

NaClO 消毒条件下供水系统余氯指标控制的优化

董捷^{1,2}, 方自毅^{1,2}, 马文红^{1,2}, 张怡然^{1,2}, 王庆^{1,2}, 陈昭^{1,2},
陈卓然^{1,2}

(1. 天津泰达水业有限公司, 天津 300457; 2. 天津泰达津联自来水有限公司, 天津 300457)

摘要: 以天津滨海新区某区域供水系统为研究对象,对次氯酸钠(NaClO)代替液氯消毒后引起的出厂水水质变化和供水管网余氯变化进行了分析,以实现NaClO消毒工艺运行参数的优化控制。结果表明,NaClO代替液氯消毒仅导致出厂水的pH值略有增加;当NaClO平均投加量达到20 mg/L左右时,出厂水余氯范围可保持在0.70~0.90 mg/L,管网末梢余氯均满足 ≥ 0.05 mg/L的国家标准要求;对长距离供水区域可采用单独补氯消毒,补氯后出厂水余氯范围应保持在0.90~1.10 mg/L,可有效提高该区域的管网末梢余氯。

关键词: 次氯酸钠消毒; 液氯消毒; 余氯; 补氯消毒

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)15-0039-05

Optimization of Residual Chlorine Control in Water Supply System under NaClO Disinfection Condition

DONG Jie^{1,2}, FANG Zi-yi^{1,2}, MA Wen-hong^{1,2}, ZHANG Yi-ran^{1,2}, WANG Qing^{1,2},
CHEN Zhao^{1,2}, CHEN Zhuo-ran^{1,2}

(1. Tianjin TEDA Water Industry Co. Ltd., Tianjin 300457, China; 2. Tianjin TEDA Tsinlien Water Supply Co. Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: A regional water supply system in Tianjin Binhai New Area was taken as the research object, and the change of finished water quality and residual chlorine in water supply pipe network caused by the disinfection of sodium hypochlorite (NaClO) in place of liquid chlorine were analyzed, which aimed to optimize the operation parameters of NaClO disinfection process. The results showed that pH value of the finished water was slightly increased when NaClO was in place of liquid chlorine as the disinfectant. When average dosage of NaClO was 20 mg/L, the residual chlorine of the finished water could be maintained at 0.70-0.90 mg/L, and the residual chlorine at the end of the pipe network met the national standard of higher than or equal to 0.05 mg/L. Supplemental chlorination disinfection process could be adopted in long distance water distribution area. The residual chlorine of the finished water should be maintained at 0.90-1.10 mg/L after supplemental chlorination disinfection, which could effectively increase the residual chlorine at the end of the pipe network.

Key words: NaClO disinfection; liquid chlorine disinfection; residual chlorine; supplemental chlorination disinfection

长期以来,液氯作为国内水处理氯消毒的主要药剂被广泛使用,但液氯属于重大危险源,特别是处于人群密集地的水厂其安全性尤为关键,水厂每年还需要围绕液氯开展相关的备案、反恐资料报送、安全上岗证培训等,消耗大量的人力与物力。与液氯消毒相比,次氯酸钠(NaClO)在应用上具有操作简单、计量准确、储存方便、安全性高、管理方便等特点^[1]。近年来北京、上海、天津等地的各大水厂陆续将液氯消毒改造成 NaClO 消毒。尽管 NaClO 与液氯同属于氯消毒剂,但由于二者在原材料、成分、含量及成本等方面存在着明显差别,因此用 NaClO 代替液氯消毒后,会导致水厂实际运行中氯消毒剂投加量的不同,同时也会导致供水系统中一些相关水质指标的差异性变化。为保证供水管网余氯指标的稳定可靠,同时保证自来水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,笔者以天津滨海新区某区域的供水系统为研究对象,对 NaClO 代替液氯消毒后导致的供水系统中相关水质指标的变化进行了分析,同时对水厂的 NaClO 消毒剂投加量控制进行了优化研究。

1 试验部分

1.1 工艺条件

天津滨海新区某区域的供水系统中建有设计规模为 $32.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的净水厂一座,先后于1995年、1999年和2009年分三期建成,其中一、二期已于2012年完成全面优化升级改造,均采用“原水预臭氧+强化常规处理+紫外线联合氯消毒”处理工艺,水厂三期工艺流程详见图1^[2]。该水厂采用三氯化铁和聚合氯化铝两种药剂联合投加进行混凝处理,其消毒工艺在2016年以前一直采用紫外线联合液氯消毒方式^[3],考虑到对液氯的安全管理越来越严格,且液氯在运输、储存和使用过程中确实存在着诸多安全隐患和管理不便,该水厂于2017年初实施完成了 NaClO 代替液氯消毒改造工程并投入使用,滤池出水经紫外线和 NaClO 消毒后进入清水池,再经配水泵房水泵加压后进入市政管网。

