



普通高等教育“十三五”规划教材

水污染控制工程

主 编 李长波
副主编 赵国峥 徐 磊

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材

水污染控制工程

主 编 李长波

副主编 赵国峥 徐 磊

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了各种常用废水处理技术的原理、工艺和主要设备(或构筑物)的基本结构,主要工艺设计的步骤、内容和设计方法。既反映废水处理的传统方法,又吸收废水处理的新理念和新技术,注重系统性、理论性与实用性,引入工程实例体现石油石化特色。

本书可作为高等院校环境相关专业本科生及研究生教材,供水污染控制工程课程教学使用,亦可作为从事水污染治理的科研、设计、规划、管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程 / 李长波主编. —北京: 中国石化出版社, 2016. 4
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-3960-4

I. ①水… II. ①李… III. ①水污染—污染控制—高等学校—教材 IV. ①X520.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 086274 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 25.5 印张 599 千字

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

定价: 48.00 元

前 言

随着我国经济社会的高速发展,产生大量工业废水及生活污水,若不能被有效处理将严重威胁我国环境生态安全和社会可持续发展。为此,国家一方面积极加强与完善环境保护政策、法律法规,大力促进污水处理设施的建设进程;另一方面高度重视水污染控制工程技术人才的培养。

本书系统阐述了各种常用废水处理技术的原理、工艺和主要设备(或构筑物)的基本结构、主要工艺设计的步骤、内容和设计方法。在内容选择上力求做到既反映废水处理的传统方法,又注意吸收废水处理的新理念和新技术;在内容编排上注重系统性,力求体现各部分内容的有机联系,注重基本概念和基本理论的严谨性,注重理论性与实用性的统一,并在兼顾教材通用性的前提下,通过引入工程实例体现石油石化特色,以培养学生的基本专业素养、工程能力和创新意识。

通过本书的学习,读者将系统掌握城市污水和工业废水处理技术的基本理论和工艺过程,具备解决水污染控制工程中具体技术问题的能力,初步具备编制相关工程设计文件的能力。本书的出版对于培养环境工程尤其是石油石化行业环境保护人才,促进我国工业企业节水减排和技术进步具有十分重要的意义。

本书可作为高等院校环境相关专业本科生及研究生教材,供水污染控制工程课程教学使用,亦可作为从事水污染治理的科研、设计、规划、管理人员参考使用。本书由辽宁石油化工大学李长波主编,赵国峥、徐磊副主编,胡春玲、闫浩、陈有杰、叶盼、夏宁、魏晓旭、赵琪、李颖华、刁涤非等参与了资料收集整理、文字校对等工作,最后全书由李长波负责统稿、定稿。另外,在本书编写过程中,吸收了以往相关教材的优点,参阅了近年来高校及设计部门的资料与相关文献,在此向所有文献作者表示衷心感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请广大读者和同行专家批评指正。

编者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 水资源与水循环	(1)
第二节 水体污染及废水水质	(4)
第三节 废水出路与水质标准	(10)
第四节 水污染控制技术综述	(13)
第二章 废水预处理	(17)
第一节 格栅和筛网	(17)
第二节 水量和水质调节	(23)
第三节 中和处理	(27)
第三章 化学混凝	(31)
第一节 胶体特性与结构	(31)
第二节 混凝机理及其影响因素	(32)
第三节 常见的混凝剂与助凝剂	(36)
第四节 化学混凝设备	(39)
第四章 重力分离	(43)
第一节 沉淀的基本理论	(43)
第二节 沉砂池	(48)
第三节 沉淀池	(54)
第四节 隔油池	(66)
第五节 气浮池	(69)
第五章 过滤	(80)
第一节 过滤理论	(80)
第二节 快滤池的构造	(83)
第三节 快滤池的运行与设计	(90)
第四节 其他过滤设施	(96)
第六章 氧化还原	(101)
第一节 概述	(101)
第二节 化学氧化法	(102)

第三节	化学还原法	(118)
第四节	电化学氧化还原	(119)
第七章	吸附和离子交换	(128)
第一节	吸附的基本理论	(128)
第二节	吸附剂及其再生	(133)
第三节	吸附工艺及其应用	(138)
第四节	离子交换剂	(144)
第五节	离子交换工艺与设备	(149)
第八章	膜分离	(157)
第一节	概述	(157)
第二节	扩散渗析	(158)
第三节	电渗析	(160)
第四节	反渗透	(171)
第五节	超滤和纳滤	(182)
第九章	其他物化处理方法	(187)
第一节	化学沉淀	(187)
第二节	吹脱和汽提	(191)
第三节	萃取	(197)
第四节	蒸发和结晶	(201)
第五节	磁分离	(207)
第十章	废水生化处理理论基础	(212)
第一节	废水处理微生物学基础	(212)
第二节	酶促反应与微生物生长动力学	(217)
第三节	废水可生化性评价及强化途径	(224)
第十一章	活性污泥法	(232)
第一节	基本原理	(232)
第二节	活性污泥法参数	(236)
第三节	曝气原理与曝气系统	(242)
第四节	活性污泥法工艺类型	(251)
第五节	活性污泥系统工艺设计	(257)
第六节	活性污泥系统的运行与管理	(265)
第十二章	好氧生物膜法	(269)
第一节	生物膜法基本原理	(269)
第二节	生物滤池	(275)
第三节	生物接触氧化	(284)

