

高等学校教学用书

排水工程

下 册

З. И. 西什金等著

А. И. 茹可夫主編

高等教育出版社

高等学校教学用书

排 水 工 程

下 册

Б. Н. 西什金等著

А. И. 茹可夫主編

同济大学城市建设系给水排水教研组譯

高等教育出版社

本書系根据苏联国立建筑書籍出版社(Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре)出版的西什金(З. Н. Шиникин)等著、茹可夫(А. И. Жуков)主編“排水工程”(Канализация)一書1951年版譯出。原書經苏联高等教育部审定为土建高等学校給水排水专业排水工程一課的教科書。

本書中譯本分上下兩册出版。这一本是下册,書中对生活污水处理的各个方⾯(河流的自淨,处理程度的計算,处理建筑物的型式、构造、工作原理、設計、运行,处理建筑物的选择,处理厂的布置等等),独立房屋群的排水工程、工业排水及工业污水的处理,以及設計和勘测等方面均作了詳明的闡述,并附有例題。

本書可供我国高等工业学校給水排水专业作为教材或主要参考書,亦可供施工、設計和科学研究工作者参考。

本書由同济大学城市建設系給水排水教研組集体譯出,并已在教学上数度試用。

排 水 工 程

下 册

З. Н. 西什金等著 А. И. 茹可夫主編

同济大学城市建設系給水排水教研組譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号
(北京市名刊出版业营业許可証出字第054号)

商务印书館上海厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010-589 开本 787×1092 1/16 印張 22 2/8 插頁 2
字數 488,000 印數 1—8,000 定價(4) 洋 2.70

1959年5月第1版 1959年5月上海第1次印刷

目 次

第三篇 污水处理

第十二章 污水的成分和性質	193
§ 90. 污水的成分	193
§ 91. 污水中的不溶解物	195
§ 92. 污水中的胶态物和溶解物	198
§ 93. 硝化和反硝化	199
§ 94. 氧的溶解和消耗	200
§ 95. 生化需氧量、污水濃度的測定	204
§ 96. 污水中的細菌污染	207
§ 97. 污水的反应	207
§ 98. 污水的稳定度	209
§ 99. 污水中的有价值物質	210
第十三章 接受污水的水体	210
§ 100. 水体的污染	210
§ 101. 水体的自淨	211
§ 102. 水体的許可負荷	218
§ 103. 污水排入水体的規則	220
§ 104. 污水处理程度的确定	221
§ 105. 水体調查	231
第十四章 污水处理方法的分类	231
§ 106. 污水处理方法	231
§ 107. 污水处理建筑物的組合	233
第十五章 机械处理建筑物	237
§ 108. 槽	237
§ 109. 篩	247
§ 110. 沉砂池	249
§ 111. 除油池	266
§ 112. 沉淀池	268
§ 113. 污水的机械过滤	287
第十六章 污水的机械化学处理和电解处理法	289
§ 114. 污水的机械化学处理	289
§ 115. 污水的电解处理	292
第十七章 污泥的消化、消除和利用	293
§ 116. 消化和消除污泥的建筑物	293
§ 117. 腐化池	294
§ 118. 沉淀隱化池	297
§ 119. 污泥消化池	307
§ 120. 污泥場	319

§ 121. 污泥的机械脱水	324
§ 122. 污泥的加热干燥	326
§ 123. 污泥的运送	327
§ 124. 污泥的利用	329
第十八章 自然条件下的污水生物处理	329
§ 125. 污水生物处理建筑物	329
§ 126. 灌溉场和过滤场	331
§ 127. 净化(生物)塘	354
第十九章 人为条件下的污水生物处理	358
§ 128. 生物滤池	358
§ 129. 通气滤池	384
§ 130. 高负荷生物滤池	387
§ 131. 生物滤池后的二次沉淀池	390
§ 132. 曝气池	391
§ 133. 曝气池后的二次沉淀池和污泥稠化池	419
第二十章 污水消毒、净化污水泄入水体	424
§ 134. 概述	424
§ 135. 漂白粉消毒	426
§ 136. 液氯消毒	430
§ 137. 接触(消毒)池	436
§ 138. 液氯库和漂白粉库	436
§ 139. 净化污水泄入水体	437
第二十一章 污水处理厂的总布置	440
§ 140. 卫生上的要求和污水处理方法的选择	440
§ 141. 处理厂的平面布置和高程布置	443
§ 142. 各个处理建筑物的污水布送	449
§ 143. 量水设备	451
第二十二章 处理厂的管理	454
§ 144. 处理厂转入管理前的验收	454
§ 145. 管理的开始阶段	454
§ 146. 处理建筑物工作的记录和控制	456
§ 147. 各种处理建筑物的技术管理	458
§ 148. 处理厂的管理机构和保安技术	466
第四篇 独立房屋群的排水工程、无污水沟道的房屋的粪便排除	
第二十三章 独立房屋群的排水工程	468
§ 149. “小型”排水系统	468
§ 150. “小型”和局部排水系统的处理建筑物	468
第二十四章 无污水沟道的房屋的粪便排除	476
§ 151. 风厕和粉厕	476
§ 152. 无污水沟道房屋的粪便无害化	479
§ 153. 液体废弃物流放站和流放点	482
第五篇 工业排水	
第二十五章 工业企业的排水系统	484
§ 154. 工业企业的废水,其成分和数量的确定	484

