

均匀槽之設計理論及工程實務

阮國棟*

• 由於工業廢水質與量的變化很大，故均勻槽或稱調節槽在廢水處理系統中普遍設置，對系統性能及操作難易有極大的影響。

• 本文旨在說明均勻槽調節廢水質與量的功能、如何決定合理的體積、如何設計均勻槽的水流型態及物理特性等。精選五個完整的典型計算例題，將各種設計方法做最直接的闡述，並對工程實務有關之細節問題同時加以說明，藉供各界參考之用。

一、概述

均勻槽 (equalization tank) 之設置，主要在調節反應槽 (reactor) 的質、量負荷，一如我國五大湖具有調節長江流域水量之功能。廢水處理流程中為適應進流參數 (水量、水質) 的顯著變化，需做有效的控制。其控制方法，固然不僅為設置均勻槽，亦可利用自動控制系統，或二者合併使用。選擇上述控制方法及其規格的依據為：進流參數的變化情形；均勻槽、反應槽及自動控制系統的動態性質，以及所要求的放流參數的變化情形。為了達到最適化的設計，上述三個依據均需以量來定義，以便了解均勻槽與反應槽之間最適當的動態負荷分佈情形，均勻槽與反應槽的體積分佈以及在需要加藥劑的場合使均勻槽及反應槽藥劑消耗的總量為最小^(1,15)。

一般描述進流參數之變動 (fluctuations)，可以分為五類型式⁽¹⁾：

- (a) 衝擊改變 (shock changes)，例如批式反應完後之排水。
- (b) 突然改變 (sudden changes)，例如製程上的變化導致廢水的改變。
- (c) 周期變動 (cyclic oscillations)，例如製程周期上之原因。
- (d) 不定形的隨機變動 (random fluctuations of an arbitrary spectrum)，此種變動最常發生，由許多來源的多種信號重疊而成。
- (e) 失真 (noise)，與(d)類似，但變動的形式在相當大的頻率範圍內較均一。

前三種變動可以各種函數表示正常的信號，例如：

$$\delta \text{函數信號} : \delta(t) = \frac{d\ell_0(t)}{dt}$$

$$\text{階函數信號} : \ell_0(t) = \begin{cases} 0 & \text{at } t \leq 0 \\ 1 & \text{at } t > 0 \end{cases}$$

$$\text{調合信號} : \sin(\omega t + \phi)$$

*工業技術研究院化學工業研究所正工程師

後二種變動為不定函數，它們可以用上述正常（可決定性）函數信號的合併來表示，利用統計分析的一些方法，可以很方便的分析此等程序。

工業廢水的質與量均隨時間、季節變動，其變動情形則視工廠操作及生產周期而定（城鎮污水則與居民的起居作息週期有關）。大多數廢水處理程序對於水力負荷、pH、溫度等變化均極敏感，進流水質、水量變化太大，容易影響各處理單元應有的功能。均勻槽或稱調節槽，即在減低上述各種變化，從而達成以下之目的^(2,3)：

(1) 節省新廠的設備費用：因為以日高峯流量或污染量設計比時高峯流量的設計要經濟，所有控制設備及儀表費用也可降低。

(2) 提高處理廠的性能：一個在日平均流量或污染量下操作良好的處理廠，處理時平均流量或污染量的廢水，可能會超負荷。一般而言，均勻槽能增加初步沉澱槽的沉澱效果，出水濃度的均勻程度及提高生物處理單元的穩定性；某些三級處理，例如化學混凝法去除磷及活性碳吸附法脫色等，水流變化容易有不良影響，均勻槽能提高加藥及沉澱過程的可靠性，提高過濾及吸附單元的操作效果。

(3) 對於已經超負荷的處理廠，均勻槽的增設也許是花費最低的一種改善或提升處理性能（upgrading）的措施。均勻槽的最大作用在降低水質、水量的變異程度（variability）及其最大值（maximum value），並非所有處理程序均須或均可附加此一單元，其適用的原則有^(6,2)：

(1) 有些工廠廢水均勻化（稀釋作用或使廢水發生化學作用）後可達排放標準而不須其他處理者。或經均勻槽後即可排入污水下水道系統或另行處置（disposal）時。

(2) 工廠產品種類多，製法不同，廢水量、污染物強度及污染性質變化大者。

(3) 廢水之酸鹼可予中和，而不引發其他毒性物質時（電鍍工廠中鹼性的氯系廢水則不能以酸中和，避免引發劇毒之 HCN 氣體）。

(4) 必須降低廢水之毒性以便處理時。

(5) 均勻水質、水量便便於加藥自動控制及其他處理操作或控制放流時。

(6) 必須分開收集的廢水，不適用均勻槽。例如：污染程度不大的廢水（如冷卻廢水）不能與污染度大的製程廢水同時流經均勻槽；污染性質差異甚大，必須用不同的方法處理時；高濃度處理效率高（例如，反應速率為一階反應時）或可予回收某種成分者，不適於與低濃度廢水均勻化；廢水經混合均勻會產生不良作用或影響處理操作者。

純粹以平衡水質、水量為目標而設計的均勻槽（有時均勻槽尚具有沉澱槽、曝氣槽、pH 調整槽或化學混合槽等功用，視設計目標而定，但可以說均為次要或附帶之作用），可以想像為最簡單的貯存槽（holding tank），廢水流入境存槽，然後再用泵浦注入處理單元，但實際上面臨考慮的問題有五：

(1) 均勻槽要放在處理系統中那一部位？

(2) 均勻槽的安置型式要採用那一種——同線式（in-line）或側線式（off-line）？

(3)如何決定均勻槽的合理體積？亦即建立設計準則（design criteria）。

(4)如何設計均勻槽的水流型態？亦即所謂的水力設計（hydraulic design）。

(5)如何考慮均勻槽的物理特性？亦即所謂的物理設計（physical design）。

理想的均勻槽，其流出水須在任何時刻維持相同的水質及水量，這是實際上不可能的，因為需要無限大的容積。一種合理的流出型態，視廢水處理廠各單元能夠承受及對突增負荷容忍的程度（即維持處理性能的穩定性）而定，例如滴濾池（trickling filter）忍受有機突增負荷的變動範圍比活性污泥池大，所以滴濾池前的均勻槽體積可以較小。雖然工業廢水的質、量隨工廠操作及生產周期而變，但均勻槽的合理體積，並不能以生產周期做為設計準則（詳例1），影響均勻槽的因素有：

(1)依承接之廢水處理單元或系統的型式而定；

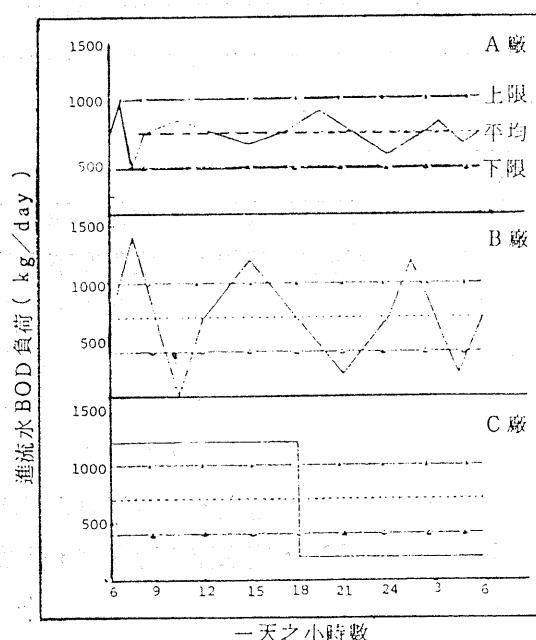
(2)依工廠操作周期中廢水質、量變動之極端值以及自動修正之能力而定；

(3)依均勻槽本身混合型態、分散及攪拌之特性而定；

(4)依均勻槽內發生的生化或化學反應的情形而定。

例1：三家工廠（A,B,C）廢水的排放型態（如圖一所示）⁽⁸⁾，均有①相同的操作周期②相同的廢水量③每一周期排出相同數量的污染物質，試根據工廠操作周期並非適當的設計準則以及均勻槽設計受廢水自動修正彌補能力影響的二項觀念，討論C廠須要較大均勻槽的理由。

