

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.19.007

# 智能型次氯酸钠补加氯设备在二次供水中的应用

向平, 李玉平, 张智, 陈昊天  
(重庆大学 环境与生态学院, 重庆 400045)

**摘要:** 建筑二次加压供水系统中,由于存在管道或水池(箱)内水体滞留时间较长等因素,容易造成管网末梢余氯浓度不达标或微生物滋生等水质安全问题。基于此,将智能型次氯酸钠发生器用于二次供水生活饮用水补加氯,并分析了补加氯的控制方式、效果和运行成本。此系统采用高、低位水箱进口端联合补加氯方式,当水箱出口端余氯含量低于0.2 mg/L时,智能型次氯酸钠发生器根据水箱水量按需制备次氯酸钠,并进行自动稀释投加。结果表明,该设备用于二次供水系统补加氯时,控制简单,管网末梢余氯稳定,提高了供水安全性。

**关键词:** 二次供水; 余氯; 补氯; 次氯酸钠

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)19-0043-06

## Application of Intelligent Sodium Hypochlorite Chlorination Equipment in Secondary Water Supply

XIANG Ping, LI Yu-ping, ZHANG Zhi, CHEN Hao-tian

(College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** In building secondary pressurized water supply systems, water quality safety problems such as residual chlorine lower than the standard value at the end of pipe network or microbial breeding take place easily due to the long retention time of water in pipes or pools (tanks). Based on this, an intelligent sodium hypochlorite generator was applied to supplement chlorine to the secondary water supply drinking water, and the operational control mode, performance and operational cost of chlorination were analyzed. In this system, chlorine was supplied at the inlets of upper and lower cisterns together. When the residual chlorine at the outlet of the cistern was lower than 0.2 mg/L, the intelligent sodium hypochlorite generator would produce sodium hypochlorite according to the volume of the cistern, and dilute and supplement sodium hypochlorite automatically. The equipment had the advantages of simple control and stable residual chlorine at the end of the pipe network and improves the safety of the water supply when it is applied in chlorination of the secondary water supply system.

**Key words:** secondary water supply; residual chlorine; supplementing chlorine; sodium hypochlorite

饮用水自给水厂供出后,经过市政供水管网和建筑供水管网等组成的庞大供水体系后到达用户终

端,保证并维持出厂水和管网末梢的余氯浓度是保障饮用水水质安全的措施之一。余氯在水中会发生

基金项目: 重庆市建设科技项目(城科字[2020]第5-2)

通信作者: 张智 E-mail: zhangzhicq@126.com

自然衰减,影响余氯衰减的因素有水温、停留时间和原水水质等。特别是当水温超过20℃后,水中余氯衰减速度明显加快,难以满足管网末梢余氯浓度要求。市政管网中途加氯可以维持管网水中余氯浓度,用以抑菌、灭菌,从而保障供水安全。但若管网中途加氯过少,则不能保证管网末梢余氯浓度;若加氯过量,则容易造成补氯点附近用户的余氯浓度过高,引起口感不适或消毒副产物含量增加<sup>[1-2]</sup>。而且,有研究发现<sup>[3]</sup>,一味提高市政管网中途补加氯量,难以符合管网末梢余氯浓度要求。

用户端水质不合格现象容易发生在建筑二次加压供水系统中,主要原因是管道和水池内壁水垢、管道或水池(箱)内水体滞留时间较长等,会导致余氯衰减过快,甚至滋生介水传播疾病病原微生物,导致水质恶化<sup>[4-5]</sup>。有研究对上海金山区13个居民区进行二次供水采样分析,发现水质合格率仅为74.19%<sup>[6]</sup>。某疾控中心对二次供水末梢水质的调查发现<sup>[7]</sup>,在抽检的240份供水样品中,合格率为80.4%;在不合格的样品中,余氯不合格占10%左右,另外有部分样品出现浊度、铁、色度、细菌总数、大肠菌群、pH等指标不合格现象。因此,二次供水水质安全问题已成为供水系统水质安全保障的瓶颈。

