

饮用水

水质全过程保障技术研究

张利民 等著



河海大学出版社

饮用水水质全过程保障 技术研究



河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

饮用水水质全过程保障技术研究/张利民等著. —南京:河海大学出版社,2008.12

ISBN 978-7-5630-2572-5

I. 饮… II. 张… III. 饮用水—水质管理—研究 IV. TU991.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 209702 号

- | | |
|------|--|
| 书 名 | 饮用水水质全过程保障技术研究 |
| 书 号 | ISBN 978-7-5630-2572-5/TU·70 |
| 责任编辑 | 毛积孝 |
| 责任校对 | 刘 宇 李元松 |
| 封面设计 | 拐点文化 |
| 出版发行 | 河海大学出版社 |
| 地 址 | 南京市西康路 1 号(邮编:210098) |
| 电 话 | (025)83737852(总编室)
(025)83722833(发行部) |
| 经 销 | 江苏省新华发行集团有限公司 |
| 排 版 | 南京理工大学印刷厂 |
| 印 刷 | 南京工大印务有限公司 |
| 开 本 | 787 毫米×1092 毫米 1/32 13 印张 260 千字 |
| 版 次 | 2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷 |
| 定 价 | 28.00 元 |

主要编著人员

张利民 夏明芳 王志良 陆继来
王 媛 张 磊 于 鑫 逢 勇
阮晓红 操家顺 许昭仪 孙 成

前 言

饮用水是人类赖以生存和发展的物质资源。由于人口的增加,经济的快速发展,环境污染的日益加剧,饮用水源会受到不同程度的污染。20 世纪末,世界范围内的水资源缺乏、水环境恶化与突发事件构成了饮用水供应的三大隐患。为了保障人民群众的身体健康和生命安全,确保良好的饮用水水质,开展水源水的保护、新型高效的饮用水处理技术、突发事件的缓解和应对措施等的研究是十分必要和迫切的。

饮用水安全保障是江苏省环境保护工作关注的重点。2000 年以来,在江苏省环保厅的指导和江苏省科技厅的资助下,江苏省环境科学研究院以饮用水安全保障技术研究为中心,建设了饮用水源水生态防护中试平台和饮用水安全保障中试平台,系统地开展了饮用水安全预警、饮用水源水生态防护、饮用水深度处理和管网水质保障技术研究。本书是对近年来江苏省环境科学研究院从事饮用水相关研究工作的一个回顾和总结。

本书内容分为五个部分。第一部分为概述,重点分析了国内外饮用水的水质现状、水质标准现状以及安全保障技术现状,针对目前饮用水安全保障技术存在的问题,提出技术研究的意义。第二部分为饮用水源水的生态防护技术,介绍了饮用水源水生态防护中试平台的构建、生态浮床净化技

术、人工介质型生物氧化技术、人工湿地净化技术以及水库贮存净化技术的理论基础和具体示范。第三部分为饮用水的制备及深度处理,详细介绍了生物滤池净化技术、膜生物反应器净化技术、树脂吸附技术、臭氧氧化技术和纳滤反渗透技术。第四部分为管网饮用水的水质控制与保障,系统阐述了生物稳定性的测量方法、细菌群感效应的存在和分析以及管网生物膜的控制。第五部分为饮用水的突发事件以及预警和应急处理预案,介绍了饮用水的污染风险来源、饮用水突发事件预警机制和应急处理措施。

本书参考了国内外大量最新文献,力求将本领域的最新成果系统地向读者展示,这些文献已在书中予以介绍,如有疏漏,请予谅解。

尽管我们做了很大的努力,但由于水平有限,书中还有不少谬误之处,请读者不吝指正。

编 者

目 录

第一章 概 述	1
1.1 饮用水水质现状	1
1.2 饮用水水质标准现状	2
1.3 饮用水安全保障技术现状	5
1.3.1 饮用水源的生态防护技术	5
1.3.2 自来水厂的安全预处理和深度处理技术	8
1.3.3 管网生物膜控制技术	15
1.4 饮用水安全保障技术存在的问题及研究 意义	16
第二章 饮用水源水的生态防护技术	19
2.1 饮用水源生态防护中试平台的构建	19
2.1.1 平台平面布置原则	19
2.1.2 平台的单元组成	21
2.1.3 平台工艺流程	23
2.2 生态浮床净化技术	24
2.2.1 试验材料	25
2.2.2 数据处理方法	27
2.2.3 水力负荷对植物生长的影响	27
2.2.4 水力负荷对水质净化效果的影响	29

