

DONGBEI CUNZHEN DIXIA YINYONGSHUI
WURAN FANGKONG YU ANQUAN BAOZHANG JISHU YANJIU

东北村镇地下饮用水 污染防控与安全保障技术研究

齐学斌 李平 乔冬梅 樊向阳 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

东北村镇地下饮用水 污染防控与安全保障技术研究

齐学斌 李平 乔冬梅 樊向阳 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了东北村镇饮用水特点及存在问题、水源地污染防治技术、水质净化工艺与设备以及安全保障技术集成等方面内容。全书共分8章：第1章概括介绍了国内外村镇饮用水技术现状；第2章介绍了东北村镇饮用水特点及存在问题；第3章介绍了东北地区水文地质概况；第4章介绍了东北村镇典型研究区地下饮用水源地污染物分析与评价；第5章介绍了东北村镇典型研究区地下饮用水源地水质演变机理；第6章介绍了东北村镇典型研究区地下饮用水源地污染防治技术；第7章介绍了东北村镇典型研究区地下饮用水水质净化技术与设备；第8章介绍了东北村镇地下饮用水源地污染防治和安全保障技术集成与示范。

本书可供从事水利、农业、环保、建筑等领域的专业技术人员及相关专业在校师生阅读参考。

图书在版编目（C I P）数据

东北村镇地下饮用水污染防治与安全保障技术研究 / 齐学斌等著. — 北京：中国水利水电出版社，2014.5
ISBN 978-7-5170-2007-6

I. ①东… II. ①齐… III. ①农村给水—饮用水—地下水—资源—污染防治—研究—东北地区 ②农村给水—饮用水—给水卫生—研究—东北地区 IV. ①R123.9②X523

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第096468号

书 名	东北村镇地下饮用水污染防治与安全保障技术研究
作 者	齐学斌 李平 乔冬梅 樊向阳 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658（发行部）
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.5印张 273千字
版 次	2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	40.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

Preface



目前,我国农村饮用水安全保障面临供水设施较为薄弱、工程建设管理难度大、工程长效运行机制有待完善、水源保护和水质保障相对薄弱、基层管理和技术力量不足等五大挑战,特别是由于农村饮用水水源类型复杂、规模小、分布广、农业面源污染以及生活污水、工业废水不达标排放等问题突出,水源地保护难度大,加之部分农村供水工程水质处理和消毒设施不健全等,直接威胁到农村饮水安全。

截至2010年年底,我国已累计解决了2.21亿农村人口饮水不安全问题,与2004年调查核定的3.23亿农村饮水不安全人口相比,剩余饮水不安全人口约1.02亿。由于我国农村集中式供水人口受益比例还不高,除原调查评估核定剩余饮水不安全人口外,部分地区水源水质恶化、水源污染、生活饮用水卫生标准提高、早期建设工程老化报废等原因,新增了部分饮水不安全人口。

近年来,我国政府十分重视农村饮水安全工作,“十一五”期间启动了国家科技重大专项“水体污染控制与治理”。该专项是根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》设立的十六个重大科技专项之一,旨在为中国水体污染控制与治理提供强有力的科技支撑,实现示范区域水环境质量改善和饮用水安全双重目标。本书是在国家科技重大专项“水体污染控制与治理”之“东北村镇地下饮用水安全保障适用技术研究示范(2008ZX07425—004)”课题研究成果的基础上,吸收近年来我国农村饮水安全技术成果编撰而成的,旨在为东北村镇饮水安全保障提供技术支撑。

本书由该课题主要参加人员编写而成:第1章由齐学斌、胡艳玲、乔冬梅撰写;第2章由齐学斌、胡艳玲、李平撰写;第3章由齐学斌、樊向阳、李平撰写;第4章由高青、齐学斌、胡艳玲、胡超、赵志娟撰写;第5章由李平、黄仲冬、齐学斌、樊向阳、樊涛撰写;第6章由安景文、李军幸、张鑫、邹晓锦、刘鸣达撰写;第7章由李军幸、郭树龙、乔冬梅撰写;第8章由乔冬梅、齐学斌、张同军撰写。全书由齐学斌、李平、乔冬梅、樊向阳审定统稿。

