

工業廢水處理技術(一)

李公哲*

一、前言

工業廢水目前是工業界最具代表性的污染問題。在過去十年中，處理及控制工業廢水的技術已有很大的發揮。本文的目的在對工業廢水處理技術做一系列而有系統的介紹，以爲工業界應用參考。本文的內容，將先對工業廢水一般特性及污染物質加以介紹，並對擬定工業廢水處理計畫所需之準備工作，如廢水水質、水量之調查及統計分析加以解說，然後再對各項工業廢水處理技術之單元操作原理、設計及應用詳加陳述，以求本文的完整性及實用性。

二、工業廢水處理之必要性

廢水處理之目的旨在保障公共衛生並維護水資源之最佳利用，通常廢水處理爲一項不得已之辦法，在下列各情況下常有廢水處理之必要。

- 1.改善公共衛生，維護良好之生活與工作環境。
- 2.減輕現有之污染，恢復河川之清潔。
- 3.改善公共關係，考慮居民對清潔河川之需要，減少居民之財產損失。
- 4.配合政令，達到政府對水污染防治上之要求。
- 5.水之再用或考慮下游之其他用水。
- 6.工廠廢水量及強度之增加。
- 7.便於最後處置必須有某種程度之處理。
- 8.便於排入下水道或與污水合併處理。
- 9.便於排入聯合處理廠（如工業區之處理廠）與其他工業廢水合併處理。

三、工業廢水處理之對象

工業廢水含有各項污染物質，依其性質及所需去除對象的不同，主要爲耗氧物質、懸浮固體、油脂、溶解固體、顏色、臭味、毒性物質、放射性物質、酸鹼、高溫、病原體及泡沫等。上述工業廢水中之污染物，可能來自原料、副料成品、中間產品、副產品、廢棄物或其他用於工業製造之物料或能量。依工業種類不同，其污染物質特性也各異，一般工業廢水之污染物質依其特性可分類如表一所示：

* 本小組委員

* 台大環境工程研究所教授

表一 排放各類污染物質之工業

污 染 物 質	工 業
耗 氧 物 質	製糖、釀造、食品罐頭、蒸餾、洗衣、食肉包裝、紙漿、製革、染織、乳酪。
懸 浮 固 體	釀造、食品罐頭、洗煤、煉焦、煤氣、蒸餾、製紙、製革、食肉包裝。
油 脂	洗衣、金屬處理、油井、罐頭食品、煤油、製革、羊毛洗滌、食肉包裝。
溶 解 固 體	化學品、鹽漬蔬菜、製革、水質軟化。
顏 色	電鍍、造紙、製革、染整。
臭 味	化學品、煉焦、煤氣、煉油。
毒 物 質	電鍍、化學品、製革、原子動力廠、原子武器、紙漿。
放 射 性 物 質	核能發電。
酸	化學藥品、電池廠、電鍍、鋼鐵、亞硫酸法紙漿、煤礦、DDT 廢水、粘膠絲製造、油脂之裂解。
鹼	化學品、洗衣、製革、染整、棉或草之蒸煮、煤氣廢液、洗毛。
高 溫	火力發電、染整、洗衣、電鍍、洗瓶。
病 原 體	製革、屠宰場、食品。
泡 沫	紡織、洗衣、紙廠、化學。

工業廢水含有污染物質，可造成水質污染，其來源如生產過程中需要大量的用水，包括冷卻用水，製造用水、鍋爐用水、產品用水及清潔用水等，上述各項工業用水除蒸發、吸收及轉入成品之外，餘均排棄成爲廢水，因此工業廢水可包括冷卻廢水、製造過程廢水、鍋爐廢水、清潔用水及廠內一般污水。而廢水量則隨工業種類、製造方法、用水習慣而異。各主要工業單位產品之廢水量及其特性例如表二。

表二 各類工業單位產品廢水量

工 業 及 產 品	單 位	廢 水 量 (m ³)	廢 水 特 性
(一) 紙漿及造紙			
蘇打法	紙漿、噸	350	鹼、固體、色、耗氧
亞硫酸鹽法	紙漿、噸	200~600	亞硫酸鹽、固體、色、酸、耗氧、硫化物
硫酸鹽法：未漂白	紙漿、噸	300	固體、色、耗氧、鹼
漂白	紙漿、噸	500	固體、色、耗氧
半化學法	紙漿、噸	100~200	固體、色、耗氧、硫化物
磨木法（低級紙用）	紙漿、噸	12~190	固體、色
紙漿漂白	紙漿、噸	120~240	氧化劑、色度、酸或鹼
造 紙	紙、噸	40~150	纖維、粘土
紙 板	紙、噸	60	纖維、粘土
馬糞紙	紙、噸	110	纖維、粘土
(二) 製 革	鹽漬原皮、噸	50~70	耗氧、固體、鹼、油脂、微生物、鉻
(三) 罐 頭	原料、噸	10~35	固體、耗氧、色、油脂
(四) 蔗 糖	糖、噸	150	固體、耗氧

(五) 酿酵蒸馏液				
穀類	穀、m ³	4~7	固體、耗氧	
甘薯	原料、噸	2	耗氧	
糖蜜	原料、m ³	2~3	耗氣、色、鉀	
啤酒	酒、m ³	10~30	固體、耗氧	
(六) 屠宰				
大動物	頭	1~1.5	固體、耗氧、油脂、微生物	
小動物	頭	0.4~0.7	固體、耗氧、油脂、微生物	
混合平均	頭	1.4	固體、耗氧、油脂、微生物	
(七) 織維				
棉織染 (含絲光處理)	產品、噸	260~500	鹼、色、耗氧	
人造絲：不含冷卻水	產品、噸	400~800	酸、硫化物、固體、金屬	
含冷卻水	產品、噸	900~1800	酸、硫化物、固體、金屬	
亞麻浸漬	麻、噸	22	耗氧	
洗毛：分批式	毛、噸	13~42	油脂、耗氧、鹼	
逆流式	毛、噸	3~8	油脂、耗氧、鹼	
(八) 煉焦	煤、噸	8	固體、耗氧、酸	
(九) 硫化染料	染料、噸	40~150	硫化物、耗氧	
(十) 洗煤	煤、噸	2.5~10	固體	
(十一) 洗衣	衣、噸	125	鹼、固體、耗氧、油脂	
(十二) 牛乳	乳、噸	1~2	耗氧	
(十三) 肉類包裝	豬、頭	2~5	固體、耗氧、油脂	

