

产学合作·产教融合教材

水质工程学

——污水处理

主 编 蒋柱武 魏忠庆 吕永鹏
副主编 范功端 翟 俊 廖足良 苑宏英

高等教育出版社

产学合作·产教融合教材

水质工程学

——污水处理

主 编 蒋柱武 魏忠庆 吕永鹏
副主编 范功端 翟 俊 廖足良 苑宏英

高等教育出版社·北京

内容提要

本书面向水处理工程技术应用实际,由高校教师和设计院所专家共同编写。本书依据最新的国家标准,引用了最新的设计规范,将水处理工程的设计、建设和管理领域的知识融为一体,通过例题设计、工程案例和课后习题将理论与工程实际紧密结合,注重工程训练,突出应用价值。本书分上、下两册出版,下册内容主要有:污水物理处理方法,污水生物处理原理及工艺,污水深度处理工艺,污水处理处置及资源利用,城镇污水处理厂工程工艺设计,工业废水处理等。

本书可供高等学校相关专业的学生作为教材使用,也可供研究生和专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水质工程学. 污水处理 / 蒋柱武, 魏忠庆, 吕永鹏
主编. --北京: 高等教育出版社, 2018. 10
ISBN 978-7-04-050717-1

I. ①水… II. ①蒋… ②魏… ③吕… III. ①水质处理
②污水处理 IV. ①TU991.21②X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 232164 号

策划编辑 徐可 责任编辑 徐可 封面设计 李小璐 版式设计 马敬茹
插图绘制 于博 责任校对 陈杨 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京印刷一厂

开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 21
字 数 510 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2018年10月第1版
印 次 2018年10月第1次印刷
定 价 40.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 50717-00

前 言

水是循环的生命物质,可以区分为自然循环和社会循环两种过程。由于人类社会的发展和工程技术上的应用,使得水的社会循环系统浩大而复杂。给水排水专业不断适应国家经济社会发展和人民生活水平的提高,专业内涵发生了很大变化,服务对象从市政基础设施建设,扩大到水的社会循环整个过程和各环节;专业任务从解决城市用水的供给和排放以满足“量”的需求为主,转变为以改善水质为主,水质与水量问题并重,以实现水的良性社会循环。水质保障是实现水的良性循环的重要一环,是实现给排水工程设施功能的关键。在城镇化和工业化突飞猛进的今天,水质问题尤其突出。水质工程学是一门交叉学科,与化学、物理学、微生物学、材料学、土木工程学、管理学、社会学,特别是工程学等许多学科有密切的联系。水处理工程的质量取决于勘察设计、建设施工、材料质量和运行管理等各个环节。在专业方面,对于工程技术人才和一线技术人员,需要掌握设计、施工、选材和运行维护的综合知识。给水排水专业人才培养需要大量创新性的教材和专业技术工具书,供读者系统全面掌握必备的专业知识。应该鼓励扎扎实实在一线工作的教学科研和技术人员参与人才培养,满足国家建设之需,在工程建设各个领域多做贡献。

本书编者来自高等院校、设计院所和工程单位的一线人员,他们的工作以教学科研、工程设计和运行管理为重,结合实际工作经验,将水处理工程的设计、建设和管理领域的知识融为一体,通过例题、设计题目、工程案例和课后习题,将理论与工程实际紧密结合,注重工程训练。同时,教材引用了最新的设计规范和标准,突出实际应用价值。

本教材由福建工程学院、重庆大学、福州大学、天津城建大学的教授联合福州城建设计研究院有限公司、上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司和挪威康碧集团的高级工程师共同编写。具体分工如下,第1、2章由吕永鹏、蒋柱武、苑宏英共同编写,第3、10章由蒋柱武编写、第4、6、9章由魏忠庆编写、第5章由翟俊编写,第7章由廖足良编写,第8章由范功端编写。工程案例全部由设计院提供。黄俊杰、朱晓璟、李林、黄永捷、林达、叶均磊、张帆、程顺健、肖晓强、廖薇、张仲航、王晟、方少钦参与编写,全书由蒋柱武、魏忠庆、吕永鹏统稿整理。第4章生物膜流动床部分得到挪威科技大学 Hallvard Ødegaard 教授的友情支持。

