



DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2022. 17. 006

一种梯户式管道直饮水系统的中试效果分析

李清华, 侯英娜, 费霞丽, 付欢

(厦门市政水务集团有限公司, 福建 厦门 361001)

摘要: 梯户式管道直饮水系统是对供水模式的一种优化,能够短期内改善老旧小区居民饮用水水质。以市政管网水为原水进行中试,探讨了3种二次消毒剂的消毒效果和直饮水系统对市政管网水水质的改善情况。结果表明,臭氧发生器每小时循环开启10 min时,消毒效果优良,甲醛和溴酸盐均无检出,优于次氯酸钠和二氧化氯的消毒效果。水质监测对比表明,直饮水系统出水的浊度、色度和细菌总数等指标明显优于市政管网水,饮用水的感官性状和生物安全性均得到提高。此外,直饮水系统安装运行增加的水费最高约为0.13元/L。

关键词: 梯户式管道直饮水系统; 市政管网水; 臭氧消毒

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)17-0034-05

Performance Analysis on Pilot-scale Direct Drinking Water System in Buildings

LI Qing-hua, HOU Ying-na, FEI Xia-li, FU Huan

(Xiamen Municipal Water Group Co. Ltd., Xiamen 361001, China)

Abstract: Direct drinking water system in buildings is an optimization of the existing water supply system, which can improve the drinking water quality for residents in old residential communities in a short time. A pilot test was carried out to investigate the performances of three secondary disinfectants for disinfection of raw water from a municipal pipe network, and the effect of direct drinking water system on improvement of municipal pipe network water quality was discussed. When the ozone generator was operated for ten minutes every one hour, excellent disinfection performance was obtained, and formaldehyde and bromate were not detected, indicating that the disinfection performance was better than that of sodium hypochlorite and chlorine dioxide. The comparison of monitoring data showed that turbidity, chromaticity and total number of bacteria in the water from the direct drinking water system were significantly better than those from the municipal pipe network, and the sensory characteristics and biological safety of drinking water were improved. In addition, the operational cost was increased by approximately 0.13 yuan/L at the highest after the installation and operation of the direct drinking water system.

Key words: direct drinking water system in buildings; water from municipal pipe network; ozone disinfection

1 “梯户式管道直饮水”概念的提出

厦门市近年来的饮用水水质综合合格率均大于 99.9%,其中出厂水合格率为 100%,管网水合格率 >99.8%。尽管城市供水整体符合国家和行业规范,但局部区域存在浊度、色度等水质指标偶尔超标的情况,老旧小区尤为突出。尽管相关部门已着手处理老旧小区改造问题,但难于短期内完成,而且老旧小区空间有限,以小区为单位的常规直饮水改造难度很大,因此亟需一种新型的供水改造模式,既能作为过渡方式在管网彻底改造之前于短期内改善居民饮用水水质,又适用空间有限的老旧小区。为此,以“楼单元”为单位在入户总管前加装一体化直饮水设备,处理水由泵通过专用管道送往用户,该模式称为“梯户式管道直饮水”模式,龙头水质可达到《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)。

2 “梯户式管道直饮水”的研究

2.1 一体化直饮水系统工艺流程

一体化直饮水设备的进水为市政管网水,需解决的主要污染问题为管道老化引起的浊度、色度、细菌总数等超标,故在微滤与超滤之间增加炭滤而形成三级过滤,处理后水通过二次消毒控制细菌总数等指标^[1-5]。综上,梯户式管道直饮水的整体工艺流程如图 1 所示。

