

高科技 VOC 管理與控制技術研析

莊錦烽*、葉國棟**、李素梅***、許健毅****

摘 要

高科技產業在製造過程中為確保品質，經常使用大量易揮發的有機溶劑清洗，其衍生的揮發性有機物(VOC)，可能經由逸散或排放管道進入大氣環境中，加上高科技產業的群聚現象，故對環境造成相當大的負荷。

緣此，針對高科技 VOC 的控制，本文從兩岸 VOC 的管理架構，包括法規管理趨勢、排放標準比較、監測方法、設施及自動申報制度等面向；高科技業的處理技術回顧；未來 VOC 控制趨勢，從製程減廢、節能案例、空污費徵收的減量誘因、脫附技術的改進、使用者的設計需求、有害空氣污染物(HAPs)管制、安全認證(SEMI S2)需求的不斷提高、針對交期縮短、設備大型化、成本降低等實務上廠商所必須面對的難題、以及遭遇特殊天候時所需考量的設計需求等議題進行討論，冀望藉由相關資料彙整及實務經驗的心得報告，能對業界及相關的從業人員有所俾助。

【關鍵字】揮發性有機物(VOC)、製程減廢、節能、有害空氣污染物、SEMI S2

* 力技科技工程股份有限公司 總經理

**力技科技工程股份有限公司 專案經理

***力技科技工程股份有限公司 副理

***莊錦烽環境工程技師事務所 資深工程師

一、前言

根據台灣半導體產業協會 2007 年問卷調查結果，IC 製造業產值高達 7,367 億元，而光電業之整體產值亦突破 1 兆台幣。因此，台灣高科技業如何在環保且安全之環境下不斷成長，以利在台灣持續扮演產業棟樑角色，乃今日產業環保及安全管制策略制定時之重要考量。其中，VOC 乃國際間之重要管制污染物，台灣高科技業者如何在全球佈局時，均能符合各國環保管制要求，實乃業者投資設廠時之首要課題。本文僅就 VOC 管制與控制相關議題，作一簡要彙整與心得報告，期能對相關實務從事者有所裨益。

二、VOC 管理架構介紹

2.1 兩岸法規管理趨勢

基本上，兩岸針對空氣污染物之管制順序，還是遵循 PM₁₀、SO_x、NO_x 等常規污染物進行優先管制。然高科技業由於為無塵室之廠房結構，除少數鍋爐設施及製程設備或 Local scrubber 等燃燒裝置所產生之 SiO₂ 及未完全燃燒之塵粒外，粒狀污染物之問題並不嚴重。反倒是製程中用於清潔擦拭，去光阻溶劑等使用或揮發之有機溶劑廢氣，因其本身有異味、與 NO_x 反應形成臭氧、造成空氣品質劣化；而勞工安全衛生法規中因 VOC 成份對人體健康造成危害，甚或有致癌之風險。因此，在高科技業中，VOC 與 HF 等五大無機酸並列為半導體及光電業之重點管制污染物。半導體生產製程之典型污染物如表 1 所示^[1]。

大陸針對空氣污染物於 1996 年公告「大氣污染物綜合排放標準」^[2]，此標準類似於台灣之「固定污染源空氣污染物排放標準」，為所有行業共用之管制基準，並非個別行業排放標準，然近年來由於中國迅速移入了半導體及光電產業。因此，既有法規不足以管制高科技之相關污染排放。

針對早期進入大陸之半導體及光電業，大陸以搭配環評之相關審查措施(以昆山地區為例，如圖 1 所示)，配合業者之產能進度，要求高科技業者逐步投入環保設備投資，尤其 VOC 處理設備，有些業者乃量產至 20,000 片/月後，才開始裝置

沸石濃縮轉輪暨焚化設備。近二年來隨著環保意識高漲，上海市於 2007 年 2 月 1 日實施「半導體污染物排放標準」^[3]，北京亦於 2008 年 1 月 1 日實施之「大氣污染物綜合排放標準」^[4]中，明訂半導體等 16 個行業之排放標準。因此，大陸環保單位已要求高科技業者，在新廠設立階段，所有廢氣處理設備即須到位，使得大陸在 VOC 管制上幾乎與台灣同步。

台灣地區近年來 O₃ 已逐步取代懸浮微粒為空氣品質不良之主要原因，而 O₃ 主要係由 NO_x、VOC 氣體經光化學反應所衍生之二次污染物。且由 VOC 排放清單顯示，固定污染源(含逸散面源)約佔總排放量的 70%，遠大於移動源之 30%。所以加強推動固定源 VOC 之管制，乃改善 O₃ 問題之核心工作。然不論台灣或大陸，針對 VOC 之管制策略相對較少。在此僅就台灣研擬中之 VOC 管制策略主軸作一簡要說明。有關台灣之 VOC 管制架構與期程如圖 2^[5]所示。其中第一期管制架構可再細分為二大期程(Phase I 及 II)如表 2 及圖 3。各項管制策略的執行期程，請依環保署所公佈資料為主。

表 1 半導體生產製程之典型污染物

範圍	排放物種類
Epitaxy	SiH ₄ , SiH ₂ Cl ₂ , SiHCl ₃ , SiCl ₄ , AsH ₃ , B ₂ H ₆ , PH ₃ , HCl, H ₂
Acid Etch	NO, NO ₂ , HF, HNO ₃ , CH ₃ COOH
Cleaning, Diffusion Process Cleaning, and Wet Etch	H ₂ SO ₄ , H ₂ O ₂ , HNO ₃ , HCl, HF, H ₃ PO ₄ , CH ₃ COOH, Cl ₂ , NO, NO ₂ , NH ₄ F, NH ₄ OH, Isopropyl Alcohol (IPA), Methanol, Ethylene Glycol, Methyl Ethyl Ketone (MEK)
Polyimide	CH ₃ COOH, IPA, Ethyl Lactate, <i>N</i> -Methyl-2-pyrrolidone (NMP), Polyamic Acid, Glycols, Aromatics, Carboxylic Acid, Amines, Tetramethyl Ammonium Hydroxide (TMAH), Ethyl Acetate
Chemical-Mechanical Planarization	NH ₄ OH, NH ₄ Cl, NH ₃ , KOH, Organic Acid Salts
Photolithograph	Hexamethyldisilazane (HMDS), NMP, Cyclohexanone, TMAH, Bisphenol, Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate (PGMEA), Xylene, Ethyl Lactate, Methyl-3-methoxypropionate (MMP), IPA, <i>N</i> -Butyl Acetate (NBA)
Dry Etch for Photolithography	Cl ₂ , BCl ₃ , C ₂ F ₆ , CF ₄ , CHF ₃ , C ₂ F ₆ , C ₃ F ₈ , NF ₃ , SF ₆ , CH ₃ F HF, HCl, H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , NO, HBr, H ₂ S

表 1 半導體生產製程之典型污染物(續)

範圍	排放物種類
Implant	BF ₃ , AsH ₃ , PH ₃ , H ₂
Chemical Vapor Deposition	SiH ₄ , SiH ₂ Cl ₂ , SiHCl ₃ , SiCl ₄ , SiF ₄ , CF ₄ , B ₂ H ₆ , PH ₃ , NO, N ₂ O, NH ₃ , WF ₆ , PH ₃ , NF ₃ , HCl, H ₂ , WF ₆ , HF, NH ₃ , Trimethyl Phosphite (TMP), Tetraethyl Orthosilicate (TEOS), Tetraethyl Orthophosphate (TEOP), Tetramethyl Borate (TMB), Tetramethyl Orthophosphate (TMOP), Tetraethyle Borate (TEB)
Diffusion	SiH ₄ , SiH ₂ Cl ₂ , N ₂ O, BBr ₃ , AsH ₃ , BCl ₃ , BF ₃ , B ₂ H ₆ , PH ₃
Metals	SiH ₄ , SiHCl ₃ , SiH ₂ Cl ₂ , SiCl ₄ , BCl ₃ , AlCl ₃ , TiCl ₄ , WF ₆ , TiF ₄ , SiF ₄ , SiBr ₄ , AlF ₃ , BF ₃ , SF ₆ , HF, HCl, HBr
Dry Etch for Metallization of Si, SiO ₇ , Si ₃ N ₄	SF ₆ , Cl ₂ , NF ₃ , BCl ₃ , C ₂ F ₈ , CF ₄ , Br ₂ , SiF ₄ , SiCl ₄ , AsF ₃ , GaF ₃ , SiBr ₄ , HBr, TiCl ₄ , B ₂ O ₃ , WF ₆ , TiF ₄ , WCl ₆ , AlCl ₃ , SO ₂ , F ₂ , CCl ₄ , N ₂ O, HCl, H ₂ , SiH ₄ , SiH ₂ Cl ₂ , SiHCl ₃

