

廢水處理操作管理 (十六)

快濾・活性碳吸附

歐陽嶠暉*

一、快濾

1.1 目的

過濾為以分離水體中懸浮性之固體粒子為目的之單元操作。在廢水處理中之過濾，可分為以去除水中之粒子為目的的澄清過濾，以及污泥脫水為目的之脫水過濾。快濾則為上述之澄清過濾。

自來水淨水最早於1829年在英國採用慢濾，而於1855年在美國開發出快濾。近年來為提高廢水處理程度，也有採用快濾處理之案例，尤其是做為活性碳吸附處理的預先處理。

廢水處理以快濾處理之方法可分為下列兩種：

- (1)二級處理水直接以快濾過濾的方法
- (2)二級處理水於經混凝沉澱後或於接觸曝氣法之後，進行快濾處理之方法。

採用快濾法處理時，對於二級處理水等原水之懸浮物質及溶解性物質之濃度應能掌握，並充分檢討過濾是否能達到過濾效果始採用之。若二級處理後之原水中懸浮物質多，有易致濾材阻塞，過濾持續時間短等問題。又溶解性物質無法藉砂濾去除之，應配合生物處理法或活性碳吸附法予以組合去除之。

1.2 原理

過濾原理自古即有各種理論或被引用，也頗為複雜。而廢水處理為目的的快濾設計，則可參考自來水的過濾技術，並進行廢水處理之過濾實驗，藉以獲致瞭解。

一般澄清過濾時，濾材對於粒子的去除機制，可有下列作用：

- (1)做為粒子的沉澱作用
- (2)做為粒子的凝聚作用
- (3)粒子間隙的阻留作用
- (4)附着於濾材之生物的過濾作用

快濾之捕捉粒子的機制，即利用上述(1)、(2)及(3)之三種作用。

* 國立中央大學土木工程學研究所教授
本小組委員

(1)之沉澱作用為藉粒子於濾料粒子間之沉澱以達過濾者。惟過濾水質受沉澱面積（濾料之表面積）之大小而影響，濾料之表面愈大，處理水之水質愈好。

(2)之混凝作用為粒子附着於濾材表面上，而被捕捉者。粒子藉物理、化學之凝聚作用，而達到過濾之功能。惟過濾水之水質受與濾料之接觸機會所影響，濾層愈厚、粒徑愈小濾材表面積愈大，粒子的抑止效果愈佳，過濾效果也愈高。

(3)之阻留作用為較濾材之粒子及粒子之間隙為大的粒子，被濾料所捕捉者，通常之快濾以(1)及(2)之作用較大，阻留作用則為上述之副作用。

1.3 過濾之分類

目前自來水及廢水所用之澄清過濾方式，依其過濾速度，濾料的性質，輔助濾料等而分有四種。其概要列如表 1.1。

表1.1 各種過濾方法概要

過濾方式	概要
慢濾	(1)過濾速度每日僅數m程度。 (2)自古即為自來水之淨水方法。 (3)受濾層所附着之生物的淨化作用。 (4)與快濾相比較因過濾速度低，故需較大過濾面積。 (5)由於未有沖洗設備，故濾層的砂需藉人工搔取。
快濾	(1)過濾速度每日可達數百m程度。 (2)在廢水處理上之應用已有實績。 (3)依水之過濾方向，過濾壓力而細分數種方法。 (4)過濾及反沖洗多採自動化。 (5)壓力式過濾方式多採套裝式者。
直接過濾	(1)藉過濾設施直接過濾原水。 (2)用途包括工業用水，生產單元等多方面。 (3)濾料有濾紙、濾網、多孔質過濾筒者，也有於濾筒內填充活性碳、離子交換樹脂等濾材者。 (4)與砂藻土過濾法相比較，操作管理較容易。
砂藻土過濾	(1)進行過濾時，利用砂藻土為過濾助劑，於原水中添加助劑使形成濾層以進行過濾之方法。 (2)砂過濾未能去除的微細粒可藉以去除之。 (3)過濾能力降低時可剝離砂藻，再提升過濾能力。 (4)必須注意砂藻的剝離狀況以操作之。

快濾過濾依過濾水之水流方向及過濾壓力而分類之。依過濾水之水流方向之分類可分為(1)向下流式、(2)向上流式、(3)雙向流式及(4)水平流式等四類。其概要示如表 1.2。

表1.2 依過濾水流方向之分類

過濾方式	概要及略圖
向下流式	<p>(1)水由濾層之上部流入，在濾層內向之流達到過濾 (2)依過濾壓力可分為重力式及壓力式。 (3)一般粒子的捕捉乃於濾層表面因之過濾阻力增大，則有過濾時間減短之傾向。 (4)為提升粒子的捕捉能力，多採用多層式過濾方式。</p> <p>圖(a) 重力式</p> <p>圖(b) 壓力式</p>
向上流式	<p>(1)藉泵所抽送之原水，自濾層內的下部向上部依濾料大小之順通過礫石→粗砂→砂等過濾之。 (2)粒子徑較大的粒子於礫石層或粗砂層被捕捉，其次微細之粒子則於砂層被捕捉，而於過濾層去除全體的粒子，過濾持續時間可較長。 (3)當濾層被阻塞，濾層過濾漸不容易時，會因流入水造成濾層的流動化，則所捕捉的粒子有外洩流出之問題。 (4)為防止濾層的流動，可於濾層上部設置格子狀的板或增加濾層粗砂之厚度。</p> <p>圖(c)</p>

雙向流式	<p>(1)水流自濾層的上部及下部兩方向流入，於過濾槽之中央部將過濾水集中。上層部屬向下流式，下層部則為向上流式。</p> <p>(2)本方式為抑制向上流式過濾時濾層之膨脹而發展出者，過濾速度大且不易發生濾材的膨脹。</p> <p>(3)濾層的上部為無煙煤及砂，下部則為砂或砂及礫石，比向下式可捕捉粒子量大數倍。</p> <p>(4)沖洗則以空氣及水，與過濾同方向進行之。</p>		
水平流式			
		圖(e)	

過濾若依過濾壓力分類之有(1)重力式、(2)壓力式等。其概要示如表 1.3。

其他過濾之組成則可分為單層、2層及3層。依過濾水量之變化則可分為定速過濾及遞減過濾等。

1.4 快濾設施設計上應注意事項

1.4.1 過濾水質

快濾所可去除的污染項目為 S S 及 S S 所造成的 BOD 及 COD，溶解性物質則無法藉快濾過濾之。

因之於設計快濾設施前，對於原水及二級處理水等之水質或水量的時間變化及快濾可達

表1.3 快濾過濾壓力之分類

重力式	壓力式
(1)在自來水淨水上用得很多。 (2)沖洗方式有機械攪拌式及壓縮空氣法。 (3)過濾池為開放型，故過濾狀況的監視及檢查維修容易。 (4)藉過濾池內的水位與流出端之水位之水頭差以行過濾，一般水頭差為2~2.5m左右。 (5)如要增大水頭差，就必須增加濾池深度。 (6)於混凝土等之槽底部設集水設備，而於其上部設礫石、砂之濾層。	(1)廢水處理廠大規模設施以外，多採用之。 (2)過濾為藉泵以提升流入水的壓力，槽體多為鋼板製。 (3)過濾槽為密閉型，因之濾層的監視及維修檢查不方便。 (4)與重力式相比較，過濾速度可提高2~3倍。 (5)濾層可為砂之單層，或無煙煤、砂、礫石等之多層。

