

工業廢水處理技術(二)

李公哲*

七、工業廢水之調和（或調勻）

(一) 目的

工業廢水處理方法雖有物理、化學及生物處理等，然為保證前項各處理單元之處理效果良好，工業廢水處理前先予調和（或調勻）(Equalizing) 已成為大多數水量或水質變化劇烈的工業廢水處理程序之一部份。

一般而言，工業廢水水量及水質之時間變化均甚大，因此往往需在處理前設置一個調和池(Equalization basin)，其大小足夠調勻及克服因工廠廠內產量變化所引起之水量及水質變化，調和池之目的可歸納成以下幾點：

1. 可減小(damping) 有機濃度之驟變，防止造成生物處理系統之超負荷(Shock loading)。
2. 減小 pH 之變化，可減少中和(Neutralization) 所需之藥品量。
3. 減小流量變化，使初步沉澱池及最終沉澱池之池面負荷(Surface loading) 不致於超過。
4. 當工廠停止操作時，生物處理系統仍可繼續進水，維持正常操作。
5. 如工業廢水係排入公共下水道，則可使工業廢水排入量較為均勻，避免造成處理廠之超負荷。
6. 可避免高濃度的毒性物質流入生物處理系統。

廢水經過調和後，其初步沉澱池之處理效率可予提高，尤以懸浮固體去除為然，由例子顯示，懸浮固體量去除率由百分之二十三增為百分之四十七⁽²⁾，其理由為調和池之曝氣作用可使懸浮固體形成膠羽(Flocculate) 狀。

(二) 調和池體積之計算

調和池可設計為池內存水容積隨時間變化，而其出水量為一定；也可設計為池內存水容積不變，而出水量變化。前者通常應用在低流量的化學處理及生物處理時，可提供一個定流量的進流水，而僅有進流水濃度變化，同時，可避免最終沉澱池之水力超負荷。一般而言，廢水量變大的工業廢水，為避免對公共污水處理廠造成突增流量，往往也需設置容積可變化，而出水量為一定的調和池。

調和池具一定的容積，而出水量為變化的設計，通常用在輔助中和作用(Neutralization)，尤其是工業廢水中含有酸性及鹼性廢水之時，其濃度亦可調勻。

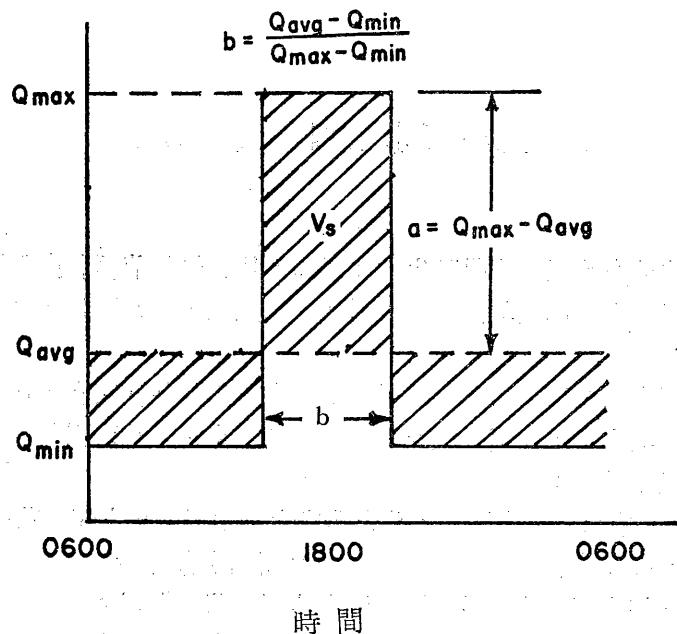
工業廢水之應用，仍以流量之調勻為最重要，此也適用在生物處理前部份，以下乃將存水容積可變而出水量為一定之調和池體積計算法分述如下：

* 本小組委員

臺大環境工程研究所教授

1. 矩形波模式法

一般工業廢水之流量變化為一個接近正弦波 (Modified Sine Wave) 的形狀，但為工程應用方便計，工業廢水之每日變化可以一個矩形波模式 (Square-Wave Model) 來表示 (見圖五)：



