

工程實務

製罐業廢氣特性及其污染防治之道

蔡添發* 洪文雅*

摘要

製罐業依工廠型式可區分為鐵皮塗裝廠、罐體製造廠及鋁罐製造廠三類，其中鐵皮塗裝廠乃將馬口鐵皮塗佈、印刷及烘烤乾燥、再送至罐體製造廠將罐身、底及蓋三部份壓合成形，即所謂三片罐(three-piece cans)；而鋁罐廠則以鋁板為材料，經擠壓、塗裝、印刷後由連底罐身與蓋二片壓合而成，即所謂二片罐(two-piece cans)。在這些製程中，廢氣主要污染源均為輥筒底漆塗佈、圖樣印刷、塗佈乾燥爐、印刷乾燥爐及罐內噴塗區等產生之揮發性有機物質(volatile organic compound,VOCs)。

製罐業塗裝廢氣之處理，依據可行控制技術及經濟衝擊評估結果，以具有可廢熱回收之直燃式焚化法為最適宜。業界目前每年每一塗佈作業線乾燥爐產生之VOCs排放量平均約為150公噸，針對此一污染源國內業者大多以焚化法處理，每年約可減少938公噸VOCs排放，VOCs控制成本約26萬元／公噸。本文內容即在介紹工業污染防治技術服務團（以下簡稱服務團）於83年度輔導製罐業進行污染防治工作之概況與所獲致之成效。

【關鍵詞】

- 1.三片罐(three-piece cans)
- 2.二片罐(two-piece cans)
- 3.揮發性有機物質(volatile organic compound,VOCs)
- 4.直燃式焚化法(direct flame incineration)

*中國技術服務社工業污染防治中心工程師

一、前　　言

我國近年來持續的經濟成長，國民所得日益增多，對於飲料、食品罐頭及其他物品的包裝材料需求量也逐年提高，而在各種包裝材料中，因鐵、鋁罐具有完全密封性、耐壓性、耐蝕性，可長久保存物品等特性，故已成為目前主要的包裝方法，同時未來仍保有大幅的成長空間。在製罐過程中，鐵(鋁)皮經塗佈、印刷、上光、噴漆及烘乾等程序，最後經捲緣包裝而至成品，廢氣污染源主要來自噴漆、塗佈、印刷及烘乾時所產生之油漆細粒與揮發性有機物質氣體，而造成附近環境的衝擊。近年來，環保署針對國內表面塗裝業研訂各行業之空氣污染管制規範，並對於使用揮發性有機溶劑而造成VOCs排放之工廠進行大量取締工作；有鑑於此，服務團於83年度針對該產業進行輔導與污染改善工作。本文乃彙整專案輔導製罐工廠所得經驗，介紹國內製罐業廢氣排放特性及其處理控制技術，以期能提供業界在選擇處理設備及工程公司在設計上之參考。

二、製程與產業現況概述

2.1 製程概述

2.1.1 鐵罐製造

鐵罐製造可區分為兩個獨立操作程序：鐵皮塗裝及罐體製造。鐵皮塗裝包括底漆塗佈及商標、圖樣印刷兩過程，鐵皮經輶筒塗佈機底漆塗佈後，逐一由輸送設備舉起再送入乾燥爐內乾燥。乾燥過程包括前段預熱、中段烘乾與後段空氣冷卻三步驟，一般烘乾溫度須保持在220°C以上，鐵皮印刷係使用含有一至二種顏色油墨之輶筒印刷機，以石板印刷(lithograph)方式將商標、圖樣等印製於塗佈好之鐵皮上，同時於油墨未乾之際另行塗佈一層亮光漆(varnish)。印刷後之鐵皮乾燥程序與塗佈乾燥相同，乾燥後之鐵皮則可經機械加工製成鐵罐；台灣地區製罐業者大多屬中小型工廠，除少數規模較大工廠其製程中同時涵蓋上述兩種程序外，其餘皆屬純粹塗裝製程或為罐體製造工廠。

鐵罐製造流程如下所示：

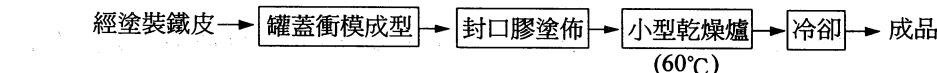
1. 鐵皮塗佈作業線



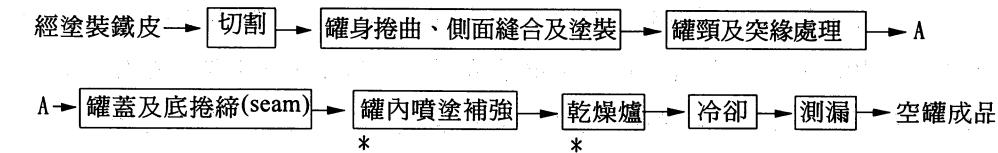
2. 鐵皮印刷作業線



3. 罐蓋及底製造線



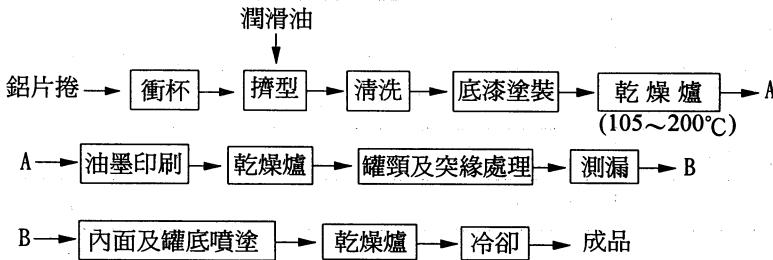
4. 罐體製造業



*：此二製程使用於當飲料為酸性食品時，為防止罐內因側面縫合產生刮痕而遭酸腐蝕所做之補強措施。

2.1.2 鋁罐製造

鋁罐最常使用在啤酒及含二氧化碳氣泡之飲料食品業上，其製程包括製罐及塗裝兩過程，為一快速連續之操作系統，以下為典型鋁罐製造流程。



2.2 產業現況概述

目前製罐業依包裝材料不同區分為鐵罐業及鋁罐業二大類，鐵罐業係使用鐵皮經塗裝、印刷後由罐身、底及蓋三部份壓合形成，即所謂三片罐(three-piece cans)；鋁罐業則以鋁板片為材料，經擠壓、塗裝、印刷後由連底罐身與蓋二片壓合而成，即所謂二片罐(two-piece cans)。根據「台灣區金屬品冶製工業同業公會81～82年會員名錄」統計，目前製罐業廠家數約77家，根據服務團於83年度專案調查結果，可依工廠型式區分為鐵皮塗裝廠、製罐廠及鋁罐廠三類，其中鐵皮塗裝廠乃將馬口鐵皮塗佈及印刷，以供製罐廠使用，計有25家工廠；製罐廠為壓製各類鐵罐包括飲料罐、食品罐、沙拉油桶、油漆桶及55加侖油桶等，共有43家工廠，其分佈如圖1所示，以彰化縣27家最多。另根據服務團現場調查結果，尚有4家新設鐵皮塗裝廠及2家55加侖油桶製造廠未加入公會；至於鋁罐廠共有9家，以新竹縣3家分佈最多。