表1 原水水质

Tab. 1 Quality of raw water

| 项目 | 浊度/NTU | pH值 | 氨氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | COD_{Mn} /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 总硬度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) |
|-------|-------------------|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 2017年 | 7.43~17.30(11.63) | 7.89~8.35(8.17) | 0.09~0.24(0.14) | 2.10~3.80(2.83) | 112~136(125) |
| 2016年 | 5.35~20.40(10.00) | 7.91~8.52(8.21) | 0.03~0.33(0.19) | 2.00~3.70(2.94) | 114~155(131) |

注: 括号内的数据为平均值。

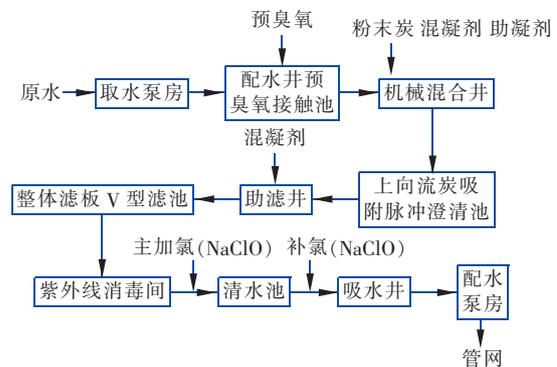


图1 水厂三期工艺流程

Fig. 1 Flow chart of water treatment process in the third phase of a waterworks

1.2 试验内容

1.2.1 NaClO 消毒对出厂水水质的影响分析

分别检测滤池出水、出厂水及管网水的 pH 值、碱度、硬度、浊度、余氯、电导率等 17 项水质指标,对比分析分别采用两种消毒剂处理后的水质变化情况。取样时间分别为 2016 年 6 月 27 日—8 月 3 日(采用液氯消毒)、2017 年 6 月 27 日—8 月 3 日(采用 NaClO 消毒),水质检测频率为每天一次。

1.2.2 余氯指标和 NaClO 投加量优化研究

根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求,结合过去液氯消毒运行经验,对改用 NaClO 消毒后的投加量、出厂水余氯及管网末梢余氯指标三者之间的变化规律进行分析,以实现 NaClO 消毒剂投加量的优化控制。

同时,针对输水距离较长的供水区域(西区)余氯指标长期偏低的情况,研究对西区供水管线单独采用补加 NaClO 消毒的可行性及实际效果。研究时间为 2017 年 8 月 1 日—11 月 30 日。

1.3 水样采集

原水水样采自水厂的进水泵房后,滤池出水采自滤池出水口,出厂水采自出水泵房,补氯后采集点位于补氯投加点后管路上,管网水采自东、西区各管网点。试验期间的原水水质见表 1,可以看出,两个时间段的原水水质基本相近。

1.4 分析项目和方法

余氯:HACH Pocket colorimeter II 型余氯仪;浊度:HACH 2100N 浊度仪;pH 值:Mettler Toledo 320 型 pH 计;色度:铂-钴标准比色法;氨氮:纳氏试剂光度法;总碱度:酸碱指示剂滴定法;总硬度:乙二醇四乙酸二钠滴定法。

2 结果与讨论

2.1 NaClO 消毒对出厂水水质的影响

2.1.1 对余氯及浊度的影响

试验期间液氯投加量为 0.74 ~ 2.21 mg/L (平均为 1.71 mg/L), NaClO 投加量为 11.30 ~ 25.92 mg/L (平均为 20.04 mg/L)。检测出厂水的余氯和浊度,结果见图 2。该水厂出厂水余氯的内控范围是 0.7 ~ 1.0 mg/L (夏季) 和 0.6 ~ 0.9 mg/L (冬季),由图 2(a) 可以看出,采用 NaClO 消毒后出厂水余氯满足内控要求。该水厂三期工艺设计要求出厂水浊度 ≤ 0.3 NTU,由图 2(b) 可以看出,采用 NaClO 消毒对出厂水浊度的影响不明显,能够满足设计要求。

