

水的深度处理 与回用技术

第二版

张林生 主编



化学工业出版社

水的深度处理 与回用技术

第二版

张林生 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

SHUI DE SHEN DU CHU LI
YU HUI YONG JI SHU

本书主要介绍了给水与污水深度处理与回用技术的理论与应用。对第一版中关于深度处理的物理化学方法、生物方法、特种水质处理技术、污水除磷脱氮技术和污水再生利用技术的内容进行了完善和补充,新增了污水自然生态处理技术和工业废水处理技术的内容。

本书内容较第一版更为全面,通过更多方法和实例的介绍,方便读者掌握各种深度处理方法,针对不同水质选用更为经济有效的处理方法。

图书在版编目(CIP)数据

水的深度处理与回用技术/张林生主编. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2008. 12
ISBN 978-7-122-03764-0

I. 水… II. 张… III. ①废水处理②废水综合利用
IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 150986 号

责任编辑: 徐 娟
责任校对: 郑 捷

装帧设计: 史利平

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 562 千字 2009 年 1 月北京第 2 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: 58.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

我国是一个缺水严重的国家。尽管我国淡水资源总量丰富,但人均水资源是全球最贫乏的国家之一。专家预计,中国缺水的高峰将出现在 2030 年,进入联合国有关组织确定的中度缺水型国家的行列。同时,我国水体污染严重,水的有效利用程度较低。目前城市污水与工业废水处理率及处理程度低,污水排放量的增大已引起水体环境恶化及相当普遍的水体富营养现象;我国当前万元产值用水量及水的重复利用率指标也与发达国家有较大的差距。

为了控制污染,有效利用宝贵的水资源,水与污水的深度处理及再生利用工作十分迫切。微污染水源水的深度处理是保障饮用水水质安全,保护人类健康的根本措施;污水深度处理可使污水资源化重复利用,减少企业生产成本,控制水体污染。归根结底,水的深度处理与回用技术是保护人类生存与发展环境的重要举措。

本书根据学科及工程应用的需求,在初版基础上更新了资料,吸收了国内外最新技术,增加补充了部分内容后重编再版。完善扩充的主要内容有:微污染水源水深度处理的理论与应用,如光催化氧化、电絮凝、电磁反应技术、光电反应、高梯度磁分离技术、紫外线、二氧化氯等消毒技术;微污染水生物处理技术(曝气生物过滤法、生物接触氧化法、生物活性炭法、膜生物反应器等)的相关原理、设备构造、工艺设计、计算方法;微污染水常规处理工艺的强化、深度处理综合技术及其应用;城市自来水厂应对水源突发污染的应急处理方法;藻类暴发成因及相关的除藻技术;特种水质(铁、锰、氟、砷等)的处理工艺和技术;新型过滤设备滤布过滤机、纤维过滤器等;纯净水的处理流程及设备;污水自然生态处理技术(如稳定塘、污水渗滤系统、湿地处理系统);循环冷却水处理回用技术;重点工业(如电镀、造纸、化工、印染等)废水的处理回用技术。

全书共有 12 章,既阐述了水的深度处理有关工艺与技术的基本理论,也汇集了相关应用方面的工程实例。

本书由东南大学张林生教授主编,参加编写的人员有刘济阳、董岳、杨协栋、夏炎、茆亮凯、张帆、单国平、张敏、邵建安等。本书题材广泛,吸收了国内外诸多文献的研究成果,谨向本书取材引用过的文献作者致以衷心的感谢。本书在编写过程中还得到了东南大学吕锡武教授、吴浩汀教授的大力支持,在此一并表示感谢。

限于编者的水平,书中疏漏之处在所难免,欢迎广大读者与同行专家批评指正。

东南大学 张林生

2008 年 6 月

第一版序言

我国是水资源相对贫乏的国家，随着近二十年来工农业生产和国民经济的快速发展，水资源问题越来越突出。污水排放使水体受到污染，个别水域出现富营养化现象，破坏了生态环境。同时，水源污染威胁饮用水源的安全，而水源水质还难以在较短时间内得到根本的改善。为了控制环境污染和保证饮用水质安全，需要吸收水处理新技术，而《水的深度处理与回用技术》一书正可满足这一要求。

