

李土雄, 刘伟, 刘岳峰, 等. 水厂常规工艺强化去除原水中的 2-MIB [J]. 净水技术, 2025, 44(2): 72-78, 94.

LI T X, LIU W, LIU Y F, et al. Enhanced 2-MIB removal in raw water by conventional processes of WTPs[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 72-78, 94.

水厂常规工艺强化去除原水中的 2-MIB

李土雄, 刘伟*, 刘岳峰, 范丹, 李抄, 曾立章, 叶晓华

(深圳市深水宝安水务集团有限公司, 广东深圳 518000)

摘要 【目的】为适应《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)对 2-甲基异莰醇(2-MIB)限值要求,提高常规工艺对 2-MIB 的去除能力。【方法】文章通过小试和生产性试验,研究常规工艺水厂提升 2-MIB 去除效果的生产措施,并形成 1 套适用于常规工艺水厂的,以优化预氧化、两级粉末活性炭吸附和滤池生物降解为核心的全流程多级屏障 2-MIB 控制技术路线。【结果】结果表明,强化常规工艺水厂 2-MIB 去除效果主要措施有:优化预氧化剂;采用高锰酸钾替代次氯酸钠预氧化,高锰酸钾投加量宜不超过 0.3 mg/L;粉末活性炭吸附可显著提升 2-MIB 去除效果,且可通过在水库取水头部建设粉末活性炭投加点及投加装置,实现原水+厂内两级粉末活性炭投加,延长粉末活性炭吸附时间,提高吸附效果;优化调整厂内生产运行工艺(包括停用滤前次氯酸钠投加、不含氯反冲洗、延长过滤周期、降低反冲强度等),可有效提升普通砂滤池对 2-MIB 的生物降解作用,培养周期约为 4 个月,2-MIB 滤池去除率可稳定达到 90%左右,且滤后水 2-MIB 稳定低于 10 ng/L。【结论】通过以上措施可有效提升常规工艺对 2-MIB 的去除效率,出厂水能够达到国标限值以下。

关键词 常规工艺水厂 2-甲基异莰醇 预氧化 粉末活性炭 滤池生物降解

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)02-0072-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.02.008

Enhanced 2-MIB Removal in Raw Water by Conventional Processes of WTPs

LI Tuxiong, LIU Wei*, LIU Yuefeng, FAN Dan, LI Chao, ZENG Lizhang, YE Xiaohua

(Shen Shui Bao An Water Group Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract [Objective] In order to adapt to the limit value requirements of the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2022) for 2-methyl isoethanol (2-MIB), improve the ability of conventional processes to remove 2-MIB [Methods] This paper studied the production measures of water treatment plants (WTPs) with conventional process to improve 2-MIB removal effect, and formed a set of full-process multi-stage barrier 2-MIB control technology routes suitable for WTPs with conventional processes, with the optimization of preoxidation, two-stage powder carbon adsorption and filter biodegradation as the core. [Results] Results showed that main measures to strengthen 2-MIB removal effect of the WTP with conventional process included optimizing the preoxidant, using potassium permanganate instead of sodium hypochlorite preoxidation, and the amount of potassium permanganate should not exceed 0.3 mg/L and the adsorption of powder activated carbon could significantly improve the 2-MIB removal effect. The water head built the powder carbon adding point and the adding device to realize the raw water + two-stage powder carbon in the WTP, prolong the powder carbon adsorption time; optimize and adjust the production and operation process in WTP (including stopping the use of sodium hypochlorite before filtration, backwashing without chlorine, prolong the filtration cycle, reduce the recoil strength, etc.), which could effectively improve the biodegradation effect of ordinary sand filter on 2-MIB. The culture cycle was about 4 months The stability reached about 90%, and 2-MIB of the water after filtration was stable below 10 ng/L. [Conclusion] Through the above measures, the removal efficiency of 2-MIB in the conventional process can be effectively improved, and the factory water can reach below the national standard limit.

