

中国村镇饮水安全科技新进展

张亚雷 杨继富 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国村镇饮水安全科技新进展

张亚雷 杨继富 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共收录村镇饮水安全相关论文 62 篇，内容包括：水源保护与污染防治；饮用水净化处理；消毒与水质检测；雨水利用与高寒区供水；供水管理与信息化。这些论文集中反映了近年来有关村镇饮水安全领域研究的最新进展和成果。

本书可供从事村镇供水领域科技开发、工程建设与管理人员及科研院所和高校相关专业的师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

中国村镇饮水安全科技新进展 / 张亚雷，杨继富主编. — 北京：中国水利水电出版社，2016.6
ISBN 978-7-5170-4412-3

I. ①中… II. ①张… ②杨… III. ①农村给水—饮用水—给水卫生—文集 IV. ①R123.9-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第130920号

书 名	中国村镇饮水安全科技新进展
作 者	张亚雷 杨继富 主编
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
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 29.75印张 706千字
版 次	2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷
定 价	120.00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

《中国村镇饮水安全科技新进展》编写人员

主 编：张亚雷 杨继富

参编人员：丁昆仑 周雪飞 李振瑜 郭劲松
徐向阳 谢崇宝 高 旭 苏小四
李 斌 刘行刚 沈 峥 代朝猛
刘 品 赵 翠 贾燕南 李晓琴
孙 毅 李艳红 褚华强 陈家斌
桑文静

前 言

为全面解决农村饮水安全问题，2012年国务院常务会议审议通过国家发展和改革委员会、水利部、卫生部、环境保护部编制的《全国农村饮水安全工程“十二五”规划》，总投资1750亿元，拟解决2.98亿农村居民和11.4万所农村学校师生的饮水安全问题，科技需求十分巨大。为有力支撑重大工程建设，全面提升村镇供水科技水平和创新能力，2012年科学技术部批准实施了“十二五”国家科技支撑计划重大项目“村镇饮用水安全保障重大科技工程”。该项目包括10个课题，组织部门为科学技术部和水利部，牵头承担单位为同济大学和水利水电科学研究院，参加单位有中国灌溉排水发展中心、清华大学、浙江大学、重庆大学、吉林大学等40多家科研单位、大学和企业。2015年是项目实施的最后一年，各项研究取得了预期进展和成果。为推动和促进全国村镇饮水安全新技术、新成果交流，实现项目内外交流、科研与工程建设紧密结合，同济大学和水利水电科学研究院于2015年7月15—17日在重庆组织召开了“全国村镇饮水安全技术交流研讨会”。会议的主题是“村镇饮水安全与科技创新”。

会议得到了项目内外科技与管理人士的积极响应，参会人员150多人，收录论文107篇，有近50位专家、学者发表演讲。水利部农村饮水安全中心张汉松处长、中国工程院侯立安院士、同济大学新农村发展研究院常务副院长张亚雷教授做大会主题报告。会议由张亚雷教授和中国水利水电科学研究院水利所副所长杨继富教授主持。

为进一步扩大会议影响，汇集和介绍会议成果，现将主要会议论文编辑出版。本书包括62篇论文，分为五个部分：水源保护与污染防治（16篇）；饮用水净化处理（19篇）；消毒与水质检测（9篇）；雨水利用与高寒区供水（10篇）；供水管理与信息化（8篇）。这些论文集中反映了近年来有关村镇饮水安全研究的最新进展和成果，可供从事农村供水领域科技开发、工程建设与管理人士，及相关专业的研究生参考。

科学技术部农村科技司、农村技术中心，水利部国际合作与科技司和重庆市水务局、科委等有关部门和领导对本次大会高度重视，主办单位和协办单位给予了人、财、物支持，为会议组织、论文评审等做了大量工作。在此，

