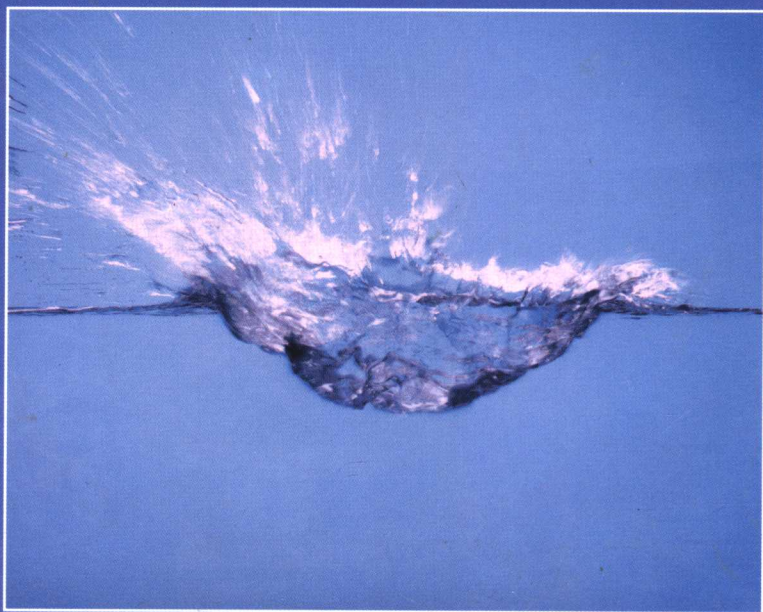


科学版环境科学与工程精品系列

# 饮用水安全保障 技术原理

曲久辉 等 著



科学出版社

中国水利水电出版社

# 饮用水安全保障 技术原理

张明华 等著



·  
·  
·  
·  
·

科学版环境科学与工程精品系列

# 饮用水安全保障技术原理

曲久辉 等著

科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书结合近年来国内外饮用水供给方面的研究与应用进展,以水质健康风险控制为核心理念,从源水水质改善、处理工艺优化与强化、输配过程水质保障、特殊污染物去除、水质安全评价的全过程,系统地论述了饮用水水质安全保障的新技术原理,尝试构建涵盖水质转化-过程控制-工艺应用-风险评价的完整体系,力求将本领域的最新成果系统地向读者展示。

本书可作为从事给水排水工程、环境科学与工程等专业的研究人员、高等院校师生、企业技术人员等参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

饮用水安全保障技术原理/曲久辉等著. —北京:科学出版社,2007  
(科学版环境科学与工程精品系列)

ISBN 978-7-03-018809-0

I. 饮… II. 曲… III. 饮用水-水处理 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 045616 号

责任编辑:杨震/责任校对:赵燕珍

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年4月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年4月第一次印刷 印张:44

印数:1—3 000 字数:862 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 前 言

饮用水是人类生存所必需的物质资源。然而，随着环境污染的加剧，饮用水安全已经成为影响人类生存与健康的重大问题。我们经常被一些由于饮用水质所导致的疾病所困扰，也经常被一些为此而失去健康甚至生命的案例所震惊。人类从来都没有像今天这样对养育和滋润了自己的生命之水感到如此的陌生和疑惑，也从来没有像今天这样对正在失去的水的纯净而焦虑和恐惧。我们不断地探求人类的生命之源到底发生了怎样的变化：从水分子的微观结构到作为水源的江河湖库，从水中物质的复杂组分到水质净化的全部过程，从汲取水的健康营养到合理饮用的科学方式……。于是，保护饮用水源的紧迫感变为全人类的自觉行动，获取高质量饮用水的需求成为我们对相关科学和技术进行探索的巨大动力。

