

## VOC 管制趨勢展望

劉國棟\*

### 一、摘要

VOC 即所謂的揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds)，由於其在大氣中，易與NO<sub>x</sub> 在陽光的催化下，造成高濃度的臭氧問題，因此，如何有效的將VOC 加以管制，以削減其排放總量，乃變得非常重要。1991年 3月，共有 300多名人士，在荷蘭正式召開了「第一屆VOC 國際會議」，同年11月，更有歐美21個國家簽署了一個有關VOC 管制的國際協定。由此可見VOC 問題，已繼酸雨、臭氧層破壞與溫室效應等，正式登上國際的舞台。台灣值此正當積極尋求加入國際社會途徑的時候，自然無法置身事外。

本文首先說明VOC 的定義及其在環境中所扮演的多重角色；接著介紹上述國際會議與國際協定的概況，並將該次國際會議中所發表的馬斯垂克(Maastricht)宣言（譯於後附錄中所示）；其次討論台灣地區VOC 的排放總量與來源分佈特徵，且與一些歐美先進國家的排放情形加以比較；並就各種VOC 的管束控制技術及相關的管制策略加以整理描述；最後提出幾點結論與建議，以供國內產、官、學、商及工程界人士參考指正。

### 二、VOC 的定義與在環境中的角色

VOC，一般乃指在標準狀態下(20°C, 760mmHg)下，其蒸氣壓大於0.1mmHg以上的有機化合物<sup>1</sup>。由於大部份的VOC 具有高度的光化學反應力，在陽光下經由紫外線的照射，這些排放在大氣中的VOC 很容易被氧化，氧化形成的游離基(radicals)，會再與大氣中其他化學成分（例如NO等）反應，形成高濃度的臭氧(O<sub>3</sub>)及其他過氧化物(如PAN等)<sup>2</sup>，因此被廣為關注。

當然，在所有VOC中，並不是每一種VOC皆有相同的光化學臭氧形成潛勢(Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)。美國EPA即列舉了11種不易參與光化學反應的化合物，包括 Methane 、Ethane 、Methylene Chloride 、Freon 113 、Methyl Chloroform、CFC—11、CFC—12、CFC—22、CFC—23、CFC—114與CFC—115等<sup>3</sup>。扣除

\* 中鼎工程(股)公司環工專案室專案設計經理

此11種化合物外的VOC，特稱為反應性VOC(Reactive Volatile Organic Compounds, RVOC)。此外，在某些場合，有時RVOC又被稱為RHC(Reactive Hydrocarbons)<sup>4</sup> 或ROG(Reactive Organic Gas)<sup>5</sup>。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<sub>4</sub>及NMHC (THC為CH<sub>4</sub>與NMHC的和)，其中NMHC並未再予以細分。為方便起見，一般即將NMHC等同為VOC 或RVOC。

因此，歸納而言，廣義的VOC 即指以氣態方式存在於大氣中的所有有機化合物；狹義的VOC 則指扣除CH<sub>4</sub> 及CFCs等11種非光化反應性有機化合物的RVOC。

很不幸的，這11種非光化反應性VOC，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<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>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RVOC，除了可能造成臭氧問題外，其亦會參與酸雨的反應機制<sup>6</sup>。此外，VOC 亦可能造成局部性的室內空氣污染、勞工作業環境污染以及臭味等問題。而未來有害空氣污染物(air toxics)的課題，VOC 亦是佔了一個很重要的角色<sup>7</sup>。可想而知，以其兼具多重角色的特性，需要被積極充份的加以管制的命運，似乎已無法再找出任何理由加以逃避。

### 三、VOC 管制工作的國際脚步

由於歐洲包含許多大小不等的國家，某一國家所排放的污染物，特別容易造成對他國的嚴重影響。因此原屬區域性的臭氧問題乃演變成跨國性的爭議。蘊釀多時，終於在1991年3月，於荷蘭的馬斯垂克(Maastricht)召開了「第一屆VOC國際會議<sup>8</sup>」。其共有來自24個國家，超過 300名包括產、官、學、商界等專家參與此盛會。

第一天討論的主題包括：

- 有關VOC 曝露的大眾健康與生態系統的影響效應。
- 模式的應用，以瞭解VOC 在大氣化學中所扮演的角色。
- VOC排放源與環境空氣品質VOC的量測。
- 排放源數據庫的運用，以獲得可靠的VOC 排放狀況

第二天討論的主題側重在控制技術的經驗交流：

- 交通移動源的VOC排放
- 生產製程與控制技術－固定源的VOC排放
- 塗料工業產品的VOC 排放

第三天討論的主題則集中在：

- 預防措施
- 執行層面
- 經濟觀點

此次會議結束時，大會亦同時彙整了與會者的共識，發表了一份馬斯垂克宣言(The Declaration of Maastricht)，其共提出了36點結論，此次會議的與會代表皆認為該次會議的收穫甚大，且頗有共識的希望能在1993至1994年間，召開「第二屆VOC 國際會議」，唯由誰來主辦以及確切的時間與地點尚未決定。

