

# 佛山新城水厂 $\text{ClO}_2$ 应用优化及消毒副产物控制

邹振裕, 黄明珠, 罗旺兴, 吴启龙, 何小青, 叶挺进, 徐廷国  
(佛山市水业集团有限公司, 广东 佛山 528000)

**摘要:** 二氧化氯是国际上公认的广谱、高效、安全、环保的杀菌消毒剂,在水厂应用广泛,特别是中小型水厂。佛山新城超滤膜水厂自2006年建成投产后,出厂水一直采用二氧化氯消毒,结合运行十年的二氧化氯设备管理维护经验,总结了  $\text{ClO}_2$  应用优化实践和消毒副产物的控制方法,可供相关水厂参考。

**关键词:** 水厂; 消毒系统; 二氧化氯; 消毒副产物; 运行经验

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0019-04

## Application of Chlorine Dioxide and Control Method of Disinfection By-products in Foshan Xincheng Waterworks

ZOU Zhen-yu, HUANG Ming-zhu, LUO Wang-xing, Wu Qi-long, HE Xiao-qing,  
YE Ting-jin, XU Ting-guo  
(Foshan Water Group Co. Ltd., Foshan 528000, China)

**Abstract:** Chlorine dioxide is regarded as a kind of bactericidal disinfectant with characteristic as wide spectrum, high efficiency, security and environmental protection. It is widely used in drinking water treatment plants, especially in the small- and medium-scale plants. Foshan Xincheng waterworks which adopted the ultrafiltration membrane system as treatment process, was constructed and began to run in 2006. Its effluent was disinfected by chlorine dioxide. Based on the ten-years experiences of management and maintenance of chlorine dioxide disinfection, the application of chlorine dioxide and the control method of disinfection by-products were summarized for reference to similar projects.

**Key words:** waterworks; disinfection system; chlorine dioxide; disinfection by-products; operation experience

### 1 佛山新城超滤膜水厂概况

佛山新城超滤膜水厂于2006年投产,采用以超滤膜为核心的第三代饮用水处理工艺(见图1)。原水为市政自来水,设计供水能力首期为  $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$  (2006年),中期为  $15\,000\text{ m}^3/\text{d}$  (2017年立项,预计2018年6月建成投产),出厂水水质检验监测由三级水质监测机构组成(见图2),水厂供水水质达到

发达国家标准。

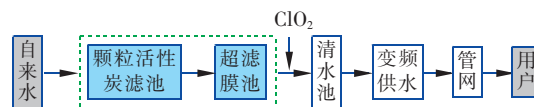


图1 超滤膜水厂工艺流程

Fig. 1 Schematic diagram of ultrafiltration system

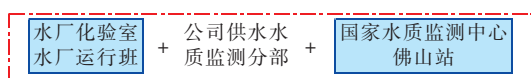


图2 水质监测机构

Fig. 2 Water quality testing organization

佛山新城超滤膜水厂二氧化氯系统从2006年6月投产使用至今,二氧化氯采用亚氯酸钠法现场制备,原材料为盐酸和亚氯酸钠。设备产品具备现场在线控制、显示功能,原料转化率 $>85\%$ , $\text{ClO}_2$ 纯度 $\geq 95\%$ ,有效二氧化氯产量为 $100\text{ g/h}$ (以纯二氧化氯计)。在系统使用期间,水厂先后针对出厂水余二氧化氯波动、自控信号选取、原材料质量把关、原材料浓度配比、运行作业操作规程等可能导致消毒副产物超标的风险或二氧化氯投加量不足的问题进行应用优化及研究,并且对“二元法”和“三元法”制备二氧化氯产生的残液的处理方法进行了调研,其经验总结可为其他水厂应用 $\text{ClO}_2$ 消毒提供借鉴。