本书综合了国内外水的深度处理与回用的理论和先进技术，内容涉及过滤及膜技术、特种处理技术、微污染水生物处理技术、污水脱氮除磷技术以及污水再生利用技术等。其中，超滤、微滤、臭氧氧化、光催化氧化、高梯度磁分离、BAF、BAC、生物脱氮除磷等方面的内容，都是当前大家关注的新技术。本书既阐明了水的深度处理与回用的基本理论，还介绍了有关的工艺和计算，并列举了一些工程实例，具有很好的参考价值。

严煦世
2004年2月

主 编 严 煦 世

副 编 严 煦 世

第一版前言

我国人均水资源贫乏,属世界上的贫水国家,不少城市存在不同程度的缺水现象,严重缺水的城市达城市总数的15%以上。同时,我国水的有效利用程度较低,目前万元产值用水量及水的重复利用率指标均与发达国家有较大的差距。

我国水体污染也相当严重。目前城市与工业污水处理率及处理程度低,随着国民经济的快速发展,污水排放量增大,引起水体环境恶化及相当普遍的水体富营养现象,使不少水源受到污染,水质已不符合国家饮用水源水质标准。

为了控制污染保护环境,水与污水的深度处理及再生利用就十分重要。微污染水源水的深度处理可保证饮用水水质安全,保护人类健康。污水深度处理可使污水资源化重复利用,减少生产成本,控制水体污染。归根到底,水的深度处理与回用技术是保护人类生存与发展环境的重要举措。

本书主要内容为给水与污水深度处理与回用技术的理论与应用,既阐述了相关工艺与技术的基本理论,也汇集了有关工程应用方面的内容和知识。书中题材广泛,吸收了国内外诸多文献的研究成果,在此谨向文献的作者表示衷心的感谢。本书由东南大学的张林生教授主编。参加编写的人员有杨广平、查春花、巩有奎、李国新、王素芳、朱凤松、赵伟、杨弦、陈鸣等。本书在编写过程中还得到了东南大学的吕锡武教授、吴浩汀教授的大力支持,在此一并表示感谢。

本书的编写限于水平,疏漏之处,欢迎广大读者与同行专家批评指正。

东南大学张林生

2004年1月

目 录

第1章 水的深度处理与回用	1
1.1 我国的水资源现状	1
1.1.1 水资源的含义及主要特点	1
1.1.2 我国水资源的特点	2
1.1.3 我国水资源紧缺的原因	3
1.1.4 水资源开发与利用	4
1.2 水源微污染问题及饮用水深度处理技术	4
1.2.1 微污染水源的特点	4
1.2.2 微污染水的主要危害	4
1.2.3 微污染水处理技术概述	5
1.2.4 微污染水深度处理技术概述	6
1.3 水体富营养化问题及污水深度处理技术	10
1.3.1 富营养化定义	10
1.3.2 我国湖泊富营养化现状	10
1.3.3 水体富营养化的危害	11
1.3.4 水体富营养化的污染源	11
1.3.5 生物处理对富营养化水源水的净化	13
1.3.6 污水的深度处理技术	14
1.4 污水资源化与再生利用	18
1.4.1 城市污水再生利用的目的及意义	18
1.4.2 污水再生利用的对象	20
1.4.3 国外污水再生利用的发展状况	20
1.4.4 我国污水再生利用的发展与现状	23
第2章 微污染水物理化学处理技术及应用	24
2.1 臭氧化技术	24
2.1.1 臭氧净水机理	24
2.1.2 原水水质对臭氧化过程的影响	26
2.1.3 臭氧的制备与投加	26
2.1.4 臭氧净水的工艺计算	29
2.1.5 臭氧水处理工艺的典型流程	30
2.2 光催化氧化技术	31
2.2.1 光催化氧化技术的基本概念及发展概况	31
2.2.2 光催化氧化机理	32
2.2.3 光催化氧化的催化剂	32
2.2.4 光催化氧化反应器	34
2.2.5 光催化氧化的工艺及应用	35
2.3 活性炭吸附技术	36

