

空氣污染防治(四)

參、有毒氣體污染之控制—吸附(下)

鄭福田*

三、吸附劑特性

一般吸附劑都具有下列之特性：

- (一) 都為多孔性之結構，有極大之表面積，可以吸附多量之各種不同氣體。
- (二) 可以「活性化」(activating)，例如木炭在 24°C 時，原來一克之木炭只能吸附 0.011 克之四氯化碳，但如把木炭在真空、空氣或水蒸氣中加熱至 350~1000°C 之間，則可使其活性化，而能吸附 1.48 克之四氯化碳，其原因乃高溫使原在木炭表面之碳氫化物蒸發脫離木炭而增加其表面積。表面積增加，則吸附量增加，但由於表面積測定困難，實用上乃以吸附劑之質量來表示。

在決定吸附劑之能力時，「有效」表面積，亦即吸附質可能到達之面積乃一很重要之觀念。和此名詞相對的是吸附質本身之大小，即吸附質之「關鍵性直徑」(critical diameter)，由於組成吸附質分子之原子間「空隙效應」(steric effects)，使分子具有一定之大小，超過某種尺寸，則吸附質被吸附劑之表面篩除 (screen out)，而無法到達吸附劑之全部表面，表一表示各種分子之關鍵性直徑之大小。

表一 某些分子之關鍵性直徑

分 子	大小(Å)	分 子	大小(Å)	分 子	大小(Å)
氮	2.0	乙 烷	4.2	環己烷	6.1
氬	2.4	甲 醇	4.4	甲 苯	6.7
乙 炔	2.4	乙 醇	4.4	對二甲苯	6.7
氧	2.8	環丙烷	4.75	苯	6.8
一氧化碳	2.8	丙 烷	4.89	四氯化碳	6.9
二氧化碳	2.8	正丁烷到正二十二烷	4.9	氯 仿	6.9
氮	3.0	丙 烯	5.0	2,2-二甲基丙烷	6.9
水	3.15	1-丁烯	5.1	間二甲苯	7.1
氨	3.8	氯二氟甲烷	5.3	鄰二甲苯	7.4
氬	3.84	噁 吲	5.3	三乙基胺	8.4
甲 烷	4.0	丙烷到 1-二十二烷	5.58		
乙 烯	4.25	二氯氟甲烷	5.93		

* 本小組委員

臺大環境工程研究所副教授

四、工業上常用吸附劑

工業上常用之吸附劑有活性炭，活性礬土 (activated alumina)，矽膠 (silica gel) 及分子篩 (molecular sieve)，前三者無一定形狀，內部構造不均勻，分子篩乃結晶體，其內部構造乃有規則之空間，大小一定且互相連通。

(一) 活性炭

工業生產之活性炭大半由椰子殼或煤，在隔絕空氣下用熱處理製造之。如以煤為原料，則在高溫下用蒸汽活化，此外其他含碳之物質如木材，椰子殼，花生殼，水果殼等也可用來製造活性炭。氯化鋅，氯化鎂，氯化鈣及磷酸也可代替水蒸汽作為活化劑，一般顆粒性活性炭之特性如下：

填充密度： $22\sim34 \text{ lb/ft}^3$
比熱： $0.27\sim0.36 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$
孔隙體積： $0.56\sim1.20 \text{ cm}^3/\text{gr}$
表面積： $600\sim1600 \text{ cm}^2/\text{gr}$
平均孔隙直徑： $15\sim25\text{\AA}$
再生溫度： $100\sim140^\circ\text{C}$
最大可容許溫度： 150°C
適用：於溶劑回收，除臭及氣體淨化。

(二) 活化礬土 (activated alumina)

活化礬土乃礬土 (alumina) 或鐵礬土 (bauxite) 析出物經特殊熱處理作成者，可作成顆粒狀或小球，其特性如下：

填充密度：顆粒— $38\sim42 \text{ lb/ft}^3$
 小球— $54\sim58 \text{ lb/ft}^3$
比熱： $0.21\sim0.25 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$
孔隙體積： $0.29\sim0.37 \text{ cm}^3/\text{gr}$
表面積： $210\sim360 \text{ m}^2/\text{gr}$
平均孔隙直徑： $18\sim48\text{\AA}$
再生溫度： $200\sim500^\circ\text{C}$
穩定之溫度：小於 500°C
適用：氣體乾燥，尤其適用於受壓氣體之乾燥

