

GAC 强化砂滤对再生水紫外线消毒的影响研究

张朋锋^{1,2} 杨英杰² 张文超² 常江² 甘一萍² 白宇² 张亚维³

(1 哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院, 哈尔滨 150001; 2 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100022;

3 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要 考察了 GAC 强化砂滤池预处理对再生水消毒的强化效果及污水处理厂二级出水消毒紫外线剂量与灭活率的关系。结果表明, GAC 强化砂滤池对浊度和色度的平均去除率分别为 60% 和 26.5%, 对粒径 4 μm 以上颗粒物平均去除率为 89.2%, 紫外线对总大肠菌群和粪大肠菌群的灭活率分别提高 24.5%、23.3%。当紫外线剂量达到 13 mJ/cm^2 时, 出水总大肠菌群低于 100 个/L。试验表明, 在再生水消毒工艺中, GAC 强化砂滤预处理可明显提高紫外线消毒效果。

关键词 GAC 强化砂滤池 紫外线剂量 浊度 颗粒物 总大肠菌群 粪大肠菌群

Study on the influence of reclaimed wastewater UV disinfection by GAC enhanced sand filtration

Zhang Pengfeng^{1,2}, Yang Yingjie², Zhang Wenchao², Chang Jiang²,

Gan Yiping², Bai Yu², Zhang Yawei³

(1. Department of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100022, China;

3. Civil & Environment Engineering School, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, the effects of GAC enhanced sand filter tank pretreatment process on reclaimed wastewater disinfection and relationship between UV dosage and inactivation ratio for wastewater treatment plant secondary effluent disinfection were studied. The results showed: the turbidity and color removal rates of GAC enhanced sand filter tank were 60% and 26.5% respectively; the removal rate of particles with diameter more than 4 μm was 89.2%; inactivation ratio of UV on total coliforms and fecal coliforms increased 24.5% and 23.3% respectively; when the UV dosage reached 13 mJ/cm^2 , the total coliforms were below 100 unit/L. It could be concluded: in the reclaimed wastewater disinfection process, GAC enhanced sand filtration pretreatment could improve the UV disinfection effects obviously.

Keywords: GAC enhanced sand filter tank; UV dosage; Turbidity; Particle; Total coliforms; Fecal coliforms

0 前言

为了实现北京市水资源的两个转变, 北京城市排水集团有限责任公司正在进行中心城区污水处理厂的升级改造及再生水厂新建工作, 预计新建 8 座再生水厂, 总规模达到 264 万 m^3/d 。大规模进行再

生水生产并与水资源调控相结合的生产工艺模式将是我国尤其是北方地区缓解水资源紧缺的必由之路。

目前国内外很多再生水厂进水为二级处理厂出水, 经过滤—消毒的工艺处理。实践证明, 人体接触

再生水的风险越大,对处理要求就越严格。因此,消毒成为风险控制的安全手段。

在再生水消毒工艺中,紫外线消毒的应用日益广泛,但紫外线消毒受水中颗粒物影响比较大。一方面,当水中微生物与颗粒物结合在一起时,颗粒物会阻挡紫外线的照射;另一方面,水中颗粒物对紫外线光有折射和散射的作用,延长了紫外线光程,降低了消毒的紫外线剂量。目前国内外采用紫外线进行再生水消毒的研究并不多见,本试验以颗粒活性炭(GAC)强化砂滤池和紫外线消毒相结合进行再生水消毒工艺研究。利用GAC强化砂滤池对污水处理厂二级出水进行预处理,降低了水中颗粒物浓度及色度,提高了消毒功效。中试结果能够为再生水厂升级改造提供技术支撑。

1 试验材料与方法

1.1 原水水质

本试验场地设在高碑店污水处理厂内,工艺进水采用污水处理厂二沉池出水,水质见表1。

表1 试验原水水质

项目	色度 / 度	浊度 / NTU	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹	总大肠菌群 / 个/L	粪大肠菌群 / 个/L
数值	18~35	0.5~1.5	0.110~0.135	10 ⁵ ~10 ⁶	10 ⁴ ~10 ⁵

1.2 试验装置

试验流程如图1所示。原水经泵进入GAC强化砂滤池,出水再进入紫外线消毒单元。通过管道超越,可实现原水不经过GAC强化砂滤池直接进入紫外线消毒系统,从而能够实现单独紫外线消毒和砂滤+紫外线消毒的对比试验。