Keywords conventional process of WTP 2-methylisobornol (2-MIB) pre-oxidation powder activated carbon (PAC) filter biodegradation

[收稿日期] 2023-08-31

[作者简介] 李土雄(1988—),男,硕士,工程师,研究方向为自来水处理,E-mail:1317510143@qq.com。

[通信作者] 刘伟(1992—),男,硕士,工程师,研究方向为自来水处理,E-mail:liuwei2048@126.com。

近年来,世界各地蓝藻水华暴发频率越来越高,由蓝藻产生的次生代谢物所导致的水源异味问题关注度日益升高^[1]。自然水体中致嗅物质多种多样,2-甲基异苊醇(2-MIB)是常见的致嗅物质之一,嗅阈值小于 10 ng/L^[2-3]。2-MIB 主要来源为藻类细胞,胞内结合与胞外溶解的 2-MIB 比例约为 2:3^[4]。传统净水工艺对 2-MIB 去除效果较差^[3],当原水中 2-MIB 含量较高时可能会导致自来水异味投诉。目前,对于异味物质去除方法的研究主要集中于吸附法、生物降解法、高级氧化法等工艺^[5],但对于强化常规工艺强化去除原水 2-MIB 的生产性方法及措施尚缺乏系统性研究。

1 项目概况

1.1 水厂简介

本研究以南方某市 L 水厂为研究对象,通过优化预氧化、粉末活性炭吸附、生物降解等多种生产措

施,提高水厂工艺全流程对 2-MIB 的去除能力,保障出厂水低于 10 ng/L 限值。L 水厂设计处理规模为 16 万 t/d,分四期建成,均为常规处理工艺(原水-预氧化-机械搅拌澄清池-V 型滤池-次氯酸钠消毒-出厂水)。

1.2 原水情况

L 水厂原水取自 S 水库,水源特征主要表现为高藻、低浑浊度、季节性波动大,夏季高温天气易出现藻类暴发(2022 年藻类含量为 740 万~7 400 万个/L,其中 1 月—5 月含量较低,藻类暴发主要集中在 6 月—11 月),且原水总碱度低(2022 年总碱度为 30.52~40.10 mg/L),pH 波动大(2022 年 pH 值为 7.27~9.40)。一方面,水厂常年需在原水投加盐酸来调节原水 pH,保证混凝效果;另一方面,该水源臭味风险高,主要嗅味物质为 2-MIB,2022 年该水库原水 2-MIB 变化情况如图 1 所示。

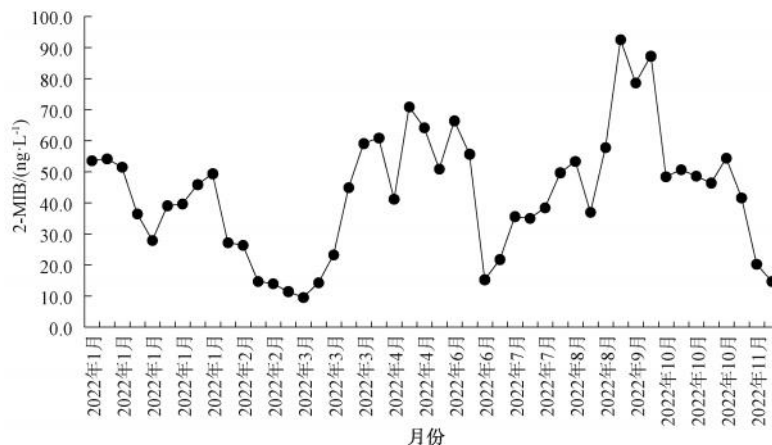


图 1 S 水库原水 2-MIB 变化情况

Fig. 1 Changes of 2-MIB of Raw Water in Reservoirs

2022 年该水库全年 2-MIB 平均质量浓度为 43.1 ng/L,最高达 92.5 ng/L。随着《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的实施,将出厂水 2-MIB 纳入扩展指标,限值为 0.000 01 mg/L。该水厂 2020 年全年共检测出厂水 2-MIB 37 次,其中低于 0.000 01 mg/L 的 9 次,合格率约为 24.3%,出厂水 2-MIB 质量浓度为 0.000 004 6~0.000 035 0 mg/L,超标风险较高。

2 研究方法及内容

2.1 研究方法

研究表明,目前对饮用水中 2-MIB 等嗅味物质的去除方法主要有化学预氧化、粉末活性炭吸附和滤池生物降解等。L 水厂为常规处理工艺,水厂采

用次氯酸钠和高锰酸钾作为化学预氧化剂,粉末活性炭作为水质突变时应急药剂投加。在此基础上,本文以 L 水厂为研究对象,通过小试及生产性试验,探索预氧化、粉末活性炭吸附和滤池生物降解 3 种措施及其组合工艺对原水 2-MIB 强化去除技术措施。

