

深圳盐田港水厂二氧化氯消毒副产物控制技术示范

廖 岚, 蔡广强, 卢小艳, 刘丽君, 张金松, 黄河洵
(深圳市水务<集团>有限公司, 广东 深圳 518031)

摘 要: 针对采用二氧化氯消毒的部分水厂面临氯酸盐和亚氯酸盐超标风险较高的问题,以全面提升深圳市饮用水供水水质安全为目标,研发建立了二氧化氯与氯混合发生器工况评估和优化技术以及次氯酸钠与二氧化氯联合消毒控制技术,并在盐田港水厂进行技术示范。示范技术应用后,出厂水中氯酸盐和亚氯酸盐浓度均降低至国标限值的30%以下,微生物呈未检出状态,同时其他水质指标完全满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。示范技术的开发与应用,为深圳地区供水水质安全保障提供了有力支撑,也可为国内类似水质问题的解决提供借鉴。

关键词: 二氧化氯; 氯酸盐; 亚氯酸盐; 控制技术; 示范工程

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)05-0006-05

Demonstration Project of Chlorine Dioxide Disinfection By-products Control Technology in Yantiangang Waterworks in Shenzhen City

LIAO Lan, CAI Guang-qiang, LU Xiao-yan, LIU Li-jun, ZHANG Jin-song,
HUANG He-xun

(Shenzhen Water Affairs <Group> Co. Ltd., Shenzhen 518031, China)

Abstract: In view of the high risk of chlorate and chlorite that some waterworks using chlorine dioxide disinfectant are facing, the working condition of mixed disinfectant generator of chlorine and chlorine dioxide evaluation and optimization technology, the combined disinfection control technology of sodium hypochlorite and chlorine dioxide were established, in order to improve the safety of drinking water quality in Shenzhen. At the same time, the technology demonstration was carried out in Yantiangang Waterworks. The concentrations of chlorate and chlorite were reduced to less than 30% of the national standard limits, and microorganism was not detected in the finished water under the application of demonstration technology. In addition, other water quality indicators included in the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006) completely met the requirements. The development and application of demonstration technology provides a strong support for the water quality security of Shenzhen area, and it has reference value for the solution of similar water quality problems in China.

Key words: chlorine dioxide; chlorate; chlorite; control technology; demonstration project

二氧化氯消毒在杀灭水体中病原微生物的同时,能够有效减少具有“三致”作用的有机氯化消毒

副产物的生成,且对于水体中的铁、锰具有较好的氧化去除作用^[1,2]。但二氧化氯极其不稳定,使用时

基金项目: 深圳市水务发展专项资金资助科技创新重大专题项目(深水务[2013]359-6)

通信作者: 刘丽君 E-mail: szliulijun@126.com; 张金松 E-mail: zhangjinsong@waterchina.com

需要现场制备,我国目前使用较多的是以氯酸盐为主要原料的二氧化氯与氯混合发生器,但部分发生器存在工况条件不稳定、原料转化率低等问题,造成部分原料氯酸盐直接进入水体,存在较高的氯酸盐超标风险^[3]。同时二氧化氯与水体有机物反应时,70%左右可转化为亚氯酸盐,10%左右转化为氯酸盐,两种无机副产物对人体均具有一定的危害^[4]。

深圳地区常年高温多雨,水库源水面临面源污染、生活污水、养殖废水等污染风险,基本处于富营养化状态,藻类繁殖旺盛,形成典型的高有机物、高藻、低浊的水质特点。深圳市盐田港水厂采用二氧化氯进行预氧化和消毒,为应对原水水质污染及保持出厂水余氯达标,二氧化氯投加量较高,氯酸盐和亚氯酸盐的超标风险居高不下。

以深圳市水务(集团)有限公司承担的深圳市水务发展专项资金资助科技创新重大专题项目——原水水质变化情况下的深圳饮用水中消毒副产物成因与控制技术研究课题(以下简称“深圳市水务科技创新重大专项”)为契机,对二氧化氯与氯混合发生器的工况进行评估和优化,同时对氯酸盐和亚氯酸盐的风险控制技术进行研究,并以盐田港水厂作为载体,将取得的相关关键技术进行应用示范,以全面保障深圳地区的饮用水供水安全。

1 盐田港水厂工艺概况

盐田港水厂位于深圳市盐田区,设计规模为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用由机械搅拌反应池、栅条絮凝池、平流沉淀池、普通快滤池组成的常规处理工艺,并以二氧化氯进行预氧化和消毒。水厂工艺流程如图1所示。