## 1 氯消毒在建筑二次加压供水中的应用

根据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019),生活饮用水水池(箱)应设置消毒装置。氯消毒剂具有广谱的杀菌能力,而且成本低、操作简便,特别是余氯在水中能够保持较长时间,具有持续消毒的作用。即使受到了氯消毒副产物等因素的影响,加氯消毒仍然是目前全球供水行业的主流消毒方式。之前,二次供水设施补加氯技术在实际应用中受到了安全性和补加氯设备日常运行维护等问题的限制。关于安全性问题,一方面二次供水水箱作为城市供水系统中最接近居民生活的设施,必须选择一种生产和储存都安全环保的氯消毒剂;另一方面由于二次供水水箱到用户终端的距离非常短,不能直接投加高浓度的氯消毒剂到水箱,否则会带来健康风险。在日常运行维护方面,由于城市二次供水设施数量多、分布广,而居民小区缺乏具备必要技能的设备维护人员,如何在几乎无人值守的情况下长时间保证补加氯设备的可靠运行,以

随时满足居民实时用水的需求是一个必须解决的问题;另外,相比于管网,二次供水水箱中的供水量要小很多,相应补加氯量不大,需要补加氯设备能够根据水箱实际的水量和水质情况,准确控制低剂量消毒剂的生产和补加。

液氯消毒存在氯气泄漏或氯罐存储等安全风险。因此,以食盐为原料,现场制备生产和储存都安全的次氯酸钠消毒剂是居民区氯消毒剂的首选。此外,在次氯酸钠消毒过程中消毒副产物也较少<sup>[8]</sup>。随着传感器、智能控制、物联网等技术的发展,二次供水水箱中的水量以及余氯、浊度、pH等水质参数的实时监测得以实现。基于获得的水质和水量数据,智能型次氯酸钠补加氯系统计算出二次供水水箱中需要补加的氯量,实现对次氯酸钠发生器的启动、运行和停止,以及对次氯酸钠消毒液原液自动稀释和投加流程的自动控制,能达到无人值守自动运行;智能控制技术赋予设备具有运行状态自动监测、自我诊断、故障自动报警等功能;依托物联网技术,可实现供水区域内二次供水水箱补加氯设备的远程控制和联动。这些技术的应用,在提高末端补加氯设备安全性、可靠性、精准补加氯的同时,也极大地降低了对日常运行维护人员的需求。迄今为止,不少有关二次供水补加氯的发明专利陆续公开、获得授权<sup>[9-14]</sup>,并加以应用,均取得了良好效果。

## 2 智能型次氯酸钠补加氯设备的应用

### 2.1 工程概述

工程所在区域为某科技园区,距离给水厂约5 km,市政管网无中途加氯。园区面积约为6 hm<sup>2</sup>,人口约为1 000人。最高月用水量约为5 000 m<sup>3</sup>。园区内有4栋写字楼,其中1#、2#为高层(17层),3#、4#为多层(4层),3层以上用户为二次供水,采用水泵、低位水箱和高位水箱联合的二次供水系统。在1#楼负一层设有区域供水泵房和低位水箱(容积为33 m<sup>3</sup>),楼顶设有区域二次供水高位水箱(容积为14 m<sup>3</sup>),供给园区内所有3层楼以上的生活用水。

工程采用XS-10型间歇式次氯酸钠发生器作为二次供水系统补加氯装置,该装置由次氯酸钠制备、次氯酸钠稀释和投加、在线监测和报警等系统组成。补加氯装置的水质在线监测点位于水箱出口端,每1 min反馈一组水质参数。次氯酸钠投加点在1#楼顶高位水箱的进水口处和负一层低位水箱

的进水口处。

未采用补加氯的低位水箱出口余氯情况如图1和图2所示。从图1可以看出,在多数情况下余氯浓度能达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)(简称“国标”)。但在周末及节假日之后,余氯含量会存在低于管网末梢余氯浓度0.05 mg/L要求的时段,尤其是在气温较高的季节,由于节假日园区用水量少,水在水箱中的停留时间过长,高温加速了余氯的衰减。

