

刘成, 兰童, 陈卫. 水厂生物活性炭失效判定的几个关键问题及建议[J]. 净水技术, 2022, 41(12):1-8,158.

LIU C, LAN T, CHEN W. Key factors and suggestion on failure judgement for spent BAC in WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(12): 1-8,158.



扫我试试?

水厂生物活性炭失效判定的几个关键问题及建议

刘成^{1,2}, 兰童², 陈卫²

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏南京 210098; 2. 河海大学环境学院, 江苏南京 210098)

摘要 生物活性炭(biological activated carbon, BAC)失效判定依据是目前饮用水处理领域关注的热点之一。针对水厂 BAC 失效判定过程中需要充分考虑的 BAC 功能定位、净化机理及作用过程、生物降解效能变化规律、生物降解副产物以及旧 BAC 资源化利用等方面进行了详细论述, 结合需遵循的基本原则探讨了 BAC 失效判定的基本依据及其在实际水厂中实施的基本过程, 并进一步给出了水厂日常管理中针对 BAC 进行“健康体检”的建议及操作方法。研究结果可为我国供水厂 BAC 的失效判定提供一定参考。

关键词 饮用水 生物活性炭 失效判定 深度处理 评价体系

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)12-0001-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.12.001

Key Factors and Suggestion on Failure Judgement for Spent BAC in WTP

LIU Cheng^{1,2}, LAN Tong², CHEN Wei²

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

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

Abstract Failure judgement of biological activated carbon (BAC) is one of hot topic in the field of drinking water treatment. According BAC failure determination process in WTPs, functional orientation, removal mechanism and process, variation law of biological degradation, byproduct of bio-degradation and re-utilization of spent BAC were expressed in detail. Combined with the basic principles to be followed, the basic basis of BAC failure determination and the basic process of its implementation in the actual WTP were discussed. In addition, the “physical examination” to the BAC in the practice of daily management of WTP was proposed preliminarily. The results can supply some reference for the WTPs which have BAC process at home.

Keywords drinking water biological activated carbon(BAC) failure judgement advanced treatment assessment system



刘成, 河海大学教授, 博士生导师。主要研究方向为特殊水质原水安全高效处理、城市给排水处理、污水资源化利用及水环境改善等领域的技术开发及应用, 获得授权发明专利 50 余项, 其中饮用水除硬度、除硝酸盐、除硫酸盐、除氟以及污水资源化利用等方面的关键技术已在国内 50 余个水处理工程中获得应用。

[收稿日期] 2022-11-16

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012X07403-001)

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

臭氧-生物活性炭(O_3 -BAC)工艺近年来在国内水厂中广泛应用,对提升水厂出水水质、保障供水安全具有重要的作用。相关研究及工程应用^[1]结果表明, O_3 -BAC工艺可有效强化高锰酸盐指数(以 O_2 计)、微量有机污染物、氨氮去除以及控制后续消毒过程中三卤甲烷和卤乙酸的生成。生物活性炭(BAC)单元工艺的净化效能随使用时间呈现下降的趋势,且活性炭颗粒的自身性能指标也逐渐降低^[2],至特定时间点无法满足水厂的使用要求^[3],可认为BAC已“失效”,需更换或再生。然而目前针对水厂BAC失效的判定依据以及在水厂实际应用中的操作尚没有完全公认的思路和方法。

国内针对水厂BAC失效判定依据的研究大致可分为两个阶段:前期主要以单一的指标作为依据,如以活性炭的碘值^[4]、BAC针对特定水质指标的净化效能^[5]等作为判定依据;后期则进一步针对判定依据的系统性、前瞻性和可操作性进行了细化,形成了失效判定的相应导则或标准^[6-7],提升了对水厂操作实践的指导作用。河海大学在国家科技支撑计划“高藻水源水处理技术与工艺研究及示范(2007BAC26B03)”和水专项“高藻、高有机物湖泊型原水处理技术集成与示范(2008ZX07421-002)”“江苏太湖水源饮用水安全保障技术集成与综合示范(2012ZX07403-001)”“常州市太湖流域水源饮用水安全保障技术与应用示范(2017ZX07201002)”以及无锡、南京等水司委托的横向课题资助下,针对水厂 O_3 -BAC工艺的机理及运行管理优化进行了系统研究,其中在水专项“江苏太湖水源饮用水安全保障技术集成与综合示范(2012ZX07403-001)”中负责了研究任务“活性炭失效判别和更换规程”,专门针对水厂活性炭的失效判定及后续更换、再生进行了研究,形成了《江苏省城镇供水厂生物活性炭失效判别标准和更换导则》(苏建城〔2016〕493号),对水厂BAC失效判定依据及后续更换工作给出了框架性的指导意见。

