

芜湖某水厂加氯设施自动化改造

汪东, 彭勇

(芜湖华衍水务有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 芜湖某水厂以往采用人工方式投加液氯,根据出厂水余氯值反馈预估需要的后加氯量,因此具有很大的延时性和不确定性,出厂水余氯值波动较大,对供水安全影响很大。通过分析当前的加氯现状以及存在的问题,找到了影响出厂水余氯值稳定的主要原因。通过添加中间加氯点和补加氯点,建立了四环加氯控制模型,通过 PLC 不仅实现了液氯的自动投加,而且实现了将出厂水余氯值稳定在一个较小的波动范围内,保障了供水安全。

关键词: 水厂; 加氯改造; 余氯; 四环控制; 反馈

中图分类号: TU991.6 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0135-04

Retrofit of Chlorination System in Wuhu Water Treatment Plant

WANG Dong, PENG Yong

(Wuhu Hong Kong & China Water Co. Ltd., Wuhu 241000, China)

Abstract: In a water treatment plant in Wuhu, water chlorination is manually controlled previously. The existing chlorination process consists of a pre-chlorination process, in which chlorine is added at the entrance of the sedimentation basin, and a post-chlorination process, in which chlorine is added at the entrance of clear water tank. The existing system is lack of supplementary chlorination. The dosage control in the post-chlorination process depends on the residual chlorine in the finished water. The process has large uncertainties and time delays, as well as fluctuations in residual chlorine. The chlorination mode and the existing problems in the chlorination system were investigated. Chlorination points in the clear water tank and supplementary points were introduced in a four-step control mode. PLC was utilized to achieve the automation of chlorination and to maintain the level of residual chlorine in the finished water.

Key words: water treatment plant; chlorination retrofit; residual chlorine; four-step control; feedback

目前,国内供水企业通常采用前加氯、后加氯以及补加氯为主的三点式投加,配合设置在滤后水以及出厂水管道上的余氯检测在线仪表反馈数据信息,凭人工经验控制投加量。该加氯方式主要存在难以准确、及时投加,受人为因素影响较大等问题。芜湖某水厂拟通过闭环加氯系统改造,采用添加中间加氯点,建立四环控制模型,运用 PLC 控制加氯系统自动确定投加量的方法,实现全过程无人工直接干预,科学解决上述问题。

1 研究背景及意义

1.1 水厂概述

芜湖某水厂现状设计总规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期工程为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二期工程为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。目前水厂对外供水量约为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,承担着芜湖城区的主要供水任务,其中工业用水占 55%、生活用水占 45%,因此保障出厂水水质安全可靠尤为重要。水厂水源水取自长江芜湖段,采用常规处理工艺:原水→混凝→沉淀→过滤→消毒→

加压供水,工艺流程见图1。

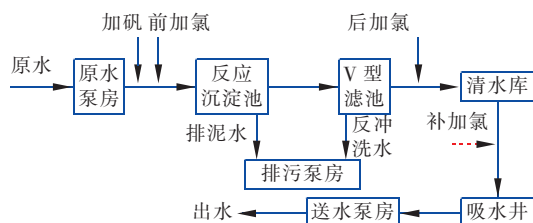


图1 净水工艺流程

Fig. 1 Flow chart of water treatment process

1.2 现有加氯控制分析

当前加氯过程如下:氯瓶内的液氯通过蒸发器加温变成气氯,气氯经过减压、过滤,经真空调节阀进入加氯机内,再通过水射器投加到水中,加氯点位于清水池进水管阀门之前。操作人员首先根据经验确定初始氯气投加量,再根据出厂水余氯仪读数与期望值的偏差来手工操作加氯机,相应改变氯气投加量。目前人工加氯方式主要面临以下几个问题:

① 水量变化难以跟踪。由于缺乏滤后水流量仪,操作人员无从得知水量变化精确情况。仅有的与流量相关的信息就是一级泵房的开关车信号,只能根据经验推测清水库进水量。

② 清水池停留时间难以预测。由于清水池水位、流速是不断变化的,因此清水池的停留时间变化相当大,导致清水池的余氯消耗幅度也有所变化。这就意味着需要及时对清水池入口余氯期望值进行调整,否则难以保证出厂水余氯值合格。由于难以预测清水池的停留时间,所以很难预测不合格的后加氯水何时到达补加氯点,从而不能准确、及时地启动补加氯点,影响出厂水水质安全。

