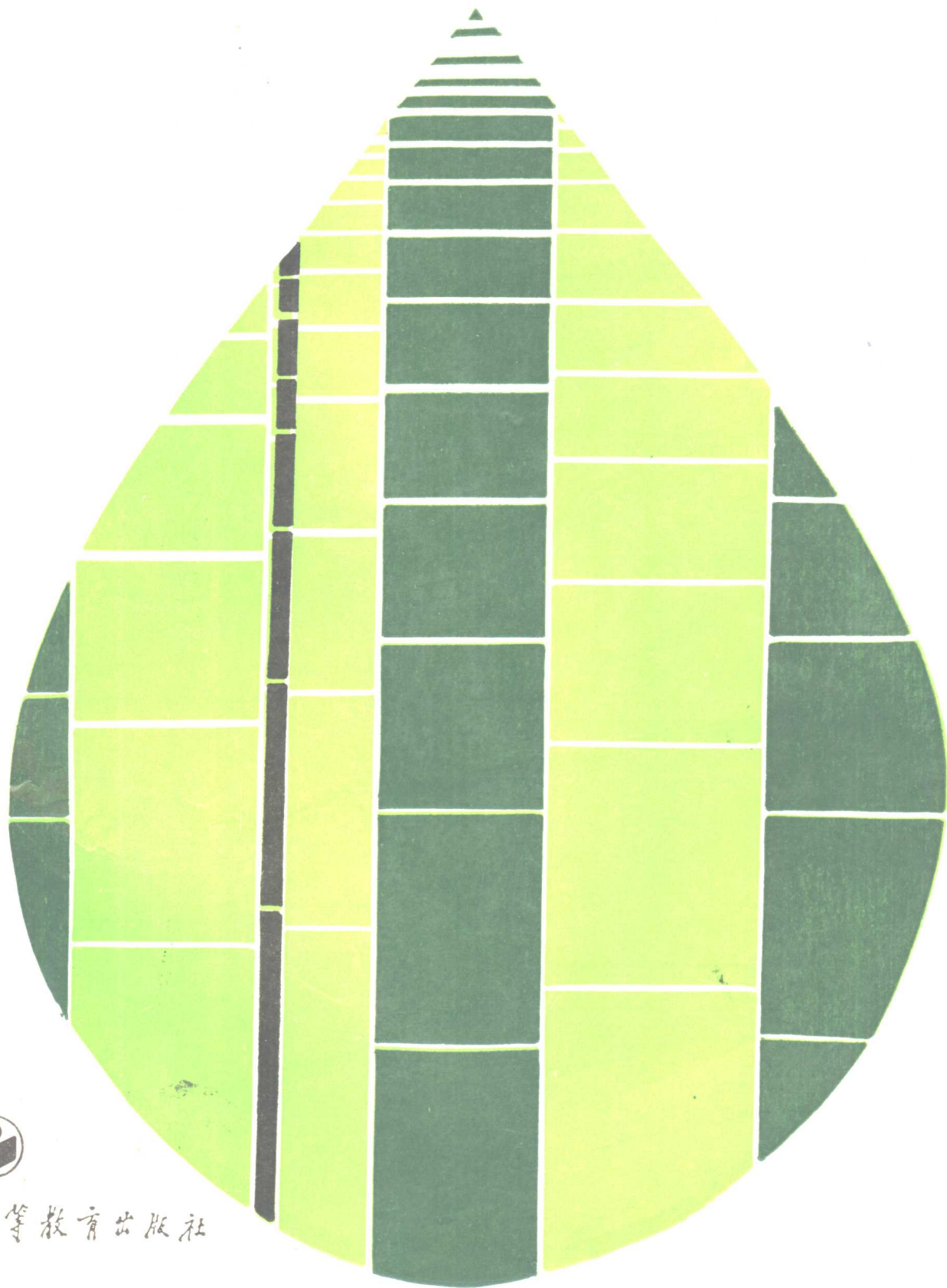


高等学校试用教材

高廷耀 主编

# 水污染控制工程

【下册】 SHUI WURAN KONGZHI GONGCHENG



高等教育出版社

2  
12

高等学校试用教材

# 水污染控制工程

下 册

高廷耀 主编

高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍水处理部分。包括水体的污染和自净,水的物理处理、化学处理、物理化学处理、生物处理、污泥处理和给水、污水处理厂的规划设计等。

高等学校试用教材

### 水污染控制工程

下 册

• 高廷耀 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京顺义县印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张30 字数710 000

1989年10月第1版 1989年 10月第1次印刷

印数0001— 2 960

ISBN7-04-002127-7/K·101

定价 7.10元

## 前 言

本书是高等工业学校环境工程专业的教学用书，供多学时（120学时）教学之用，也可供给排水专业教学使用和有关工程技术人员阅读参考。

全书分两册。上册主要介绍管道系统部分，包括污水沟道系统、雨水沟道系统和给水管道系统的规划。本书是下册，主要介绍水处理部分，包括水体的污染和自净、水的物理处理、化学处理、物理化学处理、生物处理、污泥处理和给水、污水处理厂的规划设计等。

下册部分由蔡不忒（第八、九、十、二十章）、赵俊英（第十一、十二章）、秦麟源（第十三章）、章非娟（第十五章）、顾国维（第十六章）、高廷耀（第十四、十七、十八、十九、二十二和第十六章的第六、七节）、许建华（第二十一章）等同志编写，由高廷耀担任主编。