表1為製罐業之資本額分佈情形，鐵皮塗裝廠資本額差異甚大，介於1,000萬至40億間，主要視工廠塗裝線數目而定；鋁罐廠資本額均較高，分佈於10～40億間，乃因鋁罐從鋁皮塗裝至罐體製造之生產線均在同一廠內完成。

表1 製罐業資本額分佈狀況

業別	工廠型式	資本額，億元						
		<0.1	0.1~0.5	0.5~1	1~10	10~40	>40	合計
鐵罐業	鐵皮塗裝	4	10	2	5	3	1	25
	罐體製造	4	26	2	3	0	0	35
	食品盒、油漆桶 沙拉油桶等（含 鐵皮塗裝）	1	3	2	0	0	0	6
	55加侖油桶	0	2	0	0	0	0	2
鋁罐業	鋁罐廠	0	0	0	4	5	0	9

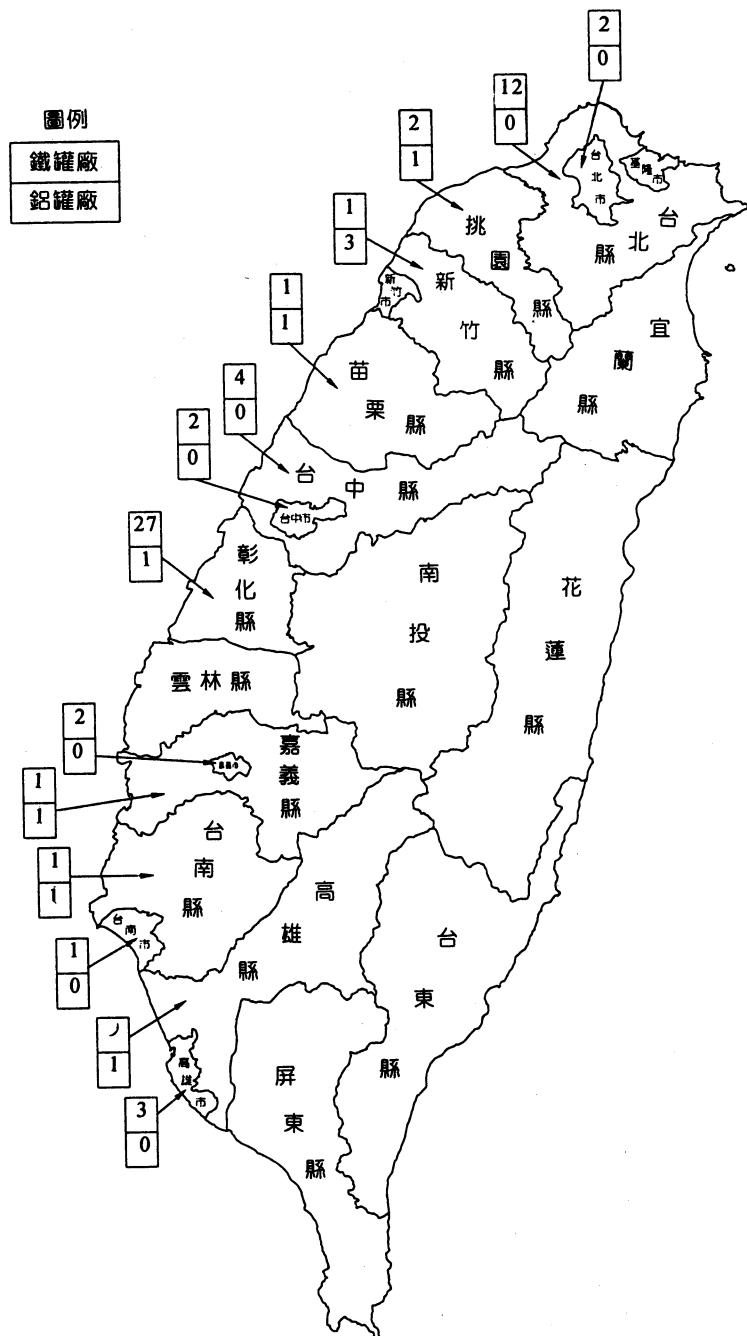


圖1 製罐業工廠分佈

表 2 為製罐業各類產品產量調查統計。各廠依其規模大小而有明顯產量差異，一般而言，飲料及食品鐵罐之產量仍居此行業之冠。

表 2 製罐業各類產品產量調查

業 別	工 廠 型 式	產 量 分 佈	
		公噸／年一廠	罐／年一廠
鐵罐業	鐵皮塗裝	6,000~5萬	—
	罐體製造	—	2~10億
	食品盒、油漆桶、沙拉油桶等 (含鐵皮塗裝)	1萬	3億
	55加侖油桶	—	100~130萬桶
鋁罐業	鋁罐廠	—	4~6億

隨著國民所得日益提高，國人生活水準亦不斷提昇，尤其對於飲食需求方面更是愈加注重。飲料罐頭一快速簡便之消費食品，故廣受喜愛；近年來因市場競爭激烈，各廠大量開發各類產品，而隨著產品之不同其包裝亦不同，故各式各樣之鐵、鋁罐包裝材料需求量遂逐年遞增。圖 2 為國內製罐業使用之馬口鐵皮歷年產量與銷售量情形，近二、三年來馬口鐵皮產量成長率約為 48%，去年更高達 22 萬公噸（銷售量為 19 萬公噸）。至於國內各製罐廠每年平均產量為飲料鐵罐 6 億罐、鋁罐為 5 億罐，其他各種鐵桶約為 3 億多桶。

目前業者馬口鐵皮原料供應來源除需仰賴日本、美國進口外，國內亦有二家廠商生產製造，這類工廠自國外進口製罐用之鋼捲，然後在國內加工鍍錫後成為馬口鐵皮再供應各製罐業使用。

