

国 家 级 精 品 课 程 教 材

# 水污染控制工程

成官文 主编



化学工业出版社

国家级精品课程教材

# 水污染控制工程

成官文 主编



化学工业出版社

·北京·

本书是在十余年《水污染控制工程》本科教学研究基础上编写的。系统介绍了水污染控制工程的基本概念、理论、机理；重点阐述了水污染治理技术和设备，注重反映水污染控制工程的新技术、新工艺和新方法；并介绍了废水的生物固体处理、回用和处置，强化了操作运行管理与维护的内容。本书编写重视经典理论的传承和新技术、新工艺的引进，注重与工程实践和规范的衔接，并对陈旧的知识进行了删减，以适应新时期工程类本科教学改革以及普通高等学校学生自主学习的需要，具有较高的针对性和实用性。

本书可作为高等院校环境科学、环境工程及相关专业师生的教材，也可供从事水处理和环境保护的研究、设计与运行管理人员使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

水污染控制工程/成官文主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-122-04935-3

I. 水… II. 成… III. 水污染-污染控制-高等学校-教材 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 027131 号

---

责任编辑: 满悦芝

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 陈 静

装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$  字数 612 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

自工业革命 200 年以来, 全球经济不断增长, 同时全球性问题和全球性环境问题相继出现, 使人类生存和发展受到巨大的挑战。水环境污染和水资源短缺是现在和未来很长一段时间全球必须面对的环境问题之一, 而快速发展的水污染控制工程将成为解决水环境污染和水资源短缺这一难题的唯一途径。

近几十年来, 水污染控制工程无论在理论研究上还是在工程应用上, 都取得了长足的发展, 新理论、新技术、新工艺、新设备、新材料大量涌现, 如 A/O 工艺、A<sup>2</sup>/O 工艺、SBR 工艺等好氧生物处理工艺, 厌氧接触氧化、厌氧生物滤池、厌氧膨胀床、UASB 等厌氧生物处理技术, 湿式空气氧化、催化湿式氧化、光化学氧化、光化学催化氧化等高级氧化技术, 二氧化氯消毒、臭氧消毒、过氧化氢消毒和紫外 (UV) 辐射消毒等消毒技术, 多种新型填料和膜技术推广, 生物聚磷-释磷以及高效生物菌的筛选、培养和固定化, 交替式厌氧-好氧生物处理、悬浮生长与附着生长复合生物处理, 中水回用与污 (废) 水资源化等。与此同时, 计算机在水污染控制工程中的应用得到迅速发展, 水质模型研究及其在污水处理厂设计中的应用逐渐得到推广, 并使污水处理厂的运行管理更加科学和高效, 技术经济性更加合理。水污染控制工程理论研究和工程实践应用的进步为水污染的治理、水生态环境的恢复和水资源的保护起到了巨大的作用。

不应回避, 当前世界各国均面临水环境污染和水资源短缺的严重现实。如何在短时期内有效控制水环境污染, 保护日益短缺的水资源, 成为每一位环境保护工作者肩负的重大使命之一。编写这本教材, 旨在使从事环境学科的青年学子全面了解水环境污染现状与危害, 系统学习和掌握水污染控制工程的基本理论和工程技术知识, 以期为未来的水环境污染治理、水生态环境恢复和水资源保护起到积极的作用。

本书是在十余年《水污染控制工程》本科教学研究基础上编写的。十余年来, 本课程的教学经过了从系级重点课程、学校重点课程、学校精品课程、省 (区) 级重点课程、省 (区) 级精品建设课程到国家级精品建设课程的建设过程, 积累了大量的教学资源。本书编写重视经典理论的传承和新技术、新工艺的引进, 注重与工程实践和规范的衔接, 并对陈旧的知识进行了删减, 以适应新时期工程类本科教学改革以及普通高等学校学生自主学习的需要。

本书由成官文主编, 其中肖瑜承担了第十二章的编写, 其余章节均由成官文完成。此外, 朱宗强参与了第三章、第四章、第五章的编写, 梁凌参与了第六章、第七章的编写, 周军 (郑州轻工业学院) 参与了第九章的编写, 廖雷参与了第十一章的编写, 研究生罗介均、魏荣荣、韦文渊、徐珊以及同济大学轨道交通 08 级成诚同学参与了教材的图件制作。

由于编写人水平所限, 本书难免会出现一些疏漏和不当之处, 敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

# 目 录

第一章 概论	1
第一节 水资源和水环境	1
一、水资源	1
二、水环境	1
第二节 水污染控制工程的内容和任务	5
第三节 水污染控制技术的发展与展望	6
一、水污染控制技术的发展	6
二、水污染控制技术的展望	7
第二章 污水水质及排放标准	8
第一节 污水分类	8
一、生活污水	8
二、工业废水	8
三、初期雨水	8
四、城镇污水	8
第二节 污水水质及其指标	8
一、污水的物理性质及特征指标	9
二、污水的化学性质及特征指标	11
三、微生物学特征及指标	18
第三节 排放标准	18
一、水环境质量标准	18
二、污水排放标准	19
复习思考题	20
参考文献	20
第三章 水污染控制工程的基本原理、方法	21
第一节 水体自净作用及其水污染控制工程原型	21
一、水体污染	21
二、水体自净作用	21
三、水污染控制工程原型	24
第二节 水污染控制的基本方法及其处理工艺	25
一、水污染控制的基本方法	25
二、水污染控制的基本工艺	25
第三节 水体水质模型	26
一、水体水质基本模型	26
二、河流氧垂曲线方程	29
第四节 水环境容量及其污染负荷削减	33
一、水环境容量的分类	33
二、水环境容量计算	34
三、污染负荷削减	37
复习思考题	41
参考文献	41
第四章 污水的物理处理	42
第一节 格栅与筛网	42
一、格栅的作用	42
二、格栅的分类	42
三、格栅的设计计算	45
第二节 调节池	48
一、调节池的作用	48
二、调节池的设置	48
三、调节池的设计计算	49
第三节 沉淀理论	53
一、沉淀类型	53
二、沉淀理论基础	53
三、沉淀池的工作原理	56



