

农村供水消毒技术及 设备选择与应用

● 杨继富 贾燕南 赵翠 李斌 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

农村供水消毒技术及 设备选择与应用

杨继富 贾燕南 赵翠 李斌 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

• 北京 •

内 容 提 要

本书主要介绍了农村供水消毒技术和消毒设备及其选择、运行管理、运行监测与评价。主要内容包括：农村供水消毒的意义、作用、现状问题与对策；国内外饮用水消毒技术发展历程和常用消毒技术；适宜农村供水的消毒技术、消毒设备及消毒设备的选择方法；农村供水消毒设备运行管理和运行监测与评价方法；适宜农村供水的消毒技术模式。

本书由农村供水消毒技术领域知名专家和技术人员撰写，内容翔实，文字通俗易懂，贴近农村供水消毒一线领域。本书适合农村供水厂管理、技术人员参考，也适合农村供水领域设计、施工、管理人员参考和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

农村供水消毒技术及设备选择与应用 / 杨继富等编
著. -- 北京：中国水利水电出版社，2016. 11
ISBN 978-7-5170-4906-7

I. ①农… II. ①杨… III. ①农村给水—饮用水—水
消毒—研究 IV. ①S277.7②TU991.25

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第288764号

书 名	农村供水消毒技术及设备选择与应用 NONGCUN GONGSHUI XIAODU JISHU JI SHEBEI XUANZE YU YINGYONG
作 者	杨继富 贾燕南 赵翠 李斌 编著
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 (营销中心)
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	140mm×203mm 32开本 4.625印张 92千字
版 次	2016年11月第1版 2016年11月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

2005年以来,全国开展了大规模的农村饮水安全工程建设,到2015年年底全国新建集中供水工程50万处,解决了5.2亿农村居民饮水安全问题,农村集中供水率达到80%以上,大幅改善了农村供水状况。但由于水处理、消毒与水质检测环节薄弱,工程运行管理水平低等原因,农村供水水质合格率还比较低。

为解决农村供水消毒技术问题,“十一五”期间中国水利水电科学研究院、中国疾病预防控制中心、清华大学等单位承担完成了国家科技支撑计划课题“农村安全供水消毒技术与装置开发”,开发形成了适合农村供水特点的次氯酸钠、二氧化氯、紫外线和臭氧消毒技术及设备。“十二五”期间,通过承担国家科技支撑计划课题“村镇饮用水消毒与水质检测技术研究”,进一步熟化和完善了农村供水消毒技术及设备。为推广应用上述课题成果,提高农村供水消毒技术水平,2011—2013年中国水利水电科学研究院会同陕西、湖北、河北、辽宁、江西5省水利厅和四川省农田水利局承担完成了水利部科技推广计划重点项目“农村饮水安全消毒集成技术的推广应用”,在上述6省建成了6个农村供水消毒技术示范县,形成了不同类型农村供水消毒技术

模式、消毒设备运行操作规程、消毒效果监测与评价方法和《农村供水消毒技术培训教材》，组织开展了2次全国和多次省级、县级技术培训与推广。

为总结上述研究与应用成果，普及和推广适宜农村供水消毒技术及设备，推动和促进全国农村供水消毒技术水平及水质合格率的提升，以项目研究报告为基础，由项目负责人和主要技术骨干撰写了《农村供水消毒技术及设备选择与应用》一书。该书共分8章，第1章介绍了农村供水消毒的意义和作用、现状问题与对策；第2章介绍了国内外饮用水消毒技术发展历程和常用消毒技术；第3章和第4章介绍了适宜农村供水消毒技术和设备及其选择方法；第5章和第6章介绍了农村供水消毒设备运行管理与监测评价方法；第7章总结形成了适宜农村供水消毒技术模式；第8章为结论与展望。

“农村饮水安全消毒集成技术的推广应用”项目实施得到了水利部国际合作与科技司、农村水利司和陕西、湖北、河北、辽宁、江西5省水利厅、四川省农田水利局等单位领导、专家和项目参加人员的大力支持；本书的编著得到了崔招女教授级高级工程师、张岚研究员的精心审核。本书内容包含了他们的辛劳和建议，在此表示衷心的感谢！

