

分散户用桶式紫外线消毒装置的应用研究

李连香^{1,2}, 刘文朝^{1,2}, 李铁光^{1,2}, 孙瑞刚³

(1. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054; 2. 水利部农村饮水安全中心, 北京 100054;

3. 中国水利水电出版社, 北京 100038)

摘要: 适宜山丘区分散供水的消毒技术模式尚未系统建立。为进一步保障分散式供水水质, 按照前置净水与紫外线消毒相结合的原则开发桶式紫外线消毒装置。桶式紫外线消毒装置以低压高强度的紫外灯为核心, 以前置 PP 棉过滤器和活性炭过滤器为水质保障单元, 并在华北地区某山丘区分散户进行安装应用。结果表明, 桶式紫外线消毒效果可靠, 原水总大肠菌群 90 CFU/100 mL 情况下, 紫外灯开启 5 min/h 可有效保障出水微生物安全性, 年运行成本仅 110.56 元, 运行维护简便, 具有广阔的应用前景。

关键词: 桶式; 紫外线消毒; 前置净水; 分散户用

中图分类号: TV213.4; TU991.25 文献标识码: A

Applied Research on the Barrel-type Ultraviolet Disinfection Device in Decentralized Water Supply

LI Lian-xiang^{1,2}, LIU Wen-chao^{1,2}, LI Tie-guang^{1,2}, SUN Rui-gang³

(1. China Irrigation and Drainage Development Center, Beijing 100054, China;

2. Rural Drinking Water Safety Center of Ministry of Water Resources, Beijing 100054, China;

3. China Water and Power Press, Beijing 100038, China)

Abstract: At present, the mode of appropriate disinfection technology in decentralized water supply engineering has not yet been established. To improve water quality of decentralized water supply systems, combined with pre-water treatment and ultraviolet disinfection, based on low-pressure and high intensity ultraviolet and water quality security unit (PP cotton filter and activated carbon filter), barrel-type ultraviolet disinfection device is developed in this paper. The actual application effect of barrel-type ultraviolet disinfection device is studied in a household water supply system of northern area. Results show that the barrel-type ultraviolet disinfection device can guarantee the water microbial safety effectively. The ultraviolet lamp radiated 5 min/h can kill 90 CFU/100 mL total coliforms in raw water. The barrel-type ultraviolet disinfection device has a broad application prospect with simple maintenance and low annual running cost.

Key words: barrel-type; ultraviolet disinfection; pre-water treatment; decentralized water supply

消毒是提高水质达标率的有效手段, 受限于自然环境、经

济水平、技术储备、饮水习惯等多重因素, 部分山丘区分散式供水工程缺乏消毒设施, 饮水存在不安全因素。目前集中供水工程采用的消毒方式以二氧化氯消毒为主, 以次氯酸钠消毒、臭氧消毒和紫外线消毒为辅, 不同消毒方式在实际应用中各有优缺点^[1]。然而针对分散式供水工程消毒技术研究较少, 尚未建立适宜的消毒技术模式。

部分农村供水受益户用水意识淡薄和饮水习惯固化, 对药剂消毒后饮用水味道接受程度低。为避免消毒设备和资源浪费, 针对分散式供水工程的消毒方式首选紫外线消毒。紫

收稿日期: 2016-11-16

基金项目: 重大水专项“农村饮用水安全保障技术标准化研究及规模化应用示范”(2015ZX07402003)。

作者简介: 李连香(1986-), 女, 博士, 工程师, 从事农村饮水安全相关研究。

通讯作者: 刘文朝(1964-), 男, 教授级高级工程师。E-mail: Lianx-
iang.0810@163.com。

紫外线消毒效率高、不产生消毒副产物,在给水处理中有很好的前途^[2]。但同时必须清醒地意识到,随着科技发展,水源水质趋向复杂化、多样化,仅采用消毒技术时并不能全面保证水质,需采用净水与消毒相结合的处理方式。

以切实保障分散式供水的饮水水质为宗旨,按照经济实用、运行管理简单的原则,采用紫外线消毒与前置净水相结合的方式,研发桶式紫外线消毒装置。桶式紫外线消毒装置以低压高强度紫外线灯为核心,以PP棉过滤器和活性炭过滤器为水质保障单元,充分利用UV-C(253.7 nm)的高效的杀菌能力。为进一步明确桶式紫外线消毒装置的运行效果,本文选择华北地区某山丘区1处分散户为示范点,开展桶式紫外线消毒装置的应用研究。

