

臭味物質 控制技術介紹

楊奇儒

前言

凡引起人類嗅覺感到不快、厭惡的異味稱之為臭味，其主要的來源為工廠於生產製程中所產生，其它如廢水處理廠、污水下水道等亦是易產生臭味之來源，日本環境廳把惡臭問題來源歸納成17類如表1所示。易言之，生物分解、化學反應、物理作用等，皆可能形成臭味物質而排放進入空氣中，進而造成臭味問題。而依環保署公告實施之「空氣污染防制法施行細則」中規定，「惡臭物質」包括有：氨氣（ NH_3 ）、硫化氫（ H_2S ）、硫化甲基（ $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ）、硫醇類（ RSH ）、甲基胺類（ $(\text{CH}_3)_x\text{NH}_2$ ）以及其它經公告物質，如有機溶劑蒸汽、塑膠蒸汽等。

一般而言，當臭味的强度高於嗅覺閾值（嗅覺界限濃度），即能為人類所嗅到而感到不快，臭味對人體的影響輕則影響睡眠及食慾，刺激眼睛及呼吸道，引起頭痛、咳嗽、呼吸急促等症狀，重則減緩心跳速率，造成皮膚肌肉

的血管收縮及影響自主神經及內分泌功能等。常引起臭味產生成分的嗅覺界限濃度如表2所示。

根據環保署之統計，臭味問題及是近年民衆陳情檢舉案件之主因，除了因臭味物質之嗅覺界限濃度值較低，致低濃度即可造成人類嗅覺不快之外，國內之都市計畫規劃並未確實執行，導致工廠與住家毗鄰而居，更使臭味問題益形惡化，除此，部分工廠為因應未來國內之環保趨勢，極需設置處理設施改善污染，唯因缺乏污染防治常識與專業技術人員，且環境工程服務業良莠不齊，致無所適從或盲目投資造成浪費或操作不當影響效能。

臭味控制技術

臭味控制技術主要可分為5類：製程改善、稀釋及遮蓋、焚化法、吸附法、吸收法、乾式氣體氧化法及生物處理法。表3為各種控制技術之適用範圍。

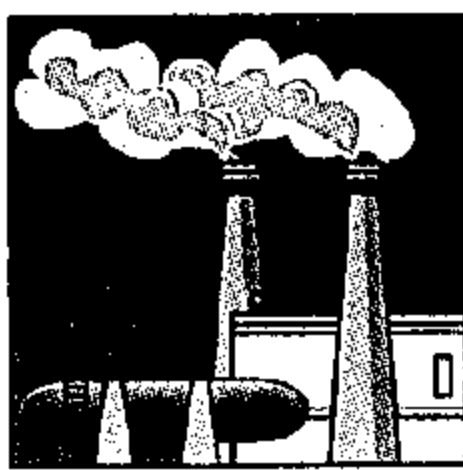


表1 易產生惡臭之行業

1. 畜產業	10. 焦碳、礦渣處理業
2. 石油產業、石油化學工業	11. 塗裝業
3. 魚畜殘渣煉製業	12. 印刷業
4. 糞尿處理	13. 食品業
5. 廢水處理	14. 塑膠業
6. 垃圾處理	15. 橡膠業
7. 人造絲製作業	16. 醫藥品工業
8. 紙漿製造業	17. 洗衣業
9. 鑄造業	

資料來源：日本環境廳

人類可容忍的程度，其方式為對於易致臭味逸散之製程，藉由在良好通風條件下操作，以期所產生臭味物質得以迅速藉由大氣氣流對流及擴散作用，或設置排氣系統予以抽離，並避免與人接觸，即可有效減少臭味問題產生；遮蓋乃指利用強度較強的芳香性氣體將部分臭味抵消，以達降低臭味強度的方法，例如對乙醇臭味可用有加利油、麝香等，但遮蓋法之脫臭效果不大，不適於高濃度臭氣。

表2 臭味成分之嗅覺界限濃度

單位：ppm

臭氣成分	嗅覺界限濃度	臭氣成分	嗅覺界限濃度
硫化氫	0.014	庚烷硫醇	0.011
甲硫醇	0.0085	硫化甲基	0.0053
乙硫醇	0.0026	烯丙基化硫	0.005
丙硫醇	0.0022	二乙硫	0.005
丁硫醇	0.0019	硫化丁烷	0.014
戊硫醇	0.00067	氨	6.0
己硫醇	0.0056	汽油	64

資料來源：惡臭防止技術，日本環境廳

(三) 焚化法

焚化法乃將含有惡臭成分的氣體在高溫下氧化分解，而達無臭味之廢氣以排放，此法主要優點為適用於所有可燃性臭氣成分，而其缺點為燃料消耗量大，操作成本高。焚化爐設計能供給氧氣並滿足燃燒溫度、停留時間及廢氣擾流等三個燃燒條件，其中每個條件皆可視需要情況加以修正，並準確控制，以使廢氣完全燃燒，達到預期之處理效果。若臭味氣體所含污染物質濃度不高，則來自污染物成分之燃燒產生熱對廢氣溫度提升相當有限，欲如此處理尚需添加適量輔助燃料，才能達到所需之燃燒溫度。

焚化法依觸媒之有無，一般分為直接焚化（簡稱熱焚化）及觸媒焚化二種。依熱回收方式，焚化設備又可分為熱回收型及熱再生型。熱回收型者以表面式熱交換器回收焚化設備高溫排氣熱量，一般熱回收率小於70%；熱再生型者以陶磁蓄熱材回收排氣熱量，一般熱回收率可達90%以上。圖1顯示各型焚化控制設備。

觸媒焚化法與直接焚化法之燃燒條件有如表4所示之主要差異，最大差異在於燃燒溫度及火焰之狀態。若以輔助燃料之添加用量進行比較，一般傳統式直接焚化爐於烟囱排氣溫度為700℃之操作情況下，每處理廢氣量26 Nm³

各項方法之說明如下。

(一) 製程改善

製程改善之方法包括改變操作溫度、壓力、氣體產生量、加料方式、反應槽型式等，由於易致臭味之物質多屬於揮發性物質，其揮發速率直接受溫度影響，故若降低製程廢氣溫度亦可減少臭味物質濃度。而對於因設備洩漏而致臭味物質逸出之現象，則可藉加強維修管理改善，或使氣體處理之設備維持「負壓」操作。對於設備之接縫、進料口、閥門等氣密性加強檢查，或採用防漏型式設備，皆可減少臭味物質之洩漏。

(二) 稀釋及遮蓋

所謂稀釋乃藉大量空氣將臭味強減弱以達

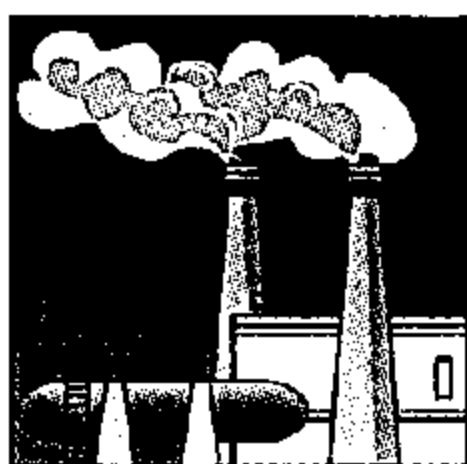


表 3 臭味控制技術之適用範圍

方法 範圍	遮 蓋	焚化法		吸附法		混合法	吸收法		生物處理法
		直接焚化	觸媒焚化	物理吸附	化學吸附	吸附濃縮+觸媒焚化	水洗	藥劑	
氣體濃度(ppm)									
低 < 100	●			●	●	●		●	●
中 500~1,000		△	△	●	△	●	△	●	
高 > 1,000		●	●				●		
氣體風量 (Nm ³ /min)									
低 < 100	●	●	●	●	●	●	●	●	●
中 500~1,000	●	●	●	●		●	●	●	●
高 > 1,000				●		●	●	●	●
氣體溫度(°C)									
常溫	●	△	△	●	●	●	●	●	●
中溫 100~200		●	●						
高溫 > 200		●	●						

