

高等学校試用教科書

# 排水工程

下 册

“排水工程”教材选編小組选編



中国工业出版社

~~XVI/7.2~~

TU5/2.2

高等学校試用教科書



# 排 水 工 程

下 册

“排水工程”教材选編小組选編

中国工业出版社

本书叙述城市、乡村和工业企业排水工程基本原理和实践知识。对排水系统及其构筑物的规划、设计和运行作了详尽的阐述，并附有适量的例题，以帮助读者理解设计原理和掌握计算方法。充分使用了示意图，也适当采用一部份真实的设计图。

全书共三篇，分两册出版。上册的内容包括绪论及第一篇排水系统。下册的内容包括第二篇污水的处理和利用、第三篇排水系统的设计和现场勘测。

本书可作为高等院校给水排水专业的试用教科书。

## 排 水 工 程

下 册

“排水工程”教材选编小组选编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经营

开本787×1092  $\frac{1}{16}$ ·印张21·插页2·字数482,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数 0001—1,433·定价（10—6）2.55元

统一书号 15165·1014（建工124）

# 下册目录

## 第二篇 污水处理与利用

### 第十二章 污水的成分与性质

- 第一节 生活污水的成分与性质..... 5
- 第二节 工业废水的性质与特征..... 6
- 第三节 污水水质指标..... 8
  - 一、悬浮物..... 8
  - 二、有机物质、硝化与反硝化..... 9
  - 三、生化需氧量与化学需氧量..... 11
  - 四、污水的稳定性..... 13
  - 五、污水的反应 (pH 值)..... 14
  - 六、污水的细菌污染..... 14
  - 七、污水中的有毒物质与有用物质..... 14
  - 八、污水的放射性物质污染..... 15

### 第十三章 污水处理与利用的原则及其方法

- 第一节 污水处理与利用的任务..... 16
- 第二节 污水处理与回收方法的概述..... 17
- 第三节 污水处理的典型流程..... 19

### 第十四章 水体及其卫生防护

- 第一节 水体的污染与自净..... 21
- 第二节 污水在水体中的稀释..... 22
  - 一、污水在河流中的稀释..... 22
  - 二、污水在海、湖中的稀释..... 27
  - 三、污水的色、臭、味在水体中的稀释..... 27
  - 四、有毒物质在水体内的稀释及其极、限值的确定..... 28
- 第三节 水体的生化自净..... 30
  - 一、氧的消耗与溶解..... 30
  - 二、水体生化自净的规律..... 33
  - 三、影响水体生化自净的因素..... 34
- 第四节 水体对细菌污染的自净..... 38
- 第五节 污水排入水体的条件..... 38
- 第六节 水体允许负荷的确定..... 40
  - 一、按水体中悬浮物允许增加量求定水体的允许负荷..... 40

- 二、按水体中溶解氧的最低极限含量求定水体的允许负荷..... 41
- 三、按水体中生化需氧量的最高极限值求定水体的允许负荷..... 43
- 四、按水体的允许 pH 界限值求定水体的允许负荷..... 44
- 五、按水体中有毒物质的极限含量求定水体的允许负荷..... 45
- 六、污水处理程度的求定..... 46
- 七、水体负荷能力和污水处理程度计算举例..... 46

### 第十五章 污水的机械处理

- 第一节 筛滤..... 50
  - 一、水栅..... 50
  - 二、水筛..... 55
  - 三、工业废水处理专用水筛..... 57
- 第二节 沉淀..... 58
  - 一、沉淀及其理论基础..... 58
  - 二、沉砂池..... 60
  - 三、沉淀池..... 71
- 第三节 污水的预曝气处理..... 95
  - 一、预曝气凝聚与预曝气生物凝聚的应用..... 95
  - 二、预曝气处理流程与构筑物..... 96

### 第十六章 污水灌溉与生物塘

- 第一节 污水灌溉的作用与分类..... 99
- 第二节 农业灌溉田 (包括作物生长期灌溉田)..... 101
  - 一、灌溉的种类及其对水质的要求..... 101
  - 二、农业灌溉田的灌溉标准..... 101
  - 三、灌水技术与灌水制度..... 103
  - 四、灌溉系统与其构筑物..... 107
- 第三节 市政灌溉田..... 110
  - 一、市政灌溉田负荷标准的确定..... 111
  - 二、市政灌溉田面积的求定..... 111