三、污染源及污染特性

製罐業表面塗裝空氣污染主要污染源為輥筒底漆塗佈、塗佈乾燥爐、印刷乾燥爐及罐內噴塗製程等，各製程污染源如表 3 所示。

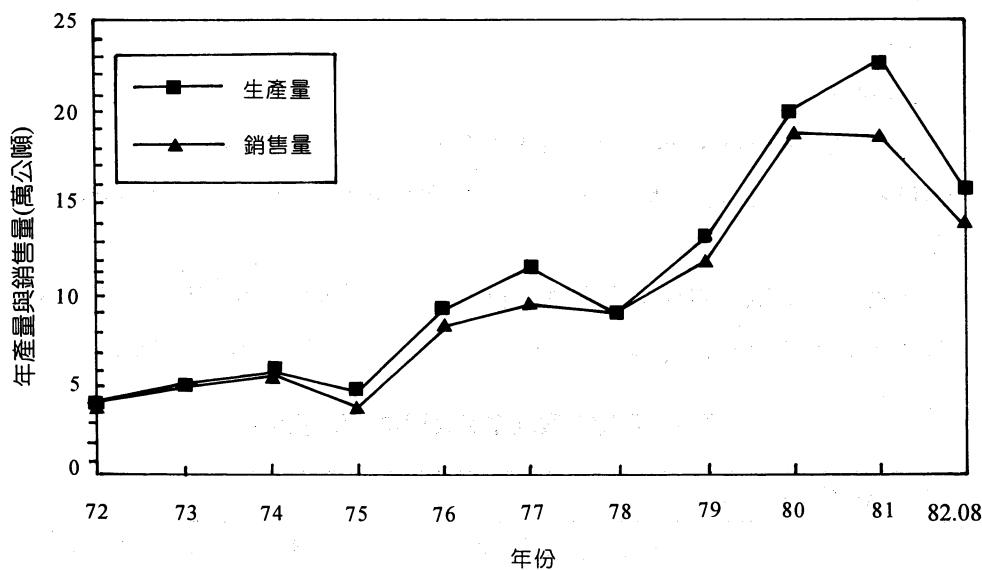


圖2 國內製罐業使用之馬口鐵皮歷年產生量與銷售量情形

製罐業表面塗裝過程中所使用之塗料、有機溶劑及油墨種類繁多，且各廠隨產品種類不同使用原料亦明顯變化；因此產生之空氣污染物成份頗多，常用之揮發性有機物質有下列五大類：

1. 芳香族碳水化合物(aromatic hydrocarbon)

包括苯、甲苯、二甲苯、油漆溶劑#100、#150等。

2. 酒類溶劑(alcohol)

包括甲醇（木精）、乙醇（酒精）、丙醇、異丙醇(IPA)、正丁醇(NBA)、異丁醇(IBA)。

3. 醣醇類(ether alcohol)、及醚類溶劑(ether)

包括乙基甘醇(ECS)、甲基甘醇(MCS)、丁氧基乙醇(BCS)等。

4. 酯類(ester)

64 製罐業廢氣特性及其污染防治之道

包括醋酸甲酯(methyl acetate)、醋酸乙酯(ethyl acetate)、醋酸丁酸(n-butyl acetate)、醋酸甘醇 CAC(cellssolve acetate ethylene glycol acetate)等。

5. 酮類(ketone)

包括丙酮(acetone)、甲乙酮(MEK)、甲異丁酮(MIBK)、二異丁酮(DIBK)、環己酮(cyclohexanone)、二酮醇(DAA)、異甲基丙酮(isophorone)等。

根據國外文獻及處理廠商提供之資料，製罐業表面塗裝有機污染物約88~92%由乾燥爐烘烤時逸散排放，其他8~12%則由塗佈、印刷輥筒產生。

表3 製罐業表面塗裝製程中空氣污染源

工廠類別	製程 污染源	
	鐵皮塗佈作業線	鐵皮印刷作業線
鐵皮塗裝廠	<ul style="list-style-type: none">• 輪筒底漆塗佈• 乾燥爐	<ul style="list-style-type: none">• 輪筒油墨印刷• 上層光亮塗裝• 乾燥爐
罐體製造廠	<ul style="list-style-type: none">罐身製造線• 罐身側面縫合塗裝• 罐內噴塗補強• 乾燥爐	<ul style="list-style-type: none">罐蓋及底製造線• 封口膠塗佈• 乾燥爐
鋁罐製造廠	<ul style="list-style-type: none">罐身連底製造線• 輪筒底漆塗佈• 塗佈乾燥爐• 輪筒油墨印刷、亮光漆塗裝• 印刷乾燥爐• 罐內及底噴塗• 內塗乾燥爐	<ul style="list-style-type: none">罐蓋塗裝線• 輪筒底漆塗佈及油墨印刷• 乾燥爐• 封口膠塗佈
55加侖油桶製造廠	<ul style="list-style-type: none">• 機械自動噴塗室• 乾燥爐	

表4 為目前國內製罐業各廠有機溶劑使用量調查結果，鐵皮塗裝大都使用溶劑型塗料，故其溶劑使用量最大，介於88~412公噸／年一廠，而鋁罐業雖然工廠規模均甚龐大，但因採用水性塗料，故溶劑使用量介於50~174公噸／年一廠之間。

表5及表6為服務團於83年度針對不同類型之製罐工廠依製程污染特性不同，選定具代表性工廠實施VOCs排放現場檢測結果。由表可知鐵皮塗裝廠之塗佈線污染較印刷線高出甚多；鋁罐廠則以罐蓋塗裝線及罐身內噴塗污染量最大，至於廢氣焚化爐之處理效率則介於75~95%之間。

表4 製罐業有機溶劑用量調查

單位：公噸／年一廠

業別	工廠型式	有機溶劑用量			
		塗料用量	稀釋溶劑	清洗溶劑	總溶劑用量
鐵罐業	鐵皮塗裝	200~800 (88~412)	10~54	0.6~23	100~490
	罐體製造	2~172 (1.2~91)	0.2~8	3	1.4~102
	食品盒、油漆桶沙拉油桶等（含鐵皮塗裝）	100 (40)	2	6	48
	55加侖油桶	164(80)	84	1	165
鋁罐業	鋁罐廠	600~700 (50~174)	5~7	6~25	62~186

[註] 括弧()表示有機溶劑含量

四、製程污染量推估

根據目前工廠有機溶劑使用量調查及每年淨操作時數，可推得各製程及全廠VOCs之排放量狀況如表7及表8所示。由表可知製罐業中因鐵皮塗裝廠大多採用溶劑型洗塗料，故 VOCs 排放量最大，而罐體製造廠VOCs排放量異甚

