

前置臭氧/活性炭与常规工艺处理微污染水的对比

张晓娜, 何嘉莉, 刘清华, 巢猛
(东莞市东江水务有限公司, 广东 东莞 523000)

摘要: 对比研究了前置臭氧/活性炭工艺和常规深度处理工艺对微污染水源水中氨氮、有机物以及消毒副产物前体物的去除效果。结果表明,前置臭氧/活性炭工艺对氨氮的去除效果优于常规深度处理工艺。当氨氮浓度为3.04 mg/L时,前置臭氧/活性炭工艺对氨氮的去除率相比常规深度处理工艺提高了21.44%;前置臭氧/活性炭工艺和常规深度处理工艺对有机物的去除效果相当,前置臭氧/活性炭工艺对沉后水中 UV_{254} 、TOC和 COD_{Mn} 的去除率分别为73.91%、46.14%、61%;前置臭氧/活性炭工艺和常规深度处理工艺均能有效控制消毒副产物的风险。

关键词: 微污染水源水; 前置臭氧/活性炭; 氨氮; 有机物; 消毒副产物

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)03-0048-04

Comparative Analysis on Treatment of Micro-polluted Source Water by Pre-ozonation/BAC Process and Conventional Process

ZHANG Xiao-na, HE Jia-li, LIU Qing-hua, CHAO Meng
(Dongjiang Shuiwu Co. Ltd., Dongguan 523000, China)

Abstract: The removal efficiencies of $NH_4^+ - N$, UV_{254} , TOC, COD_{Mn} , and disinfection by-product precursors using the pre-ozonation/BAC process and the conventional process were analyzed and compared. The results showed that the pre-ozonation/BAC process was superior to the conventional process on the removal efficiency of $NH_4^+ - N$. When $NH_4^+ - N$ concentration was 3.04 mg/L, the removal efficiencies of $NH_4^+ - N$ in the pre-ozonation/BAC process were 21.44% higher than that in the conventional process. The pre-ozonation/BAC process and the conventional process demonstrated similar efficiency in the removal of organic matters. The removal efficiencies of UV_{254} , TOC and COD_{Mn} were 73.91%, 46.14% and 61% in the pre-ozonation/BAC process, respectively. Both the pre-ozonation/BAC process and the conventional process could effectively control the risk of the disinfection by-products.

Key words: micro-polluted source water; pre-ozonation/BAC; ammonia nitrogen; organic matter; disinfection by-product

臭氧/活性炭工艺是供水行业应用最为广泛的深度处理工艺,其集氧化、吸附和生物降解为一体,能进一步去除水体中的有机物,保障饮用水安全^[1-3]。有研究表明,在运行初始阶段,活性炭滤池依靠吸附作用去除有机物,当运行稳定后,活性炭的吸附作用减弱,主要依靠生物降解作用去除水体中的有机物^[4]。活性炭比表面积大、粗糙多孔,易于

微生物附着生长^[5],但对于微污染水源水,营养物质成为制约活性炭表面微生物生长繁殖的关键因素^[6]。常规深度处理工艺以砂滤出水为臭氧/活性炭单元进水,水体中有机物含量相对较低,不利于活性炭表面微生物的生长,以致未能充分发挥活性炭的性能。笔者以中试规模的前置臭氧/活性炭工艺与常规深度处理工艺为研究对象,对比分析这两种

工艺对微污染源水中氨氮、有机物以及消毒副产物前体物的去除效果,以期前置臭氧/活性炭工艺的推广应用提供一定的理论依据和技术支持。

1 试验材料和方法

1.1 试验用水

中试在南方某水厂内进行,水源水采用 D 江原水,为微污染源水。对 D 江水质进行了为期一年的监测,中试期间进水水质如下:UV₂₅₄ 为 0.016 ~ 0.034 cm⁻¹,平均为 0.023 cm⁻¹;TOC 为 1.109 ~ 3.241 mg/L,平均为 1.476 mg/L;COD_{Mn} 为 1.09 ~ 2.24 mg/L,平均为 1.76 mg/L;氨氮为 0.50 ~ 2.05 mg/L,平均为 1.83 mg/L。

1.2 试验流程与工艺参数

前置臭氧/活性炭短流程采用混凝/沉淀/臭氧/生物活性炭工艺流程,如图 1 所示;常规深度处理工艺采用混凝/沉淀/砂滤/臭氧/生物活性炭深度处理工艺流程,如图 2 所示。

