

农村供水工程消毒技术选择与应用要点分析

贾燕南^{1,2}, 胡孟^{1,2}, 邬晓梅^{1,2}, 李晓琴^{1,2}, 董长娟^{1,2}

(1.中国水利水电科学研究院水利研究所,100048,北京;2.国家节水灌溉工程技术研究中心(北京),100048,北京)

摘要:介绍了氯及氯的化合物、二氧化氯、紫外线、臭氧4种适宜农村供水的消毒技术适用条件及设备应用形式,结合对国内外饮用水消毒技术发展趋势的分析,总结了4种消毒技术在农村供水工程应用中存在的主要问题,并从消毒前水处理,调节构筑物设计及维护,消毒剂的投加点、投加量与消毒间要求,消毒设备运行管理和相关水质指标检测等方面提出了农村供水消毒技术及设备的应用要点。

关键词:农村供水;消毒技术;选择;应用

Selection and application of disinfection technology for rural water supply projects//Jia Yannan, Hu Meng, Wu Xiaomei, Li Xiaoqin, Dong Changjuan

Abstract: Applicable conditions and equipment application forms of four kinds of appropriate disinfection technologies were briefly introduced, including chlorine and chlorine compounds, chlorine dioxide, ultraviolet radiation and ozone. By analyzing the growing trend of drinking water disinfection technologies at home and abroad, the major application problems of the above four disinfection technologies existed in the rural water supply projects were deeply analyzed. Finally, the main application points of the rural drinking water supply disinfection technologies and devices were summarized for water treatment before disinfection, design and maintenance of the regulating structures, dosage point and amount of the disinfectant, disinfection room requirements, operation of the disinfection devices and testing of the related water quality indicators.

Key words: rural water supply; disinfection technology; selection; application

中图分类号:S27+TU991

文献标识码:B

文章编号:1000-1123(2016)19-0053-04

自2000年实施农村饮水解困、2005年实施农村饮水安全工程建设以来,我国大力发展农村规模化集中供水,截至2015年,共解决了5.2亿农村居民和4700多万农村学校师生的饮水安全问题。总体来看,农村供水状况得到显著改善,工程建设管理水平不断提高,但由于我国国情、水情及区域差异性,现阶段农村供水工程的水质状况仍有不小的提升空间。

一、农村供水工程消毒的必要性

据世界卫生组织调查,80%的人

类疾病与50%的儿童死亡率与饮用水水质有关,在其制定的《饮用水水质准则》中明确提出:无论在发展中国家还是发达国家,与饮用水有关的安全问题中,微生物问题仍列于首位。在我国农村,由于水体污染影响和水源保护工作不到位,微生物污染是饮用水水源污染的主要类型,是造成农村供水工程水质达标率不高的首要原因。受病原微生物污染的水体中含有大量的致病菌、病毒等,可引起伤寒、痢疾、霍乱、脊髓灰质炎、甲肝和腹泻等疾病,严重者甚至可致死亡。

通过消毒技术的正确选择及应用,即可保障生活饮用水的微生物安全性。《生活饮用水卫生标准》(GB 5749)、《室外给水设计规范》(GB 50013)和《村镇供水工程设计规范》(SL 687)都对生活饮用水必须消毒做出了强制性规定。

目前农村供水工程的水源小而分散,水源地保护不力,水源污染源头多,仅靠现有的水处理手段难以保障用户末梢的饮用水微生物安全。通过消毒,一是可以有效杀灭水源水中的微生物,保证出厂水的微生物安全;二是可以保留部分消毒剂余量,

收稿日期:2016-06-23

作者简介:贾燕南,高级工程师。

基金项目:中国水科院科研专项(HY0145B152015);青海科技成果转化专项“农村牧区供水关键技术集成与示范”(2016-NK-132)。

在出厂后的输配水管道、容器中起到防御微生物污染的作用。

二、适宜农村供水的主要消毒技术及设备

1. 氯及氯的化合物消毒及其应用形式

氯及氯的化合物消毒包括次氯酸钠、液氯、漂白粉、漂粉精及次氯酸钙等，它们溶解进入水体后的有效消毒成分均为次氯酸，因此消毒机理也相同。该种消毒技术适用于原水 pH 值不高于 8.0、水质较好、未受污染的水源水。其中次氯酸钠、液氯应用最多。

