

张晶晶, 庄星宇, 胡侃, 等. 水厂失效生物活性炭更换比例的生产性试验[J]. 净水技术, 2022, 41(12):77-85.

ZHANG J J, ZHUANG X Y, HU K, et al. Productive experiment on the replacement ratio of spent biological activated carbon in WTPs [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(12):77-85.



扫我试试?

水厂失效生物活性炭更换比例的生产性试验

张晶晶¹, 庄星宇¹, 胡侃², 唐中亚³, 王慕¹, 刘成^{4,*}, 石鲁娜², 蒋莹³

(1. 无锡市政公用环境检测研究院有限公司, 江苏无锡 214031; 2. 无锡市水务集团有限公司, 江苏无锡 214000; 3. 扬州市给排水管理处, 江苏扬州 225100; 4. 河海大学环境学院, 江苏南京 210098)

摘要 臭氧-生物活性炭工艺的处理效能随时间整体呈现下降趋势, 需要定期进行活性炭的更换或再生。以生物活性炭池已运行 10 年左右的 X、Z 水厂为研究对象, 分别采用了 100% 和 50% 的更换比例, 并进行 2.5 年的连续对比运行, 以探究适宜的更换比例。研究表明, 100% 更换的活性炭池具有较好的净化效果, 运行前半年, 对水中 TOC、阿特拉津以及三卤甲烷的去除率可达 40%~50%、60%~70%、70% 左右, 且较高的更换比例有利于延长更换后生物活性炭的使用时间, 100% 和 50% 更换比例的活性炭池在使用 2.5 年后碘值分别降低至 600、200 mg/g 左右。旧生物活性炭的存在有利于强化新活性炭的挂膜, 并且增加挂膜成熟后微生物的丰度和生物多样性。实际操作中, 活性炭的更换比例应以保证水厂水质安全为前提, 综合考虑经济成本及长效利用确定更换比例。

关键词 臭氧-生物活性炭工艺 饮用水 更换比例 净化效能 生产性试验

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)12-0077-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.12.010

Productive Experiment on the Replacement Ratio of Spent Biological Activated Carbon in WTPs

ZHANG Jingjing¹, ZHUANG Xingyu¹, HU Kan², TANG Zhongya³, WANG Mu¹, LIU Cheng^{4,*}, SHI Luna², JIANG Ying³

(1. Wuxi Municipal Public Environment Testing Research Institute Co., Ltd., Wuxi 214031, China;

2. Wuxi Water Group Co., Ltd., Wuxi 214000, China;

3. Yangzhou Water Supply and Drainage Management Office, Yangzhou 225100, China;

4. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract The treatment efficiency of ozone-biological activated carbon process decreases with time, and activated carbon needs to be replaced or regenerated regularly. The WTP X and WTP Z, which have been running biological activated carbon filter for about 10 years, were taken as the research object, and the replacement ratio of 100% and 50% were respectively adopted, and the continuous comparison operation for 2.5 years was conducted to explore the appropriate replacement ratio. The results showed that the 100% replacement activated carbon pool had a good purification effect, the removal rate of TOC, atrazine and trihalomethane in the water at the first half a year of operation could reach 40%~50%, 60%~70% and about 70%, and the higher replacement ratio was conducive to extending the use time of biological activated carbon after replacement. The iodine value of activated carbon filters with 100% and 50% replacement ratio decreased to about 600, 200 mg/g respectively after 2.5 years of use. The presence of old biological activated carbon was conducive to strengthening the membrane hanging of new activated carbon and increasing the abundance and biodiversity of

[收稿日期] 2022-10-09

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07403-001)

[作者简介] 张晶晶(1997—),女,硕士,研究方向为给水处理工艺与技术服务,E-mail:15298384205@163.com。

[通信作者] 刘成(1977—),男,博士,教授,主要研究方向为水处理理论与技术,E-mail:liucheng8791@hhu.edu.cn。

microorganisms after membrane hanging. In actual operation, the replacement ratio of activated carbon should be based on the premise of ensuring the safety of water quality in WTPs, and the replacement ratio should be determined by comprehensive consideration of economic cost and long-term utilization.

Keywords ozone-biological activated carbon process drinking water replacement ratio removal efficiency productive experiment

为提升供水水质、保证供水安全,以臭氧-生物活性炭(O₃-BAC)工艺为主的深度处理工艺在全国得到推广和应用。O₃-BAC工艺融合了O₃氧化、活性炭吸附、生物降解等基本作用,并实现了一定程度的协同作用,可有效去除水中多种污染物^[1-2]。然而,O₃-BAC工艺的处理效能随使用时间的增加整体呈现下降的趋势,到达一定年限后可能会无法应对原水水质风险,无法满足水厂优质出水的处理需求,需要进行活性炭的更换或再生^[3]。由于国内水厂BAC应用年限普遍较长,采用热再生的处理效果相对较差^[4-5],水厂生产实践中倾向于采用更换的方式。近年来,部分省市已提出了关于活性炭更换的相关规程,比如上海的《净水厂用煤质颗粒活性炭选择、使用及更换技术规范》(DB 31/T 451—2021)和江苏省的《城镇供水厂生物活性炭失效判别和更换标准》(DB 32/T 4245—2022),具有一定指导意义,但是O₃-BAC工艺的处理效能与水源水质具有条件相关性,对于特定水源,更换比例和更换方式仍应针对性开展研究^[6-7]。

