

工程实例

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 06. 011

采用臭氧-活性炭深度处理的水厂应对2-MIB的工艺组合优化

许子荣, 肖帆, 陈铁成, 贾志超, 高旭辉
(深圳市深水光明水务有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 为使采用臭氧-活性炭深度处理工艺的水厂更好应对2-甲基异莰醇(2-MIB)问题, 进行了一系列2-MIB去除规律的生产性试验和探索分析。结果表明, 仅有活性炭滤池对2-MIB去除率为50%~70%, 主加氯后2-MIB出现明显释放, 出厂水2-MIB >10 ng/L。原水2-MIB为10~30 ng/L时, 宜采用主臭氧/活性炭滤池工艺组合, 对2-MIB去除率为62%~75%, 臭氧投加总量为0.7~0.8 mg/L, 出厂水2-MIB低于10 ng/L; 原水2-MIB为30~100 ng/L时, 宜采用预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺组合, 对2-MIB去除率为92%~97%, 臭氧投加总量约1.0~1.1 mg/L, 出厂水2-MIB低于10 ng/L。活性炭滤池内藻类浓度增加约33.4%, 可采取遮光措施予以缓解。臭氧投加总量低于1.4 mg/L时, 混凝沉淀池与活性炭滤池对溴酸盐的去除效果优异, 臭氧两级投加相对于单级投加, 出厂水溴酸盐超标风险更低。

关键词: 2-甲基异莰醇; 臭氧-活性炭滤池; 藻类; 溴酸盐

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)06-0069-08

Optimization of Ozone-Activated Carbon Filtration Process Combination for 2-MIB Removal in Advanced Treatment Waterworks

XU Zi-rong, XIAO Fan, CHEN Tie-cheng, JIA Zhi-chao, GAO Xu-hui
(Shenzhen Shenshui Guangming Water Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: In order to put forward a solution to 2-methylisoborneol (2-MIB) problem in waterworks using ozone-activated carbon filtration process, a series of production tests and exploration of 2-MIB removal rules were carried out. The results showed that the removal rate of 2-MIB in activated carbon filtration was 50%~70%, the 2-MIB was obviously released after the main chlorination, and the effluent 2-MIB was greater than 10 ng/L. When the 2-MIB in raw water was 10~30 ng/L, the combination of post-ozonation/activated carbon filtration should be adopted. The removal rate of 2-MIB was 62%~75%, the total amount of ozone dosage was approximately 0.7~0.8 mg/L, and the effluent 2-MIB was lower than 10 ng/L. When the 2-MIB in raw water was 30~100 ng/L, the combination of pre-ozonation/post-ozonation/activated carbon filtration should be adopted. The removal rate of 2-MIB was 92%~97%, the total amount of ozone dosage was approximately 1.0~1.1 mg/L, and the effluent 2-MIB was less than 10 ng/L. The algae concentration in activated carbon filtration increased by 33.4%, which could be alleviated by shading measures. When the total amount of ozone dosage was lower than 1.4 mg/L, the coagulation sedimentation tank and activated carbon filtration had excellent effect on bromate removal, and the two-stage dosage of ozone had lower risk of exceeding the standard of bromate than that of single stage dosage.

Key words: 2-MIB; ozone-activated carbon filtration; algae; bromate

我国许多城市采用湖泊型水库水作为饮用水水源,然而随着社会经济的日益发展,超过七成的湖泊受到不同程度的污染,出现水体富营养化、生物多样性锐减等问题^[1]。当水华暴发时,数以亿计的藻类细胞生长代谢和正常死亡后胞体裂解都将伴随臭味物质的大量释放,主要致嗅产物之一为2-MIB^[2]。由于2-MIB具有极低的气味阈值浓度,自来水厂的常规混凝、沉淀、过滤、消毒工艺对其去除效果甚微,因此,需要通过臭氧-活性炭、膜分离、臭氧催化氧化等深度处理技术才能有效去除^[3]。

近年来,对2-MIB的去除技术已成为国内外研究热点。Ho等^[4]采用简易颗粒活性炭(GAC)过滤装置去除水中的蓝藻,并通过吸附试验验证对2-MIB的有效去除率超过80%。Li等^[5]采用臭氧/过氧化氢(O_3/H_2O_2)催化氧化技术降解水中2-MIB,在反应时间为20 min、 H_2O_2 浓度为6 mg/L的条件下,对2-MIB的去除率约89.2%。王永磊等^[6]利用紫外(UV)、紫外/过氧化氢(UV/ H_2O_2)和紫外/氯(UV/ Cl_2)三种不同的高级氧化简易装置去除某水厂原水中的2-MIB,随着紫外光强度和氧化剂投量增大,对2-MIB的去除率为70%~80%。膜分离技术主要通过降低水中藻类浓度达到降低2-MIB的目的,马延强^[7]采用超滤膜处理高藻原水,对藻类的去除率约74%,但对2-MIB的去除效果较差。

