



高等学校教学用书

排水工程

中 册

污 水 处 理

哈尔滨工业大学给水排水教研室 编

建筑工程出版社



高等学校教学用书



排水工程

中册

污水处理

哈尔滨工业大学给水排水教研室 编

建筑工程出版社出版

• 1959 •



內 容 提 要

本書主要叙述生活污水以及与生活污水相似的工业廢水及污泥的处理方法,各种处理构筑物的构造和計算,同时还闡明各种处理构筑物的维护方法以及适用于小城市、工人住宅区或农村的小型处理构筑物。

本書是高等学校給水排水专业的教学用書,也可供設計机构及科学研究机构的工程技术人员参考。

排 水 工 程

中 册

污 水 处 理

哈尔滨工业大学給水排水教研室 編

*

1959年7月第1版 1959年7月第1次印刷 2,065册

787×1092 $1/16$ • 400千字 • 印張20 • 插頁5 • 定价(19) 2.35元

北京西四印刷厂印刷 新华書店发行 書号: 647

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第052号)

前 言

本讲义系以編者在 1954 年听苏联专家技术科学碩士、副教授阿. 馬. 莫尔加索夫 (А. М. Мордясов) 在本校講課时記的筆記为藍本, 并根据我校排水工程教学大綱、苏联排水工程教本、参考文献及編者的講稿編写而成。

在編写过程中, 曾得到莫尔加索夫专家热情的鼓励与指导, 亲自代写緒論, 并付出了許多宝貴的时间审閱了本讲义中多数重要章节的俄譯稿, 謹在此致以衷心的謝意。此外尙承舒文龙同志、杜瑞安同志帮助与支持, 謹在此致謝。

本讲义是由王宝貞同志編写的, 由樊冠球、邵元中、馬中汉、顏虎、陈錦章、李圭白、金錐等同志校对的。此外, 本讲义部分章节系根据張自杰同志講稿 (§ 16—1, 2, 17—1, 2, 5)、馬中汉同志講稿(十八章, 二十一章。§ 19—5, 6)編写的。

由于我們学識淺薄, 讲义中难免有錯誤及缺点之处, 敬希讀者指正。

哈尔滨工业大学給水排水教研室

1957.5.15

緒 論

在日常生活及生产过程中使用过的水含有許多污物。水在生产过程中用过以后,其水质常常不再能满足該生产过程的要求,必須利用污水管网将污水从工厂排除出去,这种污水称为工业污水。在日常生活中用过的水也利用污水管网排出居民区以外,这种污水称为生活污水或城市污水。

从居民区或工厂排出的污水經過污水处理厂处理以后,排往水体。水体具有净化污水的能力,所以当設計污水处理厂时,应当根据当地条件,充分利用水体的自净能力。

利用污水管网排泄污水的問題已在排水工程上册(排水管网)講述;关于工业污水的排泄和处理的特殊問題将在排水工程下册(工业排水)中講述。排水工程的第二部分(污水处理)只討論生活污水以及与其水质相似的工业污水的处理方法和处理这些污水的构筑物。

本書将根据污水性質和污水对水体的影响来討論处理污水的方法和污水处理构筑物。

污水中的污物有下列三种:1) 非溶解性的有机物和无机物;2) 溶解性的有机物和无机物;3) 生物类杂质,如微生物和細菌等。

根据現有文献,远在所罗門王朝时代,已經利用沉淀池处理污水了。以后随着城市的发展和城市人口的增加,为了防止傳染病的发生和蔓延,在古代已在一些較大的城市中修建了下水道和污水处理的构筑物。当然,那时修建的污水处理构筑物是比較简单的。在资本主义时期,随着工业的发展,出现了許多工业企业;其中很多工业污水比生活污水更脏,更有毒,因此它們更需要加以处理,需要有更完善的污水处理的构筑物。在这期間出现了灌溉田、过滤田、生物滤池等生物处理的构筑物。十九世紀末叶和二十世紀初叶是工业迅速发展的时期。在这些工业的生产过程中,形成了性質及成分极不相同的各种生产污水,这些污水需要利用各种不同的处理方法加以处理。