由于编著者水平有限，书中难免存在疏漏和错误之处，恳请读者批评指正。

编著者

2016年9月于北京

前言

第1章 农村供水消毒的意义和作用	1
1.1 饮用水消毒的意义	1
1.2 饮用水消毒的作用	5
1.3 农村供水消毒现状与对策	9
第2章 饮用水消毒技术简介	16
2.1 饮用水消毒技术发展状况	16
2.2 常用饮用水消毒技术	24
第3章 适宜农村供水消毒技术及设备	34
3.1 次氯酸钠（钙）消毒技术及设备	34
3.2 二氧化氯消毒技术及设备	40
3.3 紫外线消毒技术及设备	45
3.4 臭氧消毒技术及设备	49
3.5 不同类型消毒技术及设备对比分析	56
第4章 农村供水消毒技术及设备选择	60
4.1 消毒技术及设备类型与规格选择	60

4.2	消毒设备采购	65
4.3	消毒设备选择与示范应用	70
第5章	农村供水消毒设备运行管理	80
5.1	消毒设备运行条件与要求	80
5.2	消毒设备安装与调试	82
5.3	消毒设备运行操作程序和方法	86
5.4	消毒设备运行管理常见问题与对策	94
第6章	农村供水消毒设备运行监测与评价	97
6.1	运行监测目的	97
6.2	运行监测内容和方法	97
6.3	示范工程水质状况及消毒效果分析	100
6.4	不同类型消毒设备运行成本核算	109
第7章	农村供水消毒技术模式	113
7.1	次氯酸钠（钙）消毒技术模式	113
7.2	二氧化氯消毒技术模式	117
7.3	紫外线消毒技术模式	121
7.4	臭氧消毒技术模式	122
第8章	结论与展望	125
8.1	主要结论	125
8.2	展望	126
	参考文献	132

农村供水消毒的意义和作用

1.1 饮用水消毒的意义

饮水安全问题举世关注。目前，全世界约有 12 亿人缺少安全饮用水，每年水源性疾病人数 10 亿人以上。联合国环境和发展机构指出，人类约有 80% 的疾病与微生物感染有关，其中 60% 以上是通过饮用水传播的。世界卫生组织《饮用水水质准则》指出：在与饮用水有关的安全问题中，微生物问题列于首位。在发展中国家，80% 的人群疾病和 50% 的儿童死亡率与饮用水水质有关，平均每年约有 2.5 亿人因饮用不洁净的水而发生疾病。

天然水体中能感染人类的病原微生物主要包括细菌、病毒和原生动物等，多数病原微生物来源于人及动物的粪便。农村供水水源多是地表水和浅层地下水，极易受病原微生物污染。病原微生物在水体中一般能存活数日甚至数月，有的还能繁殖生长。受病原微生物污染的水体，如不经消毒处理极易导致介水传染病的发生和流行。

在我国农村，由于水体污染加剧和水源保护不到

位，饮用水源污染问题突出，其中微生物污染是饮用水源污染的主要类型。在农村饮水解困阶段，卫生部门1983—1985年对农村饮用水源的卫生状况调查表明，大肠菌群超标率达86%，全国有7亿人饮用这种超标水；1993年在全国26个省的180个县开展的饮用水卫生监测网检测结果显示，微生物指标超标严重：饮用总大肠菌群每升水超过3个的人口占调查总人口的51.8%，饮用水细菌总数每升水超过10万个（100个/mL）的人口占调查总人口的39.1%，在一定程度上反映了我国农村饮用水微生物污染状况。由于农村饮用水微生物指标超标严重，不可避免地造成了当时肠道传染病的流行，我国几次大的介水传染病的爆发充分反映问题的严重性。

介水传染病（water - borne communicable diseases）是通过饮用或接触病原体污染的水而传播的疾病，又称水性传染病。其主要原因是水源受病原体污染后，未经处理和消毒即供居民饮用，或处理后的水在输配和储存过程中重新被病原体污染。据报道，大约有40多种传染病可通过水而传播，如霍乱、痢疾、伤寒、副伤寒等肠道传染病，肝炎、脊髓灰质炎、眼结膜炎等病毒性疾病和血吸虫病、钩端螺旋体病、阿米巴痢疾等寄生虫病。

介水传染病的流行特点：①水源一次严重污染后，可呈爆发流行，短期内突然出现大量病人，且多数患者发病日期集中在同一潜伏期内，若水源经常受污染，则发病者可终年不断；②病例分布与供水范围一致，大多