由于我们的理论和实践水平的限制，本教材并不成熟，还可能有一些错误，热忱希望读者提出批评和意见。

# 目 录

第二篇 水的处理..... ( 1 )	
第八章 水质指标和废水出路..... ( 1 )	
第一节 废水水质指标、水量及其测定..... ( 1 )	
第二节 废水出路概述..... ( 12 )	
第九章 水体的自净和水质模式..... ( 15 )	
第一节 水体的污染及水体自净..... ( 15 )	
第二节 废水排放至湖泊、河口、海洋的基本概念..... ( 21 )	
第十章 水环境标准和水污染治理..... ( 26 )	
第一节 水环境标准..... ( 26 )	
第二节 水污染治理及控制规划..... ( 30 )	
第三节 废水的处理方法..... ( 31 )	
第十一章 水的物理处理 (一)——隔滤法和离心法..... ( 34 )	
第一节 格栅..... ( 34 )	
第二节 筛网及捞毛机..... ( 41 )	
第三节 过滤..... ( 45 )	
第四节 离心分离..... ( 75 )	
第十二章 水的物理处理 (二)——澄清法..... ( 84 )	
第一节 沉淀..... ( 84 )	
第二节 沉砂池..... ( 100 )	
第三节 沉淀池..... ( 107 )	
第四节 隔油和破乳..... ( 132 )	
第五节 上浮法..... ( 139 )	
第十三章 废水生物处理的基本概念和生化反应动力学基础..... ( 166 )	
第一节 微生物的新陈代谢和底物的降解..... ( 166 )	
第二节 生物酶..... ( 169 )	
第三节 微生物的营养..... ( 171 )	
第四节 微生物的呼吸..... ( 172 )	
第五节 废水的好氧生物处理和厌氧生物处理..... ( 174 )	
第六节 微生物的生长规律..... ( 176 )	
第七节 微生物生长的环境影响..... ( 180 )	
第八节 反应速度和反应级数..... ( 183 )	
第九节 米歇里斯-门坦 (Michaelis-Menten) 方程式..... ( 187 )	
第十节 莫诺特 (Monod) 方程式..... ( 191 )	
第十一节 废水生物处理工程的基本数学模式..... ( 193 )	
第十四章 自然条件下的生物处理..... ( 197 )	
第一节 概述..... ( 197 )	
第二节 废水灌溉和土壤处理..... ( 197 )	
第三节 生物塘..... ( 199 )	
第十五章 废水的好氧生物处理 (一)——生物膜法..... ( 204 )	
第一节 生物滤池..... ( 204 )	
第二节 生物转盘..... ( 224 )	
第三节 生物接触氧化法..... ( 231 )	
第十六章 废水的好氧生物处理 (二)——活性污泥法..... ( 236 )	
第一节 基本概念..... ( 236 )	
第二节 曝气原理和曝气池..... ( 240 )	
第三节 活性污泥法的发展和演变..... ( 254 )	
第四节 活性污泥法的设计计算..... ( 266 )	

第五节 活性污泥法设计和运行中 的一些重要问题.....	(276)	第三节 污泥浓缩.....	(356)
第六节 活性污泥的膨胀和 控制.....	(283)	第四节 污泥脱水.....	(362)
第七节 二次沉淀池.....	(286)	第五节 污泥调节.....	(372)
第十七章 废水的厌氧生物 处理.....	(291)	第六节 污泥的稳定.....	(375)
第一节 厌氧生物处理的基本 原理.....	(291)	第七节 污泥的管道输送.....	(395)
第二节 厌氧生物处理方法的 发展.....	(292)	第八节 固体物料平衡.....	(397)
第三节 厌氧生物处理的设计.....	(298)	第二十一章 循环冷却水的冷却 和处理.....	(407)
第十八章 水的化学处理.....	(302)	第一节 工业冷却水的冷却.....	(407)
第一节 化学混凝法.....	(302)	第二节 湿式冷却塔分类、构造和 水的冷却机理.....	(412)
第二节 中和法.....	(310)	第三节 敞开式循环冷却水系统的 水质控制.....	(420)
第三节 化学沉淀法.....	(315)	第四节 循环冷却水系统的结垢 和腐蚀.....	(423)
第四节 氧化还原法.....	(319)	第五节 循环冷却水系统的 阻垢.....	(442)
第十九章 废水的物理化学 处理.....	(326)	第六节 循环冷却水系统的 缓蚀.....	(453)
第一节 吸附法.....	(326)	第二十二章 给水和废水处理 厂的设计.....	(461)
第二节 离子交换法.....	(330)	第一节 厂址选择.....	(461)
第三节 萃取法.....	(337)	第二节 处理工艺流程的选择.....	(462)
第四节 膜析法.....	(344)	第三节 处理厂的平面布置.....	(464)
第二十章 污泥的处置.....	(350)	第四节 处理厂的高程布置.....	(466)
第一节 污泥问题概述.....	(350)	附录 工业废水和城市污水的 排放标准.....	(472)
第二节 污泥的来源、性质和 数量.....	(353)		

# 第二篇 水的处理

## 第八章 水质指标和废水出路

### 第一节 废水水质指标、水量及其测定

废水是雨水、工业废水和生活污水的总称。废水的水质概括起来有化学、物理、生物学性质三个方面，并通过不同的指标定性定量地反映，这些指标称为水质指标。研究和检验水质指标的措施有①研究和控制污水的处理，处理方法及过程；②检查和控制处理构筑物的工作效果；③研究废水同接受废水的外部环境之间的矛盾；④进行水质管理等。

