

城市污水处理厂尾水消毒应急提标改造研究

张荣海, 方淑霞, 杨阿香, 郑东赞, 李伟力
(厦门水务中环污水处理有限公司, 福建 厦门 361008)

摘 要: 在某城市污水处理厂一级 A 应急提标改造过程中,研究了不同尾水消毒方式的消毒效果,发现当水量高于 $6\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 时,无法仅通过紫外线消毒使出水水质达到一级 A 排放标准。可以通过投加 2.0 mg/L 的次氯酸钠,或采用紫外线与投加 1.0 mg/L 的次氯酸钠组合方式使出水粪大肠菌群数稳定达到一级 A 排放标准。在该污水处理厂应急提标阶段,选择紫外线与次氯酸钠组合的消毒方式,既能够保证出水水质稳定达到一级 A 排放标准,又可以最大限度节省运行成本。

关键词: 尾水消毒; 一级 A 排放标准; 提标改造; 紫外线; 次氯酸钠; 粪大肠菌群数

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0097-04

Emergency Upgrading and Reconstruction of Tail Wastewater Disinfection in a Municipal Wastewater Treatment Plant

ZHANG Rong-hai, FANG Shu-xia, YANG A-xiang, ZHENG Dong-zan, LI Wei-li
(General Water of Xiamen Sewage Co. Ltd., Xiamen 361008, China)

Abstract: The effect of different tail wastewater disinfection methods was studied during emergency upgrading and reconstruction of a municipal wastewater treatment plant to meet the first class A discharge standard. It was found that the effluent quality could not meet the first class A discharge standard only by ultraviolet (UV) disinfection when the flow rate of the wastewater was above $6\,500\text{ m}^3/\text{h}$. However, the number of effluent fecal coliform could meet the first class A discharge standard by adding 2.0 mg/L sodium hypochlorite, or adopting combined process of UV and 1.0 mg/L sodium hypochlorite. The combined disinfection method of UV and sodium hypochlorite could not only ensure the effluent quality always conforming the first class A discharge standard, but also save the operation cost to the greatest extent during emergency upgrading and reconstruction of the plant.

Key words: tail wastewater disinfection; the first class A discharge standard; upgrading and reconstruction; UV; sodium hypochlorite; the number of fecal coliform

某城市污水厂总设计规模为 $25 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用多模式 A^2/O 氧化沟辅助化学除磷工艺,尾水排入东海域,出水水质能够达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。根据环保部“水十条”的要求,出水水质需进一步达到一级 A 排放标准。因此,该污水处理厂根据现状运行工艺对尾水消毒单元进行应急改造,优选最经济节能的消毒方式,使出水中粪大肠菌群数达到一

级 A 排放标准。

目前常见的污水消毒方式主要有紫外线消毒、次氯酸钠消毒、液氯消毒、二氧化氯消毒和臭氧消毒等。基于该污水厂的工艺现状、安全性、成本等原因,对紫外线和次氯酸钠两种消毒方式进行深入探讨。紫外线杀菌速度快、效果好,且不产生消毒副产物,是一种环保的消毒方法^[1-2]。但紫外线消毒没有持续的杀菌能力,制约了该技术的广泛应用^[3]。

次氯酸钠消毒技术因方法成熟、运行费用低,已成为国内最普遍的城市污水消毒方法^[4]。尽管次氯酸钠具有持续的消毒能力,但会产生余氯等副产物,将对水中生物造成毒性危害^[5]。有研究表明^[4],在同等工况下,当采用紫外线消毒后出水中大肠杆菌不达标时,通过增投适量次氯酸钠可以保证水质稳定达标。众多研究表明,紫外线和次氯酸钠组合消毒的方式具有协同效果,且组合消毒的成本低于单独紫外线或单独次氯酸钠的消毒成本^[6-7]。

1 试验材料与方法

1.1 工艺流程

某城市污水处理厂的工艺流程见图1。

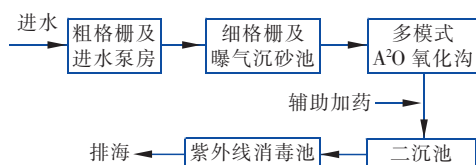


图1 某城市污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of a municipal wastewater treatment plant

