結露冷凝發生相變化變成液體狀而與氣體分離，氣體本身的體積也減少。當氣體與低於其結露露點溫度(dew point)的表面接觸時即會發生相變化之結露冷凝作用，並於接觸表面形成液膜，液膜厚度與冷凝速度及液膜是否因重力或剪力除去有關，液膜之表面溫度則為氣體飽和溫度。

氣液平衡：關於混合液體與氣體間的平衡關係，可用 Raoult's Law 來描述。即溶液中某一成分，其氣體分壓為此成分的蒸氣壓與莫耳分率之乘積，如下所述：

$$P_A = P_A^0 X_A$$

其中 P_A = A 之氣體分壓

P_A^0 = A 的蒸氣壓

X_A = A 在溶液中的莫耳分率

當 X_A =1 時(溶液為純物質)時 $P_A = P_A^0$，換言之，當氣流中之污染物之氣體分壓等於該污染物的蒸氣壓時，即可產生冷凝作用而析出液體污染物。冷凝作用可經由三種方式達成：(1)定溫下加壓使氣體分壓等於其蒸氣壓；(2)定壓下冷卻使氣體分壓等於其蒸氣壓；(3)以上兩者並用。

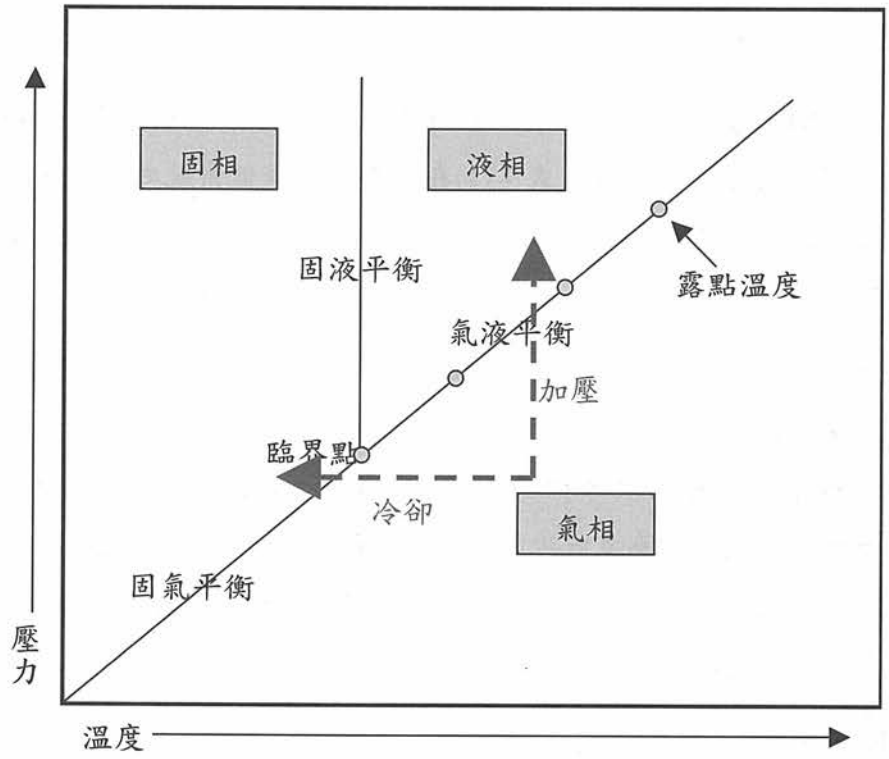


圖 5.3-10 純物質之三相圖

圖 5.3-10 為純物質之三相圖，虛線表示氣體可以變成液相的途徑，當氣體狀態(溫度、壓力)到達蒸氣壓曲線(氣液平衡線)時即會轉變為液體狀態，因此蒸氣壓曲線上的各點稱為露點(dew point)，露點的定義即為氣體即將凝結成液體之狀態。圖中亦可看到臨界點(critical point)的存在。每個物質均有其臨界溫度(critical temperature)與臨界壓力(critical pressure)，物質一旦達到臨界溫度以上時，無論加多大的壓力均無法使其冷凝；而達到臨界溫度時所需之壓力即為臨界壓力。如果氣體的狀態(溫度、壓力)達到蒸氣壓曲線時，即開始冷凝成液體，故在蒸氣壓曲線的狀態下，氣體與液體是共存的。

冷凝作用實際上即為熱交換的一種，因此在設計時，必須考慮到系統的熱平衡，即(冷凝器需移走的熱量)=(蒸氣溫度降至露點以下所需的熱量)+(蒸氣冷凝所需熱量)。設計冷凝氣之基本步驟為：

(1)決定待冷凝物質之露點；

(2)決定蒸氣露點；

(3)決定釋出之熱量及對數平均溫差(LMTD)；

(4)計算總熱傳係數；

(5)計算所需面積。

同時為增加冷凝器整體去除效率之效果，須考慮氣體通過盤管的風速限制，一般的經驗值最好控制在小於 2.5m/s。在盤管上液膜的形成也是增加冷凝器整體去除效率的重要因素，通常僅靠冷凝之作用並無法達到足夠之去除效率，必須加上液膜之吸收作用，來增加整體之效率，此時氣體通過盤管的風速限制，一般的經驗值最好控制在小於 0.5~1.5m/s 之間。

2.適用於半導體及光電等高科技產業之新型冷凝器簡介

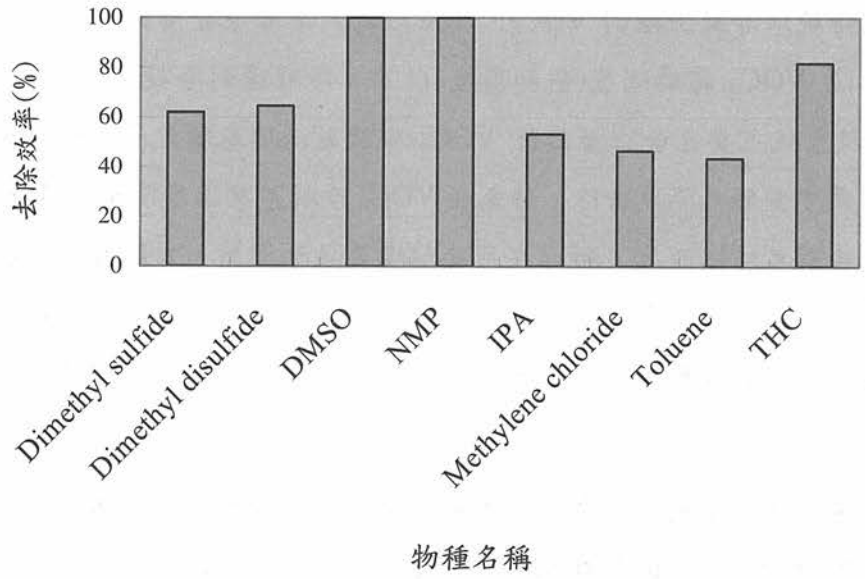
一般傳統以冷凝法控制 VOC_S，其原理係利用冷凍設備先將含 VOC_S 廢氣之溫度冷卻至該 VOC_S 露點溫度(飽和溫度)以下，即可達到冷凝之效果。 一般常見之 VOC_S 冷凝系統主要包含除溼器及 VOC_S 冷凝器兩項基本設備，裝設除濕器之目的在於將空氣中多餘之濕氣去除，避免在 VOC_S 冷凝區將溫度降至 273^0K 以下所發生之不利於冷凝之結冰效應。所以在系統前端裝設除濕器，並將其操作溫度控制略高於水之冰點，廢氣中所有之溼度則可被冷凝下來；而曾有學者研究指出應用冷凝控制之成功關鍵因素在於系統性能是否能達足夠低溫及廢氣中應含較高濃度之 VOC_S 以便獲得有效控制。

環保署所研擬之光電業 VOC_S 之去除效率或排放量限制，所以傳統之冷凝器必須利用冷凍設備將操作溫度控制在相當低之溫度，方能以冷凝去除 VOC_S，並確保處理後廢氣所含 VOC_S 濃度值達到最低；不過如此傳統冷凝方式應用於 VOC_S 廢氣排放量極大之 TFT-LCD 業，其為降溫所需付出之成本將會相當昂貴。

針對冷凝器欲處理高風量及之 TFT-LCD 與半導體 VOC_S 廢氣特性需求，國內業者研發一種結合降溫冷凝及液膜吸收之雙重效能之新穎設計概念，將冷凝內盤管內以 5 至 10℃之冰水實施循環操作，於此溫度條件下冷凝器之盤管壁面將有水份凝結之液膜產生，當廢氣中所含之 VOC_S 通過液膜時即可進行吸收去除之。 如此結合低溫冷凝及液膜吸收之雙重效能有別以往傳統冷凝器僅考量單質 VOC_S 及濃度較高之冷凝設計概念，而針對處理組成成分多樣化、大風量之光電業與半導體 VOC_S 廢氣特性之處理效率亦相當顯著，並且可以減少傳統冷凝器為達超低溫之不必要能源耗用。

此項設備於新竹科學園區內某家半導體公司之去光阻製程後端裝設，以就地方式處理 VOC_S 廢氣。經實廠運作發現該系統之總碳氫化合物去除效率可達 80%以

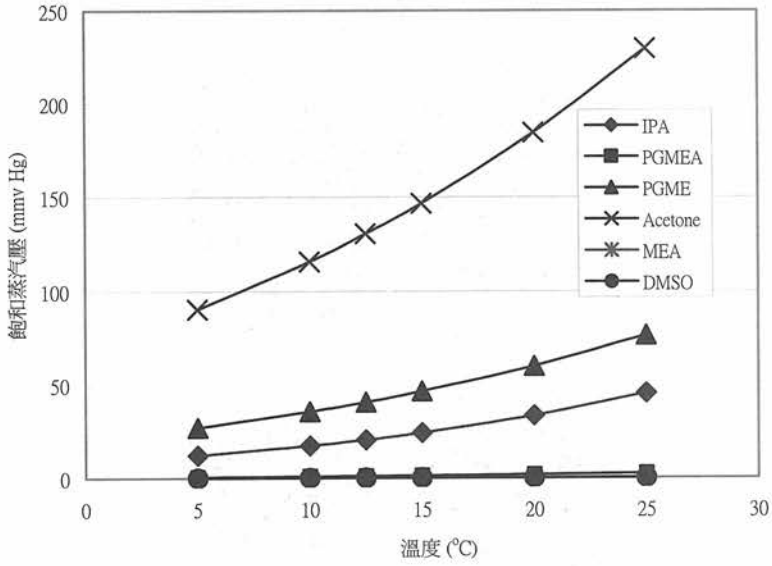
上，各物種之去除率如圖 5.3-11，其中高沸點 VOCs 如 DMSO 及 NMP 等幾可完全去除。雖該系統處理 IPA、Acetone、二氯甲烷及甲苯等去除效率較高沸點 VOCs 稍低，但此類中低沸點 VOCs 再導引至後端沸石吸附濃縮焚化系統即可得到妥善控制。因此，於製程後端就地設置冷凝器，除冷凝下之 VOCs 可回收再利用外，冷凝器處理後廢氣所含之高沸點 VOCs 將大幅下降，如此可避免其對沸石轉輪之破壞，並延長轉輪使用壽命。在成本評估方面，冷凝器設置和操作維護成本，與轉輪因逕行處理高沸點 VOCs 所造成處理效能下降須提前汰換之成本相較，仍為經濟可行。



資料來源：參考文獻58

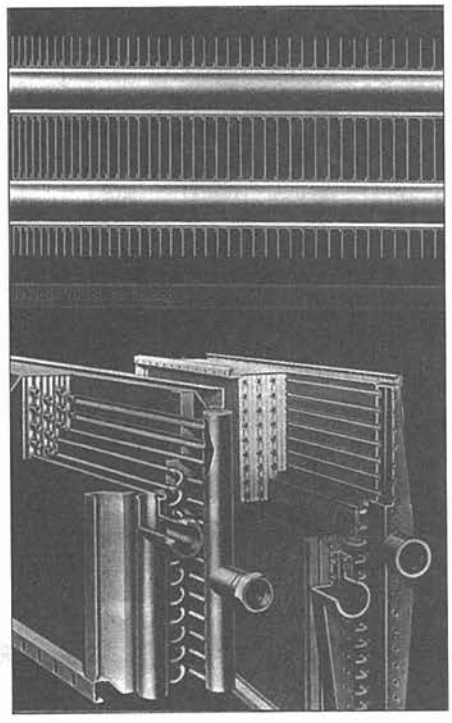
圖 5.3-11 冷凝器某半導體廠去光阻製程各 VOCs 物種及 THC 冷凝去除效率

此外，由於處理前後 VOCs 濃度低於當時各溫度下所對應之飽和蒸汽壓(如圖 5.3-12)所換算出之濃度值，而經實廠測試後本研究之冷凝器亦具有理想之處理效率，其結果顯示影響冷凝器處理效能之最大因素係為系統環境溼度、水份及 VOCs 冷凝所形成之液膜，其將使得高沸點之親水性 VOCs 可有效吸收於其上(各物種之亨利常數與水溶特性如表 5.3-15)，此點與傳統冷凝器僅以冷凝原理之設計觀念大所不同。國內業者所研發之新型冷凝器所使用之冷凝盤管及設備外觀如圖 5.3-13 及 5.3-14 所示。此項設備欲運用於光電業之去光阻製程後端，對照表 5. 3-16 所列舉之 VOCs，相信對於去除如此高沸點及溶水性之 VOCs，其效率亦是相當優異。



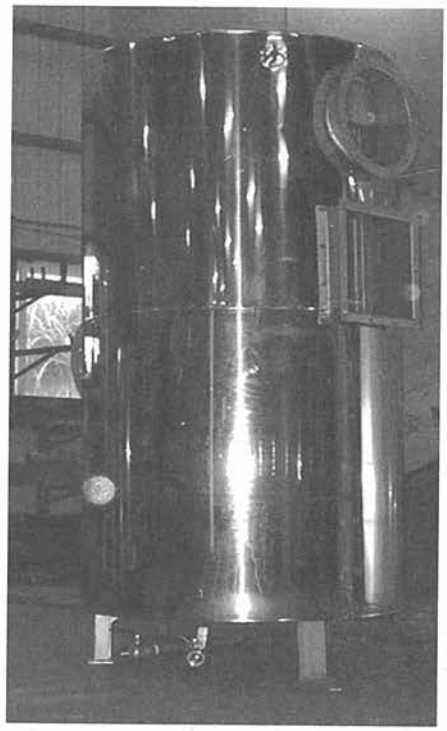
資料來源:華懋科技

圖 5.3-12 常見 VOCs 之飽和蒸汽壓力曲線



資料來源：華懋科技

圖 5.3-13 鰭片式冷卻盤管



資料來源：華懋科技

圖 5.3-14 應用於光電業之去光阻剝離液廢氣冷凝器外觀提供

表 5.3-15 常見 VOCs 之水中溶解度及亨利常數表

品名	全名	亨利常數 (mol/kg*bar)	水溶性
IPA	Isopropyl alcohol	88~170	可溶於水
Acetone	Acetone	30	可溶於水
PGMEA	2-Ethoxyethyl Acetate	--	可溶於水, 220g/l
PGME	1,2-Dimethoxyethane	--	可溶於水
MEA	Monoethanolamine	6.1×10+6	可溶於水
DMSO	Dimethyl Sulfoxide	>50000	可溶於水
NMP	N-Methyl-2-Pyrrolidone	--	可溶於水
HMDS	Hexamethyldisilazane	--	在室溫下水溶速率緩慢

資料來源：華懋科技

表 5.3-16 半導體晶圓及光電 TFT-LCD 製造業常見之去光阻剝離液

品名	主要成分
ACT-690C	DMSO(25%)、Monothanolamine(70%)、其他
ACT-935	DMSO、MEA、Pyrocatechol
EKC-270	Catechol、Hydroxylamine、Ethanol, 2-(2-aminoethoxy)
NH-55	MEA、Butyl digol
N-300	MEA、Butyl digol

資料來源：華懋科技

5.3.5 活性碳吸附處理技術

1.吸附原理

吸附(Adsorption)是一種發生在氣－固相或液－固相間的介面化學現象(圖5.3-15)；固體利用本身具有之表面力，對流體中的物質產生親和力作用，使其附著於固體表面上。利用此現象，以使用內部比表面積較大的多孔性固體粒子（吸附劑）來分離氣體或液體混合物之操作，稱之為吸附操作。吸附為一放熱反應，且其效能隨溫度之升高而降低，故操作前應預先冷卻廢氣溫度以提高吸附效率。

以吸附原理處理 VOCs 或惡臭物質，一般常用粒狀活性碳或活性碳纖維。因欲處理之廢氣成分可能極為複雜，故於吸附過程中，可藉活性碳之預行特殊含浸或表面處理，使吸附現象併含複雜的物理及化學反應，以達到去除 VOCs 或除臭效果。

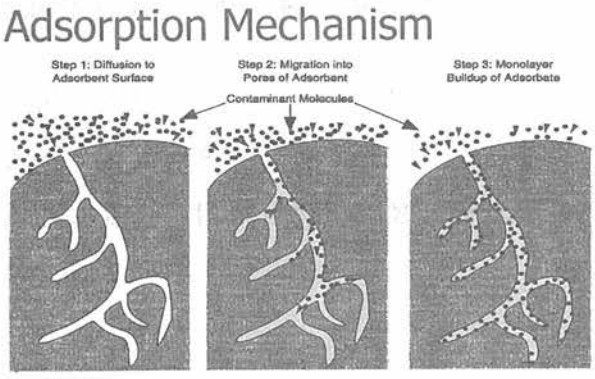


圖 5.3-15 吸附機制示意圖(資料來源：華懋科技)

(1)吸附種類

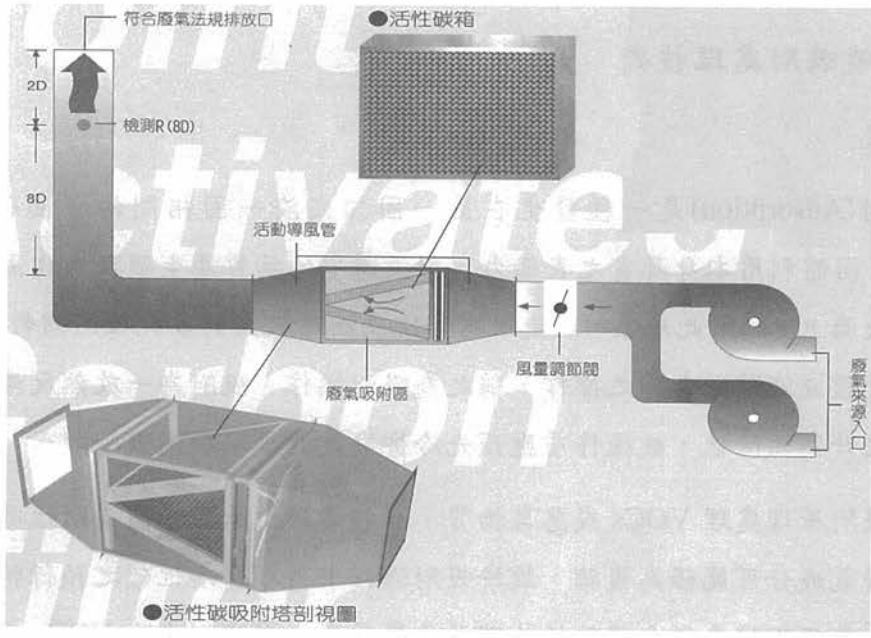
吸附是一種複雜的界面化學現象，吸附性質依鍵結作用方式可區分為物理性吸附（Physisorption）、化學性吸附（Chemisorption）與離子性吸附。

(2)吸附劑種類

一般吸附劑都為多孔性之結構，有極大之表面積，可以吸附多量之各種不同氣體。工業上廣泛應用的吸附劑主要有四種：矽膠、活性氧化鋁、活性碳、和沸石。

2.吸附設備概要

活性碳吸附設備型式甚多，包括顆粒狀的固定床式、珠碳的流動床式及活性碳纖維的蜂巢式等，而一般以固定床式最常使用，其構造及處理流程如圖 5.3-16 所示。



資料來源：成泰公司型錄

圖 5.3-16　固定床式活性碳吸附設備構造圖

圖 5.3-17 為典型活性碳吸附／脫附操作示意圖，含 VOCs 或臭味氣體於進入吸附塔前須先經一前置過濾器，以去除氣體中粉塵雜質，之後，再經冷卻系統將氣體冷卻至 40℃以下，由風車送入吸附槽進行吸附，經活性碳吸附後之乾淨氣體則由煙囪排至大氣中。

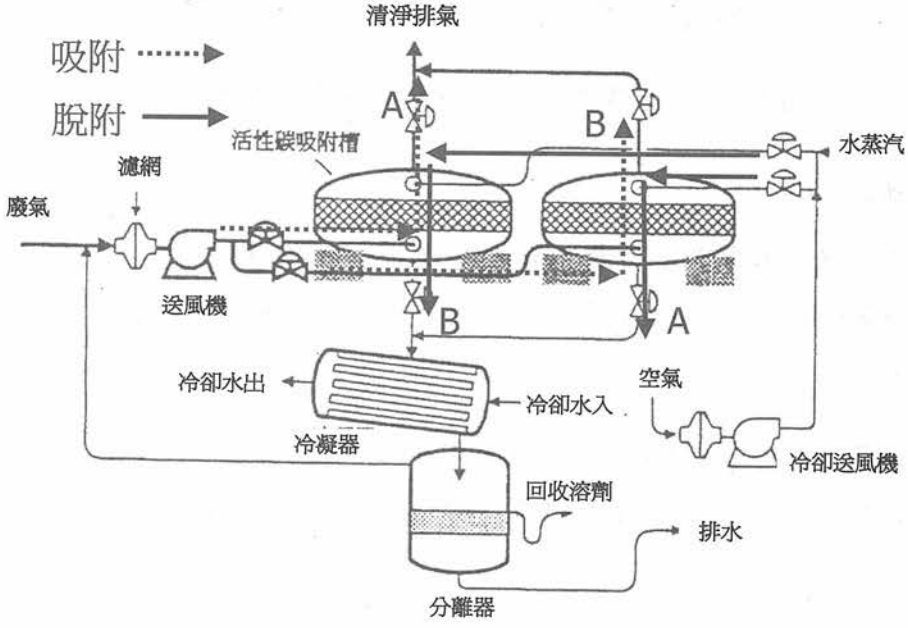


圖 5.3-17　典型活性碳吸附／脫附操作示意圖

吸附操作一段時日後活性碳會達飽和狀態，此時須將活性碳更換或再生，再生之方法可以過熱蒸汽、高溫惰性氣體或減壓等方法，將活性碳表面所吸附之有機物質脫附排出，再經冷凝器冷卻後靜置分離。

3.吸附劑之種類與特性

一般所使用的物理吸附劑中，各種不同型式的活性碳約佔大半部份，而矽膠、分子篩、合成沸石及活性白土等的實用例則較少(表 5.3-17)。常用之活性碳又可依製造原料及其形狀的不同而予以區分為粉末狀活性碳、粒狀活性碳及纖維狀活性碳等三類，而在氣體吸附之應用上則以後兩者較為常用，其特性比較如表 5.3-18 所示，而粒狀活性碳與活性碳纖維優缺點比較如表 5.3-19 所示。

表 5.3-17　活性碳的製造原料

果實類活性碳（椰子殼、核桃殼、桃子種子等）
木質類活性碳（木材、木屑、木碳、乾爆物等）
石碳類活性碳（泥碳、亞碳、石碳等）
石油類活性碳（煤塔等的石油殘渣、硫酸泥）
其他（紙漿液、木質素、紙漿製造廢物、甘蔗渣、廢糖蜜等）

表 5.3-18　活性碳的分類及性質

分類 / 性質	粒狀活性碳			活性碳纖維
	破碎碳	造粒碳	珠形碳	
原料種類	果實類	木質類 石碳類	石油類 （煤分）	木質素、煤渣
形狀	不規則	成型碳	珠　狀	纖維
大小	4～14mesh	4～6mesh	0.4～0.8mm φ	10～20 μm φ 之纖維
平均孔徑(A)	20～40	10～40	—	15
填充密度 (g/cm^3)	0.4～0.6	0.35～0.6	0.5～0.6	0.04～0.05
外表面積 (m^2/g)	～0.001			0.2～0.7
比表面積 (m^2/g)	900～1,200			1,000～1,600
pH值	偏鹼性			偏中性
脫附時間	30～60min			5～10min

表 5.3-19　粒狀活性碳與活性碳纖維優缺點比較

	粒狀活性碳	活性碳纖維
優點	1.價格便宜(70～180元/kg)。 2.可充填於各式各樣的吸附槽。 3.有較好的吸附床利用率。 4.對於極性較強的吸附質有較佳的吸附效果。	1.纖維極細，比表面積大、吸附容量高。 2.表面平滑不易脆裂、損耗小。 3.不純物及重金屬含量極少。 4.脫附速度快，回收溶劑品質高，特別是應用於氯系溶劑。 5.操作簡單、設備體積小且易於安裝。 6.受溫度影響較小。
缺點	1.運送時易粉末化，吸附、脫附氣體時會耗損。 2.偏鹼性，脫附時易造成水解現象。 3.比表面積小，飽和吸附量較低	1.價格昂貴(1,000元/kg)。 2.結構較膨鬆，易生渠流效應，吸附床利用率較低。

決定選用吸附劑前要審慎評估，因不同之吸附劑可能適用於不同之吸附質，且尚須考慮諸多因子，如價格、吸附容量、物化特性、容易取得及再生或棄置處理等，有時外在環境也會對不同之吸附劑造成不同程度之影響，表 5.3-19 為一般常見有機溶劑之物化特性，以及表 5.3-20 為適合活性碳吸附處理之各類 VOCs 物理性質，可以作為吸附劑選擇之參考。

4.吸附影響因子

(1)吸附劑性質

A.比表面積：比表面積愈大，飽和吸附容量愈高。

B.孔隙大小：孔隙愈小，單位比表面積愈大，吸附容量愈高。

C.表面所帶官能基及極性：

在原(Virgin)活性碳表面是呈非極性，故對非極性的有機分子具有極高的親和力。但當活性碳表面被氧化物如臭氧、高錳酸鉀及氯等氧化時，則有一部份的表面變成非常的有極性，因為產生了含氧的官能基，產生了氫鍵鍵結致使吸附能力增強，但對非極性的有機分子之吸附容量則降低。

(2)吸附質性質

A.分子大小：適合吸附物質之分子量約介於 45～ 200 之間（甲醇除外），且分子量愈大者，被吸附能力愈佳。

B.沸點：適合吸附物質之沸點約介於 20～175℃之間，且沸點愈高，吸附能力愈佳。

C.溶解度：溶解度愈大其受濕度之影響愈大。

D.官能基及極性：同系分子中，具某特定官能基愈多者，吸附能力愈佳。

E.濃度：進流 VOCs 濃度愈大，其吸附貫穿時間愈短，而飽和吸附容量增加。

(3)環境因子

A.溫度：因吸附為放熱反應，故溫度愈低愈有利吸附作用。一般入口溫度宜控制於 40℃以下。

B.濕度：相對濕度愈大，活性碳飽和吸附容量愈低，且吸附質濃度愈低或溶解度愈大者其受影響愈大。一般入口濕度宜控制於 50%以下。

C.流量：流量增大會使貫穿時間縮短，但只要流速低於理論反應時間，則流量之增加對飽和吸附量之影響不大。

D.熱傳效果：選擇吸附塔半徑及管壁厚度較小者，可增加散熱作用，提高吸附效果。

5.一般常見 VOCs 之物化特性

大部份的 VOCs 都具可燃性，爆炸下限(LEL) 約在 1.0～2.0%左右，為了安全上的考慮，進口氣體濃度不宜超過 LEL 的某個比例（通常取 25%），若濃度太高可以空氣稀釋後再行處理。表 5.3-20 所列為一般常見有機溶劑的 LEL 值，而工業上大都是將數種溶劑混合使用，其混合後溶劑之 LEL 可以下式計算而得。

$$Xmin = \frac{1}{\frac{Ca}{Xa} + \frac{Cb}{Xb} + \frac{Cc}{Xc} + \cdots\cdots + \frac{Cm}{Xm}}$$

其中，Xmin、Xa、Xb、…、Xm 為混合溶劑中，個別純溶劑之 LEL 值(g/m^3)，而 Ca、Cb、…、Cm 為純溶劑在混合溶劑中的重量百分率。

6.活性碳對不同 VOCs 之適用性

適合活性碳吸附處理之各類 VOCs 之物理性質如表 5.1-21 所示。而不適合活性碳吸附處理之 VOCs 包括：

(1)反應性化合物：有機酸、醛類、部份酮類、某些單體。

(2)高沸點物質：可塑劑、樹脂類、長鏈碳氫化合物(C＞14)、　酚類、二元醇、胺類。

表 5.3-20 一般常見有機溶劑之物化特性

溶　　劑	LEL (Vol，%)	分子量	Xm (g/m^3)
丙酮(acetone)	2.6	58	62.7
苯(benzene)	1.3	78	42.2
醋酸丁酯(n-butylacetate)	1.4	116	67.6
丁醇(n-butylalcohol)	1.7	74	52.3
異丁醇(iso-butylalcohol)	2.2	74	67.7
四氯甲烷(carbon tetrachloride)	不可燃性	154	—
氯仿(Chloroform)	不可燃性	119	—
環己烷(Cyclohexane)	1.3	84	45.4
環己酮(Cyclohexanone)	1.3	98	44.8
乙酸乙酯(Ethyl Acetate)	2.2	88	80.5
乙醇(Ethyl Alcohol)	3.3	46	63.1
庚烷(n-Heptane)	1.2	100	43.7
正己烷(n-Hexane)	1.2	86	42.9
甲醇(Methyl Alcohol)	6.7	32	89.2
甲乙酮(MEK)	1.9	72	56.9
甲丁酮(Methyl iso-Butylketone)	1.4	100	58.2
二氯甲烷(Methylene Chloride)	不可燃性	85	—
四氯乙烯(Perchlorethylene)	不可燃性	166	—
正乙酸丙酯(n-propylacetate)	1.8	102	76.4
異乙酸丙酯(iso-propylacetate)	1.8	102	76.4
正丙醇(n-propylalcohol)	2.2	60	54.9
異丙醇(iso-propylalcohol)	2.5	60	62.4
異丙醚(iso-propylether)	1.3	102	55.2
四氯夫喃(Tetrahydrofuran,THF)	2.0	72	59.9
甲苯(Toluene)	1.2	92	45.9
三氯乙烷(Trichlorethane)	不可燃性	133	—
三氯乙烯(Trichlorethylene)	1.2	131	65.4
二甲苯(Xylene)	1.1	106	48.5

表 5.3-21　適合活性碳吸附處理之各類 VOCs 物理性質

有機物種類	沸點 (℃)	分子量	溶解性 (H_2O)[a]	可燃性	LEL (%vol.)[b]
脂肪L類(Aliphatic)					
庚烷(Heptane)	98.4	100.2	No	Yes	1.20
己烷(Hexane)	68.7	86.2	No	Yes	1.20
戊烷(Pentane)	36.1	72.2	No	Yes	1.50
石油精(Naphtha)	142.0	—	No	Yes	0.92
礦精(Mineral Spirits)	194.0	—	No	Yes	<1.00
乾洗溶劑(Stoddard solvent)	193.0	—	No	Yes	1.10
芳香烴類(Aromatic)					
苯(Benzene)	80.1	78.1	No	Yes	1.30
甲苯(Toluene)	110.6	92.1	No	Yes	1.20
二甲苯(Xylene)	144.4	106.2	No	Yes	1.00
酯類(Ester)					
醋酸丁酯(Butyl acetate)	126.1	116.2	No	Yes	1.70
醋酸乙醋(Ethyl acetate)	77.2	88.1	Yes	Yes	2.50
鹵化烴類(Halogenated)					
四氯化碳(Carbon tetrachloride)	76.8	153.8	No	No	NF
二氯乙烯(Ethylene dichloride)	99.0	85.0	No	Yes	6.20
二氯甲烷(Methylene chloride)	40.2	84.9	Yes	NO	NF
四氯乙烯(Perchlorethylene)	121.0	165.8	No	NO	NF
三氯乙烯(Trichlorethylene)	87.2	131.4	No	NO	NF
四氯乙烷(Tetrachlorethane)	74.0	133.4	No	NO	NF
氟化烴(Fluorinated)	24～93	137～204	No	NO	NF
酮類(Ketones)					
丙酮(Acetone)	56.2	58.1	Yes	Yes	2.60
甲乙酮(Methyl ethyl ketone)	79.0	72.1	Yes	Yes	1.80
甲基異丁基酮 (Methyl isobutyl ketone)	114.0	100.2	Yes	Yes	1.20
醇類(Alcohols)					
丁醇(Butyl alcohol)	116.0	74.1	Yes	Yes	1.40
乙醇(Ethanol)	74.0	46.1	Yes	Yes	3.3
丙醇(Propyl alcohol)	96.0	60.1	Yes	Yes	2.10

a. 不可溶＝＜1% wt.

b. LEL＝低爆炸界限；NF＝不可燃

資料來源：Coutesy of Vic Manufacturing Co.

7.活性碳對各種有機物質之飽和吸附容量

一般固定床式之吸附操作可概分成四個階段，如圖 5.3-18 所示。起初吸附的效果良好，出口濃度 C_1、C_2 遠低於入口濃度 Co，然而，隨著已處理氣體體積之增加，直至一貫穿點時(出口濃度為 C_3)，活性碳即已達到飽和，此時應進行更換或再生吸附劑之程序。

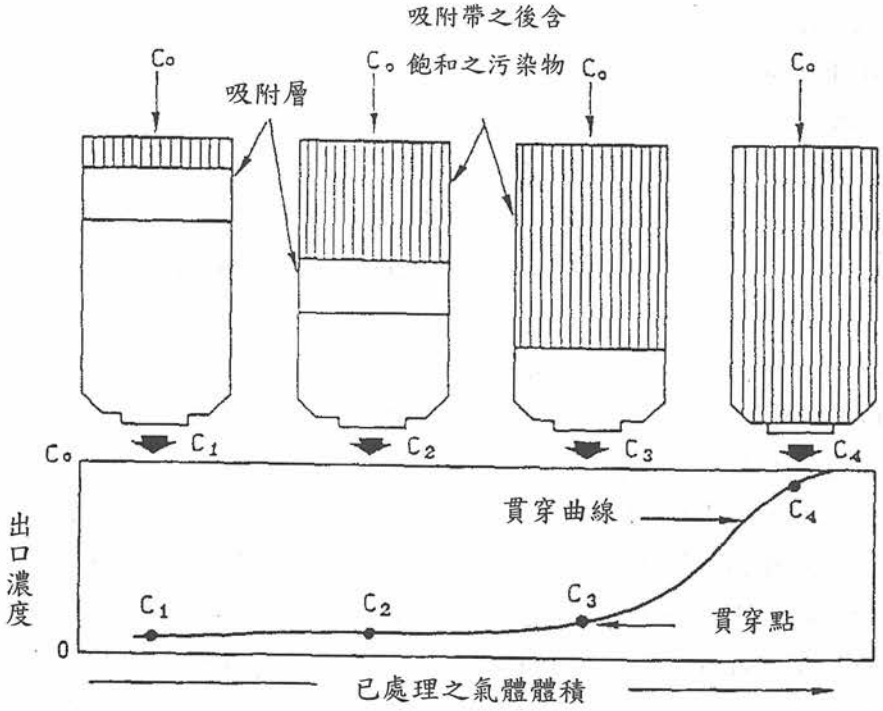


圖 5.3-18　吸附的四階段及出口濃度

表 5.3-22 數值中，即以椰子殼活性碳預先將臭氣或有機溶劑達到飽和吸附，然後再通過空氣後，被吸附氣體的一部份或大部份，即很容易脫離，留下的即保存在活性碳中。這種保存量則以單位活性碳的重量百分比來表示其值。在同系統的化合物中，其分子量與保存量是成比例的。除了木精外，分子量 45 以上的，均達到吸附的條件。

至於物理吸附的最大妨害因素為溫度，當氣體溫度在 60℃以上時，吸附效果會大幅降低，而當溫度在 40℃以下則適合吸附。且當氣體中含有水分，而在活性碳表面凝結時，吸附性能亦會降低。尤其是當灰塵、煙霧、混凝土等覆蓋在表面時，則必須事先作清除工作。

表 5.3-22　活性碳對各種有機物質之保存量

成分	保存力%	摘要	成分	保存力%	摘要
(醇類)			(芳香烴類)		
乙醇	21	木精	苯	23	溶劑
甲醇	10	溶劑	硝基(代)苯	20	
丁醇	34	離醇油	甲苯	25	溶劑
戊醇	35		二甲苯	26	溶劑
(有機酸)					
醋酸(乙酸)	37	藥品	(脂肪類碳化氫)		
酪酸	35	體臭	丙烷	5	燃料
甲酸	7	藥品	丙烯	5	煤氣
棕櫚酸	35	棕櫚油	癸烷	35	燈油成分
丙酸	30		庚烷	20	汽油成分
丙烯酸	20		己烯	10	汽油成分
辛酸	35	動物臭	壬烷	30	燈油成分
(無機氣體)			丁烷	8	燃料
胺	一些	刺激臭	(醚)		
溴	40		乙醚	15	醫藥品
二硫化碳	15	黏膠	二異丙醚	18	溶劑
四氯化碳	45	溶劑、滅火用	甲醚	10	
氯	15	顏料製造	丁醚	20	溶劑
溴化氫	12	藥品	(酯)		
氯化氫	12	燃燒氣體	醋酸戊酯	41	漆溶劑
氟化氫	10	氟	醋酸丁酯	28	漆溶劑
碘化氫	15		醋酸乙酯	19	漆溶劑
硫化氫	3	腐蛋臭	醋酸丙酯	23	漆溶劑
碘	40		醋酸甲酯	16	溶劑
硝酸	20	藥品	(醛)		
二氧化氮	10	燃燒氣體	乙醛	7	藥品、燃燒排氣臭
臭氧	分解氧	放電管			
二氧化硫	10	燃燒排氣	丙醛	15	
三氧化硫	15	燃燒排氣	丁醛	20	柴油廢氣合成用劑
硫酸	30	藥品			

表 5.3-22 活性碳對各種有機物質之保存量(續)

成分	保存力%	摘要	成分	保存力%	摘要
(鹵化烴類)			甲醛	很少	燃燒排氣臭
三氯乙烯	13	乾洗用	(其他化合物)		
三氯甲烷	40	麻醉藥	石碳避	30	苯酚樹脂
三碘甲烷	30	防腐用	甲酚	30	醫院消毒液臭
異丙基氯	20		皮啶	25	煙草臭
氯化甲烷	5	冷媒	糞臭素	25	排泄物
二氯甲烷	25		松節油	32	溶劑
四氯代甲烷	60		吉草酸	35	體臭、腳臭
(硫醇)					
甲硫醇	20	牛皮紙漿、黃蘿蔔鹼菜臭	蓋醇	20	
乙硫醇	23	蒜、蔥、污水	煙鹼	25	煙草
丙硫醇	25		茨酮	20	
(酮類)			(多成分臭)		
丙酮	10	溶劑	污水臭	大	
二乙基甲酮	30	溶劑	廁所臭	大	
丁酮	10	溶劑	料理臭	大	
甲基異丁基酮	20	溶劑	食物臭	大	
			包裝室臭	大	
			體臭	大	

資料來源：環保署惡臭防制技術參考手冊（Ⅲ）

8.活性碳吸附塔設計參數

固定床式活性碳吸附塔之設計，一般依再生系統之有無而予以區分，若廢氣中 VOCs 濃度較高可回收，或吸附劑成本相對於再生成本很貴時，可選用再生式吸附床；倘若廢氣中 VOCs 濃度只有數 ppm 或其中參雜有害、毒性或臭味物質，其回收不具經濟效益時，可不設再生設備，而委託合法廠商再生或處理。但廢棄吸附劑之處置應符合法令規定，以避免造成環境之污染。

(1)吸附操作

A.吸附床斷面流速：0.2～0.5 m/sec

B.吸附床深：0.45～1.0 m

C.滯留時間：1～2 sec

D.操作壓損：70～150 mmH_2O

E.吸附效率：大於 90%

F.吸附週期：大於 2 hr(再生系統 8～12hr)

G.廢氣入口溫度：小於 40℃

H.廢氣濕度：小於 50%

I.廢氣中塵粒含量：小於 0.5 mg/m^3

J.工作容量(working capacity)：10～50% 飽和吸附容量

(2)脫附操作

A.脫附溫度：110℃以上

B.脫附時間：30～60 min

C.蒸氣用量：0.25～0.35 kg @15psig/kg-Carbon

9.操作注意事項

(1)需確實掌握廢氣特性，如組成、濃度、溫度、濕度、粉塵量及干擾物質，以確保吸附效果並降低操作費用。

(2)若廢氣中含有硫化氫、胺類、醛類等不適合吸附物質時，可以利用化學吸附方式（如活性碳表面酸鹼處理）或配合藥液清洗法等處理之。

(3)高沸點物質（如黏著劑、可塑劑、安定劑、樹脂、酚類、胺類或沸點大於 260℃者）通常易和活性碳起化學反應，而沉積於活性碳表面細孔上，降低其吸附能力，且再生時此沉積物亦不易去除，故須加裝前處理設備濾除之。

(4)廢氣於進入活性碳床前須先經過濾網過濾，以去除細粒雜質（尤其是粒徑大於 5 μm 之顆粒），並須保持碳床的均一性，避免堵塞或形成氣流渠道(gas channeling)現象。

