

行業製程異味污染防治—塑膠製品業

財團法人台灣產業服務基金會 孫國書工程師

一、前言

環境指標除了有各種污染物之濃度、數量等量化數據外，陳情案件更是對民眾直接接觸，最可以展現績效之項目。然近年來由於民意的高漲，有關惡臭的陳情件數呈逐年增加之趨勢，處理民眾陳情案件成為政府責無旁貸之工作。

分析過去 10 年來民眾陳情案件中，在空氣污染方面 96 年工業界被陳情比例雖由以往 40.2%降至 27.6%，但空氣污染陳情案件仍然高居第 2(表 1)^[1]；若以陳情污染物分析(表 2~表 3)^[1]，惡臭問題一直是民眾關注的環保問題之一，惡臭陳情之比例逐年增加，目前已超過 65%以上；其次為粒狀污染物，但也已降至約 15%。據統計結果可知，惡臭污染案件佔所有空氣污染陳情案件比例達 6 成以上，且比例逐年攀升，顯示惡臭問題已成為近年來影響民眾生活品質的主要因素之一，也亟待解決。

再由工廠惡臭陳情案件主要來源分析(圖 1)^[2]，約有 50%以上陳情對象集中於幾個特定行業(包括塑橡膠製造加工業、金屬加工業、化學品製造業、電子電鍍業及食品加工業)，這些行業也是環保署未來稽查管制之重點行業。而且，環保單位亦針對溢散性 VOCs 以及異味問題進行相關法令加嚴或重新檢討工作。因此，本彙整資料廣泛蒐集前述重點行業異味污染特性資料，以及異味收集與污染控制技術進行研析。

表1 96年主要空氣污染物陳情案件統計^[1]

陳情對象	工業	營建工程	商業	一般居民	其他	總計
總計件數	13,169	3,712	13,333	8,970	8,522	47,706
比例	27.60%	7.78%	27.95%	18.80%	17.86%	100.00%

表2 10年來空氣污染受陳情對象比較表^[1]

時間 陳情對象	87 年	96 年	97 年 1-4 月
總計件數	29,172	47,706	11,690
工業陳情比例	40.18%	27.6%	28.23%
營建工程陳情比例	15.35%	7.78%	5.86%
商業陳情比例	15.68%	27.95%	27.34%
一般居民陳情比例	12.95%	18.8%	19.79%
其他陳情比較	15.84%	17.86%	18.79%

表3 10年來空氣污染受陳情污染物比較表^[1]

時間 污染物種類	87 年	96 年	97 年 1-4 月
總計件數	29,172	47,706	11,690
惡臭陳情比例	46.04%	65.34%	61.51%
粒狀物質陳情比例	29.87%	15.25%	22.98%
氣體物質陳情比例	6.79%	1.22%	2.60%
其他比例(黑煙熱氣)	17.30%	18.19%	12.92%

