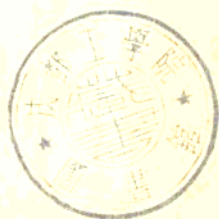


100217

哈尔滨工业大学讲义

污 水 处 理

王 寶 貞 編



1956

前 言

本講義系以編者在 1954 年聽苏联專家、技術科学副博士、副教授阿、馬、莫尔加索夫 (А. М. Мордясов) 同志在本校講課時記的筆記為藍本，並根據我校排水工程教學大綱，苏联排水工程教本，參考文獻，以及張自杰、馬中漢同志及編者自己的講稿編寫而成。

在編寫過程中，曾得到莫尔加索夫專家的熱情的鼓勵與指導，親自代寫緒論，並付出了許多寶貴時間校對了本講義中多數重要章節的俄譯稿，謹在此致以衷心的謝意。

講義完成后，並承樊冠球同志總校，顏虎、邵元中、馬中漢、李圭白、舒文龍、王倫、郭林謙、金錐、林榮忱等同志校閱，以及教研室的全體同志的幫助與支持。此外，尙承上海市市政工程局杜瑞安同志大力支持，惠贈多幅照片及資料。謹在此一併致謝。

由于編者才疏學淺，講義中難免有不當之處，敬希讀者指正。

哈爾濱工業大學給水排水教研室

王 寶 貞

1956, 6, 1.

緒 論

在日常生活及生產過程中使用過的水含有許多污物。水在生產過程中用過以後，其水質常常不再能滿足該生產過程的要求，必須利用污水管網將污水從工廠排除，這種污水稱為工業污水。在日常生活中用過的水也利用污水管網排至居民區以外，這種污水稱為生活污水或城市污水）。

從居民區或工廠排出的污水經過污水處理廠處理以後，排往水体。水体具有淨化污水的能力，所以當設計污水處理廠時，應當根據當地條件，充分利用水体的自淨能力。

利用污水管網排洩污水的問題已在污水工程第一部分（污水管網）講述。關於工業污水的排洩和處理的特殊問題將在污水工程第三部分（工業污水）中講述。污水工程的第二部分污水處理只討論生活污水以及與其水質相似的工業污水的處理方法和處理它們的建築物。

本書將根據污水性質和污水對水体的影響來討論處理污水的方法和污水處理建築物。

污水中的污物有下列三種：

- 1) 非溶解性有機物和無機物；
- 2) 溶解性有機物和無機物；
- 3) 生物類雜質，如微生物和細菌等。

根據現有文獻，遠在所羅門王朝時代，已經利用沉澱池處理污水了。以後隨着城市的發展和城市人口的增加，為了防止傳染病的發生和蔓延，在遠古時代已在一些較大的城市中修建了下水道和污水處理的建築物。當然，那時修建的污水處理建築物是比較簡單的。在資本主義時期，隨着工業的發展，出現了許多工業企業；其中很多工業污水比生活污水更髒、更有害，因此它們更需要加以處理、需要有更完善的污水處理的建築物。在這期間出現了灌溉田、過濾田、生物濾池等生物處理的建築物。十九世紀末葉和二十世紀初葉是工業迅速發展的時期。在這些工業的生產過程中，形成了性質及成份極不相同的各種生產污水，這些污水需要利用各種不同的處理方法加以處理。

在社會主義國家里，隨着工業的迅速發展，生產污水量也將迅速增加。此外，隨着城市人口的日漸增多、人民生活水平的日益提高和衛生設施的日益改善、居民用水量也隨着增加。為了改善城市的环境衛生和提高人民的健康水平，為了保證水中動植物的生長繁殖，在社會主義國家里，未經處理的污水是絕對不允許任意排往水体的。因此在社會主義建設中，就保證工業生產的發展和改善城市和工廠的衛生條件來說，污水處理工程具有很重要的意義。

目 錄

前 言 緒 論

第一章 污水的成分和性質

§ 1. 污水的成分	1
§ 2. 污水中的非溶解物質	3
§ 3. 沉澱物	3
§ 4. 膠體物質和溶解物質	6
§ 5. 硝化及反硝化	7
§ 6. 氧的消耗及溶解	8
§ 7. 生化需氧量 (BПK)	13
§ 8. 污水中的細菌污染	15
§ 9. 污水的酸鹼性反應	16
§ 10. 污水的穩定性	16
§ 11. 污水中的有用物質	17

第二章 水體——天然的污水處理廠

§ 12. 水體的污染	18
§ 13. 水體的自淨	18
§ 14. 污水排入水體的條件	29
§ 15. 確定污水的處理程度	29
§ 16. 水體的觀測	37