四、擬定工業廢水處理計劃前之準備工作——工廠廢水調查

(一) 目的：

工廠在生產過程中，所排出的廢水是為工業廢水，廢水量與水質特性視工廠生產性質而異。即使同一原料和產品的工廠亦因製造方法，水之重用，廢物回收及生產管理之良否，而使其單位產品之廢水量與質有所不同，因之對於每一工廠廢水的質和量，必須做個案調查以解決工廠廢水問題，其範圍包括：

1. 瞭解廢水來源、性質、廢水排放情形。
2. 建立和估計廢水量及強度出現頻率。
3. 由各部門所排出的各種不同廢水性質及流量，可決定各部門廢水流入廢水處理廠前所須之預備處理 (pretreatment) 種類及處理程度。
4. 由各部門所排出廢水的性質及流量週期 (periodicity of flow) 可決定各部門廢水應事先分離 (segregation) 或聯合處理 (combined treatment)。
5. 可瞭解廢水再用 (reuse) 可行性。
6. 可瞭解廢水中是否含有用物質及其回收 (recovery) 之可行性。
7. 可探知工廠廢水水量及強度可否由製造程序的改變 (process change) 而減少。
8. 探討工廠內管理 (housekeeping) 之優劣。

(二) 工業廢水調查之程序

1. 校核製造用水 (process water) 的用途及廢水來源，即所有主要污染物的來源均須充分瞭解，工廠操作之時間及型式亦應調查。例如一天有幾回分批式排放廢水及其操作為連續式操作 (continuous process) 或分批式操作 (batch process)。
2. 確定前步驟所列程序中，原料補充 (makeup) 之情形及廢水之特性。
3. 繪工廠下水道系統圖。
4. 定出取樣及測站之位置，這些應包括步驟 1 所列之重要廢水來源處，又取樣站須設於廢水流量可同時測得之地點。
5. 裝置總廢水流量測定設備。
6. 選擇所欲分析的項目 (可參考步驟 2 之結果決定)，編定取樣及分析時間表。分批式操作之取樣必須涵蓋每次廢水的排放，而依廢水量大小混合成綜合水樣 (composite sample)。連續式操作程序則也應按照流量的大小比例加以混合成綜合水樣，再分析其水質情形。綜合水樣的混合時間表則視廢水水質變化之情形及處理方法或對承受水體之影響而定 (詳見表三)。

表三 建議之取樣或綜合時間表

檢驗項目	變化大	變化小
BOD ^a	4 hr	12 hr
COD 或 TOC ^a	2 hr	8 hr
懸浮固體	8 hr	24 hr
鹼度或酸度	1-hr 隨機取樣	8 hr 隨機取樣
pH	連續取樣	4 hr 隨機取樣
氮及磷	^b 24 hr	24 hr
重金屬	4 hr	24 hr
溫度	2 hr	8 hr

^a 不用連續取樣器之綜合時間視廢水之水量變化而定，即變化大時為15分鐘，變化小時為1小時

^b 並不適用於含氮或磷廢水 (例如肥料廠)

將單獨水樣按流量比例混合成綜合水樣時，通常借用一個「混合因子」以便於計算各單獨水樣之混合量，現舉例如表四，表四之綜合水樣的時間為12小時。

7. 決定取樣持續時間：對於比較穩定的廢水成份 (如紙漿廢水) 連續幾天的採樣時間已足以得到設計所需的規範。至於產品種類衆多及生產計畫經常改變的工廠 (如化工廠)，採樣計畫就必須包括所有的主要生產作業。

小工廠調查時間需連續一個星期，大工廠則需二至三個星期。通常工廠操作如為八小時制，至少連續測定及採樣 9 至 10 小時。工廠如為全天操作，則應連續 24 小時。

8. 由步驟 1 至 7 所得之資料來建立該工廠之流量與物料平衡關係，並繪出物料平衡及流程圖 (material balance and flow diagram)。

9. 對工廠之總廢水流量及所有重要之各別污染來源水質特性做一統計分析。如屬可能以單位產量產生之污染負荷表示，如立方公尺／每噸產品或 BOD 公斤數／每噸產品。經由此關係也可

表四 混合因子在綜合水樣上應用

時 間	實測流量 10^3CMD	混 合 因 子	按流量比例計算每一單價水樣所應分配混合之量 (ml)
0600	0.3	100	30
0700	0.6	100	60
0800	0.8	100	80
0900	1.0	100	100
0100	1.5	100	150
1100	1.4	100	140
1200	1.2	100	120
1300	1.0	100	100
1400	1.0	100	100
1500	0.9	100	90
1600	0.8	100	80
1700	0.8	100	80
	11.3		計 1,130

用外插法 (extrapolation) 求得其他生產作業時之污染量。

10. 可利用步驟 1, 2, 8, 9 之資料，決定污染源的廢水應分離、再利用或回收。

11. 參考步驟 8 及 10 資料，再重新估算減少用水量、水再用、回收有用物質及減低污染物後之廢水流量與物料平衡關係。如屬可能，以統計方法求得其可能之變化。

12. 根據廢水流量、濃度組成以研討廢水分離及個別處理等之可能性。例如將未受污染的冷卻用水及高濃度之有毒廢水加以分開並各別處理等均是。

工業廢水調查中，流量之測定方法很多，一般視採樣地點之位置與可達性而定，常用方法如下：

1. 裝設量水堰——可設於排水槽、水溝、及不滿流下水道之入孔處。

2. 水桶及馬錶——測低流量用。

3. 抽水時間及抽水速率——但需由抽水機之特性曲線先加以初估。

4. 在兩個入孔間測量可漂浮物流經時間，如此可求得表面流速——適用於測下水道不滿流情況，但同時需測水深以求得通水斷面積 (A)。平均流速 (V) = $0.8 \times$ 表面流速。流量 (Q) 可用連續方程式 (continuity equation) $Q = AV$ 求出。