在社会主义国家里,随着工业的迅速发展,生产污水量也将迅速增加。此外,随着城市人口的日漸增多、人民生活水平的日益提高和卫生設施的日益改善,居民用水量也随着增加。为了改善城市的环境卫生和提高人民的健康水平,为了保証水体中动植物的生长繁殖,在社会主义国家里,未經处理的污水是绝对不允許任意排往水体的。因此在社会主义建設中,就保証工业生产的发展和改善城市、工厂的卫生条件來說,污水处理工程具有重要意义。

在我国,解放后几年来,在上海、洛阳、太原、成都、包头、撫順、兰州、哈尔滨等工业城市扩建或新建了一些污水处理厂,有力地配合了工业生产及改善了居民的环境卫生。近一两年来,污水处理工程紧密地与农业生产大跃进結合起来。首先,郑州、株州、北京等地成功地利用污水灌溉了农田,由于党的重視和群众的革命干劲,現在已在全国很多城市兴修了許多处污水灌溉农田工程。此外,利用粪便、垃圾等的发酵提取沼气的方法在我国也极其迅速及普遍地付諸实践。現在全国各省的許多农村及城市都已修建或正着手修建沼气池、沼气站,农村普遍沼气化将是为期不远的现实。总之,我国的污水处理事业將以其独特的风格,更加多快好省地发展起来。

目 录

前 言 緒 論

第三篇 污水处理

第 十 章 污水的成分和性質	8
§ 10-1 污水的成分	8
§ 10-2 污水中的非溶解物質	10
§ 10-3 沉淀物	10
§ 10-4 胶体物質和溶解物質	13
§ 10-5 硝化及反硝化	14
§ 10-6 氧的消耗及溶解	15
§ 10-7 生化需氧量 (BHK)	19
§ 10-8 污水中的細菌雜質	22
§ 10-9 污水的酸鹼性反应	22
§ 10-10 污水的穩定性	22
§ 10-11 污水中的有用物質	21
第 十 一 章 水体——天然的污水处理厂	25
§ 11-1 水体的污染	25
§ 11-2 污水在水体中的稀釋	25
§ 11-3 水体的自淨	31
§ 11-4 污水排入水体的条件	38
§ 11-5 确定污水的处理程度	39
§ 11-6 水体的观测	46
第 十 二 章 污水处理方法的分类	51
§ 12-1 污水处理的方法	51
§ 12-2 污水处理厂的布置方案	52
第 十 三 章 污水的机械处理	56
§ 13-1 水柵	56
§ 13-2 水筛	67
§ 13-3 沉砂池	69
§ 13-4 除油池	83
§ 13-5 沉淀池的分类和构造	84

§ 13-6 沉淀理論.....	90
§ 13-7 沉淀池的計算.....	115
§ 13-8 污水的机械过滤.....	127
第十四章 用机械化学法及电解法处理污水	129
§ 14-1 用机械化学法处理污水.....	129
§ 14-2 用电解法处理污水.....	131
第十五章 污泥处理	132
§ 15-1 污泥处理概述.....	132
§ 15-2 腐化池.....	133
§ 15-3 稳定池 (双层沉淀池).....	135
§ 15-4 污泥消化池的工作原理及构造形式.....	143
§ 15-5 污泥消化池的計算.....	147
§ 15-6 晒泥場.....	157
§ 15-7 污泥的机械脱水方法.....	162
§ 15-8 污泥的热处理.....	163
§ 15-9 污泥的輸送.....	164
第十六章 自然条件下污水的生物处理	169
§ 16-1 生物处理构筑物概述.....	169
§ 16-2 灌溉田和过滤田.....	170
§ 16-3 我国利用污水灌溉农田的近况.....	191
§ 16-4 生物塘.....	193
第十七章 人为条件下污水的生物处理	198
§ 17-1 生物滤池.....	198
§ 17-2 通气滤池.....	224
§ 17-3 高負荷生物滤池.....	226
§ 17-4 生物滤池后的二次沉淀池.....	229
§ 17-5 曝气池.....	231
§ 17-6 曝气池后的二次沉淀池.....	258
第十八章 污水的消毒及其在处理后排入水体	263
§ 18-1 污水的消毒.....	263
§ 18-2 用漂白粉消毒.....	264
§ 18-3 用液态氯消毒.....	266
§ 18-4 氯与污水的混合及接触.....	270
§ 18-5 儲存氯气及漂白粉的仓库.....	271
§ 18-6 污水出水管.....	272
第十九章 污水处理厂的总体布置	276
§ 19-1 确定污水处理的方法及选择处理构筑物的型式.....	276