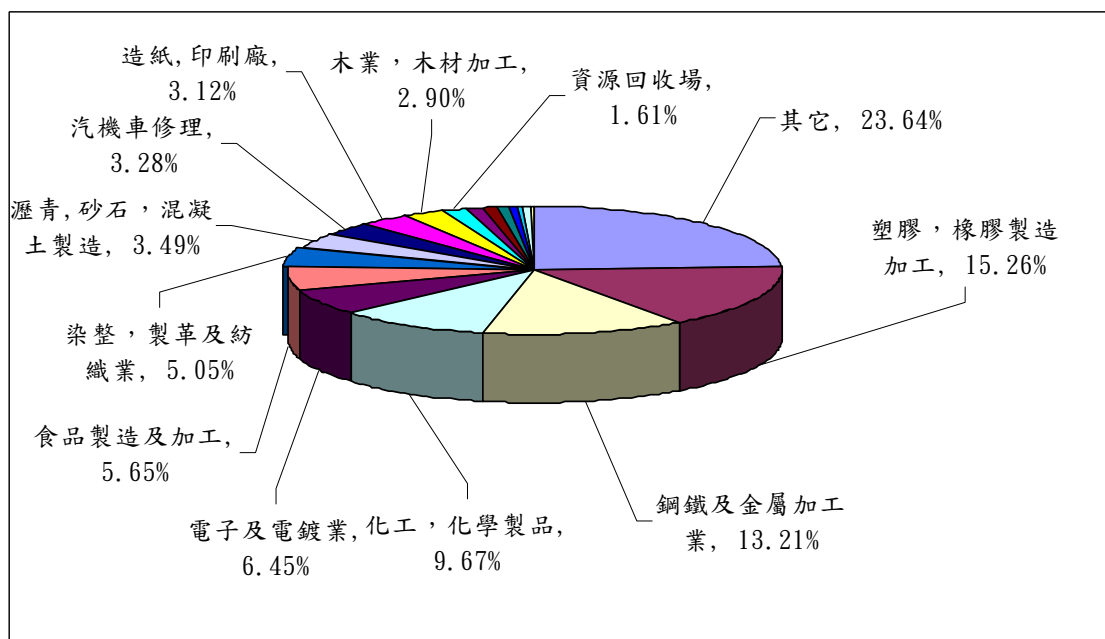


圖1 工廠惡臭陳情案件主要產業分析圖^[2]

二、異味來源及特性

由圖1可以得知目前以塑膠製造及加工業，為工廠惡臭陳情案件之大宗。本文主要針對塑膠製品製造業，進行異味污染控制技術資料建議與探討。

塑膠製品工業為塑膠工業下游產業的總稱，所使用的原料與製程技術的種類繁多，產品應用於生活周遭之食、衣、住、行等方面。以下依加工技術及製程進行分類說明：

1. 依加工技術別分類

塑膠製品加工技術可分為押出加工、模塑加工、塗佈加工、發泡加工、熱成型、壓延加工及強化塑膠等。塑膠製品之產製包括塑膠皮、板、管材，塑膠膜/袋，塑膠日用品、塑膠鞋，塑膠皮製品，以及工業用塑膠製品及其他商業化塑膠產品之生產與製造。其中，塑膠成型加工技術(混煉、塗佈、乾燥等)為 VOCs 逸散之主

要來源，其所發生的 VOCs，是以原料樹脂中所含有的未反應單體副原料可塑劑(例如酞酸二丁酯)、脫模劑(例如硬脂酸鋅)、反應性稀釋劑(例如苯乙烯)、去垢劑(例如丙酮)、或作為稀釋劑的丙酮、甲苯、二甲苯等之有機溶劑為主。表 4^[3]為各類型塑膠工廠所產生之異味來源與種類。

表4 各類塑膠工廠異味種類及發生源^[3]

產業別	惡臭排出設備	異味種類及惡臭物質
塑膠製造工廠	射出成型機	刺激臭
	押出成型機	ABS臭
	氯乙烯滾筒	可塑劑臭
	廢水處理設備	污水臭
	—	刺激臭
塑膠再生工廠	塑膠溶解裝置	塑膠臭
	樹脂塗佈工程	苯乙烯臭
	噴塗工程	溶劑臭
	—	苯乙烯、甲苯臭
強化塑膠製品製造工廠	樹脂噴塗工程	苯乙烯、甲苯臭
	成型工程	刺激臭
	射出成型機	丙酮等溶劑臭
	焚化設備	刺激臭、醚臭

2.依製程別分類

若依塑膠製品製程中 VOCs 廢氣之產生途徑有二：(1)原料加熱過程中，致使單體、添加劑如丁二烯、苯乙烯、氯乙烯、DOP、AIBN 等釋出；(2)有機溶劑揮發所造成如甲苯、二甲苯、丁酮、甲乙基酮、甲基異丁基酮、正丁醇、乙酸乙酯、乙酸丁酯、丁基甘醇、甲基甘醇等之逸散。有關塑膠製品業 VOCs 污染種類如表 5^[4]，前述各項物質多屬高揮發性，並兼具臭味與毒性，其毒性及臭味閾值如表 6^[4]所示。