第四节	曝气生物滤池	(288)
第五节	其他型式的生物膜法	(294)
第六节	生物膜法的运行与管理	(296)
第十三章	厌氧生化处理	(298)
第一节	厌氧生化法基本原理	(299)
第二节	厌氧生化处理工艺	(305)
第三节	厌氧生化法的设计计算	(314)
第四节	厌氧设备的运行管理	(318)
第十四章	生物脱氮除磷	(321)
第一节	生物脱氮	(321)
第二节	生物除磷	(327)
第三节	同步脱氮除磷工艺	(330)
第十五章	污泥处理与处置	(335)
第一节	污泥来源与特性	(335)
第二节	污泥浓缩	(339)
第三节	污泥稳定	(342)
第四节	污泥脱水	(343)
第五节	综合利用与最终处置	(348)
第十六章	废水处理工程实例	(352)
第一节	油田稠油废水处理工程实例	(352)
第二节	炼油废水处理工程实例	(362)
第三节	典型难降解化工废水处理工程实例	(366)
第四节	污水回用工程实例	(371)
第十七章	污水处理厂设计与运行	(384)
第一节	概述	(384)
第二节	厂址选择	(390)
第三节	工艺流程的确定	(390)
第四节	平面布置与高程布置	(393)
第五节	污水处理厂运行控制与管理	(399)
参考文献		(402)

第一章 绪 论

水是人类生存和发展不可或缺的宝贵资源，它在地球上分布很广，但极不均匀。随着世界经济的迅猛发展，人口数量的大幅增长，人类生活水平的逐步提高，工业化和城市化步伐的加快，用水量急剧增加，加之日益严重的水环境污染，致使水资源日益短缺，水环境生态系统功能日益恶化，对人类社会的可持续发展构成了严重的威胁。因此，如何科学地、有效地防止水污染已经成为一个全球性的研究课题。

第一节 水资源与水循环

一、水资源及其分布情况

水之所以成为资源是由其自身的物理特性、化学特性及自然特性所决定的，水资源有广义和狭义之分。

广义的水资源是指自然界各种形态水的总称。它以气态、液态和固态的形式广泛存在于地球表面和地球岩石圈、大气圈和生物圈之中，其分布情况如表 1-1 所示。地球上 97.47% 的水为难以利用的咸水，淡水资源量只占水资源总量的 2.53% 左右。可供人类利用的水资源量还不到 1%，并且这部分水资源中，只有不到全球总储水量万分之一（占淡水资源总量的 0.34%）的水与人类生产生活关系最为密切。由于水资源在不同地区的分布极不平衡，加之日益严重的水源污染，使得在一定的时空范围内，水资源量十分有限，水资源危机现象在一些地区频频出现。淡水资源短缺已成为一个全球性的环境问题，世界银行调查结果表明：人口总数占世界人口 40% 的 80 个国家正面临着水资源危机问题，在发展中国家，约有 10 亿人喝不到清洁水，17 亿人没有良好的卫生设施可供使用，每年约有 2 500 万人因饮用不清洁的水而死亡。

在世界上，我国的水资源量仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，居第四位，水资源总储量平均每年可达 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，但人均水资源拥有量仅为 $2340 \text{ m}^3/\text{a}$ ，为世界平均值的 $1/4$ 。从人均拥有量看，我国属于缺水国家。在 20 世纪 80 年代，我国缺水城市达 236 座，缺水总量为 $1.2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{d}$ ；90 年代初期，缺水城市增加到 300 座，总缺水量为 $1.6 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{d}$ ；2000 年缺水城市达到 450 座，总缺水量约为 $2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{d}$ 。我国水资源分布呈现以下三个特点：①地域分布不均衡，呈现东南多、西北少，由东南沿海地区向西北内陆地区递减的趋势；②时程分布不均匀，冬春少雨，夏秋则易造成洪涝灾害，此外年际变化也很大；③南北方的水资源开发利用不平衡，南方多水地区利用程度较低，而北方降水少的地区开