1.2 紫外线消毒试验

紫外线消毒采用新大陆紫外C水消毒系统,型号为NLQ-100K-XMSWT。其采用模块化设计,由紫外灯组件、清洗架、气动装置、模块框架等组成排架式消毒模块。系统分为4组,每组10个模块,每个模块由11支320W的低压高强紫外灯组成。采用手动运行模式,保持在100%的功率下运行。

试验过程中,紫外线照射强度恒定不变,采用多管发酵法检测紫外线消毒后出水中粪大肠菌群数。

1.3 次氯酸钠消毒试验

试验采用10%次氯酸钠溶液,加药系统设于二沉池出水口,从投药点到取样口接触反应时间约为20 min。试验过程中关闭紫外设备,调节恒水量后投加次氯酸钠溶液,30 min后于出水口取样,测定粪大肠菌群数。

1.4 紫外线与次氯酸钠组合消毒试验

调节恒水量后,于二沉池出水口处投加次氯酸钠,接触反应20 min后再经紫外设备消毒,30 min后于出水口取样,测定粪大肠菌群数。

2 结果与讨论

2.1 进水瞬时流量分析

某城市污水处理厂实际处理水量约为 23×10^4

m^3/d ,原水来源于城市生活污水,进水瞬时流量随居民用水量的变化而改变。该污水厂的进水瞬时流量波动较大,24 h中进水瞬时流量有3 h低于 $6\,500 \text{ m}^3/\text{h}$,15 h高于 $10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,最低瞬时流量为 $6\,020 \text{ m}^3/\text{h}$,最高可达 $11\,080 \text{ m}^3/\text{h}$,汛期高峰甚至可达到 $12\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2.2 单独紫外线消毒效果分析

在进水粪大肠菌群数为 $10 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ 个/L、 $\text{SS} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、透光率为70%~77%、pH值为7.2、紫外线照射强度不变的条件下,出水中粪大肠菌群数的变化情况如图2所示。可知,当瞬时流量在 $6\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下时,出水粪大肠菌群数为500~800个/L,满足一级A排放标准;而当瞬时流量在 $6\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上时,出水粪大肠菌群数为1 100~3 000个/L,不满足一级A排放标准。这是由于瞬时流量增大,紫外线照射停留时间变短,且进水中粪大肠菌群数相对增加,总体消毒效果下降。由于每天的瞬时流量约有21 h大于 $6\,500 \text{ m}^3/\text{h}$,因此需要通过其他途径提高较高瞬时流量下的尾水消毒效果,以期达到一级A排放标准。

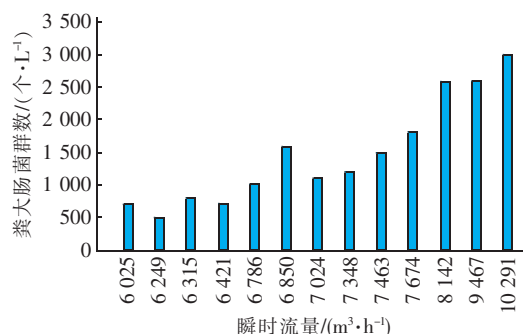


图2 单独紫外线消毒效果

Fig.2 Disinfection effect of single UV

2.3 单独次氯酸钠消毒效果分析

以该污水处理厂二沉池出水为试验原水,瞬时流量分别设为 $8\,000$ 、 $10\,000$ 、 $11\,000$ 、 $12\,500 \text{ m}^3/\text{h}$,投加不同量的次氯酸钠,出水中的粪大肠菌群数见表1。可知,试验原水的粪大肠菌群数为 $109\,000 \sim 136\,500$ 个/L,粪大肠菌群数随瞬时流量的增大而增加。当投加 1.0 mg/L 次氯酸钠时,不同瞬时流量下出水中粪大肠菌群数锐减,但均大于1 000个/L,没有达到一级A排放标准。当次氯酸钠投加量为 1.5 mg/L 时,瞬时流量为 $8\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的出水中粪大肠菌群数为900个/L,满足一级A排放标准,但瞬时流量为 $10\,000$ 、 $11\,000$ 、 $12\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 的出水中粪

大肠菌群数分别为 1 100、1 600、2 000 个/L,不满足一级 A 标准。当次氯酸钠投加量为 2.0 mg/L 时,不同瞬时流量条件下出水中粪大肠菌群数均能达到一级 A 排放标准。当次氯酸钠投加量为 2.5 mg/L 时,瞬时流量为 8 000、10 000、11 000、12 500 m³/h 的出水中粪大肠菌群数分别为 20、45、69、80 个/L,远低于一级 A 标准的限值。

