

华衍水务专题

2 - MIB 在某深度处理水厂中的去除规律研究

刘玉红, 陈勇, 俞蕴芳, 张荣, 张泾凯
(苏州工业园区清源华衍水务有限公司, 江苏 苏州 215021)

摘要: 针对南方某湖泊水源净水厂4月—9月易发原水致嗅物质2-MIB超标问题,进行了2-MIB去除规律的生产性试验。结果表明,预臭氧工艺对2-MIB的平均去除率可达68.6%,不采用其他预处理工艺时,混凝沉淀和砂滤对2-MIB没有去除效果。使用预臭氧和混凝前加氯方式联合预处理时,混凝沉淀会抵消预臭氧对2-MIB的去除效果,后续砂滤单元对2-MIB的去除率为15%~35%,尽管缩短了砂滤池的反冲洗周期,但对2-MIB的去除率提高不超过5%。后臭氧/生物活性炭工艺对2-MIB的去除率随着臭氧投加量的增加而增大。当水厂负荷不超过80%、原水中2-MIB的浓度不超过911 ng/L时,通过预臭氧、前加氯、常规处理与后臭氧/生物活性炭单元的有机结合,可控制出厂水中2-MIB浓度低于10 ng/L。

关键词: 预臭氧; 臭氧/生物活性炭; 前加氯; 常规工艺; 2-MIB

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0124-04

Removal of 2-MIB in a Water Plant with Advanced Treatment Process

LIU Yu-hong, CHEN Yong, YU Yun-fang, ZHANG Rong, ZHANG Jing-kai
(Suzhou Industrial Park Qingyuan Hongkong & China Water Co. Ltd., Suzhou 215021, China)

Abstract: The removal of 2-MIB in each process unit in a water plant with pre-ozonation/ozone-biological activated carbon process was analyzed. The average removal rate of 2-MIB in the pre-ozonation process was 68.6%. Coagulation sedimentation and sand filtration showed no effect on 2-MIB removal without the application of the sodium hypochlorite before the sedimentation tank. When the sodium hypochlorite was added before the sedimentation tank to kill algae, the effect of pre-ozonation on 2-MIB was partially decreased by coagulation sedimentation. The removal effect of 2-MIB by the sand filtration was enhanced by 15%–35%. The backwashing cycle was shortened and the average removal rate of 2-MIB was increased by 5%. Through the combination of pre-ozonation/primary ozone-biological activated carbon, pre-chlorination and sand filter, the load less than 80% and 2-MIB with concentration up to 911 ng/L could be removed in water plant.

Key words: pre-ozonation; ozone/BAC; pre-chlorination; conventional treatment process; 2-MIB

南方某水厂以湖泊水为水源水,每年4月—9月,原水常出现致嗅物质超标问题,尤其是5月下旬、7月和8月的原水中致嗅物质浓度很高,极易导致出厂水感官性状指标异臭味不合格。原水致嗅物质中,以2-甲基异莰醇(2-MIB)最为典型^[1]。

有研究表明,2-MIB通常来源于蓝藻和放线菌的代谢产物,属于带有叔醇基的弱极性半挥发性有机物^[2],因此常规自来水处理工艺对其去除有限。现代化自来水厂中,一般在常规工艺前设置了某些预处理手段,如混凝沉淀前设置加氯点、原水取水前

池设置高锰酸钾或粉末活性炭投加点,但氯/次氯酸钠和高锰酸钾的氧化作用难以有效去除2-MIB^[3],而臭氧作为氧化性仅次于氟的强氧化剂可以有效去除2-MIB^[4]。在实际水厂运行中,对2-MIB的去除往往受多种因素的影响,对各种工艺手段的组合运行要求较高。

因此,笔者以具有预处理单元、常规处理单元以及臭氧/生物活性炭单元的水厂为例,分析各单元组合与工艺参数调整对整个工艺去除2-MIB效果的影响,同时优化水厂现有工艺,以最大限度地去除原水中的2-MIB。

