

嘉兴市贯泾港水厂次氯酸钠消毒技术工程应用研究

朱海涛^{1,2}, 张富标², 徐 飏², 刘宏远¹, 叶守开¹, 刘 超¹

(1. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 嘉兴市水务集团有限公司, 浙江 嘉兴 314000)

摘 要: 液氯消毒是制水行业最为普遍使用的消毒技术,但是液氯作为剧毒危化品在运输和使用中存在严重安全隐患。为解决这一问题,嘉兴市贯泾港水厂进行了次氯酸钠消毒技术的研究,并在 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水厂实施应用。工程应用表明,现场制备的次氯酸钠作为消毒剂能够满足饮用水厂对消毒的要求。更为重要的是,次氯酸钠的在线检测、投加和控制系统实现了其精确投加,保证了水厂的安全生产。

关键词: 次氯酸钠; 液氯; 消毒; 饮用水厂

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0039-04

Engineering Application of Sodium Hypochlorite Disinfection Technology in Guanjinggang Water Treatment Plant

ZHU Hai-tao^{1,2}, ZHANG Fu-biao², XU Biao², LIU Hong-yuan¹, YE Shou-kai¹, LIU Chao¹

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Jiaxing Water Investment Group Co. Ltd., Jiaxing 314000, China)

Abstract: Liquid chlorine disinfection is the most commonly used disinfection technology in drinking water treatment plants. However, there are serious security risks during the transportation and application of the highly toxic liquid chlorine. To solve this problem, sodium hypochlorite as an alternative disinfectant has been studied in Guanjinggang Water Treatment Plant in Jiaxing City with a water treatment capacity of $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The results of engineering application indicate that sodium hypochlorite produced on the spot could meet the disinfection requirement of drinking water plants. More importantly, the online detection, dosing and control system of sodium hypochlorite could achieve the accurate disinfectant dosage, thus ensuring the safe production of drinking water.

Key words: sodium hypochlorite; chlorine; disinfection; drinking water treatment plant

液氯消毒是制水行业最为普遍使用的消毒技术,具有操作简便、稳定以及经济等特点,但是其作为剧毒危化品在运输和使用中均存在严重安全隐患^[1]。而且国内尚有很多水厂处于居民区,以嘉兴市为例,石臼漾水厂地处居民区,而贯泾港水厂则处

于国际商务区核心区域,一旦发生泄漏事故将造成严重后果。采用更为稳定和安全的消毒技术势在必行,为此研究了次氯酸钠消毒技术工程应用的可行性,并对运行效果进行了评估,希望为同类水厂消毒设施的改造和新水厂的设计提供参考。

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07403003)

通信作者: 刘宏远 E-mail: lhyzyy@qq.com

1 工程概况

嘉兴市贯泾港水厂总供水能力为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 水源为地表水源, 处理工艺主要为强化常规工艺 + 生物处理工艺 + 深度处理工艺, 改造前消毒剂为液氯, 投加量在 2.0 mg/L 左右。

2 更换消毒技术的必要性

液氯是贯泾港水厂的主要消毒剂, 其化学名称为液态氯, 为黄绿色液体, 沸点为 -34.6°C , 熔点为 -103°C , 在常压下即气化成气体, 吸入人体能造成严重中毒, 有剧烈刺激作用和腐蚀性, 在日光下与其他易燃气体混合时会发生燃烧和爆炸, 属危险品。

世界互联网大会每年都将在乌镇举行, 2016 年

杭州举办了 G20 峰会, 2022 年亚运会也将在杭州举行, 会议期间安保工作以及水厂安全生产管理将面临更为严苛的要求。嘉兴市所有水厂的液氯都已经划入重大危险源, 这也对水厂的危化品管理工作提出了更高的要求, 而且上述会议期间也将禁止液氯等危险品的运输。嘉兴市安监局要求嘉兴五县市内所有饮用水厂必须于 2016 年底前将液氯消毒工艺更换为其他更为安全的消毒工艺。因此水厂停用液氯消毒并改用更安全的消毒方式已是大势所趋。

