

工程實務

應用統計原理設計調節池方法

張鎮南*

一、原理說明

調節池之目的在於控制進流水水質，使其振盪幅度降至最低程度，如此對後段處理設備方可掌握最佳操作條件。調節池容量需視廢水水量及廢水水量之變化而定。例如：對於部份工業廢水其調節池容量必須大到足以吸收任何瞬間高濃度排放。因此，若細分調節池功能，可列如：

1. 提供足夠的調和能力，以減少後段生物處理突增負荷現象。
2. 調節酸鹼值 (PH) 並可降低中和處理的藥品添加量。
3. 減少物理、化學及生物處理系統的鉅幅振盪，容許化學加藥裝置穩定的運轉。
4. 可避免因生產線停工而中斷生物處理的廢水來源。
5. 若欲放流至下水道系統時，可以控制放流水質均勻化。
6. 可避免高濃度毒害性物質進入生物處理系統。

為保持調勻濃度功效並避免沉降性物質沉積於池底，因此適度的攪拌是必須的。除此之外，當廢水中含有部分還原性物質，亦可經由天然曝氣及氧化作用而使 BOD 值降低。

一般調節池所使用的攪拌方法計有：

1. 以提高水流速度流入隔板式水池中。
2. 裝設漿葉攪拌機。
3. 裝設擴散空氣曝氣裝置。
4. 其他機械式攪拌裝置。

最常用的攪拌方法為：使用表面曝氣機，其最小能量需求為： $3.963 \sim 5.284 \text{HP}/1000\text{M}^3$ 曝氣系統的擴散空氣量約需 $11.223 \text{lp}/\text{M}^3$ 調節池容積。

調節池容積可設計成變量式，如此可提供穩定放流量成相反地控制成固定容積而有變量式放流量。前者的設計方式主要用於小規模化學處理裝置。除此之外，通常對於適應生物處理裝置時，必須有穩定的廢水流入時，而其中僅濃度略有變化。如此設計水力負荷均勻，對終沉池有穩定功效，但對整個生物處理系統而言，可能反而引起波動。此類調節池設計，亦有應用於廢水排放至都市污水處理系統前，穩定流量減少對處理系統的衝擊。

* 東海大學環境科學系副教授

對於避免廢水水量鉅變時，即必須考慮設計超量調節池容積。通常對付此種狀況，調節池排（抽）水能力應訂在90%~95%，水力發生機率的瞬間流量仍能被以重力式的排放到下游各處理單元。應用變容積設計調節池時，須特別留意，攪拌裝置，尤其是浮動式曝氣機，應儘量避免在低容量時接觸到池底。

以固定容積而以變流量排放設計，通常主要用於幫助完成中和作用（廠內同時有酸、鹼廢水排入時），以及對生物或化學處理前的濃度調勻工作。這類設計的調節池視地形條件略有不同，不過一般皆不需抽水機排放裝置。對穩定流排放調節池通常需要抽水設備。

部份特殊狀況，經常有特濃有機性廢水排出，而可能造成調節池過量設計，對平日正常操作無疑是一種浪費。為避免此一過量設計，可以考慮在經常排放口另設一座貯留槽。在放流口亦須另行裝置總有機碳（TOC）或總需氧量（TOD）監測儀。一旦此監測參數（TOC或TOD值）超出預設值時，廢水即可自動啟動閥門而將此部份水量排入貯留槽。在應付此一狀況時，同時可考慮加裝一組警報器，提醒操作員注意防範。操作員亦應立即分析貯留槽中污染物成份，以判定注入調節池的正確流量。貯留槽中廢水應以人工採樣，並以人工設訂排放量，抽水量避免自動設訂，以免影響下游各處理單元。

特殊毒害成份廢水可以排入同一貯留槽或避免過度污染而另闢一槽亦可。貯留槽可視排放毒害成份頻率及排放量而訂。

設計方法

設計調節池不可僅僅使用幾組簡單數據，必須使用統計學原理，設計出來的容量並應考慮可信賴程度等因素，方可合乎要求。本文所述之設計方法可提供某一範圍穩定的放流水質，這些基於進流水水質變化程度及整個調節池運作可信賴程度等。