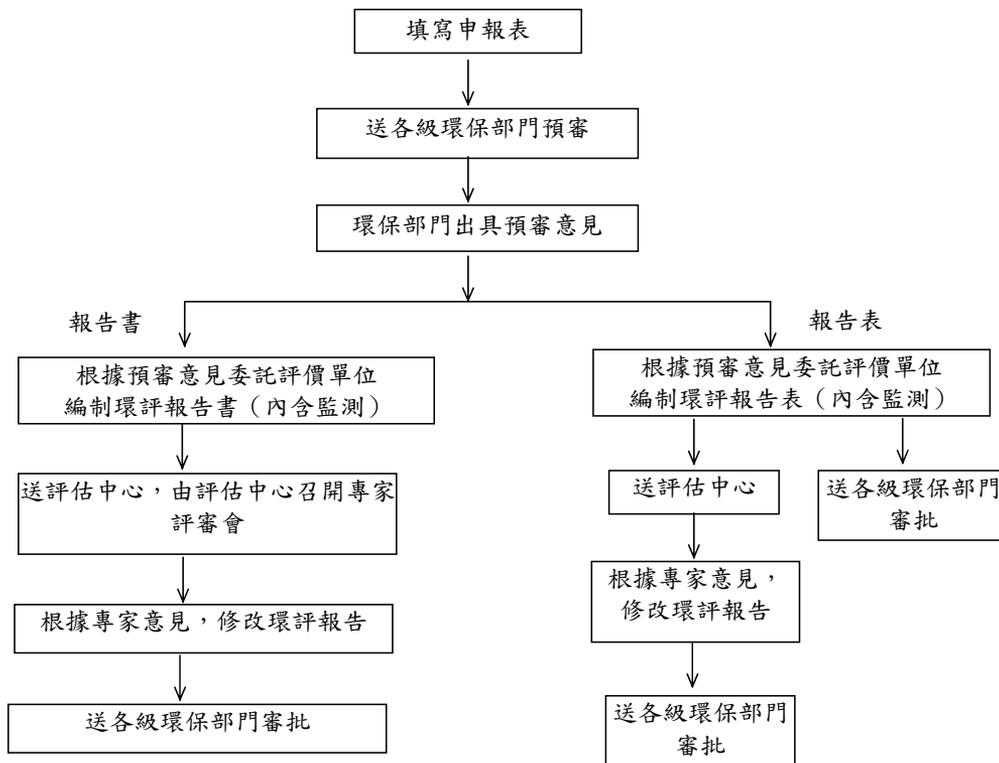


圖 1 大陸環評審批流程

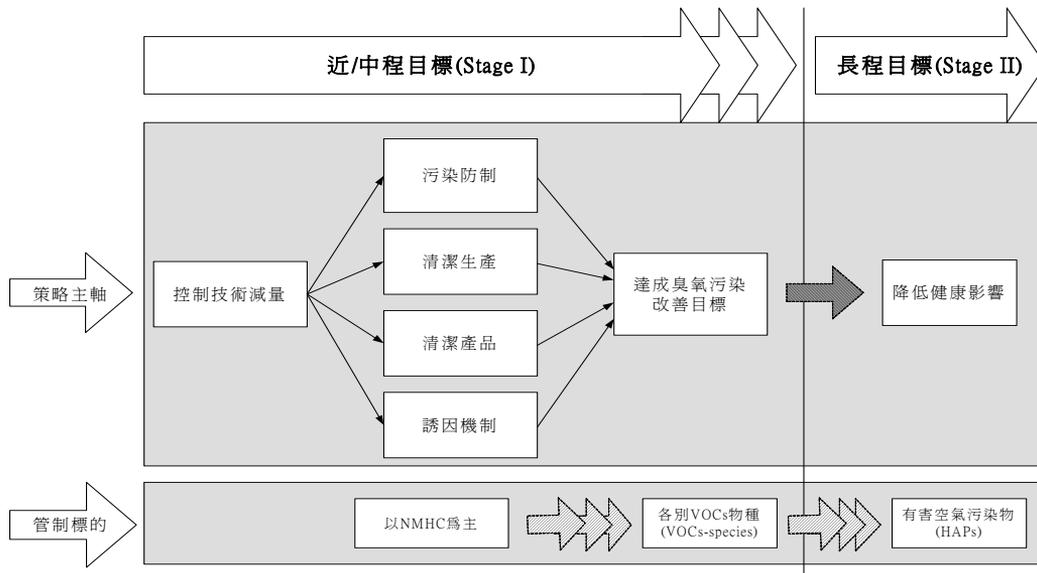


圖 2 研擬之台灣地區固定污染源揮發性有機空氣污染物管制策略主軸規劃

表 2 固定污染源揮發性有機空氣污染物(VOC)近中程管制策略規劃重點

階段	Phase I	Phase II
管制標的	非甲烷碳氫化合物(NMHC)	個別揮發性有機空氣污染物(VOC)物種
管制對象	管道/逸散排放	<ul style="list-style-type: none"> ●持續管制管道/逸散排放 ●納入面源管制
管制基準	<ul style="list-style-type: none"> ●採技術基準 (technology based)管制架構 ●以最佳可行控制技術 (BACT)精神為管制基準 	<ul style="list-style-type: none"> ●納入個別揮發性有機空氣污染物 (VOC)特性，對物種類別進行管制 <ul style="list-style-type: none"> —光化反應 —最大增量反應性(MIR*) ●擴大管制污染源類型，納入面源管制，例產品規範。

註：*Maximum Incremental Reactivities

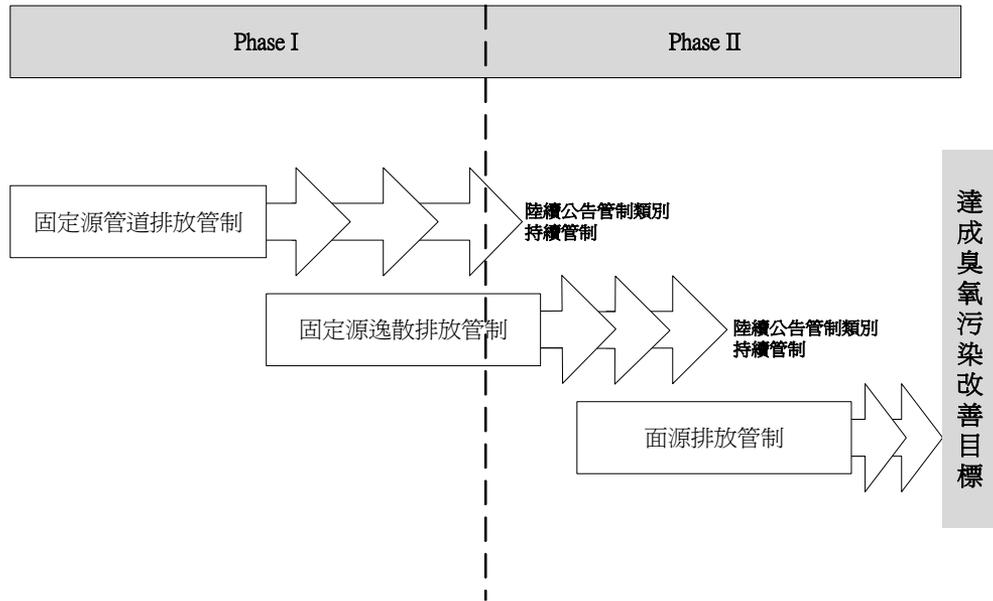


圖 3 研擬之台灣地區固定污染源揮發性有機空氣污染物管制策略—
第一期(Stage I)管制期

由上述圖表中可歸納出第一期以控制技術(BACT)、誘因機制及綠色製程為基準，進行全面 VOC 減量，以減少 VOC 所衍生之 O₃ 空氣品質問題。第二期再深入篩選管制 VOC 物種中對人體健康有顯著影響之有害空氣污染物(Hazardous Air Pollutants, HAPs)、並由管道及逸散排放管制，進一步加入面源之管制。

2.2 兩岸排放標準比較

筆者針對兩岸及美國 VOC 的排放標準所做的比較表，詳表 3 所列。

表 3 兩岸及美國 VOC 排放標準比較表 [3]、[4]、[6]、[7]、[8]、[9]