2.1.1 小试试验

分别以高锰酸钾、次氯酸钠、粉末活性炭不同投加量为变量,设计正交试验。其中,高锰酸钾投加量分别为 0、0.3、0.6、1.0 mg/L,次氯酸钠投加量分别为 0、0.3、0.6、1.0 mg/L,粉末活性炭投加量分别 0、10、20、40 mg/L。正交试验中,极差(R)越大,表明对应的因素影响因子越大,结合不同试验出水

2-MIB 的含量情况,得出最佳预氧化剂和粉末活性炭种类及投加量。

2.1.2 生产试验

根据相关运行经验及文献调研结果,在小试试验基础上,开展粉末活性炭吸附和滤池生物降解的生产性试验,通过优化调整滤池运行模式(包括反冲强度、反冲方式、反冲时间、排泥周期、消毒剂投加等),探索提高滤池生物去除 2-MIB 的措施。试验水厂预氧化剂为次氯酸钠和高锰酸钾,投加点均位于进厂原水总管处,采用管道混合方式。粉末活性炭共有 2 个投加点,分别位于该水厂 S 水库取水口处和进厂原水总管,形成原水加厂内两级粉末活性炭投加。

2.2 2-MIB 检测方法

2-MIB 检测参照《生活饮用水标准检验方法第 8 部分:有机物指标》(GB/T 5750.8—2023)方法,利用固相微萃取纤维吸附样品中的土臭素(GSM)和 2-MIB,顶空富集后用气相色谱质谱联用分离测定,内标法定量。

2.3 研究内容

2.3.1 强化预氧化

通过小试试验,研究不同高锰酸钾投加量、不同次氯酸钠投加量以及不同粉末活性炭那投加量 3 个因素对出水浑浊度、2-MIB 浓度的影响,并设计正交试验,高锰酸钾和次氯酸钠预氧化剂投加量梯度均设置为 0、0.3、0.6、1.0 mg/L,粉末活性炭投加量设为 0、10、20、40 mg/L,从而明确高锰酸钾和次氯酸钠对 2-MIB 去除的影响因素。

2.3.2 粉末活性炭吸附

在小试试验的基础上,选用综合性能最优的粉

末活性炭,开展生产性试验,分别研究不同粉末活性炭投加量(0、10、20、30 mg/L)以及不同粉末活性炭投加点(厂内投加、原水取水口投加)对原水 2-MIB 的吸附效果,从而明晰特定原水条件下,最佳粉末活性炭投加量及投加点。

2.3.3 滤池生物降解

通过优化厂内砂滤池运行工况(包括反冲洗周期、反冲洗强度及时间、反冲模式、次氯酸钠投加点及投加量等),培养普通砂滤池对 2-MIB 的生物降解能力,定期检测滤前、滤后水 2-MIB 数据,分析砂滤池对 2-MIB 的生物去除能力,从而明晰提高常规工艺水厂砂滤池对 2-MIB 生物降解能力的生产性措施,为常规工艺水厂 2-MIB 控制提供实践经验。

3 结果分析

3.1 预氧化影响因素分析

为研究原水高锰酸钾、次氯酸钠、粉末活性炭 3 种药剂投加对 2-MIB 去除作用的影响程度,分别以高锰酸钾投加量(0、0.3、0.6、1.0 mg/L)、次氯酸钠投加量(0、0.3、0.6、1.0 mg/L)、粉末活性炭投加量(0、10、20、40 mg/L) 3 种因素,设计 3 因素,4 水平正交试验。试验当天,S 水库原水主要水质指标为 2-MIB 质量浓度为 17.38 ng/L,浑浊度为 2.09 NTU,pH 值为 7.56,藻类浓度为 3.65×10^6 个/L,化学需氧量(COD_{Mn})质量浓度为 2.04 mg/L,UV₂₅₄ 为 0.022 cm⁻¹。通过正交试验设计,以出水 2-MIB 浓度和浑浊度为试验指标,从而分析出最佳预氧化药剂种类及投加量。正交试验设计及结果如表 1 所示。

表 1 正交试验设计及结果
Tab. 1 Design and Results of Orthogonal Test

试验编号	高锰酸钾投加量/ (mg·L ⁻¹)	次氯酸钠投加量/ (mg·L ⁻¹)	粉炭投加量/ (mg·L ⁻¹)	出水2-MIB 质量浓度/ (ng·L ⁻¹)	出水浑浊度/NTU
1	0	0	0	14.13	0.33
2	0	0.3	10	9.07	0.37
3	0	0.6	20	16.56	0.48
4	0	1.0	40	14.21	0.40
5	0.3	0	0	16.47	0.16
6	0.3	0.3	10	23.71	0.15
7	0.3	0.6	20	10.57	0.14
8	0.3	1.0	40	16.87	0.14