本书的编撰出版,得到了许多专家和学者的热心支持和帮助,在此一并

表示衷心的感谢。

虽然本书对东北村镇典型区地下饮用水污染防控与安全保障技术进行了大量的室内外试验研究，提出了一些污染防控技术模式与供水工艺与参数，但由于村镇饮水安全涉及的因素多、范围广、自然条件及经济发展水平差异大，所提成果需要在更大范围上进行检验，加之编写时间仓促，水平有限，书中观点难免有不足之处，恳请读者指正。

作者

2013年10月

目 录

前言

第 1 章 国内外村镇饮用水技术现状	1
1.1 农村饮用水现状与存在问题	1
1.1.1 农村饮用水现状	1
1.1.2 存在的问题及原因分析	2
1.1.3 农村饮用水处理技术进展	3
1.2 农村饮用水水质处理技术现状	3
1.2.1 物理方法	3
1.2.2 化学方法	4
1.2.3 物理化学方法	5
1.2.4 生物方法	6
1.2.5 消毒技术	8
1.2.6 特殊水质的处理方法	9
1.2.7 不同水质的处理工艺	10
1.3 农村饮水工程运行管理现状	15
1.3.1 农村饮用水工程运行体制	15
1.3.2 农村饮用水工程管理队伍	16
1.3.3 农村饮用水工程管理模式	16
第 2 章 东北村镇饮用水特点及存在问题	17
2.1 东北村镇饮用水特点	17
2.1.1 供水水源现状	17
2.1.2 供水设施现状	25
2.1.3 供水水质现状	27
2.2 东北村镇饮用水存在问题	27
2.2.1 村镇供水水源系统存在的主要问题	27
2.2.2 村镇饮用水水质净化技术与设备存在的主要问题	29
2.2.3 村镇饮用水安全管理技术存在的主要问题	29
第 3 章 东北地区水文地质概况	31
3.1 辽宁省水文地质概况	31
3.1.1 地下水资源区划分原则及划分方案	31

3.1.2 各类含水层组的分布及其富水情况	31
3.1.3 不同地貌类型的地下水分布规律	34
3.2 吉林省水文地质概况	35
3.2.1 地下水单元划分	35
3.2.2 各类含水岩组的分布及其富水情况	36
3.2.3 不同地貌类型的地下水分布规律	37
3.3 黑龙江省水文地质概况	38
3.3.1 地下水资源区划分	38
3.3.2 水文地质基本条件	40
3.3.3 “三水”转化关系	40
3.3.4 地下水资源量	42
3.3.5 水资源总量	42
第4章 东北村镇典型研究区地下饮用水源地污染物分析与评价	43
4.1 地下饮用水源地污染源分析	43
4.1.1 地下饮用水源地污染源调查方法	43
4.1.2 污染源排污量及排污系数	43
4.1.3 各污染源污染物排放量及百分比	44
4.1.4 地下饮用水源地污染源评价	45
4.2 不同供水模式水源地污染物变化特征分析	47
4.2.1 傍河井地下饮用水源地污染物变化特征	47
4.2.2 潜水井供水模式下地下饮用水源地污染物变化特征	53
4.3 地下饮用水源地优先控制的特征污染物分析	57
4.3.1 取样范围及监测指标	57
4.3.2 评价方法	57
4.3.3 项目区饮用水超标污染物分布特征	58
4.3.4 不同供水水源地优先控制的特征污染物	61
第5章 东北村镇典型研究区地下饮用水源地水质演变机理	67
5.1 典型区概况	67
5.2 试验布置	67
5.3 监测内容及方法	69
5.3.1 土壤水分特征曲线测定	69
5.3.2 土壤水分及硝态氮含量测定	70
5.3.3 地下水水位及硝态氮浓度测定	70
5.3.4 田间管理	70
5.4 水源地地表水—土壤水—地下水交换特征	71
5.4.1 区域地下水动态变化特征	71
5.4.2 区域地下水年内动态变化特征	72