（解答）如果以一個操作周期的廢水量為均勻槽的大小準則，則三家工廠均有相同大小及混合型態的均勻槽。但A廠廢水水質、水量在所有時刻（一周期內）均在處理廠容忍的範



圖一 三家工廠一個操作周期的廢水排放型態（例1）

圍之內，根本就不需要或僅需要一很小的均勻槽即可，B廠的變動在一周期中都能在很短的時距內自行彌補修正，使變異自動消除，所以所需的均勻槽水流停留時間（hydraulic reten-tion time）也應小於操作周期方為合理，C廠的變異與B廠一樣均超出容忍範圍，但C廠一周期中明顯的成分二個極端，半個周期之內毫無自行彌補的能力，所以C廠的均勻槽要比B廠的大，才能達到相同的流出型態。

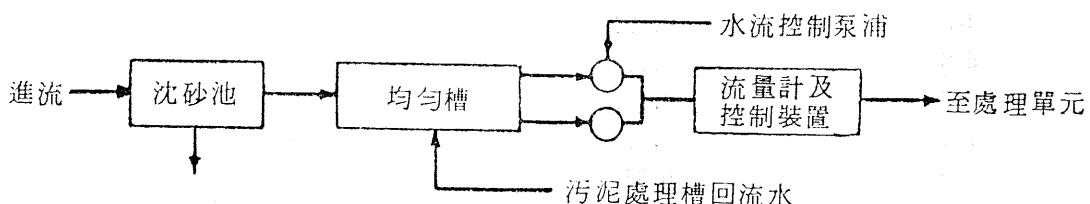
二、均勻槽之設計

1. 均勻槽的位

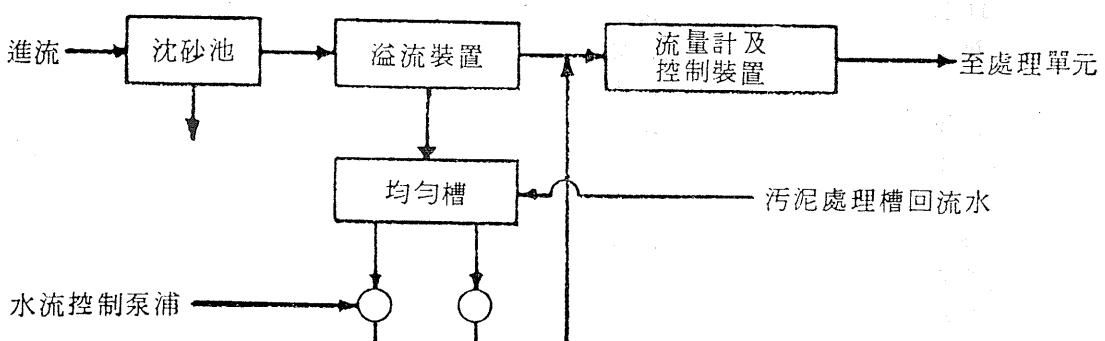
置安置均勻槽的最佳地點視每一處理系統而異，與處理方法、廢水收集系統及廢水特性均有關係。有時均勻槽設在初級處理與二級生物處理之間較適當，因為由於污泥或浮渣引起的問題可以避免；若均勻槽放在初級處理之前，則須有充分攪拌，防止固體沉積及濃度變異，同時加以曝氣，以防臭味。

同線式及側線式均勻槽 同線式將廢水全量引入均勻槽，對平衡消除尖峯流率較側線式的作用為大，通常容積也較僅將超出平均水流部分予以調節的側線式均勻槽為大，若想同時均勻尖峯濃度，則須使用同線式。二者典型的流程如圖二所示。同線式均勻作用的效果則在例2中說明之⁽⁴⁾。

(a) 同線式



(b) 側線式



圖二 典型的均勻槽流程配置圖 (a)同線式 (b)側線式

2. 均勻槽體積之決定

決定均勻槽合理體積的方法，有作圖法（inflow mass diagram），計算法及體積濃度

法，前二者常用在自來水配貯槽的設計，通常只考慮水力負荷，但不考慮水質濃度的均勻問題，後者則係考慮水質、水量的均勻化，根據擴散方程式導出完全混合槽的實用設計方法，對於設計均勻槽的水流型態介乎完全混合流與柱塞流（plug flow）之間的各種情況，也能用完全混合系統導出的修正係數做為設計的依據。

實用上，均勻槽實際上建造的容積比理論上決定的值要大出10~20%，那是因為：

- (1)均勻槽須曝氣或混合攪拌操作，應維持適當的出水高度（水柱）。
- (2)有些廠會有回流液（例如污泥濾過液或消化上澄液）回到均勻槽中。
- (3)完全係數的考慮，以容納不可預見的日流量的變化等。

例2：作圖法決定調節流量為目的的均勻槽體積大小以及對BOD質量負荷的影響。某工廠排放廢水之水量及BOD濃度數據如表一，試求(1)調節流量所須同線式(in-line)均勻槽的大小(2)流量均勻化以及對BOD質量負荷率(mass loading rate)的影響。

(解答) 第一部分，決定均勻槽的大小。

(1)將表一中的流速換算為每小時的流量體積，然後計算累積的廢水體積，如表二所列，並繪製累積體積圖，如圖三所示。

表一 某工廠水之水量及BOD濃度排出型態(例2)

時間	平均流量(m^3/s)	平均BOD濃度(mg/ℓ)
M-1	0.275	150
1-2	0.220	115
2-3	0.165	75
3-4	0.130	50
4-5	0.105	45
5-6	0.100	60
6-7	0.120	90
7-8	0.205	130
8-9	0.355	175
9-10	0.410	200
10-11	0.425	215
11-N	0.430	220
N-1	0.425	220
1-2	0.405	210
2-3	0.385	200
3-4	0.350	190
4-5	0.325	180
5-6	0.325	170
6-7	0.330	175
7-8	0.365	210
8-9	0.400	280
9-10	0.400	305
10-11	0.380	245
11-M	0.345	180

均 庫 平 均 \bar{Q} = $0.307 m^3/s$ \bar{C} = $180 mg/\ell$

(2)繪出平均流速 ($0.307\text{m}^3/\text{s}=1,106\text{m}^3/\text{h}$) 通過原點的直線，如圖三所示。

(3)繪兩條與平均流量線平行而各與流入水量累積曲線之最低點相切之二直線（圖三情形只有一條），則此二直線之垂直差距即為必須調節之容量，亦即均勻槽體積（理論值）= $4,110\text{m}^3$ ，實際大小為 $4,110\text{m} \times 1.2 = 4,932\text{m}^3$ （以 $5,000\text{m}^3$ 設計之）。

