

水污染治理新技术

——新工艺、新概念、新理论

王宝贞 王 琳 主编



科学出版社

www.sciencep.com

水污染治理新技术

——新工艺、新概念、新理论

王宝贞 王 琳 主编

哈尔滨工业大学教材出版基金资助

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书全面和系统地介绍了近 20 年来国内外在水污染治理方面技术的进步、工艺的创新、观念的转变和有关理论的更新。本书重点介绍了生物脱氮、除磷(尤其是短程硝化-反硝化)的新理论和新工艺;带有高效脱氮、除磷过程的新生物处理系统与流程;厌氧生物处理新工艺和新设备;污水生态处理与利用系统,如人工湿地系统、多级串联塘系统和以农业灌溉为主体的土地处理利用系统;能有效氧化降解难降解有机化合物的高级氧化技术;能生产高质量出水的膜分离技术以及它与生物处理技术相结合的膜生物反应器;污水回收与再用技术,包括建筑物、建筑群和生活小区的中水系统和集中的以高级处理技术为主的污水回收工程;雨水的收集、净化与利用技术,包括建筑物、建筑群和生活小区的雨水收集、处理和利用(冲厕、洗车、洗衣和浇洒花园、绿地)和大规模的雨水径流收集、处理与地下含水层储存与回收;污泥减量、资源化和无害化处理与处置;水污染的区域性和流域性综合治理;水污染治理的今后发展趋势等。

本书可作为环境科学与工程、给水排水和水资源管理等学科和专业的本科和研究生的教材和参考书,以及水污染治理和污水处理的科学研究、工程设计、运行管理、环境保护、城市建设和水务管理等方面科研技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水污染治理新技术:新工艺、新概念、新理论/王宝贞,王琳主编. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012127-9

I. 水… I. ①王… ②王… III. 水污染-污染控制 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 080855 号

策划编辑:童安齐 沈 建/文案编辑:吴伶伶/责任校对:包志虹

责任印制:刘士平/封面设计:张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004 年 1 月第一次印刷 印张:33

印数:1—3 000 字数:754 000

定价:66.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《水污染治理新技术
——新工艺、新概念、新理论》编委会

主 编 王宝贞 王 琳

参编人员 刘 硕 刘研萍 王春荣 常 颖
王 进 王建玲 缪 佳 王晓莲
王 黛 王 丽 何圣兵 迟 军
丁永伟 彭建峰 蒋轶峰 石 雷

前 言

近 20 年来,水资源的日趋短缺和水环境污染制约了人类社会和经济的可持续发展,严重威胁着人类的生存,迫使人们必须认真地对待。

这一时期,人们在水污染治理,尤其是污水处理方面,做了大量空前的研究、开发和工程实践,出现了比过去通用的传统处理技术和工艺更加有效的新技术和新工艺。它们以高效的除污染效能提供了符合日益严格的排放标准的出水,为保护水环境和水资源起到重要的作用。

此外,由于淡水资源的急剧短缺,促进了污水的回收和再用,尤其是污水高级回收技术的发展,如先进的生物处理工艺、高级氧化、活性炭吸附和膜分离等工艺相结合的、能够生产符合任何出水要求的污水回收技术。在水污染治理技术的研究、开发和实践过程中,在治理的思路和观念上也有所提高和创新,尤其是在水污染治理的战略思维方面,出现了“革命性”的转变。2000 年在瑞典斯德哥尔摩的国际水研讨会就是这一转变的里程碑。

本书的主旨是向读者们介绍近年来国内外水污染治理的新技术、新工艺以及与此有关的新观念、新思路。在介绍这些新技术和新工艺的时候,特别指出了其各自的使用范围和局限性,以便把引进、消化和改进、创新结合起来因地制宜地应用。

我国正面临经济高速发展期,在水资源和水环境方面都遇到巨大的挑战,我们水污染治理界的同行,尤其是年轻一代,应当奋发图强,发扬我们中华民族富于发明创造的精神,在水污染治理方面有所作为,有所发明和创造,在学习和借鉴他人经验的同时,研究开发符合我国国情和具有我国文化特色的新技术、新工艺,创出具有我国国情和特色的新观念和新理论。

