

活性污泥法之設計與應用

鄭仁川*

一、前　　言

在廢水處理單元中活性污泥法是最常使用之生物處理方式，由於其能經濟有效地處理高生化需氧量(BOD)，故被廣泛應用於都市污水及有機性工業廢水之處理，自1917年出現世界上最早之活性污泥法處理廠，而後相繼開發的有階梯曝氣法、修正曝氣法、接觸穩定法、高率活性污泥法、延長曝氣法、氧化渠法、分批式活性污泥法以及最近研發之超深層及深層活性污泥法、厭氧及厭氧好氧活性污泥法等，甚至現在仍有不少活性污泥法被研究開發中。

除最近所研發之活性污泥法較少有實例外，其他大多已有不少之設計實例。鑑於國內書籍所刊載之內容常著重於某一設計依據，而卻無有系統予以彙整，筆者乃廣泛收集活性污泥法之相關資料予以彙編整理成本文，其內容主要介紹常用活性污泥法之設計重點以及典型設計依據之應用要領，希望能對國內從事廢水處理設計者有所助益。

二、原理概述

活性污泥(activated sludge)乃是由細菌、原生動物(protozoa)、輪蟲(rotifer)與真菌(fungi)等混合微生物群所構成。但對廢水中有機物之穩定作用主要靠細菌進行，而原生動物與輪蟲則有清除分散性細菌之作用。細菌在好氧環境下利用有機基質(substrate)，首先由有機基質在細胞壁上接觸，而後質傳(mass transfer)輸入細胞內，再由細胞的代謝作用加以利用，使生成最後產物二氧化碳與水逸出細胞外，若有機基質為可溶性者，可立即質傳輸入細胞為其利用，若為膠體狀或較大顆粒狀，則需先經由細胞外酵素作用令其水解分化後才能被細胞利用。為了獲得澄清的處理水，微生物於去除有機物之後，仍需再加以分離，即利用二級(最終)沉澱池行固液分離，此時由於生物膠凝作用(bioflocculation)，使細小微生物結合成較大膠羽而加速沉降。經過分離的微生物群(即活性污泥)部份連續迴流至曝氣槽，部份成為剩餘污泥(excess sludge)排出另行處理之。活性污泥法之處理流程如圖1所示。

*中鼎工程股份有限公司環工專案室工程師

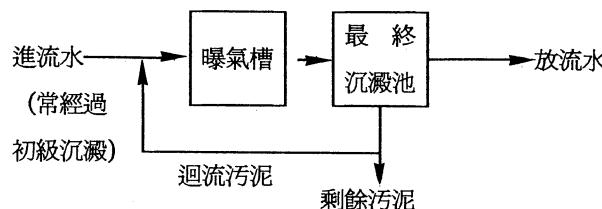


圖 1 活性汙泥法之處理流程

三、設計概要

3.1 活性汙泥法之分類

活性汙泥法處理廢水之方式，除有標準活性汙泥法之外，尚有各種修正法，各種處理方式如圖 2 所示。而各種活性汙泥法之經驗設計值則如表 1 所示。

3.2 影響處理效率之各項因素

影響處理效率之因素甚多，包括汙泥停留時間、汙泥迴流比、溶氧量、汙泥容積指數(SVI)、有機物(一般以生化需氧量表示)之容積負荷及汙泥負荷、營養分及溫度等。

1. 污泥停留時間(SRT)：與廢棄汙泥量(Q_w)、濃度(X_w)及曝氣槽容積(V)、MLSS(X)等有關。若忽略出流水所帶出之固體，汙泥停留時間之關係如下：

$$SRT = \frac{XV}{Q_w X_w}$$

2. 有機物汙泥負荷：又稱為食微比(F/M) 單位為 day^{-1} ，即有機物量(X_o) 與微生物量(MLSS)之比值，一般傳統活性汙泥法之MLSS(X)在 $1,500 \sim 3,000 mg/l$ 為最適宜，其關係式如下：

$$\frac{F}{M} = \frac{X_o}{X_t}$$

式中， t ：曝氣時間， day 。

在操作系統中，如能維持正常的活性汙泥就可得到最佳放流水質，而活性汙泥的性狀視微生物生長情況而定。要使微生物生長良好，食物分配要適中，亦即維持適當的食微比(F/M) 和汙泥停留時間(SRT)。

否則在高 F/M (即低SRT) 將引起絲狀菌及沉降性不佳之鬆散膠羽，而在低 F/M (即高SRT)，將使膠羽氧化，甚至解體成細小膠羽， F/M 與活性汙泥膠羽之特性如圖 3 所示。