然而上述导则或标准在实际水厂中的落地实施尚需结合水厂实际情况进行进一步的细化。本文将结合各水厂在确定BAC失效判定依据及在水厂实际应用操作过程中需要考虑的几个关键问题进行论述,并针对水厂实际应用中的实施和管理给出了建议,以期水厂提供指导或借鉴。

1 水厂BAC失效判定需明确的几个关键问题

1.1 水厂 O_3 -BAC、BAC工艺应用的功能定位

水厂BAC失效判定首先需要明确失效的“效”的含义,确定与之直接相关的性能参数。由于在水源水质、常规工艺组成、运行及其净化能力等方面存在一定的差异,各水厂 O_3 -BAC深度处理工艺设置的目的及其功能定位也不相同。综合来看,水厂设置 O_3 -BAC工艺的目的主要用于强化去除或控制以下几个方面的水质指标。

(1)一般有机物及消毒副产物生成势。水中一般有机物或者天然有机物所包含的种类较多,逐一测定的难度较大,通常采用高锰酸盐指数(以 O_2 计)、DOC或 UV_{254} 等指标来表示。这些有机物种类对人体或生物体健康并没有直接危害,但会在消毒过程中与氯反应生成多种有害的消毒副产物。水厂实践中常通过控制水中有机物含量和优化消毒工艺来进行控制,其中,高效去除有机物、降低消毒副产物生成势是重要的途径。 O_3 -BAC单元工艺是饮用水处理工艺中降低有机物含量的重要单元,也是通常被水厂用来评价其净化效能的依据之一。

(2)微量有机污染物。主要包括在水中含量较低但对水质会产生一定负面影响的有机物种类,主要包括内分泌干扰物、持久性污染物、农药、药物及个人护理品(PPCPs)等,其中大部分被归为“新污染物”的范畴。此类物质大部分无法在常规处理工艺中有效去除, O_3 -BAC工艺可实现对大部分种类“新污染物”的去除,对于水质安全保障具有重要的意义。

(3)致嗅物质。其中包括生物致嗅物质和化学类致嗅物质,前者主要是指土臭素(GSM)、2-甲基异茨醇(2-MIB)、 β -环柠檬醛、硫醇、硫醚类等由于生物因素所产生的致嗅类物质,后者则主要包括醛、酮、胺类及氯、氯胺类消毒剂等导致水呈现味道的化学物质。基于其分子结构上的特征,大部分致嗅物质可通过氧化、生物降解、吸附等多种途径进行去除, O_3 -BAC工艺可通过臭氧氧化、活性炭吸附及生物降解等途径等实现对大部分种类致嗅物质的高效去除。

(4)氨(以N计)。它是氨氮在《生活饮用水卫

生标准》(GB 5749—2022)中的新名称,实际水厂处理中主要通过生物降解氧化(折点氯化)或应急投加沸石类净化材料等途径进行去除。 O_3 -BAC 工艺可实现对氨的高效去除,其中 BAC 单元可以通过生物降解途径(同化利用和异化分解)实现对水中氨的去除或转化,生物活性或生物降解能力以及水温等是影响氨去除的关键因素。

(5)金属离子。水源水中含有多种以离子形态存在的典型金属离子,其中部分为具有一定危害性的重金属离子。BAC 在应用过程中对水中部分金属离子具有一定的去除作用,而臭氧氧化则通过改变金属离子的价态及其在水中存在形态而强化其去除。

(6)应对典型突发污染物。突发或者风险污染物是目前影响供水安全的关键因素,大部分水厂都结合水厂自身情况编制了应急预案,并设置了相应的应急处理措施。课题组近年来的研究表明, O_3 -BAC 工艺对水厂应对典型水源突发污染物具有较好的补充作用,可通过臭氧氧化、生物降解、吸附等途径有效提升水厂应对突发污染的能力。

一般而言,臭氧氧化工艺单元的效能主要通过投加量及接触时间进行调整,与其使用年限关系不

大,即 O_3 -BAC 工艺净化效能随时间的变化主要源于 BAC 工艺单元净化效能的改变,因此,针对 O_3 -BAC 工艺的功能定位及其失效判定需要重点考虑 BAC 单元的效能变化。需要注意的是,在水厂实际应用中针对 O_3 -BAC 或 BAC 工艺的功能定位可能是上述功能中的一种或多种。考虑到饮用水水质安全的重要性和敏感性,在多种功能定位共存时的 BAC 失效判定应按最不利情况来考虑。