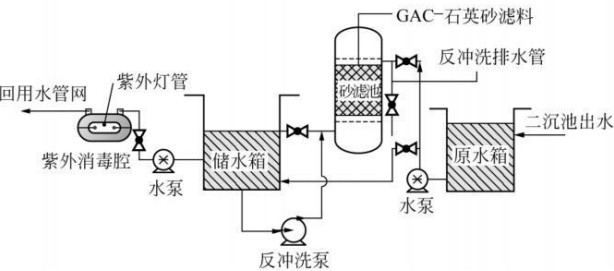


图1 试验工艺流程

GAC强化砂滤池采用均质滤料,砂层厚度0.6 m,滤池砂层以上铺设0.4 m GAC滤料。滤池设计流量为2 m³/h,滤速为6.25 m/h,最大水处理

量50 m³/h。紫外线消毒设备采用低压高强灯,输出功率为14 W,处理能力20 m³/d。

1.3 分析项目及方法

对所取水样进行理化指标(浊度、颗粒物浓度、色度)和微生物指标(总大肠菌群和粪大肠菌群)的检测,其中颗粒物浓度采用在线颗粒计数器进行分析,该计数器设置有8个可以随意调节的颗粒尺寸通道。其他指标均采用国家标准方法。

2 结果与讨论

2.1 GAC强化砂滤对浊度的去除

GAC强化砂滤池流量2.5 m³/h,连续运行1个月,对水中浊度的去除效果见图2。

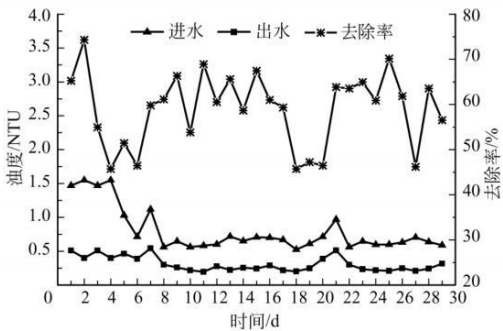


图2 GAC强化砂滤对浊度的去除效果

浊度是由于水中含有泥沙、粘土、有机物、无机物和浮游生物等悬浮物质所造成,反映了光线被悬浮物质或胶体颗粒等散射的程度。从图2中可见,进水浊度为0.523~1.55 NTU,平均0.8 NTU,属于低浊水,将浊度进一步去除有一定难度^[1],但试验数据表明,即使在进水浊度小于1 NTU情况下,出水浊度仍保持在0.4 NTU以下,对于低浊水浊度平均去除率为60%。由于GAC强化砂滤池滤料层结构松散,对进水水质变化较为敏感,浊度易穿透,因此在浊度去除率方面,GAC强化砂滤池与普通砂滤池并无太大区别^[1],GAC强化砂滤池的优势在于去除水中的颗粒物及部分有机物,从而实现提高紫外线消毒效果。颗粒物及有机物的去除无法从浊度指标上得到有效反映。

2.2 GAC强化砂滤对颗粒物的去除

浊度作为水中颗粒物和病原微生物的替代参数,能概括地表示出水中颗粒物以及微生物的含量,但是浊度主要反映粒径小于1 μm的胶体颗粒含量,而粒径大于1 μm的颗粒物对浊度的贡献很小,与浊度相

比,颗粒计数技术对 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上的悬浮颗粒检测灵敏,能有效弥补浊度的不足^[2]。本试验即采用了在线颗粒计数仪进行颗粒物的监测分析。

紫外线消毒过程中,颗粒物对微生物有屏蔽保护作用,使紫外线光发生反射和散射,从而降低了紫外线消毒能力。Qualls^[3] 和 Joliset^[4] 的研究结果表明,对大肠杆菌有屏蔽保护作用的是颗粒物粒径范围在 $7\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物。表 2 为 GAC 强化砂滤池进出水颗粒物浓度变化,图 3 所示为 GAC 强化砂滤池对水中不同粒径颗粒物的去除效果。

表 2 GAC 强化砂滤池对颗粒物的平均去除效果

粒径/ μm	0~1.6	1.6~2	2~4	4~10	10~39.8	39.8~100	100~200	200~300
进水/ 个/mL	19 919	17 031	8 599	5 586	3 019	1 121	209	48
出水/ 个/mL	7 359	6 141	2 560	1 183	410	82	12	3