處理方式	流程圖
1. 標準活性汚泥法 2. 修正曝氣法 3. 延長曝氣法	<p>流入水 → 曝氣槽 → 最終沉澱池 → 放流水</p> <p>迴流污泥 → 曝氣槽</p> <p>最終沉澱池 → 剩餘汚泥</p>
4. 階梯曝氣法	<p>流入水 → 曝氣槽 → 最終沉澱池 → 放流水</p> <p>曝氣槽 → 回流污泥</p> <p>最終沉澱池 → 剩餘汚泥</p>
5. 接觸穩定法	<p>流入水 → 曝氣槽 (接觸) → 最終沉澱池 → 放流水</p> <p>曝氣槽 (接觸) → 回流污泥</p> <p>再曝氣槽 (穩定) → 最終沉澱池</p> <p>最終沉澱池 → 剩餘汚泥</p>
6. 高率曝氣沉澱池	<p>流入水 → 沉澱部 (左) → 曝氣部 (右) → 放流水</p> <p>曝氣部 → 剩餘汚泥</p>
7. 氧化渠法	<p>流入水 → 渠 (滾轉輪) → 最終沉澱池 → 放流水</p> <p>渠 → 回流污泥</p>
8. 分批式活性汚泥法	<p>Y-axis: 最大水量之比 (0 to 1.00)</p> <p>X-axis: 週期 (0 to 1.00)</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▽ 液面 (Water Level) ▨ 污泥界面 (Sludge Interface) ↖ 曝氣 (Aeration) <p>Process phases indicated on the graph:</p> <ul style="list-style-type: none"> 流入 (Inflow) at 0-0.25 反應 (Reaction) at 0.25-0.50 沉澱 (Settlement) at 0.50-0.75 放流 * 停置 (Flowout * Standby) at 0.75-1.00 <p>註: 最短批式週期為 6hr</p>

圖 2 活性汚泥法各種處理方式

表1 各類活性污泥法之經驗設計值

項目 類別	BOD 污泥負荷 F/N ($\frac{\text{kg BOD}_5}{\text{kgMLSS} \cdot \text{d}}$)	BOD 容積負荷 F/V ($\frac{\text{kg BOD}_5}{\text{m}^3 \cdot \text{d}}$)	沉降時間 θ_c (天)	污水停留時間 SRT (天)	t (小時)	X (mg/l)	R _q (mg/l MLSS)	SVI	MLSS	污泥回流比	污泥容積指標 BOD ₅ 去除率 (%)	需氣量 $(\frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBOD} \text{去除量}})$	耗氣量 $(\frac{\text{mgO}_2}{\text{gMLSS} \cdot \text{hr}})$	送風量 $(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{流入量}})$	剩餘污泥 產生率 (%)	廢棄污泥 $(\frac{\text{kg}}{\text{kgBOD} \text{去除量}})$
計算法	X_0	X_0	$X_0 \cdot V$	$X_0 \cdot V$	$V \cdot 24$		Q_r			$Q_r \cdot 10^4$	Sx	R_x	R_x	B	Q_w	X_w
標準活性污泥法	0.15~0.4	0.3~1.0	4~15	5~15	4~8	1500~4000	0.15~0.50	50~150	85~95	0.8~1.1	7~15	3~7	1~2	0.4~0.6		
修正曝氣法	1.5~5.0	1.2~2.4	—	0.2~0.5	1.5~3.0	200~500	0.05~0.15	50~100	—	—	—	2~4	1~2	—		
延長曝氣法	≤ 0.15	$0.1 \sim 0.4$	≥ 20	20~30	16~36	2000~6000	0.75~3.0	40~100	75~90	1.4~1.6	3~8	10~20	0.25	0.15~0.3		
階梯曝氣法	0.2~2.0	0.3~1.0	3~15	5~15	3~8	2000~4000	0.2~0.8	50~160	65~95	0.8~1.1	7~15	3~7	1~2	—		
接觸池 接觸槽	0.2~2.0	0.8~5.6	5~15	5~15	0.5~3.0	1000~4000	0.5~1.0	50~100	80~95	0.4~0.6	20~30	6~14	0.25	—		
定法 穩定槽		1.0~1.2		3.0~6.0	4000~10000					0.3~0.5	10~30					
高淨度氯化法	0.4~1.5	0.6~16	2~15	5~10	0.5~4.0	3000~10000	0.3~5.0	50~100	75~90	0.7~0.9	15~25	5~8	—	0.5~0.7		
氯化法	0.03~0.05	0.1~0.2	—	20~30	24~28	3000~4000	0.2~0.7	50~100	—	—	—	0.25	—			
分批式活性污泥法	0.05~0.5	0.15~0.40	10~40	—	8~24	4000~10000	—	50~100	80~90	—	—	—	—	—		

註：1. O_2 密度於0°C，760mm=1.42g/l。2. XV (MLVSS)=0.8×MLSS。3. X_0 ：進流BOD (mg/l)。4. X_e ：放流BOD (mg/l)。5. V ：曝氣槽容積(m³)。6. ΔX_V ：總剩餘揮發性污泥產生量(kgVSS/day)。7. Q_w ：廢棄污泥量(m³/d)。8. X_W ：廢棄污泥濃度(mg/l)。9. Q_r ：迴流污泥量(m³/d)。