1.2 BAC 净化水质的作用机理及净化过程

BAC 净化过程中涉及的作用途径及其机制相对复杂,且随使用时间呈现一定的变化。一般认为 BAC 在应用前期以吸附作用为主,而在生物膜成熟之后生物降解则占绝对优势。然而在 BAC 净化过程中存在一个客观的现象:BAC 的净化效能随着使用时间呈现逐步降低的趋势,而碘值、微孔容积等表征吸附性能的指标在 BAC 在整个应用过程中均呈现下降的趋势,且在不同时间段降低的速率存在一定差异^[2],这也说明吸附作用贯穿于 BAC 的整个作用过程,且在不同应用阶段的贡献不同。综合前期的研究结果,初步拟合了 BAC 颗粒的基本组成及净化过程(图 1)。

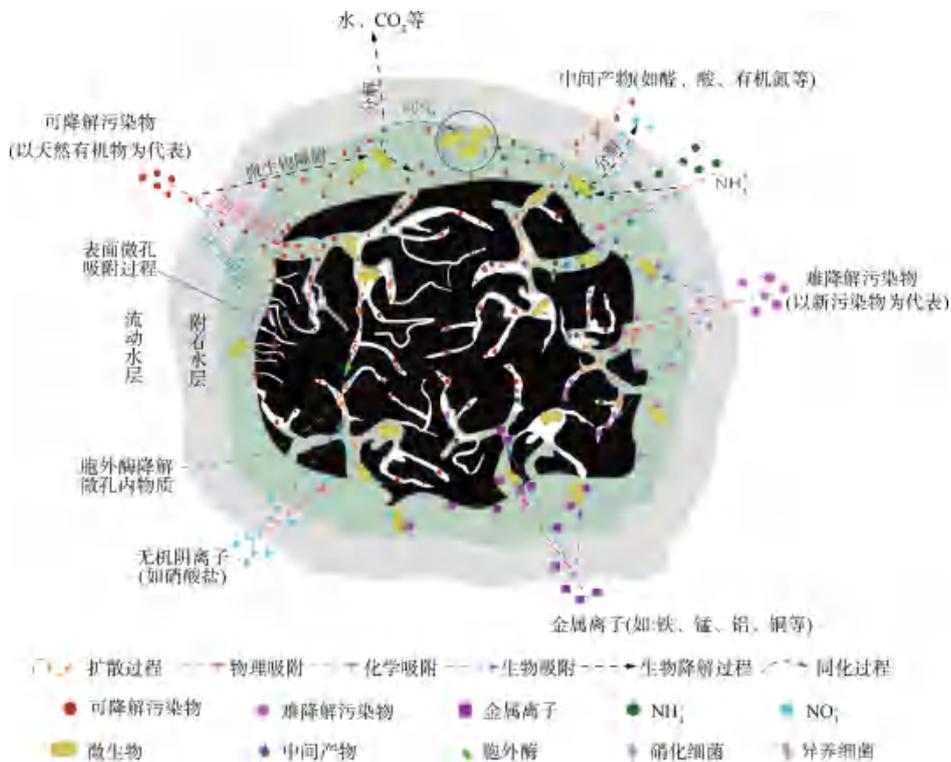


图 1 BAC 颗粒的基本组成及净化过程示意图

Fig. 1 Basic Composition and Purification Process Diagram of BAC Particles

由图 1 可知,附着生物膜成熟后的 BAC 在基本组成结构上具有以下基本特征:1)生物膜主要包裹于 BAC 颗粒表面及大孔内,且具备一定的通透性,可作为水中污染物向活性炭内部中孔、微孔扩散的通道;2)生物膜外侧存在附着水层,作为与流动水层之间物质扩散和交换的通道;3)BAC 颗粒表面也存在数量不等的微孔,对于快速吸附过程中具有重要作用,且可较易被再生^[8]。

图 1 的结果也表明,水中污染物净化过程、作用机理及在 BAC 颗粒上的分布与其自身性质有直接关系,分别通过生物分解转化、生物同化、生物吸附、物理吸附、化学吸附等途径中的一种或多种作用实现有效去除。需要特别注意的过程包括:1)吸附在活性炭孔隙内的污染物可被扩散到孔道内的胞外水解酶转化、分解,导致其从活性炭孔隙内发生脱附作用,并在反向扩散过程中被微生物膜进一步截留、降解,实现部分活性炭孔隙的恢复和局部再生;2)金属离子、典型阴离子正常情况下主要通过化学吸附、物理吸附以及生物吸附等作用途径进行去除,且会长期积累在活性炭的孔隙结构内,是造成 BAC 颗粒灰分在使用过程中持续增加的关键原因^[9];3)污染物降解过程中的同化作用导致 BAC 颗粒上生物膜厚度逐步增厚,并通过生物膜内自身调节机制和反冲洗过程的冲刷作用呈现动态变化,过程中会影响 BAC 的净化效能及代谢产物的种类及产率,并最终影响处理出水水质。