5. 水廠用水紀錄——必須考慮用水成為產品部分及蒸發之損失。

6. 水池或反應槽中水位之時間變化——主要用於分批式排放之作業方式。

測流量時應注意(1)工廠操作狀況，(2)安全，(3)正確，(4)廢水量測定前之初估。

(三) 工業廢水調查資料之統計分析

大多數工業所排放之廢水流量及成份變化均很大，故應利用統計方法予以分析。這些發生頻率 (frequency) 與濃度之關係對於處理後水之再用、廠內改善、及訂定廢水處理設備之設計規範均極必要。

對於少量之數據而言（小於20個數據點），其統計分析過程示例如下：

1. 將數據按照由小而大次序，排列如表五第一行所示。
2. m 為數據總數。 n 為大小次序之序列數（由 1 至 n ）。

表五 點繪位置之計算

(1) BOD mg/l	(2) m	(3) 發生或然率
200	1	5.55
225	2	16.65
260	3	27.75
315	4	38.85
350	5	49.95
365	6	61.05
430	7	72.15
460	8	83.75
490	9	94.35

3. 在發生或然率方格紙上之點繪位置 (plotting position) 為 100 除以數據之總數，而此商數之一半值即為表中第三行第一個數目。第三行第二個及其以後之發生或然率計算方法如下：

$$\text{點繪位置} = \frac{100}{n} + \text{前一個或然率值}$$

$$\text{如 } m = 5, \text{ 則點繪位置} = \frac{100}{9} + 38.85 = 49.95$$

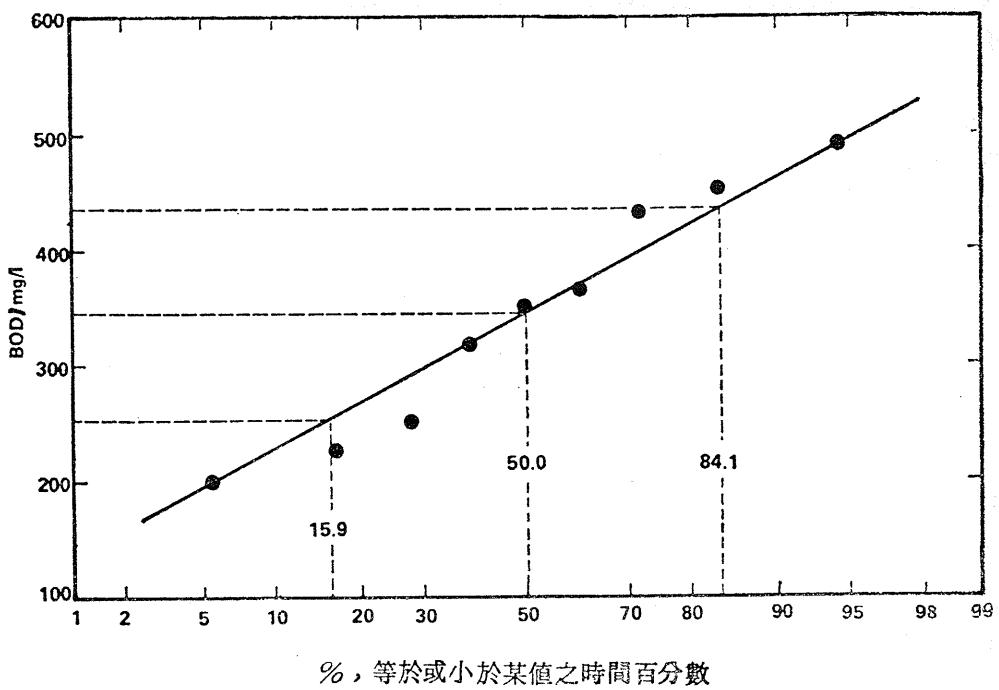
表五則可繪如圖一。由圖一可以計算標準偏差 (standard deviation) 及平均值 (Mean) 如下：

$$\sigma \text{ (標準偏差)} = \frac{X_{84.1\%} - X_{15.9\%}}{2} = \frac{436 - 254}{2} = 91$$

$$\bar{X} \text{ (平均值)} = X_{50.0\%} = 345.$$

如有大量的數據，通常是將數據分組後再行點繪，例如：0至50, 51至100, 101至150等各為一組。點繪位置則以 $m/(n+1)$ 加以決定，式中 m 為數據之累積數， n 為觀測之數據總數。各項數據經統計後之分佈情形，在擬定管制或處理工廠用水廢水計畫時，頗有其重要性，如：

1. 由工廠各單元操作所排放之廢水變化及分佈，可得知減少或防止因污染而造成損失之方法。
 2. 由工廠整體操作所排放之廢水變化及分佈，可得知廢水在處理以前，是否需先加以調勻 (equalization)。
 3. 各種不同處理程序，需採取不同之發生頻率設計。例如處理廠之水力容量應大於99%之發生頻率，而處理污泥設備則通常可採平均值 (50%) 來設計。
- 廢水流量及負荷，通常以適當的單位產量來表示。例如以立方公尺／噸或公斤／噸表示。此