1 装置组成及测试方法

1.1 装置组成及工艺流程

按照紫外线消毒与前置净水相结合的原则,桶式紫外线消毒装置以PP棉过滤器和活性炭过滤器为水质保障单元,以低压高强度紫外线灯为核心,集过滤、吸附和消毒等功能于一体。为提高桶式紫外线消毒装置的简便性、经济性和实用性,桶式紫外线消毒装置组成主要包括原水桶、微型水泵、PP棉精密过滤器、活性炭过滤器、紫外线杀菌灯管、电控系统、不锈钢反应腔体,具体配置参数如表1所示。

表1 桶式紫外线消毒装置的配置参数

Tab.1 Configuration parameters of barrel-type ultraviolet disinfection device

序号	部件名称	规格/型号	数量
1	原水桶/个	20~40 L	1
2	微型水泵/台	20 W	1
3	PP棉精密过滤器/台	10寸	1
4	活性炭过滤器/台	10寸	1
5	紫外线杀菌灯管/支	15 W	1
6	紫外线石英套管/支	23 mm×350 mm	1
7	电控系统/套	220 V, 50 Hz	1
8	不锈钢反应腔体/台	304 卫生级	1

通过表1可知,桶式紫外线消毒装置的组成部件PP棉过滤器和活性炭过滤器均是标准件,规格为10寸,便于购买和更换。为使得消毒装置低能耗运行,微型水泵和紫外线灯功率分别为20 W和15 W。为便于加工,不锈钢反应腔体设计为圆柱形,容积为40 L,有效容积约30~35 L,满足家用饮用水需求。消毒装置的示意图如图1所示。

通过图1可知,桶式紫外线消毒装置首先借助功率为20 W的微型水泵将原水输入至水质保障单元中,PP棉和活性炭过滤器主要对原水进行预处理,去除原水中的杂质、色度及异味,降低原水浊度,进一步保障紫外线消毒效果;原水经过过滤后进入紫外线消毒反应腔体,在UV-C(253.7 nm)的照射下,灭杀微生物;紫外线灯安装在不锈钢腔体中间,便于紫外线均匀照

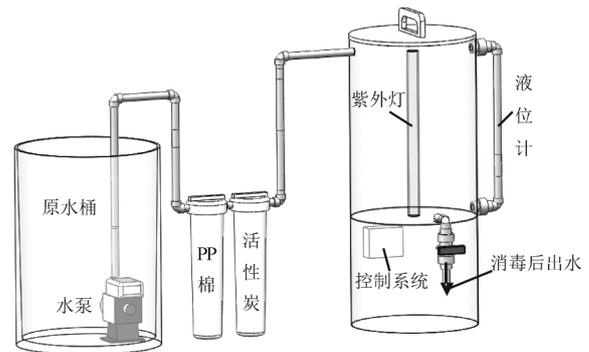


图1 桶式紫外线消毒装置的示意图

Fig.1 Schematic drawing of barrel-type ultraviolet disinfection device

射提高消毒效果。不锈钢反应腔体设液位管、进水管和溢流管。为便于清洗和维修,不锈钢腔体上部设顶盖,顶盖设计为嵌入式;为确保安全,电源接通时严禁开启顶盖。位于不锈钢反应腔体底部的电控系统主要控制紫外线灯管的启停,可按原水水质情况设定紫外线照射时间,间歇式消毒可照射5~10 min/h,必要时采用连续消毒,避免桶内饮用水微生物滋生。

1.2 运行方式

针对桶式紫外线消毒装置的运行操作简便。日常运行主要包括开机进水和紫外线消毒灯启动。消毒设备安装后,首先缓慢打开进水阀门,接通小型潜水泵电源,此时过滤器上排气阀会自动排出管道空气;进水过程中需观察紫外线反应腔体液位,达到上液位时,及时关闭小型潜水泵电源。进水流程结束后,接通桶式紫外线消毒装置的电源,控制系统通电后会自动控制紫外线灯的启停,紫外线照射时间可根据原水水质情况进行设定。如日用水量小或长时间不使用时,可以直接关闭紫外线消毒装置的电源。