在这种动力的推动下，20世纪中叶以来饮用水科学和技术得到迅速发展。首先是人们发现了对水质具有影响的诸多要素和过程。如在水源水中发现了多种具有致癌、致畸和致突变的化学物质，发现了这些物质可以来源于环境的直接排放也可以来自于水中其他物质的转化，而这些转化往往发生在环境多介质和多界面过程，是复杂的和复合的。人们也惊奇地发现，水中的很多化学物质即使在非常低的剂量下，当它们中的几种共存时就会产生复合污染，表现出毒性效应。这一事实告诉我们，传统的饮用水水质的评价方法和标准已不能适应于健康风险控制的需求，必须发展和采用一种更加科学和合理的方式。基础科学的发展和风险概念的提出，对饮用水污染控制和水质净化提出了更高的技术要求。于是，以水质转化过程和风险控制为基础的饮用水安全保障技术得到新的发展。在研究与实践中人们认识到，保护水源、控制水源污染是保障饮用水安全的前提，优化和强化常规处理工艺是去除水中污染物的关键，针对微量有毒有害污染物的深度处理工艺是保障饮用水安全的重要手段，控制输配水过程“二次污染”是确保用户终端水质安全的重要环节。

为此，人们注重将水源地保护与水质改善、水厂安全净化和管网水质稳定等环节统筹考虑，进行关键技术开发和综合集成，形成系列技术和方法。在水源保护与水质净化方面，近年来发展出以植物作用为主的生态工程技术、生物预处理技术、扬水曝气技术以及生态/生物/物理化学组合技术等。在水厂净化方面，从预处理到深度处理技术水平全面提高，以催化氧化为代表的污染物安全转化技术原理不断深化并得到工程应用；新型絮凝剂和絮凝技术成为改善常规净水工艺的重要基础，在高效絮凝剂开发成功并走向市场的同时，与之相适应的高效絮凝反

应器和投药控制系统也相继应用,将高效能絮凝剂-高效率反应器-自动投药控制进行组合的水厂絮凝集成化技术系统不仅在概念和原理上,而且在工程应用上都得到丰富和发展;以絮凝过程为基础的水处理沉淀和过滤新工艺也在水质改善中发挥了重要作用,如接触凝聚-拦截沉淀技术、改性滤料与微絮凝直接过滤技术等都在处理低温低浊水中得到成功应用;以控制消毒副产物、提高水质安全为目标的饮用水消毒技术也有新的发展,如二氧化氯及其消毒技术、顺序氯氨消毒技术、紫外消毒及与臭氧联合消毒技术等,都在应用中不断完善;针对水中有毒有害污染物去除的深度处理技术近年来发展迅速,除常用的臭氧-生物活性炭工艺以外,深度氧化、高效吸附、膜过滤等新材料、新技术和新工艺成为代表饮用水技术发展水平的研究与应用成果。在管网安全送配方面,有关水质化学与生物学指标变化的研究成果,对维护管网水质稳定提供了科学基础;管材对水质影响的认识及控制策略的提出,为饮用水输配过程的污染控制提供了重要依据;管网漏失检测、预警和控制技术的新进展,为提高饮用水送配效率提供了有效保证。这些技术的发展,为饮用水安全生产和供给提供了有力的技术支撑。

然而,水质及其变化是非常复杂的,而饮用水中有毒污染物的危害也是没有阈值的,风险控制才是保障水质安全的根本途径。为此,全世界都在不断提高饮用水的质量标准,我国也已将生活饮用水水质标准由原来的 35 项提高到 103 项,原有的一些指标则更加严格。水质标准的提高,必然导致实际水源水质与水质需求之间的矛盾更加突出,从而对水质净化提出了新的、更高的技术需求。针对我国水源污染状况及其复合污染特征,如何从根本上保障饮用水安全、控制潜在健康风险,实现水质安全转化与净化仍然是亟待解决的难点问题。同时,随着新型污染物的不断发现以及多学科的交叉与融合,饮用水处理技术原理也将不断取得新进展与新突破。适应本领域的发展趋势和科技需求,系统总结和深化饮用水安全保障方面的最新进展,对提升我国饮用水水质安全保障的研究与应用水平具有重要意义。