本书为教科书,书后仅列出少数参考书目供学生课外选读。书中参考了大量文献资料,在此向这些文献作者表示衷心的感谢!特作声明。

本书得到国家自然科学基金项目(No. 51408225)的支持,在此深表感谢。

由于作者水平有限,望广大读者批评指正。

主 编
2018年7月

目 录

第 1 章 污水处理概论	1	2.3.5 周进周出辐流式沉淀池	25
1.1 城镇污水的组成	1	2.3.6 竖流式沉淀池	32
1.2 城镇污水的水质特征及污染物 指标	2	2.3.7 斜板(管)沉淀池	32
1.2.1 污水的物理性质及指标	2	2.4 旋流分离器	34
1.2.2 污水的化学性质及指标	2	2.4.1 旋流分离原理	34
1.2.3 污水的生物性质及指标	7	2.4.2 旋流分离的应用	34
1.3 水体污染分类及其危害	7	思考题	35
1.3.1 物理性污染及危害	8	第 3 章 污水生物处理原理	36
1.3.2 无机物污染及危害	8	3.1 活性污泥法	38
1.3.3 有机物污染及危害	9	3.1.1 活性污泥形态及微生物	38
1.3.4 病原微生物污染及危害	10	3.1.2 活性污泥法反应过程及其 动力学	41
1.4 城镇污水处理的发展过程	10	3.1.3 活性污泥法反应的主要影响 因素	49
1.5 城镇污水处理的基本方法	11	3.1.4 活性污泥处理系统的控制指标	50
思考题	12	3.2 生物膜法	53
第 2 章 污水物理处理方法	13	3.2.1 生物膜的构造	53
2.1 格栅	13	3.2.2 生物膜中生物相	54
2.1.1 格栅分类	14	3.2.3 生物膜净化过程	55
2.1.2 格栅的设计计算	14	3.2.4 生物膜法的特征	55
2.1.3 膜格栅	16	3.2.5 生物膜的增长及动力学	56
2.2 沉砂池	17	3.3 厌氧处理技术	57
2.2.1 平流式沉砂池	18	3.3.1 污水厌氧处理基本原理	57
2.2.2 曝气沉砂池	19	3.3.2 污水厌氧处理微生物	58
2.2.3 钟式沉砂池	21	3.3.3 污水厌氧处理的影响因素	59
2.3 沉淀池	21	3.3.4 污水厌氧处理反应动力学	62
2.3.1 沉淀池分类	21	3.4 污水生物脱氮除磷	62
2.3.2 沉淀池设计原则及参数	22	3.4.1 污水生物脱氮	63
2.3.3 平流沉淀池	23	3.4.2 污水生物除磷	73
2.3.4 普通辐流式沉淀池	24		

II 目录

3.5 好氧生物处理供氧	76	4.4.5 厌氧生物处理——ABR 反应器	157
3.5.1 氧转移原理	76	思考题	159
3.5.2 氧转移的影响因素	77	第5章 污水生态处理方法	160
3.5.3 氧转移速率与供气量的计算	78	5.1 生态处理技术	160
3.5.4 曝气系统与空气扩散装置	81	5.1.1 生态处理技术优势	160
思考题	82	5.1.2 生态处理的发展趋势	161
第4章 污水生物处理工艺	83	5.2 人工湿地	161
4.1 生物处理反应器	83	5.2.1 人工湿地类型	161
4.2 活性污泥法工艺	84	5.2.2 人工湿地净化机理	164
4.2.1 活性污泥法基本流程	84	5.2.3 人工湿地设计	167
4.2.2 活性污泥法系统工艺设计	85	5.3 稳定塘	172
4.2.3 活性污泥法——AB法工艺	90	5.3.1 稳定塘类型	172
4.2.4 活性污泥法—— A_N/O 工艺	91	5.3.2 稳定塘净化机理	174
4.2.5 活性污泥法—— A_p/O 工艺	95	5.3.3 典型处理流程	177
4.2.6 活性污泥法—— A^2/O 工艺	97	5.3.4 稳定塘处理技术要求	178
4.2.7 活性污泥法——SBR工艺	100	5.4 土地处理	179
4.2.8 活性污泥法——氧化沟工艺	104	5.4.1 概述	179
4.2.9 活性污泥法——MBR反应器 工艺	110	5.4.2 净化机理	180
4.3 生物膜法工艺	115	5.4.3 土地处理系统工艺	181
4.3.1 生物膜法——生物滤池	115	思考题	183
4.3.2 生物膜法——接触氧化法	129	第6章 污水深度处理工艺	184
4.3.3 生物膜法——生物转盘	133	6.1 深度处理工艺分类	185
4.3.4 生物膜法——生物流化床	138	6.2 强化生物处理技术	185
4.3.5 生物膜法——流动床生物膜 反应器	141	6.3 混凝沉淀工艺	186
4.4 厌氧生物处理工艺	146	6.3.1 传统混凝沉淀工艺	186
4.4.1 厌氧生物处理——UASB 反应器	146	6.3.2 磁混凝澄清工艺	186
4.4.2 厌氧生物处理——IC反应器	152	6.4 介质过滤工艺	187
4.4.3 厌氧生物处理——EGSB 反应器	153	6.4.1 成床过滤工艺	187
4.4.4 厌氧生物处理——两相厌氧消化 工艺	154	6.4.2 表面过滤工艺	190
		6.5 生物滤池工艺	193
		6.5.1 曝气生物滤池	193
		6.5.2 反硝化生物滤池	194
		6.6 膜处理技术	199