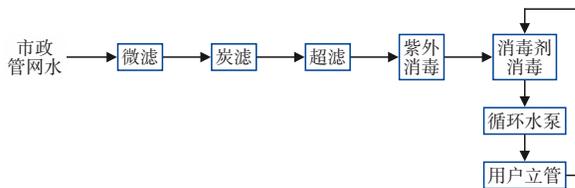


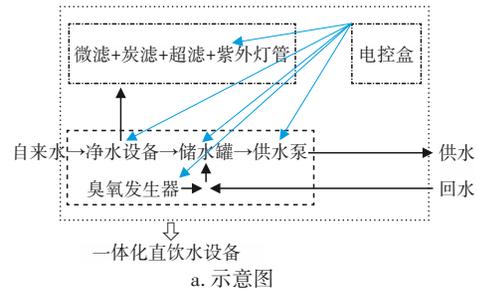
图 1 一体化直饮水系统工艺流程

Fig.1 Flow chart of integrated direct drinking water system

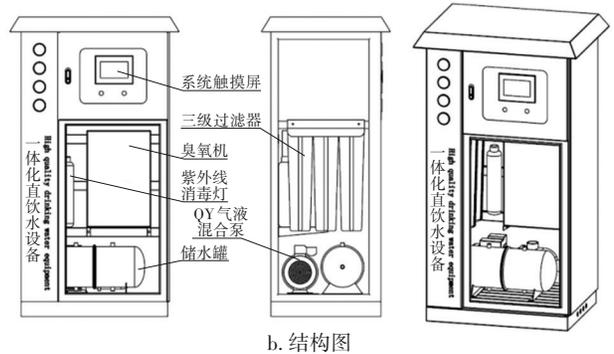
2.2 一体化直饮水设备

按照实际需求,对研发的一体化直饮水设备的总体要求为:整体紧凑美观,占地面积小,适应梯户用水量且便于安装。一体化直饮水设备见图 2。

该设备集成了三级过滤、臭氧消毒、储水罐和循环泵,同时利用 PLC 通过控制面板上的手动/自动开关实现就地和自动控制。就地手动控制模式时,自动控制系统仅监控设备运行工况。自动控制模式时,可根据程序自动进行优化控制、顺序控制或对已具备联动功能的工艺设备机组下达启停指令。



一体化直饮水设备 a. 示意图



b. 结构图

图 2 一体化直饮水设备

Fig.2 Integrated direct drinking water equipment

2.3 原有建筑供水管网缺陷及改造设计

传统的建筑供水管网仅有 1 根立管,导致入户支管过长,其中大量的水并不能参与循环,当用水量较低或长时间不用水时会导致用户支管出现“死水”,细菌超标风险高,饮用水微生物安全难以保证。本研究设计采用双立管,管材设计为不锈钢管(SUS304, DN15),干管设计流速为 1.0~1.2 m/s,支管设计流速为 0.6~0.8 m/s,管网布置形式见图 3。

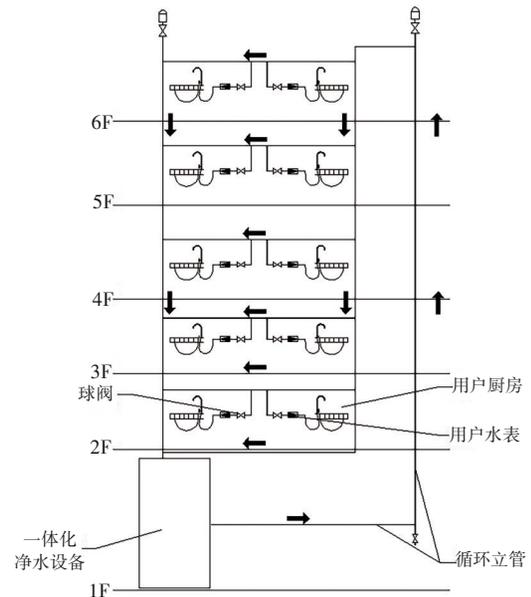


图 3 专用管线布置示意

Fig.3 Schematic diagram of dedicated pipeline layout

在原管网中增设立管,使支管长度小于2 m,加强了管网循环,大大减少了管网中的“死水量”。经改造后的管网系统灵活度高,适用于不同楼层高度和布局,与一体化直饮水设备配套使用,根据安装环境、使用水量等调整循环周期,实现了节能降耗,提升了供水安全保障。管材经过优化后,增强了管网的耐腐蚀性能。

2.4 消毒剂比选实验

中试基地位于厦门市水务集团监测站实验楼内。系统共跨5个楼层,管道全长约50 m,材质为304不锈钢。市政供水经微滤—炭滤—超滤三级过滤后分为四路,一路作为对照,其余三路分别采用次氯酸钠、二氧化氯和臭氧消毒^[6-8],每路管道在各个楼层设有取水口,用于模拟与水箱不同距离的用户,工艺流程如图4所示。