§ 155. 工业企业废水的利用.....	487
§ 156. 生产废水排入城市排水系统的条件.....	489
§ 157. 生产废水排入水体的条件.....	490
§ 158. 工业企业的排水系统.....	491
§ 159. 工业企业排水系统的建筑特点.....	492
第二十六章 生产污水处理	495
§ 160. 生产污水的处理方法.....	495
§ 161. 生产污水的混和及匀质.....	496
§ 162. 生产污水的机械处理.....	451
§ 163. 生产污水的化学处理.....	514
§ 164. 生产污水的物理-化学处理.....	527
§ 165. 生产污水的生物处理.....	538
§ 166. 工业企业排水系统的组合示例.....	543
第六篇 设计和勘测	
第二十七章 排水系统的设计	547
§ 167. 设计阶段.....	547
§ 168. 水利问题的综合解决. 排水系统的总方案.....	548
§ 169. 为设计服务的勘测.....	549
§ 170. 设计的编制程序和批准程序.....	551
第二十八章 排水系统的技术经济评价	552
§ 171. 废水的排灌和处理的成本. 排水费.....	552
§ 172. 方案的技术经济比较.....	555
参考书刊	

第三篇 污水处理

第十二章 污水的成分和性質

§ 90. 污水的成分

設有沟道的地区排出的污水应当送至水体中。在多数情况下,污水在放入水体前应处理到不致对水体造成有害影响的程度。

污水对水体的作用和污水的成分与污水中所包含的污染物的性質有关,同时亦和排入的污水与水体中的水的相对数量有关,换言之,与水体中水对污水的稀释程度有关。

污水的污染物按照在水中的物理形态可以分为:(1)不溶解物,在水中呈悬浮状、乳濁状或漂浮状,这些物質的顆粒直径大于 0.1μ ;(2)胶态物,在水中呈胶体状态,这类物質的顆粒直径在 0.1 至 0.001μ 之間;(3)溶解物,在水中呈溶解状态。

依照顆粒的尺寸和比重,不溶解物可能下沉为沉淀,保留悬浮状态,或浮至水面。

污染物按照性質,可以分为无机污染物、有机污染物和細菌污染物。

砂、粘土粒、矿屑、矿渣、盐、酸及碱的溶解液、矿物油及許多其他物質属于无机污染物。

有机污染物按其来源可分为植物的和动物的。植物性污染物有:瓜果、蔬菜、壳类及其他植物的殘渣,紙張,植物油等等。碳是这一类污染物的主要化学元素。动物性污染物有:人类和动物的生理排泄物,动物肌肉及油脂殘渣,胶質,乳糖等等。这些物質的主要化学元素是氮。在生产廢水中的有机污染物是多种多样的,这些污染物是制造过程中所使用的原料或作用剂的殘渣。

細菌污染物是活的微生物:酵母菌,霉菌,水中低級植物和細菌,其中有病原菌——伤寒菌、副伤寒菌、痢疾菌等等。这种污染物主要是生活污水和某些生产污水(屠宰場、皮革厂、洗毛厂、生物加工厂等排出的污水)所固有的。

圖 155 表示生活污水中各种污染物的比例(根据 C. H. 斯特罗加諾夫教授的資料)。由圖可見无机物占总污染物的 42%,而有机物占 58%。

由于生产廢水中污染物的

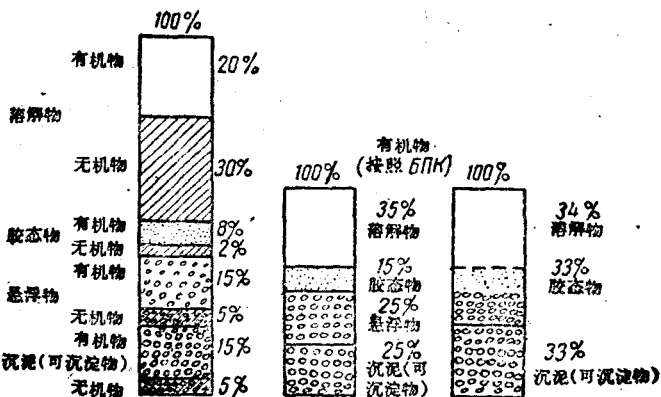


圖 155. 生活污水中的污染物(根据 C. H. 斯特罗加諾夫)。

数量和性质是极不相同的。(不仅和生产的种类有关,并且还和工艺过程有关,而同一种生产可能用不同的工艺过程),因此,要给生产废水定一个典型性质是不可能的。应该在每种情况下进行水分析以确定污染物的性质和数量。根据多次的研究,对污染物来源经常不起变化的生活污水可以作出关于其中污染物成分的一般结论。因为生活污水中的污染物主要是使用沟道的居民的生命活动的产物,因而污染物的数量和使用沟道的人数成正比。污