本书针对水质健康风险与过程控制这一核心问题,以作者近年来在饮用水水质安全保障与风险控制方面的主要工作为基础,结合国内外本领域的研究与应用进展,从饮用水水源保护、处理过程优化与强化、输配过程水质保障、特殊污染物的去除与控制、水质安全评价的全过程,系统地阐述了饮用水安全保障的新技术原理,试图形成涵盖水质转化-过程控制-工艺应用-风险评价等不同系统层次的饮用水安全保障技术体系。

本书共分 12 章。第 1 章为概论,最后一章(第 12 章)为水质安全评价,头尾两章通过“水质安全”这一核心内容前后呼应、有机衔接;中间 10 章分别从预处理、强化常规处理、深度处理、地下水处理、安全消毒和管网输配各环节,系统阐述了饮用水安全保障的新原理和新方法。在介绍了作者近年来有关饮用水

水质安全保障研究和应用工作的同时，综述了大量国内外文献，力求将本领域的最新成果系统地向读者展示。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金、中国科学院知识创新工程等项目的支持，本书的出版得到了中国科学院科学出版基金的赞助；本书的第2章、第4章、第7章和第12章用到了中国科学院生态环境研究中心汤鸿霄院士、尹澄清研究员和王子健研究员的部分研究结果，并得到了他们对本书的大力支持；兰华春、葛小鹏、胡承志、赵旭等为本书的排版、绘图、校对和资料收集做了大量的工作，在此一并致谢。

本书可供从事给水排水工程、环境科学与工程等专业的工程技术人员、科研人员参考，也可作为高等学校相关专业研究生、本科生的参考书。

由于著者水平有限，诚望读者对书中谬误之处不吝指正。

中国科学院生态环境研究中心



2007年1月于北京

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 水质概论 .....	1
1.1.1 水的分布与循环 .....	1
1.1.2 我国的水资源与污染现状 .....	2
1.1.3 水的物理化学性质 .....	3
1.1.4 天然水化学特性 .....	6
1.1.5 水质学基础 .....	8
1.1.6 饮用水水质标准.....	10
1.2 水质安全问题.....	11
1.2.1 水质的感观性态.....	11
1.2.2 水质的化学污染.....	12
1.2.3 水质的生物污染.....	17
1.2.4 水质毒理学.....	18
1.2.5 水质复合污染.....	18
1.2.6 水质突发事件.....	19
1.3 水质转化与控制新概念.....	20
1.3.1 水质转化过程.....	20
1.3.2 水质复合污染途径.....	21
1.3.3 水质的健康风险.....	23
1.3.4 水质毒理学评价.....	24
1.3.5 水质数据库与系统仿真控制.....	25
1.3.6 水质安全保障系统观.....	25
1.4 水质控制技术研究进展.....	26
1.4.1 国内外发展状况概述.....	26
1.4.2 水质控制技术系列进展.....	28
参考文献 .....	35
<b>第 2 章 水源保护与污染控制</b> .....	36
2.1 饮用水源.....	36
2.1.1 饮用水源的基本类型.....	36



2.1.2	水源地生态系统	37
2.1.3	水源地的基本功能	37
2.1.4	水源地保护的污染总量控制	39
2.2	饮用水源的污染问题与来源	40
2.2.1	饮用水的污染类型	40
2.2.2	主要污染途径	41
2.2.3	水源污染的生态效应	43
2.2.4	水源污染的健康安全	45
2.2.5	水源污染对后续水处理工艺的影响	46
2.3	水源污染的综合控制	46
2.3.1	水源污染控制与修复的基本原理	47
2.3.2	方法概述	58
2.3.3	水源地点源污染控制	60
2.3.4	水源地面源污染控制	60
2.3.5	水源内源污染控制	67
2.3.6	外源-内源污染协同控制	68
2.4	水源污染综合控制方法的工程实例	71
2.4.1	背景与限制因素	71
2.4.2	总体思路	72
2.4.3	生态型水源建设的环境构造	72
2.4.4	生态系统构建和工程实施的初步结果	80
	参考文献	84
<b>第3章</b>	<b>原水预处理</b>	<b>89</b>
3.1	概述	89
3.2	原水预处理目的	89
3.2.1	改善原水水质	90
3.2.2	降低处理负荷	90
3.2.3	提高水质安全	90
3.3	原水预处理的主要方法	90
3.3.1	化学预氧化处理	90
3.3.2	生物预处理	100
3.3.3	吸附预处理	103
3.3.4	酸碱预处理	104
3.3.5	曝气预处理	105
3.3.6	沉淀预处理	105