向所有关心和支持本次会议的领导、专家、论文作者表示深深的谢意，对工作人员的辛勤劳动表示感谢。

由于时间仓促，书中可能出现疏漏或差错，敬请读者批评指正。

编者

2015年12月

目 录

前言

水源保护与污染防治

- 3** 村镇饮用水源特征分布及管理系统研发
张国华 谢崇宝 高虹 鲁少华 蔡守华
- 10** 村镇饮用水水源地安全评价研究进展
王珮 谢崇宝 张国华 刘增进
- 16** 村镇饮用水水源地安全评价指标体系研究
王珮 谢崇宝 张国华 刘增进
- 23** 村镇饮用水水源地安全评价及预警模型——以贵州省为例
潘真真 苏维词
- 32** 村镇饮用水源地污染关键区识别
程公德 殷国玺 谢崇宝 张国华 杨洁
- 40** 基于 ArcGIS 的村镇饮用水源地污染因子识别研究
刘阳 殷国玺 谢崇宝 张国华
- 48** 基于云模型的仪征市长江取水口水源水质评价
蔡守华 孙静 杨小令
- 56** 氨氮负荷约束下饮用水源人工湿地氮转化微生态过程研究
汤双宇 白雪原 籍国东
- 63** 水力负荷约束下饮用水源人工湿地氮转化微生态过程研究
汤双宇 朱先芳 籍国东
- 70** 水田侧渗缓冲带保护模型研究
程公德 殷国玺 谢崇宝 张国华 刘方平 卢文娟
- 77** 地下饮用水源地污染因子识别模型研究
刘阳 殷国玺 谢崇宝 张国华 方少文 杨洁

- 83 地下水污染修复技术研究进展
李同燕 胡伟武 李文奇 冯传平
- 91 地下水重金属污染修复技术研究进展
贺亚雪 代朝猛 苏益明 张亚雷
- 100 碳纳米管复合材料用于削减水环境中污染物的研究进展
闫婧 代朝猛 周雪飞 张亚雷
- 108 以玉米秆为碳源原位修复地下水硝酸盐研究
李同燕 李文奇 胡伟武 冯传平
- 120 玉米秆碳源去除地下水硝酸盐特性研究
李同燕 李文奇 胡伟武 冯传平

饮用水净化处理

- 131 羟基磷灰石滤料用于接触沉淀除氟的运行特点
李振瑜 高媛媛 刘沫 刘文朝 程先军 韦力敏 王小侏 杨宏伟
- 140 高压膜系统处理高钠含氟地下水的中试试验研究
王小侏 杨宏伟 李振瑜 王占生
- 152 Mg-Fe-Ce 复合金属氧化物对饮用水中氟离子的吸附特性研究
邬晓梅 董长娟 胡孟 宋卫坤 李晓琴
- 159 净化高氟地下水的改性火山渣吸附材料制备方法
张玉玲 张晟瑜 苏小四 钱红 李睿
- 165 生物接触氧化-絮凝沉淀-活性炭吸附工艺去除水源水中藻类的中试研究
高俊敏 马健 高旭 郭劲松 孙秀前 赵彬 杨富莹
- 173 氧化-负载铁组合工艺改性活性炭及其对 Cr(VI) 的去除研究
梁建军 陈莽 蒋世龙
- 182 四种磺胺抗生素在含水层介质中的吸附行为研究
周爱霞 苏小四 张玉玲 张兰英
- 195 改性河砂除锰滤料的制备及性能研究
钟爽 李晨阳 邹爽 贾晗 张凤君
- 203 村镇原水中天然有机物和拟除虫菊酯的去除研究
杨富莹 高旭 田梦 高俊敏 赵彬
- 212 微波辅助法无定形 FeTi 黄-壳复合物的制备及其对砷的去除性能研究
杨秀林 蔡建华 蒋礼 王春儒