6.6.1 膜种类	200	8.3 臭氧消毒	251
6.6.2 膜组件	200	8.4 紫外线消毒	253
6.6.3 微滤和超滤过滤工艺	201	思考题	256
6.6.4 反渗透工艺	202	第9章 城镇污水处理厂工程工艺	
6.6.5 纳滤工艺	204	设计	257
6.7 高级氧化技术	205	9.1 设计水质和设计水量	257
思考题	206	9.2 设计步骤及设计原则	258
第7章 污泥处理处置及资源利用	207	9.2.1 设计步骤	258
7.1 污泥分类、特性及其输送	207	9.2.2 设计原则	259
7.1.1 污泥分类	207	9.3 污水处理厂厂址选择	261
7.1.2 污泥危害	208	9.4 污水处理厂工艺流程	262
7.1.3 污泥性质指标	208	9.5 城镇污水处理工艺设计计算	263
7.1.4 污泥的输送	211	9.5.1 A ² /O 生物脱氮除磷工艺设计	
7.2 污泥量计算	213	计算	263
7.3 污泥浓缩	214	9.5.2 CASS 工艺设计计算	270
7.4 污泥机械脱水	217	9.5.3 改良卡鲁塞尔(Carrousel [®])氧化沟	
7.4.1 污泥预处理	217	设计计算	277
7.4.2 污泥过滤脱水	220	思考题	285
7.4.3 污泥离心脱水	224	第10章 工业废水处理	286
7.4.4 机械脱水设计	224	10.1 概述	286
7.5 污泥稳定	224	10.1.1 工业废水的含义	286
7.5.1 污泥厌氧消化	225	10.1.2 工业废水的特点	286
7.5.2 污泥好氧发酵	236	10.1.3 工业废水的分类	286
7.6 污泥干化	239	10.1.4 工业废水中的主要污染物及	
7.6.1 自然干化	239	水质指标	287
7.6.2 加热干化	240	10.1.5 工业废水对环境的污染和	
7.7 污泥处置	242	危害	287
7.7.1 污泥焚烧	242	10.2 工业废水处理技术概述	288
7.7.2 污泥土地利用	245	10.2.1 工业废水污染源调查	288
7.7.3 污泥填埋	245	10.2.2 控制工业废水污染源的基本	
思考题	247	途径	288
第8章 污水消毒处理	248	10.2.3 工业废水处理的基本方法	289
8.1 概述	248	10.3 工业废水物化处理	290
8.2 投氯消毒	249	10.3.1 调节池	290

IV 目录

10.3.2 中和	292	10.5 几种典型工业废水处理	316
10.3.3 化学沉淀	296	10.5.1 含油工业废水处理	316
10.3.4 浮方法	300	10.5.2 含氰工业废水处理	319
10.3.5 氧化还原	303	10.5.3 含重金属工业废水处理	320
10.4 工业污水的生物处理	310	10.5.4 高盐度工业废水处理	322
10.4.1 工业废水可生化性的评价	310	10.5.5 高氨氮工业废水处理	323
10.4.2 工业废水生物处理技术	313	思考题	325
10.4.3 工业废水生物增效处理技术	315	参考文献	326

第1章

污水处理概论

污水处理是使污水达到排入水体或回收利用的水质标准或要求而对其进行净化的过程。污水处理技术广泛应用于建筑、环保、石化、能源、医疗、餐饮、农业、交通、城市景观等各个领域。按污水来源分类,污水处理一般分为生产污水处理和生活污水处理。生产污水包括工业污水、农业污水以及医疗污水等,而生活污水就是日常生活产生的污水。污水是各种形式的无机物和有机物的复杂混合物,污染物质主要来自:① 未经处理而排放的工业污废水;② 未经处理而排放的生活污水;③ 大量使用化肥、农药、除草剂的农田污水;④ 工业废弃物和生活垃圾的渗滤液;⑤ 水土流失;⑥ 矿山污水等。

污水来源不同,水质差异很大,处理难度和回收利用的途径各不相同。在各类污水中,来自城镇居民生产生活的排放水,称为城镇污水(municipal wastewater),是指城镇居民生活污水,机关、学校、医院、商业服务机构及各种公共设施排水,以及允许排入城镇污水收集系统的工业污废水和初期雨水等。城镇污水是污水处理研究和实施净化的主要对象,也是保障城镇水系安全的关键一环。城镇污水处理的理论和相对成熟,本书主要围绕城镇污水处理理论、技术、相关规范及标准讲授。

1.1 城镇污水的组成

城镇污水通常由两部分组成,即生活污水和工业废水,但在地下水位较高的地区,城镇污水系统中可能有部分地下渗水。此外,在分流制排水系统中,由于管理不善等原因,部分雨水也混入污水系统;在合流制排水系统中,雨水和污水则是一套系统。城镇污水水质和水量受气候条件、产业结构、排水体制和经济社会发展水平等因素的影响较大,不同地区和规模的城镇污水虽然在物理性质、化学性质和生物学性质方面都有较大的差异,而在特定的时期,固定区域的城镇污水的水质和水量相对稳定。

1.2 城镇污水的水质特征及污染物指标

1.2.1 污水的物理性质及指标

一、水温

各地生活污水的年平均水温约在 10 ~ 20 ℃。工业废水的水温与生产工艺有关。污水的水温过低或过高,都会影响污水生物处理效果和受纳水体的生态环境。

二、色度

污水的色度是一项感官指标。一般生活污水的颜色呈灰色,当污水中的溶解氧不足而使有机物腐败,则污水颜色转呈黑褐色。工业废水颜色随工业企业的性质而异,差别很大。

三、臭味

臭味也是感官性指标。可定性反映某种有机或无机污染物。生活污水的臭味主要由有机物腐败产生的气体所致。工业废水的臭味来源于还原性硫和氮的化合物、挥发性有机化合物等污染物质。