针对紫外灯套管的清周期建议1~2周。清洗时务必切断紫外线灯电源,排空紫外线腔体内部饮用水,打开紫外线腔体上盖,用酒精擦拭紫外线灯套管上的水垢,然后用清水冲洗后排出。建议结合原水水质情况确定PP棉和活性炭滤芯的更换周期,通常情况下运行3~4个月更换PP棉和活性炭滤芯。滤芯更换时,需关闭过滤系统进水阀门,排空管道,采用专用扳手更换PP棉和活性炭滤芯。

1.3 测试指标和方法

为明确桶式紫外线消毒装置的消毒效果,原水和消毒后出水测试指标以微生物指标(菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏群)为主,以感官性状和一般化学指标(色度、浊度、臭和味、肉眼可见物、pH、氯化物、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度、耗氧量)和毒理指标(硝酸盐)为辅,共检测15项指标。其中pH值和浊度现场测定,pH值采用英国百灵达P600型pH计测定,浊度利用美国哈希DR2100浊度仪测定。水样的采集、保存以及测试严格按照生活饮用水标准检验方法(GB/T 5750-2006)^[3]进行。针对微生物指标测试需在4 h内完成,采用500 mL广口瓶采集水样,采样瓶经160℃高温灭菌2 h后使用,水样采集前取水龙头需采用酒精棉擦拭进行消毒。所有水

样采集后放置在水样冷藏箱中,尽快返回实验室测定。

2 应用案例及运行效果

2.1 示范点介绍

示范点位于华北地区某山丘区的 1 处分散供水户(谭家,简称为 TJ)。由于分散户 TJ 的住址地势高、距离远,集中供水工程没有覆盖。住户 TJ 以浅层地下水为水源,采用潜水泵抽水,抽水初期水中泥沙含量大,待出水清澈时放置在水缸(容积约 150 L)中储存使用,未经任何处理。住户 TJ 有 4 口人,夏季用水量,每天需开启潜水泵一次,而冬季用水量少,平均 3~4 d 开启潜水泵一次。水缸已使用多年,未进行过清理和消毒,冬季水缸外部增设棉被等保暖设施,以免结冰影响用水。

通过对分散户 TJ 的水源水进行检测,检测结果如表 2 所示。检测结果表明分散户 TJ 的水源水主要存在总大肠菌群和浊度超

标的问题,其中总大肠菌群 90 CFU/100 mL,浊度为 4.4 NTU。

2.2 消毒效果

桶式紫外线消毒装置安装在 TJ 的室内,便于取水;冬季室内有采暖设施,便于防冻。装置两侧留有充足的空间,便于操作、测试和检修。桶式紫外线消毒装置仅用电即可维持运行,用电为交流电 220 V \pm 10 V,50 Hz,最大工作压力不超过 0.3 MPa,以免发生爆管。

为进一步明确带有前置净水系统的桶式紫外线消毒效果,桶式紫外线消毒装置安装后,开展现场试验。针对桶式紫外线消毒装置的运行参数,关键是确定紫外灯照射时间。由于分散户 TJ 的原水总大肠菌群 90 CFU/100 mL,为确保灭菌效果,紫外灯照射时间设为 5、10 min/h 和连续消毒,试验周期均为 3 h,每小时采集水样进行测试,试验周期内测试 3 次,测试结果求平均值。测试结果如表 2 所示。

表 2 原水和消毒后出水水质检测结果

Tab.2 Water quality results of raw water and water after disinfection

类别	测试指标	GB5749-2006 ^[4]	原水	5 min/h 消毒后	0 min/h 消毒后	连续消毒 1 h 后
		(附表 4)				
微生物指标	总大肠菌群/[CFU·(100 mL) ⁻¹]	不得检出	90	未检出	未检出	未检出
	耐热大肠菌群/[CFU·(100 mL) ⁻¹]	不得检出	未检出	未检出	未检出	未检出
	大肠埃希氏群/[CFU·(100 mL) ⁻¹]	不得检出	未检出	未检出	未检出	未检出
	菌落总数/(CFU·mL ⁻¹)	500	8	未检出	未检出	未检出
感官性状和一般化学指标	色度/度	20	5	<5	<5	<5
	浊度度/NTU	3	4.4	0.4	0.5	0.5
	臭和味	无异臭、异味	无	无	无	无
	肉眼可见物	无	有泥沙	无	无	无
	pH	6.5~9.5	7.8	7.74	7.82	7.72
	氯化物/(mg·L ⁻¹)	300	33	31.9	31.1	30.9
	硫酸盐/(mg·L ⁻¹)	300	59.2	51.3	52.0	51.0
	溶解性总固体/(mg·L ⁻¹)	1500	482	440	450	440
	总硬度(CaCO ₃ 计)/(mg·L ⁻¹)	550	148	147	150	150
	耗氧量(COD _{Mn} , O ₂ 计)/(mg·L ⁻¹)	5	1.06	1.53	1.45	1.34
毒理指标	硝酸盐(以氮计)/(mg·L ⁻¹)	20	15.8	14.6	15.2	15.3