表5 鐵皮塗裝廠空氣污染排放廢氣特性

檢驗項目 採樣位置	苯 (ppm)	二甲苯 (ppm)	乙酸乙酯 基乙酯 (ppm)	二丙酮醇 (ppm)	丁基甘醇 (ppm)	丁酸乙酯 (ppm)	1-丁醇 (ppm)	2-丁醇 (ppm)	總碳氫 化合物 (ppm)	排氣 速度 (m/s)	排風量 (Nm ³ /min)	排氣 溫度 (°C)	含水量 (%)
塗佈 作業 線 燃燒 爐 氣罩收集	4.7	200~2,308	108.3	138.8~ 608.8	43.06	10.69	10.72	224.8	1,500~ 3,500	4.2	24	45	—
				—	15.6	—	1.69	0.58	18.94	1,300~ 4,000	—	113~136	200~ 230
乾燥爐 處理後排放 煙囪	1.48	1.16	ND	0.41	ND	0.79	0.11	0.18	200~ 338	8.1~ 12.1	36~59	480~ 492	4.4
印刷 作業 線 燃燒 爐 氣罩收集	5.35	85.18~ 125.6	ND	29.77~ 43.62	1.19	0.31	ND	ND	57.5	8.5	77	77	—
乾燥爐 處理後排放 煙囪	1.08	7.22	ND	2.91	—	12.5	—	1.49	160.6	720~ 870	—	164~270	150~ 180
1.苯ND值表<0.110ppm 2.乾燥爐廢氣焚燒處理效率率介於75~95%	ND	0.39	4.26	3.35	0.8	ND	ND	51.04	175	6.7~ 13.8	60~167	385~ 401	3.7

備註
1.苯ND值表<0.110ppm
2.乾燥爐廢氣焚燒處理效率率介於75~95%

備註
1.丁基甘醇ND值表<0.122ppm
2.丁醇ND值表<0.127ppm
3.乙酸乙酯ND值表<0.128ppm
4.乙酸乙酯基乙酯ND值表<0.135ppm
5.2-丁醇ND值表<0.127ppm
6.乙酸丁酯ND值表<0.135ppm
7.二丙酮醇ND值表<0.114ppm

表 6 製罐業鋁罐廠表面塗裝空氣污染排放特性

68 製罐業廢氣特性及其污染防治之道

大，主要原因為罐內噴塗製程污染量大，故具此一製程之工廠，其VOCs排放量較其餘工廠高出甚多；至於鋁罐廠雖規模均龐大，但因製程大多使用水性塗料，故其VOCs排放量在此行業中仍屬較低；而55加侖油桶採機械自動噴塗，塗料均屬溶劑型，又因塗裝室廢氣量大，處理上較困難。

表7 製罐業各製程VOCs排放量推估

業別	製 程	VOCs排族量 (kg/min)	塗佈、印刷區 VOCs產生百分率	乾燥爐VOCs 產生百分率	VOCs排放量 (T/yr)
鐵皮	馬口鐵皮塗佈線	0.63	9~12	88~91	166
塗裝	馬口鐵皮石板印刷線	0.17	8~11	89~92	35
鋁罐 製造	啤酒及一般飲料罐頭 之罐內噴塗處理二片 式製罐外塗處理二片 式製罐印刷處理	0.096	72	28	34
	罐蓋塗佈、印刷線	0.063	未定	未定	21
	罐蓋封口膠作業線	0.016	未定	未定	6
	罐蓋塗佈、印刷線	0.492	9~12	88~91	85
	罐蓋封口膠作業線	0.037	100	—	13

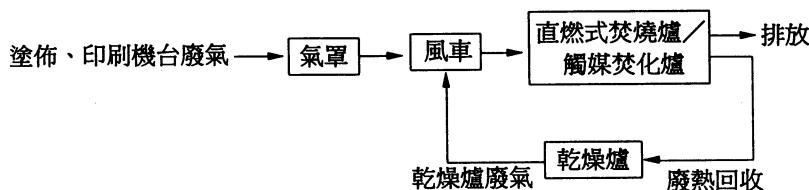
表8 製罐業表面塗裝VOCs排放量推估

業 別	工 廠 型 式	VOCs排放量 (g VOCs/L-coating)	排放標準(草案) (g VOCs/L-coating)
鐵罐業	鐵皮塗裝	531~670	82年:381 85年:370 89年:150
	罐體製造	82~600	
	食品盒、油漆桶、沙拉油 桶等（含鐵皮塗裝）	410~472	
	55加侖油桶	574	
鋁罐業	鋁罐廠	126~416	