此外,需注意的难点是难降解污染物(其中部分为典型新污染物)主要通过浓度梯度驱动作用吸附在 BAC 颗粒内,并可能因为进水中污染物的浓度变化导致出现脱附现象,进而出现“负去除”的可能,这在水质周期性变化比较明显的水厂以及应急处理过程中需要特别关注。

1.3 BAC 生物降解效能随使用时间的变化及其演变规律

生物降解效能在 BAC 工艺净化过程中具有重要贡献,尤其是在生物膜成熟并基本稳定后的应用阶段。BAC 的生物降解性能主要受到生物膜厚度、生物群落组成及相互间的协作关系、生物活性等因素的影响,一般认为 BAC 颗粒附着的生物量在 3~5 年后基本维持稳定^[2]。然而课题组近年的研究^[10]结果表明,BAC 颗粒上附着生物膜的生物膜厚度、

生物群落结构、生物多样性、生态位宽度随使用时间呈现一定的变化规律:1)BAC 附着生物膜所含有的微生物种类基本相近,但比例上会有一定程度的变化,根瘤菌、阿菲波菌属、硝化螺菌属等降解有机物和氨氮功能微生物的比例随使用时间显著降低;2)BAC 生物膜的生物多样性在 2 年后呈现明显的下降趋势,这对于保障微生物代谢能力和提高微生物群落的稳定性均有不利影响,并影响污染物去除效能。

进一步针对 BAC 颗粒上微生物组装机制的分析结果(图 2)表明,微生物组装机制在不同使用年限 BAC 的微生物群落组装过程中存在较明显的差别:1)有限扩散过程所占比例随使用年限逐步下降,且在 1 年和 2 年 BAC 发挥关键作用(47.91%~51.63%);2)均质扩散过程所占比例与 BAC 使用年限有关,在 3~7 年 BAC 生物膜中相对贡献较高,比例为 39.20%~46.21%;3)均质选择组装过程所占比例则随使用年限呈现升高趋势,在 8~10 年 BAC 中的微生物群落组装过程中的比例较高,为 59.09%~75.63%。一般认为,均质选择组装过程导致微生物群落结构的相似性增加^[11],降低了 BAC 群落多样性,并对微生物应对外界环境条件改变的能力产生明显的负面影响,这也说明 BAC 使用年限会在一定程度上影响应对水质条件突变的能力,并弱化水质突变条件下的 BAC 净化性能。

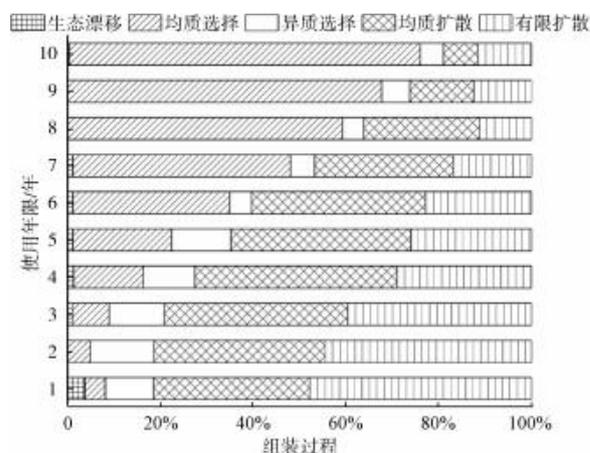


图 2 不同使用年限 BAC 微生物群落组装过程

Fig. 2 Assembly Process of BAC Microbial Community under Different Service Lives

1.4 O₃-BAC 工艺应用过程中可能对水质产生的负面影响

O₃-BAC 工艺通过氧化、生物降解和吸附等作

用去除水中污染物,同时也会生成一定的中间产物或副产物。前期关注较多的主要为臭氧氧化过程中生成的醛、溴酸盐之类的氧化副产物,并且给出了相应的控制对策^[12-13],然而针对 BAC 净化过程中的副产物或中间产物则关注较少。微生物在降解污染物的同时必然会生成相应的代谢产物,而其成分及特性与进水中的污染物种类及其微生物降解转化途径直接相关。使用年限直接影响 BAC 颗粒上附着的生物量及生物膜的厚度,并改

变微生物的生长环境及条件,进而影响代谢途径及代谢产物的种类、含量,进而影响出水水质。课题组前期针对不同使用年限 BAC 净化过程中溶解性有机氮(dissolved organic nitrogen, DON)的变化结果(图 3)表明,BAC 对 DON 的控制效能与其使用年限直接相关,使用年限较长的 BAC 可能出现负去除的情况,且负去除程度和出现机率在使用年限超过 5 年时随使用年限呈现明显的增大趋势。