5.4.3	区域地下水年际动态变化特征	76
5.4.4	地表水—土壤水—地下水交换特征	79
5.5	水源地地表水—土壤水—地下水水质演变机理	80
5.5.1	降雨对土壤硝态氮残留累积影响	80
5.5.2	降雨—耕作复合条件对土壤硝态氮残留累积影响	81
5.5.3	地表水—土壤水—地下水互作对地下饮水水质的影响	82
5.5.4	地下饮用水源地水质演变机理	83
5.6	农业非点源污染对地下饮用水源地水质影响	84
5.6.1	SWAT 模型原理	84
5.6.2	流域主要污染负荷数据库构建	85
5.6.3	子流域与水文响应单元的划分	89
5.6.4	模型校核与验证	93
5.6.5	区域主要污染负荷对地下饮用水影响模拟	93
第 6 章	东北村镇典型研究区地下饮用水源地污染防控技术	98
6.1	污染负荷削减的氮肥运筹及养分管理技术	98
6.1.1	地下饮用水源地污染负荷削减最优施氮量研究	98
6.1.2	农田最佳养分管理技术模式研究	101
6.2	水源地污染负荷削减优势作物品种筛选	108
6.2.1	地下饮用水源地污染负荷削减优势玉米品种筛选	108
6.2.2	污染负荷削减优势水稻品种筛选	111
6.3	基于污染负荷削减作物种植结构模式	112
6.3.1	试验设计	112
6.3.2	监测项目	113
6.3.3	结果分析	113
6.3.4	主要结论	114
6.4	生活污水生物生态联合处理技术	114
6.4.1	地理式微动力一体化处理设备研发	114
6.4.2	生物/生态联合处理技术研发	118
6.5	傍河井饮用水源地污染防控与安全供水监测及评价	126
6.5.1	示范基地概况	126
6.5.2	监测结果分析	126
6.5.3	综合防控与安全供水技术模式污染负荷削减评价	128
第 7 章	东北村镇典型研究区地下饮用水水质净化技术与设备	131
7.1	分级过滤净化技术	131
7.1.1	净水滤料的筛选	131
7.1.2	滤料筛选试验	131
7.1.3	组合滤料对浊度处理效果及设计参数	134

7.1.4	臭氧消毒	134
7.1.5	技术工艺适用对象与范围	136
7.2	射流曝气氧化—沉淀—过滤组合净化消毒技术	136
7.2.1	射流微曝气技术	136
7.2.2	滤料组合试验研究	136
7.2.3	滤料反冲洗试验	138
7.2.4	紫外线消毒技术	138
7.2.5	技术运行参数确定	139
7.2.6	技术工艺适用对象与范围	139
7.3	微电解氧化—沉淀—过滤组合净化消毒技术	140
7.3.1	微电解技术	140
7.3.2	微电解氧化—沉淀—过滤组合净化技术工艺流程	140
7.3.3	技术运行参数确定	141
7.3.4	技术工艺适用对象与范围	141
7.4	一体化纳滤膜净化设备研发	141
7.4.1	设备处理效果研究	141
7.4.2	设备运行参数确定	142
7.4.3	技术工艺适用对象与范围	143
7.5	防低温管道施工新工艺研究	143
7.5.1	适宜管材的筛选试验	143
7.5.2	适宜保温材料的筛选	144
7.5.3	不同土壤质地防冻阈值研究	146
7.4.4	防低温管道施工新工艺	150
第8章	东北村镇地下饮用水源地污染防控和安全保障技术集成与示范	152
8.1	傍河井饮用水源地污染防控和安全保障技术集成与示范	152
8.1.1	示范区简介	152
8.1.2	集成技术及工艺流程	152
8.1.3	示范工程运行管理	154
8.1.4	示范工程投资及运行费用	154
8.1.5	技术参数及经济指标	156
8.1.6	示范工程运行效果	157
8.1.7	示范工程适用对象及推广前景	159
8.2	潜水井饮用水源污染控制与水质保障技术集成与示范	159
8.2.1	示范区简介	159
8.2.2	示范工程集成技术及工艺流程	159
8.2.3	示范工程运行管理	162
8.2.4	示范工程投资及运行费用	162

8.2.5 技术参数及经济指标	164
8.2.6 示范工程运行效果	164
8.2.7 示范工程适用对象及推广前景	166
参考文献	167

第 1 章 国内外村镇饮用水技术现状

1.1 农村饮用水现状与存在问题

1.1.1 农村饮用水现状

水是生命之源，是人类存在和社会经济发展的基础。但是，随着社会经济的发展，水污染问题日益突出，特别是饮用水问题，已影响到人们的正常生活和社会的进步，对构建和谐社会造成一定的威胁。农村饮水安全是关键，事关农民群众身体健康和生命安全，事关农村经济社会可持续发展，事关和谐社会和新农村的建设。农村饮水安全是指农村居民能够及时、方便地获得足量、干净的生活饮用水，其评价指标包括水量、水质、方便程度和保证率 4 项指标。农村饮用水主要来源于河水、井水、泉水等。我国农村安全饮水普及率大致为东部 70%、中部 40%、西部不到 40%，农村饮水安全形势仍十分严峻。调查结果表明，到 2004 年底，全国尚有 3.23 亿农村人口存在饮水不安全问题，其中各类饮水水质不安全的有 2.27 亿人，水量不足、取水不方便及供水保证率低的近 9600 万人。2.27 亿饮用水水质不安全人口中，饮用水氟、砷含量超标的有 5370 万人，饮用苦咸水的有 3850 万人，地表或地下饮用水源被严重污染的涉及 9080 万人，饮用水中铁、锰等超标的有 4410 万人。