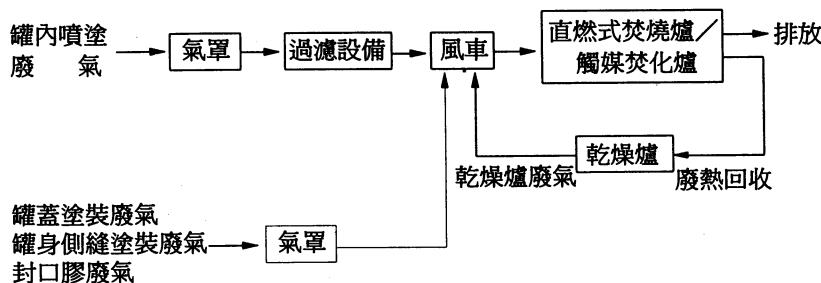
五、廢氣可行處理方式

製罐業塗裝廢氣處理以焚化法為主，針對各類型工廠所研擬之可行處理方式流程如下：

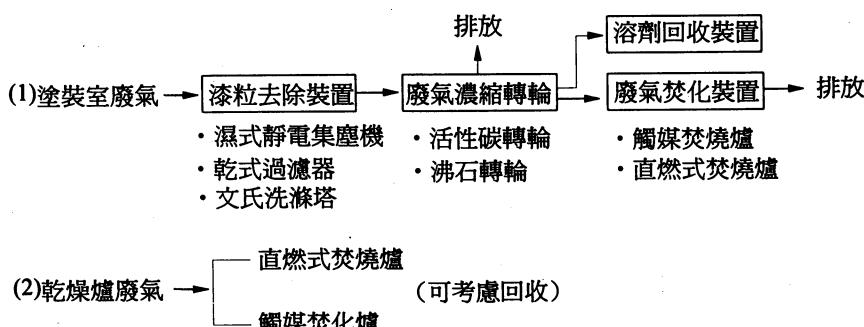
1. 鐵皮塗裝廠



2. 罐體製造廠及鋁罐廠



3.55 加侖油桶製造業



六、廢氣處理系統設計

目前國內業者針對有機溶劑產生之揮發性有機物質(VOCs)之處理方式主要係將塗佈線之乾燥爐廢氣導入直燃式焚化爐處理，再將廢熱回收至乾燥爐使用。

應用於製罐業廢氣之直燃式焚化處理設備，其系統設計條件如表9所示。該設備之控制重點有下列四點：

1. 系統之循環風量係利用溫度感應來控制各風管閥門之關啓，故溫度之設定值影響系統功能甚鉅。系統溫度設定為：烘乾爐200°C，烘烤架預熱區110°C，直燃式焚燒爐燃燒室溫度為700°C。
2. 調整廢氣焚燒爐燃燒室壓差，控制廢氣入口閥門(orifice)直徑，以控制廢氣處理量。
3. 調整自動點火控制器之火焰電流，以控制點火程序在63秒電驛時間內完成。
4. 本系統實施廢熱回收，故需在燃燒爐爐壁裝置厚度約30cm之保溫材料，以減少熱量損失。

至於主要處理設備項目及其規格如表10所示。

表9 應用於製罐業廢氣處理之直燃式焚化爐系統設計

項 目	設 計 值
廢氣處理量	8,000m ³ /hr
廢氣溫度	200~230°C
燃燒室燃燒溫度	700~780°C
燃爐停留時間	0.5sec
燃爐處理效率	99%
燃料種類	LPG
瓦斯所需壓力	100mbar
最大溶劑處理量	60kg/hr
溶劑最大低熱值	9,000kcal/kg
LPG熱值	11,850kcal/kg
燃燒輔助空氣	60Nm ³ /hr, 21°C
燃料消耗量	40Nm ³ /hr, 17°C(最大值：60Nm ³ /hr)

表10 應用於製罐業廢氣處理之直燃式焚化爐主要設備

項 目	規 格
直燃式焚燒爐	設計廢氣處理量：8,000Nm ³ /hr 最大能量：1,200kW(1,032Mcal/hr) 最小能量：60kW(51.6Mcal/hr) 燃燒室直徑：98cm 燃燒室長度：490cm 火喉直徑：77cm 燃燒器長度：75cm，材質：鑄鐵合金鋼 火喉部位氣體流速：16m/sec 火焰長度：100cm 壓差：670~770mmAq 目前爐數：5座
熱交換器（殼管式）	焚燒爐出口氣體溫度：700°C 經熱交換後氣體溫度：450°C 廢氣原來溫度：200°C 經熱交換後廢氣溫度：400°C 傳熱面積：222m ² 熱交換器能量：620Mcal/hr 熱回收率：41%
風車	廢氣焚燒高壓風車：60kW , 80Hp 循環風車：12.6kW
煙囪	乾燥爐散熱煙囪：10m×51cm φ 焚燒爐排氣煙囪：10m×55cm φ