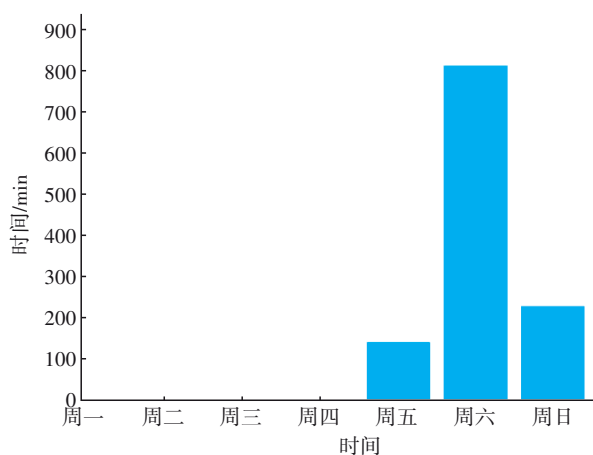


图1 2021年5月6日—6月8日低位水箱出口端余氯低于0.05 mg/L的累积时间分布

Fig.1 Cumulative time distribution of residual chlorine below 0.05 mg/L at the outlet of low-level water tank from May 6 to June 8, 2021

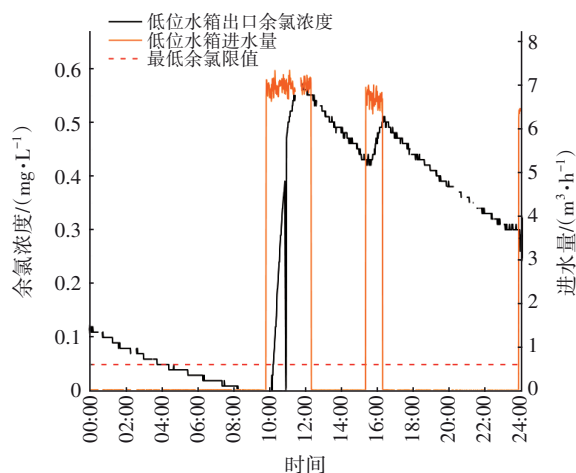


图2 2021年5月8日低位水箱进水量和出口端余氯浓度的变化(不加氯)

Fig.2 Changes of water inflow and residual chlorine concentration at outlet of low-level water tank on May 8, 2021 (no chlorine added)

图2反映了5月8日零点后的余氯变化,因为水

滞留在水箱中,余氯一直在衰减,直至早晨8点30分左右,随着用户用水量的增加,水箱进水量和余氯浓度才开始回升。

## 2.2 补加氯的控制方式

国标规定管网末梢余氯不低于0.05 mg/L,世界卫生组织《饮用水水质准则》(第4版)规定管网末端游离余氯量应不小于0.2 mg/L。为了不因余氯浓度过高影响口感,也不因过低不能发挥其在管网中的抑菌能力,有国内学者认为管网末梢和末端余氯浓度应分别提高至0.3和0.5 mg/L<sup>[3]</sup>;也有研究表明<sup>[15]</sup>,水箱供水的二次供水小区入口余氯浓度冬季不低于0.35 mg/L,夏季不低于0.45 mg/L,水箱出水余氯浓度冬季不低于0.25 mg/L,夏季不低于0.35 mg/L;龙头水达标率方面,有研究表明<sup>[16]</sup>,水箱出口余氯浓度在0.13 mg/L的情况下,龙头水达标率可达95%。

基于上述研究,本工程在水箱进水端加氯,有利于次氯酸钠和水在水箱中混合。考虑余氯浓度不仅受水箱进水量的影响,同时在水箱中会衰减,通过多次测试,并综合现有的管网末梢余氯标准要求,加氯触发值确定为0.2 mg/L。当在线监测水箱出口端余氯含量低于0.2 mg/L时,以提升出口端余氯含量至0.2 mg/L为投加控制值,根据水箱水位情况,计算需要的余氯投加量。次氯酸钠发生器按需制备,并进行自动稀释投加。

图1表明低位水箱出水时常会出现余氯浓度低于0.05 mg/L的情况,为了保证供给高位水箱的自来水始终合格,必须对低位水箱进行补加氯。本工程在1#楼高位水箱和低位水箱处分别布置一套智能型次氯酸钠补加氯设备。补加氯方式分为两种,方案一为仅低位水箱加氯;方案二为高位水箱和低位水箱联合加氯。