圖五 一日廢水容量之矩形波模式

圖五所示為以一天為準之矩形波模式，實線以下代表一天廢水量之和，經由質量平衡 (Mass balance)，可知實線以下一天總廢水量體積可以下式表示：

$$Q_{av}(1 \text{ day}) = Q_{min}(1 \text{ day}) + (Q_{max} - Q_{min}) (b \text{ days})$$

上式可得

$$b = \frac{Q_{av} - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$

由圖五可知

$$a = Q_{max} - Q_{av}$$

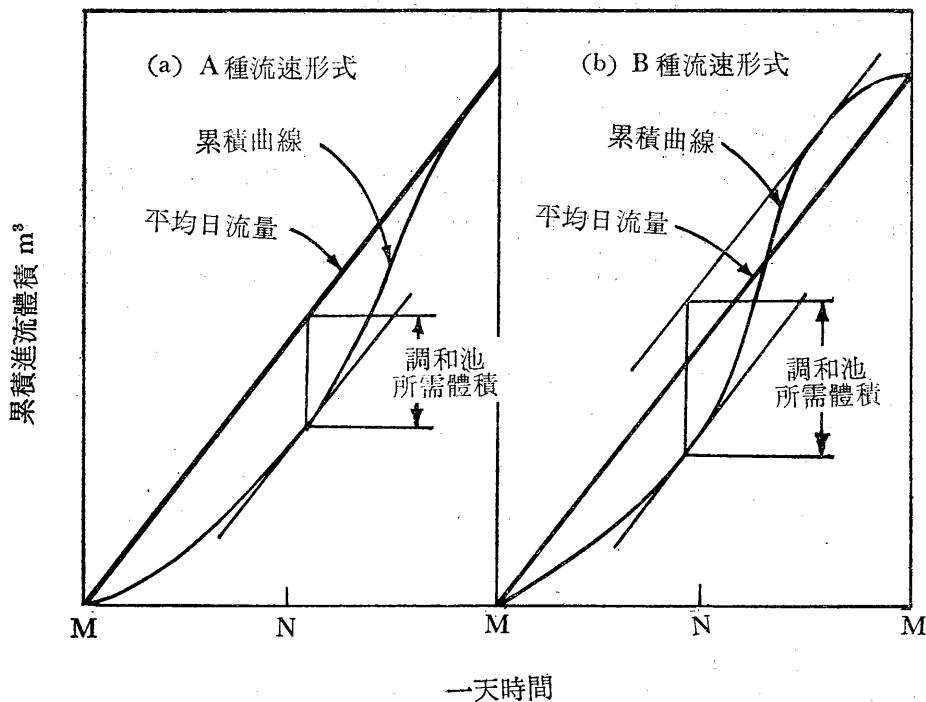
再者，因為調和池所需體積就是圖五實線以下，虛線以上之畫斜線部份⁽³⁾，故

$$V_s = a \cdot b$$

式中， V_s = 調和池所需體積

2. 累積曲線法

應用累積曲線法 (Mass Diagram) 求取調和池體積之方法是將累積進流廢水畫在縱座標上，而將一天的時間畫在橫座標上，然後在圖中畫上一條直線代表平均日流量 (即自原點畫一直線連接累積曲線之端點)。下一步，則在累積曲線畫二根切線 (Tangent) 使其與前述平均日流量直線平行，而二切線間之垂直距離即代表調和池所需體積 (參見圖六) ⁽⁴⁾。



圖六 典型之累積曲線法求取調和池體積

3.統計法

如有足夠的水質檢驗資料，一個出水流量為一定之完全混合式 (Completely-Mixed) 調和池，可應用統計原理，限定調和池出水水質在一定範圍內，而推求調和池之體積。此時設計者需事先設定調和池進水水質（如生化需氧量(BOD)）之變化及決定一個「可信水準」(Level of Confidence)。在上述條件，一個調和池之放流水水質變異量 (Effluent Variance)， S_e' 與調和池之進流水水質變異量 (Influent Variance) 間之比值有以下關係⁽¹⁾：

$$\frac{S_e'}{S_i'} = \frac{\Delta t}{2t}$$

式中， Δt =採樣時「綜合水樣」(Composite Sample) 之間隔時間 (小時)

t =調和池之停留時間 (小時)

