

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.02.027

城镇污水处理厂消毒处理技术的探讨

徐 瑛¹, 李 洋², 缪 绎¹

(1.无锡市水务集团有限公司, 江苏 无锡 214061; 2.中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430014)

摘 要: 2020 年 2 月 1 日,生态环境部印发《关于做好新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗污水和城镇污水监管工作的通知》(环办水体函〔2020〕52 号),其中特别指出“地方生态环境部门要督促城镇污水处理厂切实加强消毒工作,确保出水粪大肠菌群数指标达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)要求”。目前我国城镇污水处理厂所采用的消毒处理技术主要包括紫外、臭氧、次氯酸钠、二氧化氯,以及这些处理方式的组合。其中次氯酸钠消毒是目前污水处理厂应用最多的消毒处理方式,然而对于次氯酸钠消毒的工艺参数和运行效果尚缺乏统一的认识,在次氯酸钠投加量、消毒接触时间等关键参数上均存在问题,综述了次氯酸钠投加量,消毒接触时间,水温,氧化还原电位(ORP),氨氮浓度等参数对次氯酸钠消毒效果影响的研究,以期城镇污水处理厂消毒杀菌提供理论指导。

关键词: 城镇污水处理厂;消毒;粪大肠菌群;次氯酸钠;影响因素

中图分类号: X52

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0109-04

0 引言

2019 年底,一场由新型冠状病毒引发的疫情在全国蔓延开来,这使得污水处理行业高度重视新型冠状病毒可能存在的介水传播风险。因此,如何“平疫结合”,做好污水的消毒处理工作,保证污水处理厂出水水质安全,成为污水处理行业关注的焦点问题。

1 城镇污水处理厂粪大肠菌群分布调研

随着季节、进水和处理工艺的不同,城镇污水厂粪大肠菌群数分布也趋向于不同的规律,为了掌握粪大肠菌群分布规律,为其有效被去除打下基础,本章节探索了不同工艺条件下、不同季节情况下污水粪大肠菌群的分布规律。

1.1 不同工艺条件下的粪大肠菌群数调研

选取无锡水务三大污水处理厂,高新水务新城污水处理厂二厂作为研究对象,检测无锡水务三大污水处理厂深度处理段的进出水,高新水务新城污水处理厂二厂各个工艺段进出水中的粪大肠菌群数,探究不同处理工艺对于粪大肠菌群的去除效果。

由表 1 可知无锡水务三大污水处理厂 MBR、深床滤池、滤布滤池等深度处理段进出水粪大肠菌群

数分布,MBR 工艺对粪大肠菌群有两个数量级的去除效果,深床滤池和滤布滤池对粪大肠菌群有一个数量级的去除效果。

表 1 无锡水务三大污水处理厂深度处理段进出水

检测指标	污水处理厂 1		污水处理厂 2		污水处理厂 3	
	二沉池出水	MBR 出水	深床滤池进水	深床滤池出水	滤布滤池进水	滤布滤池出水
粪大肠菌群数 / (个·L ⁻¹)	4.2 × 10 ⁵	4.8 × 10 ³	2.9 × 10 ⁵	5.7 × 10 ⁴	2.2 × 10 ⁵	8.6 × 10 ⁴

高新水务新城污水处理厂一厂各期的工艺分别为 MBR、滤布滤池和 MSBR,各期出水汇总后流入二厂,实验期间 2020 年 3 月 5 日和 3 月 17 日新城二厂各工艺段出水水质分别如表 2、表 3 所示,反硝化、滤布滤池、活性炭工艺对于粪大肠菌群的去除效果不明显,而超滤和臭氧对粪大肠菌群有超过两个数量级去除效果。

综合以上分析可知,污水处理厂常规处理工艺对粪大肠菌群的去除效果欠佳,新城厂超滤膜孔径 0.025 μm,对微生物截留作用好,而臭氧本身作为一种消毒处理手段,对微生物有很好的杀灭效果。

1.2 不同时空条件下的粪大肠菌群数调研

在调研了不同工艺条件对粪大肠菌群数去除的影响后,又继续调研不同季节和气温条件下,及不同时空下,粪大肠菌群数的分布情况。研究对象选择无锡水务城北污水处理厂,取其一、二期进水,三、四期进水,一、二、三期二沉池出水,四期 MBR 出水,二、