2010年,W市以太湖为水源的X、Z水厂在原有常规处理工艺的基础上,增加了O₃-BAC深度处

理工艺,并于2011年4月投入运行。由于投运时间较长,活性炭碘值、亚甲基蓝值逐渐衰减,远低于新炭标准,BAC池出水虽符合国家标准与江苏省地标,但对部分有机物的去除效果逐渐降低,BAC池可能无法应对原水水质突发风险。O₃-BAC深度处理工艺应在保证水质达标的基础上,预留一定应对原水水质突发污染的能力,满足水厂优质出水的处理需求。为有效保证水厂出厂水达到优质饮用水标准,两水厂于2019年11月分批进行活性炭的更换。为探究更换比例对活性炭后续应用效能的影响,更换过程中分别针对BAC池进行了100%更换和50%更换的对比,同时预留一格BAC池作为空白对比。本文重点针对两水厂更换后的BAC池进行跟踪分析,明确更换比例对其净化效能、自身性状的影响,探讨活性炭的优化更换比例和更换方式,为O₃-BAC工艺的运行管理及活性炭的更换提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 研究对象

X、Z水厂O₃-BAC工艺的基本情况如表1所示,换炭前活性炭颗粒的基本参数如表2所示。

表1 水厂O₃-BAC基本情况
Tab. 1 Basic Situation of O₃-BAC in WTPs

水厂名称	设计规模/(m ³ ·d ⁻¹)	流向	活性炭类型	粒径/目	炭层厚度/m	垫层种类及厚度	设计滤速/(m·h ⁻¹)	分格数量	单格面积/m ²	滤池类型
X水厂	25万	下向流	柱状炭/破碎炭	8~30	2.1	石英砂(d ₁₀ =0.6 mm),0.6 m 砾石(2~16 mm),0.45 m	9.0	12	96	翻板滤池
Z水厂	60万	下向流	压块破碎炭	8~30	2.1	石英砂(d ₁₀ =0.6 mm),0.6 m 砾石(2~16 mm),0.45 m	9.6	28	96	翻板滤池

1.2 研究方法

(1)换炭后活性炭理化性能指标及BAC池水质净化效能的监测

2019年11月换炭后,两家水厂各选取一格100%更换、50%更换和未更换BAC池作为跟踪对象,每月采集各BAC池的进出水水样、分层炭样(表层10~15 cm、深层150 cm),测定水质及活性炭变化情况,连续跟踪检测时间为2年。BAC池的基本

信息与跟踪检测指标如表3所示。

(2)不同更换比例BAC池内的活性炭微生物多样性监测

换炭后,对旧BAC池、100%换BAC池与50%换BAC池监测BAC微生物多样性的变化情况。

1.3 分析方法

常规指标:水质指标与活性炭理化指标的检测依据或检测方法如表4所示。

表2 更换前活性炭的基本性能参数

Tab. 2 Basic Performance Parameters of Activated Carbon before Replacement

水厂名称	活性炭类型		强度	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	孔容积/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	碘值/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	亚甲基蓝值/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	生物量/ ($\text{nmol P} \cdot \text{g}^{-1}$)	装填密度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
X 水厂	柱状炭	表层炭	98%	282	0.17	164	59	195	628
		深层炭	98%	186	0.13	177	65	158	646
	破碎炭	表层炭	97%	381	0.22	126	42	240	588
		深层炭	98%	160	0.11	138	56	219	611
Z 水厂	压块破碎炭	表层炭	98%	154	0.11	147	46	253	665
		深层炭	98%	114	0.09	154	50	247	672

注:此处表层炭指表层 10~15 cm 的炭,深层炭指 150 cm 处的炭

表3 监测 BAC 池基本信息与监测指标

Tab. 3 Basic Information and Monitoring Indices of BAC Filters

水厂名称	BAC 池号	原炭种类型	更换炭种类型	更换比例	活性炭监测指标	水质监测指标
X 水厂	X-1#	柱状炭	-	0	碘值、亚甲基蓝值、 生物量、比表面积、 孔容积、强度	TOC、阿特拉津、 三卤甲烷总量
	X-4#	柱状炭	压块破碎炭	100%		
	X-10#	柱状破碎炭	压块破碎炭	50%		
Z 水厂	Z-1#	压块破碎炭	-	0		
	Z-5#	压块破碎炭	压块破碎炭	100%		
	Z-3#	压块破碎炭	压块破碎炭	50%		

表4 检测依据或方法

Tab. 4 Detection Basis or Method

项目	检测依据或检测方法
碘值	《煤质颗粒活性炭试验方法 碘吸附值的测定》(GB/T 7702. 7—2008)
亚甲基蓝值	《煤质颗粒活性炭试验方法 亚甲基蓝吸附值的测定》(GB/T 7702. 6—2008)
生物量	脂磷法
比表面积孔容积	《煤质颗粒活性炭试验方法 孔容积和比表面积的测定》(GB/T 7702. 20—2008)
强度	《煤质颗粒活性炭试验方法 强度的测定》(GB/T 7702. 3—2008)
TOC	《生活饮用水标准检验方法 有机物指标》(GB/T 5750. 7—2006)
三卤甲烷	《生活饮用水标准检验方法 消毒副产物指标》(GB/T 5750. 10—2006)
阿特拉津	《饮用水中 450 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》(GB/T 23214—2008)