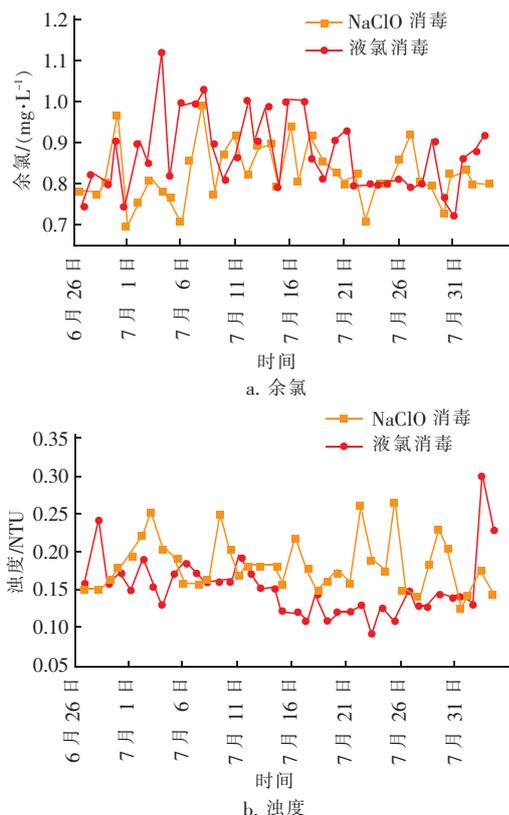


图2 采用不同消毒剂对出厂水余氯和浊度的影响

Fig. 2 Effect of disinfectant on residual chlorine and turbidity of finished water

2.1.2 对 pH 值、硬度和碱度的影响

采用液氯消毒时,氯气水解过程中产生的 HCl 会使水体 pH 值降低;而采用 NaClO 消毒时,NaClO 水解生成的氢氧根离子会使水体 pH 值升高。检测消毒前、后出厂水的 pH 值,结果见图 3。可以看出,2017 年投加 NaClO 药剂后,pH 值较投加前有明显上升,平均上升幅度为 0.1;而 2016 年投加液氯后 pH 值较投加前有明显下降,平均下降幅度为 0.1,与理论分析相符。

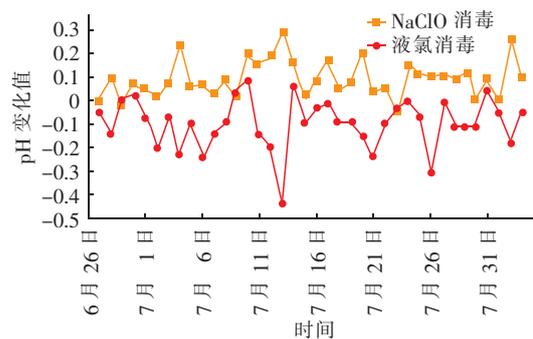


图3 消毒剂对出厂水 pH 值的影响

Fig. 3 Effect of disinfectant on pH of finished water

另外,在水厂采用三氯化铁和聚合氯化铝两种药剂联合投加进行混凝处理的情况下,可能存在由于 NaClO 消毒引起 pH 值升高而对出厂水的铝残留浓度造成影响,为此试验期间检测了出厂水的铝浓度。结果表明,采用液氯消毒时,投加消毒剂后铝浓度的增加值为 $-0.03 \sim 0.03$ mg/L,出厂水的铝浓度为 $0.02 \sim 0.11$ mg/L;采用 NaClO 消毒时,投加消毒剂后铝浓度的增加值为 $-0.01 \sim 0.01$ mg/L,出厂水的铝浓度为 $0.02 \sim 0.08$ mg/L。可知,试验期间出厂水的铝浓度均低于 0.2 mg/L,满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。投加消毒剂前、后铝浓度变化不明显,说明在采用铝盐混凝剂的情况下利用 NaClO 消毒不会影响出厂水的铝浓度。

另外,试验期间检测出厂水的总硬度和总碱度,发现采用 NaClO 代替液氯消毒对出厂水的总硬度和总碱度影响不大,能满足《生活饮用水卫生标准》的要求。

2.2 NaClO 投加量和供水系统余氯控制优化

2.2.1 主加氯消毒条件下的优化

检测出厂水和管网末梢水的余氯浓度,结果见表 2。可以看出,采用 NaClO 代替液氯消毒后,出厂水余氯在 $0.70 \sim 1.00$ mg/L 范围内,供水区域内管