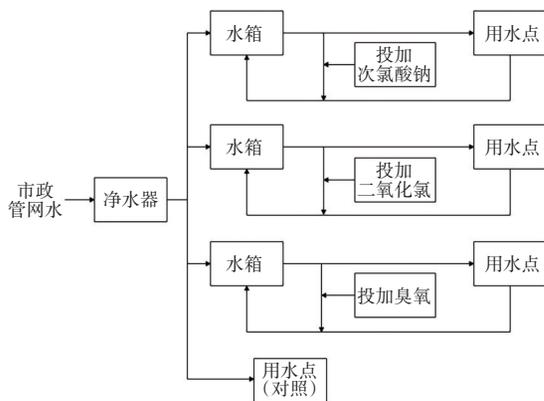


图4 中试流程

Fig.4 Flow chart of pilot test

通过分析近年来市政管网水中余氯含量与细菌总数的关系可以发现,在管网水中余氯含量低于0.3 mg/L、剩余二氧化氯含量低于0.05 mg/L的条件下,存在微生物超标风险。由此初步确定3种消毒剂的投加量范围(由于采用臭氧发生器直接投加,无法准确衡量臭氧投加量,故以循环时间表示),即次氯酸钠为0.3~0.5 mg/L,二氧化氯为0.05~0.2 mg/L,浓度为70%的臭氧循环时间为10 min/h(每1 h开启臭氧发生器10 min,依此类推)、10 min/2 h、20 min/h、20 min/2 h,通过实验优化,以12 h后距水箱出口不同位置出水的消毒剂余量和细菌总数作为评价指标,确定消毒剂最佳投加方案。3种消毒剂在最佳投加条件下,以稳定运行后的消毒副产物含量^[9-10]以及自动化控制实现的难易程度作为选择依据。

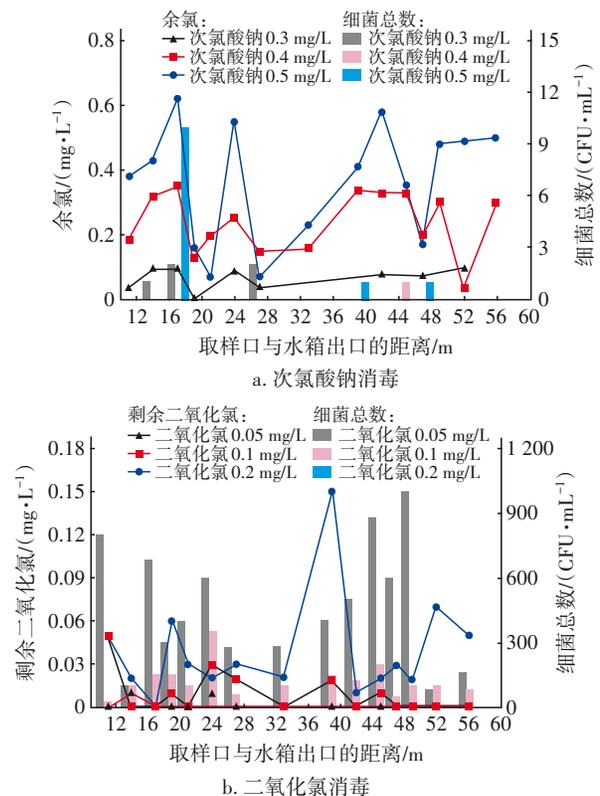
2.5 一体化直饮水设备示范区概况

选取3个水质问题突出的小区进行了“梯户式管道直饮水”试点,分别位于两个老旧小区和1个保障性住房,后续以其中A小区为例进行研究。该小区建于1987年,建筑面积为 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^2$,共有9幢12梯184户546人,楼房高度为7层,其中常住人口为484人、流动人口为62人。选择其中一栋两个梯位作为试点。一体化设备位于经修葺后的小区废弃原水泵房,占地面积约为 20 m^2 。

3 结果与讨论

3.1 消毒剂消毒效果比较

不同消毒剂投加量下,运行12 h后距水箱出口不同距离的取样口出水余氯和细菌总数检测结果见图5。当次氯酸钠的理论投加量为0.3、0.4 mg/L时,各取样点余氯含量稳定在0.1和0.2~0.3 mg/L左右;当理论投加量为0.5 mg/L时,余氯含量差异较大,最低值为0.07 mg/L,最高值为0.57 mg/L。3种投加水平下细菌总数均基本无检出,符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的要求。依据最少药剂投加原则,选定次氯酸钠最优投加量为0.3 mg/L。连续运行证实,系统在该条件下可稳定良好运行,消毒效果显著。