第四节 沉砂池 .....	57	五、斜板(管)沉淀池 .....	71
一、设计规范要求 .....	57	第六节 隔油池 .....	72
二、平流沉砂池 .....	58	一、隔油池结构 .....	73
三、曝气沉砂池 .....	59	二、隔油池的设计计算 .....	73
四、旋流沉砂池 .....	60	第七节 气浮池 .....	74
第五节 沉淀池 .....	61	一、气浮原理 .....	74
一、设计规范要求 .....	61	二、气浮法的类型 .....	77
二、平流式沉淀池 .....	62	三、加压溶气气浮装置组成及设计计算 .....	79
三、竖流式沉淀池 .....	67	复习思考题 .....	84
四、辐流式沉淀池 .....	69	参考文献 .....	85
<b>第五章 污水生物处理基础</b> .....	86		
第一节 污水生物处理的微生物学原理 .....	86	三、生物硝化与反硝化 .....	100
一、污水处理系统中的微生物 .....	86	四、生物除磷 .....	101
二、微生物的生长 .....	87	第三节 曝气理论 .....	102
三、微生物的生长环境 .....	88	一、基本原理 .....	102
四、微生物的代谢 .....	89	二、曝气供气量计算 .....	105
五、微生物生长动力学 .....	91	三、曝气设备 .....	106
第二节 污水生物处理的基本原理 .....	97	复习思考题 .....	110
一、好氧生物处理 .....	97	参考文献 .....	110
二、厌氧生物处理 .....	98		
<b>第六章 污水好氧生物处理工艺(一)——活性污泥法</b> .....	111		
第一节 活性污泥法的基本概念 .....	111	一、生物脱氮工艺 .....	137
第二节 活性污泥法的发展 .....	116	二、生物除磷工艺 .....	141
一、活性污泥法曝气池的基本形式 .....	116	三、生物脱氮除磷工艺(A <sup>2</sup> /O) .....	142
二、活性污泥法的发展和演变 .....	118	四、氧化沟 .....	145
三、污水生物脱氮除磷工艺的发展 .....	124	五、SBR法 .....	149
四、膜生物反应器(MBR) .....	131	六、生物脱氮、除磷系统的影响因素 .....	150
第三节 去除有机污染物的活性污泥法过程设计 .....	132	第五节 活性污泥法系统设计方法的深化 .....	151
一、传统活性污泥法设计的有关规范要求 .....	132	一、污水水质特征的表征 .....	151
二、曝气池容积设计计算 .....	132	二、活性污泥法模型简介 .....	153
三、剩余污泥量计算 .....	134	第六节 活性污泥法处理系统的设计、运行与管理 .....	157
四、需氧量设计计算 .....	135	复习思考题 .....	163
第四节 脱氮、除磷活性污泥法工艺及其设计 .....	137	参考文献 .....	163
<b>第七章 污水好氧生物处理工艺(二)——生物膜法</b> .....	164		
第一节 概述 .....	164	因素 .....	167
一、生物膜的结构及其工艺特征 .....	164	三、生物膜法反应动力学介绍 .....	168
二、影响生物膜法污水处理效果的主要 .....		第二节 生物滤池 .....	171

一、概述 .....	171	第五节 曝气生物滤池 .....	194
二、生物滤池的设计计算 .....	177	一、概述 .....	194
三、生物滤池的运行 .....	184	二、曝气生物滤池工艺设计的有关规定 及其工艺参数 .....	197
第三节 生物转盘 .....	185	第六节 生物流化床 .....	198
一、概述 .....	185	一、概述 .....	198
二、生物转盘的设计计算 .....	188	二、生物流化床工艺设计 .....	202
三、生物转盘法的应用和研究进展 .....	189	复习思考题 .....	202
第四节 生物接触氧化法 .....	190	参考文献 .....	203
一、概述 .....	190		
二、生物接触氧化法的设计计算 .....	192		
<b>第八章 污水的自然生物处理</b> .....	<b>204</b>		
第一节 稳定塘 .....	204	三、污水土地处理系统的工艺类型 .....	214
一、概述 .....	204	第三节 人工湿地处理 .....	216
二、好氧塘 .....	206	一、概述 .....	216
三、兼性塘 .....	208	二、人工湿地的净化机理 .....	217
四、厌氧塘 .....	209	三、人工湿地的类型 .....	219
五、曝气塘 .....	210	四、人工湿地的设计 .....	220
第二节 污水土地处理 .....	211	复习思考题 .....	221
一、概述 .....	211	参考文献 .....	221
二、污水土地处理系统的净化原理 .....	212		
<b>第九章 污水的厌氧生物处理</b> .....	<b>222</b>		
第一节 污水厌氧生物处理的基本原理 .....	222	六、上流式厌氧污泥床反应器 .....	230
一、厌氧消化(发酵)的机理 .....	222	七、污水生物制氢技术 .....	234
二、厌氧消化(发酵)的影响因素 .....	223	第三节 厌氧生物处理法的设计计算 .....	239
第二节 污水的厌氧生物处理技术 .....	227	一、流程和设备的选择 .....	239
一、化粪池 .....	227	二、厌氧反应器的设计 .....	239
二、厌氧生物滤池(AF) .....	227	三、消化池的热量计算 .....	240
三、厌氧接触法 .....	228	复习思考题 .....	240
四、两级厌氧消化和两相厌氧消化 .....	229	参考文献 .....	241
五、厌氧膨胀床(AAFEB)和厌氧 流化床(afb) .....	229		
<b>第十章 污水化学处理工艺</b> .....	<b>242</b>		
第一节 中和法 .....	242	四、混凝设备 .....	250
一、中和法原理 .....	242	第三节 化学沉淀 .....	252
二、中和法工艺技术与设备 .....	242	一、化学沉淀法基本原理 .....	252
第二节 化学混凝法 .....	245	二、化学沉淀法除氨除磷 .....	254
一、化学混凝基本原理 .....	245	三、化学沉淀去除重金属 .....	259
二、废水处理中常用的混凝剂和助凝剂 .....	247	第四节 氧化还原 .....	260
三、混凝的影响因素和操作程序 .....	248	一、基本原理 .....	260
		二、氧化还原反应及其流程 .....	260

