

紫外线-次氯酸钠协同消毒效果研究

张帅 史乃彪 陈志强 徐炜

北京信通碧水再生水有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i11.2304

[摘要] 再生水作为北京市的第二水源,消毒是确保其水质安全的关键。本研究以粪大肠菌群作为指示微生物,结合北京市某再生水厂消毒单元的实际情况,检测紫外线-次氯酸钠协同消毒对粪大肠菌群的去除效果,确定次氯酸钠药剂的最佳投加量和紫外线剂量,为进一步提升出水水质、保证出水稳定达标提供可靠依据。

[关键词] 再生水; 紫外线-次氯酸钠; 协同消毒; 粪大肠菌群

中图分类号: O434.2 文献标识码: A

Study on the synergistic disinfection effect of ultraviolet-sodium hypochlorite

Shuai Zhang Naibiao Shi Zhiqiang Chen Wei Xu

Beijing Xintong Clear Water Reclaimed Water Co.,LTD.

[Abstract] As the second water source of Beijing, disinfection is the key to ensure the safety of reclaimed water quality. In this study, fecal coliform bacteria as the indicator microorganism, combined with the actual situation of a Beijing reclaimed water plant disinfection unit, detect the ultraviolet-sodium hypochlorite synergistic disinfection removal effect of fecal coliform bacteria, determine the optimal dosage and ultraviolet dose, provide reliable basis for further improve the effluent quality and ensure the stable stability.

[Key words] recycled water; ultraviolet-sodium hypochlorite; synergistic disinfection; fecal coliform group

引言

北京市作为典型的资源型缺水城市,水资源紧缺一直是北京市的基本市情水情。北京市自2004年开始将再生水纳入水资源统一配置,再生水利用量逐年增长,2008年之后再生水超过地表水供应量,成为北京市的第二水源^[1]。参考《北京市水资源公报》^[2],2023年全市再生水配置利用量达到12.77亿m³,占全市水资源配置总量近三分之一。

目前,污水的再生及利用已成为解决水资源短缺的这一世界难题的主要途径之一,而水质安全是污水排放与再生回用的关键。消毒作为污水再生过程中的最后一道工序,在灭活病原微生物、减少水传染疾病的传播等方面发挥着重要作用,为再生水水质安全提供有力的保障。目前,国内污水处理厂常用的消毒方式有加氯法、紫外线法和臭氧法等,其中加氯法包括次氯酸钠、液氯、二氧化氯消毒等,紫外消毒和次氯酸钠消毒为主流消毒方式,经常单一应用或组合联用^[3]。

北京市某再生水厂主体工艺采用多级A/O+高效沉淀池,设计处理规模18万吨/天,现已满负荷运行,出水水质满足北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准(DB11/890-2012)》^[4]表1中B标准,其高品质再生水目前主要用于工业冷却用水、城市杂用水以及景观环境用水。本研究以该再生水厂消毒单元为例,采用紫外、氯单独与组合方式对再生水处理过程的高效沉淀池

出水进行了消毒试验,并对其消毒效果进行研究,以期采用相同工艺再生水厂的运行提供技术支撑。

1 试验材料及方法

1.1 试验水样

本试验水样取自北京市某再生水厂高效沉淀池出水,进行消毒试验前,对水样的紫外线透射率(UVT)、pH值、NH₃-N、COD、浊度及色度等指标进行了测定。消毒前水样的主要指标如表1所示。

表1 实验用水水质

水质指标	浓度/值	水质指标	浓度/值
COD _{Cr} (mg/L)	10月20日	NH ₃ -N(mg/L)	0.1-1.0
BOD ₅ (mg/L)	1月6日	TN(mg/L)	5月12日
SS(mg/L)	1月5日	TP(mg/L)	0.1-0.2
pH	6.8-7.2	粪大肠菌群(CFU/L)	3.1×10 ⁴ -3.2×10 ⁵
紫外透光率(%)	71-86	浊度(NTU)	<2.0

由表1可知,北京城市副中心某再生水厂未经消毒的出水的主要指标(粪大肠菌群除外)均能满足北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准(DB11/890-2012)》表1中B标准(以下简称“京标B标准”)。