到之去除率，應進行現場調查及實驗，以檢討其可達到的目標水質。

二級處理水以直接快濾過濾時，如無法達到目標水質，則需於快濾設施前增設混凝沉澱設備或接觸曝氣設備，或於其後增設活性碳吸附設施等以達成之。

快濾過濾直接過濾二級處理水時，依二級處理水之SS性質之不同其BOD等之去除率亦異，因之不易以概括式決定其去除率。

1.4.2 過濾速度

過濾速度(V)及過濾流量(Q)和過濾面積的關係示如下式：

$$V = \frac{Q}{S}$$

過濾速度受過濾原水水質及濾層之粒子捕捉量而影響。若過濾速度取過大，則過濾水質變差，過濾持續時間縮短。

設定過濾速度時，必須先考慮原水水質、過濾持續時間及濾層的構造等。

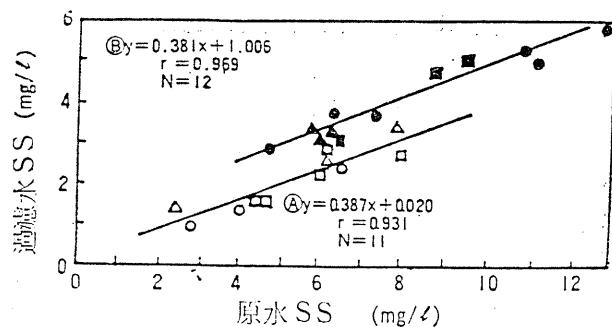
依日本建設省調查報告，下水二級處理水以無煙煤及砂之向下流式快濾設施，當設定總損失水頭為3m，過濾速度為180, 300, 420, 500m/日進行實驗時，180m/日者其粒子的捕捉主要為濾層的上層(無煙煤層)達成之。500m/日者在下層深砂層部也有粒子，主要為於本部份行過濾，致過濾水之SS偏高。過濾速度300m/日及400m/日者，其粒子之捕捉則介於180及500m/日者之間，可於全體濾層進行過濾，故粒子之捕捉量增大，例如圖1.1所示，其過濾水之SS與180m/日者相比較並無不同。

廢水過濾一般過濾速度，以平均水量150~200m/日，最大水量則以300~400m/日為範圍，大規模處理設施可用200m/日之過濾速度。

1.4.3 損失水頭

於濾層中通過水流，由濾層內的阻力，會產生流入端與流出端之壓力差(水頭差)稱為損失水頭或過濾阻力。

損失水頭依過濾之持續，粒子之捕捉量的增加而增大。一般過濾速度小或濾料粒徑愈小



注) ○: 定量180m/日, □: 定量300m/日, △: 定量420m/日,
●: 定量500m/日, ■: 變動300m/日, ▲: 變動420m/日

圖1.1 流入水（二級處理水）及過濾水之SS。

時，於濾層內的表面粒子被捕捉，若繼續過濾水質雖仍一定，但損失水頭卻會急速上升。

又如同向上流式過濾設施，粒子的捕捉乃於濾層全體進行者，則其損失水頭幾與過濾水量呈比例而增加。從濾層內各部份所產生損失水頭狀況的分布，就可知道濾層的過濾狀況。圖1.2為向下流式之三層快濾設施，濾層各部之損失水頭分布狀況例。由本例可看出在濾層30 cm 處損失水頭最大，主要為在此範圍內進行過濾之故。

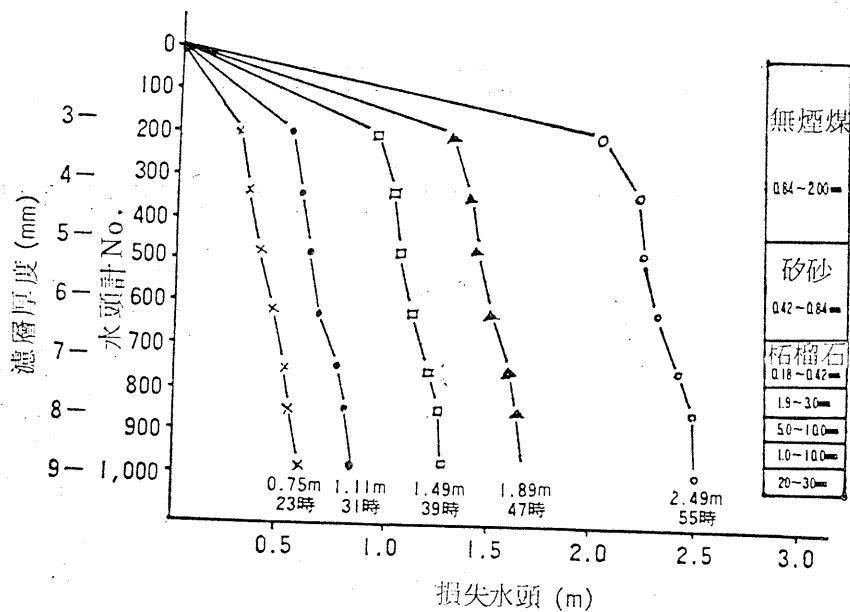


圖1.2 三層式快濾池損失水頭分布（過濾速度300m/日）

過濾持續進行則損失水頭愈大，當其達一定損失水頭時，過濾層就必須以空氣及水沖洗之，俟損失水頭降低後，再行過濾之。若此一操作不適當，則損失水頭將增大，被濾層所捕捉的粒子，將因濾料無法阻留而流出，過濾水呈混濁。

爲防止此種現象，於設計快濾過濾裝置時，損失水頭不宜取太大，在通常的過濾中以粒子不隨過濾水流出之程度的損失水頭爲條件，一般約爲數公尺左右爲宜。

1.4.5 濾層

濾層應注意事項包括濾層的構造，濾料之性質，濾層厚度等。

重力式快濾設施，過濾槽之下部爲集水裝置、其上置支持濾層的礫石層，再其次爲濾層。

爲防止濾層在過濾持續之短時間內阻塞，濾料之種類多採複數層 2 層或 3 層，儘可能使各層皆可發揮捕捉粒子，並增長過濾持續時間。

通常濾料的組合爲

(1)無煙煤+砂 (2層過濾)

(2)無煙煤+砂+柘榴石 (3層過濾)