2.2.5	浮床覆盖率对水质净化效果的影响	32
2.2.6	水深对水质净化效果的影响	35
2.2.7	结论	37
2.3	人工介质型生物氧化技术	38
2.3.1	材料与方法	38
2.3.2	测定项目与方法	39
2.3.3	结果与分析	41
2.3.4	小结	56
2.4	人工湿地净化技术	56
2.4.1	试验场地概况	58
2.4.2	本工程的湿地工艺选择	58
2.4.3	人工湿地的设计	59
2.4.4	人工湿地对高锰酸盐指数的去除	67
2.4.5	人工湿地对总氮的去除	69
2.4.6	人工湿地对氨氮的去除	72
2.4.7	人工湿地对总磷的去除	74
2.4.8	人工湿地在突发性事故下对特定有机污染物的 去除	76
2.4.9	人工湿地在连续试验条件下对特定有机物的 去除	83
2.4.10	小结	88
2.5	水库贮存净化	89
2.5.1	中试工程构建	89
2.5.2	结果与分析	90
2.5.3	小结	93

第三章 饮用水的制备及深度处理	94
3.1 饮用水安全保障中试平台设计与建设	94
3.1.1 平台工艺选择	94
3.1.2 自控设计	99
3.1.3 中试平台平面布置	109
3.1.4 中试平台主要设备参数及设备选型	111
3.2 生物滤池净化技术	115
3.2.1 改变进水 C/N 和运行方式强化生物滤池去除 氨氮的研究	117
3.2.2 生物滤池的启动及影响氨氮去除效果的各种 因素	129
3.2.3 小试规模生物滤池中的氮亏损现象及其影响 因素	148
3.2.4 结论	157
3.3 膜生物反应器净化技术	158
3.3.1 膜生物反应器的配水研究	160
3.3.2 以 MBR 为主的组合工艺处理长江原水研究	166
3.3.3 对有机毒物及消毒副产物的去除效果	181
3.3.4 膜污染的情况	183
3.3.5 强化基质研究	186
3.4 树脂吸附技术	187
3.4.1 树脂对氯苯的动态吸附研究	187
3.4.2 树脂对苯的动态吸附研究	189
3.4.3 树脂对三氯甲烷的动态吸附研究	190
3.4.4 树脂吸附技术的中试应用问题	191
3.4.5 结论	192

3.5	臭氧氧化技术	193
3.5.1	硝基氯苯、氯苯催化臭氧氧化研究	194
3.5.2	臭氧氧化研究	195
3.5.3	臭氧氧化中试研究	197
3.5.4	结论	211
3.6	纳滤、反渗透处理技术	212
3.6.1	试验系统设计及分析方法	215
3.6.2	结果与讨论	217
3.6.3	结论与建议	232
3.7	饮用水生物处理过程的分析方法研究	232
3.7.1	PLFA 实验	232
3.7.2	Ames 试验	241
第四章	管网饮用水的水质控制与保障	244
4.1	管网生物膜	244
4.1.1	管网生物对饮用水水质的影响和人体健康的危害	244
4.1.2	管网生物膜形成的影响因素和目前主要的处理方法	245
4.1.3	细菌群感效应	250
4.1.4	研究目的和内容	262
4.2	管网生物膜的形成和影响因素	263
4.2.1	材料和方法	263
4.2.2	管网生物膜形成的影响因素	265
4.2.3	各种营养元素对管网生物膜形成的影响	270
4.2.4	小结	272

4.3 细菌群体感应的存在	272
4.3.1 引言	272
4.3.2 材料和方法	273
4.3.3 测定结果	278
4.3.4 小结	282
4.4 细菌群感效应的淬灭	283
4.4.1 AI 活性的影响因素确定和影响结果	284
4.4.2 小结	288
4.5 细菌生长潜力测定方法	288
4.5.1 概述	288
4.5.2 实验方法	290
4.5.3 结果与讨论	293
4.5.4 结论	296
 第五章 饮用水的突发事件以及预警和应急处理	
预案	298
5.1 饮用水的污染风险来源	298
5.1.1 水源地污染风险	298
5.1.2 饮用水生产、输送及二次供水使用环节的污染 风险	302
5.2 饮用水突发事件预警机制	303
5.2.1 预警分级	303
5.2.2 预警监测和监督管理	304
5.3 饮用水突发事件的应急处理措施	306
5.3.1 饮用水水源地突发事件的应急措施	306
5.3.2 饮用水供水环节突发事件的应急措施	306