S_i' =調和池進流水水質 (如 BOD) 之變異量

S_e' =論和池放流水水質 (如 BOD) 之變異量

上式可重寫為：

$$t = \frac{(\Delta t)(S_i')}{2(S_e')}$$

調和池之停留時間 (t)，則可由上式計算，進而可求得調和池之體積。上式中之 S_i' 可用下式求得：

$$S_i' = \sigma_i^2$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

式中， σ_i =進流水水質（如 BOD）之標準偏差（Standard Deviation）

X_i =單獨水樣（discrete Sample）之水質（如 BOD）

\bar{X} =所有水樣之水質（如 BOD）平均值（Mean）

n =單獨水樣之水樣數量

再者，因為調和池放流水水質之實際資料，設計者無法收集，故 S_e' 也無法用 S_i' 之求法加以獲得。一般而言，估計之 S_e' 值可應用「累積標準常態值」（Cumulative Standard Normal）， Y ，與估計之調整池放流水之最大與平均水質之差額，與放流水水質之標準偏差求得，即：

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

上式， Y =累積標準常態值

X_{\max} =估計之調和池最大出水水質（如 BOD）

\bar{X} =估計之放流水平均水質（如 BOD）

σ_e =放流水水質（如 BOD）之標準偏差

由上式

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

$$\text{而 } S_e' = \sigma_e^2$$

就統計上而言， Y 與可信水準 $P(X)$ 有關，在常態分配（Normal Distribution）條件下，二者關係為：

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

上式之 $P(X)$ 與 Y 之關係，可由表八之或然率表求得：

表八 累積之常態分配表

| Y | P(X)* | Y | P(X) | Y | P(X) |
|-----|-------|------|-------|------|-------|
| .00 | .5000 | 1.20 | .8849 | 2.40 | .9918 |
| .05 | .5199 | 1.25 | .8944 | 2.45 | .9929 |
| .10 | .5398 | 1.30 | .9032 | 2.50 | .9938 |
| .15 | .5596 | 1.35 | .9115 | 2.55 | .9946 |
| .20 | .5793 | 1.40 | .9192 | 2.60 | .9953 |
| .25 | .5987 | 1.45 | .9265 | 2.65 | .9960 |
| .30 | .6179 | 1.50 | .9332 | 2.70 | .9965 |
| .35 | .6368 | 1.55 | .9394 | 2.75 | .9970 |
| .40 | .6554 | 1.60 | .9452 | 2.80 | .9974 |
| .45 | .6736 | 1.65 | .9505 | 2.85 | .9978 |
| .50 | .6915 | 1.70 | .9554 | 2.90 | .9981 |
| .55 | .7088 | 1.75 | .9599 | 2.95 | .9984 |
| .60 | .7257 | 1.80 | .9641 | 3.00 | .9987 |
| .65 | .7422 | 1.85 | .9678 | 3.05 | .9989 |
| .70 | .7580 | 1.90 | .9713 | 3.10 | .9990 |

| | | | | | |
|------|-------|------|-------|------|--------|
| .75 | .7734 | 1.95 | .9744 | 3.15 | .9992 |
| .80 | .7881 | 2.00 | .9772 | 3.20 | .9993 |
| .85 | .8023 | 2.05 | .9798 | 3.25 | .9994 |
| .90 | .8159 | 2.10 | .9821 | 3.35 | .9996 |
| .95 | .8289 | 2.15 | .9842 | 3.45 | .9997 |
| 1.00 | .8413 | 2.20 | .9861 | 3.55 | .9998 |
| 1.05 | .8531 | 2.25 | .9878 | 3.75 | .9999 |
| 1.10 | .8643 | 2.30 | .9893 | 4.00 | 1.0000 |
| 1.15 | .8749 | 2.35 | .9906 | | |

實際應用時，估計調和池放流水平均水質，可假定與調和池平均進流水平均水質相同，而估計調和池最大出水水質應考慮下一個處理單元（如生物處理法）可承受之最大水質，及整個處理廢水廠應有之放流水標準。以本統計法求取調和池之體積時，工廠廢水之取樣，應連續一個星期，而每兩個小時作為一個綜合水樣，其結果較為可靠。一般而言，取樣時間之長短，至少應為工廠廢水可能驟增變化時間之十倍，並且至少有十八個（最好有一百五十個）水樣。

