

## 台灣地區有害空氣污染物管制雛議

陳淨修\* 楊慶熙\*\*

### 摘要

隨著經濟發展的進步，有害空氣污染物(HAPS)排放的增加不可避免，但因有害空氣污染物對人體健康的影響較傳統(法定)空氣污染物更具危害性且其擴散影響範圍隨煙囪排放而更為擴大，隱然已成為各先進國家的一大環境隱憂而陸續開始加以管制，此舉值得國內工業主管單位、環保單位、勞工安全衛生單位等加以注意並思防範之道。

本文以環保署於81年度進行之有害空氣污染物管制規範之研訂計畫，所篩選30種台灣地區優先管制有害空氣污染物名單為討論基礎，略加探討台灣地區未來可行管制方式並整理有關文獻以為拋磚引玉。尤其有害空氣污染物的種類甚多、來源亦不同，如何建立檢測方法、調查HAPS在環境中濃度流布及各污染源排放量建檔、加強控制HAPS之排放，建立HAPS排放許可制度及利用風險評估技術作為決策考量依據等皆為未來管制HAPS排放之重點工作。另外對優先管制之HAPS考量訂定其排放標準、空氣污染管制規範及加嚴勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準等，亦有必要，以為執行之依據。

#### 【關鍵字】

1. 法定空氣污染物(criteria air pollutants)
2. 有害空氣污染物(hazardous air pollutants)
3. 最大可達控制技術(maximum achievable control technology, MACT)

---

\*嘉南藥專工業安全衛生科副教授

\*\*行政院環保署空保處科長

- 4. 多媒體(multi-medium)
- 5. 風險評估(risk assessment)
- 6. 危害指數(hazard index)
- 7. 空氣品質目標值(ambient air level goal, AALG)

## 一、前 言

過去數年間，世界各國對於空氣污染物之管制，均著重於一般無機類、即所謂之法定(criteria)空氣污染物包括TSP( $PM_{10}$ )、 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、CO、 $O_3$ 及Pb等六種，而隨著有害空氣污染物(hazardous air pollutants, HAPS)的逐漸增多及對人體健康危害之考量，開始進行HAPS之調查及管制。以美國為例，於1977年的清空法中即已明文要求美國環保署訂定新污染源性能標準(New Sources Performance Standards, NSPS)外，亦須訂定有害空氣污染物國家排放標準(National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants, NESHAP)，但當時由於HAPS的排放少且皆由特定污染源排放，對環境品質之影響不具普遍性，故美國環保署僅針對砷、石綿、苯、鉛、汞、氯乙烯及放射性核種等七種HAPS訂定排放標準，直至1990年清空法修正案中方對有害空氣污染物之主要排放源訂定一套管制計畫，要求排放源採用最大可達控制技術(maximum achievable control technology, MACT)以降低排放量，並列出必須減量之189種有害空氣污染物，預計2年內針對十種排放源發布管制條例，14年內管制25%之污染源，7年內管制50%的污染源，10年內達到管制所有污染源之目標，其中以煉焦爐、電廠、焚化爐、乾洗業、有機化學製造業、石綿業為優先管制對象。

有鑑於國內近年來經濟成長快速，各種HAPS排放數量不可避免地增加，尤其HAPS大都具致癌性或致突變性，對人體健康及環境品質有相當不利影響，亟須未雨綢繆，加以管制，但由於HAPS來源複雜，性質差異甚大，短時間內不可能將其全部納入管制，必須分階段就HAPS對人體健康的影響風險，社會效益及技術成本等可行性進行調查，加以綜合考量，決定管制優先順序，以收事半功倍之效。

本文略述國內目前HAPS之管制現況，控制技術並略引環保署以風險評估的概念分析篩選台灣地區亟須優先管制之30種HAPS，從而掌握其排放源並訂定其可能之排放標準或行業別控制規範或許可程序加以管制。

## 二、國內現有HAPS管制現況及相關法規

所謂有害空氣污染物係指可能引起或促成死亡率增加或造成功能無法回復之污染物，其種類相當繁多，包括揮發性有機物、重金屬、酸性氣體等，以揮發性有機物為多。從近三年(78~80)台灣地區非甲烷碳氫化合物上午6~9時間平均濃度超過0.2ppm的比例偏高趨勢來看(參圖1)，顯示非甲烷碳氫化合物問題之嚴重，亦即有害空氣污染物問題值得正視並加防制。

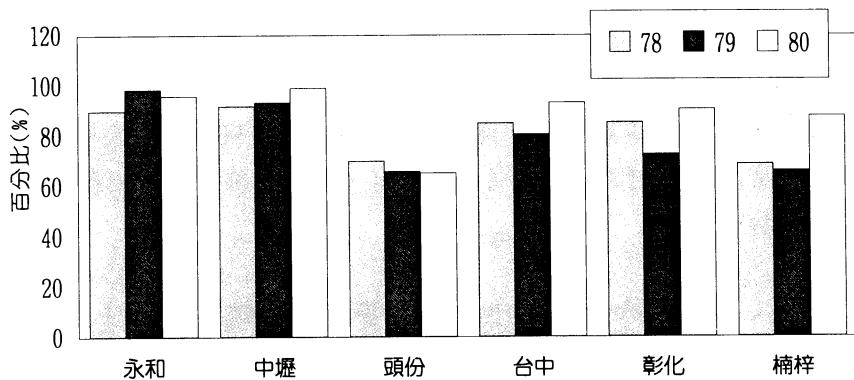


圖1 78~80年NMHC上午6~9點間平均濃度超過0.2ppm百分比分佈圖

由於HAPS可藉不同媒體如水體、大氣、土壤等而散布於環境中，因此，各相關法規皆針對各媒體內HAPS之濃度或含量予以明文限制，例如毒性化學物質管理法及施行細則中，規定毒性化學物質之運作（指製造、輸入、輸出、販賣、運送、使用、貯存、棄置等）行為必須向中央或縣市主管機關申報，且須取得其操作許可。目前已公告禁止運作之毒性化學物質計34種，大半皆屬有害（毒）污染物。台灣省及台北市自來水質標準及飲用水水質標準規定水質中揮發性有機物（苯、四氯化碳、氯乙烯等）、農藥及無機污染物之容許濃度。又有害事業廢棄物認定標準中亦包括重金屬、農藥、石綿、戴奧辛等多項有害污染物。而現行固定污染源空氣污染物排放標準對於HAPS之管制，除對部份特定污染物如苯、甲苯、氯氣、鎘等計21種污染物訂定排放標準或周界標準，或依排放標準第七條所列方法計算排放管道標準如表1所示。由上述各相關法規管制之有毒及有害物質，可知以揮發性有機物佔大多數，其次則為重金屬與其化

物、酸性氣體等，且因媒體可互為傳換，致HAPS之管制必須以多媒體(multi-medium)方式進行，構成一個三度空間的網，避免各相關法規獨立管制而有漏網之魚。

另外，環保署自民國78年起陸續委託進行各行業別空氣污染管制規範之研訂，包括表面塗裝業、塑膠業、橡膠業、石油化學業、PU合成皮業、有機化合物業、有機溶劑貯槽業、電子半導體業、乾洗衣業、木業、電弧爐煉鋼業、非鐵金屬業、焚化爐業、玻璃業、陶瓷業、磚石窯業、肥料業、石綿業、水泥業、電力設施業、瀝青拌合業、紙漿業、人纖業、畜牧業及肉品加工業等25個行業。上述各行業所造成之有害空氣污染物大半為有機溶劑及揮發性有機物、酸氣、氨、重金屬及氟化物、氯化物、氯氣、石綿等。其中水泥業、電力設施業及瀝青拌合業之主要空氣污染物為懸浮微粒、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、紙漿人纖業及畜牧、肉品加工業之主要空氣污染物為惡臭物質。各行業排放之主要有害空氣污染物如表2所示。

### 三、有害空氣污染物列管名單篩選方法

如前節所述國內過去雖對21種HAPS訂有排放標準或周界標準，但大部份的HAPS則皆未訂有排放標準或周界標準，而以勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準的1/50為排放限值，因此管制項目是否足夠及排放標準的限值是否適切，皆值得重予全面檢討，以符合國內HAPS之分布現況及管制效益，確保人體健康。由於HAPS的管制在國內尚處於起步階段，各種污染源HAPS的排放調查、分布等資料尚未建立，故現階段尚不宜將勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準規定中的196種有害物質或美國1990年清空法的189種有害物質全數納入管制，宜分階段分期管制，第一階段先依各種HAPS對人體健康及環境品質危害性大小，考慮其致癌性的潛能，運作量之多寡，生物濃縮性大小、急毒性程度等因素依圖2流程加以權重配分排序，篩選30種有害空氣污染物作為初期管制之對象，篩選結果如表3所示，其中有21種為揮發性有機污染物，顯示管制揮發性有機化合物之迫切性。

未來第二階段俟排放量、毒性資料及環境流佈等資料建檔後，將風險評估之精神納入其中，其篩選方法如圖3所示，茲說明如后：

表1 台灣省非法定污染物之法定排放標準

非法定污染物	排放源類別	排放源標準					
		煙道		周界		換算係數	
		值	單位	值	單位	$a_1$	$a_2 (\times 10^{-3})$
硫	硫酸廠	100	mg/Nm <sup>3</sup>	50	μg/Nm <sup>3</sup>	0.1	0
	非硫酸廠	200	mg/Nm <sup>3</sup>	50	μg/Nm <sup>3</sup>	0.1	0
總氟量	所有污染源	10	mg/Nm <sup>3</sup>	10	μg/Nm <sup>3</sup>	$1.17 \times 10^{-2}$	$5.70 \times 10^{-3}$
苯	所有污染源	*	*	0.5	ppm	2	1
甲苯	所有污染源	*	*	2	ppm	9.6	4.7
二甲苯	所有污染源	*	*	2	ppm	11	5.4
硫化甲基	所有污染源	*	*	0.2	ppm	0.646	0.3
二硫化甲基	所有污染源	*	*	0.1	ppm	0.5	0.2
一甲基胺	所有污染源	*	*	0	ppm	0.032	$1.60 \times 10^{-2}$
二甲基胺	所有污染源	*	*	0	ppm	0.047	$2.30 \times 10^{-2}$
三甲基胺	所有污染源	*	*	0	ppm	0.061	0
氨	所有污染源	*	*	1	ppm	0.885	0.4
硫化氫	未經處理排放	100	ppm	0.1	ppm	0.179	0.1
	焚化處理前	650	ppm	0.1	ppm	0.179	0.1
硫醇	所有污染源	*	*	0	ppm	0.025	$1.20 \times 10^{-2}$
鋸及其化合物	所有污染源	1	mg/Nm <sup>3</sup>	0.5	μg/Nm <sup>3</sup>	$5.8 \times 10^{-4}$	$2.80 \times 10^{-4}$
鉛及其化合物	所有污染源	100	mg/Nm <sup>3</sup>	10	μg/Nm <sup>3</sup>	$1.17 \times 10^{-3}$	$5.7 \times 10^{-3}$
石綿	所有污染源	肉眼不可見		肉眼不可見			
氯乙烯單體	所有污染源	10	ppm	0.2	ppm	0.7	0.3
二硫化碳	所有污染源	*	*	0.4	ppm	1.6	0.8
甲醛	所有污染源	*	*	0.2	ppm	0.3	0.2
氯化氫	所有污染源	80 1.8	ppm kg/hr	0.1	ppm	0.2	0.1
氯氣	所有污染源	30	ppm	0	ppm	0.2	0
其他污染物	所有污染源	*	*	**A	**A	$8.5 \times 10^{-3} A$	$1.1 \times 10^{-2} A$