臭氧-活性炭相较于臭氧催化氧化,相当于经臭氧强氧化作用后协同活性炭滤池的吸附作用,因此具有更优异的2-MIB去除能力和生物稳定性。张良荣等^[8]在吴江第二水厂采用臭氧-活性炭工艺进行了一系列应对2-MIB的生产性试验,研究表明对原水2-MIB的去除率达到90%以上,但仅分析了出厂水2-MIB变化,未探究不同臭氧投加工况对应的2-MIB去除率、工艺沿程水中2-MIB变化趋势以及运行经济性等。刘玉红等^[9]在以南方湖泊为原水的水厂采用臭氧-活性炭工艺进行了一系列去除2-MIB的生产性试验,分析了混凝沉淀和臭氧-活性炭工艺不同组合对2-MIB的去除效果,然而,并未进行工艺沿程水中2-MIB变化趋势相关试验、流程水藻类浓度分析以及不同臭氧投加量下有害副产物溴酸盐浓度变化分析。

在实际水厂生产中,原水不同浓度2-MIB应采用不同的臭氧-活性炭工艺组合进行应对,在保证去除效果的同时尽可能降低药剂使用量,达到经济运行的目的。综上,以深圳市某臭氧-活性炭深度处理工艺水厂为例,分析不同工艺组合全流程水中的2-MIB变化趋势,给出适应原水水质的工艺组合建议。同时分析了流程水中藻类和溴酸盐浓度并提出建议,对无条件投加臭氧的水厂提出应对2-MIB的思路。

1 材料与方法

1.1 净水工艺

原水取自相距约3.4 km的水库,通过重力流方式进入水厂格栅配水总井,再进入预臭氧接触池。经过预臭氧接触池预臭氧处理后进入折板絮凝池-平流沉淀池,在聚合氯化铝的作用下混凝并重力沉淀去除大部分悬浮杂质。沉淀出水进入砂滤池,在石英砂的吸附作用下进一步降低浊度,通过提升先后进入主臭氧接触池和活性炭滤池进行深度处理。深度处理出水经次氯酸钠消毒后进入清水池,最后通过送水泵供至用户。水厂工艺流程见图1。

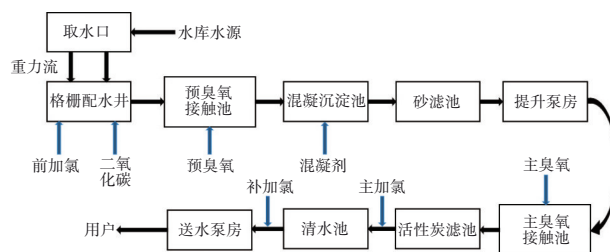


图1 水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of water treatment process

① 原水水质

该水库水源水为地表水Ⅱ类水质,具有高藻、异臭味明显和高pH的特点。春夏季藻类暴发期间藻密度达 $1\,700\times 10^4$ 个/L,同时,测得藻类代谢物2-MIB最高达93.2 ng/L,夏季原水pH最高达到9.50。

② 臭氧-活性炭运行参数

水厂臭氧发生器购自赛莱默(中国)有限公司,型号为SMOevo910。预臭氧接触时间为4.8 min,投加量为0.5~1.5 mg/L;主臭氧接触池接触时间为11.95 min,投加量为0.4~2.0 mg/L;活性炭滤池为下向流,采用柱状炭,炭层厚度为1.8 m,使用期为

半年,碘吸附值为771 mg/g,亚甲蓝吸附值为161 mg/g,生物量为42 nmol/g活性炭,异养菌数为 2.8×10^5 MPN/g活性炭,空床接触时间为12 min,反冲洗周期为48 h。

1.2 试验方法

① 工艺参数调节

臭氧经发生器现场制备后,经水射器投加至预臭氧接触池,通过另一条串联的管路以微孔曝气盘方式投加至主臭氧接触池,主臭氧接触池前、中、后三段投加流量分配为2:1:1。臭氧投加量由气体流量自动分配装置(CPR)控制投加和计量。活性炭滤池反冲洗周期由水厂自动控制系统按时间设置。

② 生产性试验

根据设计投加量范围及参考业内经验调整控制臭氧投加量,每调整一次参数运行24 h,第2天开始采样,测定水中2-MIB、藻类和溴酸盐浓度的变化。

③ 水样采集

藻类水样:5 L塑料桶;溴酸盐水样:20 mL透明塑料管;2-MIB水样:30 mL含有脱氯剂的避光玻璃瓶。采集流程水样的点位分别为原水、预臭氧接触池出水、主臭氧接触池进水、主臭氧池出水、炭滤池出水和出厂水。水样采集完毕立即送至厂级化验室检测2-MIB、溴酸盐和藻类浓度。

1.3 水样检测

① 2-MIB

采用顶空固相微萃取-气相-质谱法测定2-MIB浓度。气相色谱/质谱联用仪(GC/MS)的工作条件:毛细管柱30 m \times 250 μ m \times 0.25 μ m,柱温60 $^{\circ}$ C,以8 $^{\circ}$ C/min升至170 $^{\circ}$ C,再以30 $^{\circ}$ C/min升至250 $^{\circ}$ C,保持1 min。进样温度250 $^{\circ}$ C,载气为氦气,控制模式为恒流,不分流。接口温度250 $^{\circ}$ C,离子源温度230 $^{\circ}$ C,电离方式为EI+70 eV。