§ 19-2 污水处理厂的厂址选择	277
§ 19-3 污水处理厂的平面布置及总平面图	278
§ 19-4 污水处理构筑物的高程图	282
§ 19-5 污水在污水处理厂中的分布	284
§ 19-6 污水的计量设备	288
第二十章 污水处理构筑物的维护	293
§ 20-1 污水处理构筑物的验收	293
§ 20-2 污水处理构筑物的试运行维护	293
§ 20-3 处理构筑物工作的统计和检查	295
§ 20-4 水流分布的检查与调节	297
§ 20-5 各种处理构筑物的技术维护工作	297
§ 20-6 处理构筑物的组织管理工作及技术保安	308
第二十一章 小型污水处理构筑物	310
§ 21-1 小型排水工程概述	310
§ 21-2 小型污水处理构筑物	310
附 录	
空气管道计算图表	320
参考书目	331

第三篇 污水处理

第十章 污水的成分和性质

§10-1 污水的成分

在人們的生产及生活实践中,水被有机物质、无机物质和微生物等污染,形成了污水。污水按其形成的过程可分为生产污水及生活污水两大类。此外,自然降水(雨雪水)也被有机物质、无机物质及细菌等污染^①。

由于生产过程、生产性质、加工原料等的不同,形成了各种不同的生产污水,它们所含的成分也各不相同:有些生产污水的成分很接近生活污水的成分,这样的生产污水可以同生活污水在一起处理。另外一些生产污水的成分和生活污水的成分不相同,如果两者放在一起处理,就会影响污水处理的效果。因此,往往在未排入沟管网与生活污水混合前,就将这些生产污水加以初步处理。降水的处理与否视排水管道系统而定。

污水中污物的存在状态可归纳如下:

I. 根据污物在污水中存在的物理状态可分为:

1) 非溶解物质。这些污物不溶解于水,而以悬浮状态、漂浮状态或乳浊状态存在于污水中,它们的粒径大于 0.1μ ($1\mu = 10^{-3}$ 毫米)。照按比重(γ)的大小,又可将非溶解物质分为三类:

- (1) $\gamma > 1$ ——在水中下沉;
- (2) $\gamma \approx 1$ ——在水中随处平衡;
- (3) $\gamma < 1$ ——漂浮于水面。

2) 胶体物质。这些污物在污水中以胶体溶液形式存在,其粒径为 $0.1 \sim 0.001\mu$ 。

3) 溶解物质。这些污物在污水中以真溶液形式存在。

II. 根据污物的自然起源,可分为无机物、有机物和微生物三种。

1) 无机物包括砂、粘土、矿渣、炉渣、矿物油以及酸、碱、盐等物质。

2) 有机物包括动物性有机物和植物性有机物两种,前者包括人及牲畜等的排泄物、肌肉及脂肪组织的残渣、动物油、乳糖等;后者包括植物残屑、蔬菜及水果等的残片、纸屑、植物油等。

动物性有机物的主要化学元素是氮,而植物性有机物的主要化学元素是碳。

3) 由于污水中有很多有机物质,适宜于各种细菌的繁殖和生活。因此污水中有各

^① 根据H.C. 比格列夫在1938年的观测,莫斯科雨水道中的雨水水质如下:

悬浮物——500~3500毫克/升, БПК₅—18~285毫克/升; 根据1955—1956年列宁格勒雨水道中的雨水水质分析,污染程度较上述指标要小。

悬浮物——1580毫克/升, БПК₅—33.2毫克/升。

式各样的細菌，而且数量很多，每毫升污水中細菌的含量以千万个計。細菌分为有害的、有益的、无益无害的三大类。致病菌（如伤寒菌、霍乱菌、痢疾菌等）是有害的細菌；参于污水的生物化学处理的細菌是有益的細菌；无益无害的細菌对我们既没有什么坏的影响，也没有什么好处。大腸杆菌是无益无害的細菌。但当水中有大腸杆菌存在时，这表示此水已被人和牲畜的粪便所污染。因此可能有致病菌存在，所以检查水中的大腸杆菌有重要意义。