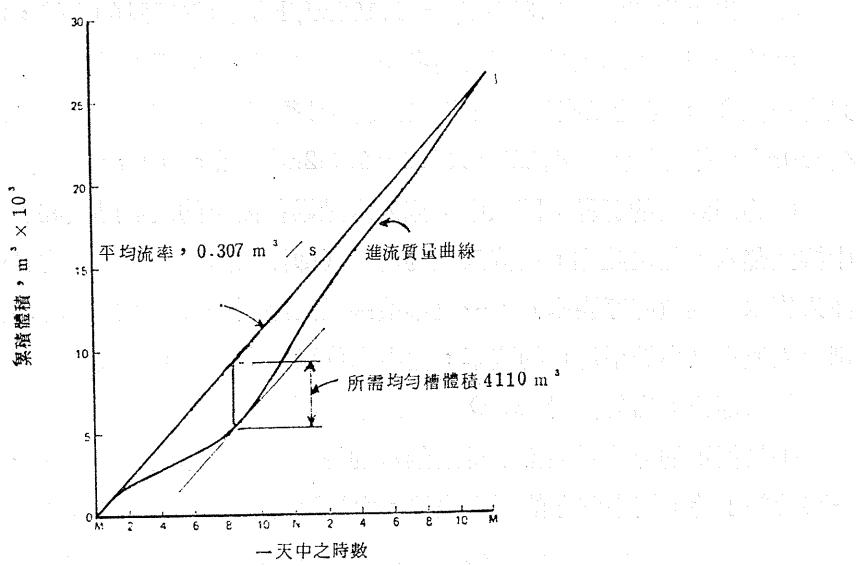
(4)物理意義的解釋：圖三中，流入水量累積曲線的最低點（在上午 8 點半）表示均勻槽中排空無水，超過此點，則流入量的斜率（即流入速率）大於平均日的流率，故均勻槽開始注入廢水（累積貯存廢水），一直累積到最高點（午夜），此時均勻槽滿水時，過了此時，則流入速率又小於平均日的流率，槽中水位又逐漸下降，形成調節周期。

第二部分，均勻槽對 BOD 質量負荷率的影響。

(1)最簡單的方法為從槽中排空無水的時段開始計算（即上午 8—9 點鐘），首先計算每一時段終了時，槽中貯存的廢水體積，由於平均廢水每小時為 $1,106\text{m}^3$ ，所以在上午 9 點鐘

表二 某工廠排水之累積及 BOD 質量負荷率（例 2）

時 間	排出廢水體積 (m^3)	累積廢水體積 (m^3)	BOD 質量負荷率 (kg/h)
M-1	990	990	149
1-2	792	1,782	91
2-3	694	2,376	45
3-4	468	2,844	23
4-5	378	3,222	17
5-6	360	3,582	22
6-7	432	4,014	39
7-8	738	4,752	96
8-9	1,278	6,030	223
9-10	1,476	7,506	295
10-11	1,530	9,036	329
11-N	1,548	10,584	341
N-1	1,530	12,114	337
1-2	1,458	13,572	306
2-3	1,386	14,958	277
3-4	1,260	16,218	239
4-5	1,170	17,388	211
5-6	1,170	18,558	199
6,7	1,188	19,746	208
7-8	1,314	21,060	276
8-9	1,440	22,500	403
9-10	1,440	23,940	439
10-11	1,368	25,308	335
11-M	1,242	26,550	224
平 均			213



圖三 例 2 中決定均勻槽大小的水流體積累積曲線圖

時，槽內的貯水量 = $1,278\text{m}^3 - 1,106\text{m}^3 = 172\text{m}^3$ ，同理，在 10 點鐘時，槽內貯水量 = $172\text{m}^3 + 1,476\text{m}^3 + 1,476\text{m}^3 - 1,106\text{m}^3 = 542\text{m}^3$ ，依此計算，結果列如表三。

(2) 計算離開均勻槽時段的平均濃度， S_t 。假設均勻槽為完全混合式，則在上午 8—9 時段，離開均勻槽濃度。

$$S_{8-9} = \frac{(1278)(175) + (0)(0)}{1278} = 175\text{mg/l}$$

$$\text{同理 } S_{9-10} = \frac{(1,476)(200) + (172)(175)}{(1,476 + 172)} = 197\text{mg/l}$$

(3) 將均勻化後的濃度與平均廢水流速 ($0.307\text{m}^3/\text{s}$) 的乘積，換算為每小時的 BOD 公斤數，即為離開均勻槽的質量負荷率 L_t ，則在上午 8—9 時段。

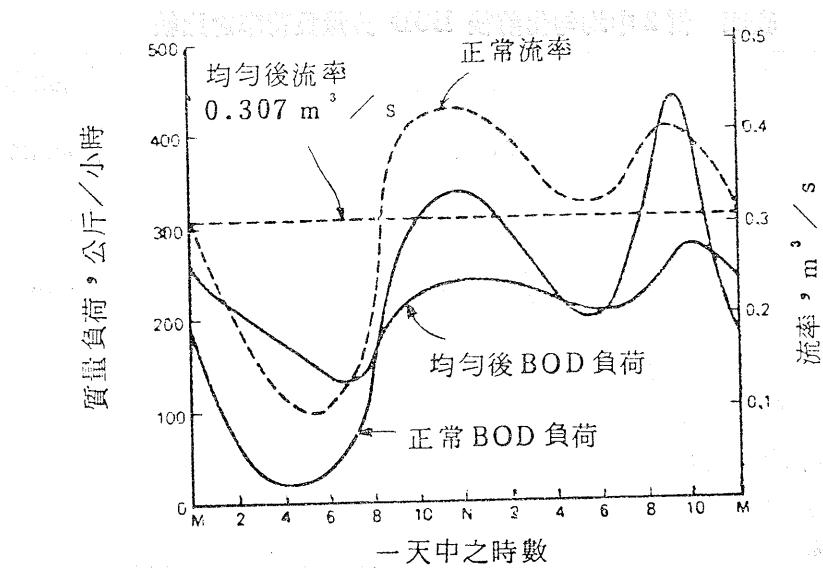
$$L_{8-9} = \frac{(175\text{g/m}^3)(0.307\text{m}^3/\text{s})(3,600\text{s/h})}{1,000\text{g/kg}} = 193\text{kg/h}$$

所有計算值，亦列於表三，請與未均勻化時的 BOD 負荷率（列於表二）做一比較。

(4) 比較均勻槽設置前後的影響，可以繪圖（如圖四）或求各種比值（如表四）來說明均勻槽的效益。

例 3：計算法利用例 2 之數據，用計算法決定均勻槽之大小。

解答：任意時段流入量的變化率，定為 R_i ，均勻後平均流出量的變化率為 R_m ($R_m = 1.0$)，則計算 $R_i - R_m$ 的累計值 $\sum(R_i - R_m)$ ，可以求得均勻槽體積。



