

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.24.013

自来水厂次氯酸钠精准投加系统研究及应用

周沛良, 张小强, 何嘉莉

(东莞市水务集团供水有限公司, 广东 东莞 523112)

摘要: 针对自来水厂传统次氯酸钠投加方式投加量不准、效率低的问题,建立了一套次氯酸钠自动投加系统。该系统以PLC控制系统为核心,配置各类投加设备和仪表,对次氯酸钠投加影响因素进行分析,自动计算次氯酸钠投加量,以此建立精准投加系统模型,并将其应用至A水厂。试运行数据表明,该系统能够提高A水厂出厂水余氯稳定性,降低工人操作强度,并节省药耗成本。

关键词: 自来水厂; 次氯酸钠; 自动投加; PLC控制系统

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)24-0081-04

Research and Application of Sodium Hypochlorite Precise Dosing System in Waterworks

ZHOU Pei-liang, ZHANG Xiao-qiang, HE Jia-li

(Dongguan Water Group Water Supply Co. Ltd., Dongguan 523112, China)

Abstract: To solve the problems of inaccurate dosage and low efficiency in traditional dosing methods, a set of automatic sodium hypochlorite dosing system is applied in waterworks. Based on PLC control system, the system is equipped with various dosing equipment and instruments to analyze the influencing factors of sodium hypochlorite dosing, automatically calculate the dosage amount, and establish an accurate dosing system model, which is applied to A waterworks. The trial operation data show that the system can improve the stability of residual chlorine in A waterworks, reduce the workload of workers, and reduce the cost of chemical consumption.

Key words: waterworks; sodium hypochlorite; automatic dosing; PLC control system

为了保证供水水质安全、卫生,自来水厂通常需要加入消毒剂。次氯酸钠是一种常用的消毒剂,具有高效、安全、环保等特点,对细菌、病毒的生长具有很好的抑制作用,在水处理中应用广泛^[1-2]。次氯酸钠投加量的准确与否直接影响出水水质,投加量不足易导致出水水质不达标,影响消毒效果;反之,投加量过大,不仅增加制水成本,还可能增大消毒副产物超标风险。然而,传统的次氯酸钠投加方式通常需要较多的人工操作,存在投加量不准、效率低等问题。因此,开发一种次氯酸钠精准投加系统具有重

要意义。

1 影响因素分析及系统架构

1.1 次氯酸钠投加量影响因素分析

为建立水厂次氯酸钠精准投加系统,首先对影响次氯酸钠投加量的主要因素进行分析。在不考虑特殊水质的情况下,影响次氯酸钠投加量的因素^[3]主要有:

① 清水池进水流量。清水池进水流量对次氯酸钠投加量有直接影响,其大小与取水泵开泵数量、滤池阀门开度有关,可通过原水流量、滤后水流量比

例控制以及阀门开度调整次氯酸钠投加量。

② 清水池水位。清水池水位与清水池进水量影响投加次氯酸钠滤后水在清水池的停留时间,滤后水在清水池中滞留时间越长,次氯酸钠挥发程度越高。

③ 次氯酸钠有效氯含量。次氯酸钠受温度和光照影响易分解,建议次氯酸钠溶液在进货后14 d内使用完毕,并应尽量保存在避光场所。

④ 消毒接触时间。为充分发挥氯的消毒作用,必须保证投氯后有一定的接触时间。采用游离性有效氯(HClO和ClO⁻)消毒时,接触时间应至少30 min,CT值不小于1 mg/L·h。

⑤ pH。次氯酸(HClO)的杀菌效率比次氯酸根(ClO⁻)高约80倍,次氯酸是弱电解质,其离解程度一般取决于水的pH;pH低时,HClO较多,当pH<6时,HClO接近100%;当pH为7.5时,HClO和ClO⁻大致相等。

⑥ 水温。温度越低,HClO所占比例越高,消毒效果越好。

1.2 系统架构设计

结合次氯酸钠投加量的主要影响因素分析,开发了次氯酸钠精准投加系统,包括次氯酸钠投加装置、在线检测装置、PLC控制系统、生产中控系统四大组成部分,其架构如图1所示。

