

社区龙头水质抽样调查与供水二次污染控制对策

姚寰琰¹, 张文皓², 吴冰滢¹, 高华生^{1*}

(1. 宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江富莱迪环境设备责任有限公司, 浙江 宁波 315031)

摘要: 从水源水厂、输配管网、供水设施和末端净化等几方面探讨城市供水安全保障措施的现状. 以宁波市中心城区为例, 选取 2 组共 15 个典型社区开展用户水质抽样检测和满意度调查. 结果表明: 对水厂、经管网、社区而言, 自来水的浊度、总铁等 4 项指标的合格率逐步降低, 社区龙头水质问题在每天清晨和老旧小区相对突出; 问题指标之间存在较强的正相关性, 主要与管道腐蚀和水流扰动等因素有关. 为控制供水管网“二次污染”、改善社区用户龙头水质、提升供水服务质量等, 提出了若干对策和建议.

关键词: 城市供水; 二次污染; 水质调查; 优化措施

中图分类号: X832

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2020) 04-0116-05

饮用水安全保障和人民群众生命健康都与经济社会的可持续发展息息相关, 不仅是现代化城市发展水平和城乡居民生活质量的一个重要标志, 也是保持社会和谐稳定的必要条件. 优化发展城市供水事业, 确保城市供水优质安全, 历来受到各级政府的高度重视, 已成为当今社会普遍关注的重大战略问题^[1].

多年来, 许多城市不断加强水源地环境治理, 努力强化和完善供水设施建设, 推进大规模社区供水设施的升级改造, 饮用水保护工程措施得力, 取得良好的效果. 然而, 城市自来水水质与人们日益增长的生活需求之间还存在差距, 相关部门接到区域性和突发性的水质投诉时有发生^[2]. 庞大的地下管网如同大型的“反应器”, 其中的多种污染物难以被完全清除, 包括金属腐蚀产物、溶解性有机物和管道内壁生长的微生物以及混入管网的泥砂等悬浮物^[3]. 2014 年 11 月至 2015 年 1 月, 中华社会救助基金会中国水安全公益基金历时 3 个月, 对全国 29 个大中城市的居民饮用水水质进行了取样检测, 14 个城市存在一项或多项指标不合格的情况, 约占抽检城市总数的 48%^[4], 不同程度的城市供水“二次污染”现象相当普遍.

本文从水源地和水厂、供水管网、二次供水设施和末端净化设备等几方面分析饮用水污染控制技术应用现状, 随机抽样调查典型社区的龙头水质指标和居民用水满意度. 通过对收集数据的整理分析, 探究“二次污染”成因及其基本特征, 研究进一步改善用户水质的解决方案, 为全面优化城市供水系统提供参考依据.

1 供水安全保障措施现状

1.1 保障出厂水质优良

以宁波中心城区为例, 2006 年划分饮用水源地水环境功能区后, 目前有亭下水库、横山水库、白溪水库、皎口-周公宅水库和钦寸水库这五大市级集中式生活饮用水水源地, 这些水源地都已采取了一系列饮用水源保护措施^[5], 其水质均达到或优于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)II 类水质指标; 中心城区供水规模达到每日 2×10^6 t, 城市饮用水全部采用水库水作为原水. 水厂采用强化处理工艺, 其中江东和桃源水厂采用了浸没式超滤膜处理工艺^[6], 出厂水的 106 项《国家饮用水卫生标准》(GB5749-2006)水质指标常年达标率 100%, 饮用水安全的第一道和第二道防线已经夯实.

收稿日期: 2019-12-11.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal1g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 住房和城乡建设部 2018 年度科学技术计划项目 (2018-K7-017); 宁波大学 SRIP 基金 (2019SRIP1424).