3.4 预处理对后续工艺的影响 .....	106
3.4.1 预氧化对混凝的影响：北方水体 .....	106
3.4.2 预氧化对混凝的影响：南方水体 .....	109
3.5 预处理应用案例分析 .....	116
3.5.1 原水嗅味问题 .....	116
3.5.2 主要处理技术与效果评估 .....	119
参考文献 .....	123
<b>第4章 强化混凝原理</b> .....	<b>125</b>
4.1 强化混凝研究与进展 .....	125
4.1.1 混凝概论 .....	125
4.1.2 混凝理论基础 .....	128
4.1.3 强化混凝与优化混凝 .....	135
4.2 混凝剂的强化 .....	141
4.2.1 混凝剂研究概况 .....	141
4.2.2 无机高分子絮凝剂化学基础 .....	143
4.2.3 纳米絮凝剂 .....	158
4.2.4 新型多功能水处理药剂——高铁 .....	168
4.3 混凝过程强化 .....	182
4.3.1 原水水质特征 .....	182
4.3.2 不同水质的强化混凝特征 .....	187
4.3.3 多功能混凝剂 PACC 的强化混凝特性 .....	191
4.3.4 $Al_13$ 形态的转化及其强化混凝机制 .....	194
4.4 絮体的形成与工艺控制 .....	201
4.4.1 絮体的形成与破碎 .....	201
4.4.2 絮体分形理论 .....	203
4.4.3 絮体强度的测定 .....	205
4.4.4 絮体结构特征及测定 .....	211
4.4.5 絮体结构与强度的工艺控制 .....	217
4.5 展望 .....	221
参考文献 .....	222
<b>第5章 接触凝聚沉淀</b> .....	<b>227</b>
5.1 水体颗粒物及接触凝聚 .....	227
5.1.1 水体颗粒物 .....	227
5.1.2 接触凝聚 .....	235
5.2 絮体分形结构对沉淀的影响 .....	237

5.2.1	絮体的分形结构特征 .....	237
5.2.2	分形絮体的特征 .....	240
5.2.3	分形絮体的 cluster-fractal 模型 .....	241
5.2.4	絮体的生长过程及形态与密度的关系 .....	243
5.2.5	絮体分形结构与其粒度分布的关系 .....	245
5.2.6	絮体分形结构对其碰撞速度的影响 .....	245
5.2.7	絮体分形结构对其沉降速度的影响 .....	246
5.3	沉淀的分类及经典原理 .....	247
5.3.1	沉淀池的发展和应用 .....	247
5.3.2	沉淀过程的分类 .....	249
5.3.3	沉淀的经典原理 .....	251
5.3.4	现行沉淀方法的缺陷 .....	252
5.4	拦截沉淀工艺 .....	252
5.4.1	拦截沉淀的基本原理 .....	252
5.4.2	拦截沉淀反应器 .....	253
5.4.3	拦截沉淀的效能及主要影响因素 .....	256
5.4.4	拦截沉淀与其他沉淀工艺的比较 .....	267
5.4.5	拦截沉淀工艺的应用实例 .....	270
	参考文献 .....	271
<b>第6章</b>	<b>接触絮凝气浮</b> .....	<b>277</b>
6.1	溶气气浮技术的发展概况 .....	277
6.2	溶气气浮理论与新模式 .....	281
6.2.1	热力学方面的研究 .....	281
6.2.2	动力学方面的研究 .....	288
6.2.3	颗粒气泡黏附的物理化学流体动力学模式研究 .....	291
6.2.4	颗粒与气泡碰撞的群体平衡模式 .....	295
6.2.5	其他模式 .....	296
6.2.6	溶气气浮技术的新概念 .....	297
6.2.7	溶气气浮新方法的类型 .....	298
6.3	絮凝-平流式溶气气浮工艺 .....	299
6.3.1	絮凝-平流式溶气气浮的工艺流程 .....	299
6.3.2	絮凝剂对絮凝-平流式溶气气浮工艺除浊效果的影响 .....	300
6.3.3	水力条件对絮凝-平流式溶气气浮工艺除浊效果的影响 .....	301
6.3.4	絮凝操作条件对絮凝-平流式溶气气浮工艺的颗粒物去除效果的影响 .....	304