此會議亦積極促成了同年(1991年)11月19日，共有21個歐美國家，在瑞士的日內瓦(Geneva)簽署了由聯合國歐洲經濟委員會(UN/ECE)所主導，有關VOC管制的國際協定(The ECE Protocol for the Reduction of VOCs)<sup>8</sup>。此協定的法律基礎可追溯到1979年，該委員會所簽定的「長距離越境大氣污染條約(Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)」。在VOC協定簽署前，早在1985以及1989年，歐洲各主要國家，已為了酸雨的問題，亦基於此條約，先後簽署了赫爾辛基協定及索非亞協定，分別欲於數年間達成SO<sub>x</sub>及NO<sub>x</sub>30%的減量目標，目前此兩協定仍在執行中。

此次VOC 協定的減量目標值，原則上亦訂在30%。惟由於VOCs乃是多種揮發性有機化合物的總稱，其成份與來源皆非常複雜，其相關的管制措施亦遠較SO<sub>x</sub>與NO<sub>x</sub>的管制工作來的更為困難。因此，本VOC 協定的簽署，在內容上有較大的彈性。

茲將簽署的情形摘如表1所示，其大致可分成三種情況：

1. 第一類型的國家，承諾至公元2000年前，逐年降低全國VOC 的排放總量，使較1988年的基準排放總量減少30%以上。大部份的國家皆是屬於這種狀況，但基準年(1988年)，依各國的實際情形，有 1984年至 1990年的選擇彈性，例如美國與瑞士等就選擇了1984年當為比較基準年。
2. 第二類型的國家，乃採取局部區域的管制措施。因為該類國家絕大部份區域並無顯著的人為排放情形，而大量的自然排放則不應納入在30%的減量目標中。目前已劃定出三個對流層臭氧管理區域(Tropospheric Ozone Management Areas, TOMAs)：一個在加拿大英屬哥倫比亞省的Lower Fraser Valley (面積約10,000km<sup>2</sup>)；一個在加拿大安大略及魁北克省的Windsor Quebec Corridor(面積約165,000km<sup>2</sup>)；另一個在挪威北緯 62° N以南的所有區域 (面積約466,000km<sup>2</sup>)。在此三個區域中，仍以30%為減量目標，但全國的VOC 排放總量仍控制在 0%成長的狀況。
3. 在第三類型的國家亦適用於 0%成長的狀況，這些國家例如希臘、保加利亞、匈牙利以及烏克蘭等，一般而言，乃屬較為乾淨的地區。其篩選的原則為：在1987至1988年的VOC 排放總量低於每年50萬公噸；平均空間密度低於每平方公里 5公噸；且平均人口負荷低於每人20公斤。此「較乾淨」的國家，相對的，其國家的經濟發展狀況亦較為低落。因此容許其未來的管制目標，即維持1987年的排放總量基準，不需有額外的減量。雖然如此，其仍需努力執行相關的管制工作，以抵消自然成長的排放壓力。

#### 四、VOC 排放總量與來源分佈特徵

由於VOC 已具有相當程度的國際性格，因此，將台灣地區的VOC 排放總量與其他歐

表 1 ECE VOC管制協定簽署國家\*

國名	比較基準年	2000年減量目標
盧森堡	1990	
挪威 **	1989	
加拿大**		
瑞典		
芬蘭		
法國		
德國	1988	30%
英國		
西班牙		
荷蘭		
比利時		
奧地利		
丹麥	1985	
美國		
瑞士	1984	
列支敦斯登		
希臘		
保加利亞		
匈牙利	1987	0%
烏克蘭		

[註] \*：白俄羅斯、愛爾蘭與葡萄牙亦已簽署<sup>20</sup>

\*\*：在對流層臭氧管理區域(TOMAs)中；達成30%的減量目標，

全國則仍以 0%成長為管制目標

美國家的VOC 排放總量相互比較，就顯得格外有趣。如表 2 所示，台灣地區1991年VOC 的排放總量約為87.3萬公噸，平均空間密度為每平方公里24公噸，平均人口負荷為每人42公斤。此三種指標皆已超過前述「較乾淨」國家的篩選標準。此數據乃累積多項研究計畫的最新成果<sup>10~19</sup>。雖然如此，其準確性之提高，仍待更長期深入的探討與修正。

表 2 中，歐美各國的VOC排放總量數據，主要摘自荷蘭刊行的 "VOC Newsletter"<sup>20</sup>，其他基本數據則引自外交部的資料<sup>21</sup>。由表中可看出，美國與挪威等國，幅員廣大，

但總平均人口密度極低，其單位面積負荷遠較台灣低，但平均每人負荷較台灣高。而法國、德國與英國等，幅員中等、人口密度中等的國家，其單位面積負荷已比美國和挪威等國高，但仍低於台灣，其平均每人負荷則與台灣頗為接近。至於幅員與人口皆與台灣最為接近的荷蘭，其平均每人負荷與德、英相近，而單位面積負荷則明顯高於其他歐美各國，然甚為遺憾的，台灣的單位面積負荷仍遠高於荷蘭。除此之外，若以單位GNP所排放VOC總量做比較，台灣亦較歐美各國高出許多，亦即台灣每單位VOC排放量所能賺到的錢(GNP)，遠低於歐美各國，此現象實值得國人深思。雖然此台灣地區VOC排放總量的推估結果，仍有待進一步的努力以提高其準確度，但吾人亦難輕易否認台灣地區車輛眾多、有機溶劑使用量龐大，且普遍尚未進行良好控制的事實。