微生物多样性:采用 16S rRNA 高通量测序的方法测定活性炭微生物多样性^[8]。

2 结果和讨论

2.1 换炭后活性炭理化性能指标的变化

2.1.1 碘值与亚甲基蓝值

X、Z 水厂换炭后运行过程中活性炭碘值、亚甲基蓝值的变化情况如图 1 所示。

由图 1 可知,换炭后活性炭碘值与亚甲基蓝值

整体呈下降趋势,且 100% 更换比例的活性炭下降速率较大,这可能与其净化效能有关。此外,各 BAC 池表层和深层活性炭的碘值和亚甲基蓝值存在轻微差异,但包括 50% 更换比例的 BAC 池在内的所有 BAC 池均没有出现显著的分层现象。一般认为新活性炭和旧活性炭颗粒在比重上存在一定的差异,正常水力条件下会出现分层,但结合课题组前期的研究结果,新、旧活性炭颗粒粒度上的不同分布可在一定程度弥补比重上的差异,使 BAC 池各层活性

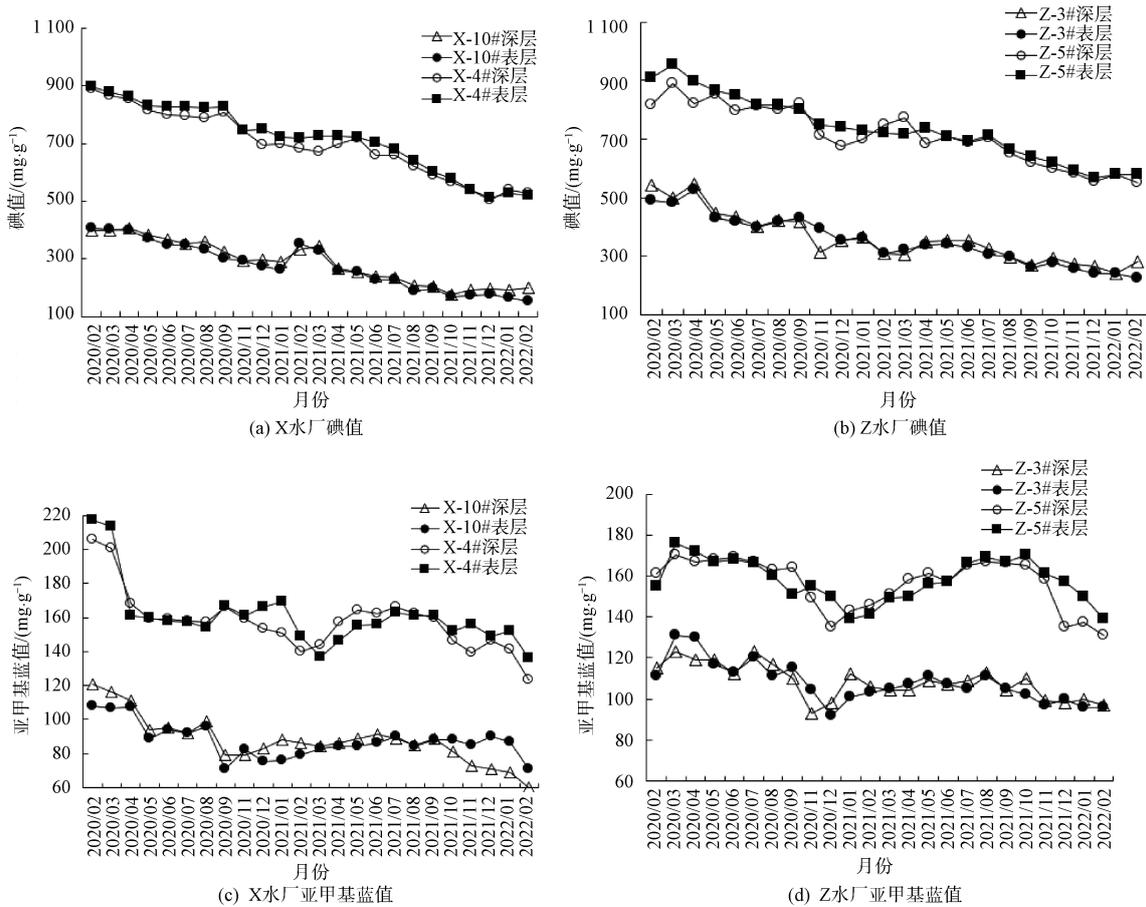


图1 两水厂100%换BAC池与50%换BAC池活性炭碘值与亚甲基蓝值变化

Fig. 1 Changes of Iodine Values and Methylene Blue Values of Activated Carbon in Two WTPs with 100% Carbon Replacement Filters and 50% Carbon Replacement Filters

炭整体呈现均匀的状况。

2.1.2 生物量

X、Z水厂换炭后运行过程中BAC生物量的变化情况如图2所示。

图2的结果表明,自2019年11月换炭后,BAC池内生物量随使用时间呈现增加的趋势,运行半年后基本稳定,且更换比例为50%的BAC池内生物量较100%更换BAC池内的生物量略高,且挂膜成熟时间也较短,原因可能在于BAC池内旧炭颗粒上生物膜的影响。由图2可知,换炭后的BAC池在生物膜基本成熟稳定后呈现了一定的分布和变化规律:1)表层活性炭生物量整体高于深层活性炭;2)各炭层生物量随季节呈现一定的变化,冬季生物量下降,之后生物量逐步增加至稳定水平。