\*依固定污染源空氣污染物排放標準第七條所列方法計算。

\*\*A = 勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準之1/50( μg/Nm<sup>3</sup>)

表2 各行業別排放之主要有害空氣污染物

行 業 別	主 要 有 害 空 氣 污 染 物
紙漿人纖業 (約157家)	H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub>
表面塗裝業 (約2,579家)	酚、甲基酚、乙基酚、丙酮甲苯、二甲苯、苯乙烯、三氯乙烷、丁醇、乙醇、丁酮、甲基異戊酮、醋酸乙酯、醋酸丁酯
塑、橡膠業 (約8,546家)	甲苯、苯乙烯、苯、二甲苯、氯乙烯、甲醛、DMF、丁酮(MEK)、甲醇、丙酮、甲基異戊酮
石油化學業	酚、1.1—二氯乙烷、1-2—二氯乙烷、氯乙烷、丁酮(MEK)、丙酮、甲基異戊酮、二甲醚、錳、鋅、鉻、汞、鎘、銅、氟、砷、硫化氫、氨、鉛
PU合成皮業	丁酮(MEK)、甲苯、醋酸乙酯、DMF
化學肥料業 (約37家)	氯化氫、氟、氮
電子半導體業 (約46家)	二甲苯、苯、1.1.1—三氯乙烷、丙酮、乙苯、甲苯、二氯甲烷、氯仿、硝酸氫、氯化氫、氟化氫
焚化爐業	氯化氫、氟、重金屬(鉛、鎘)、氯乙烯、PAH、戴奧辛、PCBs、石棉、呋喃
陶瓷業 (約386家)	氟、重金屬(鉛)
乾洗衣業 (約7,000家)	苯、二甲苯、四氯化乙烯、三氯乙烷、三氯氟乙烷
磚瓦窯業 (約257家)	氟
石綿業 (約45家)	石綿
電子業 (約3,400家)	丙酮、丁醇、丁酮(MEK)、三氯乙烷、三氯乙烯、甲苯、二甲苯、乙醇、醋酸乙酯、醋酸丁酯、二氯甲烷、氯仿、四氯化甲烷、三氯乙烷
農藥類 (約59家)	苯

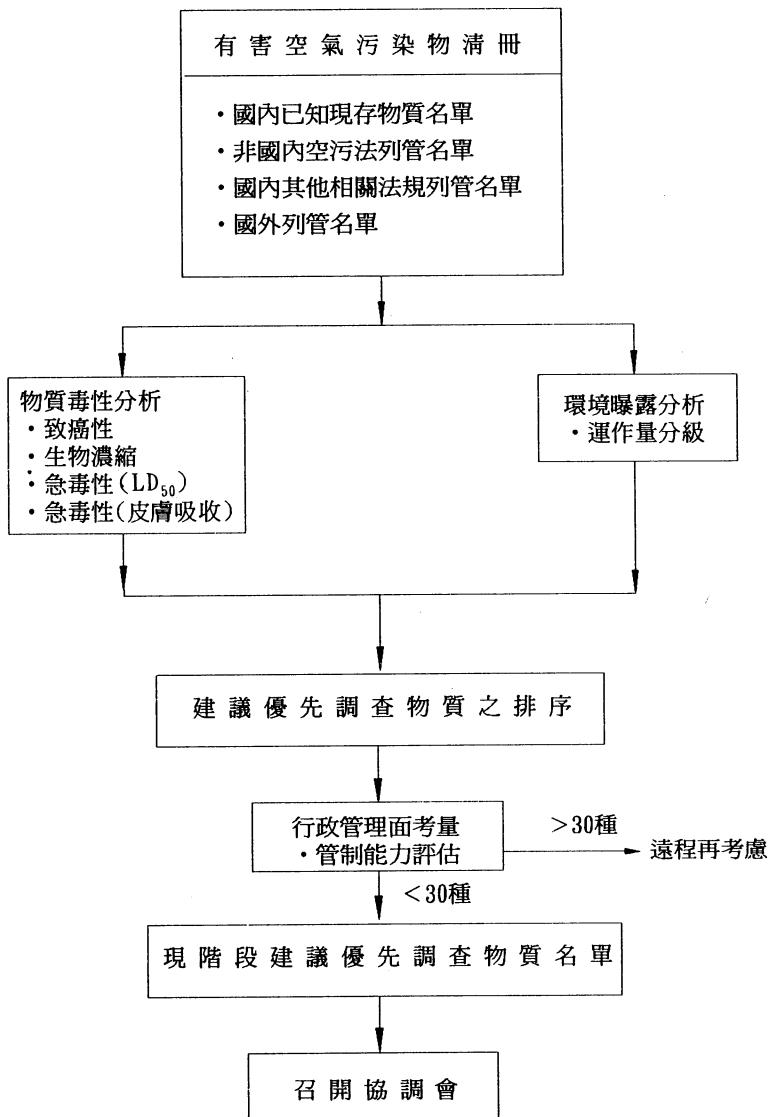


圖2 第一階段列管物質名單篩選之流程

表3 國內建議優先調查之30種有害空氣污染物名單

類別	國內可能需要列管 之有害空氣污染物	總 分	排 序	級 別
揮發性有機污染物	苯	85.0	1	A
	苯乙烯	65.0	2	B
	1,2-二氯乙烷	63.7	3	
	三氯乙烯	60.0	4	
染物	乙苯	46.7	5	C
	氯苯	45.0	6	
	甲苯	45.0	7	
	二甲苯	44.7	8	
	四氯乙烯	44.3	9	
	二氯甲烷	43.7	10	
	二甲基甲醯胺	40.7	11	
	1,1-氯乙烯	39.0	12	
	酚	37.7	13	
	四氯甲烷	25.0	14	
含重金屬	1,1,1-三氯乙烷	25.0	15	
	甲醇	21.0	16	D
	夫喃	19.0	17	
	甲酚	19.0	18	
	甲異丁酮	18.7	19	
酸氣	醋酸丁酯	18.0	20	
	二硫化碳	18.0	21	
	砷	49.0	1	C
其他	鉻	40.7	2	
	鎘	36.0	3	
	鉛	25.0	4	
其他	硝酸	23.4	1	D
	鹽酸	17.0	2	
	硫酸	17.0	3	
其他	致癌性多環芳香碳氫化合物	73.0	1	B
	萘	36.3	2	C

