

| 水处理科学与技术·典藏版 12 |

农村饮用水水质健康风险评估 技术与示范

倪福全 邓 玉 著



科学出版社

水处理科学与技术·典藏版 12

农村饮用水水质健康风险评估技术 研究与示范

倪福全 邓 玉 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部关于农村饮用水水质健康风险评估研究的专著。主要介绍健康风险评估的基本理论、剂量与摄取机制和化学物质毒性;基于NAS健康风险评估“四步法”构建农村饮用水水质健康风险评估方法与指标体系;描述研究区基本情况并分析了农村水源水质检测结果、确定了主要危害物、污染源、暴露参数,分析饮用水和皮肤接触途径的健康风险水平、量化了水质健康风险评估中的不确定性,探讨了农村饮用水水质健康风险的时空变异特征,阐述了农村饮用水风险管理措施,构建农村饮用水水质健康风险管理决策支持系统,总结水质健康风险评估理论、技术与管理、示范应用。本书旨在加强农村饮用水水质健康风险评估研究成果的科学交流,以期促进四川乃至全国农村饮用水安全工作。

本书对开展农村饮水健康风险评估、风险管理、农村饮水安全工程建设及水处理工艺的确定等工作具有一定的参考价值,可供供水安全风险评估、管控与应急处理等相关领域的科研、技术和管理人员以及相关专业的本科生、研究生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

水处理科学与技术:典藏版/曲久辉,任南琪,彭永臻,等编著.—北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-051235-2

I. ①水… II. ①曲… ②任… ③彭… III. ①水处理 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第305492号

责任编辑:朱丽 杨新政/责任校对:朱光兰

责任印制:徐晓晨/封面设计:耕者设计工作室

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



2017年1月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年1月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:278 000

定价:3980.00元(全25册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

水是三农的命脉,是生命之源。水对人的生命和健康至关重要,因此获得安全饮用水是人类生存的基本需求,是涉及国计民生的重大问题。

据世界卫生组织(WHO)统计,全球 80% 的疾病与直接饮用不清洁的水有关;截至 2004 年年底,全球范围内仍有 11 亿人得不到安全的饮用水,26 亿人缺乏基本的卫生条件。

中国对饮水安全问题也高度重视,“十五”期间制定并实施了“农村饮水解困”“农村饮水安全应急规划”等计划,解决了 5600 多万农村人口的饮水问题及 1100 多万人的农村饮水安全问题,取得了较大的成效。但随着社会经济的不断发展、人口的增加,水环境污染、水资源短缺等问题日益严重,饮水安全问题逐渐凸显。根据我国农村饮水安全评价标准统计,截至 2004 年年底,除港澳台及上海等地区外,我国农村饮水不安全人口为 3.23 亿,占农村人口总数的 34%。其中,西部最为严重、中部次之、东部稍好,各区域内饮水不安全人口占其农村总人口的比例分别为 40%、35%、27%。在饮水不安全人口中,由于天然水质超标(包括高氟、高砷、苦咸水以及铁锰等物质超标)和人为水污染水质超标(包括地表水、地下水污染水质超标),饮水水质不达标的人口约为 2.26 亿,占饮水不安全总人口的 70%,饮水水质不安全问题引发的健康问题日益显现。2011 年中央一号文件提出,2015 年年底前全面解决农村饮水安全问题,力争到 2020 年农村集中供水受益人口比例达到 85%。

因此,控制环境污染导致的健康风险和加强我国环境健康领域的研究已成为当前迫切需要解决的问题。《国家环境与健康行动计划》(2007—2015)提出监测“饮用水水质卫生指标、水性疾病监测范围及其他健康影响信息”“建立饮水安全与健康监测网络”“完善环境与健康风险评估和风险预测、预警工作”。《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出“‘十二五’期间解决 3 亿农村居民饮水安全问题”“以解决饮用水不安全和空气、土壤污染等损害群众健康的突出环境问题为重点”“提高环境与健康风险评估能力”。由此可见,中央政府对饮水安全与健康风险高度重视。