网水自由性余氯浓度能够达到国家标准的要求,各管网点处水的色度均在5度以下,且未收到用户关于水黄的投诉。基于此监测结果,并结合往年投加液氯消毒时管网末梢余氯的监测情况,切换 NaClO

药剂后,确定出厂水余氯控制范围为 0.70 ~ 0.90 mg/L。当出现原水水质恶化等特殊情况下,为使东、西区管网末梢余氯能够处在偏安全的范围,将出厂水余氯控制范围调整至 0.70 ~ 1.00 mg/L。

表2 主加氯条件下出厂水及管网末梢水的余氯浓度

Tab.2 Residual chlorine concentration of finished water and tap water under main chlorination disinfection $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | 东区1点 | 东区2点 | 西区1点 | 西区2点 | 出厂水 |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 液氯消毒 | 0.47 ~ 0.59(0.53) | 0.07 ~ 0.34(0.27) | 0.37 ~ 0.44(0.41) | 0.07 ~ 0.11(0.09) | 0.72 ~ 1.12(0.87) |
| NaClO 消毒 | 0.40 ~ 0.71(0.57) | 0.06 ~ 0.35(0.14) | 0.41 ~ 0.55(0.48) | 0.08 ~ 0.18(0.15) | 0.70 ~ 1.00(0.83) |

注: 括号内的数据为平均值。

2.2.2 补氯消毒条件下的优化

西区由于输水管线较长,且主要为工业用水,居民用水少,导致长期以来管网监测点余氯偏低。为此,2017年9月,在向西区供水的出厂主管道上进行了补加 NaClO 消毒的试验,出厂水及西区各管网点处的余氯值见表3。

表3 补氯消毒条件下出厂水及西区管网末梢水的余氯浓度

Tab.3 Residual chlorine concentration of finished water and tap water in west district under supplemental chlorination disinfection $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | 出厂水 | A点 | B点 | C点 |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 补加氯前 | 0.77 ~ 1.10 (0.90) | 0.21 ~ 0.42 (0.31) | 0.06 ~ 0.31 (0.20) | 0.05 ~ 0.31 (0.18) |
| 补加氯后 | 0.92 ~ 1.42 (1.21) | 0.72 ~ 1.05 (0.96) | 0.47 ~ 0.78 (0.65) | 0.12 ~ 0.44 (0.26) |
| 停止补加氯后 | 0.70 ~ 0.92 (0.81) | 0.29 ~ 1.00 (0.63) | 0.22 ~ 0.80 (0.44) | 0.12 ~ 0.55 (0.30) |

注: 括号内的数据为平均值。

由表3可知,补加氯前,出厂水余氯平均值为 0.90 mg/L。西区管网水余氯普遍较低,A点位于西区供水主干管进口,余氯平均值仅为 0.31 mg/L;C点位于西区供水管网末梢,余氯平均值仅为 0.18 mg/L。采用补氯消毒工艺期间,出厂水余氯平均值为 1.21 mg/L。西区各管网点处的余氯值均明显上升,A点余氯平均值为 0.96 mg/L,最大值为 1.05 mg/L;C点余氯平均值为 0.26 mg/L,最低值为 0.12 mg/L;而B点位于西区用水量较大位置,代表西区生活饮用水平均水平,余氯平均值为 0.65 mg/L,最大值达到 0.78 mg/L。停止补加氯、出厂水余氯恢复至原水平后,与补加氯前相比,各管网点处的余氯浓度有所升高,西区管网末梢C点处的余氯平均值为 0.30 mg/L,最低值为 0.12 mg/L,满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

由以上分析可知,对长距离供水区域可采取单独补氯消毒,可有效提高其管网末梢余氯浓度。结合试验结果及往年检测经验,采用 NaClO 进行补氯消毒时,确定补加氯后出水余氯控制范围为 0.90 ~ 1.10 mg/L;当出现原水水质恶化等特殊情况下,将补氯后出水余氯控制范围调整至 0.90 ~ 1.20 mg/L。

2.3 NaClO 消毒成本分析

对采用液氯和 NaClO 消毒时的药剂成本进行统计分析,试验期间 NaClO(有效氯浓度为 10%)的消耗量为 11.30 ~ 25.92 mg/L(平均为 20.04 mg/L),液氯的消耗量为 0.74 ~ 2.21 mg/L(平均为 1.71 mg/L)。NaClO 的单价按 580 元/t 计,液氯的单价按 2740 元/t,则采用 NaClO 消毒时的消毒剂成本为 0.012 元/m³,采用液氯消毒时的消毒剂成本为 0.005 元/m³。可见,在原水水质相同且出厂水余氯维持在相同水平的条件下,NaClO 消毒成本要高于液氯消毒成本,消毒剂成本增加 0.007 元/m³。