上述處理系統中塗佈線乾燥爐與直燃式廢氣焚化爐處理風量之分配如圖3所示。

七、污染減量方案與減量後VOCs排放量推估

針對各種不同污染源擬定可行之處理減量方法，並據估得製罐業目前VOCs減量百分率及減量後VOCs排放量如表11及表12所示。

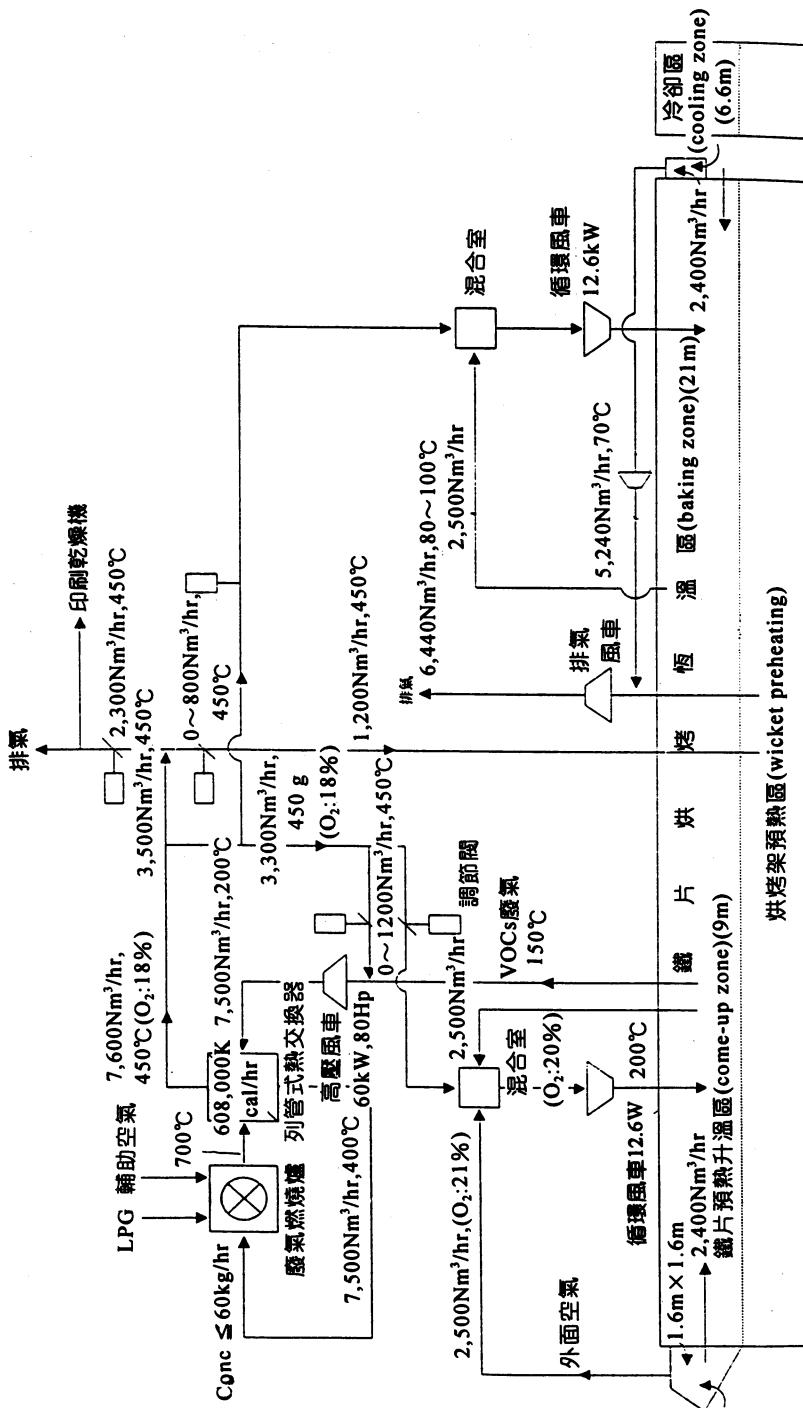


圖 3 塗佈線乾燥與廢氣燃燒爐處理風量分配圖

表11 製罐業表面塗裝VOCs減量方案與減量百分率

減量方案	減量措施	整廠減量百分率(%)
• 鐵皮塗裝廠		
(1)	塗佈線乾燥爐廢氣處理	75
(2)	方案 I + 印刷線乾燥爐廢氣處理	85
• 罐體製造廠		
(1)	罐內噴塗區廢氣及乾燥爐廢氣處理	50
• 鋁罐製造廠		
(1)	罐蓋線塗佈印刷，乾燥爐廢氣處理	47
(2)	方案 I + 罐內噴塗區廢氣及乾燥爐廢氣處理	55

表12 製罐業各廠減量後VOCs排放量統計

業別	VOCs排放現況	減量方案 I	減量方案 II
		減量後 VOCs 排放量(g VOCs/L-coating)	
鐵皮塗裝廠	531~670	168~398	94~292
罐體製造廠	82~600	41~300	-
鋁罐廠	126~416	67~220	57~187

八、污染減量措施之經濟衝擊評估

8.1 評估方法與依據

各種污染防治措施或設備之經濟衝擊評估項目，主要考量三種成本，即設置成本、操作維護成本及年總成本。設置成本經由設備折舊計算（以10年計算）換算為年賦成本後，與年操作維護成本合稱年總成本。此年總成本即為設備選用之重要參考依據。

1. 設置成本

污染防治設備之總設置成本(total capital cost,TCC)除涵蓋設備本體費用(equipment cost,EC，含輔助設備)、儀控設備費用及運費等之設備購置成本(purchase equipment cost, PEC)外，尚包含土木施工、安裝試車及工程規劃設計等之直接與間接設成本，以下針對各項污染防治措施之設置成本分別介紹：

8.1.1 溶劑回收裝置乾燥爐廢氣處理設備

乾燥爐所排放之廢氣因溫度較高，故以焚化方式處理較適合。焚化裝置一般可分為直燃式(thermal)與觸媒式(catalytic)二種，其中直燃式焚化爐又可分為一般直燃式(recuperative incinerator)及蓄熱式(regenerative incinerator)二類，各類型焚化爐之成本分析依據分述如下：

1. 直燃式焚化爐

(1) 一般直燃式焚化爐

直爐式焚化爐之初設及操作費用與熱回收效率之設計息息相關，依照美國EPA 1991年出版的"Control Technologies for Hazardous Air Pollution"提供之相關資料，並經單位換算及物價指數校正後，各型式焚化爐之設備成本(EC)如表13所示。

表14為一般直燃式焚化爐設備之各項成本因子，由設備成本及成本因子關係，可推求出設備之總初設成本(TCC)計算式如下：

$$TCC : 1.64PEC = 1.886EC$$

TCC：設備總設置成本，萬元

PEC：設備購置成本，萬元

EC：設備成本(本體)，萬元

表13 一般直燃式焚化爐設備成本

熱回收率(%)	設備成本(EC，萬元)	備註
0	$EC = 69.37 Q^{0.2365}$	1.Q：處理風量， Nm^3/min
35	$EC = 96.86 Q^{0.2609}$	2.以1993年9月之物價指數為計算基準
50	$EC = 120.83 Q^{0.2502}$	
70	$EC = 151.08 Q^{0.25}$	

表14 一般直燃式焚化爐設備之設置成本因子

控制設備		直燃式焚化爐
成本項目		
購置成本	設備本體費用	1.00PEC
	儀控設備費用	0.10PEC
	運費	0.05PEC
設備購置成本(PEC)		1.15PEC
直接裝設成本	地基與支架施工費用	0.08PEC
	現場安裝費用	0.14PEC
	配電工程費用	0.04PEC
	管線施工費用	0.02PEC
	保溫絕緣裝置	0.01PEC
	油漆塗裝費用	0.01PEC
總直接裝設成本(TDC)		0.3PEC
間接裝設成本	工程設計費用	0.10PEC
	監工費用	0.10PEC
	試車費用	0.02PEC
	性能測試費用	0.01PEC
	臨時性支出	0.03PEC
總間接裝設成本(TIC)		0.26PEC
不含稅總初設成本		1.56PEC
營業稅		0.08PEC
總初設成本(TCC)		1.64PEC

(2)蓄熱式直燃焚化爐

蓄熱式直燃焚化爐係採用耐高溫之陶質蓄熱環(ceramic stoneware)回收廢熱，一般之熱回收率可高達85~95%。有關蓄熱式直燃焚化爐之初設成本及總設置成本計算公式如下：

初設成本：

- 熱回收效率85%

$$C_{RTO} = 1.623 Q + 1067$$

- 熱回收效率95%

$$C_{RTO} = 2.026 Q + 1291$$

其中， C_{RTO} ：初設成本，萬元

Q ：處理風量， Nm^3/min

總設置成本：

以1.2倍初設成本計算，即

$$TCC = 1.2C_{RTO}$$

2. 觸媒式焚化爐

觸媒焚化爐之設備成本如表15所示，而設備設置之各項成本因子計算與直燃式焚化爐相同，即 $TCC = 1.886EC$ 。

表15 觸媒式焚化爐之設備成本

熱回收率(%)	設備成本(EC，萬元)	備註
0	$EC = 23.15 Q^{0.5471}$	1.Q：處理風量， Nm^3/min 2.以1993年9月之物價指數為 計算基準
35	$EC = 47.52 Q^{0.4189}$	
50	$EC = 26.44 Q^{0.5575}$	
70	$EC = 30.85 Q^{0.5527}$	