复习思考题 .....	262	参考文献 .....	263
<b>第十一章 污水深度处理与回用</b> .....	264		
第一节 概述 .....	264	三、离子交换设备及其应用 .....	283
第二节 膜过滤 .....	264	第五节 高级氧化 .....	284
一、膜分离类型及基本原理 .....	265	一、光化学氧化 .....	284
二、膜组件 .....	267	二、光化学催化氧化 .....	288
三、膜分离器的运行 .....	269	三、湿式氧化法 .....	289
第三节 吸附 .....	271	第六节 消毒技术 .....	290
一、吸附剂 .....	271	一、二氧化氯消毒 .....	291
二、吸附原理 .....	273	二、紫外线消毒 .....	293
三、吸附工艺和设备 .....	276	第七节 污水回用 .....	297
四、吸附剂的再生 .....	280	一、回用水水质标准 .....	298
第四节 离子交换 .....	281	二、污水回用处理技术 .....	298
一、基本原理 .....	281	复习思考题 .....	301
二、离子交换剂 .....	282	参考文献 .....	302
<b>第十二章 污泥处理与处置</b> .....	303		
第一节 污泥的来源、性质及其处理处置方法 .....	303	三、消化池设计计算 .....	313
一、污泥的来源 .....	303	第四节 污泥脱水 .....	316
二、污泥的性质 .....	303	一、干化场脱水 .....	316
三、污泥处理与处置方法 .....	305	二、机械脱水 .....	317
第二节 污泥浓缩 .....	306	三、规范规定 .....	319
一、重力浓缩 .....	306	第五节 污泥的最终处置 .....	320
二、气浮浓缩 .....	308	一、农业回用 .....	320
三、离心浓缩 .....	310	二、污泥堆肥 .....	320
第三节 污泥消化 .....	310	三、污泥焚烧 .....	321
一、污泥厌氧消化 .....	310	四、污泥填埋 .....	322
二、污泥好氧消化 .....	312	复习思考题 .....	323
		参考文献 .....	323
<b>第十三章 污水处理厂和工业废水处理站的设计</b> .....	324		
第一节 污水处理厂设计的基础资料 .....	324	第四节 平面布置与高程布置 .....	332
一、设计任务与设计依据的原始资料 .....	324	一、平面布置 .....	332
二、设计规范和水质排放标准 .....	324	二、高程布置 .....	333
第二节 设计步骤 .....	325	第五节 技术经济性分析 .....	336
一、设计前期工作 .....	325	一、技术经济性分析的主要内容 .....	336
二、初步扩大设计 .....	325	二、建设投资与经营管理费用 .....	336
三、施工图设计 .....	326	三、经济比较与分析方法 .....	337
第三节 城市(镇)污水处理厂设计 .....	326	四、社会与环境效益评估 .....	338
一、厂址选择 .....	326	第六节 工业废水处理站设计 .....	338
二、工艺流程选择 .....	327	复习思考题 .....	339
三、工艺流程选择的工程案例 .....	328	参考文献 .....	340



附录	341	附录四	城镇污水处理厂污染物排放	348
附录一	地表水环境质量标准 (GB 3838—2002)	附录五	城市污水再生利用 城市杂用水水质	352
附录二	地下水质量标准 (GB/T 14848—93)	附录六	渔业水质标准 (GB 11607—89)	354
附录三	农田灌溉水质标准 (GB 5084—92)			

# 第一章

# 概 论

## 第一节 水资源和水环境

### 一、水资源

人类的生存、生产与生活离不开水。

地球是一个以水圈为主的球体，地球上海洋面积占全球面积的 71%，全世界的总水量约有  $14 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。其中海水占全部水资源的 97.3%，淡水占 2.7%，且 68.7% 的淡水以冰川和冰帽形式存在于两极和高山。每年地球上从陆地流入海洋的水量为  $4 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，其中  $2.8 \times 10^4 \text{ km}^3$  为洪水径流， $5 \times 10^4 \text{ km}^3$  进入无人区，只有  $0.7 \times 10^4 \text{ km}^3$  的水资源可供人类利用，其中人们可以直接从河流和湖泊中直接抽取的只占 0.014%。

由于地理和气候的影响，全球水资源分布极不均匀，靠近赤道和极地的国家水资源丰富，而大陆性国家较为干旱，如北非和中东等诸国，中国也是世界上水资源最贫乏的十三个国家之一，甚至比中东水资源还要贫乏。