近几十年来,英国和德国水流域的综合治理;法国和荷兰最新一代的污水处理工艺的研发和应用,如曝气生物滤池(BAF)、短程脱氮工艺(SHARON, ANAMMOX)和新型厌氧反应器;美国拥有大规模污水回收及回注地下补充地下水以及污泥资源化的丰富经验,即将污泥制成生物固体用做农业有机肥料和土壤改良剂;澳大利亚大规模雨水径流收集与地下储存和回收利用(ASR)和污水处理与利用生态农场;日本建筑物和生活小区的污水回用技术等都值得我们学习和借鉴。希望通过学习他人的知识和经验对我们有所启发和推动。本书还较多地介绍了污水生态处理与利用技术和污泥的减量和资源化、无害化的处理、利用和处置技术。在介绍国外先进技术和经验的同时,也介绍了国内和我们自己的研发成果和工程实践经验。

我们在编写本书的过程中被大量的有关书籍、期刊、资料所包围,犹如进入梦幻般的花园,奇花异草,美不胜收,流连忘返;又如来到辽阔的海边,沙滩上有许多美丽诱人的贝壳,拾得没完没了。原定一年完成这本书,却花了两年多时间才完成。恋战之情,可想而知。

本书所介绍的内容,无非是在水污染治理领域的大花园里摘取了几朵花,或是在海边拾到几个贝壳。如果读者能从其中看到些有用的知识,对教学、科研、设计、工程应用和管

理等方面有所帮助,我们将不胜欣慰。

本书能够问世,多亏我们的许多学生的诸多支持和帮助:翻译、收集和整理有关资料、扫描、打印、排版、反复修改等。他们为本书稿的不断改进、完善以及最后完成做出了重要的贡献。

我们要感谢校友祁佩时、李高奇、隋军、李军、杨鲁豫、尹军、孙喆、沈耀良、黄勇、张金松、杜红、董文艺、赵庆良、曹向东、何金、任南琪、马放、杜彦武、刘俊新、张维佳、于德爽等对本书撰写提供的诸多帮助。

我们要非常感谢国际友人 Peter J. Matthews、Gerald P. Noone(英国),Klaus R. Imhoff(德国),William J. Oswald、Takashi Asano、L. R. Lich(美国),Takeshi Kubo、Masao Kuroda(黑田正男)(日本)等教授和 Gütter Kugel、Manfred R. Morper 博士(德国)提供的有关污泥处理与利用、水污染流域治理和先进塘系统和生物处理新技术等方面的资料,丰富了本书的内容。

我们还要衷心感谢哈尔滨工业大学教材出版基金会的大力支持,他们提供了足够的出版基金才使本书得以顺利出版。

本书涉及水污染治理的新技术、新工艺、新观念和新理论较多,由于我们的知识有限,领会和下笔可能有失误或不妥之处,深望读者不吝指教,我们定会闻过则喜。如蒙赐教,请按如下 E-mail 联系:baozhen@public.hr.hl.cn(王宝贞);lwang@mail.ouc.edu.cn(王琳)。

编者

于哈尔滨、青岛

2003 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 革新——水污染治理的永恒主题	1
1.1 水污染治理面临的挑战	1
1.2 水污染控制工程的发展趋势	4
1.2.1 水污染治理工程技术的发展趋势	4
1.2.2 水污染控制的方法	6
1.2.3 污水处理新技术	8
1.2.4 分散处理的障碍	9
1.3 革新——水污染控制的永恒主题	9
参考文献	10
第 2 章 污水脱氮、除磷新工艺	11
2.1 污水生物脱氮新工艺及新技术.....	11
2.1.1 硝化-反硝化工艺的基本过程及影响因素	11
2.1.2 硝化-反硝化新工艺	13
2.1.3 脱氮研究的新方法	23
2.2 除磷工艺与技术.....	25
2.2.1 除磷现状与发展趋势	26
2.2.2 化学沉淀法除磷	26
2.2.3 生物除磷技术	29
2.2.4 生物脱氮、除磷工艺	33
2.2.5 提高除磷效率的措施	34
参考文献	36
第 3 章 代表性的污水生物处理新工艺	39
3.1 AB 法——吸附-生物氧化二段法	39
3.1.1 AB 法工艺特点	39
3.1.2 AB 法污水处理厂运行情况列举	40
3.1.3 AB 工艺的适用范围及选用时的注意事项	41
3.2 Linpor 工艺	41
3.2.1 Linpor 工艺简介	41
3.2.2 Linpor-CN 工艺的污水处理厂运行实况	43
3.3 曝气生物滤池工艺.....	44
3.3.1 Biostyr 工艺	44
3.3.2 Biofor 工艺	46