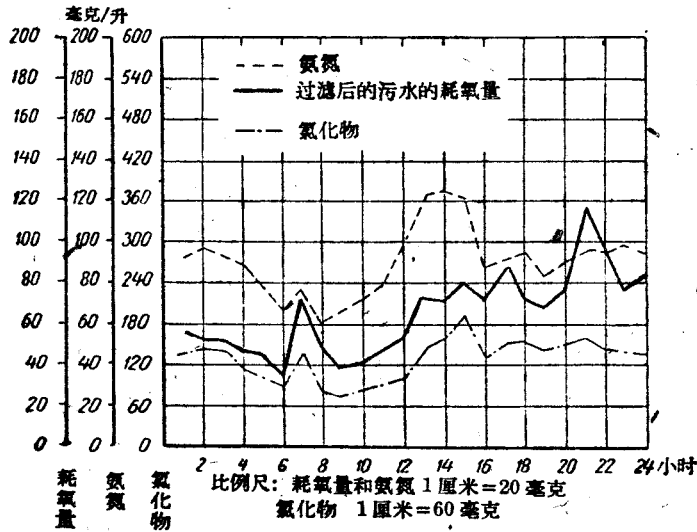


图 156. 生活污水中的污染物的变动。

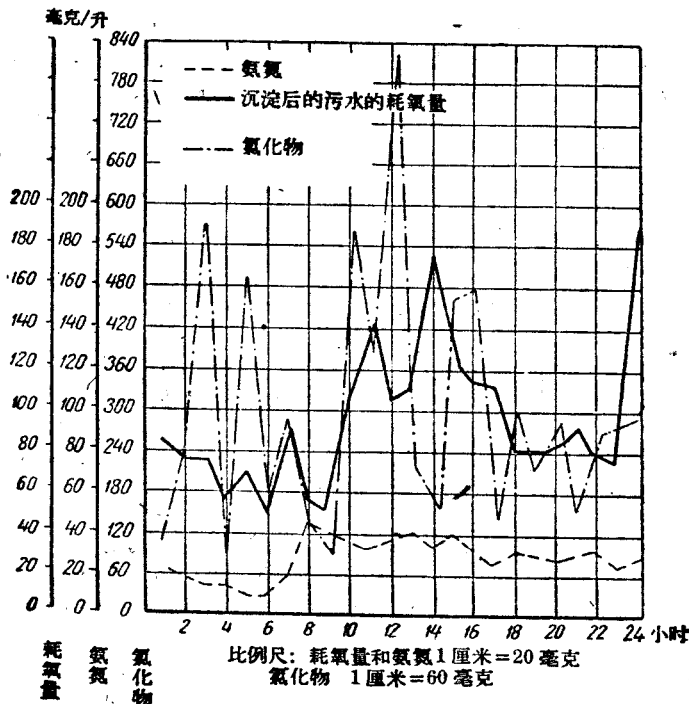


图 157. 生活污水中的污染物的变动。

染物的濃度(單位体积污水中的污染物数量,通常以毫克/升計算)和排水率标准有关,排水率标准愈大則污染物濃度愈小。

进入处理厂的生活污水的污染物濃度的变动以曲綫表示在(圖 156 和 157)上。通常最高的污染物濃度發生在早晨和晚上,而最低則在夜間。因为每个人的排水量在冬季时降低,所以生活污水的濃度在冬天較夏天大。污水的温度也随着一年中的季节而变动,这种情况已示于圖 158 上。

§ 91. 污水中的不溶解物

污水中的不溶解物可能是顆粒直徑大于 100μ 的粗散相和顆粒直徑自 100 至 0.1μ 的細散相。在外表上看起来,細散顆粒是相同的。它們的不均匀性只有在显微镜下才能看到。由于粒子很小,与重力相比,液体阻力显得很大,大部分在水中的細散顆粒实际上并不下沉,保持悬浮状态。

生产廢水中的主要矿物性不溶解物,例如砂、矿物、矿石等等,具有粒状結構。生活污水中的不溶解物大部分来自有机物,具有絮状結構。这些顆粒在沉淀时具有粘合的性能,相互結成比較大的顆粒,因而增大了它們的沉降速度。

在生活污水中,不溶解的、沉淀时能下沉的物質达每人每日 35 至 50 克(平均为 40 克)。根据这些数值可以計算出不溶解物的濃度为:排水率标准为每人每日 75 升时濃度为 $\frac{35 \times 1000}{75} = 467$ 到 $\frac{50 \times 1000}{75} = 667$ 毫克/升;如排水率标准为每人每日 150 升时則濃度为 233 到 333 毫克/升^①。

某些生产廢水所含的不溶解物并不比生活污水多,但也有許多生产廢水含有大量的不溶解物。例如:选矿厂的廢水含有悬浮物达 25000 毫克/升,甜菜糖厂达 2800 毫克/升,淀粉糖蜜工厂达 1800 毫克/升,屠宰場达 13000 毫克/升,洗毛厂达 20000 毫克/升。

污水中的不溶解物質的数量以日混合試样进行分析,以在 105° 下烘干物質(悬浮物的)的毫克/升表示。

沉淀(可沉淀物)的数量具有重大的意义,它們将在水体或处理建筑物中形成下沉的不溶解物。

污水的沉淀可分为二类:(1)粒状沉淀——各顆粒具有光滑的表面,向底部下沉时各不相关,沉速不变;(2)絮状沉淀——顆粒具有粘膩的表面,在沉淀过程中結成較大的絮花,沉

^① 这里所說的 35 克至 50 克究竟是指生活污水中的沉淀(可沉淀物),还是指生活污水中的不溶解物,說得不清楚(从本書后面的某些計算中可以感到),讀者应看其他文献——譯者注。