## 2.3 补加氯的效果

当加氯设备在线监测到水箱出口端余氯浓度低于0.2 mg/L时,系统开始通过电解食盐水制备次氯酸钠(产氯)。制备完成后,进行加水搅拌、再稀释投加,在制备和稀释过程中水箱内余氯浓度持续降低。约30 min以后,将制备并稀释后的次氯酸钠投入水箱中,余氯浓度会上升直至其投加完毕。由于水箱水量是变动的,最终的余氯提高幅度为0.12~0.3 mg/L。补加氯期间,水箱出口的余氯浓度基本维持在0.2~0.45 mg/L。

图3为7月25日水箱出口端余氯浓度的变化(仅低位水箱加氯)。

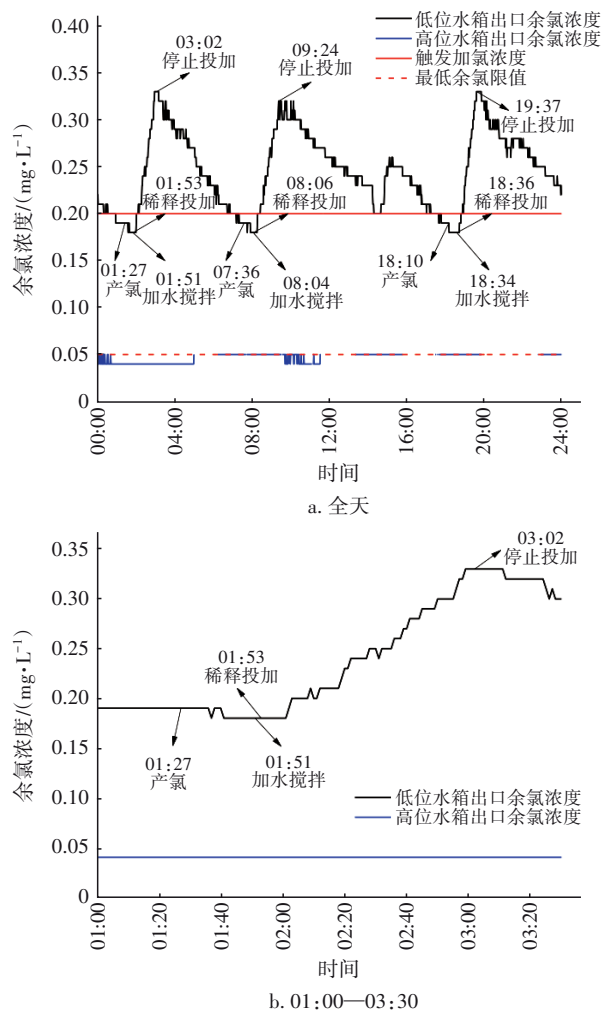


图3 7月25日水箱出口端余氯浓度的变化

Fig.3 Change of residual chlorine concentration at outlet end of water tank on July 25

由图3可知,即使在低位水箱补加了氯,低位水箱出水余氯也能达到0.2 mg/L以上。但由于是周末,而且气温较高,用户用水量较少,导致高位水箱补水较少。虽然在低位水箱进行了补氯,但高位水箱出口端余氯浓度低于0.05 mg/L的水质不合格累积时间竟高达412 min。

6月29日采用了高、低位水箱联合加氯的方案,水箱出口端余氯浓度的变化如图4所示。可以看出,在这一天的任何时间段内,高、低位水箱出口端余氯浓度都保持在0.05 mg/L以上。因此,为了保证二次供水系统内余氯浓度在任何时间、任何位置都能达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—