圖四 例 2 中均勻化前後 BOD 質量負荷率時變化情形

表三 例 2 中決定均勻槽對 BOD 質量負荷率影響的計算

時段	該時段廢水量 (m³)	該時段終了槽內貯水量 (m³)	BOD 平均濃度 (mg/ℓ)	均勻後 BOD 平均濃度	均勻後 BOD 質量負荷 (kg/h)
8-9	1,278	172	175	195	193
9-10	1,476	542	200	197	218
10-11	1,530	966	215	210	232
11-N	1,548	1,408	220	216	239
N-1	1,530	1,832	220	218	241
1-2	1,548	2,184	210	214	237
2-3	1,386	2,464	200	209	231
3-4	1,260	2,618	190	203	224
4-5	1,170	2,680	180	196	217
5-6	1,170	2,746	170	188	208
6-7	1,188	2,828	175	184	203
7-8	1,314	3,036	210	192	212
8-9	1,440	3,370	280	220	243
9-10	1,440	3,704	305	245	271
10-11	1,368	3,966	245	245	271
11-M	1,242	4,102	180	230	254
M-1	990	3,986	150	214	237
1-2	792	3,672	115	196	217
2-3	594	3,160	73	179	198
3-4	468	2,522	50	162	179
4-5	378	1,794	45	147	162
5-6	360	1,048	60	132	146
6-7	432	374	90	119	132
7-8	378	0	130	126	139
平均					213

表四 例 2 中均匀化前後 BOD 質量負荷率之比較

比 值	未 均 匀 化	均 匀 化 以 後
最高值	$\frac{439}{213} = 2.06$	$\frac{271}{213} = 1.27$
平均值		
最小值	$\frac{17}{213} = 0.08$	$\frac{132}{213} = 0.62$
平均值		
最高值	$\frac{439}{17} = 25.82$	$\frac{271}{132} = 2.05$
最小值		

$$M-1 \text{ 時段的 } R_i = \frac{0.275}{0.307} = 0.896$$

(0.307為平均流量，詳表一)

$$R_i - R_m = 0.896 - 1 = -0.104$$

其計算值列如表五。由表五可知，理論體積為 $(3.7 + 0.024)(0.307 \times 3,600) = 4,116 M^3$ 。

體積濃度法

考慮一長方形均勻槽，進口及出口均設堰（weir）以防止水流形成渠流（channeling）並使污染質分佈均勻，如圖五所示。三度空間之擴散方程式可以簡化為：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x(t) \frac{\partial C}{\partial t} \pm r_x \quad (1)$$

式中：C 為污染質濃度 (mg/ℓ)

t 為時間 (hr)

D_x 為污染質擴散度 (cm^2/sec)

x 為長方向之距離 (cm)

$V_x(t)$ 為廢水之水平流速 (cm/sec)

r_x 為廢水中污染質之分解速率 ($mg/\ell/hr$)

(A) 在柱塞流 (plug flow) 情況： $D_x = 0$ 設 r_x 可以忽略，則

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_x(t) \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2)$$

(2) 式解得：

$$C = f[x - \int_0^T V_x(t) dt]$$

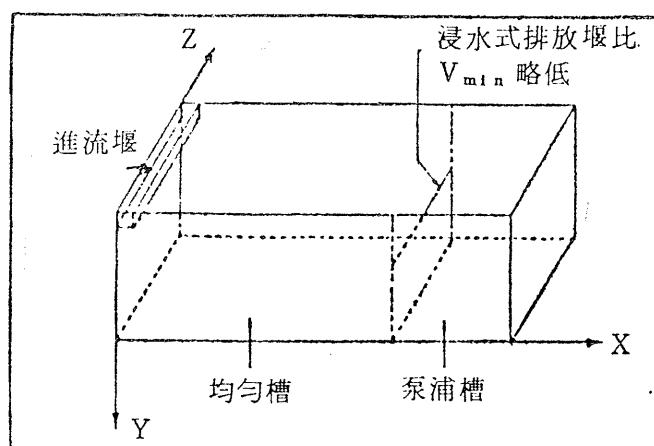
T 為水流通過均勻槽全長所須之時間。若污染質進入時為 $f(t)$ ，則放流時將出現同樣的型態，時間位移為

$$\int_0^T V_x(t) dt$$

所以在柱塞流下，槽中沒有均勻作用，放流端出現與進流端相同的流出型態。設計時，柱塞流可以用攪拌機或維持很低的長寬比來避免。即使橫向或垂直方向的混合很好，若無縱

表五 例3中求均勻槽體積之計算值

時 間	變動率 R_1	$R_1 - R_m$	$\sum(R_1 - R_m)$
M-1	0.896	-0.104	-0.104
1-2	0.717	-0.283	-0.387
2-3	0.537	-0.463	-0.850
3-4	0.423	-0.577	-1.424
4-5	0.342	-0.658	-2.085
5-6	0.326	-0.684	-2.759
6-7	0.391	-0.609	-3.368
7-8	0.668	-0.332	-3.700
8-9	1.156	0.156	-3.544
9-10	1.336	0.336	-3.208
10-11	1.384	0.384	-2.824
11-N	1.401	0.401	-2.423
N-1	1.384	0.384	-2.039
1-2	1.319	0.319	-1.720
2-3	1.254	0.254	-1.466
3-4	1.140	0.140	-1.326
4-5	1.059	0.059	-1.267
5-6	1.059	0.059	-1.208
6-7	1.075	0.075	-1.133
7-8	1.189	0.189	-0.944
8-9	1.303	0.303	-0.641
9-10	1.303	0.303	-0.338
10-11	1.238	0.238	-0.100
11-M	1.124	0.524	+0.024



圖五 均勻槽的模式

方向之攪動，則仍有可能存在柱塞流。設計均勻槽時，應區分不同攪拌型態所造成的影響，以向上及向下隔板混合方式，產生的橫向及垂直混合良好，但縱向混合很差，若隔板太多，則形成接近柱塞式，所以設計者應特別小心。

(B)在完全混合 (Completely mixed system) 情況：完全混合時，擴散度為無限大，進流污染物濃度瞬間擴散至整個均勻槽。考慮圖六之系統，利用質量平衡方法，建立方程式：

$$\frac{d(CV)}{dt} = Q_1 C_1 - q_p C \pm \gamma_x V \\ = C \frac{dV}{dt} + V \frac{dC}{dt} \quad (3)$$

式中， $Q_1 C_1$ 為進流質量

$q_p C \pm \gamma_x V$ 為流出質量

$$\text{若蒸發量不計，則 } \frac{dV}{dt} = Q_1 - q_p \quad (4)$$

(3), (4)二式用有限差分近似法求得：

$$C_t(Q_1 - q_p) + V_t \frac{C_t - C_{t-1}}{\Delta t} = Q_1 C_t - q_p C_t \pm \gamma_x V \quad (5)$$

$$\text{及 } V_t = (Q_1 - q_p) \Delta t + V_{t-1} \quad (6)$$

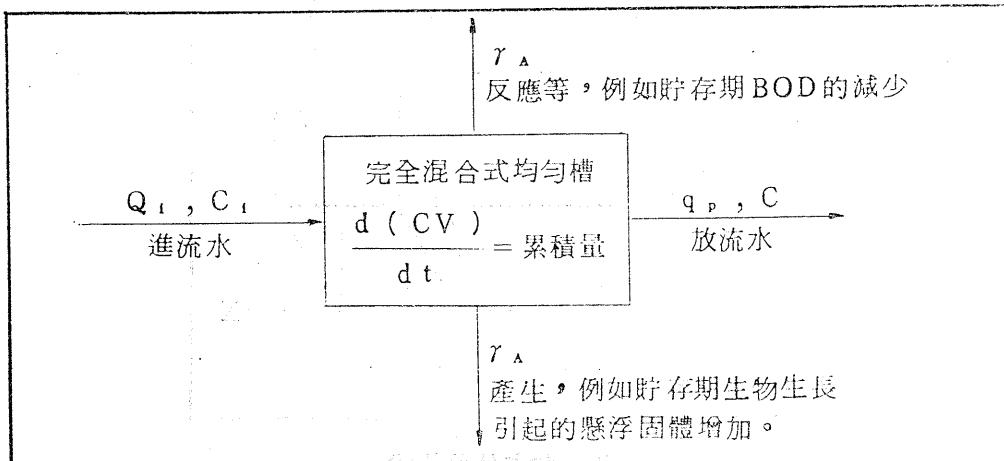
式中， C_t ：均勻槽及放流水在 t 時的污染物濃度 (mg/ℓ)