## 2 二氧化氯波动研究及系统改造优化

### 2.1 系统优化改造前存在的问题

佛山新城超滤膜水厂建厂伊始,由于用户需水量小,供大于求,滤后水在清水池滞留时间较长(10 h以上),为了降低药耗,缩短出厂水余二氧化氯检测信号反馈时间,将出厂水二氧化氯投加点设置于送水泵进水总管的末端进水管上(见图3)。但这种方式存在出厂水余二氧化氯波动幅度较大,并且偶尔出现二氧化氯间断性投加量不足情况(出厂水余二氧化氯波动幅度为 $0.05\sim 0.3\text{ mg/L}$ )。

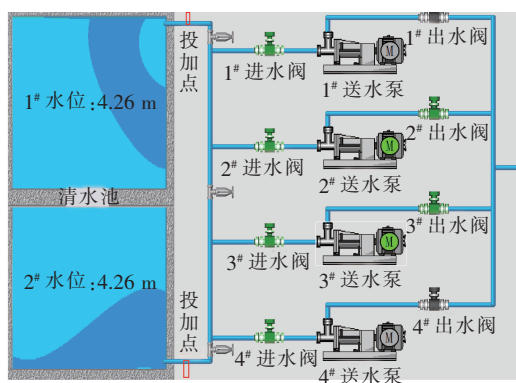


图3 改造前二氧化氯投药点

Fig. 3 Chlorine dioxide addition location before modification

据了解,一般出厂水余二氧化氯波动、影响消毒效果的常见因素有设备性能不佳、原水水质不适、反应原料不纯及使用技术不当。佛山新城超滤膜水

厂针对余二氧化氯波动,结合实际情况进行深入分析,发现区别于常见影响因素,其主要原因是投加模式设计不合理,一组投药系统对应两个投药点,在“一对二”这种投药模式和送水泵进水总管为两端进水条件下,以下因素都会造成药物分配不均匀,引起投药量一边过多或者另一边过少的情况:①水泵机组搭配不当而致配水不均,流量大、流速快时二氧化氯浓度较低,而流量小、流速低时二氧化氯则浓度较高;②不同投药点相应的清水池水位不同、投加口压力不同,水位低、投加口压力小,二氧化氯投加速度快、投加量较多,造成浓度较高,而水位高、投加口压力大时,二氧化氯投加速度慢,投加量较少,造成浓度较低;③药物投加输送距离不同,输送距离长时二氧化氯浓度较低,输送距离短时二氧化氯浓度较高。并且,在送水泵前投加二氧化氯,还存在药物接触时间不够 $30\text{ min}$ 的情况,消毒效果受到影响<sup>[1]</sup>。

### 2.2 系统优化改造

随着佛山新城的快速发展,用户需水量不断攀升,近两年,日高峰供水时段甚至出现超负荷运行,供不应求,滤后水在清水池滞留的时间已经缩短至 $2\text{ h}$ 以下,水厂结合生产实际情况,对投加点进行了优化改造:将原送水泵前投加二氧化氯,改为在清水池前膜产水总管上投加二氧化氯;投加模式由一组投药系统对应两个投药点,改为一组投药系统对应一个投药点,即“一对二”改为“一对一”(见图4)。

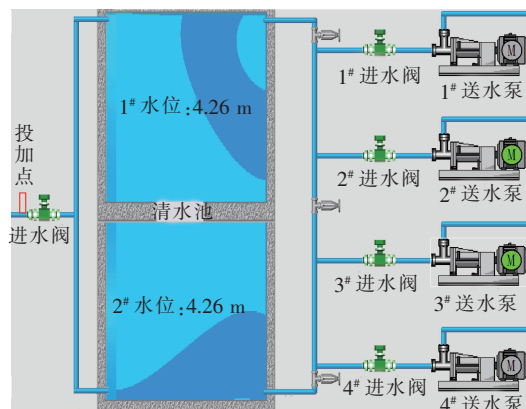


图4 改造后二氧化氯投药点

Fig. 4 Chlorine dioxide addition location after modification

该方式消除了引起二氧化氯波动的因素,并且确保二氧化氯在清水池的接触时间不少于 $30\text{ min}$ 。对比发现系统优化改造效果显著,出厂水二氧化氯投加控制稳定,出厂水余二氧化氯波动幅度为 $0.18\sim 0.25\text{ mg/L}$ ,既确保了二氧化氯的消毒效果,也避