(续表1)

试验编号	高锰酸钾投加量/ (mg·L ⁻¹)	次氯酸钠投加量/ (mg·L ⁻¹)	粉炭投加量/ (mg·L ⁻¹)	出水2-MIB 质量浓度/ (ng·L ⁻¹)	出水浑浊度/NTU
9	0.6	0	0	11.29	0.22
10	0.6	0.3	10	12.28	0.17
11	0.6	0.6	20	21.26	0.24
12	0.6	1.0	40	24.17	0.19
13	1.0	0	0	8.36	0.15
14	1.0	0.3	10	18.71	0.17
15	1.0	0.6	20	25.71	0.41
16	1.0	1.0	40	27.93	0.13

分析上表中正交试验数据,对 2-MIB 影响因素分析如表 2 所示。

表 2 对 2-MIB 影响因素分析(单位:mg/L)

Tab. 2 Analysis of Influencing Factors for 2-MIB(Unit: mg/L)

正交试验参数	高锰酸钾投加量	次氯酸钠投加量	粉末活性炭投加量
K_1	53.97	50.25	87.03
K_2	67.62	63.77	75.42
K_3	69.00	74.10	63.43
K_4	80.71	83.18	45.42
k_1	13.49	12.56	21.76
k_2	16.90	15.94	18.86
k_3	17.25	18.52	15.86
k_4	20.18	20.80	11.35
R	26.74	32.93	30.00

对出水浑浊度的影响因素分析如表 3 所示。

表 3 对浑浊度影响因素分析(单位:mg/L)

Tab. 3 Analysis of Influencing Factors for Turbidity (Unit: mg/L)

正交试验参数	高锰酸钾投加量	次氯酸钠投加量	粉炭投加量
K_1	1.58	0.86	0.85
K_2	0.59	0.86	1.13
K_3	0.72	1.27	1.01
K_4	0.86	0.86	0.86
k_1	0.40	0.22	0.21
k_2	0.15	0.22	0.28
k_3	0.18	0.32	0.23
k_4	0.22	0.22	0.22
R	0.99	0.41	0.28

从以上正交试验结果数据分析可知,对 2-MIB

去除影响因素大小顺序为次氯酸钠>粉末活性炭>高锰酸钾。而从去除效果来看,高锰酸钾和次氯酸钠对 2-MIB 去除情况都有负面影响,粉末活性炭有正面影响。从强化混凝效果的角度分析,对浑浊度影响因素从大到小依次为高锰酸钾>次氯酸钠>粉末活性炭。其中,高锰酸钾投加量为 0.3 mg/L 时,可获得较为稳定的浑浊度去除效果。

建议水厂原水停止次氯酸钠投加,改投高锰酸钾作为预氧化剂,从而减少原水 2-MIB 的浓度,同时起到助凝作用。高锰酸钾投加量应根据水厂原水水质及烧杯试验进一步确定,建议控制在 0.3 mg/L 以内。

3.2 粉末活性炭吸附

研究表明,投加粉末活性炭是目前水处理行业应对臭味问题最广泛的技术手段^[6],且增加吸附时间可有效提升吸附效率^[7]。为提升 L 水厂粉末活性炭吸附效率,在该水厂取水头部 S 水库取水口处建设了原水粉末活性炭投加装置,根据前期测试结果,从该原水投加点到 L 水厂进厂共需 300 min,即粉末活性炭吸附时间为 5 h。为明晰 L 水厂混凝沉淀工艺对原水 2-MIB 的去除效果,本文于 2022 年 6 月份连续对水厂原水、沉后水 2-MIB 进行检测并分析去除效果,结果如图 2 所示。

试验期间,该水厂原水预氧化药剂为高锰酸钾,投加单耗为 0.3 mg/L,未投加粉末活性炭及次氯酸钠等其他药剂。由图 2 可知,L 水厂混凝沉淀工艺对 2-MIB 基本无去除效果,为进一步研究不同粉末活性炭投加量及不同投加点对原水 2-MIB 的吸附效果,分别在厂内和原水处投加不同浓度的粉末活性炭,并分析原水、沉后水 2-MIB 的变化情况。结果如图 3 所示。

