

水質工程學



水質工程學

目 錄

原著序

第一章 水質控制的基本觀念

第一節 水質標準..... 3

第二章 城鎮污水和工業廢水特性

第一節 廢水中有機物含量之估算..... 10

第二節 生化需氧量..... 12

第三節 化學需氧量..... 23

第四節 總有機碳..... 24

第五節 BOD、COD和 TOC之關係..... 29

第六節 有機碳與需氧量之關係..... 29

第三章 河川污染分析

第一節 氧之來源..... 35

第二節 溶氧之消耗..... 37

第三節 河川調查及資料分析..... 44

第四節 由河川調查結果推算模式中之係數..... 47

第五節 調查資料之相關性..... 49

第六節 河川涵容能力之計算..... 50

第七節 感潮河段 BOD與氧垂模式之推演..... 53

第四章 城鎮污水特性

第五章 工業廢水

第一節	工業廢水調查之程序	63
第二節	工業廢水調查資料之整理	66
第三節	啤酒廠廢水	71
第四節	罐頭食品廢水	77
第五節	乳品廢水	83
第六節	肉品包裝廢水	84
第七節	煉油廢水	85
第八節	電鍍廢水	91
第九節	紙漿及造紙廢水	91
第十節	煉鋼廠廢水	97
第十一節	製革廢水	100
第十二節	紡織廢水	104

第六章 各種廢水處理法

第七章 預先處理及初步處理

第一節	篩除	112
第二節	沉澱	112
第三節	油脂分離	121
第四節	設計初級沉澱池之步驟	121
第五節	浮除	124
第六節	浮除系統之設計步驟	126
第七節	調勻	128
第八節	中和	128
第九節	中和處理之設計步驟	130

第八章 輸氧及曝氣

第一節	影響輸氧之因素	135
第二節	曝氣設備	139
第三節	曝氣系統之設計步驟	150

第九章 生物處理

第一節	生物系統內之細胞成長	154
第二節	內生代謝作用	158
第三節	好氧系統中之耗氧量	158
第四節	有機物去除之動力模式	160
第五節	完全混合系統	163
第六節	泥 齡	163
第七節	污泥沉降	165
第八節	溫度影響	168
第九節	硝化作用	170
第十節	解硝作用	172
第十一節	厭氧處理之動力核式	172
第十二節	好氧生物處理法	176
第十三節	活性污泥及其改良法	178
第十四節	曝氣式氧化塘	183
第十五節	好氧生物處理設計法	189
第十六節	滴濾池	196
第十七節	滴濾池之設計步驟	200
第十八節	厭氧消化	203
第十九節	厭氧處理程序之設計步驟	205
第二十節	污水塘和穩定池	207

第十章 三級處理

第一節	養分之去除	220
第二節	懸浮固體之去除	229
第三節	有機物之去除	231
第四節	無機物之去除	233

第十一章 污泥之處理和處置

第一節	篩除、除砂和括除	243
第二節	濃 縮	243
第三節	重力濃縮	245
第四節	浮除濃縮	249

第五節	離心法	251
第六節	真空過濾	253
第七節	真空過濾之設計	259
第八節	壓力過濾	264
第九節	沙床乾燥	264
第十節	熱處理	269
第十一節	填土處置	270
第十二節	焚化	272
第十三節	濕式氧化	276
第十四節	污泥處置成本	276

第十二章 其他處理法

第一節	化學混凝法	280
第二節	深井處置	284
第三節	還原作用及化學沉降	287
第四節	氯化作用	289

第十三章 污水處理之經濟分析

參考讀物

第一章

水質控制的基本觀念

過去十年來，水污染控制技術已經演進更科學化了，尤其特別着重二次污染物（secondary pollutant）的去除，諸如一些養份（nutrient）、難分解有機物（refractory organics）及着重於廢水再用（reuse）為工業或農業用水。更進一步地，目前已經發展了更多的基礎研究和應用技術，而使廢水處理廠的設計及操作有了重大的改進。