6.3.5 溶气-释气条件对絮凝-平流式溶气气浮工艺除浊效果的影响	305
6.3.6 气浮池水力负荷对絮凝-平流式溶气气浮工艺除浊效果的影响	306
6.3.7 絮凝-平流式溶气气浮工艺的稳定性及除藻性能	307
6.4 逆流式气浮	308
6.4.1 逆流气浮反应器系统	308
6.4.2 逆流气浮柱反应器的水力特征	309
6.4.3 逆流共聚气浮的除浊性能	311
6.5 强化共聚逆流气浮组合工艺	313
6.5.1 强化共聚逆流气浮组合工艺流程	313
6.5.2 微涡旋管式絮凝(MEF)-逆流气浮(CCDAF)-纳滤(NF)组合工艺	314
6.5.3 JMS-逆流气浮(CCDAF)-纳滤(NF)组合工艺	319
6.6 溶气气浮分形动力学模型	321
6.6.1 微气泡在水中的上升过程	321
6.6.2 烧杯气浮实验中絮体与微气泡间的碰撞	322
6.6.3 逆流动态气浮过程	323
6.6.4 分形絮体与气泡黏附的方程	324
6.6.5 絮体/微气泡的聚集体在水中的上升速度	325
参考文献	326
<b>第7章 强化过滤新工艺</b>	<b>332</b>
7.1 水处理过滤的基本原理和方法	332
7.1.1 水处理过滤的基本原理	332
7.1.2 过滤材料	333
7.1.3 过滤工艺	335
7.1.4 现行过滤工艺的问题	335
7.2 新型过滤材料及其强化过滤作用	336
7.2.1 过滤材料改性及过滤效能	336
7.2.2 新型过滤材料研制及过滤性能	338
7.3 强化过滤新工艺	342
7.3.1 强化过滤工艺的优化方法	342
7.3.2 接触凝聚强化过滤	343
7.3.3 强化纤维过滤工艺	350
7.3.4 预氧化强化过滤	357