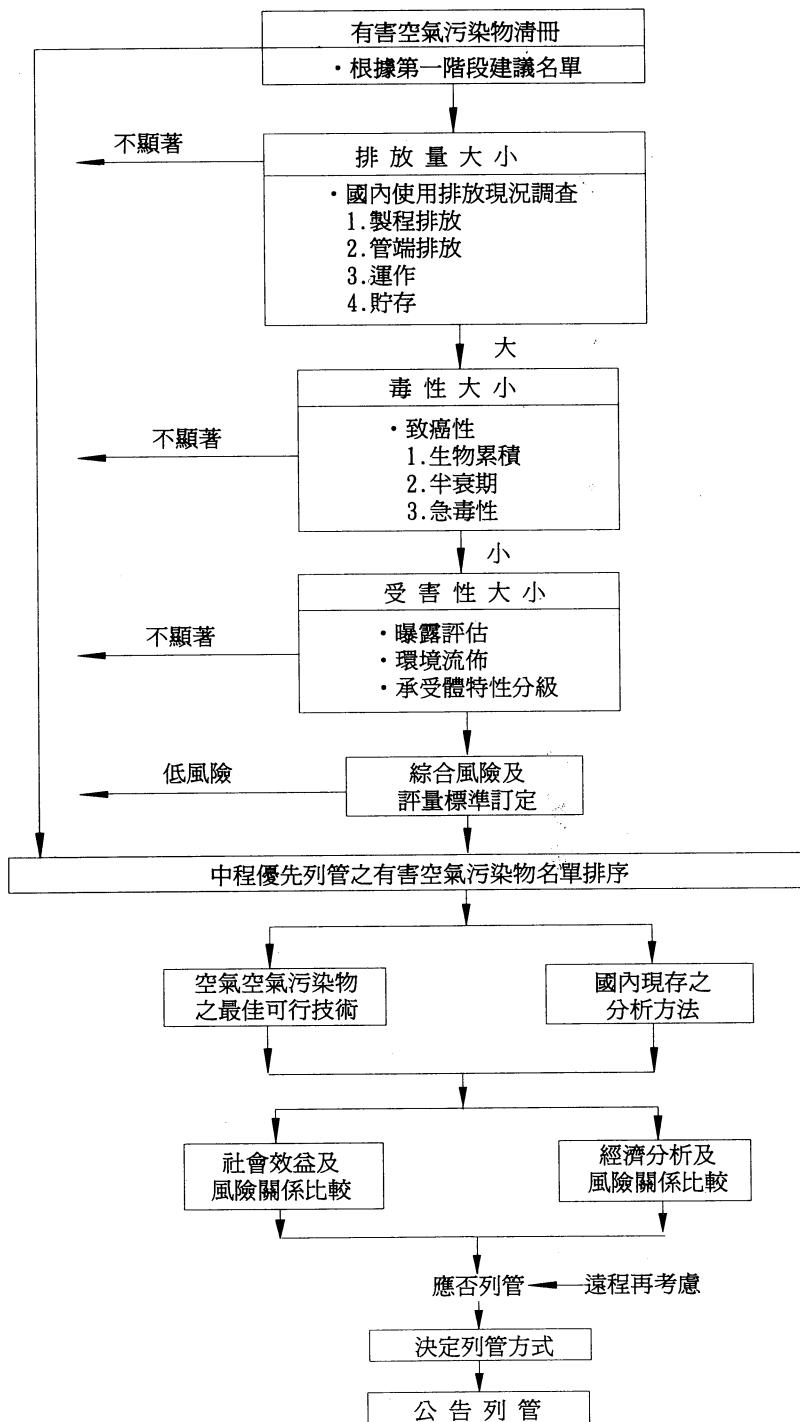


圖3 第二階段列管物質之篩選流程

### 3.1 確定有害空氣污染物名單

依第一階段所列之優先調查列管名單，逐步決定其不同來源。

### 3.2 排放量大小

針對30種優先調查名單，依國內排放現況，列出其排放量調查結果，並以排放因子(emission factor)推估排放量，進一步確認各有害空氣污染物之主要排放源。

### 3.3 毒理特性之研究

該階段可進行各有害空氣污染物之毒理及流行病學研究或收集國外文獻，篩選出毒性高者。其篩選條件如下：

1. 致癌性。
2. 致畸胎性。
3. 基因突變性。
4. 環境（生物）蓄積能力。
5. 急毒性（ $LC_{50}$ 數據）。
6. 生態毒性。

### 3.4 危害性研究

其篩選條件可根據曝露評估及承受體之特性而定，並考量有害空氣污染物在人體內代謝及人類可接受之毒性閾值。曝露評估可根據以下因子加以考慮。

1. 污染源調查及環境流佈。
2. 曝露途徑及其於環境中之轉變。
3. 污染物濃度之測量及推估。
4. 環境中蛻變速率的評估，以其存在於環境中的半衰期數據，來評估其對環境影響之長短程效應。
5. 曝露人口及人口結構特性，污染物承受體之特性隨承受體而異，其包括醫院、學校、托兒所、工作場所及住宅區。
6. 曝露延時，以擴散模式推估最大著地濃度及曝露時間。

### 3.5 將候選名單納入風險評估模式

將候選名單納入風險評估模式，不但考慮其排放量且考量其毒性及危害性。主要目的係為了了解有害空氣污染物對人體及環境之危害程度與範圍，並藉以篩選出對較多人口危害之有害空氣污染物。

### 3.6 社會效益及技術成本可行性分析

就管制HAPS所產生之社會效益及技術成本加以估算以了解實施之可行性。

## 四、風險評估之意義及步驟

所謂風險評估(risk assessment)是以任何技巧及方法用以評估在有害污染物管理或處置過程中，所排放之現況或將來可能曝露之化學物質對健康或環境所造成之風險特性及機會大小。申言之，風險評估包括污染物對健康的危害影響，及考慮這些影響的不確定性，加以量化以估計其對人類和環境的威脅，影響發生之機率，這可導致各種不同污染物、不同媒介體、不同活動的危害分類以辨認(identify)對人體健康最具危害之污染物，亦可導致鑑定健康危害較最重之地區，再決定法規管制優先順序，因此，在環境保護上對大眾及私人資源產生更有效率之分配。

我們知道污染物從企業活動排放後進入媒體而散佈於環境中，再經由曝露過程影響受體如圖4所示，因此須受體有曝露於污染物之機會，且與曝露時間長短及污染物進入受體之途徑有關，是以，排放量大之HAPS並不表示其對人體健康必然產生不利影響而須視其危害性程度及人體曝露程度而定，這也就是為什麼風險評估的概念在HAPS的管制等略制度上成為主流之原因，亦即有害空氣污染物之管制係以污染物對人體健康危害風險的大小為基礎而非以其排放量大小為決定因素。表4所示即為美國加州前10項的空氣污染致癌性化學物，由表中可知加州以二氯甲烷(dichloromethane)為最主要致癌空氣污染物，而苯僅為次要致癌空氣污染物，排放量大者並不一定就是致癌性最大者。圖5所示為風險評估的四個步驟，略為簡介如后：

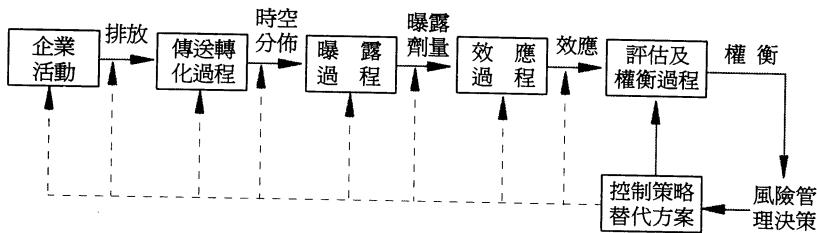


圖4 風險評估及管理之構架及步驟

表4 美國加州前十項空氣污染致癌性物質

化 學 名 稱	排 放 量(%) <sup>(1)</sup>	致 癌 性(%) <sup>(2)</sup>
二氯甲烷	59.7	25.6
乙烯氧化物	2.4	22.3
氯份	5.1	12.3
聯 胺	0.0	10.0
甲 醛	4.7	6.4
砷	0.0	3.4
丙烯氧化物	7.9	3.1
丙 烯 酯 胺	0.0	2.7
鎳	0.1	2.4
苯	2.5	2.2

[註] (1)加州空氣排放物中25種致癌物之重量百分比

(2)加州空氣排放物中25種致癌物之致癌權重百分比

資料來源：D.Abercrombie

#### 4.1 危害物認定(hazard identification)

目的在決定某一特殊化學物是否與某種健康疾病的發生有因果關係，所需資料包括收集、評估相關生物或化學資料及傷害、疾病產生之曝露條件亦包括化學物在人體中的反應及其與器官細胞間之副作用，以判斷化學物是否為危害物，尤其是有關後者之資料對於化學物於實驗設定條件中所產生之毒性（如致癌性、致突變性）是否可同樣發生於人類的判斷，甚具價值。

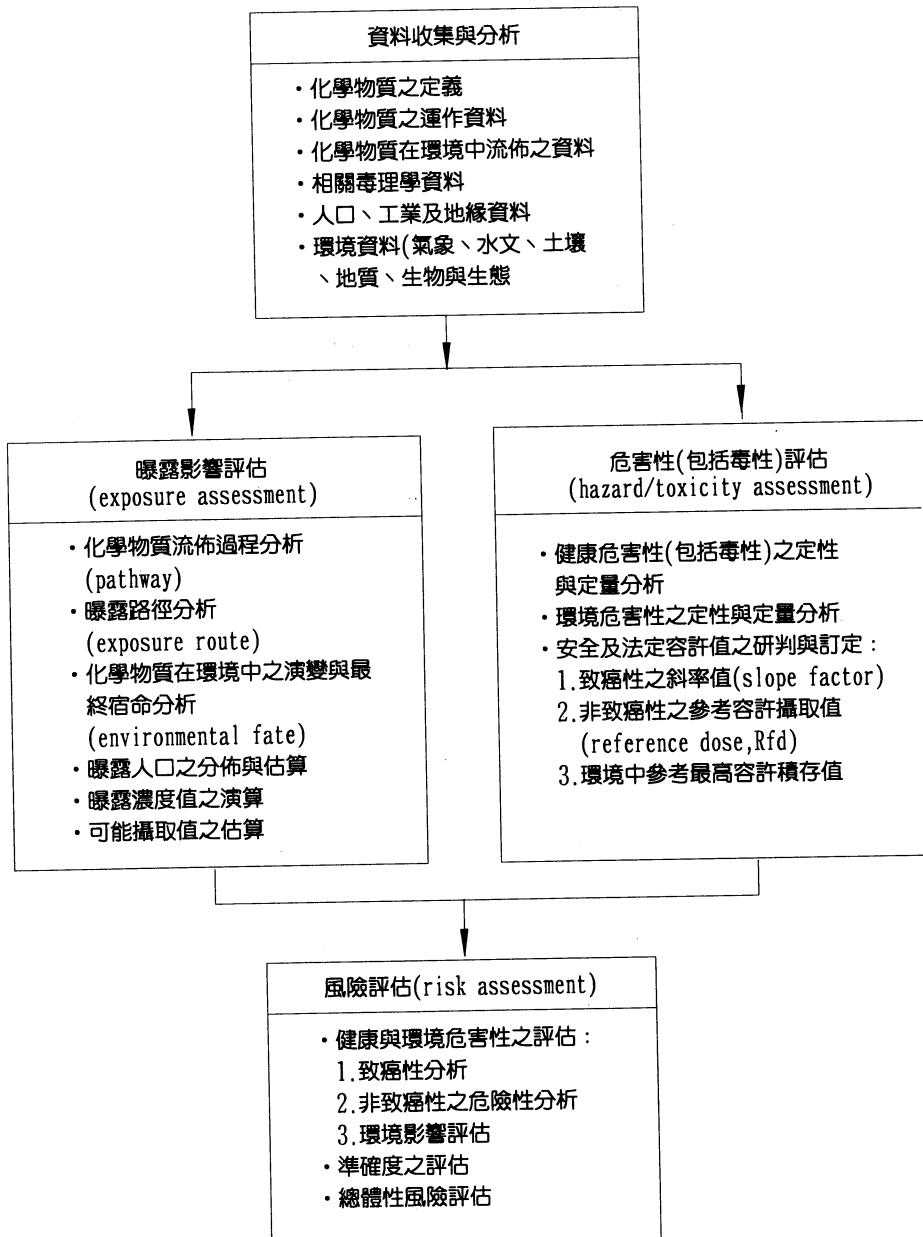


圖 5 環境與健康風險評估之步驟

#### 4.2 劑量－效應評估(dose-response assessment)

一旦某一化學物質被證實會對人類產生不良影響效應，亦即此一化學物質在不同的劑量下所能產生之效應程度。從動物研究之資料或從同一物質在不同劑量下所能產生不同毒效，可得到許多不同之劑量－效應關係，除非，劑量和效應之關係能予以定量，否則，即使該物質具毒性，仍然無法確定該物質之風險。