三、市政灌溉田的灌溉系统与排水系 统.....	113	四、从污泥中提取维生素B <sub>12</sub> .....	218
四、生物塘.....	117	五、活性污泥中细菌蛋白的利用.....	218
<b>第十七章 污水的生物处理</b>		<b>第二十章 污水厂的总体布置</b>	
第一节 生物过滤法.....	119	第一节 污水处理方案的确定与处理构 筑物型式的选择.....	218
一、普通生物滤池.....	120	第二节 污水厂的厂址选择.....	219
二、高负荷生物滤池.....	138	第三节 污水厂的平面布置及总平面图.....	220
第二节 活性污泥法.....	142	第四节 污水处理构筑物的高程布置.....	224
一、曝气池的工作及其分类.....	142	第五节 污水在污水厂中的分布.....	225
二、曝气池的计算.....	145	第六节 污水的计量设备.....	226
三、曝气池的构造及曝气系统.....	159	<b>第二十一章 污水厂的管理</b>	
四、空气管道的计算.....	163	第一节 污水厂的验收与试运转.....	230
第三节 工业废水的生物处理.....	166	第二节 处理构筑物工作的控制.....	232
一、生物处理在工业废水处理方面应 用的条件及其特点.....	166	第三节 各种处理构筑物的技术维护工 作.....	234
二、工业废水生物处理构筑物的结构 与计算.....	168	第四节 污水厂的组织管理工作及技术 保安.....	239
第四节 二次沉淀池及浓缩池.....	170	<b>第二十二章 工业废水的特种处理与回收法</b>	
一、二次沉淀池.....	170	第一节 工业废水的均和.....	239
二、浓缩池.....	173	第二节 工业废水的特种机械处理.....	243
<b>第十八章 污水的氯化处理</b>		第三节 工业废水的化学处理.....	254
第一节 污水的消毒处理.....	176	第四节 工业废水的物理化学回收处理.....	266
一、概述.....	176	<b>第二十三章 几种工业废水的处理与利用</b>	
二、漂白粉消毒.....	177	第一节 黑色冶金工业.....	296
三、液氯消毒.....	178	第二节 焦炭化学工业.....	305
四、氯与污水的混合与接触.....	182	第三节 石油开采与石油炼制工业.....	310
第二节 工业废水的过氯化处理.....	183	第四节 肉类加工工业及皮革工业.....	319
<b>第十九章 污泥的处理与利用</b>		第五节 放射性废水的处理.....	323
第一节 污泥的消化.....	184	<b>第二十四章 小型居民点及房屋草的污水和粪     便的处置</b>	
一、污泥消化的原理与处理构筑物的 种类.....	184	第一节 概 述.....	324
二、腐化池.....	186	第二节 小量污水的排除.....	325
三、稳化池.....	188	第三节 毛 厕.....	329
四、污泥消化池.....	196	<b>第三篇 排水系统的设计与现场勘测</b>	
第二节 污泥的脱水.....	208	<b>第二十五章 规划与设计</b>	
一、晒泥场.....	208	第一节 设计阶段.....	331
二、污泥的机械脱水.....	212	第二节 设计方案的技术经济比较.....	332
三、污泥的热处理.....	213	第三节 概算和预算的编制.....	333
第三节 污泥的输送.....	214	<b>第二十六章 资料收集与现场勘测</b>	
第四节 污泥的综合利用.....	215	第一节 概 述.....	334
一、污泥在农业方面的利用.....	215	第二节 资料项目.....	334
二、甲烷气(沼气)的利用.....	216	第三节 勘测和现场设计.....	335
三、从污泥中提炼焦油.....	217		

## 第二篇 污水处理与利用

### 第十二章 污水的成分与性质

#### 第一节 生活污水的成分与性质

生活污水是人们在生活活动中使用过的，而且必须从居住区排除出去的水。它被大量的杂质所污染。

生活污水中的污染物质，根据其化学成分可分为无机物及有机物二种。在无机性污染物质中，除砂、炉渣、泥土等外，有大量的钾盐及钠盐是生活污水的特征之一。有机性污染物质包括人、畜的排泄物、食物残渣、纸屑等。含有大量的有机物质的基本元素：碳、氮、磷、硫等也是生活污水在成份上的一个基本特征。

在生活污水中，由于含有多量的有机物质，适于各种微生物的繁殖，因此有大量的细菌，其中也可能有病原菌。由于含有人畜的排泄物，在生活污水中也有大量的寄生虫卵。

生活污水中的污染物质，根据其物理状态，又可分为不溶解物质、胶状物质及溶解物质三种。

不溶解物质的粒径一般都大于0.1微米，是以悬游、漂浮及乳油等状态存在于污水中的，其中有一部分能沉淀下来。

胶状物质的粒径一般是介于0.1—0.001微米之间，这类物质不易沉淀下来。

溶解物质是以分子——分散状态存在于水中的，颗粒的粒径都小于0.001微米，它们与介质(污水)成为同一的相。

生活污水中有机性污染物质及无机性污染物质含量的百分率大致为58:42，其大致组成如表12-1所示。

生活污水中的污染物含量，以浓度表示。浓度是指在单位体积生活污水中该种污染物的重量，以毫克/升或克/米<sup>3</sup>计。

生活污水中的污染物的成份，虽然是比较复杂的，但是经过分析许多城市的资料证明，每人每日在生活活动过程中所产生的，并通过污水沟管所排出的生活废料，在数量及成分上都较为稳定（见表12-1中所列的数据）。因此，在生活污水中，污染物的浓度，主要取决于每人每日的洩水量。浓度可用下列公式求得：

$$K = \frac{1000 a}{q} \quad (12-1)$$

式中  $K$ ——生活污水中污染物的浓度（毫克/升）或（克/米<sup>3</sup>）；

$a$ ——每人每日产生的生活废料量（克）；

$q$ ——每人每日的洩水量（升/人日）。

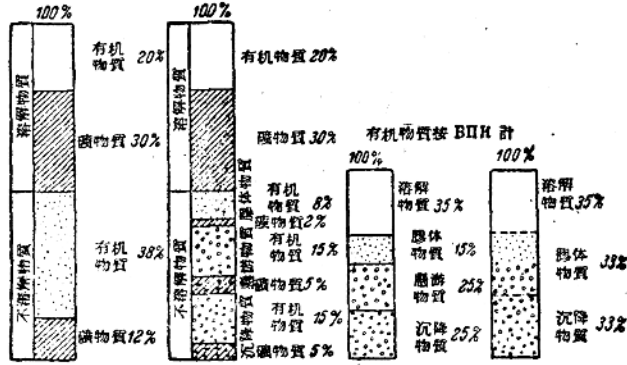


图12-1 生活污水的成分

每人每日通过城市排水管网所排出的生活废料数量及成分表

表12-1

顺 序	废 料 名 称	数 量 (克)	备 注
1	不溶解固体物质(經以105°C高温烘干)	65	其中挥发性物质(可视为有机物质)占75%。
2	經二小时静置沉淀而沉淀下来的沉淀物	40	
3	氨氮	7-8	經二小时静置沉淀后的溶液中的含量
4	氯化物	8-9	
5	硫酸鹽	1.5-1.8	
6	钾鹽	3	