发利用程度较高。

表 1-1 地球水资源分布情况

水环境类别	水储量/ $\times 10^9 \text{ m}^3$	占总储量的/%	占淡水储量的/%
海洋水	1338000	96.5	
地下水	23400	1.7	
其中：地下咸水	12870	0.94	
地下淡水	10530	0.76	30.1
土壤水	16.5	0.001	0.05
冰川与永久雪盖	24064.1	1.74	68.7
永冻土底冰	300	0.022	0.86
湖泊水	176.4	0.013	
其中：咸水	85.4	0.006	
淡水	91.0	0.007	0.26
沼泽水	11.47	0.0008	0.08
河网水	2.12	0.0002	0.006
生物水	1.12	0.0001	0.003
大气水	12.9	0.001	0.04
总计	1385984.61	100	
其中：淡水	35029.21	2.53	100

狭义的水资源是指在当今技术经济条件下，可为人类所利用的逐年替代的那部分淡水资源。它主要指陆地上的地表水和地下水，通常以淡水体的年补给量作为水资源的定量指标。地表水资源量是指评价区内河流、湖泊、冰川等地表水体中可以逐年更新的动态水量，即当地天然河川径流量。地下水资源量是指评价区内降水和地表水对饱水岩土层的补给量，包括降水入渗补给量和河道、湖库、渠系、渠灌田间等地表水体的入渗补给量。

二、水资源的特征

1. 循环性和有限性

水资源与其他固体资源的本质区别在于其具有流动性，是在循环中形成的一种动态的可恢复性资源。水资源在开采利用后，能够得到大气降水的补给，处在不断地开采、补给和消耗、恢复的循环之中，而且在一定时间、空间范围内，大气降水对水资源的补给量是有限的，这就决定了区域水资源的有限性。可见水循环过程是无限的，水资源量是有限的，并非取之不尽，用之不竭。

2. 时空变化的不均匀性

水资源时间分布的不均匀性主要表现在水资源在年际和年内变化幅度大。在年际之间，丰、枯水年水资源量相差悬殊，在丰水年内，汛期水量集中，有多余用水，而枯水期水量减少，不能满足用水需求。水资源空间变化的不均匀性表现在地区分布的不均匀性。如全球水资源按地区分布极不平衡，巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果 9 个国家的淡水资源占世界淡水资源 60%，而约占世界人口总数

40% 的 80 个国家和地区的人口面临淡水不足，其中 26 个国家的 3 亿人口完全生活在缺水状态。

3. 利用的多样性

水资源是被人类在生产和生活活动中广泛利用的资源，不仅广泛应用于农业、工业和生活，还用于发电、水运、水产、旅游和环境改善等。在各种不同的用途中，有的是消耗用水，有的则是非消耗性或消耗很小的用水，而且对水质的要求各不相同。水资源利用的多样性是使水资源实现一水多用、充分发挥其综合效益的有利条件。

4. 两重性

与其他矿产资源相比，水资源具有既可造福于人类，又可危害人类生存的两重性。如水量过多容易造成洪水泛滥，水量过少容易形成干旱、盐渍化等自然灾害。适量开采地下水可为国民经济各部门和居民生活提供水源，满足生产、生活的需求，无节制、不合理地抽取地下水，往往引起水位持续下降、水质恶化、水量减少、地面沉降，不仅影响生产发展，而且严重威胁人类生存。因此，在水资源的开发利用过程中尤其强调合理利用、有序开发，以达到兴利除害的目的。

三、水的循环

水具有气、液、固三态变化的独特性质，在太阳能和日地运行规律的支配下，地球上的水无时不处于变化运动之中，存在着复杂的、大体以年为周期的水循环。

1. 水的自然循环

在太阳能和地球表面热能的作用下，地球上的水不断被蒸发成为水蒸气，进入大气，水蒸气遇冷又凝聚成水，在重力的作用下，以降水的形式落到地面，这个周而复始的过程称为水的自然循环，包括蒸发、水汽输送、降水和径流四个阶段。水的自然循环又可分为大循环和小循环。如图 1-1 所示，从海洋蒸发出来的水蒸气，被气流带到陆地上空，凝结为雨、雪、冰雹等落到地面，一部分被蒸发返回大气(约占 56%)，其余部分成为地表径流(约占 34%)或地下径流(约占 10%)等，最终流回海洋。这种海洋和陆地之间水的往复运动过程，称为水的大循环。仅在局部地区(陆地或海洋)进行的水循环称为水的小循环。环境中水的循环是大、小循环交织在一起的，在全球范围内不停地进行着。自然界水的循环和运动是陆地淡水资源形成、存在和永续利用的基本条件。

