

水的深度处理 与回用技术

张林生 主编 卢永 陶昱明 副主编

第三版

SHUI DE SHENDU
CHULI YU
HUIYONG JISHU



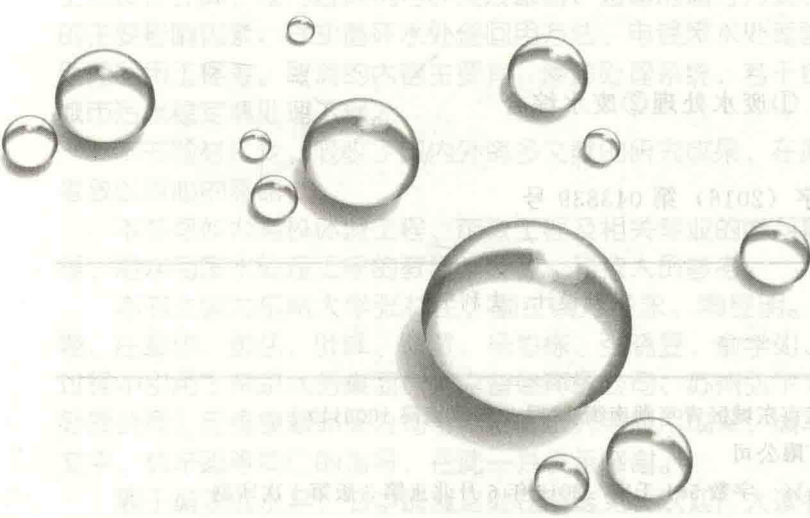
化学工业出版社

水的深度处理 与回用技术

张林生 主编 卢永 陶昱明 副主编

第三版

SHUI DE SHENDU
CHULI YU
HUIYONG JISHU



化学工业出版社

·北京·

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。本书共12章,主要介绍了水的物理化学处理技术、微污染水生物处理技术、过滤及膜技术、微污染水源水处理技术及应用、特种水质处理技术及应用、污水除磷技术、污水脱氮技术、污水同步脱氮除磷技术、污水自然生态处理技术、污水处理再生利用技术、工业废水深度处理回用技术。

本书内容较第二版更为全面,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。本书可作为高等院校环境工程、市政工程及相关专业师生的教学用书,也可供从事环境治理工程、给水与废水处理工程的教学、设计、科技人员参考。

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.—3版.—北京:化学工业出版社,2016.4
ISBN 978-7-122-26431-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第043839号

责任编辑:徐娟
责任校对:陈静

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:高教社(天津)印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张21 $\frac{1}{4}$ 字数561千字 2016年6月北京第3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:69.00元

版权所有 违者必究

第三版前言

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。住房和城乡建设部曾预计，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。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，随着污水排放量的增大已引起水体水质恶化及相当普遍的水体富营养现象，甚至饮用水源水质只能达到国家水体标准的 3 至 4 类水。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。

当前改善水环境，保护水资源，已成为全民共识，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，既阐述了水处理相关技术的基本理论，也汇集了相关工艺在工程应用方面的内容。本书根据学科与工程应用的需要，在第二版的基础上更新了资料，吸收了国内外的最新技术，修改、增加、补充了部分内容后重新再版。

新增与更新的内容主要有：给水厂的应急预案选择、生态浮床处理技术、水葫芦生态植物塘、循环冷却水再生利用工程、雨水收集处理回用技术、电镀废水膜分离法处理与回用工程、造纸废水深度处理与回用工程、高盐化工废水深度处理与回用技术等。修改、补充的内容主要有：我国水资源的特点、饮用水深度处理技术概述、活性炭吸附运行方式、BAF 的工艺设计计算、滤布过滤机与纤维过滤器、超滤的运行方式、氨化、硝化与反硝化及其反应的主要影响因素、冷却循环水处理回用方法、电镀废水处理回用方法、机械切削乳化液废水处理回用工程等。取消的内容主要有：渗滤处理系统，若干技术相对落后的污水回用工程及城市污水稳定塘处理工程。