(5)當廢氣包含二種以上 VOCs 時，吸附效率會降低，因分子量較大者為優勢吸附質，使分子量較小者之貫穿時間縮短，故此時需加高吸附床深或縮短操作週期。

(6)對於水溶解度較大者，其飽和吸附容量受濕度影響較大，且濃度愈低，所受影響程度愈大。當以蒸氣脫附時，水溶解度較大者（或極性較大者）其回收率較佳，

但其分離時愈複雜困難。

(7)當廢氣中含有酮類、酯類或鹵素等溶劑時，因其易氧化分解或水解，且分解反應的生成物具有腐蝕性，故設備材料的選擇要非常注意。

(8)粒狀活性碳因偏鹼性，且金屬含量較活性碳纖維高，對於含氯之 VOCs 進行脫附時，具有不利影響。

(9)當吸附系統阻力明顯增大時，需檢查濾網活性碳床（含篩板），並予以清洗或更換。

(10)若操作不當，致使高溫廢氣或大量溶劑迸入碳床，而引起碳床溫度超過 150℃時，應緩慢注水冷卻以免著火。

(11)對於易燃性氣體操作時的安全考量，一般安全規定入口蒸氣濃度不可超過其爆炸下限值的 25%。此外，設備上最好採用防爆型及防靜電。有關有機氣體蒸氣壓及溫度關係如圖 5.3-19 所示。

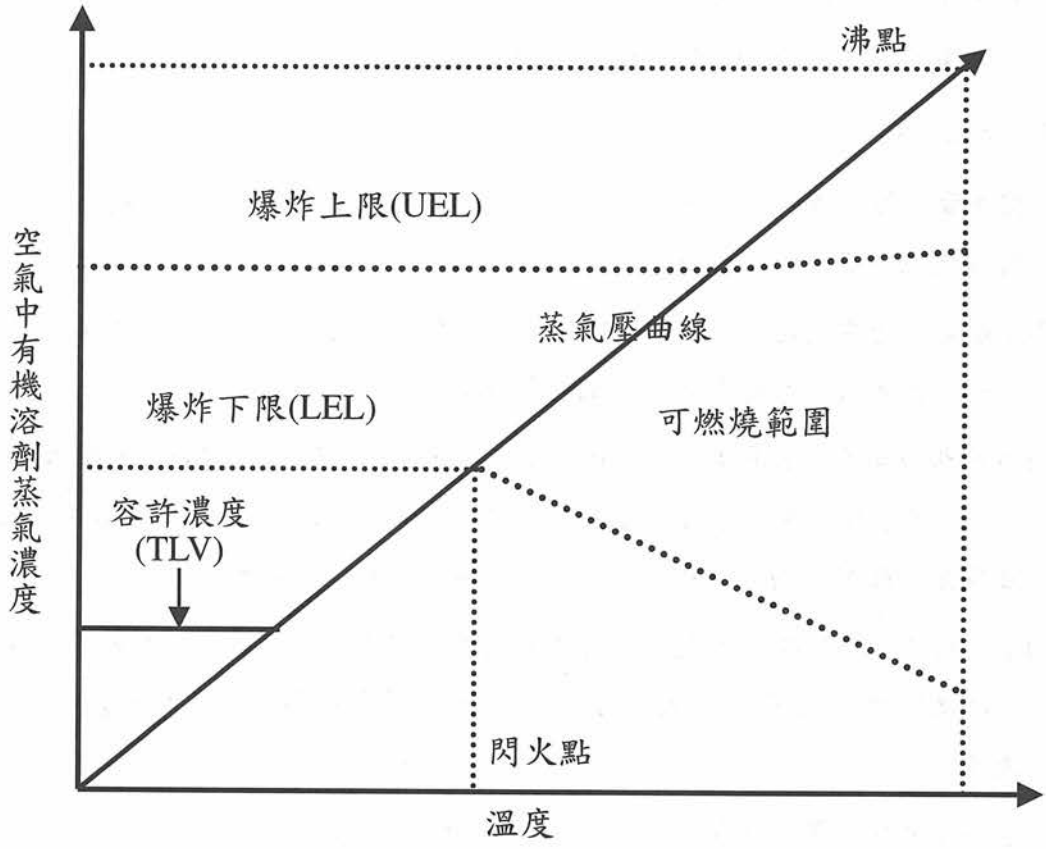


圖 5.3-19　蒸氣壓及溫度關係圖

10.吸附設備之選擇

活性碳吸附設備可自行或委請專業工程公司設計，若廢氣處理容量不大，則可向具有實績的供應廠商購買套裝單元組合以節省成本。每一種適用情形均需善加考量，且套裝系統設計也需經詳細估算過才可承購，在決定設置活性碳吸附系統後，可依工廠製程所排放之廢氣成份、特性及要求條件而作一完整規劃設計。

在設計前需先掌握下列資料：

(1)系統目的

(2)溶劑種類

(3)溶劑是否回收再用

(4)系統操作方式（連續、批式或其他）

(5)氣體組成、溫度、壓力、濕度

(6)溶劑價格

(7)氣體流率

(8)冷卻水之溫度、壓力及是否能取得

(9)電力供應問題

(10)再生蒸氣的供應及溫度、壓力

在掌握這些資料後，設計者或供應廠商所提計劃案內容應包含下列各項：

(1)系統材質構造

(2)循環時間

(3)操作條件（如氣體流量、組成、溫度、濕度等）

(4)設備裝置尺寸

(5)吸附劑種類、性質及價格

(6)再生容量

(7)所需空間大小

(8)電力需求

(9)冷卻水、水蒸氣用量

(10)儀表控制詳述

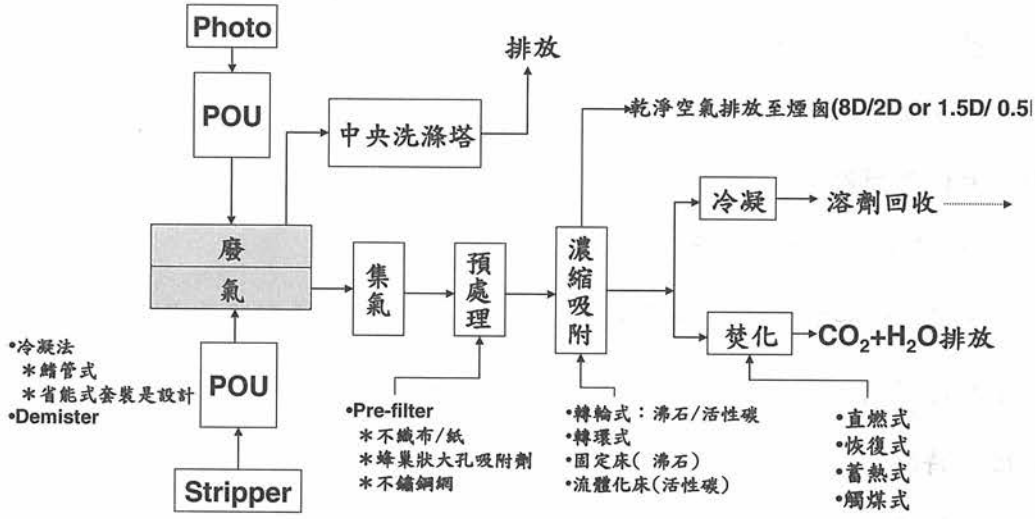
(11)設置與操作費用

(12)污染控制的保證

(13)系統操作細節

5.3.6 濃縮處理技術

隨著高科技產業的快速發展及建造，半導體製造業及光電業排氣中揮發性有機廢氣之處理引起了廣泛的討論。由於其排氣量大，組成複雜(高、低沸點混合，如：IPA、Acetone、PGME、PGMEA、MEA、DMSO)及排放濃度屬低至中範圍(50~1500 ppm_v as CH_4)的特性，造成選擇處理技術的困擾。一般在處理大風量低濃度的廢氣時，多會結合兩種以上的處理方式(圖 5.3-20)，先將廢氣風量下降及同時濃度增加；再行後處理來降低操作費用。例如：將廢氣以轉輪或流體化床吸附濃縮後，再以燃燒焚化或冷凝等的方法作終處理。其中濃縮設備則僅有沸石轉輪濃縮及流體化床濃縮兩種技術經實廠運作與文獻研究探討顯示是效率及穩定度最為可靠之技術。

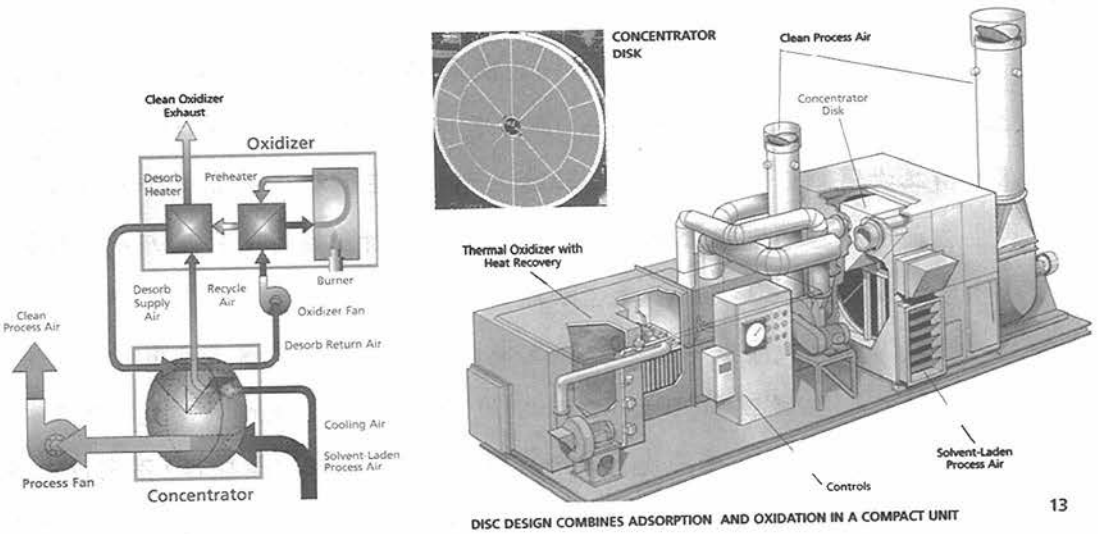


資料來源：華懋科技

圖 5.3-20 濃縮處理系統圖

1.沸石濃縮轉輪

對於高風量低濃度揮發性有機廢氣之處理，可採用轉輪吸附濃縮搭配焚化處理技術，一般濃縮轉輪之吸附劑最常採用疏水性沸石，其目的為將大流量，低濃度 VOCs 廢氣轉換成小流量高濃度氣流，使後端焚化系統於處理所耗用之燃料可更為經濟，沸石轉輪系統如圖 5.3-21 所示。



資料來源：日本西部技研

圖 5.3-21 沸石轉輪系統圖

(1)蜂巢狀沸石吸附濃縮轉輪特徵(圖 5.3-22)

A.有很大內表面之孔穴可吸附和儲存大量 VOCs 分子，吸附量大。

B.孔徑大小較整齊均一，是一種離子性吸附劑，可以根據分子大小和極性之不同進行選擇性吸附。

C.對一些極性分子在較高溫度、低分壓下仍能保持很強之吸附能力。

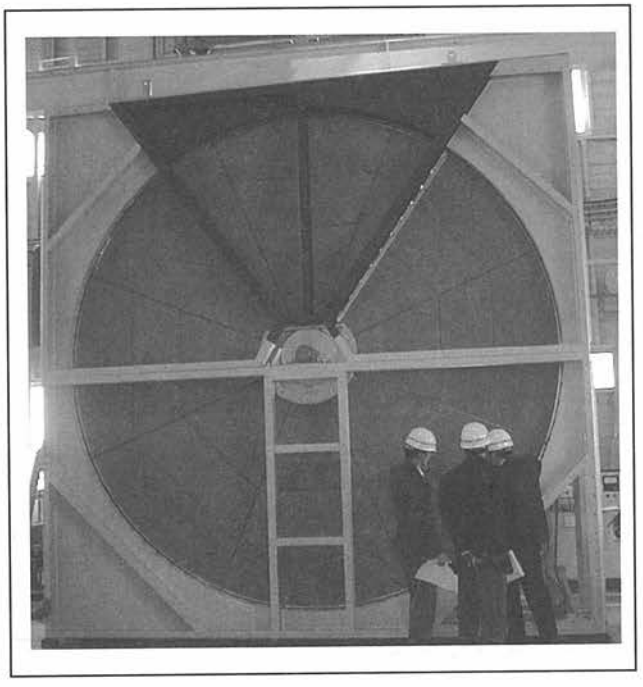


圖 5.3-22 蜂巢狀沸石吸附濃縮轉輪外觀

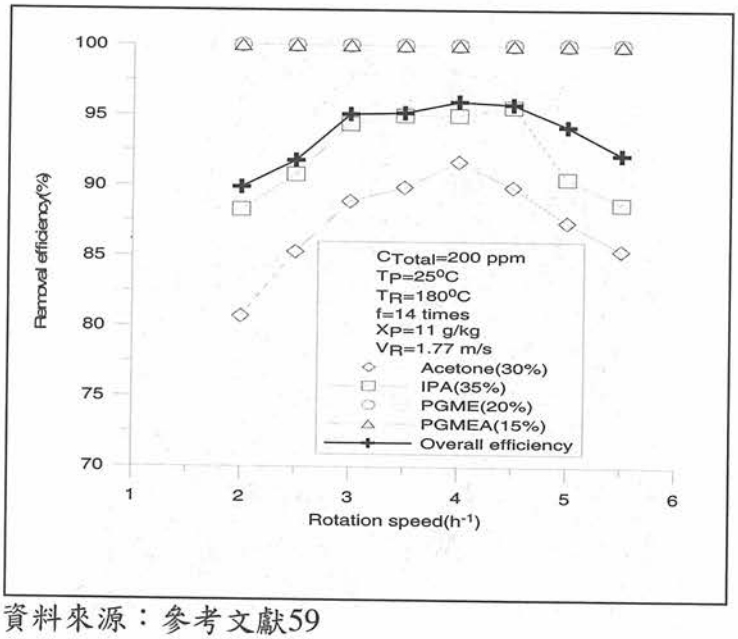
(2)沸石濃縮轉輪流程說明

製程排放之廢氣經製程風車(一次風車)排出後，以轉輪後端之 VOCs 風車(二次風車)抽取至轉輪之吸附區，將廢氣內之有機溶劑氣吸附後，成為淨化氣體，由二次風車送至煙囪排放。轉輪主要分為三個操作區間，即吸附區、脫附再生區及吹冷區。當轉輪表面吸附劑之溶劑吸附至接近飽和時，即旋轉至脫附再生區，以高溫(180~220℃)之空氣流，將吸附之溶劑脫附出來，形成一般高濃度之廢氣流，此股廢氣流再經脫附風車送入一次熱交換器，利用焚化之廢熱回收預熱後，再送入燃燒機焚化分解，以節省燃料費。經脫附再生處理後之轉輪再旋轉至冷卻區降溫後，繼續進行吸附處理，系統完全以連續操作，不需停機再生。此外，利用燃燒之廢熱進行二次回收，為再生轉輪用之熱源，更節省燃料費用。

(3)影響沸石濃縮轉輪性能因素

A.轉輪轉速

轉輪轉速快慢會影響轉輪的脫附及吸附程序(圖 5.3-23)，轉輪轉速快將使脫附區無法有充裕時間進行脫附程序，導致 VOCs 無法完全脫附，造成轉輪快速飽和無法繼續處理後續進入之 VOCs 廢氣，致使系統去除效率降底。相反的轉輪轉速慢，則可能因停留於吸附區的時間過長，使轉輪在吸附區提前飽和，造成去除效率降低。故欲使轉輪之去除效率達最佳狀態，則必須依賴實際 VOCs 廢氣之狀況及欲達到的 VOCs 處理效率作適當的調整，方能達到理想狀態。

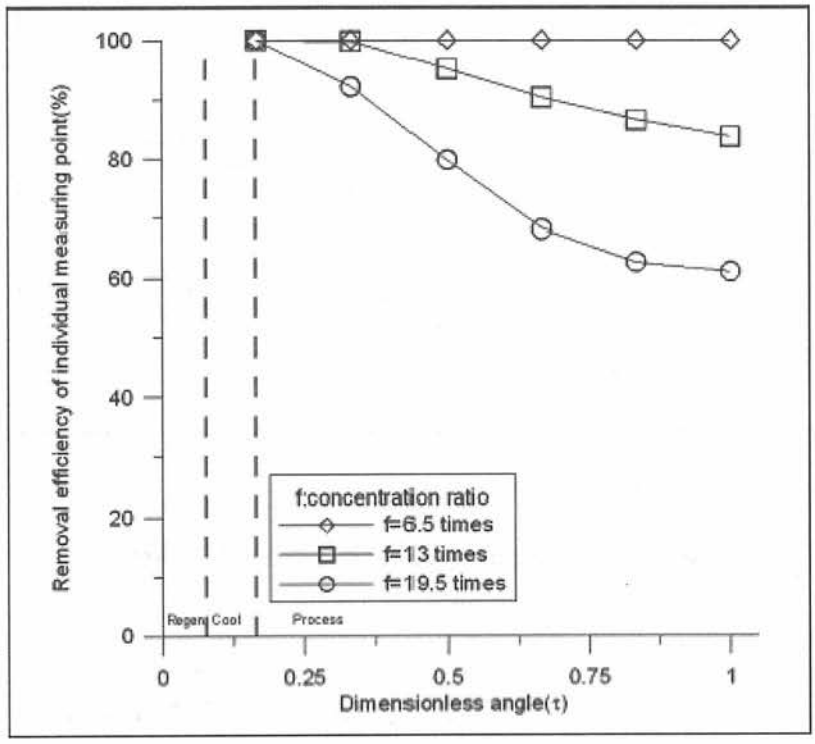


資料來源：參考文獻59

圖 5.3-23 轉輪轉速與轉輪效率圖

B.濃縮倍率

濃縮倍率為轉輪吸附區與脫附區的風量比，濃縮倍率降低代表進入吸附區風量減少，進入冷卻區的風量增加。降低濃縮倍率可以增加轉輪處理效率，如圖 5.3-24 所示，將濃縮倍率由 19.5 倍減少至 6 倍時，轉輪去除對 IPA 之去除效率大為增加，但脫附風量大代表進入焚化爐的處理風量亦隨之變大，將增加焚化爐燃料耗用量，此外脫附風量若大於焚化爐的設計處理風量亦會造成系統處理效率降低。為顧及效率及能源能同時達到最佳狀況，視實際狀況隨時調整濃縮倍率是必須。



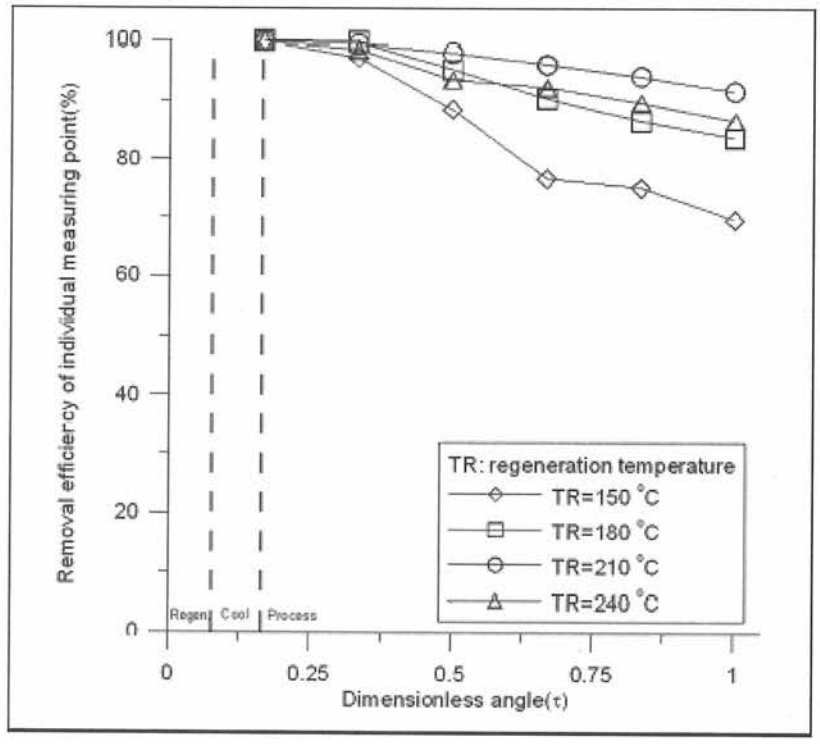
資料來源：參考文獻59

圖 5.3-24 濃縮倍率與轉輪去除效率之關係

C.脫附溫度

脫附溫度係指進入轉輪脫附區之氣流溫度。脫附溫度不足，則轉輪脫附區無法得到充分的熱能，吸附於轉輪內之 VOCs 則無法完全脫附出，吸附位置被佔據，造成處理效率降低。相反脫附溫度增加，可使轉輪於脫附區得到充分的熱能，將吸附於轉輪內之 VOCs 完全脫附出來，增加轉輪處理效率，如圖 5.3-25，在脫附溫度 150~210℃時，脫附效率隨脫附溫度增

加而升高；但過高脫附溫度，如圖 5.3-25 之脫附溫度提升至 240℃，將使得轉輪轉體深層殘餘熱過多，若無法於冷卻區有效降溫，將不利於下一階段的吸附程序，造成整體轉輪去除效率下降。



資料來源：參考文獻59

圖 5.3-25 脫附溫度與轉輪去除效率之關係

D.VOCs 廢氣成份

沸石轉輪對不同的 VOCs 成份其吸附效果亦有所不同，主要原因為沸石轉輪構造為陶瓷基材 + 吸附劑，不同吸附劑對不同的 VOCs 成份吸附當然效果有所不同。故在選購沸石轉輪前，必須先明瞭 VOCs 廢氣成份，再選擇適當的沸石轉輪，方能提昇系統的處理效率。此外在變更製程條件時，事先也需評估不同的排放氣體對吸附效果的影響，避免影響處理效率。一般選擇廢石轉輪，主要針對於半導體主要之 VOCs 如 IPA、Acetone、PGMEA、PGME 等，去除效率均可達到等級 4 與 5(表 5.3-23)，約為 95% 以上，並可有效控制一些極性分子如 Methanol 等。因此選用轉輪之前，若能先分析 VOCs 廢氣物種特性，在採用沸石吸附濃縮焚化系統之後更可達到事半功倍之成效！

表 5.3-23 沸石轉輪對 VOCs 之去除效率等級表

5 grades index
Conc. ratio ／ removal efficiency
5:　10 times ／ 98% & over
4: 5 to 10 times ／ 98% & over
3: 5 to 10 times ／ 98% & over
2: 3 to 5 times ／ 90% & over
1: 3 to 5 times ／ less than 90%

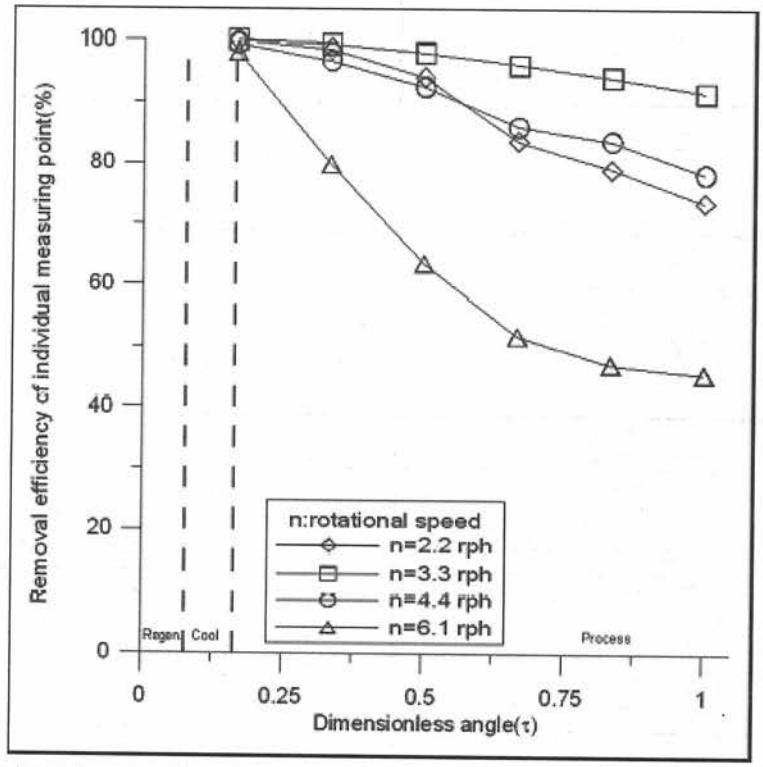
GROUP	NAME	VOC CONCENTRATOR								
		UZCR						KCCR	KZCR	KCPR
		I	II	III	IV	V	VI			
Aliphatic hydrocarbons	n-Hexane	3	4	4	3	4	4	3	3	
	n-Heptane	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	n-Octane	4	4	4	4	4	4	4	5	4
	n-Nonane	4	4	4	4	4	4	4	5	4
	Cyclo hexane	1	1	1	1	1	1	5	4	5
Alcohols	Methanol	1	3	3	1	4	3	1	1	1
	Ethanol	2	3	4	2	4	4	2	3	2
	Propanol	3	4	5	3	5	5	3	4	4
	IPA	3	4	5	3	5	5	3	4	4
	Butanol	4	4	5	4	5	5	4	4	4
	1-Methoxy-2-propanol	4	4	4	4	4	4			
	Diacetone alcohol		4	4		4	4			
Esters	n-Ethyl acetate	3	4	4	4	4	4	3	3	3
	n-Butyl acetate	4	5	5	4	5	5	5	4	4
	2-Ethyl hexil acetate	4	5	5	4	5	5	5	4	4
	Butyl glycol acetate	4	4	4	4	4	4			
	Ethyl glycol acetate	3	4	4	3	4	4			
Ketones	Acetone	2	3	4	3	4	4	3	3	3
	MEK	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	MIBK	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	MAK	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	2-Pantanone	4	4	4	4	4	4			
	Iso phorone	×	×	4	×	4	4			×
	Cyclohexanone	×	×	4	×	4	4			×
Ethers	Ethyl ether	2	2		2			2	2	
	Ethyl cellosolve	4	4		4			4	4	4
	Butyl cellosolve	4	4		4			4	4	4
	P.G.M.E.A		4	5		5	5			
	Ethylene glycol m-methyl ether		4	4		4	4			
Aldehydes	Formaldehyde	1	4	4	1	4	4	1	1	1
Aromatic hydrocarbons	Benzene	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Toluene	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Xylene	4	4	3	4	3	3	4	4	4
	Stylene	×	×	4		×	×			
	Phenol	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Ethyl benzene	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Chlorinated hydrocarbons	Methylene chloride	2	3	3	2	3	3	3	3	4
	Perchloro ethylene	2	4	4	2	4	4	3	4	3
	Trichloro ethane	2	4	4	2	4	4	3	4	3
	Trichloro ethylen	2	4	4	2	4	4	3	3	3
Others	Terpineol	5	4	4	5	4	4			
	n-Butyl carbitol	5	4	4	5	4	4			
	Trimethyl amine		5	5		5	5			
	Naphtha	4	4	3	4		3	4	4	4
	Ethyl lactate		4	4		4	4			
	Ethyl-3-ethoxy propionate		4	4		4	4			
	n-Methy-2-pyrolidone		4	4		4	4			
	Dimethyl formamide		4	4		4	4			
	Solvesso100	4	4	4	4	4	4			

Note) Valid for process inlet conditions 20~30 ℃,50%RH

資料來源：日本西部技研/華懋科技

E.VOCs 廢氣濃度

在同一轉輪轉速之下，VOCs 廢氣進口濃度不同對轉輪的處理效率亦不同。分析其原因，因高濃度的 VOCs 廢氣所含的污染量較多，將使吸附區提前飽和，造成處理效率降低，此時可調整加快轉輪轉速由原本每小時 2.2 轉提昇至每小時 3.3 轉，如圖 5.3-26 可看出，每小時 3.3 轉所對應即可獲得效率之提升。但轉速亦不宜過快，以免造成脫附區之處理時間不足，讓轉輪無充足之吸附位置去處理下一階段之吸附程序；故欲使轉輪之去除效率達最佳狀態，則須依賴實際 VOCs 廢氣之狀況作適當地轉輪轉速調整，方能達到理想狀態。



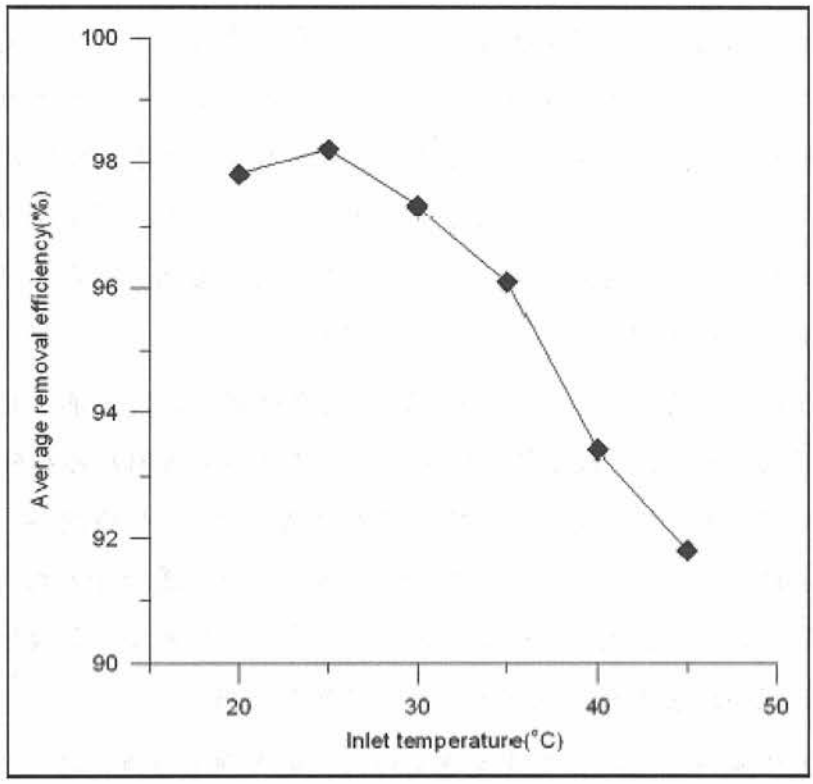
資料來源：參考文獻59

圖 5.3-26 轉輪轉速與去除效率關係

F.VOCs 廢氣之溫/溼度

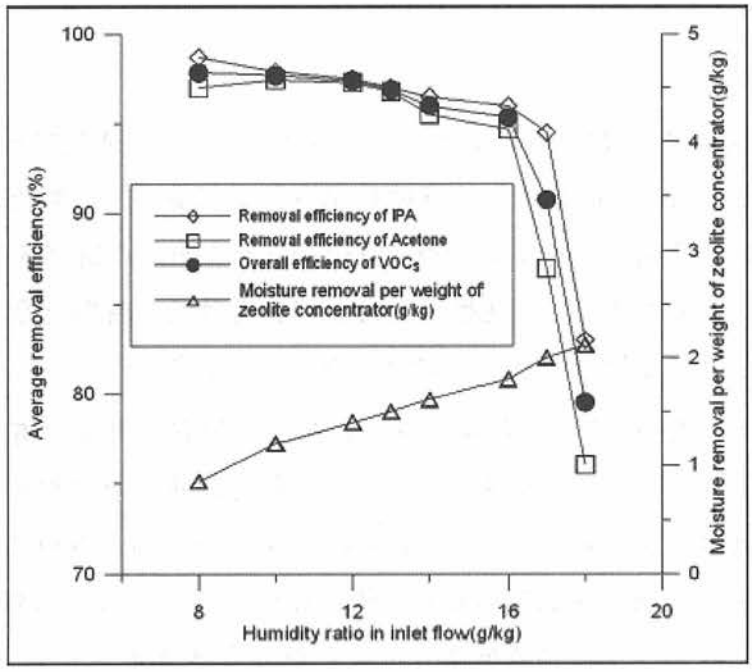
圖 5.3-27 為轉輪在不同進流氣流溫度下對於去除 IPA 效率。由於吸附為一放熱反應，廢氣進流溫度高將不利於轉輪吸附處理 VOCs，因此轉輪去除 VOCs 效率將會隨著進流溫度升高而降低。此外，理論上若進流溫度降低則有助於沸石吸附 VOCs 之效率提升，不過由於環境溫度降低所引起之進氣流溼度相對增加，環境中產生過多之水分子將凝結於轉輪上，與

VOC_S 產生競爭性吸附佔據吸附位置，使得吸附效率降低，影響轉輪處理效率(圖 5.3-28)。



資料來源：參考文獻59

圖 5.3-27 不同進流氣流溫度對於轉輪去除 IPA 效率之影響



資料來源：參考文獻59

圖 5.3-28 環境中存在濕度對於轉輪去除 IPA 效率之影響

2.流體化床吸附系統

活性碳吸附處理技術是去除揮發性有機氣體(VOCs)最常用的一種技術，一般多使用固定床的吸附系統；以兩塔或多塔批式操作的方式進行廢氣的吸附及吸附飽和後之活性碳再生，唯在遇有高反應性的 VOCs 處理時，則常因被吸附之化學品於脫附時發生水解反應，造成碳床腐蝕或氧化反應，因散熱不佳致使碳床著火的問題。例如在吸附處理酯類化學品時，在再生的過程中易分解為醇類及酸類，而腐蝕碳床，而在吸附處理醇或酮時，常因被吸附溶劑之氧化反應，放出大量的熱，造成活性碳床因散熱不良而發生著火的現象。

為了改善固定床吸附系統的缺點，國內業者與日本技術單位共同發展出一種流體化床的吸附系統。此系統的特徵是改良活性碳的吸附及飽和碳的脫附再生為一連續操作，依系統各單元之功能主要可分為三部份，即吸附塔、脫附塔及冷凝塔或燃燒機；依使用的目的不同可為溶劑回收或廢氣濃縮除臭之用，目前在日本已廣泛的用於各種行業，例如塗裝業、油漆業、化工業及半導體封裝業之溶劑回收及半導體晶圓製造業、光電業等之濃縮除臭之用。

流體化床吸附系統主要是處理製程排放的 VOCs 廢氣，尤其是半導體、光電業、化工業、人造皮業等所排放之有機廢氣，可處理的化學品包括：碳氫化合物、芳香烴、醇、酮等代表性的化學品，適合處理大風量及排放濃度屬低至中範圍(100 ~ 1000 ppm as CH_4)。

(1)系統說明

系統中用來吸附 VOCs 的部份稱為吸附系統，用來脫附活性碳吸中 VOCs 的稱為脫附系統，用來輸送活性碳的稱為輸送器系統。流體化床吸附系統吸附 VOCs 之活性碳為微珠球狀活性碳(GBAC)，其外觀如圖 5.3-29~圖 5.3-31 所示，不論其吸附性、耐磨耗性、流動性都相當優良，特別適合在系統中作為連續吸附、脫附之媒介，GBAC 物質特性如表 5.3-24 所示。

由於 VOCs 的成份種類很多，在脫附的過程中可能會有少許的成份不易被脫附出，活性碳在不斷的循環使用下，將逐漸喪失一部份吸附能力，而系統中的旁流線上活化再生系統(Side Stream Regenerator, SSR)裝置就是用來處理這一個問題之極佳線上輔助系統，無須將整套系統內之活性碳取出，移至他地進行活化再生，可大幅減少操作不便及額外成本支出。

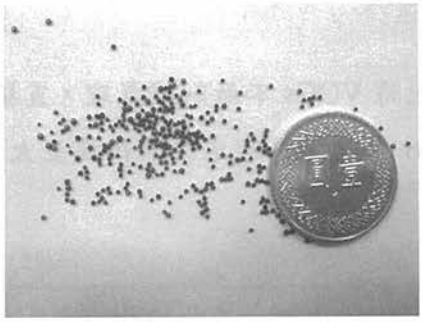


圖 5.3-29　GBAC 外觀

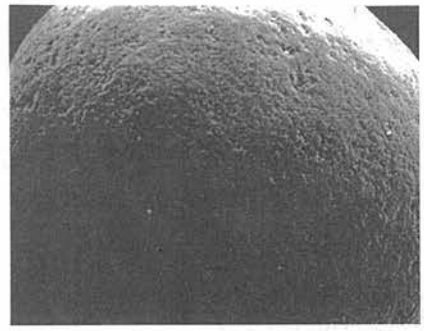


圖 5.3-30　GBAC SEM 照片

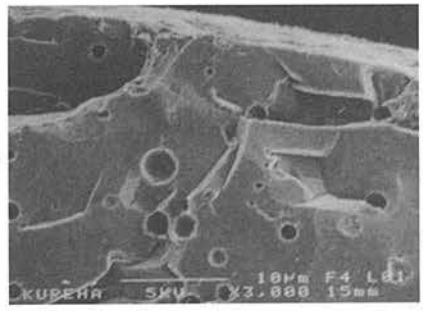


圖 5.3-31　GBAC SEM 孔洞分析

表 5.3-24　GBAC 物質特性分析

Properties		
外觀		Sphere
平均粒徑	mm	0.4 ~ 0.7
容積密度	(g/ml)	0.5 ~ 0.6
實際密度	(g/ml)	1.9 ~ 2.1
表面面積	m^2/g	800 ~ 1300
吸附特性		
碘	mg/g	800 ~ 1300
Caramel	%	70 ~ 95
消耗損失 ※	wt %	< 1/10
灰塵接觸比率	wt %	< 0.5

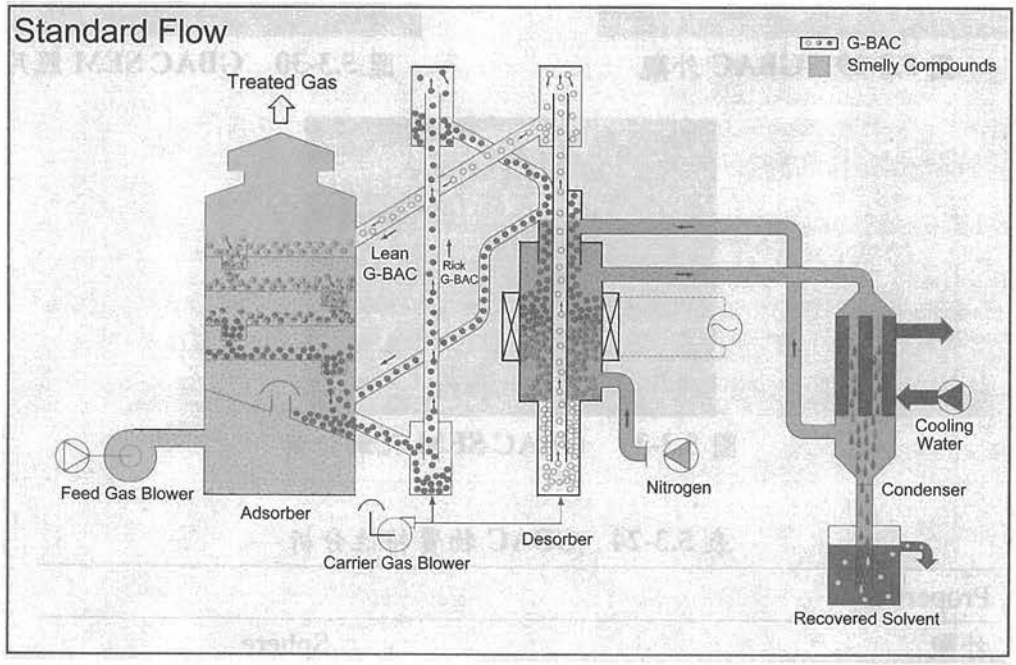
※After shaking for 60 mins in water
(Compared with a carbon base activated carbon)

資料來源：華懋科技

SSR 裝置的目的是用來維持 GBAC 的性能，其程序為利用 800℃以上之高溫蒸汽，將經過反覆吸脫附之活性碳積蓄高沸點成份(如：PGMEA、DMSO 等)去除，避免殘存高沸點 VOCs 在脫附程序中無法脫附、蓄積形成不結晶碳而堵塞活性碳之微孔洞，如此之再生活化可使系統中活性碳保持一定之吸脫附效能。

(2)流程說明

VOCs 先由廢氣風車抽排到外氣，此時 VOCs 不做削減處理，直接排放。當氣體開關啟動後 VOCs 廢氣經過 4 ~6 層的活性碳床吸附排放至大氣中(圖 5.3-32)。



資料來源：華懋科技

圖 5.3-32 活性碳流體化床處理流程

吸附過的活性碳於吸附塔底部收集再藉由活性碳輸送管路送到脫附塔內。流入脫附塔內的活性碳，過多的部份會經由溢流流回吸附塔下方貯留部，其餘會通過 SSR 保溫部，再層層流動，經過上中下段電熱脫附，再經冷卻管排冷卻，送回吸附塔內進行吸附 VOCs。

系統在進入正常運轉後，氮氣風車開始運轉，將活性碳內的 VOCs 吹出，氮氣與高濃度 VOCs 氣體混合經由冷凝後將 VOCs 以液態方式收集，氮氣再回到脫附塔，經活性碳吸附後回到氮氣風車，持續不斷的循環，而在氮氣風車入口處有一新鮮氮氣供應，以提供運轉時氮氣的流失。