3.3.3	曝气生物滤池的应用实例	47
3.4	BAF 的前处理——Actiflo 工艺	52
3.4.1	Actiflo 工艺的基本原理	52
3.4.2	Actiflo 工艺的优点	53
3.4.3	Actiflo 的应用实例	53
3.5	射流式 SBR 工艺	55
3.5.1	射流式 SBR 工艺的特点	55
3.5.2	射流式 SBR 的主要组成部分	56
3.5.3	射流式 SBR 的优点	56
3.6	循环活性污泥系统(CASS)	57
3.6.1	CASS(CAST)的工艺原理	57
3.6.2	CASS 反应器的应用	59
3.6.3	德国 CASS 工艺的污水处理厂的运行经验	60
3.6.4	CASS 工艺在我国深圳污水处理厂的应用	64
3.7	UNITANK 工艺	65
3.7.1	UNITANK 工艺原理及工作过程	65
3.7.2	UNITANK 和传统活性污泥系统的比较	67
3.7.3	UNITANK 的优点	67
3.7.4	UNITANK 其他组合工艺的描述	68
3.8	MSBR(CSBR)工艺去除氮、磷的效能	72
3.8.1	工艺介绍	72
3.8.2	CSBR 应用实例	74
3.9	新型 UniFed SBR 工艺在营养物质去除中的实践研究	76
3.9.1	概述	76
3.9.2	UniFed SBR 工艺	77
3.9.3	UniFed 工艺的实际应用	78
3.9.4	UniFed SBR 一个循环的分析	79
3.9.5	UniFed 工艺实践研究结论	81
3.10	固定式淹没生物膜工艺	81
3.10.1	淹没式生物膜的工艺特点	81
3.10.2	淹没式生物膜的应用实例	82
	参考文献	87
第 4 章	膜技术与膜生物反应器	89
4.1	膜的定义	89
4.2	膜的材质	91
4.3	膜的结构	92
4.4	膜技术的基本原理	95
4.4.1	膜技术的性能参数	95

4.4.2	理论知识	99
4.4.3	膜污染	104
4.4.4	膜污染的防治	106
4.4.5	常用的清洗技术	107
4.5	污水处理用的膜技术	109
4.5.1	利用纳滤膜直接分离生活污水	109
4.5.2	利用反渗透膜截流分离处理垃圾填埋渗滤液	111
4.5.3	利用膜分离进行污水回用	119
4.6	膜生物反应器	121
4.6.1	膜生物反应器的分类	122
4.6.2	膜生物反应器的材料和构型	129
4.7	商品膜生物反应器	131
4.7.1	ZENON 商品膜生物反应器	132
4.7.2	Kubota 膜生物反应器	141
4.7.3	Orelis MBR 和 Ubis MBR	144
4.7.4	Membratek、Weir EnVig、Aquatech 和 Bioscan A/S 等公司研发的 MBR	146
4.7.5	AquaTech(韩国)开发的 Biosuf 工艺	148
4.7.6	Wehrle Werk AG 研发的 MBR	149
4.7.7	US Filter 研发的 MBR	151
4.7.8	DEGREMONT 工艺	151
4.8	MBR 工程应用实例	152
4.8.1	比利时 Schilde 的 MBR 污水处理系统	152
4.8.2	MBR 在荷兰的应用	153
	参考文献	156
第 5 章	塘与土地处理技术	159
5.1	塘处理系统	159
5.1.1	国内外塘处理系统的发展	159
5.1.2	生态塘系统的特点	161
5.1.3	生态塘系统的运行原理	162
5.1.4	生态塘系统的组成	163
5.1.5	生态塘系统的典型处理流程	165
5.2	生态塘系统在国内的应用实例	166
5.2.1	齐齐哈尔污水处理生态塘系统	167
5.2.2	安达污水处理生态塘系统	168
5.2.3	处理高浓度有机废水的广州番禺生态塘系统	170
5.2.4	胶州市城市污水处理与利用生态塘	172
5.2.5	山东省东营市污水处理与利用生态工程	175
5.2.6	处理化工废水的武汉鄂州鸭儿湖生态塘	178