表2 台灣與歐美國家VOC排放情形比較<sup>20~22</sup>

國名	總面積 <sup>(1)</sup> (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	總人口 <sup>(2)</sup> (萬人)	人口密度 <sup>(3)</sup> (人/km <sup>2</sup> )	人均GNP <sup>(4)</sup> (美元/人)	總排放量VOC <sup>(5)</sup> (10 <sup>3</sup> 公噸/年)	VOC排放負荷 <sup>(6)~(8)</sup>		
						公噸/km <sup>2</sup>	公斤/人	公斤/萬美元
美國	9,373	24,879	26	19,400	19,500(1988年)	2	78	40
加拿大	9,976	2,600	3	19,598	—	—	—	—
挪威	324	424	13	22,100	216(1989年)	0.7	51	23
瑞典	411	850	21	26,400	—	—	—	—
芬蘭	338	499	15	27,533	—	—	—	—
法國	552	5,720	104	21,085	2,300(1985年)	4	40	19
德國	357	7,760	217	19,041	2,400(1986年)	7	31	16
英國	244	5,723	234	15,936	1,770	7	31	19
義大利	301	5,770	192	15,050	—	—	—	—
西班牙	505	3,954	78	12,800	—	—	—	—
荷蘭	41	1,500	364	18,452	454(1985年)	11	30	16
比利時	31	980	321	16,000	—	—	—	—
丹麥	43	513	119	24,153	165(1985年)	4	32	13
瑞士	41	675	163	30,307	300	7	44	15
奧地利	84	760	91	19,240	517(1987年)	6	68	36
葡萄牙	89	1,053	118	5,656	155(1988年)	2	15	27
台灣	36	2,060	572	8,815	873(1991年)	24	42	48

[註] - : 尚未查到資料

VOC的排放來源非常龐雜。若以行業別的觀點來加以分類，則可分成工業、商業、住宅、車輛…等。若依其排放特性加以區分，則可歸納為五大類，如表3所示。茲分述如下：

### 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VOC。

表 3 VOC 排放源與排放特性分類

排放特性 排放源		不完全 燃 燒	製 程 排 放	油 品 揮 發	溶 劑 使 用	生 物 作 用
人 工 業  為 住 宅	燃料燃燒	✓				
	露天燃燒	✓				
	污水場／掩埋場					✓
	煉油／石化		✓	✓	✓	
	其他製造業				✓	
	表面塗裝				✓	
	表面清洗				✓	
	加油站			✓		
	汽車保養				✓	
	乾洗				✓	
車 輛		✓		✓		
自 然						✓

### 2. 製程排放

在煉油、石化等工業，各種氧化、蒸餾等單元程序與單元操作中的製程排放口與設備元件軸封處等，皆有可能排放出化學反應狀態中的VOC。

### 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以及進出料作用，而由呼吸閥逸散出大量的油品。此外，在加油站加油時，或車輛的油箱以及曲軸箱，亦有可能逸散出油品。

#### 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、瀝青舖設，以及一般消費用品等，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VOC。此外，各植物相，亦會排出大量的VOC。

表4列出台灣與荷蘭、美國等，各類VOC排放源間排放比例的比較。由表中可看出，台灣地區1991年VOC的排放總量，約有44%來自車輛的排氣、蒸發損失及曲軸箱吹漏；工業／商業／住宅等的有機溶劑使用，所揮發的VOC，共佔了36%；煉油／石化／油槽／加油站等，共佔了15%；此外，屬不完全燃燒所造成的排放，則佔5%。此排放量的分佈情形，與1985年荷蘭VOC排放總量的分佈情形極為類似。若與1987年美國全國的VOC排放總量分佈情形相比，美國的車輛以及商業／住宅有機溶劑的排放比例較台灣低，此可能由於其相對人口密度遠較台灣為低所致。至於其不完全燃燒所佔的比例甚高(19%)，此乃因其11%來自住宅部門的木材燃燒所致，此現象在台灣已極少。若縮小範圍只與1985年美國加州南灣地區的VOC排放總量分佈情形相比，則南灣地區車輛排放與商業／住宅有機溶劑排放所佔的比例遠高於台灣，而工業的VOC排放所佔比例則遠低於台灣。此正可反應南灣地區為高度人口與車輛集中，但煉油與石化等工業則相對規模甚小的特點。

表4 台灣與荷蘭／美國各種VOC排放源排放量分佈情形<sup>22~25</sup>

單位：%

污 染 源	台 灣	荷 蘭	美 國	
			全 國	加 州 南 灣 地 區
燃燒(不完全燃燒)	5	7	19	4
工 業	煉油／石 化	13	11	8
	有 機 溶 劑	15	15	22
商 業	油槽／加 油 站	2	5	10
	有 機 溶 劑	21	20	32
車 輛	油 品 挥 發	44	42	31
	不 完 全 燃 燒			53
參 考 基 準 年	1991	1985	1987	1985

## 五、VOC 的控制技術與管制策略

控制VOC的方法，原則上可分為個別的管末控制技術與宏觀的管制策略兩個層面加以討論。

VOC的管末控制技術包括熱焚化、觸媒焚化、吸附、吸收、冷凝與生物過濾…等。有關這些控制技術的優缺點比較，摘如表5<sup>20</sup>。而其相對的控制效率與成本的比較，則摘如表6<sup>20</sup>。茲分述如下：