生活污水中有机物与无机物的含量的百分比为 58 : 42 左右，其大致組成如图 10-1 所示。

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单位体积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，而且两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变的。图 10-2 所示便是一例。一年中各季节的用水量也各不相同，

所以污水中各种污物的濃度也随季节而变。

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 ——每人每日的泄水量（升/人·日）。

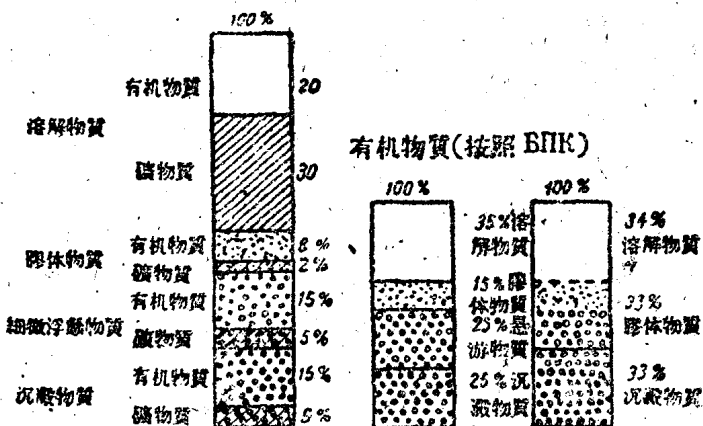


图 10-1 生活污水的成分

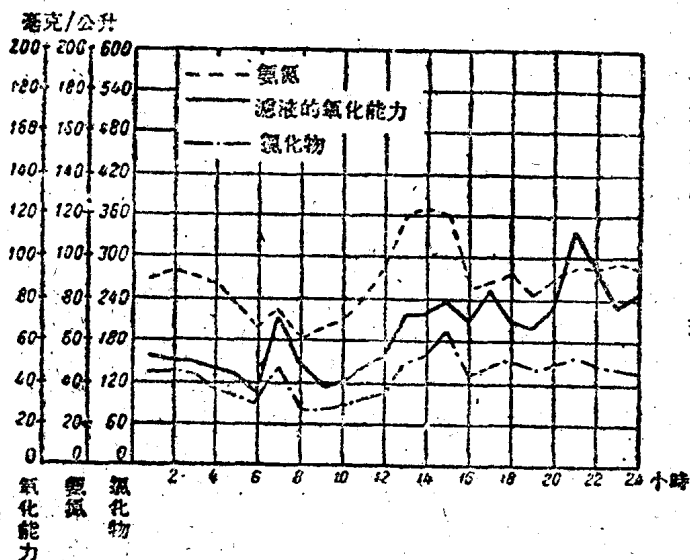


图 10-2 生活污水中污物濃度的逐时变化图

§ 10-2 污水中的非溶解物質

污水中的非溶解物質,按照粒徑可分為兩類: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 $100\sim 0.1\mu$ 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,促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淀下來,而呈懸游狀態。

工業污水中的非溶解物質一般都是無機物,如沙、爐渣、礦渣等。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,能夠沉淀下來的非溶解物質按每人每日 $35\sim 50$ 克計算,平均為 40 克^①(斯特洛于諾夫教授建議)。由此,當每人每日的污水量為 200 升時,污水中能沉淀下來的非溶解物質的濃度為:

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

由於生產的性質和生產過程的不同,生產污水中非溶解物質的濃度的差異甚大。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却遠比生活污水者大。例如,選礦廠排出的生產污水中的非溶解物質的濃度為 25000 毫克/升,屠宰場為 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:

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

式中: $K_{\text{混}}$ ——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/日);