2.1.3 比表面积与孔容积

X、Z水厂换炭后运行过程中BAC比表面积与

孔容积的变化情况如图3所示。

由图3可知,活性炭的比表面积与孔容积呈现相似的变化规律,随使用时间逐渐降低,且100%更换比例的活性炭下降速率较大。此外,各BAC池表层和深层活性炭的比表面积与孔容积也存在轻微差异,但未出现显著的分层现象。不同更换比例的活性炭比表面积与孔容积的变化情况与各自对应活性炭碘值与亚甲基蓝值的变化情况类似。

2.1.4 强度

由表5可知,无论是100%更换比例还是50%更换比例的活性炭,换炭后活性炭的强度无太大差别,且随着运行时间的延长,活性炭强度相对稳定,下降速率缓慢。

2.2 换炭后BAC池的水质净化效能

O₃-BAC深度处理工艺以有机物为主要去除目标,为探究换炭后BAC池水质净化效能的影响,选

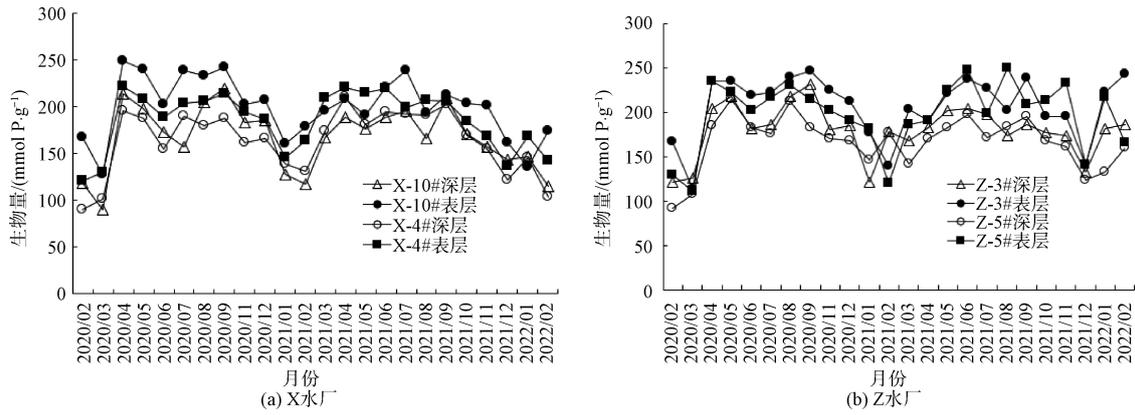


图2 两水厂换炭后生物量变化

Fig. 2 Changes of Biomass after Activated Carbon Replacement in Two WTPs

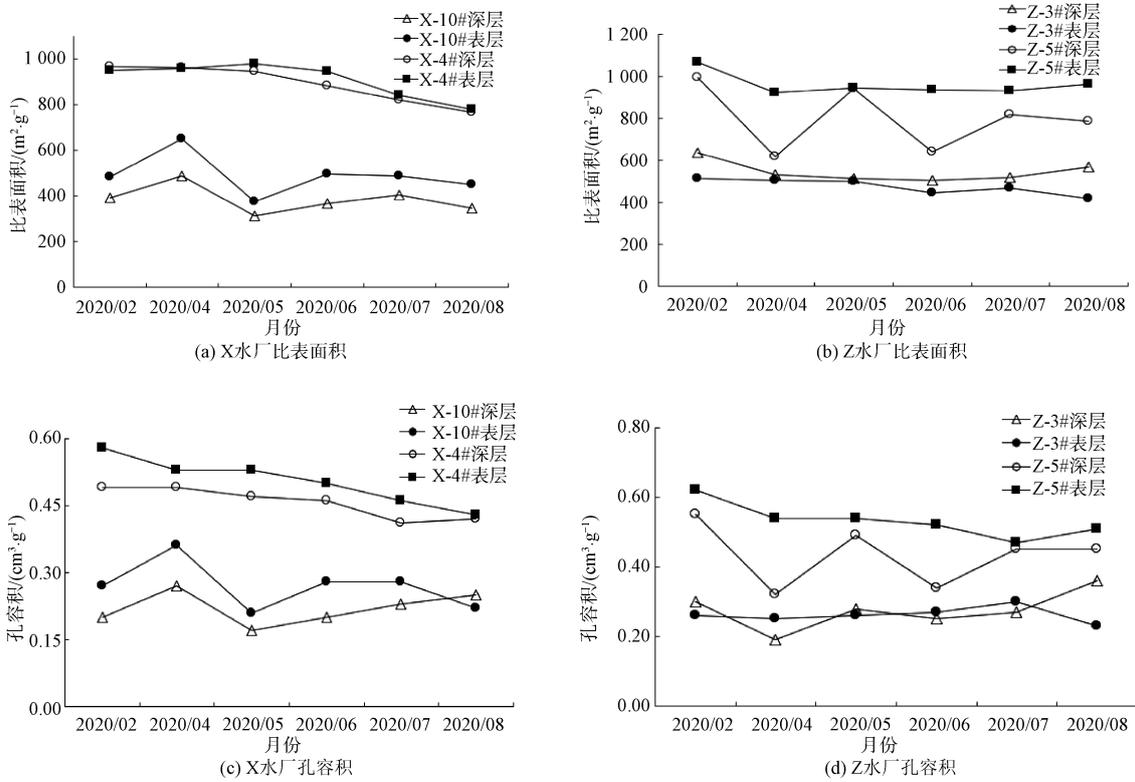


图3 两水厂换炭后比表面积与孔容积变化

Fig. 3 Changes of Specific Surface Area and Pore Volume after Activated Carbon Replacement in Two WTPs