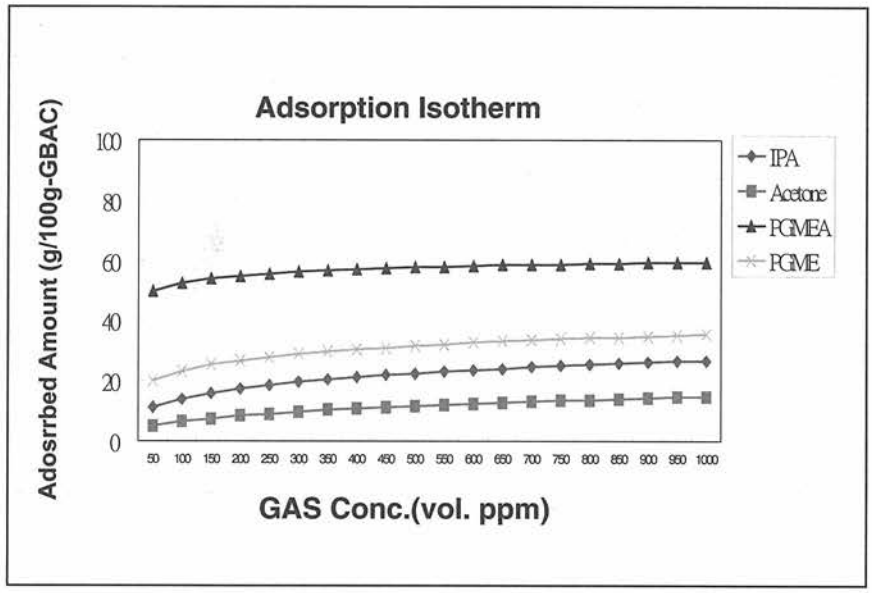
流入 SSR 的活性碳是由脫附塔脫附完成的活性碳，活性碳流入反應爐內加熱，並吹入蒸氣，使活性碳內不易脫附的部份排出，由於加熱反應的溫度約 800℃~900℃，其活性碳在爐底以蒸氣作為冷卻的媒介，最後由輸送器送出；SSR 再生後所產生污染殘餘物，可藉由冷凝作用一併收集處理。

(3)影響去除效率的因素

廢氣中 VOCs 的去除效率受設計時選擇的參數、單元設備性能及 GBAC 再生效益的影響，分別說明於下：

A.設計參數的選擇

流體化床吸附系統設計時一般雖均以線速度 1m/s 設計，但是吸附塔內部隔層板數 GBAC 的浮動分佈，及再生的速度均影響 VOCs 去除的效率，因此，設計前，最好能充份掌握廢氣的特性，例如風量、溫度、溼度，VOCs 的組成及濃度等。活性碳吸附劑雖具有疏水親油的特性，而特別適合 VOCs 的吸附，但由於待處理的 VOCs 分子大小不盡相同，分子量及極性也各異，因此，活性碳對每一種化學品的吸附能力及吸附速度也不相同(圖 5.3-33)，最好能依據待處理 VOCs 的等溫度吸附線，擬定操作曲線做為設計的參數。此外，是否需要預處理設備可容許的風量及靜壓變化……等，均為設計時需加入考量的重點。



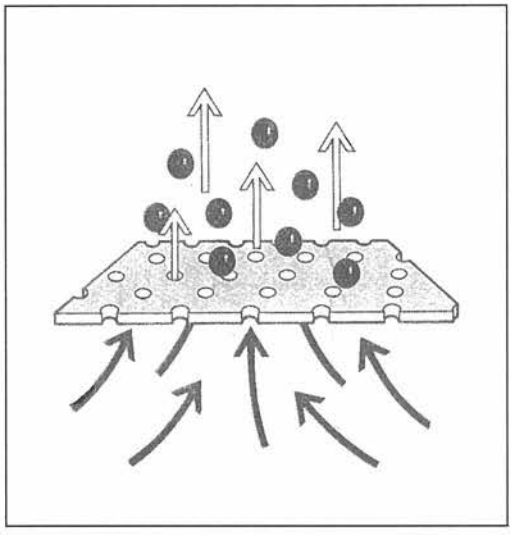
資料來源：華懋科技

圖 5.3-33 活性碳對於半導體主要 VOCs 之飽和吸附量

B.單元設備性能及 GBAC 脫附效益

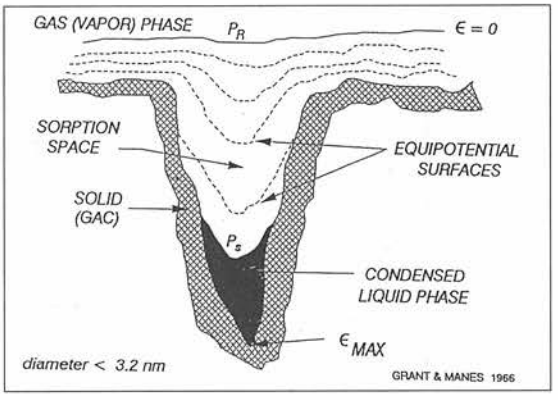
流體化床吸附系統中主要的單元設備雖有吸附塔、脫附塔及冷凝塔等三部份，但其中以脫附塔的性能影響 VOCs 的去除效率最大，吸附塔部份只要正確的選擇設計參數，並注意氣體分散的控制避免短路(channeling)現

象(圖 5.3-34)，使廢氣與 GBAC 均勻的接觸，幾乎可確保 GBAC 吸附效率，而冷凝塔主要的目的是將脫附出來的高濃度 VOCs 冷凝下來，一般採用 5~7℃的冰水，供給足夠的水量即可。脫附再生塔主要是要將吸附於 GBAC 孔洞內的溶劑脫附出來，以便利空出的孔洞繼續再進行 VOCs 的吸附(圖 5.3-35)，如果脫附不良時，GBAC 內可再利用孔洞減少，VOCs 去除效率自然也隨之下降。脫附塔一般操作的溫度在 170℃~400℃之間，隨待處理 VOCs 沸點之不同而各異。GBAC 在脫附再生塔內的滯留時間，亦必需足夠長，才可充分脫除。另由於使用 N_2 為攜帶氣體，為節省 N_2 的消耗，一般脫附塔均有 N_2 回用的設計，而攜帶 N_2 的用量及回用 N_2 的純度亦會影響 GBAC 再吸附的性能。為了確保回用 N_2 的品質，一般在脫附塔內均設有第二吸附塔，因此第二吸附塔中 GBAC 的用量亦相當重要，設計量不足時，則唯有降低冰水的溫度以減少回用 N_2 中 VOCs 的含量。



資料來源：華懋公司提供

圖 5.3-34 流體化床孔板氣流分佈



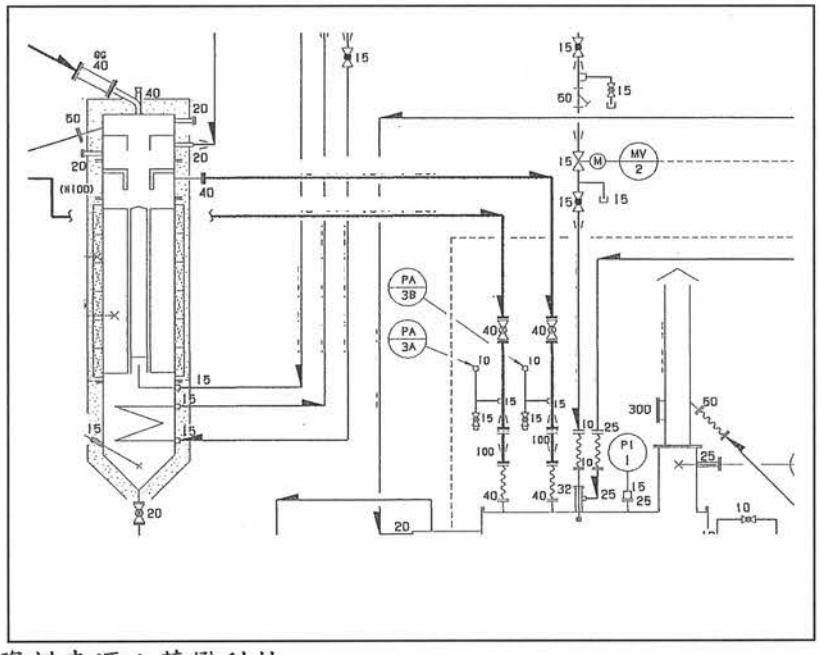
資料來源：華懋公司

圖 5.3-35 GBAC 吸附氣體概況

流體化床吸附系統為一佔地空間小而高安全性的 VOCs 廢氣處理系統，在良好的設計及操作下，VOCs 的去除效率雖無法如沸石濃縮轉輪能輕易維持 95%之高去除效率的特性，但仍可在維持 90%以上(某些化學品的去除效率可達 95%以上)，運轉費用也不高。用於溶劑回收時，亦可減少化學品的分解反應，例如用於含氟化學品 CFC 的回收即有 85%以上的效益。目前在日本約安裝有 600 餘套，其中 100 套左右是用於半導體業或光電業廢氣的 VOCs 處理。唯過去在台灣，某些半導體業或光電業使用的結果，曾發生 GBAC 使用壽命過短的問題，推究其原因，係因廢氣中含有易聚合

的化學品(如：Styrene)或高沸點的化學品(如：PGMEA；光阻劑之稀釋)或含 Si 成分的化學品(如：HMDS；光阻劑之加強黏著)，其在脫附再生塔又未能充份脫附造成這些化學品在 GBAC 孔洞內累積而阻塞孔洞，使 GBAC 快速失去再吸附的能力。遇有這類化學品的處理時，可設計加裝一座旁通蒸氣再生塔，將聚合於 GBAC 表面之化合物或高沸點化學品加蒸氣分解，使 GBAC 產生孔洞，恢復 VOCs 再吸附的能力。

光電業排氣中揮發性有機廢氣，由於其排氣量大，組成複雜(高、低沸點混合，如：IPA，Acetone，PGME，PGMEA)及排放濃度屬低至中範圍(100~1,000 ppm as CH_4)的特性。在現行系統運行中發現，當脫附塔操作溫度在 400℃以上，IPA 會發生脫水作用而產生低沸點易爆性之丙烯(Bp：－48℃)，造成丙烯在系統中難冷凝，而在脫附塔與冷凝器之間不斷累積，致使脫附塔之脫附能力大打折扣，要解決此一問題可在廢氣來源開始處將高、低沸點之 VOCs 分流後分別處理，如一開始無法將 VOCs 分流，建議可在 VOCs 經脫附塔脫附後加一燃燒室處理(圖 5.3-36)，形成單一通道之流程而不致使丙烯在系統內不斷累加。



資料來源：華懋科技

圖 5.3-36 脫附塔結合 Burn Box 設計

第六章 VOCs 減量控制技術應用及選擇

6.1 控制技術應用現況

美國相關行業別之 VOCs 廢氣處理技術應用情形如表 6.1-1 所示，由彙整資料顯示，美國是以熱焚化及活性碳吸附為主要處理技術，也有部分行業別採用廢氣(尾氣)回收系統，一般對 VOCs 之處理效率可達 90%以上。

國內相關的 VOCs 防制設備的應用情形，環保署曾統計固定污染源資料庫資料，不分製程及行業別統計出目前國內處理 VOCs 之控制設備，參考表 6.1-2 資料顯示，總裝設數量約 6,346 多座，其中以填充床式洗滌塔之設置座數最高，達 1,630 座(25.7 %)，其次是固定床活性碳吸附設備，共有 1,192 座(18.8%)，也是國內業者目前最常採用之控制措施之一。

國內 BACT 相關法令對於各行業別 VOCs 之處理技術建議，主要是以熱焚化及吸附設備為主要處理技術，此結果與美國現況相符，但與國內目前產業界之應用情形有所出入，由於多數 VOCs 並不溶或難溶於水，因此採用濕式洗滌方式只適用於可溶於水之 VOCs；另依據環保署固定源資料庫相關資料，統計與本手冊相關六個行業製程有關 VOCs 製程之控制設備裝置情形，相關之統計結果可參考表 6.1-3 所示，並利用固定源資料庫所記錄各廠全年 VOCs 排放量資料及廠內 VOCs 控制設備之設置數量進行統計，其結果參見表 6.1-4 所示。

在符合經濟成本之觀念下，一般排放量規模愈大其採行控制設備之比例應愈高，由表 6.1-4 資料顯示，在 VOCs 之排放量規模 150~300 公噸部分，其未裝設控制設備之比例略高，研判可能因逸散 VOCs 污染源較多，較不易進行收集及控制，或產能變動幅度較大，故業者不願貿然投入防制設備成本。另年排放量大於 300 公噸者，基本上在不考量處理效率及設計容量前提下，應會裝設相關控制設備以降低排放量，但由於許多行業別尚未有 VOCs 相關管制規範，故業者裝設設備之意願相對降低。一般 VOCs 控制設備之選用主要會隨製程廢氣之特性及流向而設計，由於一般工廠可能會同時有兩個以上製程，故國內各廠 VOCs 相關控制設備數量主要集中於 3~4 座。

表 6.1-1 美國揮發性有機污染行業控制設備及效率彙整

行業製程	操作單元	控制設備類別	平均控制效率(%)	參考來源	控制效率範圍(%)		參考來源
					最小值	最大值	
汽車製造業	烘烤室	熱焚化	—	—	90	—	A
金屬罐塗裝	外部、內部表面塗裝	觸媒焚化 熱焚化	90	a	—	—	—
化工製造	吸收設備	觸媒焚化	—	—	95	97	A
		熱焚化	99.9	a	—	—	—
	反應爐	活性碳吸附	97	a	—	—	—
	塔底殘渣	熱焚化	99.9	a	—	—	—
	廢製程尾氣	廢氣燃燒塔	—	—	98	99	A
乾洗作業	石油系溶劑	活性碳吸附	—	—	95	—	A
光碟製造	乾燥爐	活性碳吸附	95	a	—	—	—
		觸媒焚化、熱焚化	98	a	—	—	—
印刷作業	網版印刷	熱焚化	90	a	—	—	—
	letterpress	熱焚化	95	a	—	—	—
	lithography	熱焚化	95	a	—	—	—
	rotogravure	活性碳吸附	75	a	—	—	—
	rotogravure	熱焚化	85	a	—	—	—
石化工業	固定頂槽	活性碳吸附	98	b	—	—	—
		尾氣回收系統	85	a	—	—	—
	浮動頂槽	尾氣回收系統	—	—	95	99	A
	一般	觸媒焚化	—	—	95		A
		熱焚化	—	—	98	99	A
	油槽清洗	廢氣燃燒塔	90	b	—	—	—
		熱焚化	98	b	—	—	—
西藥製造	製程抽風	活性碳吸附	—	—	95	98	A
表面塗裝	噴槍塗佈	活性碳吸附	90	a	—	—	—
	金屬塗佈	活性碳吸附	90	a	—	—	—
	金屬線圈塗佈	熱焚化、觸媒焚化	95	a	90	—	A
	金屬線圈塗佈	熱焚化	—	—	80	90	B
	整條生產線	活性碳吸附	90	a	—	—	—
	塑膠塗佈	活性碳吸附	95	a	—	—	—

1.資料來源:

a. Air & Waste Management Association. 1992. *Air Pollution Engineering Manual*. Anthony J. Buonicore and Wayne T. Davis, editors, Van Nostrand Reinhold, New York, New York.

b. EPA.1992a.*Control Techniques for Volatile Organic Compound Emissions from Stationary Sources*. U.S. Environmental Protection Agenvy, EPA 453/R-92-018

2.資料整理：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003 年。

表 6.1-2 國內 VOCs 控制設備設置數量統計表

類別	項目	設備數	比例(%)
燃燒破壞性處理	一氧化碳轉化槽	4	0.06
	觸媒焚化爐	296	4.66
	直接焚化爐	148	2.33
	其他型式後燃燒器	85	1.34
	高燃燒塔	72	1.13
	地面燃燒塔	18	0.28
	其他型式廢氣燃燒塔	81	1.28
	沸石轉輪濃縮設備	29	0.46
洗滌處理	離心式洗滌塔	5	0.08
	旋風灌注式洗滌塔	27	0.43
	隔板式洗滌塔	213	3.36
	機械式洗滌塔	3	0.05
	移動床式洗滌塔	4	0.06
	填充床式洗滌塔	1,630	25.69
	預灑式洗滌塔	520	8.19
	文氏洗滌塔	35	0.55
	其他型式洗滌、吸收塔（器）	574	9.05
吸附處理	固定床吸附式設備	1,192	18.78
	旋轉吸附式設備	8	0.13
	其他型式吸附式設備	630	9.93
冷凝處理	表面冷凝器	248	3.91
	接觸冷凝器	48	0.76
	其他型式冷凝器	243	3.83
煙霧消除	截留筒液狀分離器	24	0.38
	水平填塞乾式煙霧消除器	1	0.02
	鑲板乾式煙霧消除器	2	0.03
	噴灑或灌注式煙霧消除器	10	0.16
	乾式垂直管狀煙霧消除器	1	0.02
	旋風分離式煙霧消除器	2	0.03
	其他型式煙霧消除器	12	0.19
生物處理		8	0.13
其它未歸類防制設備		173	2.73
總計		6,346	100.00

1.資料來源：環保署依據固定源資料庫內記錄之排放量及控制設備資料統計。

2.資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003年。

表 6.1-3 國內行業別控制設備設置數統計

設備名稱(設置數)	印刷業(凹、凸版)	PU皮	表面塗裝	膠帶	半導體	光電	總計
填充床式洗滌塔	5	25	65	—	325	135	720
其他型式吸附式設備	6	8	91	3	25	16	455
固定床吸附式設備	15	7	419	63	30	61	731
其他型式冷凝器	—	—	8	2	1	1	173
其他型式洗滌、吸收塔（器）	1	4	263	—	8	6	287
表面冷凝器	—	—	—	—	1	—	59
預灑式洗滌塔	—	2	135	—	2	21	163
沸石轉輪濃縮設備	—	—	—	—	98	36	28
其他型式廢氣燃燒塔	—	—	7	1	18	5	31
其他型式後燃燒器	—	—	24	—	11	7	42
直接焚化爐	—	—	34	4	2	2	43
其他	0	4	150	1	18	7	234
總計	27	50	1,213	74	465	265	2,947

1.資料來源：環保署依據固定源資料庫內記錄之排放量及控制設備資料統計。
2.資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003年。

表 6.1-4 排放量規模與控制設備設置數關聯統計分析表

控制設備裝置數量	符合條件之家數統計(家)												總計
	年排放量 100 公噸以下(含 100 公噸)分區統計						年排放量 100 公噸以上分區統計						
	5~10	10~20	20~30	30~50	50~100	累計%	100~150	150~300	300~1000	1000~2000	2000以上	累計	
無設備	406	301	83	66	69	94%	24	31	8	1	0	6%	989
百分比(%)	82	73	61	57	57	--	49	53	22	8	0	--	69
1~3 座	54	78	43	33	38	85%	15	13	10	3	2	15%	289
4~10 座	24	27	6	15	7	74%	6	9	9	3	1	26%	107
11~20 座	7	2	2	1	5	55%	2	4	4	3	1	45%	31
21~30 座	2	0	1	0	1	40%	1	1	4	0	0	60%	10
31 作以上	0	2	1	0	1	40%	1	1	2	2	0	60%	10
有設備累計	87	109	53	49	52	78%	25	28	29	11	4	22%	447
百分比(%)	18	27	39	43	43	--	51	47	78	92	100	--	31
總計	493	410	136	115	121	89%	49	59	37	12	4	11%	1,436

1.資料來原：環保署依據固定源資料庫內記錄之排放量及控制設備資料統計。
2.資料彙整：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003 年。

6.2 VOCs 主要控制技術比較

國內外常見之 VOCs 控制技術包括燃燒式控制(直接焚化法、觸媒焚化法)及非燃燒式控制(冷凝法、吸附法、吸收法及生物處理法)等二大類，業者為符合相關法規排放標準之要求，必須依廠內之污染產生源之廢氣特性，評估選擇預處理或串聯不同處理設備之方式來達到預期之目標。表 6.2-1 為針對各產業常用之 VOCs 控制技術進行特性比較，控制技術之優缺點及設計因子請參考表 6.2-2 內容。

就能源回收效率而言，以蓄熱式焚化最高(>95% 以上)，其他焚化方式也都可額外裝設熱交換器，以有效回收熱源，熱回收對於許多有熱需求之行業別部份烘乾製程(如塗裝、膠帶、印刷、PU 皮..等)，或是做為廢氣之預熱，皆可將熱源做最有效的應用，也能節省相關燃料或能源費用，因此目前國內許多業者已將具廢熱回收之熱焚化處理方式，做為較為優先選擇之處理設備。

若以對 VOCs 之去除效率而言，仍以熱焚化之處理方式最高，一般去除效率皆可>95% 以上，而活性碳吸附方式則需視活性碳之裝填量，及各項設計、操作參數而定，一般也可達 90% 以上去除效率，但需定期更換或線上再生活性碳，或另外連接冷凝或焚化設備，進行回收或破壞去除，而生物處理及冷凝回收之處理效率比較低，但一般也都可達到 70% 之效率。

不同的處理技術依其原理及特性需要不同的前處理，包括稀釋、預熱、除濕、冷卻、以及干擾物質(粒狀物、高沸點物質、毒化物、矽化物)之去除，以避免影響後續處理技術之正常運轉及處理效率。不同技術也會有不同的二次污染產生，其中直燃式及蓄熱式焚化等高溫處理技術會因高溫所產生 NOx 問題，而其他如觸媒焚化法、吸附法、生物處理法之二次污染物以廢棄物為主，分別為廢棄之觸媒、活性碳及濾料等，而吸收法與生物處理法則分別以水為洗滌液與增濕，不免會有排放廢水之處理問題。針對 VOCs 控制技術之二次污染應對方式說明如下：

1.直接焚化法

因焚化法乃將含有 VOCs 成份之氣體於高溫下氧化分解，只要焚化爐設計能供給氧氣、滿足燃燒溫度、停留時間及廢氣擾流等 4 個燃燒條件，並準確控制操作參數，應可使廢氣完全燃燒，故二次污染物來源主要僅為高溫所產生之 NOx。亦即在高溫下，N_2 與 O_2 反應形成熱氮氧化物(thermal NOx)，故焚化溫度為影響 NOx 濃度之主要因素之一。

表 6.2-1 各種 VOCs 控制技術比較表

項目		能源回收效率(%)	去除率(%)	適用濃度(ppmv)	適用風量(CMM)	溫度範圍(℃)	前處理	二次污染
熱焚化	直燃法	50-70	95-99	100-2,000	30-14,000	650-10,00	稀釋、預熱	NOx
	觸媒焚化	70	90-98	100-2,000	30-3,000	300-400	稀釋、預熱、粒狀、毒化物去除	廢棄觸媒
	蓄熱焚化 RTO	65-97	95-99	100-1,000	<7,000	800-1,000	稀釋、矽化物	NOx
	蓄熱觸媒 RCO	93	95-99	50-1,000	—	300-400	稀釋、粒狀物、毒化物、矽化物去除	廢棄觸媒
	轉輪濃縮+焚化	65	>95	20-1000	2,300	常溫	高沸點物質、粒狀物去除	NOx
吸附	固定床活性碳	—	90-95	20-5,000	5-1,700	常溫	冷卻、除濕、稀釋、粒狀物去除	廢棄活性碳
	流體化床活性碳吸附	—	70-95	300	50-1,500	常溫	冷卻、除濕、高沸點物質、粒狀物去除、高中低沸點物質分流	廢棄活性碳、冷凝液
濕式洗滌		—	—	50-3,000	60-3,000	常溫以上	粒狀物去除	廢水
生物處理		—	70-80	10-10,00	50-1,000	20-40	增濕、冷卻、粒狀物去除	廢棄濾料、廢水
冷凝回收		—	50-95	>5,000	10-1,600	露點以下	除濕	冷凝廢液

1.資料來源：國科會，半導體產業產生有害空氣污染物處理技術，1999年。

依 thermal NOx 之動力平衡公式，焚化溫度於 1,000℃以上時，NOx 濃度才會明顯增加(超過 150ppm)，而直接焚化溫度一般介於 650~820℃，尚不致有大量排放 NOx 之虞。

2.觸媒焚化法

雖觸媒焚化法所需之燃燒溫度較低(250~450℃)，但觸媒表面於反應程序中，常有不純物吸附於活性位置，或具活性成份物質於反應物進行中因揮發作用而消失，此時觸媒即被毒化。觸媒中毒之現象可區分為暫時毒害及永久毒害，前者可以清洗劑清洗覆蓋物，以及高溫加熱處理吸附質等方式克服，後者則需更換觸媒，而工廠對於廢棄觸媒均需依有害事業廢棄物之相關法令規定處置。若操作溫度能適當控制，且有效前處理以去除毒害物質，可使觸媒維持 3~5 年之使用壽命。

3.冷凝法

冷凝法是將廢氣降溫至露點溫度(dew point)以下，使 VOCs 凝結為液態再加以回收，其依廢氣與冷媒接觸方式，可區分為直接接觸與間接接觸，在直接接觸式冷

凝法中，冷卻液體會直接與 VOCs 氣體接觸，因熱傳係數較大，冷凝回收效率會較高，但後續因冷媒與 VOCs 混合而需要再加以分離，分離後之冷凝廢液尚需進入廢水場處理，以符合放流水排放標準，故通常以採用間接接觸冷凝方式為多。

4.吸附法

吸附法一般使用在污染控制或溶劑再利用之技術上，設計良好之吸附系統效率可達 90%以上。最常見之吸附系統是以活性碳作為吸附劑，主要是由於活性碳對某些特定 VOCs 成份之物理吸附效果良好，且回收、再生容易。

當吸附劑飽和後需進行處理，其處理方式有拋棄與再生二種，拋棄法使用時機係在吸附物質量小、吸附劑購買成本比再生成本低，則可以掩埋或焚化方式拋棄。當吸附物質具毒性或吸附劑為活性碳者，一般以焚化法較合適，但焚化時必須注意控制以避免再造成二次污染；至於再生法之脫附方式有加熱、減壓、惰性氣體或蒸氣氣提等，後者再生處理後會產生廢水，亦需進一步處理排放水，但廢水量較低。

另一常用於 VOCs 處理之吸附劑為沸石，沸石為一含高矽鋁比之化合物，應用範圍包括觸媒基材、濃縮、除濕、加濕、脫臭、吸附等，應用範圍甚廣，疏水性沸石具有吸附臭味或 VOCs，以及不易吸水之特性，因此也廣泛應用於國內相關產業。雖然沸石與活性碳皆為吸附材，但其本身在應用上則多以濃縮吸附的角色，然後搭配冷凝或焚化等處理方式。但若廢氣中含有較多量的高點物質，則並不適合直接使用此方式，由於高沸點 VOCs 物質雖然容易吸附於沸石上，但由於系統設計之安全考量及操作成本之考量下，造成脫附溫度不足(180-200℃)，使得高沸點物質脫附效果不佳而蓄積在沸石上，佔據吸附位置，影響整體系統之處理效率。而必須以定期高溫脫附或水洗之方法排除；或者於高沸點物質於進入沸石設備前端先行分流或加裝冷凝器、活性碳網柵及除霧器(De-Mister)等設備，如此可有效處理高沸點 VOCs，避免影響沸石設備之正常操作。沸石也有壽命，即使正常操作下也會隨操作時間而老化，因此也必須定期更換沸石設備，而廢棄之沸石也都必須妥善加以處理。

5.吸收法

將氣體溶解在液體中之過程稱為吸收，吸收法是使原先的空氣污染轉變為水污染，故必須另設廢水處理設備處理自塔底流出之洗滌廢液。污染源在符合法規排放標準及污染減量之要求，需要有充分接觸時間及高液氣比，因此往往須規劃較大之吸收塔及大量的洗滌液，此造成可觀的初設費用及後續廢水處理之問題，加上一般

廢氣所含 VOCs 成份大多水溶性很低，因此一般在實廠上的應用較為吸收法僅適用於低級醇類、胺類、酮類及低級有機酸等親水性質較為適當，且適用在具有廢水處理設施完善之工廠，以解決廢水產生之二次污染問題。

6.生物處理法

生物處理法為 VOCs 通過生物處理系統的過程中，藉由微生物之分解、氧化、轉化等機制，將污染物完全分解氧化成 CO_2、H_2O、NO_3、SO_4^{2-}等無害性之無機物。其廢水來自調節濾床含水率所產生，可併入廢水場處理。若能適當控制灑水系統之操作，則可有效減少產生大量滲濾液之情形。

生物濾床之濾料於使用 1~2 年後，易因本身重力而結塊與所含營養份流失減少等而使濾料產生老化現象，或是因處理含酸性成份之廢氣，致使濾料產生酸化時，即需進行濾料之翻堆，並於翻堆時加入營養鹽與 pH 值緩衝劑，將 pH 值調整於 7~8 之間。而使用 3~5 年後，由於各項無法藉由翻堆與添加緩衝鹽、營養份等方式恢復濾床之處理能力時，最終仍需更換濾料。此等廢棄濾料除以掩埋方式處理外，亦可用於堆肥之資源再利用。

表 6.2-2 VOCs 控制技術之優缺點及設計因子

VOCs 處理技術	優點	缺點與限制	設計因子
直接焚化	可達 95%以上之熱回收	不宜用於批式操作	燃燒溫度、停留時間、氧氣含量，混合程度、排氣流率、VOCs 濃度、排氣組成、排氣燃料值
觸媒焚化	可達 70%以上之熱回收	熱效率受操作條件變化影響，鉛、砷、磷、氯、硫、粒狀物會使觸媒中毒	操作溫度、空間速度、觸媒性質，排氣流率、氧氣含量、VOCs 濃度、排氣組成、排氣燃料值
冷凝處理	可回收產物	不宜用於沸點<100°F之物質，冷凝器易受污垢累積	排氣組成、冷凝溫度、排氣流率、混合物露點
吸附處理	可回收產物，可做為後處理設備濃縮器，適用於週期性操作	不宜用於相對濕度大於 50%之氣體，酮、醛及酯類會阻塞碳之孔洞	排氣流率、吸附容量、排氣組成、進氣溫度、平衡性
吸收處理	可回收產物	需要外來洗滌介質，缺乏平衡數據情況下設計有困難，氣流中粒狀物會堵塞填料	填料種類、排氣流率、進氣溫度、平衡
生物處理	對於低濃度氣流有效，低操作成本	需要大量空間，微生物在 50~100°F溫度範圍有效，若適當的濾床濕度與 pH 值無法維持，微生物將死亡	濾料大小、濾料材質、排氣流率、排氣組成、氣流溫度、廢氣前處理

6.3 VOCs 控制技術的選擇方法

國內外環保設備的製造技術不斷提昇，業者也有許多不同種類技術的改良及研發，因此對於 VOCs 廢氣之處理效率已不斷提昇，設備本身也各有特色及優缺點，對於使用者而言，要能夠考量製程及廠內不同需求，選擇最適當的控制技術，才能夠有效發揮其效能，且不會產生許多不適用之問題，並進一步考量降低操作成本的問題。有關控制技術選用考量原則及流程請參考圖 6.3-1 所示，並說明如下：

1.法規考量

設置防制設備的目的，除了工廠本身自我改善之外，最主要的重點則是在符合法規之排放標準，對於環保單位所擬定之相關法規，也必須納入防制技術選擇的重要參考依據，因此對於環保法規的方向及趨勢，都必須要有所掌握及瞭解。

2.污染源及污染物清查

在防制技術選擇以前，需先對於廠內 VOCs 之污染來源及所產生之污染物特性進行瞭解，包括所含主要成分、濃度，以及可能之干擾物質...等，因為不同廢氣特性牽涉到後續防制技術的選擇及順序安排，因此瞭解廢氣特性為相當重要的前期工作。

3.原物料或製程 VOCs 減量

原物料或製程 VOCs 減量是治本的方法，因此業者在考慮防制設備前，應優先考量是否有原物料或製程減量的空間，因為此方法雖然為優先考量方向，但也必須考量製程操作及產品品質問題，因此應用此方法亦需視各廠之情況做個別之考量。

4.廢氣收集處理技術選擇

廢氣的有效收集是處理前重要的工作，對於密閉製程所產生之 VOCs 廢氣，需要考量廢氣於風管中之搬運速度，以及廢氣是否會有冷凝、阻塞等問題，需要視情況將風管進行保溫、定期清理，或是其他適當的因應措施，以確保廢氣能有效收集至後段之處理設備進行處理。

若是逸散性污染源，除了上述之考量重點外，另外需視污染源及廢氣特性，選擇不同的集氣方式，包括局部集氣及整體換氣等方法。選擇局部集氣，則需考量氣罩的選擇及捕集速度，以確保 VOCs 廢氣有效的收集；若為整體換氣，則需考慮進、排氣風口的設置、換氣次數以及 VOCs 累積的問題，詳細敘述請參考 5.1 章節內容。

5.前處理技術之選擇

將 VOCs 廢氣有效的收集後，將開始對 VOCs 廢氣處理設備進行評估，先要考量廢氣是否具有粒狀物等干擾物質，若有，則需先選擇適當的前處理技術。選擇重點包括處理粒狀物粒徑大小、所需效率，以及二次污染的問題，如濕式洗滌的廢水問題、濾袋及濾網更換的廢棄物問題等，視廠內整體狀況做選擇。

6.VOCs 防制技術選擇

由於風量與防制設備初設成本成正相關，而廢氣濃度也與設備之操作費用有密切之關聯性，不同廢氣特性所考量的防制技術也有所不同，因此將 VOCs 之廢氣特性若概略分為(1)低風量、低濃度、(2)低風量、高濃度、(3)高風量、低濃度等三種，以下將分別說明設備選用之考量重點，對於個別防制設備之介紹請參考 5.3 之章節內容。

(1)低風量、低濃度之 VOCs 廢氣：適用一般傳統之固定床活性碳吸附法，但需考量廢氣之溫度及溼度不宜過高，有時也需視情況將廢氣先進行降溫或除水之調理工作。

(2)低風量、高濃度之 VOCs 廢氣：則需先考量廢氣本身為單純相(單一成分)或複雜相(多種成分)。

A.單純相：則可進一步評估其純度及其是否具有回收價值，若具回收價值，則可考慮採用冷凝回收或吸附劑吸脫附等濃縮方法回收有機溶劑，再視情況予以蒸餾或純化處理，使溶劑更具經濟價值或再利用性；若無回收價值，則可考慮採濕式吸收法或固定床活性碳吸附法進行處理後排放。

B.複雜相：則可考慮進行熱焚化處理，但需同時考量 NOx 之產生及防制問題。另外，若 VOCs 廢氣中不含觸媒毒化物質，則可考慮採用觸媒焚化方式，以降低焚化溫度，減少操作所需燃料成本，但會有廢棄觸媒需處理。也可選擇如回覆式或再生式等焚化設備，若製程或廠內需要熱源，則可配合熱回收設備，將廢熱回收進行製程再利用或預熱功能，皆可有效減少防制設備或製程操作所需能源。

(3)高風量、低濃度之 VOCs 廢氣：可考慮採用生物濾床的方式處理，然其對於土地之取得及效率之穩定性，則是業者需考量的重點。另外，亦可考慮先將廢氣進行濃縮吸附後，使 VOCs 廢氣濃度提昇後再處理，如此可以有效降低後段防制設備之初設成本，常用的濃縮吸附材包括沸石及活性碳，設備則包括沸石轉輪及流體化床活性碳等，若所處理之 VOCs 廢氣包含高沸點物質，不利於吸附，則可以於

製程產生後先予以分流處理，以避免進入 VOCs 設備而影響其正常之效率；而後段的處理設備則一樣可視需求選取焚化或冷凝方式搭配。

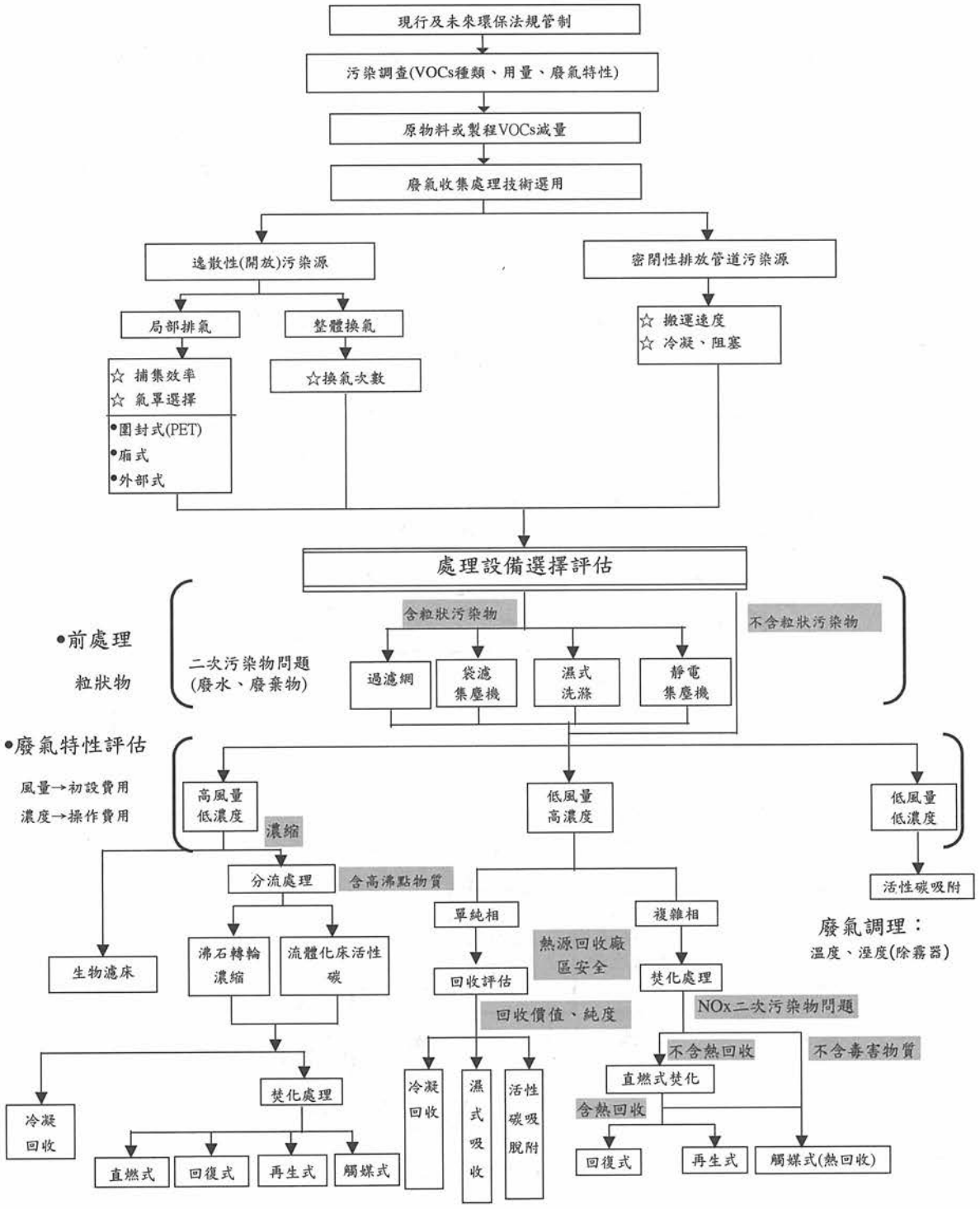
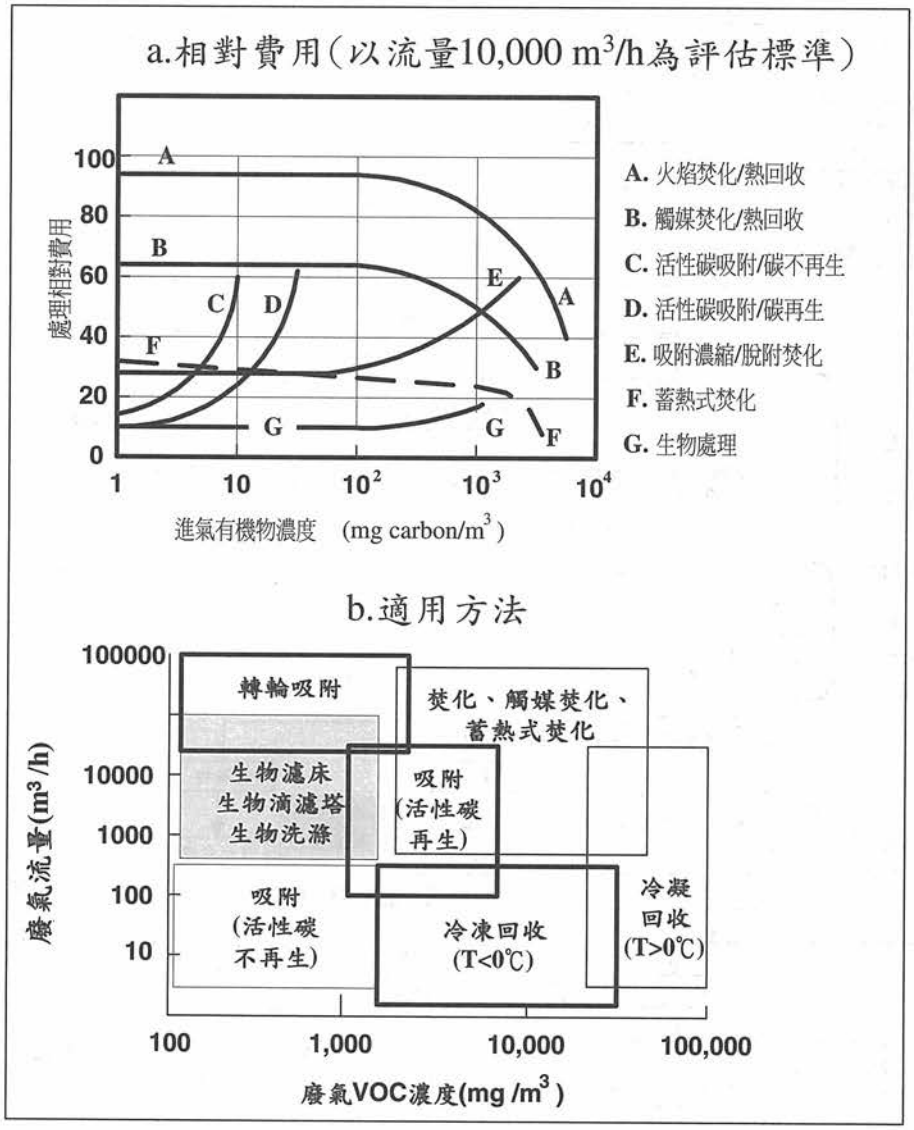