预处理:将水样置于40 mL有四氟乙烯的玻璃瓶中,加入4 g氯化钠,插入固相微萃取针,随后置入磁力搅拌中推出萃取针头吸附30 min。干燥去除针头上多余水分后放入GC/MS内进行分析^[10]。

② 藻类和溴酸盐

藻类浓度:依照《水质 浮游植物的测定 滤膜-显微镜计数法》(HJ 1215—2021),通过抽滤萃取法测定。溴酸盐:根据《水质 氯酸盐、亚氯酸盐、溴酸盐、二氯乙酸和三氯乙酸的测定 离子色谱法》(HJ 1050—2019),通过离子色谱仪利用梯度淋洗法

测定。

2 结果与讨论

生产性试验原水水质:2-MIB为13.6~93.2 ng/L,藻类为 $(500 \sim 1\,700) \times 10^4$ 个/L,溴化物平均为0.025 mg/L,浊度为3~6 NTU;投加二氧化碳预处理后pH为7.40~7.80,高锰酸盐指数为1.72~2.91 mg/L,溶解氧平均为9.06 mg/L,总铁<0.05 mg/L,总锰<0.02 mg/L,氨氮为0.05~0.3 mg/L,各类重金属浓度均低于检出限。

2.1 单独活性炭滤池对2-MIB的去除效果

为考察仅活性炭滤池运行对2-MIB的去除效能,于10月—11月进行了针对性的生产性试验。原水2-MIB为24.7~65.2 ng/L,藻类为 $1\,000 \times 10^4$ 个/L。试验结果表明,活性炭滤池对2-MIB的去除率约50%~70%,经炭滤池处理后出水2-MIB仍超国标限值(10 ng/L),值得注意的是,出厂水2-MIB浓度比炭滤池出水高。采用10%的次氯酸钠溶液,投加量为20 mg/L,经加氯处理后,出厂水藻类较炭滤池出水有不同程度的下降,差异可能由于次氯酸钠对藻类细胞的杀灭程度不一,部分藻细胞完全裂解释放2-MIB,也有相当部分的藻类仅细胞壁破裂但基本保留了细胞形态,在细胞计数时被计入。模拟水厂加氯剂量的2组烧杯试验结果均显示,经加氯处理后,出厂水2-MIB浓度较炭滤池出水有所上升,同时藻类浓度有所下降,与生产性试验数据结论较统一。综上,出厂水2-MIB浓度出现反弹可能因为无臭氧投加,全流程水藻类水平较高,炭滤池出水经过主加氯消毒后,部分藻类被氧化,细胞壁破裂,而水中的2-MIB主要为藻类胞内物质,2-MIB大量释放导致出厂水2-MIB浓度上升。

为解决2-MIB经主加氯后释放的问题,对于仅有活性炭滤池且无条件投加臭氧的水厂,建议在工艺段前端投加粉末活性炭,预处理采用投加高锰酸钾替代,将藻类细胞以无破壁的方式在前端灭活。

2.2 臭氧-活性炭工艺组合的去除效果

原水中2-MIB主要由藻类产生,其浓度主要受藻类代谢活性影响,藻类的新陈代谢主要受环境因素的影响,包括光照、水温、pH和各类无机化合物等。探索适应原水不同2-MIB浓度的工艺选择和去除效果的分析将加强水厂对臭味物质生产控制的稳定性,达到节能降耗的目的。于当年11月—次年3月进行各种工艺组合去除2-MIB的生产性试

验,原水2-MIB浓度范围为13.6~96.3 ng/L。

2.2.1 原水2-MIB为10~30 ng/L

当原水2-MIB处于10~30 ng/L时,进行了两种不同工艺组合的对照试验,分别为主臭氧/活性炭滤池工艺组合和预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺组合(预臭氧投加量为0.5~0.6 mg/L,主臭氧投加量为0.4~0.5 mg/L),活性炭滤池运行工况一致。运行期间,各项原水水质指标相近,两种工况下对流程水2-MIB的去除效果见图2。