数患者都有饮用或接触同一水源的历史；③通过对污染源采取有效净化消毒措施，疾病的流行能迅速得到控制。

介水传染病一般以肠道传染病多见，最典型的例子是1955年11月至1956年1月期间，印度新德里由于集中式给水水源受生活污水污染而暴发的传染性肝炎流行，在170万人口中出现的黄疸病例2.93万人。2000年，加拿大的Walkerton小镇，由于饮用水受污染和消毒系统失效，导致全镇5300多人中2300多人住院，7人死亡，引起发达国家重视。2004年，阿根廷罗哈斯市的2.3万居民中有近3000人感染了志贺细菌性痢疾，原因是水厂中3/4的投药设备发生故障，没有加氯消毒，同时管网系统缺乏维修保养，蓄水设施没有清洗，造成痢疾杆菌通过自来水管道的传播蔓延。隐孢子虫感染人体导致腹泻是世界上腹泻病常见的原因。患有隐孢子虫病的人或动物的粪便如果污染了饮用水或饮用水源，可导致介水疾病流行。1987年，美国佐治亚州（Georgia）某地发生隐孢子虫病流行，在6.49万当地居民中有1.30万多人染病，出现腹泻，从病人粪便及出厂水中检出隐孢子虫囊。1993年，美国威斯康星州（Wisconsin）密尔沃基（Milwaukee）也发生过一次涉及40.3万人的经自来水传播的隐孢子虫病大爆发，5万多人住院，112人死亡，引起了全世界关注。2009年，我国内蒙古自治区赤峰市因自来水受病原微生物污染导致4322人住院。

为防止介水传染病的发生和流行，生活饮用水必须消毒。世界卫生组织在《饮用水水质准则》中将微生物

第1章 农村供水消毒的意义和作用

问题和消毒的重要性排列在前二位；美国 EPA 在《国家饮用水水质标准》中明确规定：饮用水必须经过消毒。我国《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）对饮用水消毒做出了强制性规定。在 4.1.1 条中规定“生活饮用水中不得含有病原微生物”，在 4.1.5 条中规定“生活饮用水应经消毒处理”。在“表 1 水质常规指标及限值”中规定，日供水在 1000m^3 以上（或供水人口在 1 万人以上）的集中式供水中，菌落总数指标限值是 100CFU/mL ，总大肠菌群、耐热大肠菌群或大肠埃希氏菌不得检出，贾第鞭毛虫和隐孢子虫指标限值是 1 个/ 10L 。在 GB 5749—2006 “表 4 农村小型集中式供水和分散式供水部分水质指标及限值”中规定，日供水在 1000m^3 以下（或供水人口在 1 万人以下）的农村小型集中或分散式供水中，菌落总数指标放宽到 500CFU/mL ，其余 3 项微生物指标仍为不得检出。

2005 年以来，国务院先后批准实施了《2005—2006 年农村饮水安全应急工程规划》《全国农村饮水安全工程“十一五”规划》和《全国农村饮水安全工程“十二五”规划》，全国开展了大规模的农村饮水安全工程建设。到 2015 年年底，全国新建农村集中供水工程 50 万处，解决 5.2 亿农村居民饮水安全问题。全国农村集中供水口比例由 2004 年的 38% 提高到 80% 以上，极大地改善了农村饮水卫生状况。

近年来，由于水环境污染加剧和饮用水水质标准提高，保障供水水质安全的任务十分艰巨。由于农村供水工程量大面广，水处理、消毒与水质检测环节薄弱，以

及工程运行管理水平低等原因，水质合格率还比较低，其中微生物指标不合格是主要原因之一。根据有关部门监测结果，如能正确选择和使用适宜农村供水的消毒技术及设备，实现消毒效果达标，供水水质合格率可提高20%~30%，更加凸显饮用水安全消毒对提升农村供水水质、保障饮水安全的重要意义。

1.2 饮用水消毒的作用

消毒是供水工程水处理工艺中不可或缺的最后一环，主要作用是杀灭水中的病原微生物。根据GB 5749—2006，指示水中微生物检验指标有4项：菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌。菌落总数作为评价水质清洁程度和净化效果的指标。总大肠菌群反映水体中存在肠道致病菌的可能性。总大肠菌群主要包括4个菌属：埃希氏菌属、柠檬酸菌属、克雷伯菌属和肠杆菌属。这些菌属可在人、牲畜粪便中检出，也可在营养丰富的水体中检出，即在非粪便污染的情况下，也有检出这些细菌的可能性。耐热大肠菌群组成与大肠菌群组成相同，主要是埃希菌属，其中与人类生活密切相关的仅有大肠埃希氏菌一种。柠檬酸菌属、克雷伯菌属和肠杆菌属所占数量较少。作为粪便污染的指示菌，大肠埃希氏菌检出的意义最大，其次是粪大肠菌群。菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌的定义、测定方法、意义和标准限值见表1.1~表1.4。