欧美等发达国家针对环境污染导致健康危害问题开展了大量的调查和研究,颁布了许多有针对性的技术导则,构建了一系列评价方法,形成了完整的评价体系,其中美国国家科学院(NAS)出版的《联邦政府的风险评估:管理程序》,即 NAS“四步法”可称为健康风险评估的典范,被荷兰、法国、日本等许多国家以及国际组

织采用。基于此,发达国家建立了比较完善、适合本国国情的健康风险管理体系。

我国的健康风险评估工作始于 20 世纪 90 年代,以介绍和应用国外的研究成果为主。历经二十余年的发展,我国在健康风险评估研究以及管理等方面也取得了一定进展,相继颁布了一系列相应的技术指南和法规文件,但一套完整的风评估指南和技术性文件目前却尚未建立,尤其是适合我国居民的暴露参数几乎为空白,严重影响到健康风险的评估和预警能力,制约了我国环境污染健康风险管理工作。

在长江上游水与资源管理的可持续利用联合研究(2012DFG91520)、四川新农村建设技术集成研究与示范(2010NZ0105)、新农村发展研究院建设(2012CPTZ0010)、四川盆地西缘典型区农村饮水水质健康风险评估(09ZA063)等项目资助下,四川农业大学倪福全教授带领团队成员针对研究区农村饮水安全中的主要水质不安全问题,通过近八年的刻苦钻研、积极思考、努力实践、认真总结,取得了丰硕的科研成果:

一是根据《生活饮用水水质标准》和化学物毒性分类,确定了四川西缘典型低丘区水源的主要危害物;

二是在大量调查工作基础上,分析获得了研究区农村居民饮水暴露参数;

三是采用 NAS“四步法”评价饮水和皮肤接触途径的饮用水源健康风险,基于 GIS 技术探讨了其时空变化规律;

四是针对研究区饮用水水源保护和供水站管理中的问题,提出相应的风险管理措施,并研发了农村饮用水健康风险评估与管理决策支持系统;

五是开展了研究区集中式供水站建设与管理的示范研究,取得了社会、经济和生态方面的综合效益约 1.53 亿元。

这些科研成果,主要在倪福全教授团队成员的博士论文、硕士论文中进行了阐述,有的以学术论文发表在国内外重要核心期刊上,有的已在国际国内会议上进行了交流、发表。

该书的研究成果和研究思路、方法可为我国相关领域的研究工作提供借鉴,对保障饮水安全、因地制宜地采用合理的农村饮水安全工程和饮用水水质处理工艺技术方案,对建立并完善饮水安全监测网络、应急机制及预案,无疑具有很强的理论和现实意义。

该书可作为水安全风险评估、管控与应急处理等相关领域科研、技术人员和相关专业的本科生、研究生的参考书,以促进我国水安全科研工作。

是为序。

宫辉力

首都师范大学校长

2013 年 12 月

前 言

随着我国社会经济的快速发展,环境污染日渐严重,由此引发了诸多环境问题,如新旧公害事件不断出现,PM_{2.5}、重金属污染、酸雨等环境污染问题遍布全国,使生态环境遭受严重破坏,人体健康和生存面临威胁。据报道,我国居民的主要死因和疾病已由过去的传染性疾病转变为现在的慢性非传染性疾病。近年来,脑血管疾病、癌症、呼吸疾病的死亡率呈明显上升趋势,其中全国每年新发癌症病例约350万,因癌症死亡患者约250万,而90%的癌症是由化学致癌物引起的。众所周知,化学污染物已经成为影响人体健康的第一要素。

水是人类生存的基本物质之一,水质好坏直接决定人体健康与否。近年来,人类不合理的污染排放,导致有害物进入水环境,不仅引发环境污染,还会在长时间内持续存在,最终通过食物、饮水、呼吸等途径进入人体,危害人的健康。水环境中多种化学污染物具有致癌、致畸和致突变效应,如重金属、多环芳烃、残留药物、有机农药等,这些有害物即使在剂量十分微小的情况下长期饮用,也会表现出对人体健康的毒性效应。据世界卫生组织(WHO)统计,全球每年因饮用水水质不良而死亡的人数达170万,80%的疾病与直接饮用不清洁的水有关。