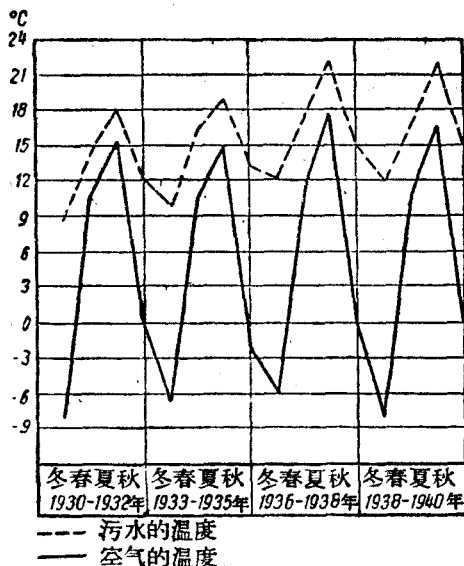


圖 158. 污水温度随季节变迁的情况。

速逐渐加大。細砂、矿渣和煤灰属于粒状沉淀。絮状沉淀由含有許多水分的物質形成，氫氧化鉄、氫氧化鋁和絮状蛋白質属于这一类。生活污水沉淀本質上处于这二种状态之間，比較接近絮状沉淀。

生产廢水中的悬浮物的性質極不相同，因而沉淀的形状也很不相同。

沉淀是由含有大量水分的不溶解固体物質所組成的。沉淀的含水量是沉淀中水分的重量与沉淀总重之比，以百分数表示。决定含水量时，可先在蒸發皿中称一定量的經充分攪拌过的沉淀，然后放在水浴上蒸發至干，最后在烘箱中在 105° 的温度下充分烘干。沉淀烘干后，把蒸發皿放在干燥器中冷却并再次称其重量。假使“ a ”为皿和含水沉淀的重量，“ b ”为皿和烘干后的沉淀的重量，“ c ”为空皿的重量，則沉淀的含水量以百分数表示时为：

$$p = \frac{a - b}{a - c} \cdot 100$$

在試驗室中决定沉淀物的数量时，是在容积为 0.5—1.0 升的玻璃錐（李森科錐）中进行的，它的下端有以毫升为單位的刻度。在充滿了（至一定的标记）仔細搖和的污水的玻璃錐中，确定不同時間間隔中所产生的沉淀体积，由此可以求得污水中不溶解物質的沉降动态。确定沉淀体积所用的時間間隔通常为 15、30、60、90、120 分鐘，其結果以“毫升/升液体”表示。

污水中所含的能沉淀的不溶解物愈多（例如砂），不溶解物的比重愈大，則沉淀过程愈强烈，因而沉淀过程的完成愈快。

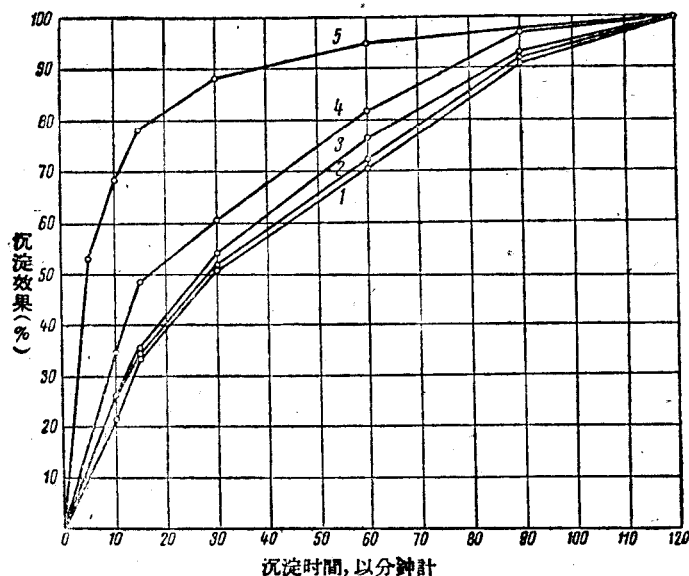


圖 159. 生活污水的沉淀曲綫：

1—在开始时可沉淀悬浮物的濃度 0.5—1.5 毫升/升；2—在开始时可沉淀悬浮物的濃度 1.6—2.5 毫升/升；3—在开始时可沉淀悬浮物的濃度 2.6—3.4 毫升/升；4—在开始时可沉淀悬浮物的濃度 3.5—4.7 毫升/升；5—在开始时可沉淀悬浮物的濃度 5.5—16.8 毫升/升。

在上述時間間隔內所产生的沉淀数量通常以沉淀 120 分鐘（2 小时）后所形成的沉淀体积的百分数来表示，因为在生活污水中沉淀过程实际上在 2 小时內完成。生活污水的典型沉淀曲綫，示于圖 159 中。

除了可沉淀物之外，在污水中尚含有比重小于 1.0 的漂浮物（脂肪、石油、油等等）。在沉淀时这些物質浮至玻璃錐的上面，也可以用同样的方法加以測定。

经过 2 小时的沉淀，沉淀池中的生活污水沉淀的含水量为 97—97.5%。再经过一段時間后，由于沉淀的压缩，因而

含水量降至 93—95%。不难看出,当污泥含水量自 97.5% 降至 95% 时它的重量减少了一半。实际上,假使污泥含水 97.5%, 則意味着 2.5 份重的固体物質含 97.5 份重的水。当污泥压缩至含水 95% 时, 則 5 份重的固体物質含 95 份重的水; 而在 2.5 份重的污泥中則含有 $\frac{95}{2} = 47.5$ 份重的水, 故总重量已非 100 份重, 而是 $2.5 + 47.5 = 50$ 份重。由此可见, 污泥重量和其固体物質含量百分比成反比。假使以 P_1 表示污泥在含水量为 $p_1\%$ 时的重量, 以 P_2 表示同一污泥在含水量为 $p_2\%$ 时的重量, 則