5.3	污水生态处理技术在国外的应用	179
5.3.1	人工生态系统在雨水径流处理中的应用	179
5.3.2	室内水产养殖系统在生活污水处理中的应用	180
5.4	高效新型塘	182
5.4.1	两级曝气功率的多级串联曝气塘(DPMC)系统	182
5.4.2	高级组合塘系统	185
5.5	土地处理系统	188
5.5.1	美国 Muskegon 县污水土地处理系统	189
5.5.2	澳大利亚墨尔本 Werribee 农场污水土地处理系统	190
5.5.3	墨西哥污水/雨水农田灌溉系统	195
	参考文献	197
第6章	人工湿地处理技术	200
6.1	概述	200
6.2	人工湿地的类型	203
6.2.1	自由水面人工湿地	203
6.2.2	潜流型人工湿地	204
6.3	人工湿地去除污染物的机理	206
6.3.1	悬浮物(SS)的去除	206
6.3.2	有机物的去除	206
6.3.3	氮的去除	207
6.3.4	磷的去除	208
6.3.5	难降解有机化合物的去除	208
6.3.6	金属离子的去除	209
6.3.7	细菌的去除	209
6.4	人工湿地的设计与计算	210
6.4.1	湿地处理系统的设计	210
6.4.2	湿地系统的布局	221
6.4.3	分区	221
6.4.4	塘区	222
6.4.5	湿地床的防渗	222
6.4.6	基质选择	224
6.5	人工湿地的应用实例	227
6.5.1	生活污水处理人工湿地	227
6.5.2	雨水处理人工湿地	228
6.5.3	化工废水处理人工湿地	232
6.5.4	农田径流处理人工湿地	233
6.5.5	农业废水处理人工湿地	235
6.5.6	垃圾渗滤液处理人工湿地	238

6.5.7 污泥脱水人工湿地	244
6.6 深圳沙田潜流人工湿地系统运行效能研究	245
6.6.1 湿地系统工艺流程	245
6.6.2 湿地的运行	247
6.6.3 运行效果	250
6.6.4 结论	252
参考文献	253
第7章 高级氧化处理技术	256
7.1 废水处理高级氧化技术的进展	256
7.1.1 自由羟基($\cdot\text{OH}$)	256
7.1.2 高级氧化工艺的特点	257
7.1.3 高级氧化工艺的研究进展及典型工艺介绍	260
7.2 典型高级氧化工艺	272
7.2.1 臭氧-活性炭吸附工艺	272
7.2.2 湿式氧化工艺	275
7.2.3 TiO_2 光催化氧化阶梯式反应器	277
7.2.4 辐射处理污染水和废水	298
7.3 纺织印染和染料废水高级氧化处理实例	302
7.3.1 纺织废水处理	302
7.3.2 染坊废水的序批式生物反应器与循环化学氧化处理	307
7.4 垃圾渗滤液处理	313
7.4.1 光化学处理渗沥液	313
7.4.2 固定床催化臭氧化法	317
7.4.3 撞击式臭氧反应器 CHEMOX 工艺废水处理	320
7.5 应用臭氧和过氧化氢在管道反应器中氧化三氯乙烯和高氯乙烯	323
7.5.1 中试设备	323
7.5.2 样品分析	324
7.5.3 结果与讨论	325
7.6 利用薄膜光照反应器去除垃圾渗滤液的 TOC 和降解其中的污染物	327
7.6.1 中试装置	327
7.6.2 原水水质与分析方法	328
7.6.3 处理效果	329
参考文献	332
第8章 新型厌氧反应器	336
8.1 第二代厌氧工艺	336
8.1.1 厌氧流化床	336
8.1.2 复合式厌氧反应器	339
8.2 第三代厌氧工艺	342