5.4 典型饮用水源地环境风险评估、预警与应急技术研究 研究与示范	307
5.4.1 常熟典型饮用水水源地风险源辨识	307
5.4.2 水质现状评价	346
5.4.3 模型建立及参数选取	354
5.4.4 风险等级判别	360
5.4.5 风险监控预警系统建设	371
5.4.6 饮用水源地应急技术研究和应急方案	388
 参考文献	 397

第一章

概述

1.1 饮用水水质现状

20 世纪下半叶起,全球范围内的水资源短缺和水质恶化问题日益突出,饮用水安全保障成为世界面临的四大水资源问题之一。1972 年,联合国第一次人类环境会议把 1981—1990 年作为“国际饮水供给和卫生十年”。1996 年,联合国将“为干渴的城市供水”定为该年“世界水日”的主题。“以水污染防治为重点,加强工业和城市污染治理,加强农村面源污染治理,加强饮用水水源地保护”已成为我国政府当前环境保护工作的重要任务^[1]。

2005 年国家环境状况公报显示,国家环境监测网七大水系的 411 个地表水监测断面中,Ⅰ-Ⅲ类、Ⅳ-V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 41%、32%和 27%。其中,珠江、长江水质较好,辽河、淮河、黄河、松花江水质较差,海河污染严重。主要污染物指标为氨氮、生化需氧量(BOD_5)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})和石油类。七大水系的 100 个国控省界断面中,Ⅰ-Ⅲ类、Ⅳ-V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 35%、40%和 24%。海河和淮河水系的省界断面污染较重,滇池、太湖、巢湖等大部分湖泊富营养化严重^[2]。种种迹象表明,

水污染已成为影响我国饮用水水源地安全的首要问题,这不仅加剧了水资源短缺,且严重影响了城镇居民的身体健。另外,城市供水系统净水工艺落后,供水管网老化破损且不配套,运行效率不高,水厂水质检测能力较低,导致饮用水的安全形势日趋严峻。

自来水是饮用水的主要来源。它主要通过水厂的取水泵站汲取江河湖库及地下水等水源水。然而,随着工业的发展,城市的水源水大部分已遭受不同程度的污染,对饮用水安全保障造成极大的威胁。首先,环境安全事故给饮用水水质造成极大威胁,松花江污染事件、阳宗海砷污染事件等给饮用水安全预警和应急处置提出了新的课题。其次,工业污染源以及面源污染导致饮用水源地水质恶化,长江、太湖等重要水源地有机物检出率偏高,各种持久性有机污染物、细菌、重金属、国内外公认的致癌致畸致突变的物质以及影响人生育能力的内分泌干扰物都频频在我国的水源水中被检测出。再次,自来水厂净化能力不足,大部分自来水厂仍沿用旧有的混凝-沉淀-过滤-消毒处理模式,仅对浊度、细菌等传统指标有较好的净化效果,而对各类有机物、氨氮等处理能力不足,出水水质很难全面达到卫生、安全的各项指标。最后,在输配水环节,长期使用的供水管道缺乏必要的维护、清洁保证,不可避免的产生腐蚀、结垢、渗漏、沉积物、微生物繁殖等二次污染现象,从而影响用户水质。

1.2 饮用水水质标准现状

世界卫生组织(WHO)的《饮用水水质准则》、欧盟(EC)

的《饮用水水质指令》以及美国环保局(USEPA)的《国家饮用水水质标准》是目前最具国际权威和代表性的饮用水水质标准。其它国家均以此标准为基础或重要参考,制定适合本国的标准。