#### 4.3 曝露評估(exposure assessment)

第三步驟必須預估人體曝露於某一特定化學物質之途徑及程度，該部份評估包括：

1. 污染源評估：污染物來源及特性。
2. 途徑及宿命(fate)分析：污染物從源體至受體之過程。
3. 環境濃度之估算：最好的方法是直接量測或監測周圍環境HAPS之含量，但這種方法的成本相當高，是以，在實際狀況下，經常只依據特定物質之釋放量和一些監測資料，利用數學模式來預估化學物質之濃度。
4. 人口分析：曝露之人體及環境受體的數量、位置及習慣作息等。
5. 整體曝露分析：曝露程度的計算及不確定的評價。

對不同污染物之曝露程度，我們關心的重點也不同，對某些影響，我們可能只是關心人類長期曝露於特定化學物中的影響。其他我們關心的可能是排放源附近的最大曝露程度，或短時間曝露對人體可能造成之影響。一般言之，曝露估算可以個別事件曝露的大小及期間加以描述，例如急性效應的評價將使用短期間內每一事件或數個事件曝露之程度，反之，評估致癌性風險時，時常考慮較長時間之曝露，曝露時間的長短取決於化學物毒性的大小。對大多數的長期風險評估所需慢性曝露可以以下式加以估算：

$$I = \frac{CA \times IR \times ET \times EF \times ED \times ABS}{BW \times AT}$$

式中：I為慢性吸入劑量( $\text{mg}/\text{kg-d}$ )。

CA為媒體中污染物之濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )。

IR為接觸率( $\text{m}^3/\text{hr}$ )，代表媒介經由呼吸、消化、皮膚而接觸身體

之比例。

ET為曝露時間(hr/d)。

EF為曝露頻率(日／年)。

ED為曝露期間(年)。

ABS為吸收比例，即污染物進入及接觸身體的有效部份。

BW為體重(kg)。

AT為平均時間(日)，終身七十歲致癌效果之時間為 $70 \times 365$ 。

#### 4.4 風險特徵(risk characterization)，或稱風險評估

該步驟係將上述三項資料分析結果以集合方式加以討論，意即不僅包括某一特性曝露之風險評估而且對所有有關資料，使用上之假設及限制、不確定性之討論等，不論是決定性的或定量的，皆加以簡要摘述，以決定人類曝露於各種不同型式之毒物環境中，健康風險發生之機會。

### 五、有害空氣污染風評方法

風險評估之優點為其能考慮同一污染源排放之所有污染物造成之累積風險並據以決定是否應作排放削減，而非僅以各污染物排放濃度是否符合排放標準作為削減依據。因此，美歐地區對於HAPS之管制多採用健康風險評估標準取代排放標準，其訂定方式乃依污染物危害性質估算致癌風險、慢性危害指數及急性危害指數，致癌風險與慢性危害指數乃著眼於長期性的影響，用以管制長期之污染排放，急性危害指數則著眼於短期之危害，用以管制短期之污染排放。其風險管制方式為針對每一污染源之特性、氣象條件，估算污染源所造成之風險是否超過規定之風險值。

美歐地區之致癌風險標準多訂在 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 之間，慢性與急性危害指數則定為1，因此可知對一工業設施排放之有害空氣污染物進行健康風險評估，其評估步驟包括：

1. 確定有害空氣污染物、及排放源(排放量)
2. 以擴散模式推估污染物在大氣中之濃度
3. 計算污染物在其他介質，如水及土壤中之濃度

#### 4. 估計曝露量

#### 5. 估計健康風險。

其中以第二步驟估算大氣中污染物之濃度最為複雜及不準度最大，因此為了減少不必要的人力和資源的浪費，一般多採用多層次(multitier)風險模式評估。評估時先用簡單而保守之計算方法或模式計算有害污染物在污染源毗鄰地區造成之濃度與其可能導致之健康風險，此種分析一般稱之為篩選性分析(screening analysis)。污染源若能通過此種分析則不必要收集更詳盡之背景資料進行正式(formal)或更詳細之模式分析；若污染源經簡化評估，其風險或危害指數超過設定限值，則必須以更精細之大氣擴散模式及實際人口調查資料進行風險評估。

不論是簡單模式或複雜模式在應用時，皆須模擬長短期平均濃度分布，據以估算污染物所可能造成之長短期最大風險值，其計算方法分述如下：

### 5.1 長期模擬(long-term modeling)

先選用適合之大氣擴散模式模擬有害空氣污染物所可能造成之年平均濃度分佈，再由年平均濃度最大值乘上污染物之致癌風險因子（由健康效應資料推衍）估算致癌風險。若污染物為非致癌物則由平均濃度與污染物之慢性濃度閾值之比值來決定污染物之慢性非致癌效應。其估算方法可分為二：

#### 1. 致癌風險評估

最大之個人終身風險可由每一致癌物之平均最大濃度乘以該物質之單位致癌風險因子後，再將每一致癌物之風險相加（假設所有癌症風險具加成性），若其值大於 $10^{-6}$ （一般以 $10^{-6}$ 為致癌風險之最大值），則表示該污染源須對該致癌物作減量措施。

#### 2. 慢性非癌症風險評估(chronic noncancer risk assessment)

污染物之慢性非致癌之健康威脅係以危害指數(hazard index)評估，慢性非致癌危害指數值為每一污染物之危害指數（最大年平均濃度除以該污染物之慢性濃度閾值）之總和，若個別或總數大於1.0，則須進一步模式分析或採取因應措施。

### 5.2 短期模擬(short-term modeling)

毒性或危害性空氣污染物之短期模式係用以估算民眾曝露於污染源所排放之污染物1小時平均濃度，同樣的此處之「民眾」，不包括工廠之工作人員，

評估重點亦在於工廠以外地區。其風險乃由1小時預測濃度與急性濃度閥值（由實驗之健康資料推衍而得）之比較而評估；而在保護一般大眾之目的下，分析工作亦著眼於預測最嚴重情況下之污染物濃度或最大小時平均濃度。

與慢性危害指數之評估相似，急性危害指數為每一污染物之危害指數之總和；若危害指數超過1.0，表示對民眾可能造成重大危害，需再作更高層次之模式分析或業者須採取因應措施。

表5所列係整理國內建議優先管制之30種有害空氣污染物之致癌風險急性可接受濃度、慢性可接受濃度、忍耐值及建議空氣品質目標值。

## 六、有害空氣污染物控制技術

利用控制技術去除有害空氣污染物，其效率取決於HAPS之特性及排放源特性，例如去除對象是有機或無機、排放源為點源、面溢散源或來自於製程。而每一控制技術適用範圍亦很大，決定於排放特性。HAPS性質、功能水準（移除效率）。通常控制設備皆外加於污染源，但若為溢散性污染源則以氣罩（hooding）捕集或閉密通風系統收集，再傳輸至控制設備，此時整個控制系統之功能將取決於溢散源之捕集效率及控制設備之效率。以下僅略述點源排放氣態HAPS之排放控制技術：

### 6.1 有機氣體排放控制技術

控制點源最常使用之方法為加裝控制設備，這些設備可分成兩類：燃燒及回收，可用（行）之燃燒設備有熱焚化爐、觸媒焚化爐、燃燒器及鍋爐／製程加熱器。可行之回收裝置包括冷凝吸收器及吸附器。由於燃燒設備對任何型式的有害空氣污染物（有機氣體）具有高效率的摧毀作用，因此成為目前使用最廣之設備。回收技術之去除效率一般取決於HAPS之物理、化學特性。考慮控制設備的可行性主要取決於個別排放特性而與污染源類別關係不大，是以點源控制技術之選擇係基於特定氣體特性及所需控制效率。表6所列即各種不同控制設備與排放特性及HAP（有機氣體）特性之關係，由表中可知控制設備的選擇與廢氣流量及HAP濃度有很密切關係。且每一控制設備所能減量範圍亦不相同並隨HAP入口濃度的變化而不同如圖6所示，每一控制設備皆有其適用範圍及處理效率，原則上低濃度以焚化為主，中高濃度則採活性碳吸附及冷凝器設備而且濃度愈高效果愈好。

表5 國內建議優先調查之30種有害空氣污染物名單及TLV、AALG等相關資料

類別	國內可能需要列管之有害空氣污染物	總分	排序	致癌風險值 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	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 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	AALG ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )
揮發性有機污染物	苯	85	1	8.30E-06	0.00E+00	7.10E+01	30 TWA	9.6E+02 年TWA
	苯乙烯	65.0	2	5.70E-07	0.00E+00	7.00E+02	2157 TWA	26.3 年TWA
	1,2-二氯乙烷	63.7	3	2.00E-05	0.00E+00	0.00E+00	347 TWA	0.046 年TWA
	三氯乙烯	60.0	4	2.00E-06	0.00E+00	6.40E+02	270 TWA	0.39 年TWA
	乙苯	46.7	5	0.00E+00	4.00E+03	1.00E+03	435 TWA	130 年TWA
	氯苯	45.0	6	5.30E-06	4.00E+03	3.50E+01	50 TWA	0.022 年TWA
	甲苯	45.0	7	0.00E+00	4.00E+03	2.00E+02	375 TWA	140 年TWA
	二甲苯	44.7	8	0.00E+00	4.00E+03	3.00E+02	435 TWA	5200,8 年TWA
	四氯乙烯	44.3	9	5.80E+07	4.40E+03	0.00E+00	335 TWA	0.86 年TWA
	二氯甲烷	43.7	10	1.00E+06	8.50E+03	0.00E+03	105 TWA	300 年TWA
	二甲基甲醯胺	40.7	11	0.00E+00	2.00E+00	3.00E-02	—	—
	1,1-氯乙烯	39.0	12	0.00E+00	0.00E+00	5.00E-02	—	—
	酚	37.7	13	0.00E+00	0.00E+00	4.50E+01	19 TWA	90,8 小時TWA
	四氯甲烷	25.0	14	5.80E+05	0.00E+00	0.00E+00	1900 TWA	36400,8小時TWA
	1,1,1-三氯乙烷	25.0	15	0.00E+00	1.90E+05	0.00E+00	—	—
染物	甲醇	21.0	16	0.00E+00	0.00E+00	6.20E+02	—	—
	夫喃	19.0	17	0.00E+00	0.00E+00	3.50E+00	—	—
	甲酚	19.0	18	—	—	—	—	—
	甲異丁酮	18.7	19	—	1.20E+03	8.00E+01	205 TWA	490,8小時 TWA
	醋酸丁酯	18.0	20	—	—	—	—	—
	二硫化碳	18.0	21	—	3.30E+02	0.00E+00	31 TWA	150,24小時 TWA
含重金屬	砷	49.0	1	3.30E-03	0.00E+00	5.00E-01	0.2 TWA	466E-05 年TWA
	鉻	40.7	2	1.40E-01	0.00E+00	2.00E-03	0.5 TWA	1.67E-05 年TWA
	鎘	36.0	3	4.20E-03	0.00E+00	3.50E+00	0.01TWA	1.1E-04 年TWA
	鉛	25.0	4	8.00E-05	1.50E+00	1.50E+00	0.15 TWA	1.5 月TWA
酸氣	硝酸	23.4	1	—	—	—	5 TWA	21.8 小時TWA
	鹽酸	17.0	2	0.00E+00	3.00E+30	7.00E+00	—	—
	硫酸	17.0	3	—	—	—	1 TWA	2.8 小時TWA
其他	致癌性多環芳香碳氫化合物	73.0	1	—	—	—	—	—
	萘	36.3	2	0.00E+00	0.00E+00	1.40E+01	50 TWA	120.8 小時TWA