圖一 某工廠廢水 BOD 之統計變化

值可用於相似之工業比較其排放污染物負荷強度之用。污染負荷又與工業技術水準有關，一般工業技術水準愈高，則污染負荷愈小。

五、「廠內」與「管末」處理之關係

消滅工業廢水污染之途徑甚多，吾人常常聽到之「處理」，僅是其中方法之一。因為工業廢水處理通常係在廠內管線之末端，故工業廢水處理也可稱為「管末處理」(End-of-pipe treatment)。因處理通常是比較費錢也較困難之解決辦法，故工廠應在尋求減少廠內污源之可行性後，再考慮廢水處理，即在考慮處理之前，應先研究其他可行而更經濟的替代措施，此替代措施則是在污染發生之處予以控制，常可稱為「廠內改善」(In-plant Modification)。

簡而易行之廠內改善通常均可導致廢水流量與強度之減少，而由此更可減少廢水處理廠建造及操作費用。現述如下：

1. 再循環使用 (recirculation) —— 廠內比較不受污染的水可稍加處理甚或不加處理即可再予以循環使用。例如食品罐頭工廠 (cannery) 之成品清洗水及輸送成品或廢物之渠道水等均是。
2. 廢水分離 —— 冷却用水及其他未受污染之水可在廢水處理前先予分開；而把高強度及有毒性之廢水分開做各別處理。
3. 半乾燥時之移除 (removal in semidry state) —— 濃縮之殘餘廢物可在半乾狀態下由工廠運走再予處理 (disposal)，以免冲入下水道，增加污染度。如罐頭食品廠蒸煮鍋中之殘餘物及啤酒工廠發酵槽中之殘渣均可先行運走。

4. 減少水量——如乳品工廠及電鍍工廠於水管上裝置自動制水設備 (automatic cutoffs)、及用噴灑清洗，均可有效地減少大量廢水。

5. 替代 (substitution) ——在製造過程中，可用污染濃度較低之化學添加物代替污染程度較大之化學藥品。例如紡織業 (textile industry) 中利用表面活性劑 (surfactant) 代替肥皂等。

就經濟平衡觀點，處理後水之再用必須考慮(1)原水及廢水處理至所需之工廠用水水質成本及(2)廢水處理至承受水體所要求之放流水水質成本。

六、工業廢水處理法概述及其應用

在本節首就工業廢水處理法及其應用作一觀念性整理，有關各處理單元 (unit operation) 及各處理單元所組成各種處理程序 (treatment sequence) 之原理、設計及應用則於後分節詳述之。

(一) 處理單元

按照工業廢水處理之作用，可分為物理處理法、化學處理法及生物處理法三類，各類處理之單元如下：

1. 物理處理法

主要為去除廢水中可沉下或浮起之物質，例如：A. 屠宰場、肉類包裝製罐、鞣皮、紡織及紙漿等工業含有大量之纖維、固體等物質，必須先行去除以便處理。B. 有些工業廢水含有無機之固體、砂礫等應先行去除以免阻塞、沉積及磨損機件。C. 部份顆粒狀有機物先行分離收集，以減輕處理負荷。D. 木片、碎紙、破布、其他漂浮物質及油脂等。E. 泡沫。

各種處理之單元大致可分為下列幾類：

(1) 隔除：用來分離廢水中之固體，可為柵 (rack)、中號篩 (medium screen)、細篩 (fine screen)，而細篩可為桿式 (bar type)、迴轉式 (revolving type) 或振動式 (vibrating type)，另外也可用微細篩 (microstrainer) 過濾。過濾法可用砂床 (sand)、真空濾器 (vacuum filter)、機械式濾器 (mechanical filter)、矽藻土濾器 (diatomaceous earth filter) 等。

(2) 浮除：常用以去除不易分解之細粒、懸浮固體、油脂及纖維等物質，可用注氣浮除 (air flotation)、真空浮除 (vacuum flotation)、壓力浮除 (pressure flotation) 等。

(3) 撈除：去除浮渣油脂，有時須配合曝氣。

(4) 重力沉澱：用來去除可沉降固體及部份懸浮固體，可用沉砂池 (grit chamber) 以去除無機之砂礫等，或用沉澱池 (sedimentation tank)。

(5) 離心：利用離心機脫水，收集固體。

(6) 曝氣：去除揮發性物質臭氣泡沫浮渣等可以避免廢水之陳腐，增加溶氣，調整微生物之生長環境，增進處理之效率。

(7) 其他：

a. 氣提 (stripping)：可去除氣體及臭氣。

b. 賯存 (storage)：可用於不同之目的，例如調勻流量及強度，控制放流、蒸發、滲漏、生化作用或處理放射性廢污等。

c. 熱處理 (heat treatment)：處理費用高，可用於殺菌、蛋白質凝聚、去除揮發性氣體、減低 BOD、濃縮、乾燥或焚化固體等。

d. 冷却 (cooling)：主要為處理高溫廢水，一般可用噴水塘，冷卻塔。

e. 深井注入 (deep well injection)：利用深井將廢水滲入地下等。

2. 化學處理法

甚多工業廢水如含顏色、膠體、懸浮固體、油脂等，常須藉化學藥劑之使用而達到處理目的。化學作用之處理單元有下列幾種：

(1)化學混凝 (chemical coagulation)：通常用鐵鹽鋁鹽或其他混凝劑，將廢水中之膠體及懸浮固體聚成較大之膠羽以便下沉。常用於紡織、羊毛洗滌、製革、食品包裝等工業廢水處理。

(2)化學沉降 (chemical precipitation)：利用化學品與溶解之離子發生作用產生不溶性之沉淀物，如 Na_2S 用於處理無機汞、石灰用於重金屬廢水、鈣鹽用於肥皂廢水等。

(3)氧化 (oxidation)：常用於處理有機物，尤其是對生物難以分解之有機物，有時必須要使用氧化劑氧化，如氰化物、染料廢水等應用至廣。

(4)還原 (reduction)：在廢水處理方面較少應用。例如六價鉻有劇毒，必須還原成三價鉻，然後再調節 PH 使成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉澱。

