

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.01.004

# 城镇污水处理厂次氯酸钠消毒效果的影响因素研究

王 慕<sup>1</sup>, 谈振娇<sup>1</sup>, 李 激<sup>2</sup>, 陈江杰<sup>1</sup>, 张 旻<sup>1</sup>, 王瑞杰<sup>1</sup>, 王月红<sup>1</sup>,  
王晓莉<sup>1</sup>, 王 燕<sup>2</sup>, 高志霖<sup>3</sup>, 赵正华<sup>3</sup>, 罗国兵<sup>4</sup>

(1. 无锡市政公用环境检测研究院有限公司, 江苏 无锡 214063; 2. 江南大学 环境与土木  
工程学院, 江苏 无锡 214122; 3. 无锡市政公用检测有限公司, 江苏 无锡 214073; 4. 无锡  
市城市排水监测站, 江苏 无锡 214011)

**摘 要:** 次氯酸钠消毒是目前我国城镇污水处理厂应用最广泛的一种消毒方式,但行业内对次氯酸钠的运行参数如投加量等及其消毒效果尚未达成共识。为此,以执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准的某城镇污水处理厂二沉池出水为研究对象,开展了以次氯酸钠为消毒药剂的加氯消毒试验。结果表明,二沉池出水的粪大肠菌群对数去除率与消毒工艺中的有效氯投加量、接触时间以及水温均呈正相关,消毒后出水的氧化还原电位(ORP)可间接表征消毒效果,CT 值(接触时间  $T \times$  接触时间结束时消毒剂残留浓度  $C$ )可指导消毒药剂的投加量。在保持接触时间为 12 min 的前提下,当有效氯投加量为 3.67 mg/L 时,粪大肠菌群对数去除率可达到 2.5-lg 以上,确保消毒后出水的粪大肠菌群数达到一级 A 排放标准,此时,ORP 为 578 mV,总氯 CT 值为 7.6 mg · min/L,游离氯 CT 值为 3.3 mg · min/L。

**关键词:** 城镇污水处理厂; 消毒; 次氯酸钠; 对数去除率; 影响因素

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)01-0022-06

## Influence Factors of Sodium Hypochlorite Disinfection Performance in Municipal Wastewater Treatment Plant

WANG Mu<sup>1</sup>, TAN Zhen-jiao<sup>1</sup>, LI Ji<sup>2</sup>, CHEN Jiang-jie<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>1</sup>, WANG Rui-jie<sup>1</sup>,  
WANG Yue-hong<sup>1</sup>, WANG Xiao-li<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, GAO Zhi-lin<sup>3</sup>, ZHAO Zheng-hua<sup>3</sup>,  
LUO Guo-bing<sup>4</sup>

(1. Wuxi Public Utilities Environment Testing Research Institute Co. Ltd., Wuxi 214063, China;  
2. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3.  
Wuxi Public Utilities Testing Co. Ltd., Wuxi 214073, China; 4. Wuxi City Drainage Monitoring  
Station, Wuxi 214011, China)

**Abstract:** Sodium hypochlorite disinfection is the most widely used disinfection method in municipal wastewater treatment plants in China. However, no consensus has been reached on the operation parameters of sodium hypochlorite (such as dosage) and its disinfection performance. In view of the above problems, the sodium hypochlorite disinfection experiment was carried out to treat the effluent from the secondary settling tank of a municipal wastewater treatment plant in accordance with first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). Logarithmic removal efficiency of fecal coliform in the effluent from the secondary settling tank was positively correlated with available chlorine dosage, contact time and temperature in the

process of disinfection. ORP of the effluent after disinfection could indirectly characterize the disinfection performance, and CT values (contact time  $T \times$  disinfectant residual concentration  $C$  at the end of contact time) could guide the dosage of disinfectant. Under the premise of contact time of 12 min, when available chlorine dosage was 3.67 mg/L, the logarithmic removal rate of fecal coliform could reach more than 2.5-lg, which ensured the fecal coliform count in the effluent after disinfection to reach first level A discharge standard. At this time, ORP was 578 mV, CT value of total chlorine was 7.6 mg  $\cdot$  min/L, and CT value of free chlorine was 3.3 mg  $\cdot$  min/L.