### 第二节 工业废水的性质与特征

现代工业种类非常繁多，它们所用的原料及动力都不同，生产工艺也有极大的差别。在不同工业的生产过程中，使用着不同数量的水，水的用途及作用也不同。在某些工业部门中，水只起一种辅助作用，例如冷却机件等；在另一些工业部门中，水直接参与了生产工艺，例如造纸工业的制浆用水；在另一些工业部门中，水则作为生产原料，并成为产品的一个组成部分，例如食品工业用水。

经工业生产使用过，而且在质量上不再符合工艺上的要求，必须从车间内排除的水就是工业废水。工业废水被大量的工业废料所污染。

任何现代工业，都产生在数量上不同，在成分、性质上也是极不相同的工业废水。

工业废水的数量极大，这个特征可用下列的一些数字来说明：制糖厂每处理一吨甜菜要产生13—16米<sup>3</sup>废水；橡胶厂每生产一吨胶所产生的废水量能高达290米<sup>3</sup>。以上是轻工业方面的例子。在重工业方面所产生的废水量也是相当可观的，如固体燃料加工工业，每加工一吨燃料就要产生16—30米<sup>3</sup>废水。汽车厂每生产一台小轿车，所产生的废水量为270米<sup>3</sup>。

工业废水的成分也极其复杂。不同工业所产生的工业废水不仅成分与性质不同，而且

其外观也不同，例如含酚废水在外观上是呈深黄褐色，而具有浓厚石炭酸臭味的水。而煤气洗涤废水则呈深灰色略有石炭酸臭味之水。甚至于在同一工厂内；不同工段所产生的废水也有极大的差异，例如造纸厂蒸煮车间的废水，是一种深褐色的液体，因之称之为黑液，而抄纸车间的废水，却是一种极白的水，并称之为白水。至于在数量及成分上不同的例子，那就更多了。

由于工业废水的污染，主要取决于工艺过程和所使用的原料。在同一种的工业废水中，其所含的物质也是多种多样的。

为了进一步说明这个问题，下面将几种典型的工业废水的主要成分加以简略的阐述。

#### (1) 冶金、金属加工及机械制造工业废水。

冶金工业废水主要含有多量的无机性悬浮物质。机械加工工业废水含有：①大量的无机性悬浮物质，例如铁屑、砂、铁皮等；②酸、碱以及硫酸盐等；③氰化物、铜、锌、铬、镍及镉等。

#### (2) 固体燃料热加工工业废水。

这种工业废水的特征是成分复杂，而且极不稳定，其成分主要取决于原料及工艺过程。这类废水所含有的成分有：酚、萘及焦油等，以泥炭为原料的工业废水中含有多量的脂肪酸、氨、丙酮、甲醇等。

#### (3) 植物性纤维加工工业废水(包括棉纺厂、纺织厂、亚麻厂及染整厂等工业废水)。

亚麻及大麻浸渍加工厂废水主要被有机物质及一些难于氧化的物质所污染。

在棉纺厂及纺织厂中以浆纺车间的废水污染最为强烈，但数量不多，漂白废水污染也较强烈，其中含有大量的有机物质。

染整厂工业废水除具有独特的颜色外，还可能含有某种数量的重金属盐(锌、锡及镉)以及一系列的有毒染料(硫化物、砷、氰化物等)。较难处理的是含硫化物、黑苯胺、重氮染料等的废水。

#### (4) 毛皮加工工业废水(包括洗毛厂、呢绒加工厂、毛皮厂及制革厂等废水)。

洗毛厂废水主要是被羊毛粗脂、粪便以及酸类等物质所污染。

毛皮厂废水含有大量难于分解的有机物质和大量的脂肪，某些车间的废水，则含有有毒物质(铬盐、甲醛、铜等)。

皮革厂工业废水中所含有的物质、主要有毛皮的碎块、碎皮及一些工艺过程中所用过的化学试剂，例如鞣质、铬化合物、石灰、硫化钠、硫酸盐及盐酸等，也可能含有寄生虫卵，污染最强烈的是鞣革废水，其中含有大量铬化合物。

#### (5) 食品工业废水(包括奶品、制肉、屠宰、淀粉、罐头等厂废水)。

这一类工业废水在性质和成分上接近于生活污水，但其浓度颇高。

以上我们只是极为简略地叙述了几种工业废水的主要性质与成分，我们将在本编第二十二及二十三章内更详细地进行讨论。但是由以上这些简略的材料，也可以看到工业废水种类繁多、成分复杂的一般情况了。此外，还应当看到，由于技术不断地进步，新型工业不断地增加，新型的工业废水也将不断地出现。此外，工艺过程的革新以及原料的转换，都会改变工业废水成分与特征的。



### 第三节 污水水质指标

一、悬游物 污水中呈固体状的不溶解物质称之为悬游物。它是污水污染基本指标之一。在经过二小时静止沉淀以后,悬游物中的一部分沉淀下来,这部分的悬游物称之为沉淀物,仍有一部分悬游物不能沉淀下来,而某些悬游物则处于漂浮状态。

根据所处分散状态不同,污水中的悬游物可分为粗分散(粗径大于100微米)及细分散(粒径在0.1与100微米之间)二种。

悬游物在性质上可分为无机性及有机性二种。无机性悬游物象砂、炉渣等都是呈颗粒状态的,由于其比重较大,所以用沉淀法即可将其从污水中分离出来。有机性悬游物是呈绒絮状态的,这一类物质,由于质轻,不易沉降。此外在污水中,尚含有大量颗粒极其微小的悬游物质,这一类颗粒,是不沉淀的。