項次	項目	國別	台灣	上海	北京	美國
1	VOC定義		·含有機化合物之空氣污染物總稱，但不含甲烷、CO、CO ₂ 、碳氫、碳化物、碳酸鹽、碳酸銨 ·三氯乙烯單獨列管 ·半導體 1999.1.6公佈 ·2002.10.16第二次修訂 ·光電業 2006.1.5	·未定義 ·半導體 2006.10.13批准 ·2007.2.1實施	·20°C下蒸氣壓 $\geq 1.02\text{mmHg}$ 條件下，其相對揮發性之所有有機化合物統稱 ·除了VOC外，特針對(1)苯、(2)甲苯及二甲苯合計濃度進行管制 ·2007.10.31公佈 ·2008.1.1實施	·任何含碳之揮發性化合物，但不含甲烷、CO、CO ₂ 、碳氫、金屬碳化物、碳酸鹽、碳酸銨及HFC(Group1)及CFC(Group2)系列等物質 ·半導體1995.1.13第四次修訂(SIP)
2	公布日期		·半導體 2002.10.16第二次修訂 ·光電業 2006.1.5	·半導體 2006.10.13批准 ·2007.2.1實施	·2007.10.31公佈 ·2008.1.1實施	·半導體1995.1.13第四次修訂(SIP)
3	列管最低溶劑使用量或VOC排放量		·半導體:1,700公斤/年(原物料車用量) ·60公斤/年(三氯乙烯) ·光電業:無	·半導體:VOC排放速率 >0.6 公斤/小時	·VOC初始排放量 ≥ 1 公斤/小時	·半導體:連續24小時VOC排放量 <5 磅(不列管)
4	去除效率*		·半導體:90%(揮發性有機物) ·90%(三氯乙烯) ·光電業:新設-85% ·既設-75%	·88%	·90%	·90%
5	排放量*		·半導體:0.6公斤/小時以下(揮發性有機物) ·0.02公斤/小時以下(三氯乙烯) ·光電業:新設-0.4公斤/小時 ·既設-0.4公斤/小時	·根據煙囪高度加以計算 ·最高允許排放濃度:100mg/m ³	·根據煙囪高度加以計算 ·最高允許排放濃度:100mg/m ³	-
6	檢測方法		·NIEA A723-72B ·排放管道中總碳氫化合物及非甲烷烴總氫化合物，含量自動檢測方法-線上火焰離子化檢測法(FID) ·半導體:連續8小時 ·光電業:連續4小時	·固體吸附-採樣罐氣相色谱-質譜法 ·熱脫附氣相色谱-質譜法 ·半導體:連續1小時	·固體吸附-採樣罐氣相色谱-質譜法 ·熱脫附氣相色谱-質譜法 ·US EPA TEST METHOD 25.25A	-
7	檢測延時		·半導體:連續8小時 ·光電業:連續4小時	·煙囪高度最少1.5m且高於附近200m內建築物5m以上不能達到者-排放量嚴格50%執行。 ·採樣位置:3D,6D ·採樣口直徑:80mm ϕ	·連續1小時	-
8	煙囪高度規定 暨採樣口直徑、位置		·高度未規定 ·採樣位置:2D,8D ·煙囪管道內徑 ·採樣口直徑:100mm ϕ	·煙囪高度最少1.5m且高於附近200m內建築物5m以上不能達到者-排放量嚴格50%執行。 ·採樣位置:3D,6D ·採樣口直徑:80mm ϕ	·同左	·採樣口直徑:4" ϕ
9	設施規範		·針對HF等無機酸明訂設施規範，但VOC處理設備則無	-	-	-
10	防制設備操作 運轉記錄		·明訂記錄項目與頻率	·同左	·同左	·同左
11	記錄申報與保持		·EMS系統:廢水、廢氣、廢棄物皆須申報 ·使用、操作及檢測記錄保持2年 ·排放量申報記錄保持5年	·記錄申報:需要 ·記錄保持:2年	·同左 ·記錄申報:需要 ·記錄保持:2年	·記錄申報:需要 ·記錄保持:2年,若有洩漏事件,改為5年
12	自動監測設備 (CEM)		·半導體: ·年用量大於50噸-排放口裝置CEM ·VOC總排放量 ≥ 0.6 公斤/小時-廢氣入口及排放口裝置CEM ·光電業: ·VOC總排放量 >1.3 公斤/小時-廢氣入口及排放口裝置CEM	-	·VOC排放量 >10 公斤/小時,須裝設CEM	-

註: *排放標準,二擇一

2.3 兩岸監測方法、設施比較

目前 VOC 處理系統是以處理效率或排放量(大陸稱排放速率,公斤/小時)做為驗收標準,以下針對台灣及上海地區的 VOC 監測方法及設施進行說明。

台灣地區採用 NIEA A723.72B 排放管道中總碳氫化合物及非甲烷總碳氫化合物含量自動檢測方法—線上火燄離子化偵測法產業安全與環境衛生改善計畫-工安。本自動檢測系統之檢測方法為線上火燄離子化偵測法,排氣中之總碳氫化合物(Total Hydrocarbon, THC)乃藉樣品通過無分離效果之空管後進入火焰離子化偵測器(Flame Ionization Detector, FID)測得,同時廢氣中之甲烷(Methane)乃藉樣品通過會吸附非甲烷總碳氫化合物(Total Nonmethane Hydrocarbon, TNMHC)之分子篩吸附管後,進入 FID 偵測器測得,將 THC 扣除甲烷後即得非甲烷總碳氫化合物含量,檢測一個樣品所需的時間為 1 分鐘,所測得濃度以相對於甲烷表示。

大陸地區(以上海為例),根據 2007 年 2 月 1 日實施的『半導體行業污染物排放標準』,是以固體吸附-熱脫附氣相色譜-質譜法或用採樣罐採樣氣相色譜-質譜法分析 VOC^[11],惟此兩種方式皆是將 VOC 由現場採樣後,送交 GC-MS 分析;其中固體吸附-熱脫附氣相色譜-質譜法常遇到的干擾包括同分異構物的干擾以及採樣管被污染等問題。至於採樣罐採樣氣相色譜-質譜法則易受到採樣罐、流量控制閥及採樣泵未清潔好污染樣品,以及濕度太大等問題,影響分析結果。故此兩種分析方式僅能分析瞬間濃度或一段時間的平均濃度,無法連續量測,了解濃度隨時間的變化趨勢。

以上海某半導體廠,新建 VOC 處理設備的工程驗收檢測方式,其中針對效率達 88%部分,係採 FID 方式分析;至於最高允許排放濃度 $100\text{mg}/\text{m}^3$,則採用 GC-MS 方式分析。

此外,台灣地區有鑒於現行之連續自動監測設施相關法令執行面不足,於 2003 年 12 月 3 日完成『固定污染源空氣污染物連續自動監測設施管理辦法』之修訂。並針對連續自動監測設施設置及連線申請文件之審查及功能查核制定「固定污染源空氣污染物連續自動監測設施設置連線審查手冊」及「固定污染源空氣污染物連續自動監測設施系統與功能查核手冊」,作為地方主管機關審查監測設施設置、連線

及系統功能查核之標準作業流程。

2.4 自動申報制度

依目前環保署公告之法規及網路申報制度，廢棄物已全面進行網路申報，空氣污染方面則以空氣污染防制費、空氣污染物排放量及定期檢測為網路申報，水污染則為水污染防治措施計畫及水污染防治許可網路申報。以下就空氣污染物排放量及定期檢測網路申報方式簡要說明。

2.4.1 排放量申報

現行之公私場所應申報固定污染源空氣污染物排放量，其空氣污染物種類為粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物、揮發性有機物。

公私場所應依中央主管機關所定格式，以網路傳輸方法，於每年 1 月底前向地方主管機關申報前一年該公私場所全廠(場)之空氣污染物排放量，並按季於每年 4 月、7 月、10 月月底前向地方主管機關連線登錄前一季該公私場所全廠(場)空氣污染物排放量。

公私場所固定污染源應申報空氣污染物排放量之內容如下：

- (1)空氣污染物種類、成分及其排放量。
- (2)空氣污染物排放量計算方法。
- (3)與排放量有關之參數說明：原(物)料與燃料之種類、成分及用量；產品種類及生產量；非屬生產製造過程使用之有機溶劑用量。

公私場所應以下述方法所得數據擇一計算空氣污染物排放量。但依空氣污染防制法第 22 條第 1 項規定設置連續自動監測設施之固定污染源，應依下述第 1 款規定計算其空氣污染物排放量：

- (1)符合中央主管機關規定之固定污染源空氣污染物連續自動監測設施之監測資料。
- (2)依照中央主管機關公告空氣污染物檢測方法所測之檢測結果。
- (3)中央主管機關於網路申報系統或排放量計算手冊提供之排放量試算方式；或其他經主管機關認可之排放係數或替代計算方式。
- (4)經主管機關認可之國內外相關技術論文與測試數據。

2.4.2 空氣污染防制費^[12]

依環保署 2007 年 11 月 30 日修正之空氣污染防制費收費辦法，依其排放空氣污染物之種類及數量徵收之空氣污染防制費，應依其每季排放空氣污染物種類、排放量及操作紀錄，按「空氣污染防制法」第 17 條第 2 項所公告之收費率自行計算申報應繳納之費額。固定污染源之所有人、實際使用人或管理人，應於每年 4 月、7 月、10 月及次年一月底前，自行向中央主管機關指定金融機構代收專戶繳納，並依中央主管機關規定之格式，填具空氣污染防制費申報書及檢具繳款收據，以書面或網路傳輸方式，向中央主管機關申報。

2.4.3 定期檢測

依中央主管機關規定之電子網路傳輸方式，將檢驗測定結果摘要表向當地主管機關申報，並依規定格式填製書面報告書妥善保存 5 年備查。

三、處理技術回顧

3.1 高科技業處理技術彙整

高科技產業在生產製造過程中將產生各類型的空氣污染物，其中半導體產業常見之 VOC 污染來源，包括在光罩、顯影後光阻劑、顯影液、蝕刻液的清洗及後續晶元清洗等過程，使用丙酮、異丙醇、乙二醇等有機溶劑。光電產業常見之 VOC 污染來源，包括於清洗與化學處理程序使用丙酮、異丙醇，黃光區之曝光顯影程序時使用光阻劑、HMDS、異丙醇、二甲苯、醋酸丁酯等。