1.2 消毒药剂

试验采用工业用次氯酸钠溶液,有效氯含量不低于10%,利用隔膜计量泵投加。

1.3 紫外线设备

再生水厂紫外线设备采用北京安力斯环境科技股份有限公司Onyx-WSH紫外消毒系统。该系统采用模块化设计,主要由紫外灯组件(与镇流器一体化设计)、模块支架、水位控制系统、水位传感器、气动自动清洗系统和清洗驱动系统、导流板等组成。现场紫外线消毒系统由三条并联水渠组成,三条渠道可共用一个控制中心,紫外线运行数据可远传至系统控制中心。控制中心可将现场设备的运行状态、运行数据、清洗数据、报警信息、各镇流器输出功率上传至中控PCS7系统。

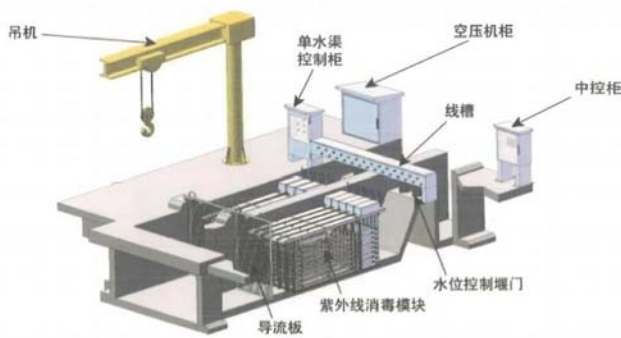


图1 紫外线设备示意图

1.4 消毒效果

本试验选用国家标准《紫外线水消毒设备紫外线剂量测试方法》(GB/T 32091-2015)^[5]中规定的粪大肠菌群作为生物指示物。

1.5 主要检测用设备及方法

表2 主要检测用设备及方法

水质指标	检测方法	检测设备
余氯	-	哈希DR300便携式余氯测定仪
粪大肠菌群	HJ 347.1-2018《水质 粪大肠菌群的测定 滤膜法》 ^[6]	GMM-1.0A隔膜真空泵 DHP-9121B 微生物培养箱

2 试验内容

2.1 单独紫外线消毒对粪大肠菌群的灭活

采用单独紫外线照射的消毒方式,利用紫外剂量为38mJ/cm²的紫外灯管进行照射消毒,不投加次氯酸钠或其他任何消毒药剂,取出水测定粪大肠菌群数量。结果见图2。

在不投加次氯酸钠或其他任何消毒药剂的条件下,从图2的数据中可以看出:原水(高效沉淀池的出水)的粪大肠菌群数量比较稳定,平均数量为2.04×10⁵CFU/L,出水粪大肠菌群最大数量为1100CFU/L,最小数量为30CFU/L,平均数量为460CFU/L。该剂量的紫外线能够将粪大肠菌群数量降至1000CFU/L,基本满足京标B标准。

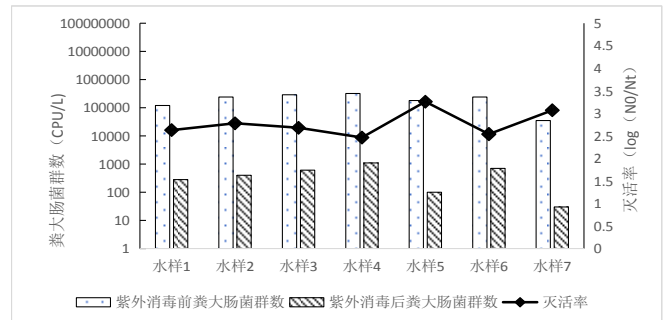


图2 38mJ/cm²的紫外灯管照射对粪大肠菌群的影响

根据王光辉^[3]等对我国城镇污水处理厂紫外消毒工艺运行情况的调研,紫外消毒基本可满足现阶段生活污水项目的出水粪大肠菌群达标要求。实际运行过程中部分污水厂存在消毒不稳定的情况,主要与设计照射剂量选取不合理、水质水量波动大、设备维护不到位等因素有关。该再生水厂水样不达标原因可能由水量波动、水力流态不稳造成。

2.2 粪大肠菌群的“光复活”和“暗修复”

考虑到微生物有一定的损伤修复能力,污水中的微生物在经过紫外线照射后,其中一部分仅仅是受损伤而未完全杀灭,在适宜的条件下可以实现复活。对经过紫外线消毒(紫外剂量为38mJ/cm²)的出水进行取样,分别放在日光灯照射(“光复活”)或避光(“暗修复”)的条件下保存,每2个小时测定一次粪大肠菌群数量,共测定5次,即8个小时。结果见表3。