中国水资源量为 28124 亿立方米，人均不足  $2300 \text{ m}^3$ ，仅占世界人均的 22.5%，列世界 120 位。我国华北地区（京津唐地区和辽东半岛）人均仅  $556 \text{ m}^3$ ，仅为世界人均的 5%；我国许多省市水资源也十分缺乏，如北京人均仅  $375 \text{ m}^3$ 、天津  $165 \text{ m}^3$ 、上海  $201 \text{ m}^3$ 、江苏  $480 \text{ m}^3$ 、山东  $394 \text{ m}^3$ 、河北  $384 \text{ m}^3$ 、河南  $471 \text{ m}^3$ 、山西  $495 \text{ m}^3$ 、宁夏  $210 \text{ m}^3$ ，水资源已处于临界状态。为应对水资源危机，我国在长江流域实施南水北调工程，以缓解京津塘地区、河南、河北、山东等地水资源紧缺状况。

中国是一个水资源十分缺乏的国家，水资源的匮乏严重制约了我国社会经济的可持续发展。目前，我国有 400 多座城市或 60% 以上的城市处于比较严重的缺水状况，每年全国国民生产总值因缺水而减少数千亿元。如何合理开发、利用和保护水资源已成为我国社会经济可持续发展的重大课题。

### 二、水环境

#### 1. 水环境污染状况

近年来，随着社会经济的快速发展，人口的迅速增加，工农业生产、人民生活和城市生态水资源需求迅猛增长，生活污水和工业废水排放大幅度增多，水源水质急剧下降、水环境污染日益严重和水生态破坏加剧等一系列问题相继出现。

据统计，目前全世界每年至少有  $42 \times 10^{10} \text{ m}^3$  以上工业废水排入水体，致使 1/3 的淡水受到不同程度的污染。美国年排放工业废水达  $15 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，52 条河流和五大湖泊都遭受污染。如伊利湖湖水汞含量超出标准 14 倍，致使鱼类全部绝迹；37 个州的地表水源中各类化学物质浓度不断增加，其中 7 个水源水质监测结果见表 1-1。日本 47 条主要河流已有 23 条受到严重污染，第一大湖琵琶湖沿岸的 500 多家工厂排放的废水使湖泊严重污染，藻类大量繁殖，2-甲基异莰醇 (2-MIB) 和 1,10-二甲基-9-十氢萘醇含量逐年增加，水体功能严重丧失。黑海、里海由于受到沿岸石油加工工业排放的废水污染，而成为名副其实的“黑海”。

在德国, 鲁尔河水环境污染使慕尼黑水厂水源水质严重恶化, 水厂进水 DOC (溶解性有机碳) 高达 3.6~5.0mg/L、氨氮 4~6mg/L, 水厂采用折点加氯量高达 10~50mg/L, 使饮用水中产生了大量的卤代有机物, 检出的挥发性有机氯 (DOCl) 高达 203 $\mu\text{g/L}$ 。在法国, 自 20 世纪 60 年代末, 河流受到工业废水、城市生活污水以及农业面源的污染, 水质开始严重恶化, 表 1-2 为塞纳河、马思河和瓦兹河水质数据, 三氯甲烷、四氯化碳多种微量有机物含量超标, 致使水厂不得不在水净化处理中增加各种深度处理工艺, 强化对饮用水中各种污染物的控制。水污染防治已成为 21 世纪全世界必须面对的重要议程。

表 1-1 美国 7 个水源水质监测结果

项 目	单 位	Scioto 河	Biscayne 河	Edisto 河	Missppi 河	James 河	Ilwaco 河	Baytoner 河
总有机碳	mg/L	5.8	9.0	8.6	5.8	16.7	8.0	9.2
溴化物	$\mu\text{g/L}$	<100	250	<100	100	350	100	<100
三氯甲烷前体物	$\mu\text{g/L}$	465	560	725	313	1046	1087	667
吸光度(310nm)	$\text{cm}^{-1}$	0.037	0.170	0.170	0.093	0.104	0.199	0.117

表 1-2 法国塞纳河、马思河和瓦兹河水质资料

污 染 物	单 位	塞纳河	马思河	瓦兹河
氯仿提取物	$\mu\text{g/L}$	700	600	800
邻苯二甲酸质	$\mu\text{g/L}$	2500	1000	13000
三氯甲烷	$\mu\text{g/L}$	5	3	20
四氯化碳	$\mu\text{g/L}$	0.10	0.05	0.40
四氯乙烯	$\mu\text{g/L}$	0.2	0.3	1.8
氨	mg/L	0.6	0.3	0.8
硝酸盐	mg/L	3	2	4
总有机碳	mg/L	5.3	5.0	7.0

在我国, 全国地表水污染依然严重。2007 年, 长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河和辽河等七大水系、197 条河流 407 个断面中, I~III 类、IV、V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 49.9%、26.5% 和 23.6%。其中, 松花江为轻度污染, 黄河、淮河为中度污染, 辽河、海河为重度污染 (见图 1-1)。淮河水系的 86 个国控监测断面中, II~III 类、IV 类、V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 25.6%、39.5%、9.3% 和 25.6%, 主要污染指标为高锰酸盐指数、五日生化需氧量和氨氮; 海河水系的 62 个国控监测断面中, I~III 类、IV 类、V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 25.9%、9.7%、11.3% 和 53.1%。主要污染指标为氨氮、高锰酸盐指数和五日生化需氧量, 其主要支流北运河、

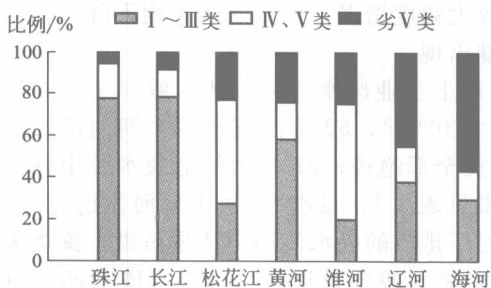


图 1-1 我国七大水系水质状况 (2007 年数据)