生物處理系統（尤其活性污泥）前，須特別保持穩定的進流水水質。

在穩定水流狀況下，完全混合式調節池，放流水變異值 s_e' 與進流水變異值 s_i' 之比值，與停留時間 t ，可示為：

$$\frac{s_e'}{s_i'} = \frac{\Delta t}{2t} \quad (1)$$

其中： Δt ：混合採樣時間差， h_r

t ：停留時間， h_r

(2) s_i' ：進流水水質參數變異值

s_e' ：放流水水質參數變異值

當進流水與放流水參數變異值為已知時，第(1)式可供作推算停留時間：

$$t = \frac{(\Delta t)(s_i')}{2(s_e')} \quad (1a)$$

變異值同時為標準偏差值 (σ) 的兩次方：

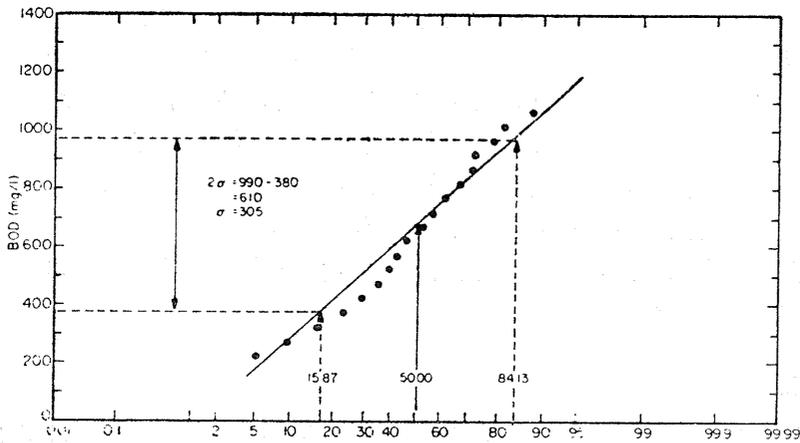
$$(1c) \quad s' = \sigma^2 \quad (2)$$

經由變異值的定義：各值與平均值（或中值）差水平方和再被總樣品數減一除

$$s' = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (3)$$

其中： x_i ：各別單一測定值
 \bar{x} ：中數值或平均值
 n ：總樣品數

進流水的標準偏差值可以圖 1 概率分佈圖表示。在常態分佈情況下 (3)，標準差值等於



BOD 分佈概率小於或等於之特定百分比值

圖 1 圖解法之概率分佈圖

在百分之 84.1 及 15.9 分佈值差的一半：

$$\sigma = \frac{X_{84.1\%} - X_{15.9\%}}{2} \quad (4)$$

公式 (4) 可引用於計算進流水標準偏差值，但因廢水廠設計者無法推衍放流水參數的統計關係式，因此對放流水而言，須改採其他方法推估。

累進標準值， Y 可定義為：調節池最大放流值與平均值之差被除以放流水標準偏差值：

$$Y = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{\sigma_e} \quad (5)$$

其中： Y ：累進標準常值

X_{\max} ：調節池最大放流濃度

σ_e ：放流水標準偏差值

公式 (5) 可計算出放流水標準偏差值：

$$\sigma_e = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{Y} \quad (5a)$$

累進標準常值，Y與統計上可信賴程度，P(x) 當常態分佈時：

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Y \exp\left(-\frac{Y^2}{2}\right) dY \quad (6)$$

其中：P(x)=標準化常態亂數變異值之累進分佈函數，亦即：可信賴程度概率分佈表（表1）即可顯示Y值與可信賴程度間之關係。例如：當可信賴程度為99%時，由表1得到，Y值為2.33。