10SV：30分鐘沉積污泥量(%)。

11. Sx ：BOD 去除量($=X_0 - X_e$)。12. X ：MLSS中生物所能分解之比率。13. R_x ：總需氧量(kgO₂/d)。14. B ：送風量(m³/d)。15. Q_o ：流入污水量(m³/d)。

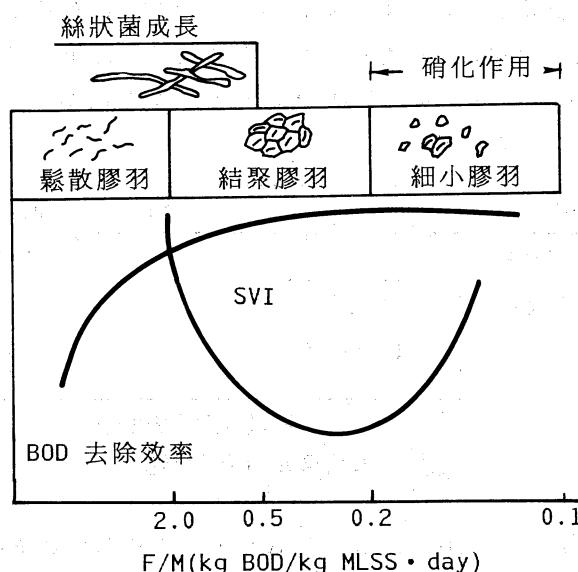


圖 3 F/M與活性污泥膠羽特性

3. 污泥容積指數(SVI)：自曝氣槽取出之混合懸浮固體液倒入1L的量筒中靜置30分鐘，

1克活性污泥(乾)所佔之容積(ml)表示。即

$$SVI = \frac{\text{活性污泥在1L量筒所沉降的體積}(ml/l)}{MLSS(g/l)}$$

若SVI值太大則表示污泥沉降性不佳，亦即增加終沉池流出水之懸浮固體量，減低處理效果，且增加迴流污泥量。若SVI值太小，則表示污泥太過份緊密(compact sludge)，排泥困難且易阻塞污泥管線。傳統式活性污泥法之污泥指標介於70~140時，係表示污泥沉降性良好。

4. 污泥迴流比(Rq)：其值異動時可更改曝氣槽中微生物的生長速率，進而影響MLSS濃度、空氣使用量和沉降性。迴流比之決定方法有二。

方法A：迴流比可由流量、MLSS濃度及污泥沉降性決定之：

$$Rq = \frac{Q_r}{Q_o} = \frac{X}{\frac{10^6}{SVI} - X}$$

方法B：迴流比亦可利用由MLSS濃度和流量求得的系統近似污泥濃度來估算：

$$Rq = \frac{Q_r}{Q_o} = \frac{\frac{X}{X_r}}{1 - \frac{X}{X_r}}$$

至於經最終沉澱池沉降之污泥究竟應迴流多少固體物才能維持所需F/M中曝氣槽之MLSS濃度？一般而言可藉質量平量平衡估算之。從圖4之關係值可知，曝氣槽之SS質量平衡公式為 $QoS_0 + QrX_r = (Qo + Qr)X$ ，由於 S_0 之濃度遠比 X 及 X_r 低，故在估算迴流比 R_q 時常可予以省略，如方法B所示。