收稿日期: 2022-09-29

作者简介: 徐瑛(1973—),女,学士,高级工程师,从事水处理技术管理工作。

表 2 2020 年 3 月 5 日新城二厂各工艺进出水粪大肠菌群数分布

检测指标	进水	反硝化出水	滤布滤池出水	臭氧出水	活性炭出水	超滤出水	总出水
粪大肠菌群数 / (个·L ⁻¹)	2.0 × 10 ³	9.8 × 10 ³	7.7 × 10 ³	<10	97	<10	<10

表 3 2020 年 3 月 17 日新城二厂各工艺进出水粪大肠菌群数分布

检测指标	进水	反硝化出水	滤布滤池出水	活性炭出水	超滤出水	总出水
粪大肠菌群数 / (个·L ⁻¹)	4.9 × 10 ²	2.4 × 10 ²	2.9 × 10 ²	2.2 × 10 ²	<10	52

三期反硝化进水等,以及二、三期气浮池进水与出水、一、四期气浮池进水,出水与消毒池进水等点位进行全流程粪大肠菌群数调研。城北厂主要处理工艺如图 1。

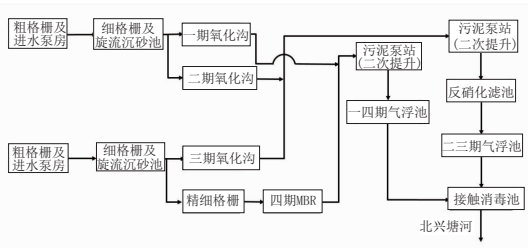


图 1 城北厂工艺流程图

根据调研的 2021 年 1 月—11 月粪大肠菌群的数据,取三期二沉池出水、四期 MBR 出水和消毒池进水三组较有代表性的数据绘制了曲线变化图,如图 2。可知城北厂消毒池进水粪大肠菌群数整体变化较大(104~105 个/L),呈春秋两季略高,夏冬两季相对偏低,这是由于春秋两季水温适宜,营养充分,利于微生物生长繁殖,夏季水温高,进水淡,且紫外线对微生物的杀伤效果强,冬季水温低,水量少,不利于微生物生长繁殖。且四期 MBR 出水比一、二、三期二沉池出水低 1~2 个数量级,此现象也验证了 1.1 中 MBR 可有效去除 1~2 个数量级的粪大肠菌群的结论。

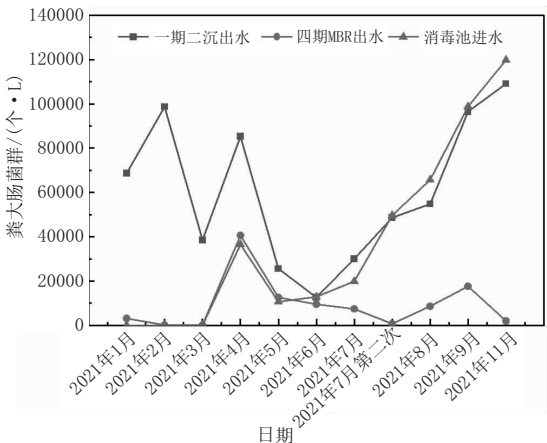


图 2 城北厂粪大肠菌群数变化图

2 城镇污水处理厂消毒处理技术和运行现状分析

通过对城镇污水处理厂全流程粪大肠菌群分布调研,可以发现,传统生化处理阶段以及深度处理阶段对于粪大肠菌群去除的能力有限,而消毒工艺对其有很好的灭杀效果。

现如今我国城镇污水处理厂所采用的消毒处理技术主要包括紫外、臭氧、次氯酸钠、二氧化氯、液氯,以及这些方式的组合。但具体的消毒工艺参数和对粪大肠菌群的去除效果还需探索,因此有必要进行城镇污水处理厂消毒运行效果调查和研究工作,根据目前污水处理厂消毒设施运行的现状,提出针对性意见,保证城镇污水处理厂消毒设施合理运行。