2005—2010 年，全国农村饮水安全工程共完成投资 1093 亿元，其中，中央投资 610 亿元，地方和群众投资 483 亿元，新建农村集中式供水工程 23 万处、分散式供水工程 68 万处。到 2008 年，我国农村饮用水与环境卫生状况，从整体上看有了明显改善：据 2008 年农村饮用水与环境卫生现状调查，全国未达到基本卫生安全的饮用水占 44.36%，其中地面水超标率为 40.44%，地下水超标率为 45.94%；集中式供水超标率为 40.83%，分散式供水超标率为 47.73%。农村饮用水超标的主要因素是微生物指标超标，饮水中因细菌总数和总大肠菌群所引起的水质超标率为 25.92%；集中式供水中有消毒设备的仅占 29.18%，分散式供水基本直接采用原水。但我国饮用水和现状环境卫生与国民经济社会的快速发展和社会主义新农村建设的要求尚不适应，与广大农民改善健康状况、提高生活质量的迫切需求仍有一定差距。2009—2011 年，国家发展和改革委员会、水利部、卫生部 and 环境保护部组织开展了新一轮农村饮水安全现状调查评估，并在此基础上联合编制完成了《全国农村饮水安全工程“十二五”规划》，已经国务院常务会议审议通过并正在付诸实施。“十一五”期间，通过集中式和分散式供水工程建设、城镇供水管网向农村延伸等方式，解决了 4.5 万所农村学校 1870 万农村学校师生的饮水安全问题，农村集中式供水人口比例由 40% 提高到 58%，供水质量和水平显著提高。2011 年，全国又解决了 5560



万农村居民和 838 万农村学校师生的饮水安全问题,到 2011 年年底,全国尚有 0.56 亿农村人口存在饮水不安全问题。但我国农村集中式供水人口受益比例还不高,除原调查评估核定剩余饮水不安全人口外,由于部分地区水源变化、水质污染、生活饮用水卫生标准提高、早期建设工程老化报废、移民搬迁等原因,又新增了部分饮水不安全人口,目前到底农村饮水不安全人口到底是多少,尚不得而知。

目前我国农村饮用水安全保障面临五大挑战,即供水设施较为薄弱、工程建设管理难度大、工程长效运行机制有待完善、水源保护和水质保障相对薄弱、基层管理和技术力量不足。特别是由于农村饮用水水源类型复杂、规模小、分布广、农业面源污染以及生活污水、工业废水不达标排放等问题突出,水源地保护难度大,加之部分农村供水工程水质处理和消毒设施不健全,农村饮水安全工程技术和队伍整体素质不高,服务体系不完善,工程专业化管理程度不高,专业知识和管理人员缺乏等,直接威胁到农村饮水安全。农村饮水安全卫生是反映农村社会经济发展和居民生活质量的重要指标,是影响居民健康水平的重要因素。据世界卫生组织的资料,在发展中国家,80%的疾病是由不安全的水与恶劣的环境卫生条件造成的。改善农村饮用水也是社会主义新农村建设的重要内容,是体现以人为本、构建和谐社会的必然要求。

1.1.2 存在的问题及原因分析

1.1.2.1 存在的问题

目前我国农村饮水主要存在 3 方面的问题。

(1) 水质差。集中供水工程有的缺少处理设备,有的消毒设施供水工程缺乏处理设施和消毒设备,分散供水导致的水质问题更多,目前我国农村直接饮用的浅层地表水普遍存在水质问题,水源污染比较严重,部分地下水如氟、砷、铁、锰或硬度严重超标,饮用水水质问题已经成为威胁农村饮水安全的首要问题。