註 ●表較適用 △表適用

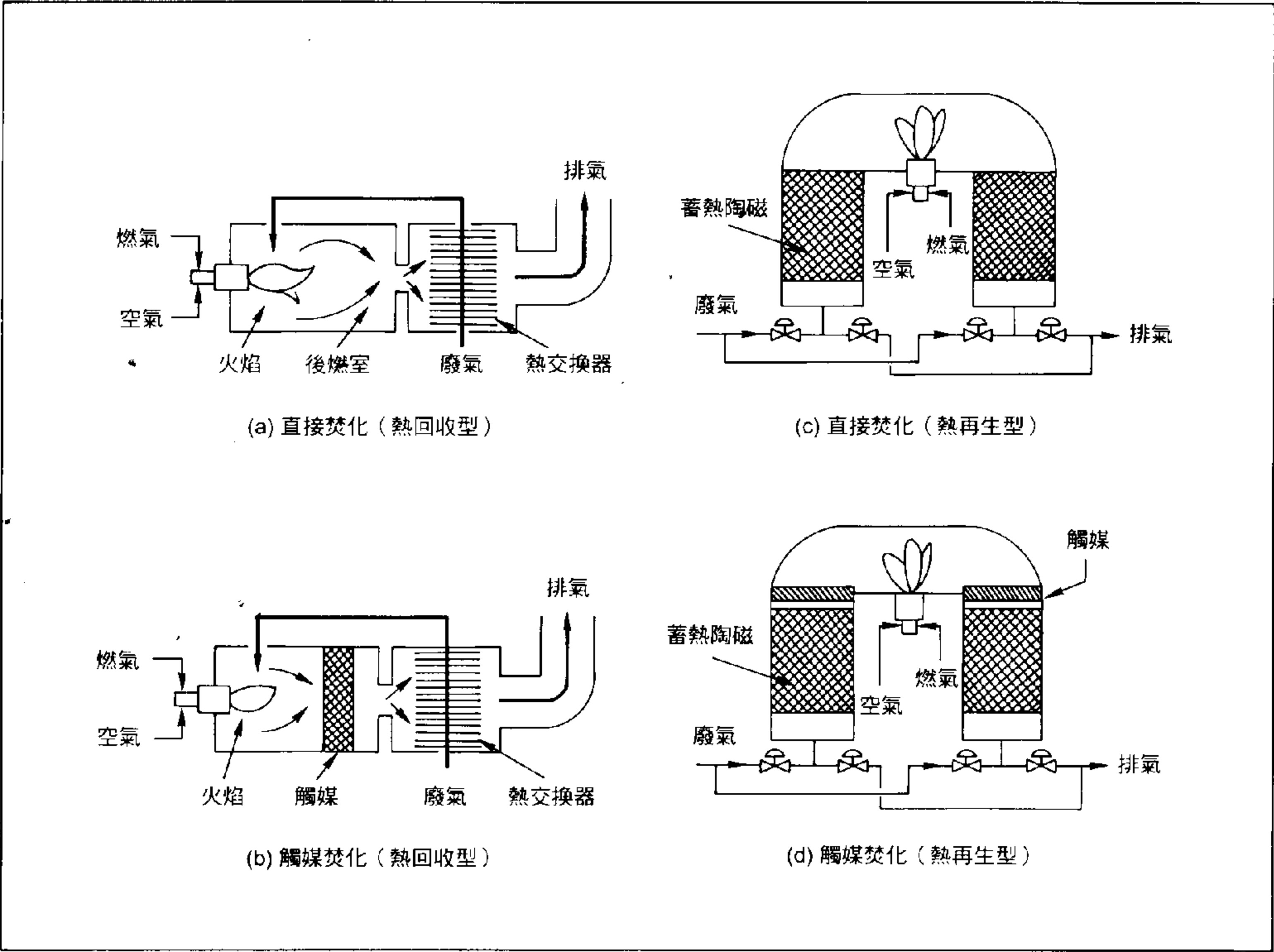
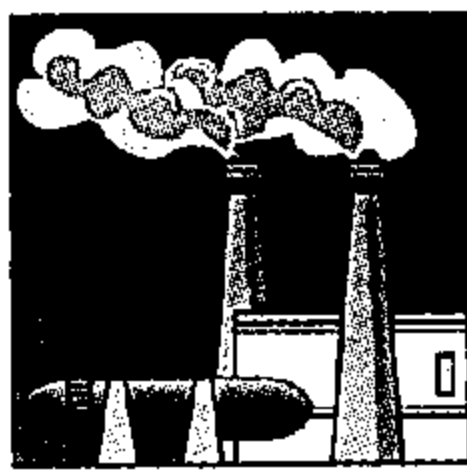


圖 1 臭味物質焚化控制設備



/min之熱量用率約需 7×10^6 BTU/hr，而具熱回收裝置之觸媒焚化爐用以破壞有機臭氣時，即使污染物質之濃度不高而對燃燒產生熱貢獻相當有限，其每處理廢氣量 $26 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 之熱量用率約需 3×10^6 BTU/hr。

1. 直接焚化法

在直接焚化法中，臭味氣體於 $650 \sim 820^\circ\text{C}$ 下停留 $0.3 \sim 0.6$ 秒，並與氧氣充分混合，臭味物質即可被氧化，其氧化效率可達 $95 \sim 99\%$ ，燃燒產物通常為水、二氧化碳、氮氧化物、硫氧化物等。但由於相當耗費燃料，燃燒不完全時，可能產生甲醛、有機酸、芳醛及不飽和醛類及次氧化物等具酸臭味、刺激味及燃焦味之物質。表5為直接焚化對方不同污染源之建議操作溫度。

直接焚化法脫臭設備之特性係對含任何濃度臭味物質之廢氣，可藉由特定燃燒溫度而獲得高脫臭效率。來自污染源廢氣進入裝設於焚化爐附近之熱交換器，藉由處理後排氣之餘熱進行熱回收，以經預熱之廢氣再進入焚化爐內

進行氧化脫臭。為經常保持一定之燃燒溫度，焚化爐應安裝保溫裝置，以防止爐內之溫度降低，焚化設備最主要有三大部分：

(1) 餘熱利用（熱交換器）

直接焚化爐之燃燒溫度一般約為 $650 \sim 820^\circ\text{C}$ ，可利用燃燒後高溫廢氣之餘熱預熱待處理廢氣，以節約燃燒時之燃料用量。餘熱利用效率與停留時間之大小有關，若停留時間大時則預熱效果充分。

(2) 燃燒噴嘴

經預熱後之待處理廢氣，即可進入焚化爐藉由瓦斯燃燒噴嘴所噴出火焰進行燃燒脫臭，設計時應考慮燃燒器之燃燒容量足以負荷廢氣風量，以免造成燃燒不完全。

(3) 焚化爐體

焚化爐之內部需要能經常維持適宜之燃燒溫度，故其耐火磚外側構造須具有保溫裝置。焚化爐在構造設計上雖有足夠之處理容量，但若不具有足以維持適宜燃燒溫度之保溫裝置時，將會造成爐內溫度降低，致有臭味物質燃燒不完全情形發生之虞。此外，隨著溫度提升而致風量之增加，若其燃燒停留時間不足 $0.3 \sim 0.6$ 秒，則廢氣亦有燃燒不完全之虞。

2. 觸媒焚化法

觸媒是一種能引發或加速化學反應而本身不受影響之材料，因具特殊之化學性質而能降低燃燒溫度，使製程排放氣中所含有機物質或碳氫化合物等具臭味物質，能於較低之燃燒溫度下即可氧化而轉換成二氧化碳及水等無害物質。當氣體濃度即使低於「低燃燒下限（LEL）」以下之範圍內，亦能藉由觸媒促使完全燃燒反應之進行，由於觸媒焚化法所需之燃燒溫度較低，故輔助燃料之添加可大大地減少。

對於觸媒焚化法在燃燒溫度、停留時間及廢氣擾流等三個燃燒條件之控制上，其中停留

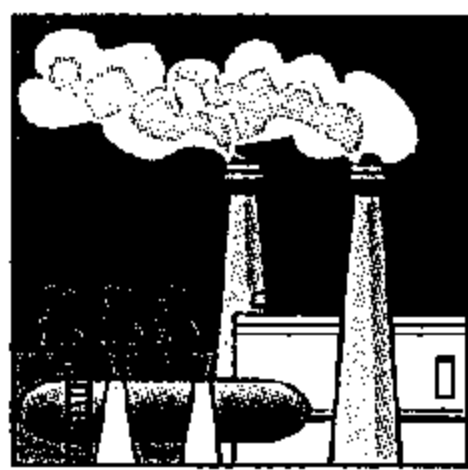
表4 直接焚化法與觸媒焚化法之主要差異

項 目	直接燃燒法	觸媒氧化法
燃燒溫度	$650 \sim 820^\circ\text{C}$	$150 \sim 480^\circ\text{C}$
燃燒狀態	高溫火燄中停留一定時間	接觸觸媒不生成火燄
空間速度	$7,500 \sim 12,000/\text{hr}$	$15,000 \sim 25,000/\text{hr}$
停留時間	$0.3 \sim 0.5$ 秒	$0.14 \sim 0.24$ 秒

表5 直接焚化之建議操作溫度

污染源	操作溫度($^\circ\text{C}$)
臭味控制	$700 \sim 850$
油脂排煙	$650 \sim 850$
烤漆爐	$650 \sim 820$
揮發溶劑	$700 \sim 820$
漆包線	760
精製操作	650
炊具上漆	650
乙烯塑料溶膠處理	$650 \sim 760$
燻煙	650