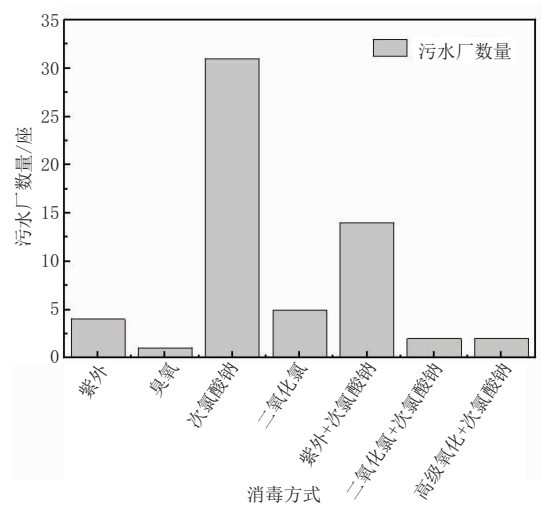
2.1 城镇污水处理厂消毒设施运行现状

为了摸清当前我国城镇污水消毒现状,调查和研究了包括福建、浙江、江苏、上海等省市的 56 座城镇污水处理厂消毒设施的运行情况。

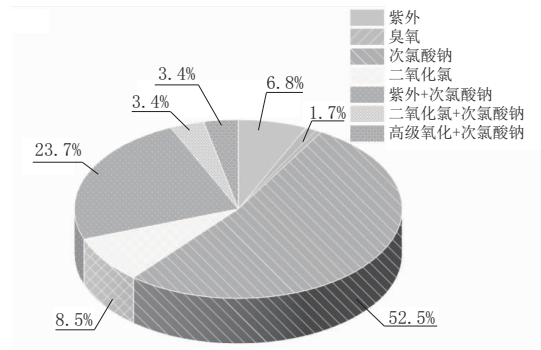
图 3 反映了被调查的城镇污水处理厂消毒方式分布,其中有 41 座采用单独消毒方式,分别是紫外、臭氧、次氯酸钠和二氧化氯。其中应用次氯酸钠消毒的污水处理厂最多,有 31 座,占总污水处理厂数量的 52.5%;采用臭氧消毒的污水处理厂最少,仅有 1 座,这是由于紫外线消毒具有缺乏持续性,容易产生光复活现象的缺点,且当出水悬浮物浓度过高时,紫外消毒效果会显著降低。随着我国对粪大肠菌群排放标准的重视,采用紫外消毒的污水处理厂逐渐减少。另外,还有 18 座污水处理厂采用紫外+次氯酸钠、二氧化氯+次氯酸钠以及高级氧化+次氯酸钠等组合消毒工艺。可以发现,18 座污水处理厂采用的组合消毒工艺中均使用了次氯酸钠,次氯酸钠在消毒领域应用较多。

次氯酸钠消毒效果好,具有持续消毒能力,不涉及危化品,药剂成本低,运行管理方便,因此被城镇污水处理厂广泛应用。但是由于相同排放标准下,城镇污水处理厂有效氯投加量差别较大,不同有效氯投加量直接影响药剂成本与消毒效果。因此,有必要对城镇污水处理厂有效氯投加量进行调研分析,分析结果如图 4 所示。

图 4 反映了被调查的城镇污水处理厂有效氯投加量的分布,87.7%的污水处理厂有效氯投加量集中在 1~6 mg/L,8.2%的污水处理厂有效氯投加量超出 6 mg/L,有效氯投加量较高,这可能是因为一些污