免了由于投药不均引起的消毒副产物超标风险。

### 3 自控信号选择

二氧化氯投药系统的控制信号由原来的“出厂水流量信号 + 比例系数”改为“膜产水总流量信号 + 比例系数”。膜产水总流量信号作为清水池前二氧化氯投加系统的控制主信号,能够及时准确地按照实际水量进行“一对一”精准投药,从而解决了在原“一对二”投药模式下采用出厂水流量信号导致的不能及时准确地按送水泵前配水流量进行投加的问题。这不但确保了出厂水的余二氧化氯达标,也避免了过量投加可能造成消毒副产物超标的风险。

## 4 二氧化氯消毒剂原材料把关

### 4.1 原材料遇见的问题

在原材料使用过程中,可能碰到的问题有:①以次充好,杂质多,比如水厂要求食品级盐酸,而原料商供应工业盐酸;②纯度不够,如水厂要求纯度为 80% 的亚氯酸钠而原料商供应的亚氯酸钠纯度只有 40%;③缺斤少两,如水厂要求盐酸为 25 kg/桶,原料商实际才装 23 kg/桶;④产品检验报告不全。

### 4.2 原材料的质量把控

佛山新城超滤膜水厂针对二氧化氯原材料碰到的问题,主动派员到国家水质监测中心佛山站学习盐酸浓度及亚氯酸钠纯度的检测方法,做到每批次原材料必检;化验员对原材料每批次进行检测后,填写《原材料分析测定原始记录表》。与公司物资采购中心建立联动,及时反映原材料情况(含色度、质量、数量等);向供应商索取产品检验报告。通过以上措施,做好二氧化氯原材料的质量把控,确保二氧化氯的质量,避免消毒副产物的增多或超标。

## 5 运行作业指导书优化

在落实化学品安全管理制度中实行双人收发、双人记账、双人双锁、双人运输、双人使用的“5 双管理”,并且完善作业指导书、开展安全运维工作。

在进行二氧化氯原材料配制前,要求先填好《安全作业操作表》,再进行领用、配制。化验员领用化学品时,仓管员核对领用数量,核对称重过程,双方在《领料记录表》留下记录及签名确认。配制时,一名化验员操作,一名化验员协助,涉及到二氧化氯系统操作时则由生产运行员操作二氧化氯消毒系统。此外,生产运行员与化验员需共同核对药罐配制前和配制后的溶液量刻度,并且留下记录及签名确认。日常化验员和维修员共同负责药罐的定期

清洗,避免原材料药物沉淀过多而被吸入到二氧化氯系统发生器,导致反应不完全,引起消毒副产物超标的风险。

## 6 气液分离及残液处理

根据《二氧化氯消毒剂发生器 安全与卫生标准》(GB 28931—2012)要求,氯酸钠法制备二氧化氯的发生器用于饮水消毒时应配备相关的分离装置,将二氧化氯、氯与其他物质进行分离,并将分离出的氯和氯酸盐等进行相关处置。通过气液分离,确保高纯度的二氧化氯气体进入水中,未完全转化的原料分离出来,有效地控制消毒副产物的产生和降低消毒副产物进入水体的量级。

残液处理方法主要有:①回收处理。设置残液收集池,采用水射器负压抽吸残液反应生成的二氧化氯,避免二氧化氯集聚在气相部分超过 10% 浓度时发生分解,并将抽吸的二氧化氯引入清水池,提高二氧化氯的综合利用率,剩余的残液委托厂家回收。②中和处理。在碱液池里面存放 10% 的氢氧化钠溶液(或石灰水),酸性残液排放到碱液池进行中和反应,待 pH 值成中性后排放。该方案优点是处理简单方便;缺点是增加运行成本和劳动强度,需定期排放并向碱液池里补充氢氧化钠溶液(或石灰水)。