③ 人员操作问题。由于不同操作人员的经验不尽相同,将会导致同样的外界情况却出现不同的控制结果,系统工作状况缺乏规律性和一致性。

2 氯气投加方式的改造措施

2.1 前加氯

前加氯设置在原水管路上,其目的在于杀灭原水中的微生物和氧化分解有机物。采用的是比例投加方式,即原水流量信号传入PLC,PLC根据流量的大小输出相应的调节量,调节加氯机阀门的开度。为了避免因原水流量的实时变化而导致加氯机电动头的频繁动作,设计采用每5 min计算一次原水流量平均值并以此作为前加氯量的依据。这种控制方

式为开环控制,是粗投加,不需要进行精确的控制,不是导致出厂水余氯波动的原因。用以往投加经验值作为参考,直接换算成投加比例系数编入PLC系统就可以自动完成前加氯。

2.2 后加氯

后加氯的目的是消毒,保障出厂水的水质安全。需要考虑周围环境气温、原水氨氮浓度^[1]、一级泵房取水流量等因素对余氯的影响,通常需要承担滤后水消毒的所有加氯量,但由于此次改造添加了中间加氯点,因此本系统中的后加氯点计划承担50%的滤后水消毒加氯量,其余加氯量通过中间加氯点补加,但后加氯量仍需有一定精确度。

人工加氯实质上也是一个反馈控制系统,根据当前输出值与设定值的偏差调节控制器的输出,这种方法能满足大多数控制对象的要求,但在对象特性呈现长延时、多干扰等难以控制的特性时,其控制效果往往不佳,这是因为:①反馈控制的性质意味着存在一个可以测量出的偏差,并用来产生控制作用,以实现闭环控制,即系统必须存在偏差;②反馈调节实质上相当于一种尝试法,它对变化幅度较大且频繁的负荷扰动难以控制完善。

2.3 中间加氯

为了实现加氯系统中各加氯点之间的无缝衔接,克服清水池停留时间难以预测的问题,本次改造添加了中间加氯点,计划分担一半的滤后水消毒需氯量,与后加氯点共同构成“大后加氯”点。其原理在于:由于水量变化难以跟踪,以往单一的后加氯点无法精确投加,又因为清水库停留时间难以预测,所以又无法利用补加氯点对不合格的后加氯水进行补氯,导致出厂水水质存在安全隐患。添加中间加氯点以后,由后加氯点和中间加氯点各承担一半的滤后水消毒需氯量,当滤后水余氯在线仪表检出余氯值后,同中间加氯点期望值进行比对并得出差值,进而计算出精确的中间加氯量而进行投加。

中间加氯点的位置设在后加氯采样点后5 min水流处,由于水厂采用的在线余氯分析仪的检测周期为5 min,所以此处可立即对后加氯达不到期望值的滤后水进行中间补加氯,实现加氯控制的无缝衔接,理论上能充分保证达到吸水井处的余氯值,进而可在不启用补加氯的情况下保证出厂水安全。

中间加氯的控制方式采用前馈和反馈相结合,前馈信号来自于后加氯在线检测仪,反馈信号来自

于出厂水余氯在线检测仪。为了保证中间加氯点精确运行,滤后水余氯采样点的选取尤为关键。

水体耗氯可分为两段进行分析:第一段为快速反应阶段,时间不超过数秒,耗氯量很大;第二段则为慢速反应阶段,涵盖除最初时间段以外的反应时间,此时余氯衰减速度明显变慢,耗氯量与停留时间呈二次线性关系,而其他因素在现有样本取值范围内影响不大(见图2)。由于余氯衰减受到诸多因素的影响,因此每个水厂的滤后水余氯衰减关系不一定相同。水厂现有1[#]、2[#]两个清水池,1[#]清水池的后加氯点设置在滤池出水阀门附近,2[#]清水池的后加氯点设置在清水池的进水阀门附近。两个清水池的