沉淀下来的沉淀物质共有二种类型,由处于颗粒状态的悬游物所形成的沉淀物称之为沉渣,它们的表面比较光滑,在沉降时互不相关,沉渣多含于机械加工及冶金等工业废水中。生活污水中也含有一定数量的颗粒状悬游物质。由处于绒絮状态的悬游物质所形成的沉淀物称之为污泥,其中主要为有机性物质。污泥多产生在生活污水及在性质上接近于生活污水的工业废水的处理过程中。

在实验室中,污水中的沉淀物用容量0.5~1.0升的锥形瓶测定。瓶的下部有以厘米<sup>3</sup>表示的刻度。将污水倒入瓶中,并且加以摇荡,将瓶静置后,沉淀物便不断下沉。每隔一定时间记下当时沉淀下来的沉淀物数量,以厘米<sup>3</sup>/升计。

图12-2中绘有数条沉淀物质的沉淀曲线,图中横坐标表示沉淀时间,纵坐标表示沉淀物数量(以百分数表示)。本图中取沉淀时间相当于两小时的沉淀物数量为100%,因为在实际观察中发现,污水中的沉淀物在两小时内基本上都能沉淀下来。

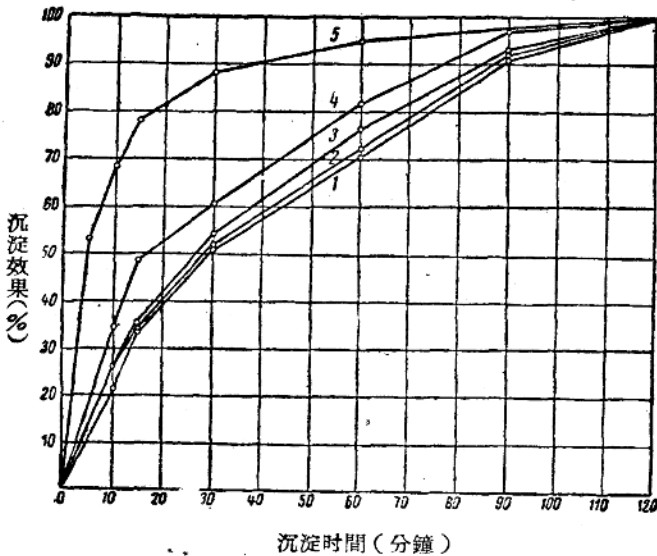


图12-2 沉淀物质的沉淀曲线

1-沉淀物质的最初浓度为0.5~1.5厘米<sup>3</sup>/升; 2-最初浓度为1.6~2.5厘米<sup>3</sup>/升; 3-最初浓度为2.6~3.4厘米<sup>3</sup>/升; 4-最初浓度为3.5~4.7厘米<sup>3</sup>/升; 5-最初浓度为5.5~16.3厘米<sup>3</sup>/升

从这几条沉淀曲线可以看出，污水中的沉淀物质在最初一个阶段沉淀特别快。这是由于沉淀物的颗粒大小不一样，颗粒较大较重的沉淀物下沉甚快的缘故。

这组曲线是研究污水中沉淀物的沉淀规律和设计沉淀池时的重要资料。

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，称为含水率。为了正确地测得污泥的含水率，可以取出一部分经充分搅拌均匀的污泥，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。取出烘干后的污泥再称之，再称盛污泥的器皿，然后，按下式求污泥中的水分：

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

式中 P——污泥的含水率；

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)。

沉渣由于比重较大，所以比较坚实一些，含水率较小。污泥却是处于疏松状态，含水率较大。

设计及维护污水处理构筑物时，需要考虑到污泥中的含水率是能够减少的，例如，沉淀池中新沉淀下来污泥在两小时内具有97—97.5%的含水率，经过一定时间后，含水率便降低到95%。又如，晒泥场上的污泥，由于蒸发和渗透的缘故，含水率便从95%降低到75—80%。

如污泥中的含水率由97.5%降低到95%，则在单位体积污泥中的固体物质百分率却由2.5%增到5%。由于污泥的含水量很大，一般都在80%以上，其容重接近于水的容重，所以可以认为，当污泥中含水率变化时，其体积按与重量同样的规律变化。污泥的体积和其中固体物质含量的百分率成反比。

含水率为 $P_1\%$ 的污泥，其体积为 $W_1$ ， $W_2$ 为同一污泥在含水率减少到 $P_2\%$ 时的体积，它们之间的关系，可用下式表示之：

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

上述规律只适用于含水率低于80%之污泥，若污泥的含水率继续降低，则变为多孔性，其体积的变化即不再与含水率的变化成比例关系。

污水中的不溶解物质在污水处理构筑物中(沉砂地、沉淀池等)并不能全部沉淀下来。目前的标准规定，沉淀时间不超过2小时，相应的沉淀在沉淀池中的污泥量按每人每日0.8升计算(污泥中的水分按95%计算)或按每人每日的固体物质40克计算。

此外，水栅还能截留2克固体物质，在沉砂池中则截留12克。

污泥中有机物质及无机物质的含量可用下列方法测定：将污泥放在烘箱中，以105°C的温度烘至恒重，然后称重，得出污泥中固体物质(包括有机物质及无机物质)的总重量。然后将此污泥在600°C的高温下烧灼，将其中有机物质烧掉，再称之。剩下的无机物质的重量与固体物质在烧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占20—30%。