第一作者: 姚寰琰 (1994-), 男, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 环境污染控制技术. E-mail: 245701394@qq.com

*通信作者: 高华生 (1965-), 男, 安徽安庆人, 副教授, 主要研究方向: 环境污染控制技术. E-mail: gaohuasheng@nbu.edu.cn

1.2 加强管网运行维护

控制供水管网“二次污染”是一项系统性工程,需建立水质监测系统和应急响应机制,提升全过程运行维护^[7]。据宁波市自来水公司调查统计,早期城市供水建设的管道材质以灰口铸铁管为主,市区陈旧供水管道长度达600多公里,部分管网超龄运行且漏损率维持在15%左右^[8],每年需要消耗大量资源维修老旧管道。目前宁波正逐步建设实时供水信息管理和远程监控系统,优化管网的运维管理体系^[9],2019年1月试运行城市智慧供水系统,实时感知1530 km²内6476 km主干管水量变化,初步实现供水服务全过程智慧化管理。

1.3 改造二次供水设施

自2011年开始,宁波市启动建设和改造城区二次供水设施,逐步取消低层住宅的楼顶水箱,并加强社区水箱清洁和设施维护管理,基本消除了二次供水设施本身的污染问题。目前城市社区共有二次供水泵站900余座,运行设备1500余台(套),形成了全区域智能化调控运行及养护管理体系,为改善社区饮用水水质、保障区域安全供水打下了扎实的基础^[10]。但社区供水水箱日常维护管理工作量较大且繁琐,容易出现微生物滋生等污染问题。此外,设施维护不能完全消除供水管网带来的污染问题,清洗作业也给社区居民生活用水带来一定影响^[11]。

1.4 安装家用净化设备

目前我国家用净水器保有量在9000万台以上,2019年整体市场销售规模达到396亿元,并以15%左右速度逐年递增,呈现良好发展态势。部分家庭用户已安装家用净化设备,实现家庭分质供水^[12]。许多企业努力推广“水家装”模式,提供入户供水管路位置设计、配套超滤技术为主的水处理设备,但家庭终端净化产品质量仍旧参差不齐,难以保证净化效果。社区分质供水(管道直饮水)、桶(瓶、袋)装优质供水等末端净化方式也受到管理、价格等因素的制约,推广应用存在较大困难。

2 供水水质调查与分析

2.1 取样与分析方法

2.1.1 取样方法

在宁波市中心城区共选取15个居民社区,分2

组进行用户龙头水采样检测和满意度问卷调查,历时3个月。其中,第1组选取9个水质投诉相对较多的社区,底层和顶层随机各2住户、共36户,每月1次采集分析水样;第2组选取6个人员密集的典型社区,各20个住户,收集每日早晨起床一杯、下午一杯和睡前一杯的龙头水,代表清晨、白天和晚上的水质。

出厂水水质数据选自同期宁波市自来水公司公共平台的水质公报;管网水水质数据取自宁波中心城区供水干管的每日一次水质分析,共93个采样点。

2.1.2 数据处理方法

第1组测定浊度、游离氯、总铁、菌落总数、总大肠菌群和COD_{Mn}等6项常规指标,从数据中选取各单项的最高值和最低值,分析出厂水、管网水和龙头水的水质变化规律。第2组重点考察感官指标和用户满意度,只测定水样的浊度、色度和总铁3项指标,计算平均值,分析住户1d内的水质变化规律和调查用水满意度。

所有水质项目均采用国标法检测。数据采用SPSS 25统计软件处理,进行水质指标相关性分析。

2.2 水质调查结果

2.2.1 供水水质的变化趋势

将第1组龙头水与出厂水和管网水的指标范围和合格率进行比较,结果列于表1。对比表中数据,发现3个月调查期间,出厂水106项水质指标均符合国家标准,合格率为100%;管网水水质略有下降,浊度和菌落总数2项指标合格率分别降为99.54%和99.96%;用户龙头水质进一步下降,浊度、总铁、菌落总数和COD_{Mn}共4项指标的合格率显著降低,分别为85.19%、78.70%、99.07%和97.22%。指标范围逐步扩大,水质合格率下降趋势明显,由此可见,水质变化主要发生在从供水管网至住户龙头的中间环节。

与此同时,社区出厂水、管网水和龙头水的游离余氯均满足要求,且相差不大;总大肠杆菌未检测到,合格率为100%。此外,仅某个社区COD_{Mn}超标、细菌总数超标严重,根本原因在于该社区的供水管网老旧,并存在漏损现象^[13]。