表5 各種VOC管末控制技術之特性<sup>20</sup>

控制技術	優 點	缺 點
熱 焚 化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 適合廣範圍的污染物</li> <li>• 對高濃度廢氣不需輔助燃料下，能源效率佳</li> <li>• 污染物之破壞效率高</li> <li>• 有能源回收的可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對低濃度廢氣，燃料成本高</li> <li>• 操作溫度高</li> </ul>
觸媒焚化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 操作溫度較熱焚化低</li> <li>• 燃料消耗量較小</li> <li>• 污染物之破壞效率高</li> <li>• 有能源回收的可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 觸媒易被毒化</li> <li>• 對某些污染物成份及濃度有所限制</li> </ul>
活性碳吸附	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 能源需求低</li> <li>• 適合於低濃度下的各種污染物</li> <li>• 有溶劑回收的可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高投資成本，尤其是有再生系統</li> <li>• 不適合高濃度廢氣</li> <li>• 不適合含水份之溶劑</li> <li>• 不適合含粒狀物之廢氣</li> <li>• 有火災之危險性</li> </ul>
吸 收	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 能源需求低</li> <li>• 適合於多種污染物</li> <li>• 對臭味的去除有很高的效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 投資成本亦可能高</li> <li>• 不適合低濃度廢氣</li> <li>• 產生廢水（二次污染）</li> </ul>
冷 凝	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 有溶劑回收的可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 能源消耗量高</li> <li>• 水溶性混合物易溶於水氣中</li> <li>• 只適合高濃度廢氣</li> </ul>
生物過濾	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 低投資成本</li> <li>• 低操作成本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高濃度廢氣去除效率有限</li> <li>• 有機溶劑去除效率有限</li> </ul>

表 6 各種VOC 管末控制技術之效率與成本<sup>20</sup>

控 制 技 術	低 濃 度 廢 氣		高 濃 度 廢 氣		備 註
	效 率	成 本	效 率	成 本	
熱 焚 化	高	高	高	中	最適合高濃度廢氣
觸媒焚化	高	中	中	中	最適合已知成份的低濃度廢氣
活性碳吸附	高	高	中	中	適合變異成份的低濃度廢氣
吸 收	非常低	高	高	中	適合變異成份的高濃度廢氣
冷 凝	非常低	高	中	低	適合已知成份的非常高濃度廢氣
生物過濾	中高	低	低	低	適合處理低濃度可生物分解的廢氣

[註] 1. 廢氣濃度(g/m<sup>3</sup>)：低<3，高>5  
 2. 效率(%)：低<80，中=80~95，高>95  
 3. 成本(元新台幣／噸VOC)：低<5,000，中=5,000~15,000，高>15,000  
 4. 以美：台幣=1:25換算

### 1. 熱焚化

熱焚化乃指在空氣助燃下，高溫（約700~800°C）使VOC 氧化成二氧化碳和水的方法，其適用於處理廣範圍濃度及成份的VOC 廢氣，具有很高的去除效率（98%以上）。惟VOC 濃度太低時，需加大量補助燃料，成本高昂。相對的，若VOC 濃度甚高，則對成本非常有利。但一般為安全起見，最高濃度應控制在LEL 的25%以下。此外，若廢氣中含有鹵素或硫化物，則其排氣需再加裝洗滌器，以防二次污染。

### 2. 觸媒焚化

在觸媒的催化作用下，VOC 能在遠比熱焚化所需溫度低的情形下，約300~400°C 左右，充份氧化。此法最大的優點，乃能源的消耗較少。但由於觸媒對廢氣成份較為敏感，對不同的VOC 成份，可能有不同的破壞效率，且有些成份，例如鉛、砷…等，易將觸媒毒化，使觸媒降低其催化功能。因此，其應用範圍不若熱焚化廣。若廢氣濃度過高，則需先加以稀釋，以防止觸媒床過熱，引起安全顧慮，並使觸媒降低其活性。一般應用在較低濃度（且較高溫度）的已知可處理廢氣，最具成本效益性。

### 3. 活性碳吸附

由於活性碳對多種VOC 的吸附效果良好，且回收／再生容易，因此廣泛應用於含VOC 廢氣的處理。尤其是對較低濃度的廢氣，其去除效率高，且能源需求低。但此法較不適合處理含大量水汽及粒狀物的VOC 廢氣，分子量過低或過高的VOC 成份，吸附效率較差，VOC 濃度過高或廢氣溫度過高亦較不適合。

#### 4. 吸收

吸收法乃指以水或溶劑將廢氣中VOC吸收下來的方法。其一般適用於較高濃度有回收價值的VOC廢氣，其處理後的吸收液往往需再以氣提方式，將VOC趕出。而氣提後的廢液通常亦需再加以處理始得排放，此法在應用時，需慎選吸收劑種類，否則將徒有吸收形式，而無實際吸收功能。其應用在無機氣體以及臭味的處理遠較VOC的處理廣泛。

#### 5. 冷凝

由於冷凝法的能源消耗量高，且一般去除效率只屬中等，因此大都只應用在較小風量的高濃度VOC回收處理。且通常被當成焚化、吸附與吸收等系統的前處理單元。若廢氣中含有大量水汽，將使回收效率大打折扣。