註：廢氣滯留時間控制於 $0.3 \sim 0.5$ 秒



時間參數可以觸媒表面積替代設計，廢氣擾流可藉臭氣流經觸媒床而獲得充分混合，燃燒溫度之維持則有賴氧化反應之放熱及輔助燃料之添加。若廢氣進入觸媒焚化爐前之溫度達540℃左右，雖氣體濃度即使低於「低燃燒下限（LEL）」之1/10，焚化系統仍可不再添加輔助燃料之情況下進行燃燒反應。

以使用鉑族金屬作為催化劑之觸媒焚化爐，其需在315~480℃之溫度下進行臭味氣體之燃燒。整體而言，觸媒焚化爐之燃燒溫度不能太高，否則觸媒會產生燒結作用而降低處理效果，且燃燒溫度亦不能太低，否則氧化反應將無法自行持續地進行，表6所示為許多化合物對直接焚化法於無觸媒情況下之正常發火溫度與觸媒焚化法之觸媒著溫火溫度，可知觸媒之存在可大大降低燃燒溫度。

處理有機能氣催化燃燒觸媒主要有二種，其中為金屬氧化物（ Cr_2O_3 、 CuO ），另一為貴重金屬（Pt、Pd、Ag、Au），觸媒可能為單物質、合金或被覆在擔體上。影響觸媒處理效率之因素有觸媒種類、金含量、觸媒形狀、觸媒使用時間及燒結程度，一般而言，觸媒之活性愈大、比表面積愈大、活化位置愈多或觸媒被覆越均勻，則其處理效率愈佳。觸媒焚化

法目前於工業之應用上，多用以處理有機廢氣，其相關應用實例如表7所示。

(四) 吸附法

吸附為一溶質之濃縮現象，利用此現象，以使用內部比表面積較大的多孔性固體粒子（吸附劑）來分離氣體或液體混合物之操作，稱之為吸附操作。吸附為一放熱反應，且其效能隨溫度之升高而降低，故操作前應預先冷卻廢氣溫度以提高吸附效率。常用的吸附劑計有活

表6 不同碳氫化合物於不同燃燒控制條件所需點火溫度

碳氫化合物	直火燃燒溫度(°C)	觸媒反應溫度(°C)
甲烷	630	405
乙烷	470	360
丙烷	480	345
正丁烷	440	300
正己烷	250	330
正庚烷	235	305
正辛烷	230	255
正癸烷	210	260
正十二烷	—	280
苯	580	230
甲苯	550	240
鄰二甲苯	495	245
揮發油	230~280	230
乙炔	305	165

表7 觸媒焚化法應用於工業之實例

程 序	廢氣中之污染物質	觸媒焚化操作溫度(°C)
瀝青氧化	醛、蒸汽、碳氫化合物	315~370
炭黑製造	H_2 、CO、Cu、C	650~980
催化裂解	CO、碳氫化合物	345~425
焦炭烘烤	石蠟、油霧蒸汽	315~370
甲醛製造	H_2 、 CH_4 、CO、HCHO	345
金屬石版烘烤	有機溶劑、樹脂	260~400
辛基苯酚製造	酚	315~425
酞酐製造	順丁烯二酸、酞酸、CO、HCHO	315~345
聚乙烯製造	碳氫化合物	260~650
印刷製程	有機溶劑	315
凡立水	碳氫化合物	315~370
漆包線製造	有機溶劑、凡立水、樹脂	315~370

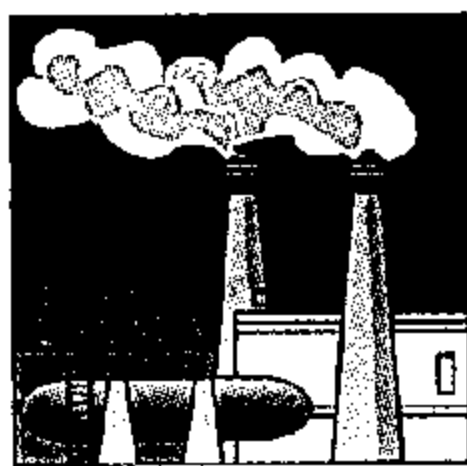


表8 活性碳的分類及性質

性質	分類	粒狀活性碳			活性碳纖維
		破碎碳	造粒碳	珠形碳	
原料種類		果實類	木質類 石碳類	石油類 (煤分)	木質素、煤渣
形狀		不規則	成型碳	珠 狀	纖維
大小		4~14 mesh	4~6 mesh	0.4~0.8 mmφ	10~20 μmφ之纖維
平均孔徑(A)		20~40	10~40	—	15
填充密度(g/cm ³)		0.4~0.6	0.35~0.6	0.5~0.6	0.04~0.05
外表面積(m ² /g)		~0.001			0.2~0.7
比表面積(m ² /g)		900~1,200			1,000~1,600
pH值		偏鹼性			偏中性
脫附時間		30~60 min			5~10 min

性碳、矽膠、活性氫化鋁、碳分子篩及沸石等，而由於臭味氣體物質大多屬非極性，且吸附劑微孔體積容量須夠大，故其中活性碳一直是最廣泛使用者，此外，因欲處理之廢氣成分可能極為複雜，故於吸附過程中，可藉活性碳之預行特殊含浸或表面處理，使吸附現象併含複雜的物理及化學反應，以達到去除VOCs或除臭效果。

1. 活性碳吸附法

常用之活性碳可依製造原料及其形狀不同，而予以區分為粉末狀活性碳、粒狀活性碳及纖維狀活性碳等三類，而在氣體吸附之應用上則以後兩者較為常用，其特性比較如表8及表9所示。決定選用吸附劑需審慎評估，因不同之吸附劑適用於不同之吸附質，且尚須考慮諸多因子，如價格、吸附容量、物化特性、容易取得及再生或棄置處理等。

影響臭味控制吸附平衡之因素包括吸附質之分子大小、吸附劑之特性及廢氣特性，其中吸附作用最強時機發生於吸附劑之孔隙大小剛好微大於吸附質時，而一定量吸附劑之吸附速率隨著吸附表面積與適當孔徑數目之增加而增加。污染物之吸附量除受上述因素影響外，同時受廢氣中其它物質共同競爭吸附劑上之活性

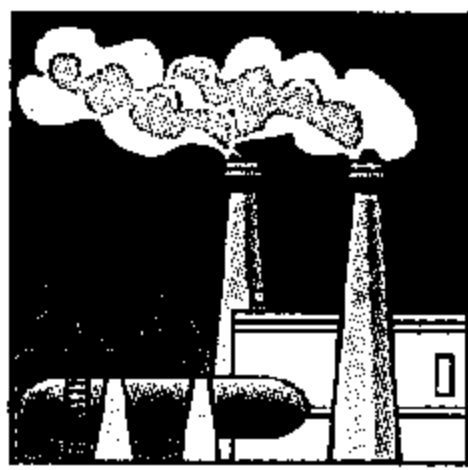
表9 粒狀活性碳與活性碳纖維優缺點比較

	粒狀活性碳	活性碳纖維
優點	1. 價格便宜(70~180元/公斤)。 2. 可充填於各式各樣的吸附槽。 3. 有較好的吸附床利用率。 4. 對於極性較強的吸附質有較佳的吸附效果。	1. 纖維極細，比表面積大、吸附容量高。 2. 表面平滑不易脆裂、損耗小。 3. 不純物及重金屬含量極少。 4. 脫附速度快，回收溶劑品質高，特別是應用於氯系溶劑。 5. 操作簡單、設備體積小且易於安裝。 6. 受溫度影響較小。
缺點	1. 運送時易粉末化，吸附、脫附氣體時會耗損。 2. 偏鹼性，脫附時易造成水解現象。 3. 比表面積小，飽和吸附量較低	1. 價格昂貴(1000元/公斤)。 2. 結構較膨鬆，易生渠流效應，吸附床利用率較低。

位置、電性、吸附質之吸附劑、重量與型式、吸附劑表面之電性、壓力及相對濕度等所左右。一般吸附劑之吸附容量常以吸附劑之「等溫吸附」加以表示，其為定溫下污染物吸附量與廢氣中濃度之關係。

(1) 吸附劑性質

① 比表面積：比表面積愈大，飽和吸附容量愈高。



②孔隙大小：孔隙愈小，單位比表面積愈大，吸附容量愈高。

③表面所帶官能基及極性：在原（Virgin）活性碳表面是呈非極性，故對非極性的有機分子具有極高的親和力。

(2) 吸附質性質

①分子大小：適合吸附物質之分子量約介於45~200之間（甲醇除外），且分子量愈大者，被吸附能力愈佳。

②沸點：適合吸附物質之沸點約介於20~175°C之間，且沸點愈高，吸附能力愈佳。

③溶解度：溶解度愈大其受濕度之影響愈大。

④官能基及極性：同系分子中，具某特定官能基愈多者，吸附能力愈佳。

⑤濃度：進流VOCs濃度愈大，其吸附貫穿時間愈短，而飽和吸附容量增加。

(3) 廢氣特性

臭味氣體於進入吸附塔前須先經一前置過濾器，以去除氣體中粉塵雜質，而後經冷卻系統將氣體冷卻至40°C以下，再進入吸附塔進行吸附，經活性碳吸附後之乾淨氣體則由煙囪排至大氣中。吸附操作一段時日後，活性碳會達飽和狀態，此時須將活性碳更換或再生，再生之方法可以過熱蒸汽、高溫惰性氣體或減壓等方法，將活性碳表面所吸附之有機物質脫附排出，再經冷凝器冷卻後靜置分離。