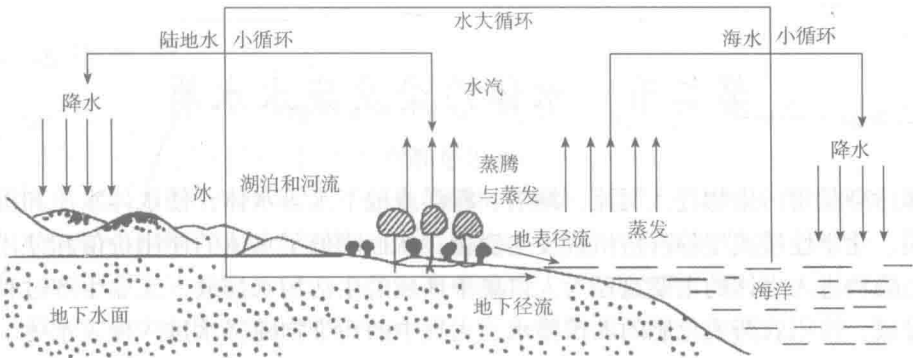


图 1-1 水的自然循环

2. 水的社会循环

水由于人类的活动而不断地迁移转化,形成了水的社会循环。水的社会循环是指人类为了满足生活和生产的需求,不断取用天然水体中的水,经过使用,一部分天然水被消耗,但绝大部分变成生活污水和生产污水排放,重新进入天然水体的过程。水的社会循环由给水、用水、排水三个环节构成。

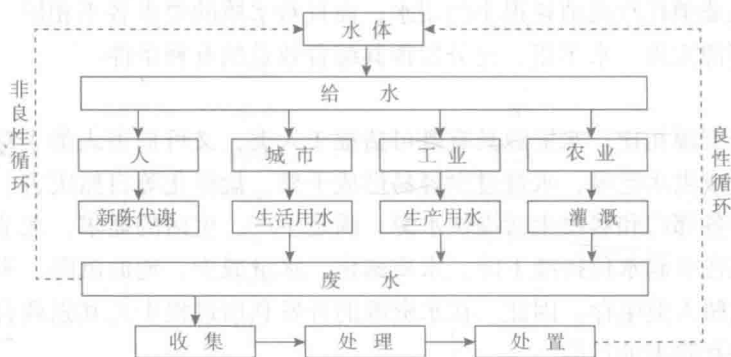


图 1-2 水的社会循环

水的社会循环分良性循环和非良性循环两种类型。如图 1-2 所示,良性循环是指对使用后的污水经过收集、处理和处置,使其水质达到国家规定的排放标准后,才返回天然水体的循环方式;非良性循环则是对使用后的污水不经处理就直接排入天然水体的循环方式。

与水的自然循环不同,在水的社会循环中水的性质在不断地发生变化。例如,在人类的生活用水中,只有很少一部分是作为饮用或食品加工以满足生命对水的需求,其余大部分水是用于卫生目的如洗涤、冲厕等,这部分水经过使用会含有大量污染物质。工业生产用水量很大,除了一部分水作为工业原料外,大部分为冷却、洗涤用水,还有少量用于其他目的,使用后水质也发生显著变化,其污染程度随工业性质、用水性质及方式等因素而不同。在农业生产中,化肥、农药使用量的日益增多使得降雨后的农田径流中大量化学物质流入地面或地下水体。

在水的社会循环中,生活污水和工农业生产污水的排放,是形成自然界水污染的主要根源,也是水污染防治的主要对象。

第二节 水体污染及废水水质

水体污染是指污染物进入河流、湖泊、海洋或地下水等水体,使水体水质和沉积物的物理性质、化学性质或生物群落组成发生变化,从而降低了水体的使用价值和使用功能的现象。污染物进入水体的主要途径为人口集中区域的生活污水排放、工业生产过程中的废水排放、使用农药或化肥的农田排水、大气中的污染物随降水进入地表水体、固体废弃物堆放场地因雨水冲刷渗漏或抛入水体等所造成的污染,其中废水排放是造成水污染的主要原因。

一、废水的类型与特征

废水根据其来源一般可以分为生活污水、工业废水、初期污染雨水及城镇污水。其中,城镇污水是指由城镇排水系统收集的生活污水、工业废水及部分城镇地表径流(雨雪水),是一种综合废水。

1. 生活污水

生活污水主要来自家庭、商业、机关、学校、医院、城镇公共设施及工厂的餐饮、卫生间、浴室、洗衣房等,包括厕所冲洗水、厨房洗涤水、洗衣排水、沐浴排水及其他排水等。生活污水的主要成分为纤维素、淀粉、糖类、脂肪和蛋白质等有机物质,以及氮、磷、硫等无机盐类及泥沙等杂质,生活污水中还含有多种微生物及病原体。影响生活污水水质的主要因素有生活水平、生活习惯、卫生设备及气候条件等。