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

当含水量自 95% 降至 80% 时污泥的重量将仅为其原先的 $\frac{5}{20}$, 也即减少 $\frac{3}{4}$ 。

在設計处理建筑物时通常要知道的不是重量的减小而是体积的减小。在通常遇到的含水量很高 (80% 或更大) 的情况下, 污泥的單位体积重量極其接近水的單位体积重量, 因此在实用計算上可以近似地認為当污泥的含水量变化时其体积变化与重量变化成正比。

当含水量很低时, 污泥体积的变化將不与重量的变化成正比。

假使和前面所說的一样, 以 p_1 和 p_2 代表污泥的含水量 (以百分数計), 以 W_1 和 W_2 代表污泥的体积, 以 γ 代表干污泥的比重, 則含水量为 p_1 、重量为 100 份的污泥的体积將等于:

$$\frac{100 - p_1}{\gamma} + p_1 \ominus,$$

式中: p_1 —水所占的体积; $\frac{100 - p_1}{\gamma}$ —干物質所占的体积。

当含水量变为 p_2 时具有同样的干物質体积 $\left(\frac{100 - p_1}{\gamma}\right)$ 的污泥体积將为 $\ominus$:

$$\frac{100 - p_1}{\gamma} + p_2 \frac{100 - p_1}{100 - p_2},$$

因而

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

或

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

生活污水污泥的干物質的比重在 1.2 到 1.5 之間。当污泥含水量自 $p_1 = 97.5\%$ 变至 $p_2 = 95\%$ 及 $\gamma = 1.5$ 时:

$$W_2 = W_1 \frac{1}{2.017},$$

⊖ 原書誤印为 P_1 ——譯者注。

① 当含水量为 $p_2\%$ 时在 $100 - p_1$ 份的固体物質中有 p_2 份的水, 而在 $100 - p_1$ 份的固体物質中將有 $p_2 \frac{100 - p_1}{100 - p_2}$ 份水。

⊖ 原書誤印为 $[100 - p_2(\gamma - 1)]$ ——譯者注。

⊖ 原書誤印为 $[100 - p_1(\gamma - 1)]$ ——譯者注。

也即污泥体积按 1:2.017 的比例变化,同时重量按 1:2 的比例变化。当含水量自 $p_1=95\%$ 变至 $p_2=80\%$ 及 $\gamma=1.5$ 时:

$$W_2 = W_1 \frac{1}{4.214},$$

也即污泥体积按 1:4.214 比例变化,同时重量按 1:4 的比例变化。

但是应该指出,污泥体积与其含水量成比例地变化仅是在污泥保持流体状态的情况下(大概到含水量为 80% 时为止)始有可能。当继续干化时污泥由流动状态变为多孔状态,这时体积将不再随含水量变化。

上面已经指出,实际上并非全部能下沉的不溶解物都沉降为污泥,其中一部分保持悬浮状态。按照现行的标准,当沉淀时间不大于 2 小时时,在沉淀池中沉下的生活污水污泥的日平均量可采用每人每日 0.7 升(含水量为 94% 时),按干泥重量计时则为每人每日 40 克。此外,在栅上可截留每人每日 2—2.5 克的干物质,在沉砂池中可截留约每人每日 20 克。在排水率标准为每人每日 100 升时沉淀池中的污泥数量约占污水数量的 0.7%。在其他的排水率标准下污泥百分数将为另一数值。

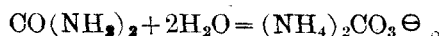
如前所述,污水中的不溶解物包含有机和无机二部分。有机物和无机物数量的确定可把事先在 105°C 下干化的污泥在 600°C 温度下烧灼。烧灼时有机物被焚化,而无机物则以灰渣状态留下。留下的灰渣的重量与污泥干物质的总重量之比(用百分数表示)即污泥的灰量;烧灼时的损失(100 减去灰量)即无灰物的数量,也用百分数表示。

生活污水污泥的灰量在 20% 至 30% 间,而无灰物的数量在 80% 至 70% 间。在生活污水中混入生产废水后,污泥的灰量将大大改变。

§ 92. 污水中的胶态物和溶解物

污水中形成胶体溶液的胶态物带有彼此间互相排斥的电荷(水溶胶);在凝集及电荷消除后即可形成絮花(水凝胶)。生活污水中的蛋白质、脂肪、碳水化合物、食物和生理排泄物等有机物对水中胶体相及液相的化学成分有很大的影响。自来水的品质对于污水的成分也有影响,因为自来水中通常含有某种数量的碳酸盐、硫酸盐和铁。

蛋白质在动物体内的交换过程中产生尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 尿素在腐化菌的作用下很快地被水解为氨盐:



污水中的氮素主要是以碳酸氨的形式存在着。以后,氨氮即分解,并可能产生氨气,在设备不良的厕所和茅房中常可发现这种触鼻的臭味。氨的形成按下式进行:



除氮素以外,污水所含的主要化学元素还有:碳、硫、磷、钾、钠和氯(以氯化钠的形式存在)、铁等。这些物质的数量根据使用沟道的居民所排出的污染物的数量而定,每人每日排

⊖ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 原书误印为 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ——译者注。