第三章 污水處理方法的分類

§ 17. 污水處理的方法	43
§ 18. 污水處理廠的布置系統	44

第四章 污水的機械處理

§ 19. 水柵	48
§ 20. 水篩	57
§ 21. 沉澱理論	59
§ 22. 沉砂池	72
§ 23. 除油池	90
§ 24. 沉澱池	91
§ 25. 污水的機械過濾	109

第五章 用机械—化学法及电解法处理污水

- §26. 用机械—化学法处理污水..... 112
§27. 用电解法处理污水..... 114

第六章 污泥处理

- §28. 污泥处理概述..... 115
§29. 腐化池..... 116
§30. 隐化池..... 118
§31. 污泥消化池的工作原理及构造形式..... 125
§32. 污泥消化池的计算..... 129
§33. 晒泥场..... 139
§34. 污泥脱水的机械方法..... 144
§35. 污泥的加热处理..... 145
§36. 污泥的输送..... 147

第七章 自然条件下之污水生物处理

- §37. 生物处理建筑物概述..... 152
§38. 灌溉田和过滤田..... 153
§39. 生物池塘..... 175

第八章 人为条件下之污水生物处理

- §40. 生物滤池..... 179
§41. 通气滤池..... 203
§42. 高负荷生物滤池..... 206
§43. 生物滤池后的二次沉淀池..... 210
§44. 曝气池..... 211
§45. 曝气池后的二次沉淀池..... 236

第九章 污水消毒及处理后的排入水体

- §46. 污水的消毒..... 240
§47. 用漂白粉消毒..... 241
§48. 用液态氯消毒..... 242
§49. 氯与污水之混合及接触..... 247
§50. 储存氯气及漂白粉的仓库..... 247
§51. 污水出水管..... 248

第十章 污水处理厂的布置

- §52. 确定污水处理的方法及选择处理建筑物的型式..... 253

§53. 污水处理厂厂址选择	254
§54. 污水处理厂的佈置圖示及总平面圖	256
§55. 污水处理建筑物的高程圖	261
§56. 污水在污水处理厂中的分布	264
§57. 污水的計量設備	267

第十一章 污水處理建築物的維護

§58. 污水处理建築物的驗收	273
§59. 污水处理建築物的試行維護	273
§60. 处理建築物工作的統計和檢查	275
§61. 各种处理建築物的技術維護	277
§62. 处理建築物的維護工作組織及技術保安	285

第十二章 小型排水工程

§63. 小型排水工程概述	287
§64. 小型排水工程及局部排水工程的污水处理建築物	287

第十三章 從無排水設備建築物中排除污物

§65. 廁所、排气廁所、敷灰廁所	295
§66. 无排水設備建築物中糞便的消毒	296
§67. 液態污物之傾洩站及傾洩点	298

第一章 污水的成分和性質

§ 1. 污水的成分

在人們的生產及生活實踐中，水被有機物質、無機物質和微生物等污染，形成了污水。污水按其形成的過程可分為生產污水及生活污水兩大類。

由於生產過程、生產性質、加工原料等的不同，形成了各種不同的生產污水，它們所含的成份也各不相同：有些生產污水的成份很接近生活污水的成份，這樣的生產污水可以同生活污水在一起處理；另外一些生產污水的成份和生活污水的成份不相同，如果兩者放在一起處理，就會影響污水處理的效果。因此往往在未排入溝管網與生活污水混合前，就將這些生產污水加以初步的處理。

污水中污物的存在狀態可歸納如下：

I. 根據污物在污水中存在的物理狀態可分為：

1) 非溶解物質。這些污物不溶解於水，而以懸游狀態、漂浮狀態、或乳濁狀態存在於污水中，它們的粒徑大於 0.1μ ($1 \mu = 10^{-3}$ 毫米)。按照比重 (γ) 的大小，又可將非溶解物質分為三類：

- (1) $\gamma > 1$ ——在水中下沉；
- (2) $\gamma \approx 1$ ——在水中隨遇而安；
- (3) $\gamma < 1$ ——漂浮於水面。

2) 膠體物質。這些污物在污水中以膠體溶液形式存在，其粒徑的大小為 $0.1 \sim 0.001 \mu$

3) 溶解物質。這些污物在污水中以真溶液形式存在。

II. 根據污物的自然起源，可分為無機物、有機物和微生物三種。

1) 屬於無機物包括砂、粘土、礦渣、爐渣、礦物油以及酸、鹼、鹽等物質。

2) 有機物包括動物性有機物和植物性有機物兩種，前者包括人及牲畜等的排洩物、肌肉及脂肪組織的殘渣、動物油、乳糖等；後者包括植物殘屑、蔬菜及水菓等的殘片、紙屑、植物油等。