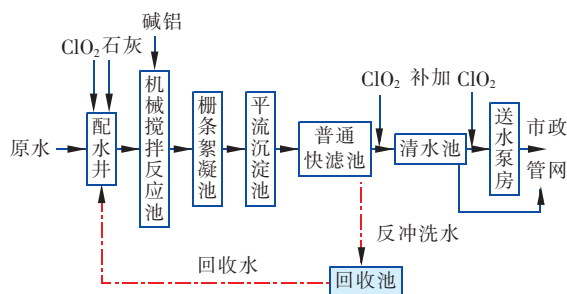


图1 盐田港水厂原工艺流程

Fig. 1 Flow chart of Yantiangang Waterworks before reconstruction

该水厂原主要设计参数:①栅条絮凝池,共2座,单座平面尺寸为 $22.5 \text{ m} \times 6.8 \text{ m}$,絮凝时间约24

min。②平流沉淀池,共2座,单座平面尺寸为 $12.5 \text{ m} \times 65 \text{ m}$,沉淀时间为120 min。③普通快滤池,共2座,分16格,单格平面尺寸为 $6.5 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$,采用双排布置;正常过滤速度为 5.6 m/h ;滤料采用无烟煤+石英砂双层滤料,高度为1.0 m,砾石承托层厚为0.15 m;采用气水联合反冲洗。④清水池,共2座,单座平面尺寸为 $73 \text{ m} \times 25 \text{ m}$,池深为4 m,有效调节容积为 $14\,000 \text{ m}^3$ 。二氧化氯投加量在 $1.0 \sim 1.5 \text{ mg/L}$ 之间。

该水厂水源来自深圳水库老虎坳泵站,主要存在臭味、有机物等污染问题,水质季节性变化大,雨季过后原水铁、锰含量大幅上升,采用单独二氧化氯消毒时,二氧化氯消毒副产物超标风险高。水厂工艺应对原水季节性变化的能力较差,为此迫切需要妥善解决。

2 相关研究及成果应用

2.1 发生器运行优化方案确定及应用

研究明确了二氧化氯消毒副产物的主要来源,发生器带入、与水体氧化反应占比约80%以上。针对发生器带入,探讨原料投加比、计量泵频率、反应温度、残液排放等因素对发生器出口溶液影响,确定了其最优的反应工况,即:原料盐酸(31%)、氯酸钠(33%)投加比为1.2:1,反应温度为 65°C ,发生器氯酸盐带入量由 1 mg/L 二氧化氯带入 0.28 mg/L 减少到 0.19 mg/L ;同时每周定期排放发生器残液,进一步减少原料氯酸盐带入量。水厂按照发生器运行优化条件参数、定期排放残液进行技术应用示范。

2.2 工艺比选与联合消毒工艺优化应用

比较单独二氧化氯与联合消毒工艺在不同水质条件下的无机副产物生成规律,联合消毒工艺比单独二氧化氯消毒工艺在无机副产物控制、常规指标去除等方面均具有明显优势,并且因投加次氯酸钠造成的有机副产物风险很低,基本低于30%国标限值。

在原水水质季节性变化情况下,明确影响联合消毒工艺效果的因素(如投加点、投加量、投加顺序、工艺等)。盐田港水厂应用二氧化氯预氧化、次氯酸钠消毒,且二氧化氯可在配水井、沉后多点投加;在原水氨氮高于 0.1 mg/L 时,调整为次氯酸钠预氧化、二氧化氯消毒工艺,保障出厂水余氯稳定。通过优化的联合消毒工艺技术示范,增强盐田港水厂工艺的应对能力,保障出厂水质稳定达标。

3 联合消毒工艺优化控制副产物技术示范

在工艺改造方案中,将二氧化氯消毒改为二氧化氯+次氯酸钠联合消毒,具体措施是:一般情况下,采用二氧化氯预氧化(沉后作为多点投加二氧化氯补充点)、次氯酸钠消毒;当原水氨氮浓度高于 0.1 mg/L 时,调整联合消毒工艺投加顺序,改善对水源水质突变的应对能力,同时优化发生器运行工况,定期排放残液,以降低二氧化氯消毒副产物生成量,保障水质安全。改造后的工艺及水厂鸟瞰图分别如图2和图3所示。

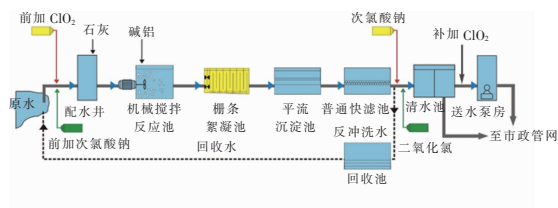


图2 盐田港水厂联合消毒处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of combined disinfection technology in Yantiangang Waterworks