以上环境污染造成的健康危害问题日益引人关注,公众特别希望了解:为什么环境污染会引起健康危害?其形成原因是什么?健康风险有多大?如何规避风险?要正确回答这些问题,健康风险评估是有效的手段,也是环境与健康问题研究中的极其重要的研究领域。

农村饮水安全一直是困扰中国经济发展的重要因素,也是新中国成立以来各届、各级领导致力解决的民生问题。特别是农村饮用水水质问题严重影响了人体健康、农村稳定,是人们最关心、最迫切需要解决的问题之一。传统的饮用水水质评价方法和标准虽然在一定程度上能够客观反映水体的污染水平,但无法直接反映水体污染对人体健康的潜在危害,已不能适应健康风险控制的要求。因此,开展农村饮用水水质健康风险评估及管理是顺应时代发展所必须开展的重要工作,非常必要,也是热门的研究领域。

本书以四川省雅安市名山区为研究区域,结合名山区农村饮用水现状与问题,开展了农村饮用水水质健康风险评估与管理技术研究,并将该技术应用于集中式供水站新建(或改扩建)方案制定中,不仅能保障饮用水水质安全,还能有效控制介水性疾病的发生和传播,改善农村居民的生活生产状况,给当地带来了巨大的社会、经济和生态效益。研究的主要创新和效益如下:

(1) 根据县域尺度(四川省雅安市名山区)农村饮用水水质现状、时空分布特征及存在的主要问题,揭示了不安全因子的地域分布规律和主要危害物在水源中的分布规律;

(2) 从水土环境的视角研究了健康风险的形成机制;

(3) 编制了四川省雅安市名山区农村饮用水水质健康风险专题地图,直观、系统、全面反映了健康风险的时空分布特征;

(4) 提出了风险管控方案,研发了农村饮用水健康风险评估与管理决策支持系统,为各级管理部门提供了一个动态、可视化的信息共享平台,为政府决策提供系统、直观的技术支撑;

(5) 将研究成果应用于研究区农村供水站的建设与水处理工艺的选择中,总计取得综合效益约 1.53 亿元。

本书共分 11 章。第 1 章综述了研究背景、健康风险评估国内外研究现状和本书的研究内容等;第 2 章阐述了健康风险的基本理论、剂量与摄取机制以及化学物质的毒性;第 3 章分析了 NAS 的健康风险评估“四步法”在本书中的具体含义及内容,建立了健康风险评估指标;第 4 章介绍了研究区的基本概况;第 5 章分析了农村饮用水水源水质检测结果,探讨了污染物的来源和可能对人体健康产生的不利影响,确定了研究区主要的危害物;第 6 章以 NAS 健康风险评估“四步法”为基本框架,对饮水和皮肤接触途径的饮用水水源水质进行了健康风险评估,查清了农村饮用水水源污染物的潜在来源,获得了研究区农村居民饮水暴露参数,分析了饮水和皮肤接触途径的健康风险水平;第 7 章建立了不确定性的水质健康风险评估模型,运用该模型评估了名山区水质健康风险;第 8 章利用 GIS 空间分析技术,分析了农村饮用水水源水质健康风险的时空变化特征;第 9 章分析了农村饮用水风险来源、管理中的问题,提出了农村饮水风险管理措施;第 10 章构建了农村饮用水水质健康风险管理决策支持系统;第 11 章对水质健康风险评估理论、技术与管理开展了示范研究。

在本书的撰写过程中,得到了雅安市水务局、名山区水务局、四川农业大学等单位领导和专家的大力支持,在此深表谢意!感谢国际科技合作计划项目(2012DFG91520)、四川省科技支撑计划项目(2010NZ0105)、四川省科技支撑计划项目(2012CPTZ0010)、四川省教育厅重点科研项目(09ZA063)的经费资助。感谢历届研究生、本科生张莹、刘小容、任化准、杨岳林、付成威、叶剑、张灵阿、蒋琳琳等在野外调研、水质检测、数据分析与处理中做出的贡献。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,衷心希望广大读者批评指正,以便在今后的研究中进一步完善和提高!如有问题可与作者联系:nfq1965@163.com。