8.2.1	膨胀颗粒污泥床	342
8.2.2	内循环厌氧反应器	346
8.2.3	折流板厌氧反应器	349
8.3	新型厌氧反应器	356
8.3.1	序批间歇式厌氧生物反应器	356
8.3.2	移动式厌氧污泥床反应器	361
8.4	厌氧消化动力学	365
8.4.1	底物降解和微生物生长动力学	365
8.4.2	甲烷生成动力学	367
	参考文献	367
第9章	雨水处理与利用技术	370
9.1	概述	370
9.1.1	我国雨水资源现状	370
9.1.2	雨水处理和利用技术的发展	370
9.1.3	城市雨水利用的经济和生态意义	371
9.2	城市雨水水质特征	372
9.2.1	城市雨水径流的特征	372
9.2.2	城市屋顶集水系统雨水水质特征	373
9.3	城市雨水资源化的途径	374
9.3.1	加大城区雨水就地入渗量	374
9.3.2	加大城市雨水的储存和蓄集量	375
9.3.3	利用雨水回灌补充地下水	375
9.3.4	利用雨水资源强化建筑屋顶绿化	376
9.4	城市雨水处理及利用技术	376
9.4.1	屋面雨水收集利用系统	376
9.4.2	IRM 雨水收集利用系统	377
9.4.3	雨水渗透处理系统	379
9.4.4	雨水含水层储存及回收工艺	381
9.4.5	控制城市雨水径流污染的连续折流分离技术	382
9.5	应用实例	385
9.5.1	德国的雨水利用技术的应用实例	385
9.5.2	丹麦雨水用作生活杂用水	389
9.5.3	伦敦世纪圆顶雨水处理利用系统	389
9.5.4	澳大利亚开发的建筑物用水(雨水)回用系统	390
9.5.5	新加坡雨水收集用作饮用水源	390
9.5.6	日本的雨水渗透技术应用	392
	参考文献	392
第10章	污水回用技术	394

10.1	污水回收再用概述	394
10.1.1	污水回用的必要性和发展概况	394
10.1.2	建筑物和居住区污水回收与再用——日本中水系统	394
10.1.3	美国的废水再生回用	396
10.1.4	以色列污水回用	396
10.1.5	南非城市污水回用作饮用水的处理	397
10.2	水回用的污水处理技术	398
10.2.1	污水回收处理工艺的组合	398
10.2.2	污水回收的常规处理工艺	399
10.3	用于农田灌溉的污水处理技术	400
10.3.1	灌溉用污水的水质要求	400
10.3.2	塘系统-灌溉用污水的经济有效的处理技术	401
10.4	水回收工艺的运行期望值	403
10.4.1	水回收工艺对常规污染物的去除率	403
10.4.2	水回收工艺对非常规污染物的去除率	403
10.5	污水回用处理工艺与回用对象	406
10.5.1	回用于冲洗厕所的深度生物处理工艺	406
10.5.2	用于地下水回注的处理工艺与回注方式	411
10.5.3	回用于娱乐景观的回收水处理工艺	417
10.5.4	回用于浇灌高尔夫球场的回收水处理工艺	418
10.6	污水回用的应用实践	418
10.6.1	污水回用在美国的应用	418
10.6.2	西盆地非直接饮用水回用的处理水厂	419
10.6.3	圣地亚哥再净化水厂	420
10.6.4	21 水厂——用作间接饮用水的污水回收处理水厂	421
10.6.5	丹佛市做直接饮用水的 Landmark 污水回收处理水厂	422
10.7	污水回用的管理体制	425
10.7.1	美国地方立法——《回用管理条例(Reuse Ordinance)》	426
10.7.2	用户合同	427
	参考文献	427
第 11 章	污泥处理、处置与利用	429
11.1	概述	429
11.2	污泥稳定化处理	430
11.2.1	浓缩	430
11.2.2	污泥脱水	430
11.2.3	污泥消化新技术——高温-中温两段厌氧消化	432
11.2.4	污泥焚烧	434
11.3	污泥利用和处置	441