表5 两水厂换炭后强度变化

Tab. 5 Changes of Strength after Activated Carbon Replacement in Two WTPs

月份	X-10#深层	X-10#表层	X-4#深层	X-4#表层	Z-3#深层	Z-3#表层	Z-5#深层	Z-5#表层
2020/07	95%	96%	97%	97%	96%	96%	97%	98%
2020/12	97%	97%	95%	98%	97%	98%	97%	98%
2021/02	96%	97%	97%	97%	97%	96%	97%	97%
2021/08	95%	95%	95%	96%	95%	95%	95%	96%

择 TOC、阿特拉津、三卤甲烷作为研究指标。TOC 是以碳的含量来表示水中有机物质总量的一个综合指标。阿特拉津为微量有机污染物的典型代表,微量有机污染物是影响水质安全的重要指标。水厂中含氯消毒剂的广泛使用降低了饮用水的微生物风险,但与此同时会产生多种具有潜在毒性的消毒副

产物。三卤甲烷是各类消毒副产物中浓度最高的一类,也是目前饮用水安全关注的重点,饮用水中三卤甲烷需要尽可能保持在较低水平。

2.2.1 TOC

两水厂 BAC 池换炭后对 TOC 的去除效果如图 4 所示。

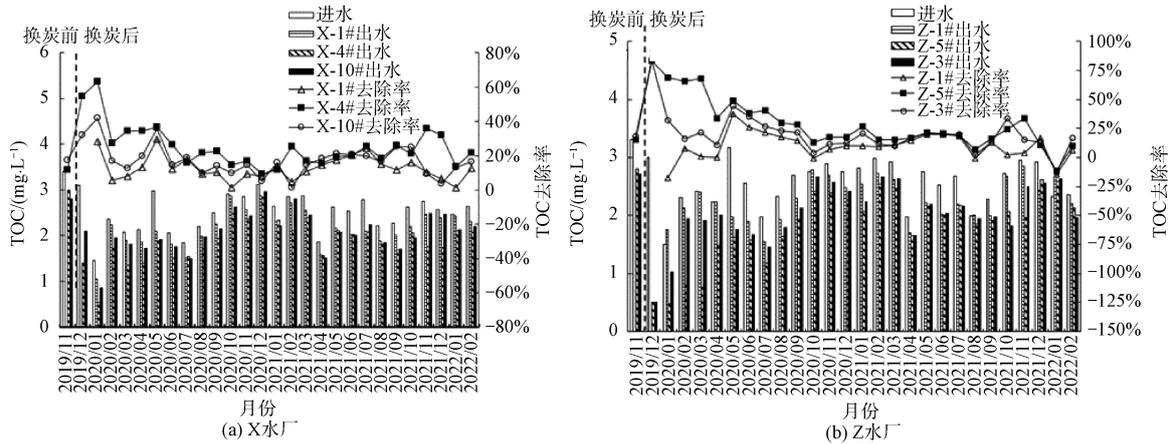


图 4 不同更换比例炭池对 TOC 的去除效果

Fig. 4 Removal Effect of TOC by Different Replacement Ratios of BAC Filters

由图 4 可知,100%更换、50%更换以及未更换 BAC 池对 TOC 均有一定的去除效果,但去除效率存在明显的差异。100%更换 BAC 池的去除效率明显高于 50%更换 BAC 池和未更换 BAC 池,运行前半年来对水中 TOC 的平均去除率可达 40%左右(X 水厂)、50%左右(Z 水厂),且较高的去除效率现象在整个监测周期均存在,但差值随时间逐渐降低。此外,50%更换和未更换 BAC 池在冬季去除 TOC 的平均效率均低于夏季,且差值随使用时间逐渐增大,说

明生物降解作用的贡献逐步增大。

2.2.2 阿特拉津

阿特拉津是一种典型的内分泌干扰物,具备使用范围广泛、水源水中检出概率较高的特点,常被作为微量有机污染物的典型代表。水厂换炭后对阿特拉津的去除效果如图 5 所示。

图 5 的结果表明,活性炭池更换比例对阿特拉津的去除效果具有较大的影响,100%更换 BAC 池的去除效率明显高于更换 50%更换和未更换炭池。

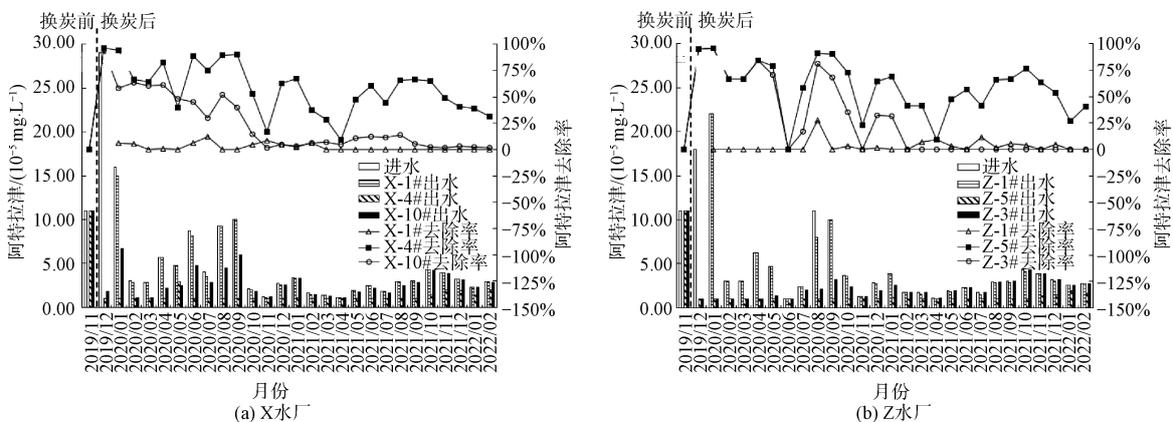


图 5 不同更换比例炭池对阿特拉津的去除效果

Fig. 5 Removal Effect of Atrazine by Different Replacement Ratios of Activated Carbon Filter