活性碳吸附設備型式甚多，包括顆粒狀之固定床式、珠碳流動床式及活性碳纖維之蜂巢式等，而一般以固定床式最常為人所使用，其處理流程如圖2所示。

一般固定床式之吸附操作可概分成4個階段，如圖3所示。起初吸附的效果良好，出口濃度 C_1 、 C_2 遠低於入口濃度 C_0 ，但隨著已處理氣體體積之增加，直至一貫穿點時（出口濃度為 C_3 ，一般設定為5% C_0 ），活性碳即已達到飽和，此時應進行更換或再生吸附劑之程

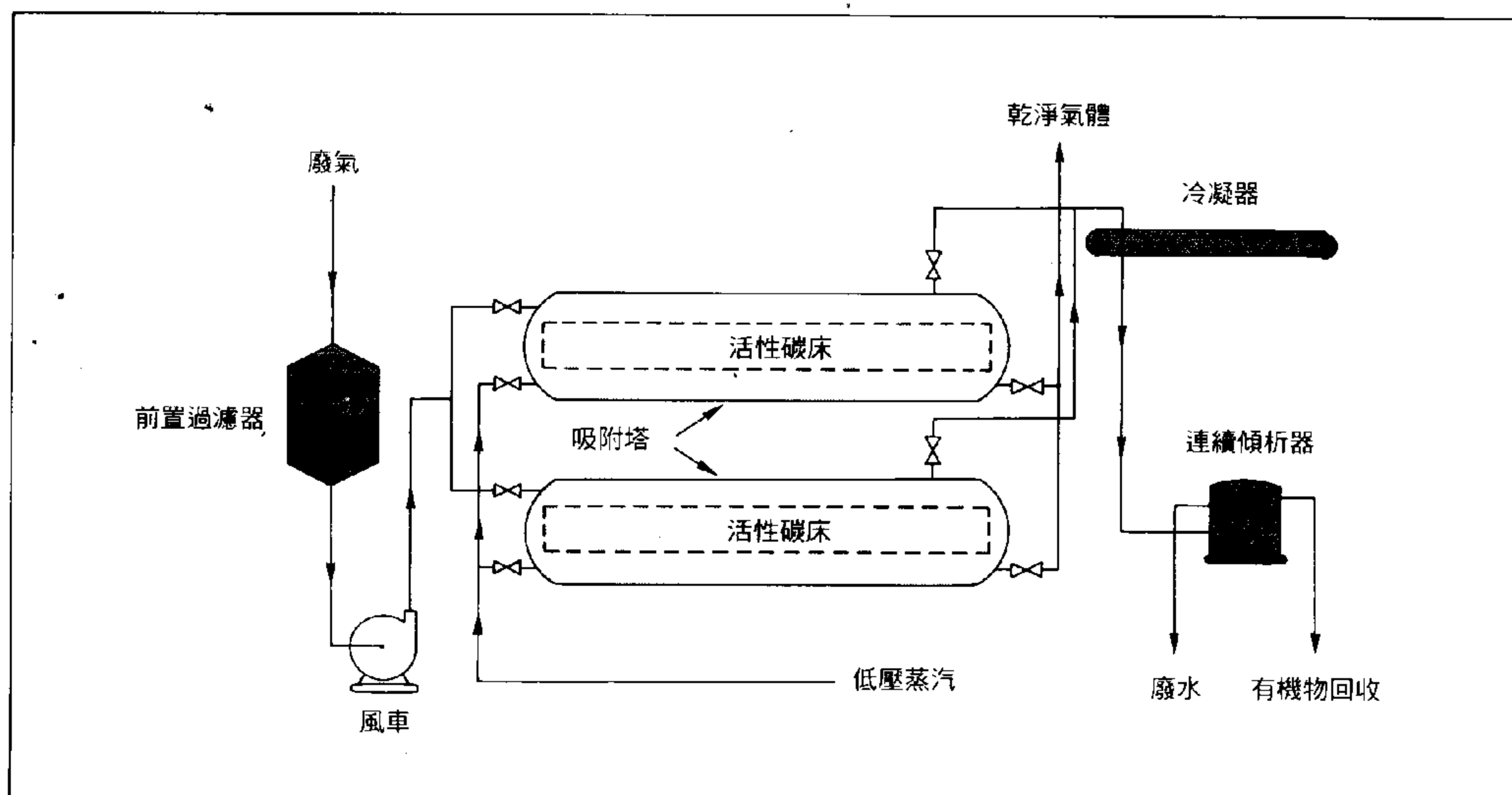


圖2 典型活性碳處理流程圖

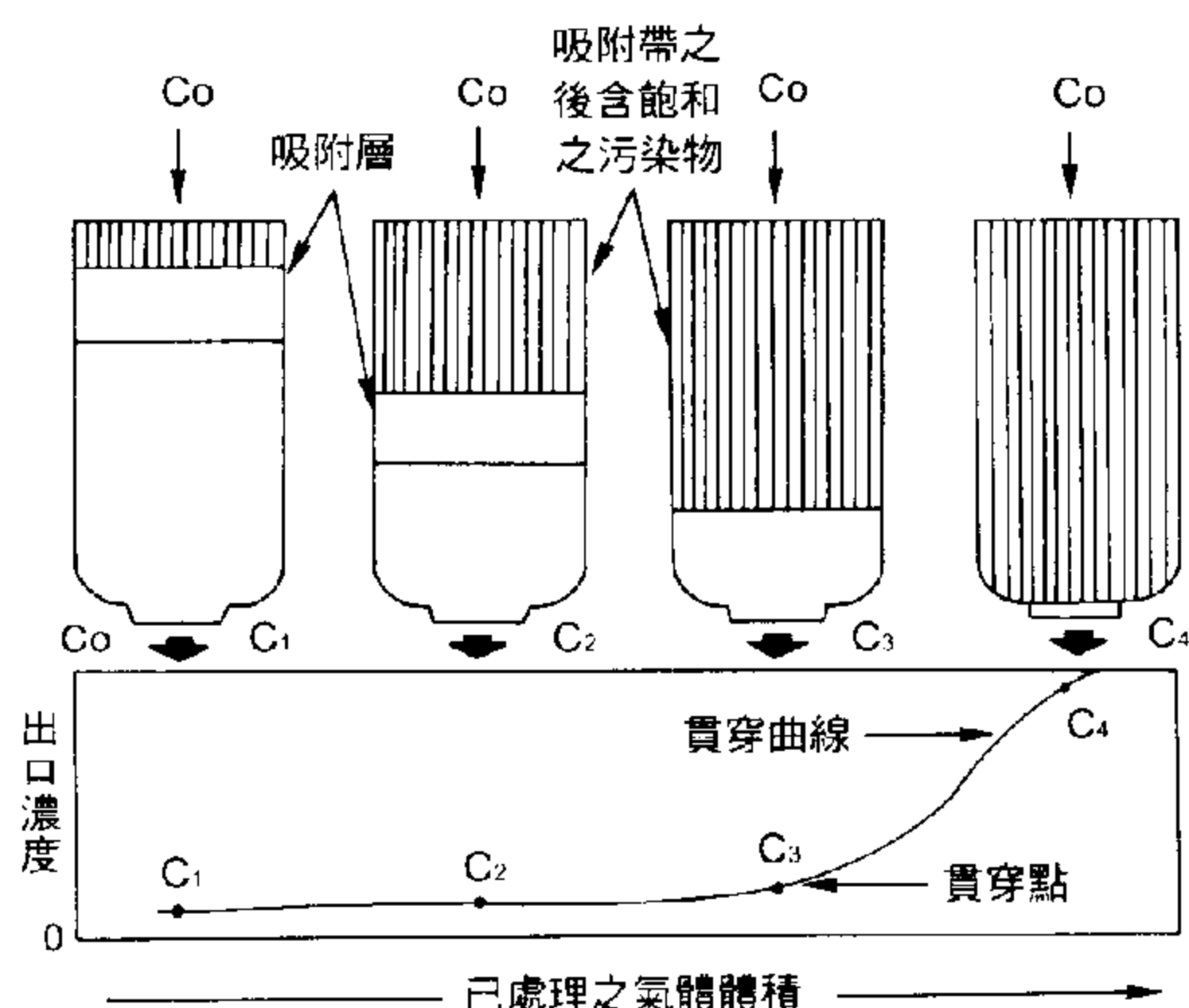
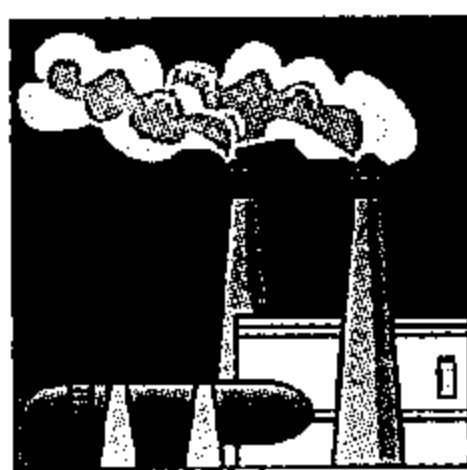