Q_n ——生產污水量(米³/日)。

§ 10-3 沉 淀 物

沉淀物是污水中一部分非溶解物質沉淀下來而形成的。

污水中的沉淀物,按其顆粒構造可分為顆粒狀的及絨絮狀的兩種。第一種沉淀物的顆粒下沉時互不影響,而以等速度下沉。第二種沉淀物的顆粒下沉時互相凝聚,顆粒逐漸變大,從而下沉速度逐漸增加。絨絮狀沉淀物有三氫氧化鐵、三氫氧化鋁和絨絮狀的蛋白質等。生活污水中含有上述兩種沉淀物,其中絨絮狀的沉淀物比較多。

在實驗室中,污水中的沉淀物用容量 $0.5\sim 1.0$ 升的錐形瓶測定(圖10-3)。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,並且加以搖蕩,將瓶靜置,沉淀物便不斷下沉。每隔一定時間記下當時沉淀下來的沉淀物數量,以厘米³/升計。

圖10-4中繪有數條沉淀物質的沉淀曲綫,圖中橫坐標表示沉淀時間,縱坐標表示沉淀

① 系指在沉淀池中的沉淀物數量。

物数量(以百分数表示)。本图中取沉淀時間相当于兩小时的沉淀物数量为 100%，因为在实际观察中发现，污水中的沉淀物質在兩小时內基本上都能沉淀下来。

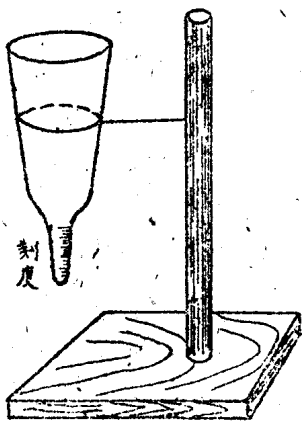


图 10-3 李森科瓶

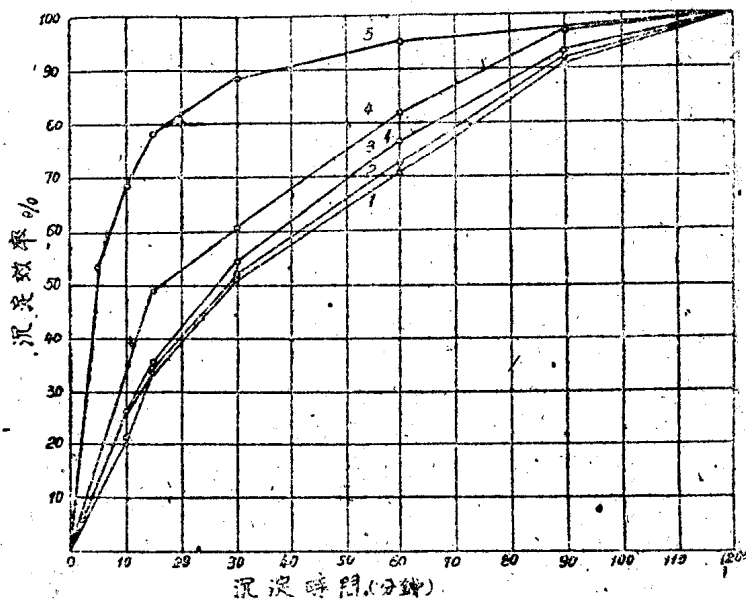


图 10-4 沉淀物質的沉淀曲綫

1—沉淀物質的最初濃度为 0.5—1.5 厘米³/升； 2—最初濃度为 1.6—2.5 厘米³/升； 3—最初濃度为 2.6—3.4 厘米³/升； 4—最初濃度为 3.5—4.7 厘米³/升； 5—最初濃度为 5.5—15.3 厘米³/升

从这几条沉淀曲綫可以看出，污水中的沉淀物質在最初一个阶段沉淀特別快。这是由于沉淀物質的顆粒大小不一样，顆粒較大較重的沉淀物質下沉甚快的緣故。

这組曲綫是研究污水中沉淀物質的沉淀規律和設計沉淀池时的重要參考資料。

沉淀池中的沉淀物称为污泥。污泥中含有很多水。污泥中含水的多寡以污泥中水的重量与污泥总重量之比表示，称为水分。为了正确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，精确称出其重量后，放入烘箱中，在 105°C 下一直烘至恒重为止。取出烘干后的污泥称之，再称盛污泥的器皿，然后，按下式求污泥中的水分：