2. 工业废水

工业废水主要是在工业生产过程中被生产原料、中间产品或成品等物料所污染的水。工业废水由于种类繁多,污染物成分及性质随生产过程而异,变化复杂。一般而言,工业废水污染比较严重,往往含有有毒有害物质,有的含有易燃、易爆和腐蚀性强的污染物,必须处理达到要求后才能排入城镇排水系统,是城镇污水中有毒有害污染物的主要来源。影响工业废水水质的主要因素有工业类型、生产工艺和生产管理水平等。

3. 初期雨水

初期雨水是雨雪降至地面形成的初期地表径流,将大气和地表中的污染物带入水中,形成面源污染。初期雨水的水质水量随区域环境、季节和时间变化,成分比较复杂。个别地区甚至可以出现初期雨水污染物浓度超过生活污水的现象,某些工业废渣或城镇垃圾堆放场地经雨水冲淋后产生的污水更具危险性。影响初期雨水被污染的主要因素有大气质量、气候条件、地面及建筑物环境质量等。

4. 城镇污水

城镇污水包括生活污水、工业废水等,在合流制排水系统中包括雨水,在半分流制排水系统中包括初期雨水。城镇污水成分性质比较复杂,不仅各城镇间不同,同一城市中的不同区域也有差异,需要进行全面细致的调查研究,才能确定其水质成分及特点。影响城镇污水水质的因素较多,主要为所采用的排水体制,以及所在地区生活污水与工业废水的特点及比例等。

二、废水水质

了解废水水质(即其中污染物的种类、性质和浓度),对于废水的收集、处理和处置设施的设计和操作以及环境质量的技术管理都是重要的。

废水中的污染物种类大致可如下区分:固体污染物、需氧污染物、营养性污染物、酸碱污染物、有毒污染物、油类污染物、生物污染物、感官性污染物和热污染等。为了表征废水水质,规定了许多水质指标,主要有有毒物质、有机物质、悬浮物、pH 值、色度、温度等。一种水质指标可能包括几种污染物,而一种污染物也可以用多个水质指标进行表征。

(一) 固体污染物

固体污染物在水中以三种状态存在：溶解态(直径小于 1 nm)、胶体态(直径介于 1 ~ 100 nm)和悬浮态(直径大于 100 nm)。固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。

悬浮物是一项重要的水质指标，水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜(孔径约 3 ~ 10 μ m)的叫溶解固体(DS)；不能透过的叫悬浮固体或悬浮物(SS)，两者合称为总固体(TS)。水中悬浮物的存在不但使水质浑浊，而且使管道及设备阻塞、磨损，干扰废水处理及回收设备的工作。

浊度是对水的光传导性能的一种测量，其值可表征废水中胶体态固体污染物的含量。

(二) 需氧污染物

废水中能通过生物化学和化学作用而消耗水中溶解氧的物质，统称为需氧污染物。绝大多数的需氧污染物是有机物，无机物主要有 Fe、Fe²⁺、S²⁻、CN⁻等。因而在一般情况下，需氧物即指有机物。

由于有机物的种类非常多，现有的分析技术难以将其严格区分与定量。在工程实际中常用以下几个综合水质指标来描述。

1. 生化需氧量(BOD)