- 219 镁修饰多孔碳对低浓度硝酸根和氟离子的增强吸附
蔡建华 王雪云 蒋礼 王春儒
- 226 硅藻土强化铝盐混凝除藻性能研究
王莎飞 杨玘 郭彩荣 朱亮 徐向阳
- 236 东太湖水源臭氧-活性炭饮用水处理工艺消毒副产物的生成规律与控制
曹雯蓉 于水利 李攀 漆晴 唐玉霖
- 242 产嗅藻类对东太湖某地原水中嗅味物质 2-MIB 的贡献机制研究
邵晨 于水利 黎雷 唐玉霖
- 250 东太湖水源臭氧-活性炭饮用水处理工艺中溴酸盐生成及其影响因素
闫慧敏 李攀 于水利 唐玉霖 黎雷 侯立安 漆晴
- 257 三醋酸纤维素正渗透膜的制备与性能初步研究
赵静 褚华强 周雪飞
- 264 椰壳活性炭负载羟基磷灰石对饮用水中氟的去除研究
刘红梅 褚华强 周雪飞
- 271 两种典型内分泌干扰物在滤料表面吸附过程研究
黄耀 陈猷鹏 高旭 郭劲松
- 278 滤速对曝气生物滤柱内碳和氮迁移转化的影响
黄耀 陈猷鹏 高旭 郭劲松

消毒与水质检测

- 289 村镇供水离子膜法次氯酸钠发生器运行条件及效果研究
丁昆仑 贾燕南 鄢元波 孙文海
- 296 次氯酸钙自动变量投加设备在村镇供水工程中的应用
丁昆仑 贾燕南 鄢元波 孙文海
- 303 臭氧消毒对村镇饮用水生物稳定性的影响
鄢元波 贾燕南 丁昆仑 孙文海 赵翠
- 311 氯对人轮状病毒的消毒规律及基因损伤研究
薛斌 金敏 杨栋等
- 320 新型饮水缓释消毒片的制备及其灭活大肠杆菌 8099 的效果评价
王华然 杨忠委 尹静
- 325 饮水中亚硝胺类消毒副产物结构与活性关系的初探
梁倩倩 郑唯韡 何更生 屈卫东

- 331 S市某水厂亚硝胺类消毒副产物的健康风险评估
李童 董蕾 齐辰 王霞
- 338 管网材质对二氧化氯消毒剂衰减规律影响的研究
赵翠 丁昆仑 杨继富
- 347 基于超声波的水质传感器清洗系统研究
王妹婷 蔡守华 齐永锋 杨小令 赵雪梅 韦富余

雨水利用与高寒区供水

- 355 典型集雨蓄水设施(水柜)形式下水质试验研究
丁昆仑 孙文海
- 361 岸边式慢滤净化技术示范应用
丁昆仑 孙文海 陆振中 黄汉伟
- 365 集雨水质净化方法及应用
丁昆仑 孙文海 贾燕南
- 371 一体化管式生物慢滤装置及其水质净化效果
丁昆仑 孙文海 贾燕南 赵翠 鄢元波
- 377 广西山丘区雨水集蓄利用现状分析
孙文海 丁昆仑 赵翠 黄旭升 黄汉伟
- 381 集雨水质缓释消毒装置及其消毒效果
丁昆仑 孙文海 陆振中 黄汉伟 沈煜康
- 384 西南山丘区单户雨水集蓄利用技术应用模式
孙文海 丁昆仑 陆振中 黄汉伟 沈煜康
- 389 东北村镇饮用水安全保障技术集成体系的开发与实现
张文静 桓颖 刘丹
- 393 火山渣净化低温水体中磺胺类抗生素研究
李睿 张玉玲 王佳丽 钱红 苏小四
- 403 农村供水工程防冻保护措施
丁昆仑 孙文海 贾燕南

供水管理与信息化

- 413 我国农村供水特性与形势辨析及应对措施建议
胡 孟 邬晓梅 李晓琴 宋卫坤 董长娟
- 419 干旱缺水地区农村供水应对措施
丁昆仑 孙文海 贾燕南
- 424 云阳县农村饮水安全发展思路探索
雷 波 邹永佩 周克平 苏兴源 刘小文 汤云中 李来兴
- 431 水质数据的可视化方法研究
李洪兴
- 438 农村饮水工程绩效考核研究
杨 萌 金 丽 郑 强 薛 雁
- 443 农村供水工程安全预警模糊综合评价研究
金 丽 杨 萌 李 斌
- 450 农村安全饮水工程水价及风险研究——以商河县为例
金 丽 郑 强 李庆国
- 459 浅析农村供水工程管材种类及检验项目
杨 萌 金 丽 郑 强 薛 雁