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

式中：P——污泥中的水分；

a——未烘时的污泥和盛皿的总重(克)；

b——干燥后的污泥和盛皿的总重(克)；

c——盛皿的重量(克)。

1. 污泥重量与其中水分的关系

設計及維護污水处理构筑物时，常常需要考虑到污泥中水分的减少。例如，沉淀池中新沉淀下来污泥在其沉淀后的起初两小时內具有 97~97.5% 的水分，随着污泥在沉淀池中停留時間的增加，污泥愈变愈实，經過一定時間后水分便降低到 95%。又如，晒泥場上的污泥，由于其中水的蒸发和渗透的緣故，水分便从 95% 降低到 75~80%。

如果污泥中固体物質的重量一定，污泥的重量便随着其中水分的减少而减少。污泥的

重量和其中水分之间的关系可求得如下。

設当水分为 $p_1\%$ 时污泥的重量为 P_1 , 水分为 $p_2\%$ 时污泥的重量为 P_2 。因为污泥重量由 P_1 减少至 P_2 时污泥中固体物質的重量系固定不变, 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, 当污泥中的水分由 97.5% 减少至 95% 时:

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

即污泥重量减少到原来重量的一半。

2. 污泥体积与其中水分的关系

設計及维护污水处理构筑物时, 往往更需要知道污泥在某一水分时的体积, 污泥体积和其中水分的关系可求得如下:

設有某一污泥, 其重量为 P_1 , 水分为 $p_1\%$, 污泥中固体物質的比重为 γ 。由此可求得污泥的体积为:

$$W_1 = \frac{(100-p_1)P_1}{100} \cdot \frac{1}{\gamma} + \frac{p_1 P_1}{100} = \left(\frac{100-p_1}{\gamma} + p_1 \right) \frac{P_1}{100};$$

当該污泥中的水分变为 $p_2\%$ 时, 設污泥的重量变成了 P_2 。此时污泥的体积将变为:

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

前已求得 $P_2 = \frac{100-p_1}{100-p_2} P_1$, 代入上式后得:

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

所以

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

整理后得

$$W_2 = W_1 \frac{(100-p_1)[100-P_2(1-\gamma)]}{(100-p_2)[100-P_1(1-\gamma)]}.$$

当水分由 $p_1 = 97.5\%$ 降至 $p_2 = 95\%$ 时, 且污泥的比重 $\gamma = 1.5$ 时, 則其变化前后的体积关系为 $W_1 : W_2 = 2.017 : 1$; 当由 $p_2 = 95\%$ 降至 $p_3 = 80\%$ 时, $W_2 : W_3 = 4.214 : 1$ 。

从上面的例子可以看出, 污泥中水分較多时 (在 80% 以上), 其体积的变化与重量的变化差異甚小。因此在这种情况下, 污泥体积随水分的变化可按下式計算:

$$W_2 = W_1 \frac{100-P_1}{100-P_2},$$

式中: W_1 及 W_2 是水分為 $P_1\%$ 及 $P_2\%$ 時的污泥體積。

污水中的非溶解物質在污水處理构筑物中(沉砂池、沉淀池等)并不能全部沉淀下來。目前的標準規定, 沉淀時間不超過 2 小時, 相應的沉淀在沉淀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^①。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。但根據蘇聯 A. M. 莫爾加索夫副教授的意見, 在這每人每日形成的 62.5 克固體物質中, 水柵截留 2.5 克, 沉砂池截留 12.5 克, 在沉淀池中沉淀 48 克。

污泥中含有有機物質及無機物質, 其含量可用下列方法測定: 將污泥放在烘箱中, 在 105°C 的溫度下烘至恒重, 然後稱重, 得出污泥中固體物質(包括有機物質及無機物質)的總重量。然後將此污泥在 600°C 的高溫下燒灼, 以便將其中有機物質燒掉, 再稱之。剩下的無機物質的重量與固體物質在燒灼前的重量之比稱為污泥的灰分, 以百分數表示。生活污水中的污泥的灰分占 20~30%。