圖3 吸附之四階段及出口濃度

序。表10所示數值係以椰子殼活性碳充當吸附劑進行脫附後，其對臭氣或有機溶劑之吸附容量，此種吸附容量是以單位活性碳之重量百分比表示，因其係於實驗室中進行，故所得數值應介於等溫飽和吸附容量與工作容量之間，可供吸附床設計之參考。

固定床式活性碳吸附塔之設計，一般依再生系統之有無而予以區分，若廢氣中VOCs濃度較高可回收，或吸附劑成本相對於再生成本很貴時，可選用再生式吸附床；倘若廢氣中VOCs濃度只有數ppm，或其中摻雜有害、毒性或臭味物質，其回收不具經濟效益時，可不設再生設備，而委託合法廠商再生或處理。但廢棄吸附劑之處置應符合法令規定，以避免造成環境之污染。

(1) 吸附操作

- ① 吸附床斷面流速：0.2~0.5 m/sec
- ② 吸附床深：0.45~1.0 m
- ③ 滯留時間：1~2 sec
- ④ 操作壓損：70~150 mmH₂O
- ⑤ 吸附效率：大於90%
- ⑥ 廢氣入口溫度：小於40℃

⑦ 廢氣濕度：小於50%

⑧ 廢氣中塵粒含量：小於0.5 mg/m³

(2) 脫附操作

- ① 脫附溫度：110℃以上
- ② 脫附時間：30~60 min
- ③ 蒸汽用量：0.25~0.35 kg @ 15 psig/kg-carbon
- ④ 脫附床數 (Nd)

$$Nd = \frac{(\text{吸附床數}) \times (\text{脫附時間} + \text{冷卻時間})}{\text{吸附時間}}$$

(五) 吸收法

就大多數控制設備言之，臭味吸收作用實際上包括藉由「氣-液擴散」以去除氣態臭味物質，或藉由「慣性衝擊」和「截取作用」去除粒狀臭味物質，尤其於臭氣廢氣量甚大且含水率較高時，以吸收法處理較為適合。

濕式洗滌法塔即為吸收法之應用，其係藉由氣-液接觸，使氣相中之臭味成分轉移至液相，並藉化學藥劑與臭味成分之中和、氧化或其它化學反應去除臭味物質。濕式洗滌塔其可處理之臭味物質甚多，包括有機硫化物、含氮化合物、有機酸、含氧碳氫化合物、含鹵化物等廢氣，皆可應用此法予以有效控制，濕式洗滌塔具有數種不同之型式，通常以填充式洗滌塔最為常見。

1. 填充式洗滌塔

填充式洗滌塔一般常用於去除有害氣體及蒸汽之處理，但由於粒狀物會造成填充材之阻塞，故若廢氣中粒狀物濃度甚高而欲採用填充式洗滌塔進行處理，則須在填充式洗滌塔前裝設預處理裝置，以去除過多之粒狀汙染物。有關填充式洗滌塔常見設計型式為垂直型反向流式與水平型交錯流式等二種。

反向流式填充洗滌塔操作時，欲進行吸收



表 10 活性碳對各種有機物質之吸附容量

臭味來源	成 分	吸附容量%	臭味來源	成 分	吸附容量%
木精	(醇類)		溶劑	(芳香烴類)	
溶劑	乙醇	21		苯	23
離醇油	甲醇	10		硝基(代)苯	20
	丁醇	34	溶劑	甲苯	25
	戊醇	35	溶劑	二甲苯	26
藥品	(有機酸類)		燃料	(脂肪類碳化氫)	
體臭	醋酸	37	煤氣	丙烷	5
藥品	酪酸	35	燈油成分	丙烯	5
棕櫚油	甲酸	7	汽油成分	癸烷	35
	棕櫚酸	35	汽油成分	庚烷	20
	丙酸	30	燈油成分	己烯	10
	丙烯酸	20	燃料	壬烷	30
動物臭	辛酸	35		丁烷	8
刺激臭	胺	一些	醫藥品	(醚類)	
	溴	40	溶劑	乙醚	15
黏膠	二硫化碳	15		二異丙醚	18
溶劑、滅火用	四氯化碳	45	溶劑	甲醚	10
顏料製造	氯	15		丁醚	20
藥品	溴化氫	12	漆溶劑	(酯類)	
燃燒氣體	氯化氫	12	漆溶劑	醋酸戊酯	41
氟	氟化氫	10	漆溶劑	醋酸丁酯	28
	碘化氫	15	漆溶劑	醋酸乙酯	19
腐蛋臭	硫化氫	3	漆溶劑	醋酸丙酯	23
	碘	40	溶劑	醋酸甲酯	16
藥品	硝酸	20	藥品、燃燒排	(醛類)	
燃燒氣體	二氧化氮	10	氣臭	乙醛	7
放電管	臭氧	分解氧	柴油廢氣	丙醛	15
燃燒排氣	二氧化硫	10	合成用劑	丁醛	20
燃燒排氣	三氧化硫	15	燃燒排氣臭	甲醛	很少
藥品	硫酸	30			
乾洗用	(鹵化烴類)		苯酚樹脂	(其它化合物)	
麻醉藥	三氯乙烯	13	醫院消毒液臭	石碳避	30
防腐用	三氯甲烷	40	排泄物	甲酚	30
	三碘甲烷	30	溶劑	糞臭素	25
冷媒	異丙基氯	20	體臭、腳臭	松節油	32
	氯化甲烷	5		吉草酸	35
	二氯甲烷	25	煙草臭	蓋醇	20
	四氯代甲烷	60		煙鹼	25
				茨酮	20
牛皮紙漿、黃	(硫醇類)				
蘿蔔鹼菜臭	甲硫醇	20			
蒜、蔥、污水	乙硫醇	23			
	丙硫醇	25			
溶劑	(酮類)				
溶劑	丙酮	10			
溶劑	二乙基甲酮	30			
溶劑	丁酮	10			
溶劑	甲基異丁基酮	20			

吸附容量：指吸附量與活性碳重量之百分比。

〈資料來源〉：環保署惡臭防制技術參考手冊（Ⅲ），1988。



之氣體混合物（廢氣）由塔底進入，液體吸收劑則自塔頂由分布器噴灑而下，在流經填充床之途中，與逆流上升之廢氣相接觸，並吸收廢氣中之臭味物質成分，形成溶液而自塔底流出，經吸收處理過之廢氣則由塔頂之出口排出，而除霧器係去除排氣中之液滴，以避免再度造成汙染；而交錯流式填充洗滌塔之廢氣以水平方向流過塔槽，洗滌液則由塔頂流入，藉由重力向下流過塔槽而與廢氣接觸。於實際應用上，交錯流式對於洗滌液之操作有較高吸收效率，且交錯流式之壓力損失亦較反向流式為小。整體而言，為獲得較高之去除效率，洗滌塔之pH及氧化還原電位（ORP）值宜分別控制在10及600mV狀況，此可利用pH計量測是否需添加鹼液，以及使用ORP計控制氧化劑（次氯酸鈉）之強度而達到。

良好之填充材料應具有表面積大、表面積疏鬆多孔、填料間空隙大、重量輕、自由容積大、價格低廉、堅固耐用及不起任何化學作用等條件，常用之填充材料包括拉西環、波爾環、泰勒式環及結構造型之填充材，至於填充材之充填高度一般為1.5~3.0 m。針對以散置方式充填之填充材，洗滌液之循環流量約1.3~2.6 L/m³，此外，其廢液產生量約在0.001~0.005 L/m³之間，一般需導至廢水處理場進行處理後排放。至於廢氣於塔中之實際流速乃與填充材及洗滌液流率有關，一般介於1.5~2.5 m/sec之間，而壓力損失亦視填充材型式與洗滌液流率而定，其範圍約為40~100 mmH₂O。