由于总大肠菌群指标未检出,对其余5项水质指标进行相关性分析。计算结果列于表2。可知浊

表 1 自来水主要水质指标变化情况比较

检测项目	单位	标准指标	水质指标范围			合格率/%		
			出厂水	管网水	龙头水	出厂水	管网水	龙头水
浊度	NTU	≤1	0.07~0.4	0.07~1.63	0.1~8.5	100	99.54	85.19
总铁	mg·L ⁻¹	≤0.3	<0.05~0.16	<0.05~0.21	<0.05~3.26	100	100	78.70
COD _{Mn}	mg·L ⁻¹	≤5	0.32~2.1	0.48~2.2	0.48~13.72 ^a	100	100	99.07
菌落总数	CFU·mL ⁻¹	≤100	1~2	1~280	1~290 ^b	100	99.96	97.22
总大肠菌群	CFU·dL ⁻¹	不得检出	未检出	未检出	未检出	100	100	100
游离余氯	mg·L ⁻¹	≥0.3	0.5~1.1	0.3~1	0.05~0.75	100	100	100

注: a、b 表示 COD_{Mn}、菌落总数异常指标值为同个社区。

表 2 水质指标的相关性分析表

指标	浊度		总铁		游离氯		总菌落数		COD _{Mn}	
	相关系数	显著性	相关系数	显著性	相关系数	显著性	相关系数	显著性	相关系数	显著性
浊度	1	—	0.861**	0.003	-0.554	0.122	0.571	0.108	0.302	0.430
总铁	0.861**	0.003	1	—	0.565	0.113	0.419	0.262	0.284	0.459
游离余氯	-0.554	0.122	-0.565	0.113	1	—	-0.430	0.248	0.348	0.359
总菌落数	0.571	0.108	0.419	0.262	-0.430	0.248	1	—	0.223	0.563
COD _{Mn}	0.302	0.430	0.284	0.459	0.348	0.359	0.223	0.563	1	—

注: **表示检验水平<0.01。

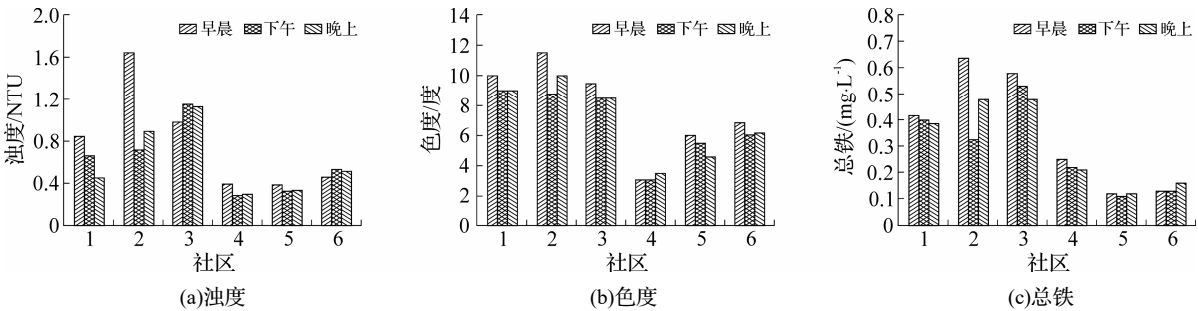


图 1 第 2 组 6 个社区不同时段的水质情况

度与总铁的相关系数为 0.861, 2 种水质指标之间有较强的正相关性, 其余指标之间没有明显相关性. 表明水在输送过程中发生“二次污染”, 污染物中含有铁元素, 与老旧管网金属材料的腐蚀密切相关^[14].

2.2.2 用户龙头水质满意度

第 2 组社区住户龙头水浊度、色度和总铁的平均值如图 1 所示.

从时间角度对比早晨、下午和晚上 3 个时段的水质变化, 发现 3 项指标在 1 d 内均发生变化. 虽然 6 个社区的龙头水水质总体良好, 但部分指标在每日固定时间存在不达标的情况, 其中浊度的波动较大, 特别是早晨第一杯水的水样与下午和晚

上对比差异显著. 主要原因是夜晚管网内的水为静止状态, 当早晨首次用水时水流发生扰动, 管壁内的沉积物脱落被带上来, 造成浊度和色度等指标超标的现象. 从空间角度分析, 6 个社区中社区 4、5 和 6 的浊度、色度和总铁较低, 水质总体好于社区 1、2 和 3. 主要因素是社区 1、2 和 3 为 20 世纪 90 年代建成的老旧社区, 与 2005 年前后建成较新的社区 4、5 和 6 相比, 输水管道和供水设施相对陈旧老化, 运行时间较长, 腐蚀情况严重, 易产生渗漏物、脱落物和腐蚀物^[15].