但向上流式者，則採用均勻係數較大的砂做爲單層的濾層。

濾料的性質需注意其粒徑、比重、強度等。其概要示如表 1.4。

表1.4 濾料的性質

無 煙 煤	砂	柘 榴 石
(1)品質良好者。 (2)比重在1.4以上。 (3)鹽酸可溶率1.5%以下。 (4)摩減率1%以下。 (5)有效徑1.6~2.0mm (6)無煙煤的有效徑爲砂之有效徑的2.7以下。 (7)均勻係數接近於1 (一般使用1~4以下者)	(1)堅硬均質者。 (2)比重2.55~2.65。 (3)鹽酸可溶率在3.5%以下。 (4)摩減率3%以下。 (5)強熱減少量在0.7%以下。 (6)有效徑0.45~0.7mm。	(1)不純物少。 (2)比重在3.8以上。 (3)鹽酸可溶率在5%以下。

粒徑則以均勻係數，有效徑等表示，與粒子的捕捉量有密切關係。重力式者自上層往下層濾料的粒徑愈小，可使濾層全體充分捕捉粒子。(如圖1.3.)。

又比重則與粒徑相反，自上層至下層愈大，此乃避免沖洗時造成濾料的混合。爲使反沖洗時濾層可均勻膨脹提升洗滌效果，對於濾層的比重應特加注意。

濾層厚度影響過濾水質及持續過濾時間至大。圖 1.4 及表 1.5 為二層式向下流式快濾設施處理二級處理水之實例，其過濾持續時間及總損失水頭之關係。濾層 B 較濾層 A 其無煙煤層對於粒子之捕捉較差，而需由砂層負擔之。其過濾水 S/S 之去除率濾層 A 為 67%，濾層 B 為 59%。

濾層厚度應依過濾水質、過濾持續時間及濾層厚度之經濟性等充分考慮後決定之。

向下流式濾層厚度以 60~100cm 為宜。又向上流式若採比較粗的砂時，濾層厚度可採

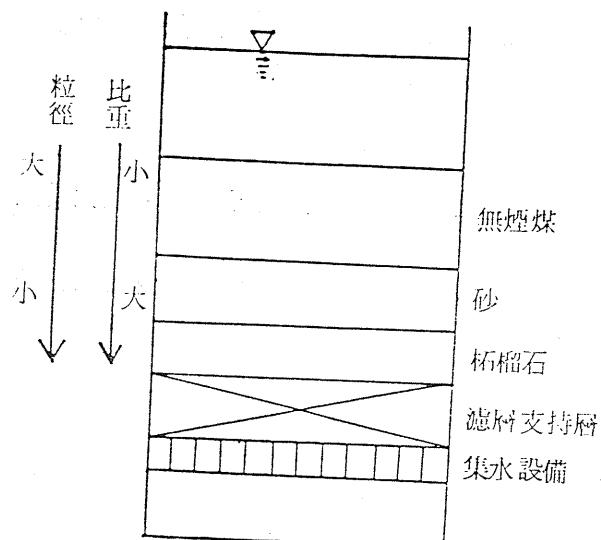


圖1.3 濾層構造（重力式）

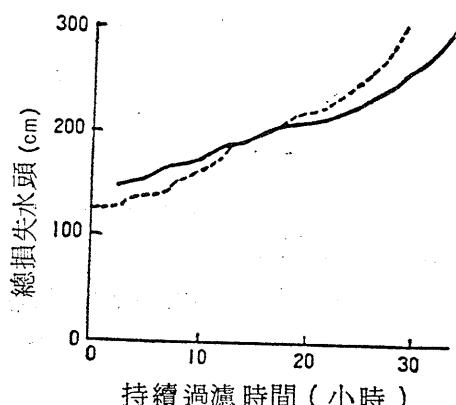


圖1.4 濾料組成 A、B 之總損失水頭

表1.5 濾層之組成

濾料	項目	濾層 A	濾層 B
無煙煤	濾層厚度 (mm)	625	375
	有效粒徑 (mm)	1.62	1.62
	均勻係數	1.33	1.33
砂	濾層厚度 (mm)	375	225
	有效粒徑 (mm)	0.61	0.61
	均勻係數	1.26	1.26

用1.5~1.8m者。

重力式快濾之自來水設施採用單層砂者以60~70cm為標準。

1.4.6 濾層支持層

濾層支持層乃用以防濾料流出者，以礫石（粒徑2~50mm）分四層（厚度20~50cm）數設之。又本支持層以能使水及空氣反沖洗時能均勻分散為宜。

1.4.7 集水設備

集水設備必須使過濾及反沖洗能適當進行之構造。集水設備之構造有下列各種：

- (1) 韋氏型：於濾床上設置支柱，而於其上置混凝土成形品塊。
- (2) 多孔板型：於濾床上置空氣室及分散室之成形品塊。
- (3) 濾器型：濾床上的管或支持板上置濾器者。

(4)多孔管型：濾床上設置多孔的幹支管者。

1.4.8 冲洗

經繼續過濾，達一定之損失水頭時或經一定過濾時間後，必須以水及空氣沖洗濾層，以再提升過濾能力。

沖洗以考慮捕捉之粒子的腐敗每日一次為宜，沖洗除可自動設定操作外，亦宜可手動操作者。

濾層之沖洗方式依向下流式及向上流式而異。向下流式的沖洗方法概要列如表1.6.，反沖洗者多包括沖洗，並輔以空氣沖洗等手段併用之。

反沖洗以能使濾層膨脹20~30%可提升其洗滌效果故宜以目測該值以決定洗滌速度。

沖洗為以濾槽排水，表面沖洗、反沖洗、過濾水貯留等之順為之。其所需時間依規模而異，向下流式者為15~30分鐘左右。圖1.5為沖洗過程例。

沖 洗 操 作	排水	水反沖洗			停止貯水	過濾水閥開啓
		表面沖洗	表 面 沖 洗	表 面 沖 洗		
	2'30"	1'00"	7'00"	3'00"	1'30"	3'00"
開始沖洗	開 始 沖 洗	表 面 沖 洗 泵 起 動	反 沖 洗 泵 起 動		表 面 沖 洗 泵 停 止	原 水 閥 開 啓
反沖洗關係閥開閉狀態		1'40"		原水閥	1'40"	
		34"		表洗水閥	34"	
				1'25" 反沖洗水閥	1'25"	
		2'30"		沖洗水排水閥	2'30"	
		1'40"		過濾水閥		1'40"

圖1.5 三層式快濾槽沖洗過程例

一般反沖洗以流速 0.6~1.0m/分沖洗10分鐘。而空氣沖洗為以 0.5~1.0m/分之流速進行數分鐘。

向上流式快濾設施，為防止濾層的流動而於其上部設有格子板，因之沖洗時無法使像向下流式之濾層產生流動化，其沖洗過程包括排水、空氣沖洗、水沖洗反復行之，約需45分鐘。

經反覆過濾、沖洗後，濾層內會產生軟泥，造成初期損失水頭。為防止軟泥之產生、沖洗時可採加氯以控制之。

沖洗用水一般都使用過濾水，有藉泵從過濾水貯留槽抽水至過濾設施之方法，及將沖洗水貯留於高架水塔，利用差壓以送水的方法。沖洗所需水量一般約為過濾水的數%左右。

沖洗排水由於含多量 S S，經貯留後，定量抽入廢水處理系統之進水排水井或流量調勻池與廢水合併處理之。

表1.6 向下流式快濾設施之冲洗

沖洗名稱	概要
反冲洗	(1)表面冲洗及空氣冲洗以剝落污濁物，並自濾層排出。 (2)自濾層上排出之污濁物自廢水槽排出之。 (3)藉反冲洗水使濾層呈流動化，使濾料間之摩擦以去除污濁物。
表面冲洗	(1)抑留於濾層表面的污濁物藉噴射水使其碎裂之同時，並使濾料互相摩擦以洗滌之。 (2)反冲洗效果不佳時使用之。 (3)有旋轉式、固定式。
空氣冲洗	濾層下部空氣管內之氣泡自濾層上升時，使濾層震動之同時達到濾層內污濁物剝離之效果。