本书题材广泛，吸收了国内外诸多文献的研究成果，在此谨向本书取材引用过的文献作者致以衷心的感谢。

本书可作为高校环境工程、市政工程及相关专业的学习参考书，也可供从事环境治理工程、给水与废水处理工程的教学、设计、科技人员参考。

本书主编为东南大学张林生，副主编为卢永、陶昱明。参加编写的人员有：鲍娟、朱翔、庄彦华、董岳、叶峰、耿震、杨协栋、张晓昱、俞学如、李文超、于飞等。本书在编写过程中引用了南京水务集团、南京普信环保公司、苏州弘宇节能减排工程公司、泰州晟禾水处理公司、无锡康霸环保公司等单位的研究与应用成果，编写时得到了胡海清、姚佩军、戴文平、杭辛聪等同仁的指导，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

2016 年 1 月

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

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概述	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	5
1.2.1 微污染水源的特点	5
1.2.2 微污染水的主要危害	5
1.2.3 微污染水处理技术概述	6
1.2.4 微污染水深度处理技术概述	7
1.3 水体富营养化问题及污水深度处理技术	11
1.3.1 富营养化定义	11
1.3.2 我国水体富营养化现状	11
1.3.3 水体富营养化的危害	12
1.3.4 水体富营养化的污染源	12
1.3.5 富营养化水源水的生物处理净化	14
1.3.6 污水的深度处理技术概述	15
1.4 污水资源化与再生利用	19
1.4.1 污水再生利用的目的及意义	19
1.4.2 污水再生利用的对象	21
1.4.3 国外污水再生利用的发展状况	22
1.4.4 我国污水再生利用的发展与现状	24
第 2 章 水的物理化学处理技术及应用	26
2.1 臭氧化技术	26
2.1.1 臭氧净水机理	26
2.1.2 水质指标对臭氧化过程的影响	28
2.1.3 臭氧的制备与投加	28
2.1.4 臭氧净水的工艺计算	31
2.1.5 臭氧水处理工艺的典型流程	32
2.2 光催化氧化技术	33
2.2.1 光催化氧化技术的基本概念及发展概况	33
2.2.2 光催化氧化机理	34
2.2.3 光催化氧化的催化剂	35
2.2.4 光催化氧化反应器	36
2.2.5 光催化氧化的工艺及应用	37
2.3 活性炭吸附技术	39
2.3.1 活性炭的性质及其吸附作用	39

2.3.2	吸附等温线	40
2.3.3	活性炭吸附的主要影响因素	42
2.3.4	吸附运行方式	43
2.3.5	吸附剂的再生	46
2.3.6	吸附塔的设计	47
2.3.7	吸附法在水处理中的应用	48
2.4	电絮凝处理技术	50
2.4.1	电絮凝的原理与方法	50
2.4.2	电絮凝工艺设计	53
2.4.3	电絮凝技术在水处理中的应用	56
2.5	电磁处理技术	59
2.5.1	电磁变频反应器原理	59
2.5.2	电磁变频技术的除垢与除藻	60
2.5.3	高梯度磁分离技术	62
2.5.4	光电组合处理技术	66
2.6	消毒技术	68
2.6.1	氯和次氯酸盐消毒	68
2.6.2	二氧化氯消毒	69
2.6.3	紫外线消毒	71
2.6.4	臭氧消毒	74
2.6.5	超声波消毒	76
第3章	微污染水生物处理技术	77
3.1	曝气生物滤池法 (BAF)	77
3.1.1	BAF的工艺原理和特点	78
3.1.2	BAF的结构、类型及运行方式	78
3.1.3	BAF的工艺设计	81
3.1.4	BAF在微污染水处理中的工程应用	82
3.2	生物接触氧化法 (BCO)	85
3.2.1	BCO的工艺原理及特征	85
3.2.2	BCO池的构造及工艺	86
3.2.3	BCO的工艺设计与组合工艺	89
3.2.4	BCO处理微污染水工程实例	90
3.3	生物活性炭法 (BAC)	92
3.3.1	BAC的工艺原理	92
3.3.2	BAC的工艺结构及主要设计参数	93
3.3.3	BAC组合工艺流程	94
3.3.4	BAC工程实例	96
3.4	膜生物反应器 (MBR)	99
3.4.1	MBR的原理及特点	99
3.4.2	MBR的类型及工艺设计	100
3.4.3	MBR中膜污染的防治	102
3.4.4	MBR的工程应用	103
第4章	过滤及膜技术	105