動物性有機物的主要化學元素是氮，而植物性有機物的主要化學元素是碳。

3) 由於污水中有很多有機物質，所以常適宜於各種細菌的繁殖和生活。因此污水中有各式各樣的微生物，而且數量很多，在每毫升污水中細菌的含量要以千萬計。細菌分為有害的、有益的、無益無害的三大類。致病菌（如傷寒菌、霍亂菌、痢疾菌等）是有害的細菌；參於污水的生物化學處理的細菌是有益的細菌；無益無害的細菌對我們既沒有什麼壞影響，也沒有什麼好處。大腸桿菌是無益無害的細菌。但當水中有大腸桿菌存在時，這表示此水已被人和牲畜的糞便所玷污。因此可能有致病菌存在，所以檢查水中的大腸桿菌有重要意義。

生活污水中有機物質與無機物的含量的百分比為 58:42 左右，其大致組成如圖 1 所示。

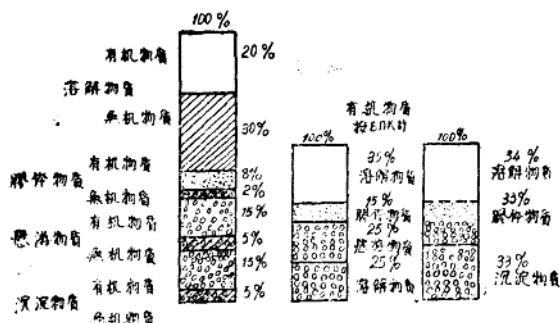


圖 1 生活污水的成份

污水中的污物含量常用濃度表示。污水中某一种污物的濃度是指在單位体積的污水中該种污物的含量，以毫克/升或克/米³表示。生活污水中污物的濃度大小与每人每日用水量的多少有关；每人每日的用水量愈多，那么濃度便愈小；反之，每人每日的用水量愈小，那么濃度便愈大。一天中逐时的排水量和污水中的污物含量都是不均匀的，而且兩者間沒有固定的比例关系，所以每日污水中污物的濃度也是逐时而變的。圖 2 所示便是一例。一年中各季節的用水量也各不相同，所以污水中各种污物的濃度也隨季節而變。

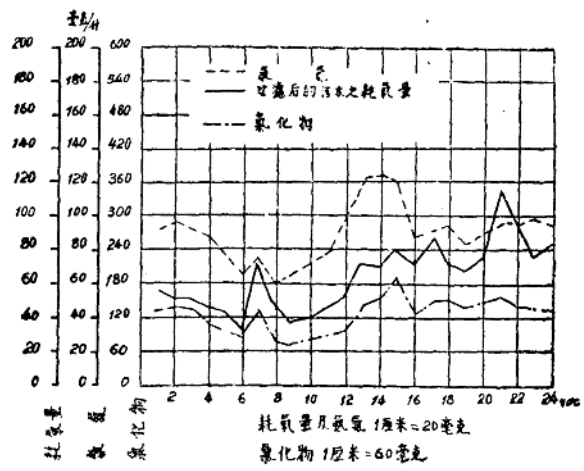


圖 2 生活污水中污物濃度的逐时變化圖

如果已知每人每日的用水量及每人每日形成的污物数量，便可按下式求出污水中污物的平均濃度：

$$K = \frac{a \times 1000}{q_H}$$

- 式中： K —— 污水中污物的平均濃度 (毫克/升)；
 a —— 每人每日形成的污物量 (克/人·日)；
 q_H —— 每人每日的洩水量 (升/人·日)。

§ 2. 污水中的非溶解物質

污水中的非溶解物質，按照粒徑大小可分為兩類：一為粗分散，顆粒較大，粒徑一般在 100μ 以上；一為細分散，顆粒較小，粒徑在 $100-0.1\mu$ 之間。細分散的顆粒用肉眼觀察是均勻的，只有用顯微鏡觀察時，才能發現其顆粒之間的區別。由於細分散的顆粒微小，其下沉的重力往往小於或等於它與介質間的阻力，因此它們往往很難沉澱下來而呈懸游狀態。

工業污水中的非溶解質一般都是無機物，如砂、爐渣、礫渣等。這些物質呈顆粒狀。

生活污水中的非溶解物質主要是有機物，呈絮狀。當處理生活污水時能夠沉澱下來的非溶解物質量（斯特洛于諾夫教授建議）按每人每日 $35-50$ 克計算，平均為 40 克。由此，當每人每天的污水量為 200 升/時，污水中能沉澱下來的非溶解物質的濃度為：

$$K = \frac{a \times 1000}{q_H} = \frac{40 \times 1000}{200} = 200 \text{ 毫克/升。}$$

由於生產的性質和生產過程的不同生產污水中的非溶解物質的濃度，差異甚大。有些生產污水中的非溶解物質的濃度比生活污水者小；而另一些生產污水的濃度卻遠比生活污水者大。例如，選礦廠排出的生產污水中的非解物質的濃度為 25000 毫克/升，屠宰廠為 13000 毫克/升，洗毛廠為 20000 毫克/升。