濕式洗滌法能否有效控制臭味問題之關鍵在於選取合適化學試劑為吸收劑，選擇藥液須注意下列各點：

- (1)必須掌握各主要臭氣成分與所加入藥液之反應作用。
- (2)化學試劑容易購買且使用簡單，價格便宜。

- (3)吸收、反應速率快。
- (4)藥劑分解生成物容易處理，不致造成水污染問題。
- (5)不生成有害物質或造成腐蝕，且藥性穩定。

常見臭味吸收處理之化學藥劑如表11所示。

(1)鹼性溶液：

通常含有1~10%之氫氧化鈉或石灰溶液，其對消除於硫化氫、甲硫醇、硫化甲基、二硫化甲基、低級脂肪酸等經常在廢水處理場造成之臭味物質有甚佳之處理效果。

(2)酸性溶液：

通常使用0.5~5%之硫酸溶液或1~10%之鹽酸溶液，主要用以消除由氨及三甲胺等鹼性氣體所致臭味。

(3)次氯酸鈉溶液：

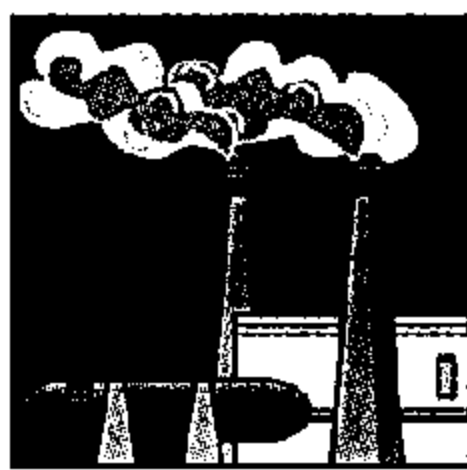
通常使用50~2,000ppm濃度之次氯酸鈉溶液，主要與酸鹼性吸收液一起使用，去除硫化甲基臭味，此外，因溶液之酸鹼值影響有效氯濃度高低甚巨，故酸鹼值之控制相當重要。

(4)高錳酸鉀溶液：

通常在pH值為8~10，濃度為1~2%條件

表 11 臭味控制常用之化學藥劑

臭味物質	化學藥劑
硫化氫	次氯酸鈉、過錳酸鉀、過氧化氫、碳酸鈉
硫醇	次氯酸鈉、氫氧化鈉、過錳酸鉀、過氧化氫
醛	次氯酸鈉、過錳酸鉀、過氧化氫、亞硫酸氫鈉
甲醛	次氯酸鈉、過錳酸鉀
芳香醛	亞硫酸氫鈉
胺	氯化氫、硝酸、硫酸、過錳酸鉀
氨氣	氯化氫、硫酸
羧酸	氫氧化鈉、亞硫酸鈉、亞硫酸氫鈉
酯	氯化氫
脂肪酸	氫氧化鈉
酮	次氯酸鈉
酚	氫氧化鈉、過氧化氫、過錳酸鉀



下操作。高錳酸鉀溶液適用於醛類、胺類、硫醇類及其它含硫化合物、酚類、酸等臭味化合物之去除。

(5)過氧化氫溶液：

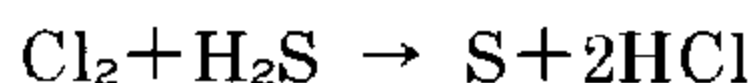
過氧化氫是典型之氧化劑，反應後不會產生污染物。在鹼性溶液中，其可將硫化物、硫代硫酸鹽等氧化；而在酸性溶液中則可將亞硫酸鹽氧化。

(六)乾式氣體氧化法

化學氧化法在乾式及濕式廢氣處理均可加以應用，其接觸形態可為氣對氣、氣對液或氣對固之一種以上，而氯氣及臭氧則可用在氣對氣之接觸氧化系統充當氧化劑。由於氯氣及臭氧兩者均為毒性氣體及汙染物，所以使用時必須善加安裝與控制，以防止未反應之氯氣及臭氧外洩。

1. 氯氣

在氣相以氯氣氧化硫化氫之化學反應式如下：



為了有效控制硫化氫之惡臭氣體，採用過量加氯是必要條件，一般氧化作用至反應終結所需之接觸時間介於0.5~3.0秒間。

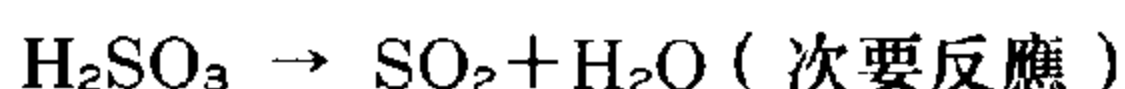
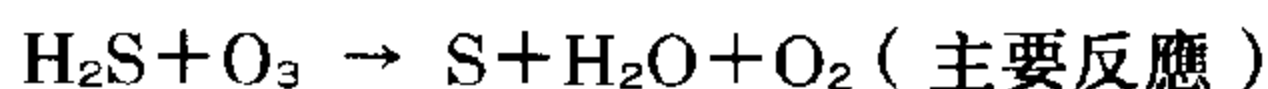
在經乾式氣體之化學氧化後，常繼而串聯濕式鹼性洗滌塔以去除前段反應所剩下之氯氣，另外，洗滌塔亦可同時去除未被氯氣氧化之臭味物質。

2. 臭氧

臭氧系統之初設成本高，但操作費用通常較低，惟用以處理大量且不穩定之臭味氣體時，由於臭氧之產生費用高與化學活性等因素而不具經濟效益。對於處理下水道之臭氣，當反應接觸時間在15秒或以上時，每10ppm硫化物約需1ppm臭氧進行氧化作用。臭氧化作用主

要用作管末廢氣處理之一種淨化技術，典型之去除反應式如下所示：

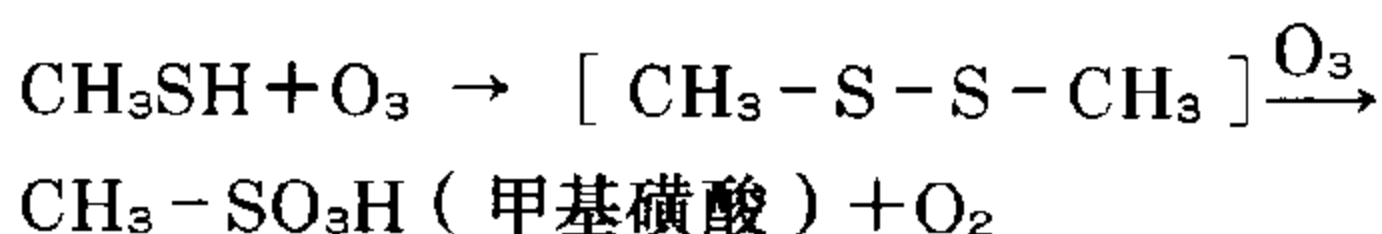
• 硫化氫



• 胺類



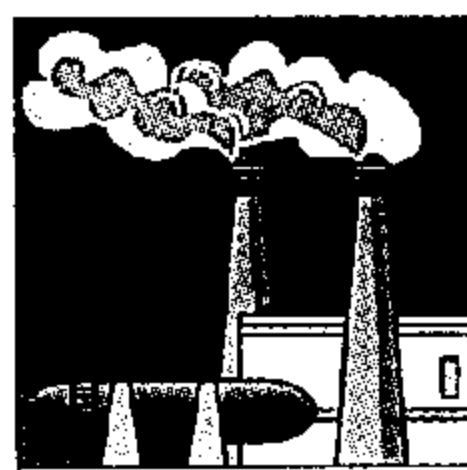
• 甲基硫醇



在工業廢氣處理之應用上，臭氧化作用之反應接觸時間一般建議採15~30秒，而有些情況則需提升至60秒，然而亦有僅需1~5秒之成功案例存在。適當之臭氧濃度以完成氧化是必須的，其典型之操作範圍約1~90 ppm，但在氧化處理後排氣中則應避免有過量之臭氧存在，因為臭氧本身帶有刺激性異味且具毒性，故排氣中之臭氧濃度應小於0.01 ppm，此可以裝置臭氧分析儀進行監測與控制。

，臭氧是一種強氧化劑，其製備方法乃是將空氣通過放電電暈或曝露於紫外光下製造，而紫外光輻射法曾被廣泛應用於臭味之控制，一般認為其主要效果係來自初期所產生氧氣及臭氧之緣故。在實際應用時，若含臭味廢氣之濕度過高，則臭氧產生器將失去作用，雖然如此，臭氧產生器之體型不大且相當具安全性。有效臭氧系統之臭氧產生量要能達到2,200 kg/day，而其所需之動力耗能約為4.5 kwh/kg臭氧。為了決定臭氧系統之設計規範，有需要以實驗測試系統進行調查，其測試調查項目包括臭味形式、臭味濃度、廢氣溫度、廢氣濕度、臭氧分布及所需停留時間等。