(5)PH 調節 (PH adjustment)：工業廢水之 PH 常欠正常，影響設備之腐蝕、處理之操作、水生物之生長及水之遊樂用途，因此必須加以調節。廢水中如有過多之酸鹼需加以減除，如化學、金屬處理、有機及食品工業廢水常需加鹼中和；鞣革、棉絲光處理、金屬處理等廢水需要酸中和。有些工業廢水化學處理時，其作用必須在酸性或鹼性情況下始克完成，則需加酸或鹼以調節至適當之 PH 值。石油乳化液、羊毛洗滌廢水、氰化物、硫化物廢水之加酸處理以及重金屬廢水處理或硫酸鹽紙漿黑液苛化之加鹼等均為其例。

(6)複合 (complexation, sequestration)：可用於金屬離子、 CN^- 離子等之複合。如具毒性之 CN^- 廢水中加入鎳，可生成毒性較小之 $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ 離子，又如 $(\text{NaPO}_3)_6$ 加入鈣鹽可生成 $[\text{Ca}_2(\text{PO}_3)_6]^{2-}$ 等。

(7)吸附 (absorption)：吸附劑有活性碳，alumina, magnesia, silicage, 活性矽 (activated silica) 等。目前以活性碳最為常用，可去除溶解性或不易分解之有機物，如酚、染料等。

(8)離子交換 (ion exchange)：目前多用樹脂為交換材料，可用於去除無機解離之物質。鉻及重金屬之回收， CN^- 之去除，放射性廢污之處理等常採用。

(9)其他：如酚及羊毛脂之溶劑萃出 (solvent extraction)，有機廢水之消毒 (disinfection) 等。

3. 生物處理法

生物處理主要為利用微生物以處理生物可分解之物質（主要為處理有機物），按其分解作用之需氧與否可分為好氧生物處理與厭氧生物處理。

(1)好氧生物處理 (Aerobic Biological Treatment)：

好氧處理中，主要之處理單元即為滴濾、活性污泥法、氧化塘、迴轉生物接觸盤、氧化渠及曝氣塘等。

a. 滴濾 (Trickling Filtration)：廢水經過石層灑滴而下，利用石頭表面之生物膜，在

有空氣之情況下將廢水中之有機物氧化成二氧化碳、氮、氨及其他簡單之化合物。滴濾分標準滴濾、高速滴濾、單級滴濾或多級滴濾等，可用於乳品工業、罐頭食品醱酵、肉類包裝、製革、紡織等工業廢水之處理。

b. 活性污泥法 (Activated Sludge Process)：廢水在多量微生物存在之情況下充分曝氣，有機物即可為細菌利用分解，屬於此類之處理法包括通用活性污泥法及各種活性污泥改良法。其他如曝氣塘 (aerated lagoon)、氧化溝 (oxidation ditch) 也可歸為此類。

c. 氧化塘 (Oxidation Pond)：乃利用藻類與細菌之共生，藻類放氧而供細菌在好氧情況下進行有機物之分解。

d. 迴轉生物接觸盤 (Rotating Biological Contactor)：係由塑膠等材料製成很多塊圓板，並予以組合而成。部份面積浸於廢水中，而部份面積暴露於空氣中，板上生長有細菌，當圓板緩慢旋轉時，有機物即可為板上細菌利用而分解、穩定。

e. 氧化渠 (Oxidation Ditch)：傳統之較淺氧化渠源於荷蘭，係操作在延長曝氣 (Extended Aeration) 之負荷條件。現已發展為深型氧化渠或 Carousel 系統，所需之面積更為減少，適用於有機性工業廢水之處理。

f. 其他：如接觸床 (contact filter) 及間歇砂濾 (intermittent sand filter) 易於阻塞，天冷處理操作困難，故現已少用，僅可用於 BOD 低懸浮固體少之廢水、低能量之放射性廢水或作為廢水處理之“polishing unit”。

(2) 厥氧生物處理 (Anaerobic Biological Treatment)

微生物之分解有機物如在無氧之情況下進行者即屬此類。分解作用可分為兩階段；第一段為酸菌 (Acid Former) 參與作用，有機固體物質先液化並分解為有機酸、氮及二氣化碳。第二階段係由甲烷菌 (Methane Former) 參與作用進一步將有機酸分解成二氣化碳及 CH_4 。在厥氧分解時，其可能之產物為 CO_2 , NH_3 , H_2S , N_2 , H_2 , 硫化物及未完全分解而餘留之揮發酸等中間產物。

主要厥氧分解之方式如下：

- a. 一般消化槽：用於處理高濃度之污泥或廢水。
- b. 厥氧塘：用以處理高濃度之污泥或廢水。
- c. 厥氧接觸消化：可以增進消化之速度。
- d. 厥氧濾池：用於有機物濃度低及懸浮固體少之廢水，目前尙少應用。
- e. 其他：如化糞池 (Septic Tank) 及尹霍夫池 (Imhoff Tank)，兩者均兼有沉澱與厥氧消化之作用，僅適用於廢水量極小之情況，一般工廠不能適用。

(二) 處理程序

有效之廢水處理往往需要視廢水的性質與所需處理之程度而定，並由多種處理單元組合成一處理程序。一般工業廢水之處理程序就其處理程度之不同，可分為下列幾種：

1. 前處理或初級處理 (Pretreatment or Primary Treatment)：

目的去除漂浮物、懸浮固體、油脂、中和或 PH 調節、調勻流量及濃度、去除毒性物質等以便於後階段之處理。前處理或初級處理以物理及化學方法為主，處理之單元可能為篩除 (Screening)，沉砂 (Grit Removal)，調勻 (Equalization & Storage)，預曝氣 (Pre-aeration) 等。

Preaeration), 中和 (Neutralization), 除油 (Oil Separation), 前加氯 (Prechlorination), 浮除 (Flotation), 沉澱 (Sedimentation), 過濾 (Filtration), 稀釋 (Dilution), 溫度調整 (Temperature Control) 等。