今日，水污染問題已需由科際合作加以解決，以適應各種正常用途用水，如農業、都市、遊樂、工業等的水質需求。在多種情況下，為達到特殊用水水質要求則應考慮其益本比。

廢水來源有四(1)城鎮污水，(2)工業廢水，(3)農業逕流，及(4)暴雨和都市逕流等。

估算城鎮污水之流量和負荷可以該市鎮過去和將來發展的計畫、社會的型態及土地使用之規畫為基礎，以不同之方法加以估算，如：

2 水質工程學

1. 人口預算法：有幾種數學公式可以預估人口的成長，惟對發展較速的工業區，人口急速膨脹的郊區及土地使用利型態改變的市鎮，公式之適當選擇尤需特別注意。

2. 分區使用的飽和人口數：已完全發展區之飽和人口百分比，可由分區使用限制來估算（如獨院或多拼式住宅區、商業區等）。

分流制下水道容量應注意地下水入滲量，而合流制下水道容量則應注意雨水量的估計。

家庭污水平均特性如表 4-1 所列，商業和工業設施污水的估算如表 4-4 所列。

除都市和工業廢水需處理外，都市和農業逕流污染的影響也應重視，此類污水一般濃度如表 1-1 所示。

目前，暴雨逕流已被考慮到先儲存於大蓄水池，再經篩除、沉澱

表 1-1 都市及農地逕流之污染

成份	都市逕流 (暴雨)	農地 逕流
懸浮固體量, mg/l	5-1200	—
化學需氧量 (COD), mg/l	20-610	—
生化需氧量 (BOD), mg/l	1-173	—
總磷量, mg/l	0.02-7.3 ^a	0.1-0.65
硝酸鹽氮, mg/l	—	0.03-5.0
總氮量, mg/l	0.3-7.5	0.5-6.5
氯化物, mg/l	3-35	—

a. 自 Weibel 等 [4]

b. 自 Sylvester [5]

及氯化等處理後，再行排放。將來，高度都市化的結果，暴雨逕流將被認為是主要的污染源。

農業逕流是湖泊或其他自然水體，產生優養 (eutrophication)

問題的主要來源。對這問題有效的控制尚未研究出來，又農業逕流含有殺虫劑也應受到重視。一個有效的水質控制計畫擬定程序如圖 1-1 所示。像這樣的一套計劃可以直接而以最經濟方法達到各個用途之水質需求。

水質準則 (water-quality criteria) 建立後，設計時必須考慮分流或合流處理，海洋放流，及考慮將來處理廠負荷增加而為提高放流水水質時，處理廠的擴建彈性。

第一節 水質標準

水質標準 (water-quality standard) 係根據下列二種基本準則之一加以訂立；即河川標準 (stream standards) 或放流水標準 (effluent standard)。河川標準可根據稀釋需求或承受水體水質可依據某種特殊污染物的容限值或正常用水的標的而定。放流水標準則根據放流水中污染物的容許濃度或需求處理程度而定。

河川標準通常都是根據河川分類 (classification) 之各種不同正常用途之水質要求而定。典型的河川分類、正常用途及其相對之水質準則及處理要求。如表 1-2 所示。

河川標準實際上是合理地考慮了承受水體的涵容能力 (assimilative capacity)，但對於一個發展中工業區和都市，河川標準在執行及控制上就有著相當大的困難。因為在一個行政事務繁忙的區域，欲使涵容能力獲得合理的分配實際上在行政及經濟上有很多困難。河川標準的建立乃使河川在低流量時仍能維持一個最低的溶氧量 (dissolved oxygen, 簡稱 DO)，其意味著有一個最低處理程序的要求。河川標準通常也規定在某一特定低流量時，經混合後河流中污染物 (即 BOD (biochemical oxygen demand)，稱為生化需氧量) 的最高容許濃度。