7.3.5	二次微絮凝强化过滤技术 .....	359
7.3.6	强化过滤对水质的保障作用 .....	362
7.4	强化过滤的应用与发展方向 .....	366
7.4.1	新型过滤材料的应用案例分析 .....	366
7.4.2	强化过滤工艺应用的案例分析 .....	367
	参考文献 .....	368
<b>第8章</b>	<b>深度处理新技术</b> .....	<b>371</b>
8.1	常用深度处理方法概述 .....	371
8.1.1	深度处理问题的提出 .....	371
8.1.2	常用的深度处理方法 .....	372
8.1.3	臭氧-生物活性炭工艺中存在的主要问题 .....	382
8.2	深度催化臭氧氧化新方法 .....	383
8.2.1	均相催化臭氧氧化 .....	383
8.2.2	Fe(II) 催化臭氧氧化效能 .....	386
8.2.3	Mn(II) 催化臭氧氧化 .....	388
8.2.4	非均相催化臭氧氧化 .....	391
8.3	膜处理方法 .....	395
8.3.1	微滤在饮用水深度处理中的应用 .....	396
8.3.2	超滤在饮用水深度处理中的应用 .....	397
8.3.3	纳滤在饮用水深度处理中的应用 .....	399
8.3.4	反渗透在饮用水深度处理中的应用 .....	400
8.4	深度吸附处理新方法 .....	400
8.4.1	类脂复合吸附剂的形态结构 .....	401
8.4.2	类脂复合吸附剂对水中 POPs 的吸附性能 .....	402
8.4.3	类脂复合吸附剂对水中 POPs 的吸附过程 .....	404
8.5	饮用水的其他深度处理方法 .....	406
	参考文献 .....	407
<b>第9章</b>	<b>安全消毒新方法</b> .....	<b>410</b>
9.1	概述 .....	410
9.1.1	饮用水消毒历史沿革 .....	410
9.1.2	饮用水消毒概况 .....	411
9.1.3	饮用水消毒的主要安全问题 .....	412
9.2	常用的消毒方法 .....	415
9.2.1	氯消毒 .....	415
9.2.2	氯胺消毒 .....	418

9.2.3 二氧化氯消毒 .....	420
9.2.4 臭氧消毒 .....	421
9.2.5 高锰酸钾消毒 .....	422
9.2.6 紫外消毒 .....	423
9.3 饮用水消毒新技术 .....	425
9.3.1 光催化消毒 .....	425
9.3.2 电化学消毒 .....	432
9.3.3 超声消毒 .....	436
9.3.4 高铁酸盐消毒 .....	438
9.3.5 新型杀菌材料及其消毒效能 .....	440
9.3.6 联用消毒新技术 .....	443
9.4 消毒副产物的生成与控制 .....	448
9.4.1 消毒副产物生成的化学基础 .....	448
9.4.2 消毒副产物的生成与控制 .....	453
参考文献 .....	471
<b>第 10 章 以地下水为原水的水质净化 .....</b>	<b>479</b>
10.1 概述 .....	479
10.1.1 地下水的主要污染问题 .....	480
10.1.2 地下水污染控制 .....	484
10.2 水中有机物去除方法 .....	487
10.2.1 去除地下水中有机物的一般方法 .....	487
10.2.2 锰氧化物氧化/吸附水中有机物方法 .....	487
10.3 地下水中 $\text{NO}_3^-$ 的去除 .....	494
10.3.1 水中 $\text{NO}_3^-$ 去除方法概述 .....	494
10.3.2 Pd-Cu/水滑石催化氢还原脱硝 .....	513
10.4 地下水中砷的去除 .....	532
10.4.1 地下水除砷方法概述 .....	532
10.4.2 复合金属氧化物吸附除砷新方法 .....	534
10.4.3 对砷的吸附性能 .....	535
10.5 地下水中氟的去除方法 .....	539
10.5.1 吸附法 .....	539
10.5.2 离子交换法 .....	542
10.5.3 絮凝沉淀法 .....	543
10.5.4 电化学方法 .....	543
10.5.5 膜滤法 .....	544