2.二級處理 (Secondary Treatment) :

主要為氧化處理，用來去除廢水中之溶解有機物質，以便排入承受水體而不致造成水污染。所用之方法以化學及生物處理為主，有時也可用物理方法。各處理之單元如下：

(1)化學處理：氧化劑如 Cl_2 , KMnO_4 , H_2O_2 , O_3 等。

(2)生物處理：一般活性污泥法及改良法、滴濾、氧化渠、厭氧塘、曝氣塘、氧化塘或穩定池及旋轉生物接觸盤法等。

(3)物理處理：乾式燃燒及濕式燃燒等。

二級處理中之生物處理，往往有其一定的處理能力，如工業廢水中含有高油脂含量、重金屬等，均需先行加以預先處理或初步處理，以維護生物處理之正常功能，一般生物處理所需之預先或初步處理如表六所示：

表六 生物處理前所需之預先處理或初步處理

廢水水質	處理方法
懸浮固體	污水塘，沉澱，浮除
油脂	刮除池或分離器
重金屬	化學沉降或離子交換
鹼性	中和過多之鹼性物質
酸性	中和
硫化物	化學沉降或空氣提除
BOD 負荷	調勻

3.高級處理 (Advanced Treatment)：係用於提高處理廠之出水水質，廢水再用或作為與一般生物處理法相當之替代方法，一般廢水處理甚少採用，如係用於提高二級處理出水之水質時即為三級處理 (tertiary treatment)，其處理之單元如下：

(1)懸浮固體之去除可用：

A.微細篩 (Microstrainer)，開孔甚小約 50μ 以下。

B.混凝一過濾 (Coagulation-filtration)：常用之藥品為鋁鹽、鐵鹽混凝劑、石灰或助凝劑，而濾料則可為砂、煤、雙層濾池 (dual-media filter) 及多層濾池 (multimedia filter)，其出水可將懸浮固體減至微量，有時兼可去磷軟化。

C.矽藻土過濾：可去除 $0.5\text{-}1\mu$ 之顆粒，可使用助濾劑 (filter aid) 或聚合物。一般有兩種過濾方式，即真空過濾及壓力過濾。

(2)溶解性有機物之去除可用：

A.活性碳吸附：可分成 a. 顆粒活性碳（分固定層及懸浮層）及 b. 粉末活性碳（須混凝、沉澱及過濾）。同時，活性碳可同時去除溶解及懸浮固體，且粒狀活性碳可在高爐再生。一般粉末活性碳再生較困難。

B.氧化：可利用氧化劑，如臭氧，過氧化氫，氯，氯氣及高錳酸鉀等，也可用電化學方法及 gamma irradiation。

C.泡沫分離 (foam separation)。

(3)溶解性無機物之去除可用：

A.蒸餾法：但因為較貴，故較少應用。

B.電析法 (electrodialysis)：利用僅可使陽離子或陰離子通過之薄膜交互排列，置於水槽，當插入陰陽電極通電後，離子即發生移動而由薄膜隔離除去。

C.離子交換法 (ion exchange)：有機物及懸浮固體影響樹脂之交換能力，故應先除去。

D.反滲 (reverse osmosis)：利用 Cellulose acetate 之半透膜，將離子濃度較高之一側加壓至 400 psi 以上使水透過薄膜而離子不能通過。

E.冰凍 (freezing)：可去除微量有機及無機物。

F.其他如萃出 (liquid-liquid extraction)，化學沉澱 (chemical precipitation)。

(4)植物養分之去除可分為兩個部份：

A.氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 之去除：可用硝化—脫硝 (nitrification & denitrification)，氣提 (air stripping)。

B.磷 (PO_4^{3-}) 之去除：可利用化學處理，加硫酸鋁、石灰、沉澱過濾，藥品可在初級沉澱及二級沉澱前加入。也可用離子交換，用 activated alumina 吸收或加石灰至 $\text{PH} > 11.5$ 而兼可去氮及磷。

(5)細菌及微生物之去除則可用活性碳吸附以去病毒 (virus)，而在加石灰去磷時也兼可殺菌及去除病毒。一般也常用消毒劑或離子交換、過濾、吸附及 gamma irradiation 等。

在此必須特別注意者為工業廢水之性質各異，其處理之程序有些並無前述初級、二級及三級處理之明顯界限，由於污染物質之特殊性，往往需要特殊之處理方法。圖二所示為工業廢水各類污染物之處理程序：