后加氯采样点均将设置在清水池上,中间加氯点设置在余氯采样点后5 min 水流处,见图3。

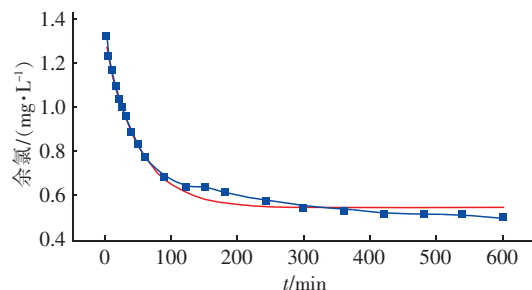


图2 水厂余氯衰减曲线

Fig. 2 Chlorine decay curve of WTP

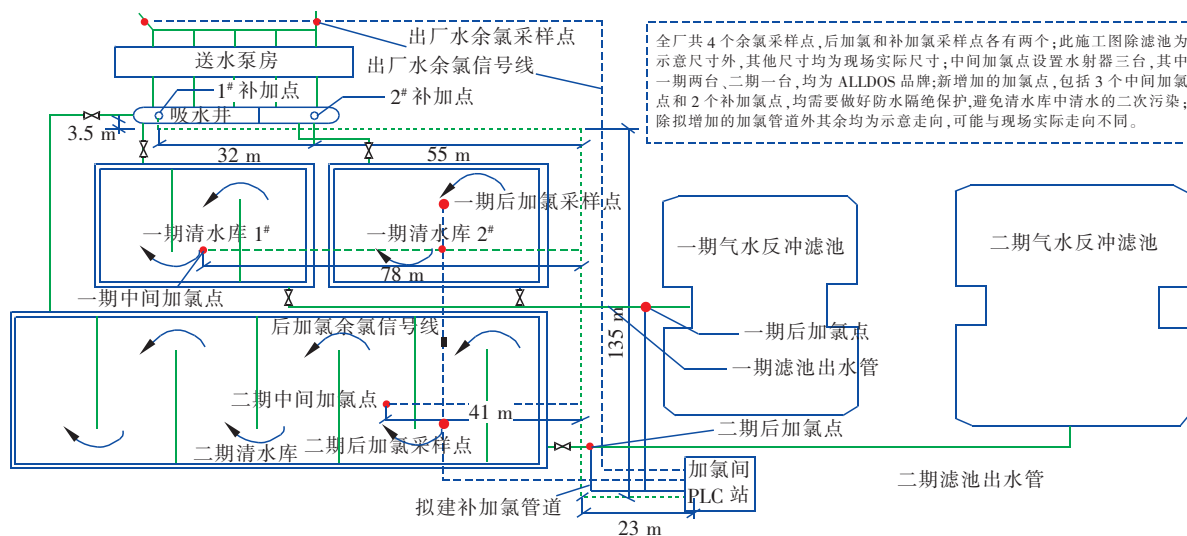


图3 加氯系统改造示意

Fig. 3 Schematic diagram of chlorination system transformation

鉴于以上所述,采样点的位置相当于将整个清水池分成了两部分,采样点的位置越靠后,从控制角度来看,延时性越大,系统越难控制。如果采样点位置越靠前,受到清水库停留时间的影响,系统越易受到干扰。但由于此次改造加入了中间加氯点,因此后加氯采样点的位置不宜与后加氯点太近,否则很难发挥“协同后加氯点”的功能。根据余氯衰减曲线可知,当清水与氯气接触反应30 min左右后衰减速度大幅减缓,所以把余氯采样点设在滤后水进清水库30 min左右位置处,可充分发挥中间加氯点的作用,有效降低系统受外界因素干扰的程度^[2,3]。

① 一期采样点位置。一期设计水量为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二期设计水量为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际供水量为 $(19 \sim 32) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,折算到一期的实际供水

量为 $(8 \sim 14) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一期清水库平面尺寸为 $45 \text{ m} \times 45 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$,实际水深为2.8 m,三廊道往复式流道,不考虑死角流量及上下层流量不均匀情况的影响,将清水库中的清水视为理想的推流,不存在紊流情况,计算得廊道中的水流流速在 $0.022 \sim 0.038 \text{ m/s}$ 之间。因此,采样点的位置宜设在进水阀门后40~68 m的地方。

② 二期采样点位置。折算到二期的实际供水量为 $(11 \sim 18) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二期清水库平面尺寸为 $110 \text{ m} \times 55 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$,实际水深为2.8 m,七廊道往复式流道,不考虑死角流量以及上下层流量不均匀情况的影响,将清水库中的清水视为理想的推流,不存在紊流情况,计算得廊道中的水流流速在 $0.029 \sim 0.047 \text{ m/s}$ 之间。因此,采样点的位置宜设置在