圖 6.3-1　VOCs 控制技術選用原則及流程

另外，參考國內相關研究報告所示，若以處理方法費用及 VOCs 濃度範圍為考量依據(如圖 6.3-2)，顯示若 VOCs 廢氣為低濃度排氣適以活性碳吸附處理，中低濃度廢氣適以生物法或吸附濃縮/脫附焚化法處理，中濃度廢氣適以蓄熱式焚化法(RTO)處理，中高濃度廢氣則以觸媒焚化較經濟，高濃度廢氣則可以火焰焚化、冷凝或活性碳吸附回收處理。含中低濃度硫或氮成分臭氣則可以化學洗滌法處理。

由於 VOCs 在不同行業、不同製程條件，所產生的 VOCs 廢氣特性非常複雜，且變異性非常大，因此以上之選用考量僅原則性描述，提供業者參考，無法包含所有狀況。



資料來源：周明顯，光電半導體 VOCs 處理成本分析及效益評估，經濟部工業局，揮發性廢氣減量處理技術講習會，2004 年。

圖 6.3-2 VOCs 廢氣處理技術相對費用及濃度適用範圍

6.4 產業 VOCs 減量技術應用及選擇

6.4.1 印刷業

1.製程減量應用

由於國內印刷業 VOCs 來源多為印刷機、乾燥機製程以及油墨稀釋或設備擦拭等作業時逸散以及排放，因此有效減少污染物之防制措施，除了在污染源逸散排放區域以集氣罩連接防制設備等方式處理外，亦可由污染源製程之減量方式，由源頭進行減量。

若由印刷業製程可行之方式進行分析，必須由製程本身直接減少 VOCs 之使用，同時提升人員對於空氣污染物減量之觀念，從管理面及技術面進行 VOCs 減量。業者可參考製程減量之規劃方法，如圖 6.4.1-1 所示，以減少 VOCs 之產生。其中印刷機減量方向包括以溶劑清洗方式之改善及使用 VOCs 含量較低之水槽液，而對於其他印刷製程則亦可針對製程中設備及材料、原物料儲存及處理過程中之損失等進行調查，確認可能之污染來源後，再尋找可能之原物料替代方案；印刷油墨之減量主要針對所含溶劑之比例進行製程改善，目前如黃豆油墨等環保油墨也逐漸商業化，應針對此一方向評估工廠是否適用，詳細資料請參考第四章製程減量技術介紹；另外成本較低之減量方式可由管理方面著手，如機械設備之維護保養相對提高機械壽命，同時提升良率即相對提高減量效率，而人員之訓練則減少因操作不當所可能逸散 VOCs 之情形。

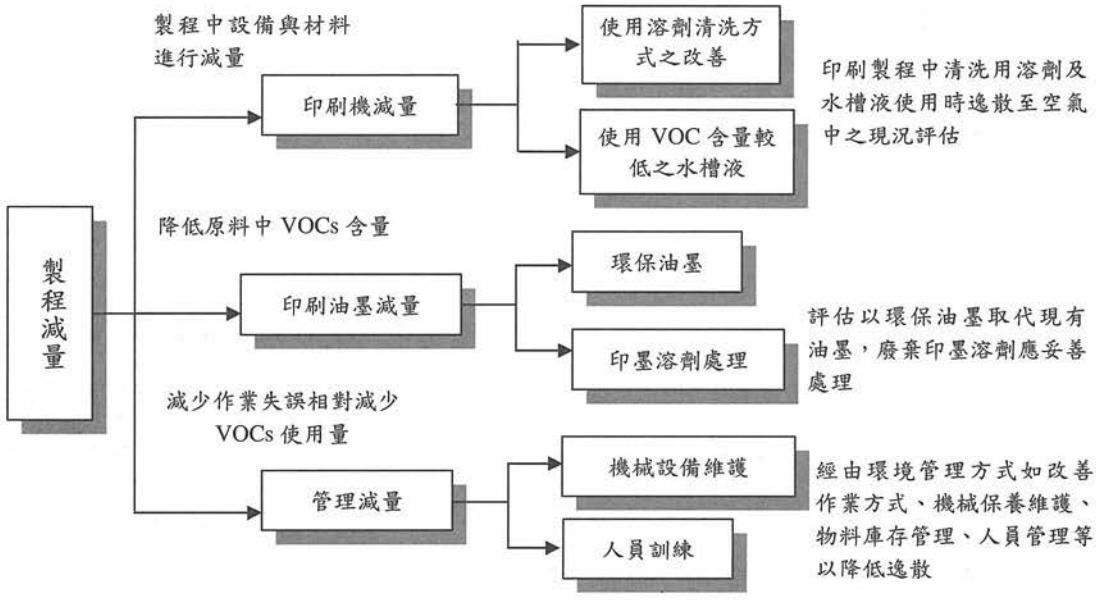


圖 6.4.1-1 印刷業製程減量改善方式

如何選用最適合工廠使用之方式，則應研擬整廠 VOCs 減量計畫，並於計畫書中明確訂定減量目標，據以執行提升 VOCs 減量效益。計畫執行程序包括成立計畫組織、初步調查評估、撰寫執行計畫、進行可行性評估、評估報告及決定執行方案、計畫執行、考核及效益評估等。根據印刷廠輔導經驗可得知，雖然工廠可於製程中進行改善，但未能改善之原因，多為工廠生產部門對於本身 VOCs 污染之認知不夠，或對於減量技術尚不瞭解，因此建議可由針對以下項目初步審視工廠製程之可行性，並作為深入評估改善方案之依據：

(1)生產程序及操作狀況

對於生產程序進行全面性清查，先列出生產單元，並就各單元可能產生 VOCs 排放之項目或設備進行評估。若生產程序中具有 VOCs 產生，但並未進行污染物收集，即進行改善措施研擬並設定預期效益，如表 6.4.1-1 之減量表格可參考做為評估製程改善之依據。

表 6.4.1-1 VOCs 製程排放調查

生產程序或操作	負責單位	狀況描述	發生頻率	嚴重程度
清洗機台	廠務組	印刷機上橡皮布及版之清洗，以人工方式使用溶劑產生VOCs	2	3
印刷機-水槽液	廠務組	印刷機水槽液中含有IPA形成VOCs	3	3
印刷機-油墨	廠務組	印刷時使用油墨中含有VOCs，打開機台時VOC逸散到空氣中	2	4

附註：發生頻率－1：每小時一次以上。2：每天一次。3：每周一次。4：每月一次。5：每年一次以下。
嚴重程度－1：大型公害。2：造成身體機能損害。3：引起不適。4：無明顯影響。

(2)原物料使用情形

印刷業各單元製程可以質能平衡圖作為進出料之使用情形及 VOCs 可能逸散之排放量，如圖 6.4.1-2 所示。經過各廠務人員對於自身流程之掌握及瞭解後，可對於各種 VOCs 減量進行改善之建議，但由於質能平衡圖所需調查之 VOCs 含量不易取得，因此可由推估之方式計算，並進行調整或校正。其原則在於確實反映現場 VOC s 產生之情形，提供未來之改善。

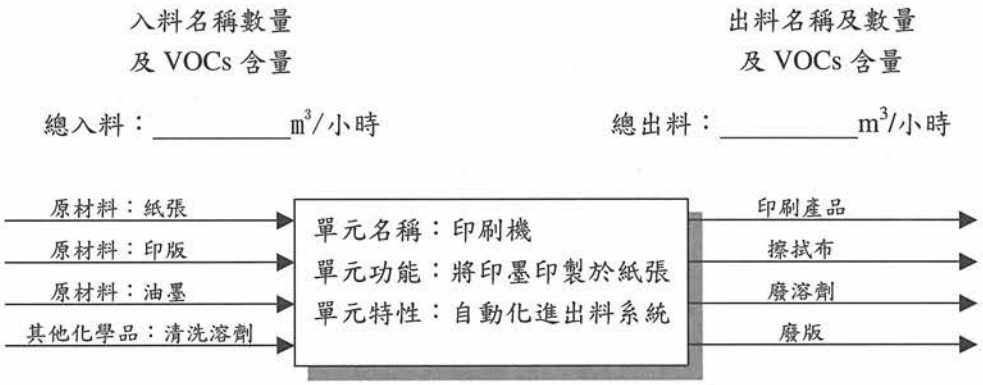


圖 6.4.1-2 印刷業 VOCs 質量平衡調查圖

2.VOCs 處理技術應用

依據環保署排放量資料庫相關資料統計，在所列管之 65 家工廠、188 個污染源中，裝設活性碳吸附塔設備之比例約 19%，裝設洗滌塔之比例約 2%，顯示印刷業進行裝設空氣污染控制設備之情形並不普遍。在減量部份有大多數之凸版印刷工廠採用水性塗料，因此 VOCs 污染排放問題並不嚴重，而其餘業者之印刷操作多屬枚頁型設備，印刷速度較慢，且採自然乾燥方式，故多未收集處理製程產生之 VOCs 廢氣。

少數規模較大(輪轉型設備)且裝設烘乾機之工廠，會將印刷與乾燥過程排放之廢氣集中收集，並導入活性碳吸附塔或過濾網處理。對於印刷業者目前工廠防制設備概況，由於平版及網版業並無國內統計資料，凹版印刷及凸版印刷業者設備，則參考台灣地區排放量資料庫 TEDS 統計如表 6.4.1-2 所示。

表 6.4.1-2 凹版及凸版印刷業工廠防制設備概況

設備名稱(設置數)	凹版	凸版
填充床式洗滌塔	5	0
其他型式吸附式設備	6	0
固定床吸附式設備	14	1
其他型式洗滌、吸收塔（器）	1	0
總計	26	1

資料來源：環保署，台灣地區排放量資料庫TEDS

(1)可行技術評估

選擇印刷業 VOCs 之處理技術，除考量經濟因素外，應就其製程之特性進行分析。印刷業產生之 VOCs 廢氣排放特性為低風量、中濃度，排放溫度略高於常溫，主要產生源為印刷機、烘乾機等製程單元。對於印刷業之揮發性有機物各種對於揮發性有機物廢氣處理之防制技術包括冷凝、焚化（熱焚化、觸媒焚化、蓄熱式焚化）、沸石轉輪濃縮、活性碳吸附、活性碳吸脫附(流體化床)、濕式洗滌、生物技術等。

A.處理效率及成本

一般印刷業廢氣主要成份之 VOCs 水溶性不佳，因此不宜使用濕式洗滌技術；此外，由於濃度較低，對於冷凝技術之去除率則無法達成，而適用熱焚化、活性碳吸附(不含脫附)及生物濾床。針對焚化法、吸附法、生物處理法則各有優缺點，就其控制效率進行排序，結果如表 6.4.1-3，各處理技術之控制效率分別為熱焚化(＞95% 以上)、活性碳吸附(＞95%)及生物濾床(85-95%)。

表 6.4.1-3 印刷業有機廢氣製程減量與處理技術

減量技術	處理效率 (%)	總成本 (平均年成本)	說明
熱焚化	95~99	300~400萬/年	初設費用及操作成本高，燃料消耗大，恐有NO_x及SO_x產生，但整合熱能回收再利用，可降低整體製程生產成本。
活性碳吸脫附	>90	600~800萬/年	初設費用及操作成本高，但可回收溶劑再利用，攤平操作及維護費用。
生物濾床	85-95	100~200萬/元	設置所需場地及費用高，操作費用低，微生物馴養穩定性不易掌握，效率穩定性不佳。

備註：1.焚化及活性碳： 250 NCMM風量、1,000ppm(THC as Carbon)、年操作時數4,800小時；生物濾床：250 NCMM風量、400ppm(THC as Carbon)、年操作時數8,760小時。
2.平均年成本＝初設成本×每年之固定攤還比例＋年操作成本
3.每年之固定攤還比例(依10年折舊、8%利率計算)＝初設成本×0.149
4.活性碳吸附量：1公斤活性碳吸附0.1公斤之VOCs。

由表 6.4.1-3 中說明可得知，熱焚化處理效率最高，但由於焚化爐之初設費用高，同時於操作上燃燒溫度的控制以及添加燃料，都將造成其操作成本的增加。目前印刷廠普遍均可採用相關之廢氣處理技術，然而最主要問題恐在於許多印刷製程都有逸散源廢氣之有效收集，因此印刷業者對於防制技術之選擇

除了設備本身防制之效率考量外，應更加注意氣罩之選用及設計是否操作得宜，以避免因未收集到 VOCs 使其直接逸散於環境中。

直燃式焚化爐之初設成本較高(圖 6.4.1-3)，且費用隨熱回收率之上升而增加，其中再生式焚化爐又較直燃式高，但近年因國內設計建造能力不斷進步，因此設置成本已大幅下降，約直燃式 1.1 至 1.2 倍，但對於爐體需考量承受陶瓷之重量，設備本體需特別補強。活性碳吸附(圖 6.4.1-4)、生物率床(圖 6.4.1-5)之總初設成本(不含土地取得成本)與無廢熱回收直燃式焚化相近，當處理風量＜100CMM 時，直燃式焚化爐之初設費用可在 200 萬元以下。

生物率床之操作成本最低，約為其他控制技術之 50% 以下，除生物率床外，當處理風量在 100CMM 以上時，再生式焚化爐因熱回收率最高，故可節省燃料費用，操作成本最低。

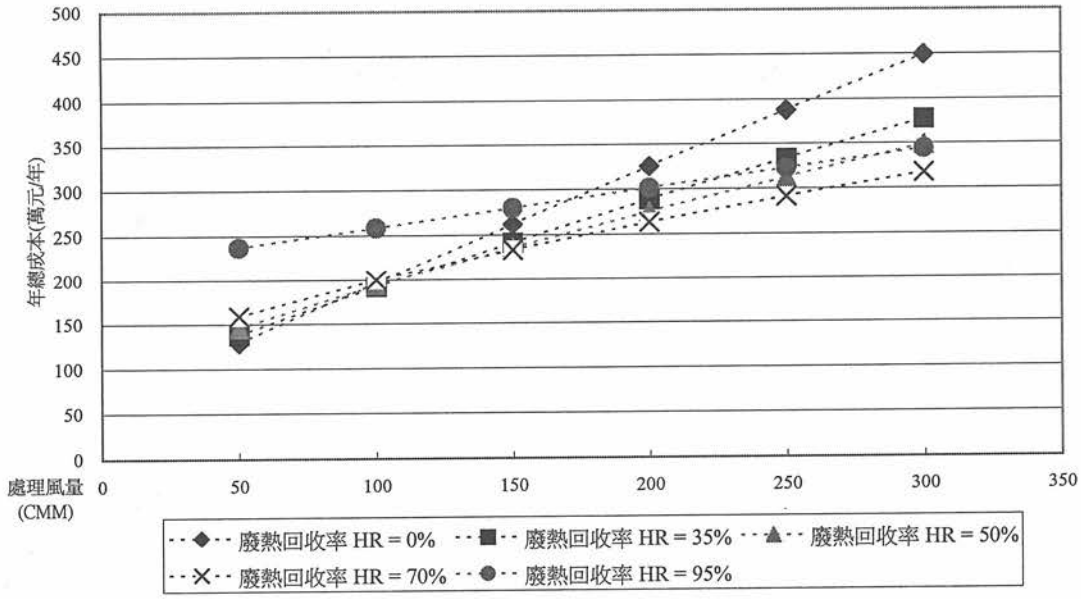


圖 6.4.1-3 熱回收式焚化設備成本圖

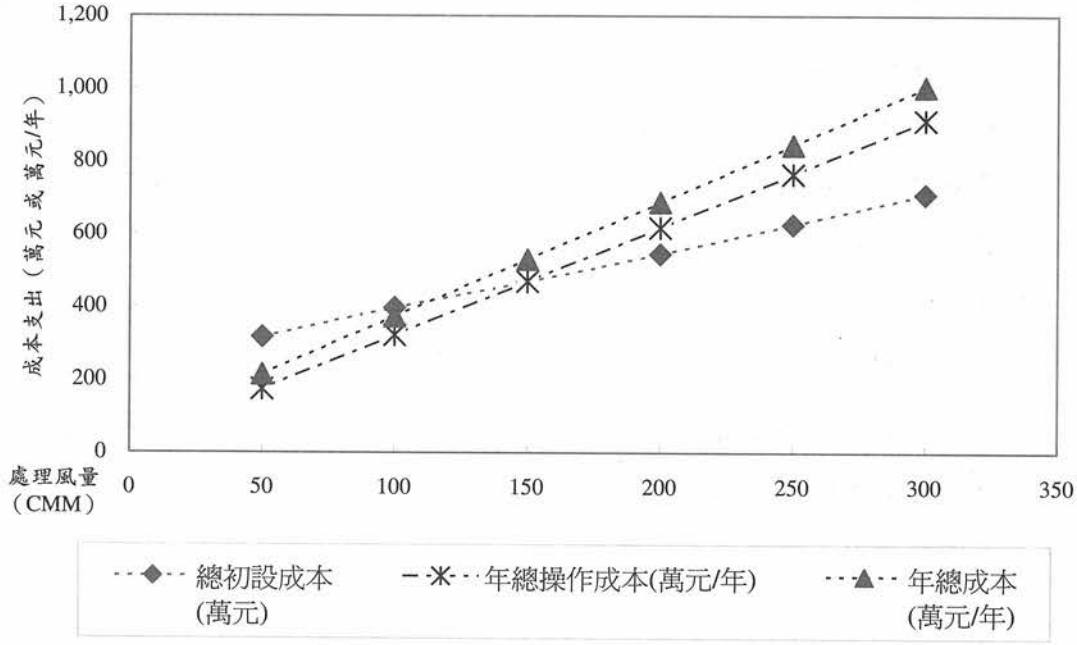


圖 6.4.1-4 活性碳吸附設備成本圖

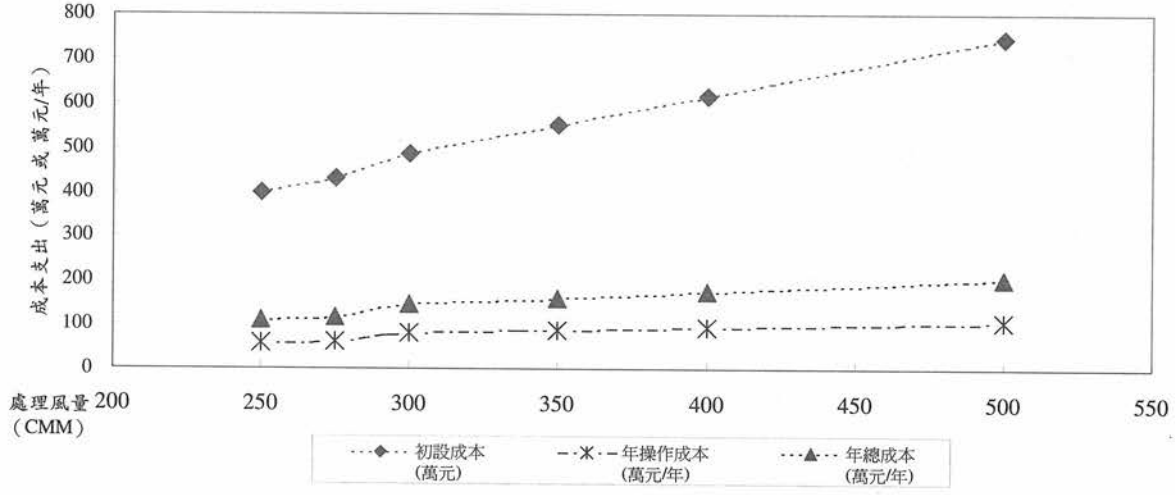


圖 6.4.1-5 生物濾床處理設備成本圖

年總成本受初設成本及年操作成本之交互影響，活性碳吸附塔之年總成本最高，主要因為流入廢氣中之 VOCs 濃度過高，若要維持高效率(95%)，所需耗用之活性碳量相當大，且基於所需設備空間及二次污染之考量，並未將活性碳再生系統之設置列入考量，因此導致更換活性碳之費用增高，使年總成本高出其他方案。

當處理風量在 100CMM 以下時，以無熱回收之熱焚化年總成本最低(生物

濾床除外)；當處理風量大於 100CMM 時，則以 70% 回收率之熱焚化最低。年總成本受初設成本及年操作成本影響，當處理風量＜120CMM 以下時，以活性碳吸附塔之年總成本最低(生物濾床除外)，當處理風量＞120CMM 時，則以 70% 回收率之熱焚化最低。

直燃式焚化爐之能源消耗量最大，主要來自處理過程所需耗用之燃料能源，其中又以無廢熱回收設備者之能源需求最大，約為再生式焚化爐(95% 熱回收)之 20 倍；生物濾床之能源需求最小，僅為再生式焚化爐之 8% 左右。

B.控制技術之選擇

由於國內印刷業者多屬中小型規模，其資本額與可調度之資金有限，基於此考量，經濟衝擊評估所佔比重需較高。當處理風量為 50CMM 時，各項可行控制技術中以活性碳吸附塔之衝擊評估最小；當處理風量為 100 及 300CMM 時，則分別以回收式熱焚化與生物濾床最小。但生物濾床之經濟衝擊評估並未包括所需土地取得成本，且由於國內地狹人稠，土地取得不易，故針對印刷業而言，採用生物濾床方式處理並不容易，而廢氣回收式熱焚化技術及活性碳吸附為印刷業 VOCs 廢氣較可行處理技術。

6.4.2. PU 合成皮業

1.製程減量技術

無論是乾式皮或濕式皮，在 PU 合成皮的製造過程中往往必須使用大量的有機溶劑，特別是如丁酮與甲苯等無法藉由洗滌吸收來進一步處理或回收的有機溶劑，也因此在其製造過程中常常會造成揮發性有機物的污染排放問題。而可行的控制技術計有管末處理技術與製程改善技術等二類；在製程改善方面，可應用的技術包括單一溶劑、無溶劑貼合與水性油墨等技術，對於這些製程改善技術的可行性與各技術的應用情形概述如下，成本分析請參考表 6.4.2-1，技術之介紹請參考第四章節內容。

(1)單一溶劑製程

A.膜及貼合，約 30%產品適用。

B.適用較厚 PU 合成皮產品。

(2)無溶劑貼合製程

A.產品適用範圍約 60%。

B.無溶劑膠成本高。

(3)水性化 PU 製程(皮膜及貼合)

A.溶劑含量 0~2%，約 60%產品適用。

B.僅少數廠商具商品化能力，其他皆在研發中。

(4)水性化印刷製程：水性化樹脂技術已成熟，約 50%產品適用，但需搭配快速乾燥技術一起使用。

製程改善所耗費的成本雖較管末處理來得低，但由於製程改善涉及產品及製程設備，故製程改善技術在現階段尚無法廣泛應用於工廠，仍需待技術較為成熟及適用性提高，才會被普遍使用。

表 6.4.2-1 PU 皮製程減量技術成本分析表

項目		VOCs 削減率	設置成本 (萬元)	操作成本 (萬元/年)	平均成本 (萬元/年)	附註
製程改善技術	單一溶劑	57%	300	200	250	40%產品不適用
	無溶劑貼合	30%	600	300	400	30%產品不適用
	水性油墨	13%	500	200	280	25%產品不適用

註：平均成本=設置成本×0.16+操作成本(設備以10年折舊，8%利率計算。)

2.VOCs 處理技術應用

由於數年內在 PU 合成皮之製造過程中尚無法以環保型產品(如無溶劑貼合、水性 PU 樹脂)全面取代溶劑型 PU 合成皮產品，故短期內 PU 合成皮業者對於降低 VOCs 排放量之努力仍應以管末處理為主。

在 PU 合成皮業目前所採用的防制設施大多數是以洗滌吸收及吸附等二種方式為主，由於二甲基甲醯胺的管制標準較早實施，且二甲基甲醯胺為製造 PU 合成皮必須使用的有機溶劑之一，其在水中的溶解度相當高，可以任何比例與水混合，且又具有回收使用的潛力，故現有控制技術中以水洗吸收為主。且經水洗吸收後除了可進一步回收使用二甲基甲醯胺之外，處理後的排放濃度或削減率亦可符合現行管制標準。就國內 PU 合成皮業工廠而言，大多數工廠均已完成二甲基甲醯胺(DMF)洗滌吸收設備的設置，而普遍被工廠採用者為二段式與三段式洗滌，表 6.4.2-2 即為國內 PU 合成皮業工廠防制設備概況，而表 6.4.2-3 為 DMF 廢氣洗滌處理法比較表。

表 6.4.2-2 PU 合成皮工廠防制設備概況

防制設備名稱	數量	防制設備名稱	數量
旋風灌注式洗滌塔	4座	離心式洗滌塔	1座
填充式洗滌塔	30座	吸附設備	78座
預灑式洗滌塔	11座	其他防制設備	18座

資料來源：環保署，台灣地區排放量資料庫TEDS 。

表 6.4.2-3 DMF 廢氣洗滌處理法比較

製程	防制技術	VOCs削減率	設置成本(萬元)	操作成本(萬元/年)	平均成本(萬元/年)	附註
乾式製程	三段式洗滌	97%	300	150	198	1.可回收10 wt%DMF水溶液，可進一步蒸餾回收DMF。 2.左列成本不含溶劑回收效益。
濕式製程	兩段式洗滌	90%	230	100	137	1.可回收3 wt%DMF水溶液，送回濕式製程再利用。 2.左列成本不含溶劑回收效益。

註：平均成本=設置成本×0.16+操作成本(設備以10年折舊，8%利率計算。)

另外，可用以處理二甲基甲醯胺以外的 VOCs 處理方法包括觸媒焚化法、直接焚化法、蓄熱焚化法與洗滌吸收法，如表 6.4.2-4 所示。其中無論是削減率、設置成本或操作成本，各類焚化法均比洗滌吸收法更適用於 PU 合成皮業上。

表 6.4.2-4 PU 合成皮業揮發性有機物防制技術成本分析

項目		VOCs削減率	設置成本(萬元)	操作成本(萬元/年)	平均成本(萬元/年)	附註
管末處理技術	觸媒焚化	95%	1,700	530	800	-
	直燃焚化	98%	1,100	740	900	-
	RTO焚化	98%	3,100	63	590	-
	洗滌吸收	70%	2,700	890	1,300	不含溶劑回收部份
製程改善技術	單一溶劑	57%	300	200	250	40%產品不適用
	無溶劑貼合	30%	600	300	400	30%產品不適用
	水性油墨	13%	500	200	280	25%產品不適用

註：平均成本=設置成本×0.16+操作成本(設備以10年折舊，8%利率計算。)

(1)可行控制技術評估

由於 PU 合成皮乾式製程使用之有機溶劑主要為甲苯(toluene)、丁酮(methyl ethyl ketone、MEK)及二甲基甲醯胺(dimethyl formamide, DMF)，其個別成份之排放濃度約在數佰至一仟多 ppmv，若以一 PU 合成皮乾式製程 VOCs 廢氣之排氣風量為 300NCMM，丁酮、甲苯、DMF 之平均濃度分別為 1,400、700、1000 ppmv，作為評估依據，將一般 VOCs 可行控制技術表列，將不適合的技術排除，結果請參考表 6.4.2-5。

表 6.4.2-5 PU 合成皮乾式製程廢氣處理技術應用範圍及限制分析表

污染物 / 技術名稱	甲苯	丁酮	DMF	說明
冷凝	不適合	不適合	不適合	個別成份濃度過低、不適合
熱焚化	適合	適合	不適合	含高濃度DMF，焚化易產生NO_X
觸媒焚化	適合	適合	不適合	含高濃度DMF，焚化易產生NO_X
蓄熱式焚化	適合	適合	不適合	含高濃度DMF，焚化易產生NO_X
鍋爐焚化	適合	適合	不適合	鍋爐處理容量可能不足 高濃度廢氣焚化易生危險，且含高濃度DMF，焚化易有NO_X產生
活性碳吸附	適合	不適合	適合	甲苯、DMF適合活性碳吸附，但丁酮吸附易使活性碳床著火
活性碳吸脫附(固定床)	適合	不適合	適合	甲苯、DMF適合活性碳吸附，但丁酮吸附易使活性碳床著火
活性碳吸脫附(流體化床)	適合	適合	適合	專利活性碳及流體化設計，可避免丁酮著火危險
物理吸收(水洗)	不適合	不適合	適合	DMF水溶性高，適合水洗，但甲苯及丁酮水溶性不佳，單一水洗技術並不適合
化學洗滌	不適合	不適合	適合	化學洗滌需先將污染物溶於水中，而DMF水溶性高，適合水洗，但甲苯及丁酮水溶性不佳，並不適合，且無適合之氧化劑
生物濾床	適合	適合	適合	三種成份皆能以生物濾床處理，唯高濃度需較長之停留時間，佔地面積大，工程上可行性低
生物滴濾塔	不適合	不適合	適合	此法需先將污染物溶於水中，然後進行生物分解，其中DMF水溶性高，適合水洗，但甲苯及丁酮水溶性不佳，並不適合
生物洗滌塔	不適合	不適合	適合	此法需先將污染物溶於水中，然後進行生物分解，其中DMF水溶性高，適合水洗，但甲苯及丁酮水溶性不佳，並不適合

A.效率及成本

在處理技術的篩選上，除流體化床活性碳吸脫附及焚化技術外，無其他任何單一技術可同時去除甲苯、丁酮及 DMF 三種溶劑。但是因為該股廢氣中含有高濃度之 DMF 溶劑蒸氣，直接採用焚化方式處理將產生高於氮氧化物排放標準之 NOx 二次污染排放，故排除此處理方法。而對於含丁酮之廢氣，因丁酮易與活性碳起反應，利用活性碳吸脫附處理時易有碳床著火之危險，必須使用活性碳纖維布(唯活性碳纖維布一般採薄床設計，吸脫附操作容量有限，不適於高濃度廢氣)，或是配合流體化設計採用珠狀活性碳吸脫附，藉著珠狀活性碳之流體化流動，將局部熱點(hot spots)現象消除，並以高溫氮氣脫附以減少活性碳珠粒著火的危險。

因此，歸納適合處理 PU 合成皮乾式製程 VOCs 廢氣之技術有二：(1)組合水洗先去除 DMF 溶劑蒸氣，而後續含丁酮、甲苯的尾氣再以熱焚化、觸媒焚化或蓄熱式焚化等方式處理，其中以蓄熱式焚化具有較高之熱回收效率，故建議以蓄熱式焚化技術為優先考慮之對象；(2)以流體化床活性碳吸脫附同時處理含 DMF、丁酮及甲苯三種有機溶劑的廢氣。將兩組合技術作處理效率排序如表 6.4.2-6 所示，其中以濕式洗滌＋蓄熱式焚化方式效率較高，可達 95~99 % ，其相關能源消耗及對環境及經濟之衝擊如表 6.4.2-7 所示。

表 6.4.2-6 適合處理 PU 合成皮乾式製程 VOCs 廢氣之技術效率表

可行控制技術	處理效率(%)	說　　明
濕式洗滌＋蓄熱式焚化	＞95~99	--
流體化床活性碳吸脫附	80~95	國內於PU合成皮業尚無成功應用之實績。

表 6.4.2-7 濕式洗滌＋蓄熱式焚化技術能源消耗及對環境及經濟之衝擊表

可行控制技術	能源消耗	環境影響	經濟衝擊	
			初設成本	操作成本
濕式洗滌 ＋蓄熱式焚化	電力：　60 kW 天然氣：15 m^3/天	燃燒產物	2,780	430

1.初設成本單位：萬元/套；操作成本單位：萬元/年(含折舊及溶劑回收效益)。
2.洗滌液排放濃度以 12 wt% DMF計，並假設蒸餾回收DMF的淨值以10元/kg計。

B.控制技術選擇

由於 VOCs 防制設備之初設成本相當可觀，且業界多次裝設流體化吸脫附床、難燃性活性碳吸脫附等設備失敗的經驗，皆使得業者不願意再貿然投資裝設污染防制設備，目前 PU 合成皮業者使用最多的 VOCs 防制設備，僅有因應法規排放標準需求的 DMF 水洗塔。

DMF 於水中之溶解度極佳，40℃時 DMF－水溶液系統的無因次亨利常數值(氣相莫耳分率/液相莫耳分率)約為 0.009，表示以清水對含 DMF 廢氣進行洗滌(吸收)時，DMF 極易溶於水，而達到清淨廢氣的目的。但由於廢氣濃度變化並不穩定，實務上以三段式填充洗滌塔，配合隨時補注清水的方式操作，以有效控制處理後尾氣中 DMF 濃度可符合排放標準。表 6.4.2-8 為某 PU 合成皮廠乾式製程 500CMM 含 DMF 廢氣，經三段式洗滌塔處理後，廢氣中 DMF 平均濃度由 320ppmv 降至處理後的 9.7 ppm；DMF 平均去除率 97%，符合「聚氨基甲酸酯合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」法規中排放濃度小於 20 ppm 或去除效率大於 90 %之要求。

表 6.4.2-8 某 PU 合成皮廠乾式製程三段式濕式洗滌塔對 DMF 廢氣之處理效率

檢測項目	DMF濃度(ppm as DMF)		
	處理前	處理後	去除率%
第1小時第1樣品	395	12	97.0
第1小時第2樣品	452	12	97.3
第1小時第3樣品	362	13	96.4
第2小時第1樣品	399	12	97.0
第2小時第2樣品	159	3.5	97.8
第2小時第3樣品	159	5.9	96.3
總平均值	321	9.7	97.0

對於廠內已有 PU 合成皮濕式製程的業者，可將洗滌後含 5wt%左右的 DMF 洗滌液送回濕式製程水洗槽再利用，用以析出凝結槽後基布上過多的 DMF 溶劑，並提升洗滌液中 DMF 的濃度(約 10~20 wt%)，再排放至 DMF 回收蒸餾塔以進行 DMF 蒸餾回收。

前述分析結果顯示，在水洗可妥善處理並回收 DMF 的情況下，經濕式洗滌處理後剩餘之 VOCs 即使經由熱焚化處理並不會產生大量的二次污染物－

氮氧化物，且配合 DMF 溶劑回收及焚化廢熱回收之效益，PU 合成皮乾式製程 VOCs 廢氣以濕式洗滌+蓄熱式焚化技術之組合方案對於 PU 合成皮業者之經濟衝擊最低(初設與操作成本最低)，故該技術應可選為 PU 合成皮業 VOCs 廢氣之較佳技術。

6.4.3 塗裝業

1.製程減量應用

由於表面塗裝作業通常僅為一般工業製程中的一部份，而且涉及表面塗裝的產業繁多，可能各個產業的表面塗裝程序及方法迥異而導致其表面塗裝所產生 VOCs 排放量或濃度皆不同，因此較難有塗裝相關行業之統計資料，表 6.4.3-1 為國內塗料使用量百分比及塗裝時所產生 VOCs 之排放量統計表，其中水性及油性比例最高(各 40% 左右)，由於資料統計含建築用塗料，目前國內建築用塗料水性化的比例最高，而工業界仍以油性塗料為大宗，而高固成分及粉體塗料則尚在發展當中，也逐漸取代原有油性塗料市場。

環保型塗料雖其技術及產品適用性尚無法完全取代油性塗料，但其應用範圍仍有相當大努力及成長的空間，許多業者也都嘗試採用環保型塗料，儘量減少有機溶劑的應用，以有效降低對於人體健康及環境的衝擊。

表 6.4.3-1 國內塗料製造及使用揮發性有機化合物排放量分析

塗料種類	佔有比例(%)	塗料使用量推估(公噸)	VOCs排放量估算(公噸)	VOCs排放量比例推估(%)
油性塗料	40.0	114,730	80,311	82.72
高固成分塗料	9.4	26,961	10,785	11.11
水性塗料	41.8	119,892	5,995	6.17
粉體塗料	4.5	12,907	0	0.00
UV塗料	0.6	1,721	0	0.00
其它	3.7	10,612	0	0.00
總量	100.0	286,824	97,090	100.00

註：1.VOCs估算基礎：油性塗料VOCs所佔比例以70%推估；高固成分塗料VOCs所佔比例以40%推估；水性塗料VOCs所佔比例以5%推估。

2.統計資料含工業用以外之建築塗料使用情形。

資料來源：行政院環保署，塗料及塗裝作業VOCs減量計畫，2001年。

以塗裝製程 VOCs 減量的角度，除了先前章節所探討的環保型塗料、高效率塗裝設備選用外，另一個可以思考的改善方向是提昇產品良率，減少不良品比例，即可減少重新處理被塗物及塗裝所消耗之塗料及能源，亦可同時達到減少 VOCs 產生之目的。附件資料提供各種不同塗料於塗裝作業時常見之問題及解決方法，以及對各種塗裝作業之比較，以提供產業於應用時重要之參考，藉以排除塗裝品質不佳因素，提昇產品之良率，減少 VOCs 之產生。

2.VOCs 處理技術

若尚無法避免產生 VOCs，則需考慮後段防制技術的選用，以金屬表面塗裝為例，一般可能造成 VOCs 排放的表面塗裝程序如表 6.4.3-2 所述。

表 6.4.3-2 表面塗裝程序排放揮發性有機化合物特性

塗裝程序	排出氣體量	排出VOCs濃度
溶劑儲存、操作及裝載	低	低
前處理	低	低
塗裝作業	高	低
乾燥作業	高	較高
尾氣處理	高	低

A.溶劑的儲存、操作及裝載及前處理作業，僅會產生少量的 VOCs，而在塗裝作業及乾燥作業則是 VOCs 產生量最大的時候，塗裝作業所排放 VOCs 的特性為排放量大但濃度低，而乾燥作業所產生之 VOCs 濃度較高，製程所收集的 VOCs 再送至空氣污染防制設備，主要包括觸媒焚化、直接燃燒、活性碳吸附等，進行後段處理工作。

B.因人工刷塗、浸漆塗裝、滾塗及修補程序等多為開放性製程，在小規模的產業或工廠，於表面塗裝作業時並無任何防護措施或處理設備，因此塗料中的 VOCs 逸散至環境中，不但容易造成環境的污染，亦會直接影響作業環境中現場操作人員的健康，致使其廢氣直接逸散於廠房內。

C.目前國內產業對於噴漆製程大多設置水洗簾幕，但其對於噴塗廢氣僅能去除部份較大粒徑之固態漆粒，對於油漆所含之氣態 VOCs 則效果有限，故常常直接排入大氣，造成環境污染。部份業者雖然設有活性碳吸附塔處理 VOCs，但多數很少進行平時之維護保養工作，易使活性碳吸附飽和而失效。至於烘乾爐所

排放廢氣，多未設置處理設備即直接排放。

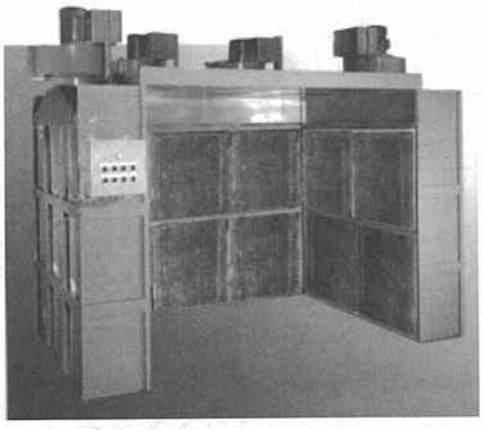
D.國內塗裝製程之污染防制，以規模較大的業者較為完善，如汽車製造業，已把污染防制設施納入整體製程考量；至於其他行業塗裝作業，由於環保署尚未對其進行法規管制，且由防制設施的成本對小企業負擔較高，因此大部分塗裝業尚未對塗裝作業的 VOCs 進行控制，如木製及金屬家具製造業，多數僅使用簡單的水幕式噴漆台、活性碳吸附塔來減少揮發性有機化合物的排放。

3.VOCs 防制技術評估

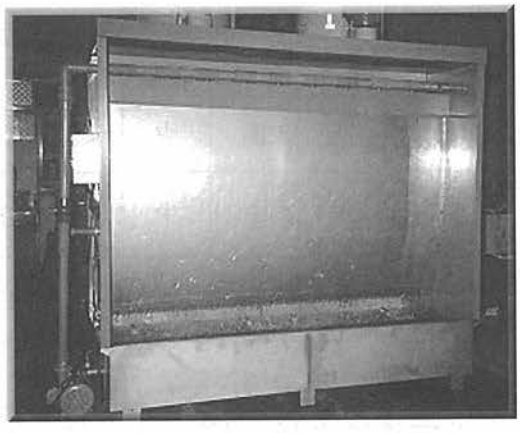
塗裝作業多為開放性空間，因此需先考慮集氣設施，通常都是採密閉空間之塗裝室設施，主要包括局部排氣及整體換氣系統，而塗裝作業會同時產生粒狀物(漆粒)及 VOCs，因此必須先將漆粒去除，以避免影響後續 VOCs 之處理。