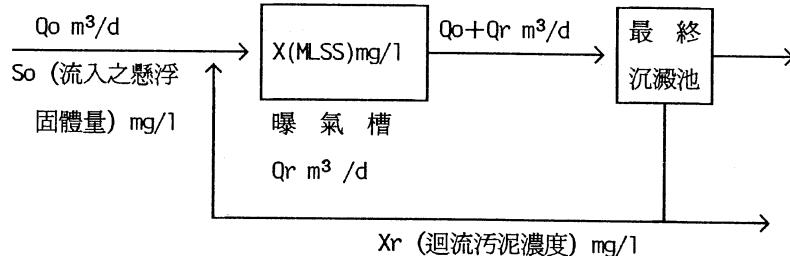


圖4 曝氣槽質量平衡關係

5. 溶氧量：活性汚泥程序中必須有充足之溶氧量，以使整個曝氣槽維持喜氣狀態，夜間污水量與強度雖然較低，所需氧量較少，但於任何時間曝氣槽內至少應有 0.5mg/l 之溶氧；為達此要求，曝氣槽流出口之溶氧量至少要有 2.0mg/l ，且槽中宜維持在 $1\sim 3\text{mg/l}$ 左右。依標準活性汚泥法而言，其空氣供應量一般在 $3\sim 7\text{m}^3/\text{m}^3$ ，其餘方式所需要之送風量可參考表1所示。
6. 資養分：廢水處理上活性汚泥法微生物化謝所必須之營養分，依微生物之組成、種類而異，除碳水化合物外，尚需少量的氮、磷及其他微量的鐵、鈣、鉀等，一般以 $\text{BOD}_5 : \text{N} : \text{P} : \text{Fe} = 100 : 5 : 1 : 0.5$ 為最適當。工業廢水中營養分不平衡時，不足之氮可添加 NH_4OH 或 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (尿素)；磷可添加 Na_3PO_4 或 H_3PO_4 ；而鐵則可添加 FeCl_3 以平衡之。
7. 溫度：微生物由於溫度上升而增加代謝速度，有機物之去除率亦因代謝速度而異，故活性汚泥池效率會因流入廢水溫度之變化而增減，一般曝氣槽溫度以 $20\sim 30^\circ\text{C}$ 為宜。而活性汚泥池受溫度影響關係為：

$$K_T = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

式中， K_T 及 K_{20} ：溫度 T 及 20°C 之去除率係數

θ ：溫度校正係數

其中在不同程序溫度下之 θ 值如表2所示。

表2 溫度對活性汚泥溫度校正係數 θ 的影響

程 序	溫度範圍	θ
醋酸鹽去除	0~10°C	1.042
	20~25°C	1.214
酚去除	0~10°C	1.131
	10~20°C	1.056
混合有機化學品廢水	—	1.055

四、設計重點

4.1 設計條件

活性汚泥系統之設計必須考慮下列條件：

1. 曝氣槽內汚泥負荷要維持一定。
2. 維持一定值以上的溶氧量。
3. 最終沉澱池分離出之汚泥應濃縮至比曝氣槽活性汚泥濃度還高。
4. 為維持曝氣槽內汚泥濃度一定，應連續迴流汚泥至曝氣槽。
5. 去除SS、分解BOD 所增殖之微生物，為維持一定汚泥停留時間，應予以排出處理。

並且需先經預先處理，以除去可能干擾處理及操作之污染物，包括如下：

1. 油脂與漂浮物若超過50mg/l，須以撇除槽 (skimming tank) 或油水分離器除去之。
2. 若含鉻、銅、鎳等重金屬或其他毒性物質等抑制物質超過某一濃度時，須先行除去，各抑制物質之界限濃度如表3。

表3 活性汚泥法抑制物質之界限濃度

抑制物質名稱	符號	界限濃度
酸 (鹽酸、硫酸、硝酸等)	pH	< 5
鹼 (苛性鹼、消石灰)	pH	9~9.5
氯化物 (氯化鉀、氯酸)	CN(mg/l)	1~1.6
硫氯化物	CNS(mg/l)	36
鉻酸鹽、鉻酸、硫酸鉻	Cr(mg/l)	2~5
銅化合物	Cu(mg/l)	1
鎳化合物	Ni(mg/l)	6
鋅化合物	Zn(mg/l)	1~3
錫化合物	Cd(mg/l)	1~5
鐵化合物	Fe(mg/l)	100
食鹽	NaCl(g/l)	8~9
氯	Cl ₂ (mg/l)	0
砷化鹽、亞砷酸鹽	As(mg/l)	> 0.7
亞硫酸鈉	Na ₂ SO ₃ (mg/l)	300
甲醛	HCHO(mg/l)	800
酚	C ₆ H ₅ OH(mg/l)	>250
烷基環烴磺酸鹽	- (mg/l)	7~9.5
溫度	°C	35
溶氧量	DO(mg/l)	< 1

3. 污水之硫化物含量若超過50mg/l，須先行除去。
4. 進流水BOD 負荷 (kg/d計之) 之變化若超過3：1 (以四小時綜合水樣計算)，須設調節池平衡之。

4.2 設計依據

在許多研究中雖有描述活性污泥有機物之去除效率，然而由於活性污泥種類及操作方式之不同，目前尚無一種設計方程式可涵蓋任何條件。儘管如此，但在實驗應用上，則可利用BOD 污泥負荷、BOD 容積負荷、污泥齡等經驗設計值或是利用實驗方式先行求出相關參數後，再推求所需之設計值，以下介紹幾種典型之設計依據。

4.2.1 以經驗設計值為依據

各類活性污泥系統設計時所需之BOD 污泥負荷、污泥齡、BOD 容積負荷、污泥迴流比、需氧量等設計值可由表 1 所列之數據直接予以假設估算。惟此種設計方式雖較為便捷，但因各種廢水特性不同而在選取最佳值上仍有待經驗之累積方能獲取良好之去除效率。