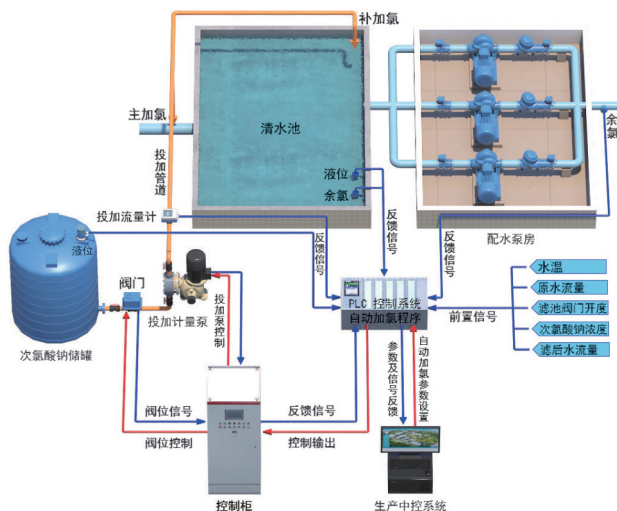


图1 次氯酸钠精准投加系统架构

Fig.1 Architecture of sodium hypochlorite precise dosing system

该系统以PLC控制系统为核心,配置投加计量泵、电动阀门等次氯酸钠投加装置,以及液位计、余

氯仪等在线监测装置,实时监测各设备和生产环节状况。控制流程步骤如下:

① 收集自来水厂次氯酸钠投加量、出水余氯、原水流量、滤池出水阀开度等数据进行分析,确定数学模型的因变量和自变量,建立回归分析模型,并将参数输入PLC控制系统。

② 通过生产中控系统输入滤后水和出厂水余氯的设定目标值,PLC控制系统根据前置输入信号的数据自动计算次氯酸钠投加量,指令次氯酸钠投加装置工作,计量泵通过投加管道加入相应的次氯酸钠溶液。

③ 结合在线监测装置实时监控投加次氯酸钠后水中余氯数据,并通过程序进行反馈控制调节,由PLC控制系统自动调整次氯酸钠投加量,使滤后水余氯仪和出厂水余氯仪数值接近设定目标值。

④ 生产中控系统显示系统运行过程中设备状况及在线监测装置数据,实时反馈设备及生产运行情况,当数据偏离正常工况时发出声光报警提醒。

2 精准投加系统的应用

2.1 运行环境分析

将上述次氯酸钠精准投加系统架构模型在A水厂进行了实际应用。A水厂设计供水规模为12×10⁴ m³/d,设10 m³次氯酸钠储罐3座、计量泵11台,通过计量泵将10%的次氯酸钠原液加注到投加点。设1套西门子S7-300PLC系统,通过WinCC上位机软件在电脑界面上对生产设备进行远程监控。

针对A水厂现状,对原有次氯酸钠投加系统进行改造,修改上下位机程序,调整次氯酸钠投加控制流程,将水温、阀门开度、原水流量等参数作为前置输入自动调整次氯酸钠投加流量,并通过余氯仪反馈数据自动调整投加量,实现次氯酸钠自动精准投加。

2.2 自动投加系统模型的建立

首先研究建立一套适用于A水厂的次氯酸钠自动投加流量计算公式:

$$Q = B \times k_1 \times k_2 \times k_p \times Q_{\text{原}} \quad (1)$$

式中:Q为所需的次氯酸钠自动投加流量,L/h;B为次氯酸钠自动投加基础值,mg/L;k₁为次氯酸钠有效氯含量系数;k₂为滤池阀门开度系数;k_p为PID

调节系数; $Q_{\text{原}}$ 为原水流量计瞬时流量, m^3/h 。

2.2.1 次氯酸钠自动投加基础值

在实验室进行滤后水加氯试验(水质较稳定时进行)。取A水厂滤后水水样,加入定量的次氯酸钠溶液,化验比较不同次氯酸钠投加量的总余氯数值,试验数据见表1。

表1 滤后水加氯试验数据

Tab.1 Chlorination test data of filtered water

次氯酸钠 投加量	滤后水总余氯					
	样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6
0.5	0.62	0.65	0.50	0.50	0.63	0.63
1.0	1.00	1.05	1.00	1.00	1.00	1.13
1.5	1.63	1.30	1.20	1.13	1.25	1.75
2.0	2.00	1.88	1.75	2.00	2.00	2.25
2.5	2.25	2.25	2.00	2.25	2.25	2.50