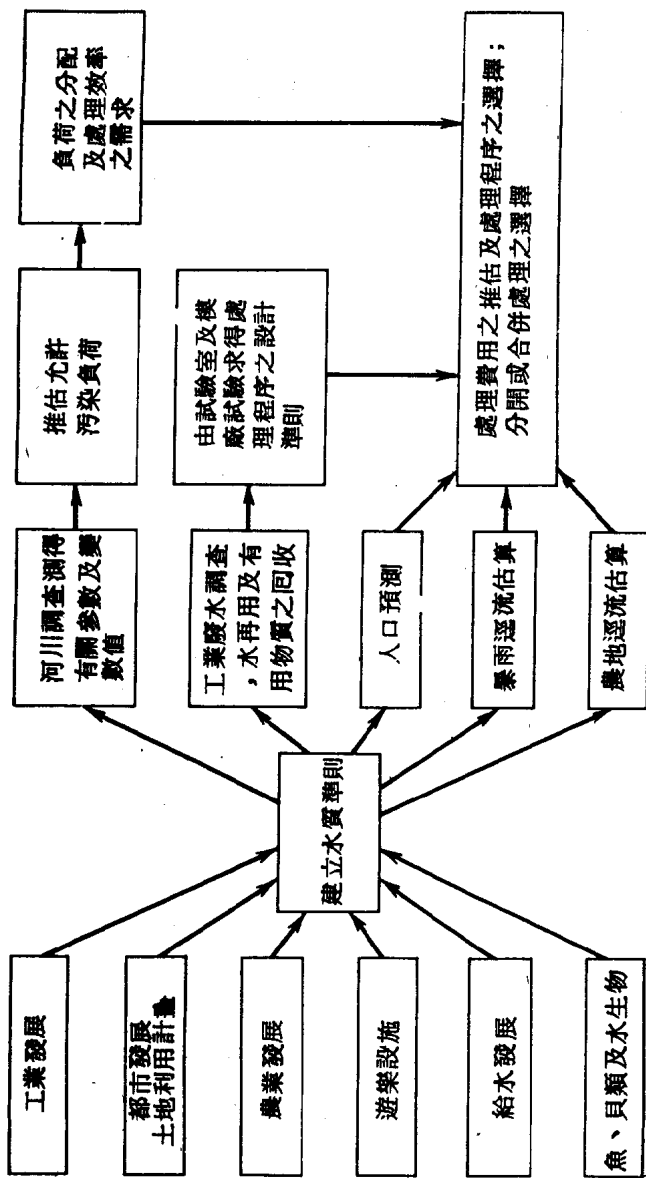


圖 1-1 水質標準評定之資料程序

表 1-2 河川分類之水質準則

類別	用途	水質準則	處理需求
A ^b	自來水源，遊樂	大腸菌、色度、濁度、pH、溶氧、毒性物質、產生臭及味物質、溫度。	二級（有時需三級）加上消毒
B ^b	游泳，魚場，遊樂	大腸菌、pH、溶氧、毒性物質、色及濁度（含量高）、溫度。	二級加上消毒
C	工業、農業、航運、魚場	溶氧、pH、漂浮及可沉降固體、溫度。	初級，有時需二級
D	航運、冷却用水等	無惹厭條件、漂浮物質、pH	初級

a. 自 { 2, 3 }

b. 可能需去除養分（含氮及磷）

為維持一定水質，河川標準並非一成不變，而係隨着工業和都市的環境而改變的。例如：雖然含碳有機物已經處理而加以去除，但承受水體因硝化作用（nitrification）造成之傷害將加大。而在有些情況下，優養問題將變得很嚴重。在這些情況考慮下，勢必提高處理程序。

放流水標準是規定放流水放流入承受水體時，其所含污染物最大濃度（ mg/l ）或排入承受水體之最大負荷（磅/日）。這些標準通常和河川分類息息相關。

在某些情況下，處理程序是被加以規定〔如初級處理（primary treatment）、二級處理（secondary treatment）等〕，若以此應用到工業廢水，便會發生困難，主要在於工業廢水水質並不像城鎮污水，均相去不遠，而處理方法也並無一定的處理程序。例如：城鎮污水經初級和二級處理後，BOD 各可以去除百分之三十五或百分之八十五至九十。放流水中之BOD 濃度各約為 $130 \text{ mg}/\text{l}$ 及 $20 \text{ mg}/\text{l}$ 。但工業廢水濃度變化甚大。不僅隨着工業種類而不同也隨着工廠管理、操作及再用等因素而變，在許多種情況下，其濃度可多倍於城鎮污水。所以，雖持工業廢水維持與城鎮污水相同的去除率，承受水體的早已超負荷了。通常工廠管理不良也應受罰。

美國賓州（Pennsylvania），已試圖建立各類工業廢水之平均水質，並規定各別之處理程度。如此，一個有效地減少用水的工廠所需之處理程度將遠比一個工廠管理不良的工廠為低。

在某些情況下，通常所用的水質標準參數並不適用於貝類區及水生生物保護區，因為這些參數中並沒特別包括對水生生物有害的項目〔如COD（chemical oxygen demand 稱化學需氧量）僅說明了有機物的含量，並未分別出有毒及無毒的有機物〕。有時，可用異種指數（species diversity index）表示自由浮游生物（free-floating organism）或底棲生物（benthic organism）〔所謂異種指數代表整個水生環境條件的一種指標，與樣品中的生物種數（species）有關，異種指數愈大表示水生系統愈豐饒，環境條件甚佳。〕

各種工業用水的水質準則如表 1-3 所列。公共給水的地面水源水質準則詳見本章參考資料 1，重要準則有色度不能大於 75 個單位，實際上應無臭味，溫度不能超度 85° F，如受周圍環境的影響其溫度升降也不能超過 5° F，鹼度必須在 30 和 400~500 mg/l 之間，亞硝酸鹽和硝酸鹽之和不大大於 10 mg/l（以氮表示），總溶解固體不大大於 500 mg/l，且碳三氯甲烷萃出物（carbon-chloroform extract）不能大於 0.2 mg/l。

對清水魚和水生物而言，氯鹽濃度應不大大於 1500 mg/l，pH 值應在 6~9 之間，鹼度不超過 20 mg/l，溫度受周圍影響不能有大大於 5° F 的升降。大部份的魚類，水中溶氧必須大大於 5.0 mg/l。

灌溉用水總溶解固體限制在 500~1500⁽¹⁾ mg/l 之間，氯鹽在 100~350⁽¹⁾ mg/l 之間，銅在 0.1~1.0⁽¹⁾ mg/l，PH 值在 6.0~9.0⁽¹⁾ 之間〔(1) 代表最大限值〕。

參考書目

1. *Report of the Committee on Water Quality Criteria*, U.S. Department of Interior, Federal Water Pollution Control Administration, Washington, D.C. April 1968.
2. J. E. McKee and H. W. Wolf, *Water Quality Criteria*, Report to the California Water Quality Control Board, SWPCB Publ. 3A, 2nd ed., 1963.