进水阀门后 52 ~ 85 m 的地方。

2.4 补加氯

补加氯计划在吸水井上进行,后经水泵叶轮混合泵送至管网,对出厂水余氯进行精确控制。此环节是根据出厂水总管上的余氯仪数据进行闭环控制。补加氯为小剂量精确调节,对出厂水余氯的稳定较为重要。但由于补加氯量改变至出厂水余氯仪数据变化大概有 10 min 左右的时间,因此需考虑及解决的问题有:延长每次反馈检测及电动马达动作周期,初次设定周期为 12 min,后期根据实际运行情况调整;减少每次动作的开度,每次动作设定为 1°。

2.5 四环控制模型

综上,根据水厂目前的实际硬件配置情况,采用后加氯闭环运行(粗环)、中间加氯前馈与反馈相结合双闭环运行(细环)以及补加氯闭环运行(备用)的四环控制模型,如图 4 所示。后加氯与中间加氯共同构成“协同后加氯点”,后加氯根据原水流量及滤后水余氯反馈值进行粗略投加,投加量为消毒需氯量的一半,剩余的消毒需氯量经 PLC 依据滤后水余氯值精确计算得出,并通过中间加氯点进行投加,将以往后加氯的单点投加改为由后加氯和中间加氯组成的两段式投加,补加氯作为最后屏障平时几乎不用(后加氯或中间加氯损坏的情况下使用),通过四环控制模型保证出厂水余氯值在小范围内波动。

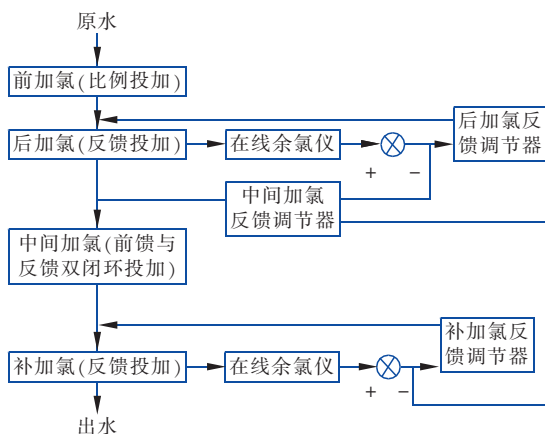


图 4 水厂加氯的四环控制模型

Fig. 4 Four-step control model for adding chlorine

3 运行效果

自加氯设施自动化改造 3 个月以来,出厂水余氯值一直保持在小范围内波动(± 0.01 mg/L),整个加氯系统的运行无需人工直接干预,完全实现系统的自动运行。改造前的出厂水余氯变化受一级泵

房取水量、清水库停留时间等因素的影响很大,当一级泵房加泵后,出厂水余氯值在延时会会出现明显的低谷区。闭环加氯改造后的出厂水余氯值基本上不受取水流量、清水库停留时间等因素的影响,出厂水余氯值能够稳定在设定的期望值左右(见图 5)。

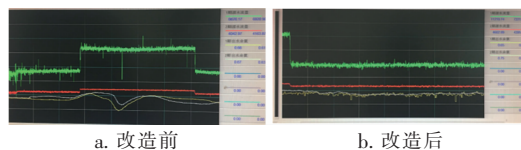


图 5 改造前、后运行效果

Fig. 5 Operation effect before and after transformation

4 结论

针对芜湖某水厂以往采用人工方式投加液氯,出厂水余氯值波动较大的问题,通过闭环加氯系统改造增加了 5 个加氯点,实现了加氯系统的 PLC 自动控制闭环运行,无需人工直接干预,不仅保证了出厂水余氯含量稳定、可控,而且降低了员工工作量,避免了因人员操作问题带来的水质安全隐患,为推进水厂的无人值守提供了帮助。

参考文献:

- [1] 郑致远,陈冬毅. 原水氨氮较高期间氯耗高的原因及对策[J]. 中国给水排水,2006,22(10):87-89.
- [2] 魏贺,李奇,刁翔. 自来水厂加氯工艺的自动化控制改造[J]. 中国给水排水,2006,22(24):23-26.
- [3] 黄念禹. 西洲水厂投氯系统的技术改造[J]. 中国给水排水,2008,24(6):25-27.



作者简介:汪东(1992-),男,安徽芜湖人,大学本科,主要研究方向为城市给水处理。

E-mail:wang.dong@huayanwater.com

收稿日期:2017-07-12