二、有机物质、硝化与反硝化 生活污水是被大量的有机物所污染的，而很大一部分

类型的工业废水也为有机物所污染，因此，有机物应作为污水污染的一个基本的指标。

污水中的有机物，除以悬浮状态存在外，还以胶状及溶解状态存在。

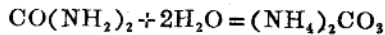
有机物构造复杂，也不稳定，它是处在物质循环转化过程中的一种过渡状态。在任何条件下，它也要向简单而稳定的无机物进行分解。由于条件的差异，它的分解途径也有所不同。这一分解过程是一种比较复杂的生物化学过程。

当氧气充足的条件下，有好氧细菌参加了有机物质的分解，这样的分解过程进行的时间比较短，而且并无其他不利的条件发生，这样的分解称为好氧分解，也称为生物氧化。当氧气缺乏时，某种厌氧菌参与了有机物质的分解，这种过程进行得非常缓慢，而且放出恶臭，这种过程称之为厌氧分解。

有机物质主要构成的元素是碳、氮以及碳化物及氮化物；此外，在有机物的组成中还有：磷、硫、钾、钠及铁等盐类。

在这些元素及化合物中，对有机物质分解有特殊意义的是蛋白质的分解。

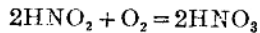
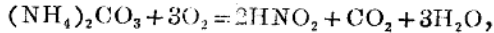
蛋白质在动物肌体内的新陈代谢的过程中，形成尿素。尿素由动物排泄出来后，在尿素菌的作用下迅速水解，生成铵盐



污水中的氮主要是以碳酸铵的形式存在的。碳酸铵在空气不流动的地方，易于继续分解，产生极难闻的氨气



在氧气充足的条件下，碳酸铵在好氧菌的作用下，继续分解，其过程为：



这个过程就是硝化过程。硝化过程是分二步骤进行的，在第一步驟内参加反应的是亚硝酸菌，结果生成了亚硝酸盐 ( $\text{HNO}_2$ )；亚硝酸盐不够稳定，继续在硝酸盐菌的作用下进行分解，这就是第二步驟，结果生成了硝酸盐 ( $\text{HNO}_3$ )。

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： $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{6 \times 16}{2 \times 14} = 3.42$ ，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，每两个氮原子需要有八个氧原子，其重量比为 $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{8 \times 16}{2 \times 14} = 4.57$ ，即每一单位重量的氮需要4.57单位重量的

的氧。

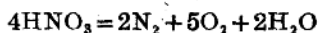
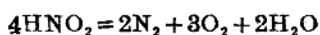
硝化过程对污水处理来讲，有着极其重要的意义，形成了硝酸盐就是说明有机物质已经达到了无机化。在自然条件下，这一过程是需要较长时间的。10毫克氮氧化成亚硝酸盐需时10日左右，而从亚硝酸盐氧化成硝酸盐则需时更多一些。

温度对硝化的影响颇大。硝化过程的适宜温度为10—25°C。在9°C时硝化速度就要降低，4°C时就要中止。亚硝酸盐菌生长繁殖的适宜pH值为8.4到8.8之间，硝化菌则为7.0—9.3之间。

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，

参与反应的细菌为厌氧菌。

在亚硝酸及硝酸的厌氧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  $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{3 \times 16}{2 \times 14} = 1.71$ ，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  $\frac{\text{氧}}{\text{氮}} = \frac{5 \times 16}{2 \times 14} = 2.85$ ，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。这是因为在硝化过程中，氧不只是用于形成硝酸盐，而且用于形成碳酸及水，而后者在反硝化过程中是不分解和产生氧的。

三、生化需氧量与化学需氧量 在前一段中，我们曾经说过，有机物质是污水污染的一个基本指标。但是污染污水的有机物质是极其多种多样的，我们很难对这些物质进行其各个组成元素的定量及定性分析。我们要用一个概括的指数来表示污水被有机物质污染的程度。

有机物质，在其氧化分解的过程中，要消耗一定数量的氧。由于污水中所含有的有机物质的性质及数量均不同，在其分解中所耗的氧量也有所不同，因此，我们就可以用在污水中的有机物质进行好氧分解过程中所耗的氧量，作为评定污水被有机物质污染程度的指数。这个指数称之为生物化学需氧量，简称为生化需氧量，其单位为毫克/升，俄文简写为 БПК。

可以看到，生化需氧量对有机物质只有定量关系，并无定性关系。

有机物质的好氧分解，一般分为二个阶段进行，第一个阶段为含碳氢的有机物质进行分解，而形成碳酸、水及氨气，第二个阶段则为硝化过程。在自然的条件下，全部完成这两个阶段，需时百日左右。这就是说，如欲求完全的生化需氧量需要 100 日，这样作在实际上有很大困难的。实际观测证明，在 20 日以后，氧化分解过程就进行的非常缓慢了。因此，经 20 日的氧化分解后，可以在实际上认为已经氧化分解完毕，所以 20 日的生化需氧量可作为完全的生化需氧量。

求定 20 日的生化需氧量，仍嫌时过长，而且又考虑到，好氧分解速度一般在开始时最快，五日內能降低 70%，为了加速测定时间，而且还能够达到一定的实际要求，因此一般以五日生化需氧量为准。俄文简写为 БПК<sub>5</sub>。