一般工廠在進行 VOC 處理規劃時，必須對相關現行及未來環保法規、可行處理方式、可能衍生之二次污染問題及初設與操作費用、設置空間等做一完整之評估。圖 1 為 VOC 污染物處理流程圖，工廠可以針對廠內 VOC 的問題及特性作一初步的評估。而在評估 VOC 處理技術時，針對安全性的考量，必須考慮其低爆炸下限(lower explosive limit, LEL)及高爆炸上限(upper explosive limit, UEL)。考慮 UEL 時，空氣量之限制與自發著火反應有密切之關係。且碳氫化合物之混合物其達到 LEL 時之熱值大約在 18.6KJ/m^3 (50Btu/scf)，在處理 VOC 廢氣時，若廢氣濃度高達 50% 之 LEL(約 9.3KJ/m^3)時，必須對廢氣加以稀釋以確保廠區安全。因此商

品化之廢氣處理設備一般設計在 25%LEL 以下。一般 VOC 處理系統爲了預防處理 VOC 時所可能引發之火災問題，除在設備上加裝溫度偵測設施外，於系統異常時，則以 N₂ 等惰性氣體噴灑消滅火災，以惰性氣體噴灑降溫過程中，若仍無法有效降低溫度，則啓動消防灑水系統滅火。

此外，經濟考量亦爲 VOC 廢氣處理方法選擇中之最重要者。由於高科技廠控制其所排放之廢氣皆十分良好，無塵室空氣對溫度與濕度的控制都相當穩定，多數的廢氣都保持室溫狀態(22~25°C)，除了 VOC 外，所排放之氣體本身都是非常乾淨且可預測的。其 VOC 的排放特性爲：濃度低：一般介於 100~800ppm@CH₄，風量大：一般介於 80,000~120,000CMH。而針對低濃度、多樣性及高風量的 VOC 廢氣，目前 VOC 的回收及再使用並沒有一種經濟可行的技術。活性炭吸附塔利用吸附原理去除 VOC，但此系統須將碳棄置和燃燒處理，故非長期可行的選擇，雖然大多數的 VOC 是水溶性，但卻不能用洗滌塔來處理，因爲這樣將會使空氣污染轉換成水污染。故去除 VOC 的方式多採用熱處理，將其燃燒成水份及二氧化碳。其中沸石吸附濃縮轉輪焚化系統是國內半導體業界採用最多、且能穩定操作符合法規要求的處理設備。

筆者彙整相關資料，將高科技產業中，主要製程類別所採用 VOC 處理設備的現況，列於表 4 中供作參考。

表 4 高科技產業主要製程類別所採用的 VOC 處理設備

行業別 防制 設備 類別	光電材料及元件製造業(液晶顯示器程序-背光板)	光電材料及元件製造業(冷陰極螢光燈製造程序)	光電材料及元件製造業(液晶顯示器程序)	光電材料及元件製造業(二極體製造程序)	半導體製造業(半導體製造程序)	半導體製造業(電晶體製造程序)	半導體製造業(太陽能電池製造程序)	電子零組件製造程序(印刷電路板製造程序)
沸石濃縮轉輪系統(RTO)	-	-	✓	✓	✓	-	-	✓
沸石濃縮轉輪系統(TO)	-	-	✓	✓	✓	-	-	✓
活性碳吸附塔	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓*	✓
活性碳流體化床	-	-	✓	-	✓	✓	-	-
填充床式洗滌塔	-	-	✓	-	✓	-	✓	-
觸媒焚化爐	✓	-	-	✓	-	-	-	-

註：*與冷凝器串聯使用

3.2 各種 VOC 控制技術之優缺點比較

半導體製造業及光電業產生之揮發性有機廢氣主要來源為光阻劑、顯影液與清洗液，因此類原料組成成分複雜，包括氯烷類、酮類、苯環類、醇類、氯醛、四甲基胺等，並依各製程及各廠配方而有污染特性上的不同，可依各廠之污染特性及限制作為選擇適合之處理設備，以達最佳組合之處理效率。又高科技產業所排放之廢氣具有低濃度(< 800ppm@CH₄)、中高風量(450~2,000CMM)、且成分多樣的特性，適合利用的技術包括有吸附技術、化學洗滌技術、焚化技術及生物處理技術等，並依各廠之污染特性需進行預處理或串聯不同處理設備進行處理。表 5 為各種 VOC 控制技術之優缺點比較，表 6 為各種 VOC 控制技術適用情形之比較。

通常熱焚化法適合處理低風量高濃度高溫之廢氣，幾乎可完全去除 VOC，但含塵濃度高者須前處理，若使用蓄熱式焚化爐將可大量減少燃料使用量；若使用觸

媒焚化爐或蓄熱式觸媒焚化爐，需先把會造成觸媒毒化之物質去除。

吸附法適用於低風量低濃度之廢氣，在處理低濃度氣體時有甚佳效率，對含大量粉塵及水分之氣體需前處理，但若廢氣中含大量高沸點 VOC 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，可以轉輪濃縮再進行熱焚化處理，更可提高經濟效益。

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

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廢水亦需進行處理，且除水溶性 VOC 可被洗滌液移除外，對大部份 VOC 而言去除效率皆很低。並將於廢水處理廠造成臭味逸散問題，另外，有些工廠並未設置有機廢水處理設備。

冷凝處理技術因其設置與操作成本皆偏高，故多與其它控制設備合併使用，以彌補其它控制設備之缺點，如置於其它防制設備之前可作預處理來去除特定物質；置於處理設備之後則可提高去除效率^[13]。

故在選擇 VOC 廢氣處理技術時，需同時考量以下幾點準則來判斷該技術之可行性：

1. 去除率：污染源之組成及濃度若產生變動時，系統仍可保持穩定之去除效率，且經處理後之污染物濃度必需符合環保法規。
2. 持久性：需考慮該設備可使用年限，如洗滌液更換頻率、活性炭再生時程、觸媒有效壽命等。
3. 經濟性：有些處理技術雖然解決了廢氣問題，但往往又產生了二次污染，而二次污染勢必又需另行投資其他污染控制設備。另外，系統初設、操作費用及維護難易性等均需考慮。在可達預期效率下，成本的考量乃是處理技術選擇最主要因素。

例如，某光電廠含 VOC 之廢氣，在進入沸石濃縮轉輪前，先以冷凝方式回收高沸點物質，此可避免光電廠常見之高沸點物質所造成降低吸附能力的問題，並可經回收再利用該高沸點有機物質。

表 5 各種 VOC 控制技術之優缺點比較⁽¹³⁾

控制技術		優點	缺點
吸附技術	固定床活性炭吸附塔	<ol style="list-style-type: none"> 1.初設成本低 2.能源需求低 3.適合於多種污染物 4.臭味去除有很高的效率 	<ol style="list-style-type: none"> 1.操作時間短，更換頻繁 2.不適合高濃度廢氣 3.不適合含水分之溶劑 4.不適合含粒狀物之廢氣 5.有火災之危險
	流體化床吸附系統	<ol style="list-style-type: none"> 1.可連續操作 2.系統穩定、安全度高、無潛在著火問題 3.無廢水、且操作成本低 4.適合無瓦斯場所 5.壽命長(脫附溫度 350~400°C) 	<ol style="list-style-type: none"> 1.操作複雜度高 2.含有硫醇化合物時，易有臭味問題(需加後處理設備) 3.甲醇及異丙醇處理效益差 4.高沸點化合物時，必須有溶劑回收設備 5.設備操作須含氧量精密監控，以免危險 6.效率達不到 90%
濕式洗滌技術	填充式洗滌塔	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備費低、且能源需求低 2.可串聯或並聯使用 3.可作吸收或中和設備使用 	<ol style="list-style-type: none"> 1.用水量大，增加操作成本及排放大量廢水 2.對溶解性低之污染物質去除效率低 3.易阻塞及腐蝕
	化學洗滌技術	<ol style="list-style-type: none"> 1.不受高沸點物質影響 2.無須高溫操作、危險性低 3.無廢氣耗材處理問題 4.對水溶性有機廢氣處理效果佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1.廢水產生 2.對溶解性低之污染物質去除效率低 3.應用尚屬於少數
焚化技術	直接燃燒	<ol style="list-style-type: none"> 1.適合廣範圍之污染物 2.對高濃度廢氣不需輔助燃料，能源效率佳 3.處理效率高(90~95%) 4.可能源回收 	<ol style="list-style-type: none"> 1.對低濃度廢氣，燃料成本較高 2.操作溫度及成本高 3.可能有 NOx、CO 問題產生
	觸媒燃燒	<ol style="list-style-type: none"> 1.操作溫度較直接燃燒低 2.燃料消耗量少 3.處理效率高(90~95%) 4.能做熱能回收 	<ol style="list-style-type: none"> 1.觸媒易阻塞、燒結、毒化、破損及活性衰退 2.對某些污染物成分及濃度有所限制
	RTO	<ol style="list-style-type: none"> 1.高熱回收效率(>90%) 2.可處理較高進口溫度 3.可處理含鹵素碳氫化合物 4.可處理大風量廢氣 5.高去除效率 	<ol style="list-style-type: none"> 1.陶瓷床壓損大且易阻塞 2.低 VOC 濃度時燃料費用高 3.NOx 問題需注意 4.熱機/冷卻時間長(6~8hr) 5.需定期清除氧化室