(1)前處理

塗裝業在選擇大量粒狀物(漆粒)，其去除方式可分為濕式(水幕式)及乾式(濾網式)(圖 6.4.3-1)，二者之特性比較如表 6.4.3-3 所示。濕式處理設置及操作費皆較低，安全性也佳，是國內業者較常採用的技術，但其粒狀物去除率較乾式低，且有廢水產生的二次污染問題，適用於具廢水處理設施之工廠；如使用乾式過濾網宜使用多層設計，可以有效去除漆粒，且避免漆粒進入後續處理系統影響處理效率，但也必須定時更換濾網，以免壓損過大而致抽氣效果不佳；另外，乾式過濾網可能有較易著火的安全顧慮，若考慮改用乾式過濾網時，對此必須加強注意，並落實消防相關配備，以維護安全。



乾式噴漆台



濕式噴漆台

資料來源：永承發公司

圖 6.4.3-1 乾式及濕式噴漆台示意圖

表 6.4.3-3 乾式及濕式噴漆台特性比較

設備種類	漆粒去除率	能源消耗	水份含量	設置費用	操作費用	安全性	廢水問題
水幕式洗滌台	低	低	高	低	低	佳	有
乾式濾網	高	低	低	低	高 (更換濾網)	差 (易著火)	無

(2)溶劑回收系統

部份業者使用溶劑回收系統將使用過的有機溶劑予以回收或再利用，如清洗、塗裝、裝載操作等程序，將可能造成逸散的有機溶劑以回收設備(如冷凝回收)進行回收，作為廠內再利用或提供溶劑回收廠純化，但大多數所回收的有機溶劑因含雜質較多，無法與全新的溶劑相比，因此多數業者只會將回收溶劑用來作清洗的用途。

(3)VOCs 可行處理技術

國內塗裝業所使用的管末處理設備常因產業及規模差異而有所不同，尤其對於 VOCs 的處理，由於設備的效率、設置成本及操作維護成本皆不同，因此，不同的產業型態也會採取不同的處理方式。若尚無法避免產生空氣污染，則需選擇裝設防制設備，以有效降低污染的排放。一般常被應用來處理，塗裝製程之中低濃度、中高風量之 VOCs 廢氣的處理系統有活性碳吸附系統、熱焚化系統以及生物處理系統，三種處理系統依效率排序之特性分析彙整於表 6.4.3-4。

表 6.4.3-4 塗裝廢氣處理系統之比較

項目	低濃度廢氣		高濃度廢氣		適用風量 (CMM)	適用濃度 (ppm)	備註
	效率	成本	效率	成本			
焚化法	最高	高	高	中	<2,700	~10,000 (25%LEL)	適高濃度廢氣
活性碳吸附法	高	中	中	中	8~5,400	~10,000 (<25%LEL)	適變異成份低濃度廢氣／碳床阻塞或著火
生物處理	中高	低	低	低	<2,430	<1,000	適低濃度生物可分解廢氣／所需空間大

在上述系統中，生物處理系統是最便宜的，可是因為需要龐大空間，因此適用性較差。規模較大的塗裝業者(如汽車塗裝)常採用沸石轉輪濃縮再由焚化設備處理 VOCs 廢氣，此方法是效率最高之處理系統，然而其昂貴之初設及操作費用也是一般業者難以負擔的。

對一般具中低濃度、中高風量之廢氣特性且在廠房空間有限之情況下，較為可行方法為活性碳吸附系統。活性碳吸附法在操作良好的情況下，一般都可以有很好的處理效率，惟活性碳吸附飽和後就沒有吸附能力，須進行更換或脫附，以確保處理效率。

另外，對於塗裝之烘乾製程之廢氣，其與塗裝程廢氣之差別在於其不含漆粒，所以不須設置漆粒去除裝置，但是烘乾廢氣溫度較高，會減少活性碳吸附能力，故如欲裝設活性碳吸附系統處理烘乾廢氣，則需要在吸附系統之前另外設置冷卻系統以降低廢氣溫度(40℃以下)，冷卻後之廢氣再通入活性碳吸附系統即可去除 VOCs。

(4)控制技術選擇

針對塗裝業 VOCs 的選擇，就防制設備而言，需視業者實際狀況及規模做決定，但以熱焚化處理以及活性碳吸附處理技術較為適合，此結果與環保署所公告的塗裝業 VOCs 之 BACT 處理技術相同。但除了防制設備選擇外，應以使用低污染性原物料(低溶劑型)及採用高效率塗裝機具(技術)為最優先考量之塗裝業 VOCs 減量選用技術。

6.4.4 黏性膠帶業

黏性膠帶的製程中，有機溶劑在產品中的殘留量很低，故有機溶劑使用量幾乎會等於製程中逸散量及管道中排放量之和，如圖 6.4.4-1 所示，VOCs 處理的兩個重點包括對逸散源之有效收集，以及對處理設備選擇及效能提升，逸散的部分除有環境污染的問題外，還有工安的問題，因此，如何有效將逸散的部分收集將影響整廠處理效率；防制設備可以將收集的廢氣做處理並降低排放量，防制設備設置與否將會影響工廠排放量，若就整廠而言，兩者缺一不可。

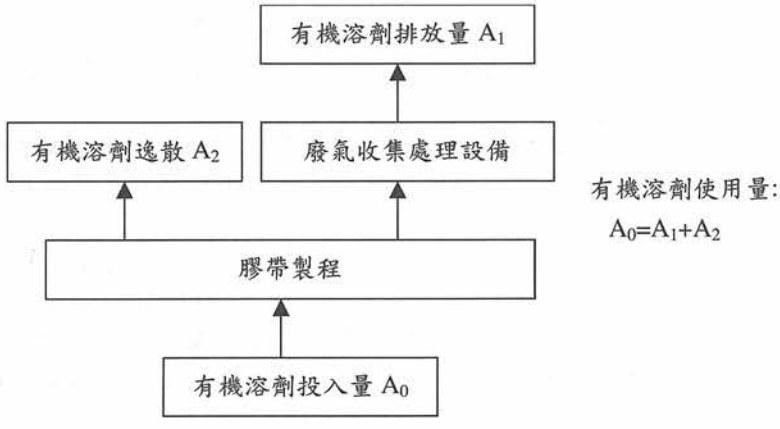


圖 6.4.4-1 膠帶業有機溶劑使用流程

1.VOCs 處理技術

根據環保署調查結果顯示，膠帶製造業者所裝設之污染防制設備種類有活性碳吸附裝置、活性碳溶劑回收裝置(58 %)、熱焚化裝置(13 %)及觸媒焚化裝置等。膠帶業在烘乾單元中所產生之有機廢氣為高濃度、中高風量特性看來，其中以裝設活性碳吸附設備居多，但由於活性碳的更換頻率不易確認，以至於廢氣處理效率難以評估。但同時使用熱焚化與活性碳溶劑回收的業者，其廢氣處理效率都有 90%以上。其中有機溶劑使用量主要集中於高資本額的大廠，且排放率隨著回收量增加而明顯降低。所以資本額高的黏性膠帶廠商在污染防制上所做的努力較資本額低的廠商為多。但由於大廠相對使用大量有機溶劑，造成較嚴重之空氣污染問題，有必要加強污染防制以降低其 VOCs 之排放量。

2.VOCs 可行技術評估

黏性膠帶製程排放之有機廢氣主要含甲苯及乙酸乙酯，排放之廢氣流量自數百至數千 m^3/min 不等，THC 濃度約數千 ppm。表 6.4.4-1 為各種處理技術可行性分析；適合之處理技術依其處理效率排序，如表 6.4.4-2 所示。

表 6.4.4-1 膠帶業 VOCs 控制技術可行性分析

處理技術	適合性	說明
直燃焚化	適合	1.甲苯、乙酸乙酯、正庚烷皆為可焚化成分。 2.操作及維護成本較高，但可回收熱能回製程利用。 3.須注意爆炸性危險(低爆炸極限之限制)。
觸媒焚化	適合	甲苯、乙酸乙酯、正庚烷皆為可焚化成分。 需將進氣以空氣稀釋至其絕熱燃燒昇溫約100-200℃，因進氣濃度太高易導致焚化溫度過高，損壞觸媒床。
蓄熱焚化	適合	甲苯、乙酸乙酯、正庚烷皆為可焚化成分。
活性碳吸附	不適合	進氣濃度高及風量大將使更換頻率高，換碳費用昂貴，且需注意若含丁酮易使碳床著火問題。
活性碳吸脫附	適合	除丁酮易著火不適用外，實廠經驗已有至少操作成本持平的案例。
冷凝回收	不適合	污染物濃度甚高，雖可適用冷凝回收，但因大風量及欲達到高處理效率，冷凝溫度需降低至零下等級，耗費大量能源，不符經濟效益。
濕式洗滌回收	不適合	僅適合水溶性高之污染物，甲苯並不適合，且有二次廢水污染之虞。
生物處理技術	不適合	甲苯、乙酸乙酯為生物可分解成分。 大風量及高濃度之廢氣將使生物處理設備規模巨大，並不適合於地狹人稠的台灣。
薄膜過濾	不適合	1.風量大，實廠經驗小於10 CMM。

表 6.4.4-2 膠帶業 VOCs 可行處理技術處理效率排序

可行控制技術	處理效率(%)	說　明
熱焚化	95~99	初設費及操作成本高，燃料消耗大，有NO_X產生
觸媒焚化	95~99	初設費高，有NO_X產生
活性碳吸附	>90	操作費用高

A.成本考量

若以風量 500CMM、甲苯進流濃度 1,000ppm、年操作時數 7,200 小時為基礎，依據美國環保署 OAQPS Control Cost Manual(5^{th} ed.)估算使用熱焚化與活性碳吸脫附處理技術之初設及操作成本如下表 6.4.4-3，其考量條件如下：

表 6.4.4-3 熱焚化與活性碳吸脫附處理技術所需成本整理(單位:萬元)

可行性控制技術名稱	能源消耗	經濟衝擊(污染防制成本)		
		初設成本(萬元)	年操作成本(萬元)	平均年成本(萬元/年)
直燃式焚化	燃料	800	730	850
熱回收式觸媒焚化爐	電力、燃料	1,200	219	398
熱回收式RTO	電力、燃料	1,200	−41	138
活性碳吸脫附溶劑回收*	電力、蒸氣(燃料)	1012	85	236

附註：1.風量500 NCMM、甲苯進流濃度1,000 ppm (絕熱燃燒昇溫125℃)、年操作時數7,200小時。

2.觸媒焚化爐年操作成本：(電力60 HP×0.75 kW/HP×7,200 hr×NT$ 2.0/kWh＝NT$ 648,000)＋(觸媒100萬元)＋(維修900萬元×0.05＝45萬元)＋(人力NT$ 300/hr×1 hr/day×300 day＝NT$ 90,000)＝219萬元。甲苯進流濃度無法回收熱量供熱媒油加熱。

3.RTO熱回收收益：1,000 ppm×0.04 (kcal/Nm^3)/ppm)×50%×500 Nm^3/min×60 min/hr×7,200 hr÷9,000,000 kcal Fuel Oil/kL×NT$ 5,000/(kL Fuel Oil)＝NT$ 2,400,000

4.RTO年操作成本：(電力120 HP×0.75 kW/HP×7,200 hr×NT$ 2.0/kWh＝NT$ 1,296,000) ＋ (維 修 1,200 萬 元 ×0.05 ＝ 60 萬 元) ＋ (人 力 NT$ 300/hr×1 hr/day×300 day＝NT$ 90,000)－(熱回收收益240萬元)＝－41萬元

5.平均年成本＝初設成本×每年之固定攤還比例＋年操作成本

6.每年之固定攤還比例(依10年折舊、8%利率計算)＝初設成本×0.149

7.活性碳吸附量：1公斤活性碳吸附0.1公斤之VOCs；包含溶劑回收產生的經濟價值

B.VOCs 控制技術之選擇

黏性膠帶業 VOCs 處理技術，以熱焚化處理效率較佳，但可能會造成 CO_2、NO_x 或 SO_x 排放，且初設成本及後續操作所需之燃料費用都較高，因此可選擇回收式蓄熱焚化法(RTO)或回收式觸媒焚化，國內設計建造技術及成本已接近直燃式焚化，且其具熱回收之功能，因一般膠帶業之廢氣排放溫度均較高，有些高達 100~200℃，而 VOCs 之產生主要來自烘乾製程(一般為 180℃)，因此製程中需要有熱源加熱烘乾。若採回收式熱焚化法可將 VOCs 焚化所產生之廢熱，可進行回收並提供烘乾程序所需熱源。

若採用活性碳吸脫附技術，對於環境之影響較小，但脫附時有二次污染，但其所回收之有機溶劑則具經濟效益，對於中、低資本額之膠帶廠，在後續操作上可用溶劑回收效益來逐年攤平操作成本。若採用活性碳則採定期更換方式，換碳費用甚鉅，因此若要進行溶劑回收，勢必需要另設置脫附設備，且因膠帶業廢氣溫度較高，因此需使用冷卻設備來冷卻廢氣(＜50℃)。

C.VOCs 控制技術選擇

黏性膠帶業 VOCs 之處理技術，活性碳吸脫付(回收)及具回收式之熱焚化技術兩者各有優缺點，但也適合於此產業廢氣特性。若為單一溶劑因化性及物性性質較單純，建議可採用活性碳回收方式處理；若為混合溶劑時，則因化性及物性性質較複雜而不易採用回收方式，建議可採用焚化方式處理，並可回收熱能至製程（烘箱）使用。

6.4.5 半導體、光電業

半導體及光電業所採用的有機溶劑相似，皆為高風量、低濃度特性，因此在防制設備的考量下有許多相似之處，但其各廠間之 VOCs 廢氣成分還是有相當大的差異性。半導體及光電業 VOC 成分，主要為乙醇、異丙醇、丙酮、丁酮、丙二醇單甲醚乙酸酯(PGMEA)、單乙醇胺(MEA)、雙三甲基矽胺(HMDS)。二行業排放之 VOCs 以異丙醇及丙酮為主，佔排放總量的 50-80%；另外，丁酮、甲苯、二甲苯、乙酸丁酯、PGMEA 及三氯乙烷等亦為排放主要污染物。

1.VOCs 處理技術

(1)半導體業

VOCs 與酸鹼性廢氣為半導體產業主要的空氣污染物質，對揮發性有機物而

言，廣為各工廠所採用的防制技術有吸附、焚化、吸附脫附焚化及冷凝等，表 6.4.5-1 為半導體業工廠污染防制設備的設置概況說明。在各類防制設備中，以填充式洗滌塔的設置數量最多，其次為沸石濃縮轉輪焚化爐與固定床式吸附設備等。酸鹼性廢氣則多數以洗滌吸收為主，而 VOCs 則以沸石濃縮轉輪焚化爐及固定床活性碳吸附設備最多，其中又以沸石濃縮轉輪焚化爐最多，也較符合半導體低風量及高濃度的廢氣特性，固定床活性碳吸附設備通常做為備用設備；另外，流體化床設備近年也陸續被業者所採用，亦為主流設備之一。

表 6.4.5-1 半導體業工廠 VOCs 污染防制設備設置概況

防制設備名稱	數量	防制設備名稱	數量
固定床式吸附設備	41座	其他廢氣燃燒塔	20座
流體化床吸附塔	12座	冷凝器	4座
旋轉式吸附設備	7座	生物處理塔	1座
其他吸附設備	24座	生物濾床	1座
沸石濃縮轉輪焚化爐	**98**座	填充床式洗滌塔	657座
蓄熱式焚化爐	3座	預灑式洗滌塔	4座
觸媒焚化爐	9座	隔板式洗滌塔	1座
直接焚化爐	3座	其他吸收塔	20座
後燃燒器	7座		

資料來源：環保署，台灣地區排放量資料庫TEDS。

(2)光電業

光電製造業 VOCs 污染防制設備大致可分為二大類型，規模較小的工廠(如 STN/TN-LCD、OLED、部分 LED 工廠)採用活性碳吸附床、水洗塔，而規模較大者(如 TFT-LCD、少數 LED 工廠)則採用流體化床濃縮冷凝、沸石轉輪濃縮後焚化等技術。表 6.4.5-2 為環保署彙整固定污染源資料庫所得之數據。根據 91 年度環保署相關檢測計畫資料，採用活性碳吸附的處理效率變異大且普遍不佳，約在 10～90%。沸石轉輪濃縮後焚化的部分，新設置的系統處理效率較高，約有 95%的處理效率；活性碳流體化床濃縮冷凝設備部分，其 VOCs 處理效率皆能維持於 80%以上，唯需維持一定的活性碳再生頻率，而負擔著較高之操作維護成本。由歷光電工廠 VOCs 防制設備處理效率調查資料顯示，此些光電產業所常用的廢氣處理技術，其廢氣處理效率差異甚大，表 6.4.5-3 為光電工廠 VOCs 防制設備處理效率調查整理。

表 6.4.5-2 光電業 VOCs 污染防制設備類型分佈

(單位:台)

防制設備類型		LCD產業(台)	LED產業(台)	總計(台)
活性碳吸附		38	27	66
活性碳流體化床		5	1	6
焚化	沸石轉輪濃縮後焚化	36	1	37
	觸媒焚化	1	2	3
	直接焚化	2	0	2

資料來源：環保署91年固定污染源資料庫調查資料。

表 6.4.5-3 光電業 VOCs 防制設備處理效率調查整理

資料來源	光電廠VOCs防制處理設備處理效率
環保署	39家光電產業採用之空氣污染防制設備調查：沸石轉輪濃縮焚化10家、活性碳流體化床冷凝3家、活性碳吸附床12家、洗滌塔3家、無防制設備11家。 實際檢測結果，以沸石轉輪濃縮焚化處理效率75~93%較佳。
新竹科學工業園區管理局	光電工廠VOCs廢氣防制設備採用沸石轉輪者，其處理效率為60~98%，採用活性碳吸附床者多數排放量可控制在0.6kg/hr以下。另有部分工廠或未採用VOCs控制設備、或VOCs防制效果未能符合「光電製造業空氣污染管制及排放標準草案之第一階段管制標準」。
新竹縣環境保護局	VOCs廢氣以活性碳吸附床處理之工廠，其VOCs廢氣處理效率變異大約29~97%。
環保署	不同光電工廠之沸石轉輪濃縮焚化設備對NMHC處理效率有極大差異(43~94%)，僅1家工廠NMHC處理效率可達90%以上，而採用活性碳吸附塔之工廠，NMHC處理效率僅4~27%。 計畫檢測結果顯示，多數光電工廠VOCs廢氣排放無法符合光電草案第一階段排放標準，需及早謀求改善對策因應。

資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫

2.控制技術比較

(1)半導體業

以半導體業最常用的沸石濃縮轉輪焚化爐來看，其廢氣設計處理規模平均較高，約介於 228~1,600Nm^3/min 之間，處理量大於 500Nm^3/min 者佔 73%，有關半導體業各種揮發性有機物控制技術成本分析以及技術之特性比較如表 6.4.5-4 及 6.4.5-5。

表 6.4.5-4 半導體業 VOCs 控制技術成本分析比較

控制技術	初設成本 (萬元)	年操作成本 (萬元/年)	操作成本 (萬元/年)	年總成本 (萬元/年)
直接焚化法	600~800	143	221	364
蓄熱式焚化法	800~1200	223	114	337
觸媒焚化法	1168	151	224	375
固定床活性碳吸附法	584	76	231	307
生物濾床	184	24	40	64
流體化床活性碳吸附法	1100~1500		30~80	
沸石濃縮轉輪焚化爐	900~1300		6~24	

1. 資料來源：EPA Air Pollution Control Cost Manual-Sixth Edition。
2. 處理風量以250 NCMM為估算基準，活性碳採每季更換一次。
3. 設備折舊年限為10年，利率採5%。

表 6.4.5-5 VOCs 控制技術之特性比較

可行控制技術	處理效率 (%)	設置成本	操作成本	能源損耗	二次污染
直接焚化法	95~99	高	高	高	NOx、SOx
蓄熱式焚化法	95~99	高	中	低	NOx、SOx
觸媒焚化法	90~98	高	高	中	NOx、SOx
流體化床活性碳吸附法	70~95	高	中低	低	廢活性碳、溶劑
沸石濃縮轉輪焚化爐	>95	高	低	低	微量NOx、SOx
固定床活性碳吸附法	70~95	中	高	低	廢溶劑或廢活性碳
冷凝法	50~90	低	低	低	回收溶劑
生物處理法	70~80	低	低	低	無

(2)光電業

由相關調查資料顯示，光電業以 VOCs 處理效率小於 90%作為吸附劑活化再生界線，則平均活性碳流體化床之顆粒狀活性碳約每 6 個月活化再生 1 次，沸石濃縮轉輪約每 1~2 年更換 1 顆，若能將吸附劑活化再生界線設於 VOCs 處理效率小於 85 或 80%，則吸附劑使用週期可大為延長，對整體 VOCs 防制設備操作維護費用影響甚大。

若以光電法規研擬之 VOCs 處理效率需大於 90%或排放量小於 0.6kg/hr 標準，採用活性碳床吸附的光電工廠，通常 VOCs 排放量較小，僅需符合排放量標準即可，故其日常操作維護僅需注意活性碳床尾氣是否已超出標準，並適時更新

活性碳吸附劑即可。而 VOCs 排放量較大的光電工廠，需符合 VOCs 廢氣處理效率大於 90%，工廠所需投入操作維護成本較昂貴，相關光電業 VOCs 防制設備調查資料請參考表 6.4.5-6 至 6.4.5-9 內容。

表 6.4.5-6 TFT-LCD 製程 VOCs 防制設備減量成本彙整

（TFT-LCD）處理效率	70%	80%	85%	90%
VOCs總排放量	538.5公噸	359.0公噸	269.3公噸	179.4公噸
VOCs總削減量	1,256.5公噸	1,436.0公噸	1,525.8公噸	1,615.6公噸
防制設備操作維護年平均成本(不含設備本體折舊)	11,795萬元/年	12,330萬元/年	13,099萬元/年	15,021萬元/年
平均單位VOCs處理成本	94元/kg-VOCs	86元/kg-VOCs	86元/kg-VOCs	93元/kg-VOCs

資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫

表 6.4.5-7 LED、其他 LCD 製程 VOCs 防制設備調查資料彙整

LED、其他LCD	狀況(調查25家LED、其他LCD工廠)
防制設備使用型態	活性碳吸附塔：11套(44%)、洗滌塔：3套(12%)、活性碳濃縮冷凝：1套(4%)、無防制設備：10家(40%)
VOCs總投入量	258萬公升
VOCs總排放量（未經處理）	144.5公噸
受處理效率管制之廠家數（VOCs投入量）	1（173萬公升）
受排放總量管制之廠家數（VOCs投入量）	3（45萬公升）

資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫

表 6.4.5-8 光電業 VOCs 總排放量與處理效率對應表

處理效率	VOCs排放量(公噸/年)	削減量(公噸/年)
70%	605.5	1,334.0
80%	416.3	1,523.2
85%	321.6	1,617.9
90%	227.0	1,712.5

說明：未管制前：1,939.5公噸/年*(依光電業普查所得之原物料使用總量 × "VOCs排放係數"所推估而出)

資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫

表 6.4.5-9 VOCs 管制削減率提升至不同等級之成本效益評析

VOCs 管制削減率	提升至 80%		提升至 85%		提升至 90%	
	增加成本	排放減量	增加成本	排放減量	增加成本	排放減量
70%	535 萬元/年	179.5 公噸/年	1,304 萬元/年	269.2 公噸/年	3,226 萬元/年	359.1 公噸/年
減量成本	29.8 元/公斤-VOCs		48.4 元/公斤-VOCs		89.8 元/公斤-VOCs	
80%	—		769 萬元/年	89.7 公噸/年	2,691 萬元/年	179.6 公噸/年
減量成本	—		85.7 元/公斤-VOCs		149.8 元/公斤-VOCs	
85%	—		-		1,922 萬元/年	89.9 公噸/年
減量成本	—		-		213.8 元/公斤-VOCs	

資料來源：行政院環保署，固定污染源揮發性有機物空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫

國內 TFT-LCD 製造廠針對 VOCs 的防制工作，絕大部分皆裝設沸石轉輪濃縮後焚化系統，或活性碳流體化床濃縮冷凝等現階段最佳污染防制設備；然而，根據 TFT-LCD 各廠之 VOCs 防制設備效能與投入成本普查結果發現，VOCs 防制設備的效率與操作維護成本呈正相關。

3.相關單位研究成果

國內交大白教授[85]及中山大學周教授[86]為主之研究群，以國內半導體及光電業密度最高的新竹科學園區為研究對象，分別針對園區相關半導體及光電業進行 VOCs 防制設備設置及成本進行分析可做為產業選擇技術之重要參考，摘要重點如下，詳細資料請參考相關文獻資料。

新竹科學園區半導體及光電產業 VOCs 廢氣之常見處理方式，包括直接處理及吸附濃縮處理。直接處理包括固定床活性碳吸附、生物處理法及濕式洗滌高級氧化等，此三套系統國內均有能力設計生產，而吸附濃縮及焚化燃燒則多仰賴國外進口，由於處理效率穩定所，以為園區內大多數半導體及光電業接受採用(圖 6.4.5-1)。

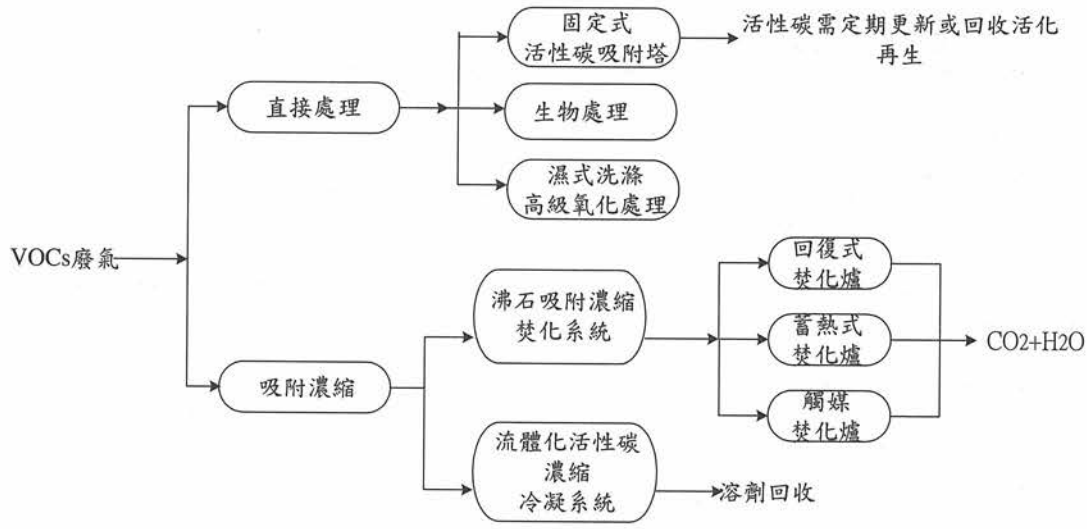


圖 6.4.5-1 新竹科學園區半導體及光電產業 VOCs 廢氣之常見處理設備

另由表 6.4.5-10 得知處理風量較大之工廠多選擇設置沸石吸附濃縮焚化系統，此系統計有 25 家半導體及 4 家光電產業設置；而 VOCs 廢氣流量較小之工廠則選擇裝設處理流程較為簡易之防制設備，如固定式活性碳吸附塔計有半導體業 3 家、光電產業 14 家。另外，亦有少數廠家設置流體化活性碳吸附床、生物濾床以及使用高級氧化法等設備處理 VOCs。

表 6.4.5-10 VOCs 防制設備設置與成本概況

行業別	主要空氣污染防制設備	設置家數	總座數	處理風量範圍 CMM	初設成本範圍 ($新台幣萬元)	操作維護成本範圍 ($新台幣萬元/年)
半導體產業	沸石吸附濃縮焚化	25	40	670~1533	1400~4500	300~400
	固定式活性碳吸附	3	3	42~120	50~200	25~80
	流體化活性碳吸附	1	1	648	3000	700
	生物濾床	1	1	130	1,200	20
	高級氧化法	1	1	250	1700	200
光電產業	沸石轉輪	4	4	545~1,022	2,074~3,000	300~360
	固定式活性碳吸附	14	14	42~250	40~300	4~235
	流體化活性碳吸附	1	1	200~360	1,800	72

半導體業所排出之廢氣特性屬於大風量，加上沸石吸附濃縮焚化系統具多年實廠運轉經驗且成熟穩定，調查之半導體及光電業廠家中約有 56%採行此系統；而光電業採用此系統全屬 LCD 廠家，因為該業別之廢氣排放量及污染物濃度與半導體業相當。此外，固定式活性碳吸附塔之應用多集中於光電業之 LED 廠家，因其排氣量較小、加上該產業空污法規尚未訂定，所以多數廠家設置較簡易之設備處理 VOCs 廢氣。

在設備初設及操作維護成本部分，其與設備所能處理之風量成正比關係。以沸石吸附濃縮焚化系統而言，其所能處理之風量為最大、設置費用亦屬高成本，主要之操作維護費為焚化燃料費及運轉電力費每年約新台幣 300 至 400 萬元，轉輪平均每五年更換一次，其費用約計 600 萬元左右；而目前廢氣排放風量較小之廠家所常用之固定式活性碳吸附塔，雖其硬體結構設計簡便與其他設備相較屬最低成本，如為符合法規要求及考量活性碳本身吸附性質，則需不定期視廢氣流量及污染物濃度變化、保持高換碳頻率，如此將使得操作維護成本費高於其他污染防制設備，如生物濾床、濕式高級氧化法等。

表 6.4.5-11 為新竹科學園區半導體及光電產業主要 VOCs 污染防制設備，運轉狀況與建議選用廠家條件；沸石吸附濃縮焚化系統在半導體業應用上，是運轉實績及符合法規要求之最成熟設備。光電業製程使用之物料與半導體相近，但在含高沸點 VOCs 去光阻劑之使用量上遠高於半導體業，故使得其排放廢氣組成上之高沸點 VOCs 較多。高沸點 VOCs 容易造成沸石脫附不易，影響系統整體效能，故成為應用沸石吸附濃縮焚化系統效能不彰之因。所以若 VOCs 廢氣中含有較多量之高沸點物質，應於進入系統前端加裝冷凝器、活性碳網柵及除霧器等設備，如此將可有效處理高沸點 VOCs。

(1)VOCs 控制技術選擇考量重點

A.沸石吸附濃縮焚化系統

由於沸石吸附濃縮焚化系統係將廢氣吸附濃縮後，最終導入焚化系統處理 VOCs，以能源節約及符合法規要求之觀點同時評估，其較適合每分鐘 600 CMM 以上之高風量、VOCs 之總碳氫化合物濃度(THCs)介於 500~1000ppm 之廢氣特性，並以達去除效率大於 90%法規要求之廠家應用。若廢氣風量及 VOCs 濃度值偏低之廠家，應用此系統雖可同時達到法規之去除效率大於 90%及排放量小於每小時 0.6 公斤兩項要求，但國內法規仍未針對 VOCs 訂定明確

總量管制政策之前，廠家可依經濟需求選擇其他適合之設備。

表 6.4.5-11 新竹科學園區半導體及光電產業 VOCs 防制設備應用情形

主要空氣污染防制設備	應用行業別	進流濃度範圍 (ppm)	出流濃度範圍 (ppm)	處理效率 (%)		適用廠家條件		
						符合法規之經濟性		廢氣特性
						處理效率 >90%	排放量 <0.6kg/hr	
沸石吸附濃縮焚化	半導體	44.9~380	2.7~29.8	90~99		◎		廢氣風量 600CMM 以上、THC_S 濃度介於 500~1000ppm
	光電業	100~720	Max 4	設計值	實際值	◎		
				>90	65~90			
固定式活性碳吸附	半導體	--	--	50~80			◎	不建議以此系統為主要 VOC_S 廢氣處理設備
	光電業	10~280	3~146	設計值	實際值		◎	
				75~90	35~93			
流體化活性碳吸附	半導體	59.2	13.7	76.9			◎	廢氣風量 600CMM 以下、THC_S 濃度於 500 以下。
	光電業	150~250	Max 50	設計值	實際值		◎	
				80	67			
高級氧化法	半導體	79.8	11.4	86			◎	
生物濾床	半導體	150	100	33			◎	

B.固定床活性碳

固定式活性碳吸附塔為最傳統且實廠應用最為簡便之 VOC_S 污染處理設備，雖然其適用廢氣特性廣泛且限制較少，且理論上可使得廢氣中之 VOC_S 獲得有效之控制，但往往會高估每單位活性碳之 VOC_S 吸附能力及換碳頻率普遍不足，使其設計值與實際效率有顯著之差異。且活性碳設備在夏天高溫下運作時，會發生處理後尾氣端濃度值遠高於廢氣進流前濃度之異常現象，加上系統為密閉設備散熱不易，使系統內溫度上升達到足以脫附之溫度，造成原先吸附於活性碳之 VOC_S 脫附而出，且散逸至大氣造成嚴重之環境污染，而此現象亦可能造成活性碳床著火，進而發生工安事故；而該系統於冬季運轉時，可能因外界溫度低、露點下降，使得廢氣之溼氣凝結成水分，則活性碳可能優先吸附水氣，造成吸附 VOC_S 之機制減弱。由於半導體及光電產業廢氣特性變異性高，若採用固定式活性碳吸附塔，則需視廢氣現況時常更換活性碳，如此操作下處理效能無法穩定，且活性碳更換與處理費用亦相當高，因此不宜以固定式活性碳吸附塔作為 VOC_S 主要污染防制設備操作。

C.流體化床活性碳吸附冷凝系統

流體化床活性碳吸附冷凝系統，該系統設計目的為適用於半導體業及光電業中較大風量、較高濃度之廢氣特性廠家。此系統若逕行處理含高沸點濃度較大之 VOCs 廢氣，亦可能發生高沸點 VOCs 優先吸附於活性碳上，使得廢氣中佔多數之異丙醇及丙酮無法獲致有效吸附處理；而廢氣中高沸點 VOCs，於脫附程序中操作不當將於活性碳顆粒上蓄積成粘稠狀，使得功能失效、需提前汰換之。故此系統前端應與沸石轉輪相同、設置高沸點 VOCs 前處理設備，以確保使用壽命及運轉效能之正常。另外，此系統末端係以冷凝 VOCs 成有機溶劑作為最終處理，此程序除了可能使得部分低沸點物質無法有顯著處理效果外，若其無法回收至製程循環使用，則亦需視為有害廢棄物委商處理之。

D.濕式洗滌高級氧化法及生物濾床技術

濕式洗滌高級氧化法及生物濾床技術，可應用於 VOCs 中、低風量以及濃度較低製程。依據資料顯示，目前各有一家半導體工廠使用，且實際運作情況均能符合法規之要求。濕式洗滌高級氧化法利用洗滌方式先吸收處理 VOCs 後，再送末端以臭氧及過氧化氫進行高級氧化處理，此項系統可適用之有機物種類廣泛，且廢氣中 VOCs 溶水性高即可應用，無不適用之敏感性污染物質；不過系統為了節省能源之設計，於高級氧化程序中，僅將洗滌而下之 VOCs 處理至醋酸後即停止反應，並將廢水排入後端廢水處理設備，如此可能造成後續廢水處理系統之負擔。由於該系統處理效率係藉由洗滌量來達成，所以欲增加處理效能，則需更加大吸收塔及高級氧化反應槽以滿足處理需要，廠家欲利用頂樓空間應用時須特別留意樓板所能承受之重力。

生物濾床係利用生物消化與有機物反應，且反應後無二次污染物須處理之困擾、加上操作維護費經濟，係為處理 VOCs 廢氣理想設備之一，惟其技術尚未成熟，如生物菌種種類及其環境適應性等，以致實廠運轉效率未盡理想；此外，須特別注意系統操作條件，如維持適當之溫度、含水率、酸鹼值及適時補充營養劑，以及有機廢氣中有含氯物質或重金屬類應預先處理，以免生物遭受毒化等，均是維持系統處理效能穩定之重要參數。而該設備所需之生物反應時間可能較長，反應器佔地面積大、且重量重，以及操作不良所可能產生之異臭味散逸，係應用此設備需考量因子。

(2)VOCs 控制技術成本考量

生物濾床技術，以 500 Nm^3/min 之氣體流量規模，進氣 VOCs 濃度為 100、200、500 mg/Nm^3 時，含濾料之設備初設費用分別為 NT$ 412、716、1,516 萬元，年操作、人力維護及折舊費用合計分別為 NT$ 159、249、508 萬元，去除每 kg VOC 之操作、人力維護及折舊費用分別為 NT$ 73.6、57.6、47.0 萬元，處理每 1,000 Nm^3 進氣之操作及人力費用分別為 NT$ 6.63、10.4、21.2 萬元。

在生物洗滌處理技術，以 500 Nm^3/min 之氣體流量規模，進氣 VOCs 濃度為 100 及 200、500 mg/Nm^3 時，含吸收塔及活性污泥設備之初設費用分別為 NT$ 241、383、705 萬，年操作、人力及折舊費用合計分別為 NT$ 171、203、288 萬元，去除每 kg VOC 之操作、人力維護及折舊費用分別為 NT$ 79.3、46.9、26.6 萬元，處理每 1,000 Nm^3 進氣之操作、人力維護及折舊費用分別為 NT$ 7.13、8.45、12.0 萬元。

在轉輪吸附濃縮-RTO 處理技術，以 500 Nm^3/min 之氣體流規模，進氣 VOCs 濃度為 100、200、500 mg/Nm^3 時，設備初設費用均為 NT$ 2,000 萬元，年操作、人力及折舊費用合計分別為 NT$ 337、312、251 萬元，去除每 kg VOC 之操作、人力維護及折舊費用分別為 NT$ 148、68.5、22.0 萬元，處理每 1,000 Nm^3 進氣之操作、人力維護及折舊費用分別為 NT$ 14.1、13.0、10.5 萬元。

排氣 VOCs 濃度為 100 mg/Nm^3 時，以生物法(生物濾床及生物洗滌法)最經濟，轉輪吸附濃縮-RTO 法次之；排氣 VOC 濃度為 200 mg/Nm^3 時，以生物法(生物濾床及生物洗滌法)最經濟，轉輪吸附濃縮-RTO 法次之；排氣 VOC 濃度為 500 mg/Nm^3 時，以生物洗滌及轉輪吸附濃縮-RTO 法最經濟，生物濾床法次之；排氣 VOC 濃度為 1,000 mg/Nm^3 時，以轉輪吸附濃縮-RTO 法最經濟，生物洗滌法次之。

(3)VOCs 控制技術選擇

廢氣排放風量 600CMM、VOC_S 之 THC_S 濃度介於 500~1000ppm 之廠家，在經濟考量上、選擇符合法規之去除效率大於 90%要求，宜採用沸石吸附濃縮焚化系統；若廢氣風量及 VOC_S 濃度值偏低之廠家，應用此系統雖可同時達到法規之去除效率大於 90%及排放量小於每小時 0.6 公斤兩項要求，但國內目前法規仍未針對 VOC_S 訂定明確總量管制政策之前，廠家可依經濟需求選擇其他適合之設備，如流體化活性碳吸附冷凝系統、生物濾床及濕式洗滌高級氧化系統等，符合法規 VOC_S 排放量小於每小時 0.6 公斤之要求。單以固定式活性碳吸附塔欲符合

目前法規要求，則需視廢氣狀況時常更換活性碳，如此維護操作不易、處理效能未能獲得穩定保障，以及累積之更換費用與廢活性碳代處理費用費用已遠高於其他穩定之處理設備，加上該系統操作實況，建議不宜以固定式活性碳吸附塔作為 VOC_S 主要污染防制設備操作。

第七章 VOCs 減量處理技術實廠改善案例介紹

案例 1：專業書報平版印刷 A 廠

1.工廠簡介

A 廠位於台北縣，主要從事專業書籍、期刊、雜誌及海報等印刷品之印刷及裝訂服務，屬於平版印刷製程，共有兩台四色印刷機台以及兩台八色印刷機台，主要使用之有機溶劑為 IPA(異丙醇)，以及油墨本身所含之有機溶劑。

主要污染源為兩台八色機台(1 號及 2 號)，印刷烘乾溫度為 120℃-150℃，排放廢氣溫度約為 75℃~85℃。由於 1 號機為舊機台，工廠分別於機台上方及屋頂串聯兩座觸媒焚化設備進行 VOCs 之處理，機台上方觸媒焚化爐設計之處理風量為 80CMM，觸媒床之操作溫度設定為 420℃，後連接之觸媒床操作溫度為 300℃-350℃。

工廠近年新購之 2 號機台，設有觸媒脫臭裝置，因此未連接其他防制設備即進行排放，處理風量為 40CMM。目前兩台八色機之廢氣排放溫度約為 250℃-350℃，經環保署進行排放管道及周界臭味檢測，測值分別為(1)排放管道：5,500、4,170(標準為 9,000)，(2)周界：30、67(標準為 50)。。

2.工廠面臨問題

(1)該廠印刷作業區為密閉之作業場所，而作業機台本身為半開放性機台，因此會有逸散性 VOCs 產生，在長期作業下作業區易累積 VOCs 濃度，在下班停機前作業環境 IPA 濃度將達到最高值。

(2)工廠遭附近居民陳情臭味問題，且對於既有觸媒焚化設備之效率及操作成本有諸多疑慮，因此希望提升及檢視觸媒焚化處理設備效率。

(3)評估採用其他焚化方式取代現有 3 座防制設備(2 座觸媒焚化設備、1 座隨機白金脫臭設備)之可行性以及成本分析(設置及操作成本)