(三) 設計要點

除上述述求取調和池體積之設計要點外，通常為避免可沉降固體在調和池內沉積下來，調和池內應設置有攪拌設備。對於容易分解之有機工業廢水，如啤酒廠廢水，一般採用沉水式攪拌機 (Submerged mixer)，常用為表面曝氣器 (Surface aerator)，所需之馬力約為 0.003 至 0.004 Kw/m³ (15 至 20 hp/MG)。如果採用空氣曝氣式 (Diffused air aeration)，其空氣需要量約為 67 ℥ air/m³ (0.5 ft³ air/gal)。是項攪拌曝氣作用，可能也有去除部份有機物或 BOD 作用。

再者，如果調和池後繼之處理單元係為完全混合池 (Completely mixed basin)，則此完全混合池之體積可算為前面調和池體積之一部份。如根據進流水所計算出之調和池體積需有停留時間 16 小時，而後繼的完全混合式活性污泥法曝氣槽之停留時間有 8 小時，則調和池之停留時間設計為 8 小時即可。一般而言，調和池之停留時間約為半日至一日，因工廠而異。

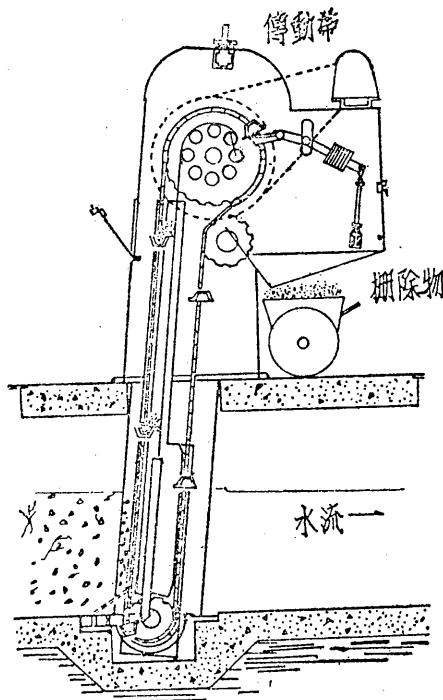
八、工業廢水之物理處理

工業廢水之物理處理主要是用以去除飄浮物質及懸浮固體，並具有中和或調勻作用，以便日後繼續作二級處理，現就主要之工業廢水物理處理之重要單元討論如下⁽⁵⁾：

(一) 篩 除

篩除 (screening) 是在其它處理方法前先以柵篩 (screen) 去除較大之固體，一般柵篩多設於處理廠的前端以移除較粗之物質，一般常用者為粗柵 (coarse bars 或 racks)。粗柵之間距為介於 $1\frac{1}{2} \sim 2\frac{1}{2}$ 吋 (相當於 3.8~6.4 公分) 之間，以人工清除或機械循環鏈條清除，如圖七所示。