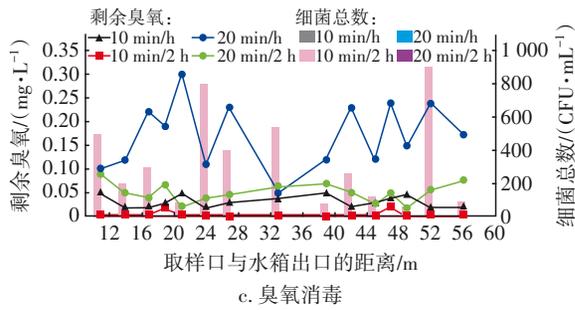


图5 消毒剂投加量与余量、细菌总数的关系

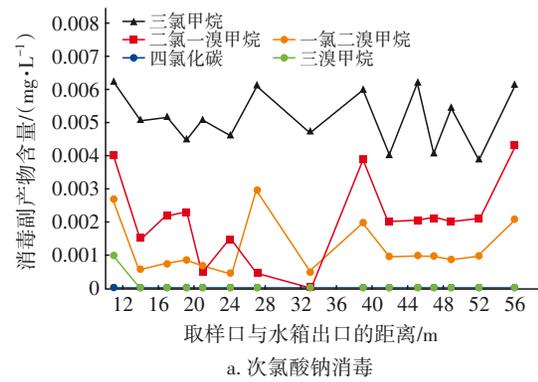
Fig.5 Relationship between disinfectant dosage and residual content or total number of bacteria

当二氧化氯的理论投加量为0.05~0.1 mg/L时,12 h后各取样点几乎检测不到剩余二氧化氯,相应取样点的细菌总数也出现不同程度的超标。当投加量提高到0.2 mg/L时,剩余二氧化氯有明显检出,相应细菌总数基本无检出。故选定二氧化氯最优投加量为0.2 mg/L。连续运行证实,系统在该消毒条件下也可稳定良好运行,消毒效果显著。

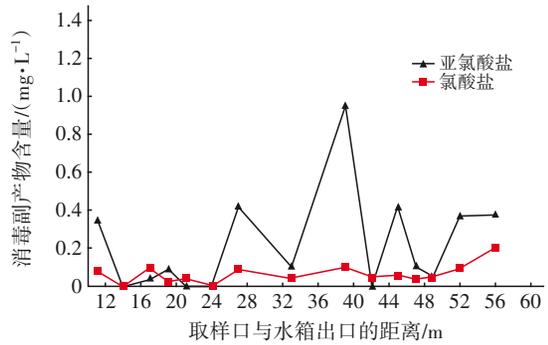
投加臭氧的管路数据显示,每2 h开启臭氧发生器10 min,各取样点几乎检测不到剩余臭氧量,细菌总数呈现不同程度的超标;每1 h开启10 min和每2 h开启20 min,剩余臭氧量为0.02~0.09 mg/L,细菌总数均无检出;每1 h开启20 min,剩余臭氧含量较高,个别点位甚至达到出厂水国家标准限值(0.3 mg/L)。

综合上述数据,臭氧有检出(≥ 0.02 mg/L)的情况下,微生物指标即可达标。另外,臭氧分解速度快,且稍高浓度即会带来不良臭味,因此降低每次臭氧发生器的开启时间、同时缩短循环周期,是保证微生物安全同时兼顾感官性状的最佳方案,故选定臭氧发生器每1 h开启10 min。连续运行证实,系统在该消毒条件下能够稳定良好运行,并且消毒效果显著。

对3种消毒剂的消毒副产物进行检测,结果如图6所示。其中臭氧消毒管路中甲醛和溴酸盐的含量都小于检出限。使用次氯酸钠和二氧化氯消毒时,各种副产物均有不同程度的检出,其中个别点位的亚氯酸盐甚至超过国家标准限值(0.7 mg/L)。另外,次氯酸钠和二氧化氯的使用还需要相关药剂的储备与管理,臭氧则可通过臭氧发生器实现自动控制投加。因此,综合考虑消毒副产物产生量及自动化实现的难易程度,最终选择臭氧消毒。



a. 次氯酸钠消毒



b. 二氧化氯消毒

图6 稳定运行后主要消毒副产物检出情况

Fig.6 Detection of main disinfection by-products after stable operation

3.2 一体化直饮水设备运行效果评价

设备安装调试、冲洗、消毒并正常运转后,对水质进行了连续6个月的定期检测,检测结果均符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的要求。与市政管网水水质相比,部分指标数值明显降低。以A小区为例:监测期间市政管网水色度 $< 5 \sim 15$ 度,浊度为0.1~0.5 NTU,菌落总数为0~80 CFU/mL;设备出水色度持续小于5度,浊度为0.08~0.11 NTU,细菌总数为无检出。可见,市政管网水水质出现较大波动时,一体化直饮水设备出水水质稳定优良,且二次消毒效果良好。