次氯酸钠消毒的应用形式为：商品次氯酸钠溶液配合其投加装置使用，或采用现场电解食盐水发生制次氯酸钠溶液的次氯酸钠发生器。液氯的应用形式为：采用液氯钢瓶配合加氯机使用，加氯机包括正压式加氯机、转子加氯机、真空加氯机等形式。漂白粉、漂粉精、次氯酸钙为不同形态的固体制剂，其应用形式为：采用手动或自动溶药装置将固体制剂溶解后，通过投加装置投加进入水体。

2. 二氧化氯消毒及其应用形式

二氧化氯消毒依靠的是分子态的二氧化氯。二氧化氯消毒在以下情况的农村中小型供水工程中可重点考虑：①受有机物污染的地表水源；②藻类、真菌造成的含色、嗅、味的水源；③pH 值和氨氮含量较高的水源；④铁、锰含量较高的地下水源。

二氧化氯一般通过现场发生制得，根据其发生技术的不同包括化学法二氧化氯发生装置和电解法二氧化氯发生装置，其中电解法二氧化氯发生器电耗、盐耗高，二氧化氯产率及纯度低，维护管理难，不建议农村供水工程采用。化学法二氧化氯发生装置根据终产物的不同可分为复合型二氧化氯发生器和高纯型二氧化氯发生器。前者的产物中既有二氧化氯也有氯，而后的产物中只有二氧

化氯一种消毒剂。复合型发生器一般采用氯酸钠+盐酸法，而高纯型发生器则分为二元法高纯型发生器和三元法高纯型发生器。二元法高纯型发生器制取工艺有两种：盐酸+亚氯酸钠法、氯+亚氯酸钠法，前者在国内供水工程中应用实例较多，后者由于原料中仍需用到液氯，因此在国内较少有应用实例。二元法高纯型发生器的制取工艺包括亚氯酸钠+次氯酸钠+盐酸法、氯酸钠+硫酸+双氧水法、氯酸钠+硫酸+蔗糖法及氯酸钠+硫酸+尿素法等多种不同反应原理的发生方法。三元法高纯型发生器由于原料较复杂，在农村供水工程中应用也较少。

3. 紫外线消毒及其应用形式

紫外线消毒利用 200~280 nm(尤其 253.7 nm)波段的紫外线光来杀菌，单独紫外线消毒仅适用于无清水池、管网较短的农村小型集中或分散供水工程。以地下水为水源时，需要浊度、色度、铁锰、硬度等水质指标较好；以地表水为水源时，需先去除水中的颗粒物和胶体。

在农村小型集中或分散供水中的应用最多的紫外线消毒设备是过流压力式紫外线杀菌设备。此外，在单户工程中还有间歇式紫外线杀菌设备的应用。

4. 臭氧消毒及其应用形式

臭氧消毒主要依赖臭氧进入水体后分解过程中生成的 $[O]$ 和 $\cdot OH$ 。与紫外线消毒相同，单独臭氧消毒仅适用于无清水池、管网较短的农村小型集中或分散供水工程。另外，需要注意的是，水中溴化物含量在 20 $\mu g/L$ 以上时，可能会出现副产物溴酸盐超标的情况，建议预先进行臭氧投加试验。

臭氧一般通过臭氧发生器现场发生制得，臭氧发生器主要包括以空气或纯氧为原料通过电晕放电产生臭氧的电晕放电法臭氧发生器和以纯水为原料通过电解产生臭氧的电解纯水法臭氧发生器。