3 结论

① 采用 NaClO 消毒代替液氯消毒时,出厂水余氯、浊度、总硬度、总碱度等主要指标均没有明显变化,可以实现稳定达标生产。由于投加 NaClO 导致水体 pH 值略有升高,确定 NaClO 投加量时建议考虑原水 pH 值的变化。使用 NaClO 消毒时管网水余氯能满足国家标准要求,且未出现水黄现象。

② 当 NaClO 平均投加量达到 20 mg/L 左右时,出厂水余氯范围可保持在 0.70 ~ 0.90 mg/L,管网末梢余氯均满足 ≥ 0.05 mg/L 的标准要求;当出现原水水质恶化等特殊情况下,将出厂水余氯控制范围调整至 0.70 ~ 1.00 mg/L。对长距离供水区域可采取单独补氯消毒,补氯后出厂水余氯范围应保持在 0.90 ~ 1.10 mg/L,可有效提高该区域的管网

末梢余氯;当出现原水水质恶化等特殊情况下,将补氯后出厂水余氯范围调整至 0.90 ~ 1.20 mg/L。

③ 采用 NaClO 消毒时消毒剂成本为 0.012 元/m³,采用液氯消毒时消毒剂成本为 0.005 元/m³,NaClO 消毒成本比液氯消毒成本高 0.007 元/m³。

参考文献:

- [1] 杜志鹏,刘文君,张弥,等. 消毒过程中氨氮对氯耗的影响研究[J]. 中国给水排水,2006,22(13):53-55.
Du Zhipeng, Liu Wenjun, Zhang Mi, *et al.* Study on impact of ammonia nitrogen on chlorine consumption in disinfection process[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(13):53-55 (in Chinese).
- [2] 方自毅,魏俊起,何凤华,等. 天津开发区净水厂三期工程介绍[J]. 供水技术,2010,4(6):46-48.
Fang Ziyi, Wei Junqi, He Fenghua, *et al.* Introduction of the 3rd phase project of Tianjin TEDA Waterworks[J]. Water Technology, 2010, 4(6):46-48 (in Chinese).
- [3] 方自毅,何凤华,刘文君,等. 紫外线消毒技术在天津开发区净水厂三期工程中的应用[J]. 给水排水,2010,

36(1):12-15.

Fang Ziyi, He Fenghua, Liu Wenjun, *et al.* Application of ultraviolet disinfection in the third stage project of Tianjin development zone water treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(1):12-15 (in Chinese).



作者简介:董捷(1991-),女,天津人,本科,助理工程师,主要从事水质工艺管理工作。

E-mail:228874700@qq.com

收稿日期:2018-03-14

(上接第 38 页)

强降雨强度有关,一般为 1~2 d,浊度从受到影响到下降至低值(35 NTU)所需要的时间一般为 3~4 d。

③ 强化混凝可以有效保障出厂水水质,及时对历史数据进行总结与分析、充分认识混凝规律与设备性能、完善水质预警机制等可以为强化混凝提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 董申伟,李明玉,陈伟红,等. 聚合氯化铝的盐基度与混凝性能关系研究[J]. 工业水处理,2007,27(2):53-56.
Dong Shenwei, Li Mingyu, Chen Weihong, *et al.* Studies on the relation between coagulative property and basicity of polyaluminium chloride [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(2):53-56 (in Chinese).
- [2] 李润生,李凯. 聚氯化铝盐基度与混凝效果的关系[J]. 中国给水排水,2001,17(8):71-73.
Li Runsheng, Li Kai. Relationship between PAC's basicity and coagulation effect [J]. China Water & Wastewater, 2001, 17(8):71-73 (in Chinese).
- [3] 赵艳,张冰如,李霞,等. 聚合氯化铝的盐基度与水解

形态[J]. 应用化学,2004,21(2):212-214.

Zhao Yan, Zhang Bingru, Li Xia, *et al.* Poly (aluminum chloride) and its coagulation effect [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2004, 21(2):212-214 (in Chinese).



作者简介:周正协(1973-),男,浙江宁波人,硕士,高级工程师,主要从事饮用水安全保障技术研究。

E-mail:zcigmondliu@126.com

收稿日期:2018-01-11