控制技術		優點	缺點
	RCO	<ol style="list-style-type: none"> 1.操作成本較 RTO 低 2.高去除率(95~99%)及高熱回收率(>90%)。 3.設備體積小。 4.使用觸媒可有效降低 NO_x、SO_x 及 CO 的產生。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.觸媒成本高、且有廢棄觸媒處理問題 2.觸媒易阻塞、燒結、毒化、破損及活性衰退
生物技術	生物濾床	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備及操作成本低 2.操作簡單 3.對低濃度之去除率高 4.能處理進流濃度不穩定之氣流，容忍度大 	<ol style="list-style-type: none"> 1.不適合處理高濃度且含硫、氮或鹵素化合物 2. pH 值不易控制於理想範圍 3.佔地廣大、滯留時間長、單位體積的去除效率低
	生物滴濾塔	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備及操作成本低 2.操作簡單 3.對低濃度之去除率高 4.無二次污染 	<ol style="list-style-type: none"> 1.進流中含過量有機物，處理不完全易產生其它臭味問題 2.需裝設自動監控系統，設備費用較高
	生物洗滌塔	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備及操作成本低 2.操作簡單 3.可處理較高濃度之污染物 	<ol style="list-style-type: none"> 1.汙染物之水溶性需較佳 2.佔地廣大、滯留時間長、單位體積的去除效率低
其它串聯不同處理設備	沸石濃縮轉輪 + 直燃焚化	<ol style="list-style-type: none"> 1.去除效率高 (1,000ppm@CH₄ 以下) 2.高濃縮比，可達(20：1) 3.適用於大風量低濃度 4.燃料費較省(vs.活性炭固定床、RTO) 5.含高沸點化學品，可水洗(疏水性沸石) 	<ol style="list-style-type: none"> 1.含高沸點化學品時，如果轉輪表面有液體黏附滴落時，須進行水洗再生(廢水處理問題) 2.濃度較高時及操作處理不當時，有潛在的著火危險，需加裝保護措施(N₂ 及消防水自動噴灑) 3.轉輪壽命 3~5 年(高沸點成分脫附困難，須採用 300℃ 脫附)
	沸石濃縮轉輪 + RTO	<ol style="list-style-type: none"> 1.去除效率高 (1,000ppm@CH₄ 以下) 2.高濃縮比，可達(20：1) 3.適用於大風量低濃度 4.含高沸點化學品，可水洗(疏水性沸石) 5.燃料費用較沸石濃縮轉輪 + 直燃焚化系統低 	<ol style="list-style-type: none"> 1.系統壓力變動較大 2.高沸點化學品，或 HMDS 時，有蓄熱材堵塞問題
	專業活性炭吸脫附系統	<ol style="list-style-type: none"> 1.初設成本低 2.確保減廢效率(>90%) 3.操作成本低 4.無二次污染問題 5.費用低廉，技術成熟 	<ol style="list-style-type: none"> 1.不適合含水分之溶劑 2.不適合含粒狀物之廢氣 3.有火災之危險 4.廢棄活性炭處理問題

註：表中斜體及底線之內容，為筆者根據實務經驗所做的補充及修改

表 6 各種 VOC 控制技術之比較^[13]

	能源回收效率(%)	VOC 去除效率(%)	適用濃度(ppm)	適用風量(CMM)	溫度範圍(°C)
固定床活性炭吸附	—	90~95	100~5,000	5~1,700	38~49
流體化床吸附	—	<u>≤85</u>	1,000	50~1,500	常溫
濕式洗滌	—	—	1,000~5,000	60~3,000	常溫以上
直燃法	50~70	90~95	1,000	30~14,000	<u>650~1,000</u>
觸媒焚化	70	90~98	50~1,000	30~3,000	300~400
RTO	65~97	95~99	100~1,000	<7,000	800~1,000
RCO	95	95~99	50~1,000	—	300~400
生物處理	—	70~80	10~200	50~1,000	20~40
冷凝回收	—	50~95	>5,000	10~1600	露點以下
轉輪濃縮+直燃焚化	65	90~95	<u>100~1,000</u>	2300	常溫~300
轉輪濃縮+RTO	>93	>95	100~1,000	2300	800~1,000
專業活性炭吸附系統	—	90~95	500~5,000	5~1,700	38~49

註：底線之內容為作者根據實務經驗所做的補充及修改

3.3 操作費用評估

表 7 為半導體及光電產業 VOC 控制設備設置與成本概況。

表 7 VOC 防制設備設置與成本概況⁽¹⁴⁾

行業別	防制設備	處理風量範圍 (CMM)	初設成本範圍 (萬元)	操作維護成本 範圍(萬元)
半導體 產業	沸石濃縮轉輪系統	670~1,533	1,400~4,500	300~400
	固定式活性碳吸附塔	42~120	50~200	25~80
	流體化床活性碳吸附系統	648	3,000	700
	生物濾床	130	1,200	20
	高級氧化處理	250	1,700	200
光電 產業	沸石濃縮轉輪系統	545~1,022	2,074	300~360
	固定式活性碳吸附塔	42~250	40~300	4~235
	流體化床活性碳吸附系統	200~360	1,800	72

四、未來 VOC 控制趨勢

4.1 製程減廢

由圖 2 中可發現清潔生產為減少 VOC 產生之主要策略，一般在污染減量上常用之方法可歸納為下列四大類⁽¹⁵⁾：

1. 製程或設備修改
2. 原物料替換或刪減
3. 廢棄物分類(避免有害/無害物質，可回收/不可回收物質混存)
4. 回收

以下綜合 1,2,4 項手法之案例，以說明製程 VOC 減廢之可行性與無限性。某日本溶劑剝離系統供應商，藉由剝離液由傳統之 Amine 系列改為乙二醇碳酸酯 (Ethylene Carbonate，簡稱 EC) 並配合製程之修改及導入 O₃ 回收 EC，藉以達到製程減廢之目的，簡述如下：

4.1.1 製程或設備修改

一般 Amine 剝離系統與 EC 剝離系統之設備空間比較，後者可省下約 40% 之空間如圖 4 所示。



圖 4 剝離系統配置空間比較

4.1.2 原物料替換

以 EC 取代 MEA、NMP 及 DMSO 有下列優點：

1. 藥液量(EC)可減少
2. 藥液(EC)排氣量減少(因 EC 僅 2 個剝離槽，Amine 須 3 個)
3. 藥液(EC)交換量低(可以 O₃ 再生)

其中藥液使用量(以六代面板廠商為例)，如表 8 所示

4.1.3 回收

EC 可以導入 O₃ 加以回收，如此不僅節省原物料成本並免除大量廢溶劑量產生。

4.1.4 廢氣處理衍生問題

一般傳統光阻液有 3 種，MEA、DMSO 及 NMP。在製程操作過程中，剝離液中有機成分會揮發至空氣中形成 VOC，對後續處理設備而言(以沸石轉輪暨焚化系統為例)，MEA、DMSO 為高沸物，經過轉輪長期操作後，須以高溫脫附(300°C)再生。另外 DMSO 經焚化後產生 SiO₂，亦是日後增加維修頻率之潛在因素。而 NMP 經焚化後會產生 NO_x 問題。至於 EC，由蒸汽壓數值可瞭解揮發性遠小於其他三種剝離液，且由其分子結構(C₂H₄CO₃)可知經焚化後可完全分解為 CO₂ 及 H₂O，無二次衍生污染物問題。

表 8 使用液量比較(EC vs. Amine)

	EC	Amine
剝離液使用量	0.168L / sheet	1.44L / sheet
剝離液使用量	252.45 L / day	2,167L / day
Carry Over	56cc / sheet	< 500cc 以上
Exhaust Lost	35cc / sheet	< 300cc 以上
水洗槽數	2 槽 *	< 5 槽

註：1. 面板尺寸(G6)：1,500×1,800

2. Amine：每日產 500 片(製程需要，須 3 日換 1 次剝離液)

3. EC：每日產 500 片(製程需要，僅須 10 日換 1 次剝離液)

4.2 節能

除 VOC 控制系統穩定操作外，因燃料費率日益提高，節能也成爲各廠必要的課題，以下提供節能的案例，說明 VOC 控制技術於節能上的方法及成效。

4.2.1 直燃式焚化爐節能—案例 A

VOC 控制系統中，將直燃式焚化爐之既有的 Pre-mix Burner 更換爲 Raw gas burner，並拆除助燃風車，藉由改變燃燒機的型式，節省助燃空氣燃燒所衍生之燃料費用及助燃風車之動力費用，達到節能的目標。