工業廢水處理所用之柵篩，有迴轉式、振動式及離心式幾種，廣泛用於罐頭食品、啤酒廠、紙漿及造紙廢水處理。



圖七 機械清除法示意圖

（二）沉 澱

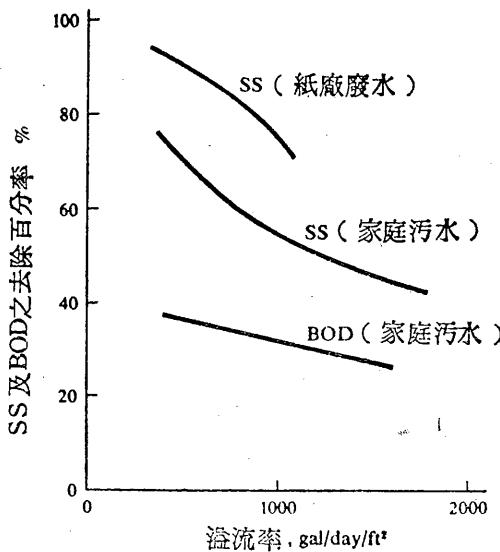
1. 一般說明

沉澱 (sedimentation) 係用以去除廢水中之懸浮固體，由於懸浮固體存在的性質不同，沉澱可分為三類：即單獨沉澱 (discrete settling)、混凝沉澱 (flocculent settling) 及層沉澱 (zone settling)。單獨沉澱的沉降過程中，顆粒始終維持其獨立性，大小、形狀及密度均不變，飛灰、煤渣與沉砂池 (grit chamber) 中之沉澱屬於此種。混凝沉澱的特點為沉降之顆粒有凝聚 (agglomerate) 作用，沉降速度及顆粒大小會隨時改變，一般紙漿及造紙廢水的沉澱為其例。層沉澱大部分為由膠凝形態懸浮物形成的格子狀結構 (lattice structure)，以塊狀層降，上澄液與沉澱固體間出現明顯之界面，如明礬膠羽 (floc) 及活性污泥之沉澱等皆是。

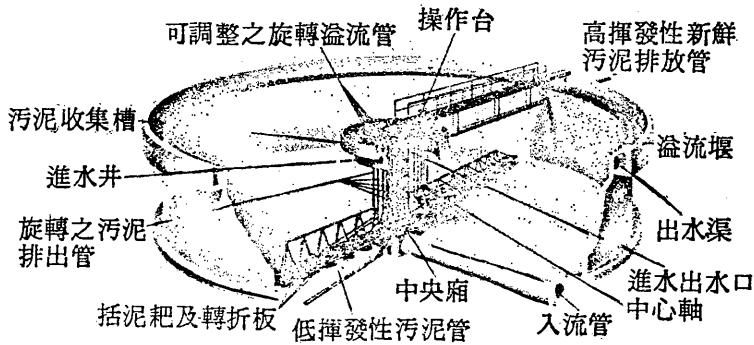
一般家庭污水與紙漿及造紙廢水經沉澱處理後，懸浮固體及 BOD 的去除率比較示於圖八。

沉澱池有矩形及圓形兩種，大多數矩形沉澱池設有刮泥機 (scraper) 的設備，以每分鐘 1 呎之速度將沉澱下來的污泥運送至池的出口端排出，也有些設計是配合異重流 (density current) 的流向，而將污泥運送至池的出口端排出的。圓形的沉澱池可採中央進水井式或四周進水式，池子可設計成中央排泥式或全池底真空排泥式，中央排泥式須維持有 1 吋／呎 (8.5 公分／公尺) 的最小坡度以利排泥，污泥由集取裝置以水力驅動至中央井排出，該裝置係防止污泥因惰性 (inertia) 而沉積於池底所設計，真空排泥式特別適用於二級沉澱池與活性污泥的濃縮，沉澱池裝置示於圖九。

刮泥裝置有鏟型 (plow type) 及旋轉鋤型 (rotary-hoetype) 兩種，前者為兩支其上裝有交錯犁鏟的支臂，以 10 呎／分鐘 (3 公尺／分鐘) 之速度轉動，後者則包括了一連串以鐵鏈懸掛在一旋轉橋上的許多短刮泥器，由池四周刮除污泥運至池中心排出。



圖八 家庭污水及紙漿及造紙廢水懸浮固體與 BOD 去除率比較



圖九 圓形沉澱池

2. 設計步驟

設計前應先收集設計所需資料，包括流量及廢水特性（如懸浮固體濃度、生化需氧量及溫度等）。初步沉澱池之設計步驟可依序如下：

(1) 繪出至少三種不同懸浮固體濃度之沉降率 (settling rate) 與沉澱時間的關係曲線，以適應入流廢水中懸浮固體濃度可能有的變化範圍（參見圖十）。

(2) 由繪出之曲線可算出各種不同去除率下之溢流率與停留時間 (retention time) 來，步驟如下：對某一去除率而言，溢流率或沉降速度 V_0 係有效水深 d_0 (6呎) 除以沉降所需時間之商，如前所述，在理想沉澱池中，所要沉降速度大於或等於 V_0 之顆粒可完全被去除，所有沉降速度 V 小於 V_0 之顆粒將以 V/V_0 的比率被去除，當沉降深度及停留時間一定(停留時間以分鐘計)。即有一定分數之懸浮固體被完全去除，如圖十(a) 所示。每增加此分數 (x) 百分之十的顆粒將以 V/V_0 或平均沉降深度的比例被去除，以此類推，總去除率之計算應如下式所示：

$$\text{總去除率 (\%)} = x + \frac{d_1}{d_0} (10) + \frac{d_2}{d_0} (10) + \frac{d_3}{d_0} (10)$$