在  $t$  日內耗于氧化污水中有机物质的氧量  $X_t$  (或 БПК <sub>$t$</sub> ) 用下列公式求得：

$$X_t = L_0(1 - 10^{-k_1 t}) \quad (12-2)$$

式中  $L_0$ ——污水最初的完全生化需氧量；

$k_1$ ——为有机物质氧化的耗氧系数。

而经氧化  $t$  日后，污水中残余的生化需氧量，则用下列公式求之：

$$L_t = L_0 - X_t = 10^{-k_1 t} L_0 \quad (12-3)$$

① 公式推导见第十四章第三节。

生活污水及在性质上接近于生活污水的工业废水，其一日生化需氧量为完全生化需氧量的21%，而五日生化需氧量则为68%。

实验证明，每人每日通过排水沟道排出的有机物质，其完全生化需氧量(БПК<sub>20</sub>)为40克。

工业废水的 БПК 值各不相同。有一些工业废水根本不含有机物质，所以 БПК 等于零，而另外一些工业废水的 БПК 值却比生活污水的 БПК 值大很多倍。例如制药厂废水的 БПК<sub>5</sub> 为 2700 毫克/升；焦炭化学工厂废水的 БПК<sub>5</sub> 为 4000 毫克/升；人造橡胶工厂废水的 БПК<sub>5</sub> 为 30000 毫克/升；用泥炭作原料的煤气发生站废水的 БПК<sub>5</sub> 为 20000 毫克/升。

将工业废水排入城市排水沟道中对污水的 БПК 值有极大影响。混合污水的 БПК 值可按下列式计算：

$$L_{\text{混}} = \frac{L_{\text{生}}Q_{\text{生}} + \sum L_{\text{工}}Q_{\text{工}}}{Q_{\text{生}} + \sum Q_{\text{工}}} \text{ 毫克/升} \quad (12-4)$$

式中  $L_{\text{混}}$ ——混合污水的 БПК<sub>5</sub> 值 (克/米<sup>3</sup>)；

$L_{\text{生}}$ ——生活污水的 БПК<sub>5</sub> 值 (克/米<sup>3</sup>)；

$L_{\text{工}}$ ——工业废水的 БПК<sub>5</sub> 值 (克/米<sup>3</sup>)；

$Q_{\text{生}}$ ——生活污水的流量 (米<sup>3</sup>/日)；

$Q_{\text{工}}$ ——工业废水的流量 (米<sup>3</sup>/日)。

混合污水的 БПК 值也可按下式计算：

$$L_{\text{混}} = \frac{N_1 \cdot 40}{Q_{\text{生}} + \sum Q_{\text{工}}} \quad (12-5)$$

式中  $N_1$ ——城市的总折算人口，而

$$N_1 = N + \sum N_2$$

式中  $N$ ——城市的设计人口；

$N_2$ ——工业废水的当量人口。它是将工业废水的 БПК 总值折算成形成等量 БПК 值的人口数。

当量人口可按下列式求得：

$$N_2 = \frac{L_{\text{工}} \cdot Q_{\text{工}}}{40}$$

式中  $L_{\text{工}}$ ——工业废水的 БПК<sub>5</sub> 值 (克/米<sup>3</sup>)；

$Q_{\text{工}}$ ——工业废水的流量 (米<sup>3</sup>/日)；

40——每人每日的 БПК<sub>5</sub> 值 (克/人·日)。

苏联专家 H. A. 巴加金娜在经过长期的试验证明，细菌参与有机物质氧化分解的结果是将一部分有机物质作为其本身生活的能源，而将另一部分则作为自身繁殖分裂的能源。生化需氧量所表示的只是耗于氧化作为细菌生活能源的那部分有机物质的氧量，并不能表示全部的氧量。

H. A. 巴加金娜教授建议，用耗于氧化有机物质的全部氧量，作为评定污水被有机物质污染程度的指数，这个指数称为化学需氧量，俄文简称为 ХПК。

ХПК 与 БПК 之间之差即为耗于氧化作为细菌自身繁殖分裂能源部分有机物质的氧量。

试验结果表明,生活污水的 БПК 占 ХПК 的86%。某些工业废水的这二个指数之间的差是较大的。例如皮革工业废水, БПК 占 ХПК 的58.9%, 而肉类加工废水的 БПК 仅为 ХПК 的 27.7% (图12-3)。

根据以上所述来看,用化学需氧量是能够更确切的表示污水,特别是工业废水被有机物质污染的程度。

四、污水的稳定度 污水的稳定度就是污水中氧的含量与污水的完全生化需氧量之比。用公式表示如下:

$$S = \frac{O}{L_a} 100\%$$

式中 O——以溶解氧、亚硝酸盐和硝酸盐的形式储存在污水中的氧量(毫克/升);

$L_a$ ——污水的完全 БПК 值(毫克/升)。

$S < 100$ , 就是说,水中氧的含量不能满足有机物质全部氧化的需要,而最后总要有一部分有机物质需要在厌氧菌作用下发生腐化。 $S$  值愈小,污水中将腐化的有机物质便愈多,而且开始腐化的时间便愈早。 $S$  值愈大,有机物质被氧化的愈多。

我们还要求出相应于各稳定度的腐化开始的时间。由于水中的氧都用于氧化有机物质,于是

$$O = x = L_a - L_t = L_a(1 - 10^{-k_1 t}),$$

式中 O——水中氧的含量;

x——被氧化的有机物质所消耗的氧量(亦即水中所含的全部氧量);

$L_a$ ——污水在开始氧化时的完全的 БПК 值;

t——氧化(需氧分解的那部分有机物质)所需的时间,也就是全部消耗完水中的氧所经历的时间;