美国是世界上饮用水水质标准更新最频繁的国家。每6年修订一次的美国《安全饮用水法》(SDWA)奠定了保证饮用水安全的法律框架,国家一级和二级法则确定了需要控制的水中污染物的详尽项目和指标。制订的指标均有最大浓度值(MCLs)和最大浓度目标值(MCLGs),且十分重视微生物及消毒副产物对人体健康的风险。英国是第一个对饮用水中的隐孢子虫提出量化标准的国家。法国饮用水水质标准以 EC 为基础,增加了农药和氧化副产物等项目。标准中微生物学指标较全面,分别为耐热大肠菌、粪型链球菌、亚硫酸盐还原梭菌、沙门氏菌、致病葡萄球菌、粪型噬菌体、肠道病毒。德国现行饮用水水质标准共 43 项,对饮用水处理中可以使用的药剂作了明确的规定,对各指标的检验范围与频率也有详细的说明。加拿大的饮用水指标在参考 WHO、EC 和 USEPA 基础上,重点列出了多项放射性指标。日本水质标准规定了 13 项快适性指标,高标准以求饮用水舒适爽口。澳大利亚的饮用水标准较为全面,不仅考虑了所列项目对人体健康的影响,还考虑到人们感官上的要求,分列了健康指标和感官指标。东南亚和南美一些国家的饮用水标准代表了一般发展中国家水平,其在 WHO 的基础上,结合本国国情,考虑气候、用水总量和水源等条件,作了相应的调整。俄罗斯的水质标准独具特色,其现行标准(1996 年版)

比以前(1982 版)增加了数十项指标,指标值比 WHO 要求的更高,而且在感官性参数中列出了 47 项,其中的砷、钡、铊、铋、过氧化氢、剩余臭氧等指标项目在其它国家的水质标准中未曾出现^[3]。

我国水质标准的制定由于受研究经费和各种条件所限,多是参考、依据国外的相关标准,并将其与我国实际情况相结合。我国于 1955 年首次颁发《自来水水质暂行标准》;1959 年向全国颁发了《生活饮用水卫生规程》;1976 年对规程进行了修订,颁发了《生活饮用水卫生标准(试行)》(TJ 20—76);至 1985 年又重新修订颁发《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85),自 1986 年 10 月 1 日起实行,从此 20 多年未作修订,该标准除了感官性指标与 WHO、EC 及美国无差异,其它各项指标均与国际水质标准有明显的差距。2001 年卫生部曾对 1985 年旧版水质标准进行了修订,以卫生部的名义颁布了《生活饮用水卫生规范》,将检测项目增加 96 项,其中 62 项是非常规检测项目,由于不是国家标准,不具有强制性,执行起来困难较多。2006 年,卫生部和国家标准化管理委员会对原有标准进行了修订,联合发布新的强制性国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),并于 2007 年 7 月 1 日开始实施。该标准具有以下三个特点:一是加强了对水质有机物、微生物和水质消毒等方面的要求。标准中的饮用水水质指标由原标准的 35 项增至 106 项,增加了 71 项。其中,微生物指标由 2 项增至 6 项;饮用水消毒剂指标由 1 项增至 4 项;毒理指标中无机化合物由 10 项增至 21 项,有机化合物由 5 项增至 53 项;感官性状和一般理化指标由 15 项

增至 20 项;放射性指标仍为 2 项。二是统一了城镇和农村饮用水卫生标准。三是实现饮用水标准与国际接轨。新标准水质项目和指标值的选择,充分考虑了我国实际情况,并参考了世界卫生组织的《饮用水水质准则》及欧盟、美国、俄罗斯和日本等国饮用水标准^[4]。新标准的颁布为我国的饮用水安全保障提出了新的命题,针对新标准开展达标处理技术的研发将是我国未来一段时间内饮用水科研工作的重点。

1.3 饮用水安全保障技术现状

1.3.1 饮用水源的生态防护技术

1) 湖滨带水生植被和湿地的恢复

建立沿岸湖滨带,恢复自然湿地和水生植物,利用水生植被抑制风浪、促进沉降、固持底泥、净化水质和对藻类竞争的抑制作用,促进湖泊自然生态系统的恢复,加强湖体的自净能力。湖滨带水生高等植被,如芦苇(*Phragmites communis* Trin)、茭白(*Zizania latifolia* Stapf)等具有很好的物理阻滞作用,促使沉积,降低沉积物的再悬浮,并大量吸收水体和沉积物中的营养盐^[5]。环湖湿地系统能有效拦截净化外来污染物,截留地表径流携带的悬浮物,去除部分氮磷营养物质,降解有机污染物,这是从迁移、转化途径上控制陆域地表径流或潜流营养物入湖的最后一道防线^[6]。正常运行条件下,湿地对面源主要污染物的去除效率为 TN 60%、TP 50%、COD_{Cr} 20%左右^[7]。湖泊湿地和湿地植物还是湖泊