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景、目标及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究目标	3
1.1.3 研究意义	5
1.2 国内外研究现状及趋势分析	5
1.2.1 健康风险评估现状	7
1.2.2 水质健康风险评估现状	9
1.2.3 暴露参数研究现状	11
1.2.4 不确定性研究现状	12
1.2.5 GIS 技术的应用现状	12
1.2.6 主要问题及研究趋势	14
1.3 研究内容、方法及技术路线	15
1.3.1 研究内容	15
1.3.2 研究方法	17
1.3.3 技术路线	17
1.4 拟解决的关键问题、特色与创新	17
1.4.1 拟解决的关键问题	17
1.4.2 特色与创新	17
第 2 章 健康风险评估基本理论	20
2.1 基本概念的内涵与外延	20
2.1.1 风险	20
2.1.2 风险评估	21
2.1.3 健康风险评估	22
2.2 剂量与摄取机制	23
2.2.1 剂量	23
2.2.2 摄取机制	24
2.3 化学物质毒性	26

2.3.1	化学物质非致癌毒性	28
2.3.2	化学物质致癌毒性	30
2.4	微生物的毒性	32
第3章	水质健康风险评估方法与指标	33
3.1	健康风险评估方法	33
3.1.1	危害鉴别	33
3.1.2	剂量-反应评估	34
3.1.3	暴露评估	36
3.1.4	风险表征	39
3.1.5	不确定性分析	40
3.2	健康风险评估指标	42
3.2.1	指标分类	42
3.2.2	风险评估指标	43
3.2.3	生理学指标	44
第4章	研究区概况	47
4.1	自然条件	47
4.1.1	地理位置	47
4.1.2	地形地貌	47
4.1.3	地质	49
4.1.4	土壤	50
4.1.5	气候	52
4.2	水资源现状	52
4.2.1	水资源量及评价	52
4.2.2	水资源开发利用现状	53
4.2.3	水资源保护现状	53
4.3	社会经济状况	53
4.3.1	人口状况	53
4.3.2	国民经济及农村经济状况	53
4.3.3	土地利用状况	54
4.4	农业生产状况	55
4.5	农田水利现状	55
4.5.1	水利工程现状	55
4.5.2	旱山村缺水情况	55
4.5.3	现状供水能力	56
4.6	农村饮水水源和供水类型	56

4.6.1	主要水源类型	56
4.6.2	供水方式	56
4.7	农村饮水安全现状评价	57
4.7.1	评价标准	57
4.7.2	农村饮水安全现状评价	58
4.7.3	农村饮水安全工作任务	59
第5章	研究区农村饮用水水源水质情况	67
5.1	样品采集与检测	67
5.1.1	水样采集	67
5.1.2	水质检测	68
5.2	生活饮用水水质标准	69
5.3	水质检测结果分析	70
5.3.1	一般化学指标	70
5.3.2	理化毒理学指标	75
5.3.3	微生物指标	80
第6章	健康风险评估	82
6.1	危害鉴别	82
6.1.1	污染源分析	82
6.1.2	疾病情况	84
6.1.3	污染物毒性	84
6.2	剂量-反应评估	87
6.3	暴露评估	88
6.3.1	暴露参数	88
6.3.2	其他参数	94
6.4	风险表征	95
6.4.1	风险计算	95
6.4.2	结果分析	95
第7章	健康风险中不确定性研究	99
7.1	不确定性理论	99
7.1.1	模糊数学法	100
7.1.2	灰色系统	101
7.1.3	随机数学方法	102
7.2	蒙特卡罗法	102
7.2.1	蒙特卡罗法基本原理	102
7.2.2	蒙特卡罗模拟法发展历程	103