入生活污水的污染物并无多大的变化,显然,它們的濃度(以毫克/升計)根据排水率标准而定。排水率标准愈高則濃度愈低。

按照 C. H. 斯特罗加諾夫教授的資料,上述成分的典型含量以每人每日克計时为:

氮盐氮(N).....	7—8
氯化物(Cl).....	8—9
磷酸盐(P_2O_5).....	1.5—1.8
鉀(K_2O).....	3

每人每日的氮氮量变化極小,上述的7—8克可以用作标准。因此,由污水分析知道了氮氮的濃度(毫克/升)后就不难計算排水率标准。例如,氮氮含量为50毫克/升时相当于排水率标准每人每日 $\frac{7 \times 1000}{50} = 140$ 升至 $\frac{8 \times 1000}{50} = 160$ 升。

氯的含量随食盐的消耗量而变动,也无多大变化。超过上述标准时,就說明在生活污水中掺杂有某种数量的含氯的生产廢水。

污水中硫酸盐和鉄的含量在極大程度上决定于自来水中这些物質的含量,变动很大,因此要定出一个平均数值是很困难的。

至于工业企业生产廢水中的溶解物和胶态物的含量,由于污染物的性質和濃度随生产种类和生产过程中所使用的原料而变化,因而变化很大,要定出一个無論怎样的通用特性也不可能。在設計工业企业的沟道系統时必须对每一具体情况下的生产廢水进行分析,这种分析可以在需要設計沟系的企业中直接进行,也可以采用与它相类似的現有企业的資料。

城市沟系中的污水在大部分情况下混杂有某种数量的生产廢水,这些生产廢水常对城市生活污水的性質發生影响。假使城市沟道容納了来自大工业企业、輕工业工厂或重工业工厂的污水,則根据生产廢水的数量和分析的結果可以計算出在总流量中各个成分的含量。

§ 93. 硝化和反硝化

在污水处理建筑物和水体中存在氧气时,在好气菌的作用下,污水中的氮和氮盐进行氧化,氧化的結果,起初形成亞硝酸盐,繼續氧化时則变成硝酸盐,也就是进行硝化作用。

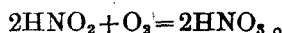
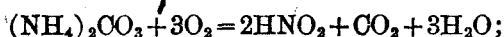
硝化作用在污水处理上有很大的意义,因为通过这一作用能积聚氧的儲存,这种氧是氧化有机物所必需的。在厭气菌^①的作用下,氧气有硝酸盐及亞硝酸盐中分离出来,并再度被利用于氧化有机物,这一作用称为反硝化作用。同时它放出气体状态的單体氮。靠反硝化作用(以氧化有机物)所得到的氧量是相当大的。

氧化水中有机物所需要的氧或者直接溶于水中,或者存在于硝酸盐和亞硝酸盐中。溶解氧的饱和量随温度而定,在普通大气压力下,通常在14.6毫克/升(在0°时)至7.6毫克/升(在30°时)之間。

存在于硝酸盐和亞硝酸盐中的氧量可以用下列方法决定。氮氮的氧化反应按下式进

① 厭气菌是指一种能生活在沒有氧气的环境中的細菌。

行:



为造成亞硝酸盐, 2 份氮需要 6 份氧 (按第一式), 而为造成硝酸盐还需要 2 份氧 (按第二式), 也即共需 8 份氧。因为氮的原子量为 14, 氧为 16, 故知在氧化为硝酸盐时 $2 \times 14 = 28$ 份重的氮需要 $8 \times 16 = 128$ 份重的氧, 也即 1 毫克的氮需要 $\frac{128}{28} = 4.57$ 毫克的氧。

在反硝化亞硝酸盐 (N_2O_3) 时放出較少数量的氧, 因为一部分氧用于造成二氧化碳和水, 也即 2 份氮放出 3 份氧, 或 1 毫克的氮放出 $\frac{16 \times 3}{14 \times 2} = 1.71$ 毫克的氧。在反硝化硝酸盐 (N_2O_5) 时, 2 份氮放出 5 份氧, 也即 1 毫克氮放出 $\frac{16 \times 5}{14 \times 2} \approx 2.85$ 毫克氧。

如前所述, 生活污水中氨氮的数量等于每人每日 7 至 8 克。在排水率标准为每人每日 100 升时, 氨氮的浓度为 70 至 80 毫克/升。如果在处理过程中一半的氨氮将氧化为硝酸盐, 则在以后的反硝化过程中, 可以从每升污水中获得 $\frac{80}{2} \times 2.85 = 114$ 毫克氧。

§ 94. 氧的溶解和消耗

我們已經知道, 土壤和水体的自净必須有氧存在, 氧用于氧化污水污染物中的有机物。所消耗的氧主要由水体的表面获得补充。这样, 这里同时發生二种过程: 氧的消耗和溶解。在用于使污水中有机污染物无机化的污水处理建筑物中, 同样存在着这二种过程。在无机化微生物参与下的氧化結果 (或即所謂生物化学氧化) 所發生的有机物的无机化过程可分成二个阶段: 开始是碳和氢被氧化, 产生二氧化碳和水, 在第二阶段时氮先被氧化为亞硝酸盐, 然后再氧化为硝酸盐, 这一阶段被称为硝化阶段。