由表 2 可见,桶式紫外线消毒装置安装后,现场所选择的紫外灯照射时间 5、10 min/h 和连续消毒 3 个试验方案,出水总大肠菌群和菌落总数等微生物指标符合生活饮用水卫生标准(GB5749-2006),表明桶式紫外线消毒设备有效保障了出水微生物安全性。结合分散户 TJ 水源水质情况,紫外灯照射时间选择 5 min/h 即可。

通过表 2 可知,前置净水系统有效截留水源水中的泥沙、颗粒物等,原水浊度从 4.4 NTU 降低至 0.4~0.5 NTU,显著降低了原水浊度,保障了紫外线杀菌效果。同时,原水中氯化物、硫酸盐、硝酸盐、溶解性总固体含量均有所降低,但降低幅度不大,表明前置净水系统对氯化物等没有显著去除效果。此外,值得一提的是不同紫外线照射时间后,出水指标氯化物、硫酸盐、硝酸盐(以氮计)、溶解性总固体、总硬度(以 CaCO₃ 计)、耗氧量(COD_{Mn}法,以 O₂ 计)的含量有略微差别,主要由于测试误

差引起。

2.3 运行成本分析

针对桶式紫外线消毒装置的运行成本主要包括电费和滤芯更换费用。其中电费主要包括紫外灯管电费和潜水泵电费,由于紫外灯管每小时照射 5 min,全年运行时间 730 h,紫外灯功率 15 W,全年用电 11 kWh,电费按照 0.5 元/kWh 计,紫外灯用电 5.5 元/a;针对潜水泵电费,按照家庭用户每天生活饮用水 40 L 计(饮水和做饭),全年用水 14 600 L,小型潜水泵流量为 40 L/min,功率为 20 W,全年累计用电 0.12 kWh,电费为 0.06 元/a;紫外灯管和潜水泵用电总费用为 5.56 元。针对每年更换 PP 棉和活性炭滤芯的费用,PP 棉滤芯按照 15 元/个计,活性炭滤芯按照 20 元/个计,每年各需要 3 个,共计 105 元。综上,桶式紫外线消毒装置的年运行成本约为 110.56 元。

3 应用前景分析

受限于自然地理条件、水资源短缺等多种因素,分散式供水依然存在,保障分散用水户饮用水安全十分紧迫。从消毒角度分析,桶式紫外线消毒装置有效保障了出水微生物安全性,具有杀菌快、无二次污染、运行维护简单的特点。鉴于目前很多集中供水工程对消毒重视程度不够,消毒剂投加不规范,消毒设施有效使用率低,桶式紫外线消毒装置可作为集中式供水工程末梢水的消毒屏障,有效缓解远距离末梢水消毒剂余量不足的问题。

从经济角度分析,桶式紫外线消毒装置年运行成本低。从长远角度而言,末端/分散户用消毒装置可以降低水处理成本。世界卫生组织、食品与营养协会制定了日饮水量的建议值(表3),由于人均日饮水量受温度、湿度、外界环境、体质等各方面因素的影响^[5-7],但数据分析显示人均日饮水量低于5 L/(人·d)。农村集中供水工程供水量为60 L/(人·d)计,饮水量5 L/(人·d)计,如采用带有前置净水系统的桶式紫外线消毒装置,可以大幅降低水处理成本,因为烹任用水和饮用水不足生活用水的10%,换句话说大部分生活用水没有必要达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006),这一点是与陶涛^[8]的报道是一致的。