(2) 水量不足。水量不足是我国农村供水面临的重要问题,以资源性水量不足为主。

(3) 保证率低。在我国,由于水资源时空分布不均,在干旱季节,部分农村饮用水难以保障供给,出现季节性缺水现象。

1.1.2.2 原因分析

农村饮水安全问题形成原因主要有以下 3 个方面。

1. 水源污染严重

生活垃圾是农户家庭垃圾的主要来源,农村每天每人生活垃圾量约为 0.86kg,全国农村一年的生活垃圾量接近 3 亿 t,其中约 1 亿 t 的垃圾属于随意堆放;另外,农业化肥农药的大量施用、乡镇企业工业废水的排放、养殖业垃圾和秸秆杂草的随意堆放、河道常年采砂导致水质浑浊等造成了一些地区严重的环境污染,进而对水源造成不同程度的污染。

供水系统老化导致水质不达标。水厂设施陈旧、管网老化、破损,造成断水缺水现象。许多乡(镇)、村水厂已建造近 20 年,大多已超过了设计年限。农村水厂管网亦大多超过使用年限,腐蚀严重,管径缩小,管道阻塞,导致了用户水质差、流量小、水压偏低,造成用户饮用水困难。



2. 资金投入不足

资金短缺一直是影响农村饮水工程建设的主要原因，一方面是农村供水工程投资需求大，特别是在一些偏远地区，由于工程建设条件差，施工难度大，加之近年来建筑材料价格和人工费持续上涨，投入缺口较大，而政府投入不足；另一方面是由于农村集体经济比较薄弱，村民集资积极性不高，政策引导乏力和新的投资体制尚未形成。

3. 思想观念落后

长期以来，由于受传统生活习惯的影响，农村居民饮用水安全意识不是很强，对饮用水安全程度认识较差，缺乏水资源忧患意识，特别是对水资源保护观念意识淡薄。

1.1.3 农村饮用水处理技术进展

随着社会经济的发展以及居民生活水平的提高，对饮水质量提出了更高的要求，国家也逐渐增加了饮水污染控制项目，面对水源水质日益恶化的状况，常规饮用水处理工艺已显得力不从心，必将导致供水厂处理工艺的更新换代。在充分借鉴国内外现有的微污染水处理工艺的基础上，研究开发适合我国农村特点的经济、高效的微污染饮用水净化处理技术与设备已迫在眉睫。

1. 微污染水污染物去除关键技术

微污染水污染物去除关键技术包括：针对微污染水体中的有毒有机物、异臭物质及地下水中的“三氮”污染物的去除开展研究；高效生物滤池系统开发；高效生物慢滤装置开发；电化学净化装置开发；高效“三氮”去除装置开发；物理与化学预处理装置开发；以强化絮凝、臭氧—生物活性炭预处理工艺为突破口，开发适应农村经济水平、经济实用的微污染水体的预处理技术。

2. 集中供水工程微污染水处理技术

借鉴大规模水厂的处理技术和设备，针对农村集中供水规模及水质污染特点，筛选并改造现有设备，形成适合农村特点的效率、成本低的集中供水工程微污染水净化集成技术。

3. 研制一体化微污染水处理设备

(1) 光催化净化与抑菌消毒一体化装置开发。利用光催化氧化技术和紫外线净化技术，开发出适合农户的既有污染物净化功能又有抑菌消毒功能的储水容器。

(2) 集成化的微污染水体应急净化装置开发。开发适于农村特殊环境的具有便于组装的“模块化”、便于移动的“机动化”和动力的“多元化”特点的应急水质净化装置。

1.2 农村饮用水水质处理技术现状

农村饮用水水质处理方法主要有物理、物理化学及生物等方法，但各方法都有其适用特点和条件，在应用时必须具体问题具体分析。

1.2.1 物理方法

农村饮用水处理中普遍应用的物理方法主要有沉降、过滤等。沉降是对水中粒径较大



的杂质、泥沙等,利用其重力,使其在沉降池中沉降、澄清,以得到浊度较小的水,初步达到净化的目的。过滤法是对水中通过沉降不能除去的不溶性杂质,可以用过滤的方法去除。过滤的方法有砂滤法、砂炭过滤法和砂滤棒法等。该方法在一些农村仍普遍使用,只是简单过滤水中不溶性杂质,水质问题得不到保障。