1.4.9 過濾槽數

過濾槽數以考慮冲洗、檢查、維修，以分割成複數設置為宜。

1.4.10 快濾設施之維護管理

快濾設施除重力式外，出構造多為密閉式，因之過濾狀況及沖洗狀況無法目視，維修上較不便。

因此應注意經常的過濾狀況及濾層的沖洗狀況，必要時應檢查槽之內部，以防影響過濾。主要的操作管理項目如表1.7。

表1.7 操 作 管 理 概 要

檢查項目	每日檢查項目	每月一次項目	6個月～1年一次
過濾水質	○		
過濾狀況(重力式)	○		
過濾壓力	○		
沖洗之時間	○		
過濾初期損失水頭	○	○	
沖洗廢水檢視	○		
過濾槽內檢查			○
泵、閥等	○	○	

1.5 問題案例與對策

(1)活性污泥法處理後經終沉池之流出水，以快濾過濾，由於污泥的流出，造成快濾池經

常阻塞，每日要沖洗數次，否則無法過濾。

經調查後為廢水處理系統流量調勻槽操作不當，未能有效均勻化流量及最終沉澱池排泥不當所造成，經改善後，過濾原水污泥量減少，而獲致改善。依本例必須從廢水處理系統進行改善。

(2)電鍍工廠混凝沉澱處理設施之後附設過濾設施，於每月一次設備總檢查時發現沉澱處理水質與過濾水水質無異，經檢查過濾設施發現濾料上附着污泥，致濾層上呈水跡。

該廠設置過濾設施乃因廢水量超負荷，沉澱不足而欲以過濾去除溢流 S S。本對策應自廠內用水合理化着手，減少水使用量，提升混凝沉澱處理的效果。而過濾設施則僅做為安全保障之使用。

(3)快濾過濾前後之水質，某日一次檢查其水質，發現過濾水水質比過濾前水質差。

經查乃因每 2 ~ 3 日一次的沖洗不夠充分，調查當日自槽內流出 S S 所引起，經改以每日一次的沖洗獲致改善。此乃因二級處理水水質良好，致過濾損失水頭小，要達到設計損失水頭始沖洗要多日，致發生腐敗，此種現象則應於一定時間反沖洗一次為宜，以免腐敗。

(4)工廠內設置虹吸式過濾設備，反沖洗時為終止反沖洗之虹吸導管較短，致未能充分沖洗而終了，故反沖洗後過濾水水質發生惡化之現象。

增長虹吸導管，延長反沖洗時間以改善之。

二、活性碳吸附法

2.1 目 的

活性碳吸附法，為藉活性碳的吸附作用吸附處理水中所含之溶解性或難分解性之有機物或無機物，其利用目的包括下列：

- (1)去除 BOD 及 COD 等
- (2)脫色
- (3)脫臭

活性碳吸附設施通常為生物處理設施及物理化學處理設施之後，所附加之設施，以達上述處理設施未能處理達到之水質或處理水擬再用時所需之處理設施。

活性碳吸附法在自來水淨水上利用為除臭，去除清潔劑、農藥等為目的之用。最早使用於美國於1929年做為自來水除臭之用，而於1960年代使用為廢水處理。

2.2

活性碳為具有很多細孔的多孔性物質，物質之被吸附經由下列所示三種過程：

- (1)被吸附物質移行至多孔性物質表面。
- (2)被吸附物質擴散入多孔性物質的細孔內。
- (3)被吸附物質被多孔性物質之細孔表面所吸附。

活性碳之呈多數之細孔，為活性碳於賦活（活性化）時，碳成分被去除，而產生很多孔

隙。活性碳因具很多細孔，因其表面積多達 $500 \sim 1,700 \text{m}^2/\text{g}$ ，單位重量之活性碳其吸附容量大。活性碳之細孔依其直徑可分為三類：

- (1) micro 孔
- (2) transitional 孔
- (3) macro 孔活性碳吸附作用分布模式如圖 2.1。

活性碳物質的吸附，依被吸附物質之分子的大小及活性碳細孔吸附位置之不同，其吸附量亦異，表2.1 為活性碳細孔之概況。若被吸附物質之分子大小比活性碳細孔之直徑為大時，則無法浸入活性碳的表面，則該部份的活性碳就無法吸附到物質。而以能浸入到活性碳表面可吸附範圍，被吸附物質才能被吸附。

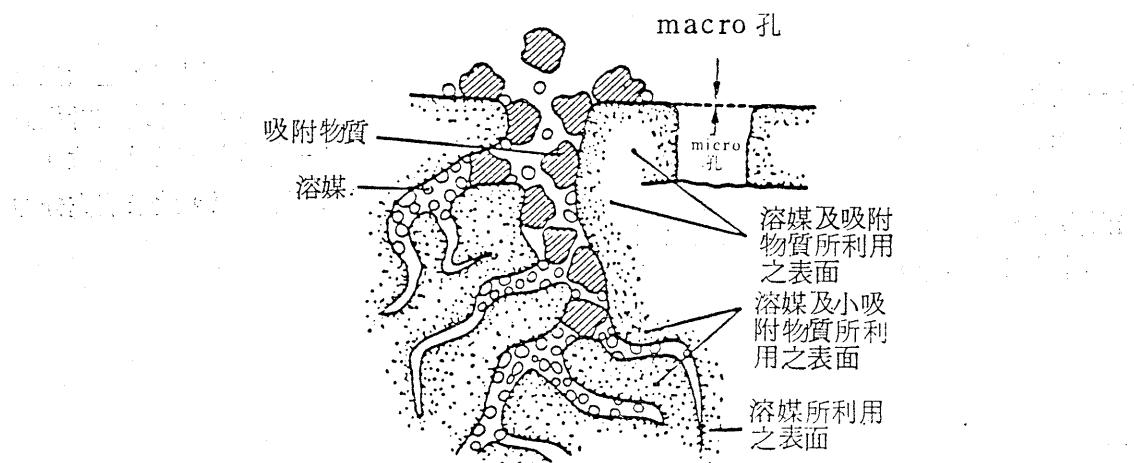


圖2.1 活性碳吸附作用分佈圖

表2.1 活性碳細孔概況

細孔名稱	細孔半徑 (A°)	水蒸氣賦活活性碳		
		細孔容積 (ml/g)	比表面積 (m^2/g)	比表面積比例
micro 孔	~ 20	$0.25 \sim 0.6$	$700 \sim 1,400$	約 95%
transitional	$20 \sim 1,000$	$0.02 \sim 0.2$	$1 \sim 200$	約 5%
macro	$1,000 \sim 100,000$	$0.2 \sim 0.5$	$0.5 \sim 2$	很低