在有氧条件下，由于微生物的活动，降解有机物所需的氧量，称为生化需氧量。单位为单位体积废水所消耗的氧量(mg/L)。图 1-3 表示有机物氧化过程的需氧关系。

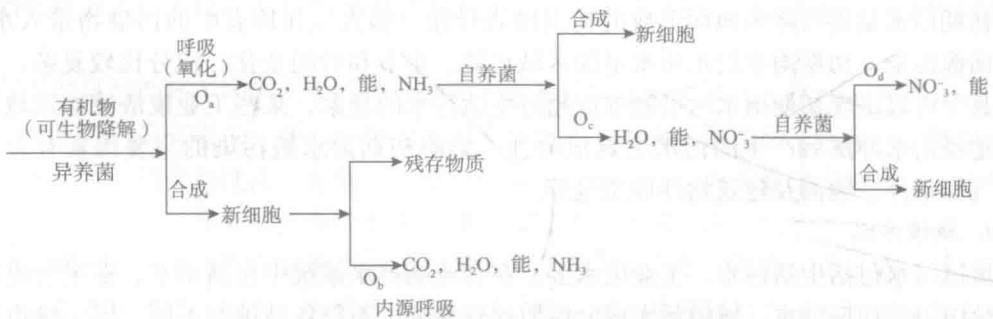


图 1-3 好氧生物降解示意图

注：① 假定有机物含有 C、H、O、N 元素，因 P、S 等极少，未予考虑；

② 内部呼吸产生的氨的氧化和硝化菌内源呼吸消耗的氧未考虑。

废水中有机物的分解一般可分为两个阶段。第一阶段(碳化阶段)是有机物中的碳氧化为二氧化碳，有机物中的氮氧化为氨的过程。碳化阶段消耗的氧量称为碳化需氧量，用 L_c 或 BOD_c 表示，其值等于 O_a 和 O_b 之和。第二阶段(硝化阶段)，氨在硝化细菌作用下，被氧化为亚硝酸根和硝酸根。硝化阶段的耗氧量称为硝化需氧量，用 L_N 或 NOD 表示，其值等于 O_c 和 O_d 之和。

上述有机物生化耗氧过程与温度、时间有关。在一定范围内温度越高，微生物活力越强，消耗有机物越快，需氧越多；时间越长，微生物降解有机物的数量和深度越大，需氧越多。由于温带地区地面平均温度接近于 20 $^{\circ}$ C，故在实际测定生化需氧量时，温度规定为 20 $^{\circ}$ C。此时，一般有机物需 20 天左右才能基本完成第一阶段的氧化分解过程，其需氧量用 BOD_{20} 表示，它可视为完全生化需氧量 L_a 。在实际测定时，20 天仍嫌太长，一般采用 5

天作为测定时间,称为 BOD_5 。各种废水的水质差别很大,其 BOD_{20} 与 BOD_5 相差悬殊,但对某一种废水而言,比值相对固定,如生活污水的 BOD_5 约为 BOD_u 的 0.7 倍。因此把 20°C 、5 天测定的 BOD_5 作为衡量废水的有机物浓度指标。

BOD_5 作为有机物浓度指标,基本上反映了能被微生物氧化分解的有机物的量,较为直接、确切地说明了问题。但仍存在一些缺点:①当污水中含大量的难生物降解的物质时, BOD_5 测定误差较大;②反馈信息太慢,每次测定需 5 天,不能迅速及时指导实际工作;③废水中如存在抑制微生物生长繁殖的物质或不含微生物生长所需的营养时,将影响测定结果。

2. 化学需氧量(COD)

化学需氧量是指在酸性条件下用强氧化剂将有机物氧化为 CO_2 、 H_2O 所消耗的氧量。氧化剂一般采用重铬酸钾,由于重铬酸钾氧化作用很强,所以能够较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原物质(但不包括硝化所需的氧量),此时化学需氧量用 COD_{Cr} 或 COD 表示。如采用高锰酸钾作为氧化剂,则写作 COD_{Mn} 或高锰酸盐指数。

与 BOD_5 相比, COD 能够在较短的时间内(规定为 2h)较精确地测出废水中耗氧物质的含量,不受水质限制。缺点是不能表示可被微生物氧化的有机物量,此外废水中的还原性无机物也能消耗部分氧,造成一定误差。

如果废水中各种成分相对稳定,那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般说来, $\text{COD}_{\text{Cr}} > BOD_{20} > BOD_5 > \text{COD}_{\text{Mn}}$, 其中 BOD_5/COD 比值可作为废水是否适宜生化法处理的一个衡量指标。比值越大,越容易被生化处理。一般认为 BOD_5/COD 大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

3. 总需氧量(TOD)

有机物主要元素是 C、H、O、N、S 等。在高温下燃烧后,将分别产生 CO_2 、 H_2O 、 NO_2 和 SO_2 , 所消耗的氧量称为总需氧量 TOD。TOD 的值一般大于 COD 的值。

TOD 的测定方法是:向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样,并将其送入以铂为催化剂的燃烧管中,在 900°C 高温下燃烧,水样中的有机物即被氧化,消耗掉氧气流中的氧气,剩余氧量可用电极测定并自动记录。氧气流原有氧量减去剩余氧量即得总需氧量 TOD。TOD 的测定仅需几分钟。

4. 总有机碳(TOC)

有机物都含有碳,通过测定废水中的总含碳量可以表示有机物含量。总有机碳(TOC)的测定方法是:向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样,并将其送入以铂为催化剂的燃烧管中,在 900°C 高温下燃烧,用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的 CO_2 量,再折算出其中的含碳量,就是总有机碳 TOC 值。为排除无机碳酸盐的干扰,应先将水样酸化,再通过压缩空气吹脱水中的碳酸盐。TOC 的测定时间也仅需几分钟。

(三)营养性污染物

废水中所含的 N 和 P 是植物和微生物的主要营养物质。当废水排入受纳水体,使水产 N 和 P 的浓度分别超过 0.2 mg/L 和 0.02 mg/L 时,就会引起受纳水体的富营养化,促进各种水生生物(主要是藻类)的活性,刺激它们的异常增殖,这样会造成一系列的危害。