C_{t-1} ：為均勻槽放流水在 $t-1$ 時之污染物濃度。 (mg/ℓ)

V_t ：為現時均勻槽中廢水之體積。 (m^3) 。

V_{t-1} ：為前面一段時間中均勻槽廢水體積。 (m^3)

Δt ：為取樣之間距時間。



圖六 完全混合系統之質量平衡圖

q_p ：均勻槽之排放速率。

C ：進流水之污染物濃度。(mg/ℓ)

Q_i ：進流速率。(m^3/hr)

均勻槽的目標之一為排放常定的水力負荷 q_p 到廢水處理廠，所以 q_p 能以平均廢水流速，根據實測或工廠用水量估計而計算之。

為了處置極端水流情況，真正的泵浦規格應大於 q_p ，使用適當的安全係數。

解(5)，(6)式，必須建立均勻槽之初體積及放流水濃度。

在 $t=0$ 時之最初污染物濃度，可以將取樣濃度與相對之流速用加權平均法近似求得：

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^j C_i^j}{\sum_{j=1}^n Q_i}$$

C_0 ，為 $t=0$ 時均勻槽濃度。

n ，為流速測定數及取樣數。

初體積 V_0 為一臨界因數，在橫式中，可以從 0 到很大的值，使足以容納工廠數個月周期的排水。最大的 V_0 值即為希望的均勻槽積，其平均停留時間為 V_0/q_p ，均勻槽貯水量則在 V_0 至 V_t 之範圍內。實際上，均勻槽大小須足以容納最大的 V_t ，加上安全係數，否則將會有溢流可能，抽水泵浦開動時間則設定在流滿 V_0 時，以免抽乾。

例 4：體積濃度法。某工廠24小時操作周期內之廢水水質及水量資料列於表六。希望均勻槽放流水不超出土60%的平均值，儘可能維持放流水量為一定的流率，試求合理之均勻槽大小。

$$q_p = \frac{\sum_{i=0}^n Q_i \Delta t}{n} = 1,042 \text{ m}^3/\text{hr}$$

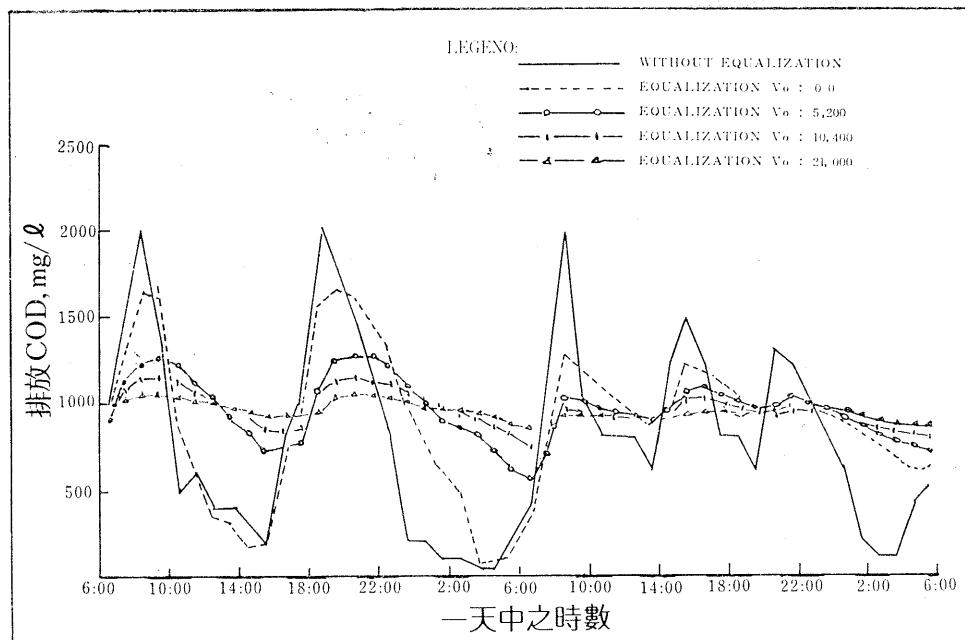
(2) 計算 $t=0$ 時，均勻槽之濃度，利用(7)式：

$$C_0 = \frac{\sum_{j=1}^n Q_i^j C_i^j}{\sum_{j=1}^n Q_i} = 1,000 \text{ mg}/\ell$$

(3) 假定 $V_0=0.0$

(4) 由公式(6)計算 V_t ，由公式(7)計算 C_t 。

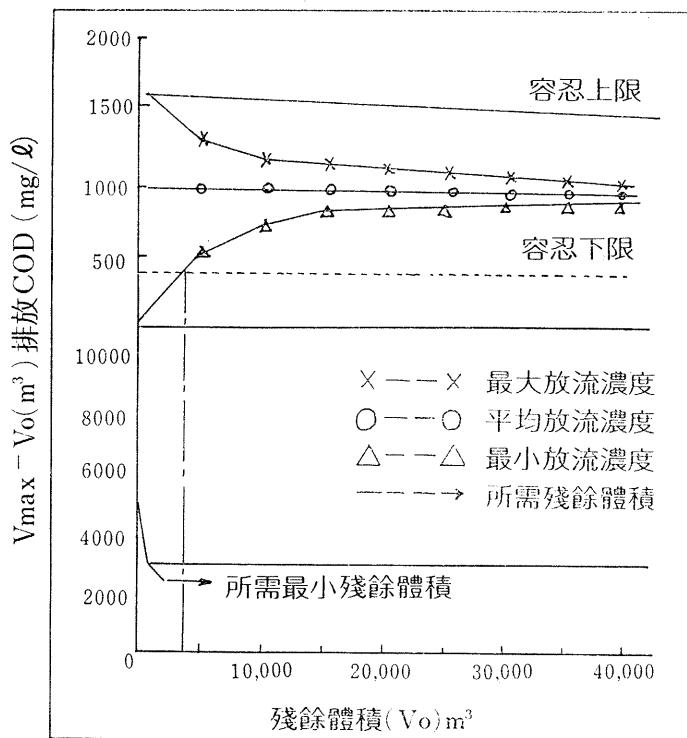
(5) 假定 $V_0=5q_p, 10q_p, 15q_p$ 等值，重複第 4 步驟。圖七顯示均勻效果受不同 V_0 值的影響。