三、饮用水消毒技术发展趋势及农村供水消毒存在的主要问题

1. 国内外饮用水消毒技术的发展趋势

氯消毒是使用历史最长、应用范围最广的消毒技术，积累了丰富的实践经验，但过去数十年间，人们发现氯消毒不能实现对贾第鞭毛虫、隐孢子虫的良好控制，并逐渐重视氯消毒引起的卤代消毒副产物问题，因而一些替代消毒剂和组合消毒技术逐渐被开发并应用。此外，各种物理消毒法以及新的化学消毒剂也不断被研制开发。二氧化氯消毒工艺成熟性比次氯酸钠略差，但由于二氧化氯的强氧化性，使其较适用于污染水源的消毒，高纯型化学法二氧化氯发生器产物中二氧化氯纯度高，发展趋势较好。臭氧的持续消毒效果、生产工艺成熟性及技术经济性不如氯，关于其消毒副产物的控制方法还有待进一步深入研究，因此未来其发展应主要在水处理领域而非消毒领域。对于无需持续消毒效果的小规模供水工程，紫外线消毒是目前最为成熟的物理消毒方法，并且随着饮用水处理领域深度处理和管网安全输送技术的发展，紫外线消毒的应用范围也将逐渐扩展。

尽管氯及氯的化合物消毒存在如前所述的不足，但通过提高水质、控制消毒剂投加量等措施可以使这些问题基本得到解决。由于氯气使用及运输安全性欠佳，使用液氯消毒的农村水厂在不断减少，人们对使用氯的化合物消毒却表现出日益浓厚的兴趣。尤其对于水源水质较好、不宜购置药剂的偏远地区的供水工程，采用食盐为原料的现场制备次氯酸钠消毒技术具有独特优势。

综合国内外发展情况，研究认为：在农村供水领域，液氯消毒应用将逐渐受限，次氯酸钠发生器虽然目前在饮用水领域应用还不太多，但其

未来发展前景看好,尤其是现场发生制次氯酸钠消毒应用范围会不断扩大;二氧化氯及紫外线消毒是非常有发展前途的消毒技术,特别是高纯型二氧化氯发生器产物中二氧化氯纯度高,发展趋势较好;臭氧消毒应用范围可能会逐渐扩大,但在短期内可能主要局限在小型供水工程中;此外,新型消毒及组合消毒技术的应用领域也会不断扩展。

2.农村供水工程消毒技术应用中存在的主要问题

通过详细调研发现,在农村供水工程消毒技术及设备应用过程中普遍存在的共性问题包括以下6项。

- ①认识问题:部分行业主管部门和工程管理部门没有认识到供水消毒的必要性,不配备或配备后不运行消毒设备;此外,部分农村居民不习惯消毒后水的气味,导致供水工程消毒剂投加量不足,消毒效果不达标。
- ②工程设计问题:消毒技术及设备选型不合理,与供水规模不匹配;消毒剂与水接触时间不合理;没有消毒间,无法保证消毒设备正常运行的环境条件。
- ③消毒设备采购问题:所采购消毒设备产品质量不过关,技术参数无法达到相关技术标准要求。
- ④消毒设备运行管理问题:消毒设备不运行,水厂人员不能正确操作、使用和维护,消毒剂原料采购渠道不畅等。
- ⑤行业监管问题:主管部门对农村供水工程运行管理监督检查和技术培训不足,没有建立供水安全责任、持证上岗等制度。
- ⑥其他问题:水处理不达标,导致消毒剂被水中残留的还原性物质消耗,或浊度不达标导致微生物被掩蔽;缺少消毒效果检测手段,不能及时发现问题等。

针对前文所述的4类适宜农村供水的主要消毒技术及设备,分别归纳和分析了其在具体应用中存在的主要问题。

(1)氯及氯的化合物消毒应用中存在的主要问题

- ①一些采用地表水的供水工程

混淆预氧化与消毒环节的加氯,事实上,两者的投加点分别在混凝剂投加之前和清水池前,投加量也不同;②次氯酸钠发生器所用原料错误,采用再生工业盐或加碘食盐而非精制食用盐,采用未经处理的水源水而非滤后水;③没有清水池或清水池体积过大,导致消毒剂与水的接触时间不足或停留时间过长,从而使出厂水消毒剂余量不足;④采用液氯消毒的工程没有漏氯吸收装置,存在安全隐患。