3 常用消毒技术的比较

液氯、次氯酸钠与二氧化氯是三种常用消毒剂, 其特点比较^[2~4]详见表 1。

表 1 三种常用消毒方法比较

Tab. 1 Comparison of three disinfection methods

项 目	液氯	二氧化氯	次氯酸钠
作用机理	HClO	ClO_2	HClO
运输	剧毒品运输, 需公安局备案	发生器现场制备, 原料盐酸为易制毒品运输, 需公安局备案; 氯酸钠为普通危险品运输	成品为普通危险品运输; 发生器现场制备, 原料氯化钠为一般运输
浓度/%	>95	70~95	0.8~13
稳定性	气体	极其不稳定	高浓度下稳定性较差, 5% 以下可视为稳定, 有效氯衰减缓慢
与水接触时间/min	≥ 30 (氯胺消毒: ≥ 120)	≥ 30	≥ 30
管网余氯衰减	较快	快	慢
存在问题	泄漏问题	①二氧化氯的测定方法仍需改进和成熟 ②管网余氯衰减较快, 易使管网末端微生物超标 ③容易出现管网中黄水现象 ④二氧化氯发生系统存在爆炸风险	①高浓度次氯酸钠在保存不当的情况下容易分解 ②次氯酸钠为液体产品, 有效氯浓度较低, 使得投加占地面积较大 ③次氯酸钠发生器制备水需软化

由表 1 可知, 次氯酸钠作为消毒剂与其他消毒方法相比较, 消毒效果基本相同, 其产品相对稳定, 所存在问题通过一定技术手段均可以得到解决。若采用现场制备技术则可以进一步解决原材料运输和产品储存等问题。

4 次氯酸钠技改方案对比

贯泾港水厂次氯酸钠技改有两种方案, 即现场设备制备浓度为 $0.8\% \sim 1\%$ 的次氯酸钠溶液和采购浓度为 10% 的成品次氯酸钠溶液。

① 成品次氯酸钠溶液

成品次氯酸钠溶液有工业级和食品级两种, 食品级和工业级的区别主要在浓度以及重金属含量上, 次氯酸钠成品生产实际上是氯碱工艺的一个分支, 由氢氧化钠和氯气反应制得。而食品级次氯酸钠必须在此基础上经提纯、去除所含重金属, 自来水

行业使用的是食品级的 10% 次氯酸钠溶液。

成品次氯酸钠技改的最大优点是投入费用较少, 系统主要包括药液配制系统、药液储存系统、药液投加系统、控制系统。具体投加流程见图 1。

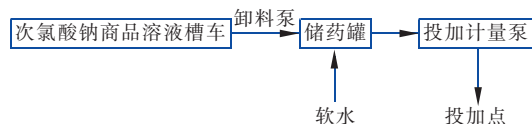


图 1 次氯酸钠投加工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sodium hypochlorite dosage technology

成品次氯酸钠技改需要解决的问题主要有以下几个方面: a. 由于次氯酸钠溶液有效氯浓度越高, 衰减越快, 所以有效氯浓度为 10% 的次氯酸钠溶液原料到场后必须马上进行稀释, 且稀释水需用软水以防沉淀物产生。b. 为了避免次氯酸钠因长时间贮存导致有效氯衰减, 水厂的储存量及供货周期必须

按照水厂的水量合理控制,因此要求制定周密的采购计划。c. 次氯酸钠储罐长时间使用后,内部可能会存在一些沉淀物,需对储罐进行排渣清洗;为达到环保要求,还应在储罐周围设置排水沟,室外还要设置相应的药液回收池。d. 由于10%的次氯酸钠溶液具有腐蚀性,操作人员必须严格按照要求配备相关防护用具。

② 现场制备次氯酸钠溶液

现场制备工艺主要利用水、电、食品级盐通过电解的方式现场制备低浓度次氯酸钠溶液(0.8%~1%)。次氯酸钠现场制备系统由软水制备、溶盐池、次氯酸钠发生器及配套电源、次氯酸钠储存及安全排氢联动系统、次氯酸钠投加系统以及控制系统组成。制备完成的0.8%~1%浓度的次氯酸钠溶液和少量氢气进入脱氢系统,采用离心风机鼓入新风完成低浓度排氢,次氯酸钠溶液进入存储桶等待投加。整个过程中,需要人工操作的仅是原料食用盐的投加工作(一般溶盐池设计一次加盐可连续使用10 d以上),系统可以不间断连续运行,也可以根据用氯量需求变化,自动调整工作时间以及发生器的运行台数,无需像采用成品模式,需要随时储备足够的量。当然,现场制备设备的运行也需要较高的管理水平和相应的管理风险防范措施。