4.2.2 以實驗值為設計依據

1. 依Eckenfelder 之實驗方式

可由不同之有機負荷 (F/M) 、水溫及曝氣時間 (t) 求出去除率係數K 值、污泥產生量係數a、b、需氧量係數a'、b'以及溫度校正係數θ 值和污泥齡θ_c。然後再據以設計活性污泥系統。其設計所需之相關方程式如下：

$$\text{有機物之去除} : \frac{S_x}{X_v t} = K (y_{X_0}) \quad (1)$$

$$\text{需氧量} : \text{其實驗式為 } \frac{R_x}{x X_u} = a' \frac{S_y}{x X_u} + b' \quad (2)$$

由公式(2)先求出係數a'、b'，然後再計算其總需氧量

$$R_x = a' S_x Q_0 + b' x X_v V \quad (3)$$

$$\text{污泥產生量} : \text{其實驗式為 } \frac{\Delta X_v}{x X_u} = a \frac{S_y}{x X_u} - b \quad (4)$$

由公式(4)先求出係數a、b，然後再計算其總污泥產生量

$$\Delta X_v = a S_x Q_0 - b x X_v V \quad (5)$$

$$\text{污泥齡} : \theta_c = \frac{x_u}{\Delta X_v} = \frac{x_u}{a S_y - b x X_u} \quad (6)$$

$$\text{放流水可溶性BOD 濃度} : X_e D = \frac{x_o^2}{K X_v t + x_o} \quad (7)$$

總放流水BOD : $X_e = X_{eD} + X_{es} = X_{eD} + S_{o2}$ ----- (8)

式中，

y : BOD 有機物之參數。

X_{eD} : 放流水中可溶性BOD濃度

K : 去除率係數。

X_{es} : 放流水中SS的BOD濃度

a' : 合成所需氧量之利用係數。

b' : 體內呼吸所需氧量之利用係數。

a : 汚泥增殖係數。

b : 汚泥內呼吸係數。

z : SS轉換為BOD 之比率。

X_u : 混合液揮發性懸浮固體量kg($=X_v V$)。

S_y : BOD去除量, kg/day($=S_x Q_o$)。

S_o : 進流水SS, mg/l。

其他：參見表1之註記。

2. 依生物程序之Monod 動力模式

生物程序之動力模式很多，但對基質與生物體反應之化學動力學則可以含有內呼吸作用之Monod 模式解釋之，一般而言，Monod 模式可適用於許多穩定狀態之程序，但因其對迅速變化之程序易造成錯誤，此時則不適用。

以下為Monod 動力模式之推求：

$$\text{生物合成作用} \frac{dX}{dt} = \frac{K_o S}{(K_m + S)} \quad (9)$$

基質消耗速率與細胞產生量之關係

$$\frac{dX}{dt} = -Y \frac{dS}{dt} \quad (10)$$

生物因死亡或內呼吸作用而減少之一階反應

$$\left(\frac{dX}{dt} \right) \text{內呼吸} = -K_d X \quad (11)$$

由公式(9)(11)可知基質反應速率

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-K_o X S}{Y(K_m + S)} \quad (12)$$

由公式(9)(11)可知若設 $\frac{dX}{dt} = K' X$

$$\text{則 } K' = \frac{dX/dt}{X} = \frac{K_o S}{K_m + S} - K_d \quad (13)$$

式中：

K_o : 最大比增長速率常數(hr^{-1})。

X : 微生物數量 (mg/l)。

K' : 比增殖速率 (hr^{-1})。

S : 基質 (mg/l)。

K_m : $K-1+K+2/K+1$ 。

Y : 生長係數。

K_d : 內呼吸作用減少常數。

再據以求出設計時所需之參數：

$$\text{食微比} \frac{F}{M} = \frac{K_o S}{Y(K_m + S)} \quad (14)$$

$$\text{污泥齡} \theta_c = \frac{K_m + S}{K_o S - K_d (K_m + S)} \quad (15)$$

由公式(14)(15)可得

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \left(\frac{F}{M} \right) - K_d \quad (16)$$

$$\text{放流水濃度} X_e = \frac{K_m (1 + K_d \theta_c)}{\theta_c (K_o - K_d) - 1} \quad (17)$$

$$\text{活性污泥濃度} X = \frac{Y(X_o - X_e)}{1 + K_d \theta_c} \left(\frac{\theta_c}{t} \right) \quad (18)$$

$$\text{迴流比} : R_q = \frac{1 - \frac{t}{\theta_c}}{\frac{X_r}{X} - 1} \quad (19)$$

$$\text{污泥增產率} : P_t = \frac{VX}{\theta_c} \quad (20)$$

氧之消耗速率：

$$\frac{\text{需氧量}}{Vt} = \frac{X_o - X_e}{t} (1 - d' Y_v) + 0.9d' K_d X V \quad (21)$$

式中，

X_o, X_e : 進流及放流之 COD 濃度 mg/l 。

d' : COD 及 MLSS 耗氧係數。

Y_v : $\frac{\text{mg MLVSS}}{\text{廢 污}}$ 。 (廢污表 BOD_5 、COD 或酚之意)