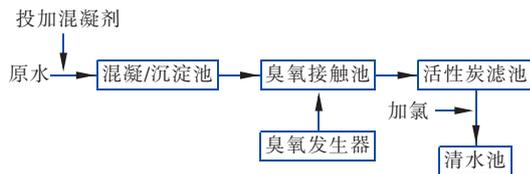


图 1 前置臭氧/活性炭工艺流程

Fig. 1 Flow chart of pre-ozonation/BAC process

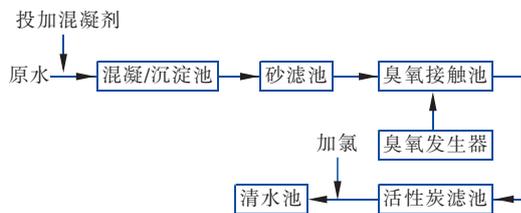


图 2 常规深度处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of conventional advanced treatment process

中试处理规模为 5 m³/h。臭氧/活性炭工艺参数如下:臭氧由氧气源臭氧发生器产生,接触方式采用铁板曝气,有效深度为 3.6 m,臭氧总投加量为 1.5 mg/L,接触时间为 15 min,分为三级氧化,三级接触反应时间分别为 3、6、6 min,臭氧投加量依次为 50%、30%、20%,为了保障后续生物活性炭滤池的生物活性,控制剩余臭氧浓度为 0.1 ~ 0.2 mg/L。活性炭滤料为水处理煤质柱状破碎炭,粒径为 8 × 30 目,碘吸附值 > 800 mg/g,炭层厚度为 1.0 m,滤速为 8 m/h。

1.3 分析项目及方法

COD_{Mn}:酸性高锰酸钾滴定法;TOC:岛津 TOC-VCPH 总有机碳分析仪;氨氮:纳氏试剂比色法;UV₂₅₄:水样经 0.45 μm 滤膜过滤后,采用紫外可见分光光度计测定;三卤甲烷:Tekmar 3100 吹扫-捕集浓缩器富集进样,Agilent 7890A-5975C 气相色谱/质谱联用仪检测。

2 结果与分析

2.1 对氨氮的去除效果

根据 D 江原水的水质情况,投加氯化铵溶液配制进水氨氮浓度为 0.5 ~ 3.5 mg/L。前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺对氨氮的去除效果见图 3。

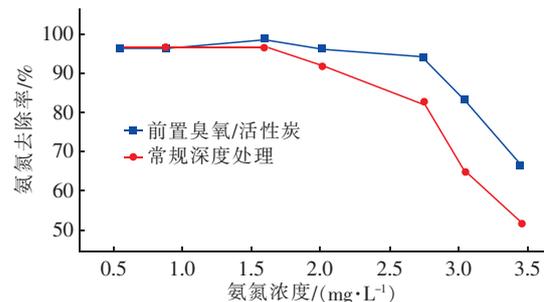


图 3 前置 O₃/BAC 工艺和常规深度处理工艺对氨氮的去除效果

Fig. 3 NH₄⁺-N removal by pre-ozonation/BAC process and conventional advanced treatment process

由图 3 可以看出,前置臭氧/活性炭工艺去除氨氮的效果优于常规深度处理工艺,而且随着氨氮浓度的增加,前置臭氧/活性炭去除氨氮的优势愈加明显。当氨氮浓度为 3.04 mg/L 时,前置臭氧/活性炭工艺对氨氮的去除率相比常规深度处理工艺提高了 21.44%。这一方面是因为臭氧氧化后会生成氧气,臭氧氧化出水进入活性炭滤池,增加了活性炭滤池中的溶解氧浓度。由生物活性炭去除氨氮的机理可知,氨氮先被亚硝化菌转化为亚硝态氮,再进一步被硝化菌转化为硝态氮,其中需要充足的氧气作为电子受体,促进好氧微生物繁殖,加快氧化和硝化作用,所以溶解氧浓度升高有利于去除氨氮。另一方面是因为常规深度处理工艺中臭氧/活性炭单元进水为砂滤出水,水体中有机物含量较低,活性炭表面微生物常处于贫营养状态,抗冲击负荷能力较差;而前置臭氧/活性炭工艺不经过砂滤池过滤,臭氧/活性炭单元进水是沉后水,水体中有机营养物质含量

较高,有利于后续活性炭表面微生物的生长,更充分地发挥其生物降解作用。因此,前置臭氧/活性炭去除氨氮的效果明显优于常规深度处理工艺。

2.2 对有机物的去除效果

2.2.1 对 UV_{254} 的去除效果

UV_{254} 反映了在254 nm处有特征吸收的芳香族化合物和具有共轭双键的有机化合物的含量。对比研究了前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺对微污染源水中 UV_{254} 的去除效果,结果如图4所示。