2.3.1	活性炭的性质及其吸附作用	36
2.3.2	吸附等温线	37
2.3.3	活性炭吸附的主要影响因素	40
2.3.4	吸附方式	40
2.3.5	吸附剂的再生	42
2.3.6	吸附塔的设计	44
2.3.7	吸附法在水处理中的应用	45
2.4	电化学处理技术	47
2.4.1	电絮凝的原理与方法	47
2.4.2	电絮凝工艺设计	50
2.4.3	电絮凝技术在水处理中的应用	52
2.5	电磁处理技术	55
2.5.1	电磁变频反应器原理	55
2.5.2	电磁变频技术的除垢与除藻	56
2.5.3	高梯度磁分离技术	58
2.5.4	光电组合处理技术	62
2.6	消毒技术	63
2.6.1	氯和次氯酸盐消毒	64
2.6.2	二氧化氯消毒	64
2.6.3	紫外线消毒	67
2.6.4	臭氧消毒	70
2.6.5	超声波消毒	72
第3章	微污染水生物处理技术	73
3.1	曝气生物滤池法	73
3.1.1	BAF 的基本原理和特点	73
3.1.2	BAF 的结构、类型及运行方式	74
3.1.3	BAF 的计算	77
3.1.4	BAF 在微污染水处理中的工程应用	78
3.2	生物接触氧化法	80
3.2.1	BCO 的处理原理及特征	80
3.2.2	BCO 池的构造及工艺	82
3.2.3	BCO 工艺的计算与组合工艺	84
3.2.4	BCO 处理微污染水工程实例	85
3.3	生物活性炭法	88
3.3.1	BAC 的处理原理	88
3.3.2	BAC 的工艺结构及有关设计参数	88
3.3.3	BAC 组合工艺流程	89
3.3.4	BAC 工程实例	91
3.4	膜生物反应器	94
3.4.1	MBR 的原理及特点	94
3.4.2	MBR 的类型及工艺设计	95

3.4.3	MBR 中膜污染的防治	97
3.4.4	MBR 的工程应用	97
第 4 章 微污染水源水处理技术及应用		99
4.1	饮用水水质标准	99
4.2	微污染水处理技术	99
4.2.1	强化常规的水处理工艺	100
4.2.2	深度处理技术	100
4.2.3	微污染水预处理技术	101
4.3	微污染水处理组合工艺及典型流程	104
4.3.1	微污染水处理组合工艺	104
4.3.2	微污染水处理典型流程	106
4.4	微污染水处理的工程实例	107
4.4.1	上海惠南水厂生物预处理工程	107
4.4.2	周家渡水厂深度处理设计	109
4.4.3	桐乡果园桥水厂深度处理工程	111
4.4.4	阜阳铁路水厂深度处理工厂	113
4.5	水源突发污染应急处理方法	113
4.5.1	突发性污染的来源与分类	114
4.5.2	现有给水厂的处理能力与应急措施	114
4.5.3	嘉兴南门水厂高锰酸钾-活性炭处理工程	115
第 5 章 过滤及膜技术		117
5.1	过滤	117
5.1.1	过滤机理	117
5.1.2	滤池的形式及构造	117
5.1.3	深层过滤滤池	118
5.1.4	上向流与辐射流过滤	120
5.1.5	新型滤料过滤	121
5.1.6	滤布过滤机	123
5.1.7	纤维过滤器	124
5.2	反渗透	126
5.2.1	膜分离法概述	126
5.2.2	反渗透机理	127
5.2.3	反渗透处理工艺	129
5.2.4	反渗透装置的工艺计算	133
5.2.5	反渗透在水处理中的应用	136
5.3	纳滤	138
5.3.1	纳滤的分离机理	138
5.3.2	纳滤的分离特性	139
5.3.3	纳滤的工程应用	140
5.4	超滤	142
5.4.1	超滤的工作原理	142