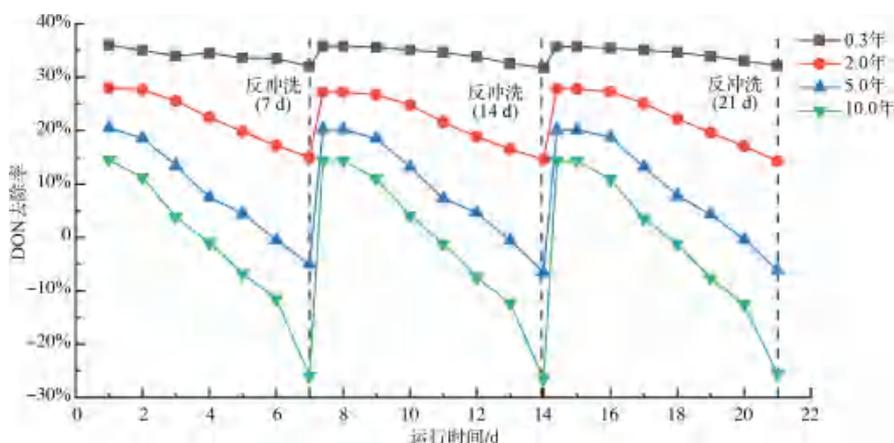


图 3 不同使用年限 BAC 进出水中 DON 含量的变化

Fig. 3 Changes of DON Content in BAC Inflow and Treated Water under Different Service Years

需特别注意的是,水中部分污染成分经微生物降解、转化后形成的中间代谢产物,可能具有比物质本身更高的毒性或危害性,诸如各类重金属的甲基化产物。此外,可能存在部分微量有害物质在 BAC 颗粒上累积并在特定条件下(诸如炭粒破碎、生物膜异常增厚等)集中释放的问题,而活性炭强度导致的细菌附着微细炭颗粒对消毒效能及出水水质的负面影响也被广泛关注。这些过程的发生程度及机率均与 BAC 的使用年限存在一定的关联,需要在失效判定过程中予以充分重视。

1.5 使用年限对 BAC 更换后的再利用途径及潜力的影响

在国家已明确“双碳”目标的背景下,BAC 失效判定尚需考虑更换下 BAC 的资源化利用及安全处置问题。一般情况下,生产 1 t 煤质活性炭需要消耗 3~5 t 优质原煤,而水处理过程中用途对活性炭的需求具有较明显的差异,这为水厂更换下的废旧 BAC 资源化利用提供了良好的前提条件。目前针对更换下的废旧 BAC 主要采用运回活性炭厂进行

回炉热再生的方式。课题组近期的研究^[14]结果表明,较长的使用年限会显著增加活性炭颗粒上有机和无机成分的累积量,影响热再生过程的恢复率、再生得率及机械强度(图 4),进而影响后续可能的资源化途径及经济效益。由于各水厂原水水质及 BAC 应用形式存在较明显的差异,使用过程中 BAC 颗粒上有机、无机成分的积累速率存在一定的差别,对更换下废旧 BAC 的再利用需要进行针对性考虑,并在 BAC 失效判定过程中基于活性炭全生命周期评估予以确定失效时间节点及判定依据。

此外,由于我国水厂 BAC 使用年限相对较长,在应用过程中富集了大量有机、无机成分,其中涉及到部分具有一定危害的无机重金属离子^[15],在资源化利用过程中需要予以充分考虑,适当条件下需采取规避性处理措施。

2 水厂 BAC 失效判定需要考虑的基本原则及基本依据

2.1 BAC 失效判定需考虑的基本原则

基于 BAC 作用的基本机理、净化效能及其影响

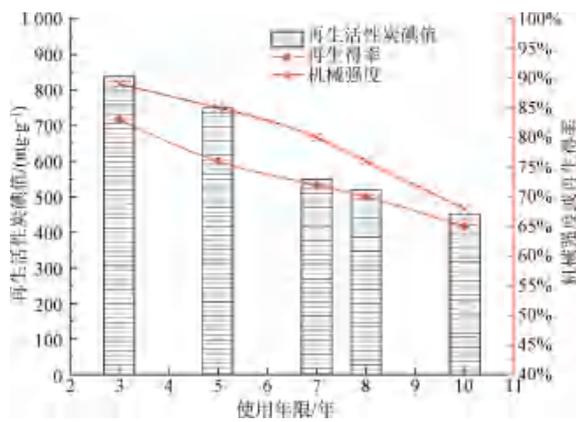


图4 使用年限对BAC热再生过程中恢复率、再生得率及机械强度的影响

Fig. 4 Effect of Service Life on Recovery Rate, Regeneration Rate and Mechanical Strength of BAC during Thermal Regeneration