7.2.3	MC 在健康风险评估中的应用现状	104
7.3	水质健康风险评估中的不确定性	105
7.4	实例研究	107
7.4.1	基于 MC 的健康风险评估方法	107
7.4.2	MC 模拟软件简介	108
7.4.3	MC 模拟设置	109
7.4.4	模拟结果分析	113
7.4.5	敏感性分析	116
7.5	讨论	116
第 8 章	健康风险时空分布特征研究	118
8.1	基本理论	118
8.1.1	地理信息系统	118
8.1.2	空间分析技术	119
8.2	水质健康风险时空动态变化特征研究	122
8.2.1	单因子致癌风险时空动态变化特征	122
8.2.2	单因子非致癌风险时空动态变化特征	123
8.2.3	组合因子风险时空动态变化特征	131
第 9 章	农村饮用水风险管理研究	133
9.1	农村饮用水安全风险源	133
9.1.1	水源地风险源	135
9.1.2	饮水安全工程管理风险来源	135
9.2	风险管理	136
9.3	农村饮用水风险管理措施	137
9.3.1	水源地保护	137
9.3.2	水质监测	140
9.3.3	风险管理工程措施	140
9.3.4	建立农村应急供水预案	142
9.3.5	供水工程长效管理	146
第 10 章	农村饮用水风险管理决策支持系统	151
10.1	研发背景	151
10.2	系统设计	152
10.2.1	系统软硬件	152
10.2.2	系统主要功能	152
10.2.3	设计原则	153
10.2.4	系统数据流程	153

10.2.5	系统开发的方法	155
10.2.6	系统组织结构	170
10.3	系统功能	170
10.3.1	用户管理	170
10.3.2	数据管理	170
10.3.3	图形操作	172
10.3.4	健康风险评估与管理	173
第 11 章	示范研究	175
11.1	名山区饮水安全概况	175
11.2	新店供水站示范研究	179
11.2.1	新店供水站概况	179
11.2.2	辖区现状	180
11.2.3	新店改扩建供水站	181
11.3	临溪供水站示范研究	186
11.3.1	临溪供水站概况	186
11.3.2	辖区水质现状	187
11.3.3	改扩建供水站	189
11.4	综合效益评价	190
11.4.1	综合效益	190
11.4.2	效益评价	190
11.5	供水站运行管理	195
11.5.1	运营管理机构	195
11.5.2	水质管理	195
11.5.3	水量管理	200
11.5.4	生产运行管理	200
11.5.5	滤池的运行管理	203
11.5.6	加药消毒的操作管理	204
参考文献		206

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景、目标及意义

1.1.1 研究背景

水是生命的中心,生命的母亲,即生命之源、生态之基。民以食为天,食以水为先。水质决定体质,体质决定健康。据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)统计,全球 80% 的疾病与直接饮用不清洁的水有关。截至 2004 年年底,全世界仍有 11 亿人得不到安全的饮用水,26 亿人缺乏基本的卫生条件^[1],每天约有 3900 名儿童死于由不洁水源导致的疾病^[2]。

饮用水是人类生存与发展的基本需求,保障稳定、洁净、安全的饮用水是文明社会公民的基本利益和政府的不二职责。水安全问题一直是国际、国内关注的焦点问题之一,世界各国及一些国际组织均对饮用水安全高度重视。2000 年 9 月,《联合国千年宣言》(United Nations Millennium Declaration)提出:在 2015 年年底前,要使无法得到或负担不起安全饮用水的人口比例降低一半,各国元首和政府首脑已承诺最迟在 2015 年实现上述目标。欧盟对各成员国饮用水水源地进行抽样检测,自 2000 年以来发布了 4 期饮用水水质的检测报告,分析了欧洲饮用水水质改善的情况^[3-6]。美国于 1969 年调查了 1000 个社区,发现 41% 的社区饮用水水质不达标;1972 年新奥良河检出 36 种有机化合物;1974 年发现饮水消毒副产物三卤甲烷(trihalomethans, THMs),引发民众对饮用水法规和标准的极大关注,在此情况下,美国国会于 1974 年颁布了新的《安全饮水法》(Safety Drinking Water Act, SDWA),在 1986 年、1996 年分别进行了修订,使饮用水法规标准日趋完善^[7]。