表 1 累積性常態分佈表

Y	P(X)*	Y	P(X)	Y	P(X)
.00	.5000	1.30	.9032	2.55	.9946
.05	.5199	1.35	.9115	2.60	.9953
.10	.5398	1.40	.9192	2.65	.9960
.15	.5596	1.45	.9265	2.70	.9965
.20	.5793	1.50	.9332	2.75	.9970
.25	.5987				
.30	.6179	1.55	.9394	2.80	.9974
.35	.6368	1.60	.9452	2.85	.9978
.40	.6554	1.65	.9505	2.90	.9981
.45	.6736	1.70	.9554	2.95	.9984
.50	.6915	1.75	.9599	3.00	.9987
.55	.7088	1.80	.9641	3.05	.9989
.60	.7257	1.85	.9678	3.10	.9990
.65	.7422	1.90	.9713	3.15	.9992
.70	.7580	1.95	.9744	3.20	.9993
.75	.7734	2.00	.9772	3.25	.9994
.80	.7881	2.05	.9798	3.35	.9996
.85	.8023	2.10	.9821	3.45	.9997
.90	.8159	2.15	.9842	3.55	.9998
.95	.8289	2.20	.9861	3.75	.9999
1.00	.8413	2.25	.9878	4.00	1.0000
1.05	.8531	2.30	.9893		
1.10	.8643	2.35	.9906		
1.15	.8749	2.40	.9918		
1.20	.8849	2.45	.9929		
1.25	.8944	2.50	.9938		

*P(X)=可信賴程度

二、設計方程式

1. 使用方程式

停留時間

$$t = \frac{(\Delta t)(s_i')}{2(s_e')}$$

變異值

$$s' = \sigma^2 \\ = \frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

標準偏差值

$$\sigma = \frac{X_{84.1\%} - X_{15.9\%}}{2}$$

放流水標準偏差值

$$\sigma_e = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{Y}$$

可信賴度

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Y \exp\left(-\frac{Y^2}{2}\right) dY$$

三、基本設計資料

1. 對特定期限之原水須採集具代表性之混合水樣（每兩小時取一組，連續取樣一週）。採樣期間應涵蓋所有工廠的變化範圍。依經驗而論，採樣記錄應延伸至少10倍於日常發生不可接受變異之時段。除此之外，至少需有80組樣品（150組最佳）才足夠。

2. 放流水可容許變異限值。

3. 放流水水質可信賴之變化值。

四、設計步驟

初步需收集足夠樣品以利用第(3)(4)式判定進流水標準偏差值及變異值。當決定可信賴程度（通常介於90%至99%）及最大可容許放流水濃度後，可藉由第(5a)式及(2)式分別求得放流水標準偏差值及變異值。放流水變異值亦同時可以(1a)式求得，對於不同需求放流水變異值及不同可信賴程度，皆可獲得不同停留時間（示如圖2），這些結果可供作為成本效益評估之重要依據。

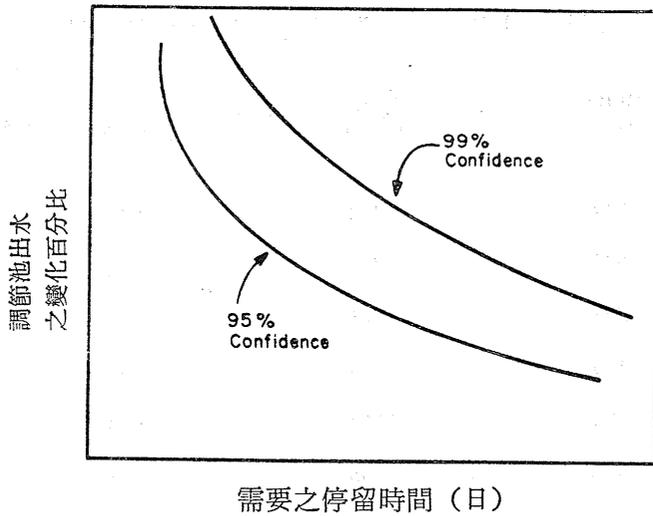


圖 2 以特定放流水作為函數之調節池停留時間變化圖

一旦調節池之停留時間獲得後，通常仍然需要計算調節池水溫，以免影響後段處理而無法達到去除功能。

五、設計實例

某一廢水廠流量為 18,925CMD (5MGD)，水質特性示如表 2 及圖 3。密集式的 4 小時取樣工作連續進行 17 天，平均 BOD 值為 690mg/l，最大值為 1.185mg/l。經由完整的模型試驗確證活性污泥法可以達到放流標準 BOD 15mg/l，(最高 25mg/l)，但進流水水質不可超過 896mg/l 以上。