**Key words:** municipal wastewater treatment plant; disinfection; sodium hypochlorite; logarithmic removal rate; influence factor

2019 年底,一场由新型冠状病毒引发的疫情在全国蔓延开来,随后陆续有专家团队在患者的粪便、尿液、泪液和唾液等代谢物中检出病毒核酸阳性,由此引起污水处理行业对新型冠状病毒可能存在的介水传播风险的高度警惕<sup>[1-2]</sup>。因此在疫情期间如何做好污水的消毒工作,保障污水处理厂出水的生物安全性已成为污水处理行业关注的焦点问题。

《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)将粪大肠菌群数列为城镇污水处理厂出水致病微生物的控制指标。为保证城镇污水处理厂出水中粪大肠菌群数的稳定达标,一般采用在污水处理环节末端设置消毒工艺的措施。常见的污水消毒方式有化学法(如液氯、次氯酸钠、二氧化氯、臭氧等)和物理法(如紫外线)。其中,液氯和二氧化氯的消毒效果较为可靠,运行成本适中,但对现场安全管控要求较高;臭氧消毒效率高,但设备投资成本高,现场管理复杂,并且电耗、能耗较多;紫外线消毒无二次污染,设备占地面积小,但消毒效果不稳定,对水中的悬浮物要求比较高。次氯酸钠作为和液氯消毒原理基本一致的化学药剂,具有消毒效果好,采购、运输和储存环节安全方便,生产、管理和使用相对简单等优点,现已逐渐成为我国污水处理厂最常用的消毒方式。

目前国内污水处理行业对含氯系列的消毒药剂投加量等运行参数及其消毒效果的认识尚未取得一致意见。参考我国现行各类给水排水设计手册与规范,如《给水排水设计手册第 5 册:城镇排水》(第 3 版)中给出的加氯量参考值为“一级处理后的污水为 20 ~ 30 mg/L,不完全人工二级处理后的污水为 10 ~ 15 mg/L,完全人工二级处理后的污水为 5 ~ 10 mg/L”,而未明确给出三级处理(即深度处理)后的加氯量;《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)中

给出的二级处理出水的加氯量为 6 ~ 15 mg/L,但该数值来源于 2003 年 6 座污水处理厂的加氯消毒数据,当时的污水处理厂无论处理工艺还是水质条件,都与当前的污水处理厂存在较大差异。此外,上述设计规范中推荐的污水与氯的接触时间均不小于 30 min,而目前国内部分污水处理厂尚不具备满足 30 min 接触时间的条件。

面对上述问题,以执行国家一级 A 标准的某城镇污水处理厂二沉池出水为研究对象,开展加氯消毒试验,并考察了不同有效氯投加量、消毒接触时间和反应水温下的粪大肠菌群数、余氯(含总氯和游离氯)和氧化还原电位(ORP)等指标的变化,以期建立污水加氯消毒效果与各影响因素间的关联性,为污水处理厂利用次氯酸钠消毒提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 城镇污水处理厂概况

本研究对象为执行国家一级 A 排放标准的某城镇污水处理厂,该厂目前的处理能力为  $22 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,工艺流程如图 1 所示。目前该厂转盘过滤器和紫外消毒池均处于停运维修状态,现场加药点位于二沉池出水渠末端,消毒接触在二沉池至出水排放口(超越转盘过滤器和紫外消毒池)的管道内完成,根据日均流量、管径和管长等参数计算得出接触时间约为 12 min。加氯消毒试验用水取自该污水处理厂二沉池出水,水质参数详见表 1。

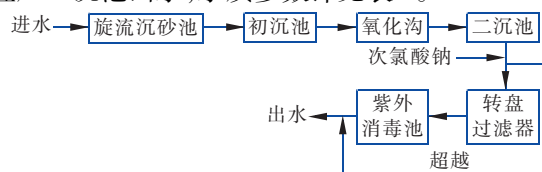


图 1 某城镇污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Process of a municipal wastewater treatment plant