在一定程度上,获得安全的饮用水依赖于当地的地理特征、环境保护和相关技术推广应用的成效,因此发展中国家和经济欠发达地区的水安全问题通常比发达地区要严重得多。中国,作为发展中国家之一,农村人口比例较大,水资源相对紧缺且时空分布不均,加之近年来极端气候多发、频发,广大农村地区社会经济发展相对落后,自然地理条件复杂多变,长期以来许多农村地区饮水安全问题突出,影响了人民群众的生活和身体健康。到 2004 年年底,全国农村地区仍有 3.23 亿人饮水不安全,占农村总人口的 34%^[8];其中,水质不达标涉及人口约 2.26 亿,占 70%;水量不足、保证率低下和取水不方便涉及人口约 9558 万,占 30%;按地区统

计,西部地区、中部地区、东部地区饮水不安全人口分别为 1.25 亿、1.38 亿、6985 万^[9]。我国西部地区由于自然和历史的原因,经济与科技发展相对落后,特别是在偏远的农村地区,水安全问题尤其突出。

从新中国成立到 2007 年年底,中国政府在全国共建成各类农村供水工程 300 多万处,累计解决了 3.4 亿人的饮水困难。新世纪以来,特别是 2000 年 9 月联合国千年发展目标提出后,我国政府针对到 2000 年年底仍有 3.79 亿农村人口饮水困难和饮水不安全的问题,承诺在 2015 年前基本解决农村饮水安全问题^[10]。“十一五”期间,国家不断加大投入力度,农村饮水安全工作取得快速发展。中央累计投资 590 亿元,加上地方政府配套和群众自筹资金,先后建设了各类农村集中饮水工程 20 多万处,平均每天新增供水 1680 多万 m³,农村集中式供水工程覆盖率提高到 58%,提前一年实现“十一五”规划目标,超额完成“十一五”规划任务。到 2010 年年底,中国政府已解决 2.2 亿农村人口的饮水安全问题^[11],提前六年实现了联合国千年发展目标的承诺。《中共中央、国务院关于加快水利改革发展的决定》(中发[2011]1 号)中指出,到 2020 年,基本建成水资源保护和河湖健康保障体系,主要江河湖泊水功能区水质明显改善,城镇供水水源地水质全面达标,重点区域水土流失得到有效治理,地下水超采基本得到遏制;到 2013 年解决规划内农村饮水安全问题,“十二五”期间将基本解决新增农村饮水不安全人口的饮水问题^[12]。

农村饮水安全,是指农村居民能够获得并且在经济上负担得起符合国家卫生标准的足够的饮用水。建立农村饮用水保障体系,不会由于饮用数量不足或质量不合格而对生理和心理带来威胁或造成伤害,这种威胁和伤害包括为了获取饮用水花费过高的代价,如时间、体力、物力、财力等,间接影响农民的生活水平和生活质量。饮水不安全的类型分为天然水质超标型、人为污染水质超标型以及水量缺乏型(包括保证率低、取水不方便)。水利部及卫生部于 2004 年制定了《农村饮水安全卫生评价指标体系》(水农[2004]547 号),将农村饮用水分为安全和基本安全两个档次,按水质、水量、方便程度和保证率 4 项指标进行评价。4 项指标中只要有 1 项指标低于安全或基本安全最低值,就不能确定为饮水安全或基本安全。

目前,饮水不安全的主要原因有以下几个方面^[9]:

(1) 水源污染严重。据四川省农业厅统计:2004 年全省化肥用量 215 万 t(纯),平均每公顷 550kg,超过发达国家为防止化肥对水体造成污染而设置的平均每公顷 225kg 的安全上限;农药 5 万 t/a,除草剂 2917t/a,杀鼠剂 13.5t/a,植物调节剂 145t/a,其中只有 10%~20%得到利用,80%~90%流失在土壤、空气和水体中,对湖泊、河道及地下水造成氨氮、磷、重金属等污染。