③ 两种技改方案的比较

成品次氯酸钠在原料把控、质量纯度、稳定性以及涉水批件等方面还是会存在一些难点;而且10%的成品次氯酸钠也是属于危化品,成品运输必须由符合相关资质的危化品运输单位承运,如果遇上大型会议等,其在运输方面可能还会受限,运输保障系数无法保证。到厂后即便马上稀释到5%,仍然是危化品进厂,在管理方面还是要按照危化品管理。更重要的是高浓度的成品次氯酸钠在储存过程中更容易衰减,且气温越高,衰减越快,不断降低的有效氯浓度势必会对水厂投加精度控制造成困难,影响水厂出水水质,也会增加运行成本。相反,现场制备工艺制备0.8%的次氯酸钠溶液,不属于危险品,几乎无衰减,可长期保存,可大规模生产,其制备工艺操作方便,维护工作少,可全自动运行。与购买成品次氯酸钠相比,现场制备次氯酸钠浓度稳定,投加精准,低浓度使用更安全,无需担心生产厂商产品纯度及质量稳定性,无需频繁运输。但是现场制备系统前期一次性投入费用较大。

5 次氯酸钠技术实施方案

考虑到贯泾港水厂日处理水量为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,且远期仍有 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的规模待建设,按有效氯投量为 2 mg/L 计算,该次氯酸钠技改工程实施中标采购两套 20 kg/h 次氯酸钠发生器(一用一备),远期预留一套 20 kg/h 次氯酸钠发生器位置。实施地点为水厂原有液氯罐储存间、泄氯回收间和加氯间(见图2),可看出,改建项目几乎无新增面积。

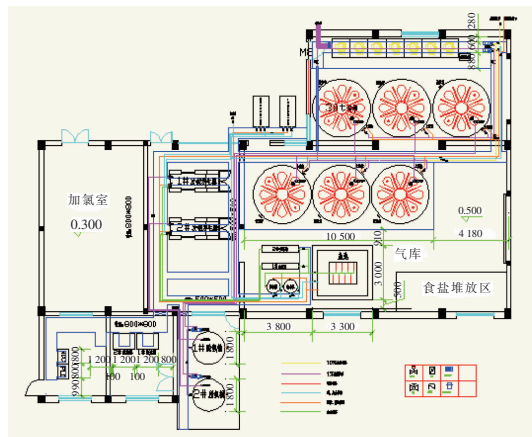


图2 次氯酸钠发生器技改项目平面布置图

Fig. 2 Layout plan of sodium hypochlorite generator renovation project

在前期的调研中发现,虽然国内次氯酸钠厂家也能生产次氯酸钠发生器,但与国外国际知名企业相比,在设备集成以及安全配置理念等方面依然存在一定差距。然而这些国际知名企业产品在国内销售还属于起步阶段,产品价格高,售后维护保障方面也可能存在一定缺陷。因此,实际方案实施中,对次氯酸钠发生器、电源、脱氢系统等核心部件采购了国外产品,并采用国内企业进行工程配套,一方面大幅度降低了次氯酸钠系统的总体费用,另一方面工程总体进度以及售后服务得到了保障。

为进一步精确控制投加量,项目实施单位协同相关单位同步研发了次氯酸钠浓度(以有效氯计)在线监测仪表,从而实现精确控制次氯酸钠的投加量。一方面保证出厂水的余氯值,另一方面也可以监测次氯酸钠制备设备的运行情况。

为进一步保证消毒工艺的安全稳定运行,在系统中增加成品10%次氯酸钠的接口并兼容投加方式,如发生系统故障维修期较长时,则可以立即切换至成品次氯酸钠投加。水厂与成品次氯酸钠生产厂家签订临时供货协议,确保在接到供货要求后24 h