註：(1) $\text{A}^\circ = 10^{-8} \text{cm}$

(2) 比表面積比例 = $\frac{\text{各細孔之比表面積}}{\text{細孔之總比表面積}} \times 100$

一般廢水處理被吸附物質之分子比氣體之被吸附物質之分子為大，因此直徑較小的 micro 被吸附較少，而以比 micro 之徑為大的 transitional 為主要被吸附者，transitional 的吸附量被認為係支配活性碳之吸附量者。

活性碳之吸附能力以吸附量及吸附速度為重要因素，而依活性碳之性質、被吸附物質濃度等而異。

活性碳吸附量的表示式有 Langmuir 式、BET 式 (Brunauer、Emmett、Teller) 及 Freundlich 式等，廢水中物質之吸碳與 Freundlich 之等溫吸附式較接近：

$$Q = KC^{1/n} \quad (1)$$

$$\log Q = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

Q：活性碳單位重量之吸附量

C：活性碳處理後（處理水）之濃度

K, $\frac{1}{n}$ ：表示吸附特性之係數

物質被活性碳吸附時，依移向活性碳，向細孔內部擴散及被細孔表面所吸附三個過程。這三個過程各項之速度為影響活性碳吸附速度之主要原因。

一般認為活性碳細孔表面之吸附速度大於物質移向活性碳及向細孔內部之擴散之速度。粉狀活性碳者，物質之向表面移行速度為吸附速度之限制因子，粒狀活性碳者則以活性碳細孔內部之擴散速度為限制因子。

2.3 活性碳及活性碳吸附法之分類

2.3.1 活性碳分類

活性碳為由鋸木屑、木材、椰子殼等之植物質及煤碳、石油殘渣、油碳等礦物質為原料，於經脫水、碳化及賦活之製造過程而製成。

活性碳之賦活方法可分為氣體賦活活性碳及藥品賦活活性碳，其概況列如表2.2。

表2.2 活性碳賦活方法分類

活性碳名稱	用 生 方 法
氣體賦活碳	原料置於碳化爐予以碳化後，移入多段爐等再生爐，噴以水蒸氣，於 800~1000°C 賦活之
藥品賦活碳	添加氯化鋅、磷酸等藥品於原料後，移入多段爐予以燒成，再將其脫水、碳化、水洗等精製而成。

活性碳之形狀可分為粉狀活性碳及粒狀活性碳。廢水處理多使用粒狀活性碳，其特性示如表2.3。廢水處理所使用粒狀活性碳之一般物理性質示如表2.4。

表2.3 活性碳之形狀及其特性

活性碳名稱	製造方法	特性
粒狀活性碳	原碳予以粉狀化後，與其他原料混合，再以成形機成形後再碳化，其後以水蒸氣賦活之。	(1)吸附速度較粉狀為慢。 (2)與水的分離較容易。 (3)再生容易。 (4)填充於吸附塔以流體床使用之。 (5)與粉狀相比較，其搬送較方便。
粉狀活性碳	不需造粒等加工而可賦活之。	(1)吸附速度快。 (2)使用時不需要複雜的裝置，以接觸過濾達到吸附。 (3)有飛散之問題，搬送較不方便。

表2.4 廢水處理用粒狀活性碳之物性

項	目	物	性	值
表 面 積				500~1700(m ² /g)
細 孔 容 積				0.6~1.5(cm ³ /g)
粒 徑				8~30mesh
粗 比 重				0.4~0.5(g/cm ³)
真 比 重				2.0~2.2(g/cm ³)

2.3.2 吸附法之分類

活性碳吸附法若依吸附裝置之方式分類之，有四種，其概要如表 2.5。

廢水處理常用之固定床吸附裝置之分類示如表 2.6。

表2.5 活性碳吸附法之分類

方式名稱	概要	活性碳之形狀	接觸時間	設備費	設置面積	活性碳使用期間	略	圖
接觸過濾	粉狀活性碳直接投入凝聚沉澱設施，於攪拌之同時達吸附效果，吸附後之活性碳予以分離之。	粉 狀	長	便 宜	—	短	—	

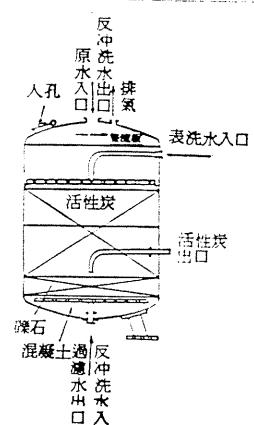
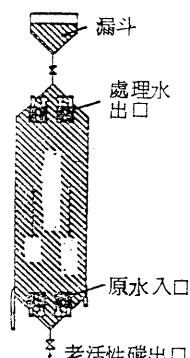
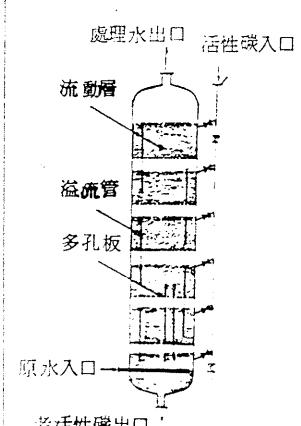
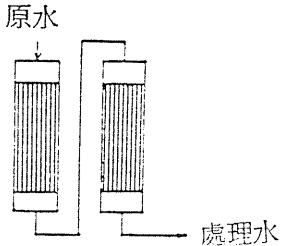
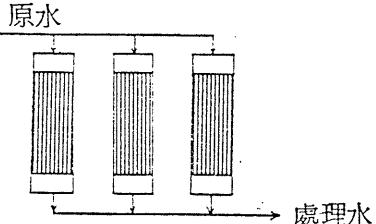
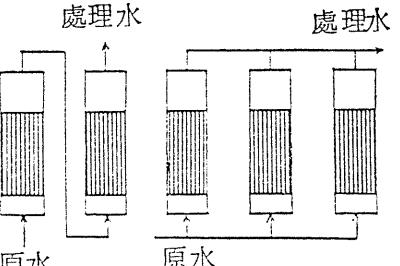
固定床	填充粒狀活性 碳於塔或槽內 ，其流水方向 有向上流及向 下流，壓力或 重力式及加壓 式等分類	粒 狀	短~長	比較高	比較廣	長 期	
							(a)固定床吸附設施
移動床	水以加壓狀態 向上流，活性 碳自塔之上部 連續投入，自 下部排出。亦 有間歇投入及 排出者。	粒 狀	短~長	比較高	可較小	長 期	
流動床	由於係向上流 故可使活性碳 維持流動狀態 ，使水與活性 碳在流動中相 接觸達吸附。	粒 狀	短	比較高	比較廣	長 期	