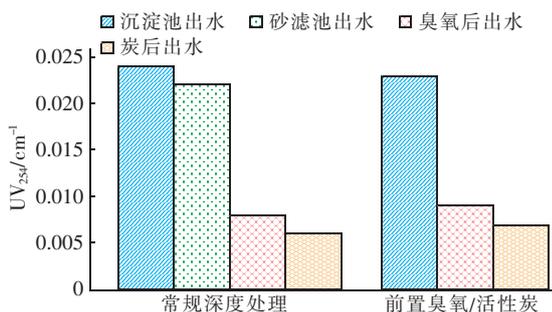


图4 前置 O_3 /BAC 工艺和常规深度处理工艺对 UV_{254} 的去除效果

Fig. 4 UV_{254} removal by pre-ozonation/BAC process and conventional advanced treatment process

由图4可以看出,常规深度处理工艺对沉后水中 UV_{254} 的去除率为79.17%,其中臭氧单元对 UV_{254} 的去除率为58.33%,砂滤单元和生物活性炭单元对 UV_{254} 的去除效果比较有限,去除率分别为8.33%和12.50%。前置臭氧/活性炭工艺对沉后水中 UV_{254} 的去除率为73.91%,臭氧氧化单元对 UV_{254} 的去除率为60.87%。前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺去除 UV_{254} 的效果相当,臭氧氧化均占据了主导作用。这主要是因为臭氧氧化作用能够显著降低原水中有机物的芳香化程度和有机物结构的不饱和程度,有机物分子上的不饱和键被氧化为饱和键,而砂滤池和活性炭滤池通过微生物作用主要去除水中非腐殖酸类有机物,难以去除腐殖酸、富里酸等芳香化程度高的有机物。

2.2.2 对 TOC 的去除效果

对比研究了前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺对微污染源水中 TOC 的去除效果。结果表明:常规深度处理工艺对沉后水中 TOC 的去除率为44.65%,其中砂滤单元、臭氧单元以及炭滤池单元的去除率分别为26.49%、1.05%和17.11%,前置臭氧/活性炭工艺对沉后水中 TOC 的去除率为

46.14%,其中臭氧单元与炭滤池单元的去除率分别为1.58%和44.56%。前置臭氧/活性炭对微污染源水中 TOC 的去除效果略好于常规深度处理工艺,前者主要是依靠活性炭滤池的生物降解作用去除 TOC。这是因为常规深度处理工艺虽然经过了砂滤处理,但是由于石英砂表面光滑,不易挂膜,因此表面附着的生物量较少,对 TOC 的去除效果较差,而砂滤出水中有机营养物质浓度较低,又限制了后续活性炭滤池中微生物的生长,因此,即使后续增加臭氧/活性炭工艺,对 TOC 的去除效果也较有限。而前置臭氧/活性炭工艺没有前面的砂滤池,有机物浓度较高,同时,通过臭氧氧化作用,小分子有机物浓度有所升高,又增加了生物同化作用,均有利于后续活性炭滤池中微生物的增长,而且活性炭表面粗糙,比表面积大,利于更多的微生物附着生长,因此对 TOC 的去除效果比较显著。另外,也可以看出臭氧对 TOC 的去除效果有限,这是因为臭氧的主要作用是将部分大分子有机物氧化为小分子有机物^[7],这仅仅使有机物分子质量分布发生了变化,而对有机物的浓度变化影响不大。

2.2.3 对 COD_{Mn} 的去除效果

对比研究了前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺对 COD_{Mn} 的去除效果,结果如图5所示。

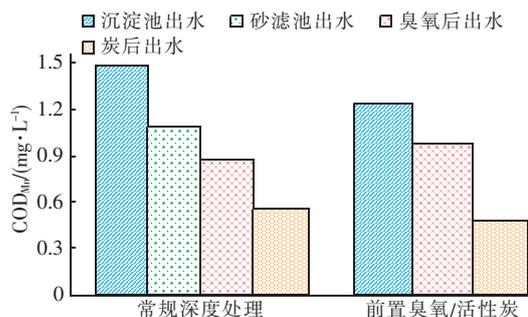


图5 前置 O_3 /BAC 工艺和常规深度处理工艺对 COD_{Mn} 的去除效果

Fig. 5 COD_{Mn} removal by pre-ozonation/BAC process and conventional advanced treatment process

从图5可以看出,常规深度处理工艺对沉后水中 COD_{Mn} 的去除率为62.42%,其中砂滤单元、臭氧单元以及炭滤池单元的去除率分别为26.84%、14.09%和21.48%,前置臭氧/活性炭工艺对沉后水中 COD_{Mn} 的去除率为61%,其中臭氧单元与炭滤池单元的去除率分别为21%和40%。前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺去除 COD_{Mn} 的效果相当。