运行前半年去除率可达到 60%左右(X 水厂)、70%左右(Z 水厂),出水阿特拉津质量浓度基本都低于检出限(0.000 01 mg/L),后续去除效率有下降的趋势,这与前期研究^[9]的结果类似。原因在于阿特拉津的生物降解作用较弱,主要通过活性炭吸附作用途径进行去除,引起活性炭的吸附性能决定着阿特拉津的去除效果。需要注意的是,未更换 BAC 池对阿特拉津基本没有去除效果,这也表明使用年限较

长的活性炭对水中微量有机物的控制效能需要予以充分重视。

2.2.3 三卤甲烷总量

三卤甲烷是各类消毒副产物中浓度最高的一类,具有潜在的致癌风险,是目前饮用水安全关注的重点。水厂活性炭池更换后出水的三卤甲烷总量的变化如图 6 所示。

图 6 的结果表明,更换比例对 BAC 池单元控

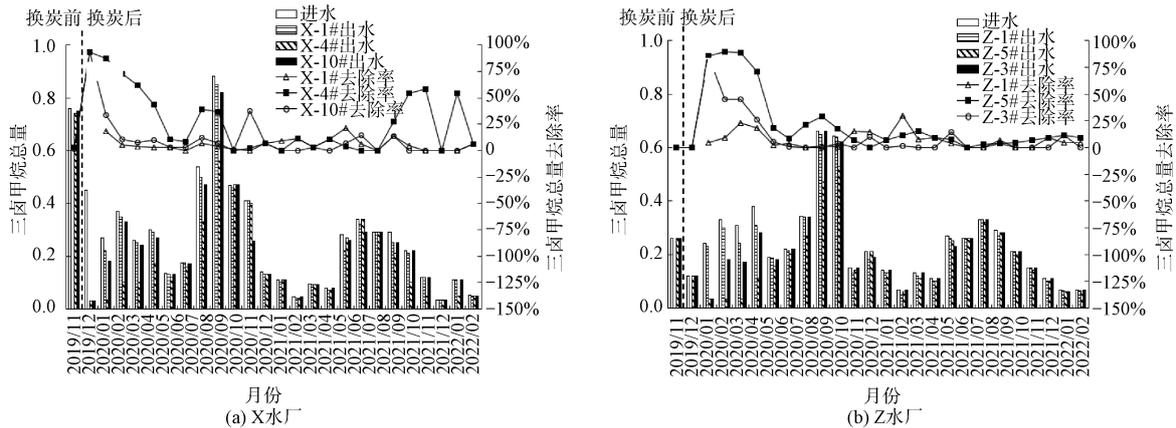


图 6 不同更换比例 BAC 池对三卤甲烷生成势的控制效果

Fig. 6 Control Effect of Different Replacement Ratios on Trihalomethane Formation Potential of BAC Filters

制三卤甲烷总量的控制效能具有一定影响,较高的更换比例有利于三卤甲烷生成势的控制,运行前半年,100%更换 BAC 池对水中三卤甲烷的平均去除率可达 70%左右,原因同前述。

2.3 BAC 更换比例及更换方式优化探讨

2.3.1 更换比例的确定

BAC 更换比例需要综合换炭后 BAC 的净化效能及其功能需求和更换成本来确定。

(1) 净化效能

结合两个水厂换炭后的长期监测结果以及前期的相关工作^[7,10]可以看出,较高的活性炭更换比例有利于提升 BAC 单元的净化效能,且可在较长的使用时间内维持较高的去除效率。基于 BAC 主要依靠吸附和生物降解及其协同作用来净化进水中的典型污染物,更换比例较高的 BAC 池整体具有较高的吸附性能,同时生物膜成熟后(3~6 个月)的生物降解活性较高,从而具有较高的净化能力。结合图 1 的结果可知,100%、50%更换的活性炭池在使用 2.5 年后碘值分别降低至 600、200 mg/g 左右,更换比例为 50%的活性炭池吸附能力已降低至较低水平,净

化效能降低的同时,对水质变化的适应能力也减弱,接近再次更换的时间节点。

(2) 更换成本

活性炭更换一般包括废旧活性炭取出及处置、洗池及消毒、新活性炭填充以及新活性炭清洗等步骤,特殊情况下还需要针对待填充活性炭进行预清洗或预处理,而其更换成本也主要包括新活性炭购置及上述步骤所涉及的费用。就单次更换而言,100%更换的成本相对较高,但综合考虑净化效能及更换后的使用年限,整体更换成本可能会明显降低。