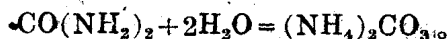
§ 10-4 膠體物質和溶解物質

眾所周知, 水中膠體微粒帶有同性電荷, 所以膠體微粒互相排斥而不能沉淀下來。

溶解物質在污水中以離子或分子形式存在。

蛋白質、脂肪、碳水化合物及人的排泄物等有機物對於生活污水中的膠體溶液和真溶液的化學成分影響很大。此外, 自來水的水質(如碳酸鹽、硫酸鹽和鐵質等的含量)對這些污水的化學成分也有影響。

蛋白質在動物肌體內的新陳代謝的過程中, 生成尿素。尿素由動物排泄出來後, 在腐化細菌的作用下迅速水解, 生成銨鹽



污水中的氮素主要是以碳酸銨的形式存在的。碳酸銨在空氣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。根據 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 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。

氨氮含量的變化範圍甚小, 所以每人每日按 7~8 克的標準使用。例如測得污水中氨氮的濃度為 50 毫克/升時, 則可得出每人每日的泄水量為:

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

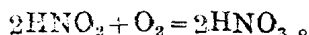
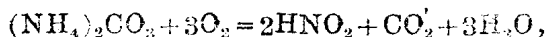
① 根據我校在上海曹楊污水處理廠的分析, 每人每日沉淀物總量約為 40 克。

污水中的氯化物主要以食盐形式存在。它的含量随居民吃盐的多寡而定。

污水中硫酸盐和铁质的含量主要取决于它们在自来水中的含量。

§ 10-5 硝化及反硝化

在生活污水及某些生产污水中,含有许多含氮的物质。氮是蛋白质的组成部分,也是蛋白质分解后的生成物的组成部分。前已述及,尿素在腐化细菌作用下迅速变成碳酸铵。在缺氧的条件下,碳酸铵继续分解产生极臭的氨。但当氧气充足时,碳酸铵在需气菌的作用下首先生成亚硝酸盐,继而生成硝酸盐。

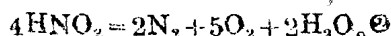
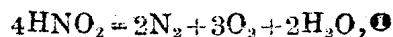


在硝化过程中需要消耗一定数量的氧。由上面的反应式可知,在碳酸铵变为亚硝酸盐的过程中,每两个氮原子需要有六个氧原子,其重量比为: $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{6 \cdot 16}{2 \cdot 14} = 3.42$, 即每一单位重量的氮需要3.42单位重量的氧。在碳酸铵变成硝酸的过程中,每两个氮原子需要八个氧原子,其重量比为: $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{8 \cdot 16}{2 \cdot 14} = 4.57$, 即每一单位重量的氮需要4.57单位重量的氧。因为上述化学反应是在微生物的作用下进行和完成的,所以称为生物化学反应。又从碳酸铵变到硝酸盐的过程中,参与反应的细菌只能在有氧气的条件下才能生存,所以称这些细菌为需气菌,而称这种分解为需气分解。

在碳酸铵变为亚硝酸的过程中,参加反应的需气菌是 Nitrosomonas 菌(亚硝酸细菌);在亚硝酸盐变成硝酸盐的过程中,参加反应的需气菌是 Nitrobacter 菌(硝酸细菌)。

当缺氧时,又有另一些细菌使硝酸盐及亚硝酸盐分解成分子状态的氮和氧。分解出来的氧可再供尚未硝化的有机物质进行硝化之用,这种过程称为反硝化。在反硝化过程中,参与反应的细菌只能在无氧的条件下生存及活动。因此称这些细菌为厌气菌,而称这种分解为厌气分解。

在亚硝酸及硝酸的厌气分解过程中所析出的氧气数量可按下列化学方程式计算:



可见,在亚硝酸盐的反硝化过程中,每两个氮原子放出3个氧原子,其重量比为 $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{3 \cdot 16}{2 \cdot 14} = 1.71$, 即每一单位重量的氮放出1.71单位重量的氧。在硝酸盐的反硝化过程中,每两个氮原子放出5个氧原子,其重量比为 $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{5 \cdot 16}{2 \cdot 14} = 2.85$, 即每一单位重量的氮放出2.85单位重量的氧。