四、固体物质

污水中所含固体物质按存在形态的不同可分为悬浮的、胶体的和溶解的三种。按化学性质的不同可分为有机物、无机物和生物体三种。

污水中所含固体物质的总和称为总固体(TS),是指定量水样在 105 ~ 110 ℃烘箱中烘干至恒重所得重量。总固体包括悬浮固体或称为悬浮物(SS)和溶解固体(DS)。悬浮固体根据其挥发性能又可以分为挥发性固体(VSS)和非挥发性固体(NVSS)。

1.2.2 污水的化学性质及指标

一、无机物

污水中的无机物包括酸碱物质、氮、磷、无机盐及重金属离子等。

1. 酸碱度

酸碱度用 pH 表示。天然水体的 pH 一般为 6 ~ 9,当受到酸碱污染时,水体 pH 会发生变化。当 pH 超出 6 ~ 9 的范围较大时,会抑制水体中微生物和水生生物的繁衍和生存,对水体的生态系统产生不利影响,甚至危及人畜生命安全。当污水 pH 偏低或偏高时,不仅会对管渠、污水处理构筑物及机械设备产生腐蚀或结垢,还会对污水的生物处理构成威胁。

污水的碱度是指污水中含有的、能与强酸发生中和反应的物质,主要包括三种:氢氧化物浓度,即 OH^- 离子浓度;碳酸盐碱度,即 CO_3^{2-} 离子含量;重碳酸盐碱度,即 HCO_3^- 离子含量。

污水所含碱度,对外来或污水处理过程产生的酸、碱有一定的缓冲作用,有助于维持良好 pH 环境。在厌氧反应和污水生物脱氮除磷时,对碱度有一定的要求。例如,生物脱氮除磷的好氧区(池)的总碱度宜大于 70 mg/L(以 CaCO_3 计)。

2. 氮、磷

氮、磷污染易导致藻类等浮游生物大量繁殖,破坏水体耗氧和复氧平衡,使水质迅速恶化,危害水生态系统,俗称为水体富营养化现象。

污水中含氮化合物有四种形态:有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮,四种形态氮化合物的总量称为总氮(TN)。氮是有机物中除碳以外的一种主要元素,也是微生物生长的重要元素。它消耗水体中的溶解氧,促进藻类等浮游生物的繁殖,形成水华、赤潮,引起鱼类死亡,水质迅速恶化。

有机氮在自然界不稳定,在微生物的作用下容易分解为其他三种含氮化合物。在无氧条件下分解为氨氮;在有氧条件下,先分解为氨氮,继而分解为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。

(1) 凯氏氮(KN):有机氮和氨氮之和。凯氏氮指标可以作为判断污水进行生物处理时,氮营养源是否充足的依据。一般生活污水中凯氏氮含量约为 40 mg/L(其中有机氮约为 15 mg/L,氨氮约为 25 mg/L)。

(2) 氨氮:氨氮在污水中以游离氨(NH_3)和离子态铵盐(NH_4^+)两种形态存在,两者之和即氨氮。污水进行生物处理时,氨氮不仅向微生物提供营养素,而且对污水中的 pH 起缓冲作用。一般氨氮超过 1 600 mg/L(以 N 计),会对微生物产生不利作用。

(3) 磷:污水中含磷化合物可分为有机磷与无机磷两类。磷也是有机物中的一种主要元素,主要来自于人体排泄物、合成洗涤剂、牲畜饲养及含磷工业废水。有机磷主要以葡萄糖-6-磷酸,2-磷酸-甘油酸及磷肌酸等形态存在。无机磷以磷酸盐的形态存在,包括正磷酸盐(PO_4^{3-})、偏磷酸盐(HPO_4^{2-})、磷酸二氢盐(H_2PO_4^-)等。污水中的总磷(TP)指正磷酸盐、焦磷酸盐、偏磷酸盐、聚合磷酸盐等无机磷和有机磷酸盐磷的总含量。

一般而言,单纯的生活污水中有机磷含量约 3 mg/L,无机磷含量约 7 mg/L。

3. 硫酸盐与硫化物

生活污水的硫酸盐主要来源于人类排泄物。工业废水如洗矿、化工、制药、造纸和发酵等工业的废水含有较高的硫酸盐。

污水中的硫化物主要来源于工业废水(如硫化染料废水、人造纤维废水等)和生活污水。硫化物属于还原性物质,在污水中以硫化氢(H_2S)、硫氢化物(HS^-)与硫化物(S_2^{2-})的形态存在。当 pH 较低时(如低于 6.5),以 H_2S 为主,约占硫化物总量的 98%;当 pH 较高时(如高于 9),则以 S_2^{2-} 为主。硫化物在污水中要消耗溶解氧,且能形成黑色金属硫化物。

4. 氯化物

某些工业废水中含有很高的氯化物,对管道和设备有腐蚀作用,一般而言,当氯化钠浓度超过 10 000 mg/L 时,对生物处理的微生物有明显抑制作用。

5. 非重金属无机有毒物质

非重金属无机有毒物质主要有氰化物(CN)和砷(As)。

(1) 氰化物在污水中的存在形态是无机氰(如氢氰酸 HCN、氰酸盐 CN^-)和有机氰化物(如丙烯腈 $\text{C}_2\text{H}_3\text{CN}$ 等)。