2006),减少水质风险事件的发生,在高位和低位水箱联合的二次供水系统中应采用高、低位水箱联合加氯的补加氯方式。

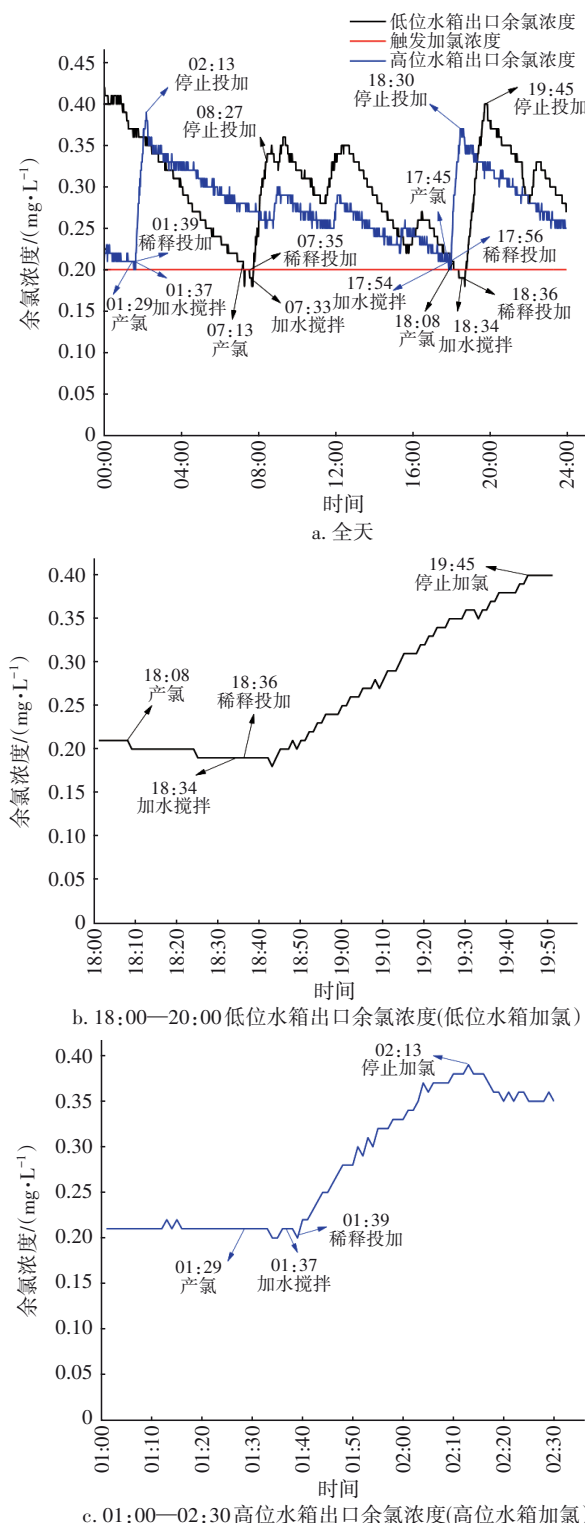


图4 6月29日水箱出口端余氯浓度的变化

Fig.4 Change of residual chlorine concentration at outlet end of water tank on June 29



## 2.4 末梢余氯浓度的变化

10月18日—19日管网末梢和高位水箱出口余氯浓度的变化如图5所示。分别选取高区二供和低区直供最远端的龙头水作为园区二供和直供管网末梢水,检测二供和直供管网末梢水质,检测频率为1次/h。

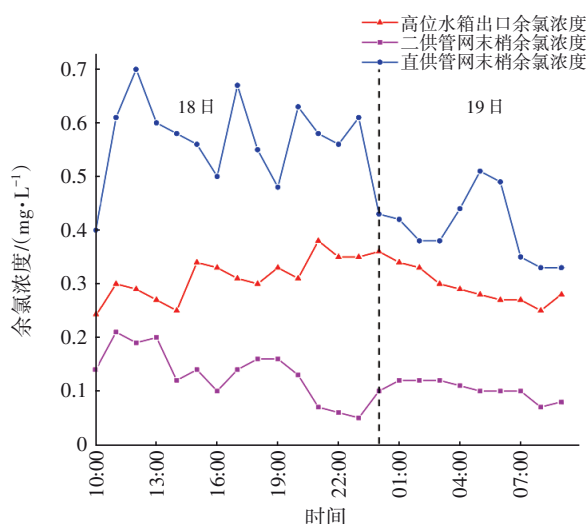


图5 10月18日—19日管网末梢和高位水箱出口余氯浓度的变化

Fig.5 Change of residual chlorine concentration at the end of pipe network and outlet end of the high-level water tank on October 18-19