#### 一、废水的物理、化学、生物学性质指标概述

废水的性质因所含的污染物不同而不同，污染物的多种多样使水质指标也多种多样。从实际应用考虑，检验的项目应当易于用现实可行的方法作出定量的测定，同时又能说明情况。指标有时可以直接用污染物（如酚、汞等）来表示，但更多情况下没有必要也很难用污染物的名称来反映废水的性质，而是用一个或多个间接或综合性指标来反映某类污染物的多少（属于这类指标的有pH值、色度、生物化学需氧量等），从而使指标既能满足实际工作的需要，又易于检验。

最常用、最基本的指标有生物化学需氧量、化学需氧量、悬浮固体等。

#### 二、生物化学需氧量（BOD）

生物化学需氧量通常简称为生化需氧量，以BOD作符号（它是Biochemical Oxygen Demand的略写）。生化需氧量是一个反映水中可生物降解的含碳有机物的含量以及排到水体后所产生的耗氧影响的指标，它并不反映具体的（某一种的）有机物的含量，而只间接地反映能为微生物分解的有机物的总量。

由微生物学可知，水中可为微生物降解的有机物，可在好氧性微生物的作用下分解。微生物在分解这些有机物过程中消耗了水中的溶解氧，因此在一定条件下消耗的溶解氧的量，可反映被微生物分解的有机物的量。这个溶解氧的量就称为生化需氧量。

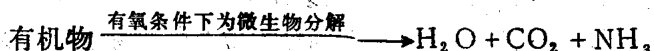
微生物分解有机物的速度与温度有关，温度较高时，分解较快，反之则较慢。因此微生物分解有机物的量以及在这过程中所消耗的溶解氧量与温度有关，即生化需氧量是在一定温度下的生化需氧量。微生物分解有机物的量也与时间有关。在一定温度及氧充分且有足够的可供分解的有机物条件下，分解时间长，被分解的量就多，因而生化需氧量也高。通常以20°C为温度的控制条件，以五天为时间控制条件，即微生物在20°C条件下，对有机物经过五天的分解，有机物分解前后水中溶解氧的差值称为五天20°C的生化需氧量，以BOD<sub>5</sub>(20°C)来表示(但一般简称为五天生化需氧量，用BOD<sub>5</sub>表示)。当然也可以在其它温度条件下，时间也可以不是五天，但是为使数据有可比性，同一批测试的条件应当相同，也应当与别的来源的BOD数据的测试条件相同，否则就无法比较了。

城市污水的BOD<sub>5</sub>测定方法如下：(1)选择一组不同的稀释比，对水样稀释，分别测出稀释后水样的溶解氧浓度；(2)将水样(稀释后的)注入培养瓶，加盖和加上水封后置于恒温箱内(保持20°C)，要保证空气中的氧不进入水样；(3)水样在恒温箱内保持五天后取出，再分别测定剩余的溶解氧；(4)计算五日生化需氧量。对不含有毒物水样，有合适的稀释比的培养样品，其计算得的BOD<sub>5</sub>值应一致。稀释比的选定是相当重要的；稀释比太低，会出现测不出结果的情况。

测定工业废水的BOD<sub>5</sub>常要投加经过驯化的微生物(称为“接种”)。这是因为如果工业废水中含有毒物质时，会对微生物的活动产生抑制作用，从而影响了有机物的分解。

生化需氧量这一指标反映了有机物进入水体以后消耗溶解氧的情况。当水中有大量有机物存在时，将因分解有机物而使溶解氧大幅度下降。如果溶解氧的消耗使其浓度下降到一定值时，则会对鱼类等水产的生活不利，从而影响渔业生产。溶解氧再下降至零时，不仅鱼类难以生活，好氧微生物也将为厌氧的微生物所代替。在这种情况下，水体将散发臭气，变黑(此即所谓的黑臭现象)，从而使水体的价值下降，功能大受影响。

有机物的组成中，碳和氧是两个重要元素。在有氧条件下的分解：



所产生的NH<sub>3</sub>可进一步被氧化为亚硝酸盐，硝酸盐。但后一过程比较慢，因为参与后一反应的微生物繁殖比较慢，一般要6—10天才繁殖到相当数量。习惯上把前一阶段消耗的氧(可认为只反映分解有机物为二氧化碳、水及氨氮所消耗的氧)称为第一阶段生化需氧量，或碳化阶段需氧量，而把后一阶段消耗的氧称为第二阶段生化需氧量，或硝化阶段需氧量。

生化需氧量与时间、温度之间的关系可以用数学公式定量地表达。如果以L代表水中的有机物量，用BOD表示，t代表反应时间，且认为有机物的降解反应是一级反应，即有机物的变化速率与剩余的有机物的浓度成正比，则用数学式表示可为：

$$\frac{dL_t}{dt} = -KL_t \quad (8-1)$$

式中：L<sub>t</sub>——在t时刻水中剩余的第一阶段的BOD；

K——反应速率常数，d<sup>-1</sup>。

上式积分后可得



$$\frac{L_t}{L_0} = e^{-kt} = 10^{-kt} \quad (8-2)$$

式中的  $L_0$  为开始时水中的BOD。根据 (8-2)，任何时刻的水中剩余BOD为：

$$L_t = L_0 10^{-kt} \quad (8-3)$$

从而可求得经  $t$  时间反应消耗的溶解氧 ( $BOD_t$ ) 为：

$$BOD_t = L_0 - L_t = L_0 (1 - 10^{-kt}) \quad (8-4)$$

式中的  $k = K (2.303)^{-1}$ 。经验表明，在  $T = 20^\circ\text{C}$  及有充足的溶解氧和经驯化的微生物量时， $k = 0.1 \text{d}^{-1}$ 。如果  $t = 5 \text{d}$ ，则

$$BOD_5 = L_0 - L_5 = 0.68 L_0 \quad (8-5)$$

即  $20^\circ\text{C}$  时的五天生化需氧量为第一阶段生化需氧量的68%。当温度变化时， $k$  值也就不同。 $k$  值与温度有如下的关系：