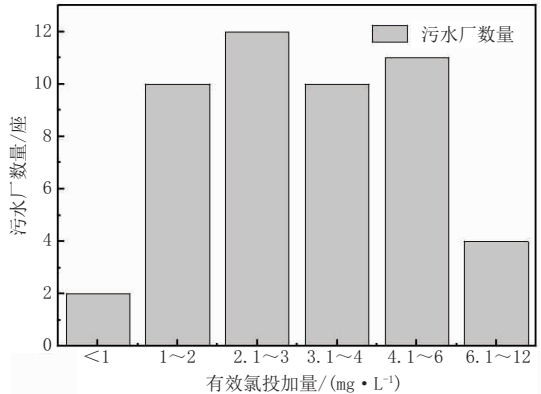


(a)城镇污水处理厂消毒方式分布

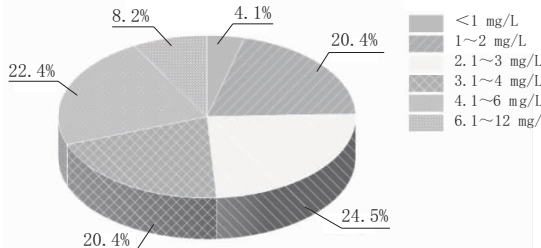


(b)城镇污水处理厂消毒方式占比

图3 城镇污水处理厂消毒方式统计结果



(a)城镇污水处理厂有效氯投加量分布



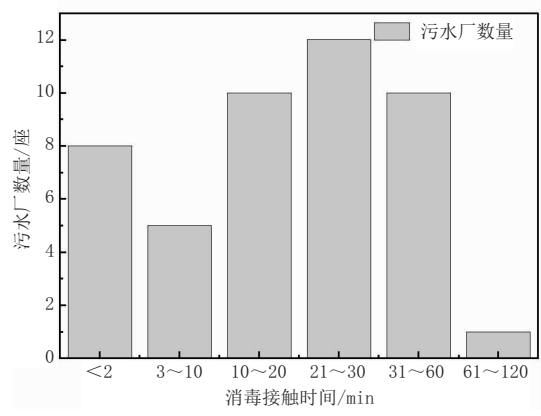
(b)城镇污水处理厂有效氯投加量占比

图4 城镇污水处理厂有效氯投加量统计结果

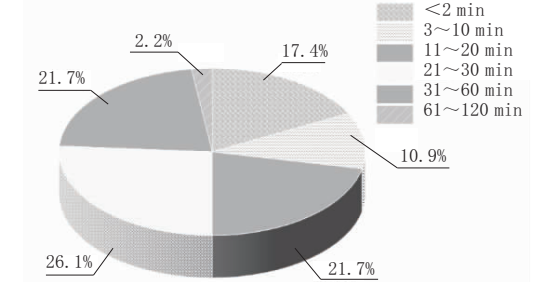
水处理厂进水水量波动大,导致药剂投加量计算不准确。杨敏^[1]等通过实验发现,当有效氯投加量为2 mg/L时,粪大肠菌群数由47 000个/L减少到了100个/L,

满足一级A排放标准(1 000个/L)的要求。

消毒接触时间对污水厂消毒杀菌也有一定的影响,对于污水处理厂次氯酸钠消毒工艺接触时间统计结果如图5所示。



(a)城镇污水处理厂消毒接触时间分布



(b)城镇污水处理厂消毒接触时间占比

图5 城镇污水处理厂消毒接触时间统计结果

图5反映了被调查污水处理厂消毒工艺的接触时间,47.8%的污水处理厂消毒接触时间集中在11~30 min范围内;同时也存在1座污水处理厂消毒接触时间超过60 min,8座污水处理厂低于2 min。何敏等^[2]研究了消毒接触时间对于次氯酸钠消毒杀菌效果的影响,实验结果表明,一般消毒接触时间在15~30 min时,消毒效果最佳。

分析以上调研结果可以发现,次氯酸钠消毒处理技术被我国城镇污水处理厂广泛应用。然而,不同污水厂在采用次氯酸钠消毒时,药剂投加量以及消毒接触时间不同,导致对粪大肠菌群的去除程度也有一定的差别。因此,有必要对次氯酸钠消毒进行深入探索,保证次氯酸钠消毒设施在污水处理厂合理运行。

3 城镇污水处理厂次氯酸钠消毒效果的影响因素研究

3.1 次氯酸钠投加量和消毒接触时间对于灭活粪大肠菌群的影响

在王慕^[3]的实验中,经过消毒处理后的水样稳定达到一级A排放标准,粪大肠菌群数去除率需≥

2.5-lg,此时,次氯酸钠投加量是 4.50 mg/L、3.67 mg/L、2.93 mg/L,对应的消毒接触时间分别为 5 min、12 min、30 min。可以发现,随着投药量的增加,消毒接触时间随之减少,说明有次氯酸钠投加量和消毒接触时间存在一定的关系,增大投药量的过程中,可适当减少接触时间;当接触时间过于长时,可适当减小加药量。因此,如何确定最优的投药量以及接触时间,使得粪大肠菌群数去除率达到最大,是需要研究的重要问题。