4.1	过滤	105
4.1.1	过滤机理	105
4.1.2	滤池的形式及构造	105
4.1.3	深层过滤滤池	106
4.1.4	连续流动床过滤器与辐射流过滤器	108
4.1.5	新型滤料过滤	109
4.1.6	滤布过滤机	111
4.1.7	纤维过滤器	113
4.2	反渗透及纳滤	115
4.2.1	膜分离法概述	115
4.2.2	反渗透机理	116
4.2.3	反渗透处理的工艺设计	117
4.2.4	反渗透装置的工艺计算	122
4.2.5	反渗透在水处理中的应用	125
4.2.6	纳滤的分离特性及其应用	127
4.3	超滤	130
4.3.1	超滤的工作原理	131
4.3.2	超滤的运行操作方式	131
4.3.3	超滤运行操作的影响因素	132
4.3.4	超滤的工艺设计	133
4.3.5	超滤在水处理中的应用	137
4.4	微滤	139
4.4.1	微滤的基本原理	140
4.4.2	微滤的工艺设计	141
4.4.3	微滤的工程应用	145
第5章 微污染源水处理技术及应用		148
5.1	饮用水水质标准	148
5.2	微污染源水处理技术	149
5.2.1	强化常规的水处理工艺	149
5.2.2	微污染源预处理技术	149
5.2.3	微污染水的深度处理技术	152
5.3	微污染源水处理组合工艺及典型流程	153
5.3.1	微污染源水处理组合工艺	154
5.3.2	微污染源水处理典型流程	156
5.4	微污染源处理的工程实例	157
5.4.1	上海惠南水厂生物预处理工程	157
5.4.2	周家渡水厂深度处理工程	159
5.4.3	桐乡果园桥水厂深度处理工程	161
5.4.4	阜阳铁路水厂深度处理工程	163
5.5	水源突发污染应急处理方法	163
5.5.1	突发性污染的来源与分类	164
5.5.2	给水厂的应急预案	164
5.5.3	嘉兴南门水厂高锰酸钾-活性炭处理工程	165

第 6 章 特种水质处理技术及应用	167
6.1 水的除氟	167
6.1.1 氟的性质与危害	167
6.1.2 除氟原理与方法	167
6.1.3 除氟的工程应用	171
6.2 水的除砷	173
6.2.1 砷的来源及危害	173
6.2.2 除砷机理及方法	173
6.2.3 除砷的工程应用	174
6.3 水的除铁除锰	176
6.3.1 地下水中铁锰的存在及危害	176
6.3.2 地下水铁锰的氧化及其速率	176
6.3.3 接触氧化法除铁除锰	178
6.3.4 水除铁除锰的工程应用	180
6.4 水的除藻	180
6.4.1 藻类产生的人为因素及其危害	180
6.4.2 藻类及藻毒素的去除方法	181
6.4.3 除藻技术的性能特点比较	183
6.4.4 除藻工程实例	184
6.5 水的沸石除氨	185
6.5.1 氨氮的性质与危害	185
6.5.2 沸石除氨原理及工艺	185
6.5.3 固定床沸石除氨的影响因素	186
6.5.4 沸石除氨工艺的设计	187
6.6 纯净水处理及应用	188
6.6.1 纯净水的特征	188
6.6.2 纯净水的一般处理流程与设备	189
6.6.3 纯净水制备工程实例	191
第 7 章 污水除磷技术	193
7.1 污水生物除磷原理	193
7.1.1 污水中磷的转化	193
7.1.2 生物除磷原理	193
7.1.3 生物除磷的影响因素	195
7.2 污水生物除磷工艺	197
7.2.1 A/O 工艺	197
7.2.2 Phostrip 工艺	198
7.2.3 污水生物除磷工艺设计	198
7.3 化学沉淀法除磷技术	202
7.3.1 化学沉淀法除磷原理	202
7.3.2 化学沉淀法除磷的影响因素	203
7.3.3 化学沉淀法除磷工艺	204
7.3.4 除磷工程实例	206
7.4 结晶法除磷技术	208