表3 关于人均日饮水量的建议值

Tab.3 Recommended values of daily water consumption

类别	WHO 建议饮水量/(L·d ⁻¹)		食物与营养协会 建议饮水量/ (L·d ⁻¹)
	日常情况	高强度 体力运动	
儿童	1.0	4.5	0.7~1.7
成年女性	2.2	4.5	2.7
成年男性	2.9	4.5	3.7

从运行管理角度而言,桶式紫外线消毒装置无须原料,无

(上接第182页) 包括水厂管护人员培训、水质检测、药剂供应、水处理和消毒设施的定期维护、供水设施大修、突发事件应急处置等。

加强包虫病区饮水安全工程水质检测与监测,出厂水浊度应尽可能控制在1 NTU以下。目前尚未制定水中包虫病虫卵检测方法的标准,建议加快研究适宜的水中包虫病虫卵检测方法。在标准方法出台前,建议包虫病区的县级农村饮水安全水质检测中心可按照“微滤膜富集、煮沸灭活、显微镜观测”的方法开展出厂水中包虫病虫卵的检测,出厂水富集水量不小于500 L。

加大包虫病区的宣传力度,通过多种方式全面开展包虫病的危害、地表水和人畜共饮风险、环境卫生、健康教育宣传,普及干净水洗手、安全水饮用、放心水做饭的生活习惯,提高包虫病区牧民参与积极性。

4 结 语

生活饮用水安全是预防人患包虫病的基本卫生条件,结合

需专职管理人员,仅用电即可维持设备运行,运行维护简单。运行维护内容主要涉及紫外灯套管清洗、PP棉滤芯和紫外灯管的更换,其中紫外灯套管清洗周期为1~2周;PP棉滤芯的更换周期为3~4个月,具体更换周期需结合原水水质情况而定;紫外灯管使用寿命为8000 h,紫外灯照射时间5 min/h,全天24 h开启设备情况下,更换周期为11 a。如桶式紫外线消毒装置安装数量多,可委托专业公司进行日常设备的运行维护。

4 结 论

桶式紫外线消毒装置以低压高强度紫外灯为核心,以PP棉和活性炭过滤器为水质保障单元,装置组成和工艺流程简单实用。结合华北地区某山丘区1处分散户家的实际应用,桶式紫外线消毒设备紫外灯开启时间5 min/h情况下,可有效保障出水微生物安全性,年运行成本仅110.56元。通过消毒效果、经济、运行管理等方面综合分析,桶式紫外线消毒装置具有广阔的应用前景。 □

参考文献:

- [1] 贾燕南,杨继富,赵翠,等.农村供水消毒技术及设备选择方法与标准[J].中国水利,2014(13):47-50.
- [2] 刘文君.现代给水处理消毒技术的发展[J].给水排水动态,2010(1):20-23.
- [3] GB/T 5750-2006 生活饮用水标准检验方法[S].
- [4] GB/T 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S].
- [5] Grandjean A. Water Requirements, Impinging Factors, and Recommended Intakes[M]. World Health Organization, 2004(8):8-14.
- [6] Howard, Jamie Bartram. Domestic Water Quantity, Service, Level and Health[M]. World Health Organization, 2003:6-7.
- [7] Peter H, Gleick M. Requirements for human activities: meeting basic needs [J]. Water International, 1996(21):83-92.
- [8] Tao T, Xin K. Public health: A sustainable plan for China's drinking water [J]. Nature, 2014, 511(7511):527-528.

包虫病虫卵的传播途径、形体特征、环境抵抗力等特性,在水源及水厂卫生防护、水处理措施及灭活方式等方面提出防止包虫病虫卵通过水的途径传播的几点建议。同时结合包虫病区供水状况,初步提出集中式供水工程、分散式供水工程、施工安全和运行管理的要点和注意事项,重点做好水源选择、加强过滤、卫生防护、水质检测和专业化服务,确保工程建设质量、供水和用水安全、工程良性运行。同时应加大宣传培训力度,并培养农牧民良好的用水卫生习惯,有效预防人患包虫病。 □

参考文献:

- [1] 朱曜宇,伍卫平.国内外包虫病防治和研究进展[J].中国病原生物学杂志,2016,11(3):284-286.
- [2] 何多龙.新西兰、澳大利亚控制包虫病考察报告[J].中国人兽共患病学报,2001,17(5):133-134.
- [3] 贾万忠.我国包虫病的防治现状[J].兽医导刊,2011(6):30-33.