水源保护与污染防治

村镇饮用水源特征分布及管理系统研发

张国华¹, 谢崇宝¹, 高虹², 鲁少华², 蔡守华³

(1. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054; 2. 北京中灌绿源国际
咨询有限公司, 北京 100054; 3. 扬州大学, 扬州 225009)

摘要: 村镇饮用水源状况是直接关乎村镇饮水安全与否的重要因素。本文在分析村镇饮用水源地水质污染源及其特征的基础上, 研究确定村镇饮用水源地水质调查的范围、内容与评价方法; 结合 GIS 技术, 建立村镇饮用水源地水质管理评价地理信息系统。130 个村镇饮用水源地的水质数据分析结果表明, 总体上村镇饮用水源水质存在一定的时空变化, 但水质总体良好, 仅少数水源地水质超标。

关键词: 村镇饮用水源; GIS; 水质调查; 时空变化

1 村镇饮用水源地水质污染源及特征

相比于城市饮用水源的污染源, 村镇饮用水源受点源污染影响较小。村镇工业相对落后, 数量上也远不如城市工业, 但非点源污染中生活污水排放及农业生产中农药、化肥、禽畜粪便排放等无论对城市水源地还是村镇水源均有较严重的影响。村镇饮用水源地的主要污染源有: 养殖场、种植区、生活污水、村镇企业及农业污染等。

(1) 养殖场。养殖场产生的有害气体、粉尘、病原体微生物等排入大气后, 随大气扩散和传播, 当这些物质沉降时, 将给水源地造成危害。当大量养殖粪便、污水等进入水体后, 使水中的悬浮物、COD、BOD 升高和病原体微生物的无限扩散, 不仅导致水质恶化, 而且是传播某些疾病的重要途径。未经处理的养殖粪、污水过多地施入土壤, 导致亚硝酸盐等有害物质产生, 造成土壤富营养积累, 改变土壤的质地结构, 破坏土壤基本功能。污染物随地表径流、土壤水和地下水污染饮用水源。

(2) 种植区。氮素是土壤中的主要营养元素之一, 为提高农作物产量, 我国在农业生产中氮肥的施入不断增多。大量施用氮肥在提高农作物产量的同时也加大了对水源地的污染。由于施入农田的氮肥只有 1/3~1/2 被植物吸收利用, 因此长期过量施肥在引起土壤营养盐积累和作物品质下降的同时, 也会因地表径流和农田尾水排水使地表和地下水体营养化。氮肥损失的方式主要是挥发、地表径流和下渗, 是引发河流、湖泊水质富营养化的主要原因。

在农田氮素进入地表、地下水体过程中, 氮素与氮素之间及与周围介质之间, 始终伴

随着和发生着一系列的物理化学和生物化学反应。由于氮化合物的复杂性，使得地下水中的氮污染具有分布上的广域性、时间上的持久性、治理上的艰巨性。水环境中的水污染问题已引起广泛关注，目前世界上有不少的婴幼儿因饮用高含量的硝酸盐污染水而患上高铁血红蛋白症并死亡。