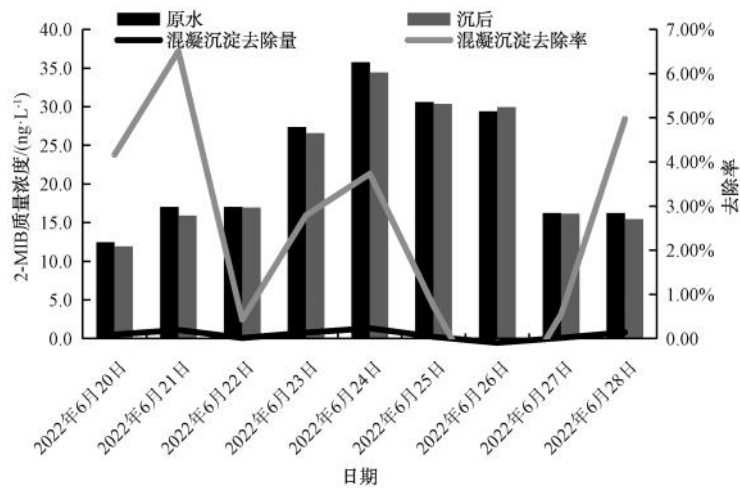


图2 混凝沉淀工艺对2-MIB去除效果分析

Fig. 2 Analysis of Effect of Coagulation and Sedimentation on 2-MIB Removal

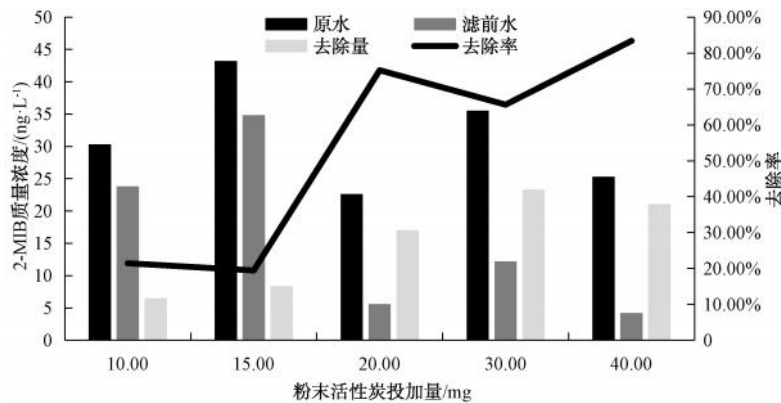


图3 厂内粉末活性炭投加对2-MIB去除效果分析

Fig. 3 Analysis of Effect of PAC Dosing on 2-MIB in WTP

由图3可知,当粉末活性炭投加的质量浓度为10~30 mg/L时,随着粉末活性炭投加量的增加,对水中2-MIB的去除量和去除率均呈上升趋势,粉末活性炭投加量为10、15、20、30、40 mg/L时,粉末活性炭对2-MIB去除量分别为6.5、8.4、17、23.3、21.1 ng/L,去除率分别为21.45%、19.44%、75.22%、65.63%、83.40%,单位粉末活性炭量对2-MIB的吸附量分别为0.65、0.56、0.85、0.78 ng/mg。由此可知,当粉末活性炭投加量达到30 mg/L时,继续增加厂内粉末活性炭投加量对2-MIB吸附效果无显著提升,且单位粉末活性炭吸附量出现显著下降现象(由0.78 ng/mg下降至0.53 ng/mg),可能是由于粉末活性炭浓度的增加相对降低了2-MIB的容积扩散系数,不利于对2-MIB的吸附或者是增加的粉末活性炭补充了吸附其他有机物消耗的

炭量^[8]。

在水库原水分别投加5、10、20、30 mg/L粉末活性炭,对2-MIB去除效果分析如图4所示。

由图4可知,水库原水不同粉末活性炭投加量(5、10、20、30 mg/L)对原水2-MIB去除量分别为12.3、16.4、33.1、59.3 ng/L,去除率分别为26.23%、25.00%、55.17%、85.08%,单位粉末活性炭吸附量分别为2.46、1.64、1.66、1.98 ng/mg。随着原水粉末活性炭投加量的增加,对2-MIB的去除量及去除率也随之增加,单位粉末活性炭吸附量较厂内粉末活性炭投加有显著提升(厂内投加和水库原水投加单位粉末活性炭平均吸附量分别为0.67、1.93 ng/mg)。可以看出,相同投加量的情况下,通过在水库原水投加粉末活性炭,延长吸附时间,可有效提高粉末活性炭吸附效果,充分发挥粉末活性炭