注:数值为 30 d 平均值。

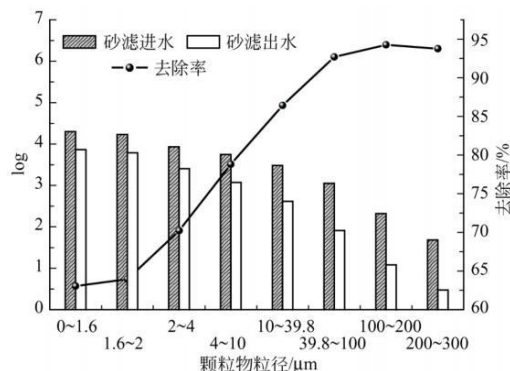


图 3 GAC 强化砂滤池对颗粒物的影响

通过表 2 和图 3 可以看到 GAC 强化砂滤池对粒径 $4\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物去除率较高为 78.8%,颗粒物平均浓度由 5 586 个/mL 降为 1 183 个/mL,对后续紫外线消毒起到了强化作用,可见 GAC 和石英砂组成的双层滤料对颗粒物的吸附和截留在本试验中作用比较明显。

由图 3 可以看出颗粒物粒径越大,去除率越高,当颗粒物粒径达到 $40\text{ }\mu\text{m}$ 时,去除率已经超过 90%,这是因为滤料的孔隙率一定,当颗粒物粒径超过滤料空隙时,会被滤料截留,达到去除颗粒物的目的,而粒径小于滤料孔隙颗粒物的去除依靠的是滤料的吸附作用,因而去除率不如大粒径颗粒物。图 3 中虽然粒径小于 $4\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物去除率为 65.7%,

远低于粒径大于 $4\text{ }\mu\text{m}$ 的去除率,但其对紫外线消毒效果影响有限^[5]。

2.3 GAC 强化砂滤对色度的去除

水体颜色会吸收紫外线,降低细菌接受紫外线照射的强度,从而影响紫外线消毒效果。二沉池出水的色度主要是由溶解性的有机物、悬浮胶体、铁、锰和颗粒物引起。致色有机物的特征是带有双键和芳香环,代表物是腐殖酸和富里酸^[6]。

砂滤对色度的去除主要是石英砂和活性炭双层滤料对这部分物质的吸附和截留作用。对色度的去除效果见图 4。由图 4 可见,进水的色度基本在 $20\sim 30$ 度,当砂滤池进水流量维持在 $2.5\text{ m}^3/\text{h}$ 时,出水色度可以达到 $14\sim 22$ 度,且稳定性较好,平均色度小于 15 度,人肉眼感觉为无色状态。从试验结果来看,砂滤出水存在的致色残余物质,可通过增加后续臭氧工艺进一步去除。

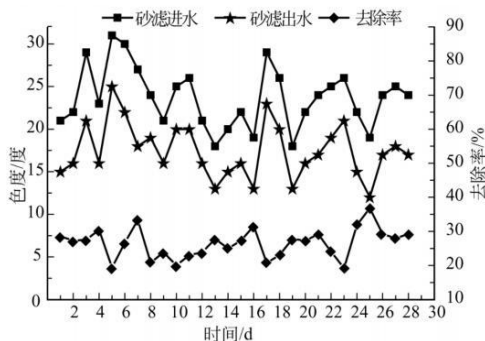


图 4 GAC 强化砂滤池对色度的去除效果

2.4 GAC 强化砂滤预处理对紫外线消毒的影响

GAC 强化砂滤池预处理对水中总大肠菌群及粪大肠菌群灭活率的影响如图 5、图 6 所示。不同紫外线剂量条件下, GAC 砂滤池预处理均可提高紫外线消毒对总大肠菌群及粪大肠菌群的灭活率。GAC 强化砂滤

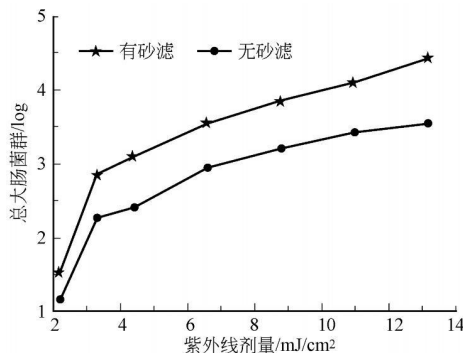


图 5 紫外线对总大肠菌群的灭活效果

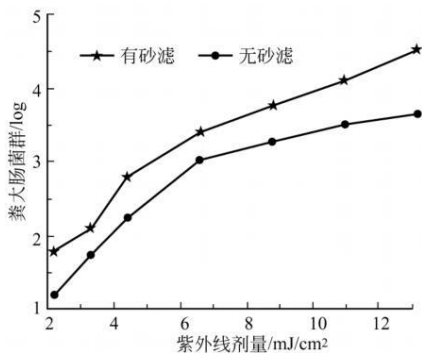


图6 紫外线对粪大肠菌群的灭活效果

池出水在紫外线剂量 13 mJ/cm^2 时, 总大肠菌群数低于 100 个/L , 粪大肠菌群未检出。与未经过滤直接消毒相比, 灭活率分别提高了 24.5% 和 23.3%。