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (8-6)$$

当  $T = 10^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$  时， $\theta$  可取为 1.047。

进行一定的试验，求得不同  $t$  时的  $BOD_t$  值以后，可以用托马斯 (Thomas) 方法求得  $k$ 、 $t$ 、 $L_0$  及  $BOD_t$  之间的关系，所用到的公式是：

$$\left( \frac{t}{BOD_t} \right)^{1/3} = (2.3kL_0)^{-1/3} + \frac{k^{2/3}}{3.43L_0^{1/3}} \cdot t \quad (8-7)$$

例：经试验得出如下一组数据

$t$ (d)	2	4	6	8	10
$BOD_t$ (mg/l)	11	18	22	24	26

求： $L_0$ 、 $k$ 。

解：1. 式 (8-7) 可变换为

$$Z = a + bt$$

其中

$$Z = \left( \frac{t}{BOD_t} \right)^{1/3}$$

$$a = (2.3kL_0)^{-1/3}$$

$$b = \frac{k^{2/3}}{3.43L_0^{1/3}}$$

从而可得

$$k = 2.61 \frac{b}{a}$$

$$L_0 = \frac{1}{2.3ka^3}$$

2. 以  $\left( \frac{t}{BOD_t} \right)^{1/3}$  及  $t$  作图，先求得  $\left( \frac{t}{BOD_t} \right)^{1/3}$ 。

$t$ (d)	2	4	6	8	10
$BOD_t$ (mg/l)	11	18	22	24	26

$$\left(\frac{t}{\text{BOD}_t}\right)^{1/3} \quad 0.57 \quad 0.61 \quad 0.65 \quad 0.69 \quad 0.727$$

将以上数据点绘成图 (图8-1)

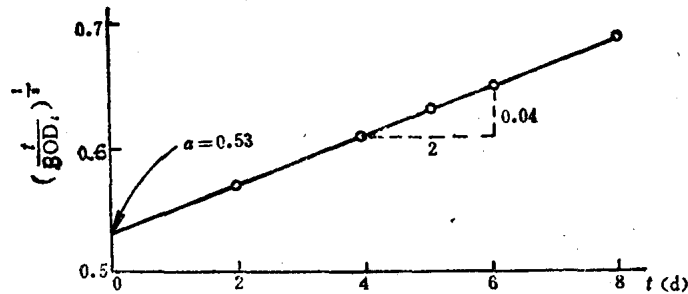


图8-1 按托马斯法计算 $k$ 和 $L_0$ 。

3. 由此图可求得

$$b = \frac{0.04}{2} = 0.02$$

$$a = 0.53$$

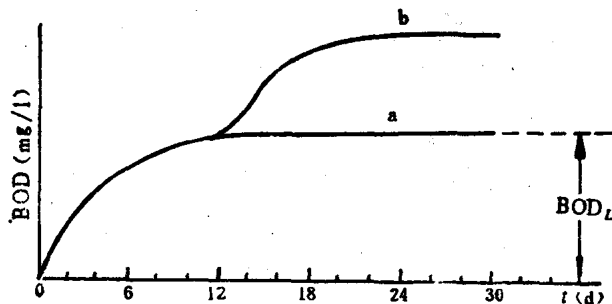
4. 计算 $k$ 、 $L_0$ 。

$$k = 2.61 \frac{0.02}{0.53} = 0.099 \approx 0.1$$

$$L_0 = \frac{1}{2.3 (0.099) (0.53)^3} = 29.4 \text{ (mg/l)}$$

所求得的 $k$ 值在实践上和科研上是有意义的。实际上BOD值不仅与温度、时间有关，也与 $k$ 值有关。由于一些操作条件的不同（如接种量，稀释后水样中的溶解氧值等）会使 $k$ 值不同， $k$ 值也反映了有机物降解的难易。因此，即使温度，时间相同，但由于操作条件不完全相同，也使 $k$ 值不同，同样废水的BOD值也会不同，使数值难以比较。

第二阶段的生化需氧量的情况也可以用与第一阶段相似的数学式表达，第一阶段与第二阶段生化需氧量与时间的关系见图8-2：



(a) 有机物氧化的典型曲线(碳化) (b) 复合曲线(碳化+硝化)