(三) 矽膠 (silica gel)

矽膠之製造乃使矽酸鈉與稀無機酸中和，形成膠體 (gel)，用水清洗附著於膠體上之鹽類，乾燥，烘焙，分類，作成顆粒狀或小球形，其特性如下：

填充密度： $44\sim46 \text{ lb/ft}^3$
比熱： $0.22\sim0.26 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

孔隙體積: $0.37 \text{ cm}^3/\text{g}$

表面積: $750 \text{ m}^2/\text{g}$

平均孔隙直徑: 22\AA

再生溫度: $120\sim 250^\circ\text{C}$

穩定溫度: 400°C 以下

適用: 主要用於氣體乾燥，也可用於廢氣脫硫和淨化。

(四) 分子篩 (molecular sieve)

分子篩主要是脫水沸石 (dehydrated zeolite)，結晶體，其原子間之排列有一定型式，有些分子篩晶體間之孔隙大小均勻，因此只適用於分子小，形狀適當可進入孔隙者。

分子篩具有強吸附力，主要乃晶體結構外圍之陰離子可提供作為正電荷吸引極性分子負電荷之場所。分子之雙極矩 (dipole moment) 越大，則被吸附越牢，此類極性分子如含有 O, S, Cl, N 原子且不對稱者。

分子篩之共同特性如下：

型 式	4A	5A	13X
填充密度 (lb/ft^3) :	44	44	38
比 热 ($\text{Btu}/\text{lb}^\circ\text{F}$) :	0.19	0.19	—
有效孔隙直徑 (\AA)	4	5	13
再生溫度	$200\sim 300^\circ\text{C}$	$200\sim 300^\circ\text{C}$	$200\sim 300^\circ\text{C}$
穩定溫度	600°C	600°C	600°C

五、設計考慮

(一) 吸附劑選擇

由經驗顯示，吸附有機蒸汽，以活性碳較佳，無機性吸附劑，如活化礬土，矽膠，分子篩等也可用以吸附有機物質，但再生困難，再生之方法可用水蒸汽，熱空氣，氮氣或其他氣體，其困難乃被吸附物質無法完全驅除或回收，另一困難為被吸附之碳氫化合物在再生過程中，受熱分解生碳粒，阻塞吸附劑之孔隙，因而降低吸附劑之品質。水蒸汽可用於活性碳之再生，但不適用於活化礬土或矽膠，因此二物質和水蒸汽接觸可能會被破壞。

有時常用之吸附劑無法處理某種特殊之污染物，此時則可使用表面積大之吸附劑，注滿無機或高分子量之有機物，以使和欲處理之污染物起化學反應而吸附之。如浸有碘之碳可以去除水銀蒸汽，浸有溴之碳可用以吸附乙稀或丙烯，其原因乃經催化作用使轉變成較無毒之化合物或形成更易被吸附之化學物質，此時一般吸附理論無法適用，例如浸有碘之碳在吸附水銀時，則溫度越高，吸附越大。

(二) 設計數據

選定適當之吸附劑後，下一步驟乃計算吸附劑之需要量並考慮其他因素，如由於吸附作用造成之溫度上升及吸附劑之可用時間等。吸附系統之設計受欲處理氣體及吸附劑特性之影響，其影

響因素爲：

1. 欲處理氣體

- (1) 吸附質濃度 (2) 溫度 (3) 溫度上升 (4) 壓力 (5) 流量 (6) 是否有對吸附劑有毒物質存在
(7) 在預定之操作溫度及壓力下之氣體密度 (8) 在預定之操作溫度及壓力下之氣體黏滯性。