若設計一座調節池以達成放流水水質要求，並基於 95% 概率的可信賴度下，要求調節池放流水應保持等於或小於 896mg/l BOD。

1. 計算進流水平均值，標準偏差值及變異值，這些參數可以數值法或圖解法求得：

a. 數值解法：

(1) 平均值， \bar{X} 全部樣品值之平均：

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

因此：

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{69,000 \text{mg/l}}{100} \\ &= 690 \text{mg/l} \end{aligned}$$

(2) 原廢水變異值， s_i' 定義為：

表 2 以每 4 小時混合採樣一組之 BOD 特性資料

Date		BOD (mg/l)	Date	BOD (mg/l)	Date	BOD (mg/l)	Date	BOD (mg/l)
2/10	4am	717		758		940		1054
	8am	946		769		233		888
	12noon	623		574		1158		266
	4pm	490		1135		407	2/23	619
	8pm	666		1142	2/19	853		691
	12pm	828	2/15	505		751		416
2/11		1135		221		207		1111
		241		957		852		973
		396		654		318		892
		1070		510		358	2/24	722
		440		1067	2/20	356		368
		534	2/16	329		847		686
2/12		1035		371		711		915
		265		1081		1185		361
		419		621		825		346
		498		235		618	2/25	1110
		961		993	2/21	454		374
		308	2/17	1019		1080		494
2/13		1174		1023		440		268
		1105		1167		872		1078
		659		1056		294		481
		801		560		763	2/26	472
		720		708	2/22	776		671
		454	2/18	340		502		556
2/14		316		949		1146		672

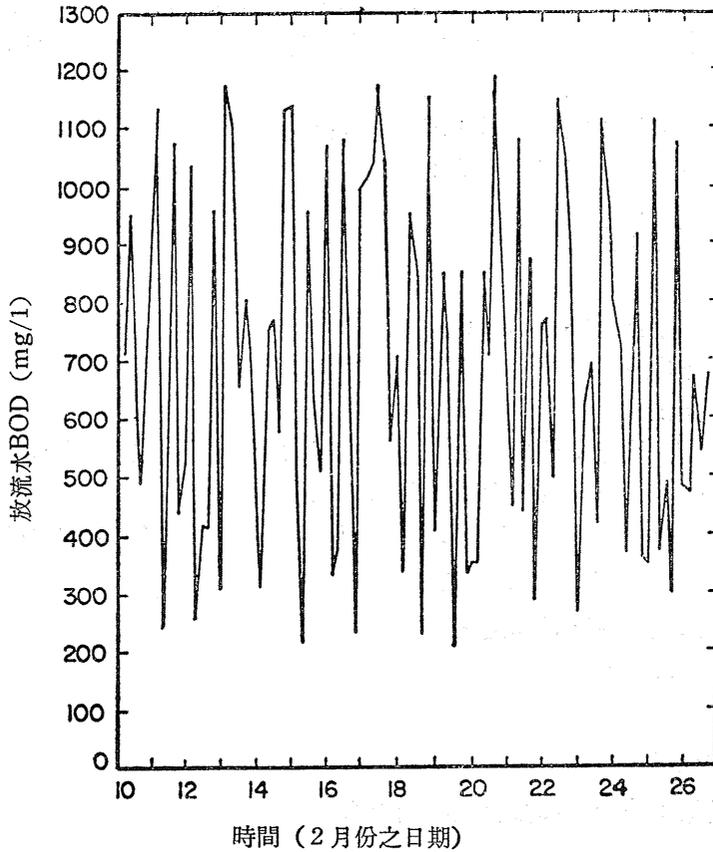


圖 3 長期原廢水 BOD 濃度變化圖

$$s_i' = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

因此：

$$\begin{aligned} s_i' &= \frac{8,568,514}{99} \\ &= 86,551 \text{mg}^2/\ell^2 \end{aligned}$$