$L_t$ ——进行腐化的那部分有机物质的完全的 БПК 值。

因为

$$S = \frac{O}{L_a} 100\%$$

所以

$$S = 100(1 - 10^{-k_1 t})\% \quad (12-6)$$

这公式所示为稳定度与开始发生腐化的时间的关系。利用上式编成表 12-2。计算时水温采用 20°C,  $k_1 = 0.1$ 。

从表 12-2 可知,  $S = 50$  时,则污水三天后开始腐化;  $S = 80$  时,则 7 天后开始腐化;  $S = 99$  时,则 20 天后开始腐化;  $S = 100$  时,则污水便永不腐化。

因为有机物质是在微生物的作用下进行分解的,所以当测定稳定度及开始腐化的时间

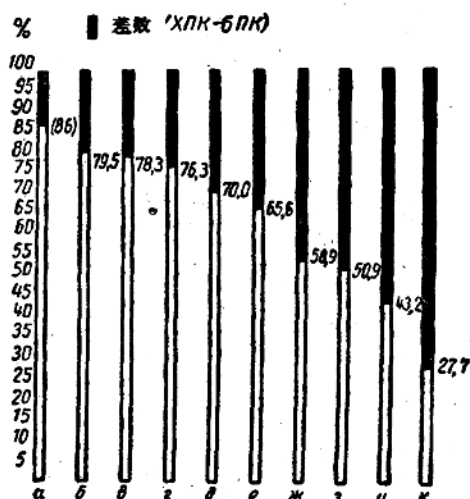


图12-3 各种污水的ХПК与БПК<sub>20</sub>之比较

a—生活污水; б—小便; в—苏联考什霍夫污水处理厂的生活污水; г—酒精; д—洗衣房的污水; e—沐浴污水; ж—皮革厂废水; з—含酚废水; и—含糖的废水; к—屠宰场的废水

时，必须注意水样是否适宜于细菌生长繁殖。

表12-2

t	s	t	s	t	s	t	s
(日)	(%)	(日)	(%)	(日)	(%)	(日)	(%)
0.5	11	3	50	8	84	13	95
1.0	21	4	60	9	87	14	96
1.5	30	5	68	10	90	15	97
2.0	37	6	75	11	92	18	98
2.5	44	7	80	12	94	20	99

五、污水的反应(pH值) pH值也是污水污染指标之一。污水的pH值对污水处理及综合利用工作是有着重大的实际意义的，它对污水沟管、污水处理以及水体自净等都有极大的影响，这些影响可以概括为下列几方面：

(1)排水沟管及污水处理构筑物以及工业废水回收设备多为混凝土造。具有强酸性的废水对其有腐蚀作用。

(2)pH值对细菌的繁殖活动有很大关系，因此会影响到污水处理及水体自净的生化过程。

(3)pH值对水中生物的生长繁殖也有关系。

由于pH值具有以上这些影响，所以被列为检验污水水质的重要指标之一。

生活污水一般呈弱碱性，其pH值介于7.2—7.6之间。

工业废水的pH值差别极大。呈强酸性及强碱性反应的工业废水很多，此外工业废水的pH值还经常变化，应当掌握其变化规律，以采取相应措施。

六、污水的细菌污染 1毫升污水中的细菌数要以千万计。其中大部分是寄生在已丧失生活机能的有机体上，这些细菌是无害的；另一部分细菌如霍乱菌、伤寒菌、痢疾菌等则寄生在有生活机能的活的有机体上，它们是有损于人、畜的。

确定污水中各种细菌的含量(细菌分析)是一项很复杂的工作，在污水处理工程中，用两种指标表示水被细菌污染的程度：

1. 利用1毫升水中细菌(杂菌)的总数表示。

2. 利用水中的大肠菌多寡表示。水中含有大肠菌，即说明其已被粪便污水所污染。水中大肠菌的多寡可用大肠菌值及大肠菌指数表示。大肠菌值是含有一个大肠菌的最少水量的毫升数。例如，大肠菌值为10时，就是发现一个大肠菌的最少水量是10毫升。污水的大肠菌值往往等于或小于0.000001，大肠菌指数是每升水中含大肠菌的总数。

七、污水中的有毒物质与有用物质 生活污水一般是不含有有毒物质的，但工业废水含有的某些污染物质却是对人及生物有害的有毒物质。例如机械加工工业废水所含有的氰化物是一种剧毒的物质，它属于呼吸毒物类，能阻止人及动物体内组织吸收血液中的氧。再如铅也是一种工业毒物，因为铅能聚积在生物体内，而引起中毒。砷也是一种剧毒的物质，它能使生物发生心脏麻痺。此外，象固体燃料热加工工业废水中所含有的酚类化合物，也是一种危险的物质，它能使生物体内的蛋白凝结，因之对人及动物都是有害的。酚类化合物对鱼类的危害性也很大。试验结果表明，水中含酚量在0.05—0.1毫克/升时鱼

即陷于昏迷状态，而浓度高到0.5—1.0毫克/升时，鱼即死亡。

还有一些物质，其在工业废水中的浓度并不足以危害人及动物的健康，但却对天然水体的生化过程有影响，例如铜及铬就是这样的物质。试验的结果判明，当铜的含量在100毫克/升时，生化作用的细菌即不进行繁殖，而铬在浓度在0.25毫克/升时，就要抑止硝化过程。

工业废水中所含有的有毒物质，实际上又是宝贵的有用物质。氰化物是用氰化法制取贵金属金和银的重要原料。酚则是常用的防腐剂及消毒剂。从工业废水中提取回收的粗酚也还可以作为制造塑料的贵重原料。铬是镀铬所必需的物质。此外象铅、铜、锌、镍等都是宝贵的有色金属，而酸、碱等又是不可缺少的工业原料。这些物质在工业废水中的数量是极为可观的，如能完全回收，则是一笔极大的财富。