#### 6. 生物過濾

生物過濾乃利用微生物的分解作用，將廢氣中的VOC去除。對於低濃度易生物分解的VOC廢氣，其去除效率高，且投資與操作成本皆非常低廉。對於水份含量高，較不適合以活性碳吸附處理的廢氣，以本法處理則非常恰當。

此外，若VOC廢氣流量不大，且甚為穩定，則可通到工廠既有的鍋爐或加熱爐中加以焚化。相反的，若VOC廢氣的流量變化過大，則可考慮送至廢氣燃燒塔(flares)中處理。

以上所述，皆為已發展成熟的各種VOC管末控制技術。當然，若能從預防／減廢的方式，加以降低VOC的排放量，乃屬更為上乘的策略。茲將各種相關的管理與減廢策略，摘如表7。由此表中可看出，管末控制技術的應用場合，除了車輛外，其他都屬較為大型的工／商業排放源。對於個別排放量甚小，但總和排放量顯著的排放源，例如建築塗裝與一般消費用品等，則需由產品規格加以管制，才可能使其排放量削減下來。

觀先進各國的VOC管制發展歷程，大都以各種管末控制技術的運用為開端；然後逐漸以較乾淨的生產方式為發展重點，例如改變製程以減少VOC的排放、提高塗佈機的塗佈效率或改善系統的密閉性以減少VOC的洩漏等；目前，則以產品規範的改變為最主要的VOC減量來源，例如原含高量有機溶劑的塗料，改為低或無有機溶劑含量者。當然，為要確保表7中各種管制策略能被有效執行，以法規方式訂定嚴謹的管制規範，以及以財稅方式提供充份的經濟誘因，兩法並行，乃是頗為廣泛應用的必要與輔助的策略。此外，在法規的設計上，如何容許污染者有最大的自由度，去選擇達成同樣減量目標的最佳方式，亦是非常重要的，因為唯有如此，才能獲得整體最佳的成本效益。

表 7 VOC 管制策略總表

污 染 類 別		管 理 與 減 廢 策 略	管 末 控 制
不 完 全 燃 燒	車 輛 排 氣	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 新車引擎設計／使用中車輛定期檢驗維修制度</li> <li>• 抑制車輛成長／加速老舊車輛淘汰</li> <li>• 促使總車行里程減少／提高交通流暢程度</li> <li>• 擴大彈性時間／地區通行限制</li> <li>• 調整都市的結構，減少車輛的使用與集中</li> </ul>	觸媒轉化器（配以無鉛汽油的使用）
	露 天 燃 燒	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 禁止垃圾／廢五金的露天燃燒</li> <li>• 規範農作物廢料的露天燃燒需於指定天候條件下進行</li> </ul>	—
有 機 溶 劑 使 用	工 業 表 面 塗 裝	使用無或低VOC 含量的塗料／採用較高效率的塗佈設備	依狀況選用合適的系統，規模太小者，相對成本高，不易執行
	工 業 表 面 清 洗	使用VOC 含量少或水性的替代溶劑	
	其 他 工 業 用 途	使用VOC 含量少或水性的替代溶劑	
	汽 車 維 修	使用無或低VOC 含量的塗料／採用較高效率的塗佈設備	
	乾 洗	使用密閉式或單槽式的洗衣脫水設備	
	印 刷	使用VOC 含量少或水性的油墨	
	建 築 塗 裝	使用無或低VOC 含量的塗料	
	瀝 青 舉 設	使用低VOC 含量的瀝青或乳化瀝青	
	一 般 消 費 用 品	使用低VOC 含量或水性的配方／將噴霧式改為擠壓式	
製 程 排 放	煉 油 ／ 石 化 業	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 製程改善以減少VOC 廢氣的排放</li> <li>• 設備元件軸封防漏改善／定期檢測維修</li> <li>• 減少VOC 混入廢水／廢水收集與處理系統之密閉</li> </ul>	依狀況選用合適的系統
油 品 揮 發	油 庫 ／ 加 油 站	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 由錐頂貯槽改為浮頂貯槽</li> <li>• 加設油氣密閉回收系統</li> </ul>	活性碳吸附罐
	車 輛	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 曲軸箱吹漏氣迴流系統</li> <li>• 油箱化油器蒸發控制系統</li> </ul>	

## 六、結論與建議

由實測資料顯示，台灣地區近幾年來，都會區大氣中的臭氧濃度已有顯著惡化的趨勢。因此，扮演臭氧形成的重要前趨污染物(VOC)的管制工作乃顯得特別重要且迫切。尤其是台灣地區VOC的單位空間負荷遠高於歐美先進國家，而相較下所獲得的國民總生產額(GNP)，卻又遠低於歐美先進國家，國人所需再投入的努力可見一斑。特別是VOC現在已繼酸雨、臭氧層破壞與溫室效應等，一舉躍昇為國際性的問題，在含有機溶劑產品的研發製造方面，若不儘早往無或低有機溶劑含量的產品規範發展，則他日難免籠罩在被實施國際貿易抵制的陰影之下。以下茲就台灣地區有關VOC管制的相關課題，提出幾點建議，以供產、官、學、商與工程界人士參考指正。