对次氯酸钠投加量和消毒接触时间的研究,即为对 CT 值(消毒剂残留浓度和接触时间的乘积被称为 CT 值)的研究。通过确定 CT 值,可以确定污水处理厂相应次氯酸钠消毒工艺参数,但目前我国缺少得出水粪大肠菌群达标的普适性 CT 值数据,众多研究人员对于 CT 值的研究成果可为我国城镇污水处理厂次氯酸钠消毒提供理论支持。厉智成等^[4]探究了次氯酸钠消毒过程中 CT 值对于去除粪大肠菌群的影响,由实验结果可知,CT 值相同的情况下,次氯酸钠对粪大肠菌群的灭活率相差不大,CT 值为 5 ~ 60(mg·min)/L 时,高投药量、短消毒接触时间和低投药量、长消毒接触时间组合下,次氯酸钠的杀菌效果要略弱于适中投药量、适中消毒接触时间组合下的杀菌效果。

3.2 水温对于灭活粪大肠菌群的影响

温度对次氯酸钠消毒去除粪大肠菌群数的影响主要取决于次氯酸钠扩散至微生物表面的速率,水温升高,次氯酸钠扩散至微生物表面的速率加快,穿透细胞壁发生氧化作用致其死亡的概率增大^[5]。王慕^[3]等试验水中次氯酸钠投加量为 2 mg/L 和 5 mg/L 时分别在 16.8℃ 和 28.9℃ 下接触消毒 5 min 的结果显示,在投药量相同的情况下,水温升高可显著提高粪大肠菌群对数去除率。次氯酸钠投加量为 2 mg/L,水温设置为 28.9℃,粪大肠菌群对数去除率为 2.4-lg;次氯酸钠投加量为 5 mg/L,水温设置为 16.8℃,粪大肠菌群对数去除率为 2.9-lg,两种条件下,粪大肠菌群灭杀效果差别不大。杨敏^[10]等研究水温对于粪大肠菌群数去除的影响,研究结果表明,静置状态下,消毒前粪大肠菌群数 59 000 个/L,接触时间 30 min,投加 1.5、2、2.5 mg/L 次氯酸钠,27℃ 水温下,消毒后粪大肠菌群数分别为 1100、50、0 个/L;温度降至 13℃,消毒后粪大肠菌群数分别为 4 900、1 750、0 个/L。可见水温升高,明显提高了次氯酸钠的杀菌效果。

因此,污水处理厂投加次氯酸钠消毒时,在春夏水温较高的情况下,可适当减少次钠投加量,而秋冬水温较低时,适当增加次钠投加量,必要时可延长消毒时间。

3.3 ORP 对于灭活粪大肠菌群的影响

氧化还原电位(ORP)用来反映原水的氧化还原性,ORP 数值越大,原水的氧化性越强,消毒杀菌效果越好,反之,原水的还原性越强,消毒杀菌效果越差。故加入次氯酸钠消毒的水样氧化性越强,粪大肠菌群的去除率越高^[6]。在王慕^[3]的研究中,接触时间一定时,随着氧化还原电位的升高(次氯酸钠投加量增加),粪大肠菌群对数去除率也在提高。因此污水厂在进行次氯酸钠消毒时,为了可以精准控制接触时间,建议在污水处理厂的出水排口安装在线 ORP 仪,根据 ORP 仪数值的大小,调节消毒接触时间。

3.4 氨氮浓度对于灭活粪大肠菌群的影响

污水厂在采用次氯酸钠消毒的过程中,原水中的氨氮与次氯酸钠水解产生的次氯酸反应生成结合性余氯,即一氯胺(NH_2Cl)、二氯胺(NHCl_2),结合性余氯同样具有消毒杀菌效果。当次氯酸钠投加量充足时,次氯酸和氨氮反应生成的结合性余氯以及次氯酸钠组合灭杀原水中的粪大肠菌群。但当次氯酸钠投加量不足时,水中氨氮浓度过高,原水中具有消毒能力的药剂仅剩反应生成的结合性余氯,而结合性余氯的消毒能力远低于次氯酸钠,消毒效果大大减弱。

李璐瑶^[7]探究了氨氮浓度对次氯酸钠消毒效果的影响,分析其实验结果可知,当次氯酸钠投加量在 1~2 mg/L 之间内,水中氨氮浓度越高,出水粪大肠菌群数就越多,次氯酸钠的消毒能力也就受到一定的影响。在何敏^[2]研究氨氮浓度对次氯酸钠杀菌效果的影响实验中,随着水中氨氮浓度从 0.2 mg/L 增加至 1.2 mg/L,最佳投药量由 15 mg/L 减少到 5 mg/L。由此可知,水中氨氮浓度不同,次氯酸钠的投加量不同,污水处理厂若想在实际消毒过程中得到最好的杀菌效果以及最优的次氯酸钠投加量,就要准确测定水中氨氮浓度。