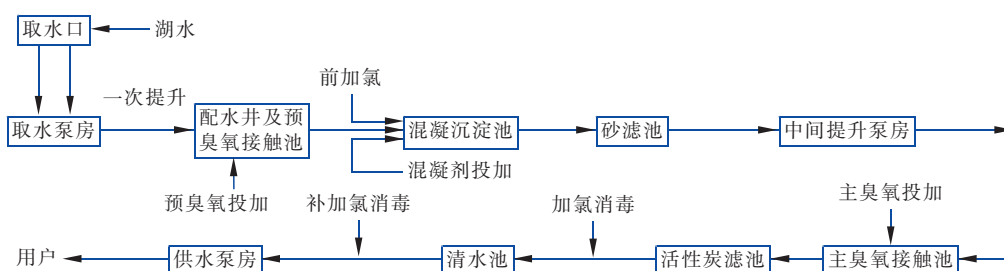


图1 工艺流程示意

Fig. 1 Flow chart of process

预臭氧接触时间为4.85 min,投量为0.5~1.5 mg/L;混合絮凝时间为22.2 min,沉淀时间为111.2 min;砂滤池滤速为7.83 m/h;主臭氧投量为0.5~2.0 mg/L,接触时间为13 min;炭滤池为下向流,滤速为10.45 m/h,炭床停留时间为12.2 min。活性炭规格为8×30目,已使用1.5年。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺参数调节

臭氧为现场制备,预臭氧采用水射器投加,主臭氧采用曝气盘投加,臭氧发生器制备的气体为混合气,其中臭氧含量为6%~10%。臭氧投加量通过流量计控制。混凝沉淀前投加液体次氯酸钠(有效氯含量≥10%),通过数字计量泵投加,投加量通过流量计控制。砂滤池的反冲洗周期通过水厂自动化控制系统进行设置,设置方式选为时间设置。

1.2.2 生产性试验方法

试验过程中,根据需要调整工艺参数,每调整一次参数需连续运行不少于6 d,从第3天开始采样测试,连续采样3次,检测水样中的2-MIB浓度。

1.2.3 样品采集

每次采样时间为上午9:00,先在取水口采集5~10 L原水,然后在水厂现场分别采集2~5 L预臭

1 试验材料与方法

1.1 水厂概况

原水取自距离厂区不到1 km的湖泊,经两根输水管重力自流进入取水泵房,经一次提升后,进入配水井及预臭氧接触池。通过预臭氧氧化后,水体进入混凝沉淀池,经混凝沉淀去除大部分悬浮物质和胶体物质后,进入砂滤池进一步降低浊度,再利用提升泵进行第二次提升,进入主臭氧接触池再次氧化,然后流入活性炭滤池。经活性炭滤池处理后的水通过加氯消毒储存在清水池,最后通过水泵输送至用户。具体工艺流程见图1。

氧接触池出水、混凝沉淀池出水、砂滤池出水、臭氧/活性炭出水和出厂水,立即送至实验室检测2-MIB浓度,同时测试其他水质参数。

1.2.4 样品检测

2-MIB采用《生活饮用水臭味物质 土臭素和2-甲基异茚醇检验方法》(GB/T 32470—2016)中固相微萃取-顶空-气相色谱质谱联用方法检测。色谱柱为HP-5(30 m×0.25 mm×0.25 μm)石英毛细管柱,固相微萃取专用衬管(78.5 mm×6.3 mm×0.75 mm),质谱仪为电子电离源(EI),标准电子能量为70 eV。

总磷、总氮采用紫外分光光度法测定,COD_{Mn}采用高锰酸钾滴定法测定,浊度采用哈希2100N检测仪测定,pH值采用pH计测定,藻类采用多参数水质分析仪测定,DO采用便携式溶氧仪测定。

2 结果与讨论

2016年1月—12月的原水水质如下:浊度为2.16~63.9 NTU,平均为12.0 NTU;pH值为7.29~8.76,平均为7.90;COD_{Mn}为3.04~7.60 mg/L,平均为4.46 mg/L;藻类浓度为(102~3 505)×10⁴个/L,平均为459×10⁴个/L;总磷为0.02~0.19 mg/L,平均为0.06 mg/L;总氮为0.36~1.68 mg/L

L, 平均为 1.11 mg/L; DO 为 3.6 ~ 13.4 mg/L, 平均为 7.69 mg/L。

每年的1月—3月以及10月—12月,该水厂的原水2-MIB浓度在12 ng/L以下,从4月份开始2-MIB浓度升高,6月会有一个短暂的下降,7月—8月随气温升高2-MIB浓度急剧增加,9月中旬开始下降。因此,试验阶段为全年的4月—9月,2016年4月—9月各月的2-MIB浓度依次为13~70、15~106、11~74、42~437、23~911、11~22 ng/L,平均值分别为27、70、35、198、195、17 ng/L。