常规深度处理工艺通过砂滤池的生物作用、臭氧氧化作用以及活性炭滤池的生物作用逐级去除水中还原性有机物,而前置臭氧/活性炭工艺主要依靠活性炭滤池的生物降解作用去除 COD_{Mn} 。通过臭氧氧化作用,将大分子有机物分解为易降解的小分子有机物,如羧酸和醛、酮类物质等,提高了可生化性,利于后续生物活性炭滤池的生物降解。

2.3 对消毒副产物前体物的去除效果

对比研究了前置臭氧/活性炭和常规深度处理工艺对三卤甲烷生成势的去除效果,结果见图6。

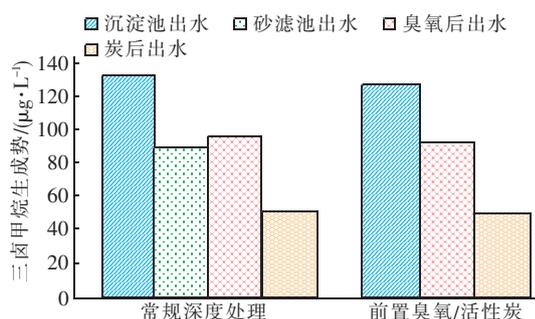


图6 前置O₃/BAC工艺和常规深度处理工艺对三卤甲烷生成势的去除效果

Fig. 6 THMFP removal by pre-ozonation/BAC process and conventional advanced treatment process

由图6可以看出,常规深度处理工艺对沉后水中三卤甲烷生成势的去除率为60.7%,臭氧氧化后,三卤甲烷生成势略有增加;前置臭氧/活性炭工艺对沉后水中三卤甲烷生成势的去除率为60.42%。两种工艺都能较好地控制消毒副产物的生成。水体经过臭氧氧化后,小分子有机物和碳碳共轭双键有机物被氧化降解,三卤甲烷前体物一部分被有效去除;难生物降解大分子有机物在臭氧的作用下断链开环,被分解为易降解的小分子有机物,提高了可生化性,这类小分子有机物被后续活性炭滤池生物降解,从而使三卤甲烷前体物进一步被去除。

3 结论

前置臭氧/活性炭工艺对微污染水源水中氨氮的去除效果优于常规深度处理工艺,对于高氨氮水体,前置臭氧/活性炭优势更加明显。前置臭氧/活性炭工艺和常规深度处理工艺对沉后水中有机物的去除效果相当,前者对沉后水中 UV_{254} 、TOC 以及 COD_{Mn} 的去除率分别为73.91%、46.14%和61%,活性炭滤池的生物降解作用占据主导地位。前置臭氧/活性炭工艺和常规深度处理工艺均能有效降低

消毒副产物的风险,前者对沉后水中三卤甲烷生成势的去除率可达到60.42%。前置臭氧/活性炭工艺作为短流程工艺,省略了砂滤池过滤单元,节省了占地面积,对氨氮以及有机物的去除效果与常规深度处理工艺相当,但还存在缩短了活性炭滤池的工作周期等问题,增加了投入再生和更换成本,后续将做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 张雪,张璐,华伟. 臭氧—活性炭深度处理工艺对微污染水中有机物的去除特性[J]. 给水排水,2012,38(S1):66-68.
- [2] 乔铁军,安娜,张金松,等. 梅林水厂臭氧/生物活性炭工艺运行效果[J]. 中国给水排水,2006,22(13):10-17.
- [3] 贺道红,高乃云,曾文慧,等. 臭氧生物活性炭深度处理黄浦江上游原水[J]. 中国给水排水,2006,22(1):13-17.
- [4] 刘建广,张春阳,张晓健,等. 生物活性炭滤池中微生物生态特性研究[J]. 中国给水排水,2009,25(19):51-54.
- [5] 周云,何义亮. 微污染水源净水技术及工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [6] 马永恒,董秉直,卢伟,等. 投加氮源提高臭氧—生物活性炭工艺 COD_{Mn} 去除效果中试研究[J]. 给水排水,2010,36(9):129-132.
- [7] 李思敏,赵南南,李志广. 臭氧/活性炭工艺深度处理微污染水的中试[J]. 中国给水排水,2011,27(11):45-47.



作者简介:张晓娜(1988-),女,广东东莞人,硕士,工程师,研究方向为给水处理。

E-mail:741246917@qq.com

收稿日期:2017-06-17