图3 盐田港水厂二氧化氯消毒副产物控制示范工程鸟瞰图

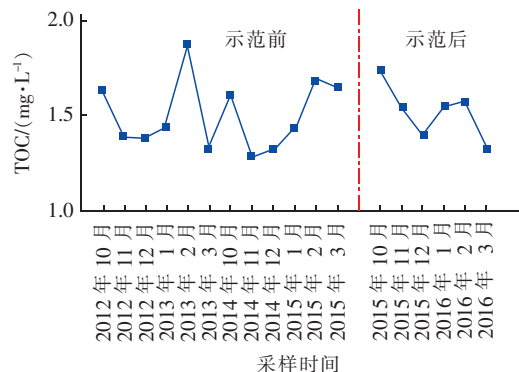
Fig.3 Aerial view of chlorine dioxide disinfection by-product control demonstration project in Yantiangang Waterworks

4 示范前后原水及出厂水水质指标对比

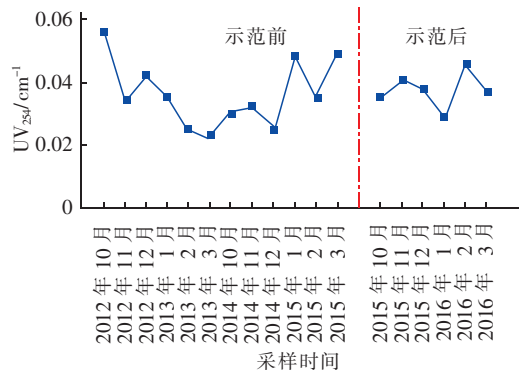
4.1 示范前后原水水质对比

对示范前后同时段原水TOC、 UV_{254} 等有机物指标,藻密度、菌落总数等生物指标,以及铁、锰等金属指标进行对比分析,明确示范前后原水水质的差异情况,结果如图4所示。可知,示范前与示范后原水TOC、 UV_{254} 、藻密度、菌落总数、铁、锰等指标的总体变化情况基本相同,虽然各水质指标时有突变的情况发生,但TOC基本在 1.50 mg/L 左右变化, UV_{254} 基本在 0.04 cm^{-1} 左右变化,藻密度基本维持在 2.3×10^6 个/L左右,菌落总数保持在 300 CFU/mL 左右,铁基本在 0.05 mg/L 左右变化,锰基本在 0.03