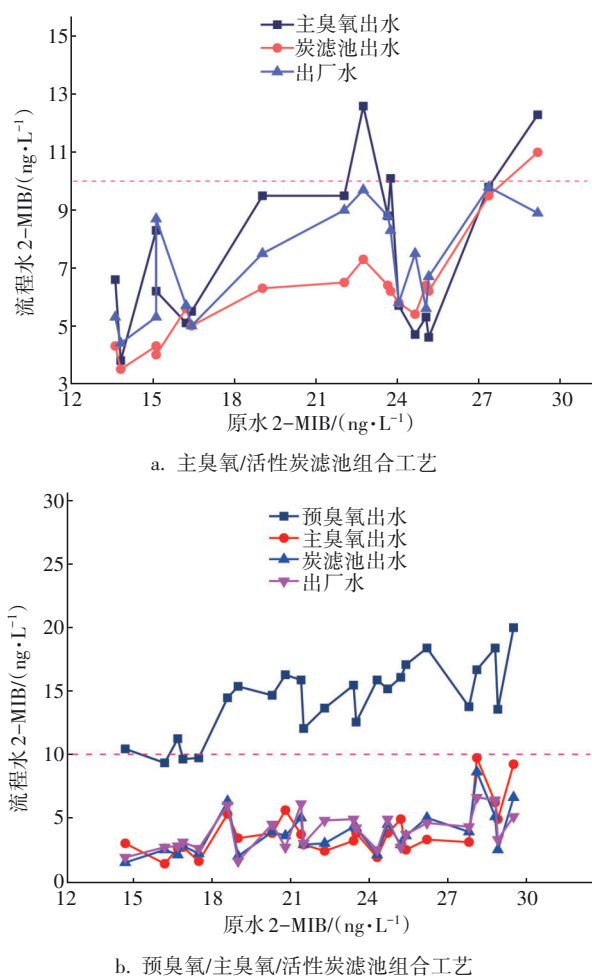


图2 原水2-MIB为10~30 ng/L时两种组合工艺的流程水2-MIB浓度变化

Fig.2 Change of 2-MIB concentration in processing water of two combined processes when 2-MIB concentration is 10~30 ng/L in raw water

由图2(a)可知,经主臭氧与活性炭滤池深度处理后,炭滤池出水2-MIB均低于10 ng/L。该工艺组合对2-MIB的去除率为62%~75%。由图2(b)可知,经过预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺处理后,炭滤池出水2-MIB约5 ng/L,对2-MIB去除率为

77%~89%。

图3~5为臭氧单元对2-MIB的去除效果。可见,主臭氧/活性炭滤池组合工艺的主臭氧单元对2-MIB去除率约45%~82%,均值为63.16%;预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺的预臭氧单元对2-MIB去除率约18%~53%,均值为35.48%,主臭氧单元对2-MIB去除率约40%~88%,均值为72.56%。

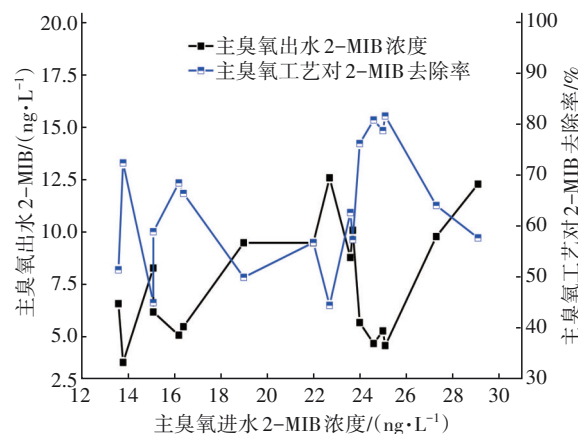


图3 原水2-MIB为10~30 ng/L时主臭氧/活性炭滤池组合工艺的主臭氧单元对2-MIB的去除效果

Fig.3 Removal effect of 2-MIB by post-ozonation unit under post-ozonation/activated carbon filtration at 10~30 ng/L of 2-MIB in raw water

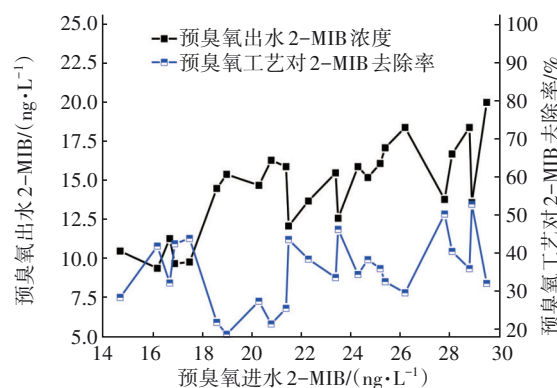


图4 原水2-MIB为10~30 ng/L时预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺的预臭氧单元对2-MIB的去除效果

Fig.4 Removal effect of 2-MIB by pre-ozonation unit under pre-ozonation/post-ozonation/activated carbon filtration at 10~30 ng/L of 2-MIB in raw water

仅投加主臭氧0.7~0.8 mg/L时,通过主加氯消毒后,2-MIB释放幅度相对明显,这可能因为未启用预臭氧进行臭氧两级投加,对藻类细胞氧化杀灭效率偏低,导致主加氯工艺对藻类细胞破壁释放胞内2-MIB。从臭氧单元贡献率分析,两级投加的工艺组合显著提高了主臭氧单元对2-MIB的去除率,两

种工况的生产性试验出厂水2-MIB均低于10 ng/L(满足新国标要求)。从臭氧投加总量分析,仅运行主臭氧工艺为0.7~0.8 mg/L,预臭氧和主臭氧组合投加为0.9~1.1 mg/L,仅运行主臭氧/活性炭滤池的工艺组合在满足对2-MIB去除效果的同时投加量相对更低。建议无特殊需求的水厂在进水2-MIB为10~30 ng/L时仅采用主臭氧/活性炭滤池工艺即可。