(2) 砷化物在污水中的存在形态是无机砷化物(如亚砷酸盐 AsO_2^- 、砷酸盐 AsO_4^{3-})及有机砷(如三甲基砷)。砷化物对人体的毒性排序为有机砷>亚砷酸盐>砷酸盐。砷会在人体内积累,属致癌物质。

6. 重金属离子

重金属指原子序数在 21~83 的金属或相对密度大于 4 的金属,如汞、镉、铅、铬、镍等生物毒性显著的元素,也包括具有一定毒性的一般重金属,如锌、铜、钴、锡等。

采矿、冶炼企业是排放重金属的主要污染源;其次,电镀、陶瓷、玻璃、氯碱、电池、制革、照相器材、造纸、塑料及颜料等工业废水,都含有各种不同的重金属离子;生活污水中的重金属主要来源于人类排泄物。污水中含有的重金属,在污水处理过程中大约 60% 被转移到污泥中,其余随水排出。

二、有机物

1. 污水中的有机物成分

生活污水中所含有机物的主要成分是糖类化合物、蛋白质、脂肪及尿素(由于尿素分解很快,城市污水中很少能检测到),构成元素为碳、氢、氧、氮和少量的硫、磷、铁等。工业废水所含有机物种类繁多,浓度变化很大。

2. 可生物降解、难生物降解与不可生物降解有机物

有机物按被生物降解的难易程度,大致可分为三大类:第一类是可生物降解有机物;第二类是难生物降解有机物;第三类是不可生物降解有机物。前两类有机物的共同特点是最终都可以被氧化分解成简单的无机物、二氧化碳和水;区别在于第一类有机物可被一般微生物氧化分解,而第二类有机物只能被氧化剂氧化分解,或者可被经驯化、筛选后的微生物氧化分解。第三类有机物完全不可生物降解,称为持久性有机污染物(POPs),这类有机物一般采用化学氧化法进行处理。

3. 污水中主要有机的生物化学特性

(1) 糖类化合物

污水中的糖类化合物,包括单糖、双糖、多糖、淀粉、纤维素和木质素等,主要构成元素为碳、氢、氧,属于可生物降解有机物,对微生物无毒害与抑制作用。

(2) 蛋白质

蛋白质由多种氨基酸化合或结合而成,主要构成元素是碳、氢、氧、氮。

蛋白质性质不稳定,易分解,属于可生物降解有机物,对微生物无毒害与抑制作用。

(3) 脂肪和油类

脂肪和油类是乙醇或甘油与脂肪酸的化合物,主要构成元素为碳、氢、氧。脂肪酸甘油酯在常温下呈液态,称为油;在低温下呈固态,称为脂肪。脂肪比碳水化合物、蛋白质的性质稳定,属于难生物降解有机物,对微生物无毒害与抑制作用。炼油、石油化工、焦化、煤气发生等工业废水中,含有矿物油即石油,属于难生物降解有机物,并对微生物有一定的毒害与抑制作用。

(4) 酚类

酚类是指苯及其稠环的羟基衍生物。根据羟基的数目,可分为单元酚、二元酚和多元酚。根据其能否与水蒸气一起挥发而分为挥发酚和不挥发酚。挥发酚包括苯酚、甲酚、二甲苯酚等,属于可生物降解有机物,但对微生物有一定的毒害与抑制作用。不挥发酚包括间苯二酚、邻苯三酚等多元酚,属于难生物降解有机物,并对微生物有毒害与抑制作用。

(5) 有机酸、碱

有机酸包括短链脂肪酸、甲酸、乙酸和乳酸等。有机碱包括吡啶及其同系物质,都属于可生物降解有机物,但对微生物有毒害或抑制作用。

(6) 表面活性剂

表面活性剂分两类:硬性表面活性剂(ABS),主要成分为烷基苯磺酸盐,含有磷并易产生大

量泡沫,属于难生物降解有机物;软性表面活性剂(LAS),主要成分为烷基芳基磺酸盐,也含磷,但泡沫大大减少,LAS是ABS的替代物。

(7) 有机农药

有机农药分两大类:即有机氯农药和有机磷农药。有机氯农药(如 DDT、六六六等)毒性极大且很难分解,多数属持久性有机污染物(POPs),且会在自然界不断积累,严重污染环境。我国已禁止生产和使用有机氯农药。现在普遍采用的有机磷农药(含杀虫剂和除草剂)包括敌百虫、乐果、敌敌畏、甲基对硫磷、马拉酸磷及对硫磷等,毒性仍然很大,也属于难生物降解有机物,对微生物有毒害与抑制作用。

(8) 取代苯类化合物

苯环上的原子被硝基、胺基取代后生成的芳香族卤化物称为取代苯类化合物。主要来源于印染和染料工业废水(含芳香族胺基化合物,如偶氮染料、蒽醌染料、硫化染料)、炸药工业废水(含芳香族硝基化合物,如三硝基甲苯、苦味酸等)及电器、塑料、制药、合成橡胶、石油化工等工业废水(含聚氯联苯、联苯氨、稠环芳烃、萘胺、三苯磷酸盐、丁苯等),都属于难生物降解有机物,并对微生物有毒害或抑制作用。