圖七 例四中均勻槽殘餘體積對濃度之影響

(6)繪製最大的 C_t ，最小的 C_t ，平均的 C_t 。

以及 $V_{t\max} - V_0$ 值對 V_0 作圖，如圖八以 C_t 的平均值乘以 1.6 及 0.4 做為忍受限度的上下限。



圖八 例四中殘餘體積對特定參數之影響

表六 例4 中工廠之水質變化（二個周期）

時 間	流量 (m ³ /hr)	BOD 濃度 (mg/ℓ)
07	1,000	1,000
08	2,000	1,500
09	1,500	2,000
10	500	1,500
11	400	500
12	1,000	600
13	800	400
14	800	400
15	600	300
16	1,000	200
17	1,000	800
18	1,500	1,000
19	1,800	2,000
20	2,000	1,800
21	1,500	1,500
22	1,200	1,200
23	800	800
24	800	200
01	800	200
02	400	100
03	200	100
04	200	50
05	600	50
06	700	200
07	1,200	400
08	2,500	1,000
09	1,800	2,000
10	1,500	1,000
11	1,000	800
12	600	800
13	600	800
14	800	600
15	1,000	1,200
16	2,000	1,500
17	1,900	1,200
18	1,800	800
19	1,200	800
20	800	600
21	800	1,300
22	800	1,200
23	2,000	1,000
24	1,500	800
01	1,000	600
02	400	200
03	400	100
04	300	100
05	600	400
06	500	500

(7) 從圖八知，須要殘留體積為 $V_0 = 3,700\text{m}^3$ 與 $V_{\max} - V_0 = 3,100\text{m}^3$ ，所以 $V_{\max} = 6,800\text{m}^3$ ，若安全係數為 20%，則設計體積 = $8,160\text{m}^3$ 。

(8) 討論：試比較下列「設計準則」（某些人建議使用者）而得的設計體積，如表七所示。

3. 均勻槽之水力設計

非理想流型大部分實際的均勻槽，其水流型態均介於完全混合及柱塞流之間，若擴散度 (diffusivity) 已知，公式(1)能以數字解出，但偏微分方程數字解頗為繁雜，公式(1)可以重組為無因次羣， L 為反應槽長度。

表七 例 4 之討論比較

設計參數	體積
容納二小時的尖峯流量	$4,000\text{m}^3$
一個操作周期	$25,032\text{m}^3$
三倍操作周期	$75,096\text{m}^3$
12小時停留時間或工廠操作周期之一半	$12,516\text{m}^3$

$$\frac{1}{[V_x(t)L]} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_x}{V_x(t)L} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial C}{\partial x} \pm \frac{r_x}{V_x(t)L} \quad (7)$$

許多均勻槽都使廢水在進流端及放流端分佈均勻，若分散數 (dispersion number)，

$\frac{D_x}{V_x(t)L}$ ，能用放流追蹤劑曲線的變異數校正，

$$\sigma^2 = 2 \left[\frac{D_x}{V_x(t)L} \right] - 2 \left[\frac{D_x}{V_x(t)L} \right] \left[1 - e^{-\frac{V_x(t)L}{D_x}} \right] \quad (8)$$

σ^2 為均勻槽放流端追蹤劑曲線的變異數，在完全混合槽串聯時， σ^2 約等於串聯槽數的倒數。

圖九為在各種擴散數下，脈衝注入追蹤劑後，排放水追蹤劑濃度曲線。當擴散數接近無限大時，為完全混合系統，此時短流 (short-circuiting) 也最大，新進廢水有可能瞬間大量出現在放流水中，稀釋作用僅由原先已累積槽中的廢水發生。當擴散數在無限大與 0.2 之間，進流的尖峯廢水有較大部分在槽內停留較長，而被已累積在槽中濃度較低的廢水所稀釋。當擴散度小於 0.2 時，上述停留時間更長，短流情況最小，但攪拌效果最差，所以稀釋也差，圖九指出各種擴散度的最大追蹤劑排出濃度。理想的完全混合槽而沒有短流發生是不可能的，所以理想的情況可以定在擴散度為 ∞ 到 0.2 之間。

一個非理想流型均勻槽排出污染物最高的濃度，可以圖十的效率因素做為修正因素，即以理想流型的均勻槽排出濃度乘上效率因素即可。詳例 5 說明。

例 5：工廠條件如例 4，

(1) 若追蹤劑研究顯示在最低流量時擴散數為 0.25，計算均勻槽所需之體積。

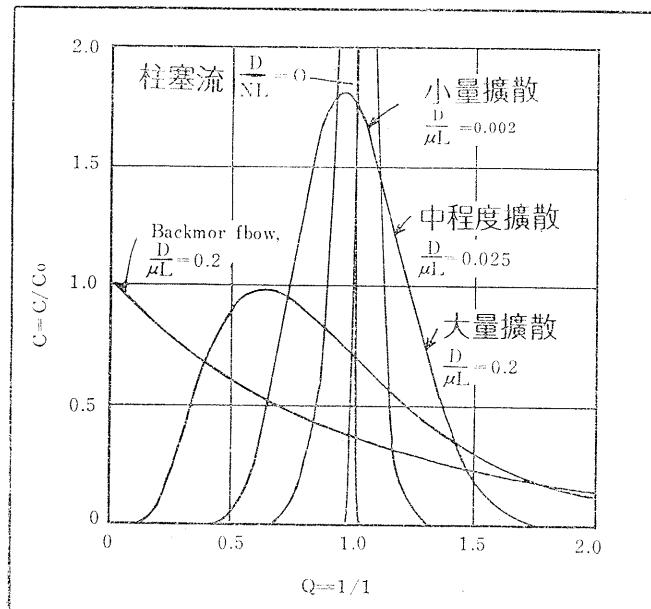
(2) 若最低流量時擴散數為 0.05，對槽大小的影響如何？

(解答)

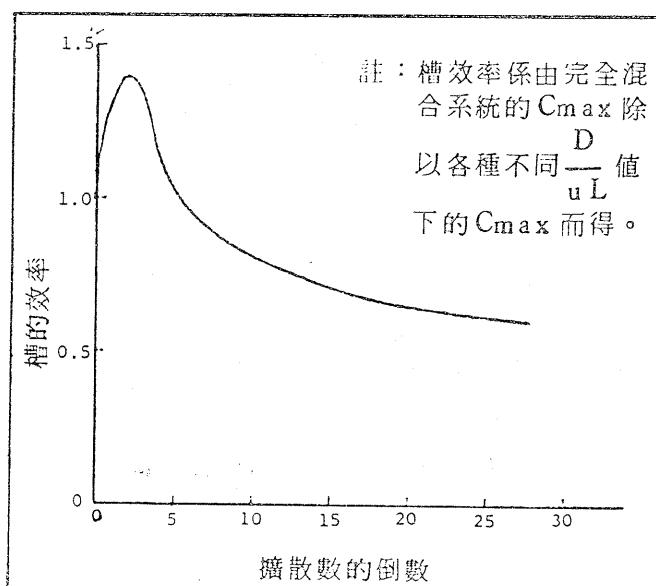
(1) 若分散數為 0.25，則 $\frac{\mu L}{D} = 4.0$ ，由圖十知，槽之效率為完全混合系統之 110%，所以

均勻槽需要 $= (8,160 / 1.1) = 7,420 \text{m}^3$ ，同樣有 20% 安全係數。

(2) $\frac{\mu L}{D} = 20$ ，由圖十知，槽之效率僅為完全混合系統之 64% 所以槽大小 $= (8,160 / 0.64)$
 $= 12800 \text{m}^3$ 。