(1)藻类占据的空间越来越大,使鱼类活动空间越来越小,衰死藻类将沉积水底,增

加水体有机物量。

(2)藻类种类逐渐减少,从以硅藻和绿藻为主转为以迅速繁殖的蓝藻为主,蓝藻不是鱼类的良好饲料,并且有些还会产生出毒素。

(3)藻类过度生长,将造成水中溶解氧的急剧减少,使水体处于严重缺氧状态,造成鱼类死亡,水体腐败发臭。

N 的主要来源是氮肥厂、洗毛厂、制革厂、造纸厂、印染厂、食品厂和饲养厂等。P 的主要来源是磷肥厂和含磷洗涤剂等。生活污水经普通生化法处理,也会转化出无机的 P 和 N 等。此外 BOD、温度、维生素类物质也能促进和触发营养性污染。

(四)酸碱污染物

酸碱污染物主要由工业废水排放的酸碱以及酸雨带来。水质标准中以 pH 值来反映其含量水平。

酸碱污染物使水体的 pH 值发生变化,破坏自然缓冲作用,抑制微生物生长,妨碍水体自净,使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。各种生物都有各自的 pH 值适应范围,超过该范围,就会影响其生存。对渔业水体而言, pH 值不得低于 6 或高于 9.2,当 pH 值为 5.5 时,一些鱼类就不能生存或生殖率下降。农业灌溉用水的 pH 值应为 6.5~8.5。此外酸性废水也对金属和混凝土材料造成腐蚀。

(五)有毒污染物

废水中能对生物引起毒性反应的化学物质,称为有毒污染物。工业上使用的有毒化学物质已经超过 12000 种,而且每年以 500 种的速度递增。毒物是重要的水质指标,各类水质标准对主要的毒物都规定了限值。

废水中的毒物可分为三大类:无机化学毒物、有机化学毒物和放射性物质。

1. 无机化学毒物

无机化学毒物包括金属和非金属两类。金属毒物主要为汞、铬、镉、铅、锌、镍、铜、铁、锰、钛、钒、钼和铋等,特别是前几种危害更大。如汞进入人体后被转化为甲基汞,在脑组织内积累,破坏神经功能,无法用药物治疗,严重时能造成死亡。镉中毒时引起全身疼痛、腰关节受损、骨节变形,有时还会引起心血管病。

金属毒物具有以下特点:①不能被微生物降解,只能在各种形态间相互转化、分散,如无机汞能在微生物作用下,转化为毒性更大的甲基汞;②其毒性以离子态存在时最严重,金属离子在水中容易被带负电荷的胶体吸附,吸附金属离子的胶体可随水流迁移,但大多数会迅速沉降,因此重金属一般都富集在排污口下游一定范围内的底泥中;③能被生物富集于体内,既危害生物,又通过食物链危害人体,如淡水鱼能将汞富集 1000 倍、镉 300 倍、铬 200 倍等;④重金属进入人体后,能够和生理高分子物质如蛋白质和酶等发生作用而使这些生理高分子物质失去活性,也可能在人体的某些器官积累,造成慢性中毒,其危害有时需 10~20 年才能显露出来。

重要的非金属毒物有砷、硒、氰、氟、硫、亚硝酸根等。如砷中毒时能引起中枢神经紊乱,诱发皮肤癌等。亚硝酸盐在人体内还能与仲胺生成亚硝胺,具有强烈的致癌作用。

必须指出的是许多毒物元素,往往是生物体所必需的微量元素,只是在超过一定限值时才会致毒。

2. 有机化学毒物

这类毒物大多是人工合成有机物,难以被生化降解,并且大多是较强的三致物质(致癌、致突变、致畸),毒性很大。主要有:农药(DDT、有机氯、有机磷等)、酚类化合物、聚氯联苯、稠环芳烃(如苯并芘)、芳香族氨基化合物等。以有机氯农药为例,首先其具有很强的化学稳定性,在自然环境中的半衰期为十几年到几十年,其次它们都可能通过食物链在人体内富集,危害人体健康。如 DDT 能蓄积于鱼脂中,浓度可比水体中高 12500 倍。

3. 放射性物质

放射性是指原子核衰变而释放射线的物质属性,主要包括 X 射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线及质子束等。废水中的放射性物质主要来自铀、镭等放射性金属生产和使用过程,如核试验、核燃料再处理、原料冶炼厂等。其浓度一般较低,主要引起慢性辐射和后期效应,如诱发癌症、对孕妇和婴儿产生损伤,引起遗传性伤害等。