10.5.6	化学沉淀法	544
10.6	地下水中铁锰的去除	545
10.6.1	自然氧化法	545
10.6.2	接触氧化法	546
10.6.3	生物法	548
10.6.4	膜技术	550
	参考文献	551
<b>第 11 章</b>	<b>输配过程的水质稳定</b>	<b>556</b>
11.1	概述	556
11.2	水的化学稳定性与管网水质	558
11.2.1	铁释放的机理和影响因素	559
11.2.2	铜和铅的释放机理及其影响因素	563
11.2.3	消毒剂对管网水质化学稳定性的影响	568
11.2.4	pH 对管网水质化学稳定性的影响	569
11.2.5	水力条件对管网水质化学稳定性的影响	570
11.2.6	CO <sub>2</sub> 对管道腐蚀的影响	571
11.2.7	金属管材腐蚀的评价	574
11.2.8	腐蚀的控制	578
11.3	水的生物稳定性与管网水质	582
11.3.1	水的生物稳定性评价方法	582
11.3.2	影响管网水质生物稳定性的主要因素	585
11.3.3	管网系统中的微生物及其控制方法	587
11.4	消毒剂余量与管网水质的关系	593
	参考文献	597
<b>第 12 章</b>	<b>水质安全评价</b>	<b>606</b>
12.1	水源地水质安全评价	606
12.1.1	现行水源地水质标准及其存在问题	606
12.1.2	水源水质基准与风险评价方法	609
12.1.3	水源地生态风险评价案例	615
12.2	饮用水工艺过程出水安全性评价	618
12.2.1	国内外现有水质标准	618
12.2.2	水质安全评价的基本方法	621
12.2.3	饮用水处理工艺及出水水质安全性化学评价指标体系	622
12.2.4	未知污染物评价方法	626
12.2.5	突发事件应急监测方法	645

---

12.3 饮用水健康风险评价.....	646
12.3.1 饮用水健康风险评价研究与应用现状.....	647
12.3.2 健康风险评价的一般过程.....	648
12.3.3 某市居民生活饮用水健康风险评价研究案例.....	655
参考文献.....	664
<b>附录</b> .....	665
附录 1 中华人民共和国生活饮用水卫生标准 .....	665
附录 2 世界卫生组织饮用水水质标准 .....	670
附录 3 欧盟饮用水水质指令 .....	677
附录 4 美国饮用水水质标准 .....	679



# 第 1 章 概 论<sup>①</sup>

## 1.1 水质概论

### 1.1.1 水的分布与循环

水是地球上分布最广的自然资源，也是人类社会和一切生命活动所必需的物质。蕴藏在海洋中的水占地球上水量的绝大部分，为地球总水量的 97.2%，并覆盖着 70% 以上的地球表面；陆地上到处分布有江河、湖泊、沼泽等地面水，其中淡水约有一半，但其总量只占地球总水量的万分之一。另外，地下土壤和岩层中含有多层地下水；在高山及永冻地区积存有巨量的冰雪和冰川，它们约占陆地淡水总资源量的四分之三，随着全球气候变暖，这些淡水资源将会给人类生存带来极大影响；大气中的水蒸气和天空中的云蕴含着大量可用的水资源；动植物机体中也饱含水分，例如，大多数细胞原生质内含水分约 80%，人的身体中有 65% 为水分；即使在矿物岩石结构中也还包含相当数量的结晶水<sup>[1]</sup>。由此可见，水是地球上一切生命活动的源泉！

人类可以利用的水资源主要有：大气水、地表水、地下水、经处理的污水、淡化海水、土壤水和生物水等。但是自然界的水并不是静止不动的，而是一直在进行着流动、迁移和转化，这种川流不息、周而复始的运动，称为水的自然循环，其直接推动力来自太阳热能和地球引力。自然界的各种活动如风雨雷电、洪水干旱、火山爆发等，无不影响和控制着自然循环中的水量与水质。

此外，由于人类社会生活、生产活动以及动植物的生命活动也不断消耗大量的水，并制造大量生活污水和工业废水排入各种天然水体，构成了水的一个局部循环体系（称之为水的社会循环）。人们取水、用水、排水连同自然过程所形成的复杂循环，对水体的水量、水质都会产生重要影响，并直接地决定着水的人为可利用性。虽然除了用水环节中的蒸发耗散和发生的内部循环外，水量基本没有大的变化，但水质却往往会有较大的改变。如市政与工业用水在使用前都经过了必要的处理，由于使用过程中引入了各种各样的污染物而成为污水或废水，即使在循环利用或排入受纳水体前进行了有效处理，但污染物浓度通常已大大高于原水。

水的自然循环量只占地球上总水量的 0.031%，而其中经径流和渗流的约占

---

<sup>①</sup> 本章由王东升，曲久辉撰写。