圖九 非理想狀況各種情況之擴散模式預測



圖十 擴散對槽中稀釋效率之影響

4. 均勻槽之物理設計

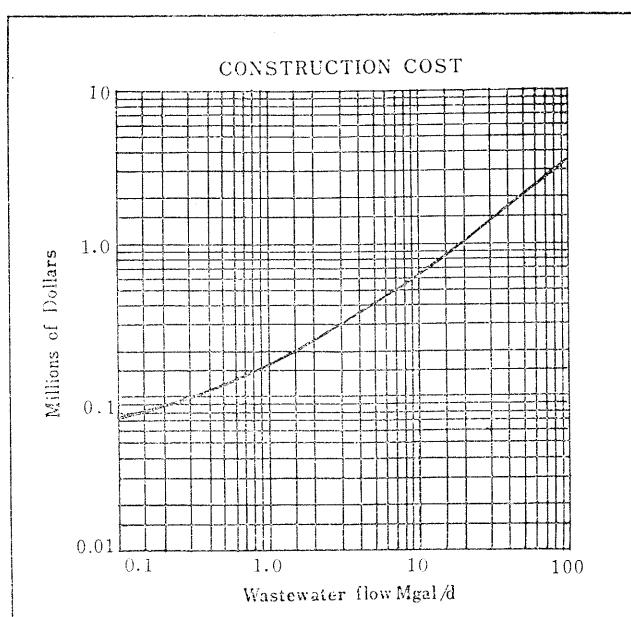
均勻槽的形狀 幾何形狀與使用同線式或側線式有關，同線式的目的在同時均勻流量及質量負荷，所以槽的形狀宜儘可能使具有連續流攪拌反應槽的功能，應避免長條形槽，進水及出水應妥為設計，使短流減至最小，在攪拌器附近注入廢水通常可達到目的。

操作附件 在設計均勻槽應包括：清除槽壁上固體及油脂沉積的設施；泵浦故障時緊急的溢流設施；高水位去除浮渣或泡沫；噴水消除泡沫，防止其累積等附屬設施。

攪拌及曝氣 不論是同線式或側線式，均勻槽均須有攪拌及曝氣以維持正常操作。攪拌必須足以避免固體沉積，均勻槽設在沉砂池之後，可以達到最小攪拌的目的。以含有懸浮固體(S.S.) 約 220mg/l 的城鎮廢水而言，攪拌動力約為 $0.004\sim 0.008\text{KW/m}^3$ 貯水。曝氣則在防止腐敗，上述廢水之空氣供給量約需 $0.01\sim 0.015\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ 。

泵浦及泵浦控制 由於均勻槽引起的水頭損失，一為動力水頭 (dynamic losses)，一為正常水位差異，另外當槽要洩時要更大的水頭。當所有水頭損失無法由重力來提供時，則須泵浦。泵浦可以設在均勻槽之前或之後，有些情況則未均勻廢水及均勻後的廢水均使用泵浦抽送。為滿足每天尖峯流量，進流泵浦的容量通常要較大。若放流係以重力為之，則須有自動化的流量調節裝置；若放流係用泵浦，則須用儀表控制預先選擇好的均勻槽放流速率。無論使用那種方式放流，在均勻槽的排出口處，須有測定流量的裝置用來監測均勻化後的流量。

泵浦的所需能量，在同線式均勻槽依據總流量計算，在側線式均勻槽則依多餘的流量計算。粗略計算公式為：千瓦小時／年 = $1,900 \times (\text{流量，百萬加侖/天}) \times (\text{水頭，呎})$ 。



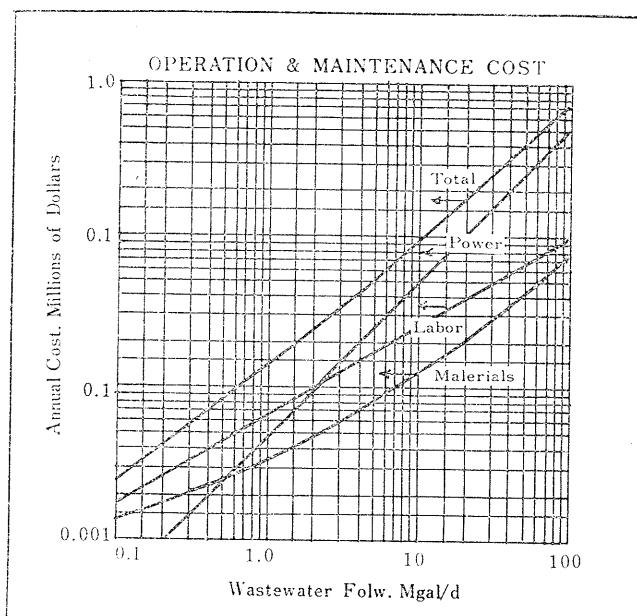
圖十一 均勻槽之建造費 (USA, 1976)

費用

基本假設：

1. 流量小於一百萬加侖／天時為混凝土構造。
2. 流量大於一百萬加侖／天時為土槽加上6吋厚的混凝土襯裏。
3. 水流停留時間為1天。
4. 攪拌=每百萬加侖貯槽須20~40馬力。
5. 費用包括槽及機械攪拌設備，但不包括泵浦。
6. 依美國工程經濟指標 ENR index=2,475 (1976年9月) 時估價。

依以上6點假設，所得之建造費及操作維護費，分別如圖十一及圖十二所示⁽⁵⁾。



圖十二 均勻槽之操作費 (USA, 1976)

三、問題與討論

- (一) 尖峯負荷狀況與處理廠設計之間存在著許多值得深入探討的問題。早期處理廠設計不考慮尖峯負荷，僅憑成功經驗所得的負荷準則 (loading criteria) 為設計依據。後來，EPA 新的設計手冊雖然考慮到短期，時流量變化 (hourly flow variations) 的均勻化，並認為尖峯時流量以及特別高峯流量的均勻化能提供生物處理系統很大的效益⁽¹¹⁾，但對特別的日高峯、周高峯及月高峯 (daily, weekly and monthly flow peak) 則尚未考慮其對處理廠之影響。另外，根據模型或現場之試驗資料顯示，上述美國 EPA 認為均勻時高峯對生物系統有大效益的說法，也得不到強有力的支持⁽¹²⁾，某些處理廠即使對周高峯、月高峯的負荷情況也無法適當應變，故無法依賴均勻槽的設計能提供對處

理廠性能的巨大改進。主要的觀念是，在一個處理廠的各個不同單元，其所受流量及負荷變動的影響程度亦不同，所以每個不同單元應依不同的高峯比例來設計⁽¹⁸⁾。

某地區擬建造二級處理廠，經數年長時間之流量及水質測定工作，計算得到之結果列於表八。試依據以下某設計工程師之慣用法則，寫出各主要單元之設計值。

表八 某地區測得之各種設計參數的尖峯比例

設計依據	尖峯月 平均年	尖峯日 平均年	尖峯 8 小時 平均年	尖峯 4 小時 平均年	特殊氣候 平均年
流 量	1.35	1.91	2.29	2.37	3.0
BOD 負荷	1.30	1.59	2.23	2.39	—
S. S. 負荷	1.37	2.28	3.05	3.27	—
NH ₃ -N 負荷	1.25	1.51	2.11	2.27	—
PO ₄ ³⁻ 負荷	1.27	1.57	2.20	2.36	—