漳卫新河、大沙河、子牙河、马颊河、徒骇河为重度污染; 辽河水系的 37 个国控监测断面中, II~III 类、IV 类、V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 43.2%、10.8%、5.5% 和 40.5%, 主要污染指标为氨氮、五日生化需氧量和高锰酸盐指数。地表水水环境的严重污染, 致使我国 (尤其是淮河以北的干旱地区) 原本紧张的水资源更加缺乏。

我国的 28 个国控重点湖 (库) 中, 满足 II

类水质的 2 个, 占 7.1%; III 类的 6 个, 占 21.4%; IV 类的 4 个, 占 14.3%; V 类的 5 个, 占 17.9%; 劣 V 类的 11 个, 占 39.3%。主要污染指标为总氮和总磷。在监测的 26 个湖(库)中, 重度富营养的 2 个, 占 7.7%; 中度富营养的 3 个, 占 11.5%; 轻度富营养的 9 个, 占 34.6% (见图 1-2)。其中, 太湖 21 个国控监测点位中, IV 类、V 类和劣 V 类水质的点位比例分别为 23.8%、19.0% 和 57.2%, 湖体处于中度富营养状态, 主要污染指标为总氮、五日生化需氧量和石油类; 滇池 8 个地表水国控监测断面中, II~III 类、IV 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 25.0%、12.5% 和 62.5%, 草海处于重度富营养状态, 外海处于中度富营养状态。主要污染指标为总氮、总磷和高锰酸盐指数; 巢湖 12 个地表水国控监测断面中 (包括两个纳污控制断面), II 类、IV 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 8.3%、41.7% 和 50.0%, 西半湖处于中度富营养状态, 东半湖处于轻度富营养状态。主要污染指标为总磷、总氮和五日生化需氧量。其他 10 个重点国控大型淡水湖泊中, 博斯腾湖、洱海的水质为 III 类, 镜泊湖、洞庭湖、鄱阳湖和兴凯湖为 IV 类, 南四湖为 V 类, 白洋淀、达赉湖和洪泽湖为劣 V 类 (见表 1-3)。城市内湖昆明湖 (北京) 为 III 类, 西湖 (杭州)、东湖 (武汉)、玄武湖 (南京)、大明湖 (济南) 为劣 V 类。昆明湖处于中营养状态, 玄武湖、西湖、大明湖处于轻度富营养状态, 东湖处于中度富营养状态。其中主要污染指标为总氮、总磷 (见表 1-4)。大型水库中大伙房水库处于轻度富营养状态, 于桥水库等 8 座大型水库均处于中营养状态 (见表 1-5)。

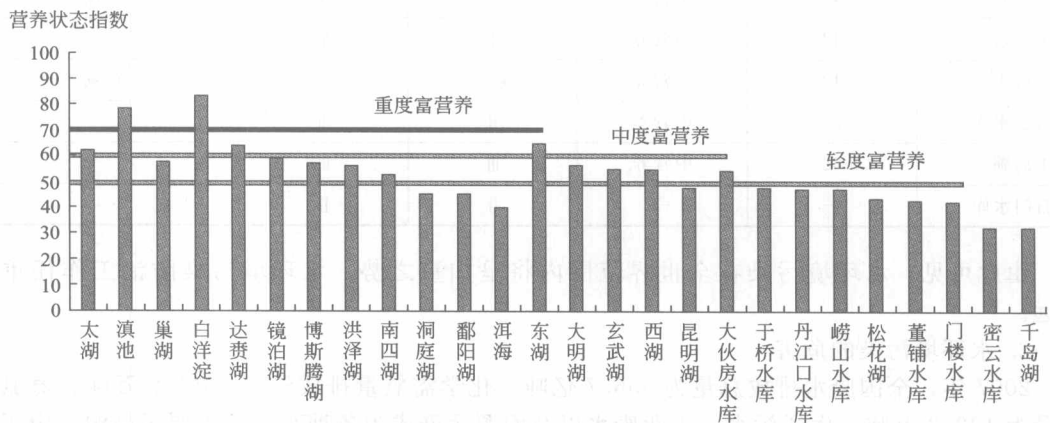


图 1-2 我国国控重点湖(库)富营养化情况 (2007 年数据)

表 1-3 重点大型淡水湖泊水质状况

湖库名称	营养状态指数	营养状态	水质类别		主要污染指标
			2007 年	2006 年	
白洋淀	83	重度富营养	劣 V	劣 V	氨氮、总磷、总氮
达赉湖	64	中度富营养	劣 V	劣 V	pH、高锰酸盐指数
镜泊湖	59	轻度富营养	IV	IV	挥发酚、总磷
博斯腾湖	57	轻度富营养	III	III	—
洪泽湖	56	轻度富营养	劣 V	劣 V	总氮、总磷
南四湖	53	轻度富营养	V	劣 V	总磷、总氮、石油类
洞庭湖	45	中营养	IV	V	总磷、总氮
鄱阳湖	45	中营养	IV	V	总磷、总氮
洱海	40	中营养	III	III	—
兴凯湖	—	—	IV	II	挥发酚

表 1-4 城市内湖水水质评价结果

湖库名称	营养状态指数	营养状态	水质类别		主要污染指标
			2007年	2006年	
东湖	65	中度富营养	劣V	劣V	总磷、总氮
大明湖	56	轻度富营养	劣V	劣V	总氮、生化需氧量
玄武湖	55	轻度富营养	劣V	劣V	总氮、总磷
西湖	55	轻度富营养	劣V	劣V	总氮、总磷
昆明湖	47	中营养	Ⅲ	Ⅲ	—