A 廠共計四套節能設備，改善前瓦斯耗用量爲 30~33m³/hr(每套)，改善後瓦斯耗用量爲 19.1~19.2 m³/hr(每套)，實際節能功效約爲既有燃料耗量之 36~43%，合計四套每年可節省的電力費用約爲 6,960,000 元。

4.2.2 蓄熱式焚化爐(RTO)節能—案例 B

VOC 控制系統中，增設蓄熱式焚化爐及熱交換器，利用蓄熱式焚化爐的高熱回收效率(90~92%)，配合風管的修改及切換風門的設置，將既有直燃式焚化爐含二道熱交換器做爲備用設備。

既有直燃式焚化爐燃料耗用量約 70~80 Nm³/hr，新設之蓄熱式焚化爐約 6~7 Nm³/hr，實際節能功效約爲既有燃料耗量之 90%，每年可節省的電力費用約爲 9,720,000 元。

4.2.3 廢水鍋爐節能—案例 C

VOC 控制系統中，將焚化爐出口經二道熱交換器後所產生的廢熱回收，作

204 高科技 VOC 管理與控制技術研析

為加熱 HOT DI 循環水，以減少電能消耗。

廢氣的流量為 113 m³/min，廢氣的溫度為 340°C，實際可回收的溫度為 200°C，每年可減少 DI WATER 的電力耗電量約 468 KW，每年節省的電費為 7,380,000 元。

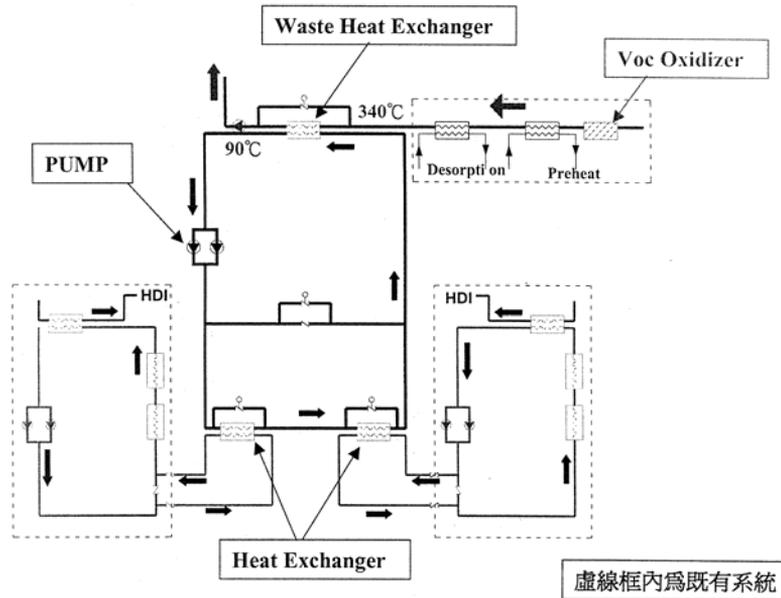


圖 7 廢水鍋爐節能—案例 C

根據以上案例說明，節能應根據實廠的操作經驗，以能量推估的方式進行可行性的評估，評估內容應包括節省能源的費用及估算設置成本，進行回饋年限的評估，做出一個節能的計畫，並根據節能計畫進行模廠或實廠修改，確實驗證節能的可行性，藉以推導至廠內更多的相關設備，真正達到節能成效

4.3 VOC 空污費徵收

4.3.1 空污費徵收法源依據

目前空污費的徵收根據「空氣污染防制費收費辦法」^[12](民國 2007 年 11 月 30 日修正發佈)以及「固定污染源空氣污染防制費收費費率」^[16](民國 2006 年

12 月 27 日公告)辦理。

摘錄自以上法規，相關 VOC 費率及計費方式分成二個階段辦理：

(1) 自 2007.01.01~2009.12.31 根據下表為計算基準

污染物種類	費率	適用之公私場所	備註
揮發性有機物	12 元/公斤	排放揮發性有機物者。	1. 揮發性有機物 (Volatile Organic Compounds, VOCs)係指在 1 大氣壓下，測量所得初始沸點在攝氏 250 度以下有機化合物之空氣污染物總稱。但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、二硫化碳、碳酸、碳酸鹽、碳酸銨、氟化物、硫氧化物等化合物。以非甲烷碳氫化合物(NMHC)為計費基準。 2.起徵量：每季一公噸。 3.揮發性有機物收費費額=(排放量-起徵量)×費率。

(2) 自 2010.01.01 起根據下表為計算基準

污染物種類	費率		適用之公私場所	備註
	二級防制區	一、三級防制區		
揮發性有機物	25 元/公斤	30 元/公斤	第一級： 季排放量扣除起徵量後 > 49 公噸	1. 防制區等級係以臭氧分級為基準。 2. 起徵量：每季一公噸。 3. 揮發性有機物收費費額=【(第一級排放量×第一級費率)+(第二級排放量×第二級費率)+(第三級排放量×第三級費率)】×優惠係數(A)。
	20 元/公斤	25 元/公斤	第二級： 6.5 公噸 < 季排放量扣除起徵量後 ≤ 49 公噸	
	15 元/公斤	20 元/公斤	第三級： 季排放量扣除起徵量後 ≤ 6.5 公噸	
個別物種	甲苯、二甲苯 苯、乙苯、苯乙烯、二氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、三氯甲烷(氯仿)、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯	5 元/公斤 30 元/公斤	排放揮發性有機物中含本項個別物種者，加計本項空氣污染防治費	個別物種收費費額=個別物種排放量×費率

優惠係數級距比例之適用條件及計算方法

分級比例(A)	優惠係數(A')	備註
A ≥ 95%	40%	分級比例(A)= $\frac{\text{符合適用條件之揮發性有機物排放量}}{\text{全廠揮發性有機物排放量}}$
75% ≤ A < 95%	50%	
50% ≤ A < 75%	65%	
30% ≤ A < 50%	80%	
適用條件：裝(設)置收集及控制設備或製程改善能有效減少揮發性有機物排放，且排放削減率大於或等於 95%者。		

4.3.2 計算範例說明

以光電業新設製程為例，假設 VOC 廢氣風量為 100,000ACMH，廢氣入口濃度為 500ppm，以甲烷為濃度基準，每季的操作時數為 2,160hr。

若根據「光電材料及元件製造業空氣污染管制及排放標準」規定，VOC 排放削減率應達 85%或管道排放量 0.4 公斤/小時以下(以甲烷為計算基準)；再參考目前空污費徵收之優惠計算方式，VOC 控制設備排放削減率需大於或等於 95%。

根據以上條件換算成廢氣入口 VOC 量為 32.72 Kg/hr。

分別根據不同的排放削減率，計算每季排放量及年空污費差異及結論說明如表 9 所列。

表 9 不同排放削減率之空污費差異

	季排放量 公斤/季	2007.01.01~2009.12.31 空污費(台幣) 元/年	自 2010.01.01 起 空污費(台幣) 元/年
排放削減率 85%	10,601.28	508,861	638,102
排放削減率 95%	3,533.76	169,620	60,810
空污費差異		339,241	577,292
節省比例		67%	90%

4.4 脫附技術改進

一般半導體業及光電業經常使用溶劑之沸點範圍介於 60~250℃，沸石濃縮轉輪系統之再生脫附溫度為 180~240℃，脫附方向為逆向脫附，脫附出口溫度為 35~110℃。因部份之脫附入口能量為沸石轉輪所吸收，故脫附出口溫度會低於脫附入口溫度；順向脫附方式需較大的脫附能量，及轉輪吸附出口段預留之安全段容易被污染，故採用逆向脫附方式。

在各類製程使用溶劑中，有一段製程使用 stripper 混合溶劑，包含 MEA、DMSO、NMP 等高沸點溶劑，主要功能為去光阻劑，光阻劑成份主要為 PGME、PGMEA 等，這些高沸點物質及光阻劑經常混合在一起。光阻劑在受到紫外線照射

或受熱過程中，會發生聚合作用，使水溶性溶劑轉變為非水溶性聚合物，這些高沸點溶劑及非水溶性聚合物經常造成沸石轉輪系統效率下降。

300°C 脫附功能為延長沸石濃縮轉輪使用年限，及增強系統再生能量之方式，且無二次污染物產生，如有機廢水。但執行該功能需有有經驗之工程師依標準步驟執行，否則有悶燃之危險。

水洗功能雖可清洗轉輪上之高沸點混合物，但同時也因清洗水夾雜混合溶劑污染到轉輪上乾淨安全段，沸石轉輪主要材質為多孔性吸附材，水洗功能無法完全洗清吸附孔徑內之高沸點混合溶劑，及轉輪吸附入口表面之聚合物，且有大量有機廢水產生，需要額外處理費用；為縮短轉輪系統之停機時間，加速水洗後之烘乾時間，還是需要點燃焚化爐以高溫再生氣流加速烘乾速度，此部份能源消耗還是必需的。如清洗不乾淨，日後轉輪還是有悶燃之危險。故在環境保護避免二次污問題及節約能源之考量下，除非轉輪表面以肉眼觀察，有液體溶劑附著且滴落於入口氣室內，仍建議採 300°C 脫附的方式。