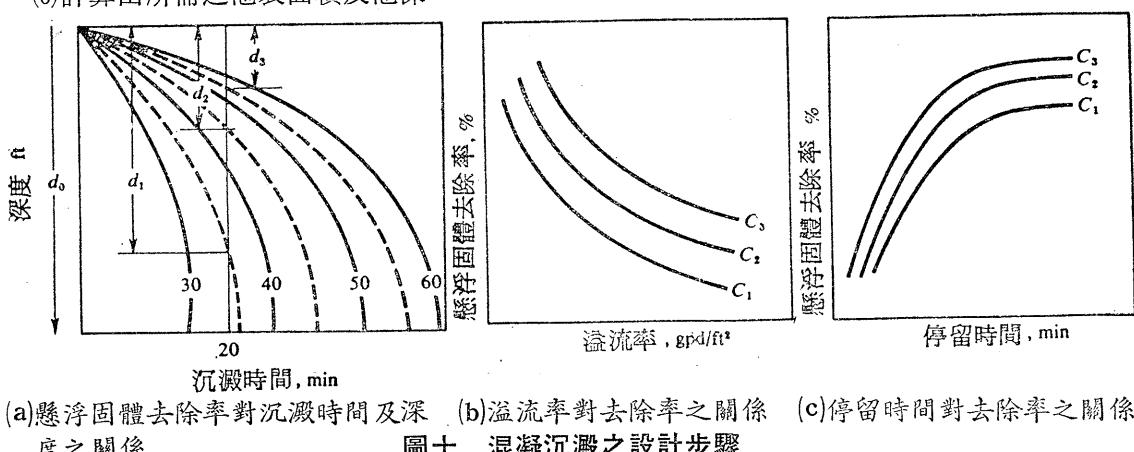
由沉降速度即可算出溢流率來，以加侖／平方呎／日 (立方公尺／平方公尺／日) 表之。

(3) 由上式及圖十(a)分別繪出溢流率與停留時間對懸浮固體去除率之關係曲線，如圖十(b)、(c)。

(4) 若初懸浮固體之濃度為已知，則對設計所需之某一懸浮固體去除率，由上二圖可求出溢流率及停留時間。

(5) 實際設計時，要將亂流、短路、入口及出口損失等影響因素考慮在內，實驗值之溢流率宜除以係數 1.25~1.75，但停留時間則乘以係數 1.5~2.0。

(6) 計算出所需之池表面積及池深。



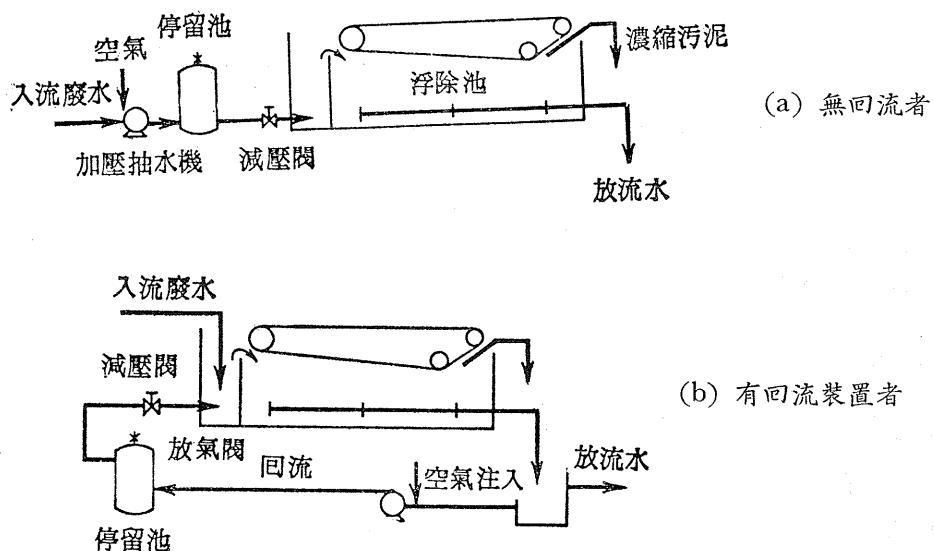
(a) 懸浮固體去除率對沉澱時間及深度之關係 (b) 溢流率對去除率之關係 (c) 停留時間對去除率之關係
圖十 混凝沉澱之設計步驟