3.建議改善方案

(1)逸散性污染源

A 廠逸散源若能將機台之逸散源控制在較小區域範圍，再抽除予以處理，盡量避免 VOCs 擴散至整個作業環境，可達空氣污染防制事半功倍之效果，茲將可

行各方案說明如下：

A.製程減廢：利用現有機台烘乾區進氣口處理 IPA 逸散廢氣。在機台 1、2、3、4 印刷區，裝設不影響操作維護之可活動式透明板或透明塑膠布或條，將機台 1、2、3、4 印刷區圍封起來，使機台逸散源逸散出 IPA 控制在較小密閉區域範圍，亦即將逸散源與作業走道完全隔絕，再利用機台烘乾區附設有 VOCs 尾氣處理之功能，可將烘乾箱之排氣送至燃燒機當成該燃燒機之燃燒空氣，藉以處理含 VOCs 之烘乾廢氣，如此可避免 VOCs 擴散至整個作業環境。

B.利用現有空調設備增設活性碳過濾裝置：現有作業環境為密閉空間，空調設備之吸入口及冷氣出風口均在密閉空間之內，可於現有空調設備之各吸氣口或於空調設備主風管適當位置增設 VOC 過濾設備，可為活性碳纖維過濾網或活性碳吸附槽，期藉由活性碳吸附 VOCs 之能力降低業者作業環境之 IPA 濃度，同時利用現有之空調系統增設環保設備，可省去額外增設風管抽風系統與風車之初設成本與操作費用，惟活性碳吸附 VOCs 達飽和時，應更換新的活性碳纖維過濾網或活性碳吸附槽之活性碳，以確保「VOCs 過濾設備」之效能。若日後於空調設備主風管適當位置增設 VOCs 過濾設備時，除了活性碳吸附設備之外，亦可考慮其他 VOCs 高級處理設備，例如臭氧氧化設備、紫外線 UV 氧化設備或光觸媒氧化設備等，惟採用 VOCs 高級處理設備之初設成本較高。

(2)既有設備效率確認

A.對於觸媒焚化設備效率衰減的原因除了老化、阻塞以及毒化外，還有系統設計以及操作狀況不佳等因素，由現場對 1 號機台隨機之觸媒焚化爐而言，需先確立旁通風門(by pass)之氣密程度，正常應為關閉，若有漏氣現象，則會直接影響去除效率。

B.對於觸媒焚化設備風車之運轉風量是否不高於原設計值(75CMM)，因為風量過大將導致廢氣停留時間過短而降低去除效率。

C.先對於上述兩點進行確認後，若在反應溫度正常之情況下，效率仍然不佳，再推測觸媒是因老化、阻塞以及毒化等問題導致觸媒活性降低之可能性，進而判定是否該更換觸媒。

(3)評估採用其他焚化方式之可行性以及成本分析

A.以 A 廠廢氣特性而言，採用觸媒焚化設備處理 VOCs，選用方法上並無問題。常用之焚化處理技術包括直燃式(TO)、蓄熱式(RTO)以及觸媒式(CTO)。

B.若以廢氣處理風量(80CMM+40CMM)、進入焚化爐廢氣 76℃(目前觸媒設備之測值)評估直燃式(燃燒溫度 750℃、熱回收率 65% 、VOCs 去除效率 99.9%)及蓄熱式(燃燒溫度 800℃、熱回收率 93% 、VOCs 去除效率 98%)之成本(設置成本及操作成本)及規格如下：

(A)直燃式

a 設置成本(不含安裝費用)：新台幣 380 萬元

b.重量：7-8 公噸

c.體積：6m(長)×3m(寬)×2m(高)

d.運轉費用：

$0.26\times(120NCMM\times1.293\times60)\times(750-76)\times(1-0.65)\div8{,}500kcal/Nm^3NG$

$=67.2Nm^3/hr$(最大值，無 VOCs 時)

$67.2Nm^3/hr\times10$ 元/ Nm^3 NG×24hr/day＝16,128 元/day

(B)蓄熱式

a.設置成本(不含安裝費用)：新台幣 420 萬元

c.重量：10-12 公噸

d.體積：5m(長)×2m(寬)×3m(高)

e.運轉費用：

$0.26\times(120NCMM\times1.293\times60)\times(800-76)\times(1-0.93)\div8500kcal/Nm^3NG$

$=14.4.Nm^3/hr$(最大值，無 VOC 時)

$14.4Nm^3/hr\times10$ 元/ Nm^3 NG×24hr/day＝3,456 元/day

f.其他費用：一般蓄熱材壽命 3 年以上，每次更換費用約 25 萬元。

g.觸媒價格：一般白金觸媒之參考價格約為 30,000 元/ft^3，若以效率為 99 % 、空間流速為 10,000(hr^{-1})、風量 75CMM 估算觸媒量為：

$(75CMM\times60)\div10{,}000\ hr^{-1}=0.45m^3=15.9ft^3$

觸媒價格約為 15.9 $ft^3\times30{,}000$ 元/ ft^3＝477,000 元(不含更換工資)

案例 2： 專業壁紙印刷 B 廠

1.工廠簡介

B 廠位於中部某工業區，為一專業壁紙製造公司，每個月平均產量約 55 萬平方公尺，主要流程有 PVC 皮製造程序及凹版印刷程序，從原料至成品為一貫作業；裝設的廢氣處理設備為靜電集塵器，主要為收集烘箱所產生的廢氣並回收廢氣中的 DOP，相關的流程如圖 7-1 所示。

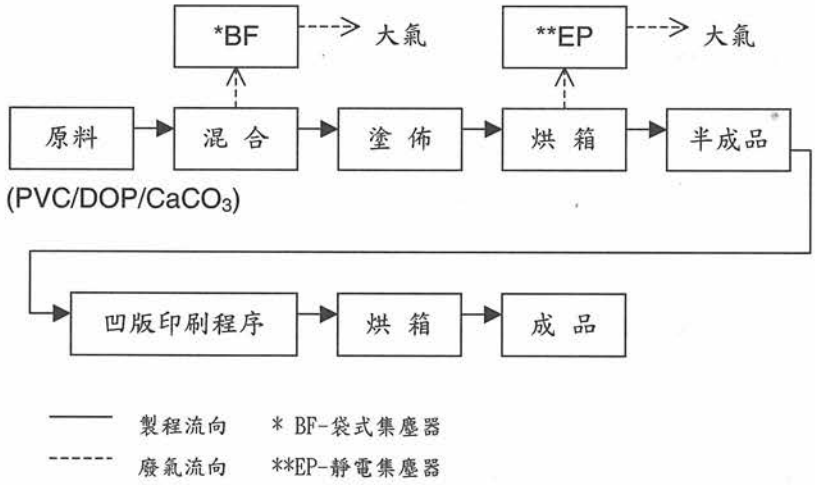


圖 7-1 生產及廢氣收集處理流程

2.工廠面臨問題

(1)遭附近鄰居陳情臭味問題，希望提昇既有防制設備之效率。

(2)瞭解製程對於逸散性 VOCs 之收集處理方法。

3.改善建議方案

(1)既有靜電集塵器設備效率檢視

由 B 廠所提供相關資料，其靜電集塵機的出口煙囪直徑為 ϕ480(mm)，若其流速取 20(m/sec)，並考量進出口溫度差後，可得知最大設計的廢氣處理量約為 250 CMM (m^3/min)。塗佈機後的烘箱共有 5 節（chamber），每節的最大廢氣約為 110CMM，最高排氣的平均溫度約為 150℃，若出口的檔板閥（damper）全量打開（開度 100%），則廢氣量約為 550CMM，此排放的廢氣量與廢氣處理量 250CMM 比較，即可顯示廠內烘箱滿載操作時，靜電集塵器的處理量是不敷使用的，會使進氣之廢氣量超出設計值，因而產生過大的氣體速度引起渦流或擾流而使得已被吸附的粒子再揚起；生產設備的效能大約在 45～55%之間，廢氣處理

設施才不會過載。因此建議業者可併聯再加設一套靜電集塵器，可隨時切換成單套使用或雙套同時使用，如圖 7-2 所示，如此可依製程現場狀況做調整。

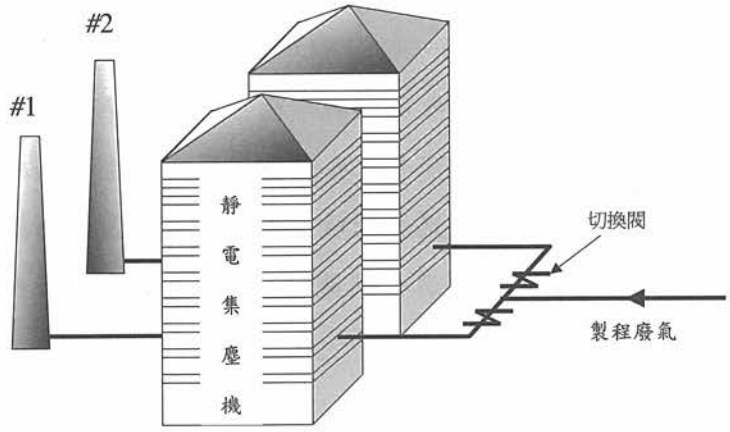


圖 7-2 靜電集塵器併聯使用示意圖

(2)粒狀物之控制

現場於煙囪下及附近發現有白色粉粒（約為 10～100 μm）飄散落下，經與廠方討論後研判，可能是混合原料（PVC 與 $CaCO_3$），少部分未完全附著於基材上所逸散出的，可在風機的合理靜壓下將初級過濾網換成較小網目（濾網業者可提供該濾網的壓損），並加裝差壓計確認其差壓，差壓到達設定值時即表該更換此濾網，如圖 7-3 所示。

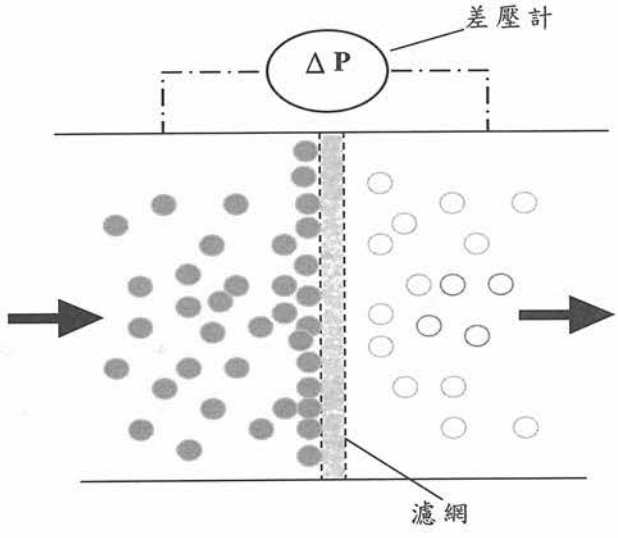


圖 7-3 濾網裝置示意圖

(3)逸散性 VOCs 之廢氣收集

廠內的塗佈及印刷程序為逸散性 VOCs 主要的來源，對於未以密閉式收集的逸散源而言，可採用集氣的方式來進行，由於 B 廠廠房面積很大，因此可針對逸散源四周先將污染源局部圍封，避免 VOCs 向外逸散，並可以整體換氣方式進行 VOCs 之有效收集，但需注意吹風側的方向，以免污染累積造成員工傷害，請參考圖 5.1.1-3 所示；此外，亦可考慮於污染源濃度產生最高處，以局部換氣的方式收集 VOCs，由於 B 廠考量逸散源收集面積較大，因此為提昇 VOCs 之收集效率，可使用局部吹吸的方式運用在設備上，請參考圖 51.1-8 所示。兩種集氣方式亦可同時搭配使用。

(4)VOCs 之處理方式

由於 B 廠之 VOCs 並不具回收價值，且於製造過程中又需要熱源，因此 B 廠可利用焚化的方式將 VOCs 廢氣破壞處理，可使用 RTO (Regenerative Thermal oxidizer，蓄熱式焚化爐)設備，並搭配熱媒方式回收熱能至製程再利用，搭配熱媒油交換器，回收熱能至製程加熱烘箱，除可達空污防止的環保需求外，進一步更可將熱源回收製程利用之功能，RTO 相關處理流程如圖 7-4 所示。

若有機廢氣濃度可達 1,000ppm(@THC)，則預估 RTO 每月燃料耗量將小於 3 萬元(使用天然氣)，VOCs 的去除效率可達 97%以上，回收的熱能可達 65%左右。

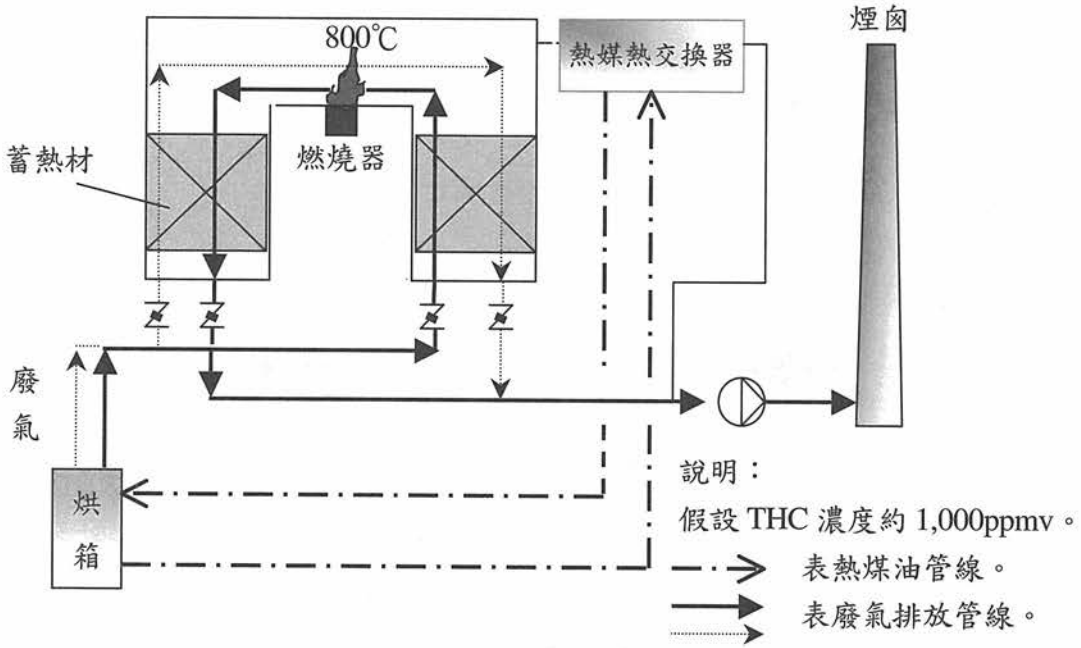
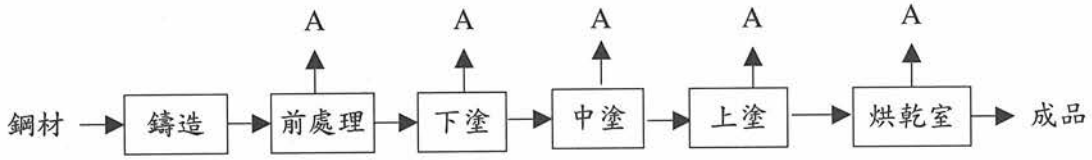


圖 7-4 RTO 廢氣處理及熱回收流程

案例3：汽車輪圈製造C廠

1.工廠簡介

C 廠廠址位於中部某工業區內，主要產品為各式汽車之鋁圈及鋼圈製造，所使用塗料主要為粉體及溶劑型塗料，塗料之年用量約 30,000 加侖，採用的塗裝方式為定置式空氣霧化噴槍，主要之製程及空氣污染源如圖 7-5 所示：



A：表廢氣

圖 7-5 C 廠製程及空氣污染源示意圖

C 廠塗裝製程所產生之揮發性有機化合物主要為塗裝逸散及烘乾製程所產生，其廢氣處理流程如圖 7-6 所示。

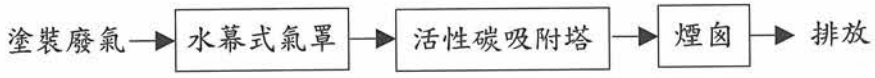


圖 7-6 C 廠廢氣處理流程圖

2.工廠面臨問題

工廠所面臨問題主要為塗裝產品品質不佳，不良率過高，且塗料用量高等問題，分別說明如下：

(1)輪圈鋁合金蓋前處理部分，工廠處理車削油漬痕跡或手印痕跡之處理方式為在湯洗前係由人工噴洗油漬跡，做法不當，而且有揮發性有機物污染的問題。

(2)輪圈鋁合金蓋之塗裝(銀色或黑色)瑕疵：以放大鏡檢查塗膜，發現凸出或凹陷之雜粒，多半屬於鋁鑄件之砂眼(砂目瘡、巢穴)所引起之塗膜缺陷。

3.建議改善方案

(1)輪圈鋁合金蓋前處理缺失改善方法

A.湯洗液添加適量之沙拉脫類(含有表面活性劑者)，較容易消除油漬跡或手印跡(手印是屬於脂肪汗之痕跡)。由於湯洗液中添加可分解研液痕跡及手印跡，

因此得予撤銷人工噴洗作業。

B.有關金屬表面之脫脂工程，鋁合金輪圈蓋表面之污染物，是由鋁合金之氧化物、塵埃、潤滑脂、潤滑油及防銹油等之分解物、切削油、馬新油、研磨削等所構成；被塗物塗裝前之工業規模之脫脂程區分為溶劑脫脂法、鹼脫脂法、界面活性劑脫脂法、電解脫脂法、超音波脫脂法，這些脫脂法中清淨度是愈後面者愈佳；前三項如要浸出滲透於砂眼、銲接處接縫等內部約 0.2mm 以內之間隙的油脂類，需要較長的處理時間或必須重複處理數次，方可完全清除之。表面處理工程可使用軟水，可用離子交換樹脂軟水機來供應湯洗、脫脂、水洗、鉻酸皮膜處理等之所有用水，以防止硬水中所含之鈣、鎂生成不溶性之金屬皂，若在處理前端使成此不溶性金屬皂時，再以純水洗其清淨效果會打折扣。

(3)輪圈鋁合金蓋之塗裝(銀色或黑色)瑕疵改善方法

A.銀色 Metallic 之塗裝：使用粗目之 CUNO 濾芯過濾塗料後施塗。

B.黑色塗裝：使用細目之 CUNO 濾芯過濾塗料後施塗。

C.鋁鑄件之車削：為消除小砂眼宜多車削約 1 條(10 μm)，應可以改善小砂眼所造成之塗膜缺陷。

D.採用高效率噴槍(HVLP)替代傳統空氣式噴槍。

4.減量及成本效益評估

改善建議事項投資成本約 5 萬元，其揮發性有機化合物減量及效益如下：

(1)塗料用量減少 1,200 加侖/年，每年約省 670,000 元。

(2)清洗溶劑用量減少 500 加侖/年，每年約省 25,000 元。

(3)LPG 用量降低 8%，每年約可節省 16,000 元。

(4)耗電量降低 10%，每年約可節省 18,000 元。

(5)工廠每年共可節省生產(5)費用約 729,000 元。

案例 4：烤盤製造 D 廠

1.工廠簡介

D 廠位於南部某工業區內，為一專業烤盤加工製造廠，採用傳統溶劑型氟碳塗料，每年塗料用量約 1,000 公噸，主要產生空氣污染源為自動噴漆室及手動噴漆室，

其主要產品製程及污染源如圖 7-7 所示；工廠之空氣污染控制設施如圖 7-8 所示。

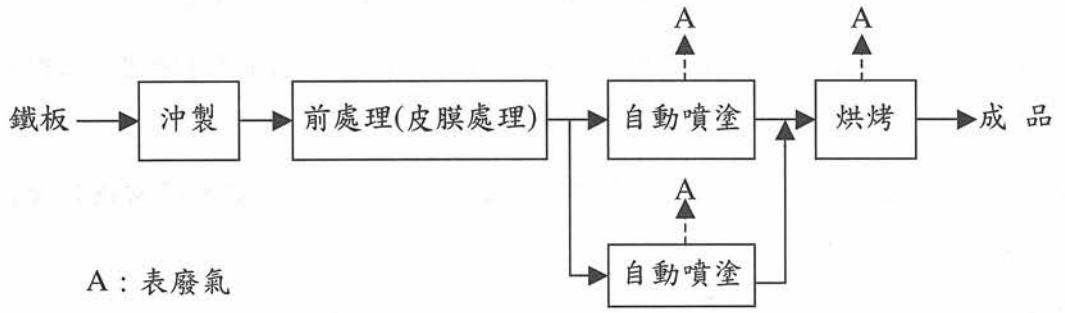


圖 7-7 D 廠產品製程及污染源示意圖

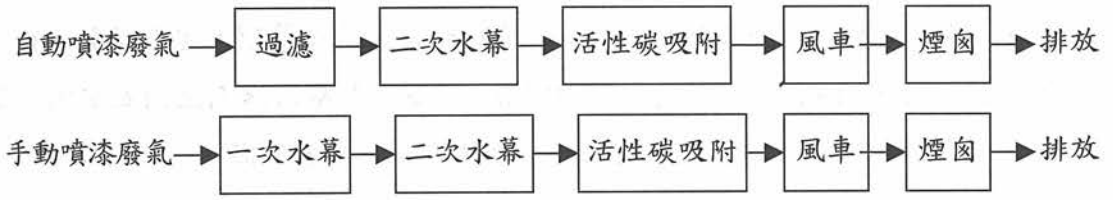


圖 7-8 D 廠廢氣處理流程圖

2.工廠面臨問題

工廠所面臨問題包括：塗裝效率不佳、有機溶劑用量過多、塗裝產品不良率過高、溶劑存放區易產生揮發性有機化合物逸散等問題，分別說明如下：

(1)塗料無充分展開，塗料流動性不佳，過濾效果不好，且塗料中顏料與樹脂之比例不適當，易造成塗裝不均勻，使成品表面產生橘皮、膠束等現象，進而使產品不良率無法有效降低。

(2)所採塗料造膜主成分為 PVDF(聚偏二氟乙烯)，若不使用多量稀釋劑，宜予供料加溫，以增加塗膜之流動性及減少展開不坦性。

(3)靜電塗裝部分，產生茄子型軟漆附著於被塗物靠外緣部分之凸漆膜層之缺陷，原因為靜電塗裝之 Disk 外緣因未經常清洗，所餘留之較黏稠之漆塊，偶爾受離心力而濺出於被塗物所造成者。

(4)黑色烤漆(PVDF 系)部分，品質未達要求標準，可能原因為塗料之顏料部分細度不足(研磨細度需 10 μm 以下)，使碳黑分散不夠，另外其 P/R(顏料/樹脂)比不佳，顏料體積(Pigment volume concetrat)不適當等原因。黑色塗料擬似碾磨細度不足現象，導致塗膜外觀不佳。

(5)物件進入靜電塗裝室之前，係採人工單槍以高壓氣體噴吹除塵，且作業員背後有風扇吹拂，因亂流及物件本身之靜電性，塵粒易飄回物件表面。

(6)噴漆後至乾燥前之初乾階段，由於是開放式，易受環境週遭污染空氣之影響，使半乾之烤盤，容易附著雜質，影響烤盤品質。

(7)溶劑取用採抽取式，且不用時未確實封蓋，隨時都會產生揮發性有機化合物之逸散。

3.建議改善方案

(1)塗料加溫至約 40～50℃，並予保溫，其加溫方式可採隔水加熱之保溫桶，市場有現成品，而熱交換之能量來源可利用烘乾機之壁面輻射熱回收。注意塑膠桶傳熱不好，各種漆色各一桶且具專用管線，便於毋需清洗之管理。塗料經加溫後，能使延展性良好(即黏度降低，提高流動性)，可進一步檢討溶劑比例之配比。因常溫下，塗料為使操作方便與顧及品質，往往溶劑含量會較高。

(2)加熱桶宜附設攪拌裝置，攪拌方式可採用氣動式配備有槳葉之攪拌軸，且控制轉速不宜太快。又塗料除加熱外，亦需過濾，以減少不良率之發生。

(3)品質不良除塗料本身外，另一原因來自高壓空氣補給源，即空氣壓縮機至少要有二點式(除油、除水)過濾裝置，因空氣源含油水會使塗料產生油泡、水泡而降低噴塗品質。

(4)採用高效率噴槍(HVLP)，以增加塗裝效率，有效減少塗料用量。

(5)現場之空氣壓縮機遭受漆料覆蓋，已難進行操作維護，例如氣壓錶因漆料覆蓋而模糊不清，建議清潔表面以利檢核。建議裝設一空壓桶為統一源，再分線同時供給各噴塗槍之高壓空氣。

(6)溶劑種類可加入若干比例之高沸點溶劑(非稀釋用溶劑)。建議酌加下列之高沸點溶劑，以控制噴塗後之初乾時間，使濕膜能充分展開。例如 Anone(cyclohexanone, 環己酮)，沸點 156℃、butylcellosolve acetate(沸點 155℃)BCS 或 BCSA、butylcellosolve (沸點 171℃)BCS 等。

(7)銀粉比例宜適量，太多會露出而腐蝕，且銀粉粒度要細，顆粒之「沉性」才會好。建議提高黑色烤漆(PVDF 系)塗料之研磨細度，並調整(調低)塗料之 P/R 比例。

(8)乾燥不均勻，亦可能起因於塗料過少而易乾，此時噴塗之遮蓋率不佳(漆霧不均勻)。電塗裝室之 DISK，其噴孔亦會遭漆堵塞，故需定期清潔以利噴塗。

(9)對於人工單槍噴吹除塵方式，可改採箱式噴洗，即一面噴入清除表面雜質，一面則將氣體抽出，並以不織布濾網過濾。此箱室只要噴除用空氣由二面平衡噴出，應可保持吊線不致晃動。並建議將噴漆後至乾燥前之初乾階段進行圍封，以降低產品受空氣中雜質污染之機會。

4.減量及成本效益評估

改善建議事項投資成本約 15-20 萬元，其揮發性有機化合物減量及效益如下：

(1)產品不良率約可降低 5%，噴塗效率約可增加 10%。

(2)塗料用量約可減少約 7 公噸/年，約可省 560,000 元塗料費用，稀釋及清洗用有機溶劑用量約可減少每年 10%(約 4 公噸/年)，約 4,000 公斤×30 元/公斤=120,000 元；而有機溶劑總用量每年約可減少 10.5 公噸(塗料之有機溶劑含量約 70%)。

(3)用水量及用電量約可節省 10%，每年約可節省 11,2800 元/年之水電費用。

(4)工廠每年共可節省生產費用約 792,800 元。

案例 5：塗裝代工 E 廠

1.工廠簡介

E 廠位於台南縣，為一小型的專業塗裝代工業，主要塗裝產品為汽、機車之金屬配件，每年塗料用量約 10 公噸，塗裝製程已改由無揮發性有機化合物污染之粉體塗裝作業，並採用手動噴塗槍噴塗，其主要製程如圖 7-9 所示。

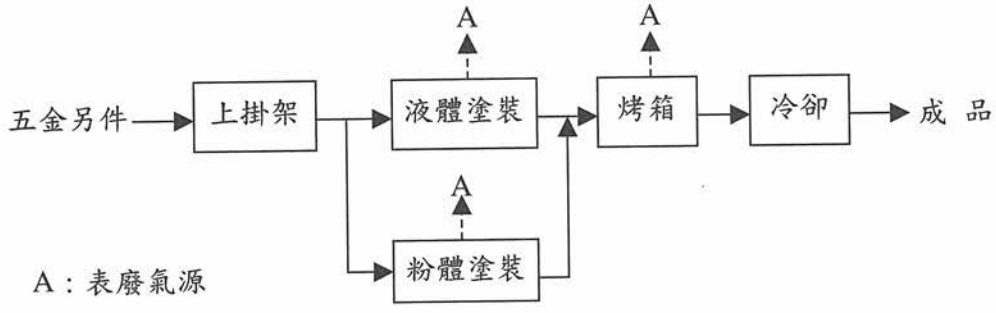


圖 7-9 E 廠製造流程圖

工廠粉體噴塗室所產生之逸散塗料，經二座旋風集塵機串聯處理後回收，依比例再加入品質要求較低之塗裝產品，廢氣再經由排放管道排放，相關之處理流程如下：

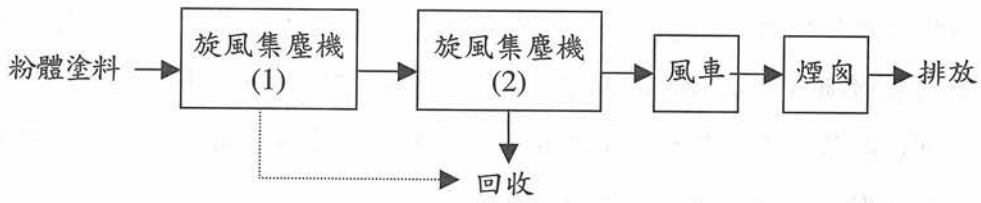


圖 7-10 E 廠廢氣處理流程圖

2.工廠面臨問題

工廠所面臨問題主要為提昇產品品質，降低不良率、減少塗料用量及降低清洗溶劑使用量等問題，分別說明如下：

(1)被塗物之兩內角隅部位塗膜過薄，經烘烤後形成皺紋面之效果幾乎無，而造成光亮平坦表面，因此常造成瑕疵品。

(2)黑色皺紋粉體塗料之成分結構問題。黑色粉體之粒徑及息角（angle of repose）會影響供料管內之粉體流動性、微粉荷電能及迂迴包覆效果（reverse effect/wrap around），而黑色粉體之粒徑及息角（angle of repose）會影響供料管內之粉體流動性、微粉荷電能及迂迴包覆效果（Reverse effect/Wrap around）。

(3)皺紋漆所用之樹脂顆粒表面稍帶粘性，在粉體塗料儲存時易造成結鬆塊現象。

(4)工廠所採用之靜電粉體塗裝之噴槍的粉體塗料離子化效果不佳，因此塗裝效率及效果不佳。

(5)塗裝現場儲存多量的粉體塗料，對取用雖較方便，但因為塗裝現場室溫較高，容易使粉體塗料結塊造成使用時需要搗碎過篩，才能使用。

(6)粉體塗料粒徑分布不一，品質不佳，會直接影響塗裝效率及效果。粉體塗料之粒徑過大與過小對靜電粉體塗裝之不良影響，主要容易造成逆電離現象使烘烤後塗膜易生桔皮，其原因如下：

A.粉體粒度細。

B.被塗物與噴槍之距離近。

C.施加於噴槍的電壓高。

D.由噴槍流向於被塗物的電流多。

E.若粉體粒度過粗時，塗著粉體層之附著強度減弱，經烘烤後所形成之塗膜平坦性不佳。

3.建議改善方案

(1)角隅部位，因被塗物的⊕極在受到靜電噴塗之帶－極粉體會造成角隅之磁場亂流，使粉體濺彈而附著量會減低，是故在噴塗作業宜改為預先朝角隅分別各噴一道，接續依工廠之正常噴塗作業續塗布，即可改善目前之膜厚不佳之缺陷。

(2)黑色粉體塗料之穩定角宜控制在 35～50 度，粒度宜控制在 100 μm 以上者在 2%以下，50 μm 者在 40%以上，10 μm 者在 10%以下。為改善結鬆塊現象之缺點，建議製造調配廠商，酌加微細體質顏料，減低樹脂成分間之聚集現象。以工廠所使用之粉體塗料，宜採用高電壓靜電發生器內藏之靜電噴槍，較容易使粉體粒子帶電荷。為有效控制被塗物之膜厚，需要將輸送粉體塗料之壓縮空氣之空氣濕度控制在水分 1.3g/Nm^3 以下，油分 0.1ppm 以下。

為消除粉體塗料結塊之缺陷，除每日需要量之粉體塗料，宜另儲存於陰涼之場所。

(3)購置一台小型振動式篩分試驗機，將每批之進料施予品質檢查，若不符合工廠之品質要求規格者，得予退回請求改善。另購置視比重測定器施予粉體塗料之品質檢驗，以利塗裝成品之均質化。實施原材料之進料管制得予減低不良率。

(4)就粉體塗料之塗裝技術而言，如尼龍、乙烯基樹脂等之微粉末中，將經加熱的被塗物滾轉塗布，然後使附著的樹脂熔融而形成塗膜的流動浸漬法，或以靜電塗裝法噴塗於被塗物表面，並加熱熔融所附著的樹脂粉末使展開造成連續的塗膜，又有將這些搭配的靜電流動浸漬法等。適用於靜電塗裝的粉體之粒徑是 100 μm 以下，多半使用 50 μm 以下者，使用樹脂為丙烯酸系樹脂、聚酯系樹酯、環氧系樹脂等交聯劑使用三聚氰胺（Melamine）、胺基甲酸酯（Urethane）、多鹽基酸醯胺（Polybasic acid amide）等。

4.減量及成本效益評估

改善建議事項投資成本約 5-8 萬元，其揮發性有機化合物減量及效益如下：

(1)產品不良率約可降低 8%，噴塗效率約可提高 10-15%。

(2)粉體塗料用量每年約可減少 8%用量(800 公斤)，約可省下 800 ×300 元/公斤 = 240,000 元/年之塗料費用，以 90%回收率而言，粉塵產生量每年約可減少 80 公斤(800 公斤/年 ×10% = 80 公斤/年)；LPG 約可節省 3%用量。

(3)噴塗效率約可提高 10-15%，約可減少 10%用電量，約 18,000 元/年

(4)清洗用有機溶劑用量每年約可減少 10%(100 加侖/年 ×10% = 10 加侖/年)，約 10 加侖。

(5)工廠每年共可節省生產費用約 273,000 元。

案例 6：雙面膠帶業 F 廠

1.工廠簡介

F 廠位於南部某工業區，主要產品以雙面膠帶為主，OPP 膠帶其次，雙面膠帶每個月產量計有 50 萬平方尺；目前共有 2 條主要的生產線，生產作業流程及空氣污染防制流程如圖 7-11 所示，烘箱使用天然氣當然料，目前廠內所使用的溶劑共計有 3 種，為甲苯、乙酸乙酯及 IPA，有時會因市售溶劑價位的上漲，而替用其他性質相近的溶劑，各生產線排放廢氣的特性如表 7-1 所示。

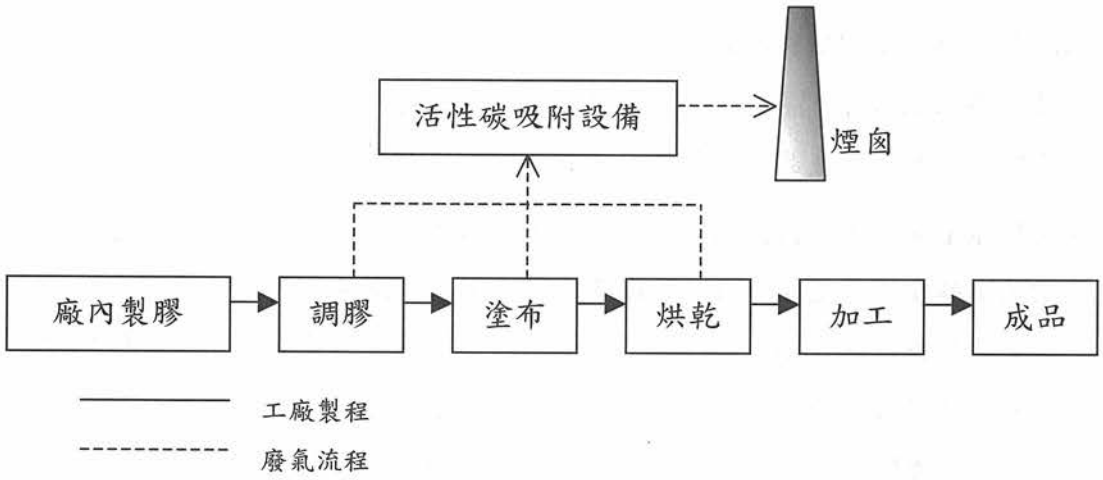


圖 7-11 F 廠作業流程及空氣污染防制流程圖

表 7-1 F 廠生產線排放廢氣的特性

生產線編號	一號機	二號機
廢氣量(NCMM)	116	100
濃度(ppm@THC)	300~600	300~600
排放溫度(℃)	150	150

2.工廠所面臨問題

(1)廢氣處理設施的效果不佳，活性碳吸附床適用於常溫下使用，若廢氣具有高相對濕度（大於 50%），則必需先進行除濕；若廢氣溫度超過 40℃時，最好先加以冷卻，因吸附效率在溫度大於 40℃時會明顯降低，工廠廢氣出口約為 150℃，經部分熱損失，進入活性碳吸附設備時，溫度大約為 70～80℃，明顯可知吸附效果必定不佳，又活性碳床出口並無儀器偵測濃度變化情形，若吸附貫穿時也無從得知，更換時間只能依靠長期累積的經驗，若製程產量改變後則無法確實掌握。

(2)烘乾製程（烘箱）每個月使用的燃料費用太高，約 10 萬元（以天然氣單價 NT 14 元/Nm^3 計算）。

3.建議改善方案

(1)因 F 廠所排放的有機溶劑廢氣屬混合溶劑，若使用溶劑回收設備則有其困難性，同時為降低燃料費，建議將活性碳吸附床更換成蓄熱式廢氣焚化爐（RTO），如此可兼顧兩者並達到整體性的效益。

(2)建議將 RTO 搭配熱回收熱媒油交換器，利用有機廢氣的溶劑燃燒加熱塗布機的熱風，除可達空污防止的環保需求外，進一步更可達熱源回收製程利用之功能，其 RTO 流程請參考圖 6-6 所示，一般蓄熱式焚化系統至少包括二個蓄熱床、進氣控制設備、加熱及溫度控制設備。蓄熱床內填充石質或陶瓷蓄熱材料，欲處理氣體先進入一蓄熱床(A 床)預熱至一定溫度以反應去除其中之 VOCs，反應後高溫氣體通過另一蓄熱床(B 床)時，氣體熱能將傳入原已冷卻之蓄熱材，即高溫氣體之顯熱已被儲存，氣體則以較低的溫度排放。待一定時間後，欲處理氣體則導入該高溫床(B 床)預熱，反應後高溫氣體能量則儲存於 A 床，完成一操作循環。

4.減量及成本效益評估

改善建議的初設費用約為新台幣 700 萬元(2 條生產線)，包含 RTO 本體、控制系統及熱煤油交換器系統，但不包含天然氣管路，處理有機廢氣的效益如下：

(1)煙囪的排放濃度可達 30ppm@THC，可避免環保罰單。

(2)每年可節省燃料費約 840,000 萬元。

案例 7：OPP 膠帶業 G 廠

1.工廠簡介

G 廠位於北部，主要產品以 OPP 膠帶為主，為國內名大廠，每個月產量計有 5,000 萬平方尺，生產作業流程及空氣污染防制流程圖如圖 7-12 所示，廢氣量約為 550NCMM，製程排氣濃度為 1,000~2,500ppm，廠內所使用的溶劑只有甲苯一種，屬於單一溶劑。

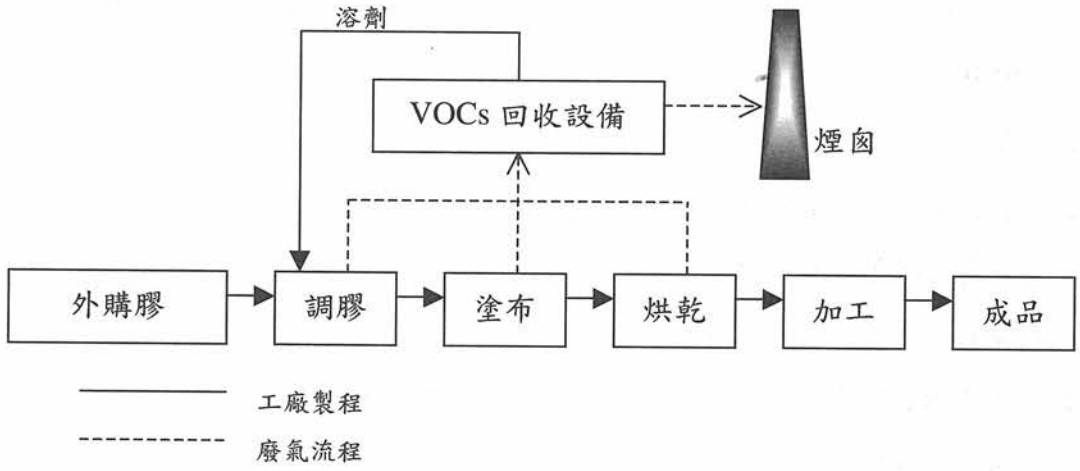


圖 7-12 G 廠生產流程及空氣污染防制流程圖

2.工廠所面臨問題

(1)操作成本高，希望節省成本支出。

(2)符合未來環保法規要求。

3.建議改善方案

因工廠使用單一溶劑，故建議可做溶劑回收，回收的方式可採用活性碳吸脫附的方式，利用活性碳的吸附特性將溶劑濃縮至一定濃度後再利用蒸氣進行脫附，收集的有機廢氣需先降溫至 40℃以下，利用過濾器將較大顆粒的雜質先行去除以免阻塞活性碳而影響吸脫附效果，脫附時係利用蒸汽將溶劑從活性碳中釋出，經冷凝器收集之，回收流程如圖 7-13 所示。