存在足够的氧气时, 氧化速度在第一 (碳化) 阶段服从一个定律, 即: 氧化速度, 或者氧的消耗速度, 在相同的温度下, 在每一指定时间, 和污水中的有机物的数量成正比。这样, 如果在氧化过程中沒有新的污染物进入, 有机污染物的氧化速度在整段时间内是逐漸减小的; 换言之, 在相等时间間隔内逐漸减少的有机物的数量与殘余的未被氧化的有机物的数量成正比。

假定以 L_a 代表在氧化过程开始时氧化有机物所需要的氧量, 以 x_t 代表在时间 t 内消耗在氧化有机物上的氧量, 則在任一指定时间 (经过的时间为 t) 的氧的需要量, 也就是相应的能被生化作用氧化的有机物数量, 将等于 $L_a - x_t$ 。故有下列等式:

$$\frac{dx_t}{dt} = k_1 (L_a - x_t)。$$

这里 k_1 一比例系数, 或生化耗氧率常数, 根据温度及其他因素 (主要根据在被氧化的液体中无机化微生物数量的多少) 而定。对有机物在水体天然条件下的氧化講, k_1 之值在一定的温度下可以認為实际上是不变的。把前述公式积分, 得

$$\int \frac{dx_t}{L_a - x_t} = \int k'_1 dt,$$

$$-\ln(L_a - x_t) = k'_1 t + C_0.$$

在 $t=0$ 时, x_t 也等于 0, 因而 $C = -\ln L_a$, 故

$$-\ln(L_a - x_t) = k'_1 t - \ln L_a,$$

$$\ln \frac{(L_a - x_t)}{L_a} = -k'_1 t.$$

把自然对数换成以 10 为底的对数, 可得

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

式中常数 $k_1 = k'_1 \lg e$ 或 $k_1 = 0.434 k'_1$ 。

所得的等式也可以另一形式表示:

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

或以 L_t 代表经过时间 t 后的需氧量(即 $L_a - x_t$), 得

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

利用这一关系式, 当知道了有机污染物的数量或相当于这量的生化需氧量后, 可以计算经过任何时间 t 后的剩余需氧量。但必需注意上述定律只有在整个氧化过程中氧气的数量始终有剩余的情况下才是有效的。

用經驗方法获悉, 温度变化和生化耗氧率常数 k_1 的变化之间的关系可用公式表示:

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

式中 $k_{1(T_1)}$ 和 $k_{1(T_2)}$ 是二个不同温度 (T_1 和 T_2) 下的常数 k_1 之值。

这种关系发生在温度 10° 至 30° 間。在实验室里测定氧的消耗时, 通常在 20° 温度下进行, 所以上述公式在实用上具有下列形式:

$$k_{1(T_1)} = k_{1(20^\circ)} \cdot 1.047^{(T_1 - 20^\circ)}.$$

在温度为 20° 时, 許多河水的常数 k_1 等于 0.10 (时间 t 以日計)。故当 $T_2 = 30^\circ$ 时,

$$k_{1(30^\circ)} = 0.158;$$

当 $T_2 = 10^\circ$ 时,

$$k_{1(10^\circ)} = 0.063.$$

耗氧率常数之值也可以用实测方法测定。假使已知

L_a —最初的需氧量和 L_t —经过时间 t 后的需氧量, 并已知这一时间之后, 则

$$k_1 = -\frac{1}{t} \lg \frac{L_t}{L_a}.$$

最初的需氧量 L_a 也随温度而变化, 温度上升则增大, 温度降低则减小。按照經驗資料, 这一关系可用公式表示:

$$L_{a(T_1)} = L_{a(20^\circ)} (0.02 T_2 + 0.6). \quad (12.1)$$

根据这一公式, 当温度为 30° 时需氧量将等于 $L_{a(30^\circ)} = 1.2 L_{a(20^\circ)}$; 当温度为 10° 时

$$L_a(10^\circ) = 0.8L_a(20^\circ)$$

按照公式 $L_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t}$ 而計算的、每隔一天的剩余需氧量列在表 32 中(温度为 20° , $k_1 = 0.10$, 剩余需氧量以最初需氧量的百分数計)。

表 32.

t (日)	L_t (%)	t (日)	L_t (%)	t (日)	L_t (%)	t (日)	L_t (%)	t (日)	L_t (%)	t (日)	L_t (%)
1	79.4	6	25.1	11	7.94	16	2.51	21	0.79	26	0.25
2	63.1	7	19.9	12	6.31	17	1.99	22	0.63	27	0.20
3	50.1	8	15.8	13	5.01	18	1.58	23	0.50	28	0.16
4	39.8	9	12.6	14	3.98	19	1.26	24	0.40	29	0.13
5	31.6	10	10.0	15	3.16	20	1.00	25	0.32	30	0.10

在時間 t 內减少的有机物数量或氧的消耗量可按公式計算:

$$L_a - L_t = L_a(1 - 10^{-k_1 t}) \quad (12.2)$$

而所需的時間 t 則为:

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

由这一公式不难看出,要所有的有机物达到完全氧化 (L_t 应该等于零)理論上是不可能的,因为所需要的时间将等于无穷大。实际上可以認為:当温度等于 20° 时,第一阶段的全部氧化經過 20 天完成;当温度为 30° 时(此时 $k_1 = 0.158$),只要 14 天就可以完成。

例題 假使水在 20° 温度下的五天需氧量等于 300 毫克/升。計算同一的水在温度为 25° 时的两天需氧量。

当水温为 20° 时 $k_1 = 0.10$, 按公式 (12.2) 可得 $300 = L_a(1 - 10^{-0.1 \times 5})$ 。故最初的需氧量 $L_a = 439$ 毫克/升。