*異種指數， $K_D = (S - 1) / \log_{10} I$ ，式中 S 代表種 (species) 數， I 代表各個有機生物之總數。

表 1-3 工業用水水質準則

工業別	濁度	色度	硬度	溫度, °F	pH	總溶解固體	鐵及錳	懸浮固體	氯化物
紡織工業	5	5	25		6.0-8.0 ^a	100	0.1	5	
染色	5	5	25		6.0-8.0 ^b	100	0.1	5	
洗滌	5	5	25		3.0-10.0	100	0.1	5	
漂白	5	5	25		2.5-10.5 ^b	100	0.1	5	
製漿及造紙									
機械法									
製漿	—	30	c	c	6-10	c	0.3	c	1000
未漂白	—	30	100	c	6-10	c	1.0	10	200
已漂白	—	10	100	95	6-10	c	0.1	10	200
有機化工	—	—	250	—	6.5-8.7	—	0.1	c	—
石油	—	c	350	—	6-9	1000	—	10	300
鋼鐵	—	—	—	100	5-9	—	—	100 ^c	—
罐頭食品	—	5	250	—	6.5-8.5	500	0.4	10	250
製革	—	5	150	—	6-8	—	0.3 ^b	—	—
啤酒	10	—	—	—	6.5-7	500	0.1	—	—

a. 自 [1]；除特指出外，單位均為 mg/l

b. 因產品而不同

c. 不像濁度準則，此項並不被考慮

d. 可沉降固體

3. P. H. McGauhey, *Engineering Management of Water Quality*, McGraw-Hill, New York, 1968.
4. S. R. Weibel et al., "Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution," *J. Water Pollution Control Federation*, **36**, No. 7, 914 (1964).
5. R. O. Sylvester, "Nutrient Content of Drainage Water from Forested, Urban and Agricultural Areas," *Trans. Sem. Algae Metropolitan Wastes*, United States Public Health Service, R. A. Taft Center, Cincinnati, Ohio, 1960.

第二章

城鎮污水和 工業廢水特性

對目前着重於多目標用水水質而言，城鎮污水和工業廢水已經可用一些具有特殊意義之重要參數加以評估，現分述如下：

1. 生化需氧量 (biochemical oxygen demand 簡稱 BOD) ; 代表廢水中可為生物分解 (biodegradable) 之有機物含量。
2. 化學需氧量 (chemical oxygen demand 簡稱 COD) ; 代表廢水中易分解及不易分解之有機物總含量。
3. 懸浮固體量 (suspended solids 簡稱 S.S.) 和揮發性懸浮固體量 (volatile suspended solids 簡稱 V.S.S.) 。
4. 總固體量 (total solids 簡稱 T.S.) 。
5. pH ; 鹼度 (alkalinity) 和酸度 (acidity) 。
6. 氮和磷。
7. 重金屬和無機固體。

某些工業廢水含有特別的成分如酚類 (phenol) 或氰 (cyanide) 。上述各參數在水質控制上之意義如表 2-1 所示。

第一節 廢水中有機物含量之估算

廢水中有機物含量可由下列三種方法之一估計出來，但在解析這些結果時應特別小心。BOD 試驗可以測得廢水中可被生物分解之有機

表2-1 工業廢水之污染特性

-
1. 可溶性有機物：降低河川及河口之溶氧；容許放流量與水體涵容能力及放流水標準有關。
 2. 可溶性有機物（如酚類）可引起自來水源之臭及味問題。
 3. 毒性物質（如氯化物）及重金屬（如銅及鋅）之放流通常有嚴格之放流限制。
 4. 色度及濁度：對美感有碍；增加自來水廠處理負荷；色度如來自製漿及造紙工廠。
 5. 養分（氮及磷）：造成湖泊及沼塘之優養問題，尤其在遊樂地區。
 6. 難分解物質（如ABS）：引起河川之泡沫問題。
 7. 油及漂浮物質：通常需完全去除；對美感有碍。
 8. 酸及鹼：一般之規定均需加以中和。
 9. 產生臭味物質，如製革廠之硫化物。
 10. 懸浮固體：河川中造成底淤泥。
 11. 溫度：熱污染可造成缺氧（降低飽和值）。
-

碳量，且在某種情況下，亦可以測得廢水中可氧化氮。COD除芳香族（aromatics），如苯（benzene）無法完全氧化以外，可以測得廢