第 1 章 农村供水消毒的意义和作用

表 1.1 菌落总数的定义、测定方法、意义和标准限值

定义	指在一定条件下（如需氧情况、营养条件、pH 值、培养温度和时间等）每克（每毫升）检测水样所生长出来的菌落总数
测定方法	在营养琼脂上有氧条件下 37℃ 培养 48h 后，所得 1mL 水样所含的菌落的总数
意义	作为评价水质清洁程度和净化效果的指标
标准限值	规模以上集中供水限值为 100CFU/mL；小型集中供水和分散式供水限值为 500CFU/mL

表 1.2 总大肠菌群的定义、测定方法、意义和标准限值

定义	泛指一切杆状、无芽孢、需氧或兼性厌氧的，能在 37℃ 培养条件下分解乳糖产酸产气的革兰氏阴性菌
分类	该菌群一般包括大肠埃希氏菌、柠檬酸杆菌、产气克雷白氏菌和阴沟肠杆菌等
来源	主要来自人和温血动物粪便，也可能来自植物和土壤
测定方法	多管发酵法、滤膜法、酶底物法
意义	是评价饮用水受到粪便等污染的重要指标
标准限值	任意 100mL 水样中不得检出

表 1.3 耐热大肠菌群（粪大肠菌群）的定义、测定方法、意义和标准限值

定义	采用提高培养温度的方法将自然环境中的大肠菌群与粪便中的大肠菌群区分开，在 44.5℃ 仍能生长的大肠菌群
来源	人和温血动物粪便，是水质粪便污染的一般指示菌。检出耐热大肠菌群表明饮用水已受到粪便污染，有可能存在肠道致病菌和寄生虫等病原体的危险
测定方法	多管发酵法、滤膜法
意义	在卫生学评价上具有较强的指导意义
标准限值	每 100mL 水样中不得检出

表 1.4 大肠埃希氏菌的定义、测定方法、意义和标准限值

定义	指多管发酵法总大肠菌群阳性，在含有荧光底物的培养基上 44.5℃ 培养 24h 产生 β -葡萄糖醛酸酶，分解荧光底物释放出荧光产物，使培养基在紫外光下产生特征荧光的细菌
来源	人和温血动物粪便，是水质粪便污染的重要指示菌，检出大肠埃希氏菌表明饮用水已受到粪便污染
测定方法	多管发酵法、滤膜法、酶底物法
意义	在卫生学评价上具有极强的指导意义
标准限值	每 100mL 水样中不得检出

从历史发展的角度看，饮用水消毒工艺的引入在饮用水处理技术发展革新中具有举足轻重的地位。在对饮用水进行消毒之前，美国、欧洲等国家和地区有数百万人死于伤寒、霍乱、痢疾等水体传播疾病。随着消毒工艺的引入与推广，在发达国家中由水体传播的病原微生物引发的人体致病、死亡案例几乎完全根除，消毒已成为饮用水处理过程中最重要的单元。

由于目前农村供水水源保护不到位，水源受到来自生活垃圾及污水、禽畜养殖、厕所、粪坑的微生物污染和有机物污染的可能性很大。同时考虑到供水系统各个环节都存在致病菌污染的可能性，如地表水经过常规处理后仍存在致病菌，深层地下水也会在输配水过程中产生二次污染，没有消毒措施难以保障管网末梢水的微生物安全。虽然煮沸是行之有效的消毒方法，但人们，特别是农村人口、学校师生往往不能保证随时随地能喝到开水。而且使用未经消毒的水漱口、洗涤生吃的蔬菜、水果等也会造成致病菌传染。为防止由病原微生物造成

的介水疾病的发生和流行，农村生活饮用水必须消毒，以灭活水中的病原微生物。消毒是农村供水工艺中不可或缺的组成部分，是保障农村饮用水微生物安全的重要措施。

农村供水消毒的作用主要表现在以下两个方面：

(1) 有效杀灭水源水中的微生物，保证出厂水的微生物安全。在日本、美国一定水源和工艺条件下的试验研究及工程实践表明，出厂水浊度不大于 0.1NTU 是保证供水微生物学安全的重要条件之一，绝大部分有机物和微生物可以去除，隐孢子虫的去除可达到 3log 左右。目前我国规模以上供水工程出厂水浊度限值不大于 1NTU，规模以下供水工程出厂水浊度限值不大于 3NTU。由于我国绝大多数农村供水工程水处理设施及运行效果差，很难达到出厂水浊度不大于 0.1NTU 的要求，只有靠消毒杀灭水源水中微生物，保证出厂水的微生物安全。