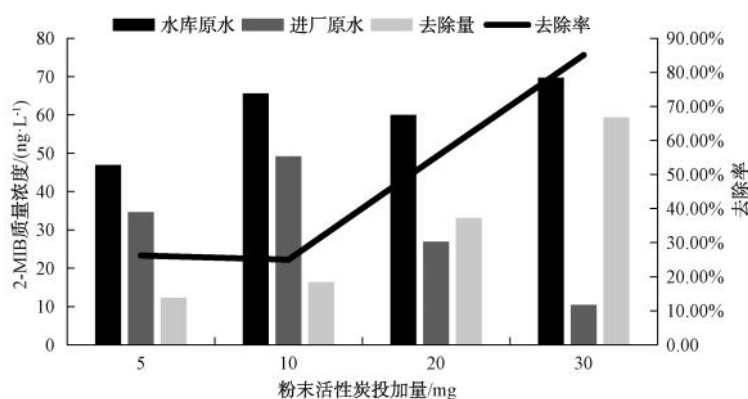


图4 原水粉末活性炭投加对2-MIB去除效果分析

Fig. 4 Analysis of the Effect of PAC on 2-MIB Removal in Raw Water

吸附作用,这与梁景堂等^[9]的研究结果一致。

综上所述,根据前人研究成果结合L水厂生产性试验,结果表明,常规工艺水厂可通过在水库取水头部建设粉末活性炭投加装置,延长粉末活性炭吸附时间,实现原水和厂内两级粉末活性炭投加措施,可显著提高原水2-MIB的去除效果。

3.3 滤池生物降解

由前文研究结果可知,通过大剂量投加粉末活性炭和延长吸附时间,可有效提升水厂2-MIB去除效果,但仍存在运行成本高的问题,需要进一步从厂内生产运行优化着手,提升厂内2-MIB去除能力。李玉仙等^[10]的研究表明,煤砂滤工艺对2-MIB具有较好的去除效果,滤后水2-MIB低于检出限值。郜于楠等^[11]采用生物活性炭-石英砂为生物活性滤料,研究生物活性滤池强化常规过滤对臭味物质去除的机理及运行特性。结果表明,过滤周期内生物活性滤池除臭效果远高于普通砂滤池,平均除臭率可达90%以上,且过滤周期越长,运行状况越稳定。Sumitomo^[12]报道了从处理异味水体的砂滤池中发现了1株具有降解臭味物质的假丝酵母,一方面,其细胞破碎粗提酶也具有降解臭味物质2-MIB的能力;另一方面,在总结分析F水厂运行结果时发现,F水厂滤池对原水2-MIB具有较好且稳定的去除效果,去除率稳定保持在70%以上。综上所述,参照相关文献资料及F水厂运行模式,对L水厂主要生产运行工况进行调整,特别是滤池反冲洗方式(包括反冲强度、反冲方式、反冲周期等)、预氧化剂投加等进行调整,开展相关生产性试验。具体生产调整措施如下。

(1)采用高锰酸钾替代次氯酸钠作为原水预氧

化剂,逐步减少或暂停滤前水次氯酸钠投加,为滤池生物生长提供适宜环境。工艺调整期间,每班至少检测1次滤前水余氯,确保水余氯质量浓度低于0.05 mg/L以下;(2)该厂原滤后水主消毒投加点位位于反冲洗水之前,通过工程技术改造,将滤后水次氯酸钠主消毒投加点后移,确保滤池反冲洗水不含氯;(3)调整滤池反冲洗反冲模式,减少气水联冲时间,降低气冲强度;(4)季节性水质较好(一般为秋冬季)时,在确保生物风险可控的前提下,将滤池反冲洗周期从24 h延长至36~48 h。通过采取以上措施,并保持稳定运行4个月左右,水厂砂滤池对2-MIB去除效果有显著提升,结果如图5所示。

L水厂自2020年11月份开始采取以上生产调整措施,由图5可知,采取生产调整前(2020年5月—9月),水厂滤池对2-MIB基本无明显去除效果,平均去除量为0.5 ng/L,平均去除率为1.65%,个别情况下还会增加2-MIB含量,其主要原因是次氯酸钠氧化性较强,滤前水藻类含量相对较高,滤前投加次氯酸钠导致藻细胞破裂,导致藻细胞内2-MIB释放。经采取以上措施,并稳定运行,砂滤池对2-MIB去除效果逐步显现。稳定运行4个月后,去除率基本达到50%左右。随着运行时间的延长,砂滤池对2-MIB去除效果显著提升,运行至2021年6月份,滤池对2-MIB去除率稳定保持在90%左右,且滤后水2-MIB均稳定低于10 ng/L,达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)要求。