表 1-5 大型水库水质评价结果

湖库名称	营养状态指数	营养状态	水质类别		主要污染指标
			2007年	2006年	
大伙房水库	54	轻度富营养	V	劣V	总氮
于桥水库	48	中营养	V	Ⅳ	总氮
丹江口水库	47	中营养	Ⅲ	Ⅲ	—
崂山水库	47	中营养	劣V	劣V	总氮
松花湖	44	中营养	V	V	总氮
董铺水库	43	中营养	Ⅲ	Ⅲ	—
门楼水库	42	中营养	劣V	劣V	总氮
密云水库	32	中营养	Ⅱ	Ⅲ	—
千岛湖	32	中营养	Ⅲ	Ⅲ	—
石门水库	—	—	Ⅱ	Ⅱ	—

由此可见，水环境污染在全世界范围内将呈加重之势，水环境污染防治工作任重而道远。

## 2. 水环境污染的危害

2007年，全国废水排放总量为556.7亿吨、化学需氧量排放量为1381.8万吨、氨氮排放量为132.3万吨，生活污水、工业废水以及面源污染成为各种水体的主要污染源。由于主要污染物的排放总量超过了水环境的自净能力，致使水体受到严重污染，并导致下列危害：

(1) 使淡水资源更加紧缺，水资源供需矛盾更加紧张（尤其是淮河以北干旱地区），严重制约工农业生产和人民的生活。

(2) 水生态环境失去平衡，水体功能下降，饮用水安全受到威胁。如2007年、2008年太湖、滇池、巢湖等湖泊蓝藻大规模爆发就是典型的案例。

(3) 危害人民水体健康，致使癌症、免疫能力下降、中毒、肝脾肥大、皮肤病和皮肤病等明显增加。淮河流域的环境污染导致沿岸肠癌发病率明显高出各国其他地区。

(4) 造成水环境污染，致使渔业资源受到严重危害，农田受到污染，渔产品和农产品品质受到影响；地表水水质和地下水水质下降，净水、供水成本和运行费用大大增加；山水景观受到破坏，城市景观质量下降，水景沿岸地价下降，房地产和各种投资减少等。

(5) 带来各种社会纠纷，严重影响社会稳定。水环境污染严重制约了社会经济的可持续发展，并由此产生一系列环境、经济、社会、生态、资源、健康等问题，因此，研究水环境污染的来源、特征、成因机理及其污染防治对策，并实施工程治理对于开展水资源与水环境保护，使废水资源化具有十分重要的意义。

## 第二节 水污染控制工程的内容和任务

水污染控制工程是环境工程学科中的一个重要分支,是研究污(废)水中污染物质物理的、化学的和生物的特性,并以此采用相适应的物理的、化学的、生物的方法或者多种复合工艺技术使污染物的浓度降低、总量减少或予以去除,使之达到相应排放标准或回用标准,排放水体、回灌农田、回用生产或用于城市景观。水污染控制工程是一门利用物理的、化学的、生物的、材料的、机械的、动力学的和计算机技术等方面的相关理论,解决水污染控制工程问题的学科。它包括了自然科学和工程科学诸多领域的交叉和融合。

水污染控制工程的基本任务是:根据区域或流域水环境污染状况,制定流域、区域水污染综合防治规划,实施流域水环境容量控制,进行工业污水和生活污水的治理,实施农业面源污染防治;阐明生物化学、物理化学降解有机污染物和无机污染物的化学动力学条件及其作用机理,以探索新理论,开发新工艺、新技术和新设备;根据对污(废)水中污染物质物理的、化学的和生物的指标分析,并结合当地社会经济情况或企业的生产经营状况、排水系统、接纳水体情况、周边环境状况等选择适宜的污(废)水处理流程、污泥处理处置方法、单体构筑物及其设备、药剂以及消毒方案,进行工艺设计、工程施工、污水处理厂(或废水处理站)运行和管理,实现污(废)水中污染物的有效去除;结合污(废)水处理理论研究最新成果和生产实际过程中存在的问题,开展水污染控制工程的关键技术研发,进行水污染控制工程实用技术的应用推广。因此,开展水污染控制工程对于保护水生态、水环境、水资源,促进社会经济可持续发展具有十分重要的作用。

水污染控制工程的内容相当广泛,主要包括以下几个方面的内容:

(1) 污水水质及排放标准。包括污水的物理性质及其指标、化学性质及其指标、生物性质及其指标,水环境污染及其危害,相关的标准和规范。根据污(废)水的各种指标,可以对比说明污水的物理、化学和生物的性质、特点及其危害,并从本质上表征各种污染物在水环境污染过程中的迁移、转化规律。

(2) 水体自净作用与水污染控制的基本方法。包括水污染、水体自净作用、水污染控制的基本方法及其处理工艺、水体水质模型及其应用、水环境容量及其污染负荷削减等。研究水体在三维空间上自净作用及其污染物的降解、转化规律,利于从自然界寻找水污染控制的工程原型,发现水污染控制的科学方法和水污染控制工程的基本思路。

(3) 污水的物理处理。研究各种污染物的粒径、密度、黏滞性、沉降等性质,掌握其物理特性及其絮凝、沉淀或上浮规律,以采取筛滤、沉淀、隔油、气浮等多种物理工艺治理技术,进行相关工程设计计算和处理。