5.4.2	超滤的操作方式	142
5.4.3	超滤操作的影响因素	143
5.4.4	超滤的计算	144
5.4.5	超滤在水处理中的应用	147
5.5	微滤	150
5.5.1	微滤的基本原理	150
5.5.2	微滤的工艺设计	152
5.5.3	微滤的工程应用	156
第6章 特种水质处理技术及应用		158
6.1	水的除氟	158
6.1.1	氟的性质与危害	158
6.1.2	除氟原理与方法	158
6.1.3	除氟的工程应用	162
6.2	水的除砷	163
6.2.1	砷的来源及危害	163
6.2.2	除砷的机理及方法	164
6.2.3	除砷的工程应用	165
6.3	水的除铁除锰	167
6.3.1	地下水中铁锰的存在及危害	167
6.3.2	地下水铁锰的氧化及其速率	167
6.3.3	接触氧化法除铁除锰	168
6.3.4	水除铁除锰的工程应用	170
6.4	水的除藻	171
6.4.1	藻类产生的人为因素及其危害	171
6.4.2	藻类及藻毒素的去除方法	171
6.4.3	除藻的技术性能特点比较	174
6.4.4	除藻工程实例	174
6.5	水的沸石除氨	175
6.5.1	氨氮的性质与危害	175
6.5.2	沸石除氨原理及工艺	175
6.5.3	固定床沸石除氨的影响因素	176
6.5.4	沸石除氨工艺的设计	177
6.6	纯净水处理及应用	178
6.6.1	纯净水的特征	178
6.6.2	纯净水的一般处理流程与设备	179
6.6.3	纯净水制备工程实例	181
第7章 污水除磷技术		183
7.1	污水生物除磷原理	183
7.1.1	污水中磷的转化	183
7.1.2	生物除磷原理	183
7.1.3	生物除磷的影响因素	185

7.2 污水生物除磷工艺	186
7.2.1 A/O 工艺	187
7.2.2 Phostrip 工艺	187
7.2.3 污水生物除磷工艺设计	188
7.3 化学沉淀法除磷技术	191
7.3.1 化学沉淀法除磷原理	192
7.3.2 化学沉淀法除磷的影响因素	192
7.3.3 化学沉淀法除磷工艺	193
7.3.4 除磷工程实例	195
7.4 结晶法除磷技术	197
7.4.1 结晶法除磷原理	197
7.4.2 结晶法除磷的晶种	199
7.4.3 结晶法除磷工艺	199
7.4.4 结晶法除磷的应用	200
第 8 章 污水脱氮技术	201
8.1 污水生物脱氮原理	201
8.1.1 氨化与硝化	201
8.1.2 反硝化	203
8.1.3 硝化反应和反硝化反应的主要影响因素	204
8.1.4 生物脱氮过程中氮转化的条件	205
8.1.5 生物脱氮的其他理论	206
8.2 污水生物脱氮工艺	207
8.2.1 活性污泥法脱氮传统工艺	207
8.2.2 A/O 工艺及改进型工艺	208
8.2.3 AB 工艺及改进型工艺	210
8.2.4 其他工艺	211
8.3 氨的吹脱去除	212
8.3.1 氨吹脱原理	212
8.3.2 氨吹脱工艺	212
8.3.3 氨气脱除塔工作的影响因素	213
8.3.4 氨吹脱工艺的设计参数	215
8.4 折点加氯法除氨	216
8.4.1 基本原理	216
8.4.2 折点加氯处理的影响因素和设计参数	216
8.4.3 余氯脱除	218
8.4.4 折点加氯法的工程实例	219
第 9 章 污水同步脱氮除磷技术	220
9.1 污水同步脱氮除磷工艺	220
9.1.1 传统活性污泥工艺	220
9.1.2 巴颠甫 (Bardenpho) 脱氮除磷工艺	221
9.1.3 生物转盘同步脱氮除磷工艺	222

9.2 氧化沟脱氮除磷工艺	222
9.2.1 氧化沟工艺概述	222
9.2.2 氧化沟工艺基本原理	223
9.2.3 氧化沟的技术特征	224
9.2.4 氧化沟工艺流程类型	225
9.2.5 氧化沟工艺系统的设计	229
9.3 SBR 法脱氮除磷工艺	231
9.3.1 SBR 工艺的基本原理	232
9.3.2 SBR 工艺的技术特征	232
9.3.3 影响 SBR 工艺脱氮除磷的主要因素	233
9.3.4 SBR 工艺流程类型	233
9.3.5 SBR 工艺系统的设计	236
9.4 污水同步脱氮除磷处理工程实例	237
9.4.1 A ² /O 工艺工程实例	237
9.4.2 氧化沟脱氮除磷工艺工程实例	239
9.4.3 循环式活性污泥法 (C-TECH 工艺) 工程实例	241
第 10 章 污水自然生态处理技术	244
10.1 稳定塘	244
10.1.1 稳定塘的工艺及净化原理	244
10.1.2 好氧塘	246
10.1.3 兼性塘	247
10.2 污水土地处理系统	249
10.2.1 污水渗流系统	249
10.2.2 湿地处理系统	250
10.3 小城镇污水生态处理技术	252
10.3.1 湿地系统对城镇污水的处理	252
10.3.2 生态绿地对城镇污水的处理	252
10.4 污水生态处理的典型工程	253
10.4.1 鄂州鸭儿湖稳定塘	253
10.4.2 天津大港污水湿地处理系统	254
第 11 章 污水再生利用技术及应用	256
11.1 污水再生利用的水质要求	256
11.1.1 概述	256
11.1.2 污水再生利用的水质指标	256
11.1.3 污水再生利用的水质要求	257
11.2 污水再生利用的方法与工艺	262
11.2.1 概述	262
11.2.2 污水再生利用的方法	263
11.2.3 污水再生利用的工艺	264
11.3 城镇污水再生利用的工程实例	267
11.3.1 日本芝山住宅区污水处理系统	267