另一方面S水库常年藻类较高、季节性波动大,水厂主要水质风险主要体现在夏季高温天气时的红虫和耐氯菌风险,故该水厂常年需启用滤前次氯酸钠投加,强化消毒效果。经过以上运行调整后,可能

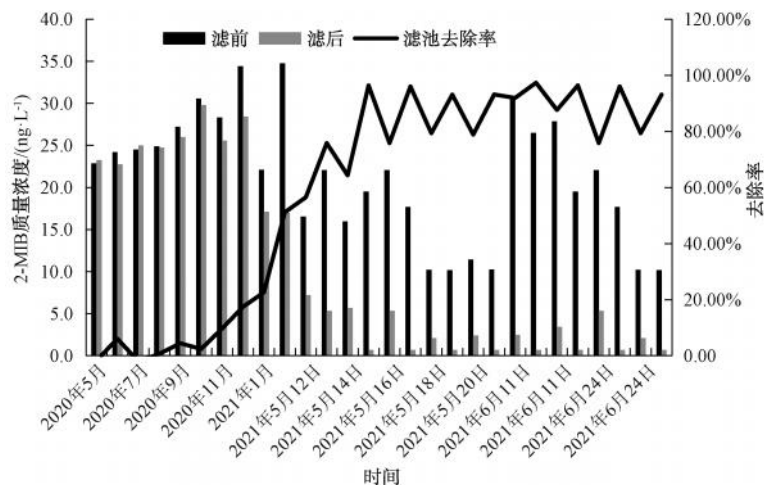


图5 砂滤池对2-MIB 去除效果分析

Fig. 5 Analysis of Effect of Sand Filter on 2-MIB Removal

导致夏季高温天气时的红虫和耐氯菌风险,厂内需同步加强滤后水及出厂水挂网及菌落总数监测。

综上所述,结合前人研究理论基础及以上生产性试验,结果表明,常规工艺水厂可通过优化生产运行的方式实现普通砂滤池向生物滤池的转变,提高2-MIB 的去除效果,培育时间需约4个月。其中关键技术为:(1)确保滤前水不含氯(余氯质量浓度稳定低于0.05 mg/L),反冲洗水不含氯;(2)调整反冲洗周期及反冲模式,在确保耐氯菌、红虫等生物风险可控前提下,尽可能降低反冲强度、延长反冲时间。

4 结论

综上所述,通过针对L水厂的小试及生产性试验研究,形成了1套适用于常规工艺水厂,以优化预氧化、粉末活性炭吸附和滤池生物降解为核心的全流程多级屏障2-MIB 控制技术路线,有效提升了常规工艺水厂2-MIB 去除效果。结果表明,常规工艺水厂强化去除原水2-MIB 的主要措施有优化预氧化剂、粉末活性炭吸附以及强化滤池生物降解3种主要措施,具体结论如下。

(1)预处理(包括预氧化剂和粉末活性炭)对2-MIB 去除影响因素大小顺序为次氯酸钠>粉末活性炭>高锰酸钾。高锰酸钾和次氯酸钠对2-MIB 去除情况都有负面影响,粉末活性炭有正面影响。综合考虑浑浊度和2-MIB 影响,建议水厂原水停止次氯酸钠投加,改投高锰酸钾作为预氧化剂,从而减小原水2-MIB 的浓度,同时起到助凝作用。

(2)投加粉末活性炭对原水2-MIB 有较显著的

去除效果,且吸附时间越长,去除效果越好。常规工艺水厂可通过在水库取水头部建设粉末活性炭投加点,延长粉末活性炭吸附时间,提高去除效率。

(3)常规工艺水厂可通过调整厂内运行工艺,逐步培养普通砂滤池的生物作用,主要包括停止滤前次氯酸钠、实现不含氯水反冲、延长反冲洗周期、降低气冲和气水联冲强度和时长等,调整措施后稳定运行4个月,滤池生物作用可逐步显现,2-MIB 去除率可由低于5%提升至90%以上,滤后水2-MIB 质量浓度稳定低于10 ng/L。