(3) 旧活性炭对更换后活性炭池的作用及意义

图 2 的结果间接反映了旧活性炭的存在有利于加速新更换活性炭的挂膜及成熟,这对于强化 BAC 吸附和生物降解的协同作用具有一定的推动作用。为进一步探讨旧活性炭对 BAC 挂膜的影响,进一步针对更换 BAC 池中的生物多样性进行了测定,结果如表 6 所示。活性炭微生物多样性的分析可以反映活性炭中微生物群落的丰度和多样性。ACE 指数和 Chao 指数越大,说明微生物群落的物种丰度越

高;Simpson 和 Shannon 指数表示微生物群落多样性的变化,Simpson 指数越小、Shannon 指数越大,微生物多样性越高。微生物群落的多样性越高,微生物的生物降解能力也越高。表 6 的结果表明,BAC 池中存有一定的旧活性炭有利于提升微生物的丰度(50%更换活性炭池的 ACE 指数和 Chao 指数高于 100%更换的活性炭池),并且促进炭附着微生物多样性的提升。

表 6 不同更换比例活性炭微生物多样性
Tab. 6 Microbial Diversity of Activated Carbon with Different Replacement Ratios

指标	旧炭池	100%更换炭池	50%更换炭池
Simpson 指数	0.019 1	0.025 0	0.022 0
Shannon 指数	4.942	4.552	4.771
Chao 指数	1 055.934	432.152	700.681
ACE 指数	1 074.142	493.929	752.937
测序覆盖率	0.995	0.992	0.993

2.3.2 更换时间节点及更换方式探讨

本次两水厂活性炭的更换时间选择在了 11 月,不利于活性炭的挂膜和快速成熟,也导致活性炭上生物膜完全成熟稳定需将近 6 个月,这显著长于通常条件下活性炭上生物膜的成熟期(3 个月左右)。但挂膜期间活性炭的吸附作用相对较强,可实现对部分难降解污染物的强化去除。因此,针对更换时间节点的选择除考虑挂膜速度等因素之外,尚需结合水厂实际存在的典型水质期的水质特征来合理确定。

《城镇供水厂生物活性炭失效判别和更换标准》(DB 32/T 4245—2022)指出,BAC 失效判别应以净水效能为主要依据,对于活性炭理化指标,碘值低于 250 mg/g、亚甲基蓝值低于 75 mg/g 时宜进行活性炭更换。数据显示,更换比例为 50%的活性炭池运行 2.5 年后,活性炭吸附能力已降低至较低水平,接近再次换炭的时间节点,因此,若仅考虑净化效能,全部更换活性炭可能会较合理。综合考虑活性炭挂膜速度及挂膜后的生物降解效能,BAC 池内存有适当比例的旧活性炭可能会有更理想的效果,且可以适当减少砂垫层和砾石层更换的费用,但具体旧炭的比例限值或应用方式尚需进一步的研究确定。

换炭操作过程中,水厂可根据相关指标判断活

性炭是否失效,提前制定科学合理的更换方案,确定更换的范围、格数等,确保所有 BAC 池内活性炭在其失效前得到更换,保障供水安全。换炭后,为促进微生物在活性炭表面的生长,挂膜期宜适当延长活性炭的反冲洗周期,同时避免高强度的冲洗,以降低挂膜阶段的生物量损失。换炭后至运行稳定期间的主要目标是尽快完成活性炭的挂膜过程,因此,需对炭上微生物的生长情况进行监测,以便了解炭上微生物的生长状况。

3 结论

(1)对以吸附作用为主要去除机理的污染物如 TOC、阿特拉津,100%换炭池对污染物的去除效果>50%换炭池>旧炭池。影响 BAC 的作用效能主要是 BAC 的生物降解作用,及时、快速地培养生物膜有利于 BAC 净化效能的充分发挥。BAC 挂膜的本质是水中微生物在活性炭上附着生长并不断增殖,最终形成优势菌种的过程,建议水厂在换炭后注重对活性炭生物指标的检测,可定期对活性炭微生物多样性进行测定,以便了解活性炭上微生物的生长情况,从而有助于判断挂膜情况。

(2)检测指标的优化。对于活性炭基本性能指标,换炭后的运行初期,可针对不同炭层深度检测活性炭的基本性能指标,在 BAC 池进入正常使用后,考虑经济成本,可采集混匀样品检测活性炭基本性能指标;对于水质指标,建议水厂夏季增加 BAC 池出水微生物与消毒副产物作为加密监测指标,同时密切观察前端加氯量的投加与各工艺环节出水消毒副产物的浓度,防止 BAC 池出水消毒副产物较高影响出厂水与后端管网水水质。

(3)换炭方式的优化。从处理效能角度考虑,活性炭的更换比例应以保证水厂水质安全为前提,逐步形成高效稳定的更换体系。由于旧炭的剩余吸附能力有限,且在混合使用中会出现 BAC 池出水污染物浓度高于进水的现象,从而影响出水水质,建议水厂从经济成本及长效利用两者情况下考虑换炭比例,较高的更换比例有利于保障 BAC 工艺单元的净化效能。对于以有机物为主要去除目标的水厂而言,可在经济预算范围内,提高活性炭更换比例,分批次实现 BAC 池的更换,换炭的节点建议在春季,新炭的挂膜速度较慢,经过几个月的时间后,BAC 池投入正常运行,并逐渐形成