图8-2 BOD曲线

注：图中 $\text{BOD}_L$ 为反应时间足够长所测得的BOD。

### 三、化学需氧量

BOD<sub>5</sub>这一指标在排水工程实践中一直被应用，但这个指标有它的一些缺点：（1）对于某些工业废水，为排除对BOD测定的干扰和影响，必须进行水样的预处理并要有一定量有活性并经过驯化的菌种；（2）它只能反映水中可生物降解的有机物；（3）要花比较长的时间。因此，就产生了一些其它指标，用以反映水中有机物的量。其中最重要的是化学需氧量（Chemical Oxygen Demand），以COD作符号。化学需氧量可反映在一定条件下化学方法能氧化的有机物的量。它是在高温、有催化剂以及强酸环境等条件下，强氧化剂氧化有机物所消耗的氧的量。所用的氧化剂为重铬酸钾，催化剂为硫酸银，用浓硫酸提供强酸性环境。这个氧化反应不受有机物是否能为微生物分解的影响，因而也能氧化为微生物无法分解氧化的有机物，所以COD值比BOD<sub>5</sub>值高。

COD值可分为可生物降解的有机物的COD值（以COD<sub>B</sub>表示）和微生物不能分解的有机物的COD（以COD<sub>NB</sub>表示）两部分，即

$$\text{COD} = \text{COD}_B + \text{COD}_{NB} \quad (8-8)$$

COD测定能反映几乎所有有机物，但是一些难分解的有机物（如苯等）在COD的测定条件下也无法被氧化；另一方面，废水中的还原剂、氧化剂会影响COD的值，使结果偏高或偏低，因此，在测定时要注意排除干扰。

COD的测定过程中，要加热回流两个小时，测定所花的时间仍较长。因而也有只需更短时间加热和反应的测定方法，即以高锰酸钾为氧化剂、加热30分钟的测定方法，这种方法测定的结果用OC（或用COD<sub>Mn</sub>）表示。这种方法所用的反应，氧化深度自然不及前面介绍的方法，即同一废水的COD值（有时用COD<sub>C</sub>表示，以示区别）和OC（COD<sub>Mn</sub>）值不同，前者大于后者，但是对一种废水来说，如能建立BOD<sub>5</sub>与上述两个值的关系（尤其是与COD<sub>Mn</sub>的关系），那么从提高工作效率的角度来看，OC（或COD<sub>Mn</sub>）的测定不失为一个简便的方法。

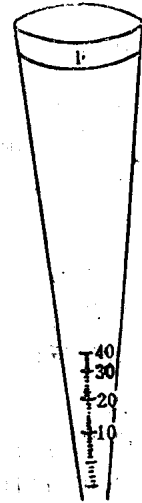
随着仪器分析的发展，为快速测定有机物的氧当量，还不断地提出了其他的一些指标如（TOC, TOD等），但这些指标的检验都需要比较昂贵的仪器，也不能真正反映有机物对水体耗氧的影响，多用于进行理论研究。所以尽管有不少的方法可以反映有机物的氧当量，尽管BOD<sub>5</sub>有不少的缺点，但从水中有机物对水体的影响角度来看，还没有比BOD<sub>5</sub>更好的指标，BOD<sub>5</sub>仍被广泛地应用。

### 四、悬浮固体（Suspended Solid, 简称SS）

悬浮固体是水中未溶解的非胶态的固体物质，它们在条件适宜时可以沉淀。测定SS时，一般可采集一定体积的废水，用过滤法截留悬浮固体，以过滤介质截留悬浮固体前后的重量差作为悬浮固体的量（为求精确起见，还要用蒸馏水洗去固体上可能挟带的无机的溶解性盐类等物质），折成每升水样的含悬浮固体量（mg/l）。

在处理废水时，常用简单的沉淀方法从废水中去除悬浮固体。由于悬浮固体本身的沉淀性能及工程实际条件的限制，在实验室及处理设施中，简单的沉淀法不能去除全部悬浮固

体，而只有颗粒大的部分下沉。这部分沉下的固体叫做可沉固体。废水的可沉固体可以用沉淀锥（图8-3）测定。这是一个倒锥形玻璃容器，容积1升，锥尖刻有刻度表示容积。测定时，沉淀锥尖向下放在支架上，锥中放水样1升。沉淀一定时间后，废水中的可沉固体沉到锥尖成为污泥，污泥的量可从刻度上读出。可沉固体一般用ml/l计量，除去水分后也可以用mg/l计量，水样在沉淀锥中的沉淀时间，常采用废水流经沉淀池的时间，一般是1—2小时。



(8-8) 图8-3 沉淀锥

废水在沉淀锥中的沉淀条件同在沉淀池中不同，因而效果不一样，但是，在沉淀锥中沉淀下来的可沉固体的量基本上等于每升废水在沉淀池中形成的污泥量。

以上介绍了三个常用的水质指标。水质指标的检验结果是研究工作的基础，因此应当力求准确，按规范操作，同时亦应当设法校核。

根据研究，可认为

$$\text{COD} = \text{COD}_{\text{NB}} + \text{COD}_{\text{B}} \quad (8-8)$$

$$\text{COD}_{\text{B}} = 1.72\text{BOD}_5 \quad (8-9)$$

上面两式说明 $\text{BOD}_5$ 不应大于 $\text{COD}$ 。 $\text{COD}_{\text{NB}}$ 可以用实验的方法进行校核，从而进一步验证 $\text{COD}$ 、 $\text{BOD}_5$ 的值。对于不同浓度的同一废水，分别测定 $\text{COD}$ 、 $\text{BOD}_5$ ，可以作出 $\text{COD} \sim \text{BOD}_5$ 的关系图。