参考文献

- [1] KIM T K, MOON B R, KIM T, et al. Degradation mechanisms of geosmin and 2-MIB during UV photolysis and UV/chlorine reactions [J]. Chemosphere, 2016, 162: 157-164. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.07.079.
- [2] GLAZE W H, SCHEP R, CHAUNCEY W, et al. Evaluating oxidants for the removal of model taste and odor compounds from a municipal water supply [J]. American Water Works Association, 1990, 82(5): 79-84.
- [3] YOUNG W F, HORTH H, CRANE R, et al. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants [J]. Water Research, 1996, 30(2): 331-340.
- [4] BU L, ZHOU S, SHI Z, et al. Removal of 2-MIB and geosmin by electrogenerated persulfate: Performance, mechanism and pathways [J]. Chemosphere, 2017, 168: 1309-1316. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.134.
- [5] 周舟. ICPB 技术去除两种典型异嗅物质的性能研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2021.

(下转第94页)

- [18] LIU H, SCHONBERGER K, KORSHIN G, et al. Effects of blending of desalinated water with treated surface drinking water on copper and lead release [J]. *Water Research*, 2010, 44 (14): 4057-4066.
- [19] 张锋, 俞周, 芮继承, 等. 长距离输水管道输水过程中水质变化情况[J]. *中国给水排水*, 2022, 38(15): 50-54.
ZHANG F, YU Z, RUI J C, et al. Changes of water quality in long-distance pipelines during transmission[J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(15): 50-54.
- [20] ZHANG X, LIN T, JIANG F, et al. Impact of pipe material and chlorination on the biofilm structure and microbial communities [J]. *Chemosphere*, 2022, 289: 133218. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.133218.
- [21] LANCIONI N, PARLAPIANO M, SGROI M, et al. Polyethylene pipes exposed to chlorine dioxide in drinking water supply system: A critical review of degradation mechanisms and accelerated aging methods [J]. *Water Research*, 2023, 238: 120030. DOI: 10.1016/j.watres.2023.120030.
- [22] MAQBOOL T, ZHANG J, QIN Y, et al. Fluorescence moieties as a surrogate for residual chlorine in three drinking water networks [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2021, 411: 128519. DOI: 10.1016/j.cej.2021.128519.

(上接第 78 页)

- ZHOU Z. Study on the performance of ICPB technology for treatment of two typical odor compounds [D] Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [6] 方华. 活性炭吸附 2-MIB 和 GSM 关键指标的识别及其强化研究[D]. 天津:河北工业大学, 2021.
FANG H. Study on the key indexes of activated carbon adsorption of 2-MIB and GSM and its strengthening [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2021.
- [7] MATSUI Y, NAKAO S, TANIGUCHI T, et al. Geosmin and 2-methylisoborneol removal using superfine powdered activated carbon: Shell adsorption and branched-pore kinetic model analysis and optimal particle size[J]. *Water Research*, 2013, 47 (8): 2873-2880.
- [8] 李大鹏, 李伟光, 王铁民. 投加粉末活性炭去除原水中的嗅味[J]. *中国给水排水*, 2004, 20(6): 44-46.
LI D P, LI W G, WANG T M. Add powdered activated carbon to remove the smell in raw water [J]. *China Water & Wastewater*, 2004, 20(6): 44-46.
- [9] 梁景堂, 关怀宇, 吴旭龙, 等. 土霉素水库水应急处理[J]. 城镇供水, 2022(1): 45-48.
- LIANG J T, GUAN H Y, WU X L, et al. Emergency treatment of soil-mildew reservoir water[J]. *City and Town Water Supply*, 2022(1): 45-48.
- [10] 李玉仙, 樊康平, 顾军农, 等. 净水工艺对臭味物质的去除效果分析[J]. *水工业市场*, 2008(5): 46-49.
LI Y X, FAN K P, GU J N, et al. Analysis of the removal effect of odorous substances by water purification process [J]. *Water-Industry Market*, 2008(5): 46-49.
- [11] 郜玉楠, 李伟光, 白宇, 等. 生物活性滤池强化过滤去除饮用水中嗅味[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2008, 40(12): 1932-1936.
GAO Y N, LI W G, BAI Y, et al. Taste and odor removal for drinking water by enhanced filtration in biological rapid filter [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2008, 40(12): 1932-1936.
- [12] SUMITOMO H. Biodegradation of 2-methylisoborneol by gravel sand filtration [J]. *Water Science and Technology*, 1992, 25 (2): 191-198.