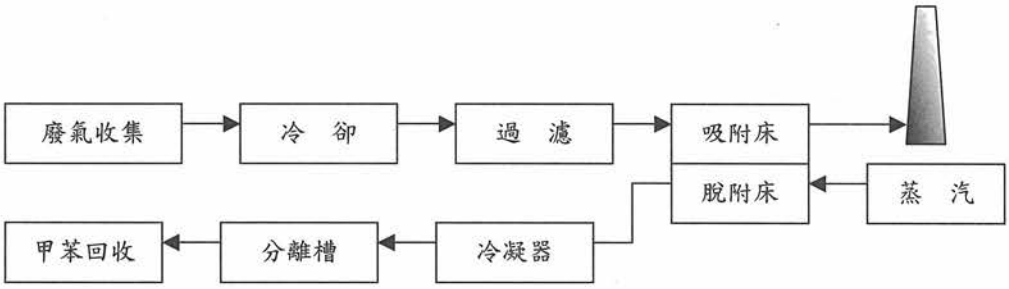


圖 7-13 G 廠甲苯回收流程圖

4.減量及成本效益評估

改善建議的初設費用約為新台幣 2,000 萬元，包含活性碳本體（三槽式，2 槽吸附，1 槽脫附）、控制系統（含濃度偵測儀）、空壓系統及冷卻水塔等，但不包含鍋爐系統及燃油儲槽，回收有機廢氣的效益如下：

(1)煙囪的排放濃度可達標準值，可避免環保罰單。

(2)每年可因回收甲苯而創造 550 萬元的利潤（以甲苯單價 NT 20 元/kg 估算），約 4～5 年即可回收投資於設備的金額。

案例 8：半導體封裝 H 廠

1.工廠簡介

H 廠位於南部某加工出口區，主要生產覆晶基板(BGA)及導線架封裝作業，係下游封裝業，主要係將晶粒黏著在導線架上，再依各種不同的應用封裝成燈泡型、數字顯示型、點矩陣型、表面黏著型（SMD）或集束型等成品，為國內知名半導體集團大廠。

H 廠主要以蓄熱式焚化爐(RTO)處理 VOCs，共計有 4 套設備，但非同時操作，每部之設計風量為 100CMM，排放濃度約 15ppm，操作溫度約 600℃。

2.工廠面臨問題

(1)希望操作溫度是否合理

(2)希望對操作成本降低以及蓄熱材更換問題有所瞭解。

3.建議改善方案

(1)操作問題建議

A.RTO 熱回收效率定義如下：

$$\eta_R = \frac{Tcomb - Tout}{Tcomb - Tin} \times 100\%$$

T_{comb}：燃燒室溫度：600℃　T_{out}：排氣溫度：75℃

T_{in}：廢氣入口溫度：32℃

以業者所提供之現場操作溫度，RTO 之熱回收效率約為：

$$\eta_R = \frac{600 - 75}{600 - 32} \times 100\% = 92\%$$ ，效率相當高。

B. VOC 去除效率如下：

$$\eta_{DRE} = \frac{Cin - Cout}{Cin} \times 100\%$$，RTO 之去除效率約為：

$$\eta_{DRE} = \frac{150 - 15}{150} \times 100\% = 90\%$$ ，效率合理。

C_{in}：廢氣入口濃度：150ppm　C_{out}：廢氣出口濃度：17ppm

C.因此 RTO 系統之操作尚屬合理，且一般 RTO 處理 VOCs 之破壞溫度，都在 750℃以上，因此以現況若要降低操作溫度、降低操作費用，則需同時考量法規符合度。

(2)操作成本

A.操作費用之控制：一般焚化系統之操作費用包括：

(A)人員費用：操作、維護、調整、歲修、改善等

(B)電力費用：風車、儀控系統及其他動力元件

(C)備品費用：燃燒器、風車備品、蓄熱介質

B.焚化爐所需之操作費用通常佔年度操作費用 40-60% 或者更高，因此耗費相當大，在符合環保法令的前提下，可從下列方向思考，降低焚化爐操作費用：

(A)降低操作溫度改變：但需考量符合 90% 去除效率，或＜0.6kg/hr 排放量。

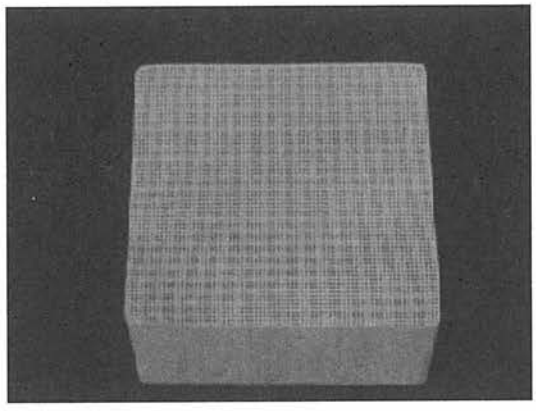
(B)採用瓦斯為燃料；但需更改設備。國內 2003 年能源結構比例如下：

項目	電	瓦斯	LPG	柴油	重油
費用(萬元/年)	415	235	259	286	184
比例	2.26	1.28	1.41	1.56	1

註：700CMM 轉輪焚化

(C)風車變頻器之安裝：利用變頻器，調整系統至適當之風量、壓損及所需馬力，可以避免能源之浪費。

(D)蓄熱介質改變：業者採礫石介質進行蓄熱，日後更換時可改變蓄熱介質為蜂巢型或馬鞍型(如圖 7-14)，馬鞍型陶瓷介質壓損約 554mmAq、蜂巢型陶瓷介質壓損約 250mmAq，降低操作壓損可有效節省操作所需電力費用。



蜂巢型

馬鞍型

資料來源：能碁實業網站資料圖

圖 7-14 不同型態蓄熱陶瓷材料圖

案例 9：半導體 LED 製造 I 廠

1.工廠簡介

I 廠位於新竹某科技園區，主要生產高亮度發光二極體(Light Emitting Diode，LED)，元件具有兩個電極端子，在端子間施加電壓，通入極小的電流便可發光，高亮度 LED 用途廣泛，具有取代現有照明光源的特性。

2.工廠面臨問題

(1)希望瞭解沸石轉輪濃縮焚化系統之驗收重點及效率要求。

(2)希望瞭解系統操作成本、操作注意重點以及可能遇到問題及解決方法。

3.建議改善方案

(1)系統驗收注意事項：

A. RTO 熱回收效率定義如下：

$$\eta_R = \frac{Tcomb - Tout}{Tcomb - Tin} \times 100\%$$

T_{comb}：燃燒室溫度　T_{out}：排氣溫度　T_{in}：廢氣入口溫度

需檢驗熱回收效率及消耗燃料量是否依規劃書所承諾。

B.VOC 去除效率如下：

$$\eta_{DRE} = \frac{Cin - Cout}{Cin} \times 100\%$$

C_{in}：廢氣入口濃度　C_{out}：廢氣出口濃度

其中，C_{in}，C_{out} 單位為 kg/hr，可依上式確認處理效率是>90%或排放量<0.6kg/hr。

C.請確認 RTO 在異常高溫之保護措施，以防蓄熱介質因異常熱應力而破裂，或轉輪因脫附溫度過高而受損。

D.額外準備一套陶瓷介質，以防日後介質因燃燒堵塞時(如 SiO_2)，可迅速加以更換。

E.操作維護訓練時，確實瞭解 RTO 之操作順序及要求供應商提供完整之操作維護手冊(開機、關機正常操作及異常處理程序)。

F.注意風門及各風管銜接時之氣密，以防洩漏造成臭味逸散。

(2)最佳化操作參數之設定：沸石吸附濃縮焚化系統可藉各項運轉參數調整，可以有效提昇運轉效能；但需注意各項運轉參數為相互相依的函數，各項參數需平衡調整方能使系統達到最佳化運轉，然而各項操作參數之調整需要業者以實際之經驗，配合製造商相關參數之提供將系統調整至最佳化狀態。

(3)由於處理設施為新設設備，因此建議未來需注意幾個重點：

A.操作費用之控制：一般轉輪系統之操作費用包括：

(A)人員費用：操作、維護、調整、歲修、改善等

(B)燃料費用：瓦斯、LPG、柴油、重油

(C)電力費用：風車、儀控系統及其他動力元件

(D)備品費用：軸封(seal)、轉輪、前過濾器、燃燒器

B.因在商業實際應用上，新型之疏水性沸石具有吸附臭味或 VOCs 且不易吸水之特性，因此部分廠商發展出水洗方式來清洗轉輪，避免 VOCs 殘留累積於轉輪上。因工廠轉輪亦採水洗式，因此需將水費及烘乾電費一並評估，依照工業局 VOCs 廢氣處理技術講習會資料，以水洗方式操作費用約 70 萬元/年，熱封脫附操作費用約 3.5 萬元/年。

C.爐之燃料費用通常佔年度操作費用 4-6 成，因此耗費相當大，在符合環保法令的前提下，可從下列兩思考方向，降低焚化爐燃料費用：

(A)降低操作溫度：可由 760℃降至 700℃，但需符合 90% 去除效率，或＜0.6kg/hr 排放量。

(B)採用瓦斯為燃料

(C)濃縮轉輪倍率提昇：在 700CMM 風量下，將轉輪倍數由 8 倍調整至 12 倍，約可節省 30 萬/年操作費用。

(D)直燃式焚化改蓄熱式：在 700CMM 風量下(廢氣濃縮 10 倍)，可節省 30-60 % 燃料操作費用；以目前國內 RTO 相關設計製造技術已相當成成熟，初設費用與直燃式焚化爐相當約 1.1：1；但需考量蓄熱載體之選擇(蜂巢式較佳，壓損小)及堵塞及破壞問題。

(E)直燃式焚化改觸媒式：在 700CMM 風量下(廢氣濃縮 10 倍)，可節省 5-10 % 燃料操作費用；但需考量觸媒中毒及載體堵塞問題。

(F)風車變頻器之安裝：利用變頻器，調整系統至適當之風量、壓損及所需馬力，可以避免能源之浪費。

(4)濃縮焚化系統運轉中，造成處理效率降低之常見因素及建議處理方式如下：

A.沸石轉輪漸趨飽和

(A)建議處理方式：a.熱風脫附、b.水洗。

(B)水洗之建議方式如下：

a.以較佳水質作為水洗來源。

b.利用噴嘴形成高壓霧狀水滴進行清洗。

c.以系統冷卻端之乾淨空氣作為載流。

d.水洗至污水顏色變淡，與來源水顏色接近為止。

B.V-Zone Seal 破損洩漏

(A)檢查方式：由脫附後之溫度判定。

(B)處理方式：更換 V-Zone Seal。

(C)Seal 更換後間隙檢查方法：可以膠卡(如電話卡)檢查 Seal 更換後之密封程度。

C.轉輪 Circle Seal 破損洩漏

(A)檢查方法：可開啟通道門檢查判斷。

(B)處理方式：更換 Seal。

D.脫附溫度無法達到設定值

(A)可能原因

a.熱交換器之交換效率降低。

b.二次換熱器出口控制閥故障。

(B)處理方式

a.換熱器 Tube 定期清潔。

b.控制閥定期保養。

E.轉輪悶燃現象

(A)產生原因：半導體廢氣因含高沸點物質(如 MEA、DMSO、NMP)，一般脫附溫度 180-200℃容易造成脫附不易，形成蓄積聚合佔據沸石吸附位置；反之提高脫附溫度，容易因控制不當使系統當機，氣密材易老化及沸石轉輪極易產生悶燒，造成結構損壞。

(B)處理方式：

a.建議以鈍氣(如氮氣)噴灑，以作為系統異常停機時，預防悶燃現象發生。

b.輔以灑水噴霧裝置，作為預防悶燃現象持續進行方式。

F.高沸點物質不易脫附

(A)提高脫附之熱容量：提高脫附再生溫度、提高脫附再生風量。

(B)設置前端高沸點 VOCs 物質去除設備：a.Local Condenser、b.Pre-Filter、c.De-Mister；先將高沸點 VOCs 物質預作處理，使其不進入廢石轉輪焚化系統。

案例 10：光電業 J 廠

1.工廠簡介

J 廠主要產品為液晶顯示器半成品，每月產量約 4,600,000 片，其製程排放廢氣屬一般光電業特性，廢氣主要含異丙醇、丙酮、PGME、PGMEA 等，每年溶劑用量約 9 公噸，因揮發性有機物年用量大於 1,700 公斤，需符合未來光電製造業空氣污染管制及排放標準(目前為草案)。

另外，業者係將製程所有含 VOCs 之廢氣均匯集處理，廢氣中亦含高沸點之去光阻劑。目前是以一座 3500mm(L)×1800mm(W)×1800mm(H)之固定床活性碳處理設備，碳槽內放置三層 600mm×600mm×50mm 之活性碳纖維共 27 片(分三層)進行 VOCs 之處理。

2.工廠面臨問題

(1)原系統之設計風量為 195CMM，但考量到處理設備之風量抽引會影響製程內部之壓力變化，因此將製程排氣與 VOCs 處理設備之接管採非完全密封方式，因此於廢氣抽引時會抽取到外氣，而使實際抽氣風量增加至 320CMM 左右。業者希望瞭解降風量之可行性及方法。

(2)目前工廠活性碳槽之排氣風車規格為 30Hp，操作風量 320CMM，靜壓 180mmAq。希望瞭解活性碳之飽和期限及增加使用週期之方法，例如增加第二層活性碳之可行性。

3.改善建議方案

(1)根據業者現場狀況推測，風量增加之原因有二，一為風車太大，二為風門調整未達最佳狀況，因此建議改善如下：

A.降低風量：方法包括：(A)調整風門、(B)改善製程排氣與風門連接方式，減少外氣進入。

(A)調整風門(如圖 7-15 所示)：

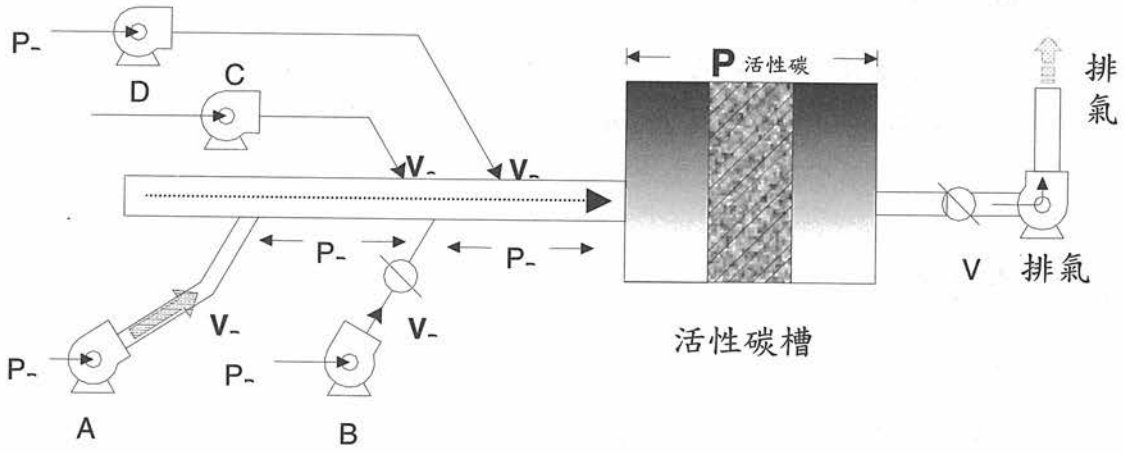


圖 7-15 系統風門調整示意圖

以離 VOCs 處理設備(活性碳槽)最遠端(或壓力控制需要最低點)為壓力控制之基礎點，將該管線之風門全開，調整活性碳槽後面之排氣風車，至該點需要之靜壓後，再調整其他風門之開度，即可降低風量。唯調整前必須確認最遠端之靜壓值，再根據風車之性能曲線確認在該壓力下運轉時，風量略大於或接近 195CMM。如果風量低於 195CMM，則可增加控制點之靜壓，使風量恰等於 195CMM。唯此種調整需將活性碳槽後端風車之控制改為變頻控制。

假設最遠端壓力控制基礎點為 A 點，其壓力需求為 P_A(負值)，查對 A 風車去除 P_A 之壓力負荷後，殘餘之壓力值(假設為 P_A')，則活性碳槽後端排氣風車之壓力控制應為$\triangle P = P_A' + P_1 + P_2 + P$，可進一步查出活性碳槽對 $\triangle P$ 排氣時之風車風量。

a.若風量≒195 CMM 則可。

b.若風量＞195 CMM，顯示購買風車的靜壓值與風量不符合需求，需調整 V 風門之開度(關小)使靜壓提昇。

c.若風量＜195 CMM，則需提高風車運轉的靜壓，使風量恰等於 195 CMM。

(B)改善製程排氣與風門連接的方式，盡量減少外氣之進入：改善的方式如圖 7-16 所示。

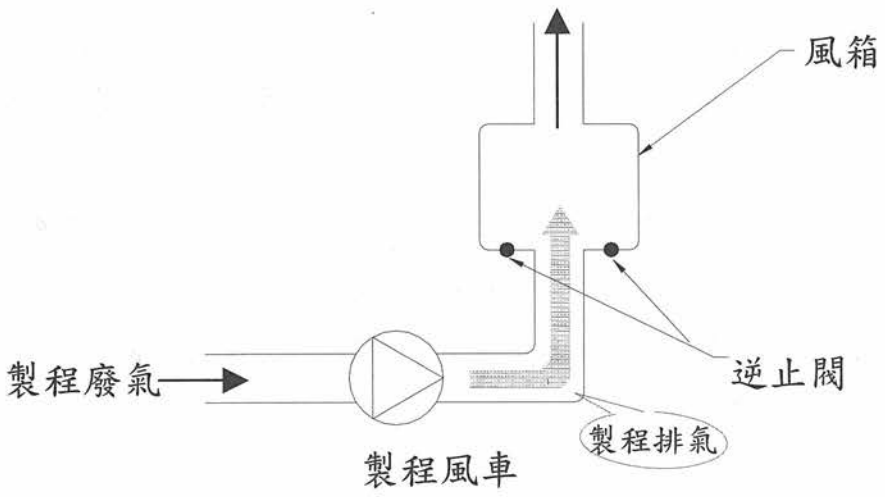


圖 7-16 製程排氣與風門連接的方式示意圖

自製程排氣出口處接一風箱，風箱底部以兩個逆止閥控制，當製程排氣量大，超出廢氣之排氣風車時(活性碳槽後端風車)，可經由逆止閥排出，如此即使活性碳槽當機時仍可確保其安全性。

(2)進一步確認風車之大小或是改以變頻(Inverter)控制，減少不必要之外氣進入處理系統。

(3)活性碳之壽命可依添加之量來計算，目前所使用者為纖維碳，且僅有 27 片，如以入口濃度 50 ppm，處理效率以達 0.6 kg/hr 以下為基礎，則推估碳纖維之壽命約 3~5 天左右，活性碳的使用時間估算及業者況有效的改善方式如下：

A.活性碳的使用時間估算方式如下。

使用時間(hr)＝〔活性碳量(kg)×吸附能力(kg/kgAC)〕÷廢氣中每小時有機溶劑之含量(kg/hr)

其中對於廢氣中 VOCs 含量之估算包括：

a.由分析濃度估算

(a)實際濃度估算 W_{VOC}(kg/hr)＝〔風量(CHM)×濃度(ppm)×廢氣成分之平均分子量〕÷〔0.082×(273＋溫度℃)〕

(b)THC 估算值 W_{VOC}(kg/hr)＝〔風量(CHM)×濃度(ppm)/碳數×廢氣成分之平均分子量〕÷〔0.082×(273＋溫度℃)〕

b.由使用量估算

(a)W_{VOC}(kg/hr)＝每月使用量(kg/M)〕÷〔每月操作時間(hr/day)×每月操

作天數(day/M)〕

B.工廠可考慮改以粒狀碳之濾片來處理，如考慮壓損問題，可將各碳片做成平行排列，以增加其與 VOCs 之接觸面積。

C.可將碳片數目增加至 6 層(6 層×9 片/層)，總計 54 片，如此可使活性碳使用壽命延長，但壓損約 20~30 mmH_2O，需納入考量。

D.另外，亦可修改碳槽內部構造為兩層，風由中間進入，此法不會增加原來之風壓損，修改方式如圖 7-17 所示。

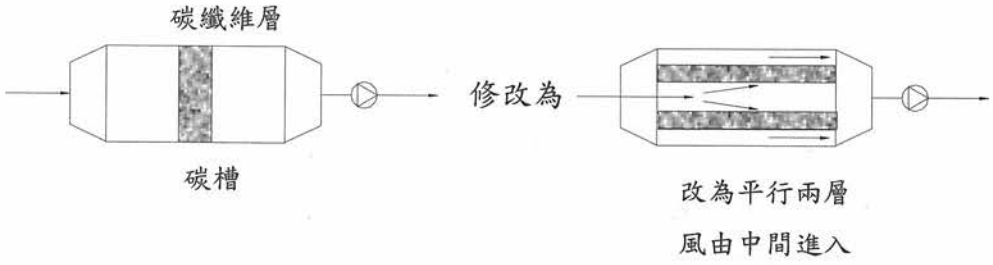


圖 7-17 活性碳床修改示意圖

案例 11：TFT-LCD 光電業 K 廠

1.工廠簡介

K 廠為一國際知名大廠，主要產品屬於 TFT-LCD。TFT-LCD 製造過程中，玻璃基板需經多次「清洗→薄膜→光阻塗佈→曝光→顯影→蝕刻→光阻剝離→洗淨」步驟，始完成陣列基板製造，所得之陣列基板再與彩色濾光片結合，進行後段面板組裝、裝填液晶、測試等步驟後，方完成 TFT-LCD 成品；TFT-LCD 各製程中所產生之廢氣源與 STN/TN-LCD 類似，但排放量較大。

TFT-LCD 製程所排放之污染物主要包括 VOCs、無機酸氣及毒性或爆炸性氣體，本案例是以 VOCs 為主要改善對象，廢氣特性屬低濃度、高風量，與半導體業相似；K 廠主要產生 VOCs 之污染源為黃光區及機台清洗等製程，而主要的 VOCs 種類為異丙醇(IPA)、丙酮(acetone)、丙二醇單甲基醚(PGME)、丙二醇單甲基醚酯(PGMEA)四種有機溶劑，也是光電業最常用的主要溶劑之一，處理前之廢氣濃度約 350-450ppm。

K 廠之 VOCs 主要污染防制設備為沸石濃縮轉輪處理系統搭配焚化爐（圖 7-18)，原始設計風量為 600SCMM，系統運轉已 5 年，原設備規劃之效率為第 1 年

>95% ，而至第 5 年仍>90% ，剛設置完成時其去除效率均達 95%以上，但經運轉三年後至改善前之系統效率約 70-80% 間，效率明顯低於期望值(90%)，而另一套備用系統為固定床活性碳設備。

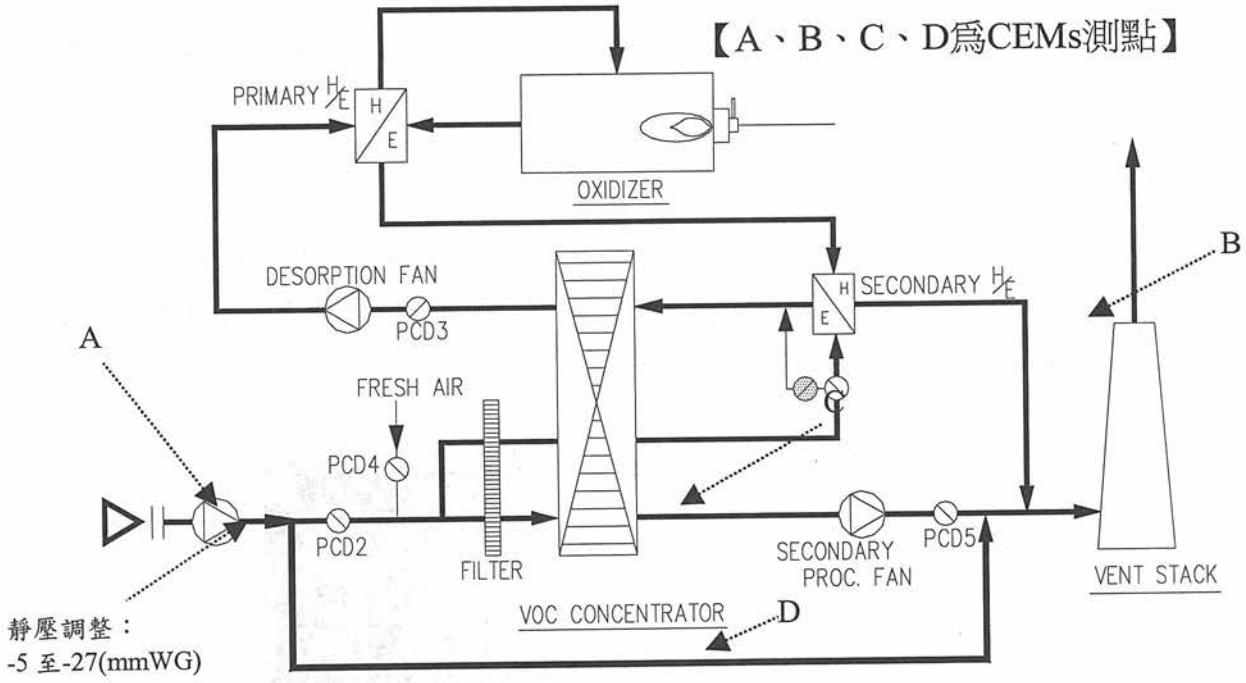


圖 7-18 K 廠 VOCs 廢氣沸石濃縮轉輪處理系統圖

2.工廠面臨問題

K 廠業者主要面臨之問題及改善目標包括：

(1)沸石濃縮轉輪處理系統效率不佳(70% -80%)，希望改善目標為系統效率達 90% 以上。

(2)系統燃燒爐(Incinerator ； Oxidizer)之瓦斯耗用量過大，希望可以降低瓦斯耗用量，以節省操作成本。

3.問題診斷原因

(1)業者於 TFT-LCD 製造過程中產生大量有機粉塵(Organic Powders) ，呈黃色之粉末物，此黃色粉末係近來 TFT-LCD 業 VOCs 排放管道共同之現象，但均不知此之來源與特性及是否會影響沸石之吸附特性，雖然這些粉末大部份在進入沸石濃縮輪箱前端由濾網(pre-filter)過濾下來，但仍有部份穿過前濾網而進入沸石濃縮轉輪管道(channels)內，因此需進一步瞭解粉末是否影響沸石之吸附效率。

(2)由於工廠系統已運轉超過 5 年，接近廠商當初承諾保證期限，因此對沸石轉輪本身之物理特性及對各種 VOCs 之處理效率是否有老化現象需進一步瞭解。

(3)業者 VOCs 處理系統之設計包括經沸石轉輪之主要廢氣管道及未經沸石轉輪緊急事故之旁通管道，若有未經處理之廢氣洩漏通過，將直接影響廢氣之排放濃度，因此需進一步確認製程廢氣於正常操作下，皆經主要廢氣管道由防制設備處理後排放。

4.改善措施

(1)進行對(A)製程產生之黃色粉末(如圖 7-19)、(B)沸石濃縮轉輪處理系統效能、(C)沸石吸附劑表面特性與堵塞物成分進行檢測，以確實瞭解及釐清系統效率降低之問題所在。

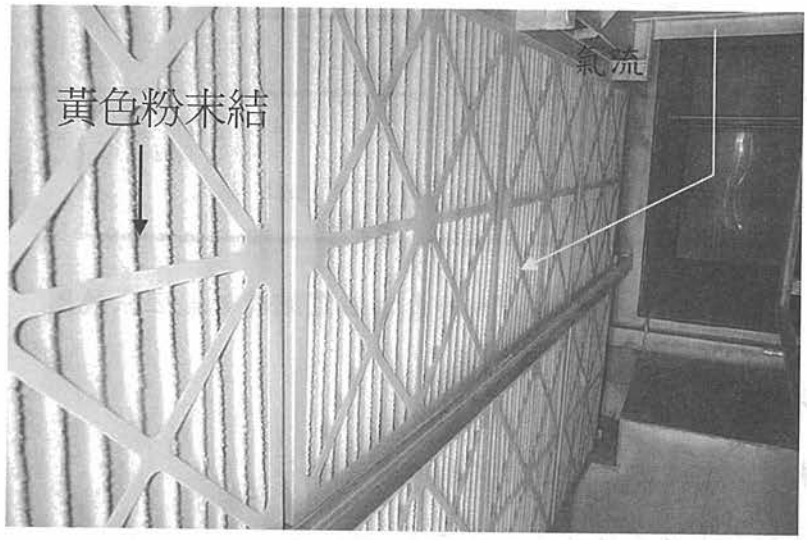


圖 7-19 K 廠 VOCs 濃縮轉輪焚化系統之前過濾器

(2)廢氣處理系統效能分析：目的為瞭解沸石濃縮轉輪對各種 VOCs 污染物吸附與脫附能力，判斷現有操作條件是否足以有效吸脫附各種 VOCs 污染物，廢氣則以 GC-MS 分析包括(A)沸石轉輪入口及出口之濃度。

(3)沸石吸附劑表面特性與堵塞物成分分析：分析樣品是以縱深鑽取沸石濃縮轉輪上之沸石吸附劑，將新、舊沸石吸附劑(分前、中、後三段)，分析各區段之表面特性、熱重脫附損失分析(TGA)、GC-MS 分析、ICP-MS 分析，沸石轉輪取樣表面及樣品如圖 7-20 所示。

(4)建議業者分別對系統中 4 個點之真實濃度進行檢測，以確知系統廢氣流向問題，包括轉輪入口處、轉輪出口處、二次側風車(非偶合旁通風管)及煙囪排放口等(圖

6-17 之 A、B、C、D)，業者擬以 THC 之自動連續監測方式進行廢氣流向確認工作。

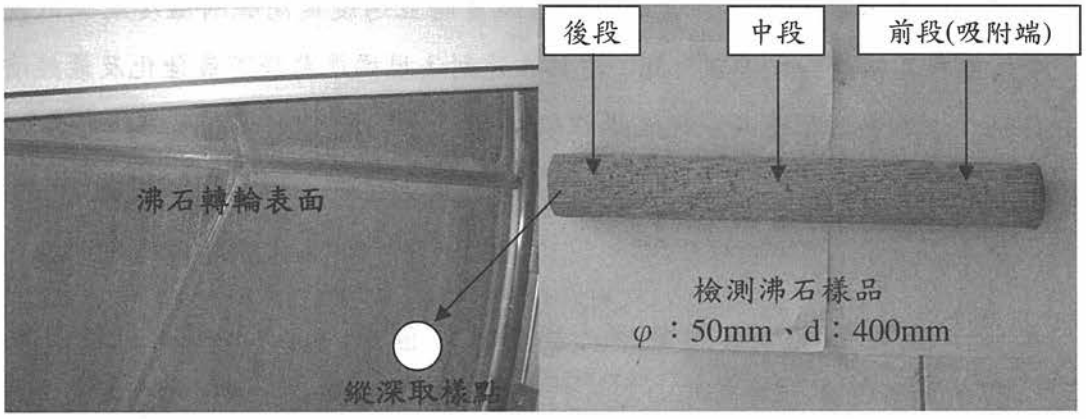


圖 7-20 K 廠 VOCs 沸石轉輪取樣表面(左)及樣品圖(右)

5.檢測結果分析

(1)K 廠所產生之 VOCs 製程廢氣除了去光阻機台之去光阻剝璃槽廢氣已另外分流至冷凝回收，其他則以黃光區及清洗機台為主，而三甲基矽醇(HMDS 衍生物)為光阻劑之加強粘著劑(adhensive)HMDS 衍生物，高沸點物質已分流處理，VOCs 廢氣並無其他特殊成分。

(2)黃色粉末判定應為光阻劑 polymer 成分所產生，雖會穿透前過濾器，附著於沸石轉輪表面，但由新、舊沸石主要成份分析結果得知，舊有沸石在主要成分上並無明顯劇烈之變化，因此判斷沸石結構組成尚未受明顯影響、且由效率檢測佐證，並未影響轉輪本身應有之效率。

(3)整體處理系統於改善前僅約 60% -80% 之處理效率，但濃縮轉輪之處理效率卻＞95% ，再配合非偶合平衡風管之 VOCs 洩漏濃度檢測發現濃度相當高，因此研判此系統於非偶合平衡風管有未經處理之高濃度 VOCs 旁通洩漏，而影響整體處理系統效率。

6.具體改善方案建議

(1)系統效率改善

從系統非偶合平衡風管之靜壓控制調整，加大二次側風車之控制靜壓值設定，直至非偶合平衡風管微量逆(回)流為止，避免未處理的 VOCs 旁通洩漏至排放煙囪，影響整體系統之效率。

(2) 降低操作成本(節省瓦斯用量)

工廠可視系統操作情形調整脫附溫度、調整脫附風車頻率(加裝變頻器)、轉輪濃縮倍比及轉輪轉速，當調小脫附風量時並適度提高脫附溫度及調低轉輪轉數，並將其相關操作參數紀錄，建立在達到法規標準前提下最佳化及最經濟之操作條件，作為未來不同狀況之操作依據。

7.改善成效檢討

(1)系統效率改善成效

A.經工廠調整該二次側風車之控制靜壓值由 – 5mmWG 逐漸調降到－27.0mmWG 後(調整點參考圖 6-17)，可達到微量逆流效果，避免未處理廢氣藉由平衡風管彙流至主要迴路，影響實際處理效率之判讀，此時全系統(VOCs 處理設備)之 VOCs 去除效率上升至 92%以上(符合目標 90%以上)。

B.業者於系統改善前、後進行整體效率之檢測，由結果發現 VOCs 處理系統效率由改善前之 70% 提昇至改善後之 95% 以上，成功達到預期的目標。

(2)降低操作成本(瓦斯用量)改善成效

A.業者分別調整脫附溫度、脫附風車頻率(加裝變頻器)及沸石轉輪轉速等參數，並配合自動連續監測系統，獲得最佳操作參數及瓦斯用量如下：

(A)由轉輪脫附溫度：190℃~195℃時，瓦斯用量最省，因此應為較佳的脫附溫度。

(B)風車頻率調整為 53Hz 時，瓦斯用量最低，濃縮倍比為 8.4 倍，應為較佳之操作點。

(C)轉輪轉速在 3.44RPH 時，無論轉輪處理效率及系統總處理效率都最佳，因此應為較佳之操作點。

工廠在系統條整至最佳操作條件後，瓦斯用量明顯降低，於系統最佳化調整後，與用量最高月份比較(736 m^3/day)，大約可以節省 20% 之瓦斯用量與燃料費用。

參考文獻

參 考 文 獻

1. 周明發，塗料、塗裝用語，塗料與塗裝技術，1998 年。
2. 行政院環境保護署，固定污染源揮發性有機空氣污染物管制策略規劃與減量措施推動計畫，2003 年。
3. 行政院環保署，台灣地區排放量資料庫 TEDS5.1。
4. 經濟部工業局，工業減廢技術手冊-印刷工業，1996 年。
5. 工研院化工所，「2001 黏性膠帶產業年度報告」，經濟部，2001 年。
6. 劉希平、李曜全，行政院環保署，南高屏地區空氣污染總量管制規劃- C5 固定源排放 VOC 控制策略研擬及減量效益分析，2000 年。
7. 臺北縣政府環境保護局，固定污染源揮發性有機物減量執行計畫，2002 年。
8. 臺北市政府環境保護局，固定污染源許可及稽查管制計畫，2004 年。
9. 行政院環境保護署，工廠空氣污染防制控制輔導與示範執行計畫，2001 年。
10. 臺北市政府環境保護局，固定污染源許可稽查管制及空污費催補繳查核作業計畫期末報告，2003 年。
11. 行政院環保署，空氣污染物排放清冊更新管理及空氣品質折耗量推估計畫，EPA-91-FA11-03-A185，2002 年。
12. 表面塗裝空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，1993 年。
13. 行政院環境保護署，公告「固定污染源最佳可行控制技術」(91.10.30)。
14. 有機化合物排放空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，1994 年。
15. 行政院環保署，有害空氣污染物排放調查及管制規範研訂計畫，1996 年。
16. 郭俊良，塗料製造業揮發性有機化合物減量及逸散防制，塗料與塗裝技術，1995 年。
17. 鄭錦榮，塗料塗裝 25 年來的發展，塗料與塗裝技術，1996 年。
18. 施純榮，塗料產業概況，塗料與塗裝技術，1996 年。
19. 工業減廢技術手冊-塗料工業及塗裝工程，經濟部工業局，1996 年。
20. 化學工業年鑑，1998 年版。
21. 行政院環境保護署，固定污染源空氣污染相關管制法規彙編，1997 年。

22. 黃長澤，水性塗料特論，塗料與塗裝技術，1994 年。

23. 周明發，有關水性塗料點滴，塗料與塗裝技術，1996 年。

24. 黎孝芹，水性塗料特性和技術動向，塗料與塗裝技術，1996 年。

25. 蕭紹基，粉體塗料概況市場、應用及發展趨勢，塗料與塗裝技術，1997 年。

26. 陳文斌，塗料、塗裝缺陷問題與對策，徐氏出版社，1997 年。

27. 各種表面塗裝作業揮發性有機物減量技術調查評估計畫，行政院國家科學委員會，1998 年。

28. 蕭紹基，塗裝工業市場狀況，塗料與塗裝技術，1997 年。

29. 陳金文，粉體靜電塗裝實務—消除橘皮，塗料與塗裝技術，1996 年。

30. 陳彥豪，耐蝕及耐候性俱優的一次電著塗法，塗料與塗裝技術，1998 年。

31. 行政院環境保護署，工廠臭味及有機廢氣處理輔導計畫，1998 年。

32. 陳文斌，塗料、塗裝缺陷問題與對策，徐氏出版社，1997 年。

33. 表面塗裝業空氣污染防治設備操作規範，行政院環境保護署，1996 年。

34. 中鼎工程有限公司，揮發性有機物空氣污染管制及排放標準，1998 年。

35. 固定污染源揮發性有機物(VOC)收費可行性及衝擊評估計畫，行政院環境保護署，2001 年。

36. 經濟部工業局，半導體製程使用氣體的職業危害，1995 年。

37. 國科會新竹科學工業園區管理局，新竹科學園區半導體及光電製造業空氣污染防制設施績效提升輔導，新竹市，2001 年。

38. 行政院環保署，電子產業及特定行業空氣污染改善輔導示範推廣及管制標準研訂專案工作計畫，2001 年。

39. 新竹科學園區管理局，園區半導體製造業廢氣處理及排放調查研究， 2000 年。

40. 國科會新竹科學工業園區管理局，新竹科學園區半導體及光電製造業空氣污染防制設施績效提升輔導 II，新竹市，2002 年。

41. 大中華印藝網：http://www.cgan.com/advertise/gaahk/200402.htm。

42. 王守鴻，印藝第 4 期，2004 年。

43. 張豐堂、林育旨、白曛綾、白寶實“半導體產業 VOC_S 廢氣應用冷凝器控制之實例

探討"，第八屆海峽兩岸環境保護研討會，pp.1313-1319，2002 年。

44. 行政院環保署，工廠臭味及有機廢氣處理低污染控制技術開發、推廣及輔導專案工作計畫一期末報告，工業技術研究院化學工業研究所，2000 年。

45. Waterborne Bell Rings True for Toyota, Industrial Paint & Powder, 1995.

46. Ajay Gupta and David Crompton, Choosing the Right Adsorption Medium for VOC Control, Metal Finishing, November 1993.

47. W.F Van Biemen and J.R. Oldeburger, More Efficient Spraying Techniques, JOCCA No.8, 1993.

48. Ron, D. K. J. Coatings Technology, 1995, 67, 81.

49. Diagnault, C. M. Water Borne and Higher-Solids, and Powder Coatings Symposium, 1993, Feb. 452.

50. Frank, P., "Designing a Combination Electrodeposition/Powder Coating System," Metal Finishing, 1998, May, 23.

51. Charlotte Convention Center, "Powder Coating '97 Technical Program," Metal Finishing, 1997, Sep., 12.

52. Josef, H., "Powder Coatings," J. Coating Technology, 1997, 69, 91.

53. Ron, J., "Commentary on 'Determining Transfer Efficiency and VOC Emissions'," Metal Finishing, 1993, Jun, 79.

54. Ron, J., "Environmental Coating Problems," Metal Finishing, 1997, Apr, 73.

55. Jacobs, P. and Yu, P., "Two-Ciomponent Waterborne Polyurethane Coating," J. Coating Technology, 1993, 65, 45.

56. Duane, S. and David, P., "Novel Epoxy Resins for Container Waterborne Coatings with Improved Flexibility," J. Coatings – A Systematic Overview," J. Coating Technology, 1994, 66, 89.

57. 沈克鵬、徐樹剛、張昭君、楊慶熙，"生物濾床處理壓克力樹脂製程臭味氣體可行性評估"，第十六屆空氣污染防制技術研討會論文集，271-275，1999 年。

58. 圖 5.1.3-32 參考文獻：Chang et al., **2003**, "Adsorption and Desorption Characteristics of VOCs' on the Thermal Swing Honeycomb Zeolite Concentrator", *Journal of the Air &*

Waste *Management Association*, Vol. 53, pp. 1384-1390

59. 經濟部中小企業處，民國九十一年中小企業白皮書，2002 年

60. 經濟部統計處，中華民國台灣地區「工業生產統計月報」，2003 年

61. Geddis, R. R.; Chalfant, R. V.; Langel, W. A. "Top Down BACT Control Analysis for Electric Arc Furnaces" in Proceedings of the 87th Annual A&WMA Conference, 94-TA28.04, Cincinnati, Ohio, June 19-24, 1994.

62. U.S. EPA, *Handbook : Control Technologies for Hazardous Air Pollutants*. EPA/625/6-91/014, Cincinnati, OH, June 1991.

63. Ruddy, E. N.; Carroll, L. A. "Select the Best VOC Control Strategy" Chem. Eng. Prog., 89(7), 28~35, 1993,

64. Schwartz, R. J.; Pereira, C. J. "Summary of Options for the Control of Volatile Organic Compounds from the Chemical Process Industry" in Proceedings of the 87th Annual A&WMA Conference, 94-FA148.04, Cincinnati, Ohio, June 19-24, 1994.