表 1 单独次氯酸钠的消毒效果

Tab. 1 Disinfection effect of single sodium hypochlorite
个·L⁻¹

瞬时流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	次氯酸钠投加量/(mg·L ⁻¹)				
	0	1.0	1.5	2.0	2.5
8 000	109 000	1 300	900	500	20
10 000	118 800	3 100	1 100	650	45
11 000	125 700	3 600	1 600	700	69
12 500	136 500	3 900	2 000	750	80

2.4 紫外线与次氯酸钠组合的消毒效果分析

结合上述分析,考察紫外线与次氯酸钠(投加量为 1.0 mg/L)组合的消毒效果,结果见图 3。

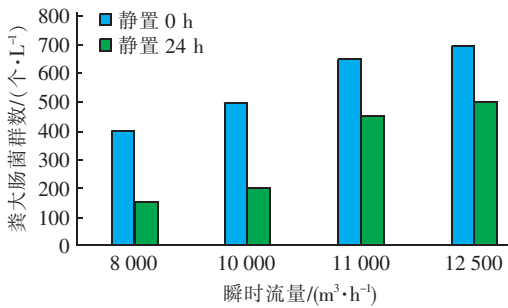


图 3 紫外线与次氯酸钠组合的消毒效果

Fig. 3 Disinfection effect of UV combined with sodium hypochlorite

从图 3 可以看出,当瞬时流量为 8 000、10 000、11 000、12 500 m³/h 时,紫外线与次氯酸钠组合消毒的出水中粪大肠菌群数为 400~700 个/L,满足一级 A 标准。静置 24 h 后,粪大肠菌群数有所下降,

表 3 应急提标期间尾水的消毒效果

Tab. 3 Disinfection effect during emergency upgrading and reconstruction

项 目	6 日	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日	15 日
粪大肠菌群数/(个·L ⁻¹)	80	100	180	300	200	90	100	420	260	400
次氯酸钠投加量/(mg·L ⁻¹)	0.9	1.1	1.2	1.0	0.8	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2
瞬时流量/(m ³ ·h ⁻¹)	8 675	11 155	9 800	10 291	8 476	8 685	9 511	10 240	9 467	9 675
当天水量/(m ³ ·d ⁻¹)	208 440	245 760	232 200	235 272	203 424	227 208	235 200	247 720	228 264	216 750

3.2 运行成本分析与比较

该污水处理厂采用紫外线与次氯酸钠组合消毒方式的运行成本包括电费和次氯酸钠药剂费,2018

这是由于次氯酸钠具有持续的杀菌能力。

2.5 运行成本估算

综上所述,不同瞬时流量下,可通过单独投加 2.0 mg/L 的次氯酸钠,或采用紫外线与投加 1.0 mg/L 次氯酸钠的组合方式使出水中粪大肠菌群数小于 1 000 个/L,尾水消毒后达到一级 A 排放标准。该污水厂的应急提标项目计划实施 180 d,按照处理水量为 23×10⁴ m³/d、次氯酸钠单价为 0.014 元/g、紫外线用电量为 0.017 kW·h/m³、工业用电单价为 0.5 元/(kW·h)核算,应急提标期间不同方式尾水的消毒成本见表 2。可知,单独次氯酸钠消毒的运行成本为 115.92 万元,紫外线与次氯酸钠消毒组合的运行成本为 93.15 万元,比单独次氯酸钠消毒节省约 23 万元。

表 2 不同消毒方式的运行成本

Tab. 2 Operation cost of different disinfection methods

项 目	运行费用/万元			粪大肠菌群 达标率/%
	电费	药剂费	合计	
单独次氯酸钠消毒	—	115.92	115.92	100
紫外线与次氯酸钠消毒	35.19	57.96	93.15	100

3 尾水消毒效果及实际成本分析

3.1 尾水消毒效果

由于紫外线与次氯酸钠组合消毒方式的运行成本比单独次氯酸钠的低,因此在应急提标阶段,采用紫外线与投加 1.0 mg/L 次氯酸钠组合方式进行尾水消毒。表 3 为应急提标期间(2018 年 4 月 6 日—15 日)尾水的消毒效果,次氯酸钠投加量为 0.8~1.2 mg/L,取样时出水瞬时流量为 8 500~12 000 m³/h,可以看出粪大肠菌群数变化明显,最小值为 80 个/L,最大值为 420 个/L,这与当天的水质情况、水量、药剂投加量有关。10 d 出水中粪大肠菌群数均小于 1 000 个/L,低于试验期间的结果(400~700 个/L),达到一级 A 排放标准。