2.1 单独预臭氧氧化对2-MIB的去除效果

试验时间为4月份,预臭氧投加量分别为0.6、0.9、1.2、1.5 mg/L,混凝沉淀前不投加次氯酸钠,保持砂滤池反冲洗周期为32 h,主臭氧投加量为0.5 mg/L,炭滤池反冲洗周期为7 d。试验结果表明,预臭氧单元对2-MIB的去除率在45.7%~85.4%之间,平均为68.6%。并且预臭氧的投加量越高,其对2-MIB的去除率越高,当投加量大于1.2 mg/L后,对2-MIB的去除率趋于稳定。考虑到投加量为0.9 mg/L时预臭氧单元对2-MIB的去除率已大于50%,从经济性出发,4月份预臭氧单元最优投加量为0.9 mg/L。本试验阶段混凝沉淀单元和砂滤单元对2-MIB基本没有去除效果。由于预臭氧对2-MIB有较高的去除率,且主臭氧投量较少,再经过活性炭吸附,出厂水中2-MIB < 10 ng/L。由于在预臭氧阶段2-MIB已被大部分去除,主臭氧/活性炭单元对2-MIB的去除率较高,为85.4%~96.1%,平均为90.1%。

2.2 预臭氧与前加氯联合氧化对2-MIB的去除

6月下旬至7月上旬由于原水中2-MIB浓度大幅升高,将预臭氧投加量升高至1.2 mg/L。预臭氧单元对2-MIB的去除率水平相对于投加量为0.9 mg/L时基本保持稳定。由于臭氧投加时混合气体中含有90%~92%的氧气,沉淀池出水出现水藻滋生的现象,因此在混凝沉淀前投加液体次氯酸钠(有效氯含量 $\geq 10\%$),并调整次氯酸钠的投加量。结果表明,混凝沉淀出水中2-MIB浓度又恢复到原水水平。可见,前加氯并经混凝沉淀处理过程完全抵消了预臭氧单元对2-MIB的去除效果。

7月下旬至8月初原水中2-MIB浓度较高(>70 ng/L),预臭氧投量升至1.5 mg/L,停止前加氯,此时沉淀池出水中2-MIB浓度比预臭氧接触池的

高,平均高出10%~20%,但比原水中的2-MIB浓度低。原水经预臭氧和混凝沉淀后,对2-MIB的总去除率平均为51.6%。但取消前加氯使混凝沉淀效果变差,沉淀池出水浊度升高。这是因为前加氯不仅能杀藻,还有良好的助凝作用。因此,为保证沉淀池出水浊度,当原水藻类浓度 $> 800 \times 10^4$ 个/L时,需要前加氯保证混凝沉淀效果。

分析6月下旬至8月初时期的两个阶段,第一阶段(6月下旬至7月上旬)由于原水藻类较高,同时投加臭氧和液体次氯酸钠,并提高了臭氧投加量,杀死了大部分藻类。有研究表明,除了活藻外,死藻产生的臭和味更高,造成沉淀池出水2-MIB浓度升高。第二阶段(7月下旬至8月初)停止前加氯,虽然再次提高了臭氧投加量,但投加的是臭氧和氧气的混合气体,杀藻能力没有臭氧和前加氯联合使用强,被杀死的藻没有联合预氧化多,因此沉淀池出水中2-MIB的浓度比预臭氧出水中的高,但比原水中的低。可以判断,当原水藻类较高时,同时采用预臭氧和前加氯的联合预氧化工艺,被臭氧和次氯酸钠杀死的藻类会产生较高臭和味,抵消预臭氧工艺对2-MIB的去除效果。

试验过程中还发现,在预臭氧和前加氯联合预氧化时,砂滤对2-MIB的去除率较高,为15%~35%,平均为23.7%。分析认为,这可能是被联合预氧化杀死的藻类通过砂滤池的反冲洗而得到有效去除,进而降低了砂滤出水中的2-MIB浓度。结合原水中的藻类数据发现,使用联合预氧化时,砂滤对2-MIB的去除率随藻类数量的增加而增大。

2.3 主臭氧投加量对2-MIB去除率的影响

6月下旬至8月,由于原水中的2-MIB浓度较高,在保证出水水质合格的前提下,调整主臭氧投加量分别为0.5、0.8、1.0 mg/L,并测试各工艺单元出水中的2-MIB浓度。结果表明,随着主臭氧投加量的增加,臭氧/生物活性炭工艺对2-MIB的去除率从87.1%提高至97.8%。

2.4 砂滤池反冲洗周期对2-MIB去除率的影响

在每次调整臭氧和液体次氯酸钠投加量且系统运行稳定后,调整砂滤池反冲洗周期分别为40、32、24 h,检测各工艺单元出水中2-MIB浓度。试验结果表明,在4月份原水中的2-MIB浓度 ≤ 70 ng/L、预臭氧投加量 > 0.6 mg/L且不与前加氯联用时,砂滤池对2-MIB基本无去除效果。6月下旬至8月