三、浮除

1. 一般說明

浮除法 (flootation) 是輸入空氣將廢液或回流液，加壓至 2~4 大氣壓後，再在浮除池 (flootation tank) 降低至大氣壓力，在此混合攪拌情形下，溶液中的氣泡即附着於懸浮顆粒表面，使顆粒比重降低，隨之浮上液面刮除之，所得之澄清液則在靠近池底處流出。

浮除系統基本的裝置有加壓抽水機，提供空氣廢液接觸的停留池 (retention tank)、減壓閥 (pressure-reducing valve) 及浮除池等，圖十一所示為一典型之流程圖。



圖十一 浮除系統流程圖

固體廢液間之分離及分離後固體之濃縮效果。均視於廢水中固體量與充分之空氣注入量而定，該項參數為空氣固體比 (air-to-Solids ratio) (A/S)，以空氣磅數／磅固體 (或公斤／公斤) 表示之，浮除裝置本身係根據溢流率或固體負荷來設計 (與沉澱池之設計同)。

2. 設計步驟

設計前應先收集進流廢水流量及變化，進流廢水中懸浮固體之平均濃度及變化範圍，及藉實驗室規模之浮除池試驗結果，決定工業廢水之浮除特性。浮除系統之設計步驟可依序如下：

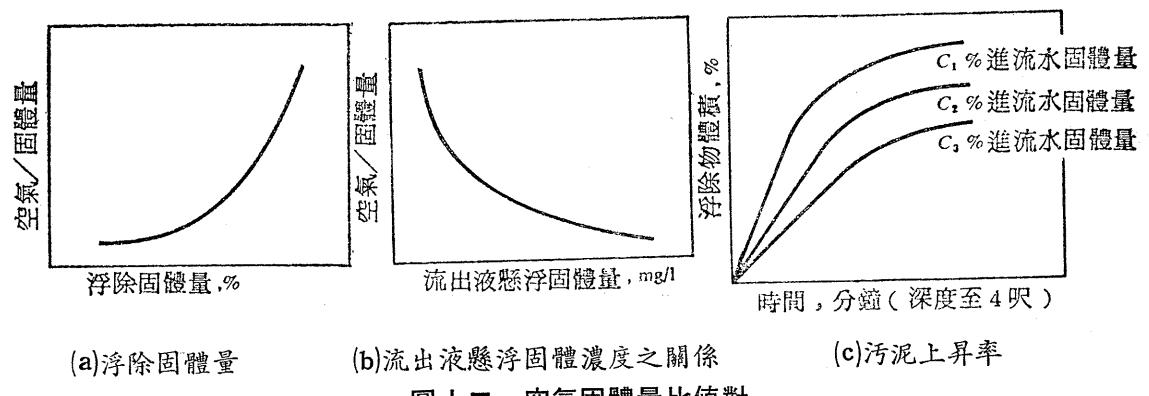
(1) 將計算所得之空氣固體比與放流水中懸浮固體濃度及浮除固體量 (float solid) 間之關係繪如圖十二。

(2) 壓力採用 30~60 psig (2~4 atm) 之範圍，由所需之放流水懸浮固體濃度或浮除固體量，根據圖十二，決定出最佳空氣固體比。

(3) 若浮除系統是採壓力循環回流式 (pressurized recycle) 的，則選用一最適之操作壓力，利用下式可計算出回流量 R：

$$(空氣／固體) 比 = \frac{A}{S} = \frac{1.3s_a R (fP - 1)}{QS_a}$$

式中 s_a 為大氣壓力下空氣在水中之飽和溶解度 (以立方公分／升)， S_a 為進流水懸浮固體量 (毫克／升)， P 則表操作之絕對壓力 (absolute pressure, atm)， R 為加壓回流量 (每日百萬加侖)， Q 為廢水量 (每日百萬加侖)。 f 為在絕對壓力 P 時，空氣在水中之溶解量，以分數表示 (隔板式停留池中 f 約為 0.5)。