对照国家水质标准后, 第 2 组社区龙头水的浊度、色度和总铁的达标率分别仅有 88.89%、94.44% 和 62.67%, 其中总铁的达标率较低, 总体与第 1 组

调查结果接近。用户龙头水的3项水质指标之间也存在相关性,情况与表2相似。值得注意的是,社区2距自来水厂仅几公里,但水质指标总体合格率较低,可见“二次污染”与距离水厂远近没有直接关系。

在采集住户龙头水样的同时,发放和回收水质满意度调查问卷100份,问卷有效率100%。统计问卷结果,绝大多数住户对水质指标属于“满意”和“基本满意”,说明供水整体情况良好。此外,自来水“清澈度”的满意度低于对“口感”和“气味”的满意度,此结果也同样印证浊度和总铁2项指标合格率较低,进一步影响了人们对自来水的感官体验。

2.3 水质总体评价

根据上述抽样调查结果表明,尽管宁波市城市供水部门在水源保护与水厂工艺改进方面成效显著,自来水厂供水情况总体良好,但“二次污染”发生在供水管网与水龙头之间的中间环节。污染在入户前“最后一公里”甚至“最后一百米”尤为严重,且具有普遍性、多发性和不确定性,这种情况在今后相当长时间里难以避免,需要采用综合措施进行严格控制^[6]。

自来水公司的服务热线在每年夏季会受理用户来电1万多个,形成各类维修任务单2000余件,大部分投诉都是针对用户龙头的“黄锈水”现象。导致此类投诉增加的主要原因是在关停水、管道检修等水流状况发生变化时,扰动管道内壁沉积和附着的“二次污染”物,由于总铁浓度的增大,促进了颗粒物的形成,导致浊度同步上升,因此提升用户龙头用水水质仍然任重道远。

3 问题与对策

3.1 加大投入,改造老旧管道

由于历史原因,部分老城区和城乡结合部供水工程项目质量较差,存在竣工资料不齐全等问题,造成供水企业后续的维护管理困难;因年久失修、超龄运行、施工不规范、管材质量差和地基沉降等因素,少数社区的供水管道存在频繁爆管和污染物渗入的现象。因此,从根本解决供水“二次污染”问题,改造老旧管道势在必行。由于供水管道建设大部分是隐蔽工程,改造工程量和施工难

度大,且投资较高、涉及面广,需要得到政府部门的支持以及相关供水企业的配合。建议将老旧管网改造列为政府重点建设项目,加大财政投入,落实区域责任和部门职责,强化建设全过程监督机制,提高工程质量和工作效率。

3.2 加强管理,减少管网扰动

无论是计划停水,还是事故停水,都会扰动供水管网内壁的沉积物,引起水质在短时间内发生较大变化。从各个城市的情况看,市政工程施工对输水管网的影响最大,导致区域性的供水停止和水质“二次污染”。即使在同一区域的不同时段,用水负荷的变化也会扰动管道内壁附着的沉积物,造成用户水质呈昼夜周期性变化。因此需要规范市政工程建设项目的施工管理,通过综合调度、科学调试和预警通知等方式避免因施工导致的停水;严格落实管网维护保养制度,加强对渗漏点的监测排查,通过实时监测、夜间巡检和及时抢修等手段,及时发现和解决管网存在的问题;做到有序用水、有序停水,最大程度地减少管网扰动对供水水质的不利影响。

3.3 技术研发,构筑第三防线

家用净水技术使用存在一定的局限性,净化水量只占家庭用水的极少部分,难以做到全量过滤。采用膜过滤处理的单元容易发生滤膜堵塞,不但存在产水效率低、使用寿命短等缺点,还有管道爆裂等安全隐患。因此,真正提升用户饮用水品质,防范供水管网自身造成的突发性污染事故,需要充分利用二次供水现有的设施和空间,集中构筑第三道防线。需要我们不断加大技术研发的力度,在管网末端增加必要的深度净化单元,采用合适的二次消毒技术,作为应对突发性水质污染的重要措施,努力把污染物拦截在进入千家万户之前,达到全面提升用户水质的目的。