4.5 使用者的設計需求

以往 VOC 處理設備的規劃設計，多是採統包方式，由供應商根據業主所提供的廢氣基本資料及所要求的效率，進行系統的整體規劃及設計，最後則根據處理效率是否能達到業主要求做為驗收標準。

近幾年，隨著台灣地區此類型的設備安裝數量多，業主在此方面的知識與經驗，已有的許多操作經驗累積。因此，在初期系統設計階段，不再僅是由供應商單方面提供資訊，業主也積極參與，提供其操作上的實務需求，

筆者整理這幾年所執行的案例、使用者在設計上的需求，供作參考：

1. 助燃風車出口裝設逆止風門，以保護當助燃風車故障時，爐內高溫倒灌的問題。
2. 300°C 高溫脫附功能。
3. 系統安全設計
 - (1) N₂ 及消防灑水系統。
 - (2) 轉輪濃縮出口段，增設遮斷風門。
 - (3) 轉輪出口煙囪及焚化爐煙囪獨立設置。
 - (4) UPS 電源提供控制系統及轉輪運轉，至少 20 分鐘。

4.RTO系統

- (1)於熱交換器出口安裝比例式風門，因應濃度過高造成 RTO 爐過溫跳脫的情形。
- (2)無焰式燃料供應系統，避免 RTO 爐入口濃度過高，造成過溫的情形。

4.6 有害空氣污染物(HAPs)管制^[17]

國內近年來經濟成長快速，各種有害空氣污染物(HAPs)排放量不斷增加，而 HAPs 來源極為複雜且性質差異頗大，短時間內無法將其全部納入管制，必須先分階段就 HAPs 對人體健康的影響風險、社會成本及技術可行性等加以綜合考量並決定優先管制順序，以收事半功倍之效。

台灣地區現行空氣污染防治相關法規中，對於「有害空氣污染物」並未明確定義；參考美國 CAAA 之定義為「任何空氣污染物引起或導致死亡率增加，嚴重危害人體健康而不可回復，或造成喪失能力但能恢復之徵狀，稱為有害空氣污染物」。依上述定義，幾乎所有直接或間接會導致嚴重健康危害之化學品，均可能稱為有害空氣污染物。

分析國內現有法令管制有毒、有害物質項目，以及有關排放調查，可以歸納台灣地區主要有害空氣污染物問題包括以下幾類：揮發性有機物(VOC)、重金屬、酸性氣體及氟化物等，其中 VOC 項目佔大多數，其次則為重金屬及其化合物。

除制定各行業相關管制標準(規範)外，環保署亦執行多項研究計畫，其內容亦以有害空氣污染物管制為主要架構，或其內容與有害空氣污染物管制有密切關係，包括：「有害空氣污染物排放管制規範」研訂計畫、「有害空氣污染物砷、鉻、鎘、鉛暨戴奧辛管制規範及排放標準」研訂計畫、「有害空氣污染物(甲醇、夫喃、甲基異丁酮、醋酸丁酯、二硫化碳、環氧乙烷、甲酚)排放調查及管制規範」研訂計畫。

另外「固定污染源空氣污染物排放標準」係規範排放管道及工廠(場)周界空氣污染物排放標準，其包括之空氣污染物項目甚多，對污染源所可能排放眾多 VOC 及 Air Toxic 成份而言雖不盡周全，但由於其施行歷史最久，且於 1994 年 4 月 20 日修正發佈後，其管制內容已更趨合理，對污染源及工廠之 VOC 及 Air Toxic 排放限值已做調整，往後對管制程序、技術亦應加以注意及因應。

因此環保署依據各種 HAPs 對人體健康及環境品質危害性大小，考慮其致癌性潛能、運作量多寡、生物濃縮性大小、急毒性程度等因素已篩選出 30 種有害空氣污染物作為初期管制之對象，包括 21 種揮發性有機物、4 種重金屬、3 種酸氣及其他兩種污染物，表 10 中同時也將這 30 種有害空氣污染物之 TLV, AALG 等相關資料加以彙整，在這些資料中均可給予未來管理上的明確指引。爾後並於 1998 年重新檢討評估，建議刪去 PAHs 並增列丙烯腈(Acrylonitrile)、環氧乙烷(Ethylene oxide)、丁酮(Methyl Ethyl ketone)、氯乙烯(Vinyl Chloride)、及甲醛(Formaldehyde)。

表 10 國內建議優先調查之 30 種有害空氣污染物及其相關資料

類別	國內 30 種優先列管之有害空氣 污染物	排 序	致 癌 風 險 性 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	急 性 可 接 受 濃 度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	慢 性 可 接 受 濃 度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	TLV (mg/Nm^3)	AALG (mg/Nm^3)
揮 發 性 有 機 物	Benzene 苯	1	8.30E-06	0.00E+00	7.10E+01	30TWA	9.6E-2 年 TWA
	Styrene 苯乙烯	2	5.70E-07	0.00E+00	7.00E+02	215TWA	26.3 年 TWA
	1,2-Dichloroethane 1,2-二氯乙烷	3	2.00E-05	0.00E+00	0.00E+00	347TWA	0.046 年 TWA
	Trichloroethylene 三氯乙烷	4	2.00E-06	0.00E+00	6.40E+02	270TWA	0.39 年 TWA
	Ethylbenzene 乙苯	5	0.00E+00	4.00E+03	1.00E+03	435TWA	130 年 TWA
	Chloroform 氯仿	6	5.30E-06	4.00E+03	3.50E+01	50TWA	0.022 年 TWA
	Toluene 甲苯	7	0.00E+00	4.00E+03	2.00E+02	375TWA	140 年 TWA
	Xylene 二甲苯	8	0.00E+00	4.40E+03	3.00E+02	435TWA	5200, 8 小時 TWA
	Tetrachloroethylene 四氯乙烷	9	5.80E+07	4.00E+03	0.00E+00	335TWA	TWA
	Methylene chloride 二氯甲烷	10	0.00E+06	3.50E+03	3.00E+03	105TWA	-
	Dimethyl Formamide 二甲基甲醯胺	11	0.00E+00	0.00E+00	3.00E-02	-	0.86 年 TWA
	1,1-Dichloroethane 1,1-二氯乙烷	12	0.00E+00	0.00E+00	5.00E-02	-	300 年 TWA
	Phenol 酚	13	0.00E+00	0.00E+00	4.50E+01	19TWA	-
	Tetrachloromethane 四氯甲烷	14	5.80E+05	0.00E+00	0.00E+00	-	-
	1,1,1-Trichloroethane 1,1,1-三氯乙烷	15	0.00E+00	1.90E+05	0.00E+00	1900TWA	90, 8 小時 TWA
	Methanol 甲醇	16	0.00E+00	0.00E+00	6.20E+02	-	-
	Furans 呋喃	17	0.00E+00	0.00E+00	3.50E+00	-	-
	Methyl phenol 甲酚	18	-	-	-	-	-
	Methyl isobutyl ketone 甲異丁酮	19	-	1.20E+03	8.00E+01	205TWA	490, 8 小時 TWA
	Butylacetate 醋酸丁酯	20	-	-	-	-	TWA
	Carbon disulfide(二硫化碳)	21	-	3.30E+02	0.00E+00	31TWA	150, 24 小時 TWA
含 重 金 屬	Arsenic 砷	1	3.30E-03	0.00E+00	5.00E-01	0.2TWA	4.66E-5 年 TWA
	Chromium 鉻	2	1.40E-01	0.00E+00	2.00E-03	0.5TWA	TWA
	Cadmium 鎘	3	4.20E-03	0.00E+00	3.50E+00	0.01TWA	1.67E-5 年 TWA
	Lead 鉛	4	8.00E-05	1.50E+00	1.50E+00	0.15TWA	TWA 1.1E-4 年 TWA 1.5 年 TWA
酸 氣	Nitric acid 硝酸	1	-	-	0.00E+00	1900TWA	21, 8 小時 TWA
	Hydrogen chloride 鹽酸	2	0.00E+00	3.00E+30	0.00E+00	1900TWA	-
	Sulfuric acid 硫酸	3	-	-	0.00E+00	1900TWA	2, 8 小時 TWA
其 他	Carcinogenic PAHs 致癌性多環芳烴化合物	1	-	-	-	-	-
	Naphthalene 萘	2	0.00E+00	0.00E+00	1.40E+01	50TWA	120, 8 小時 TWA