(2) 在输配水过程保留部分消毒剂余量，防御微生物污染，保证末梢水安全。由于农村供水常规处理去除水源水中有机物效果有限，进入管网系统中水的生物稳定性差，易滋生微生物。目前，国际上普遍以生物可同化有机碳 (Assimilable Organic Carbon, AOC) 作为饮用水生物稳定性的评价指标。一般认为，在不保证消毒剂余量条件下，AOC 在 $10\sim 20\mu\text{g/L}$ 之间的饮用水生物稳定。调查研究表明，目前常规水处理对 AOC 的去除效果十分有限，大部分城乡水厂出水远不能达到生物稳定的标准。需要通过消毒，使出厂水在输配水管网、

储水容器中保留必要的消毒剂余量，才能起到防御微生物污染的作用。

1.3 农村供水消毒现状与对策

2005 年以来，全国新建了大批农村饮水安全工程，大幅改善了农村供水状况。但由于水处理和消毒环节薄弱、工程管理不规范等，供水水质合格率还比较低。其中首要问题是饮用水微生物指标超标。2011—2013 年期间，本书作者等通过承担水利部科技推广计划重点项目“农村饮水安全消毒集成技术的推广应用”，对陕西、湖北、四川、河北、辽宁、江西 6 省的 6 个示范县、80 处农村集中供水工程消毒现状进行调研，并结合参加农村饮水安全工程现场检查等，深入了解和掌握了农村供水消毒现状、问题及原因，并提出了对策和建议。

1.3.1 农村供水消毒现状和问题

6 个示范县 80 处农村集中供水工程基本情况：地下水源工程 53 处，占 66.3%，地表水源工程 27 处，占 33.7%；供水规模 $1000\text{m}^3/\text{d}$ 以上的工程 17 处，占 21.2%，供水规模 $1000 \sim 200\text{m}^3/\text{d}$ 的 43 处，占 53.8%，供水规模 $200\text{m}^3/\text{d}$ 以下的 20 处，占 25.0%；有水处理设施的工程 39 处，占 48.8%，其中 12 处工程采用一体化净水设备，11 处工程采用除铁锰设备，10 处工程采用混凝-沉淀-过滤常规处理工艺，6 处工程采用慢滤或过滤处理措施，没有水处理设施的工程 41

处，占 51.2%。

通过现场调查和监测，80 处集中供水工程消毒设备配备、运行情况和消毒效果如下：

(1) 原有消毒设备情况。在 80 处工程中，没有消毒设备的 27 处，占 1/3；有消毒设备的 53 处，占 2/3。从消毒设备类型看，在 53 处有消毒设备的工程中，采用二氧化氯消毒设备的 45 处，占 84.9%，占大多数；采用液氯消毒的 5 处，占 9.4%；采用其他方式消毒的 3 处（漂白粉消毒 2 处，次氯酸钠消毒 1 处），占 5.7%。从消毒设备性能看，在 45 处二氧化氯消毒设备中，采用高纯型二氧化氯发生器的 1 处，占 2.2%，性能合格；采用复合型二氧化氯发生器的 44 处，占 97.8%。其中不带加热装置，属劣质品的 24 处，带加热装置但加热温度不达标的 14 处，属不合格品，两者合计 38 处，占 86.4%。也就是说，现有农村供水消毒主要采用复合型二氧化氯发生器，大部分不合格。

(2) 多数消毒设备运行不正常。如图 1.1 所示，在有消毒设备的 53 处工程中，能够连续运行的 29 处，占 54.72%，其中消毒剂投加点和投加量不正确的 6 处；仅夏季运行或间歇运行的 6 处，占 11.32%；根本不运行的 18 处（消毒设备合格的 4 处，不合格的 14 处），占 33.96%。也就说，在配有消毒设备的农村供水工程中，有半数以上不运行或不能正常运行，不能保证消毒效果。

(3) 消毒设备运行环境条件不完善。主要包括清水池和消毒间的有无及达标情况。集中供水工程一般设置