(4) 污水化学处理。研究各种污染物在水中的迁移方式及其化学反应过程,化学反应时的温度、pH值、氧化还原电位、热量、压力等条件的变化,查明其反应过程的途径及其形成产物的形态,以采取技术经济性适宜的中和、化学混凝、化学沉淀、氧化还原等工艺技术,进行相应工程设计和处理。

(5) 污水生物处理。包括好氧生物处理、厌氧生物处理和自然生物处理。结合微生物等生物学特点、作用,及其在不同生物化学环境条件下(温度、酸碱度、溶解氧、氧化还原电位、BOD:N:P、BOD/COD、重金属、有毒有害物质等)降解有机物和去除氮磷的规律的研究,阐明各种污染物降解和去除所需控制的生物化学条件、水动力学条件、需氧量及其供氧工程技术、生物接种和微生物种群控制、泥水分离或三相分离措施以及该环境条件下环境影响,以选择适宜的工艺技术进行设计和处理。



(6) 污水深度处理与回用。包括膜技术(电渗析、反渗透、超滤、微滤和纳滤等)、吸附、离子交换、高级氧化(湿式空气氧化、催化湿式氧化、光化学氧化、光化学催化氧化等化学氧化技术)、消毒[二氧化氯消毒、臭氧消毒、过氧化氢消毒和紫外(UV)辐射消毒等]和污水回用等。研究污(废)水处理出水中采用一般性物理处理、化学处理和生物处理难以降解或去除的物质组分在更加高级处理技术条件下的分离、杀灭、降解、转化和去除的规律,以及这些技术应用过程的副作用,以指导污(废)水进一步处理工艺流程及其技术参数的选取,进行相应工程计算。

(7) 污水处理厂、废水处理站的设计、运行与管理。根据给定进水量、水质、排放标准、当地社会经济状况、排水系统、接纳水体情况、占地、周边环境状况等。

### 第三节 水污染控制技术的发展与展望

#### 一、水污染控制技术的发展

自1893年英国诞生第一个生物滤池以来,污水生物处理技术已经历了一百多年的发展:早期阶段(1915年以前),发明了生物滤池和活性污泥法。

普及阶段(1915年至1960年),化粪池、生物滤池、活性污泥法、污泥消化等生物技术大量应用。活性污泥法成为城市生活污水处理的主要工艺,并被不断改良,形成了阶段曝气、完全混合曝气、延时曝气、纯氧曝气等新工艺;生物滤池也逐步发展出高负荷生物滤池、塔式生物滤池、生物转盘、生物接触氧化等新工艺;污泥厌氧消化也发展出二级消化、两相消化等新工艺。与此同时,吸附、离子交换、氧化还原、酸碱中和等物理化学进水广泛使用。

发展阶段(1961年至今),大量好氧、厌氧和化学脱氮除磷、膜技术、高级氧化等新技术不断出现。在好氧生物处理方面,先后出现了A-B法、氧化沟、SBR、高浓度活性污泥法、深井曝气、好氧生物流化床等新工艺;同时,出现了新型填料和高效曝气器,并由此发展出一些生物膜法和活性污泥法相结合的复合生物反应器,尤其是膜技术的发展,使得膜-生物反应器得到迅速发展和应用;在生物厌氧处理方面,先后出现了厌氧接触氧化、厌氧生物滤池、厌氧膨胀床、厌氧生物转盘、UASB、厌氧生物流化床等技术,厌氧生物处理由高浓度有机废水逐步扩大到低浓度有机废水的处理;在自然生物处理方面,发展了稳定塘处理生物系统、土地生物处理系统和湿地生物处理系统;在厌氧-缺氧-好氧生物处理方面,发展了厌氧-好氧生物处理系统、缺氧-好氧生物处理系统有机厌氧-缺氧-好氧生物处理系统,进行生物脱氮除磷;同时,将生物处理与化学除磷相结合,在普通活性污泥法、A/O工艺的基础上开发出前置、协同和后置化学除磷工艺;在化学和物理化学处理技术方面,开发出吸附、离子交换、湿式空气氧化、催化湿式氧化、光化学氧化、光化学催化氧化等化学氧化技术,使难降解有机物能够得到有效处理;在消毒处理方面,开发了二氧化氯消毒、臭氧消毒、过氧化氢消毒和紫外(UV)辐射消毒等。

与此同时,在微生物学、水动力学和化学动力学等方面取得明显进步。

随着丝状菌的生物特性被长期深入的研究,人们逐渐掌握了控制丝状菌膨胀的措施;人们发现了聚磷菌、反硝化菌,使得生物硝化-反硝化、同时硝化-反硝化、生物聚磷-释磷等得到科学解释,并开发出A/O工艺、A<sup>2</sup>/O工艺、厌氧氨氧化工艺;对厌氧微生物的深入研究,开发了水解酸化工艺、厌氧-好氧工艺;并对高效生物菌的筛选、培养和固定化进行了研究和开发。

在水动力学和化学动力学方面,人们对悬浮生长与附着生长、推流式与完全混合式、连

续式与间歇式、上流式和降流式、交替式厌氧-好氧、机械曝气与鼓风曝气、射流曝气与机械搅拌、混凝气浮和混凝沉淀、聚能和消能,以及浓度梯度与传质等进行了大量研究,开发出各种推流、搅拌、相分离设备及其众多反应器,使各种新技术、新工艺得到迅速发展。

伴随计算机技术的快速发展、化学计量学的不断完善,计算机在水污染控制工程中的应用得到迅速发展,除 SBR 工艺应用推广外,水质模型研究及其在污水处理厂设计中的应用被迅速得到推广,并使污水处理厂的运行和管理,如曝气设备与曝气强度控制、药剂投加量的控制、水质在线监测等,更加科学和高效,技术经济性更加合理。