表3 紫外消毒后各时间点粪大肠菌群数 单位: CFU/L

测定时间	光照	避光
0	440	440
2	1000	600
4	1300	900
6	1800	1320
8	2600	1660

由表3可知:在光照或避光条件下保存的经过紫外线消毒的水样,随着时间的推移,粪大肠菌群数量均有所上升。光照条件下,水样中的粪大肠菌群数量仅经过2小时便可达到1000CFU/L,而避光保存的水样中粪大肠菌群数增长明显较光照保存的水样缓慢。但是,经过6小时后,避光条件下水样中的粪大肠菌群数量也超过1000CFU/L,无法满足再生水厂京标B排放标准。

2.3 单独NaClO消毒对粪大肠菌群的灭活

采用单独次氯酸钠加药的消毒方式,通过控制加药泵的流量来调节有效氯的投加量。将工业用次氯酸钠(有效氯含量不低于10%)按照0、1、5、6、7、8、9、10mg/L的投加量投加到高效沉淀池出水总渠中,取出水用硫代硫酸钠终止反应后测定粪大肠菌群数量。结果见图3。

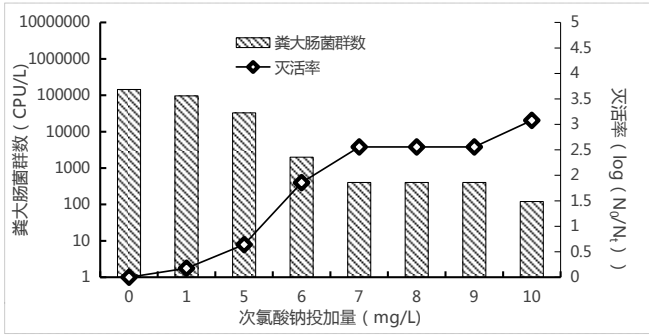


图3 不同次氯酸钠投加量对粪大肠菌群的影响

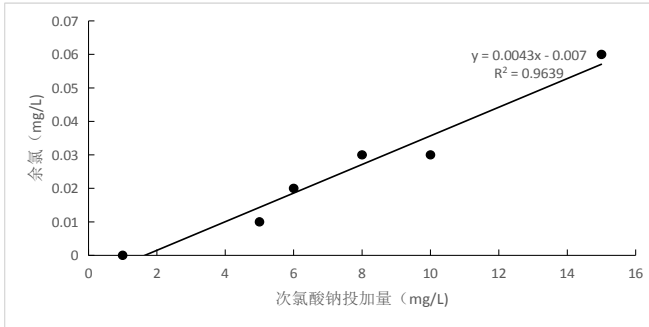


图4 不同次氯酸钠投加量对余氯粪大肠菌群的影响

表4 某再生水厂不同消毒方式出水粪大肠菌群测定结果

时间	紫 外 消 毒	粪大肠菌群数(CFU/L)					
		次氯 酸钠量	次氯 酸钠量	次氯 酸钠量	次氯 酸钠量	次氯 酸钠量	次氯 酸钠量
		0mg /L	0.5mg /L	1.0mg /L	2.0mg /L	4.0mg /L	6.0mg /L
DAY1	0	1.5×10 ⁶	1.3×10 ⁶	7.9×10 ⁵	3.8×10 ⁵	1.4×10 ⁵	2.8×10 ⁵
	1	460	400	230	30	未检出	未检出
DAY2	0	2.7×10 ⁶	2.3×10 ⁶	1.1×10 ⁶	5.3×10 ⁵	2.8×10 ⁵	3.0×10 ⁵
	1	620	590	440	100	未检出	未检出
DAY3	0	2.9×10 ⁶	2.5×10 ⁶	1.9×10 ⁶	9.6×10 ⁵	4.3×10 ⁵	2.6×10 ⁵
	1	920	800	500	320	80	未检出
DAY4	0	8.9×10 ⁶	8.0×10 ⁶	5.4×10 ⁶	2.6×10 ⁶	9.4×10 ⁵	1.8×10 ⁵
	1	490	450	230	20	未检出	未检出
DAY5	0	1.2×10 ⁷	1.12×10 ⁷	9.6×10 ⁶	3.3×10 ⁶	9.5×10 ⁵	2000
	1	4.4×10 ⁶	3.6×10 ⁶	2.5×10 ⁶	1.2×10 ⁶	1.0×10 ⁶	560
余氯		0	0	0	0	0.01mg /L	0.02mg /L