表1 某城镇污水处理厂二沉池出水水质

Tab.1 Quality of secondary effluent in a municipal wastewater treatment plant

项目	粪大肠菌群数/ (个·L <sup>-1</sup> )	水温/ ℃	pH 值	ORP/ mV	浊度/ NTU	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )
数值	2.6×10 <sup>5</sup>	16.8	7.25	190	1.02	36	0.05	9.8

## 1.2 试验方法

采集加氯点前二沉池出水 20 L 作为试验用水,检测粪大肠菌群数、ORP、氨氮、TN、COD、浊度、pH 值、水温等水质指标。

取污水厂现用最新批次次氯酸钠,按《次氯酸钠》(GB/T 19106—2013)中 5.3 的方法检测其有效氯含量,并配制成 1 g/L 稀释液待用。

取 500 mL 试验用水于 500 mL 带盖棕色试剂瓶中,将浓度为 1 g/L 的次氯酸钠稀释液按设计有效氯投加量(1、2、3、4、5、6、8、10 mg/L)顺序加入,加盖摇匀,在设计接触时间(5、12、30 min)和设计水温(16.8、28.9 ℃)下充分反应,检测粪大肠菌群数(检测前对水样采用硫代硫酸钠脱氯)、余氯(游离氯、总氯)、ORP、氨氮、TN、COD、浊度、pH 值、水温。为确保每个试验组反应不受干扰,每个有效氯投加量、接触时间和反应水温均单独安排一个试验样品。

## 1.3 试验设备

便携式余氯测定仪(HACH 公司,PC II,需配合总氯试剂包和游离氯试剂包使用);程控定量封口机;隔水式恒温培养箱;便携式多参数水质分析仪;紫外可见分光光度计;浊度仪(HACH 公司,2100AN);消解器(HACH 公司,DRB200);无菌采样瓶(IDEXX 公司,120 mL,含硫代硫酸钠)。

## 1.4 分析项目与方法

粪大肠菌群数:《水质 总大肠菌群、粪大肠菌群和大肠埃希氏菌的测定 酶底物法》(HJ 1001—2018);总氯、游离氯:《水质 游离氯和总氯的测定 N,N-二乙基-1,4-苯二胺分光光度法》(HJ 586—2010);ORP:《氧化还原电位的测定(电位测定法)》(SL 94—1994);pH 值:《水质 pH 值的测定 玻璃电极法》(GB 6920—86);氨氮:《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》(HJ 535—2009);总氮:《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》(HJ 636—2012);COD:《COD 光度法快速测定仪技术要求及检测方法》(HJ 924—2017);浊度:《水质 浊度的测定 浊度计法》(HJ 1075—2019);水温:《水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定

法》(GB 13195—91)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 有效氯投加量和接触时间对消毒效果的影响

对粪大肠菌群的消毒效果采用对数去除率(即消毒后微生物存活率倒数的对数值,以 10 为底)指标进行评价<sup>[3]</sup>。有效氯投加量和接触时间对粪大肠菌群对数去除率的影响如图 2 所示。

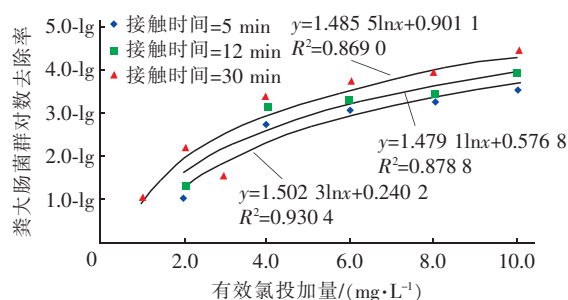


图2 有效氯投加量和接触时间对粪大肠菌群对数去除率的影响

Fig.2 Effect of effective chlorine dosage and contact time on logarithmic removal rate of fecal coliform