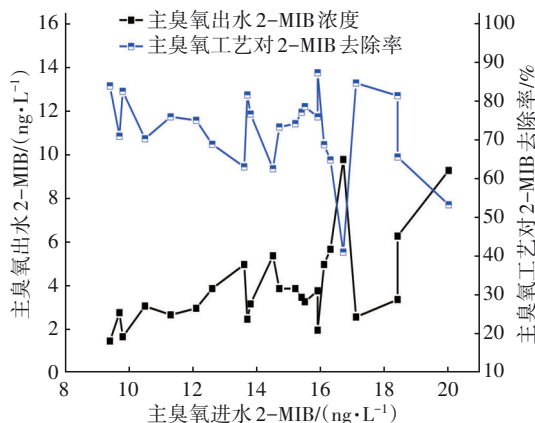
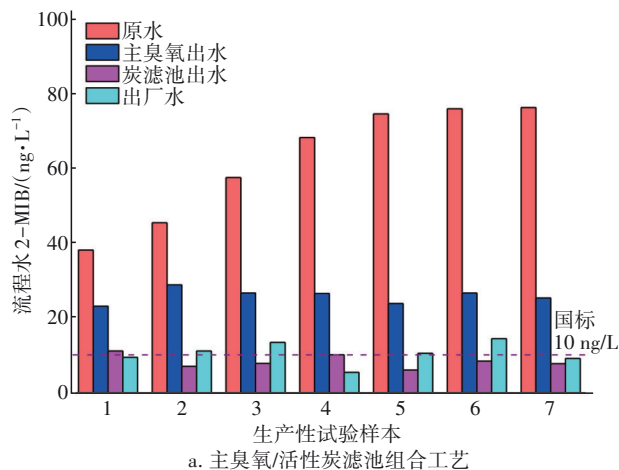


图5 进水2-MIB为10~30 ng/L时预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺的主臭氧单元对2-MIB的去除效果

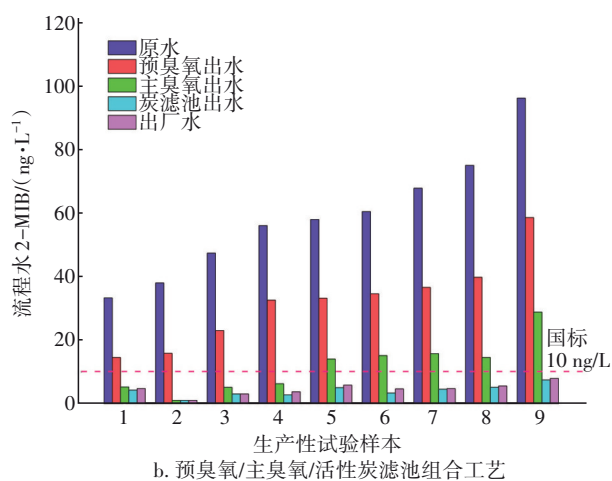
Fig.5 Removal effect of 2-MIB by post-ozonation unit under pre-ozonation/post-ozonation/activated carbon filtration at 10~30 ng/L of 2-MIB in raw water

2.2.2 进水2-MIB为30~100 ng/L

当进水2-MIB处于30~100 ng/L,同样进行了两种工艺组合的对照生产性试验,工况分别为主臭氧/活性炭滤池工艺组合(主臭氧投加量1.0~1.4 mg/L)和预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺组合(预臭氧投加量0.6 mg/L,主臭氧投加量0.4~0.5 mg/L),活性炭滤池运行参数一致,进水各项水质指标相近。两种工艺组合对流程水2-MIB的去除情况见图6。



a. 主臭氧/活性炭滤池组合工艺



b. 预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺

图6 进水2-MIB为30~100 ng/L时两种组合工艺的出水2-MIB浓度变化

Fig.6 Change of 2-MIB concentration of processing water under post-ozonation/activated carbon filtration and pre-ozonation/post-ozonation/activated carbon filtration at 30~100 ng/L of 2-MIB in raw water

如图6(a)所示,主臭氧/活性炭滤池工艺对进水2-MIB去除率为85%~91%,但经主加氯后,部分出厂水样本中2-MIB因藻类细胞破壁释放而超国标限值(>10 ng/L)。

由图6(b)可见,进水经预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺组合处理后,对进水2-MIB的去除率为92%~97%,出厂水2-MIB稳定达标。