内送达水厂,保证出厂水消毒工艺的安全运行。

6 运行效果

① 投加量和余氯情况。在次氯酸钠发生器系统实施完毕开始运行后,对其消毒效果进行了检测,数据表明,出水未检出总大肠菌群和菌落总数。

对比消毒剂改变前后数据发现,采用液氯和次氯酸钠分别作为消毒剂,其投加量(有效氯)分别为1.67和1.57 mg/L,平均出厂水余氯均为0.85 mg/L。因此在出厂水余氯几乎相同的情况下,次氯酸钠投加量比液氯下降0.1 mg/L。

② 消毒副产物。经第三方独立检测表明,出厂水消毒副产物与液氯消毒时情况一样,均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求。

③ 毒理学指标。经第三方独立检测表明,饮用水遗传毒性(SOS/Umu)检测为阴性。

7 运行成本分析

对贯泾港水厂消毒运行成本分析可知,按 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的规模比较,采用液氯消毒,投加量按有效氯为2 mg/L计,到厂液氯的价格按2 900元/t计算,每吨水消耗液氯成本为0.005 8元;现场制备次氯酸钠时,食盐价格按900元/t计算,电价按0.7元/(kW·h)计算,则每吨水消耗次氯酸钠成本为0.013元;采用10%成品次氯酸钠投加时,10%成品次氯酸钠到厂价格按1 100元/t计算,每吨水消耗次氯酸钠成本为0.022元。上述三种方案中相比较而言传统液氯消毒技术最省钱,而采用10%成品次氯酸钠投加时,运行成本最高。

表2为贯泾港水厂次氯酸钠年运行成本估算及与采购成品10%次氯酸钠的运行成本对比情况。

表2 贯泾港水厂次氯酸钠年运行成本估算

Tab.2 Cost estimation of sodium hypochlorite disinfection system

项 目	10%的成品次氯酸钠	现场制备0.8%的次氯酸钠
前期投入费用/万元	150	395
有效氯价格/(元·t ⁻¹)	11 000	6 570
年费用/万元	241	142
现场制备成本回收时间 (与成品投加相比,静态)/a		2.5
注: 现场制备系统质保期为五年,电极寿命一般为5~10年,5年质保期内电极免费更换,电极价格是系统价格的25%左右。		

由表2可以看出,尽管现场制备次氯酸钠一次

性投资较成品高,但差额部分可在2.5年内回收。因此,从运行成本分析,贯泾港水厂选用现场制备次氯酸钠是适合的。

8 结语

次氯酸钠消毒工艺研究表明,采用现场制备的次氯酸钠作为消毒剂可以达到消毒效果要求,投加控制稳定可靠,尤其是有效氯的在线监测系统的实施,可以更为精确地控制投加量,次氯酸钠总投加量相比较传统消毒剂液氯并无增加,甚至有一定下降,出厂水余氯也完全达到0.5 mg/L的要求;但运行成本较液氯有一定的上升。

次氯酸钠系统的实施,提高了水厂消毒系统的安全性,基本消除了原有液氯消毒系统对水厂本身及周边环境造成的安全隐患,具有良好的社会效益。尤其作为原料成品NaCl的采购质量和运输安全均可以得到保障。

参考文献:

- [1] 蒋绍阶,张智瑞. 小城镇自来水厂消毒技术的经济评价[J]. 中国给水排水,2007,23(4):15-18.
- [2] 张春雷,许光,王俊波,等. 消毒药剂氯气和次氯酸钠的比较[J]. 城镇供水,2014,(2):34-37.
- [3] 陆宇骏. 次氯酸钠现场生产系统在大中型水厂的应用[J]. 净水技术,2010,29(1):70-73.
- [4] 许春风,马铃,周智勇,等. 次氯酸钠在饮用水消毒方面的应用[J]. 西南给排水,2015,(2):1-3.



作者简介:朱海涛(1969—),男,浙江绍兴人,大专文化,高级工程师,浙江工业大学硕士生指导教师,主要从事给水处理技术研究及运行管理工作。

E-mail:82573711@qq.com

收稿日期:2016-10-11