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

①、② 仅供计算之用,该式并未表示出反硝化的真正过程。

程中,氧不只是用于形成硝酸盐,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产生氧的。

图 10-5 所示为氮在自然界中的循环。

§ 10-6. 氧的消耗及溶解

净化污水的要点之一,就是污水中的有机物质在需气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构筑物所以能净化污水,正是因为它们能使污水中的有机物质分解成无机物质。有机物质在需气分解的条件下无机化时,需要消耗一定数量的氧。这就是所谓氧的消耗。在水中所溶解的氧被需气菌消耗的同时,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。

1. 氧的消耗

污水中的有机物质在需气菌作用下进行无机化时,需要有一定数量的氧,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,氧化是在需气菌参与下进行的,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一些含碳、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,氧化后生成亚硝酸盐和硝酸盐。

根据试验,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

$$\frac{dx}{dt} = k_1(L_a - x_t),$$

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日表示;

x_t ——在生化过程开始后 t 时间内,污水中的有机物质氧化所需要的氧量;

L_a ——在生化过程中消耗掉的总氧量;

$L_t = L_a - x_t$ ——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。

将上式移项后得

$$\frac{dx}{L_a - x_t} = k_1 dt.$$

积分之,得

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

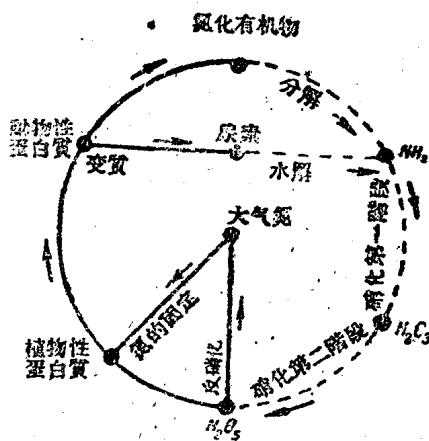


图 10-5 氮在自然界中的循环图

$$-\ln(L_a - x_t) = k_1' t + C。$$

求积分常数 C 。当 $t=0$ 时, $x_t=0$, 代入上式得

$$C = -\ln L_a。$$

将求得之 C 值代入前式得

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

即

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

将自然对数换成常用对数得

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

式中:

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

所以,

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

如以 L_t 表示 t 时刻后氧化污水中有机物所需要消耗的氧量, 即 $L_a - x_t$, 则

$$L_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t}。$$

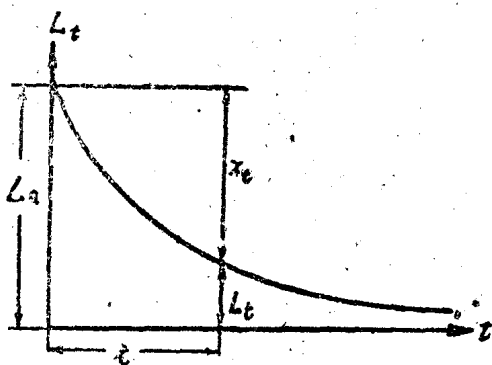


图 10-6 氧的消耗变化曲线

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余下的有机物质含量之间的关系。有了这个公式, 只要知道开始时污水中有机物质全部氧化所需氧量 L_a , 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 。

必须注意, 这个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经验公式求得:

$$k_{1(T_1)} = k_{1(T_2)} \cdot 1.047^{(T_1 - T_2)},$$

式中: $k_{1(T_1)}$, $k_{1(T_2)}$ 为水温 T_1, T_2 时的 k_1 和 k_2 值。根据实验结果, 就天然水体而言, 当 $t=20^\circ\text{C}$ 时, $k_{1(20^\circ)} = 0.1$ 。 k_1 值亦可用实验的方法测定: 首先测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 , 再测出 t 时间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 k_1 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 值的变化与温度变化的关系可用下面的经验公式表示:

$$L_{a(T_2)} = L_{a(20^\circ)} (0.02 T_2 + 0.6)。$$