目前研究的白垩石过滤除菌技术是在生物膜池中以白垩石作为滤水载体,白垩石的孔隙颗粒的总表面积很大,并携带负电荷,过滤过程通过沉淀、吸附、孔隙筛滤去除细菌总数和大肠菌群。白垩石过滤除菌装置有3个水池:密封泉池、过滤池、清水池。过滤池共分5层:第一层为天然白垩石层,第二层为粗石英砂层,第三层为细石英砂层,第四层为天然白垩石生物膜层,第五层为耗复氧空间。水源水从上而下进入滤床过滤除菌。

水中的微生物在分解时消耗氧,随流动的水层进入白垩石载体,微生物在载体表面凝聚和絮凝后形成生物膜。随着生物膜垢厚度增加,外层为需氧层,内层与载体接界面为厌氧层,此时微生物缺氧而死亡。

白垩石过滤除菌技术去除细菌总数和大肠菌群效率高(近100%),并且不需加氯消毒,水质安全、可靠、卫生,适合分散式农村饮用水处理。

1.2.2 化学方法

常用的化学方法有化学沉淀法、絮凝沉淀法、气浮法和光催化氧化。

1. 化学沉淀法

化学沉淀法是往原水中加入适当的沉淀剂,使原水中的有害物质形成沉淀而除去,这是除去金属离子的常用方法。对重金属离子污染的废水进行处理时,可利用化学转化形成更小溶度积沉淀的原理,用 FeS 可有效地除去 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 等重金属离子。

2. 絮凝沉淀法

絮凝沉淀法在含有细小悬浮物或溶胶状的污染物的水中,加入与污染物所带相反电荷的絮凝剂,发生电性中和而使污染物凝聚成絮状大颗粒沉降下来。常用的絮凝剂有明矾、硫酸铝、碱式氯化铝、聚丙烯酰胺(PAM)等。

3. 气浮法

气浮法是固—液或液—液分离的一种方法。它是通过某种方式产生大量的微气泡,使其与水中密度接近于水的固体或液体微粒黏附,形成整体密度小于水的气浮体,在浮力的作用下上浮至水面形成浮渣,进行固—液或液—液分离。气浮法按产生微气泡方式的不同,可分为电解气浮法、散气气浮法和溶气气浮法。气浮法对低浊度、含油污、含藻类的水有一定的去除效果,目前在西北农村有一定范围的应用。

4. 光催化氧化

光催化氧化是以N型半导体材料为催化剂的一种光敏氧化,其特点是氧化能力强,反应前后氧化触媒材料不发生变化,可以氧化降解大部分有机污染物,如卤化物、苯、酚、氰化物等,设备简单、初期投资和运行费用低,是供水深度处理中非常有应用前景的处理方法,特别适合农村分散户储水水质的净化,利用自然阳光照射实现水质净化和保持水质不受微生物等污染,但是与常规水处理工艺相比,处理成本、设备体积、费用等偏高,普及应用还受到限制。



1.2.3 物理化学方法

常用的物理化学方法有离子交换法、吸附法、膜技术。

1.2.3.1 离子交换法

离子交换法是我国目前应用最广泛的水处理技术之一。其所用的树脂是一种高分子聚合物,按其基团性质分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂。阳离子交换树脂是指分子中含有酸性基团的离子交换树脂,能使分子中的 H^+ 离子等与溶液中的其他阳离子交换。阴离子交换树脂是指分子中含有碱性基团的离子交换树脂,能使分子中的 OH^- 阴离子与溶液中的其他阴离子交换。该方法主要用来去除饮用水中的铁锰。

1.2.3.2 吸附法

利用疏松多孔性介质的吸附作用,对水中色素、细菌、胶体等杂质进行吸附除去,以达到提高水质的方法。常用颗粒状活性炭作吸附材料,它使用方便、寿命长,且可活化再次使用。

活性炭是一种多孔性物质,具有很高的比表面积。其去除污染物主要靠的是微孔吸附作用,吸附性能主要是活性炭孔隙的物理结构和孔表面的化学结构。活性炭对水体的色度、臭味有很好的去除作用,并能有效地去除水中的有机物和重金属离子。为了得到更好的净水效果,对活性炭进行了表面化学改性,包括表面氧化改性、表面还原改性、负载金属改性。改性后的活性炭的吸附能力大大增加,特别是对水溶液中 p-甲酚、硝基苯和 p-硝基苯酚、氯化消毒后的高色度水中其三氯甲烷 (THMs) 等有机物,以及重金属离子 (Ag^+ 、 Pd^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Cu^{2+} 等)、色度和臭味等的有效去除效果均有大幅度提高;另有粉末活性炭处理、臭氧氧化-活性炭处理、活性炭吸附-生物膜处理方法,对污染物的去除效果明显增加。活性炭进行表面化学改性、粉末活性炭处理、臭氧氧化-活性炭处理、活性炭吸附-生物膜处理方法是新型的水处理技术,作为一种优水质、低能耗、无污染的绿色处理技术在我国必将获得更广泛的发展和应用。