从图5可以看出,直供水和二供管网的末梢余氯浓度分别在0.33~0.7 mg/L和0.05~0.21 mg/L,满足国标要求;高位水箱出水余氯在线监测浓度均高于0.2 mg/L,因此该期间智能型次氯酸钠补加氯设备并未启动。该结果也表明,余氯在温度较低的季节衰减较慢,采用智能型次氯酸钠设备能根据水质的实际情况,自动补加氯,不仅能维持管网末梢的余氯,而且管理维护方便。

## 2.5 运行成本

本工程中,采用高、低位水箱联合加氯时,经估算,高位水箱一年约补氯600次,每次消耗的无碘食盐约2 g、耗电约0.5 kW·h,年消耗无碘食盐量为1.2 kg、耗电300 kW·h。低位水箱一年大约补氯500次,每次消耗无碘食盐约4 g、耗电约1 kW·h,年消耗无碘食盐量2.0 kg、耗电500 kW·h。合计年消耗无碘食盐量约3.2 kg,耗电约800 kW·h。

## 3 结论及展望

① 二次加压供水系统中,采用智能型次氯酸

钠补氯设备在高、低位水箱进口端联合补加氯时,可以有效保障管网水中的余氯浓度,为二次加压饮用水安全提供保障。

② 管网末梢余氯浓度与停留时间和气温关系很大。本工程仅在10月进行了管网末梢余氯浓度的检测,后续应研究不同季节水箱补氯后,水箱至管网末梢余氯的衰减情况,以期在选择智能型次氯酸钠补氯设备的加氯触发值提供更科学的建议。

③ 若将水厂内部一级加氯消毒、中途泵站二级补加氯、末端二次供水水箱补加氯统筹结合起来,在保证用户龙头水质合格的前提下,根据水质和水量的实际需求,通过智能控制精准补加氯,形成智能化多级加氯模式,不仅可以降低水厂总体氯耗、减少消毒副产物、降低运行成本,而且能提高城市供水的安全保障能力。

## 参考文献:

- [1] 胡玲,戚雷强,舒诗湖,等. 供水管网加氯模式的现状与多级消毒发展[J]. 中国给水排水, 2015, 31(2): 18-21.  
HU Ling, QI Leiqiang, SHU Shihu, *et al.* Status quo of drinking water system disinfection and development of multistage disinfection[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(2): 18-21(in Chinese).
- [2] 毕薇薇,叶胜,于建全,等. 长距离供水系统中消毒副产物分布特征及二次加氯的影响[J]. 环境科学, 2020, 41(7):3297-3306.  
BI Weiwei, YE Sheng, YU Jianquan, *et al.* Distribution characteristics of disinfection by-products and the effects of booster chlorination in long-distance water supply systems[J]. Environmental Science, 2020, 41(7):3297-3306(in Chinese).
- [3] 白晓慧,孟明群. 城市供水管网水质安全保障技术[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2012.  
BAI Xiaohui, MENG Mingqun. Water Quality Safety Guarantee Technology of Urban Water Supply Network [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2012(in Chinese).
- [4] HU D, HONG H R, RONG B, *et al.* A comprehensive investigation of the microbial risk of secondary water supply systems in residential neighborhoods in a large city[J]. Water Research, 2021, 205:117690.
- [5] 盛东方,李伟英,李悦,等. 建筑供水系统典型条件致病细菌存在水平及影响因素[J]. 净水技术, 2019, 38