11.3.2	美国 21 (世纪) 水厂深度处理系统	269
11.3.3	济南市某宾馆及生活小区的生活污水回用工程	270
11.3.4	大连污水再生利用工程	271
11.3.5	城市污水回用于化工工艺用水	272
11.4	循环冷却水处理回用技术	274
11.4.1	循环冷却水系统及水质稳定	274
11.4.2	循环冷却水处理回用方法	277
第 12 章	工业废水深度处理技术	282
12.1	电镀废水的离子交换法处理回收技术及工程实例	282
12.1.1	电镀废水的来源与特性	282
12.1.2	电镀废水离子交换法的原理与应用	283
12.1.3	电镀废水处理与回用的应用	283
12.2	造纸废水气浮法处理回收技术	285
12.2.1	造纸废水的来源与污染特性	285
12.2.2	造纸废水气浮处理方法	286
12.2.3	造纸废水气浮法处理与回用技术的工程实例	286
12.3	化工废水处理与回用	287
12.3.1	化工废水及其特性	287
12.3.2	化工废水常用处理技术	287
12.3.3	化工废水深度处理技术	288
12.3.4	化工废水处理与回用工程实例	289
12.4	机械切削乳化液混凝破乳回用技术	293
12.4.1	机械切削乳化液的来源与性质	293
12.4.2	机械切削含油废水的处理方法	294
12.4.3	乳化液破乳技术	294
12.4.4	机械切削含油废水处理回用工程实例	295
12.5	印染废水膜法处理回用技术	297
12.5.1	印染废水的特点及对环境的影响	297
12.5.2	印染废水深度处理常用方法	298
12.5.3	印染废水膜法处理回用技术的组合工艺	299
12.5.4	印染废水中水处理回用应用实例	300
参考文献		303

第 1 章 水的深度处理与回用

1.1 我国的水资源现状

1.1.1 水资源的含义及主要特点

水是人类赖以生存和社会发展的宝贵自然资源,没有水,就没有生命,也没有我们生活的世界。它是人类社会可持续发展的限制因素,在自然界中以不同的形态存在并循环不息,其水质也受多种因素的影响而变化。

水资源定义有广义和狭义之分。广义的水资源指地球上所有的水,不论它以何种形式、何种状态存在。狭义的水资源则认为水资源是在目前的社会条件下可被人类直接开发与利用的水。而且开发利用时必须技术上可行,经济上合理且不影响地球生态。极地冰川、山地冰川、海水由于各自使用的不方便而未被人类大规模的开发利用。

通常所说的水资源是指陆地上可供生产、生活直接利用的江河、湖沼以及部分储存于地下的淡水资源,亦即“可利用的水资源”。这部分水量只占地球总水量的极少部分。

如果从可持续发展的角度来看,水资源仅指一定区域内逐年可以恢复更新的淡水。具体说是以河川径流量表征的地表水资源,以及参与水循环的以地下径流量表征的地下水资源。对一定区域范围而言,水资源的量并不是恒定的,它随用水的目的和水质要求的不同、科学技术与经济发展水平的不同而变化。

水是自然环境的重要组成部分,它不断运动着,积极参与自然环境中正在发生和进行的一系列物理的、化学的和生物的过程。水资源作为一种动态的可更新资源,具有以下特性:再生性和有限性,时空分布的不均匀性,流动性和溶解性。