1.2.3.3 膜技术

常用的膜技术包括微滤 (Microfiltration, MF)、超滤 (Ultrafiltration, UF)、电渗析 (Electro Dialysis, ED)、反渗透 (Reverse Osmosis, RO) 和纳滤 (Nanofiltration, NF)。

1. 超滤水处理技术

超滤作为膜分离技术之一,能将溶液净化、分离或者浓缩,是介于微滤和纳滤之间的一种膜过程,膜孔径范围为 $5\sim 100\text{nm}$ 。超滤的典型应用是从溶液中分离大分子物质 (如细菌) 和胶体。超滤工艺流程为:原水 (汲水井) $\rightarrow$ 原水泵 $\rightarrow$ 氧化剂 $\rightarrow$ 絮凝剂 $\rightarrow$ 原水箱 $\rightarrow$ UF 给水泵 $\rightarrow$ 超滤 $\rightarrow$ 水塔 $\rightarrow$ 外供管网。原水经原水泵提升后加入氧化剂和絮凝剂,在原水箱中经过一定的反应时间后,由超滤泵泵入超滤装置,克服背压进入高位水塔,然后通过自流流到各家各户。超滤具有建设费用低、占地面积小、建设期短、操作简便、出厂水质稳定等特点,效益显著,符合农村供水的实际需要。

超滤技术进行饮用水处理有以下显著的优点:①对于造成水质混浊的悬浮物具有很高的去除能力,产水浊度通常达到 0.1NTU 以下;②对水中的病原菌 (如贾第虫孢囊、隐



孢子虫卵囊和大肠杆菌)等具有 99.9999% 以上的去除率,这使得在不添加化学品的情况下,利用膜生产没有颗粒和固体的出水成为可能,并将消毒副产物的生成量减少到最低;③对于铁、锰、铝等胶体具有 90%~95% 以上的去除能力,单独使用超滤技术不能完全去除天然有机物、铁、锰等可溶性污染物,适合于地下水、山泉水等良好水源水的净化。

另外,将超滤技术与传统工艺相结合,通过在超滤的上游添加化学品,以氧化和吸附这些杂质,将其转化成颗粒状,以便被超滤去除,能够达到较好的效果,并为高氟水、高砷水、铁锰水和微污染水等劣质水源的处理开辟了途径。

OMEXELL 超滤技术是对传统的超滤技术的改性和调整,采用独创的外压式 PVDF 中空纤维超滤膜材料,水通量高、膜丝强度高,产水水质好于一般的微滤水质。

2. 电渗析技术

电渗析是一种膜分离技术。它采用离子交换膜作为分离膜,在直流电场下,以电位差为推动力,使水中阴、阳离子定向迁移并通过离子交换膜,从而把离子从水中分离出来。

电渗析法水处理设备简单,操作方便,化学药剂消耗少,环境污染小。但是,对水质要求较严格,需对原水进行预处理;对不带电荷的物质(如有机物、胶体、细菌、悬浮物等)无脱除能力;设备部件装配技术要求高。

3. 反渗透法

反渗透则是在浓溶液一边加上比自然渗透更高的压力,扭转自然渗透方向,把溶液中的离子压到半透膜的另一边,这与自然界的正常渗透过程相反,故称之为“反渗透”。

反渗透方法可以从水中除去 90% 以上的溶解性盐类和 99% 以上的胶体微生物及有机物等。与其他水处理方法相比,反渗透法具有无相态变化、能量消耗低,设备简单、自动化程度高、操作方便,出水水质好,效益高、占地少、适应范围广等优点。

4. 纳滤

纳滤以压力差为推动力,介于反渗透和超滤之间的截留水中粒径为纳米级颗粒物的一种膜分离技术。纳滤膜大多从反渗透膜衍化而来。纳滤对二价或多价离子及分子量介于 200~500 之间的有机物有较高脱除率,纳滤过程主要用于饮用水中脱除 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等硬度成分、三卤甲烷中间体、异味、色度、农药、合成洗涤剂、可溶性有机物及蒸发残留物质。