11.3.1	将污泥转化为燃料	441
11.3.2	用污泥生产建筑材料	445
11.3.3	污泥及其他废物的回收再用——生产燃气和甲醇	446
11.3.4	污泥干燥-颗粒化技术	448
11.4	污泥在农业上的利用	449
11.4.1	概述	449
11.4.2	农业应用的一些基本原则	451
11.4.3	农业利用的法规	452
11.4.4	生物固体应用的服务	459
11.4.5	可持续的运作	462
11.4.6	确定运作方案	464
11.4.7	花园以外非农业土地上的利用	465
11.4.8	园艺土地和花园	466
11.4.9	蚯蚓对污泥的处理	467
11.4.10	美国污水污泥在农业上的应用	468
11.4.11	污泥农业利用的前景	472
11.5	污泥减量	472
11.5.1	用原生动物、后生动物和高等动物捕食细菌减少污泥量	472
11.5.2	淹没式生物膜法	473
11.5.3	污泥厌氧水解液化和甲烷发酵气化	473
11.5.4	利用臭氧氧化进行污泥减量的方法	473
11.5.5	污泥减量新工艺	476
	参考文献	478
第 12 章	水污染流域综合治理	480
12.1	水污染流域综合治理	480
12.1.1	水污染综合治理概述	480
12.1.2	水污染综合治理的内涵	481
12.1.3	水污染综合治理系统的组成	481
12.1.4	区域性综合治理的优点	482
12.2	流域综合治理的实践	482
12.2.1	英国的流域综合治理	482
12.2.2	德国的流域综合治理	484
12.2.3	美国的流域综合治理	492
12.2.4	法国的流域综合治理	496
12.3	我国的流域综合治理状况	497
	参考文献	498
第 13 章	水污染治理的发展方向和改进措施	500
13.1	2000 年斯德哥尔摩水研讨会决议要点	500

13.2 城市污水治理的发展趋势.....	500
13.3 恩姆歇尔河治理的反思.....	504
13.4 污水海洋排放处置的反思.....	505
13.5 我国水污染治理措施探索.....	506
13.6 我国城市污水处理和节水改进的探讨.....	508
参考文献.....	508

第1章 革新——水污染治理的永恒主题

1.1 水污染治理面临的挑战

伴随着人类的产生,污水作为人类排泄物的一部分就早已存在了,只是由于产生的数量较少,通过环境的自净就足以将这部分污染物降解消除。但是,随着人口的增加,城市化进程的加快,城市污水的成分和性质也发生了变化。19世纪初期,以居民生活污水为主的城市污水;19世纪中期,随着工业的迅速发展,在城市污水中工业废水的数量不断增加,污水的污染物的成分也变得越来越复杂,除了生活污水中的有机污染物之外,又增加了重金属、人工合成的有机化合物,其种类与数量逐年增加。此时的水污染还仍然局限在较小的局部地区。随着燃煤工业革命的开始,内燃机的发展和以石油为原料的化学工业的大发展,使最初以保护接纳水体免受有机污染为目的和按从污水中去除悬浮物和耗氧有机物来设计的污水处理厂,面对众多而复杂的化学污染物,如重金属、放射性核素与多氯联苯、硝基苯、洗涤剂,都是不能或难以生物降解和去除的污染物,显得不胜重负。

现代农业以高投入的高新技术为特征,即机械耕作、大量使用化肥和杀虫剂。虽然现代农业是一种高产的简单化和标准化的农业运营方式,但它的环境代价也是昂贵的。农业成了大多数国家最大的非点源污染源。在美国,来自农业活动的径流是河流和湖泊水质污染的主要来源。在英格兰和威尔士,所有得到证实的水污染事件中,13%是由农业造成的。

20世纪90年代,水污染不再是局部的,而是跨国度、遍布于整个流域的流域性水污染问题。其中最典型的的就是莱茵河。莱茵河是一条国际河流,位于欧洲的中部,其源头位于瑞士中东部的阿尔卑斯山中部,河流从那里开始,流经奥地利、瑞士和法国边境,进入德国境内,通过鲁尔工业区,最后到达荷兰,流入北海,全长1335km。其流域面积为22.4万km²,是5000万人的家园。每天直接取生活用水500万m³,工业生产用水300万m³和冷却水用量2100万m³。

莱茵河在Der Spiegel中被描述成“欧洲的主要阴沟”。该河每年输送2900t的铬、1400t的铜、11200t的锌、217t的砷、63t的汞、1000万t的氯和大于240万t难处理的有机碳进入海中。这条河流又为德国和荷兰提供1/3的公共和市政用水。由于该河流经多个国家,污染的控制十分艰难。尽管几个国际组织对该河进行了监测和治理,但是收效甚微^[1]。

英国的泰晤士河是英国伦敦的主要河流,在19世纪初期,随着蒸汽机的广泛应用,泰晤士河两岸工厂林立,工厂产生的污水昼夜不停地排入河中,1856年,泰晤士河中的银鱼已经灭绝;1878年,英国的“爱丽丝公主”号游船在泰晤士河上沉没,落水者虽然逃生,但多数伤残。经研究发现在伤残的640人中,大部分受到了污水的毒害。这一事件引起了舆论的强烈抨击,也引起了政府的重视,在泰晤士河两岸建起污水处理厂,其中的贝克顿污水处理厂是当时欧洲最大的污水处理厂,每天的污水处理量达到100万m³,当时在伦敦