在生活污水中含有相当数量的象氮、磷、钾等一类的肥料物质。根据北京市的污水水质分析资料看来，在1000米<sup>3</sup>的生活污水中含有氮肥75公斤，磷肥7公斤，钾肥18公斤。又根据苏联多年的经验，每人每年通过排水沟道所排出的氮为3.2公斤，磷0.7公斤，钾1公斤。这些肥料用之于农业，它所创造的财富是极可观的。

八、污水的放射性物质污染 由于和平利用原子能事业的开展，出现了一种新型的含有放射性物质的废水。这种废水由于含有放射性元素的关系，对人及牲畜是有危害的，危害的程度则取决于在废水中放射性元素的浓度。放射性物质的浓度以居里表示，每1居里=1000000微居里。

放射性物质可能通过口、鼻、皮肤和伤口进入人体，尤其易于随食物而进入人体。放射性物质进入人体后，就会使内部器官不断地受到射线的作用。这个作用的强弱，要看被吸收的放射性物质的分量、性质及其在人体中的分布情况而定。

放射性物质在人体内作用的时间，又取决于其半衰期；例如磷<sup>32</sup>(P<sup>32</sup>)的半衰期为15天，其作用期不长，即使每天摄入人体0.5微居里，也不会超过允许剂量。此外，象镭的半衰期为1622年，即或每日摄入体内的数量极微，也能累积在身体中，而超过允许剂量。

表12-3为某些放射性同位素停留在人体内的允许剂量。

表12-3

同位素名称	半衰期	停留人体内最高允许剂量 (微居里)	同位素名称	半衰期	停留人体内最高允许剂量 (微居里)
氢 <sup>3</sup> (H <sup>3</sup> )	12.4年	10 <sup>4</sup>	钴 <sup>60</sup> (Co <sup>60</sup> )	5.27年	3
钠 <sup>24</sup> (Na <sup>24</sup> )	15 小时	15	锶 <sup>90</sup> (Sr <sup>90</sup> )	19.9 年	2
磷 <sup>32</sup> (P <sup>32</sup> )	14.3天	10	碘 <sup>131</sup> (I <sup>131</sup> )	8.1天	0.3
硫 <sup>35</sup> (S <sup>35</sup> )	87.1天	100	钋 <sup>210</sup> (Po <sup>210</sup> )	138 天	0.007
钙 <sup>45</sup> (Ca <sup>45</sup> )	164 天	65	镭 <sup>226</sup> (Ra <sup>226</sup> )	1622 年	0.1
铁 <sup>59</sup> (Fe <sup>59</sup> )	45.1天	11	铯 <sup>137</sup> (Cs <sup>137</sup> )	24.4年	0.04



## 第十三章 污水处理与利用的原则及其方法

### 第一节 污水处理与利用的任务

经过前一章的讨论，我们看到，无论是生活污水或是工业废水，如不经处理，任其排放于附近河道或其他水体，就会恶化环境、傳染疾病、污染水源、毒害鱼类。不仅严重地危害人民的的生活和健康，而且还影响到国家的经济建设。因此，从保障劳动人民的健康，保证水体的经济价值出发，污水在排放前应当加以处理，变有害为无害。同时，我们又看到，污水中所含有的“有害物质”和“有毒物质”也是有用物质。工业废水所含有的物质都是宝贵的工业原料，生活污水则含有大量的肥料物质。这部分物质如经回收、利用，不仅可以消除水体被污染的威胁，而且还能为国家创造财富，化消极因素为积极因素。

我国某些城市积极地进行了利用污水灌溉农田的试验工作，并取得了优异的结果。1958年10月建筑工程部在济南、北京两地召开了全国城市污水灌溉农田的现场会议，总结并交流了各地所取得的经验，进一步提高和推广了污水灌溉的经验和研究成果。

由于工业的迅速发展，工业废水的处理问题，便提到日程上来了。因此全国各地在工业废水处理方面都进行一些工作，取得一定的成绩。

1959年12月，建筑工程部、农业部及卫生部在武汉召开了全国工业废水处理及污水综合利用现场会议。在这次会议上除了总结、交流经验以外，主要明确了工业废水及生活污水的处理方针与办法。

这次会议明确，污水处理的方针是变有害为无害，充分利用。生活污水应尽可能用于灌溉农田、养鱼、养殖藻类、海带等水生生物，并通过污水的利用达到处理的目的。这样既可以大大地节省污水处理的建设投资和经营管理费用，同时又能提高农作物的产量。

工业废水的处理方法是：就地回收、因地制宜、适当处理、充分利用。

就地回收就是，尽可能在企业内部进行回收废水中的工业原料；因为在企业内部容易控制废水的水质、水量，回收技术也易于解决。

因地制宜、适当处理就是，应根据不同要求和具体情况来确定处理标准，以保证变有害为无害，对处理方法和技術，也要根据具体条件安排得当。

充分利用，是工业企业应尽量重复利用废水，以节约用水，减少废水的排出量，同时也应当考虑工业废水在农业上利用的可能性。

根据我国各地所取得的初步经验看来，污水利用的道路是相当广阔的。我国各地区一般都适于用污水进行灌溉农田。绝大部分作物都获得丰产，尤以蔬菜为最。用污水养鱼也是完全可行的，不仅收效大，成长快，而且节省饲料人力，降低成本，通过利用也达到了处理污水的目的。此外，在沿海地区用污水养殖海带，也取得了很好的成果。利用污水养藕、养殖小球藻、水浮莲等水生植物，效果也极良好。

近几年来，我国在污泥利用方面也进行了一些工作。污泥是很好的农田肥料。经厌氧发酵后，污泥还可以产生沼气、沼气的用途很广泛，可用作燃料和动力。污泥还可以进行