## 二、水污染控制技术的展望

近年来,随着生物技术、材料科学、计算机技术的迅速发展,科学家将对生物脱氮除磷的生物学及其生物化学过程、功能微生物及其难降解有机物的生物降解机理、基因片段的修饰和酶分子的改造、生态系统生物共生关系和共代谢等研究不断深入,化学计量学和计算机技术被逐步广泛地引入污染物的生物化学和物理化学作用过程及其新材料、新设备开发中深入应用,使污(废)水生物处理、物化处理过程趋于数学定量表征,并以此进行水污染控制在线过程控制,包括对曝气设备、水下推进设备、水泵和污泥泵、药剂投加等自动控制,以降低水处理成本,提高污(废)水处理效果和管理效益;进行水污染控制工程模拟,以指导水污染控制工程的工艺设计、工程施工和运行管理。水污染控制工程技术的发展主要包括以下几个方面。

(1) 生物工程技术被不断开发和应用。随着生物工程技术的迅速发展,基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程和蛋白质工程等生物新技术会不同程度融入环境领域,改造和培育高效微生物工程菌,开发新型生物絮凝剂,并使之产业化,以广泛用于水污染控制,尤其是难降解有机物、石油类污染和重金属污染的防治等。此外,厌氧生物处理和好氧生物处理联合使用将广泛使用。

(2) 新理论和新技术被迅速用于水污染控制。随着人们对有机污染物的生物化学反应过程和无机污染物的环境化学作用过程研究的深入,一些生物化学反应和环境化学作用的机理将被揭示,并以此指导新技术和新工艺的开发,尤其是生物技术和膜技术、生物技术和化学技术的组合工艺的开发。

(3) 新材料和新设备被充分应用。随着技术和经济的发展,一些新材料,如膜材料、新型填料和滤料,将会广泛用于水污染控制工程,并以此推动污水深度处理及其回用;一些节能曝气设备、高效水动力学搅拌设备、优质固液分离设备将被大量开发和应用。伴随高效水动力学搅拌设备的开发,高浓度好氧生物反应器和厌氧生物反应器有望得到快速发展。

(4) 计算机技术会广泛用于水污染控制的全过程,包括工艺优化、工程设计、试验模拟、在线监测和运行管理等。

(5) 资源化理念会不断深入,高浓度有机废水和污泥被厌氧处理以回收能源;污(废)水资源化广泛利用,包括回用于工业生产、回灌农田、补充景观用水、用于市政杂用水等。

(6) 污水处理工程将广泛用于我国城镇、小区以及新农村等城乡建设中。

由于生物化学、环境化学、反应动力学等研究工作的不断深入,对污水中各种污染物的特征及其水污染控制过程中作用机理了解更加深入和全面,可供采用和选择的设备性能更加优越,因此,水污染控制工程的新工艺、新技术将会日益增多,污水资源化的前景更加广阔。可以预计,未来几十年,水污染防治的理论会日益完善,水污染控制技术将得到迅速发展,水污染工程防治的范围和力度将明显加大,污染治理的效果会逐渐显现,我国的水环境将逐渐改善,水生态会逐渐恢复,水污染控制工程将在城乡社会经济可持续发展过程中发挥重要的作用。

## 第二章

# 污水水质及排放标准

### 第一节 污水分类

污水根据其来源一般可分为生活污水、工业废水和初期污染雨水。生活污水、工业废水和初期污染雨水通过城镇排水系统收集的综合污水叫城镇污水。

#### 一、生活污水

生活污水是指来自家庭、学校、商店、机关、市政公共设施、宾馆饭店、餐厅、浴室、洗衣店等排放的厕所冲洗水、厨房清洗水、衣物洗涤水、身体沐浴水以及其他排水等。生活污水中的主要污染物有纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质、动植物油等有机物，洗涤剂、表面活性剂、氯化钠和泥沙等无机物，以及粪便、尿液等含有的细菌、大肠菌群、病毒等微生物。影响生活污水水质的主要因素有气候条件、生活水平和生活习惯、水资源状况等。

#### 二、工业废水

工业废水是指来自工业生产过程中被生产物料、中间产品、成品以及生产设备所污染的水。由于工业行业众多，工业废水的成分和性质相当复杂，其所含的有机物、植物营养素、无机固体悬浮物、酸、碱、盐、重金属离子、微生物、化学有毒有害物、放射性物质、易燃易爆物质等均可对环境造成污染。影响工业废水水质的主要因素有工业类型、生产工艺、生产管理等相关。

#### 三、初期雨水

初期雨水是指雨雪降至地面后形成的初期地表径流。初期雨水水量水质与降雨强度、降雨历时、大气质量、区域建筑环境、地面状况有关，水量变化较大，成分较为复杂。尤其是大气悬浮物浓度较高、工业粉尘排放量大、机动车保有量大、工业废渣和建筑垃圾存放量大、建筑工地多且地面覆盖差的地区，初期雨水的污染物浓度往往会超过生活污水浓度，对水环境产生较为严重的污染。

#### 四、城镇污水

城镇污水由生活污水、工业废水和雨水组成。其中，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。对大多数城镇而言，城镇污水水质、水量变化较大，这种变化往往与城镇生活污水和工业废水的比例、排放特点以及排水体制有关。

### 第二节 污水水质及其指标

污水水质指标是评价水质污染程度、进行污水处理工艺流程选择和工程设计、分析污水处理厂运行效果、实施水污染防治的基本依据。

污水按照污染物的特性，水质指标可以分为物理性质、化学性质、微生物性质三类