## 7 其他控制消毒副产物的措施

① 提高原材料的转化率,可以选用多级反应器,逐级升温,确保原材料充分反应。

② 采用高质量、耐腐蚀、灵敏度高的流量监测装置以及高质量的计量泵,当计量泵流量发生变化时自动调节、校正流量,确保原料按比例投加到反应器中,使反应在最佳比例条件下进行,保证产量稳定,投加精准。

③ 选择与生产实际用量匹配的二氧化氯发生器,避免原材料在反应器中反应时间不够。

④ 在确保出厂水余二氧化氯不低于 0.1 mg/L,且管网末梢水余二氧化氯不低于 0.02 mg/L 的基础上,尽量降低二氧化氯消毒剂的使用量,进而降低饮用水消毒副产物氯酸盐、亚氯酸盐的含量。

## 8 结语

① 建立健全的原材料采购及监督制度、规范原材料日常管理及使用作业指导书,水厂可以自己配制原材料,也可以由供应商提供调配好的原材料,严格把关,确保原材料的质量和投药配比的准确性。

② 选择准确的自控信号控制二氧化氯发生器



计量泵、采用“一套投药系统对应一个投加点”的投加方式。

③ 选用高纯型二氧化氯发生器系统、高质量的精准计量泵和知名品牌的二氧化氯在线检测仪器,确保原材料的高转换率(90%及以上)、二氧化氯的高纯度(95%及以上),以及计量和检测的准确性。

④ 采用气液分离装置,将未完全转化的原料分离出来,降低消毒副产物的产生,并对残液进行安全处理。

⑤ 结合生产实际需求量,选用合适的二氧化氯发生器类型和产量,确保原材料在反应器中有足够的反应时间,可以采用多级反应器和逐级加温的方式,有助于原材料的转化率提升。

⑥ 强化操作人员和管理人员的培训,提高运行管理水平和技术水平。

#### 参考文献:

- [1] 叶挺进,罗旺兴,黄禹坤,等. 二氧化氯投加点对超滤膜运行效能的影响[J]. 中国给水排水,2011,27(21):

1-4.

Ye Tingjin, Luo Wangxing, Huang Yukun, et al. Effect of chlorine dioxide dosing point on efficiency of ultrafiltration membrane [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27 (21): 1-4 (in Chinese).



作者简介:邹振裕(1979-),男,广东揭阳人,硕士,高级工程师,主要从事超滤膜水厂生产技术管理及应用研究工作。

E-mail: 13929913965@139.com

收稿日期:2017-12-10

(上接第18页)

- ering, 2008, 34(2): 96-99 (in Chinese).
- [9] Anand C, Apul D S. Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets [J]. J Environ Manage, 2011, 92(3): 419-428.
- [10] 胡孟春. 风、光电能驱动处理化粪池污水的设备研发 [J]. 中国给水排水, 2017, 33(3): 93-96.  
Hu Mengchun. Development of wind and solar energy-driven equipment for treatment of septic tank effluent [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(3): 93-96 (in Chinese).
- [11] 王达, 张强. 湖南省农村户用沼气池效益估算与财政补贴研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(10): 163-166.  
Wang Da, Zhang Qiang. Benefit estimations and financial subsidies for biogas digesters in Hunan's rural households [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(10): 163-166 (in Chinese).
- [12] 国家发改委, 建设部. 建设项目经济评价方法与参数 (第3版) [M]. 北京: 中国计划出版社, 2006.  
National Development and Reform Commission, Ministry

of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Economic Evaluation Methods and Parameters of Construction Projects (3rd ed) [M]. Beijing: China Planning Press, 2006 (in Chinese).



作者简介:时义磊(1992-),男,安徽淮南人,硕士研究生,主要从事水污染控制相关研究。

E-mail: shiyl16@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期:2017-12-18