膜法处理应用工程(对河水的净化)采用了微电脑自动净水器进行一级预处理、多介质过滤器作为二级预处理、纳滤(NF)卷式膜系统脱盐、活性炭过滤器过滤的工艺。产水水质完全符合生活饮用水标准,膜法在农村生活饮用水处理中是适宜的。

1.2.4 生物方法

生物方法的基本原理是利用一些微生物作用,使废水中的无机或者有机污染物降解为无机物而除去,有需氧法、厌氧法和共代谢法,发展趋势是用厌氧法代替需氧法。生物处理方法常可起到物理、化学方法难达到的作用,正越来越受重视。生物方法很多:生物膜法、生物滤池、生物接触氧化等,在农村饮用水处理方面已经或适宜使用的主要有以下几种。



1. 水生植物滤床

水生植物滤床 (Aquatic Plant Filter Bed, APFB) 是一种新型的人工湿地系统, 它以水生植物为核心, 不填充砾石、土壤或其他介质, 采用水培法栽种植物, 床体吃水深度浅。该系统首先通过水生植物的立体网状根系滤层将悬浮物和藻类过滤去除, 然后由微生物对滤后堆积物 (积泥) 中的氮、磷和有机物进行降解, 同时通过植物吸收除去水中及积泥中的部分氮、磷, 形成一个由水生植物、水生动物及微生物构成的高效生态净化系统, 实现了物理过滤和生物处理的结合, 具有运行管理方便、水力负荷大、投资低、生态环境效益显著等特点。在最佳运行条件下, APFB 对铵态氮、有机物、叶绿素 a (Chl-a) 和浊度的平均去除率分别达到 30%、25%、80% 和 90% 以上。

2006 年, 东南大学对对藻毒素和微量有机污染物的去除方面进行了水生植物滤床在改善源水水质方面的试验, 采用连续进水方式, 水力负荷为 $1.0\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 所栽种的植物为水蕹菜。采用高效液相色谱和 GC-MS 分析中试系统的进、出水水质, 结果表明, 对总藻毒素 TMC-RR 和 TMC-LR 的平均去除率分别达 63.0% 和 66.7%, 且对细胞内藻毒素的去除效果优于细胞外藻毒素; 水生植物滤床能有效去除源水中的微量有机污染物和个别疑似内分泌干扰物, 可作为农村地区自来水管厂的预处理工艺或水源地生态保护措施。

2. 生物接触氧化法

生物接触氧化法 (Biological Contact Oxidation Process) 是从生物膜法派生出来的一种废水生物处理法, 是一种介于活性污泥法与生物滤池之间的生物膜法工艺, 即在生物接触氧化池内装填一定数量的填料, 利用栖附在填料上的生物膜和充分供应的氧气, 通过生物氧化作用, 将废水中的有机物氧化分解, 达到净化目的。其特点是在池内设置填料, 池底曝气对污水进行充氧, 并使池体内污水处于流动状态, 以保证污水与污水中的填料充分接触, 避免生物接触氧化池中存在污水与填料接触不均的缺陷。

3. 生物慢滤水处理技术

传统的慢滤处理技术非常适用于农村小型供水系统净化处理, 但由于没有化学预处理, 因此对水源的水质要求相对较高, 比较适用于酸碱度呈偏酸性的原水水质的净化处理, 仅能有效除去微生物污染物。生物慢滤水处理技术是集过滤技术和生物处理技术为一体的水处理技术, 是过滤过程与生物处理过程的有机结合, 处理效果明显好于传统的慢滤处理技术。

生物慢滤水处理技术是将需处理的源水以较低的滤速 (一般为 $0.1 \sim 0.3\text{m/h}$) 通过具有一定厚度 (1.0m 左右)、较小粒径 (有效粒径一般控制在 1.0mm 以内) 滤料层的滤池, 经慢滤池滤料层的物理截污吸附和微生物细菌等的生物化学作用, 达到净化水质目的。

工艺流程简单, 慢滤池结构简单管理要求低, 农村群众易接受, 水处理效果好, 去除致病细菌、病毒效果良好, 可以很简单地做到微型化, 甚至可以以户为单位自行砌筑, 适合农村小规模供水模式。

生物慢滤水处理技术对农村微污染水源水中的常见超标污染物如悬浮杂质、微生物、病毒、有机物等几乎可以完全去除, 对铵态氮、重金属、浊度等也有很好的去除效果。