註：-，資料不足

AALG(Ambient Air Level Goal), 空氣品質目標值。

TLV(Threshold Limit Value), 恕限值，係美國工業衛生協會所訂勞工作業環境容許濃度。

TWA(Time Weighted Average), 時量平均容許濃度。

資料來源：行政院環保署『有害空氣污染物管制規範及排放標準研定計畫』，EPA-84-F1-03-09-07。

4.7 安全認證需求不斷提高

雖然一般工廠並不會要求承攬 VOC 處理系統的廠商必須取得如 ISO 9001/14001 認證的資格。不過承攬廠商為能提升產品的品質及競爭力，通常會以自我要求的方式，取得 ISO 的認證。

至於 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統，目前國內某半導體知名廠商即要求所有承攬高風險作業的廠商須於 2007 年 7 月 1 日前完成 OHSAS 18001 認證，以確保工作環境的健康與安全。

另一項國際認證，SEMI S2 “係國際半導體設備及材料協會(SEMI)” 針對製程設備供應商所規範的安全標準，自公佈以來，儼然成為國際間各半導體製造廠商採購設備的依據。雖然 VOC 處理設備，並非屬於製程設備的範圍，故並未要求該設備必須取得此項認證，據了解多年前國內有廠商為能提升其設備的競爭力及安全性，取得其設備的認證，但其僅為單一設備的認證，無法確保其他系列的設備皆能符合 SEMI S2 的要求。因此目前已有廠商朝設備系統及系列認證的方式，確保其所提供的處理設備皆能符合認證的要求，以提供業主更高品質的設備。因此，隨著業主對安全要求的不斷提高，VOC 處理設備的認證，將可能成為未來趨勢。

SEMI 指令概括了半導體、顯示器材料和機器的全球性標準和法規。SEMI S2 代表和概括了半導體工業中機器和設備的基本健康和安全性要求。具體來說，SEMI S2 涉及到了諸如電氣、機械、防火、化學、輻射、噪音和防震等安全領域。與其他 SEMI 指令，例如，SEMI S8(人體工學要求)和 SEMI S10(風險評估)一起使用，其主要代表了半導體廠家的基本安全要求。一般主要測試/評估項目包括：化學材料、化學危害評估，機械手臂安全性評估，結構評估，技術文件整理，防火，有害氣體排放、通風要求，機械設備危險性評估，電氣性能、電氣設計測試及評估^[18]。表 11 則列出進行 VOC 處理系統進行 SEMI S2 認證時，現場主要測試項目。

表 11 SEMI S2 現場主要測試項目

項次	項目	說明
1	各種輸入狀態測試	模擬各種實際使用狀態
2	啓動電流	模擬各種實際使用狀態
3	漏電流	被測設備正常運轉
4	絕緣	停機。拆掉電源線
5	耐壓	停機。拆掉電源線
6	接地	設備停機斷電
7	應力測試	設備停機
8	溫升測試	正常工作約 2-4 小時，等待設備達到熱平衡
9	噪音測試	設備正常運行，設備周圍預留 3m 以上空間，以利進行測試
10	Interlock 功能確認	開機運轉→Interlock 功能確認→查看結果
11	變壓器輸出端路	設備待機狀態，對變壓器輸出各路分別短路
12	開關電源/控制電路 電源輸出端路	設備待機狀態，對變壓器輸出各路分別短路
13	人體工學測量	停機、測量尺寸、角度等
14	風險評估	以問答方式爲主，輔以操作進行確認
15	其他評估項目	停機、測量、目測等

4.8 交期縮短、設備大型化、成本降低廠商因應策略

隨著高科技製程的現況，設備有漸漸大型化的趨勢，但因全球不景氣的影響，配合各廠建廠經費的短縮與控制，VOC 控制設備成本降低似乎也成爲一種必然的趨勢；配合建廠的時效性，VOC 控制設備交期縮短也勢在必行。

在此 VOC 設備廠商因應的策略包括：設備模組化、主要零組件備品、專案進度掌控以及多元化供應商的建立，分別說明如下。

4.8.1 設備模組化

可以節省客製化產品的設計及製作時間，產品可以再更具競爭性的狀況下快速生產，且可以確保產品的品質。產品亦可以在最具經濟化的設計條件下生產，例如：可以將產品生產的廢料比例降到最低點，達到經濟及環保的最佳設

212 高科技 VOC 管理與控制技術研析

計，亦可減少人力資源的浪費，達到材料及人力雙重的成本降低的功效。

4.8.2 主要零組件備品

部分進口產品交期久，VOC 設備廠商的因應方式為建立完整常用的備品，以縮短工期。且完整備品的建立，亦可建立良好的維修體系，可確實服務客戶。

4.8.3 專案進度掌控

較為大型的進口設備，其交期較久但又無法建立備品的狀況下，於專案初期先行確認此部分的產品需求，可藉藉由專案進度掌控的方式，達到符合業主進度的方式。

4.8.4 多元化供應商的建立

有鑑於生產排程的的困擾，VOC 設備廠商，需建立多元化供應商，即同級品廠商的替代性，避免因供應廠商生產排程的問題，影響到整體專案進度的進行。

因應交期縮短、設備大型化、成本降低等需求，VOC 設備廠商需於做出以上因應之道，確實讓顧客瞭解製作排程上的困擾，與業主溝通找出最佳化的專案進度及控管。

4.9 特殊天候設計需求

4.9.1 台灣地區

一般 VOC 處理設備多安裝於廠房的頂樓，多數為露天方式，部分則會放置於樓頂的閣樓內。而台灣地區主要有可能對其造成影響的自然現象為颱風及地震。VOC 處理設備的安裝方式主要為，直接以設備底座固定於 RC 地面上、或是安裝於鋼構平台上，其中因為設備重量重，故當設備受地震或風力時，不會翻覆，設備基礎的螺栓，只受剪力，不受拉力。至於當設備安裝於鋼構平台上時，因設備重量重，故會先由結構技師計算評估，確認該鋼構平台的強度足以承受系統設備的固定安裝。

4.9.2 大陸地區

針對大陸地區有可能發生超低溫的環境下，主要必須考量的項目為設備整體保溫、液體管線及壓力管線的絕緣保溫及積雪設備表面的負荷考量。此外，

針對電控設備部分，例如馬達驅動器、差壓開關、壓力傳訊器等，必須考量其在低溫環境下的使用性。

五、結 語

高科技產業所使用的 VOC 原物料皆有所差異，且製程特性變異性甚大，故其尾氣流量、VOC 組成與濃度等基本特性，亦存在著極大的差異性。因此，在防制設備選取時，建議對廠內之 VOC 污染源與各股排放量清單，先確實調查與統計，再配合減廢手法，方能做出正確之減量策略。而最適合的 VOC 處理技術之選擇考量必須包括：VOC 的入口濃度、入口風量、入口氣體溫度、去除效率、設置成本、操作成本、維修保養、以及維護的難易度與頻率。至於部分產業 VOC 廢氣組成複雜且性質相異的廢氣處理，可朝不同技術整合的方向評估設計。

六、參考文獻

1. Joseph F Mattery, J Michael Sherer, John D. Miller, Minimize Emissions from Semiconductor Facilities, chemical Engineering Progress , p.8, May 2000
2. 國家環境保護總局，大氣污染物綜合排放標準，GB16297,1996.4。
3. 上海市環境保護局，半導體行業污染物排放標準，上海市地方標準，DB31/374,2006。
4. 北京市環境保護局，大氣污染物綜合排放標準，北京市地方標準，DB11/501,2007。
5. 空氣品質保護及噪音管制處，揮發性有機空氣污染物管制策略，2003。
6. 空氣品質保護及噪音管制處，半導體製造業空氣污染管制及排放標準，行政院環境保護署，2002.10。
7. South Coast Air Quality Management District, SCAQMD1164 – Semiconductor Manufacturing, 1995.1
8. Environmental Protection Agency, CFR40.Part63.1255 Chapter I, Environmental Protection Agency, p.146 2007.7

214 高科技 VOC 管理與控制技術研析

- 9.行政院環境保護署，公私場所固定污染源空氣污染物排放量申報管理辦法，92年8月6日。
- 10.行政院環境保護署，排放管道中總碳氫化合物及非甲烷總碳氫化合物含量自動檢測方法－線上火燄離子化偵測法(NIEA A723.72B)，92年1月18日。
- 11.中國環境科學出版社，「空氣和廢氣監測分析方法(第四版)」，2003/9/1。
- 12.行政院環境保護署，空氣污染防制費收費辦法，96年11月30日。
- 13.謝祝欽等，「半導體業產生有害空氣污染物處理技術」，國科會/環保署八十八年科技合作研究計畫。
- 14.新竹縣政府環境保護局，「固定污染源管制計畫-高科技產業」期末報告，2004年。
- 15.U.S EPA, 1995, Profile of the Electronics and Computer Industry, EPA-310-R-95-002,Office of Compliance. P.74
- 16.行政院環境保護署，固定污染源空氣污染防制費收費費率，95年12月27日。
17. 高雄市環境保護局第一科空氣污染防制網站，
<http://air.ksepb.gov.tw/dispPageBox/AQMPCP.aspx?ddsPageID=AQMPC4&>。
- 18.Environmental, Health, And Safety Guideline For Semiconductor Manufacturing Equipment, SEMI S2-0706a,SEMI 1991,2007。