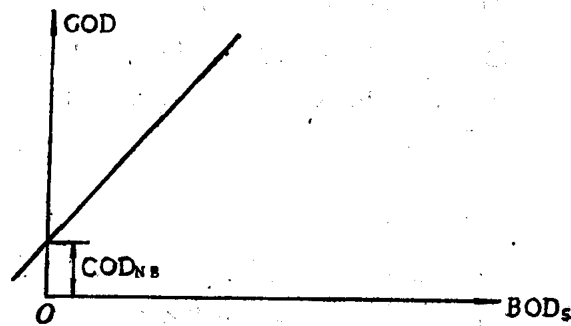


图8-4  $\text{BOD}_5 \sim \text{COD}$ 关系

图中在 $\text{COD}$ 轴上的截距即为 $\text{COD}_{\text{NB}}$ ，于是从 $\text{COD} = \text{COD}_{\text{NB}} + \text{COD}_{\text{B}}$ 可以求得 $\text{COD}_{\text{B}}$ ，并以 $\text{COD}_{\text{B}} = 1.72\text{BOD}_5$ 校核测定结果。

例：生活污水 $\text{COD} = 450\text{mg/l}$ ， $\text{BOD}_5 = 250\text{mg/l}$ ，生物处理后出水经过滤去除SS的 $\text{COD} = 65\text{mg/l}$ ， $\text{BOD}_5 = 25\text{mg/l}$ ，未经过滤的出水 $\text{COD} = 90\text{mg/l}$ ， $\text{BOD}_5 = 40\text{mg/l}$ ， $\text{SS} = 30\text{mg/l}$ ，SS中有机成份（称为挥发性悬浮固体，VSS）占60%。评论测试结果。

解：(1) 求入流的 $\text{COD}_{\text{NB}}$

$$\text{COD}_{\text{B}} = 1.72 \times \text{BOD}_5 = 1.72 \times 250 = 430 \text{ (mg/l)}$$

$$\text{COD}_{\text{NB}} = 450 - 430 = 20 \text{ (mg/l)}$$

(2) 求去除的 $\text{COD}_B$ 、 $\text{BOD}_5$ 及剩余的 $\text{COD}$

$$\text{去除的BOD}_5 = 250 - 25 = 225 \text{ (mg/l)}$$

$$\text{去除的COD}_B = 225 \times 1.72 = 387 \text{ (mg/l)}$$

$$\text{剩余的COD} = \text{COD}_{NB} + \text{剩余的COD}_B$$

$$= 20 + (430 - 387) = 63 \text{ (mg/l)} \text{ (可认为与实测值相等)}$$

(3) 未过滤的出水的数据的校核

理论分析表明, 每克生物处理后出水的VSS的氧当量为1.42g, 故:

$$\text{未过滤的出水的COD}_t = 63 + 30 \times 0.6 \times 1.42$$

$$= 88.6 \text{ (mg/l)} \text{ (可认为与实测值相等)}$$

$$\text{未过滤的出水的BOD}_5 = 25 + 30 \times 0.6 \times 1.42 \times \frac{1}{1.72}$$

$$= 39.8 \text{ (mg/l)} \text{ (可认为与实测值相等)}$$

故可认为实测的入流 $\text{COD}$ 、 $\text{BOD}_5$ , 出流 $\text{COD}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{SS}$ 、 $\text{VSS}$ 的测定可信。

如果能用实验方法和作图方法求得 $\text{COD}_{NB}$ , 将对 $\text{COD}_{NB}$ 作一个核对。

## 五、无机性水质指标

废水及天然水中的一些无机组分在水质控制中是很重要的因素。水体中无机物含量来源于两方面, 其一是地质上的原因, 水与地层的接触把无机组分带入水中, 其二是排放处理的或未处理的废水, 有无机物进入。水体中的无机物浓度往往因蒸发而提高, 由于无机物浓度会影响到水体的功能, 因此对于它们 (尤其是由于在生产过程中加入的无机物) 的性质要有所认识。

pH

对于天然水或是废水, pH都是一个重要的水质参数。对于微生物, 合适的pH值是非常关键的。在一定范围以外, 废水的生物处理是非常困难的, 另一方面如果在排放废水以前不调节pH值, 将会改变天然水体的pH值并带来一系列的不利影响。

pH是氢离子浓度的一种表示方法。水中的氢离子和氢氧根离子是紧密结合的, 离解时,



根据质量作用定律有

$$\frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = K \quad (8-11)$$

(上式中离子浓度以克离子每升计)。在稀溶液系统中, 水的浓度基本上是恒定的, 这个浓度以一个平衡常数来体现, 即

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (8-12)$$

$K_w$ 称为水的离子积, 在 $25^\circ\text{C}$ 时约等于 $1 \times 10^{-14}$ 。

pH是氢离子浓度的负对数

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] \quad (8-13)$$

如果用同一概念表示氢氧根离子浓度pOH, 则

$$pH + pOH = 14$$

(8-14)

由于各种指示剂各自能在某个pH值改变颜色，故可用于测定pH。

### 氯化物

这是另一个重要的指标。天然水中的氯化物来源于水与含氯的岩层的接触、海水的入侵以及农业、工业、生活污水的排放。

人类的排泄物中含有氯化物。一般约每人每天6克。如果地面水源硬度很高，软水设备也要排出大量氯化物。由于废水处理一般（除含大量氯化物的工业废水）不考虑去除氯化物，因此氯化物在不受海水入侵的天然水体中增高可反映水体中废水排放的情况。含盐地下水渗入沟道也是氯化物的一个来源。