又若於穩定狀態時，污泥淨產量於系統流出之速率，則污泥齡可表為：

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w + Q_e X_e} \quad (2)$$

4.3 設計計算例

4.3.1 例題一

試計算曝氣槽之大小以供二級處理廠之用，已知污水流量71,000CMD，BOD=9,000公斤。1. 標準活性汚泥法之最大負荷為0.56kg BOD/m³·day，最小曝氣時間為6小時。2. 高率活性汚泥法之最大負荷為1.6kg BOD/m³·day，最小曝氣時間為2.5小時。

計算如下：

1. 標準活性汚泥法

$$(1) V \text{ (以BOD負荷為基礎)} \geq \frac{9000}{0.56} = 16,071\text{m}^3$$

$$(2) V \text{ (以曝氣時間為基礎)} \geq tQ_o = \frac{6}{24} \times 71,000 = 17,750\text{m}^3$$

(3)由(1)(2)之結果得知，所設計之曝氣槽可採用6.0小時之曝氣時間，則其容積為17,750 m³，此時，負荷

$$\frac{F}{V} \text{ 為 } \frac{9,000}{17,750} = 0.51\text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{d}$$

(4)可採用二十個方形曝氣槽，設水深為4.0m，則

$$\text{每槽寬為 } \left(\frac{17,750}{20 \times 4} \right)^{\frac{1}{2}} = 15\text{m}$$

2. 高率活性汚泥法

$$(1) V \text{ (以BOD負荷為基礎)} \geq \frac{9000}{1.6} = 5,625\text{m}^3$$

$$(2) V \text{ (以曝氣時間為基礎)} \geq \frac{2.5}{24} \times 71,000 = 7,396\text{m}^3$$

(3)由(1)(2)之結果得知，所設計之曝氣槽可採用2.5小時之曝氣時間，則其容積為7,396 m³，此時，負荷

$$\frac{F}{V} \text{ 為 } \frac{9,000}{7,396} = 1.22\text{kg BOD/m}^3 \cdot \text{d}$$

(4)可採用三個圓形曝氣槽，設水深為5.0m，則

$$\text{每槽直徑為 } \left(\frac{17,750 \times 4}{3 \times 5 \times \pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 25\text{m}$$

4.3.2 例題二

設計一個活性污泥廠，已知廢水量1,000CMD， BOD_5 為720mg/l，夏天的放流水含可溶性 BOD_5 (25°C)25mg/l，懸浮固體40mg/l。而下面數據則由模型廠試驗得來(20°C)：

$$y = \frac{x_e}{x_0^2}$$

BOD 去除係數 $K = 16/\text{day}$

F/M 的最大值 = 0.7/day

$a = 0.58$

$a' = 0.35$

$b, b' = 0.15/\text{day}$

MLVSS(X_V) = 2,800mg/l

$\theta_k = 1.08$

$\theta_b, \theta_{b'} = 1.04$

1. 計算(1)曝氣槽的體積(2)需氧量(3)總污泥產生量 ΔX_V

2. 計算在冬天(10°C)操作時(1)溶解性 BOD 量及(2)總放流水 BOD 量(3)總污泥產生量 ΔX_V 。

計算如下：

1.

(1)曝氣槽體積

$$\text{已知 } y = \frac{x_e}{x_0^2}$$

$$\text{則由公式(1)知 } \frac{x_0 - x_e}{x_v t} = K \frac{x_e}{x_0}$$

$$\begin{aligned} \text{且已知 } K_{25^{\circ}\text{C}} &= K_{20^{\circ}\text{C}} (1.08)^{(T-20)} = (16)(1.08)^{(25-20)} \\ &= 23.5/\text{day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{則 } t &= \frac{x_0 (x_0 - x_e)}{k x_v x_e} = \frac{720(720-25)}{(23.5)(2800)(25)} \\ &= 7.3 \text{小時 (0.304天)} \end{aligned}$$

校核 F/M

$$F/M = \frac{x_0}{x_v t} = \frac{720}{(2800)(0.304)}$$

$$= 0.85/\text{天} > 0.7/\text{天}$$

太高了，用 $F/M = 0.7$ 天

$$\text{則 } t = \frac{720}{(2800)(0.7)} = 0.367\text{天}$$

$$\therefore \text{曝氣槽體積 } V = 1000\text{CMD} \times 0.367\text{天} = 367\text{m}^3$$

(2)需氧量

當 $F/M = 0.7$ ，且設MLSS中生物可分解之比率 $X = 0.64$

則在夏天(25°C)，其 $b'_{25^{\circ}\text{C}} = 0.15 \times 1.04^{(25-20)} = 0.18/\text{天}$