在實際應用上，若排氣風車、風管或烟囱等裝置能提供足夠之停留時間，使得臭味氣體在排入大氣之前完成氧化反應，則臭氧可於該



等裝置部位直接加入以控制臭氣。根據外國之應用實例指出，化製廠洗滌塔之排氣裝置注入10 ppm臭氣，以去除剩餘臭味至可接受程度；建築物排放煙囪噴入94 ppm臭氣，於停留時間5秒之條件下控制來自烹調炊具之臭味氣體；於商業與住宅區烹調之排氣系統，視廢氣濕度與臭味濃度之大小，配合導入1.5~3.0 ppm臭氣以控制臭味；對於來自橡膠製程之臭氣，於旋風集塵機之出口處注入4 ppm臭氣進行控制；魚肉乾燥製程廢氣以濕式洗滌塔處理後仍帶臭味，於距煙囪頂端之12 m處噴入10 ppm臭氣控制臭味；紙漿製造廠之回收爐廢氣於經濕式洗滌塔與分離器系統後，因含有硫化氫及二氧化硫等臭味物質，故於其排氣煙囪加入80 ppm臭氣進行控制，該煙囪可提供2秒之停留時間；於可提供停留時間達45秒之接觸反應室注入5.5 ppm臭氣，以控制來自堆肥所產生含有氨及硫化物之廢氣。

(七)生物處理法

生物處理法為污染物（如VOCs等）通過生物處理系統的過程中，藉由微生物之分解、

氧化、轉化等機制，將污染物完全分解氧化成 CO_2 、 H_2O 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等無害性之無機物。雖然生物處理法具有無二次污染的特性，然而與其它污染防治技術相較下，在選用時尤須考量地域性參數所影響之整體成本，諸如土地價格、水費、電費之高低及法令標準等；除此之外，該技術是否已充分落實本土化及在國內具有相當的成熟性，亦直接影響後續的處理效率及操作維護費用。

生物處理法依微生物之型態，可區分為固定床式-生物濾床與生物滴濾塔與懸浮式-生物洗滌塔兩種。其中後兩種技術在國內屬開發中的設備，其中當有某些技術上的問題須克服。而生物濾床雖已有數個成功的實例足供參考學習，然由實際操作之經驗，仍有些瓶頸急待突破，如目前系統只適用於低濃度、穩定之環境，及佔地面積過大、濾料含水率的控制、自動化的翻堆系統等因素。

1.生物濾床

廢氣生物濾床隨各工程公司所發展之系統略有不同，圖4所示為單層開放式生物濾床。基本上，生物濾床可包含預過濾器、增濕系統

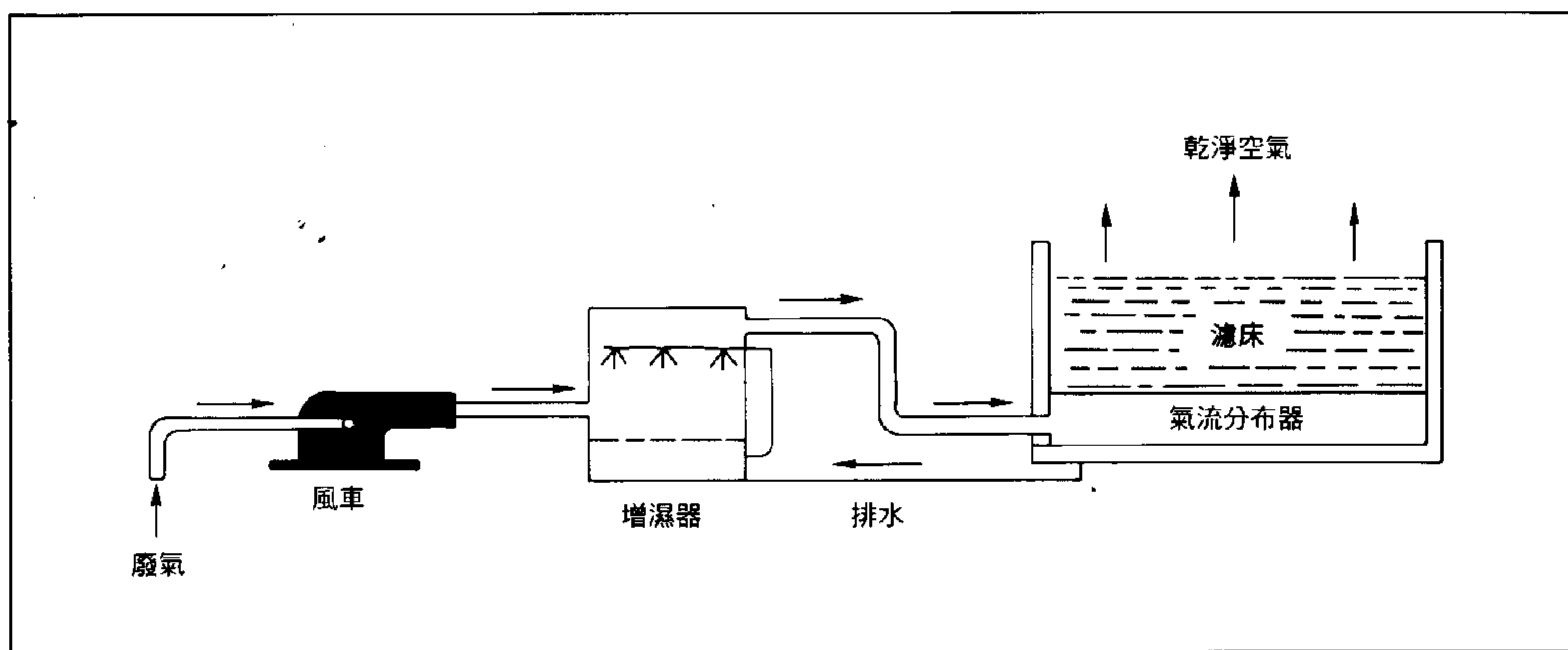


圖4 單層開放式生物濾床之構造



、廢氣分配系統及濾床4部分，茲分別說明如下：

(1)預過濾器

當廢氣中含有粒狀物質時，為避免生物濾床遭受阻塞，廢氣需先經預過濾器去除粒狀物，尤其是工業廢氣中含有高分子黏性物質時，適當之預過濾器就顯得十分重要。預過濾器其種類包括袋濾集塵機、靜電集塵機、濕式洗滌塔及除霧塔等。

(2)增濕系統

濾床內水分含量被認為是決定濾床去除臭味效果之最重要變數，而最佳之濾床水分含量取決於所用濾材，一般介於20~70%（重量百分比）之範圍。若濾床含水量太低，將導致微生物活性降低，造成汙染物傳輸逸出濾床；而太多水分進入濾床中，會使部分濾床形成厭氧層，造成揮發性臭味之產生，並伴隨廢氣由濾床中排出。而控制生物濾床之濕度可於廢氣進入濾床前應用噴霧塔增濕，或於濾床上方灑水，或是兩者併用，然應用噴霧塔方式調節濕度，可使濾床含水率較為均勻而廣受使用。當於濾床上方使用表面直接灑水系統時，其水滴直徑須小於1 mm，且為避免濾床結構損壞，濾床最大水分負荷量宜保持每小時噴灑約30 mm厚度，一般設計準則為每1,000立方公尺廢氣量之灑水量介於6.8~13.6公升。

(3)廢氣分配系統

廢氣分配系統乃在於調節廢氣，使其能均勻通過生物濾床，並排除濾床中多餘水分。目前常用之廢氣分配系統有三：多孔管、壓力槽系統及預鑄箱系統。多孔管為最常使用之方法，主要在濾床下方埋設多孔管，並於管上鋪設卵石，以確保廢氣均勻分配及管孔不受阻塞。壓力槽系統主要應用於規模較小之濾床，惟其濾床壓損高且具不穩定性。預鑄箱主要為水泥製品，可提供氣體分布及排水。

(4)濾床

濾床為提供微生物生長，以分解通過之汙染物質，微生物之生長主要乃附著濾床中所填充之濾料。在生物濾床內填充濾料有三個目的，一為提供微生物附著之表面積，二為供給微生物所需之營養量，三為提供一穩定結構及母體以使廢氣得以立即通過，俾產生完整及一致之處理效果。所謂濾料之最佳能力乃是指具有高孔隙空間及最小系統壓力損失，常用之濾料為堆肥、土壤及泥煤等。另外，隨著操作時間增長而產生結塊現象之應加以避免，以防系統壓損增加或廢氣通過濾床時發生渠化效應。

典型之濾床深度為1m，一般最常使用之濾床為單層開放式濾床，然由於生物濾床所需面積較大，為能節省反應時間，已逐漸發展多層式生物濾床。此外，歐洲地區亦發展密閉式系統如圖5所示，以減少氣候變化對生物濾床之干擾，密閉式生物濾床處理後廢氣則由固定管道排放。