因素、活性炭性状变化规律等方面的综合考虑,水厂BAC失效判定需要考虑的基本原则如下。

(1) 准确性或重现性。净化效能是判定BAC失效的最根本依据,然而由于净化过程尤其是生物净化作用易受到外界条件的影响而呈现一定的变化范围,可能造成判定结果出现偏差。此外,针对BAC池净化效能的确定,还会受到所取样品的代表性及样品测定准确性等方面的影响。前期与国家城市供水水质监测网某地方监测站合作针对太湖流域某水厂BAC净化效能的跟踪调研结果中,也发现会存在部分不理想的测定结果,简单以此为依据可能会导致失效判定上出现明显偏差。因此,判定依据的选择不宜单纯以某个或某几个指标的去除率作为依据,而是要结合其净化机制,选择适宜的数值处理方式或者选择稳定性较强的替代指标,确保判定的准确性和重现性。

(2) 可预见性。BAC工艺对于水厂出水水质安全具有重要的保障作用,在BAC的失效判定、更换或再生过程中应充分考虑水厂净化水质的安全和稳定,因此,失效判定依据应该具有较好的可预见性,为后续更换或再生提供充足的时间余量,以便采取适宜的处理措施。我国部分饮用水源存在水质周期性变化的特征,结合水质周期的水质特点及处理需求,合理确定失效判定依据和活性炭更好时间节点,可有效应对可能的水质变化,确保出水水质安全。

(3) 可操作性。鉴于各水厂在检测水平及日常管理和监管水平上存在一定的差异,失效判定依据及其实施应充分兼顾到各类水厂,具备在各类型水厂实施的可能性,具体表现在水厂操作上的便利性和可达性,特定情况下需针对具体操作步骤、实施环节进行标准化界定。

(4) 差异性与时效性。鉴于各水厂的水源存在多种类型,水质特征存在一定差异,典型水质问题和水质风险点也不一致,因此,结合各水厂BAC的功能定位,合理确定各自的失效判定依据非常关键。基于BAC作用机理及效能变化规律,结合各水厂实际的功能定位,根据一般性失效判定依据确定方法及规则,确定针对性的水厂失效BAC依据,做到“一厂一策”。此外考虑到水源水质可能出现一定的整体变化趋势,因此,需要根据实际运行检测结果进行适时调整,才能相对准确地确定BAC失效判定点,并安全、经济地保障其净化效能和水厂出水水质。

2.2 基本依据

综合上述分析可以初步确定BAC的失效判定应以保障出水水质为主体,重点应考虑两个层面的内容:净化效能和可能衍生的负面影响。如需对更换下的活性炭进行资源化利用,尚需考虑活性炭灰分、金属元素组成及占比、有机成分含量等可能会产生影响的指标。一般水厂失效判定基本依据可按以下两个方面考虑。水厂中BAC失效判定体系及其实施如图5所示。

(1) 净化效能及其指示指标

根据各水厂对BAC的应用功能定位确定其相应的净化效能限值,且有多种净化功能需求时需按照最不利情况来考虑。然而水厂实践过程中发现,BAC工艺单元对特定污染物的去除率受到诸如水温之类的水质条件影响而呈现波动状况,而且取样过程的规范性和所取样品的代表性也会影响测定结果。结合判定依据确定所需考虑的原则,针对BAC净化效能的评价不宜采用单一的特定指标的去除效率。鉴于BAC净化效能源于其自身性状及所附着生物膜的特性,因此,基于特定污染物去除需求确定与其对应的BAC性能参数数值,并将两者结合作为判定BAC失效的基本依据,有利于保障BAC失效判定的准确性及其净化效能。

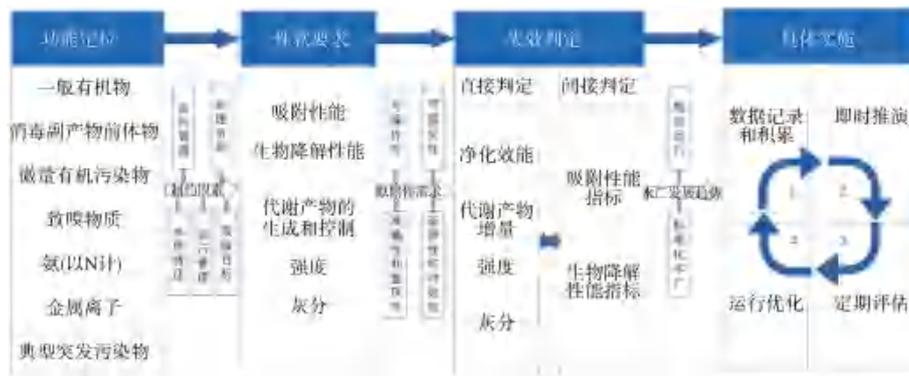


图5 水厂中BAC失效判定体系及其实施

Fig. 5 BAC Failure Judgement System and the Implementation in WTP

考虑到测定的准确性、便利性以及与其他活性炭性能参数的相关性,碘值、生物性能参数可以作为BAC失效判定的间接指标。实际水厂应用中BAC的碘值随使用时间降低的速率在不同的使用年限存在一定差异,表明吸附和生物降解作用途径在不同使用年限的贡献也存在一定差异。为确保更准确地表征水厂BAC的净化效能,实际水厂操作过程中,需要定期检测碘值及BAC对特定污染物的净化效能,并根据最新的检测结果实时建立相关曲线,用于预判之后3~6个月的BAC净化效能变化。更关键的是要根据新的检测结果适时调整相关曲线及预测结果,时间间隔宜控制在3~6个月^[16]。