4 结 语

(1)次氯酸钠消毒处理技术被我国城镇污水处理厂广泛应用。然而,不同污水厂在采用次氯酸钠消毒时,药剂投加量以及消毒接触时间不同,导致对粪大肠菌群的去除程度也有一定的差别。

(下转第 119 页)

600 mm)每年清疏不得少于2次;中型雨水管道(600 mm $\leq$ 管径 $\leq$ 1 000 mm)每年不得少于1次;大型雨水管道(管径 $>$ 1 000 mm)每2年不得少于1次。

建议该区域市政管网养护频率应在满足上述标准的基础上,重点地区加大频次高标准养护。

4.9 开展暴雨灾害意识教育与防灾教育

少数群众和企事业单位对积水的形成过程和严重后果没有足够的科学认识,灾害意识淡薄。因而可以通过多种渠道对相关法律法规进行宣传,如《苏州市城市排水管理条例》等,号召人们认真贯彻,自觉遵守,防止人为因素破坏排水设施。

部分群众和企事业单位在面对暴雨灾害时不知所措,政府部门可出台相应的应急预案,通过多种渠道告知群众和企事业单位在暴雨灾害面前应该如何应对。同时,要对相关部门进行人员培训,才能将经

济损失减到最小。

4.10 设立并推广暴雨社会保险

保险不仅具有对灾害损失实施有效补偿的机制,为广大保险人员提供可靠、及时、充分的经济保障,而且也具有督促、检查和指导防灾工作的功能。建议设立并推广暴雨社会保险,其对投保单位和个人及时恢复生产、安定生活和开展防灾工作能起到相当作用。

参考文献:

- [1] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].
- [2] GB 51222—2017,城市内涝防治技术规范[S].
- [3] CJJ 68—2016,城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程[S].
- [4] 苏州市城市排水管理条例[S].
- [5] 王晶.市政排水系统应对暴雨积水的措施[J].城市建设理论研究,2019(6):165.
- [6] 杨博.城市排水设施科学化养护管理[J].北京水务,2007(6):26-27.

~~~~~  
(上接第112页)

(2)次氯酸钠投加量和消毒接触时间存在一定关系,适中投药量、适中接触时间组合下的灭菌效果更优;水温影响次氯酸钠的消毒杀菌,在夏季水温较高的情况下,可适当减少次钠投加量,而冬季水温较低时,适当增加次钠投加量,必要时可延长消毒时间。

(3)ORP值越大,粪大肠菌群去除率越高,污水处理厂在保证粪大肠菌群去除率的前提下,可通过监测水样ORP值,精准控制消毒接触时间。

(4)过高的氨氮浓度会减弱次氯酸钠的消毒杀菌效果,污水厂在实际消毒过程中,可以根据原水氨氮浓度,精确计算投药量。

##### 参考文献:

- [1] 杨敏,尚巍,李鹏峰,等.城镇污水处理厂次氯酸钠消毒影响因素及优化研究[J].中国给水排水,2022,38(9):76-81.
- [2] 何敏,许小燕,牛璐瑶,等.次氯酸钠对污水处理厂二级出水消毒效果的影响因素探讨[J].净水技术,2019,38(1):7-11.
- [3] 王慕,谈振娇,李激,等.城镇污水处理厂次氯酸钠消毒效果的影响因素研究[J].中国给水排水,2021,37(1):22-27.
- [4] 厉智成,吴珊,靳伟伟.CT值对再生水次氯酸钠消毒的影响[J].中国给水排水,2016,32(19):72-75.
- [5] 朱彩琴.城镇污水处理厂次氯酸钠消毒实验与分析[J].资源节约与环保,2015(3):109.
- [6] 孙霖杰,张经纬,赖焕生.温度与pH值对两种次氯酸盐溶液稳定性和可氧化性的影响[J].净水技术,2022,41(10):92-96.
- [7] 李璐瑶.次氯酸钠深度处理城市污水厂二级出水的试验研究[D].青岛:青岛理工大学,2012.