### 碱度

碱度是由钙、镁、钠、钾、铵的氢氧化物，碳酸盐或重碳酸盐造成的。钙和镁的重碳酸盐所造成的碱度是最普遍的。碱度通常以碳酸钙（CaCO<sub>3</sub>）浓度表示。对于化学处理、空气吹脱法除氨以及厌氧法处理有机废水，要注意碱度问题。

### 氮和磷

氮和磷是生物生长的重要元素。

氮在自然界的存在形式及转化的途径可用图8-5表示。新鲜的废水中的氮主要存在于含氮有机化合物中。细菌的分解作用使它们转化为氨。氨的相对含量可作为废水的新鲜程度的指

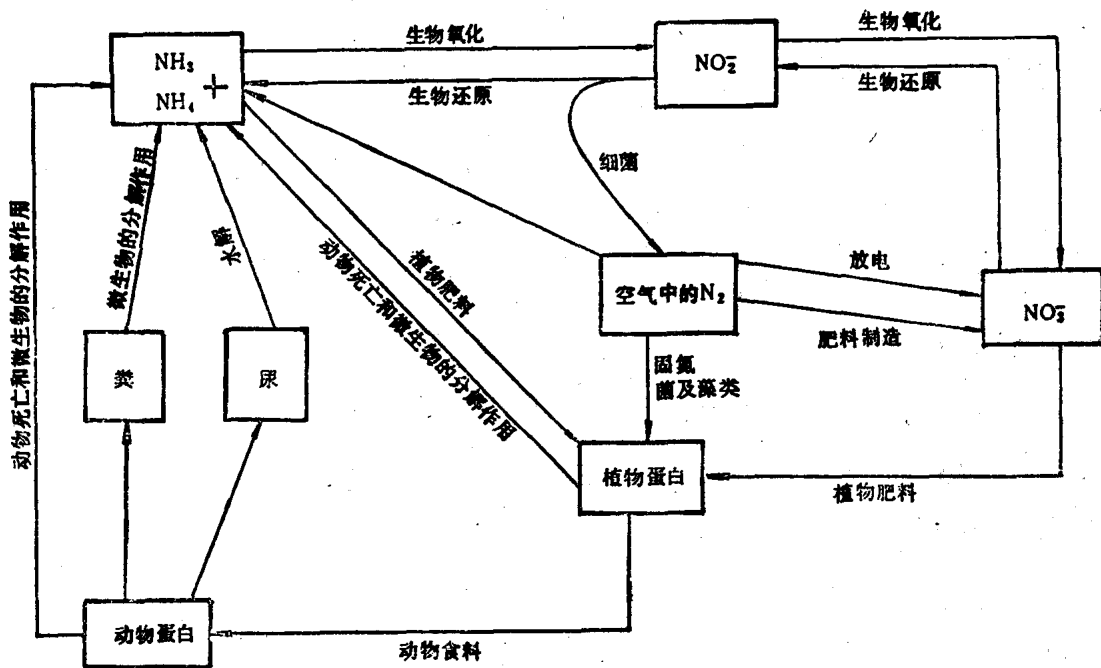


图8-5 氮的循环

标。在有氧条件下,细菌能将氨氮氧化为硝酸盐和亚硝酸盐,如果在废水中硝酸盐氮为主,表示废水在耗氧方面已经稳定。硝酸盐氮能为水生植物、藻类所利用,动物则以这些植物或藻类为食物而转为动物蛋白,一旦动植物死亡,它们的蛋白质为细菌分解又重新产生氨。废水在排放以前要脱氮或降低氮的含量以防止水生植物及藻类的过分生长。

氨氮在溶液中存在的形式有氨或铵离子,以哪种形式存在则取决于pH值。按照下列平衡式:



当pH>7,平衡向左移动,当pH<7,则NH<sub>4</sub><sup>+</sup>是主要形式。氨的测定方法是提高pH后蒸馏,使氨随蒸气逸出,然后用比色法测定。

有机氮用凯式法测定时先加热驱赶氨,然后消解试样中的有机氮使之转化为氨。总凯氏氮测定方法相同,只是在消解之前不驱赶氨。

亚硝酸盐在水中并不稳定,很容易被氧化为硝酸盐,亚硝酸的存在说明水体受污染并在“自净”过程之中。水体中亚硝酸的含量一般应不太高,测定也是用比色法。硝酸盐是氮化物氧化的最终产物,如果经二级处理的水是要回用的(如回灌地下作地下水补给),那末对硝酸盐要非常注意。硝酸盐一般也是用比色法测定。

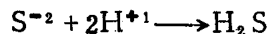
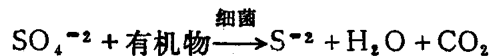
磷也是一种生物所需的重要元素,它在天然水体中可能使藻类大量繁殖生长,因此对磷的问题引起了关注。

通常在溶液中,磷的存在形式有正磷酸盐、聚磷酸盐及有机磷,正磷酸盐是不经分解即可供生物代谢用的磷,聚磷酸盐水解会转为正磷酸盐,不过速度很低。生活污水和大部分工业废水没有有机磷的问题,但对农药厂的废水和农业地区的河道则要注意。

正磷酸盐的测定可用加钼酸铵的方法使之形成有色的络合物,对于聚磷酸盐和有机磷,则要先使之转化为正磷酸盐后进行测定。

## 硫

硫酸盐离子在自来水中以及废水中都有。在蛋白质的合成过程中需要硫,而在蛋白质降解时又将硫释放出来。在厌氧细菌作用下,硫酸盐被还原为亚硫酸盐,最终变为硫化氢:



而H<sub>2</sub>S又能被进一步(在有氧的条件下)氧化为硫酸,而成为对沟管有侵蚀性的物质。

在污泥消化池中,硫酸盐被还原为亚硫酸盐。如果亚硫酸盐浓度>200mg/l时,将会严重影响消化池中的生化过程。而H<sub>2</sub>S气体同消化时产生的其他气体(CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>)一同离开消化池,也对沼气管路起腐蚀作用。如用含硫化氢的沼气作为发动机的燃料,则燃烧所产生的废气将会侵蚀发动机以及废热回收设备,尤其是当这种废气冷却到露点以下时影响更大。此外,硫的存在将使沼气中CH<sub>4</sub>的百分比减少,从而降低了沼气的热值。

## 有毒化合物和重金属

某些阳离子具有毒性,因此在废水处理、处置时要注意。铜、铝、铬、砷、硼都对微生物有不同程度的毒害,因而在生物处理设施的设计时要认真考虑。有不少处理厂因为废水中这些

离子的浓度太高，抑制了微生物，从而使处理厂工作不正常乃至无法工作。

一些有毒的阴离子（如氰离子和铬酸根）会在工业废水中出现（尤其是电镀废水中）。对这些有毒有害的物质应在与城市污水混和之前在现场进行预处理把它们去除。工业废水中有些有机物也是有机的。

许多金属（如镍、锰、铅、铬、镉、锌、铜、铁、汞）在大部分废水中会以微量的水平存在。其中某些元素对生物生命过程是不可少的，如果缺乏，将会限制生物的生长，但是这些元素的含量过高，会使水质降低，影响水的使用价值，因此要经常测定这些元素的浓度并从污染源上加以控制。

测定这些物质浓度的方法有些比较复杂，但也有些不甚复杂，这取决于废水中是否有干扰性的物质存在。采用某些仪器（如极谱仪、原子吸收光谱仪等）可测出这类物质非常低的含量。

### 六、典型的生活污水水质指标

下面列出生活污水水质的一些数据（表8-1）。表中浓度的单位多是mg/l，只有可沉固体的单位为mg/l。

表8-1° 生活污水的水质指标

组 分	浓 度		
	高值	中值	低值
总固体	1200	720	350
总溶解性固体	850	500	250
灰分	525	300	145
挥发性固体	325	200	105
悬浮固体	350	220	100
灰分	75	55	20
挥发性固体	275	165	80
可沉固体	20	10	5
BOD <sub>5</sub> (20°C)	400	220	110
COD	1000	500	250
总有机碳 (TOC)	290	160	80
总氮 (以N计)	85	40	20
有机氮	35	15	8
游离氮	50	25	12
总磷 (以P计)	15	8	4
有机磷	5	3	1
无机磷	10	5	3
氯化物*	100	50	30
碱度* (以CaCO <sub>3</sub> 计)	200	100	50
油脂	150	100	50

注：本表摘自 *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*，中国建筑工业出版社的给水排水设计手册第五册已收入，只是氯化物的数据略有不同。

如果城市供水中碱度值较高，则废水中碱度值将会高于表列数字。



## 七、水样的采集及保存

在水质调查中所用的采样技术必须确保能得到有代表性的水样，以正确地反映水质的情况。目前还没有通用的采样及保存水样的方法，只能对每一具体情况作出具体安排，对于水质变化非常大的废水尤其要细心拟定取样计划，选择适当的取样点，取样的频度和应当取样的水的类型等。仔细研究沟道系统图有助于选择取样点。要注意所选的点是否在实际便于取样。根据管系选取取样点时，要注意每一车间或每一装置所排的废水应在与来自其他车间或装置的废水混合以前取样。对于沟管及深而窄的渠道，取样点应在水深三分之一处，而在宽度大的渠道中，应轮流在宽度不同点取样。取样处的流速应使水流中的固体不沉下。要注意避免因搅动而使溶解性气体逸逸，或因搅动而使气体溶入（比如取样测溶解氧时，要用专门的装置，以防对水充氧）。

流量及水质的变化幅度决定了取样的时间间隔，如果这两者之一或甚至两者都变化很大，那么取样的时间间隔要足够的短，方能反映真实的情况。

采得的样最好及时分析，但由于种种原因常常不可能做到。因此保存水样时保证水不变性是很重要的。如何保存水样的问题虽有过不少研究，但还没有适用于各种水样的统一方法。表8-2提供了一些方法供参考。

表8-2 水样的保存要求

测定项目	保存方法	最长保存时间
酸碱度	4°C冷藏	24h
BOD	4°C冷藏	6h
钙	无要求	
COD	2ml/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7d
氟化物	无要求	
色度	4°C冷藏	24h
氟	加NaOH至pH=10	24h
溶解氧	即时测定	必须即时测定
氟化物	无要求	
硬度	无要求	
金属（总量）	5ml/l HNO <sub>3</sub>	六个月
金属（溶解性）	滤液加3ml/l HNO <sub>3</sub>	六个月
氨氮	40mg/l HgCl <sub>2</sub>	7d
	4°C冷藏	
凯氏氮	40mg/l HgCl <sub>2</sub>	注意，不稳定
	4°C冷藏	
硝酸盐及亚硝酸盐	40mg/l HgCl <sub>2</sub>	7d
	4°C冷藏	
油脂	2ml/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	24h
	4°C冷藏	
有机碳	2ml/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7d
	至pH=2	