生活污水同生產污水混合後，混合污水中的非溶解物質或其他污物的濃度可按下式求出：

$$K_{CM} = \frac{K_x Q_x + \sum K_n Q_n}{Q_x + \sum Q_n},$$

式中： K_{CM} ——混合污水中的非溶解物質或其他污物的濃度（毫克/升）；

K_x ——生活污水中的非溶解物質或其他污物的濃度（毫克/升）；

K_n ——生產污水中的非溶解物質或其他污物的濃度（毫克/升）；

Q_x ——生活污水量（米³）；

Q_n ——生產物水量（米³）。

§ 3. 沉 澱 物

沉澱物是由一部分非溶解物質從污水中沉澱下來形成的。

污水中的沉澱物，按其顆粒構造可分為顆粒狀的及絨絮狀的兩種：第一種沉澱物的顆粒下沉時互不影響，而以等速度下沉。第二種沉澱物的顆粒下沉時互相作用，顆粒逐漸變大，從而下沉速度逐漸增加。屬於絨絮狀的沉澱物的有三氫氧化鐵、三氫氧化鋁和絨絮狀的蛋白質

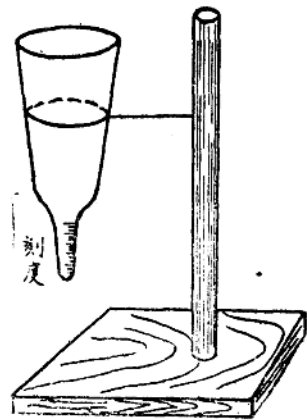


圖 3 李森科瓶

等。生活污水中含有上述兩種沉澱物，其中絨絮狀的沉澱物比較多。

在實驗室中，污水中的沉澱物容量用 0.5~1.0 升的錐形瓶測定（圖 3）。瓶的底部有以立方厘米表示的刻度。將污水倒入容量為 0.5 或 1.0 升的瓶中，並且加以搖盪後，將瓶靜置，沉澱物便不斷下沉。每隔一定時間記下當時共沉澱下來的沉澱物量，以厘米³/升計。

圖 4 中繪有數條沉澱物質的沉降曲線，圖中橫座標表示沉澱時間，縱座標表示沉澱物數量（以百分數表示）。本圖中取相當於兩小時沉澱時間的沉澱物數量為 100%。因為在實際觀察中發現，污水中的沉澱物質在兩小時內基本上都能沉澱下來。

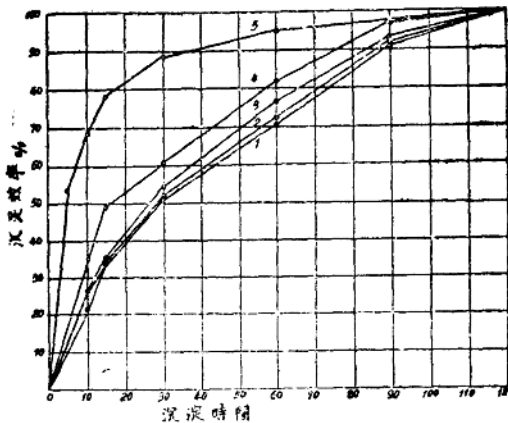


圖 4 沉澱物質的沉澱曲線

1. 沉澱物質的最初濃度為 0.5—1.5 厘米³/升；
2. 最初濃度為 1.6—2.5 厘米³/升；
3. 最初濃度為 2.6—3.4 厘米³/升；
4. 最初濃度為 3.5—4.7 厘米³/升；
5. 最初濃度為 5.5—16.3 厘米³/升。

從這幾條沉澱曲線可以看出，污水中的沉澱物質在最初一個階段沉澱特別快。這是由於沉澱物質的顆粒大小不一樣，顆粒較大的沉澱物質下沉甚快的緣故。

這組曲線是研究污水中沉澱物質的沉澱規律和設計沉澱池時重要的參考資料。

沉澱物沉澱下來後成了污泥。污泥中含有很多水。污泥中含水的多寡以污泥中水的重量對於污泥總重量之比的百分率表示，稱為水份。為了正確地測得污泥中的水分，可以取出一部分經充分攪拌好的污泥，精確稱出其重量後，放入烘箱中；在 105°C 下一直烘至恆重為止。取出烘乾後的污泥稱之，再稱得盛污泥的器皿的重量，然後，按下式求出污泥中的水分：

$$P = \frac{a-b}{a-b} \times 100\% = \frac{b-c}{a-c} \times 100\%$$

式中：P——污泥中的水份；

a——未烘時的污泥和盛皿的總重（克）；

b——乾燥後的污泥與盛皿的總重（克）；

c——盛皿的重量（克）。

I. 污泥重量与其中水分的关系

設計及維護污水處理建築物時，常常需要考慮到污泥中水分的減少。例如，沉澱池中新沉澱下來污泥在其沉澱後的起初兩小時內具有 97~97.5% 的水分，隨著污泥在沉澱池中停留時間的增加，污泥愈變愈實，經過一定時間後水份便降低到 95%。又如，泥場上的污泥，由於水分蒸發和滲透的緣故，水分能從 95% 降低來 75~80%。