注: 滤后水总余氯数值为加入次氯酸钠溶液10 min后化验数值。

结合实际运行环境分析次氯酸钠投加量与滤后水总余氯的相关关系(见图2),得出次氯酸钠自动投加基础值(B)如下:

$$B = 1.067x - 0.0014 \quad (2)$$

式中: x 为滤后水总余氯, mg/L 。

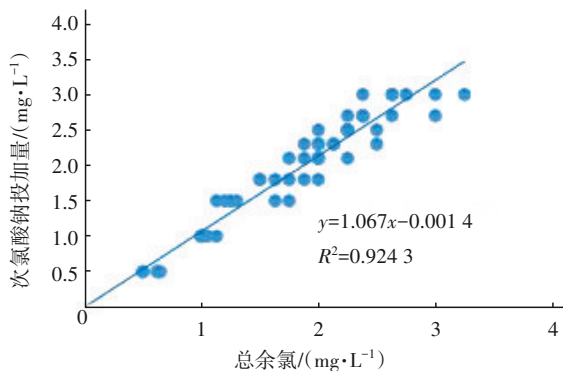


图2 滤后水加氯试验曲线

Fig.2 Chlorination test curve of filtered water

2.2.2 次氯酸钠有效氯含量系数

为分析次氯酸钠有效氯浓度衰减情况,进行了次氯酸钠有效含量试验,记录次氯酸钠进货后在储罐中的有效氯含量变化情况,分析相关数据,建立拟合曲线(见图3),得到次氯酸钠有效氯含量系数(k_1)如下:

$$k_1 = 1/(-0.593 \ln X + 10.025) \quad (3)$$

式中: X 为次氯酸钠在储罐存储的时间, d 。

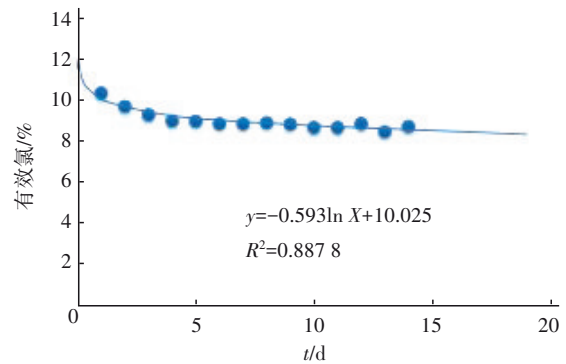


图3 次氯酸钠有效氯含量衰减曲线

Fig.3 Attenuation curve of effective chlorine content in sodium hypochlorite

2.2.3 滤池阀门开度系数

考虑到滤后水流量变化对投加次氯酸钠滤后水中余氯的影响,设置了滤池阀门开度系数(k_2)。通过分析清水阀开度和原水流量历史数据的相关关系,实时读取滤池各清水阀开度,记录当前时刻清水阀开度之和,与历史数据中当前原水流量的正常开度曲线数据进行比较,得到清水阀开度系数(k_2)如下:

$$k_2 = \frac{kd_1^m}{kd_2} \quad (4)$$

式中: kd_1 为清水阀开度之和; kd_2 为清水阀开度历史曲线数据; m 为调节系数。

2.2.4 PID调节系数

自动投加系统设置PID调节系数 K_p ,以出厂水余氯和滤后水为目标值 S_p ,在线仪表数据为反馈值 P_v ,参数采用经验试凑法,按照先比例、再积分、最后微分的顺序,依次整定 G_p (比例系数)、 T_i (积分系数)、 T_d (微分系数)三个参数,根据在线余氯仪实时反馈数据,自动对次氯酸钠投加量进行调整。PID调节系数(K_p)如下:

$$K_p = G_p \cdot e(t) + T_i \cdot \int e(t)dt + T_d \cdot de(t)/dt \quad (5)$$

式中: t 为时间; $e(t)$ 为误差信号,是余氯控制目标值 S_p 与余氯仪反馈值 P_v 之差。

2.3 PLC编程及实现

构建适用于A水厂的次氯酸钠精准投加模型,在原有PLC系统基础上进行开发,将系统模型输入PLC系统并在后续的试运行中进行调整。系统设有主加氯、补加氯自动控制功能,实时显示次氯酸钠系统运行数据;根据仪表数据和预设的投加策略,

自动计算出所需次氯酸钠投加量并实时调整,使滤后水余氯仪和出厂水余氯仪数值接近设定的控制目标值。此外,该系统还设有故障报警功能,仪表或设备发生异常时发出声光报警提醒,保障自来水厂次氯酸钠投加系统的安全稳定运行。