三、防制方法

異味防制基本方法之一為減少異味物質進入大氣環境，此可以按 1.製程改善與管理，2.異味之抽除，3.裝設控制設備等方法達成。假設若此仍無法減除其干擾，則可另輔以擴散或遮飾等方法；前者即加高煙囪，使異味於到達受體前充份稀釋；後者為以植物精油或芳香劑等混入含臭排氣，減少受體之不愉快程度。

表5 塑膠製品業VOCs污染種類^[4]

	中間原料	塑膠加工製品	VOCs種類
熱 塑 性	低密度聚乙烯(LDPE)	膠膜、板、袋、家庭用具、電氣絕緣材料	丙酮、MIBK、甲苯
	高密度聚乙烯(HDPE)	容器、管件、家庭用具、雜貨	丙酮、MIBK、甲苯
	甲基丙烯酸－壓克力樹脂(PMMA)	壓克力板、汽車零件、廣告牌、防風玻璃、醫療用品、眼鏡	MMA蒸氣
	聚碳酸酯(poly-carbonate)	電子及家電零件、汽車零件、家庭用品、機械零件、公用電話單、包裝膜	
	聚丙烯(PP)	膠膜、編織袋、汽車零件、家庭用具	甲苯
	丙烯腈－丁二烯－苯乙烯樹脂(ABS)	手提箱、電鍍材料、汽車及電子零件、電化機械殼、安全帽、高跟鞋、低發泡品	丁二烯氣體(熱熔產生)、MEK、MIBK、EA、BA、NBA、BCS
	尼龍66	工業用纖維	
	尼龍6	齒輪、耐衝擊汽車零件	
	聚縮醛樹脂(poly-acetal)	機電零件、汽車零件、消費材料	
	聚苯乙烯 (PS) <div> 通用型 (GPS) 耐衝擊型 (HIPS) 發泡型 (EPS) </div>	器皿、塑膠殼、玩具、成型品、膠盞、電器、機汽車零配件、食品容器、包裝材料、保利龍	苯乙烯(熱熔產生)、MEK、MIBK、EA、BA、NBA、BCS(噴漆用之有機溶劑)
熱 固 性	聚氯乙烯(PVC)	管、布、皮、膜、成型品、汽車零件、化學鞋	DOP、甲苯
	環氧樹脂(Epoxy)	塗料、接著劑、電子零件、強化塑膠、電氣絕緣材料	甲苯、二甲苯、BA、MIBK、MIBC
	聚脲樹脂(PU)	合成皮、泡棉、塗料、接著劑、機台的緩衝材、斷熱材	DMF、MEK、二甲苯
	不飽和聚酯樹脂(UP)	鈕釦、保麗板、輕質構造材料、船、車之材料	
	三聚氰胺甲醛樹脂	餐具、接著劑、成型粉、電器零件、裝飾板	
	尿素甲醛樹脂	合成接著劑、餐具容器、塗料、鈕釦	
	酚醛樹脂	膠合劑、電子零件、事務機械、耐酸器具烹調器握柄及其他成型品	

表6 塑膠製品業使用添加劑種類毒性及臭味閾值^[4]