(1) 再生性和有限性

地球上的水以相态转换、吸收和释放热量的形式,在地球大气圈、岩石圈以及生物圈的参与下形成水循环,使地球上各种水体不断更新,呈现再生性。但在一定的时间、空间范围来说,大气降水对水资源的补给却是有限的,水资源并不是“取之不尽,用之不竭”的,世界陆地年径流量约为470000亿立方米,可以说这是目前可资人类利用的水资源的极限。另外,一定地区在某一时间范围内的水资源是有限的,所以一定要将水资源的开发与维护相结合,以保持水资源持续开发利用。

(2) 时空分布的不均匀性

水资源的时空变化是由气候条件、地理条件等多种因素综合决定的。那些距海较近、接受输送水汽较为丰富的地区雨量充沛,水资源数量也较为丰富;而那些位居内陆、水汽难以到达的地区,降水稀少,水资源极其匮乏。从沿海到陆地呈现为湿润区到干旱区的变化。在时间上,水循环的主要动力是太阳辐射,因而地球运动所引起的四季变化,造成同一地区所接受的辐射强度是不同的,使得同一地区的降雨在时间上的差异也是很明显的,主要表现为一年四季的年内水量变化以及年际间的水量变化。对一个地区来说,夏季雨量较多,循环旺盛,是一年的丰水期,而每年的冬天,水循环减弱,雨水稀少,是每年的枯水期。此外,径流年际变化的随机性很大,常出现丰枯交替的现

象,还可能出现连续洪涝或持续干旱的情况,即出现所谓径流年际变化的丰水年组和枯水年组现象。这种径流时空分布的不均匀性对水资源利用产生了许多不利的因素。

(3) 流动性和溶解性

在常温下,水主要以液态形式存在,具有流动性,这种流动性使水可被拦蓄、调节、引调,从而使水资源的各种价值得到充分的开发利用,同时也使水具有一些危害,会造成洪涝灾害、泥石流、水土流失与侵蚀等。另外,水在流动并与地表、地面及大气相接触的过程中会夹带及溶解各种杂质,使水质发生变化。这一方面使水中具有各种生物所必需的有用物质,但也会使水质受到污染。

1.1.2 我国水资源的特点

我国幅员辽阔,人口众多,是一个发展中的国家,由于特定的地理、气象、人口、经济等因素的影响,我国水资源有着自己的特点。

(1) 水资源总量丰富,相对量较少

据2007年9月水利部公布的2006年中国水资源公报表明:2006年全国水资源总量为25330亿立方米,比常年值偏少8.6%。地下水与地表水资源不重复量972亿立方米,占地下水资源量的12.7%。然而我国是一个干旱缺水严重的国家,虽然我国的淡水资源总量为25330亿立方米,占全球水资源的6%,居世界第六位,但是我国的人均水资源量只有2300m³,仅为世界平均水平的1/4,是全球人均水资源最贫乏的国家之一,居世界第109位。

(2) 水资源时空、地域分布不均衡

① 水资源时空分布不均,年际、年内变化大。年际间最大和最小径流量的比值,长江以南中等河流在5以下,北方河流多在10以上。径流量的逐年变化存在着明显的丰平枯水期,可能出现连续数年为丰水年或枯水年的交替现象。水资源年内径流分配也不均衡。长江以南地区60%的降水多出现在4~7月;长江以北地区80%以上的降水多出现在6~9月;西南地区70%左右的降水多集中在6~10月。一年中较长时间缺水的现象,给经济发展与人民生活带来很大困难。

② 水资源地域分布极不均匀,南北、东西部差距悬殊。我国水资源南多北少,东多西少,与人口、耕地、矿产等资源分布极不匹配。长江流域及其以南地区面积占全国总面积的36.5%,却拥有全国80.9%的水资源;长江以北诸水系的流域面积约占国土面积的63.5%,其水资源总量却只占全国的19.1%,其中西北内陆河地区面积占35.3%,水资源量仅占4.6%。有关资料表明,北方人均水资源占有量约1127m³,仅为南方人均占有量的30%左右。在全国人均水资源占有量不足1000m³的10个省(区)中,北方地区就占了8个,除辽宁省外,其他都集中在华北地区。水资源地域分布极不均衡的特点,导致我国北方和西北地区常常出现资源性缺水;水资源年际变化大、年内分配不均的特点,是造成我国半干旱、半湿润和许多地区(包括南方地区)季节性缺水的根本原因。