〔註〕 資料不足

AALG：空氣品質目標值。

TLV：忍恕值，係美國工業衛生師協會(ACHG)所訂勞工容許濃度。

TWA：時量平均值

(資料來源) Air Toxics and Risk Assessment, E.J.Calabrese and E.M.Kenyon,  
Lewis Publishers, Inc., 1991

表 6 有害空氣染物有機揮發性氣體控制技術與污染源特性之相關性

控 制 裝 置	污 染 源 特 性			有 害 空 氣 污 染 物 特 性				
	有害空氣污染物 ／有機物濃度 (ppmv)	焓 (Btu/scf)	含水率 (%)	流 量 (scfm)	溫 度 (°F)	分子量	蒸氣壓	吸附特性
熱焚化器 觸媒焚化器	>20 50~10,000	>300 >150		<100,000 <100,000 <2,000,000 穩定				需以適當 吸附物質 吸附
燃燒器 鍋爐／加熱器 活性碳吸附器	1,000~10,000 (<25% of LEL)		50%	300~100	100~200	45~130		
吸收器	2,500~10,000			1,000~ 100,000			需可滲於 水或其他 溶劑	
凝結器	>5,000			<2,000				>10(於室 溫下)

〔註〕 LEL：指最小爆炸濃度

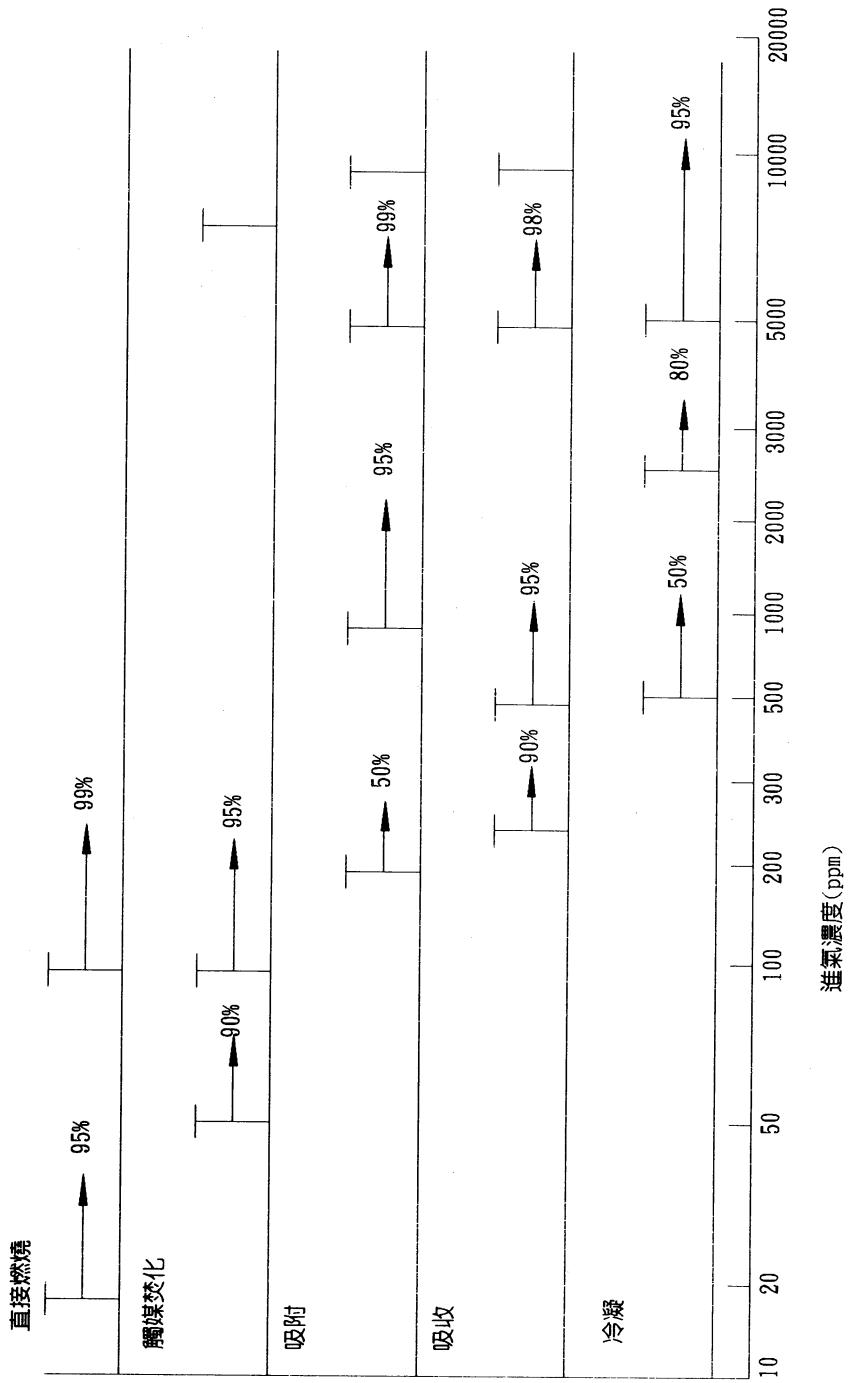


圖 6 各種VOC控制技術之適用範圍及處理效率

### 6.1.1 热焚化爐(thermal incinerator)

熱焚化爐可用來控制許多連續排放VOC之排放源，相較於其他技術，熱焚化爐技術應用最廣。因為其功能與HAP特性及排放源特性較無關，破壞效率可達99%以上，缺點則為不適用於流量變動大者，因在流量變動條件下，停滯時間的減少及混合不良將降低燃燒的安全性而使燃燒室之溫度下降，造成去除效率的降低。

### 6.1.2 觸媒焚化爐

觸媒焚化爐和熱焚化爐在設計及操作上完全類似，差別在於前者係用觸媒去加強反應速率。由於觸媒可於低溫反應，因此使用觸媒焚化爐可節省可觀之燃料。觸媒焚化爐在應用上不似熱焚化爐廣泛，因前者之效能(performance)對於污染物特性及製程條件的敏感度較後者為甚，例如廢氣中若存有像磷、鉻、鉛、砷、銻、汞、錫、鋅、硫及鹵素等物質，將會毒化觸媒而嚴重影響其效能。另外液態、固態粒狀物可沉降於觸媒表面並形成覆層(coating)而減低觸媒活動強度，阻止VOC與其接觸。觸媒之壽命受限於因腐蝕、磨損、蒸發所造成活化力的減少。在適切操作溫度及足夠的溫度控制，這些過程一般很慢，觸媒大致可維持3~5年之壽命。在處理低VOC排放濃度時，觸媒焚化爐較熱焚化爐便宜。但若處理未經稀釋之高VOC濃度，則將不會以觸媒焚化爐處理，因此時廢氣將致使觸媒床過熱並喪失活力。另外為防止觸媒破壞，VOC組成之變化應維持最低。綜上可知影響觸媒焚化爐效能之因素，主要包括：

- 操作溫度
- 廢氣中對觸媒產生毒害物質含量
- 觸媒性質
- VOC組成及濃度
- 移流速度(space velocity)

$$\text{移流速度} = \frac{\text{進氣(包括進流廢氣、輔助燃料及燃燒空氣等)之體積流速}}{\text{觸媒床之體積}}$$

一般以觸媒焚化爐處理有害空氣污染物，其破壞效率可達到95%，較高的破壞效率(99%)亦可達到，但需更大的觸媒體積及／或更高溫度。

### 6.1.3 燃燒塔(flares)

燃燒塔一般皆用來處理製程改變（例如開啓、關閉）及緊急時之廢氣排放（處理），基本上是屬於安全裝置，但亦可用以摧毀廢氣。燃燒塔可用以控制所有VOC排放源，其可被設計及操作處理VOC含量變化、入口濃度及流量。有數種不同型式的燃燒塔包括蒸汽補助(steam-assisted)、空氣補助(air-assisted)及壓力頭(pressure head)等三種燃燒塔、蒸汽補助燃燒塔非常普遍且大都用於大量的廢氣排放，空氣補助燃燒塔則使用於中量的廢氣排放，壓力頭燃燒塔則應用於小量廢氣排放。

一般言之，當排放流內的熱含量超過300Btu/scf時，蒸汽補助燃燒塔的破壞效率可達98%。取決於燃燒塔型態（例如地面或高空）、燃燒塔處理廢氣容量，地面燃燒塔可至100,000 lb/hr、高空燃燒塔可至2,000,000 lb/hr時以上。

### 6.1.4 鍋爐／製程加熱爐

第四種用以處理VOC之排放為利用鍋爐／製程加熱爐燃燒VOC，破壞效率可達98%，此法優點為成本低、熱含量並可完全被回收、然亦有一些限制包括流量及熱值多變時對鍋爐或製程加熱爐有不良影響、溫度低、流量大及熱值低時將使燃燒不完全而降低熱值輸出、鍋爐功能及信賴變受腐蝕化合物之影響。

### 6.1.5 碳吸附(carbon adsorber)

碳吸附大半是作為污染控制或溶劑回收技術加以應用。其主要目的為分離VOC及空氣之混合，效率可達95~99%之上。入口濃度最大值通常可達10,000ppmv，取決於碳床吸附量或因吸附熱及可燃氣體所引發碳床高溫安全問題，以目前技術，出口濃度可以達到50~100ppmv，對某些化學物，更可低至10~20ppmv，相對於焚化爐的銷毀VOC，本法提供一個更佳之替代方法，尤其當廢氣中的VOC存有價值時。高分子量化合物因具有低揮發特性，易為碳所吸附，且因其與碳有強烈親和力，致使碳床再生時，不易除去，因此，碳吸附不適用於此類化合物（即燃點>400°F，分子量>130）、高揮發物質（分子量<45）因不被碳吸附，因此，本法亦不適用於控制此類化合物之排放。