如果污泥中固體物質的重量一定，污泥的重量便隨著其中水分的減少而減少。污泥的重量和其中水分之間的关系可求得如下。

設當水分為 $p_1\%$ 時污泥的重量 P_1 為，水分為 $p_2\%$ 時污泥的重量為 P_2 。因為污泥重量由 P_1 減少至 P_2 時，污泥中固體物質的重量係固定不變，所以：

$$\frac{100-p_1}{100} P_1 = \frac{100-p_2}{100} P_2,$$

即

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{100-p_1}{100-p_2}。$$

例如，當污泥中的水分由 97.5% 減少至 95% 時：

$$P_2 = \frac{100-p_1}{100-p_2} P_1 = \frac{100-97.5}{100-95} P_1 = \frac{1}{2} P_1$$

即污泥重量減少成原來重量的一半。

II. 污泥體積与其中水分的关系

設計及維護污水處理建築物時，往往更需要知道污泥在某一水分時的體積，污泥體積和其中水分的关系可求得如下。

設有某一污泥，其重量為 P_1 ，水分為 $p_1\%$ ，污泥中固體物質的比重為 γ 。由此可求得污泥的體積為：

$$W_1 = \frac{(100-p_1)P_1}{100} \times \frac{1}{\gamma} + \frac{p_1}{100} P_1 = \left(\frac{100-p_1}{\gamma} + p_1 \right) \frac{P_1}{100}。 \quad (1)$$

當該污泥中的水分變為 $p_2\%$ 時，設污泥的重量變成了 P_2 。此時污泥的體積將變為：

$$W_2 = \left(\frac{100-p_2}{\gamma} + p_2 \right) \frac{P_2}{100}，$$

前已求得，

$$P_2 = \frac{100-p_1}{100-p_2} P_1， \text{ 代入上式後得：}$$

$$W_2 = \left(\frac{100-p_2}{\gamma} + p_2 \right) \frac{P_1}{100} \times \frac{100-p_1}{100-p_2}。$$

所以 $\frac{W_2}{W_1}$

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\left(\frac{100-p_2}{\gamma} + p_2 \right) \frac{P_1}{100} \times \frac{100-p_1}{100-p_2}}{\left(\frac{100-p_1}{\gamma} + p_1 \right) \frac{P_1}{100}}。$$

整理後得：

$$W_2 = W_1 \frac{(100-p_2) [100-p_2(1-\gamma)]}{(100-p_1) [100-p_1(1-\gamma)]}。$$

從上面的例子可以看出，污泥中水分較多時（在 80% 以上），其體積的變化與重量

的變化差異甚小。因此在这种情况下，污泥体積随水分的變化可按下式計算：

$$W_2 = W_1 \frac{100 - p_1}{100 - p_2}$$

式中： W_1 及 W_2 是水分為 $p_1\%$ 及 $p_2\%$ 时的污泥体積。

污水中的非溶解物質在污水处理建築物中（沉沙池，沉澱池等）並不能全部沉澱下來。目前的标准規定，沉澱時間不超過 2 小時，相应的沉澱在沉澱池中的污泥量按每人每日 0.7 升計算（污泥中的水分按 94% 計算）或按每人每日的固體物質 40 克計算*。此外，水柵截留固體物質 2~2.5 克，沉砂池截留固體物質 20 克。但根据苏联阿馬莫尔加索夫副教授的分析，在这每人每天形成的 62.5 克固體物質中，水柵截留 2.5 克，沉砂池截留 12.5 克，其余的都沉澱在沉澱池中。

污泥中含有有机物質及无机物質，其含量可用下列方法測定。將污泥放在烘箱中在 105°C 的温度下烘至恆重，然后称，得出污泥中固體物質（包括有机物質及无机物質）的总重量。然后将此污泥再在 600°C 高温下燒灼，以便將其中有機物質燒掉，再称之。剩下的无机物質的重量与固體物質在燒灼前的重量之比称为污泥的灰分，以百分数表示。生活污水中的污泥的灰分佔 20~30%。