添加劑種類	用途	勞工安全標準(ppm)	臭味閾值(ppm)
丁酮(MEK)	稀釋劑	200	100
甲苯(Toluene)	溶劑	100	0.17
甲基異丁基酮(MIBK)	溶劑	100	—
正丁醇(NBA)	溶劑	100	0.3
乙酸乙酯(BA)	溶劑	400	1
丁酸乙酯(BA)	溶劑	150	10
丁基甘醇(BCS)	溶劑、增塑劑	50	—
二甲苯(Xylene)	溶劑	100	0.05
酞酸二辛酯(DOP)	可塑性	5mg/Nm ³	—
二甲基代甲醯胺(DMF)	溶劑	10	—
環己酮	合成劑	50	25
甲基丙烯酸甲酯(MMA)	原料用	100	0.05
苯乙烯(Styrene)	原料用	100	0.15
丁二烯(Butadiene)	原料用	1,000	5mg/Nm ³
氯乙烯(PVC)	原料用	10	260
丙烯腈(Vinyl cyanide)	原料用	20	1.7

1. 製程改善與管理

(1) 原料替代

- A. 積層貼合製程主要為接著劑乾燥過程中 VOCs 揮發而產生異味，若採用無溶劑型或水性接著劑，可以避免異味產生。
- B. 擠壓塗膠程序最主要的污染來源是高溫熔融塑膠氧化，造成塑膠裂解，產生臭味與煙，可降低溫度及選擇抗氧化性較高之塑膠。
- C. 強化塑膠製程中，脫模劑扮演著保護模具表面的功能，近期發展的脫模劑不含污染物質的成份。
- D. 強化塑膠膠殼塗佈程序使用低溶劑散逸型的膠殼減少蒸氣逸散。此種膠殼係由 1,3-苯二甲酸/NPG 組成，可顯著減少單體損失、具有良好抗風蝕性質、並可減少氣泡、具高度光澤特性。
- E. 強化塑膠製程開放式模造程序，不飽和聚酯樹脂含有著 30~50% 的苯乙烯單體作為一種交聯劑，樹脂係在大氣下穩定接觸，因此較密閉式模造程序要注意降低苯乙烯濃度。樹脂供應商可在樹脂的等級上作些改良，發展具有相同加工及性能且低苯乙烯釋放之樹脂系統，如苯乙烯釋放抑制劑，及修改未飽和聚酯樹脂等。

(2) 製程改善

- A. 滾筒裝置防濺罩或使用特殊設計滾筒，可利用在滾筒上裝置一防濺罩，以減少小液滴造成的煙霧，因此可大量地減少揮發性苯乙烯的逸散。
- B. 使用改良式噴槍，如新設計開發一系列的噴槍，在低流體壓力下將樹脂部分原子化，然後再將在噴嘴的空氣壓力來調節噴佈模式。這種噴佈方法至少可以減少無空氣方法之操作氣壓的一半。比較真空和一般空氣原子化的方法，因為噴佈模式的速度可以減少 50%，噴射時的反彈減少，有利於原料的傳送。

(3) 溶劑管理

- A. 無論是何種溶劑劑，使用後工作環境保持整齊乾淨，模具有時需要密封，以避免水汽或溶劑蒸氣的污染。如果含有易燃物，更需要注意與火源保持距離。
- B. 此外，生產製程中使用的清潔溶劑，考量增加其重複使用次數及回收再利用。

2. 異味之抽除

經由製程異味抽除須藉由適當型式氣罩(hood)配合抽氣設備及管線(集排氣系統)，將其抽送至處理設備。

3. 設置控制設備進行管末處理(詳四、管末處理技術)。

四、管末處理技術

若前述項目已充分考量並實施後，排氣仍不符法令標準，或排氣仍對有人體造成影響者，即應進行管末處理。處理技術或設備選擇須有下列基本資料：

- (1)排氣流量。
- (2)排氣異味成分、濃度、溫度。
- (3)上述資料之隨時變化情形。
- (4)異味去除效率。
- (5)其他配合設施，例如有無既有排氣處理設施、污水處理設施、管理人力及其素質、水電供應、建物或土地空間等。