(2)二氧化氯消毒应用中存在的主要问题

- ①二氧化氯发生器类型选择不当;
- ②复合型二氧化氯反应器不加热,或加热温度不足,发生器产物中二氧化氯比例低,反应未完全的原料一起被投加入饮用水中;
- ③二氧化氯发生器原料输送采用滴定阀而非计量泵,无法保障稳定的原料配比;
- ④配制氯酸钠、盐酸溶液操作时存在错误导致原料浓度不合理;
- ⑤二氧化氯发生器所用两种原料与发生器置于同一房间,未设隔离墙,存在安全隐患;
- ⑥供水工程水质检测时仅检测余氯,不检测二氧化氯,事实上采用高纯法二氧化氯发生器消毒的水厂仅检测二氧化氯即可,采用复合法二氧化氯发生器消毒的水厂既要检测余氯,也要检测二氧化氯。

(3)紫外线消毒应用中存在的主要问题

- ①供水管网较长时仍只采用紫外线消毒,管网末梢微生物安全性无法保障;
- ②紫外线消毒设备安装位置错误,安装在清水池前而非清水池后,无法保障出厂水的微生物安全性;
- ③紫外线消毒设备型号选择不当,与处理水量不匹配;
- ④紫外线消毒设备未与供水水泵机组联动控制;
- ⑤未定期清洗石英套管。

(4)臭氧消毒应用中存在的主要问题

- ①供水管网较长时仍只采用臭氧消毒,管网末梢微生物安全性无法

保障;②未检测原水溴离子浓度并进行臭氧投加试验即采用臭氧消毒,无法保证消毒副产物溴酸盐在安全范围内;③无接触池或接触罐,无法保证臭氧在水中充分溶解;④不配备检测水中臭氧浓度的检测设备,无法监测出厂水和末梢水的臭氧余量是否达标;⑤未按设计规范控制臭氧尾气排放。

四、农村供水消毒技术及设备的应用要点

1.水处理效果

水处理效果达标是合格并安全消毒的前提。如出厂水浊度不达标,很可能会出现消毒剂余量合格而微生物指标不合格的情况,因为微生物会附着在颗粒物上,使消毒剂较难对微生物产生直接作用。如水处理后铁锰不合格,采用二氧化氯消毒时,会出现出厂水色度超标的风险。如水处理后有机物含量过高,可能会出现消毒副产物超标的现象。

2.清水池设计及维护

消毒剂与水在清水池中的接触时间不能过短也不能过长,应满足《生活饮用水卫生标准》的相关规定,同时一般应 $\leq 4h$,以保证清水池出口适宜的消毒剂浓度。如清水池过大,可进行分格改造或降低水位运行。另外,每年应至少清洗水池1次,以降低清水池的消毒剂消耗量,尽可能减少消毒剂投加量,从而控制消毒副产品的生成。

3.投加点

消毒剂投加点应设置在水处理后清水池前,紫外线消毒应设在清水池后。当需要采用消毒剂氧化处理时,可在滤前和滤后分别投加消毒剂,不可只在滤前投加。当管网较长,仅出厂水投加消毒剂、管网末梢消毒剂余量不达标时,可在加压泵站、调节构筑物等部位补加消毒剂。

4.投加量

以水中杂质消耗的有效氯和灭

活致病微生物需要的自由性余氯量计,应满足 GB 5749 要求,并保证灭活致病微生物,不产生副产物,防止管网二次污染。实际工程中应根据出厂水、末梢水消毒剂余量检测情况,不断调整并最终调试出适宜的投加量。

5.消毒间

次氯酸钠、二氧化氯、臭氧消毒宜单独设置消毒间;次氯酸钠、二氧化氯消毒应设置原料间,不同原料应单独存放。消毒间和原料间应满足相应的通风(尾气吸收、位置)、非明火保温、冲洗水源、排水管道、照明和分隔要求,应配备个人防护、抢救材料及工具箱。