§ 4. 膠體物質和溶解物質

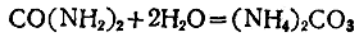
如所週知，水中膠體微粒上帶有同性電荷，所以膠體微粒互相排斥而不能沉澱下來。

如在污水中加以凝集劑，將膠體微粒上的電荷除去后，便發生凝集，而形成顆粒較大的絮狀沉澱物。

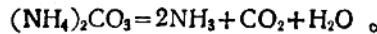
溶解物質在污水中以离子或分子形式存在。

蛋白質、脂肪、碳水化合物及人的排洩物等有机物对于生活污水中的膠體溶液和其溶液的化學成分影響很大。此外、自來水的水質（如碳酸鹽、硫酸鹽和鈣質等的含量）对这些污水的化學成分也有影響。

蛋白質在动物肌体内的新陳代謝的過程中，生成尿素。尿素由动物排洩出來后，在腐化細菌的作用下迅速水解，生成銨鹽。



污水中的氮素主要就是以碳酸銨的形式存在的。碳酸銨在空气不流動的地方易于繼續分解，產生極難聞的氨：



污水除含有氮以外，尚含有碳、硫、磷、鈣、鈉、鉀、氯、鐵等元素。根据 C.H. 斯特洛干諾夫教授的分析，每人每日所排除的污水中含有上述元素的數量為：

氮 (N)	7~8 克；
氯化物 (Cl)	8~9 克；
磷酸鹽 (P_2O_5)	1.5~1.8 克；
鉀 (K_2O)	3 克。

* 根据我校在上海污水处理廠的分析，每人每日沉澱物总量約為 40 克。

氮含量的變化範圍甚小，所以每人每日 7—8 克可作标准使用。例如測得污水中氮的濃度為 50 毫克/升時，則可得出每人每日的泔水量為：

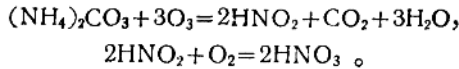
$$q_H = \frac{(7-8) \cdot 1000}{50} = 140 \sim 160 \text{ 升/人} \cdot \text{日}。$$

污水中的氯化物主要以食鹽形式存在。它的含量隨居民吃鹽的多寡而定。

污水中硫酸鹽和鐵質的含量主要取決於它們在自來水中的含量。

§ 5. 硝化及反硝化

在生活污水及某些生產污水中，含有許多含氮的物質。氮是蛋白質的組成部分，也是蛋白質分解後的生成物的組成部分。前已述及，尿素在氯化細菌作用下迅速變成碳酸銨。在缺氧的條件下，碳酸銨繼續分解產生極臭的氨。但當氧氣充足時，碳酸銨在需氣菌的作用下首先生成亞硝酸鹽，繼而生成硝酸鹽：



在硝化過程中需要消耗一定量的氧。由上面的反應式可知，在碳酸銨變為亞硝酸鹽的過程中，每兩個氮原子需要六個氧原子，其重量比為： $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{6 \cdot 16}{2 \cdot 14} = 3.42$ ，即每一單位重量的氮需要 3.42 單位重量的氧。

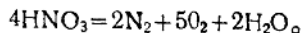
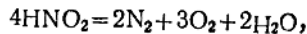
在碳酸銨變成硝酸鹽的過程中，每兩個氮原子需要八個氧原子，其重量比為： $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{2 \times 16}{2 \times 14} = 4.52$ ，即每一單位重量的氮需要 4.52 單位重量的氧。

因為上述化學反應是在微生物的作用下進行和完成的，所以稱為生物化學反應。又因從碳酸銨變到硝酸鹽的過程中，參與反應的細菌只能在有氧氣的條件下才能生存，所以稱這些細菌為需氣菌。而稱這種分解為需氣分解。

在碳酸銨變為亞硝酸鹽的過程中，參加反應的需氣菌是 Nitrosomonas 菌（亞硝化細菌）。在亞硝酸鹽變成硝酸鹽的過程中，參加反應的需氣菌是 Nitrobacter 菌（硝化細菌）。

當缺氧時，又有另一些細菌使硝酸鹽及亞硝酸鹽分解成分子狀態的氮和氧。分解出來的氧可再供尚未硝化的有機物質進行硝化之用，這種過程稱為反硝化。在反硝化過程中，參與反應的細菌只能在無氧的條件下生存及活動。因此稱這些細菌為厭氣菌，而稱這種分解為厭氣分解。

亞硝酸及硝酸的厭氣分解按下式進行：



因此，在亞硝酸鹽的反硝化過程，每兩個氮原子放出 3 個氧原子，其重量比為： $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{3 \cdot 16}{2 \cdot 14} = \frac{48}{28} = 1.71$ ，即每一單位重量的氮放出 1.41 單位重量的氧。在硝酸鹽的反硝化過程中，每兩個氮原子放出 5 個氧原子，其重量比為： $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{5 \cdot 16}{2 \cdot 14} = 2.85$ ，即每一單位重量的氮放出 2.85 單位重量的氧。

由上可知，在反硝化过程中得到的氧比在硝化过程中耗掉的氧少。这是因为在硝化过程中，氧不只是用于形成硝酸鹽，而且用于形成碳酸气及水，而后者在反硝化过程中是不分解和產生氧的。