(2) 部分地区农民饮用高氟水、高砷水、苦咸水,导致骨骼变形乃至瘫痪,皮肤病、癌症、智力低下等水性地方病多发。

(3) 水中病原菌和致病微生物等超标。

(4) 铁锰等其他水质问题。由于水文地质原因,造成地下水水质感官性状差,呈红色或黄色。

(5) 局部地区季节性缺水和水源保证率低下等问题突出。

农村饮用水水质安全已成为影响人类生存与健康的主要问题。例如,人类已在水源中发现了多种具有致癌、致畸和致突变的化学物质,它们可能源自直接排放也可能源自水环境中其他物质的转化,而这些转化往往发生在环境多介质和多界面之上,过程十分复杂。饮用水中很多危害物即使在剂量十分微小的情形之下,当它们中的几种共存时就会产生复合污染,从而表现出毒性效应;水质及其变化十分复杂,农村饮用水中有毒物的危害往往没有阈值,风险控制才是保障农村饮用水水质安全的根本途径。传统的饮用水水质评价方法和标准虽然在一定程度上能够客观反映水体的污染水平,但无法直接反映水体污染对人体健康的潜在危害,已不能适应健康风险控制的要求。因此,开展农村饮用水水质健康风险评估及管理是顺应时代发展所必须开展的重要工作,非常必要,正日益成为热门的研究领域。

健康风险评估(health risk assessment, HRA)是一种方法或工具,用于描述和评估某一个体未来发生某种特定疾病或因为某种特定疾病导致死亡的可能性。这种分析过程的目的在于估计特定时间发生风险的概率,而非做出明确的诊断^[13];主要描述人类暴露于环境危害物之后可能出现不良健康效应的特征^[14]。饮用水健康风险评估的主要特点是以风险度作为评估指标,将水环境与人体健康联系起来,定量描述饮水环境污染物对人体健康可能产生的危害风险^[15]。开展水质健康风险评估将有利于充分了解水体污染状况、污染物迁移转化途径和对人体健康、生态的危害,确定水体中污染物的主次及治理的优先顺序,改进制水工艺^[16-17],提高饮用水的安全性。

1.1.2 研究目标

保障饮水安全是关系到每个人日常生活、健康和切身利益的社会公益事业。农村饮水安全问题,特别是农村饮用水水质问题严重影响了人体健康、农村稳定,是人们最关心、最迫切需要解决的问题之一。

综合考虑农村饮水安全现状、水环境情况、人口密度、地形地貌特征、社会发展状况、农村饮水安全工程项目进展情况及前期研究基础条件等因素,选择四川省雅安市名山区作为研究区域,主要理由如下:

(1) 该区属于四川盆地西缘典型区,为长江上游生态环境脆弱区,资源环境承载能力较弱、灾害风险较大。选择该区能代表四川盆地西缘区的主要水源和供水类型,能反映当地的经水传播传染病和水性地方病情况,能代表原生环境及次生环境污染对饮用水水质的影响,能满足采样时的水样保存时间的要求,能覆盖国家、省级和当地疾病监测点。

(2) 该区村民生活用水长期依靠坑塘水、山泉水、井水、山浸水、河湖水等水源,水质差、水量少,严重影响了村民的生产、生活、生存及农村生态环境。据 2004 年年底调查,该区农村饮用水水质不达标涉及人口 8.5 万,其中,饮用未经处理的Ⅳ类及超Ⅳ类地表水涉及人口 2.6 万;细菌学指标超标严重、未经处理的地表水涉及人口 1.1 万;污染严重、未经处理的地下水涉及人口 0.9 万;血吸虫病疫区涉及人口 3.9 万。农村饮水安全问题,特别是农村饮用水水质问题严重影响了人体健康、农村稳定,是人们最关心、最迫切需要解决的问题之一。积极开展水质健康风险评估、尽快改善该区农村饮水条件是十分迫切和必要的^[18]。

(3) 自 2005 年起,相关部门及有关研究人员对该区农村饮水安全作了大量的研究工作,资料丰富。选择该区开展研究有助于进一步实现对该区水质健康风险的动态监管与深入研究。