8.1.2 操作成本

操作成本包括燃料、電力、人力、維修、消耗器材、保險及行政管理等費用，若為觸媒焚化處理則尚包括觸媒更換費用，各項成本之估算方式分述如下：

1. 燃料費用

使用天然氣作為焚化輔助燃料，其單價以7元/ Nm^3 估算，則各型焚化爐操作所需添加的輔助燃料量計算式如表16所示。

表16 焚化爐操作所需添加之輔助燃料量

焚化爐型式	熱回收率(%)	乾燥爐廢氣處理	塗裝室廢氣處理
直燃式	0	$Q_f = 0.0306Q$	$Q_f = 0.03344Q$
	35	$Q_f = 0.0195Q$	$Q_f = 0.0214Q$
	50	$Q_f = 0.0148Q$	$Q_f = 0.0162Q$
	70	$Q_f = 0.0085Q$	$Q_f = 0.0094Q$
蓄熱式	85	$Q_f = 0.0038Q$	$Q_f = 0.0042Q$
	95	$Q_f = 0.0006Q$	$Q_f = 0.0008Q$
觸媒式	0	$Q_f = 0.015Q$	-
	35	$Q_f = 0.0096Q$	-
	50	$Q_f = 0.0073Q$	-
	70	$Q_f = 0.0042Q$	-
備註	1. Q_f : 所需天然氣用量(Nm^3/min) 2. Q : 處理風量(Nm^3/min)		

2.電力費用

(1)各型焚化爐操作所需壓損如表17所示（以US EPA 1991年所提供之資料為準）。

表17 各式焚化爐操作所需壓損

焚化爐型式	直燃式				蓄熱式		觸媒式			
	熱回收率(%)				熱回收率(%)		熱回收率(%)			
壓損 (mmH ₂ O)	0	35	50	70	85	95	0	35	50	70
	102	204	305	483	408	510	152	254	355	533

(2)風車動力估算（假設風車效率為0.6）

$$F_p = \frac{Q \times \Delta P}{6,120 \times 0.6}$$

其中， F_p =風車所需動力(kW)

Q =處理風量(m^3/min)

ΔP =處理設備所需壓損(mmH_2O)

(3)年操作總時數假設為4,400小時

(4)電力費用單價以2.0元／KWH計算

電力費用估算如下：

$$\text{電力費用 (元／年)} = 2.0 \times 4400 \times F_p$$

3.操作人力費用

(1)假設工廠設置專責人員，(薪資以40,000元計算，每年15個月)，則一年所需之人力費用如下：

$$40,000 \times 15 = 60,000(\text{元／年})$$

4.維修費用

(1)人力：由專責人員負責，費用含蓋於操作人力費用內。

(2)材料：以維修人力費用之15%估算，則每年器材維修費用為90,000。

(3)故全年維修費用以90,000元估算。

5.經常性開銷

以操作人力及維修費用之20%估算，則每年所需經常性開銷為138,000元。

6.保險費

年保險費以設備總設置成本(TCC)之1%估算。

7.行政管理費

年行政管理費以設備總設置成本之2%計算。

8.觸媒更換費用

(1)使用貴重金屬作為觸媒，其空間速度(space velocity)假設為 $30,000hr^{-1}$ ，觸媒床單價以300萬元／ m^3 估算。

(2)使用年限假設為2年，年利率以10%計算，則年更換成本可以下式估算：

$$\text{觸媒年更換費用} = 0.5762 \times (\text{觸媒費用})$$

8.1.3 年賦成本

年賦成本係採年費均化法(leverized cash flow)，將設備總初設費用(TCC)以資本還原因子(capital recovery factor,CRF)將其均攤為年賦成本(annualized capital,AC)：

$$AC = CRF \times TCC$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$$

i：年利率

n：設備使用年限

年賦成本之計算也因焚化爐型式之不同而有所差異，在假設在利率為10%情況下，各型式焚化爐之年賦成本計算如表18所示。

表18 各型式焚化爐年賦成本估算

焚化爐型式	直燃式	蓄熱式	觸媒式
設備使用年限(年)	10	20	10
年賦成本(萬元)	0.1628 TCC	0.1175 TCC	0.1628[TCC-1.08(觸媒費用)]

4.年總成本

年總成本為年賦成本與年操作成本之總合，年總成本估算之目的主要為明瞭各廠每年所負擔之污染防治成本，並可作為污染防治設備選用之參考依據。

8.2 污染防治成本與經濟衝擊分析

基於上述擬定之各種污染減量方案，可評估工廠採用不同污染減量措施所需投資之污染防治成本及對產業造成之經濟衝擊。本文彙整服務團評估所得結果列於表19至表21中；由各表可綜合結論如下：

- 1.直燃式焚化爐熱回收率50~70%之間時，其初設成本較蓄熱式焚化爐為少，而且年總成本相差不大，故具有高熱回收效率之直燃式焚化爐較適合製罐業者使用。

表19 製罐業表面塗裝空氣污染減量措施及投資費用統計

• 鐵皮塗裝廠塗佈線乾燥爐廢氣處理成本分析

焚化爐 型 式	熱回收率 (%)	總初設成本 (萬元)	平均值 (萬元)	年操作成本 (萬元／年)	平均值 (萬元／年)	年總成本 (萬元／年)	平均值 (萬元／年)
直燃式	0	400~418	411	363~429	403	428~497	470
	35	627~658	646	255~298	282	358~406	387
	50	744~779	765	211~245	232	332~371	356
	70	929~973	956	153~174	166	305~333	322
蓄熱式	85	1,500~1,545	1,528	125~136	132	301~318	311
	95	1,824~1,880	1,858	100~105	103	315~326	322

〔註〕表中成本估算均為單一塗佈線乾燥爐廢氣處理

• 鐵皮塗裝廠印刷線乾燥爐廢氣處理成本分析

焚化爐 型 式	熱回收率 (%)	總初設成本 (萬元)	平均值 (萬元)	年操作成本 (萬元／年)	平均值 (萬元／年)	年總成本 (萬元／年)	平均值 (萬元／年)
直燃式	0	437~492	459	509~812	626	550~892	700
	35	691~787	730	350~547	426	163~675	545
	50	816~925	860	285~437	344	418~588	484
	70	1,020~1,155	1,074	199~293	235	365~481	410
蓄熱式	85	1,600~1,806	1,679	152~202	170	338~415	368
	95	1,948~2,206	2,047	111~133	119	340~392	360

〔註〕表中成本估算均為單一印刷線乾燥爐廢氣處理

• 罐體製造廠罐內噴塗區廢氣及乾燥爐廢氣處理成本分析

焚化爐 型 式	熱回收率 (%)	總初設成本 (萬元)	平均值 (萬元)	年操作成本 (萬元／年)	平均值 (萬元／年)	年總成本 (萬元／年)	平均值 (萬元／年)
直燃式	0	411~463	444	400~640	548	467~716	621
	35	645~737	704	280~436	376	385~556	491
	50	764~868	830	230~351	305	354~493	440
	70	955~1,085	1,037	165~240	211	321~416	380
蓄熱式	85	1,526~1,689	1,627	131~173	157	310~371	348
	95	1,856~2,060	1,981	103~120	114	321~362	347