(1)初步處理單元，例如沉砂池、篩欄、磨碎機及泵浦，必須有能力處理極高峯的水力負荷。

(2)初沉槽，當高峯比例在3.0以下時，根據平均流量設計可以使用600加侖／天／平方呎之經驗數據，此一數據已經包含了相當大的安全係數，但若比例大於3.0時，則使用的表面負荷數值，應略為減少。

(3)活性污泥曝氣槽：尖峯月之平均BOD負荷可用來決定曝氣槽之大小。當短期較高負荷期間，處理效率將會略為降低，但只要供氧充分及污泥回流恰當，則處理廠尚不致失敗，而且更短期之高峯負荷應不致於使生物膠羽的大小、本性及沉降性等有重大的改變。在二段式處理槽中，硝化作用在第二段槽中完成，硝化單元的大小應使在第一段放流水尖峯月氨氮的負荷下有效的操作。

(4)供氧量：供氧設備及輸送設備之大小，依欲去除的尖峯日的BOD及氨氮的去除量加上50%的高出尖峯日的尖峯4小時負荷量為準。

提示：設計 BOD 負荷 = $[1.59 + 0.5 \times (2.39 - 1.59)] \times [\text{平均年 BOD 負荷}] \div 2 \times \text{平均年 BOD 負荷}$ 。

設計 NH₃-N 負荷 = $[1.51 + 0.5 \times (2.27 - 1.51)] \times [\text{平均年 NH}_3\text{-N 負荷}] \div 1.9 \times \text{平均年 NH}_3\text{-N 負荷}$ 。

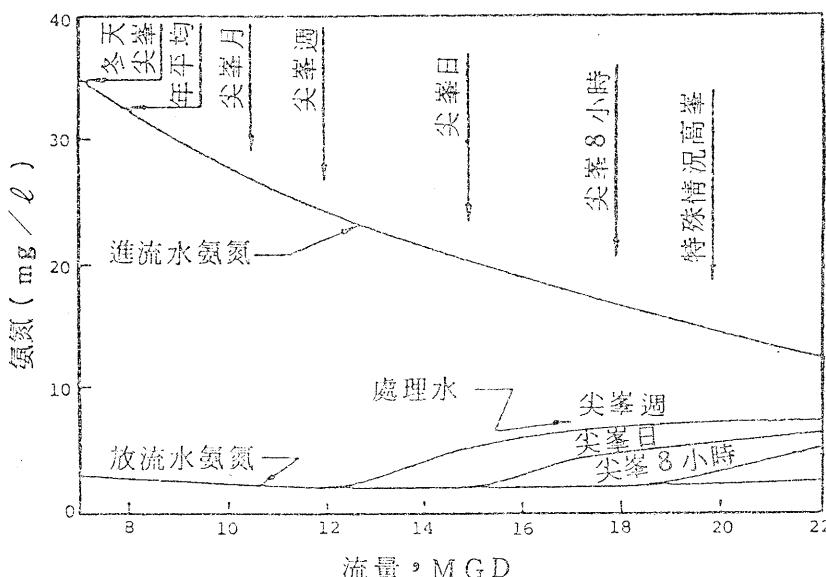
(5)終沉池：由於終沉池之目的在防止活性污泥之流失，故即使4或5小時的尖峯水流也可能引起重大的不利影響而生物再生的回復期又需時很長，所以一般設計用尖峯4小時的流量或再另加考慮特殊氣候狀況下的高峯流量，以為系統之萬全保護。

(6) 保護處理系統方法之一為當高峯負荷來臨時採用分開處理(Split treatment)或溢流(overflow)，僅處理正常的流量，高峯期多出的流量則不經處理單元，在最後與經處理的部分再合而為一排放。此種方法自然會導致高峯期排放水水質的降低(劣化)，

但總比高峯期導致整個系統失敗要好得多。圖十三為某二級處理廠硝化作用系統使用分開處理放流水氨氮濃度的計算值。圖中進流水氨氮濃度曲線係由尖峯月平均進流水氨氮濃度為 $28\text{mg}/\ell$ 以及當流量高出尖峯月平均值時稀釋作用使氨氮濃度降低之情況繪製的，在圖中注意尖峯周、尖峯日、尖峯時以及特別情況尖峯量時，排放水由於未處理水及處理水之混合而使氨氮濃度提出，試由圖十三概略反算下列問題：

(1)正常流量時（尖峯月）硝化系統的效率如何？

(2)檢核流量為 14MGD 時之排放水氨氮濃度，是否如圖上所示之數值。



圖十三 各種不同程度分流處理預期之放流水含氨氮濃度

四、參考資料

1. Boris Khudenko, "The Dynamics of Automated Equalization Basin-Reactor Systems." *Proc. of the 35th Industrial Waste Conf. Purdue Univ.* 768-787 (1981).
2. Wallace, A. T., "Analysis of Equalization Basins," *J. of Sanitary Engineering Div.*, ASCE, Vol. 94, No. SA6, Proc. Paper 6310 (1968).
3. Novotny, V., "Equalization of Time Variable Waste Loads", *J. of the Environmental Engineering Div., ASCE*, Vol. 101, No. EE3, Proc. Paper 12191 (1976).
4. Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, 1979, p. 187-195.
5. Arnolds, Vernick & Elwood C. Walker, *Handbook of Wastewater Treatment Processes*, Marcel Dekker; Inc., 1981, p. 92-93.
6. U. S. EPA, *Areawide Assessment Procedures Manual, Vol. III*, Report No.

- 600/9-76-014, July 1976.
- 7. U. S. EPA, *Flow Equalization Evaluation of Application, in Municipal Sewage Treatment*, Second Review Draft, Contract No., 68-03-2512, January 1978.
 - 8. Ely Anthony R. Ouans, "Developing a Methodology for Design of Equalization Basins," *Water & Sewage Works*, Nov. 1977, p. 48-52. Discussion by B. M. Khudenko, EE, ASCE, Aug. 1979, p. 787-789.
 - 9. M. D. La Grega & J. D. Keenan, "Effects of equalizing Wastewater flows," *J. Water Pollution Control Federation*, 46, 1974, p. 123-132
 - 10. Hardam Singh Azao, *Industrial Wastewater Management Handbook*, Mc Graw-Hill Book Company, 1976, p. 8-41~8-43.
 - 11. *Upgrading Existing Wastewater Treatment plants* U. S. EPA Technology Transfer Process Design Manual, Oct., (1974).
 - 12. Foess, G. W., et. al., "Evaluation of in-line and side-line Flow Equalization Systems," *J. WPCF*, Vol. 49, No. 1. p. 1 (1977).
 - 13. James C. Young, et. al., "Flow and Load Variations in Treatment plant Design," *J. of the Environmental Eng. Division, ASCE*, p. 13676 (1978).
 - 14. P. L. Dold, H. O. Buhr and G. V. R. Marais, "A Computer-Based Strategy for the Control of Equalization tanks," *Wat. Sci. Tech. Vol. 13*. pp. 349~354, IAWPR/Pergamon Press Ltd. (1981).
 - 15. B. M. Khudenko, "Optimization of Automated Equalization Basin-Reactor Systems for Chemical Treatment of Wastewater," *Wat. Sci. Tech. Vol. 13* pp. 355-362, IAWPR/Pergamon press Ltd. (1981).