碳吸附對於排放廢氣條件相當敏感，以致廢氣中含有液體或固體微粒，高燃點有機物或多環物質，必須先預為處理例如過濾(filtration)，若廢氣濕度

過高( $RH > 50\%$ )，則須去濕(dehumidification)，若廢氣溫度高於 $120^\circ \sim 130^\circ F$ ，則須加以冷卻。為防止因放熱吸附過程及氧化反應而使床溫過熱，高於 $10,000\text{ppmv}$ 之濃度必須降低，通常於吸附時先對廢氣加以冷凝或稀釋。

#### 6.1.6 吸收塔(absorbers)

吸收被視為一原料或產品回收技術，用以分離及純化含有高濃度VOC之廢氣，尤其在無機氣體（例如 $C1_2$ ）的應用上，更被視為排放控制技術。對於有機氣體排放控制，吸收之適宜性，取決於幾項因素。大部份因素皆與HAP特性有關，例合適溶劑之可及性、HAP是否溶解於溶劑而具較佳之吸收速率，溶劑是否易再生及處理方式是否為環境可接受。另一影響VOC排放控制吸收適宜性之因子為蒸氣／液體平衡資料的是否取得，因該等資料為設計吸收系統所必須者，對於不普遍之HAP，該等資料不易獲取。另一考慮因素為溶劑使用後之處理，若該溶劑仍含有有機化合物，排放後，只是將空氣污染轉移至水污染問題，因此這個問題將必須說明（即是否考慮以化學／物理／生物方法處理溶劑）。因經濟理由使用後有機溶劑可被萃取(stripped)再循環至吸收器使用，但萃取通常很貴，因在溶劑內上VOC濃度通常很低而難於再使用。

此外，若VOC有可觀之蒸氣壓（例如大於 $0.1\text{mmHg}$ ），則可考慮排放至大氣中。為使VOC的排放濃度降低，若僅以吸收器處理則須設計高吸收塔，長接觸時間及高液體一氣體比而使設備成本很高，因此通常吸收器和其他控制設備例如焚化爐併用，較能符合經濟效益。

#### 6.1.7 冷凝器(condensers)

冷凝器廣泛用作原料及產品回收設備，時常被用作預處理設備，在污染物尚未進入其他控制設備如焚化爐、吸附器、吸收器前，先去除VOC。冷凝器亦可使用於控制含高濃度VOC( $> 5,000\text{ppmv}$ )之廢氣，其效率可達至 $50 \sim 90\%$ ，去除效率取決於排放特性包括HAP特性、HAP濃度及冷媒類型，值得注意的是冷凝器的入口濃度不能低於冷卻劑溫度下之飽和濃度，因此在大部份狀況以水作為冷卻劑時，飽和條件代表高出口濃度，例如冷凝器出口VOC濃度時常介於 $100,000$ 和 $20,000\text{ppmv}$ 之間，因有機化合物之飽合條件。是以若以水為冷卻劑，幾乎不可能達到低出口濃度。使用冷凝器可能產生處理廢棄冷凝液之間題，視所用之冷凝器而定，故使用接觸冷凝器控制HAP排放，一般不被建議。

上述介紹的氣狀有害空氣污染物控制技術，其優劣點比較如表7所示。

表7.1 氣狀有害空氣污染物控制技術優缺點比較

控制技術	優 總	缺 總
熱焚化	<ul style="list-style-type: none"> <li>因與HAP性質的關係較微小，適用於各種連續排放的VOCs</li> <li>破壞效率達99%</li> <li>市場上有各種不同尺寸組裝設備可處理流量從幾百到100,000scfm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不適用於流量差異頗大之排放因熱值會不穩定而造成燃燒不全</li> <li>由於安全的考量，通常只用在稀釋過的VOCs混合氣，但也因此需額外補充熱值。</li> </ul>
觸媒焚化	<ul style="list-style-type: none"> <li>因觸媒可使反應溫度比熱焚化低，因而省下大批燃料費。</li> <li>適當的溫度操作和控制，觸媒可適用3~5年。</li> <li>同樣處理低濃度VOC時，成本上較熱焚化便宜。</li> <li>處理流量可達100,000scfm。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>因觸媒可能被不同HAP所抑制，適用性沒熱焚化廣。</li> <li>可能因液體或固體塵粒沉積在觸媒表面，而使效率降低。</li> <li>觸媒的壽命會因加熱而老化或因腐蝕、揮發而喪失活性。所以不適合於VOC濃度變化很大之排放源。</li> </ul>
燃燒器	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用於程序功能失效或不穩定時(start-up, shutdown, emergencies)廢氣處理</li> <li>幾乎可以控制所有VOC。</li> <li>不受VOC含量、鈍性物含量、流量等影響</li> <li>當熱值&gt;300Btu/scf，可達98%去除率</li> <li>可處理高達100,000lb/hr(ground flare)、2,000,000lb/hr(elevated flare)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>如果HAP熱值不夠，仍需補充燃料。</li> </ul>
工廠現有的鍋爐及加熱器	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用於煉油工業中蒸餾製程</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>只有在HAP熱值達150 BUJ/SCF下才可適用；如乙基苯／苯乙烯製造工廠的廢氣，否則只可與燃油一併燃燒</li> <li>因為鍋爐加熱器皆為工廠製程中的一部份，需考慮不影響工廠製程之效率。如HAP流量、溫度、熱值、具腐蝕性物質等會影響到製程效率。</li> </ul>

表7.2 氣狀HAP控制各技術優缺點比較

控制技術	優 點	缺 點
碳吸附裝置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可用來回收溶劑或污染控制</li> <li>• 去除率95%~99%間</li> <li>• 出流濃度可少至50~100ppm，對有些HAP，甚至可達10~20ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 進流濃度&lt;10,000 ppm 會被吸附床的容量或安全問題所限制，尤其是吸附高溫熱及揮發性蒸氣。</li> <li>• 不適用於低揮發性物質，B.P. &gt; 400°F, M.W. &gt; 130之HAP 因為與碳的親和力強不易再生。</li> <li>• 因為無法立即吸附在碳表面上，不適用高揮發性物質(M.W. &lt; 45)，其效果與排放源條件有關，需前處理除去液體、固體粒子、高沸點有機物或高分子物質、若相對濕度&gt;50%，則需除濕。若溫度大於120~130°F，則需冷卻。</li> </ul>
滌氣塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同樣可用來回收原料及產品和氣體淨化</li> <li>• 較常用於無機氣狀物的處理(H<sub>2</sub>S、氯化物等)</li> <li>• 效率可高達99%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不適合用於有機HAP</li> <li>• 對有機HAP需添加特殊溶劑，其可以快速吸收有機HAP並容易再生。</li> <li>• 對有機HAP，現有之氯／液平衡數據，值得懷疑，而且有些特殊的HAP，根本就沒有資料。</li> <li>• 滌氣液的再生頗為困難。</li> <li>• 使用過的滌氣液中含添加的有機溶劑，若其蒸氣壓&gt;0.1 mmHg，很可能再揮發。</li> <li>• 若達到低有機HAP 排放，通常需要很高的接觸塔或停留時間或氣液比例。</li> </ul>
冷凝器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大部份用在回收原料及產品或其化污染防治設備的前處理。</li> <li>• 可處理VOC&gt;5,000ppm，效率在50~90%間，水冷凝後排放濃度可達10,000~20,000ppmv。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 要達到極低HAP排放，需冷水、鹽水溶液、氟氯碳化合物，經濟上極不可行。</li> <li>• 冷凝液的丟棄也是一個問題，最好不要將冷凝液與 HAP接觸。</li> </ul>

## 6.2 點源無機氣體排放控制設備

無機氣體僅為HAP之一小部份，典型無機HAP氣體包括NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S、CS<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等，在許多狀況雖然無機HAP是以氣體排放，但在通過各種輸送管，於排出大氣前，可因凝結形成粒狀物，這些粒狀物典型控制方法之比較列於表8。控制無機氣體排放可行控制方法相當少，最常用之控制方法為吸收及吸附，尤以前者更是去除無機氣體最常用方法，去除效率可達99%，其適宜性取決於幾項因素，最重要者為溶劑中污染氣體溶解度，理想的溶劑應為非揮發性、非腐蝕性、非可燃性、非毒性、化學穩定，可獲取且不昂貴。當無機氣體以吸收法去除困難時，吸附法可能較為有效，吸附劑如活化碳、矽石膠(silica gel)、活化鋁，皆可用以作為不同無機氣體之吸附劑，吸附程度取決於廢氣及吸附劑特性。活性碳為無機氣體控制使用最多之吸附劑，在許多狀況下，其須先處理（例如以化學品加以飽合）以增加吸附效果，因活性碳對於排放廢氣條件相當敏感，因此排放廢氣預為處理亦有必要，預處理方法包括過濾、冷卻、除濕(dehumidification)，而由排放條件決定。飽合活性碳理想條件為相對濕度小於50%，廢氣溫度小於130°F，廢氣濃度不可大於1,000ppmv（最好小於500ppmv）。表9為特定有害空氣污染物之相關控制技術。

## 七、台灣地區有害空氣污染物管制架構

基於保護人體健康及目前法規對HAPS之管制不足之考慮，環保署亟須擬訂一個有害空氣污染防治計畫，內容主要包括HAPS管制對象，污染源排放量、行業別管制規範、可行控制技術、排放標準等，茲分述如下：

### 7.1 有害空氣污染物管制對象之排放源

依第三節所述，吾人已依HAPS的運作量、危害性等資料篩選出台灣地區優先管制30種有害空氣污染物，若從HAPS致癌風險的大小來看（參表5）及考慮行政負擔、初期似可先對苯、苯乙烯、等前15項揮發性有機物及砷、鉻等重金屬項目為對象進行調查各種可能排放之污染源及推估排放量，以了解各不同污染源，其風險之相對貢獻量用以決定管制之優先順序及管制方式，因HAPS尤其