(3) 生活污水。村镇生活污水包括：洗涤、沐浴、厨房炊事、粪便及其冲洗等产生的污水，主要含有有机物、氯和磷，以及细菌、病毒、寄生虫卵等，一般不含有有毒物质。由于我国村镇发展不平衡，再加上各地区居民生活习惯差异较大，不同村镇其生活污水的水质水量也相差较大。经调查，我国村镇生活污水的水质有如下特征：在水量方面，经济发达地区的村镇生活污水水量远高于欠发达地区；在水质方面，经济发达地区的村镇生活污水中氮和磷含量高于欠发达地区，而有机污染物含量较欠发达地区要低。原因是经济欠发达的村镇地区，甩水时有反复使用后再排放的习惯，从而使有机物浓度较高；同时，由于这些村镇普遍没有使用卫生洁具，造成生活污水中粪便较少，氮和磷的浓度偏低。总体上，我国村镇生活污水的特点是：间歇排放，量少分散，瞬时变化大，经济越发达，生活污水氮、磷含量越高。据 2007 年卫生部完成的《中国村镇饮用水与环境卫生现状调查报告》，生活垃圾和污水是村镇家庭垃圾的主要来源，养殖业垃圾和秸秆杂草在一些村污染严重，工业企业向村镇地区转移造成当地垃圾和污水的大量增加。

(4) 村镇企业。村镇企业的发展，在促进村镇经济发展的同时，也给水源地环境带来了污染。有些地区污染危害已发展到比较严重的程度，越来越引起人们的普遍关注。对水源地污染严重的行业主要有造纸、电镀、印染、采矿等。和城市工业相比，村镇企业规模小，“三废”排放量少。但村镇企业数量多、分布广，生产条件相对落后，普遍缺乏环保设施，很多“三废”直接排入水体。因此，对水源地环境的污染和群众健康的危害更为直接和明显。在一些企业发达的村镇，企业排放的“三废”已经成为当地水环境污染的一个重要来源。村镇企业除了水污染问题外，如采矿、挖土制砖瓦行业，还对土地资源等自然资源造成破坏，间接影响村镇饮用水源地安全。

(5) 农业污染。农业污染源主要有农药、化肥的施用、土壤流失和农业废弃物等。农业污染也包括工业三废对农业的影响，如：工业废气形成的酸雨影响下风向城镇和村镇的生产与生活；工业废水用于灌溉农田，形成污水灌溉，造成土壤污染；工业废渣在村镇堆积、回填等造成土壤和地表水污染。

2 村镇饮用水源地水质调查

2.1 调查范围

随着农村经济的发展，许多村镇饮用水源地的水质受到破坏，部分地区水质恶化情况还在加剧。为了解村镇饮用水源地水质现状、污染特征及其变化规律，为村镇饮用水源地水质保护、生态修复及相关政策的制定提供科学依据，本文对部分地区近三年来（2010—2012 年）村镇饮用水源地水质状况进行调查。

村镇饮用水源地类型具体可分为河流型、湖库型、窖池型和地下水型四类。本次主要

调查对象为村镇河流型、湖库型两类饮用水源典型水源地，每个水源地收集 2010—2012 年的水质指标监测数据及与当地情况相关的统计指标数据。共调查 130 个村镇饮用水源地，其中河流型水源地 94 个，湖库型水源地 36 个。

2.2 调查内容

调查内容包括水源地当地情况数据及水质指标浓度数据。

水源地当地情况数据包括：水源地所在市县名称、水源地名称、水质监测点经纬度、所属河流（湖库）名称、县域总面积、县域总人口、地区生产总值、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值、年均降雨量及各类用地面积等。

水质指标浓度数据主要包括： pH 、 DO 、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等月均浓度值。

相关数据资料来源：水源地所在市县的人民政府网、国土资源局及统计局，中国环境监测总站主要流域水质监测周报，全国各省环保厅及各市县环保局发布的饮用水源地水质监测数据，水源地所在县的农业统计年鉴和环保统计年鉴，中国自然资源数据库以及实地调查资料等。

2.3 评价方法

根据数据调查统计，对 94 个河流型、36 个湖库型饮用水源地水质进行时空变化评价分析。根据水质评价方法优缺点的对比研究及水质指标浓度数据的完整性与有限性，为了避免主观区分污染程度级别，以及考虑水源地水质影响因素的不确定性，采用单因子指数法、综合评价指数法与地理信息系统（GIS）技术相结合来进行水质时空变化评价分析。