- 1.台灣應積極參與國際性的相關資訊交換體系，例如由荷蘭所主導建立與運作的國際VOC Newsletter以及VOC Bulletin Board System，以迅速有效的吸取他國經驗，避免時間與經費的大量重複浪費，且與國際的最新知識同步。
- 2.需持續針對台灣地區各種VOC排放源（含自然排放）的排放總量、排放時空分佈以及化學成份頻譜，進行更廣泛且深入的實測、調查與推估工作，使VOC的排放源數據庫更為準確，且提高其解析度。
- 3.應持續定期進行台灣一些重要區域環境空氣品質中NO<sub>x</sub>/O<sub>3</sub>以及VOC成份頻譜的測定工作，以更充份的瞭解與掌握環境空氣品質的實際狀況。
- 4.應吸取國外經驗，進行一些較重要的VOC成份，在台灣環境下的相對光化學反應活性研究，並探討在世界上已被廣為應用的光化學反應模式，例如都市氣源模式(UAM)，在台灣的應用技術。
- 5.長期進行人群曝露的健康影響效應，以及重要物種的生態影響效應研究，瞭解臭氧問題在台灣實際的影響程度，並修正環境空氣品質標準限值。
- 6.對各污染源別的管束控制技術以及相關的管理與減廢措施，應並重引進發展。尤其是各種塗料與一般消費用品方面，應即早研究訂定相關的產品規範。
- 7.經由污染源數據庫的不斷加強，環境空氣品質資料的持續累積，以及本土化光化模式的發展修正，需定期進行整體性VOC管制方案的規劃、執行與成效檢討，以使管制工作能充份落實，期以最經濟的手段，迅速有效的達成預期的減量目標。

## 附錄、馬斯垂克宣言

- 1.有關VOC越境空氣污染問題的調查工作已進行多年。目前對於如何採取VOC的減量行動，已有正確的政治與科學上的基礎。
- 2.雖然各國各自努力於降低臭氧的形成，但由於此臭氧問題具有越境的特性，因此，必

須採取國際性的政策與控制措施，才能真正有效的加以解決。「長距離越境大氣污染條約」的成員，必須儘速同意採取一個國際性的策略，以減低VOC的排放。

3. 在歐洲共同體(EC)的成員之間，就VOC協定的工作內容，有需要進行國際間的合作。合作項目不只是在管制策略方面；努力增進減量政策與控制技術等相關資料的交流亦很重要。
4. 光化反應致使臭氧形成的問題，乃是VOC減量控制工作之所以需要被加以執行的第一個緊迫因素。而現存可資採用的VOC控制技術，已使立即採行此第一步工作變得可行。
5. 做為各個國家VOC政策的基礎，必須是同時考量經濟效應的最佳可行控制技術。可持續發展的觀念必需是一個重要考量因素。
6. VOC排放量的削減，必需由政府及工業界共同行動。為了確保這些行動能充分有效，雙方需有聯合的承諾。政府與工業界合作發展國家減量方案，將有助引進控制技術；同時，也唯有如此，才能採行到最經濟有效的措施。特別是若要達成可持續的發展，則此種合作愈形重要。荷蘭、日本與美國的經驗，已能充分支持這個觀點。
7. 許多國家已在研擬VOC政策，以減低對流層臭氧的形成。
8. 目前對於臭氧前趨物質關係式的瞭解，大都取自於模式模擬的研究結果，但此模式預測的有效性，仍受限於排放源資料不足、環境監測資料缺乏、以及對氣相與異質化學瞭解的不完全。
9. 北半球對流層的臭氧「背景濃度」緩慢增加，主要是受制於NO<sub>x</sub>排放量的增加，而不是非甲烷VOC的增加。
10. 在歐洲，一般而言，高臭氧濃度（例如1小時值超過60ppb）的惡劣狀況，非甲烷VOC排放的因素比NO<sub>x</sub>或甲烷排放的因素大。
11. 臭氧「背景濃度」的增加（從歐洲百年前的年平均10~20ppb，昇至目前的35~40ppb），以及高濃度值（例如高於80ppb）的惡劣狀況發生。此兩者其影響效應皆非常重要。
12. VOC的自然排放非常顯著，應該被含蓋在排放源數據庫中，尤其是當此數據庫若被用於大氣擴散模擬時，更顯得特別重要。在歐洲，自然排放的VOC佔總VOC排放量約1/3左右。來自落葉樹的VOC雖只佔自然排放VOC的10%以下，但其所排放異戊二烯(isoprene)的量，與來自針葉樹者相當。在北歐及中歐，自然排放的NMHC對於高臭氧濃度的貢獻也許不大，但對於地中海國家的都市外圍區域則不然。
13. 要完成歐洲所有國家可靠的排放源數據庫，尚有許多重要的工作需加以持續進行。如何提昇VOC排放源數據庫正確性的工作，需被列為第一優先。例如進行包含化學成分分析的實際量測，以及時間與空間的分佈型態的資訊。
14. 在EC中已正執行一個VOC量測計畫，此計畫的目的乃在取得一個可信賴的資料庫，以發展EC中，對光化污染物的控制策略。這些量測非常需要，其量測結果可用來：
  - 確認模式的計算準確與否

- 反映 VOC 排放減量方案以及有關 VOC 排放濃度分佈型態與環境中 VOC 濃度等受新訂法規的影響情形。

15在歐洲的其他計畫中，有許多相似的行動正在執行或準備中，例如聯合國歐洲經濟委員會(UN/ECE) 的EMEP計畫(Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollution in Europe)，以及EURO TRAC-project TOR (對流層臭氧研究)，這些不同的先趨計畫間的密切合作，是被深深期待的。