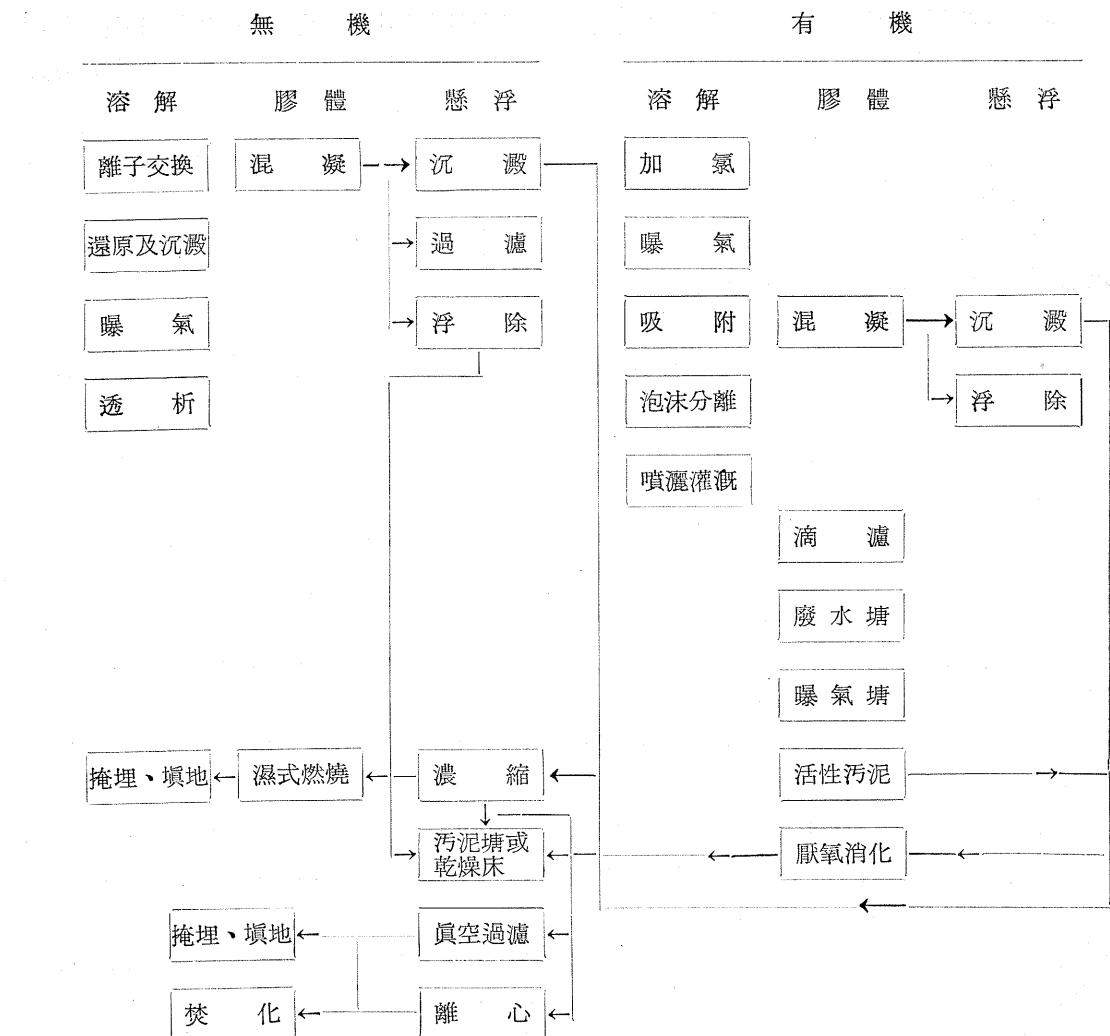
4. 污泥處理及最後處置。

一個廢水處理廠之整個工程建造費，污泥部份可佔百分之三十至四十，而操作費則可佔到百分之五十，更重要的是污泥部份所造成之操作或廠內故障等問題，則佔全廠所有操作問題上百分之九十，故工業廢水在處理、設計時，污泥處理及最後處置亦不能予以忽視。

一般污泥處理方法可分為五個步驟，即濃縮、消化、脫水、乾燥或燃燒，以及最後處置。唯目前由於新技術及新器材之出現，污泥處理步驟並不拘泥於上述五步驟，一般所使用之方法計有：

(1)濃縮 (thickening)：包括重力沉澱及浮除。

(2)消化 (digestion)：可為好氧、厭氧，也可採用化學穩定法。



圖二 工業廢水各類污染物之處理程序

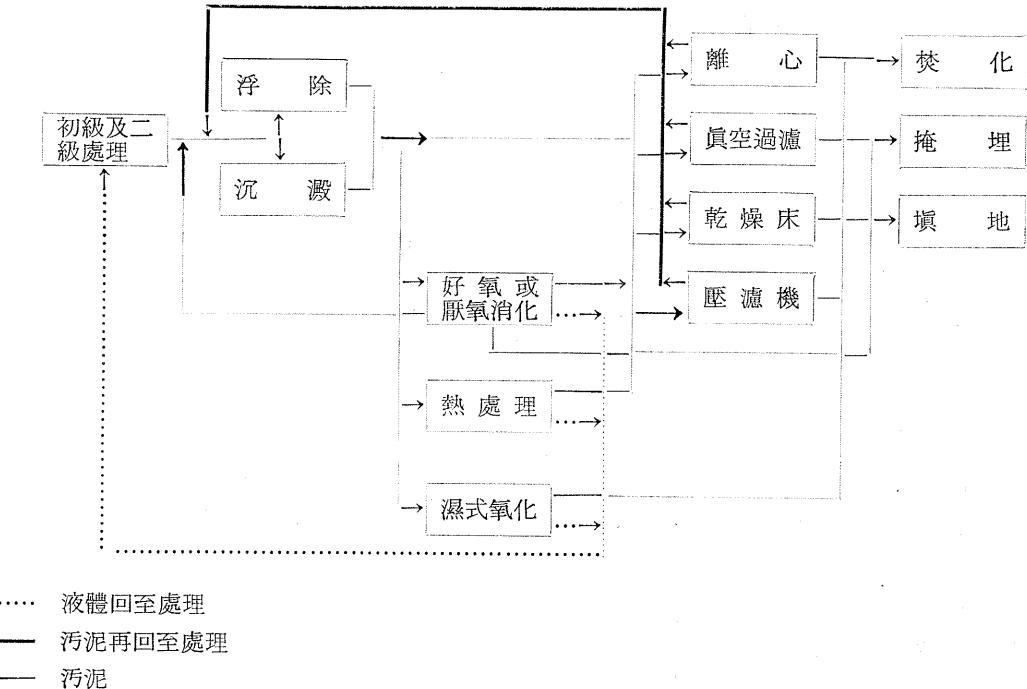
- (3) 脫水 (dewatering)：可用乾燥床、污泥塘、真空過濾、離心、震動篩、壓濾等。
- (4) 乾燥及燃燒 (drying and combustion)：可用加熱乾燥、濕式燃燒、熱處理等。
- (5) 最後處置 (final disposal)：可為填地、改良土壤、排放入海、掩埋地下、焚化等。