原水中的2-MIB浓度升高(平均大于70 ng/L),原水藻类浓度 $>800 \times 10^4$ 个/L,当预臭氧和前加氯联合预氧化时,缩短反冲洗周期,则砂滤池对2-MIB的去除率略有提高,但不超过5%。

在预臭氧投加量为0.6~1.5 mg/L、主臭氧投加量为0.5 mg/L时,分析原水藻类浓度和砂滤池对2-MIB去除率的影响。结果表明,当原水藻类超过 800×10^4 个/L时,采用联合预氧化方式,砂滤池对2-MIB的去除率约提高5%。此时前加氯投加量为10~15 mg/L,若投加量大于15 mg/L,砂滤池对2-MIB的去除率不再上升,但沉淀池出水中余氯逐渐升高,不利于后续臭氧/活性炭工艺的运行。砂滤池的反冲洗周期为24~32 h,但若延长反冲洗周期,则反冲洗排水色度增加,且效果变差。

需要注意的是,从4月—9月由于气温的变化,原水中藻类的优势种属会发生变化,本厂原水藻类优势种属均为蓝藻。不同水源的藻类优势种属不同,联合预氧化杀藻后产生的臭和味不同,其砂滤过程对2-MIB的去除率会产生变化。

2.5 预臭氧/主臭氧/活性炭与常规工艺的结合

通过以上分析,可将预臭氧/主臭氧/活性炭与常规工艺进行有机结合。当原水藻类超过 800×10^4 个/L时,在采用联合预氧化(预臭氧投量为0.6~0.9 mg/L,前加氯投量为10~15 mg/L)、缩短砂滤池反冲洗周期、主臭氧投量为0.5~1.0 mg/L条件下,充分利用联合预氧化和砂滤对2-MIB的去除能力,可以使整个工艺对2-MIB的去除效果最大化。8月2日,原水中的2-MIB浓度高达911 ng/L,联合预氧化及混凝沉淀对2-MIB的去除率可达48%,水体经过臭氧/生物活性炭池处理后,出厂水中的2-MIB浓度低于10 ng/L。

3 结论

① 预臭氧对2-MIB有较高的去除率,当水厂负荷不大于设计能力的80%、原水中的2-MIB浓度为13~70 ng/L时,对2-MIB的平均去除率达68.6%。若此阶段不采用前加氯,则常规混凝沉淀和砂滤单元对2-MIB基本无去除效果。

② 若原水藻类 $>800 \times 10^4$ 个/L、2-MIB浓度 >70 ng/L,采用单独预臭氧时,混凝沉淀单元会造成2-MIB浓度再次上升,并且混凝沉淀效果变差,沉淀池出水中浊度升高。采用预臭氧和前加氯联合预氧化时,混凝沉淀单元则可以抵消预臭氧对

2-MIB的去除效果。此时单独和联合预氧化杀死的藻类产生的臭和味可通过砂滤池得到有效去除,且砂滤池对2-MIB的去除率为15%~35%。同时,随着藻类数量的增加,砂滤池对2-MIB的去除效果增强。

③ 当原水藻类 $>800 \times 10^4$ 个/L、2-MIB浓度 >70 ng/L时,缩短砂滤池反冲洗周期,可略微提升砂滤池对2-MIB的去除效果,但去除率提高量不超过5%。

④ 当原水藻类 $>800 \times 10^4$ 个/L、2-MIB浓度 >70 ng/L时,通过常规处理单元与深度处理工艺相结合,并采用联合预氧化(预臭氧投加量为0.6~0.9 mg/L,前加氯投加量为10~15 mg/L),同时缩短砂滤池反冲洗周期,可有效保证整个工艺流程对2-MIB的去除效果,满足10 ng/L的出水限值。

参考文献:

- [1] 王乐,李翠梅,查巧珍. 预臭氧-常规处理工艺去除UV₂₅₄、2-MIB效果及两者相关性分析[J]. 环境工程,2016,34(5):50-53.
- [2] 李学艳,高乃云,沈吉敏,等. 水中天然有机物对粉末活性炭吸附2-MIB的影响[J]. 给排水,2008,34(11):148-153.
- [3] 李学艳,马军,陈忠林,等. 若干氧化剂对水中嗅味物质2-MIB的氧化去除[J]. 黑龙江大学自然科学学报,2007,2(1):76-80.
- [4] 马新红,贲岳,赵钢,等. O₃/H₂O₂工艺去除饮用水中2-MIB的效能与机制[J]. 供水技术,2010,4(5):13-16.



作者简介:刘玉红(1977-),女,湖北荆州人,硕士,高级工程师,主要研究方向为自来水处理技术。

E-mail:liuyh@sz-hkcw.com

收稿日期:2017-07-26