共建造污水处理厂 38 座。建立了泰晤士河治理委员会,对泰晤士河的污染情况和污染源进行调查^[2]。1961 年公布的调查结果是:污水的 79% 来自工业废水和居民生活污水。制定了控制污染的条例,规定任何厂矿企业不得将未经处理的废液、废水直接排入河道,否则除追究法律责任外,还要处以重罚。经过 16 年的治理,1969 年迁徙了半个世纪的银鱼又回到了泰晤士河,1983 年在河中捕捉到一条 6kg 的鲑鱼^[3]。

在我国七大河流域中,普遍存在水质恶化的问题,其中的淮河流域由于工业污染和城市污染导致水质在旱季极度恶化。根据地表水质的国家标准,1995 年做的水质评价表明,在所研究的地区的大多数河段均被划分为 V 类或者更差,水质较 10 年前的 IV 类进一步恶化。在这些河段的河水已经根本不适合做任何用途。根据 2000 年淮河流域水环境监测中心的月报和中国环境状况的年报,流域内整个水质状况在总体上没有得到改善,而且一些河段的水质仍在下降。根据 2001 年中国环境状况公报,与 2000 年相比,长江和珠江水质持平;黄河、松花江、淮河、海河和辽河水质都有所下降,而且一些河流的水量大幅度减少;在三大湖中,太湖和滇池水质与上年持平,而巢湖污染加重;2001 年我国海域赤潮发生次数增多,发生时间提前,共发生赤潮 77 次,累计面积 15 000km²,比上年增加 49 次,增加面积约 5000 km²^[4]。

由于水源水质的恶化,处理成本增加,致使生活、工业和农业用水的供水成本增加;处理成本的增加和水质恶化限制了经济的发展,如过去采用干净的河水生产的啤酒、纸浆和造纸、白酒以及化肥等生产厂,由于河水水质变坏,为了达到用水水质的要求,不得不采用深度处理,由此使生产成本大幅度增加,限制了新的工业在该地区投资;同时黑色和带有恶臭的河水,还限制了旅游和与水有关的活动项目的开发。

许多干流和支流的沿岸城市和农村都依靠河水作为日常用水,如饮用水、洗衣服、餐具和洗澡等,而恶化的水质增加了水源性疾病的风险度。来自工业含有有毒物质的废水或城区未经处理的含有高浓度的 COD 和 BOD 以及其他污染物的污水将导致与水有关的疾病发生,并进而增加医疗保健费用。

水污染造成了生态系统的退化和沿河以及地面水体的生物多样性的减少,如某些鱼类和植物品种正在减少或者灭绝。这些污水沿河道进入海洋,也破坏了海洋的生态环境。

水污染问题已经发展成为全球性的环境问题:联合国环境规划署的全球环境监测系统(GEMS)提供的数据显示,许多国家地表水质量差,且呈日益恶化趋势,流经大城市和工业中心地区内的河流污染状况尤其严重。在 1992 年的一次水体调查中,12% 监测场所的河道中,溶解氧水平过低,足以危及鱼类的存活,如表 1-1 所示。靠近城市的地表水污染状况更严重,铅、汞、镉的含量在城市地区河流中超标的现象普遍存在^[5]。

不仅世界上河流污染严重,湖泊污染也遍及全球。世界水委员会秘书长秀明太田在第三次世界水资源讨论会上说:湖泊是最容易受到破坏的生态系统,而且最难以恢复。工业化国家中受到最严重污染的湖泊,是那些不太深的湖泊,特别是那些接近农业活动最多的地区的湖泊,因为每天都有无数吨的杀虫剂和化学物质流入这些湖泊中。工业化国家中遭受严重污染的湖泊有:美国奥基乔比湖、俄罗斯的贝加尔湖、日本的琵琶湖等^[6]。在不太发达的国家中,那些条件恶化的湖泊和水系有:巴西的亚马孙河流域、乍得的湖泊、非洲的维多利亚湖泊、还有印度的一些湖泊。太湖、巢湖和滇池是我国最有代表性的城市或被城市包围的湖泊,均受到了严重点源和非点源的污染。据 2001 年调查统计,太湖全部水质均为