6.消毒设备运行管理

①运行管理人员应经过当地水行政主管部门和厂家培训,使用中严格遵循《村镇供水工程运行管理规程》(SL 689)和设备厂家产品说明书、操作规程。

②设备开机前,应检查消毒设备及关键组件的状态是否完好,同时检查其用水、用电、排风等条件是否具备。

③应按时记录各种药剂的用量、配制浓度、投加量及处理水量。

④消毒剂仓库的固定储备量应根据当地供应、运输等条件,按15~30 d

的最大用量计算,周转储备量应根据当地具体条件确定。

⑤每天检查消毒设备与管道的接口、阀门等渗漏情况,定期更换易损部件,每年进行必要的维护保养。

⑥如设备要在一段时间内停止运行,应按厂家说明书要求进行必要的清洗养护。

7.消毒相关水质指标检测

目前农村供水工程缺乏对消毒相关水质指标的常规检测,包括消毒剂余量、微生物指标和消毒副产物指标。

①消毒剂余量的检测用于评价消毒剂的投加量是否适宜。采用氯及氯的化合物消毒时,检测余氯;采用高纯型二氧化氯发生器消毒时,检测二氧化氯余量;采用复合型二氧化氯发生器消毒时,同时检测二氧化氯余量及余氯含量;采用臭氧消毒时,检测臭氧余量。需要配备分光光度计检测。

②微生物指标用于评价消毒设备的运行效果。包括菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群和大肠埃希氏菌,配备高压灭菌器、培养箱等设备即可检测。

③消毒副产物指标用于评价消毒的安全性。采用氯及氯的化合物消毒时,检测三卤甲烷、卤乙酸;采用高

纯型二氧化氯发生器消毒时,检测亚氯酸盐;采用复合型二氧化氯发生器消毒时,检测亚氯酸盐、氯酸盐和卤代消毒副产物;采用臭氧消毒时,检测溴酸盐和甲醛。

在上述3种指标中,消毒剂余量的检测实现最为方便,建议集中供水工程根据消毒剂类型配备检测消毒剂余量的水质检测仪器。

五、结语

“十三五”期间,国家启动实施农村饮水安全巩固提升工程。充分认识消毒的必要性,选择适宜的消毒技术及设备,规范消毒设备使用,才能确保供水工程的消毒效果稳定,从而有力推动水质提升,切实保障农村居民饮水安全。

参考文献:

[1] 高占义,胡孟,等.农村安全供水工程技术与模式[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
 [2] 中国水利水电科学研究院.农村饮水安全消毒集成技术的推广应用研究报告[R].2013.
 [3] 杨继富,贾燕南,赵翠.农村供水消毒面临的主要问题与对策[J].中国水利,2014(13).

责任编辑 张瑜洪

(上接第52页)定适用范围和优缺点,农村供水工程在选用特殊水处理技术时,需综合考虑水源水质、运行管理水平和经济承受能力等多种因素,有条件时应进行现场中试试验,慎重选择适用水处理技术。

五、农村供水水质保障建议

一是加强水源保护。强化农村水源环境监管及综合整治,防范水源环境风险,从源头保障水质安全。

二是规范水处理工艺设计及建设。严格设计单位准入,规范前期工作程序,注重水处理技术方案比选论证;强化工程建设施工监督制度,规

范水处理设施设备建设安装。

三是加强水处理技术集成创新研究及推广应用。形成适宜我国农村不同水源水质特点的水处理技术模式,建立安全保障技术体系,并加大推广力度。

四是切实做好水质检测工作。加强千吨万人以上农村水厂水质化验室建设及日常检测工作,充分发挥县级农村饮水安全水质检测中心作用,建立水质检测监测与水处理工艺及供水工程运行管理良性反馈机制。

五是强化技术培训。编制农村供水水处理实用技术手册,加强基层供水单位队伍建设和技术培训,建立健

全基层专业技术人才体系,提升工程管理水平。

参考文献:

[1] 水利部农水司.《农村饮水安全巩固提升工程“十三五”规划》编制工作大纲[S].2016.
 [2] 高占义,胡孟,郭晓梅,等.农村安全供水工程技术与模式[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
 [3] 杨敏,曲久辉.水源污染与饮用水安全[J].环境保护,2007(19).
 [4] 叶少帆,王志伟,吴志超.微污染源水处理技术研究进展和对策分析[J].水处理技术,2010(6).

责任编辑 张金慧