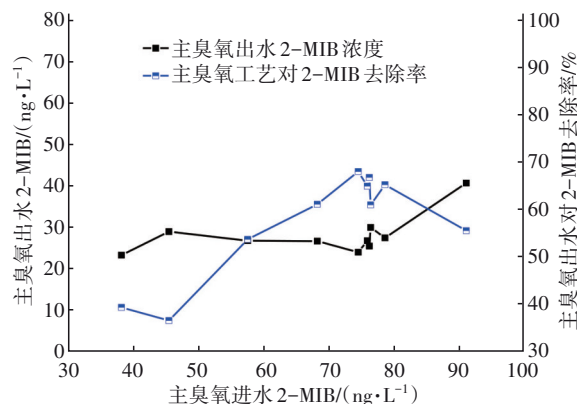
臭氧单元对去除2-MIB的贡献率分析结果见图7、8。

主臭氧/活性炭滤池工艺的主臭氧单元对2-MIB去除率为36%~68%,均值为57.16%;预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺的预臭氧单元对2-MIB去除率为39%~59%,均值为47.34%,主臭氧单元对2-MIB去除率为50%~94%,均值为66.93%。

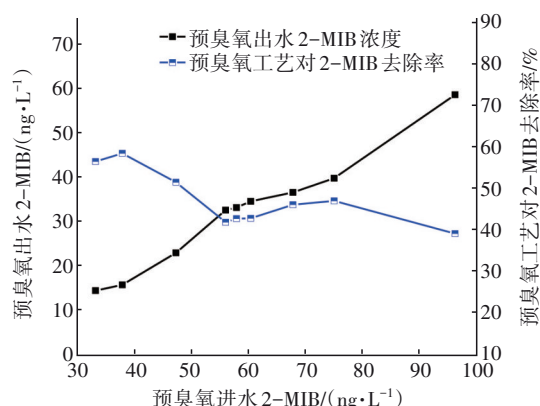
预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺设臭氧两级投加,臭氧利用率增加,主臭氧单元对2-MIB去除率提高约10%,对水体中藻类细胞及2-MIB氧化去除效果增强,对进水2-MIB去除率相对更高,主加氯后2-MIB释放率相对更低。

从臭氧投加总量分析,仅运行主臭氧工艺为1.0~1.4 mg/L,预臭氧和主臭氧组合投加为1.0~1.1 mg/L,在节省能耗的条件下具有更好的去除效果。因此,建议有条件的水厂在进水2-MIB为30~100 ng/L时,采用预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺组合应对,具备经济性的同时能确保出厂水2-MIB指

标稳定达标。



a. 主臭氧/活性炭滤池组合工艺主臭氧单元对2-MIB的去除效果



b. 预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺预臭氧单元对2-MIB的去除效果

图7 原水2-MIB为30~100 ng/L时两种不同组合工艺的臭氧单元对2-MIB的去除效果

Fig.7 Removal effect of 2-MIB by ozone units of two different combined processes at 30~100 ng/L of 2-MIB in raw water

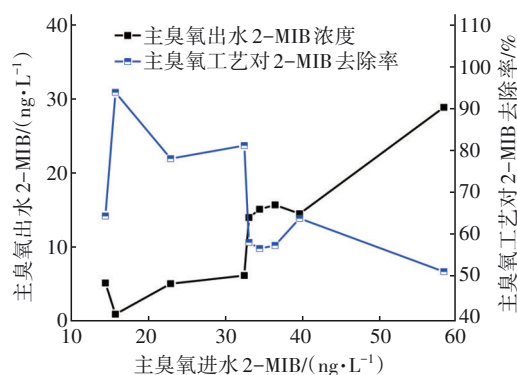


图8 原水2-MIB为30~100 ng/L时预臭氧/主臭氧/活性炭滤池组合工艺主臭氧单元对2-MIB的去除效果

Fig.8 Removal effect of 2-MIB by post-ozone unit under pre-ozone/post-ozone/activated carbon filtration at 30~100 ng/L of 2-MIB in raw water

2.3 流程水藻类和溴酸盐浓度控制

2.3.1 藻类控制

藻类与2-MIB浓度存在一定正相关,主要在于流程水2-MIB由藻类的正常死亡细胞破裂释放产生。对臭氧-活性炭工艺去除藻类进行生产性试验,设定主臭氧投加量为0.8 mg/L,监测主臭氧进水、主臭氧出水和炭滤池出水藻类浓度变化趋势(见图9)。由图9可知,主臭氧进水藻类浓度为 $(20\sim 100)\times 10^4$ 个/L,主臭氧对藻类去除率均值为45.3%。值得注意的是,流程水藻类浓度出现反增,增长率均值约33.4%,可能的原因是炭滤池为全密封、部分透光结构,水温相对较高且有光照,活性炭床吸附的无机营养物可供藻类细胞代谢^[11],藻类细胞在活性炭滤池内适宜的环境下大量繁殖。建议有条件的水厂对活性炭滤池进行遮光处理,降低藻类光合作用强度,抑制流程水藻类增殖所导致的2-MIB浓度增加。