3 村镇饮用水源水质 GIS 系统研发

3.1 开发工具平台的选择

GIS 技术在水环境问题中的应用研究，可以把与水环境相关的且复杂多样的数据与空间地理坐标联系起来，使流域水环境信息从单一的数据表格中走出来，以生动形象的视图方式呈现给决策者、管理者及研究人员，实现水环境问题可视化。同时，基于 GIS 还可以对流域水环境进行动态监测、预测和规划，以及对某些重大水环境问题进行预警和防范。

3.2 GIS 数据库的建立

对调查数据进行整理，并利用 GIS 对水源地进行定点定位描述，通过可视化真实反应水源水质状况，可视化图制作过程精度可靠、简单实用、可视化效果好。用 ArcGIS10 软件对相关水质数据图层进行加工，完成水源地水质可视化图的制作，其制作流程如图 1 所示。

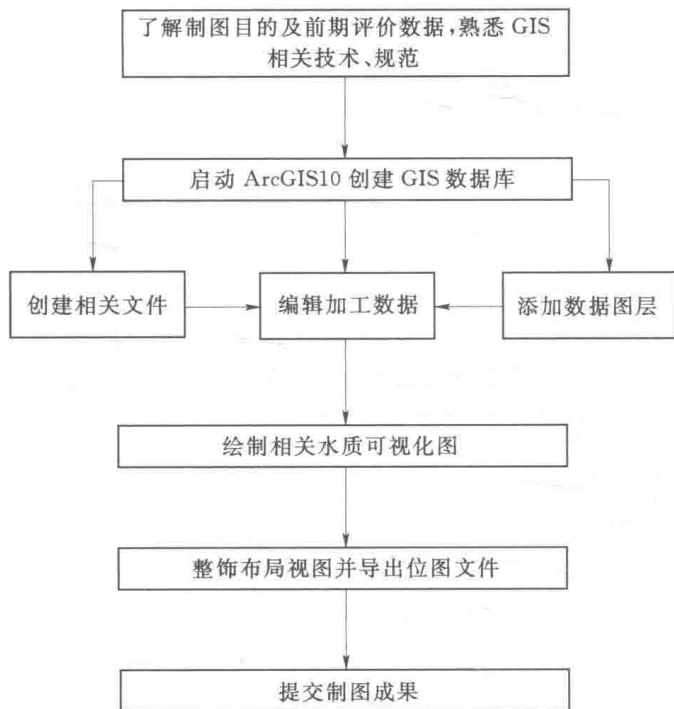


图 1 可视化图制作流程

4 村镇饮用水源地水质时空变化分析

4.1 季节变化

为了突出关键因子的影响,水质季节变化采用单因子指数法。选取 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12—次年 2 月为冬季来分析季节变化,数据取各个水源地各水质指标浓度数据的算术平均值,水质指标为 pH、DO、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 。

4.1.1 河流型水源地水质及关键因子的季节变化

采用单因子指数法分析结果表明,水源地水质季节性变化明显:达Ⅲ类水质标准的水源地个数所占比例从高到低依次为夏季(86.17%)、冬季(84.04%)、秋季(82.98%)、春季(79.78%)。夏季降水充沛,多数河流来水量大,水体交换速度快,水中污染物被稀释,水质相对较好,到秋冬季来水量逐渐减少,水质变化次之,而春季水量减退明显,水质最差。由此可见,水量可能是影响水质变化的关键因素。

经评价分析,pH 皆满足 6~9 的标准,DO 浓度多数属于Ⅰ类、Ⅱ类水,而影响水质变化的主要因子是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 。现对其浓度季节变化进行分析。

COD_{Mn} 浓度随季节变化为:夏秋季浓度减小,冬春季浓度增加,但变化不明显。冬春季 COD_{Mn} 浓度的变化范围较大,分别为 0.02~14.90mg/L 和 0.01~14.91mg/L,说明浓度增加,水体受有机污染影响较大;夏秋季的分级符号图变化相对较小,水体受有机物污染也小。这可能与夏秋季多数地区河流来水量大而浓度减小有关,但也有少数水源地