微生物生長及除臭效率受pH值、溫度、

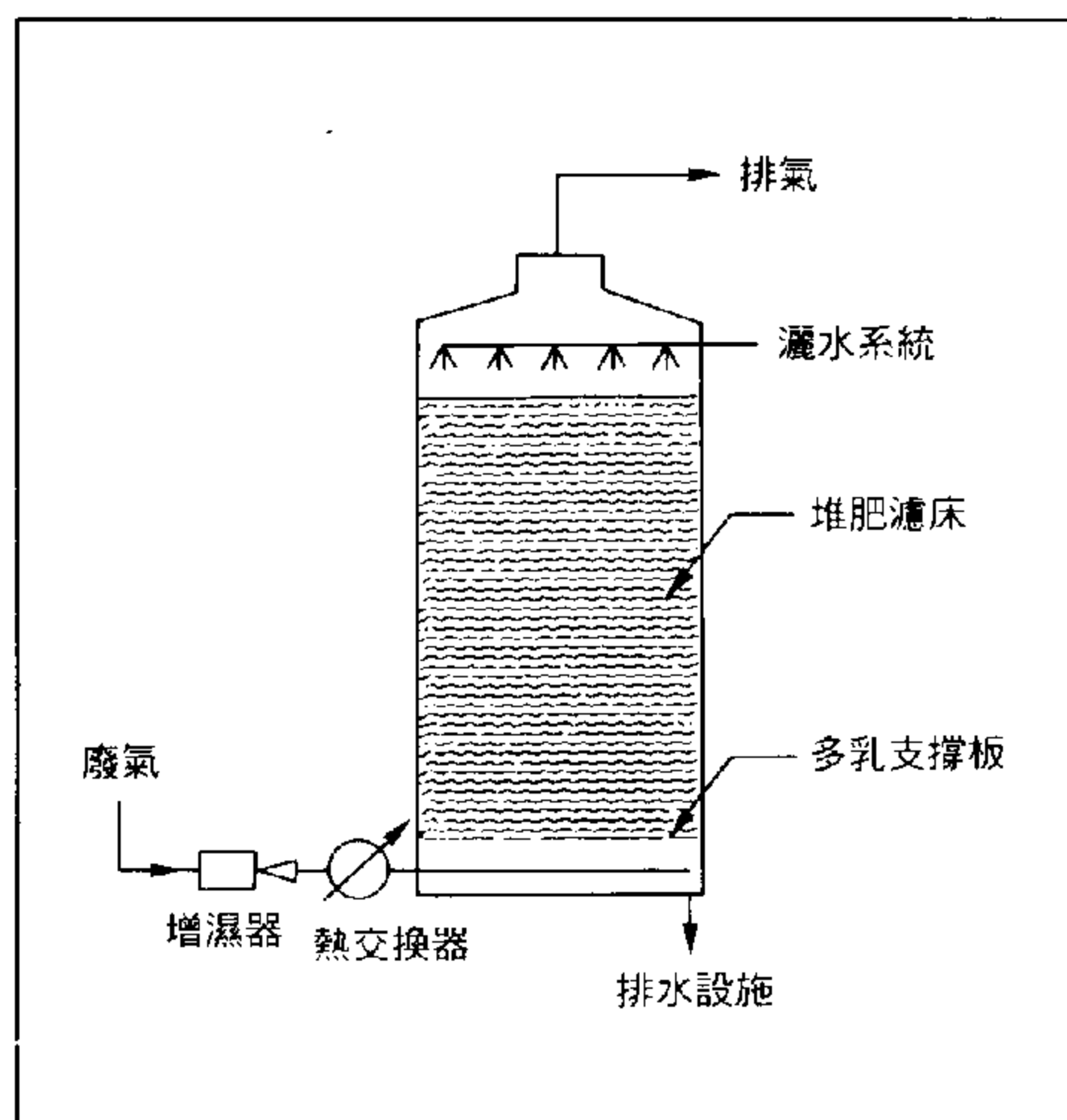


圖5 密閉式生物濾床之構造



濕度、孔隙率及供給微生物生長營養量之影響，此乃生物賴以生存及對廢氣進行新陳代謝作用之要素。

典型生物濾床應具備之操作條件如下：

- ①有機物含量：大於55%
- ②濾料粒徑：大於4mm之粒料佔60%
(重量比)
- ③孔隙率
堆肥濾床：40~80%
土壤濾床：40~50%
- ④濾床深度：45~230cm(一般為1m)
- ⑤水分含量：20~70%(重量比)
- ⑥pH值：7~8
- ⑦廢氣溫度：20~40℃
- ⑧含氧量：至少5~15%

一般有數種不同設計準則可用以概估生物濾床之尺寸，即廢氣之汙染負荷量可以濾床表面之廢氣處理量($\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$)、停留時間(秒)或去除能力(克/公斤濾料·天或克/立方米濾床·小時)設計。通過濾床表面之廢氣處理量介於 $0.3 \sim 9.5 \text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$ ，典型之數值介於 $0.3 \sim 1.6 \text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$ 。停留時間可以濾床體積除以廢氣流量求得，雖然真正之停留時間受濾床孔隙空間所影響，但一般將生物濾床視同無濾料之空間加以設計。國外經驗建議堆

肥濾床之最小停留時間宜為30秒，而土壤濾床則採大於30秒以上設計，惟為確保臭氣能被完全吸收，一般生物濾床所需之停留時間為30~40秒。

結 論

選擇脫臭裝置之前，必須根據生產製程之實際操作情況，推估或測定污染源之排氣風量，再據以設計或選擇具有適當處理容量之有效脫臭設備，若脫臭設備之處理容量設計或選擇不當時，其將造成之負面效應如下：

1. 處理容量比排氣風量小時

廢氣於脫臭裝置內之停留時間比規範之有效時間為短，致使吸收法、吸附法或焚化法等控制技術無法達到應有之去除效率，造成環保投資之成效不彰。

2. 處理容量比排氣風量大時

雖可充分去除臭味氣體，但除非生產製程於未來有擴充之可能，或將來預計合併處理其它具相似廢氣特性之污染源外，否則就環保投資及能源消耗觀點而言則屬浪費，例如焚化法燃燒裝置因需消耗超過需要之熱量而造成能源浪費，而控制設備所需風車於過大之馬力數值下運轉亦浪費電力資源。

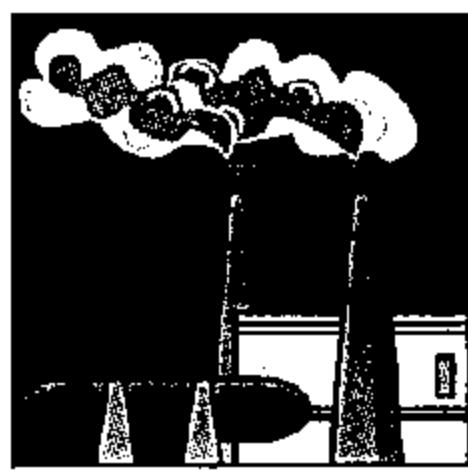
參考資料

Cheremisinoff, P. N., "Industrial Odour Control," Butterworth-Heinemann Ltd., (1988).

Cooper, C. D. and Alley, F. C., "Air Pollution Control: A Design Approach," PWS Engineering, (1986).

Don, J. A., Feenstra L. (1984). "Odour abatement through biofiltration." In Proceedings of Symposium on Characterization and Control of Odoriferous Pollutants in Process Industries: Lonvain-La Neuve (Belgium), April (1984).

USEPA, "Handbook: Control Tech-



nologies for Hazardous Air Pollutants," EPA/625/6-91/014, June, (1991)" (工業技術研究院化學工業研所翻譯, 民國83年1月)。

行政院環境保護署,「石化業揮發性有機物排放防制技術手冊」。

行政院環保署,「臭味控制技術講習會講義」,民國85年11月。

行政院環保署譯,「惡臭防制技術參考手冊(I-IV)」,民國77年。

林文川,「環保特刊」,96年臺灣國際環保暨能源展專刊,P.171~187,民國85年。

周明顯、黃忠永,「以生物滴濾塔及濾床處理油廢水場排氣中揮性有機物之研究」,中華民

國環境工程學會第13屆空氣污染控制技術研討會論文集,民國85年12月。

周明顯,「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準訓練課程」,第4單元,國立中山大學環工所。

邱創汎,「空氣污染生處理技術本土化評析」,工業污染防治,第58期,pp111~pp124 (1996)。

經濟部工業局,「VOC臭味控制技術講習會講義」,86年12月。

蔡文田,「含揮發性有機物(VOC)廢氣之吸附處理技術」,化工技術,第27期,pp.117~130,6月號(1995)。

作者簡介：

楊奇儒先生,國立成功大學環境工程研究所碩士。現任職於中國技術服務社工業污染防治中心工程師。研究專長為空氣污染防制、環境管理系統建立。