此時可由公式(3)求出夏天總需氧量

$$\begin{aligned} Rx &= a'SxQ_0 + b'xXvV \\ &= 0.35(720-25) \times 1000 + 0.18 \times 0.64 \times 2800 \times 367 \\ &= 361.6 \text{kgO}_2 / \text{d} \end{aligned}$$

(3)夏天的總污泥產生量

由公式(5)可求出其總污泥產生量

$$\begin{aligned} \Delta Xv &= aSxQ_0 - bXvV \\ &= 0.58(720-25) \times 1000 - 0.18 \times 0.64 \times 2800 \times 367 \\ &= 284.7 \text{kg/d} \end{aligned}$$

2. 冬天(10°C)操作時

$$K_{10^{\circ}\text{C}} = 16 \times 1.08^{(10-20)} = 7.41/\text{天}$$

(1)可溶性BOD量

由公式(7)可求出

$$\begin{aligned} XeD &= \frac{X_0^2}{KXvt + X_0} = \frac{720^2}{7.41 \times 2800 \times 0.367 + 720} \\ &= 62 \text{mg/l 可溶性BOD} \end{aligned}$$

(2)總放流水BOD

由公式(8)，設SS轉換為BOD之比率 $z = 0.3$ 則可求出

$$\begin{aligned} Xe &= XeD + Xes = 62 \text{mg/l} + 40 \text{mg/l} \times 0.3 \\ &= 74 \text{mg/l} \end{aligned}$$

(冬天放流水中BOD會因放流水中懸浮固體量增加而昇高)

(3)冬天的總污泥產生量

$$\text{已知 } b_{10^{\circ}\text{C}} = 0.15 \times 1.04^{(10-20)} = 0.10/\text{天}$$

由公式(5)可求出其總污泥產生量

$$\begin{aligned} \Delta Xv &= 0.58(720-62) \times 1000 - 0.1 \times 0.64 \times 2800 \times 367 \\ &= 315.9 \text{kg/d} \end{aligned}$$

4.3.3 例題三

某都市污水欲以標準活性污泥法處理，將進流水 BOD_5 由 300mg/l 降至 3mg/l 以下。進流水流量為 $10,000 \text{CMD}$ ，並自表4定出動力學常數： $K_0 = 0.45 \text{hr}^{-1}$ ， $K_m = 60 \text{mgBOD}_5 / \text{l}$ ， $Y = 0.60 \text{mg MLSS/mg BOD}_5$ ， $k_d = 2.5 \times 10^{-3} \text{hr}^{-1}$ 。設反應槽為含迴流之完全混合槽，且 $\text{COD/BOD}_5 = 1.5$ ， $\text{MLVSS/MLSS} = 0.9$ ， $\theta_c = 5 \text{天}$ ，耗氧係數 $d' = 1.44$ 。試設計該活性污泥系統。

表 4 標準活性污泥系統之動力學常數值

廢水種類	動 力 學 常 數 值 範 圍				
	$K_o (\text{hr}^{-1})$	$Km(\text{mg/l})$	$Y\left(\frac{\text{mg MLSS}}{\text{mg 廢汚}}\right)$	$Kd((\text{hr}^{-1}))$	廢污基準
家庭污水	0.4~0.55	50~120	0.5~0.67	$2.0 \sim 3.0 \times 10^{-3}$	BOD_5
魚貝加工	0.43	96	0.58	5.8×10^{-2}	BOD_5
酵母	0.038	680	0.88	3.3×10^{-3}	BOD_5
酚	0.46	1.66 $K_1 = 380$	0.85		酚
塑膠	0.83	167	0.30	3.3×10^{-3}	COD

設計如下：

1. 由公式(17)計算放流水之濃度

$$X_e = \frac{Km(1+kd\theta_c)}{\theta_c(K_o - kd) - 1} = \frac{60(1+2.5 \times 10^{-3} \times 24 \times 5)}{5 \times 24(0.45 - 2.5 \times 10^{-3}) - 1} \\ = 1.48 \text{ mg BOD}_5 / \text{l}$$

2. 由表 1 知標準活性污泥法之 t 介於 4 至 8 小時，設 $t = 7$ 小時，則反應槽容積

$$V = Q_o t = 1.0 \times 10^4 \times \frac{7}{24} = 2916 \text{ m}^3$$

3. 反應槽中之 MLSS 即為活性污泥濃度，可由公式(18)求出：

$$X = \frac{Y(X_o - X_e)}{1 + kd\theta_c} \left(\frac{\theta_c}{t} \right) = \frac{0.60(300 - 1.48)}{1 + 2.5 \times 10^{-3} \times 5 \times 24} \left(\frac{5 \times 24}{7} \right) \\ = 2362 \text{ mg MLSS/l}$$

4. 迴流之固體物濃度設為 8000 mg/l，由公式(19)求迴流比

$$R_q = \frac{1 - (t/\theta_c)}{(X_r/X) - 1} = \frac{1 - (7/5 \times 24)}{\frac{8000}{2362} - 1} = 0.39$$