由图 2 可知,粪大肠菌群对数去除率随着有效氯投加量的增加而上升。当有效氯投加量相同时,接触时间越长,粪大肠菌群对数去除率越高;而在达到相同粪大肠菌群对数去除率的前提下,接触时间越长,所需有效氯投加量越少。以试验用水为例,稳定达到国家一级 A 排放标准的粪大肠菌群数需满足至少 2.5-lg 的去除率,此时有效氯的投加量分别是 4.50(接触时间为 5 min)、3.67(接触时间为 12 min)、2.93(接触时间为 30 min) mg/L。研究结果表明,消毒工艺接触时间不足 30 min 的污水处理厂可通过适当增加次氯酸钠用量来提高粪大肠菌群对数去除率,从而保证出水的粪大肠菌群数稳定达标。但需注意的是,次氯酸钠投加量的增加可能会导致消毒后出水的余氯含量偏高。同样以粪大肠菌群对数去除率达到 2.5-lg 为例,在不同接触时间条件下,消毒后出水余氯见表 2。当接触时间仅为 5 min 时,游离氯可达到 0.66 mg/L,如果此时受纳水体为地表水,将会在一定程度上影响其水生生态环境。



表 2 不同接触时间条件下消毒后出水的余氯

Tab. 2 Residual chlorine of disinfected water under

different contact times

 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项目	接触时间 = 5 min	接触时间 = 12 min	接触时间 = 30 min
总氯	1.52	0.63	0.25
游离氯	0.66	0.28	0.11

## 2.2 ORP 值与粪大肠菌群对数去除率的相关性

ORP 可以反映溶液的氧化还原性,其值越高,溶液的氧化性越强;反之,其值越低,溶液的还原性越强。有文献报道,ORP 值与氯对一些微生物和细菌的杀灭效果高度相关<sup>[4]</sup>。本研究表明,粪大肠菌群对数去除率与反应后水样的 ORP 值呈现较好的对数相关性,如图 3 所示,接触时间为 5、12、30 min 的相关系数分别为 0.868 0、0.797 1、0.870 6,推测正是由于水中投加了次氯酸钠这类氧化剂后,引起水质的氧化还原电位发生了改变。考虑到粪大肠菌群数等致病微生物指标的检测周期一般需要 48 h,目前部分欧美发达国家已普遍采用 ORP 值控制泳池水的消毒效果<sup>[5]</sup>。因此,为简单快速预判污水处理厂中粪大肠菌群的去除效果,建议在水排放口处安装在线 ORP 仪以辅助判断消毒效果。

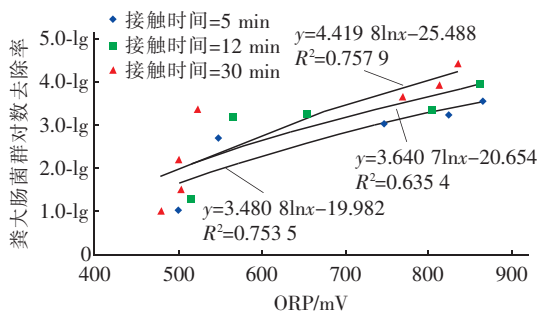


图 3 ORP 值与粪大肠菌群对数去除率的相关性

Fig. 3 Correlation between ORP and logarithmic removal rate of fecal coliform

## 2.3 CT 值与粪大肠菌群对数去除率的相关性

CT 值(接触时间  $T \times$  接触时间结束时消毒剂残留浓度  $C$ )是采用化学法消毒工艺的一条实用设计准则,不同的 CT 值通常对应不同的消毒后微生物灭活率。粪大肠菌群对数去除率与 CT 值呈现较好的对数相关性:以总氯为  $C$  值的拟合曲线的  $R$  值为 0.824 6(见图 4);以游离氯为  $C$  值的拟合曲线的  $R$  值为 0.922 1(见图 5)。为确保试验用水的粪大肠菌群数达到国家一级 A 排放标准的对数去除率在 2.5-lg 以上,此时总氯 CT 值为  $7.6 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$ ,游