揮發性有機物排放來源眾多，有來自固定污染源、移動污染源，亦有來自小型商業如乾洗店及闔、製程等溢散源，不同的排放貢獻決定管制之重點，不同的排放源，其管制方式及成本效益亦大不相同。管制方式之研擬一般可分下列幾個步驟：首先要確認污染物之類型是有機蒸汽、有機粒狀物、無機氣體或無機粒狀物，以溶劑使用操作為例，表10所列即為溶劑使用操作可能涉及之排放行業、排放源及主要排放物及排放類型，所有的溶劑使用操作皆會產生有機揮發氣體（部分排放源可能產生氣懸膠，但很快蒸發，故一般皆視其為氣體），如表10所示，每一個氣體排放原又可分3類包括點源、製程溢散源、面溢散源。其次確認主要排放流動特性（例如HAPS濃度、溫度、流量、熱量、粒徑等），及所使用之控制設備，接著推估各排放源之排放量，再依各HAPS之毒理特性及相關曝露資料分析各HAPS之風險，據以決定管制行業及排放源之優先順序，再以法規規範該等行業所須選用控制設備等級及處理效率、排放標準、HAPS採樣分析方法並建立審核程序。

## 7.2 管制方式

依源頭管制及管末管制方式的不同可分為事前審查及空氣污染管制規範／排放標準管制兩種方式，茲分述如下：

### 7.2.1 行業別空氣污染管制規範管制

由於各行業別排放源排放特性不同，污染物類別差異大且污染防治技術不同，故以行業別訂定空氣污染管制規範加以管制最為可行，且以行業別管制不僅可避免同一規範過於各行業所造成之不公平並可透過公會及同業間相互宣導達成列管目的，因此環保署未來可考慮研擬固定污染源HAPS管制規範以規定行業別空污控制技術處理效率以減少各項有害空氣污染物總量之排放並建立既存污染源HAPS許可制度責成廠商申請設置及操作許可時，提報HAPS排放源及排放量，控制設備等資料據以審查，其流程類如圖7所示。

未來俟排放有害空氣污染物資料建檔完成及風險評估量化技術發展成熟後，訂定類如新污染源排放有害空氣污染物審核程序，規定新污染源應循下列步驟（參圖8），向中央主管機關申請：

1. 新污染源或擴建污染源之操作，有排放有害空氣污染物之虞者，須申請空氣污染排放設置許可。

表8 粒狀污染物控制設備優缺點說明表

控制設備	優 點	缺 點
1. 旋風集塵器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 所須空間小</li> <li>• 收集塵粒乾，並可連續處置</li> <li>• 低至中度壓力損失</li> <li>• 可處理大型顆粒</li> <li>• 可處理高塵粒負荷</li> <li>• 不受溫度影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 須較高的垂直距離</li> <li>• 對小微粒之收集率低</li> <li>• 對塵粒之負荷與流率敏感</li> </ul>
2. 濕式洗滌塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同時可做氣體吸收及去除微粒</li> <li>• 可冷卻並清除高溫及高濕度之氣體</li> <li>• 可回收及中和腐蝕性氣體及霧氣</li> <li>• 減低灰塵爆炸之危險</li> <li>• 可改變去除效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 腐蝕性問題</li> <li>• 增加廢水處理費用</li> <li>• 對小於<math>1 \mu\text{m}</math>粒子去除率低</li> <li>• 對疏水性物質無效</li> <li>• 排氣易受氣體沖刷之影響而受污染</li> <li>• 冷天氣時易受凝結減低浮力及煙升效果</li> <li>• 在某些氣象下易產生白煙</li> </ul>
3. 靜電集塵器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可達99%以上之去除率</li> <li>• 可收集細小之微粒</li> <li>• 微粒可以濕式或乾式收集</li> <li>• 壓力損失及能量需求較低</li> <li>• 除腐蝕及附著物質處理問題外，操作正常</li> <li>• 設備較少移動部分</li> <li>• 可在高溫下(<math>1,550^{\circ}\text{F}</math>)操作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 較高之建造成本</li> <li>• 易受煙塵負荷及流率之影響</li> <li>• 須小心維護以免操作人員受高壓影響</li> <li>• 收集效率會逐漸退化</li> </ul>
4. 袋式集塵器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可以乾式收集</li> <li>• 可察覺操作性能之減低</li> <li>• 可收集小微粒</li> <li>• 可達高效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對過濾速度敏感</li> <li>• 高溫氣體須加以冷卻至<math>200 \sim 550^{\circ}\text{F}</math></li> <li>• 受相對濕度影響</li> <li>• 纖維易受化學物質損害</li> </ul>

表9.1 特定有害空氣污染物質之控制技術

有害空氣污染物	觸媒焚化 <sup>(a)</sup>	直接燃燒 <sup>(a)</sup>	鍋爐及製程加熱器 <sup>(a)</sup>	燃燒塔 <sup>(a)</sup>	吸收	冷凝	袋式集塵	濕式洗滌	靜電集塵	旋風集塵
乙醛 <sup>(C)</sup>					·	·				
丙烯醛		·			·					
丙烯酸	·				·					
丙烯	·	·			·	·				
烯丙基氯					·	·				
苯胺	·				·	·				
苯	·	·			·	·				
苯基氯 <sup>(C)</sup>	·				·	·				
丁間二烯	·				·	·				
鋁						·				
四氯化碳					·	·				
四氯化碳／氯乙烷					·	·				
氯苯					·	·				
氯仿					·					
氯化甲烷 <sup>(d)</sup>					·	·				
氯丁二烯					·	·				
鉻						·			·	
異丙基苯	·					·				
氯甲代氫丙環							·			
乙苯／苯乙烯							·			
二氯乙烷		·					·			

表9.2 特定有害空氣污染物質之控制技術

有害空氣污染物	觸媒焚化 <sup>(a)</sup>	直接燃燒 <sup>(b)</sup>	鍋爐及製程加熱器 <sup>(c)</sup>	燃燒塔 <sup>(d)</sup>	吸收	吸附	冷凝	袋式集塵	濕式洗滌	靜電集塵	旋風集塵
環氯乙烷	•		•	•	•	•	•				
甲醛		•	•								
三氯乙烷		•		•	•	•	•				
異丁酇酸甲醛				•	•	•	•				
二氯甲烷					•						
苯					•						
鎳						•					
氫氯乙烷／三氯乙烯		•			•						
酚		•			•	•					
光氣					•	•					
多氯聯苯		•				•					
甲基氯丙環			•		•						
苯乙烯					•						
甲苯					•						
甲苯基二異氰酸			•		•						
三氯乙烯					•						
氯乙烯						•					
偏三氯乙烯				•		•	•				
二甲苯						•	•	•			

〔註〕(a)燃燒技術

(b)比照丁二烯控制技術

(c)可能控制技術

(d)此處之甲基氯（氯化甲烷）包括：二氯甲烷、氯仿、四氯化碳等

表10 有害空氣染物之溶劑操作排放源及其危害物

來 源 分 類	可能危害性空氣污染物		可 能 排 放 源		
	有 機 物		製程點		
	蒸 氣	粒 子	無 機 物	製 程 溢 散	面 溢 散
溶劑脫脂業	X(苯、甲苯、二甲苯、三氯乙烯、四氯化碳、MEK)		C	A,B,D	K
乾洗業	X(苯、二甲苯、三氯乙烯、四氯化碳)		F	E,G,H,I	J,K
印刷藝術業 <sup>1</sup>	X(甲苯、二甲苯、四氯化碳、MEK)		F	L,M,N	
廢溶劑回收業	X(三氯乙烯)		N	I	
製木板業 <sup>3</sup> —表面塗裝(SC) <sup>2</sup>	X(甲苯、二甲苯、MEK)		O	L,P	
機械業 <sup>4</sup> —表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、重金屬粒子、MEK)		O	Q,R	
裝備業 <sup>5</sup> —表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、重金屬粒子、MEK)		O	Q,R	
金屬家俱業—表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、重金屬粒子、MEK)		O	Q,R	
汽車／卡車業 <sup>6</sup> —表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、重金屬粒子、MEK)		O	S,R	
紡織業—表面塗裝(SC)	X(苯、三氯乙烯)		O	D,K,Q,R,T	
製罐業 <sup>7</sup> —表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、MEK)		O	Q,U	
造紙業—表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、MEK)		O	B,I,Q,T	
磁帶表面塗裝	X(甲苯、二甲苯、MEK)		F	I,Q,T	
電路絕緣體—表面塗裝(SC)	X(MEK)		O	Q	
造船業 <sup>8</sup> —表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、MEK、重金屬粒子)				Q
乙烯及壓克力塗裝業 <sup>9</sup>	X(MEK)		O	L,P	
木製家俱業—表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、MEK)		O	S,R,T	
運輸車輛業 <sup>10</sup> —表面塗裝(SC)	X(甲苯、二甲苯、MEK)			S,R	
機械潤滑劑業	X(重金屬粒子)				Q
橡膠輪胎製造業	X(甲苯、二甲苯)		F	I,V,W	
(污染源索引)					
A 槽蒸發	I 溶劑儲存		Q	使 用	
B 溶劑轉換	J 管線、管線接頭凸緣、馬達		R	展 延 區	
C 通 風	K 傳送區		S	噴 漆	
D 廢溶劑處置	L 轉 輪		T	溶 劑／塗裝料攪拌	
E 清洗	M 染 料 槽		U	淬火驟冷區	
F 乾燥	N 濃縮器		V	生 胎 噴 灑	
G 過濾	O 火 爐		W	紋 膠 合	
H 鍋 爐	P 塗裝機				

(註) 1. 包含蝕刻、平板印刷及紡織物印染

2. SC : 表面塗裝(surface coating)
3. 包含平面木材、木板之表面塗裝
4. 包含各種小型金屬零件，機具或儀器之塗裝
5. 包含各種大小型用裝備之塗裝
6. 包含汽車及輕型卡車之塗裝
7. 包含螺管、鐵罐及容器之塗裝
8. 包含海洋船隻之表面塗裝及維修
9. 包含乙烯、壓克力及硝酸纖維業之塗裝
10. 包含卡車、巴士、大車、飛機之表面塗料處理