(2)可能衍生的负面影响及关键指标

目前BAC应用过程中受到广泛关注的可能负面影响主要包括DON含量增加、细菌附着微细炭颗粒增多等,而活性炭强度的变化则会导致工艺出水中微细炭颗粒的数量显著增多^[3]。根据前期的研究结果,这些负面影响均与BAC的使用年限存在较明显的关系,因此,需要结合使用年限对BAC典型副产物生成的影响规律,合理确定其使用年限。

3 水厂BAC失效判定过程中的实际操作方案建议

O₃-BAC工艺是目前饮用水处理系统中控制水中污染物尤其是微量有机污染物的最重要单元,直接影响水厂出水水质的安全。鉴于各水厂水源水质特征及可能风险污染物的差异性和可变性,及时了解BAC性状并结合实际净化需求,进行适当调整对

确保水厂出水水质具有重要的意义。实际水厂在日常管理中应结合水厂实际运行情况、水源水质特征、风险污染物种类及含量,及时对BAC的状态进行合理评估,并给出客观评分及处置建议,以便为水厂运行提供指导,并对可能出现的水质安全风险提前进行应对准备。

课题组基于水厂运行管理水平、水源水质特征、风险污染分析以及BAC基本性状等因素初步建立了针对水厂BAC整体状况的健康评分体系(图6),并针对太湖流域某水厂进行了BAC使用年限为8~10年时以及BAC更换前后的“健康”评估,评估结果可直接反馈该水厂BAC运行状况及水质保障水平,从而为水厂运行、管理决策提供有效的依据。针对设有O₃-BAC深度处理工艺并有较明显水质风险的水厂,建议委托专业机构逐年进行类似的健康评估以及工艺运行管理优化建议,以便及时掌握BAC运行状况的第一手资料。