(4) 受“4·20”芦山地震的影响,研究区多处集中式供水站受到不同程度损毁,导致 11.91 万人饮水困难。黑竹镇、茅河乡、联江乡、廖场乡部分区域地下水中铁、锰含量猛增,严重超标,根本无法饮用。名山区降雨时空分布不均,冬干、春旱连年发生,水源保证率低,特别是高岗地区、蒙顶山及总岗山地区居民,季节性缺水现象严重。为确保全区受灾居民正常供水,根据地震、干旱等突发事件对农村供水影响,以及名山区供水工程损毁现状和问题,非常需要开展农村供水应急预案研究。

本书以四川省雅安市名山区为研究区域,以农村饮用水水质健康风险评估为研究对象,研究目标是:

(1) 厘清该区农村水质健康风险与原生环境及次生环境之间的关系,查清农村饮用水水源水环境污染来源和水平,确定水体中污染物的主次及治理的优先顺序,判断农村水环境潜在危害物的优先治理顺序和敏感人群。

(2) 探索农村饮用水水质健康风险的动态性、方向性、过程性、时空性,揭示农村饮用水水质健康风险的成因机制。

(3) 提高公众对农村水环境现实与潜在水环境危害的认识与区别,从而减少对公众的健康危害,帮助科研人员证实污染物健康危害的程度,判断潜在危害的主次和敏感人群。

(4) 构建适于四川西缘山地农村饮用水水质健康风险评估的理论体系和工作模式,为强化农村饮用水水质健康风险管理的可操作性提供理论依据,为寻找避免和削减农村饮用水水质健康风险的工程措施和非工程措施提供科学支撑。

(5) 开展农村供水应急预案的研究,为相关部门建立应急预案提供科学参考,保障居民在突发事件中也能获得正常、安全的供水。

(6) 根据健康风险评估结果制定水源保护可行性方案,改进供水站净水工艺,提高供水水质安全性,实现对农村饮用水水质风险的有效管理。

1.1.3 研究意义

本书的研究可为改善名山区农村饮水安全现状提供重要的科学依据,不仅能保障饮用水水质安全,还能有效控制介水性疾病的发生和传播,同时对农村水源地的管理、饮水处理技术的选择、水质分级风险控制、促进水资源保护与合理开发利用、农村生态环境的改善等十分重要。研究成果可以为四川省“十二五”期间水源地的水质评估提供科学的示范,切实做到确保水质安全、人群健康、人水和谐,按照“生产发展、生活宽裕、乡风文明、村容整洁、管理民主”的标准建设社会主义新农村、美丽乡村,提高农业现代化,缩小城乡差距,实现城乡一体化的目标。因此,本项目的研究、推广和应用具有重大的社会和经济效益,十分必要,同时也具有重要的实际价值和科学意义。

首先,本项目属于应用性基础研究,对保障民生、构建和谐社会意义重大。饮用水水质不安全对人体健康危害极大,引发介水性疾病的发病率增高,加大农村居民的生活负担,影响生活质量和健康。开展本项研究可起到预测和预警的作用,及时将可能发生的水质不安全事故消除在萌芽状态。因此,具有显著的经济效益。

其次,农村饮水健康风险评估将饮用水水质与人体健康定量地有机耦合起来,对不安全饮用水水质造成的危害的可能性及其程度的大小做出科学评估,并指导农村居民饮用水水质改良,有利于保障民生、保护人们身体健康,提高人们的生存、生活质量。因此,具有重要的社会意义。

再次,该研究模式可推广应用于其他农村地区饮用水的健康风险评估工作中,有利于揭示饮用水水质的现状、趋势和时空变化规律,从而为有关部门根据健康风险现状对其未来健康风险进行预测、预警。因此,应用前景广阔。

最后,根据该研究模式,可将健康风险评估结果用于制定水源保护可行性方案,改进供水站净水工艺,提高供水水质安全性,实现对农村饮用水水质风险的有效管理。

1.2 国内外研究现状及趋势分析

风险评估,就是通过一系列的研究过程,回答人们关注的这样一些问题^[19]:什么会变得有害?为什么会变得有害?可能性有多大?最大危害到什么程度?我们应该如何做?

风险评估主要分为安全风险评估、健康风险评估、生态/环境风险评估等,三类风险评估程序对比见表 1-1。