3.3 建设运行成本

根据试点实际运行测算,一体化净水设备固定资产投资为25 000元,专用管线为1 000元/户,分别按照10年和30年回收,折旧费则因开户数不同而费用不同,在30户情况下,费用约为3 500元/年;每台设备年运行维护费用约10 000元/年(包含水质检测费用6 800元/年、耗材更换费用2 000元/年、水电费约1 000元/年)。经测算,每户每天用水量一般为10~15 L,在考虑10%的投资回报率下,以实际用水量计,水费最高增加约0.13元/L,每户水费约为

461.7元/年(按照30户测算)。

4 结论

梯户式管道直饮水工程是一项改善老旧小区居民饮用水水质的惠民工程,经过集成的一体化直饮水设备再处理后,由专用管道送往居民饮用水龙头,老旧小区的饮用水水质得到大幅提升,而专业人员维护和定期的水质检测也在最大程度上保证了用水安全,在试点推行的几个小区,获得了居民的充分认可。

然而,现阶段仍存在的问题则是检测等带来的运行维护费用较高,限制了该项工程的进一步推广。因此,安全合理的维护与水质检测方案需要进一步研究和探讨。

参考文献:

- [1] 李圭白,田家宇,齐鲁. 第三代城市饮用水净化工艺及超滤的零污染通量[J]. 给水排水, 2010, 36(8): 11-15.
LI Guibai, TIAN Jiayu, QI Lu. The third generation of urban drinking water treatment process and zero-membrane fouling flux of ultrafiltration [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(8): 11-15 (in Chinese).
- [2] 范小江,张锡辉,苏子杰,等. 超滤技术在我国饮用水厂中的应用进展[J]. 中国给水排水, 2013, 29(22): 64-70.
FAN Xiaojiang, ZHANG Xihui, SU Zijie, et al. Application of ultrafiltration technology in drinking water treatment plants in China [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22):64-70(in Chinese).
- [3] 袁文璟,王朝勇,刘洁,等. 混凝沉淀/超滤工艺改善苏州河道水的感官品质[J]. 中国给水排水, 2019, 35(23):78-84.
YUAN Wenjing, WANG Chaoyong, LIU Jie, et al. Improving sensory quality of river water by coagulation sedimentation/ultrafiltration process [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(23): 78-84 (in Chinese).
- [4] 曾庆品,李星,杨艳玲,等. 活性炭/超滤工艺提升和保障二次供水安全性研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(15):44-48.
ZENG Qingpin, LI Xing, YANG Yanling, et al. Improvement and guarantee of secondary water supply safety by using activated carbon/ultrafiltration process

- [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(15):44-48 (in Chinese).
- [5] 王世忠. 活性炭与膜技术对水中天然有机物去除中试研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
WANG Shizhong. A Pilot Scale Study of Activated Carbon and Membrane for Removing Natural Organic Carbon [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013(in Chinese).
- [6] 陈璐. 药剂法应用于二次供水安全消毒的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011.
CHEN Lu. Study on the Application of Reagents to the Secondary Water Supply [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011(in Chinese).
- [7] 吴清平,孟凡亚,张菊梅,等. 臭氧消毒中溴酸盐的形成、检测与控制[J]. 中国给水排水, 2006, 22(16): 12-15.
WU Qingping, MENG Fanya, ZHANG Jumei, et al. Formation, detection and control bromate in the ozone disinfection of drinking water [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(16):12-15(in Chinese).
- [8] 朱昱,陈卫国. “紫外线+氯”联合消毒技术用于十堰市第三水厂工程[J]. 中国给水排水, 2013, 29(18): 56-59.
ZHU Yu, CHEN Weigu. Application of combined disinfection technology of UV radiation and chlorine in Third Waterworks in Shiyan City [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18):56-59(in Chinese).
- [9] VON GUNTEN U. Ozonation of drinking water: part II. disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine[J]. Water Research, 2003, 37(7):1469-1487.
- [10] 陈国光,朱慧峰,钱静汝. 消毒方式及消毒副产物控制研究[J]. 给水排水, 2014, 40(10):9-13.
CHEN Guoguang, ZHU Hui Feng, QIAN Jingru. Study on the disinfection methods and disinfection byproducts control [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(10):9-13(in Chinese).

作者简介:李清华(1969-),男,福建厦门人,大学本科,教授级高级工程师,长期从事给排水工程的规划、研究及建设工作。

E-mail:liqinghua66@sina.com

收稿日期:2020-11-10

修回日期:2021-01-21

(编辑:任莹莹)