16臭氧可能是空氣污染物所引致人類健康負面影響的最重要因素之一。短期高濃度的曝露會減低肺功能，增加呼吸道的反應，造成呼吸道的發炎，阻礙肺的清潔能力，並可能對免疫功能有負面的影響，且增加抱怨及其他症狀。

17目前UN/ECE已為臭氧濃度設立一個臨界基準，但這基準只考慮臭氧的直接影響。當然，如果臭氧改變了人或植物對其他環境壓力的反應能力，對生態體系整體而言，這個臨界基準可能仍屬寬鬆。已有證據顯示臭氧二次效應的存在。高臭氧濃度的經濟影響，例如農作物的減量效應，也許被低估。

18平流層的臭氧耗竭與對流層的臭氧濃度增高，形成一個非常複雜的系統。許多二次因素在作用中，而這些組合的效應可能會造成一個回饋系統，以導致所有各別不同問題嚴重程度的加重。例如平流層臭氧耗竭導致紫外線增加，而紫外線增加又引發對流層臭氧濃度的進一步昇高。

19與燃燒使用有關的污染源中，最大的排放源即為二行程引擎。最近修正的一個EC統一的指導綱領(directive)，將使歐洲的VOC 排放有一明顯的減量。

20依據美國加州的經驗顯示，只花費些許額外的費用，就可使車輛的排放量減低50%。此加州標準已被納入1990年的美國淨空法案，同樣的減量應儘速的在EC中加以實施。

21所修正的EC指導綱領也包括蒸發損失的減量，但有關實際狀況的量測程序仍有許多問題存在。這是一個非常重要的議題。因為目前的測試方式是在固定的雷氏蒸氣壓(RVP) 中進行，而實際上，各成員國間RVP 是有所變化的，因此此問題需被EC充份深入的討論。

22如果採用一個良好設計的吸附系統，且控制燃料的蒸氣壓，則要達到90%的VOC 去除率是可能的。如此，則蒸氣控制系統的檢驗應被納入在車輛的定期檢驗與維護制度中。

23對於加油損失的控制，以技術層面來看，有兩種方式可以選擇：在加油站中裝設蒸氣回收系統或在每輛車上加裝一個大型的活性碳吸附罐。選擇那一方案的決策基礎，應不只在於總投資費用的高低，而尚需考量可達成的減量程度以及廣為執行所需的時間長短。許多團體預測，在車上加裝設備的方式，整體而言可能較便宜，但引進這些設施至少在 8 年內是不可能的，因為此商業化運轉的技術尚未成熟，且無鉛汽油的供應時程以及相關法規的建立亦甚為耗時。相對的，由於加油站的控制方式，可以在很短的時間內即執行，且能有效的保護消費者以及加油站工作者，使其免於有害物質（例如苯）的曝露，因此許多環保單位傾向於採取此方式，其已被瑞典、美國以及瑞士等

國家採行。

24 EC已經宣告，將提出一份歐洲的指導綱領，規定在某些區域的加油站需設置蒸氣回收系統(Stage II)，對於在都市區域高運作量的加油站將優先實施。EC同時會支持進行車輛加油口徑的標準化作業，以達到較高的系統效率。與此同時，車輛業者亦被要求進行大型吸附罐技術的開發工作。瑞典政府與工業界的合作案，可做良好的範例。

25 社區的社會、經濟以及實質結構往往強化了流動的需求，且鼓勵以汽車做為交通工具。改善此狀況的方法之一，即是調整都市的結構，特別是有關於停車場的區位規劃，或者是將市場成本引入開車與停車的行為，這些改變也許可使都市中的車行里程減少70~80%左右。

26 有關增加VOC控制技術的選擇彈性，以及鼓勵對VOC減量程度有積極態度的工業界／操作者，是非常重要的。一般而言，一個公司的環保政策，良好的操作管理以及溶劑的謹慎定量使用，扮演了一個非常重要的角色。

27 為了確保各種控制技術皆被同時考量，不管是加裝管末控制設備或採用製程改善／管理方式。法規需容許最大的自由度去選擇達成同樣減量目標的方式。

28 在大部份的地區，管末控制技術已可達成顯著的減量目標。雖然如此，若進一步發展其他替代方案也許能更具效率。目前有關各種替代控制方案的成本以及適用範圍的資訊尚未有良好的整理。對成本／效率最佳化的法規，需透過各成員國間儘可能的協商，並以正式書面的形式，來容許操作員對控制方式有最大的選擇空間。

29 一般而言，特別是對於新的控制技術，有必要採取示範的方式，以建立有關成本與處理效率的資訊，並增進對這些控制技術的信心。

30 對於低／無有機溶劑塗料的發展已有長足的進展，目前下列幾種低有機溶劑替代品已經發展成熟：高固體塗料、雙成份塗料（不含有機溶劑）、粉狀塗料（也是不含有機溶劑）、水性塗料、電子塗裝以及乳液塗料、UV及EB處理（電子光束）塗料。雖然使用低有機溶劑塗料的遠景甚佳，但在某些場合，管末控制技術仍然是必要的。

31 歐洲塗料製造工業聯盟(CEPE)將扮演一個積極於降低塗料中有機溶劑含量的前趨者角色。此可由其國際性的工業計畫及行動中看得出來，對於專業塗裝工的訓練計畫以及商品的共同標示系統亦正在被發展中。