65. AIChE Center for Waste Reduction Technologies, *Current and Potential Future Industrial Practices for Reducing and Controlling Volatile Organic Compounds* American Institute of Chemical Engineers, New York, NY, 1992.

66. Feng-Tang Chang etc. "Adsorption and Desorption Characteristics of Semiconductor VOCS on the Thermal Swing Honeycomb Zeolite Concentrator" J. Air & Waste Manage. Assoc. Vol. 53, Nov. 2003

67. Van Groenestijn, J. W.; Hesselink, P. G. M. "Biotechniques for Air Pollution Control" Biodegradation, 4, 283~301, 1993.

68. Kok, H. J. G. "Bioscrubbing of Air Contaminated with High Concentrations of Hydrocarbons" in *Biotechniques for Air Pollution Abatement and Odour Control Policies*, edited by Dragt, A. J. and van Ham, J., 77 ~82, Elsevier Sci. Pub., 1992.

69. Ottengraf, S. P. P.; van den Oever, A. H. C. "Kinetics of Organic Compound Removal from Waste Gases with a Biological Filter" Biotechnol. Bioeng. 25, 3089~3102, 1983.

70. Veir, J. K.; Schroeder, E. D.; Chang, D. P. Y.; Scow, K. M. "Interaction between Toluene and Dichloromethane Degrading Populations in a Compost Biofilter" in Proceedings of the 89th Annual A&WMA Conference, 96-WP87A.07, Nashville, Tennessee, June 23-28,

1996.

71. Deshusses, M. A.; Hamer, G. "The Removal of Volatile Ketone Mixtures from Air in Biofilters" Bioprocess Eng., 9, 141~146, 1993.

72. Ziminski, R. W.; Yavorsky, J. "Control of Hazardous Air Pollutants Using a Commercial Biofilter" in Proceedings of the 87th Annual A&WMA Conference, 94-WA74A.02, Cincinnati, Ohio, June 19-24, 1994.

73. Swanson, W. J.; Loehr, R. C. "Biofiltration: Fundamentals, Design and Operations Principles, and Applications" J. Environ. Eng., 123(6), 538~546, 1997.

74. Weckhuysen, B.; Vriens, L.; Verachtert, H. "The Effect of Nutrient Supplementation on the Biofiltration Removal of Butanal in Contaminated Air" Appl. Microbiol. Biotechnol., 39, 395~399, 1993.

75. Hirai, M.; Ohtake, M.; Shoda, M. "Removal Kinetics of Hydrogen Sulfide, Methanethiol and Dimethyl Sulfide by Peat Biofilters" J. Ferm. Bioeng., 70(5), 334~339, 1990.

76. Cho, K.-S.; Hirai, M.; Shoda, M. "Removal of Dimethyl Disulfide by the Peat Seeded with Night Soil Sludge" J. Ferm. Bioeng., 71(4), 289~291, 1991.

77. Bohn, H. L. "Biofilter Media" in Proceedings of the 89th Annual A&WMA Conference, 96-WP87A.01, Nashville, Tennessee, June 23-28, 1996.

78. Leson, G.; Winer, A. M. "Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology for VOC Emissions" J. Air Waste Manage. Assoc., 41(8), 1045~1054, 1991.

79. van Lith, C.; Leson, G.; Michelsen, R. "Evaluating Design Options for Biofilters" J. Air Waste Manage. Assoc., 47(1), 37~48,1997.

80. Thompson, D.; Sterne, L.; Bell, J.; Parker, W.; Lye, A. "Pilot Scale Investigation of Sustainable BTEX Removal with a Compost Biofilter" in Proceedings of the 89th Annual A&WMA Conference, 96-WP87A.02, Nashville, Tennessee, June 23-28, 1996.

81. van Lith, C.; David, S. L.; Marsh, R. "Design Criteria for Biofilters" Trans. Ind. Chem. Eng. 68, Part B,127~132, 1990(5).

82. Mildenberger, H. J.; van Lith, C. "Long Term Experiences with Large Enclosed Biofilter at Sewage Water Treatment Facility" in Proceedings of the 89th Annual A&WMA Conference, 96-RA87B.03, Nashville, Tennessee, June 23-28, 1996.

83. Morgenroth, E. Schroeder, E. D.; Chang, D. P. Y.; Scow, K. M. "Nutrient Limitation in a Compost Biofilter Degrading Hexane" J. Air Waste Manage. Assoc., 46(4), 300~308,1996.

84. Leson, G.; Winer, A. M. "Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology for VOC Emissions" J. Air Waste Manage. Assoc., 41(8), 1045~1054, 1991.

85. 林育旨、白曛綾、張豐堂、謝勝隆、王穎哲、何有忠，半導體及光電產業現行揮發性有機廢氣控制設備之選用評估，經濟部工業局，工業污染防制季刊 89 期，2004 年。

86. 周明顯，光電半導體 VOCs 處理成本分析及效益評估，經濟部工業局，揮發性廢氣減量處理技術講習會，2004 年。

附　錄

附錄一　VOCs 特性

附錄二　各種塗裝技術及機具常見問題及解決方法

附錄三　局部排氣裝置設備注意事項

附錄四　風管一般規格

附錄一　VOCs 特性

一、一般揮發性有機物成份之特性(1/2)

化合物	名稱	MIR	沸點(℃)	蒸氣壓(mmHg)
Methyl Glyoxal	甲基乙二醛	14.8	51	—
1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-二甲基苯	10.1	164.6	—
Propene	丙烯	9.4	-47.7	—
Isoprene	異戊間二烯	9.1	34.1	—
1,2,3-Trimethylbenzene	1,2,3-三甲基苯	8.9	176	—
1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-三甲基苯	8.8	168.9	—
m-Xylene	間二甲苯	8.2	138.8	6
Cyclopentene	環戊烯	7.7	44	—
Ethylene	乙烯	7.4	-104	40 atm
Formaldehyde	甲醛	7.2	-19.5	3,311
p-Xylene	對二甲苯	6.6	138.3	6.5
o-Xylene	鄰二甲苯	6.5	144	6
2-Methyl-2-Butene	2-甲基-2-丁烯	6.4	38.5	—
3-Methyl-1-Butene	3-甲基-1-丁烯	6.2	20.1	—
Cyclohexene	環乙烯	5.7	83	—
Acetaldehyde	乙醛	5.5	20	740
Isobutylene	異丁烯	5.3	-6.9	—
2-Methyl-1-Butene	2-甲基-1-丁烯	4.9	31.1	—
1-Hexene	1-己烯	4.4	63.5	—
β-Pinene	β-辰烯	4.4	164~169	—
Methylacethylene(Propyene)	丙炔	4.1	-23.1	3,800
1-Heptene	1-庚烯	3.5	93.3	—
α-Pinene	γ-辰烯	3.3	156~160	—
Methylcyclopentane	甲基環戊烷	2.8	72	—
Ethylbenzene	乙苯	2.7	136.1	7
n-Butyl Alcohol	正丁醇	2.7	118	6.5
Toluene	甲苯	2.7	110.6	22
Cyclopentane	環戊烷	2.4	49.3	—
Ethylcyclopentane	乙基環戊烷	2.3	103.5	—
n-Propyl Alcohol	正丙醇	2.3	97.2	—
1-Nonene	1-壬烯	2.2	149.9	—
Glyoxal	乙二醛	2.2	51	4.5
Styrene	苯乙烯	2.2	145.2	6.6
n-Propylbenzene	正丙基苯	2.1	160	—
Ethylcyclohexane	乙基環己烷	1.9	131.8	—
s-Butylbenzene	二級丁苯	1.9	170.7	—
Methylcyclohexane	甲基環己烷	1.8	100.8	—
2,3,4-Trimethylheptane	2,3,4-三甲基戊烷	1.6	113	—
2,5-Dimethylhexane	2,5-二甲乙烷	1.6	90	—
2,4-Dimethylhexane	2,4-二甲基乙烷	1.5	90	

一、一般揮發性有機物成份之特性(2/2)

化合物	名稱	MIR	沸點(℃)	蒸氣壓(mmHg)
2,4-Dimethylpentane	2,4-甲基戊烷	1.5	80.5	—
2-Methylpentane	2-甲基戊烷	1.5	60	—
3-Methyl Pentane	3-甲基戊烷	1.5	64	—
3-Methylhexane	3-甲基己烷	1.4	92	—
Iso Pentane	異戊烷	1.38	27.9	—
Ethyl Alcohol	乙醇	1.34	78	43.9
2,4-Dimethylheptane	2,4-二甲基戊烷	1.33	80.5	—
2,3-Dimethylpentane	2,3-甲基戊烷	1.31	80.5	—
2,3-DimethylHexane	2,3-二甲基己烷	1.31	90	—
Cyclohexane	環己烷	1.28	81	95
Iso-Butane	異丁烷	1.21	-11.7	—
4-Methylheptane	4-甲基庚烷	1.2	122.2	—
Phenol	酚	1.12	182	0.36
2-Methyl Hexane	2-甲基己烷	1.08	90	—
2,3-Dimethylbutane	2,3-二甲基丁烷	1.07	57.9	—
n-Pentane	正戊烷	1.04	36	500
n-Butane	正丁烷	1.02	-0.5	2.1 atm
3-Methylheptane	3-甲基庚烷	0.99	118.9	—
2,2,5-Trimethylhexane	2,2,5-三甲基戊烷	0.97	124	—
2-Methylheptane	2-甲基庚烷	0.96	99.2	—
2,2,4-Trimethylpentane	2,2,4 三甲基戊烷	0.93	113	—
2,2-Dimethylbutane	新己烷	0.82	49.7	—
Dimethyl Ether	甲醚	0.77	-24.5	—
3,3-Dimethylpentane	3,3-甲基戊烷	0.71	80.5	—
Methyl T-Butyl Ether	甲基 3 級丁基醚	0.62	55	—
Acetone	丙酮	0.56	56.2	180
Methyl Alcohol	甲醇	0.56	64.7	160
Iso-Propyl Alcohol	異丙醇	0.54	82	33
Acetylene	乙炔	0.5	-84	44.2 atm
Propane	丙烷	0.48	-42.1	8.42 atm
Benzene	苯	0.42	80	75
n-Undecane	正十一烷	0.42	195.6	—
tert-Butyl Alcohol	三級丁醇	0.42	83	31
n-Dodecane	正十二烷	0.38	213	—
n-Tridecane	正十三烷	0.35	225.5	—
Ethane	乙烷	0.25	-88.6	37.95 atm
Methane	甲烷	0.015	-162	—

註：蒸氣壓(vapor pressure)係於平衡狀態下之蒸氣所產生之壓力。

二、可燃性 VOCs 燃燒熱

項次	成分		分子式 Molecular Formular	分子量 Molecular Weight	燃燒熱 Com. Heat (Kcal/mol)
	中文	英文			
1	氫	Hydrogen	H_2	2.01	57.8
2	一氧化碳	Carbon monoxide	CO	28.01	67.6
3	氨	Ammonia	NH_3	17.03	76.2
4	甲烷	Methane	CH_4	16.04	191.7
5	乙烷	Ethane	C_2H_6	30.07	336.7
6	丙烷	Propane	C_3H_8	44.10	484.1
7	己烷	Hexan	C_6H_{14}	86.18	915.9
8	乙烯	Ethylene	C_2H_4	28.05	310.9
9	丙烯	Propylene	C_3H_6	42.08	460.5
10	乙炔	Acetylene	C_2H_2	26.04	301.5
11	苯	Benzene	C_6H_6	78.11	750.6
12	甲苯	Toluene	C_7H_8	92.13	892.0
13	二甲苯	Xylene	C_8H_{10}	106.17	1038.9
14	醋酸	Acetic Acid	$C_2H_4O_2$	88.10	494.7
15	醋酸乙酯	Ethyl Acetate	$C_4H_8O_2$	84.16	875.6
16	甲醇	Methyl Alcohol	CH_4O	32.04	149.8
17	乙醇	Ethyl Alcohol	C_2H_6O	46.07	295.9
18	丙醇	n-propyl Alcohol	C_3H_8O	60.09	438.3
19	異丙醇	Iso-propyl Alcohol	C_3H_8O	60.09	432.6
20	乙醛	Acetaldehyde	C_2H_4O	44.05	257.8
21	丙酮	Acetone	C_3H_6O	58.08	395.0
22	甲基乙基甲酮	Methyl Ethyl Ketone(MEK)	C_4H_8O	72.10	540.1
23	環丙烷	Cyclopropane	C_3H_6	42.07	465.10
24	環己烷	Cyclohexane	$C_6H_{10}O$	98.15	786.0
25	氯化甲烷	Methyl Chloride	CH_3Cl	50.49	153.7
26	氯乙烯	Vinyl Chloride	C_2H_3Cl	28.04	270.9
27	氯乙烷	Ethyl Chloride	C_2H_5Cl	64.52	295.6

附錄二　各種塗裝技術及機具常見問題及解決方法

一、水性塗料的問題點及其因應技術

常見問題	材料選擇	解決對策
• 溶劑型的塗裝條件有所限制	• 基本樹脂 • 極性基種 • 聚合技術	—
• 塗膜性能不足	• 硬化機構 • 無皂化(soapless) • 無皂型(soap free)	—
• 乾燥遲緩	• 複合粒體 ┌ 海島構造 ├ 中空型 ├ IPN 型 ├ 成對離子 └ 細膠 • 利用中和型，低沸點溶劑	加溫塗裝 高速旋轉微粒化塗裝機
• 容易垂流	• 流變控制劑 • 反應性乳化劑	溫濕度控制塗裝室(棚)
• 容易生氣泡	• 造膜助劑 • 特定有機溶劑選擇	控制烘烤之升溫曲線 高風量低濕度烘烤
• 顏色、光澤、黏度的安定性問題	• 慎選顏料種別，如：不活性化的金屬顏料	—
• 腐蝕問題	• pH、氫離子的控制	不鏽材的選用
• 塗著率	• 脂成分的降低 • 界面張力的下降	採用回收利用方式
• 排水處理	• 易分離性中和劑	—

二、粉體塗料常見問題、原因及對策

常見問題	可能原因	解決對策
成塊	1.空氣濕度高。 2.儲粉桶的流動性不佳。 3.保存場所高溫(40℃)。 4.環境中水分過多。 5.容器保存大量粉體塗料。 6.塗裝室有浮塵污染。	1.除濕裝置。 2.檢查流動性。 3.在 35℃以下儲存。 4.勿直接接觸水分，剩餘的粉密封而保存。 5.重力所致壓縮，分開保存(10KG/個內)。 6.注意作業員服裝。
塗料溢出	1.噴槍位置不對。 2.回收裝置的功能不正常。	1.檢查噴槍位置。 2.檢查回收裝置、檢查馬達、檢查風扇。
附著不良	1.未施加電壓。 2.空氣壓過高。 3.輸送機不順	1.施加電壓。 2.調整壓力。 3.檢查輸送機或上耐高溫油。
膜厚不均勻	1.被塗物與噴槍的距離太近。 2.噴槍與塗裝室的距離太近。 3.粉體塗料老化。 4.電壓未正常施加於粉體。 5.空氣壓過高。	1.檢查噴槍位置。 2.檢查電壓。 3.混合新粉體塗料。 4.檢查電壓。 5.檢查空氣壓。
針孔	1.烘烤時發生水分揮發。 2.膜厚不足。 3.前處理除水乾燥不充分。 4.被塗物本身有針孔。	1.更換塗料。 2.管理電壓，塗裝條件。 3.檢討前處理工程。 4.被塗物先預熱後塗裝。
凸面	1.膜厚超出必要以上。 2.噴槍前端集成塊狀。 3.塗膜不均勻。 4.從塗裝室掉落粉體塗料。	1.吐出量、輸送、升降機、電壓是否正確。 2.適時清掃，檢查粉的粒度。 3.塗料的平滑性不良。 4.適時衝擊塗裝室內之粉團而掉落。
剝落	1.脫脂不充分。 2.表面凹凸顯著時。 3.除銹不完全。	1.脫脂方法問題、處理時間、脫脂劑老化。 2.表面研磨。 3.表面處理工程檢查。
冒泡	1.前處理後的除水不充分。 2.脫脂、除銹不充分。	1.檢查水切爐溫度。 2.檢查前處理作業線。
密著不良	1.烘烤條件不適當。 2.脫脂、除銹、皮膜化成不當。 3.化成膜與烘烤溫度不適當。 4.素材調整不完全。	1.檢查爐內溫度、被塗物板厚的不均度。 2.檢查前處理線、檢查水洗水量。 3.變更化成劑。 4.作業者勿用赤手接觸。
硬度不足	1.烘烤條件不適當。	1.檢查爐內溫

三、油性塗料常見問題、原因及對策

塗膜缺陷	可能原因	解決對策
發白	(1)濕度過高(通常指 80%RH 以上)。 (2)塗料中溶劑的蒸發速度太快。 (3)被塗物週遭的氣溫太冷。 (4)乾燥的條件不夠完備。	(1)除濕以改善環境條件。 (2)改用溶劑蒸發速度較慢的。 (3)被塗物先預熱再作塗裝。 (4)塗裝後儘可能早一點放入乾燥爐。
粗糙面	(1)塗料條件不佳。 (2)塗料製造時的顏料分散不良。	(1)要求塗料廠商改善
橘皮、斑點、麻臉	(1)高溫及過度的通風。 (2)被塗物溫度太高或形狀複雜。 (3)使用乾燥太快的溶劑。 (4)噴槍的選擇及操作不當。 (5)素材(底)吸滲。	(1)使用蒸發速度較慢的稀釋劑。 (2)塗裝技術的熟練，可以改善。 (3)使用較適合的塗裝機器。
開花(油點)	(1)被塗面沒有徹底除淨水或油脂。 (2)環境中離型劑等異物飛入。 (3)塗裝機器混入水或油脂等異物時 (4)塗料含有不適當量矽膠等成分。	(1)被塗物徹底清潔工作，以利塗裝。 (2)塗裝機器應進行充份的整備。 (3)塗料供應廠必須與廠商進行洽商，以求因應。
遮蓋力差、流痕、垂流	(1)溶劑蒸發慢及隱蔽力差的塗料。 (2)用比重大的顏料作成的塗料。 (3)氣溫太低使乾燥速度緩慢。	(1)從塗裝膜厚來做調整。 (2)遇有遮蓋力差、流浪、或垂流的現象發生時，使用較快乾的稀釋劑。
密著不良	(1)塗膜過脆的塗料或顏料含量太高 (2)使用不適合的素材或稀釋劑。 (4)素材上異物附著的時候。 (5)塗裝條件不當的時候。 (6)薄塗，或噴得太乾燥(指膜面)等。	(1)使用適合的塗料及稀釋劑。 (2)素材有異物，須完全去除。 (3)依照標準的塗裝方式進行塗裝。
二次加工不良(燙印、網版印刷)	(1)塗膜沒有充分乾燥。 (2)塗料中矽的含有量過多。 (3)塗料不適合燙印或網版印刷時。 (4)燙印或網版印刷條件不完備。	(1)不要有太高的塗裝膜厚。 (2)乾燥時間完全。 (3)用蒸發速度快溶劑。 (4)要選定較適合作二次加工的塗料。
形成粗糙面或斑點	(1)噴槍微粒化的性能不好。 (2)攪拌不完全。 (3)吐出量太大、噴幅太窄、攪拌不充份、噴塗距離太近、稀釋劑太慢乾、噴槍的口徑過大、塗裝壓力過低、微粒化太差及粘度過高等。	(1)塗裝噴槍的選定。 (2)塗裝時塗料的均勻攪拌。 (3)塗裝技術的熟練。

四、電著常見問題、原因及對策

問題	可能原因	解決對策
塗膜過薄	1.電著電壓不足。 2.電表電流不足。 3.槽內液溫過低。 4.電著時間不足。 5.不揮發分過低。	1.提昇破壞電壓周圍之電壓。 2.提昇塗膜電流密度到極限。 3.定電壓時，提昇液溫 1℃。 4.增長電著時間。 5.補充不揮發分 1～2%。
塗膜過厚	1.電著電壓過高。 2.電流密度過高。 3.液溫過高。 4.電著時間過長。 5.不揮發分過高。	1.降低設定電壓。 2.降低電流密度。 3.降低液溫約 1℃左右。 4.縮短電著時間。 5.停止塗料補充，用純水代替。
塗膜麻面	1.塗料攪拌不良沈澱。 2.槽內塗料受污染。 3.被塗物受污染。 4.酸濃度不足。 5.塗料補充分散不均。	1.多次攪拌，但不可造成泡沫。 2.檢查或清洗過濾系統。 3.檢查被塗物並除去污染。 4.調整酸濃度到管制範圍內。 5.檢查分散機及泵接頭阻塞並調整之。
塗膜魚眼	1.被塗物受污染。 2.槽內塗料受污染。 3.顏料濃度過低。 4.槽面產生泡沫。	1.檢查被塗物並除去污染。 2.檢查各裝置是否油料漏出。 3.補充顏料分。 4.調整塗料流量並查明是否空氣滲入。
光澤不良	1.顏料濃度有異。 2.塗料呈現老化。 3.酸濃度有異樣。 4.被塗物種類不同。	1.補給樹脂分，調整顏料分。 2.補充顏料或局部更新塗料。 3.調整酸之濃度。 4.改變顏料濃度並做測試。
塗膜色變	1.烘烤條件改變。 2.酸濃度昇高。 3.顏料濃度有異。 4.槽內塗料受污染。	1.檢查烤爐並予調整。 2.降低酸濃度至管制範圍內。 3.補充塗料，改變顏料濃度。 4.檢查裝置系統油料是否漏出。
魚眼凹洞	1.電壓過低。 2.電著時間短。 3.不揮發分低。 4.塗料攪拌不足。	1.提高電壓。 2.增加電著時間。 3.補充塗料，提昇不揮發分。 4.增加攪拌。
流掛	1.水洗不充分。 2.有氣孔狀。	1.提高水洗效果。 2.提高水洗效果。
針孔	1.電壓過高。 2.溶劑濃度低。	1.降低電壓。 2.調高添加劑添加量。

五、各種塗裝方法之優缺點比較表

項目	優　　點	缺　　點
熱噴塗	• 增高溫度，降低粘度，節省稀釋劑。 • 由於稀釋劑減少，塗膜增厚。 • 作業容易，可節省勞力。 • 塗膜不會流動或垂流。	• 塗粒在噴塗中降溫，易使塗面粗化 • 溶劑揮發大，塗面易粗化，須加高沸點溶劑，塗膜表面乾燥不良。 • 用高沸點溶劑，塗料價格高。
無氣噴塗	• 塗料噴出量高，作業效率高。 • 對塗料加壓，粒子大小一致，塗膜均勻。 • 粘度較高的塗料也可看出，節省稀釋劑。 • 稀釋率小，塗佈量多，改善一次膜厚。 • 不用壓縮空氣，空氣中濕氣不混入塗料。 • 可噴出細粒子，可得薄塗膜。 • 微粒化所需壓縮機的馬力較小，空氣量少。 • 噴霧粒子速度較空氣噴霧為低，超噴量少。	• 塗料噴出量大，不適於塗裝小物類或形狀複雜者。 • 含大量整面塗料的顏料粒子大，容易堵塞噴嘴。 • 無法自由改變噴出量或塗裝，變更麻煩。 • 風速大時會影響塗著效率。
靜電塗裝	• 塗料以電性吸著，塗著效率良好，塗料損失極少。 • 表裏可同時塗裝。 • 無超噴，無多餘的霧四散周圍。 • 成效均勻，容易自動化。 • 適合大量生產。	• 設備費用高。 • 因使用高壓電，操作技術高。 • 不適合多控少量生產的塗裝。 • 並非任何塗料都可使用。 • 塗料時間長，易受空氣的濕度溫度影響。 • 電系的蔭部不易附著塗料。
電著塗裝	• 由槽中撈起時，塗膜已成指觸乾燥狀態。 • 塗佈量一定化，塗膜不發生流動或垂流。 • 不含揮發系溶劑，無烘烤所致溶劑氣體揮發的弊害。 • 不拘被塗物體形狀，皆可塗裝成一定厚度 • 箱形物可內外同樣塗裝。 • 可藉由電流、電壓控制塗膜厚度。 • 塗裝效率良好。 • 為水溶性塗料，火災、中毒的危險性小。 • 可使冷自動化，並節省空間。	• 設備費用較高，被塗物無導電性時，就不能塗裝。 • 需要較大的耗電量。 • 輸送機、吊具較複雜。 • 限於對金屬直接塗裝，無法重塗。
粉體塗裝	• 一次可得厚塗膜。 • 粉體塗料可回收使用，無原料損失。 • 不需粘度調整、溶劑揮發設定，效率高。 • 塗膜不流動或凸脹。 • 不使用溶劑，中毒、火災的危險小。	• 塗膜表面缺乏平滑性。 • 無法進行薄膜的塗裝。 • 需要 160℃ 以上的加熱。 • 有粉體塗料飛散的問題。

六、噴槍常見問題、原因及對策

現　　象	原　　因	對　　策
塗料漏出	1.塗料噴嘴錐度有塵埃或雜質硬塊。 2.噴嘴或針閥破損。 3.塗料容器的頭破損。 4.針及彈簧破壞。 5.襯墊鬆弛或斷油。	1.分解清洗。 2.換新。 3.換新。 4.換新。 5.拴緊襯墊螺帽及塗油。
漏氣	1.空氣閥襯墊太緊。 2.空氣閥及空氣閥室有雜物固著。 3.空氣閥或襯墊破損。 4.空氣閥的彈簧被破壞。 5.閥棒破損。	1.放鬆。 2.清洗乾淨。 3.換新。 4.換新。 5.換新。
斷氣	1.塗料的噴出路堵塞。 2.黏度過高或塗料不足。 3.杯蓋的氣孔堵住。 4.針的襯墊鬆弛。	1.清洗接頭。 2.稀釋塗料或補給塗料。 3.開孔。 4.重拴緊。
噴霧不良	1.空氣蓋堵住。 2.空氣蓋有雜物附著。 3.平噴時漆料擴展不開。 4.噴嘴出氣孔及塗料出孔損壞。	1.以竹片或木片來清除。 2.以稀釋劑乾淨。 3.黏度過高或壓力過強。 4.換新。

附錄三　局部排氣裝置設備注意事項

1.氣罩裝設應注意事項(決定控制風速大小的要素)

(1) 氣罩型式，儘可能使用包圍形氣罩。

(2) 有害物之物理特性，如比重、分子量、粒徑。

(3) 有害物之毒性、危害程度。

(4) 發生源及捕集點週圍空氣流動大小與方向及影響情形。

(5) 捕集點與氣罩之相關位置。

(6) 有害物在發生源之狀況如慣性力大小與方向及被有害物污染之空氣擴散速度(方向與大小)。

(7) 週圍氣流對氣罩吸引空氣流線之影響。

(8) 必要時可加裝凸緣。

2.導管裝設應注意事項

(1)內壁應平滑、接頭應焊接、褶接或以凸緣與墊圈夾緊，不使空氣漏入或洩出，最好使用新材料。

(2)如輸送酸性或具腐蝕性氣體、粉塵、燻煙時，應使用耐腐蝕性材料，在導管內部被覆或選用耐腐蝕性材料。

(3)儘量減少使用矩形導管，如不得已使用時，應儘可能接近正方形導管。

(4)支導管與主導管間之角度應在 45 度以下，最好保持 30 度，兩管交叉設置時，宜保持 30 至 60 度。

(5)導管每隔 3 至 4 公尺或在肘管處設清潔孔，並於適當位置設測定孔。

(6)導管應有適當支撐，直徑 20 公分以下者，其間距在 4 公尺以下，直徑超過 20 公分者為 5 公尺。

(7)肘管之彎頭曲率半徑，應儘可能採取較大之曲率半徑，如管徑之 2 至 2.5 倍，並儘量減少肘管之數量。

(8)導管與天花板、牆壁或地板等之間隔，至少應保持 15 公分。

(9)若有數個支導管連接主導管時，勿二個或二個以上支導管在同一連接管處相對者連接主導管，支導管亦勿以 90 度角與主導管連接。

(10) 導管斷面應儘可能避免急劇收縮或擴張，每收縮或擴大公分應有 5 公分之緩衝長度。

(11) 導管位置及其材料須考慮不受外力損壞、腐蝕者。

(12) 水平導管為減少粉塵之堆積，宜採取輕微之傾斜。

(13) 儘可能縮短導管長度以減小壓力損失。

(14) 排氣機入口最好為直管，必要時可加一入口箱或管路轉向板，以調整氣流方向。

3.空氣清淨裝置

(15)依污染物不同選擇適當之除塵裝置或廢氣處理裝置。

(16)處理後之空氣品質是否達環境保護相關法規之排放標準。

(17)排除污染物效率之高低。

(18)壓力損失的大小。

(19)維護費用。

(20)是否會產生二次污染。

(21)排氣機應置於空氣清淨機之後。

4.排氣風機選用應考慮事項

(1) 具足夠之必要風量。

(2) 具足以克服全系統必要之風壓。

(3) 氣流之性質及污染物之污染程度。

(4) 噪音、音量之容許程度。

(5) 直結式與皮帶傳動式之選擇----皮帶傳動式輸送風量可任意調整；而直結式不佔空間，及保養容易，但回轉數固定。

(6) 應考慮操作溫度、腐蝕與可燃易爆物質、空間限制等。

(7) 其他如回轉數、機械及傳動效率需要之能量等。

附錄四　風管一般規格

1、型式：風管之型式可分為圓形、矩形與橢圓形等。

2、矩形風管換算成圓形風管的公式如下：

$$d_e = 1.3\left[\frac{(a \cdot b)^5}{(a+b)^2}\right]^{\frac{1}{8}}$$

其中　d_e：相當直徑〔m〕(與矩形風管壓損同值的圓形風管直徑)

a：矩形風管的長邊長度〔m〕

b：矩形風管的短邊長度〔m〕

3、寬高比：矩形風管斷面的寬高比，原則上在 4 以下。

4、材質：風管使用之材料包括有金屬、塑膠類及玻璃纖維等。

5、風速：若無特別需求時，可採用圖附錄四-1 中之推薦風速。

6、壓損

(1) 計算風管系統的壓損，以全壓為基準，根據壓力損失、局部壓損係數以及局部壓損的相當長度來計算。

(2) 計算空調・通風風管，原則上將空氣視為標準空氣(標準氣壓 1.01325×10^5Pa、乾球溫度 20℃、相對濕度 60%、密度 1.2kg/ m^3、定壓比熱 1,007J/kg.°K)來計算。

A.壓損的計算

(A)直風管的壓損 ΔP_t〔Pa〕

$$\Delta P_t = \lambda \cdot L/d \cdot P_v = \lambda \cdot L/d \cdot v^2/2 \cdot \rho$$

$$\lambda = 0.0055 \times [1 + (20{,}000 \times \varepsilon/d + 10^6/R_e)^{1/3}]$$ 、

$$R_e = v\,d/\nu$$ 、

$$\nu = \mu/\rho$$

$$Q = \pi/4 \cdot d^2 \cdot 3{,}600$$

其中，λ：直管的摩擦係數

L：直管的長度〔m〕

d：直徑〔m〕

v：風速〔m/s〕

ρ：空氣的密度 $=1.2 kg/m^3$

ε：絕對粗糙度 $=1.5 \times 10^{-4} m$

P_v：動壓〔P_a〕

R_e：雷諾係數

ν：動黏滯係數 $=1.50 \times 10^{-5} m^2/s$ (20℃)

μ：黏滯係數 $=1.8 \times 10^{-5} Pa \cdot s$ (20℃)

Q：風量〔m^3/h〕

(B)分歧及變形部分等的壓損ΔP_t〔P_a〕

a.根據局部壓損係數(參照圖附錄四-2)時

$$\Delta P_t = \zeta \cdot P_v = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \rho$$

其中　ζ：局部壓損係數

v：風速〔m/s〕(非合流部分取其上游側；合流部分取其下游側)

b.根據相當長度的時候

$$\Delta P_t = \lambda \frac{l_e}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \rho$$

$$l_e = \frac{\zeta}{\lambda} d$$

其中，l_e：相對壓損長度〔m〕（與局部壓損等值的直風管長度）

7、隔熱：風管系統隔熱應考量

(1)所處之位置在室內或室外。

(2)整體隔熱設施與運轉時熱損失費用之經濟效益。

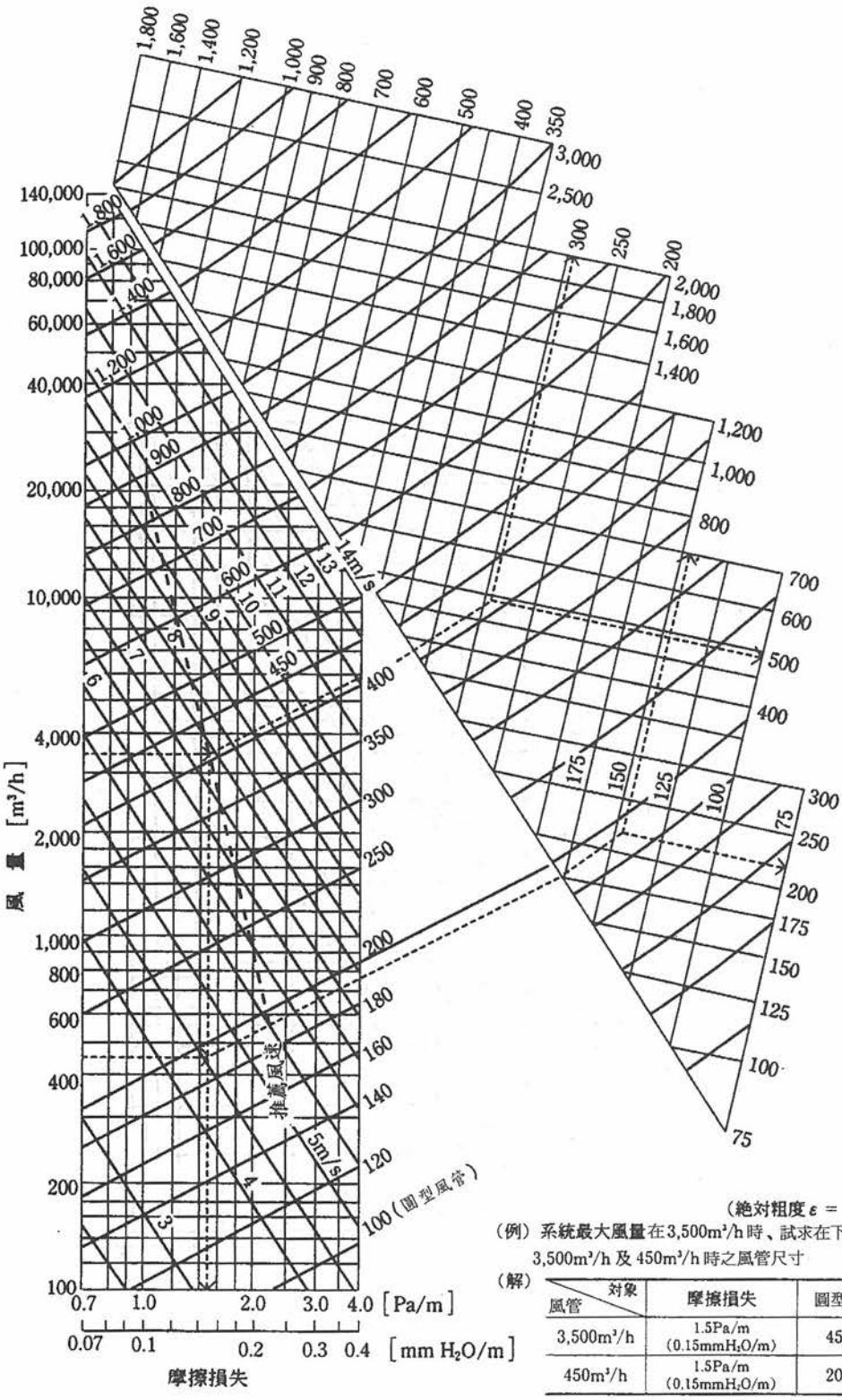
(3)凝結水問題。

(4)避免長距離風管內空氣溫升，影響溫度控制。

8、氣密性：風管依其使用壓力之不同，需註明對氣密之要求。

9、支撐與吊架：必須注意強度及防震。

10、其他：出風口型式與氣流分佈等。



（絕对粗度 $\varepsilon = 1.5\times10^{-4}$m 時）

（例）系統最大風量在3,500m³/h時、試求在下述風量時之風管尺寸
3,500m³/h 及 450m³/h 時之風管尺寸

（解）

風管 ＼ 対象	摩擦損失	圓型風管	方型風管
3,500m³/h	1.5Pa/m (0.15mmH₂O/m)	450φ	500×300
450m³/h	1.5Pa/m (0.15mmH₂O/m)	200φ	225×150

資料來源：日本 建築設備設計基準.同要領 平成十年版

圖 附錄四-1 鐵皮風管摩擦阻抗圖

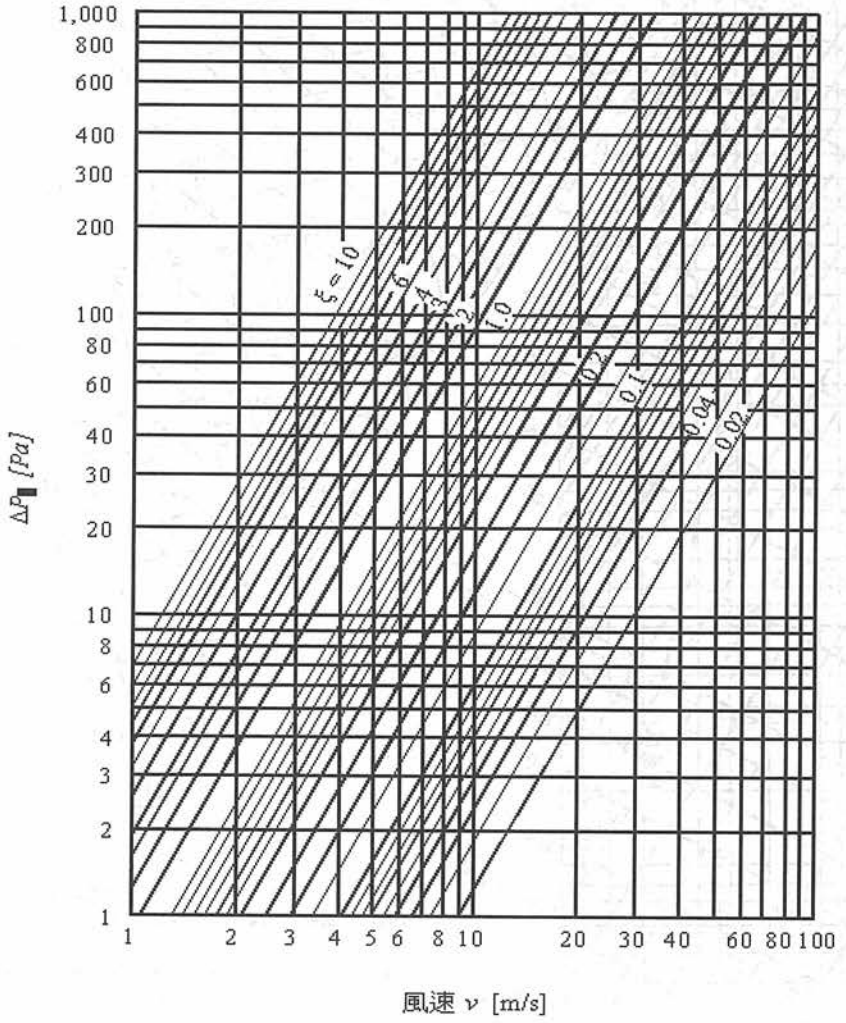
全壓 $\Delta P_t = \zeta \cdot P_v = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \rho$ [Pa]

ζ：局部壓損係數

ρ：空氣(20℃ＤＢ)的密度= 1.2kg/ m^3

備註　ζ =1.0 時，$\Delta P_t = P_v$

其中，P_v：動壓〔Ｐa〕



資料來源：日本 建築設備設計基準.同要領 平成十年版

圖 附錄四-2 局部壓損計算圖

國家圖書館出版品預行編目資料

揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊／
沈克鵬等編撰，--初版,-- 臺北市
：工業局，民 93
面 ； 公分
含參考書目：面
ISBN 957-01-9875-3(平裝)

1.空氣污染 – 防制 2.工業廢棄物處理
445.92 93024330

揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊

出版日期：中華民國九十三年十二月初版
發 行 人：陳昭義
總 編 輯：李澤民
審查委員：周明顯、吳欽琪、林華宇、張中一、陳良棟、鄭福田 (依姓氏筆劃排列)
編 撰：沈克鵬、施志恆、張豐堂、陳見財、粘竺耕(依姓氏筆劃排列)
發 行 所：經濟部工業局
台北市信義路三段 41-3 號
TEL：(02)2754-1255
FAX：(02)2704-0160
http://www.moeaidb.gov.tw
出 版 所：經濟部工業局
台北市信義路三段 41-3 號
TEL：(02)2754-1255
FAX：(02)2703-0160
http://www.moeaidb.gov.tw
財團法人中技社
台北市忠孝東路四段 310 號 11 樓
TEL：(02)8773-7335
FAX：(02)8773-7276
http://www.etdc.org.tw
印刷承製：信可印刷有限公司
工 本 費：新台幣伍佰元整

版權所有 翻印必究

廉潔．效能．便民

經濟部工業局
臺北市大安區信義路三段41-3號
TEL：(02)27541255
FAX：(02)27043753
http://www.moeaidb.gov.tw

ISBN 957-01-9875-3
9 789570 198751
GPN：1009305005
工本費：500 元