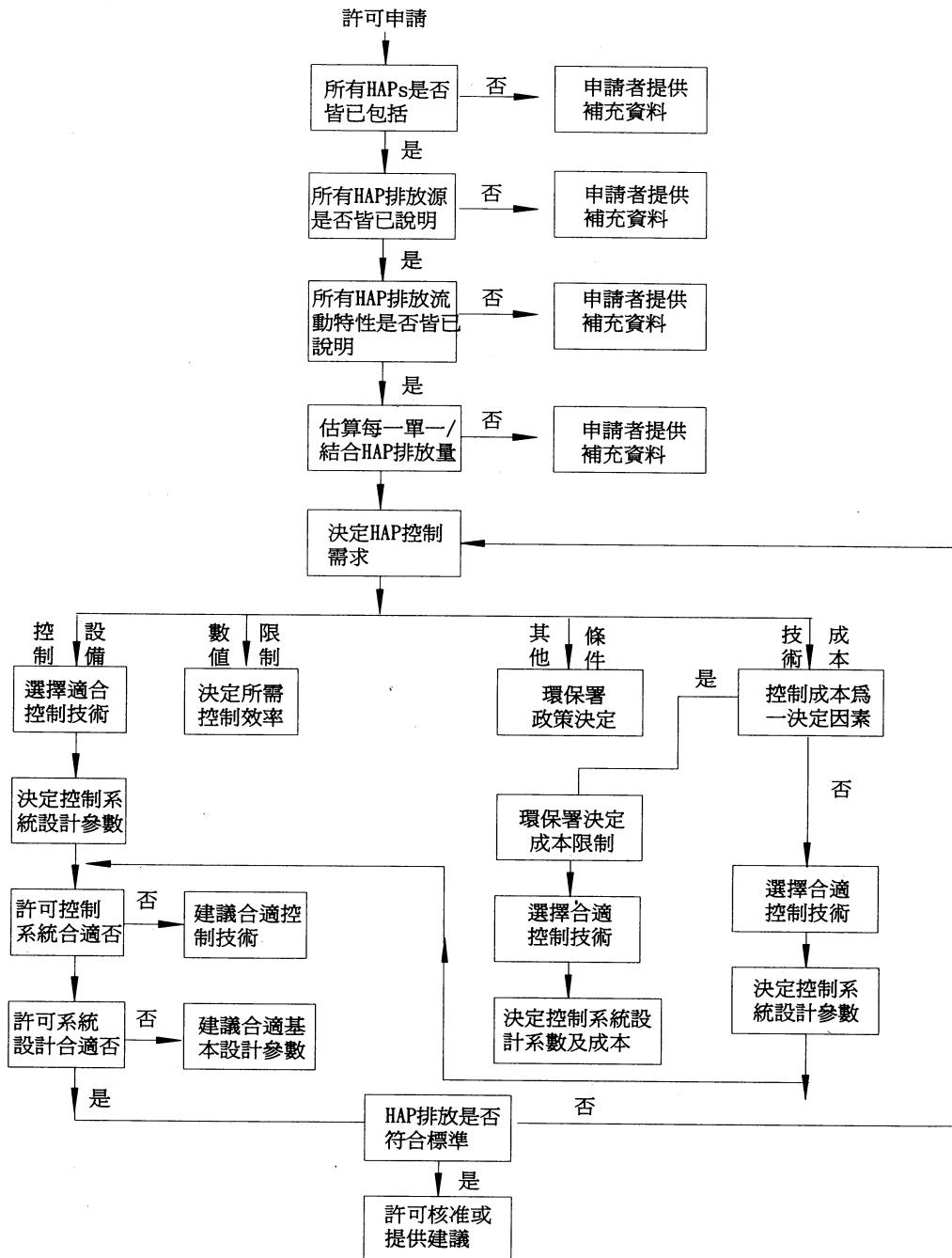


圖 7 既存污染源有害空氣污染物許可申請審核流程

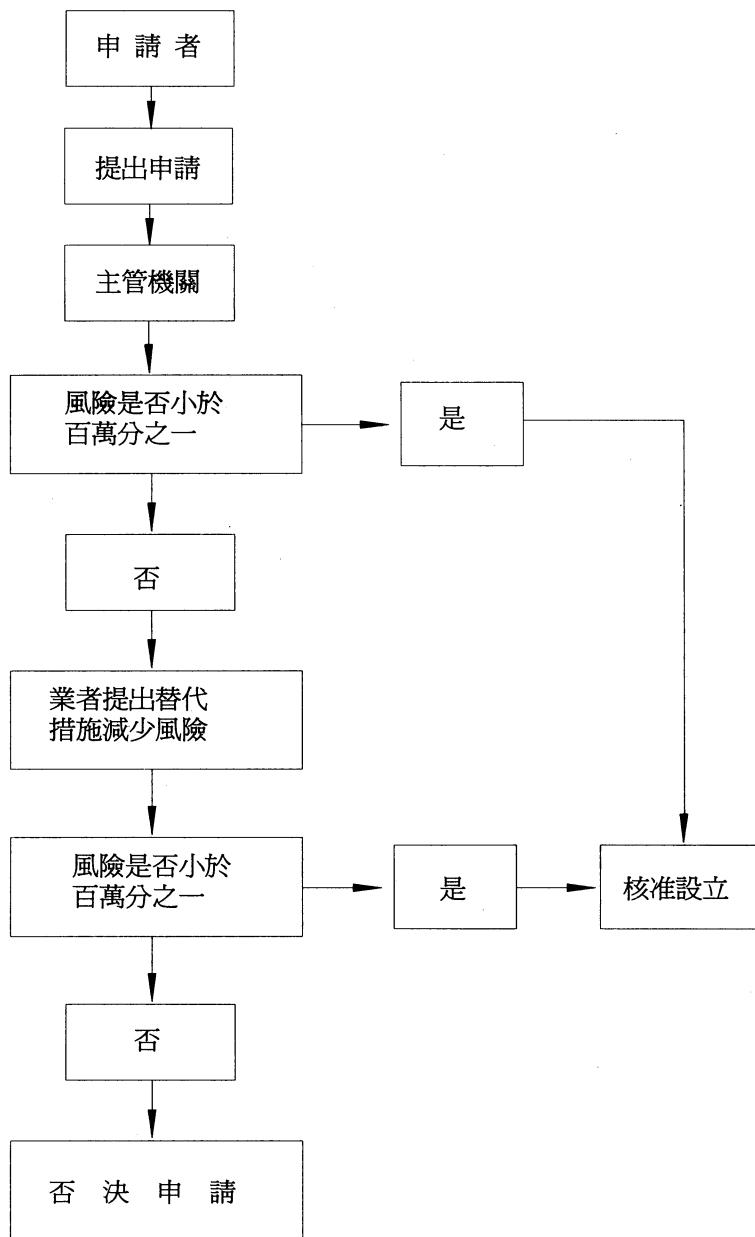


圖 8 新污染源排放有害空氣污染物申請審核程序

2. 業者應使用篩選模式估算污染源排放所造成之風險大小，由主管機關加以審查。
3. 若估算之致癌風險小於 $10^{-6}$ 或急、慢性危害指數小於1.0，即可不須進一步審查。
4. 若估算之致癌風險大於 $10^{-6}$ 或急、慢性危害指數大於1.0，業者須提出可減少風險至小於限值之替代措施。
5. 若風險已減至小於 $10^{-6}$ 或急、慢性危害指數小於1.0，則可不須進一步複審，只須循一般審核程序。
6. 若業者已採取最佳可行控制技術仍無法降低風險至限值以下，則該污染源不准設立。

但為節省行政負荷，亦可依污染源排放 HAPS特性及排放量決定某種HAP特性及排放量大於某數值時始進入圖 8 之程序。另外對於經由油品（燃料油、汽油、柴油）使用（燃燒）所造成之有害空氣污染物之排放，例如都會區中苯、1,3-丁二烯之排放，據環保署調查有絕大比例，係來自交通工具而其排放與油品中苯、及芳香劑含量有關，因此，此類油品，須採源頭管制，即針對油品訂定一套環保品質規範以有效直接降低空氣中有害污染物及排放。

### 7.2.2 排放標準管制

以排放標準管制有害空氣污染物之排放為各國初期最常使用方式之一，我國現行法令對部分有害空氣污染物雖訂有排放標準或周界標準，然其訂定基礎並未基於健康風險防制理念，故其適合性亦值檢討。未來如何針對30種HAPS，以健康風險觀念為基準，建立各個HAPS之空氣品質目標值(ambient air level goal ,AALG)，再依該值推算空氣污染物最高濃度限值，實有必要。其計算方式，理論上可依第四節所列公式加以推導：

$$I = \frac{CA \times IR \times ET \times EF \times ED \times ABS}{BW \times AT}$$

而風險致癌率(CR)可經由下式計算而得：

$$CR = I \times q^* \leq 10^{-6}$$

$q^*$ 為HAPS之致癌率，可由文獻資料查詢，因此，空氣污染物最大濃度限值CA即AALG可以下式求取：

$$CA = \frac{CR \times BW \times AT}{q^* \times IR \times ET \times EF \times ED \times ABS}$$

表5所列AALG即Calabrese 依此公式計算結果，似亦可作為吾人訂定排放標準及周界標準之參考基礎，其法為依固定污染源排放標準所列第七條方法反推符合AALG前提下所允許排放之HAPS濃度，再經適用法、合理性之探討並考慮經濟技術可行性，即可獲取最適排放標準。

## 八、結 語

有害空氣污染物之管制，在國內尚為起步階段，各項有關HAPS之排放量推估方法、HAPS採樣分析及監測方法、HAPS在環境中之流布、曝露途徑研究及HAPS控制技術發展等資料皆尚未建立，為國內未來亟須加強推動之工作。故上節所提管制方法，僅為一初步輪廓，著重於風險觀念及管制方法之討論，是否可行，尚待進一步評估，惟於建置過程中仍宜廣為宣導、溝通以建立全民共識，確保人民健康之環境品質。

## 參考資料

1. Seymour Galvert and M. Englude Handbook of Air pollution Technology, 1984.
2. U.S. EPA, PN 3687-33, 3687-40, 3687-52, office of Pesticides and Toxic Substances, Washington D.C., Dec. 1987.
3. US. EPA, Handbook:Control Technologies for Hazardous Air pollutants, EPA/625/6-91/014, June, 1991.
4. Designing and Implementing An Air Toxics Control Program:A program Development Manual for State and Local Agencies. Non-criteria Pollutant Program Branch office of Air Quality Planning and Standards, U.S. EPA, 1990.

36 工業污染防治 第52期(10.1994)

5. Calabrese E.J. and E.M., Kenyon: Air Toxics and Risk Assessment.
6. 有害空氣污染物排放管制規範研究計畫，EPA-82-F103-09-13, 行政院環境保護署，民國82年。