圖 5 所示为氮在自然界中的循环。

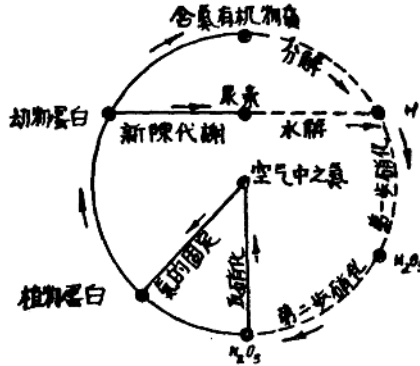


圖 5 氮在自然界中的循環圖

§ 6. 氧的消耗及溶解

淨化污水的要点之一，就是污水中的有机物质在需氧分解的条件下变成无机物质。水体、土壤以及污水处理厂中的生物处理建筑物所以能淨化污水，正是因为它们能使污水中的有机物质分解成无机物质。有机物质在需氧分解的条件下无机化时，需氧菌需要消耗一定量的氧。这就是所谓氧的消耗。在水中所溶解的氧被需氧菌消耗的同时，大气中的氧又不断溶解于水中来加以补充。这就是所谓氧的溶解。

下面就氧的消耗及溶解分别加以阐述。

1. 氧的消耗

污水中的有机物质在需氧菌作用下进行无机化时，需要有一定的氧，所以这种分解过程有时称为氧化。不过，这里所说的氧化同化学上所说的氧化不同，在这里，氧化是在需氧菌参与下进行的，即是生物化学的过程（简称生化过程）。各种有机物质氧化的难易各不相同，因之可将氧化过程分为两个阶段。在第一阶段被氧化的是些含碳、氢元素的易于氧化的有机物质，氧化后生成碳酸及水，在第二阶段被氧化的是含氮的有机物质，氧化后生成亚硝酸鹽和硝酸鹽。

根据試驗，当水中有足够的溶解氧时，第一氧化阶段中的耗氧速度遵循这样的规律：在同一温度下，污水的各时刻的耗氧速度与该时刻污水中有机物质的含量成正比。即，

$$\frac{dx}{dt} = k_1'(L_0 - X_1),$$

式中： $\frac{dx}{dt}$ —— 耗氧开始后第 t 时刻的耗氧速度，即此时单位体积的污水在单位时间内所耗掉的氧量，以克/米³表示；

x_t ——在生化过程开始时前 t 時間內，污水中的有机物质全部氧化所需要的氧量；

L_a ——在生化过程中共消耗掉的氧量；

$L_t = L_a - x_t$ 从 t 时刻起氧化污水中余下的有机物质所需要的氧量；

k_1' ——生化耗氧速度常数，其值与水温及污水中需气菌的多寡等因素有关。

將上式移項后得：

$$\frac{dx_t}{L_a - x_t} = k_1' dt,$$

積分之，

$$\int \frac{dx_t}{L_a - x_t} = \int k_1' dt,$$

$$-\ln(L_a - x_t) = k_1' t + c.$$

求積分常数 c 。当 $t=0$ 时， $x_t=0$ ，代入上式得：

$$c = -\ln L_a.$$

將求得之 C 值代入前式得：

$$-\ln(L_a - x_t) = k_1' t - \ln L_a,$$

即

$$\ln \frac{L_a - x_t}{L_a} = -k_1' t.$$

將自然对数换成常用对数：

$$\lg \frac{L_a - x_t}{L_a} = -k_1 t,$$

式中：

$$k_1 = k' \lg e = 0.434 k'$$

所以，

$$L_a - x_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t},$$

如以 L_t 表示 t 时刻以后为氧化污水中有机物质所需要消耗的氧量，即 $L_a - x_t$ ，則

$$L_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t}.$$

此公式表示污水中原有的有机物质含量与生化过程开始后各时刻污水中残余的有机物质含量之间的关系。有了这公式，只要知道开始时污水中有机物质全部氧化所需氧 L_a 量，便可求出任一时刻后余下的有机物质全部氧化所需的氧量 L_t 。