7.4.1	结晶法除磷原理	208
7.4.2	结晶法除磷的晶种	209
7.4.3	结晶法除磷工艺	210
7.4.4	结晶法除磷的应用	211
第8章	污水脱氮技术	212
8.1	污水生物脱氮原理	212
8.1.1	氨化与硝化	212
8.1.2	硝化反应和反硝化反应的主要影响因素	215
8.1.3	生物脱氮过程中氮转化的条件	216
8.1.4	生物脱氮的其他理论	217
8.2	污水生物脱氮工艺	219
8.2.1	活性污泥法脱氮传统工艺	219
8.2.2	A/O工艺及改进型工艺	220
8.2.3	AB工艺及改进型工艺	222
8.2.4	其他工艺	223
8.3	氨的吹脱去除	223
8.3.1	氨吹脱原理	223
8.3.2	氨吹脱工艺	224
8.3.3	氨脱除塔工作的影响因素	225
8.3.4	氨吹脱工艺的设计	227
8.4	折点加氯法除氨	227
8.4.1	折点加氯法除氨的基本原理	227
8.4.2	折点加氯处理的影响因素和设计参数	228
8.4.3	余氯脱除	230
8.4.4	折点加氯法的工程实例	230
第9章	污水同步脱氮除磷技术	231
9.1	污水同步脱氮除磷工艺	231
9.1.1	传统活性污泥法工艺	231
9.1.2	巴颠甫(Bardenpho)脱氮除磷工艺	232
9.1.3	生物转盘同步脱氮除磷工艺	233
9.2	氧化沟脱氮除磷工艺	234
9.2.1	氧化沟工艺概述	234
9.2.2	氧化沟工艺及其技术特征	235
9.2.3	氧化沟工艺类型	237
9.2.4	氧化沟工艺系统的设计	241
9.3	SBR法脱氮除磷工艺	243
9.3.1	SBR工艺及其技术特征	244
9.3.2	影响SBR工艺脱氮除磷的主要因素	245
9.3.3	SBR的工艺类型	245
9.3.4	SBR工艺系统的设计	249
9.4	污水同步脱氮除磷处理工程实例	250
9.4.1	A ² /O工艺工程实例	250
9.4.2	氧化沟脱氮除磷工艺工程实例	251

9.4.3	循环式活性污泥法 (C-TECH 工艺) 工程实例	253
第 10 章	污水自然生态处理技术	257
10.1	稳定塘	257
10.1.1	稳定塘的工艺及净化原理	257
10.1.2	好氧塘	259
10.1.3	兼性塘	261
10.2	污水生态法处理技术	262
10.2.1	湿地处理技术	262
10.2.2	生态浮床技术	264
10.2.3	水葫芦生态植物塘	266
10.2.4	生态绿地处理系统	267
10.3	污水生态法处理技术的应用	268
10.3.1	城镇污水的人工湿地处理	268
10.3.2	淀山湖自然水体植物塘处理	269
10.3.3	鸭儿湖城镇污水生物稳定塘处理	269
第 11 章	污水再生利用技术及应用	271
11.1	污水再生利用的水质指标与要求	271
11.1.1	污水再生利用的水质指标	271
11.1.2	污水再生利用的水质要求	272
11.2	污水再生利用的方法与工艺	278
11.2.1	污水再生利用的方法	278
11.2.2	污水再生利用的工艺	279
11.3	城镇污水再生利用的工程实例	283
11.3.1	日本芝山住宅区污水处理系统	283
11.3.2	美国 21 (世纪) 水厂深度处理系统	284
11.4	循环冷却水处理回用技术	285
11.4.1	循环冷却水系统及水质稳定	285
11.4.2	循环冷却水处理回用方法	289
11.4.3	循环冷却水再生利用工程	293
11.5	雨水收集处理回用技术	295
11.5.1	城市雨水利用的功能	295
11.5.2	雨水收集处理	295
11.5.3	雨水处理回用设置的计算	296
第 12 章	工业废水深度处理技术	297
12.1	电镀废水处理回收技术及工程实例	297
12.1.1	电镀废水的处理回用方法	297
12.1.2	电镀废水离子交换法处理回用工程	298
12.1.3	电镀废水膜分离法处理回用工程	301
12.2	造纸废水气浮法处理回收技术	303
12.2.1	造纸废水的处理回用方法	303
12.2.2	造纸废水气浮法处理回用工程	303
12.2.3	造纸废水深度处理回用技术	304
12.3	化工废水处理回用技术	305