1.現有處理技術

由於異味物質多為氣狀污染物，因此處理方法包括吸收、吸附、冷凝、熱破壞、及生物處理等控制技術。另外，某些製程排放異味係由於廢氣中粒狀物攜帶致臭性物質而造成異味污染，於此情況控制粒狀物排放即可有效解決異味污染問題。在異味控制技術之諸多方法中，濕式洗滌法可同時去除廢氣中之微粒及吸收異味物質，而直接焚化法亦可用以燃燒氧化具可燃性之粒狀物質，惟其需要更高之燃燒溫度。

異味處理技術分：1.物理、2.化學、3.生物等三大類，常用者如表 7^[5]所示，一般可以單一技術或二種以上技術組合(串連)以完成單一異味處理工作。各類技術特性結合上述基本資料合併考量，即可選定經濟有效之處理程序。

表7 常用異味處理技術概要^[5]

分類	方法	概要	應用例
物理	1.吸收	以水或其他不易揮發液體將污染物由氣相轉移至液相	油煙之水洗
	2.吸附	以活性碳或其他吸附劑將氣狀污染物由氣相轉移至固相	有機溶劑之回收
	3.冷凝	降低溫度將氣狀污染物轉移成液相去除或回收	乾洗溶劑或貯槽油氣之回收
	4.稀釋	以空氣將異味物質稀釋	異味之高煙囪排放
化學	1.吸收	以含化學藥劑之水溶液將氣狀污染物吸收後中和、氧化或還原，亦稱反應性洗滌	以次氯酸鈉水溶液處理生活污水場排氣
	2.吸附	以化學吸附劑將氣狀污染物吸附並中和、氧化或還原	以離子交換樹脂去除排氣中微量酸性物質
	3.臭氧接觸	以氣狀臭氧或含臭氧之水溶液將氣狀污染物在氣相或液相中氧化	飼料廠或生活污水場排氣排氣之除臭
	4.熱破壞	將污染物在 600-800℃間直接焚化去除，或在 200-400℃間藉觸媒氧化去除	化製廠蒸餾器排氣之直接焚化，或漆包線製程排氣之觸媒氧化
生物	氧化	將氣狀污染物吸收至微生物膜或微生物懸浮液中，再氧化去除	以生物濾床處理堆肥場排氣

單位處理成本之考量為處理方法選擇中之最重要者。一般而言，低濃度排氣($<10\sim20\text{ mg/m}^3$)適合以活性碳吸附處理，中高濃度廢氣($500\sim5,000\text{ mg/m}^3$)則以觸媒焚化或蓄熱焚化較經濟，高濃度廢氣($>5,000\sim10,000\text{ mg/m}^3$)則可以火焰焚化、冷凝或活性碳吸附回收處理。

在進行處理技術選定完成前，不可諱言地，設置成本為各業界最現實之考量點。為了符合業界本身能力及其經濟狀況之需求，尚需進行設備設置成本之經濟可行性評估，各項防制技術設備經濟可行性分析詳見表 8^[6]。

表8 防制技術經濟可行性分析表^[6]

設備分類	設備名稱	廢氣特性		處理效率	設置成本 (萬元)
		風量 (CMM)	濃度(ppm)		
冷凝回收	冷凝法	<60	$500\sim5,000$	$50\sim95\%$	$50\sim300$
吸附設備	吸附法	$5\sim2,800$	$1,000\sim10,000$	$90\sim95\%$	$30\sim500$
	流體化床吸附系統	$50\sim1,500$	$100\sim1,000$	$>95\%$	
熱焚化	觸媒焚化法	$30\sim3,000$	$50\sim10,000$	$90\sim99\%$	$100\sim2,000$
	直燃式焚化法	$<2,800$	$20\sim1,000$	$95\sim99\%$	
	蓄熱式焚化爐(RTO、RCO)	$<7,000$	$50\sim1,000$	$90\sim95\%$	
生物處理	生物洗滌	$50\sim1,000$	$10\sim200$	$70\sim80\%$	$130\sim1,800$
	生物濾床	$50\sim1,000$	$<1.0\text{g/M}^3$	$70\sim80\%$	$140\sim1,200$
其他	沸石吸附濃縮轉輪結合焚化系統	$200\sim2,000$	$50\sim1,500$	$>95\%$	$1,000\sim3,000$
	輪轉濃縮結合焚化系統	$>2,300$	$1\sim600$	$90\sim95\%$	
	活性碳流體化吸脫附結合冷凝系統	$200\sim1,300$	$100\sim1,500$	$90\sim95\%$	$1,000\sim4,000$