圖十二 空氣固體量比值對

(4) 無回流之浮除系統設計，採用下式計算壓力：

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3s_a (fP - 1)}{S_a}$$

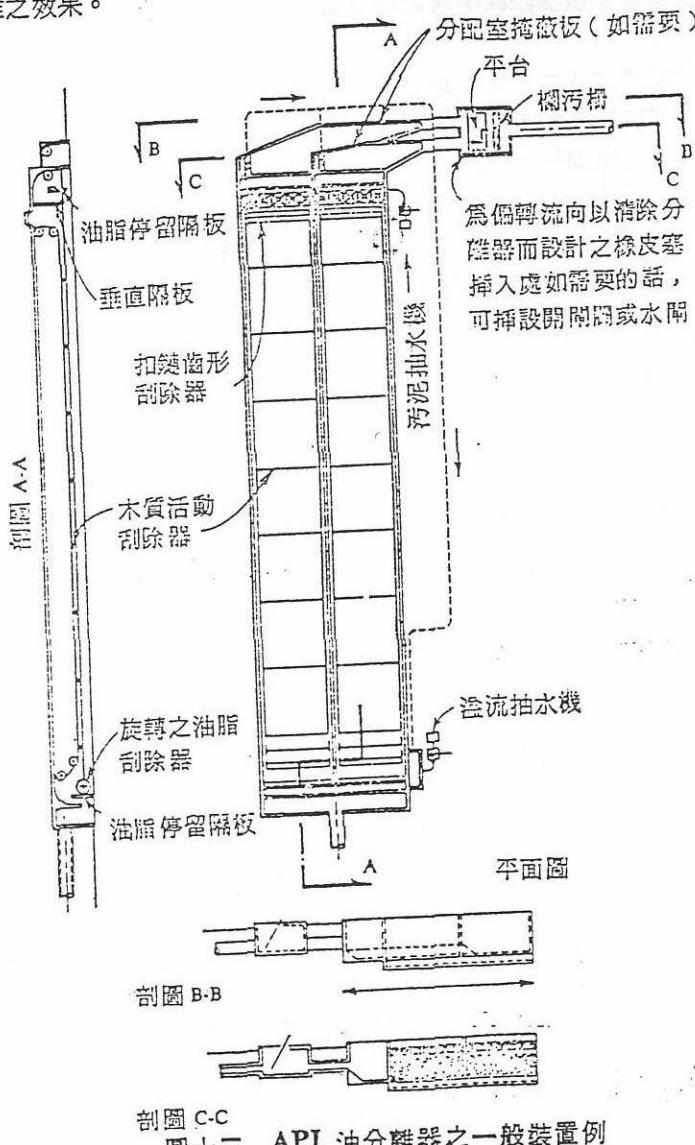
(5) 選定溢流率。

(6) 由步驟 5 選定之溢流率計算所需之池表面積。

四油水分離

油水分離器能使油脂飄浮至池面而撇除之。油脂去除之原理，除了比水輕油滴之昇浮外，亦可用前面討論過的沉澱原則加以解釋，有關油脂分離器之設計，係採用美國石油學會的標準，該標準是根據粒徑大於 0.015 公分的油滴去除所設計 (因為雷諾數小於 0.5，故適用於史篤克定律，

Stoke's Law)。同時亦加入短路及亂流影響之修正因素來考慮。圖十三所示即為一油脂分離器，其它改進之設計如加上平行傾斜板 (inclined parallel plate) 以收集油滴，或改進入流區結構等方法皆可增進分離之效果。



剖圖 A-A
剖圖 B-B
剖圖 C-C
圖十三 API 油分離器之一般裝置例

參考資料

1. W. Wesley Eckenfelder, Jr., "Principles of Water Quality Management", CBI Publishing Co., 1980
2. EPA Technology Transfer, "Flow Equalization"
3. C.N. Click, "The Feasibility of Flow Smoothing Stations in Municipal Sewage Systems" EPA-R2-73138, 1973
4. Metcalf & Eddy, Inc., "Warterwater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse", McGraw-Hill Book Co., 1979
5. 李公哲譯述「水質工程學」，中國工程師學會出版，民國六十九年。

(待續)