表2.6 固定床吸附裝置分類

方式名稱	概要略	圖
向下流	串聯式 (1)一塔或多塔串聯。 (2)一塔者使用於被吸附物質濃度低或易吸附者。 (3)複數塔者，以被吸附物質濃度高者或吸附差者用之。	
	並聯式 (1)被吸附物質濃度低或吸附性佳者用之。 (2)處理大量水時用之。	
向上流	串聯及並聯式 (1)一塔或多塔者。 (2)串聯與並聯同為向下流式。 (3)活性碳可膨脹10%，因之必須注意流速，以防活性碳流出。	

2.4 吸附裝置設計時應注意事項

2.4.1 處理水質

廢水以活性碳處理時，廢水中的有機物及SS若高者，應先以凝聚沉澱或快濾法去除之。活性碳吸附裝置能吸附之污濁物質之種類及去除率，依物質而異，因之在設計之前對於原水之水質及水量的變化必須先行充分檢討，必要時應先行實驗或模廠探討其目標水質後決定之。

2.4.2 活性碳之吸附量

活性碳之吸附力以吸附量及吸附速度表之。吸附力及性質之評估示如表2.7。

活性碳之吸附量為活性碳單位重量（乾重）所可吸附物質之重量或容積之稱。

活性碳吸附設施於選定活性碳之種類時，必先對各種活性碳的吸附量及吸附性質進行實驗，等溫吸附法即為其一。為將活性碳投入含有被吸附物質之液體中，在等溫下使其與活性碳接觸達到吸附平衡，進而調查被活性碳吸附物質的量。調整與液體相接觸的活性碳的量，

吸附後液體中殘留之被吸附物質之濃度 (C) 及活性碳之吸附量 (Q)，將其值點繪於雙對數紙上，可求出等溫吸附線。藉該等溫吸附線，可知道達平衡狀態時之吸附量及活性碳之吸附特性，此一等溫吸附線與 Freundlich 式相近似。

表2.7 活性碳評估內容

區別	項	目	評	特記事項	
				○平常實施	△必要時實施
一般性質	形 狀，原 料		○	破碎，粒狀成形，煤碳，木碳	
	粒 徑		○	平均粒徑，粒徑分佈	
	密 度		○	充填密度，粗密度	
	強 度		○	破碎強度，壓縮性強度	
表 面	細 孔 容 積		△	水銀壓入式，BET 式	
	比 表 面 積		△	BET 式	
等溫吸附	Iodine		○	—	
	Pheno		△	—	
	Methylene blue		○	有機溶解物對象	
	TOC, COD (實廢水)		○	COD 平衡吸附，常溫~40°C	
操作條件	摩 耗 係 數		△	—	
	過 濾 吸 附 層		○	過濾速度	
	再 生 損 失		○	—	
化學性質	水 分，pH		○	—	
	灰 燼		○	金屬氧化物，垢殼成分	
	電 導 度		△	—	
其 他	吸 附 速 度		△	粒內擴散係數	
	反 沖 洗 效 果		○	—	
	通 水 阻 力，分 級		△	—	
	選 擇 吸 附 性		△	—	

圖2.2 為各種活性碳等溫吸附線變化之例，各種活性碳之形狀示如表 2.8。活性碳之種類依吸附狀態而異，依活性碳的種類，同一活性碳也有如 A、D、E 由於殘留濃度之變化，其等溫吸附線有曲折者。

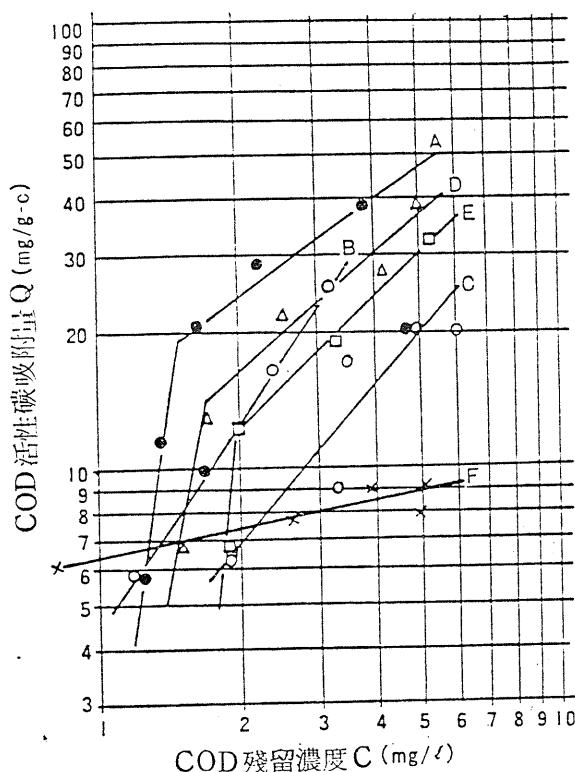


圖2.2. 等溫吸附線 (原水COD=2mg/l)

表2.8. 圖2.2. 中名種活性碳之形狀

活 性 碳	原 料	形 狀	尺 寸 (mm)
A	石 油 渣	真 球	0.25~0.6
B	煤 碳	破 碎	0.24~0.5
C	煤 碳	球 狀	—
D	煤 碳	破 碎	1.4~0.35
E	煤 碳	破 碎	0.24~0.5
F	煤 碳	球 狀	0.24~0.5

等溫吸附線 Freundlich 式之適用性可以下表之

(1)K、 $1/n$ 為常數， $1/n$ 為等溫吸附線之坡度。

(2)若直線彎折，則以彎折點起為另一K， $1/n$ 值。

Freundlich 式中，吸附量Q和殘留濃度C之關係為當C=1時 $\log Q = \log K + \frac{1}{n} \log C$

之Q值可從圖讀出，亦爲K值。

例：依圖2.2中等溫吸附A，試求其K及 $1/n$ 值。

A在殘留濃度爲 $1.6\text{mg}/\ell$ 時爲境界點其等溫吸附殘發生曲折， $1.6\text{mg}/\ell$ 以上之等溫吸附線之K， $1/n$ 之計算，當C=1時由圖得Q=15，因Q=K，故K=15。