3 试运行情况分析

2023年5月对A水厂次氯酸钠控制系统进行改造,7月开始试运行。在试运行期间,次氯酸钠精准投加系统运行正常,水质稳定(见图4)。A水厂三期主加氯于8月1日08:17由手动投加切换为自动投加,设置调节余氯目标值为0.9 mg/L,系统按照预设策略自动调整次氯酸钠投加量。切换前三期主加氯投加量为手动投加16 mg/L,切换为自动投加后,08:17—16:30次氯酸钠投加量平均值为13.13 mg/L,投加量较手动投加节约17.9%,滤后水余氯平均值为0.9 mg/L,保持稳定运行。

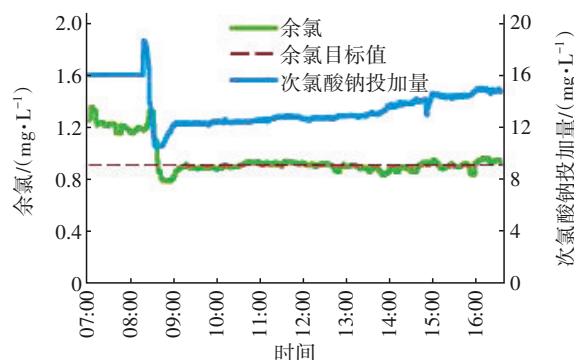


图4 试运行数据分析曲线

Fig.4 Analysis curve of operation data

2023年7月开始试运行至今,次氯酸钠单位耗量运行数据如图5所示。

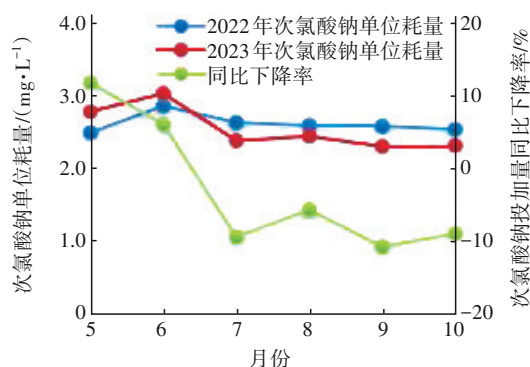


图5 次氯酸钠单位耗量曲线

Fig.5 Unit consumption curve of sodium hypochlorite

A水厂2023年7月—10月次氯酸钠单位耗量同

比2022年减少8.18%,预计应用精准投加次氯酸钠系统后能节约次氯酸钠耗量6%或以上,在降低工人劳动强度、保证水质稳定运行及节省次氯酸钠用量方面取得了预期效果。

4 结语

次氯酸钠精准投加系统在A水厂的试运行数据表明,该系统运行稳定,能实现次氯酸钠的精准投加控制,具有自动化程度高、成本低等优势。然而,随着水处理技术的不断发展,对次氯酸钠投加系统的要求也在不断提高。因此,未来研究和发展方向应包括:优化控制算法以提高投加精度;研究新型传感器技术以提高监测精度;探索智能化的监控和管理系统以实现更高效的运营管理。

参考文献:

- [1] 洪觉民,蒋继申,胡修国,等. 现代净水厂技术手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:340-344.
HONG Juemin, JIANG Jishen, HU Xiuguo, et al. Technical Manual for Modern Water Purification Plants [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 340-344 (in Chinese).
- [2] 朱海涛,张富标,徐飏,等. 嘉兴市贯泾港水厂次氯酸钠消毒技术工程应用研究[J]. 中国给水排水, 2017,33(6):39-42.
ZHU Haitao, ZHANG Fubiao, XU Biao, et al. Engineering application of sodium hypochlorite disinfection technology in Guanjinggang water treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2017,33(6):39-42 (in Chinese).
- [3] 王晓波,张纪平. 自来水厂次氯酸钠自动投加系统辨识研究[J]. 机械设计与制造工程, 2019,48(3): 103-106.
WANG Xiaobo, ZHANG Jiping. Research on the identification of sodium hypochlorite automatic feeding system for sodium hypochlorite at waterworks [J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2019, 48(3): 103-106 (in Chinese).

作者简介:周沛良(1990—),男,广东东莞人,本科,工程师,主要研究方向为水处理自动化技术。

E-mail:ss200610355@163.com

收稿日期:2023-11-24

修回日期:2023-12-13

(编辑:衣春敏)