- (12):46-54.
- SHENG Dongfang, LI Weiying, LI Yue, *et al.* Existing level and influencing factors of typical opportunistic pathogens in building water supply system [J]. *Water Purification Technology*, 2019, 38 (12) : 46-54 (in Chinese).
- [6] 陈夏,曾德才,高育明,等. 上海市金山区二次供水卫生现状及对策研究[J]. *江苏预防医学*, 2015, 26(4): 98-99.
- CHEN Xia, ZENG Decai, GAO Yuming, *et al.* Hygienic status and countermeasures of secondary water supply in Jinshan district, Shanghai [J]. *Jiangsu Journal of Preventive Medicine*, 2015, 26 (4) : 98-99 (in Chinese).
- [7] 赵锂. 建筑与小区二次加压与调蓄供水水质保障技术[J]. *给水排水*, 2020, 46(12): 1-5.
- ZHAO Li. Water quality assurance technology of secondary pressurization and storage of buildings and sub-district [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2020, 46(12): 1-5(in Chinese).
- [8] 王林,吴纯德,张积洋,等. 次氯酸钠应用于南方地区二次供水安全消毒的研究[J]. *水处理技术*, 2012, 38 (11):107-111.
- WANG Lin, WU Chunde, ZHANG Jiyang, *et al.* Study on the application of sodium hypochlorite for disinfection of secondary water supply in the south of China [J]. *Technology of Water Treatment*, 2012, 38 (11) : 107-111(in Chinese).
- [9] 赵欣,魏雨晴. 城市供水管网消毒副产物及多级加氯消毒[J]. *净水技术*, 2018, 37(s1): 73-75.
- ZHAO Xin, WEI Yuqing. Disinfection by-products in municipal water supply pipe and multistage chlorination [J]. *Water Purification Technology*, 2018, 37 (s1) : 73-75(in Chinese).
- [10] 卢金锁,李雄,王良甚,等. 一种复合环控制二次供水加氯的方法和系统: 201811240011.1 [P]. 2018-10-24.
- LU Jinsuo, LI Xiong, WANG Liangshen, *et al.* Method and System for Controlling Chlorination of Secondary Water Supply by Compound Ring: 201811240011.1 [P]. 2018-10-24(in Chinese).
- [11] 卢金锁,李雄,王良甚,等. 一种基于增量式PID控制的水箱加氯消毒方法及系统: 201811358100.6 [P]. 2018-11-15.
- LU Jinsuo, LI Xiong, WANG Liangshen, *et al.* Method and System for Chlorination Disinfection of Water Tank Based on Incremental PID Control: 201811358100.6 [P]. 2018-11-15(in Chinese).
- [12] 程立,高晓昆,刘新贵. 一种用于二次供水储水设备补加氯的方法: 202010436100.4 [P]. 2020-07-14.
- CHENG Li, GAO Xiaokun, LIU Xingui. Method for Supplementing Chlorine for Secondary Water Supply and Storage Equipment: 202010436100.4 [P]. 2020-07-14 (in Chinese).
- [13] 程立,高晓昆,刘新贵. 一种基于智能算法自动控制的二次供水补加氯消毒系统: 201910372702.5 [P]. 2019-10-25.
- CHENG Li, GAO Xiaokun, LIU Xingui. A Chlorine Disinfection System for Secondary Water Supply Based on Intelligent Algorithm Automatic Control: 201910372702.5 [P]. 2019-10-25(in Chinese).
- [14] 刘书明,吴雪,李俊禹. 一种基于用户反馈的龙头水质保障方法: 201910490015.3 [P]. 2019-09-06.
- LIU Shuming, WU Xue, LI Junyu. Method for Guaranteeing Water Quality of Tap Water Based on User Feedback: 201910490015.3 [P]. 2019-09-06 (in Chinese).
- [15] 吴雪,肖磊,刘书明,等. 常州市小区内余氯降解规律研究[J]. *给水排水*, 2020, 46(10): 98-103.
- WU Xue, XIAO Lei, LIU Shuming, *et al.* Research on residual chlorine degradation in Changzhou communities [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2020, 46(10) : 98-103(in Chinese).
- [16] 李雄. 二次供水余氯补加装置的研发与应用[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2020.
- LI Xiong. Development and Application of Residual Chlorine Replenishment Device in Secondary Water Supply System [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020(in Chinese).

作者简介: 向平(1973-), 女, 四川营山人, 博士, 副教授, 主要研究方向为饮用水安全控制理论与技术、供水管网漏损控制与监测。

E-mail: xiangping74@cqu.edu.cn

收稿日期: 2021-10-21

修回日期: 2022-01-05

(编辑: 任莹莹)