3.4 智慧水务,提升运维质量

随着现代城市建设的迅猛发展,一批重大供水设施工程相继建成投用,城市水资源保障能力不断提高,城乡一体化供水格局已逐步形成。与此同时,供水设备设施的日常运行维护任务日趋繁重,检修人员管理难度也逐渐加大。因此需要运用现代信息化手段,完善地下管网的地理信息系统,搭建二次供水设施的视频监控、自控调度和综合管

理平台,建立覆盖全部社区的城市供水安全保障体系。及时向公众发布水务信息,增加公共平台的透明度,不断丰富城市“智慧水务”的内涵,有效助推经济社会的转型升级,提升城市供水服务效能和品质。

参考文献:

- [1] 刘文君,王小伟,王占生. 饮用水水质标准的发展:从卫生、安全到健康的理念[J]. 给水排水, 2017, 43(10): 1-3; 61.
- [2] Zhang X J, Chen C. Emergency drinking water treatment in source water pollution incident: Technology and practice in China[J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2009, 3(3):364-368.
- [3] Yang F, Shi B Y, Bai Y H, et al. Effect of sulfate on the transformation of corrosion scale composition and bacterial community in cast iron water distribution pipes [J]. *Water Research*, 2014, 59:46-57.
- [4] 乔宠如. 4100 亿难解城镇自来水之困[J]. 经济, 2016 (7):30-35.
- [5] 王洪霞,陈琳. 宁波市中心城区饮用水水源地水环境分析与治理对策[J]. 中国水土保持, 2012(4):60-62.
- [6] 周正协. 超滤膜组合工艺在大型现代化桃源水厂中的应用[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14):71-76.
- [7] 李保刚,周克梅,林涛,等. 水源地保护及突发性水污染事件预警应急的研究与实施进展[J]. 水资源保护, 2008, 24(1):87-91.
- [8] 陆韬,刘燕,李佳,等. 我国供水管网漏损现状及控制措施研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2013, 52(6):807-810; 816.
- [9] 庄仲辉. 宁波市二次供水改造方案优化设计研究和探讨[J]. 给水排水, 2015, 41(12):79-81.
- [10] 卢汉清,明发斌,蒋敏,等. 宁波市供水管网地理信息系统的升级改造[J]. 城镇供水, 2011(2):60-62.
- [11] 曾瑜. 城市二次供水问题及其治理措施研究[J]. 城镇供水, 2013(5):10-12.
- [12] 曲久辉. 饮用水处理工艺改革的方向与愿景[J]. 给水排水, 2016, 42(1):1.
- [13] 陈明吉. 城市供水管网水质二次污染与防治对策[J]. 净水技术, 2008, 27(5):5-9; 24.
- [14] Zhu Y, Wang H, Li X, et al. Characterization of biofilm and corrosion of cast iron pipes in drinking water distribution system with UV/Cl₂ disinfection[J]. *Water Research*, 2014, 60:174-181.
- [15] 刘锐平,曲久辉,刘锁祥,等. 城市供水管网的安全优化运行与污染控制[J]. 中国给水排水, 2011, 27(15):39-43.
- [16] 张国辉,孙守智,鲁秀霞. 二次供水管理模式改革探讨[J]. 中国给水排水, 2006, 22(10):5-8.

Tap-water quality survey in communities and secondary pollution control of drinking water supplying system

YAO Huanyan¹, ZHANG Wenhao², WU Bingying¹, GAO Huasheng^{1*}

(1.School of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Zhejiang Friendly Environmental Equipment Co., Ltd., Ningbo 315031, China)

Abstract: In order to address the status in quo and explore the main causes of secondary pollution in urban water supply pipelines, tap-water quality sampling and customer satisfaction survey are carried out in 15 typical communities in Ningbo City. Results indicate that the quality indicators such as turbidity and total iron have increased obviously to a various extent in terms of water treatment plant effluent and pipeline water samples. A positive correlation is found among the problematic water quality indicators. It has been confirmed that phenomena of secondary pollution have been existing in water supply system, usually with high frequency in the early morning and in old communities, mainly because of the corrosion from pipeline impurities and turbulence of water flow. In view of the urban water supply system of Ningbo City, a series of suggestions are put forward to control secondary pollution of pipelines and improve the customer tap-water quality.

Key words: urban water supply; secondary pollution; water quality survey; optimization measures

(责任编辑 章践立)