5. 污泥增產率可由公式 求出：

$$P_t = \frac{VX}{\theta_c} = \frac{2916 \times 2362 \times 10}{5} = 1.38 \times 10^3 \text{ kg/天}$$

6. 由公式21計算氧之消耗速率

$$\begin{aligned} \frac{\text{需氧量}}{(\text{容積})(\text{時間})} &= \frac{(X_0 - X_e)}{t} (1 - d' Y_v) + 0.9 d' k d X_v \\ &= \frac{1.5(300 - 1.48)}{7} (1 - 1.44 \times 0.6 \times \frac{0.9}{1.5}) \\ &\quad + 0.9 \times 1.44 \times 2.5 \times 10^{-3} \times 2362 \times 0.9 \\ &= 37.7 \text{mg O}_2 / \text{l/hr} \end{aligned}$$

因反應槽容積 = 2916m³，故每天之總需氧量為

$$\text{每天需氧量} = \frac{37.7 \times 10^3 \times 24 \times 2916}{10^6} = 2638 \text{kg O}_2 / \text{天}$$

五、應用要領

在活性污泥法中典型之設計依據分別為經驗設計值或實驗值，其中實驗值較常用者包括Eckenfelder 之實驗方式及生物程序之Monod 動力模式兩種，前面已說明其設計要點，至於應用方面，筆者認為其個別應用要領，可分述如下：

1. 以經驗設計值為依據

可依據表 1 之經驗設計值及相關廢水之各種參數比較分析出最可行之設計值，然後依表中之計算法求出其槽體尺寸及送風量等數值。

2. 以實驗值為設計依據

(1) 依 Eckenfelder 之實驗方式

可由實驗室或模型廠試驗 (pilot plant) 求出各種不同之設計參數，然後再予以擴大到實廠規模。由於本實驗方式並不受迅速變化之程序所影響，故也可以實廠規模進行參數之求取。

(2) 依生物程序之 Monod 動力模式

由於本模式在迅速變化之程序下易造成錯誤，因此，求取設計參數時一般須於實驗室分別探求或在極穩定之模型廠試驗下求取，然後再予以擴大到實廠規模。

此兩種實驗法之主要參數 (a' , b' , a , b , K_o , K_m , Y , K_d) 也有經驗設計值，如表 4、表 5 所示，可與實際試驗後所得之參數相互比較修正，以便獲得較佳之設計。

表 5 Eckenfelder 之主要常數值

項目	單位	範圍
a'	kg O ₂ /kg BOD	0.35~0.5
b'	kg O ₂ /kg MLSS-d	0.05~0.24
a	-	0.5~0.8
b	day ⁻¹	0.01~0.1

綜合上述論點可知，此三種設計依據在參數之求取時其基本數值及實驗規模，如表6所示。

表 6 參數求取之基本數值及實驗規模

設計依據	參數求取	
	基本數值	實驗規模
經驗設計值	經驗值	-
Eckenfelder	實驗值、經驗值	試驗室、模型廠、實廠
Monod	實驗值、經驗值	試驗室、模型廠

六、結語

活性汚泥法之設計內容除上述之外，尚包括曝氣槽體、曝氣系統等設計。唯因國內此方面之論著已相當多，在此不再贅述。事實上欲使活性汚泥法獲致良好之去除效率，不僅應有完善之設計外，尚需有彈性上操作以增加其應變能力，唯所需之技術較高，需經由專業之訓練後方能勝任。總之，活性汚泥法之設計良窳不僅關係到處理可行性，也是工程施工、操作維護以及異常對策成敗之關鍵，因此工程規劃之初，必須有完善之設計方可確保去除成效。

本文僅介紹數種典型之設計方式及其應用要領提供設計者參考，若有謬誤處尚希給予指正。

七、參考資料

- (1)高肇藩、張祖恩，水污染防治，中國土木水利工程學會，76年 4月。
- (2)歐陽嶠暉，下水道工程學，長杉出版社，74年 12月。
- (3)林秋裕，下水道工程，國立編譯館，73年 9月。
- (4)李公哲，水質管理之原理，國立編譯館，77年 3月。
- (5)楊萬發、歐陽嶠暉，事業廢水管理訓練教材（甲級）－廢水生物處理操作與維護，行政院環境保護署，EPA-79-003-27-124, 79年 9月。
- (6)歐陽嶠暉，活性汙泥操作維護手冊，工業污染防治技術手冊之八，經濟部工業污染防治技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，76年 5月。
- (7)歐陽嶠暉，廢水處理廠操作管理，工業污染防治技術手冊之二十五，經濟部工業污染防治技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，79年 6月。
- (8)Adams, C.E. Jr., Ford, D.L., and Eckenfelder, W.W., Jr., Development of design and Operational Criteria for Wastewater Treatment, Enviro Press, Inc., 1981.