年 4 月 6 日—15 日的实际成本:紫外线消毒的电费为 39 950 kW·h,电单价为 0.501 3 元/(kW·h),则电费为 20 027 元;次氯酸钠单价为 0.013 8

元/g,则次氯酸钠药剂费=当天水量×次氯酸钠投加量×单价=31 845元;经计算,实际运行成本为51 872元。根据表2的数据,估算10 d的运行成本为51 750元。对比实际与估算运行成本可知,两者相差不大,实际运行成本比估算值高122元。

4 结论

① 依据某城市污水处理厂的污水水质,当进水瞬时流量 $<6\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 时,可通过紫外线消毒的方式使粪大肠菌群数 $<1\,000$ 个/L,达到一级A排放标准;当进水瞬时流量 $>6\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 时,仅采用紫外线消毒不能使出水水质达到一级A排放标准。

② 次氯酸钠对粪大肠杆菌具有明显的杀灭效果。当次氯酸钠投加量为 2.0 mg/L 时,可使出水中粪大肠菌群数达到一级A排放标准,且180 d的运行费用约为115.92万元。

③ 采用紫外线与次氯酸钠(投加量为 1.0 mg/L)组合消毒方式时,可使出水中粪大肠菌群数达到一级A排放标准,静置24 h后,粪大肠菌群数有下降趋势,且180 d的运行费用约为93.15万元。

④ 在应急提标运行阶段,该污水处理厂采用紫外线与次氯酸钠组合的方式进行尾水消毒,生产阶段消毒效果比试验阶段的消毒效果好,粪大肠菌群数均稳定达到一级A排放标准,实际运行成本略高于估算的运行成本。

参考文献:

- [1] 刘淑琳,唐玉霖. 城市污水处理厂紫外线消毒常见问题控制及发展趋势[J]. 中国给水排水,2017,33(22):24-28.
Liu Shulin, Tang Yulin. Solutions of common problems and development trends of ultraviolet disinfection in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater,2017,33(22):24-28(in Chinese).
- [2] 柯强,李文红,陈英旭. 紫外线杀菌效能的研究[J]. 环境污染与防治,2003,25(3):136-138,144.
Ke Qiang, Li Wenhong, Chen Yingxu. Study on disinfection efficiency by ultraviolet [J]. Environmental Pollution & Control, 2003, 25(3): 136-138, 144 (in Chinese).
- [3] 王俊娇,吕鑑,张英,等. 紫外线持续消毒能力的研究[J]. 工业用水与废水,2006,37(4):44-46.
Wang Junjiao, Lü Jian, Zhang Ying, et al. Persistent disinfection ability of ultraviolet radiation [J]. Industrial Water & Wastewater,2006,37(4):44-46(in Chinese).
- [4] 张惠华. 污水处理厂利用次氯酸钠消毒实验研究[J]. 广东化工,2012,39(12):118-119.
Zhang Huihua. Experiment study of sodium hypochlorite used to disinfection in sewage treatment plants [J]. Guangdong Chemical Industry,2012,39(12):118-119(in Chinese).
- [5] Platikanov S, Puig X. Chemometric modeling and prediction of trihalomethane formation in Barcelona's water works plant [J]. Water Res,2007,41(15):3394-3406.
- [6] 郭美婷,胡洪营. 紫外线和氯组合方式对大肠杆菌灭活效果的影响研究[J]. 中国给水排水,2007,23(17):80-83.
Guo Meiting, Hu Hongying. Influence of different combination modes of UV and chlorine on inactivation effect of *Escherichia coli* [J]. China Water & Wastewater, 2007,23(17):80-83(in Chinese).
- [7] 濮晨熹. 城市污水处理厂消毒技术应用研究[D]. 广州:广州大学,2012.
Pu Chenxi. Study on Application of Disinfection in Urban Sewage Treatment Plants [D]. Guangzhou: Guangzhou University,2012(in Chinese).



作者简介:张荣海(1979-),男,江西上饶人,本科,助理工程师,主要研究方向为污水处理技术。

E-mail: ronghai828@163.com

收稿日期:2018-09-23