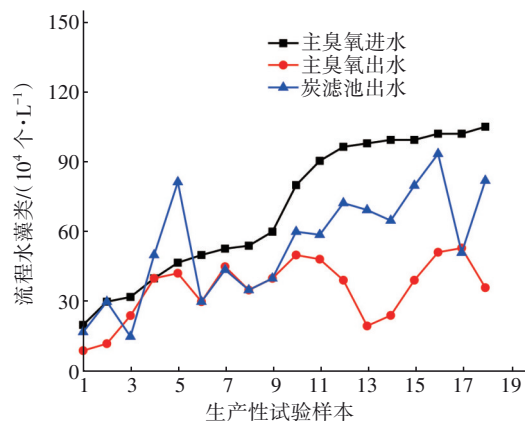


图9 主臭氧投加量为0.8 mg/L时流程水中藻类浓度变化
Fig.9 Change of algae concentration of processing water at post-ozone dosage of 0.8 mg/L

2.3.2 溴酸盐控制

溴酸盐是臭氧-活性炭工艺产生的主要有害副产物,国标要求出厂水溴酸盐不得高于0.01 mg/L。原水溴化物平均为0.025 mg/L时,对去除2-MIB效果较好的4种臭氧-活性炭运行工况进行了溴酸盐水平同步监测分析(见图10)。预臭氧或主臭氧单级投加量为1.4 mg/L时,臭氧处理后出水溴酸盐浓度飙升至约0.015 mg/L,但经混凝沉淀池或活性炭滤池处理后均降至0.005 mg/L以下。预臭氧/主臭氧组合投加时(预臭氧投加量0.5~0.6 mg/L,主臭氧投加量0.4~0.5 mg/L),全流程水的溴酸盐浓度均在国标限值内。臭氧多点投加能显著降低溴酸盐生

成量,其原因是各投加点臭氧的平均接触时间缩短,水中余臭氧浓度均值降低^[12]。聚合氯化铝(PAC)水解后带正电的铝的各种羟基络合物与带负电的溴酸根发生吸附电中和作用,活性炭滤池能将其吸附去除^[13]。为避免出厂水溴酸盐超标,当水厂有较高的臭氧投加总量需求时,建议采用预臭氧/主臭氧工艺组合,控制全流程水溴酸盐浓度处于较低水平。

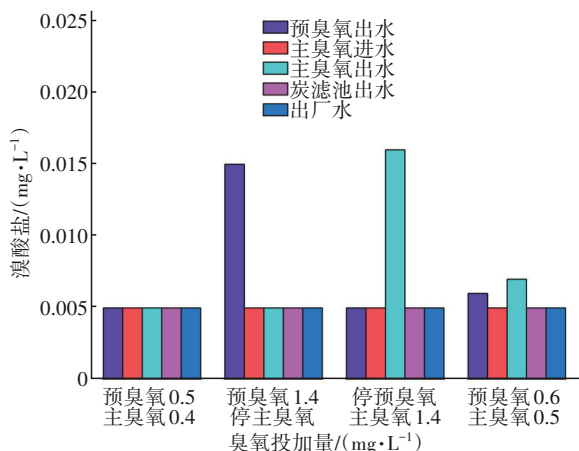


图10 四种不同工艺组合下流程水的溴酸盐浓度变化趋势

Fig.10 Change of bromate concentration under four different combined processes

3 结论

① 当原水2-MIB为24.7~65.2 ng/L时,对于仅有活性炭滤池、无臭氧投加条件的水厂,建议增加高锰酸钾预处理和粉末活性炭前投加工工艺。当原水2-MIB为10~30 ng/L时,建议采用主臭氧/活性炭滤池的工艺组合进行应对。当原水2-MIB为30~100 ng/L时,建议使用预臭氧/主臭氧/活性炭滤池工艺组合应对,臭氧投加量更低且能确保水质达标。

② 活性炭滤池为藻类繁殖提供适宜的光照、温度和营养物,炭滤池出水藻类浓度比主臭氧出水增加约33.4%,建议通过活性炭滤池遮光措施降低炭滤池藻类水平,进而降低流程水中2-MIB浓度。

③ 臭氧投加总量低于1.4 mg/L时,混凝沉淀和活性炭吸附对溴酸盐有优异的去除效果。若水厂需严格控制臭氧投加总量,则建议采用预臭氧/主臭氧工艺组合,降低出厂水溴酸盐超标风险。

参考文献:

[1] 巢波,蔡永久,徐宪根,等. 基于水质荧光指纹法的湖泊污染溯源研究——以太湖流域太湖为例[J]. 湖

泊科学, 2023, 35(4):1330-1342.

CHAO Bo, CAI Yongjiu, XU Xiangen, *et al.* Traceability of lake pollution based on aqueous fluorescence fingerprint method: a case study of Lake Gehu, Taihu basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2023, 35(4):1330-1342(in Chinese).

[2] JÜTTNER F, WATSON S B. Biochemical and ecological control of geosmin and 2-methylisoborneol in source waters [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73(14):4395-4406.

[3] XIE P C, MA J, LIU W, *et al.* Removal of 2-MIB and geosmin using UV/persulfate: contributions of hydroxyl and sulfate radicals [J]. Water Research, 2015, 69: 223-233.