2. 塑膠業處理技術選用

塑膠製品業之異味，與塗佈製程、使用聚酯等級，以及廢氣收集及處理效率有關。本文以其中法規管制重點—塑膠相關製品之膠帶業為例，進行 VOCs 減量技術應用及選擇說明。

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。廢氣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。因此，有效將逸散的廢氣收集，並選擇適當之防制設備，就整廠而言，兩者缺一不可。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，其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。

膠帶業廢氣處理技術，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，若採回收式熱焚化法可將 VOCs 焚化所產生之廢熱，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，脫附時有二次污染，而採用活性碳吸脫附技術則需定期更換活性碳等耗材，操作維護費用甚鉅。

膠帶業廢氣之處理技術，活性碳吸脫附及具回收式之熱焚化技術兩者各有優缺點，但亦適合於此產業廢氣特性。若為單一溶劑因化性及物性較單純，建議可採用活性碳回收方式處理；若為混合溶劑時，則因化性及物性較複雜而不易採用回收方式，建議可採用焚化方式處理，並回收熱能至製程(烘箱)使用。

五、設備之操作維護

各種脫臭設備在裝設後，須確實運轉操作，並進行每日之紀錄作業，紀錄各項設備之操作情形，以監控是否發生異常狀況，藉而可進行維護保養及故障預防，各項設備需紀錄之項目如表 9^[6]。

表9 污染防制設備操作運轉紀錄項目^[6]

項目		紀錄頻率	紀錄項目
圍封式集氣系統		每日	壓降
污 染 防 制 設 備	冷凝設施	每月	冷凝液量
		每日	氣體出口溫度、冷凝劑出口溫度
	溶劑吸附回收設	每日	溶劑回收量
		更換週期	吸附劑更換日期、更換量
	吸附設施	每日	操作溫度
		更換週期	吸附劑更換日期、更換量
	生物處理設施	每日	進口溫度、出口相對濕度
	熱焚化爐	每日	燃燒溫度
	觸媒焚化爐	每日	觸媒床進、出口氣體溫度
		更換週期	觸媒更換日期、更換量
	其他污染防制設施	每日	主要操作參數

六、異味防制案例

1.工廠簡介

某廠位於主要產品以雙面膠帶為主，OPP 膠帶其次；雙面膠帶每月產量約 50 萬平方尺；共有 2 條生產線。生產作業流程及空氣污染防制流程如圖 2^[7]所示，烘箱使用天然氣當燃料；廠內所使用的溶劑共有甲苯、乙酸乙酯及 IPA 三種；有時

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 10^[7]所示。

表10 某膠帶廠生產線排放廢氣特性^[7]