再按公式 (12.1) 可得:

$$L_a(25^\circ) = 439(0.02 \times 25 + 0.60) = 483 \text{ 毫克/升。}$$

耗氧率常数在温度为 25° 的情况下可由公式 $k_1(25^\circ) = k_1(20^\circ) \times 1.047^{(25-20)}$ 計算。故 $k_1(25^\circ) = 0.1 \times 1.047^5 = 0.125$ 。所以当温度为 25° 时两天需氧量将等于:

$$L_a(25^\circ) = 483(1 - 10^{-0.125 \times 2}) = 212 \text{ 毫克/升。}$$

氧气溶解在水中的过程也服从同一定律。氧气和所有其他气体一样,只能溶于水至一定的饱和数量。这一数量根据温度及压力而定:温度愈高,氧或其他任何气体的溶解度愈小。在表 33 中列有当大气压力为 760 毫米水銀柱时,在不同温度情况下空气中的氧气在蒸

表 33.

T°	溶解度 (毫克/升)	T°	溶解度 (毫克/升)	T°	溶解度 (毫克/升)	T°	溶解度 (毫克/升)
0	14.62	8	11.87	16	9.95 $\ominus$	24	8.53 $\ominus$
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	11.08	19	9.35	27	8.07
4	13.13	12	10.83 $\ominus$	20	9.17	28	7.92
5	12.80	13	10.60	21	8.99 $\ominus$	29	7.77
6	12.48	14	10.37	22	8.83	30	7.63
7	12.17	15	10.15	23	8.68	—	—

$\ominus$ 原書誤印为 $k_1(25^\circ) = 0.1 \times 1.047 = 0.125$ ——譯者注。

$\ominus$ 这几个数字原書誤印为 10.33、9.25、8.89、8.53——譯者注。

鎔水中的溶解度,以毫克/升計。

上述关系發生在氧气自空气中溶解至水中的情况下,此时氧气处在相当于空气中氧气的部分压力之下。处在較高压力的純氧的溶解度將較大。空气中的氧气是在光合作用下产生的,植物的叶綠素分解二氧化碳,吸收了碳放出純氧。

根据上述定律,氧气在任一指定時間的溶解速度与水中氧的饱和度成反比,或与其未饱和度,即氧饱和差成正比。最后,溶解速度尚与氧和水的接触面有关。为了加快溶解速度必須把水剧烈攪动。假使以 c 代表在一定温度和一定压力下的饱和含氧量,以毫克/升計,而以 x 代表在任何指定時間水的含氧量,以毫克/升計,也即在時間 t 內溶入水中的氧量(假定在开始时沒有溶解氧),則可得下列等式[⊖]:

$$\frac{dx}{dt} = k'_2(c-x),$$

式中: k'_2 —依体积單位計算的氧的溶解率常数,根据气体性質、液体温度和水面情况而定。

把上式积分,得:

$$\int \frac{dx}{c-x} = \int k'_2 dt;$$

$$-\ln(c-x) = k'_2 t + C.$$

当 $t=0$ 时 $x=0$, 故 $C = -\ln c$, 因而 $-\ln(c-x) = k'_2 t - \ln c$, 或 $\ln \frac{c-x}{c} = -k'_2 t$ 。如同計算氧的消耗量一样,通常采用以 10 为底数的对数,即 $\lg \frac{c-x}{c} = -k_2 t$, 也即以常数 k_2 代替 k'_2 , 而 $k_2 = k'_2 \lg e^{\ominus}$ 或 $k_2 = 0.434 k'_2$, 而 $k'_2 = 2.3 k_2$ 。

所得到的等式可以写成下列形式:

$$c-x = c \cdot 10^{-k_2 t} \text{ 或 } x = c(1-10^{-k_2 t}).$$

由此可計算在時間 t 內的溶解氧数量。

这些公式只有在开始时溶解氧的数量等于零的情况下(也即氧饱和差等于饱和量 c 时)才是正确的。假使在开始时已有溶解氧,其数量等于 c_0 毫克/升,則开始时的氧饱和差將为 $c - c_0 = D_a$, 故上述公式变成:

$$D_t - x = D_a \cdot 10^{-k_2 t} \text{ 及 } x = D_a(1-10^{-k_2 t}).$$

或以 D_t 代表在任何時間的饱和差 $D_a - x$, 可得 $D_t = D_a \cdot 10^{-k_2 t}$ 。

通常氧饱和差并不以絕對值(毫克/升)表示,而以相对值表示——以占完全缺氧的分数表之:

$$D_a = \frac{c - c_0}{c} = 1 - \frac{c_0}{c}.$$

在沒有溶解氧的情况下,也即 $c_0 = 0$, 則氧饱和差 $D_a = 1$ 。在完全饱和时,即 $c_0 = c$, 則

⊖ 以 x 代表任何時間的水的含氧量,則方程式 $\frac{dx}{dt} = k'_2(c-x)$ 即能成立(不論在开始时水中有无溶解氧)。在本节中 x 始終代表在時間 t 內溶入水中的氧量(不論在开始时水中有无溶解氧)。故本句后半句的含义实为“而以 x 代表在時間 t 內溶入水中的氧量,則当开始时水中沒有溶解氧时,可得下列等式:”——譯者注。

⊖ 原書誤印为 c ——譯者注。