[4] HO L, CRAIG K, BUSTAMANTE H. Removal of cyanobacterial metabolites: laboratory evaluation of granular activated carbon [J]. Water, 2010, 37(3): 65-70.

[5] LI M, XUE Q, ZHANG Z Y, *et al.* Removal of geosmin (trans-1, 10-dimethyl-trans-9-decalol) from aqueous solution using an indirect electrochemical method [J]. Electrochimica Acta, 2010, 55(23):6979-6982.

[6] 王永磊,刘杰,王猛,等. 紫外高级氧化工艺降解土臭素(GSM)和2-甲基异莰醇(2-MIB)的对比[J]. 环境化学, 2022, 41(9):3083-3093.

WANG Yonglei, LIU Jie, WANG Meng, *et al.* Comparative study on degradation of GSM and 2-MIB by ultraviolet advanced oxidation processes [J]. Environmental Chemistry, 2022, 41(9):3083-3093(in Chinese).

[7] 马延强. 混凝沉淀-超滤膜组合工艺处理高藻水研究[C]//《给水排水》杂志社. 全国给水排水技术信息网41届技术交流会论文集. 广州:《给水排水》杂志社, 2013.

MA Yanqiang. Study on the treatment of high algal water by coagulation precipitation and ultrafiltration membrane combined process [C]//Editorial Office of Water & Wastewater Engineering. Proceedings of the 41st National Water Supply and Drainage Technology Information Network Technical Symposium. Guangzhou: Editorial Office of Water & Wastewater Engineering, 2013(in Chinese).

[8] 张良荣,倪欣. 臭氧生物活性炭深度处理工艺在吴江第二水厂的应用[J]. 辽宁化工, 2015(7):908-910.

ZHANG Liangrong, NI Xin. Application of ozone-biological activated carbon advanced treatment process

- in the second waterworks of Wujiang City [J]. Liaoning Chemical Industry, 2015(7):908-910(in Chinese).
- [9] 刘玉红, 陈勇, 俞蕴芳, 等. 2-MIB在某深度处理水厂中的去除规律研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(1):124-127.
- LIU Yuhong, CHEN Yong, YU Yunfang, *et al.* Removal of 2-MIB in a water plant with advanced treatment process [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(1):124-127(in Chinese).
- [10] 顾玉蓉, 张苗, 李旭, 等. 臭氧氧化法降解典型嗅味物质影响因素研究[J]. 天津科技, 2020, 47(8):35-40.
- GU Yurong, ZHANG Miao, LI Xu, *et al.* Study on factors affecting degradation of typical odor compounds by ozonation [J]. Tianjin Science & Technology, 2020, 47(8):35-40(in Chinese).
- [11] 房俊卓, 李鹏, 张立根, 等. 活性炭孔结构表征研究[J]. 煤炭转化, 2012, 35(4):60-63.
- FANG Junzhuo, LI Peng, ZHANG Ligen, *et al.* Characterization research on pore structure of active carbon [J]. Coal Conversion, 2012, 35(4):60-63(in Chinese).
- [12] 吴清平, 孟凡亚, 张菊梅, 等. 臭氧消毒中溴酸盐的形成、检测与控制[J]. 中国给水排水, 2006, 22(16):12-15.
- WU Qingping, MENG Fanya, ZHANG Jumei, *et al.* Formation, detection and control of bromate in the ozone disinfection of drinking water [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(16):12-15(in Chinese).
- [13] 朱琦. 饮用水处理过程中溴酸盐的生成特性及优化控制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2012.
- ZHU Qi. Bromate Formation Characteristics and Optimal Control in Drinking Water Treatment Process [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012(in Chinese).
- 作者简介:许子荣(1997-),男,广东江门人,硕士,主要研究方向为供水厂运维与自来水处理技术。
- E-mail:z576265697@163.com
- 收稿日期:2023-10-23
- 修回日期:2023-12-07

(编辑:衣春敏)

·信息·

关于召开“中国城镇供水排水协会2025年会暨城镇水务技术与产品展示”的通知

中国城镇供水排水协会2025年会暨城镇水务技术与产品展示(简称“水协年会”),将于2025年4月15日—20日在浙江省杭州市召开,会议由中国城镇供水排水协会主办,浙江省城市水业协会、杭州市水务集团有限公司、杭州市城投服务集团有限公司承办,各省级地方水协协办。水协年会围绕城镇水务行业政策、行业发展形势和趋势等进行交流研讨和展示。一是宣传贯彻城镇水务相关政策以及国家对城镇水务行业高质量发展的新要求;二是围绕行业热点、难点与痛点问题,商讨城镇水务发展新思路、途径和方法;三是交流地方水协工作经验;四是城镇水务技术与产品展示,组织百余家企业、百余名专家交流和推广城镇水务新技术、新工艺、新材料和新产品以及运行管理经验。

年会同期将召开全国省级地方水协会会长工作会、中国水协第三届十二次常务理事会和三届十三次理事会以及中国水协成立40周年纪念活动等。

欲了解具体信息可访问:<http://www.cuwa.org.cn/>。

(本刊编辑部)