生物膜,在冬季可以更好地去除以生物降解为主要去除机理的污染物。

参考文献

- [1] 李聪聪, 刘建广, 孙韶华, 等. 饮用水中有机物的生物活性炭工艺处理机理与应用[J]. 净水技术, 2018, 37(4): 47-52, 70.
- [2] 陈炯豪, 罗沛豪, 王苏女. 南方某水厂更换活性炭后试运行阶段性能研究[J]. 供水技术, 2021, 15(2): 1-5.
- [3] 刘成, 杨瑾涛, 李聪聪, 等. 生物活性炭在应用过程中的变化规律及其失效判定探讨[J]. 给水排水, 2019, 55(2): 9-16.
- [4] 高志鹏, 刘成, 陶辉, 等. 生物活性炭的热再生效能及在水厂中的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(15): 48-53.
- [5] LIU C, LI C, SHAN Y, et al. Comparison of two typical regeneration methods to the spent biological activated carbon in drinking water[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27: 16404-16414. DOI: 10.1007/s11356-019-07440-9.
- [6] 吴声达, 刘哲, 陈朝湘, 等. 深度处理生物活性炭对微量污染物的吸附及解吸与颗粒活性炭滤料的更换周期[J]. 净水技术, 2021, 40(5): 64-68.
- [7] 陈诗琦, 刘成, 沈海军, 等. 水厂失效生物活性炭的更换策略探讨[J]. 中国给水排水, 2020, 36(17): 49-56.
- [8] SUN Z H, LIU C, CAO Z, et al. Study on regeneration effect and mechanism of high-frequency ultrasound on biological activated carbon[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 44: 86-96. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.01.024.
- [9] 盛誉, 陈卫, 刘成, 等. 臭氧/生物活性炭工艺对阿特拉津的去除效能研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(5): 72-74.
- [10] 吴瑾妤, 石鲁娜, 焦洁, 等. 水厂活性炭滤池换炭方式对生产运行的影响[J]. 给水排水, 2021, 57(4): 21-27.

(上接第 45 页)

参考文献

- [1] 薛琦, 朱光灿, 戴小冬, 等. 臭氧—生物活性炭工艺对微污染长江原水中有机物的去除特性[J]. 净水技术, 2015, 34(4): 36-41.
- [2] FENG L, WATTS M J, YEH D, et al. The efficacy of ozone/BAC treatment on non-steroidal anti-inflammatory drug removal from drinking water and surface water[J]. Ozone: Science & Engineering, 2015, 37(4): 343-356.
- [3] 陆劲蓉. 某水厂生物活性炭效能评估及换炭模式研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [4] 黄汗青, 吴婉华, 吴声达, 等. 水厂生物活性炭滤池炭滤料长期运行的性能变化及更换周期探讨[J]. 给水排水, 2018, 54(5): 39-41.
- [5] KLYMENKO N A, GRECHANIK S V, BEZPOYASKO V A, et al. Raising the efficiency of water treatment by means of activated carbons with improved sorption characteristics[J]. Journal of Water Chemistry and Technology, 2013, 35(6): 259-264.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 生活饮用水净水厂用煤质活性炭: CJ/T 345—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [7] 高志鹏, 刘成, 陶辉, 等. 生物活性炭的热再生效能及在水厂中的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(15): 48-53.
- [8] 胡淑圆, 石鲁娜, 笄跃武, 等. 水厂活性炭池长期运行的跟踪分析[J]. 给水排水, 2019, 55(11): 13-17.
- [9] 韩珀, 康雅, 高红涛, 等. 深度处理水厂上下向流活性炭池运行分析[J]. 给水排水, 2019, 55(1): 20-23, 30.
- [10] 高炜. 给水深度处理工艺中活性炭选用、失效判定及运行管理[J]. 净水技术, 2018, 37(5): 1-5.
- [11] 刘成, 杨瑾涛, 李聪聪, 等. 生物活性炭在应用过程中的变化规律及其失效判定探讨[J]. 给水排水, 2019, 55(2): 9-16, 21.
- [12] 肖倩. 长期运行生物活性炭滤池滤料性能变化与失效因素分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [13] 黄美心. 城镇供水厂臭氧活性炭工艺运行管理技术评估研究[D]. 广州: 广州大学, 2021.
- [14] 笄跃武, 顾新春, 胡侃, 等. 水厂 O₃-BAC 深度处理工艺系统的运行管理[J]. 中国给水排水, 2013, 29(18): 48-55.
- [15] 贾瑞琦, 陈梦雪, 李丹阳, 等. 生物粉末活性炭工艺生物质量浓度测定方法比较[J]. 中国给水排水, 2020, 36(9): 17-21.
- [16] 中国国家标准化委员会, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 煤质颗粒活性炭试验方法 强度的测定: GB/T 7702.3—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] 田瑞超. 基于粗糙颗粒动力学流化床内液固两相流动数值模拟研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2021.
- [18] 张栋喆. 气水反冲洗过程对滤层影响的实验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014.
- [19] 白谨豪. 多喷嘴喷动床内干、湿颗粒流动与传热过程 CFD-DEM 数值模拟[D]. 西安: 西北大学, 2021.
- [20] 王者超, 乔丽苹. 弹性力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [21] 中国国家标准化委员会, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 脱硫脱硝用煤质颗粒活性炭: GB/T 30201—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [22] 谷正. 消毒剂胁迫下颗粒物对饮用水中微生物的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- [23] 刘世婷. 消毒剂反冲洗对活性炭滤池有机物降解及微生物影响[D]. 北京: 清华大学, 2019.
- [24] AMELOOT N, GRABER E R, VERHEIJEN F G A, et al. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs[J]. European Journal of Soil Science, 2013, 64(4): 370-390.