12.3.1	化工废水的特性及深度处理技术	305
12.3.2	化工废水处理回用工程	307
12.3.3	高盐化工废水的深度处理回用技术	311
12.4	机械切削乳化液混凝破乳处理回用技术	315
12.4.1	机械切削乳化液废水的处理方法	315
12.4.2	乳化液破乳技术	316
12.4.3	机械切削含油废水处理回用工程	317
12.5	印染废水膜法处理回用技术	319
12.5.1	印染废水的特性及深度处理方法	319
12.5.2	印染废水处理回用技术的膜法组合工艺	320
12.5.3	印染废水深度处理回用工程	322
参考文献		325

第 1 章 水的深度处理与回用概述

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物质，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 47 万亿立方米，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

据水利部公布的2014年中国水资源公报,2014年全国地表水资源量26263.9亿立方米,比常年值偏少1.7%。全国矿化度小于等于2g/L地区的地下水资源量7745.0亿立方米。全国水资源总量为27266.9亿立方米。地下水与地表水资源不重复量为1003.0亿立方米,占地下水资源量的12.9%(地下水资源量的87.1%与地表水资源量重复)。

2014年全国总供水量6095亿立方米,占当年水资源总量的22.4%。其中,地表水源供水量4921亿立方米,占总供水量的80.8%;地下水源供水量1117亿立方米,占总供水量的18.3%;其他水源供水量57亿立方米,占总供水量的0.9%,主要为污水处理回用量和集雨工程利用量,分别占其中的80%及20%左右,即污水处理回用量仅占供水量的0.72%。全国海水直接利用量714亿立方米,主要作为火(核)电的冷却用水。

2014年全国总用水量6095亿立方米。其中,生活用水占总用水量的12.6%;工业用水占22.2%;农业用水占63.5%;生态环境补水(仅包括人为措施供给的城镇环境用水和部分河湖、湿地补水)占1.7%。

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27266.9亿立方米,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2300立方米,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2014年中国水资源公报表明,2014年全国废污水排放总量771亿立方米。人均综合用水量 447m^3 ,万元GDP(当年价)用水量 96m^3 。耕地实际灌溉亩均用水量 402m^3 ,农田灌溉水有效利用系数0.530,万元工业增加值(当年价)用水量 59.5m^3 ,城镇人均生活用水量(含公共用水) 213L/d ,农村居民人均生活用水量 81L/d 。

水功能区水质达标状况如下。2014年全国评价水功能区5551个,满足水域功能目标的2873个,占评价水功能区总数的51.8%。其中,满足水域功能目标的一级水功能区(不包括开发利用区)占57.5%;二级水功能区占47.8%。评价全国重要江河湖泊水功能区3027个,符合水功能区限制纳污红线主要控制指标要求的2056个,达标率为67.9%。其中,一级水功能区(不包括开发利用区)达标率为72.1%,二级水功能区达标率为64.8%。省界水体水质如下。2014年,各流域水资源保护机构对全国527个重要省界断面进行了监测评价,I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类、劣Ⅴ类水质断面比例分别为64.9%、16.5%和18.6%。各水资源一级区中,西南诸河区、东南诸河区为优,珠江区、松花江区、长江区为良,淮河区为中,辽河区、黄河区为差,海河区为劣。地下水水质如下。2014年,对主要分布在北方17省(自治区、直辖市)平原区的2071眼水质监测井进行了监测评价,地下水水质总体较差。其中,水质优良的测井占评价监测井总数的0.5%、水质良好的占14.7%、水质较差的占48.9%、水质极差的占35.9%。

(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约2400亿元。

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64%,由于全国大部分地区仍采用“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50%~55%,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 96m^3 ,是发达国家的8~15倍。

③ 由于水价偏低,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%~25%,再加上使用中的跑、冒、滴、漏,每年约损失掉12亿立方米的清水。

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771亿立方米,城市生活污水排放量为400亿立方米,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。

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