离氯 CT 值为  $3.3 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$ 。目前,国内和国际相关标准中仅对饮用水消毒给出了推荐 CT 值,例如在《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中给出的游离氯 CT 值  $\geq 9 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$ ,一氯胺(总氯)CT 值  $\geq 60 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$ ;在世界卫生组织(WHO)《饮用水水质准则》中给出的针对 2-lg 病毒灭活率的游离氯 CT 值为  $2 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$ 。可以看出这些数据与本研究污水的 CT 值有较大差异。考虑到污水处理厂流动水体中的悬浮物浓度普遍偏高,且各地水质差异较大,因此后续还需针对污水消毒的 CT 值,结合各地不同的水质条件开展深入研究。

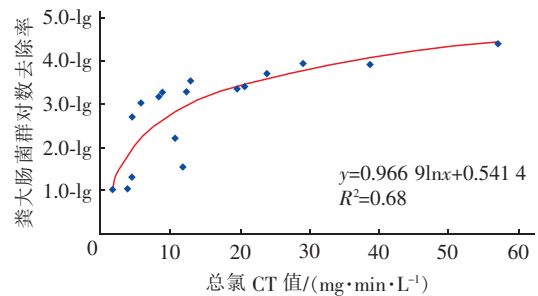


图 4 总氯 CT 值与粪大肠菌群对数去除率的相关性

Fig. 4 Correlation of CT value of total residual chlorine and logarithmic removal rate of fecal coliform

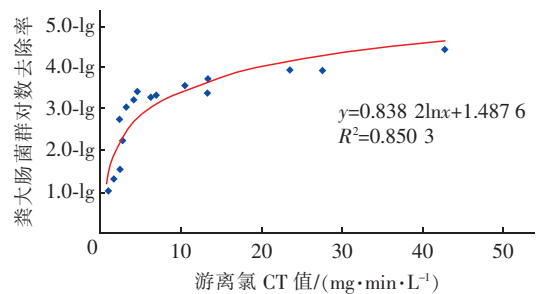


图 5 游离氯 CT 值与粪大肠菌群对数去除率的相关性

Fig. 5 Correlation of CT value of free residual chlorine and logarithmic removal rate of fecal coliform

## 2.4 水温对粪大肠菌群对数去除率的影响

当试验水样中有效氯投加量为  $2 \text{ mg/L}$  时,分别在水温为  $16.8$ 、 $28.9$   $^{\circ}\text{C}$  下接触消毒 5 min,粪大肠菌群对数去除率分别为 1.0-lg、2.4-lg;当有效氯投加量增至  $5 \text{ mg/L}$  时,两种水温下的粪大肠菌群对数去除率分别为 2.9-lg、3.9-lg。由此可见,水温对粪大肠菌群对数去除率有显著影响。在相同的有效氯投加量下,水温升高可明显提高粪大肠菌群对数去除率,这可能是由于温度的提升使得次氯酸扩散至微生物表面的速率变快,进而提高了穿透细胞壁发生

氧化作用使其死亡的概率。因此,在为了达到近似的粪大肠菌群对数去除率的前提下,夏季水温较高时可适当减少次氯酸钠的投加量;而在冬季水温较低的环境下,可通过加大有效氯投加量或者适当延长接触时间达到相同的消毒效果。

## 2.5 消毒工艺现场干扰因素分析

研究中还发现以下几点影响消毒效果的因素,现针对相关问题进行如下分析,并给出相应建议:

### ① 消毒工艺段瞬时流量

消毒工艺段的瞬时流量存在较大幅度波动(如图6所示),最大瞬时流量值和最小瞬时流量值可相差2.7倍以上。这种瞬时流量的不稳定性给次氯酸钠的准确投加带来了极大的干扰,进而影响粪大肠菌群的去除效果和出水余氯含量。建议在消毒工艺前端设置缓冲构筑物如溢流井等,以保障进入消毒环节的水量稳定。