圖三所示為污泥處置之程序及其替代方法。

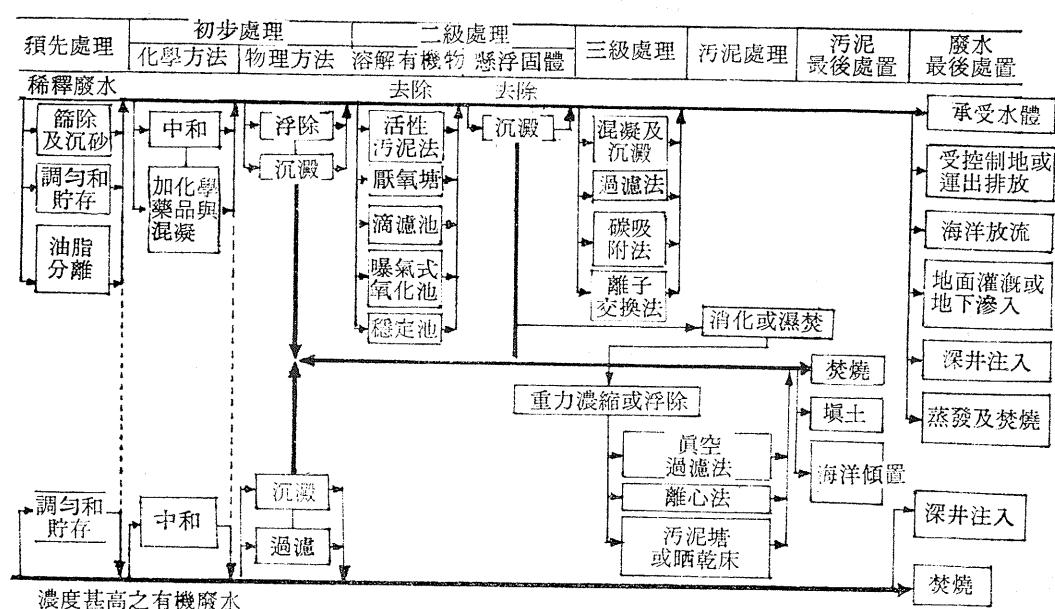
整個廢水及污泥之處理與處置程序，其示例如圖四所示。

(三) 應用

現行之工業廢水處理法有很多，其適用範圍視廢水的性質與所需處理之程度而言。通常工業廢水之成份甚為複雜，其處理程序之選擇有時需依賴實驗室小規模 (bench scale) 或模廠 (pilot plant) 試驗加以推求。典型各種工業廢水之處理方法示例如表七：



圖三 污泥處置程序及其替代方法



圖四 廢水處理流程及處理法選用圖

表七 各種工業廢水之處理方法示例

產生廢水之工業	主要處理及處置法
1. 食品及藥物 罐頭食品 乳 品 釀造及蒸餾飲料 肉類家禽 甜 菜 糖 製 藥 酵 母 醃 菜 咖 啡 魚 米 不含酒精之飲料	篩除，廢水塘，土壤吸收或噴洒灌溉 生物處理，曝氣，滴濾，活性污泥法 回收，離心，蒸發，滴濾，做飼料 篩除，沉澱或浮除，滴濾 廢水再用，混凝及廢水塘 蒸發及乾燥，飼料 厭氧分解，滴濾 良好之管理，篩除，調勻 篩除沉澱及滴濾 蒸發，傾入海中 石灰混凝，消化 篩除，排入市鎮下水道
2. 服裝 紡 織 製 革 洗 衣	中和，化學沉澱，生物處理，曝氣或滴濾 調勻，沉澱，及生物處理 篩除，化學沉澱，浮除及吸附
3. 化學品 酸 清潔劑 玉蜀黍澱粉 爆炸品 殺蟲劑 磷酸鹽及磷 甲 醛	中和，含有機物時燃燒 浮除，撤除加 CaCl_2 沉澱 調勻，生物過濾 浮除，化學沉澱，生物處理，加氯，中和 稀釋，貯存，活性碳，鹼性加氯 廢水塘，混凝沉澱 滴濾，活性碳吸附
4. 材料 紙漿及造紙 照 相 鋼 鐵 金屬電鍍 翻 砂 油 橡 膠 玻 璃	沉澱及廢水塘生物處理，曝氣，回收 銀回收，排入市鎮下水道 中和，回收再用，化學混凝 CN^- 鹼性加氯， Cr^{+6} 還原沉澱，其他金屬石灰沉澱 篩除，回收之砂乾燥 分散，回收酸化，污泥燃燒 曝氣，加氯，礦化，生物處理 氯化鈣沉澱 副產品回收，調勻，循環及再用，滴濾
5. 能量 蒸汽動力 採 煤 核能及放射性物質	曝氣冷卻，灰燼貯存，酸分中和 沉澱，泡沫浮除，控制排放 濃縮，貯存，稀釋分散

上表所示，僅為一般性處理方法，然因工廠規模大小、新舊不同及製造程序相異等因素，上表所示名稱並不一定適用，事實先需有充分的調查、試驗及設計相配合。處理方法之選擇除考慮工業廢水之性質外，以下各項因素也應一併考慮：

- 1.最後之排放方法；2.廢水性質、流量及其變化；3.操作技術；4.處理廠位置；5.可利用之水頭；6.建設費用及操作費用；7.擴充及修護難易；8.處理效果；9.污泥處理及最後處理；10.物料來源及設備壽命；11.可用面積及地形、地面、地下情況等；12.放流水或河川之水質要求；13.將來水質標準之提高；14.工廠每日工作時數；15.需否國外處理設備；16.動力來源；17.處理操作之彈性、穩定性及可靠性；18.操作上可能發生之困難與危害；19.處理後水之再用及廢水中有用物質回收等之配合；20.可能引起之環境衝擊 (Environmental Impact)。

總之，工業廢水處理方法的選擇甚為複雜，如選擇不適宜，不僅浪費工廠財力，亦可造成處理程度未達標準或造成操作上不便及浪費等問題，宜慎重選擇之。

(待續)