32 為了防止VOC的排放，有以下幾點建議：

- 訂定一致的法規，要求工廠對有害物質進行減量稽核
- 確認可能造成問題的廢物及相關產品
- 基於可得的資訊，對於潔淨產品優先進行研發工作
- 設定廢物減量目標及時限，訂定對潔淨產品計畫的財務誘因，以及於應負的法律責任外，再增加更前進的污染稅的立法
- 使大眾能充份的獲得所需的資訊

33 在東歐由於經濟資源有限，對各種環境問題需設立一個優先次序。目前正在進行數據

庫的建置，以增加對VOC 排放的知識。同時控制措施亦已在調查之中，尤其是對於車輛、溶劑使用以及重工業等。UN/ECE的VOC 協定能被東歐國家簽署，乃是非常迫切的工作。這些國家正在調查，在預期的經濟成長之下，其是否能簽署此協定中既定的零成長減量目標(flat rate reduction)。

34 VOC 的減量也許能以多種方式達成。雖然在許多狀況，採用加裝管末控制設備的方式是必要的，但一般而言，其只能當為近程的選擇。產品的替代才是遠程的目標。以可持續發展的角度來看，此法最佳，雖然有時仍需兩法併用。

35 遠程來看，對於減低VOC 影響衝擊的國際協商，應該以由生態體系的影響閾值所發展出來的管制目標為基準，這些影響是否屬可回復性質的問題應被列入考量。

36 基於控制技術的成熟度以及廣泛的使用經驗，對於大部份的歐洲國家，中程減量目標至少要達50%。雖然進一步的減量才能使臭氧改善到可接受的範圍。

## 七、參考文獻

1. Radian Corp, Control Techniques for Volatile Organic Emissions from Stationary Source, USEPA, EPA-450/2-78-022, 1978.
2. US National Research Council, Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution, National Academy Press, Washington D.C, USA, 1991.
3. Placet, M., etc, Emissions Involved in Acidic Deposition Processes, NAPAP Interagency Science and Interagency policy Committees, USA, SOS/T Report 1, 1989.
4. SAI, CTCI and EEA, Investigation of the Emissions of Air Pollution in Taipei and Kaoshiung, and Planning for the Reduction of Air Pollution in these Areas, EPA/ROC, EPA-77-002-24-121, 1991
5. South Coast Air Quality Management District, LA, USA, Air Quality Management Plan, 1989 Revision, 1989.
6. 鄭福田、張時禹等，台灣地區空氣品質模式(TAQM)之建立與應用，行政院環境保護署，EPA-82-E3F1-09, 1993.
7. 康城工程顧問公司，有害空氣污染物排放管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，EPA-82-F103-09-13, 1993.
8. The Declaration of Maastricht, KWS 2000-Project Bureau, the Netherlands, 1991.
9. Project KWS 2000 Annual Report 1991, KWS 2000-Project Bureau, the Netherlands, 1993.

- 10 中鼎工程公司，台灣地區空氣污染物排放總量推估，行政院環境保護署，EPA-78-002-37-142, 1989.
- 11 國際系統應用公司，中鼎工程公司等，大台北高雄地區空氣污染物排放總量調查及減量規劃，行政院環境保護署，EPA-77-002-24-121, 1991.
- 12 美商凱瑟工程公司，中鼎工程公司等，北中南高地區空氣污染物排放總量調查及減量規劃，行政院環境保護署，EPA-79-002-48-216, 1992.
- 13 中鼎工程公司，新系科技公司等，研訂各縣市空氣品質改善／維護計畫，行政院環境保護署，EPA-82-F102-09-18, 1993.
- 14 康城工程顧問公司，工業技術研究院等，塑橡膠製造業空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，EAP-80-F101-09-47, 1991.
- 15 大毅技術工程公司，佳境工程顧問公司等，表面塗裝空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，EPA-80-F101-09-48, 1992.
- 16 工業污染防治技術服務團，汽車製造業表面塗裝空氣污染合理管制規範規劃書，經濟部工業局，1992.
17. 中鼎工程公司，石油化學工業空氣污染管制規範研訂計畫，行政院環境保護署，EPA-81-103-09-25, 1992.
- 18 工研院化工所，康城工程顧問公司等，有機溶劑使用及製造最佳控制技術研究及背景評估、研擬操作標準及規劃執行程序計畫，行政院環境保護署，EPA-79-002-55-245, 1993.
- 19 虹門技術公司，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，EPA-81-F103-09-21, 1993.
- 20 VOC Newsletter 1-10 Issues, KWS 2000-Project Bureau, the Netherlands, 1990-1993.
- 21 中華民國外交部禮賓司，世界各國簡介暨政府首長名冊(82)，正中書局，1993.
- 22 中鼎工程公司，台灣地區空氣污染物排放源資料庫系統(TEDS 2.0)初步推估結果，1993.
- 23 Control Strategy for Emissions of Volatile Organic Compounds, Ministry of Housing, Physical Planning and Environmental, the Netherlands, 1992.
- 24 National Air Pollutant Emission Estimates 1940-1987, USEPA, 1989.
- 25 Air Quality Management plan 1989 Revision-Appendix III - A 1985 Emissions Inventory, South Coast Air Basin, SCAQMD, LA, USA, 1989.