(六) 油类污染物

油类污染物包括“石油类”和“动植物油”两项。油类污染物能在水面上形成油膜,隔绝大气与水面,破坏水体的复氧条件。它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表,影响养分的吸收和废物的排出。当水中含油 0.01 ~ 0.1 mg/L 时,对鱼类和水生生物就会产生影响。当水中含油 0.3 ~ 0.5 mg/L 时就会产生石油气味,不适合饮用。

(七) 生物污染物

生物污染物主要是指废水中的致病性微生物,它包括致病细菌、病虫卵和病毒。未污染的天然水中细菌含量很低,当城市污水、医院污水等排入后将带入各种病原微生物。如生活污水中可能会有能引起肝炎、伤寒、霍乱、痢疾、脑炎的病毒和细菌以及蛔虫卵和钩虫卵等。生物污染物污染的特点是数量大、分布广、存活时间长、繁殖速度快,必须予以高度重视。

水质标准中的卫生学指标有细菌总数和总大肠菌群数两项,后者反映水体中动物粪便污染的状况。

(八) 感官性污染物

废水中能引起异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象的物质,虽无严重危害,但能引起人们感官上的极度不快,被称为感官性污染物。对于供游览和文体活动的水体而言,感官性污染物的危害则较大。

异色、浑浊的废水主要来源于印染厂、纺织厂、造纸厂、焦化厂、煤气厂等。恶臭废水来源于炼油厂、石化厂、橡胶厂、制药厂、屠宰厂、皮革厂等。当废水中含有表面活性物质时,在流动和曝气过程中将产生泡沫,如造纸废水、纺织废水等。

各类水质标准中,对色度、臭味、浊度、漂浮物等指标都作了相应的规定。

(九) 热污染

废水温度过高而引起的危害,叫做热污染,热污染的主要危害有以下几点:

(1) 一方面,使水体溶解氧浓度降低,相应的亏氧量随之减少,大气中的氧向水体传递的速率减慢;另一方面,水温升高会导致生物耗氧速度加快,促使水体中溶解氧更快被耗尽,水质迅速恶化。

(2) 加快藻类繁殖,从而加快水体富营养化进程。

(3) 水体中的化学反应加快, 使水体的物化性质如离子浓度、腐蚀性发生变化, 可能对管道和容器造成腐蚀。

(4) 加速细菌生长繁殖, 增加后续水处理的费用。如取该水体作为给水水源, 则需要增加混凝剂和氯的投加量, 且使水中的有机氯化物含量增加。

第三节 废水出路与水质标准

一、废水出路

随着我国社会经济的快速发展, 工业化和城镇化水平不断提高, 废水排放量持续增加, 科学合理地处理好废水的出路问题是保护生态环境实现可持续发展的重要保障。

1. 废水经处理后排放水体

排放水体是废水净化后的传统出路和自然归宿, 也是目前最常用的方法。废水直接排放水体会破坏水体的环境功能。为了避免废水对水体的污染, 保护水生生态, 废水必须经过处理达到排放标准后才能排入水体。但通常经处理净化后的废水仍有少量污染物, 排入水体后有一个逐步稀释、降解的自然净化过程。污水处理场排放口一般设在江河下游或海域, 以避免污染城市供水水质和影响水体环境质量。

2. 污水的再生利用

我国水资源十分短缺, 人均水资源只有世界平均水平的 $1/4$, 水已成为未来制约国民经济发展和人民生活水平提高的重要因素。一方面城市缺水十分严重, 另一方面大量处理后的废水直接排放, 既浪费了资源, 又增加水体环境负荷。经污水处理厂处理后的出水是潜在的水资源, 经适当的深度处理后回用于水质要求较低的市政用水、工业冷却水等, 是解决水资源短缺的有效途径。这不仅可以减少对优质饮用水水资源的消耗, 更重要的是可以缓解干旱地区缺水的窘迫状态。因此, 污水的再生利用是开源节流、减轻水体污染程度、改善生态环境、解决缺水问题的有效途径之一。

二、水质标准

(一) 水环境质量标准

天然水体是人类的重要资源, 为了保护天然水体的质量, 不因污水的排入而导致恶化甚至破坏, 在水环境管理中需要控制水体水质分类达到一定的水环境标准要求。水环境质量标准是污水排入水体时采用排放标准等级的重要依据, 我国目前水环境质量标准主要有《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)、《海水水质标准》(GB 3097—1997)、《地下水质量标准》(GB/T 14848—1993)。

依据地表水水域环境功能和保护目标, 《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 按功能高低依次将水体划分为五类: I 类主要适用于源头水、国家自然保护区; II 类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、幼鱼的索饵场等; III 类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区; IV 类主要适用于一般工业用水区及人体非直