2. 吸附劑特性

- (1) 吸附能力 (2) 溫度上升 (3) 等熱吸附線 (4) 對吸附劑有毒物質之存在與否，如無法其存在時，則壽命又如何？ (5) 其他催化效應之可能性如何？此種催化效應是否會造成不利之化學反應或在吸附床上形成聚合體。 (6) 填充密度 (7) 粒徑大小 (8) 孔隙大小 (9) 吸附劑硬度 (10) 再生資料。

六、吸附劑再生

欲處理廢氣中某種污染物之濃度如果大於 10 ppm，則必須要再生吸附劑，否則吸附處理無法和焚化，催化焚燒或吸收系統比較（吸附系統較貴）。水蒸汽和空氣是最常使用的再生劑。尤其是水蒸汽最適合應用於有機溶劑之回收，水蒸汽之飽和蒸氣壓溫度剛好適合於許多溶劑之脫附，但此溫度還不致於對溶劑造成損害。很多溶劑不溶解於水，因此水蒸汽一溶劑蒸汽之凝結造成水及溶劑分離之效果而有利於溶劑之回收。而且由於水蒸汽之存在，因此即使回收之蒸汽中含有較高濃度之可燃性氣體，其處理也比較安全。

如果污染物濃度低，而且沒有回收價值，則水蒸汽未必是最好之再生劑，其原因污染物濃度低，則會被吸附劑牢牢吸附，而必要使用大量之水蒸汽，以致造成原來在水中溶解度低之溶劑會完全溶解於凝結之水蒸汽中，甚而造成水污染問題。在此情況下，最好使用非凝結性之氣體如空氣。如有爆炸之虞，則可考慮使用惰性、非凝結性氣體如煙道氣體，再用小型焚化爐把排放之廢氣焚化，其決定之關鍵在於再生廢氣之濃度，如小於爆炸低限 (Lower explosive limit) 之 25%，則可使用空氣再生，否則宜用惰性氣體。

吸附一脫附循環，通常可分爲下列四種型式，可以單獨使用，也可組合使用：

(一) 熱循環系統：(Thermal swing cycles) :

此類操作通常用熱流體直接和吸附床接觸或間接加熱，溫度一般可達 300~600°F，再用乾燥氣體沖洗或減壓即可再吸附操作。

(二) 壓力循環系統 (Pressure swing cycles) :

使用較低之壓力或真空來脫附，此系統之操作可接近於等溫情況，因此不須加熱或冷卻步驟，其優點爲吸附床尺寸較小，不必作吸附劑之存檔工作，直接產生高純度之產品。

(三) 沖氣氣提循環 (Pinge gas stripping cycles) :

此乃使用一種非吸附性之沖洗氣體來降低吸附質之分壓以達到脫附之目的，溫度越高，壓力越低則脫附效果越佳。

(四) 取代循環 (Displacement cycles) :

此乃使用一種可吸附性之沖洗氣體，沖洗氣體之被吸附力越大則脫附效果越佳。此法之缺點乃在於如何再把被吸附之沖洗氣體脫附，以便於吸附床之使用。

七、其他設計考慮因素

通常吸附操作採取水平式，在大氣壓力下操作，溫度通常小於 180°F 。表面速度 (superficial velocity) 範圍為 40 到 100 ft/min，床深 (吸附劑厚度) 12—30吋，體積流率通常小於 30,000～40,000 cfm。

八、結論

吸附可用於濃縮 (30—50倍) 或貯存污染物直到其可以用最經濟之方式來回收或破壞污染物，可用於有機溶劑之回收，臭味之防止，此外也可用於食物，香料或化裝品工業，尤其是香料之回收，利用吸附方式可以獲得化學性質未受改變之原料，兼顧空氣污染與原料回收，在經濟成本上可和焚化或吸收方式競爭。

參考資料

- (1) A. J. Buonicore, L. Theodore: Industrial Control Equipment for Gaseous Pollutants, volume 1. CRC PRESS (1975)
- (2) Robert M. Bethea: Air pollution Control Technology (1978)
- (3) Martin Crawford: Air pollution control Theory McGraw-Hill (1976)