(3) 水污染态势难以遏制

水污染是人为与自然双重因素所致,是水资源领域的特殊灾害,致使水资源匮乏的形势更加雪上加霜,是水资源管理中的“顽症”。

水利部公布的2006年中国水资源公报表明,2006年全国废污水排放总量731亿立方米,其中工业废水占2/3,第三产业和城镇居民生活污水占1/3。对约14万千米长河流的水质进行评价,I类水河长占3.5%,II类水河长占27.3%,III类水河长占27.5%,IV类水河长占13.4%,V类水河长占6.5%,劣V类水河长占21.8%。各水资源一级区中,西南诸河、西北诸河、珠江、长江和东南诸河5个区水质较好,符合和优于III类水的河长占93%~65%;黄河、辽河、淮河、松花江和海河5个区水质较差,符合和优于III类水的河长占42%~30%。

(4) 水浪费现象普遍存在

水浪费和水污染加剧了水资源危机,造成了供需失衡。据统计,全国 668 座城市中,缺水城市达 400 个,全国城市平均每天缺水达 1600 万立方米,每年因缺水影响工业产值 2300 亿元。

① 全国农业灌溉用水量约为 3900 亿立方米/年,占全国总用水量的 70%,但由于全国普遍采用“土渠输水,大水漫灌”的古老方式,水的浪费十分严重,有效利用率只有 30%~40%,而发达国家由于实现了输水渠道防渗化、管道化,大田喷灌、滴灌化,灌溉达到自动化、科学化,水的有效利用率已达 70%~80%。如果把我国灌溉用水有效利用率提高 15%,每年可节水 600 亿立方米,比整个黄河的年水量还多。

② 我国许多企业设备陈旧,工艺落后,水的重复利用率只有 50%左右,发达国家却达 70%以上。我国工业万元产值耗水量为 103m³,是发达国家的 10~20 倍。

③ 由于水价太低,供水技术落后,城市生活用水浪费现象普遍存在。据统计,全国城市自来水管网水量损失率高达 20%~30%,再加上使用中的跑、冒、滴、漏,每年约有 10 亿立方米的水被损失掉。

1.1.3 我国水资源紧缺的原因

(1) 污染严重

据不完全统计,目前全国工业污水日排放量约为 6000 万立方米,城市生活污水排放量为 5000 万立方米,全国已有 1/3 以上的河段受到污染,不能用于灌溉的河段长 1.28 万千米。辽宁省辽河流域年排污水总量 168 亿立方米,其中工业废水排放量高达 10.4 亿立方米。

2005 年 11 月 13 日,中石油吉林石化公司双苯厂苯胺车间发生爆炸事故,事故产生的约 100t 苯、苯胺和硝基苯等有机污染物流入松花江。由于苯类污染物是对人体健康有危害的有机物,因而导致松花江发生重大水污染事件。哈尔滨市政府随即决定,于 2006 年 1 月 23 日零时起关闭松花江哈尔滨段取水口,停止向市区供水。

2007 年 5 月 29 日开始江苏省无锡市城区的大批市民家中自来水水质突然发生变化并伴有难闻的气味,无法正常饮用。无锡市民饮用水水源来自太湖,造成这次水质突然变化的原因是:入夏以来,无锡市区域内的太湖水位出现 50 年以来最低值,再加上天气连续高温少雨,太湖水富营养化较重,从而引发了太湖蓝藻的提前暴发,影响了自来水水源水质。

2007 年 6 月,巢湖、滇池也不同程度地出现蓝藻。安徽巢湖西半湖出现了区域在 5km² 左右的大面积蓝藻。由于西半湖不作为饮用水源,所以对当地影响不大。但随着持续高温,巢湖东半湖也出现蓝藻。滇池也因连日天气闷热,蓝藻大量繁殖。在昆明滇池海埂一线的岸边,湖水如绿油漆一般,并伴随着阵阵腥臭。太湖、巢湖、滇池蓝藻的连续暴发为“三湖”流域水污染综合治理敲响了警钟。