(3) 標準偏差值， σ_i 為變異值之平方根：

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \sqrt{s_i'} \\ &= \sqrt{86,551} \\ &= 294 \text{mg}/\ell \end{aligned}$$

b. 圖解法

本法係利用概率分佈紙，座標分別代表 BOD 測定值與概率分佈值。概率分佈圖係應用高斯原理（或常態分佈原理）發展而來。經由直線的概率分佈關係可獲得需要之設計資料：

- (1)將數據資料依小至大順序排減，當樣本數超過30個個別數據時，樣本可以安排成不同羣落。本例中，以 50mg/ℓBOD 做為各羣落間的差異值，例如：200~249, 250~299 等等，詳列如表 3 之第一列。
- (2)列出各羣落之樣本數目，示如表之第 2 列。
- (3)計算各樣品羣落之概率分佈值：

$$\% \text{ 概率值} = \frac{m}{n+1}$$

其中：

m：各羣落中累進的樣本數目。

n：總樣本數。

計算結果示如表。

- (4)將表 3 資料依據概率分佈繪於概率紙上（如圖 1），獲得一條直線分佈關係。
- (5)由概率分佈線上取50%的中值 $\approx \bar{X} \approx 690\text{mg}/\ell$
- (6)計算標準偏差值， σ_1 ，等於圖 1 中 84.1%（或等於50%與34.1%的差值）與15.9%（或等於50%與 34.1%的差值）。

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{84.1\% \text{ 之值} - 15.9\% \text{ 之值}}{2} \\ &= \frac{990 - 400}{2} \\ &= 295\text{mg}/\ell \end{aligned}$$

- (7)求取變異值：等於標準偏差值的開平方根

$$\begin{aligned} s_1' &= \sigma_1^2 \\ &= (295)^2 \\ &= 87,025 \text{ mg}^2/\ell^2 \end{aligned}$$

表 3 圖解法之計算表

BOD 間距	BOD 間距之樣品數目	m	概率分佈值 $\frac{m}{n+1} \times 100$
200-249	5	5	4.95
250-299	4	9	8.91
300-349	6	15	14.85
350-399	7	22	21.78
400-449	6	28	27.72
↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓
1150-1185	4	100	99.01
	n=100		

由上述實例計算之中，濃度平均值與中數值相當接近 (690mg/l)，而標準偏差值為 295 mg/l，依據此一結果顯示在此一採樣條件之下約 68% 的時間對於水質係介於 390 至 990 mg/l 之間。此一數據可以供往日設計處理設施時重要參考依據。其餘資料：譬如 90% 或 95% 概率分佈仍然可由圖 1 中獲得，亦可供推衍監測計畫或設計處理設施時之可信賴度範圍。

2. 計算放流水之標準偏差值與變異值：

a. 放流水標準偏差值：

$$\bar{X} = 690 \text{ mg/l}$$

$$X_{\max} = 896 \text{ mg/l}$$

由表 1 中查得，在 95% 可信賴程度下， $Y = 1.65$

$$\therefore \sigma_e = \frac{896 - 690}{1.65}$$

$$= 125 \text{ mg/l}$$

b. 放流水變異值

$$s_e' = \sigma_e^2$$

$$= (125)^2$$

$$= 15,625 \text{ mg}^2/\ell^2$$

3. 停留時間：

$$t = \frac{\Delta t(s_i')}{2(s_e')}$$

$$= \frac{4(87025)}{2(15625)}$$

$$= 11.1 \text{ hr}$$

$$\approx 0.5 \text{ days}$$

4. 容積與表面積：

$$\text{容積, } V = t \cdot Q$$

$$= 0.5 \times (18925 \text{ CMD})$$

$$= 9462.5 \text{ M}^3$$

設：深度為 4M

$$\text{表面積, } A_{\text{rea}} = \frac{9462.5}{4}$$

$$= 2365.6 \text{ M}^2$$

參考文獻

1. C. E., Adams, et. al, "Process Design Techniques for Industrial Waste Treatment", 1974.
2. 方純, 「統計學」, 興業圖書公司, 1983
3. Kennedy & Neville, "Basic Statistical Methods For Engineers & Scientists", 1976.