C=4時同樣由圖得Q=39，

C=2時Q=24，

將上述數值代入式得

$$\log 39 = \log 15 + \frac{1}{n} \log 4 \quad (1)$$

$$\log 24 = \log 15 + \frac{1}{n} \log 2 \quad (2)$$

(1)-(2)則

$$\log 39 - \log 24 = \frac{1}{n} (\log 4 - \log 2)$$

$$\log (39/24) = \frac{1}{n} \log (4/2)$$

$$\frac{1}{n} = 0.7$$

則其式爲

$$\log Q = \log 15 + 0.7 \log C$$

同樣計算 $1.6\text{mg}/\ell$ 以下者，其式爲

$$\log Q = \log 1.2 + 7 \log C$$

由等溫吸附線所求得之吸附量爲活性碳最大吸附量，在實際固定床式活性吸附裝置，依活性碳所附着之微生物所得之去除效果，有時較由等溫吸附線所求得的吸附量爲大之現象。

以固定床式活性碳吸附裝置處理廢水時之吸附量，依擬處理水之種類、濃度、活性碳之種類等而異，以 COD 為例約爲活性碳重量之 $5\sim30\%$ 爲多。

2.4.3 吸附速度

活性碳之吸附速度以活性碳與廢水之接觸時間有密切關係。若吸附速度小，欲達到所定之水質，與廢水之接觸時必長，故吸附設施必須較大。

活性碳之吸附速度依活性碳之種類而異，可藉連續調查活性碳之吸附量，以該量判斷吸附速度的大小。

圖2.3爲 1ℓ 之廢水中投入 500 mg 之活性碳，其吸附量之時間變化。吸附開始之數小時內之吸附速度以粒徑小者較大，因粒徑而有明顯的差異。

2.4.4 通水速度

吸附塔容量之設計，以能使處理水達目標水質以下之安定狀態，並考慮吸附塔之建設費及活性碳之再生頻率決定之。吸附塔之活性碳容量通常依 SV (空間速度：1小時內流經之水量爲充填活性碳之幾倍量值) 及接觸時時間 ($1/SV$) 等決定下。

SV 及物質之活性碳吸附去除率之例示如圖 2.4。此爲固定床式之吸附裝置，同一裝置

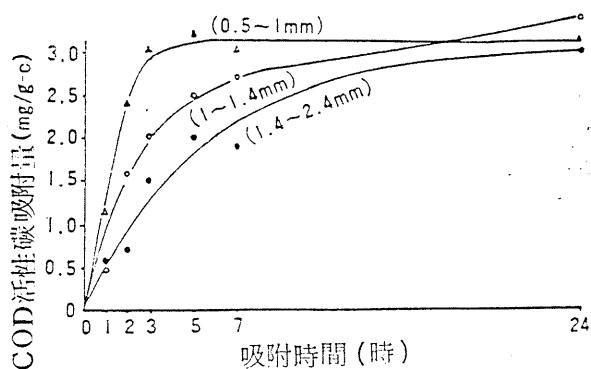


圖2.3 吸附速度（為不同粒徑之活性碳，括號內為粒徑）

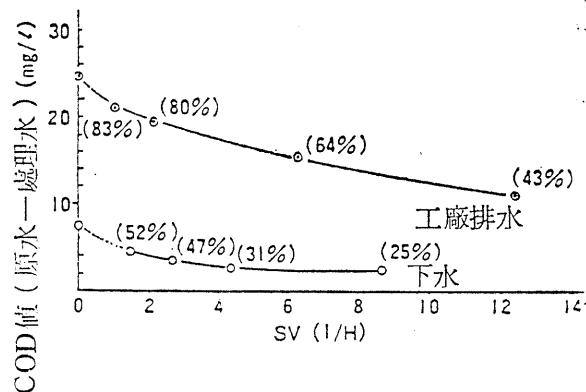


圖2.4 SV 對 COD 去除之影響（括號內為 COD 去除率）

* 於改變 SV 時之 COD 去除率例。

SV 取較大值，則吸附塔內活性碳填充量少（吸附塔小），因吸附塔之絕對吸附量減少，致活性碳之再生頻率必須增加。反之 SV 小則活性碳量多（吸附塔大），再生頻率低。因之設定 SV 時必須考慮處理水水質，再生頻率之差的費用後設定之。

廢水處理通常多用固定床式吸附設施，其設計條件一般為：

SV (容積速度) ... $1 \sim 6 \text{ hr}^{-1}$

LV (線速度) : $2 \sim 15 \text{ m/hr}$

接觸時間 (1/SV) : $10 \sim 60 \text{ 分鐘}$

活性碳層厚度：吸附塔直徑： $1:1 \sim 4:1$ 。

固定床式吸附設施之通水阻力，與活性碳粒徑、LV 之關係示如圖 2.5。速度愈大壓力損失愈大，對於向上流者有造成填充層流動化之問題，應加注意。

設定 SV 時，藉模廠或筒進行實驗，以其結果進行設計者為多，筒實驗時以下列目的進行之：

(1)同一通水條件下複數之活性碳之性質比較。

- (2) 決定達到目標水質所需最小接觸時間。
- (3) 填充層厚度及 LV 改變時之壓力損失。
- (4) 反沖洗時活性碳之膨脹率。
- (5) 活性碳之需要量及再生量。

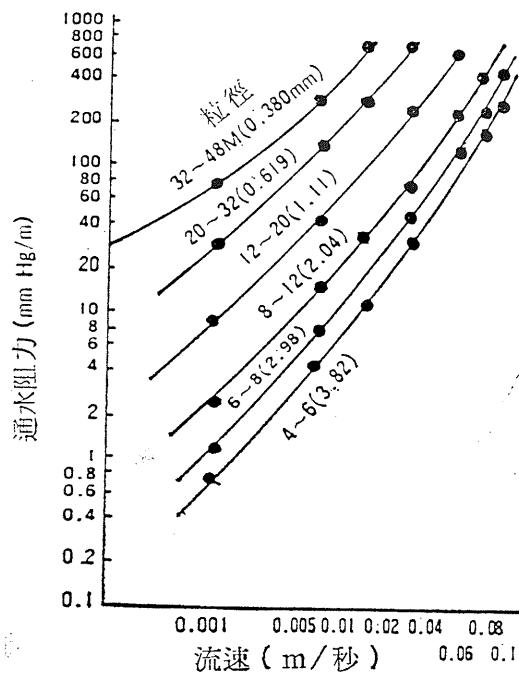
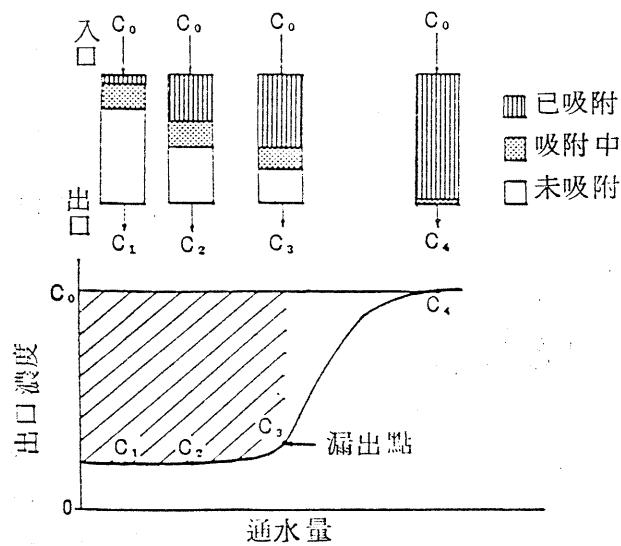
圖2.5 活性碳填充層通水阻力 (20°C)