(2) 浪费严重

在农田灌溉方面,由于技术落后、工程不配套、管理不善等,水的利用率不到 40%,仅渠系渗漏的水每年高达 1700 亿立方米,占农田灌溉水总量的 43%。在工业用水方面,循环利用率低,仅为发达国家的 1/3 左右。在生活用水方面,在不同程度上存在着水龙头漏水现象。

(3) 现有水利工程调蓄能力小,供水保证率低

目前我国有各种大、中、小型水库 86 万多座,总容量约 4100 亿立方米,占总径流量 15.6%,但调蓄能力低。水库供水量只占总供水量的 54%,占总径流量的 8.6%,供水保证率也不高。

(4) 开发利用不平衡

我国北方水少,但集中了许多工业城市(如华北、辽宁等地区),需水量大,不论河川径流或地下水资源,其开发利用率都很高。海、辽两河的径流利用率已达到 60%~65%,海河流域的地下水开采利用率已高达 90%,因缺水造成工农业经济损失巨大,粮食减产。我国南方水资源丰富,

工农业生产用水量较大,但河川径流利用率却低于20%。

(5) 生态环境失调

毁林开荒造成严重的水土流失,使生态环境失调。辽宁省东部山区,边治理边破坏,破坏速度大于治理速度。致使水土流失加剧,自然灾害频繁,无雨则旱,遇雨则涝,生态环境已经丧失了自然调节的功能。大型水库年淤积损失库容相当于每年报废一座库容在1亿立方米以上的大型水库。

综上所述,水资源作为人类生存和社会发展的一种宝贵资源必须十分珍惜,应采取各种有效措施,使有限的水资源得到合理的开发和利用,以保障社会的可持续发展。

1.1.4 水资源开发与利用

(1) 节约用水、合理利用水资源

节约用水除具有节省用水量的直接含义之外,还包括减少水的使用量;减少水的损失、浪费;增加水的重复利用率和回用;实行清洁生产;提倡污(废)水资源化等内容。节约用水是关系到我国社会经济可持续发展的根本大计。

(2) 治理污染,中水回用,扩大可利用水资源

水的再利用包括水的循环利用和回用两方面。后者又分为直接回用和间接回用两种形式。直接回用一般是将适当处理过的水,不经过天然水体缓冲、净化,直接用于灌溉、工业生产、水产养殖、市政、景观娱乐与生活杂用等。水的间接回用即将适当处理过的污水或废水经天然缓冲、自然净化、人工回灌等使污水或废水再生。间接回用一般需经历较长的时间,也要有较大的空间和环境容量。污水是一种水量稳定的可再生水资源,世界上许多国家尤其是干旱地区均建有污(废)水再生与回用的工程。污水综合处理、深度处理,达到回用要求,是扩大可利用水资源的重要途径。

1.2 水源微污染问题及饮用水深度处理技术

1.2.1 微污染水源的特点

“微污染”是我国近10年来才出现的给水处理术语。微污染水源是指水的物理、化学和微生物指标已不能达到《地面水环境质量标准》中作为生活饮用水源水的水质要求。水体中污染物单项指标,如浑浊度、色度、臭味、硫化物、氮氧化物、有害有毒的物质[如重金属(汞、锰、铬、铅、砷等)]、病原微生物等有超标现象,但多数情况下是受有机物微量污染的水源。水体微污染现象对饮用水处理工艺的选用造成了很大的困难。

近年来,我国微污染源水质主要显示下列特点。

① 表示有机物的综合指标,如COD、BOD、TOC等值升高,水源水中这些指标值越大,说明水中有机物越多,污染越严重。例如水源水的溶解氧一般在5~10mg/L之间,如降低到5mg/L以下时,作为饮用水源已不合适。溶解氧小于1mg/L时,由于有机物的分解,可使水源水开始发生恶臭。又如当水源水的BOD小于3mg/L时,水质较好;到7.5mg/L时,水质较差;超过10mg/L时水质极差,此时水中溶解氧已接近于零。

② 氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)浓度升高。

③ 嗅味明显。

④ 致突变性的Ames试验结果呈阳性,而水质良好的水源应呈阴性。

1.2.2 微污染水的主要危害

发达国家的微污染水处理的中心问题是去除可同化有机碳(AOC)和氨氮为主的微污染物,