4. 表示水中有机物浓度的指标

污水中的有机物种类繁多、成分复杂,要分别测定各类有机化合物的准确含量,程序相当繁琐,一般在工业应用中也无此必要。这些有机物对水的主要危害在于大量消耗水中的溶解氧。因此,通常用氧化过程所消耗的氧量来做为好氧有机物的综合指标,一般采用生物化学需氧量或生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、总有机碳(TOC)、总需氧量(TOD)等指标来综合评价水中有机物的含量。

(1) 生化需氧量(BOD)

水中有机污染物在有氧条件下被好氧微生物分解成无机物所消耗的氧量称为生化需氧量(以 mg/L 为单位)。生化需氧量高,表示水中可生物降解有机物多。有机物被好氧微生物分解的过程,可分为两个阶段:第一阶段为碳氧化阶段,在异养菌作用下,有机物被氧化成二氧化碳、水和氨;第二阶段为硝化阶段,在自养菌(亚硝化菌)作用下,氨被氧化成亚硝酸盐,继而在自养菌(硝化菌)作用下,亚硝酸盐转化为硝酸盐成为硝化需氧量。

有机物的生化全过程延续时间很长,在 20℃ 水温下,完成两个阶段需 100 d 以上。生活污水中的有机物一般需 20 d 左右才能基本完成第一阶段的降解过程,即测定第一阶段的生化需氧量至少需要 20 d 时间。根据实验研究,一般有机物的 5 d 生化需氧量约为第一阶段生化需氧量的 68%。在实际应用上,采用 5 d 的生化需氧量(以 BOD_5 表示)作为可生物降解有机污染物的综合浓度指标。采用 20 d 的生化需氧量(以 BOD_{20} 表示)近似作为第一阶段总生化需氧量 BOD_{∞} ,即 $BOD_5 = 0.68BOD_{\infty}$ 。生化需氧量全过程示意图 1-1。

(2) 化学需氧量(COD)

采用化学氧化剂将有机物氧化成二氧化碳和水所消耗的氧化剂量(用氧量表示)称为化学需氧量(以 mg/L 为单位)。它可较准确地表示水中有机物含量,测定需花费数小时时间,且测定结果不受被测水样含有抑制微生物成长的有毒有害物质的影响。常用的氧化剂有重铬酸钾和高锰酸钾。由于重铬酸钾的氧化能力极强,可以较完全地氧化水中的各种有机物,对低直链化合物的氧化率可达 80%~90%。我国采用以重铬酸钾作为氧化剂测定化学需氧量,以 COD_{Cr} 表示。

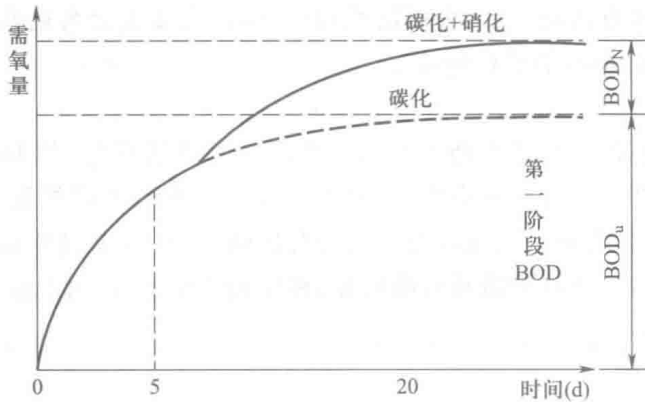


图 1-1 生化需氧量全过程示意图

有的国家采用高锰酸钾作为氧化剂测定化学需氧量,以 COD_{Mn} 或 OC 表示。高锰酸钾的氧化能力较重铬酸钾弱,测出的耗氧量数值较低。

如果污水中有机物的组成相对稳定,测得的化学需氧量和生化需氧量之间有一定的比例关系。一般地说,重铬酸钾法化学需氧量 (COD_{Cr}) 与生化过程第一阶段生化需氧量 (BOD_{20}) 之差值,可以大致表示污水中难生物降解有机物的数量。在实际工程中,通常用 $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$ 的比值,作为污水是否适宜采用生物处理的判别标准,被称为可生化性指标。该比值越大,可生化性越好,反之亦然。一般认为, $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}} > 0.3$ 的污水适宜采用生物处理; < 0.3 生化处理困难; < 0.25 不宜采用生化处理。

(3) 理论需氧量

理论需氧量是指将有机物中的碳元素和氢元素完全氧化为二氧化碳和水所需氧量的理论值(即按完全氧化反应式计算出的需氧量)。严格意义上也包括有机物中氮、磷、硫等元素完全氧化所需氧量的理论值(当计入这些元素完全氧化的需氧量时应在数据后注明)。理论需氧量通常用于进行需氧量的估算;用于与化学需氧量对比,以研究与检验化学需氧量测定方法的适用性和测定数据的可靠性;也用于与生化需氧量对比,研究水中污染物的生物降解特性及废水生化处理方法的适用性。

(4) 总需氧量(TOD)

总需氧量(TOD)代表了废水中有机物质燃烧氧化的总需氧量。该方法利用高温($900\text{ }^\circ\text{C}$)将废水水样中能被氧化的物质(主要是有机物质,包括难分解的有机物质及部分无机还原物质)燃烧氧化成稳定的氧化物,通过气体载体中氧量的减少,测定出上述物质燃烧氧化所消耗的氧量(O_2),称为总需氧量(TOD),结果以 O_2 的 mg/L 计。废水的 TOD 值愈高,说明废水中含有有机物亦愈多。