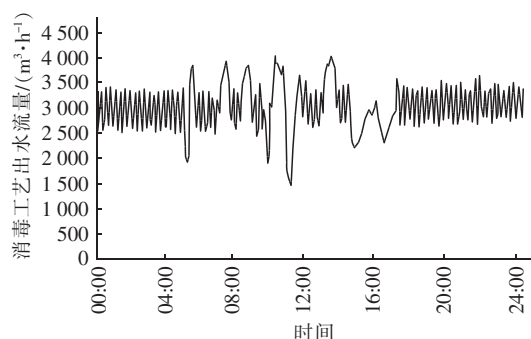


图6 某城镇污水处理厂消毒工艺出水瞬时流量曲线

Fig.6 Effluent instantaneous flow curve of the disinfection process in a municipal wastewater treatment plant

### ② 次氯酸钠的有效氯含量

为研究次氯酸钠有效氯含量随时间的变化规律,将次氯酸钠原液避光加盖保存3 d,每天检测有效氯含量,同时与3 d内现场储药罐中同批次次氯酸钠的有效氯含量作对比。结果表明,3 d内次氯酸钠原液的有效氯含量依次为10.39%、10.42%、10.30%,而现场储药罐中次氯酸钠的有效氯含量依次为8.55%、7.89%、6.73%。由此可见,保存方法得当的次氯酸钠原液的有效氯含量并未发生明显改变,而现场储药罐内次氯酸钠的有效氯含量却发生了明显的衰减,且日均衰减速率超过10%。这主要是由于现场储药罐存在罐体上盖密封不严、露天暴晒、灌注新药时罐内旧药余量过多等问题。有效氯含量的变化也会影响次氯酸钠投加量的准确性。因此建议污水处理厂应重视对次氯酸钠试剂的现场管

理,宜采用避光(黑色或深色)、密封(留一出气口)、耐腐蚀(如聚四氟乙烯)的罐体储存,并尽量在使用至低液位处再灌注新药。

### ③ 粪大肠菌群数的测定方法

为研究脱氯对检测水样中粪大肠菌群数的影响,在3座污水处理厂总排放口处分别取经次氯酸钠消毒后的出水水样,一组在现场使用硫代硫酸钠脱氯,一组未脱氯作为对照。经标准方法检测后发现,未脱氯水样中的粪大肠菌群数明显低于已脱氯水样中的粪大肠菌群数(见图7)。另外,从3座污水处理厂的出水对比数据来看,已脱氯水样中粪大肠菌群数可超出未脱氯水样的10~1 000倍不等,说明余氯的存在会严重干扰粪大肠菌群数检测的准确性,从而影响对实际消毒效果的准确判断,因此建议采样时应应对水样进行脱氯处理。

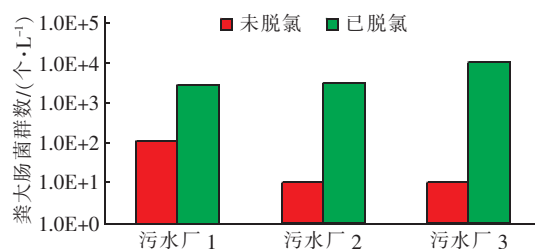


图7 余氯对粪大肠菌群检测结果的影响

Fig.7 Effect of residual chlorine on detection results of fecal coliform

## 3 结论

① 通过加氯消毒试验发现,城镇污水处理厂在使用次氯酸钠消毒时,粪大肠菌群对数去除率与消毒工艺中的有效氯投加量、接触时间以及水温等均呈正相关,消毒后出水的ORP值可间接表征消毒效果,CT值可指导消毒药剂的投加量。

② 本研究中城镇污水处理厂在保持接触时间为12 min的前提下,当有效氯投加量为3.67 mg/L时,粪大肠菌群对数去除率可达到2.5-lg以上,即保障消毒后出水的粪大肠菌群数达到国家一级A排放标准,此时ORP为578 mV,总氯CT值为7.6 mg·min/L,游离氯CT值为3.3 mg·min/L。考虑到CT值和众多影响因素有关,建议各污水处理厂结合各自实际情况确定各自的CT值。