必須注意，这公式只有当水中氧气充足时才能成立。

k_1 的数值随水温而变。 k_1 的变化与温度变化的关系可按下列經驗公式求得：

$$k_1(T_1) = k_1(T_2) \cdot 1.047^{(T_1 - T_2)}.$$

式中： $k_1(T_1)$ 、 $k_1(T_2)$ 为水温 T_1 、 T_2 时的 k_1 值。根据实验结果，就天然水体而言，

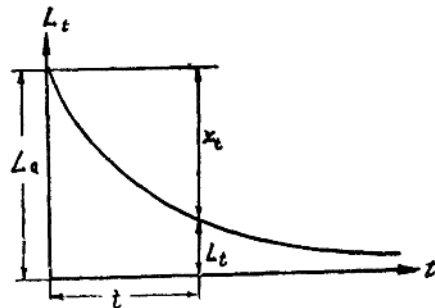


圖 6 氧的消耗變化曲線

当 $t=20^{\circ}\text{C}$ 时, $k_1(20^{\circ})=0,1$ 。 k_1 值亦可用試驗的方法測定。首先測出生化过程开始时氧化污水中全部有机物所需要的氧量 L_a , 再測出 t 時間后氧化污水中余下的有机物所需要的氧量 L_b , 然后按下式求出值:

$$k_1 = -\frac{1}{t} \lg \frac{L_b}{L_a}。$$

L_a 值同样也与温度有关, L_a 值的變化与温度變化的关系可按下面的經驗公式表示:

$$L_a(t_2) = L_a(t_1) (0.02 T_2 + 0.6)。$$

从生化过程开始起到時間止所消耗掉的氧量为:

$$x_t = L_a - L_t = L_a(1 - 10^{-k_1 t})。$$

如欲使所有的有机物质完全无机化即 L_t 等于零时, 按下式可求出所需要的时间为无穷大:

$$t = \frac{1}{k_1} \lg \frac{L_a}{L_t} = \frac{1}{k_1} \lg \frac{L_a}{0} = \infty。$$

可見, 从理論上来看, 有机物质全部氧化是不可能的, 在实际应用中, 水的温度为 20°C 时, 可認為 20 天后便能完成第一階段的氧化。表 1 为当水温为 20°C 时, 在生化过程开始后的不同時間时的 L_t 值 (%)。

表 1

t (日)	L_t %	t (日)	L_t %	t (日)	L_t %
1	76.4	11	7.94	21	0.70
2	63.1	12	6.81	22	0.63
3	50.1	13	5.01	23	0.50
4	39.8	14	3.98	24	0.40
5	31.6	15	3.16	25	0.32
6	25.1	16	2.51	26	0.25
7	19.9	17	1.99	27	0.20
8	15.8	18	1.58	28	0.16
9	12.6	19	1.26	29	0.13
10	10.0	20	1.00	30	0.10

II. 氧的溶解

氧在水中有一定的溶解度, 其值随压力的大小及温度的高低而變。压力越大, 溶解度便越大; 而温度越高, 溶解度便越小。表 2 所載为大气压力等于 760 毫米水銀柱高时, 空气中的氧在不同温度下, 在蒸餾水中的溶解度。

氧溶解于水的速度与水中的虧氧量成正比。所謂虧氧量就是水中饱和溶解氧量 (氧在水中的溶解度) 和水中实际存在的溶解氧量之差。

表 2

T (°C)	溶解度 (毫克/升)	T (°C)	溶解度 (毫克/升)	T (°C)	溶解度 (毫克/升)	T (°C)	溶解度 (毫克/升)
0	14.62	8	11.37	16	9.25	24	8.58
1	14.23	9	11.59	17	9.74	25	8.38
2	13.84	10	11.33	18	9.54	26	8.22
3	13.48	11	11.03	19	9.35	27	8.07
4	13.13	12	10.33	20	9.17	28	7.92
5	12.80	13	10.60	21	8.89	29	7.77
6	12.48	14	10.37	22	8.83	30	7.63
7	12.17	15	10.15	23	8.18		

氧溶解于水的速度与氧量的关系可用下式表示:

$$\frac{dx}{dt} = k_2'(c-x)$$

式中 $\frac{dx}{dt}$ —— 氧开始溶解后第 t 时刻的溶解速度, 即此时在单位时间内溶解于单位体积水中之氧量 (克/米³日);

k_2' —— 氧的溶解速度常数, 其值与气体的性质、水温及水面状况有关;

c —— 饱和溶解氧量或称溶解度 (克/米³);

x —— 从开始溶解起至时刻 t 止总共由空气溶解于水的氧量 (克/米³)。

将上式移项后积分得:

$$\int \frac{dx}{c-x} = k_2' \int dt,$$

$$-\ln(c-x) = k_2' t + c',$$

求积分常数 c' 。当 $t=0$ 时, $x=0$, 所以 $c' = -\ln c$, 而即

$$-\ln \frac{c-x}{c} = k_2' t,$$

将自然对数改为常用对数得:

$$\lg \frac{c-x}{c} = -k_2' t,$$

式中,

$$k_2 = \lg k_2' = 0.434 k_2',$$

由上式得:

$$c-x = c \cdot 10^{-k_2 t},$$

即

$$x = c(1 - 10^{-k_2 t}).$$

当 $t=0$ 时, $c-x=c$, 即此时水中完全无溶解氧。因此这公式只有在开始水中无溶解氧时才成立。