生產線	一號機	二號機
廢氣量(NCMM)	116	100
濃度(ppm@THC)	300~600	300~600
排放溫度(°C)	150	150

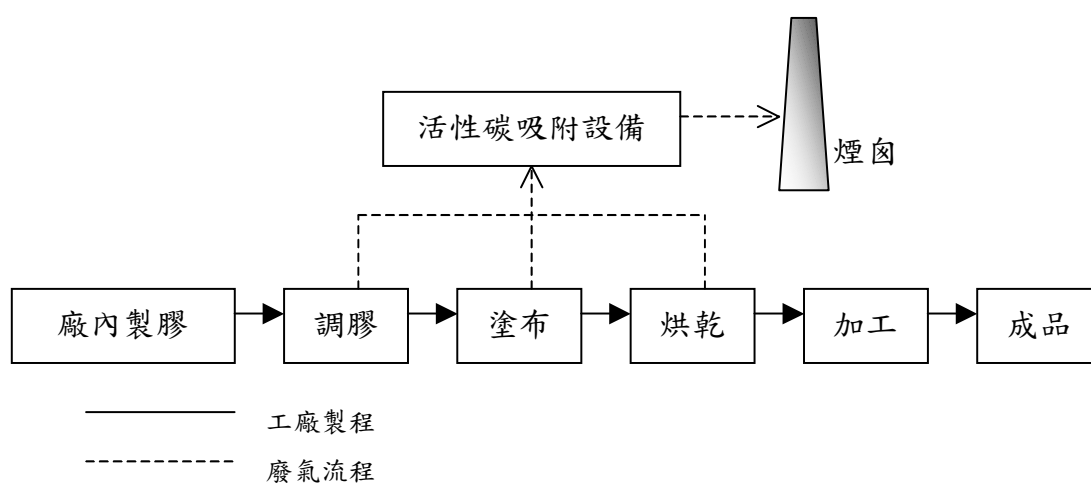


圖2 某膠帶廠作業流程及空氣污染防制流程^[7]

2.現有狀況

(1)廢氣處理設施效果不佳。活性炭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°C 時，需先冷卻。因吸附效率在溫度大於 40°C 時會明顯降低，工廠廢氣出口約為 150°C，經部分熱損失，進入活性炭吸附設備時，溫度大約為 70~80°C，可知吸附效果必定不佳。又活性炭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，活性炭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)每月燃料費用太高，約 10 萬元(以天然氣單價 14 元/Nm³ 計)。

3.改善方案

(1)因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，同時為降低燃料費，可將活性炭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。一般蓄熱式焚化系統至少包括 2 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、控制系統及熱媒油交換器系統，但不包含天然氣管路。其揮發性有機物減量及效益如下：

- (1)異味或其他污染物質之去除效率可達 95%以上，可避免陳情及環保罰單。
- (2)每年可節省燃料費約 840,000 元。
- (3)預估約 12 年可回收。

六、結語

隨著環保意識之逐漸抬頭，且民主社會又張顯對民意之重視，故陳情案件之處理，已為政府施政之首要目標。就異味而言，其不一定有健康及環境之危害，且界定又相當主觀，廣義來說當人們對氣味之好惡可能因時、地、心情等而異，故因嗅得氣味而感覺厭惡，即可認知為異味^[8]。因此，針對異味之議題，在進行異味污染改善之同時，敦親睦鄰之工作有必要同時進行，展現解決問題之誠意及友善環境之善意。

而對於污染改善方面，仍應以原物料替代、製程改善、清潔生產為優先考慮，若能無污染物之排放進行改善，則可以省去其後段衍生污染及進行管末處理之問題，亦無所謂陳情及環保處分之問題；如前述均無法克服或達成，最後再來考量異味之末端處理工作，以符合法規之標準。

七、參考文獻

- 1. 行政院環保署，「中華民國環境統計月報」234 期，2008 年 5 月。
- 2. 行政院環保署，「固定污染源管制與未來方向」簡報資料，2005 年 9 月。

3. 周明顯等，「異味及揮發性有機物控制」，2007 年 10 月。
4. 經濟部工業局，塑膠加工製造業惡臭物質之調查與管制研究綜合報告，1992。
5. 環保署譯，「惡臭防制技術參考手冊(I-IV)」，1988。
6. 行政院環保署，「95-96 揮發性有機空氣污染物管制法規(含收費制度)研訂、推動及檢討計畫」期末報告，2007。
7. 經濟部工業局，「揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊」，2007。
8. 行政院環保署，「惡臭污染物控制」環保署空污訓練班的惡臭教材，2006 年。