③ 消毒工艺进水瞬时流量的大幅波动和储药罐内次氯酸钠有效氯含量的衰减等均会影响消毒效果,出水样品采集后未及时脱氯也会影响对消毒效

果的准确评价。建议在消毒工艺前端设置缓冲构筑物以保障水量的稳定性,加强对现场次氯酸钠的进料存储和使用管理,检测粪大肠菌群数等指标的水样采集后需脱氯处理以保证检测数据的准确性。

#### 参考文献:

- [1] 王连杰,李金河,郑兴灿,等. 城镇污水系统中病毒特性和规律相关研究分析[J]. 中国给水排水,2020,36(6):14-21.  
WANG Lianjie, LI Jinhe, ZHENG Xingcan, *et al.* Review and analysis on the characteristics and rules of virus in urban wastewater treatment system[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6):14-21 (in Chinese).
- [2] 张磊,张哲,赵珍仪. 提升生活排水系统卫生安全性能的关键问题[J]. 中国给水排水,2020,36(6):33-36, 44.  
ZHANG Lei, ZHANG Zhe, ZHAO Zhenyi. Key issues of improving sanitary and safety performance of domestic drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6):33-36, 44 (in Chinese).
- [3] 赵树理,庞宇辰,席劲瑛,等. 电化学消毒法对水中大肠杆菌的灭活特性[J]. 环境科学学报,2016,36(2):544-549.  
ZHAO Shuli, PANG Yuchen, XI Jinying, *et al.* Inactivation of antibiotic-sensitive and antibiotic-resistant *E. coli* in water by electrochemical disinfection[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(2):544-549 (in Chinese).
- [4] 陈韬,彭永臻,田文军,等. ORP 检测在水处理中的应用[J]. 中国给水排水,2003,19(5):20-22.  
CHEN Tao, PENG Yongzhen, TIAN Wenjun, *et al.* Application of ORP measurements in water treatment[J]. China Water & Wastewater, 2003, 19(5):20-22 (in Chinese).
- [5] 方道奎,余淑苑,周国宏,等. 深圳市 2016—2017 年游泳池水质监测情况及氧化还原电位卫生学意义探讨[J]. 中国卫生产业,2018,15(33):1-3.  
FANG Daokui, YU Shuyuan, ZHOU Guohong, *et al.* Discussion on the monitoring of swimming pool quality and the significance of oxidation reduction potential in Shenzhen from 2016 to 2017[J]. China Health Industry, 2018, 15(33):1-3 (in Chinese).
- 作者简介:王慕(1987-),女,江苏无锡人,硕士,工程师,长期从事饮用水和污水的检测及处理技术研究。  
E-mail:diamonddust@163.com  
收稿日期:2020-04-02  
修回日期:2020-06-17
- (编辑:刘贵春)
- (上接第 21 页)
- pretreatment[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(3):1-6 (in Chinese).
- [10] HUDSON N, BAKER A, REYNOLDS D. Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters—a review [J]. River Research and Applications, 2007, 23(6):631-649.
- [11] DONG B, GUI B, LIU J, *et al.* Analysis of organic foulants in the coagulation-microfiltration process for the treatment of Taihu Lake [J]. Environmental Technology, 2019, 40(25):3364-3370.
- [12] 唐焕威,张力平,李帅,等. 聚醚砜/微纳纤维素复合膜材料的光谱表征与性能研究[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(3):630-634.  
TANG Huanwei, ZHANG Liping, LI Shuai, *et al.* Study on spectroscopic characterization and property of PES/micro-nano cellulose composite membrane material [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(3):630-634 (in Chinese).
- [13] 齐鲁. 浸没式超滤膜处理地表水的性能及膜污染控制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.  
QI Lu. Performance of Immersed Ultrafiltration Membrane for Surface Water Treatment and Technology of Fouling Control [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010 (in Chinese).
- 作者简介:何林娟(1994-),女,湖南郴州人,硕士研究生,研究方向为膜法水处理技术。  
E-mail:512904771@qq.com  
收稿日期:2019-11-06  
修回日期:2019-12-09
- (编辑:刘贵春)