(5) 总有机碳(TOC)

废水中有机物含量,除了以有机物氧化过程的耗氧量,如上述的 BOD、COD、TOD 指标反映外,还有以有机物中某一主要元素的含量来反映的指标。总有机碳(TOC)是一种以废水中碳元素(C)含量来反映废水中有机物总量的水质指标。将废水水样在高温下进行燃烧,有机碳即被氧化成 CO_2 ,检测所产生的 CO_2 即可求得水样的 TOC 值,单位以碳(C)的 mg/L 表示。

由于各种水样中有机物质的成分不同,差别很大。因此,各种水质之间 TOC 或 TOD 与 BOD

不存在固定的相关关系。但水质条件基本相同的污水, BOD_5 、 COD_{Cr} 、 TOD 或 TOC 之间存在一定的关系, 可以通过试验求得它们之间的关系曲线, 从而可以快速得出水样被有机物污染的程度。一般情况下, $ThOD > TOD > COD_{Cr} > BOD_{20} > BOD_5 > TOC$ (表 1.1)。

表 1.1 常见有机物的化学需氧量和生化需氧量之比较

编号	物质名	化学式	ThOD [*] (gO ₂ /g)	COD _{Cr}		COD _{Mn}		BOD ₅ (gO ₂ /g)
				(gO ₂ /g)	氧化率(%)	(gO ₂ /g)	氧化率(%)	
1	甲酸	HCOOH	0.348	0.34	97.7	0.049	14	0.09
2	乙酸	CH ₃ COOH	1.07	1.03	96.3	0.074	7	0.7
3	丙酸	CH ₃ CH ₂ COOH	1.51	1.45	96	0.13	8	1.3
4	丁酸	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	1.82	1.76	97.8	0.079	4	1.15
5	戊酸	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	2.04	1.9	93.1	0.079	4	1.4

生活污水的 BOD_5/COD_{Cr} 比值约为 0.4 ~ 0.5; BOD_5/TOC 比值一般为 1.0 ~ 1.6。工业废水的 BOD_5/COD_{Cr} 和 BOD_5/TOC 比值, 由于各种工业生产性质不同, 差异极大。

1.2.3 污水的生物性质及指标

污水生物性质的检测指标主要有细菌总数、总大肠菌群及病毒三项, 用以评价水样受生物污染的严重程度。

一、细菌总数

细菌总数是大肠菌群、病原菌、病毒及其他细菌数的总和, 以每升水样中的细菌群数总数表示。

二、总大肠菌群

总大肠菌群数是每升水样中所含大肠菌群的数量(以个/L计), 采用多管发酵法或者滤膜法测定。大肠菌群指数是指检查出一个大肠菌群所需的最少水量(以 mL/个计)。

三、病毒

污水中已被检出的病毒有 100 多种。病毒的培养检验方法比较复杂, 目前主要采用数量测定法与蚀斑测定法两种。

1.3 水体污染分类及其危害

水体污染是指超过水体环境容量的污染物质侵入, 导致水的物理、化学及生物性质发生变化, 使水体固有的生态系统和功能受到破坏的现象。水体污染的来源分两大类: 一是点源污染, 未经妥善处理的城市生活污水和工业废水集中排入水体; 二是面源污染, 又称非点源污染, 主要包括分散排放的生活污染源、水田渗漏、降雨和地表径流污染源四大类。具体而言, 生活污染源主要是指农村分散排放的居民生活污染源, 包括人体排泄、生活垃圾和生活污水, 其与居民生活习惯、用水方式及排水方式密切相关; 水田渗漏是指水田中的污染物通过土壤渗漏进入水环境; 降雨和地表径流污染源与降雨水质及土地利用方式密切相关, 地表径流污染源有时又称为土地

利用污染源。

1.3.1 物理性污染及危害

水体的物理性污染是指水温、色度、臭味、悬浮物及泡沫等,被人们感官所觉察并引起感官不悦。

一、水温

高温工业废水排入水体后,使水体水温升高,这种水体的热污染,造成的直接后果是使大气中的氧向水体传递速度减慢,即水体复氧速率减慢。地表水体的饱和溶解氧与水温成反比关系,水温升高饱和溶解氧降低。

此外,水体中水生生物的耗氧速率明显加快,加速水体中溶解氧的消耗,造成鱼类和水生生物发生变化或生长异常,甚至造成水生生物的窒息死亡。水体热污染加快化学反应速率,引发水体物理化学性质(如电导率、溶解度、离子浓度和腐蚀性)的变化,还会加速细菌和藻类的恶性繁殖,加速水体恶化。

二、色度

天然水体中存在腐殖质、泥土、浮游生物、铁和锰等金属离子,均可使水体着色。生活污水和有色工业废水,如印染、造纸、农药、焦化、化纤和化工废水排入水体后,形成令感官不悦的色度。由于水体色度增加,透光性减弱,会影响水生生物的光合作用,抑制其生长繁殖,妨碍水体的自净作用。

三、固体物质污染

水体受悬浮固体污染的主要危害是:

- (1) 浊度增加,透光性减弱,会影响水生生物的光合作用。
- (2) 悬浮固体可能堵塞鱼鳃,导致鱼类窒息死亡。
- (3) 由于微生物对有机悬浮固体的分解代谢作用,会大量消耗水体中的溶解氧。
- (4) 部分悬浮固体沉积于水底,造成底泥积累与腐败,使水体水质恶化。
- (5) 悬浮固体漂浮水面,有碍观瞻并影响水体复氧。
- (6) 悬浮物体可作为载体,吸附其他污染物质,随水流迁移污染。

水体受溶解固体污染后,硬度增加,水味涩口,饮用水溶解固体浓度应不高于 500 mg/L,锅炉用水更严格,农业灌溉用水溶解固体浓度不宜高于 1 000 mg/L,否则可能会造成土壤板结。

1.3.2 无机物污染及危害

一、酸、碱及无机盐污染

工业废水排放的酸、碱,以及降雨淋洗受污染空气中的 SO_2 、 NO_x^- 所产生的酸雨,都会使水体受到酸、碱污染。酸、碱进入水体后,互相中和产生无机盐类,同时又会与水体存在的地表矿物质如石灰石、白云石、硅石以及游离二氧化碳发生中和反应,形成无机盐类,故水体的酸、碱污染往往伴随无机盐类污染。

酸、碱污染可能使水体的 pH 发生变化,微生物生长受到抑制,水体的自净能力受到影响。渔业水体的 pH 规定不得低于 6 或高于 9.2,超过此限制时,鱼类生殖率下降甚至死亡。农业灌溉用水要求的 pH 为 5.5~8.5。

无机盐污染使水体硬度增加,造成的危害与前述溶解固体相同。

此外,由于水体中往往存在一定数量由分子状态的碳酸(包括溶解的 CO_2 和未离解的 H_2CO_3 分子、重碳酸根 HCO_3^- 和碳酸根 CO_3^{2-} 组成的碳酸盐系碱度),对外加的酸、碱具有一定的缓冲能力,可维持水体 pH 的稳定。

二、氮、磷污染

氮、磷是重要的植物营养元素,是农作物、水生植物和微生物生命活动不可缺少的物质,过量的氮、磷进入天然水体会导致富营养化而造成水质恶化。

湖泊中植物营养元素含量增加,导致藻类过度生长将造成水中溶解氧急剧变化,会使水体在夜间严重缺氧,影响鱼类生长。由于人类的生产和生活活动形成大量的有机物及氮、磷营养物排入江河、湖泊、水库及海洋,大大加速和扩大了水体富营养化的进程和范围。水体富营养化现象除发生在湖泊、水库中,也发生在海湾内。

三、硫酸盐与硫化物污染

饮用水中硫酸盐(SO_4^{2-})含量超过 250 mg/L,可能会引起腹泻,因此《生活饮用水卫生标准》和《地表水环境质量标准》都规定水中硫酸盐限值为 250 mg/L。

水体中 H_2S 浓度达到 0.5 mg/L 时即有异臭,水呈黑色。硫化物属于还原性物质,要消耗水体中的溶解氧,并能与重金属离子反应,生成金属硫化物的黑色沉淀物。

四、重金属污染

水体受到重金属污染,浓度超过人体或水生生物所允许的范围,将出现毒性效应。重金属不能被微生物降解,反而可在微生物的作用下转化为有机化合物,使毒性增加。水生生物摄取重金属及其化合物并在体内累积,经过食物链进入人体,甚至通过遗传或母乳传给婴儿。重金属进入人体后,能与体内的蛋白质及酶等发生化学反应而使其失去活性,并可能在人体某些器官中累积,造成慢性中毒,这种累积的危害,有时需要几十年才显现出来,其中毒性较大的有汞、镉、铬、铅等重金属。

1.3.3 有机物污染及危害

有机物排入水体,在有溶解氧的条件下,由于好氧微生物的降解作用,有机物被分解为 CO_2 、 H_2O 和 NH_3 ,同时合成新细胞,并消耗水体中的溶解氧。与此同时,大气中的氧气也会通过水体表面不断溶入,使水体中的溶解氧得到补充,这种作用称为水面复氧。若排入的有机物量超过水体的环境容量,使耗氧速率超过复氧速率,水体便会出现缺氧甚至无氧。在水体缺氧的条件下,由于厌氧微生物的作用,有机物被降解为 CO_2 、 NH_3 及少量 H_2S 等有害有臭气体,水色变黑,水质迅速恶化。主要的有机污染物有如下几类。

一、油类污染物

油类可分为石油类和动植物油脂类。石油开采和石油化工等工业废水含有石油和石油加工组分。含动植物油脂的污水主要来自人类的生活废弃物和食品加工等工业废水。

油类污染物进入水体后,油膜覆盖水面会阻碍水的蒸发,影响大气和水体热交换。大面积的油膜阻碍大气中的氧气进入水体,甚至造成水面复氧停止,影响水生生物的生长和繁殖。油脂会堵塞鱼鳃和水生生物呼吸系统,造成窒息死亡。石油类污染能使鱼虾类产生令人厌恶的石油臭味,降低甚至丧失水产品的食用价值和水资源的价值。