备注: 表格中紫外消毒一栏中“0”表示未经紫外消毒; “1”表示紫外消毒。

由图3、4可知: 随着次氯酸钠投加量的增加, 余氯的浓度随之增加, 粪大肠菌群的数量随之下降。当NaClO的投加量仅为7mg/L时, 粪大肠菌群的灭活率可达到2.56个对数级, 出水粪大肠菌群指标可满足京标B标准。此后, 随着消毒剂量的进一步增加, 粪大肠菌群数量下降幅度趋缓, 当NaClO投加量从7mg/L增加到10mg/L时, 粪大肠菌群的灭活率仅提高0.52个对数级。完全灭活粪大肠菌群需要15mg/LNaClO。

2. 次氯酸钠和紫外协同消毒对粪大肠菌群的灭活

根据次氯酸钠和紫外照射单独消毒对粪大肠菌群的灭活效果, 采用紫外线(紫外剂量38mJ/cm²)与0.5、1.0、2.0、4.0、6.0mg/L次氯酸钠协同消毒。在再生水厂出水口投加不同量的次氯酸钠, 并分别取未开启紫外消毒工艺的出水样品和开启紫外消毒工艺(待运行稳定后)的出水样品测定粪大肠菌群的数量。以研究该再生水厂实际生产过程中次氯酸钠协同紫外消毒工艺对出水中粪大肠菌群的灭活效果, 结果见表4。

由表4可知: 紫外线消毒在绝大多数情况下, 可使出水粪大肠菌群数量达标。在次氯酸钠投加量相同的前提下, 利用紫外线消毒可以使粪大肠菌群数量明显下降, 次氯酸钠协同紫外消毒效果明显优于单独使用次氯酸钠单独消毒效果, 较优于单独使用紫外消毒效果。从目前的试验数据来看, 在紫外剂量38mJ/cm²光照、次氯酸钠投加量为6.0mg/L的试验条件下, 出水中的粪大肠菌群数均可满足京标B排放要求。

3 结论

(1) 单独NaClO消毒的试验中, 当NaClO的投加量为7mg/L时, 余氯为0.03mg/L, 出水粪大肠菌群指标可满足京标B标准; 当NaClO的投加量为15mg/L时, 余氯为0.06mg/L, 出水粪大肠菌群被完全灭活; (2) 单独紫外线消毒的试验中, 经过紫外剂量为38mJ/cm²的紫外线照射后, 出水粪大肠菌群指标可达到京标B标准。但是, 紫外消毒没有持续的消毒功能, 仅在光照2小时后, 出水粪大肠菌群指标便出现超出京标B标准的情况; (3) 对比次氯酸钠消毒、紫外线消毒以及次氯酸钠和紫外协同消毒, 紫外线的消毒效果明显, 次氯酸钠起到辅助作用, 进一步降低出水中粪大肠菌群数量, 使协同消毒效果较优于单独使用紫外消毒效果。(4) 为保证出水稳定达标, 并符合再生水回用相关水质标准, 建议采用紫外线为主要消毒工艺, 以次氯酸钠消毒作为辅助消毒工艺进行协同消毒: 紫外线剂量为38mJ/cm², 次氯酸钠投加量为6.0mg/L, 余氯为0.02mg/L。

【参考文献】

- [1]刘璐.北京市再生水利用现状、问题及建议[J].水利发展研究,2022,22(5):83-88.
- [2]北京市水务局.北京市水资源公报(2023)[R]北京:北京市水务局2024.
- [3]王光辉,张行,兰隽如,等.我国城镇污水处理厂紫外消毒工艺运行情况调研及优化建议[J].净水技术,2024,43(10):1-8.
- [4]北京市《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB11/890-2012).
- [5]《紫外线水消毒设备紫外线剂量测试方法》(GB/T 32091-2015).
- [6]《水质 粪大肠菌群的测定 滤膜法》(HJ 347.1-2018).

作者简介:

张帅(1988--),女,湖北省十堰市人,本科,中级工程师,研究方向:水处理。