由图 5 和图 6 可以看出, 粪大肠菌群与总大肠菌群的灭活率变化规律基本一致, 未经 GAC 强化砂滤预处理的水当紫外线剂量达到 10 mJ/cm^2 时出现“拖尾”现象^[7], 经过 GAC 强化砂滤池预处理的水进行紫外线消毒时总大肠菌群与粪大肠菌群的“拖尾”现象明显削弱, 这主要归因于 GAC 强化砂滤池预处理去除了水中的浊度和颗粒物, 提高了紫外线透光率有关。实际工程中, 补充余氯可以满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 规定的总大肠菌群不得高于 3 个/L 的要求。

3 结论

(1) 通过滤料的吸附和截留作用, GAC 强化砂滤池预处理能有效去除水中色度、浊度和颗粒物, 提

高紫外线透光率, 尤其是对大于 $4 \mu\text{m}$ 的颗粒物有较好的去除效果, 平均去除率可达 89.2%。

(2) 与二沉池出水直接紫外线消毒相比, GAC 强化砂滤池预处理可明显提高紫外线消毒效果: 对总大肠杆菌的灭活率平均提高 24.5%; 对粪大肠杆菌灭活率平均提高 23.3%。

参考文献

- 王广智, 李伟光, 王锐, 等. 炭砂滤池在松花江污染应急处理中的应用特性研究. 给水排水, 2007, 33(8): 11~15
- 杨艳玲, 李星. 用颗粒计数和浊度联合评价颗粒物去除作用. 北京工业大学学报, 2007, 33(11): 1199~1202
- Qualls R G, Flynn M P, Johnson J D. The role of suspended particles in ultraviolet disinfection. Water Pollut Control Fed, 1983, 55(10): 1280~1285
- Joliset D, Lam C, Pitt P. Particle effects on ultraviolet disinfection of coliform bacteria in recycled water. Water Environ Res, 2001, 73(2): 233~236
- Caron E, Chevretils J G, Barbeau B. Impact of microparticles on UV disinfection of indigenous aerobic spores. Water Research, 2007, 41(19): 4545~4556
- 甘一萍, 白宇. 污水处理厂深度处理与再生利用技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- 梁咏梅, 刘超斌, 葛洁桦, 等. 紫外线光—氯联用污水消毒削弱拖尾程度的实验研究. 环境科学学报, 2010, 30(4): 762~767

& 通讯处: 100022 北京市朝阳区高碑店甲 1 号

E-mail: baiyu75322@163.com

收稿日期: 2010-09-06

(上接第 1 页) 膜清洗药剂费包括预氯化、在线通量维护等方法恢复膜的透水性能时单位产水量实际消耗化学品的费用。膜的折旧费是通过电话访问膜制造商, 获得膜组件的单价和使用寿命。膜折旧费是以单位膜面积的价格除以膜寿命与可用通量之积获得。应该指出这个数据仅是一个估计, 商业因素对其有显著影响。在处理沉淀池出水时, 四套膜设备的平均运行费用为 0.271 元/m^3 , 而在处理滤池出水时该数值为 0.216 元/m^3 , 前者是后者的 1.25 倍。

以上研究结果可以为水厂的升级改造提供一些参考, 但实际应用时应具体分析, 充分考虑相关因素的影响, 并进行技术经济分析确定超滤单元的位置

(沉淀池之后或滤池之后)。以下两个因素在工程应用中值得重点考虑:

(1) 水源水的水质。净水厂的传统处理工艺对水源水中的有机物去除能力有限, 针对水质较差的水源水, 可以考虑将超滤单元设置于滤池之后, 以提高有机物的去除率并且减轻超滤膜的负担, 延长膜的使用寿命。对于水质较好的水源水, 超滤单元置于沉淀池之后或滤池之后都可; 若置于滤池之后, 水厂的产水水质会更加稳定。

(2) 净水厂的管理水平。与传统处理构筑物不同, 超滤单元对水厂的自动化和维护管理要求均较高, 同时需要操作人员具有较高的专业管理水平, 一旦维护不当, 超滤膜的使用寿命将会受到较大影响。