圖2.6 筒 吸 附 實 驗

筒試驗為如圖 2.6 所示，將含有一定濃度之被吸附物質的液體，以一定速度流入填充活性碳之筒內，連續檢測流入口及流出口之濃度，直至出口之濃度與入口濃度相等時為止。出口濃度在初期維持幾乎一定，當到達漏出點後濃度漸高，直至與入口濃度相同。若入口濃度一定，則至漏出點為止活性碳所吸附物質的量為圖中斜線部份的面積，約為

$$\text{通水量} \times (C_0 - C_1)$$

同時也可估計出自開始吸附至漏出點之吸附繼續時間及通水量。

2.4.5 冲洗

經過一段時間通水後，固定床吸附設施之活性碳層由於去除廢水中的 SS 而增大損失水頭，當其達所設定之損失水頭或通水時數後，就必須進行沖洗，通常以每日一次為宜。

表 2.9 為固定床之洗淨操作，活性碳之沖洗速度依活性碳之粒徑而異。當速度為 0.3~0.6m/分時，活性碳之膨脹率為 30~50% 左右。

表2.9 活性碳層沖洗操作

No.	操作	所需時間 (分)	使用水量 (m ³)	方 法
1	排水	2	20	開啓水閥，將原水排出。
2	表洗	5	20	表洗流量達 200m ³ /hr 連續 5 分鐘。
3	沉整	5	—	表洗流量達 0 起 5 分鐘。
4	反冲洗	35	200	反冲洗流量達 250m ³ /hr 開始，其後以(20m ³ /hr)/分 增加之，於 5 分鐘後，達 350m ³ /hr，並以此一流量反冲洗 30 分鐘。
5	填水	5	20	反冲洗完成後，以 200m ³ /分填水。
6	沉整	10	—	
7	過濾			恢復平常的處理操作。

2.4.6 活性碳再生

當活性碳之吸附能力降低，應即行再生或換新碳。通常粒狀活性碳行再生，粉狀碳則予廢棄或再生使用之。

再生可委託辦理或自行設置再生設備再生之，以每日所需再生量，評估其經濟性後決定之。活性碳之再生一般採用加熱再生法，本法可分為三階段：

第 1 階段為活性碳水分之蒸發。

第 2 階段則為被吸附有機物質之碳化。

第 3 階段活性碳內殘渣物之氣化並達活性化。

加熱再生法將其再生方式分類之，粒狀活性碳有(1)多段式、(2)旋轉式、(3)流動床式、(4)移動床式。粒狀活性碳則有(1)流動床式、(2)噴霧式。上述概要示如表 2.10。

再生後之活性碳雖其吸附能力大部份已恢復，但在再生時因加熱而約損失 3~10%，此一損失部份必須以新碳補充之。而再生時以能減少損失為宜。表 2.11 為多段爐再生時活性碳之性質。

表2.10 加熱再生法之分類

名稱	再生方式	概要
多段式		(1)活性碳自上段供給，藉攪拌機攪拌移入下段以加熱再生之。 (2)段數多為6段者。 (3)乾燥(1~3段，15分鐘，~100°C左右)。 (4)焙燒(4段，5分鐘，~800°C左右)。 (5)賦活(5~6段，10分鐘，80~100°C左右)
粒狀活性碳	旋轉式	(1)藉1~2支旋轉臂行之，有內燃式及外燃式爐。 (2)2支者，通常其乾燥以內燃式熱效高，又活性化時則遮斷空氣，以減少再生損失，使用外燃式，以800~1000°C再生之。 (3)再生時間40~60分鐘。
	流動床式	(1)自下部通以燃燒氣體，使活性碳呈流動化，當活性碳移向下部時，進行乾燥·焙燒·賦活(900~1000°C)。 (2)溫度及水蒸氣的調節困難。 (3)爐內停留時間達1~6小時。
	移動床式	(1)內部設活性碳填充層，活性碳自上向下連續移行時，藉燃燒氣體再生之。 (2)燃燒氣體溫度，入口1,000°C，出口70~80°C左右。 (3)乾燥(1~1.5小時)，焙燒(1~1.5小時)，賦活(10~30分鐘)，冷卻(2~2.5小時)。
粉狀活性碳	流動床式	(1)在砂流動之爐內投入粉狀活性碳，在爐內4~8秒鐘，800~1000°C下再生之。 (2)自再生裝置取出之活性碳以水冷卻之，以刷洗器回收之。
	噴霧式	(1)50%左右脫水後的活性碳或泥漿狀之活性碳，以水蒸氣、空氣等在900~1000°C之再生爐予以噴霧，經1~5秒鐘可達再生。 (2)自再生裝置取出之活性碳以袋濾器回收之。

2.5. 操作管理

活性碳吸附裝置於通水一段時間後，其吸附能力將降低，因之應經常測原水和處理水之COD值，以推測活性碳之再生時間。又通水時間愈長，則損失水頭增大甚至也可發現活性碳發生軟泥，故應適時沖洗之。

活性碳再生時應確實掌握其再生損失，以補充新碳，同時也應掌握再碳之吸附性及其性質。

活性碳的吸附槽及漏斗等之搬送多採泥漿狀，因之對配管及槽有摩損致造成腐蝕之虞，應定期檢查，予以塗漆或更換。

設置有再生爐者，於操作時及停止時皆應予以檢查，以防發生故障，表2.12為操作管理

表2.11 廢水處理活性碳加熱再生多段爐之性質變化

項	目	新活性碳	廢活性碳	
			再 生 前	再 生 後
乾燥減少量 (%)		1.7	41.7	0.6
填充密度 (g/cm³)		0.47	0.58	0.49
粒度 (%)	~10 mesh	—	0	0.2
	10~16	—	40.1	40.3
	16~24	—	35.1	37.2
	24~32	—	15.9	16.7
	32~	—	8.9	5.6
硬度 (%)		78.0	58.8	63.7
pH		9.9	5.8	9.6
比表面積 (m²/g)		1,075	515	1,010
細孔容積 (ml/g)		0.78	0.56	0.76
孔隙率 (%)		—	39.1	36.8
氣孔率 (%)		—	51.4	59.1
吸附力	methylene blue (ml/g)	210	100以下	190
	Phenol (mg/l)	31	600以上	25
	ABS	37	800以上	30
	Iodine (g/g)	—	9.72	0.99
再生回收率 (%)		—	—	94.8

項目的內涵。

2.6 問題案例與對策

(1)固定床吸附裝置處理二級處理放流水，水質每一個月才檢驗一次，致活性碳處理效果降低也未注意到。

應經常檢測處理水水質，適時更換活性碳達改善之。

(2)染整工廠設置移動式吸附設備，自吸附設備抽出之活性碳，於乾燥後採通電再生方式，由於活性碳的脫水、乾燥不充分，致未能賦活活性碳。

活性碳經改以振動篩、乾燥等設施後，於充分乾燥後達正常再生狀況。

表2.12 操作管理項目

項 目	每 日 檢 查 項 目	隨 時 或 每 月 1 次	6 個 月 ~ 1 年 1 次
處 理 水 質	○		
吸 附 狀 況	○		
活 性 碳 有 無 流 出	○		
損 失 水 頭	○		
沖 洗 次 數	○		
沖 洗 狀 況	○	○	
再 生 狀 況 及 損 失	○	○	
再 生 爐 之 操 作	○	○	
再 生 爐 之 檢 查		○	○
泵 、 閥 等	○		
配管、槽等摩耗及腐蝕			