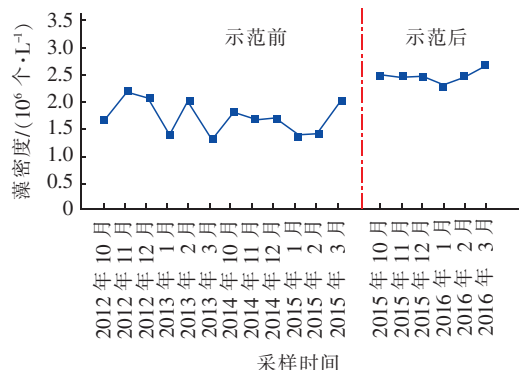
mg/L 左右变化,示范期间原水水质与示范前同时期的情况基本相同。



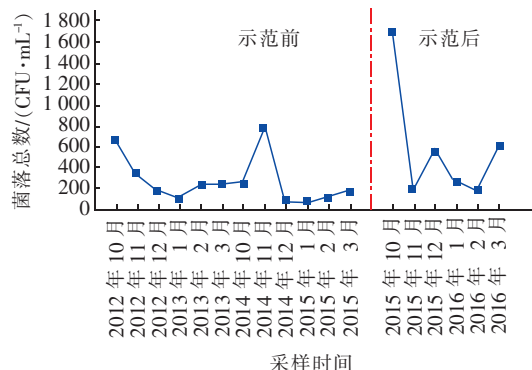
a. TOC 浓度对比



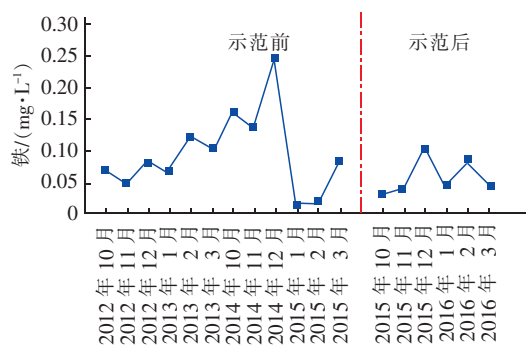
b. UV_{254} 对比



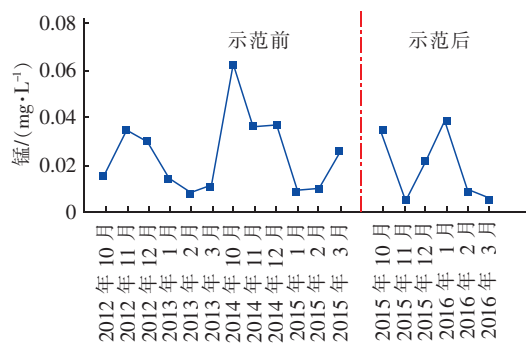
c. 藻密度对比



d. 菌落总数对比



e. 铁浓度对比



f. 锰浓度对比

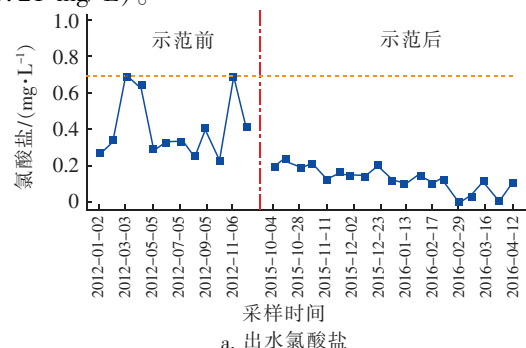
图 4 示范前后原水水质对比

Fig. 4 Comparison of raw water quality before and after reconstruction

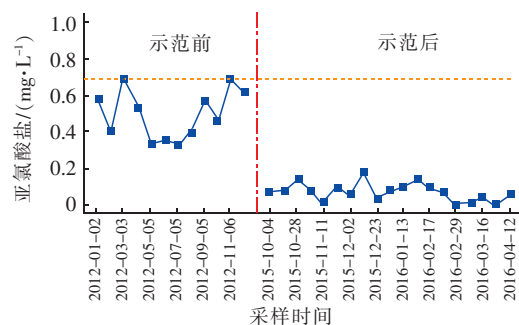
4.2 示范前后出厂水微生物及副产物情况

示范前后出厂水中菌落总数、大肠埃希氏菌等微生物指标均未检出,说明示范措施对保障饮用水微生物安全性没有影响。示范前,出厂水氯酸盐、亚氯酸盐曾出现过临近国标限值的情况,无机副产物超标风险高。

示范前后出厂水中氯酸盐和亚氯酸盐浓度的对比如图 5 所示。可知,示范后该厂出水氯酸盐、亚氯酸盐浓度未发生偏高现象,均低于国标限值的 30% (0.21 mg/L)。



a. 出水氯酸盐



b. 出水亚氯酸盐

图 5 示范前后出厂水氯酸盐和亚氯酸盐浓度对比

Fig. 5 Comparison of chlorate and chlorite concentrations in finished water before and after reconstruction

一般情况下采用二氧化氯 + 次氯酸钠联合消毒工艺,每年约 1 个月采用次氯酸钠 + 二氧化氯工艺,出厂水水质稳定达标。可见,盐田港水厂基于原水水质变化的联合消毒工艺优化运行、优化发生器运行参数、定期排放残液的发生器运行方式,有效控制了氯酸盐、亚氯酸盐超标的风险。

4.3 示范后出厂水国标 106 项检测

为明确示范技术在降低氯酸盐和亚氯酸盐风险的同时,是否会对其他水质指标造成不良影响,对应用示范技术后的出厂水 106 项指标进行了检测,其中色度 < 5 度,浊度 < 0.5 NTU, COD_{Mn} 为 1.45 mg/L,二氯乙酸为 2.2 $\mu\text{g/L}$,而三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷、三氯乙酸、三氯乙醛等均未检出。由此可知,在应用示范技术后出水水质良好,说明示范技术不仅能够有效控制氯酸盐和亚氯酸盐的生成,同时对整体出水水质不会造成不良影响。

5 结论

① 以深圳市水务科技创新重大专项为依托,针对部分二氧化氯消毒水厂面临的氯酸盐和亚氯酸盐超标风险较高的问题,重点研发了二氧化氯与氯混合发生器工况评估和优化技术、次氯酸钠与二氧化氯联合消毒控制技术。在示范技术应用后菌落总数和大肠埃希氏菌均未检出,且氯酸盐和亚氯酸盐降至国标限值的 30% 以下,保障了微生物和副产物的双重安全。

② 示范技术应用后,水厂运行稳定,106 项指标均满足国标要求,即示范技术的应用不会对综合水质造成不良影响。

(下转第 14 页)