〔註〕表中成本估算均為單一罐內噴塗區廢氣及乾燥爐廢氣處理

表20 製罐業表面塗裝VOCs減量方案與污染防治成本

減量 方案	減量措施	減量百 分率 ⁽¹⁾ (%)	污染防治成本 ⁽²⁾					
			初設成本	平均值	年操作成本	平均值	年總成本	平均值
			(萬元)	(萬元/年)			(萬元)	
鐵 皮 塗 裝 廠								
1	塗佈線乾燥爐廢氣處理	75	1,500~1,545	1,523	125~136	131	301~318	310
2	方案1.+印刷線 乾燥爐廢氣處理	85	2,100~3,751	2,926	240~286	263	639~710	675
罐 體 製 造 廠								
1	罐內噴塗區廢氣及乾燥爐 廢氣處理	50	2,000~2,060	2,030	115~131	123	310~362	336
鋁 罐 製 造 廠								
1	罐蓋線(塗佈印刷)乾燥爐廢 氣處理	47	1,500~1,545	1,523	125~136	131	301~318	310
2	方案1.+罐內噴塗區廢氣及 乾燥爐廢氣處理	55	3,500~3,605	3,553	240~267	254	611~680	646

(註)(1)減量百分率係指整廠減量。

(2)污染防治成本則針對單一作業線估算，並非指整廠防治成本。

- 鐵皮塗裝廠中以直燃式焚化爐處理塗佈線乾燥爐廢氣，可減少整廠VOCs排放量約75%，污染防治年總成本平均為310萬元，若加上印刷線乾燥爐廢氣處理，則所需費用提高至675萬元，但污染減量百分率僅增加10%，主要是因為印刷線乾燥爐之VOCs排放比例僅佔整廠總VOCs排放量之17%，使得單位處理成本相對提高，故就廢氣處理之經濟性而言，印刷線乾燥爐廢氣處理較不符經濟效益。
- 罐體製造廠中以直燃式焚化爐處理罐內噴塗區廢氣及乾燥爐廢氣，整廠減量可達50%污染防治年總成本平均為336萬元，污防費用較鐵皮塗裝廠為高原因主要L/O處理風量較大所致。

4. 鐵皮塗裝廠由於工廠規模大小相差甚鉅，初設成本佔資本額比例分佈區間較廣，介於0.10~2.53%之間，而鋁罐製造廠因工廠規模均龐大，故其初設成本佔資本額比例0.06~0.20%之間。因此，污染防治設備之購置，將造成小廠沉重負擔。
5. 由於製罐業之年產量及年營業額均甚大，使得年總成本佔年營業額比例相對減少，各方案之比例多在0.17%以下。

表21 製罐業VOCs污染減量方案之經濟衝擊評估

減量 方案	減量措施	初設成本	年總成本	初設成本佔資本 額比例(%)	年總成本佔年營 業額比例(%)
		(萬元)	(萬元/年)		
鐵皮塗裝廠					
1	單一塗佈線乾燥爐廢氣處理	1,500~1,545	310~318	0.10~1.57	0.02~0.11
2	方案1.+單一印刷線 乾燥爐廢氣處理	2,100~3,751	639~710	0.23~2.53	0.03~0.17
罐體製造廠					
1	罐內噴塗區廢氣及乾燥爐廢 氣處理	2,000~2,060	310~362	0.71~2.06	0.013~0.05
鋁罐製造廠					
1	罐蓋線(塗佈印刷)乾燥爐廢 氣處理	1,500~1,545	301~318136	0.06~0.09	0.007~0.03
2	方案1.+罐內噴塗區廢氣及 乾燥爐廢氣處理	3,500~3,605	611~680	0.15~0.20	0.06~0.08

註：表中均為單一作業線之經濟評估。

九、結論

製罐業塗裝廢氣之處理，依據可行控制技術及經濟衝擊評估結果，以可廢熱回收之直燃式焚化法為最適宜。直燃式焚化法對於由溶劑逸散之揮發性有機

物(VOCs)之去除效果極佳，目前大部份業者所使用直燃式焚化爐以總碳氫化合物計之可達80~95%處理效率，而製罐業主要之污染仍屬VOCs，因此，直燃式焚化爐非常適合產業之污染防治工作，且又可將廢熱回收再利用而節省成本。

根據服務團調查結果顯示，國內目前計有25條生產線採用直燃式焚化處理設備，總投資金額約二億五仟萬元，由於本產業有機污染物約90%是由各乾燥爐烘烤時逸散排放，故每年約可減少940公噸VOCs排放，VOCs控制成本約26萬元／公噸。目前國內製罐業塗佈、印刷及罐內噴塗作業線總數約185條，故乾燥爐裝置焚化爐處理廢氣之比例約為14%。

製罐業者對於污染防治工作仍不遺餘力再進行與推動，然而仍面臨許多問題；諸如產業製程設備與廢氣處理設備大多屬一罐，且主要由國外生產設備廠商提供，價格昂貴；因此，如何提高國內設備自製能力？為今後之重要課題，另外，VOCs廢氣處理費用相當高，塗料業應著手開發水性塗料，由廠內改善達到減少污染及處理費用。

為因應未來之稽查管制作業，業者應積極從事各項廠內污染現況調查與塗料用量之管制工作，因為此行業最主要污染源為塗料本身所逸散之VOCs。至於稀釋溶劑及清洗溶劑量甚少，且製程設備因採機械輥筒塗裝而能維持高塗佈效率，故業者製程減廢之努力應著重於選用低污染之塗料及設計更簡單之包裝圖樣。

最後，建議環保主管機關應儘速研擬稽查、管制規範及自動申報制度，使業者得以遵循並配合之。

參考文獻

1. Environmental Protection Agency, Control of Volatile Organic Emissions from Existing Stationary Sources-Volume II : Surface Coating of Cans, Coils, Paper ,Fabrics, Automobiles, and Light-Duty Trucks, EPA-450/2-77-008, May 1977 .

84 製罐業廢氣特性及其污染防治之道

2. William M. Vatavuk, Estimating Costs of Air Pollution Control, Durham, North Carolina, 1990.
3. 行政院環保署，空氣污染性防制工程參考手冊(上)、(下)，民國77年6月。
4. 日本塗裝技術協會著（郁仁貽編譯），塗裝技術手冊，復文書局，民國83年3月。