4 结论

功能定位、净化机理、生物降解作用变化规律、生物降解副产物以及更换下的BAC再利用途径及价值是BAC失效判定过程中需要重点关注的几个关键因素。

BAC失效判定依据的确定需要结合水厂实际情况,充分考虑准确性(重现性)、可预见性、可操作性和差异性(时效性)等基本原则来确定,实施过程中应做到“一厂一策”。

结合水厂运行管理水平、水源水质特征、风险污染分析以及根据BAC基本性状建立BAC工艺单元健康评价体系,并且水厂实际运行管理过程中结合

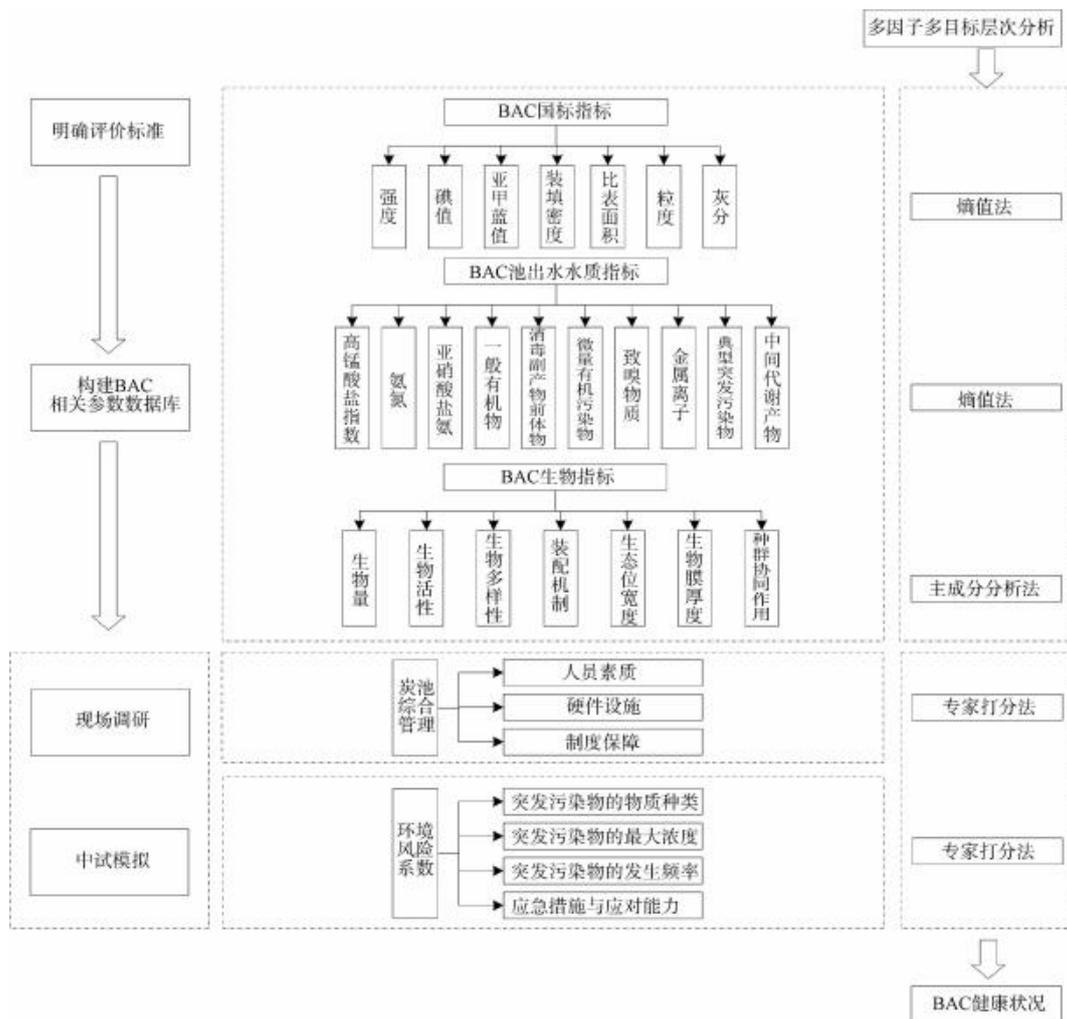


图6 水厂BAC工艺健康评估体系构建

Fig. 6 Construction of BAC Process Health Assessment System for WTPs

水厂自身状况逐年进行“健康”评估,有利于提升水厂标准化运行、确保水厂出水水质。

参考文献

[1] 陈文. 饮用水深度处理中生物活性炭失效判定标准及工况优化研究[D]. 南京: 河海大学, 2015.

[2] 冯昌龙, 庄星宇, 王慕, 等. 生物活性炭运行过程中的强度变化规律及机理[J]. 净水技术, 2022, 41(12): 37-45, 85.

[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, 21.

[4] 刘建广, 张春阳, 查人光, 等. 饮用水深度处理工艺活性炭运行生命周期探讨[J]. 给水排水, 2011, 37(5): 35-40.

[5] 黄汗青, 吴婉华, 吴声达, 等. 水厂生物活性炭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, 44(5): 39-41.

[6] 上海市市场监督管理局. 净水厂用煤质颗粒活性炭选择、使

用及更换技术规范: DB31/T 451—2021[S].

[7] 江苏省市场监督管理局. 江苏省城镇供水厂生物活性炭失效判别标准和更换导则: 苏建城[2016]493号[S].

[8] LIU C, SUN Y K, WANG D Y, et al. Performance and mechanism of low-frequency ultrasound to regenerate the biological activated carbon[J]. Ultrasonics-Sonochemistry. 2017, 34: 142-153. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.05.036.

[9] 李聪聪, 刘成, 刘嘉琪, 等. 水厂生物活性炭颗粒灰分的累积规律[J]. 净水技术, 2022, 41(12): 65-70.

[10] 李聪聪, 刘成, 兰童, 等. 生物活性炭使用过程中微生物群落变化规律及其对净化效能的影响[J]. 净水技术, 2022, 41(12): 46-53, 92.

[11] GAO Y, ZHANG W L, LI Y, et al. Dams shift microbial community assembly and imprint nitrogen transformation along the Yangtze River[J]. Water Research, 2020, 189: 116579. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116579.

(下转第 158 页)

流程水浑浊度变化情况,如表5所示。全流程浑浊度的去除主要是靠混凝沉淀、砂滤工艺段,混凝沉淀对浑浊度的去除率达到95.7%(一期)、97.1%(二期),沉淀池出水平均浑浊度为0.69 NTU(一期)、0.49 NTU(二期),符合进水浑浊度要求。上向流生物活性炭池出水平均浑浊度为0.47 NTU,几乎无浑浊度截留,此状态对于上向流池运行较为正常合理,有利于生物膜的生长。

表5 浑浊度变化
Tab. 5 Variation of Turbidity

项目	原水	沉后	上向流炭后	砂滤后
一期平均浑浊度/NTU	15.87	0.69	0.47	0.07
一期去除率	-	95.7%	97.0%	99.6%
二期平均浑浊度/NTU	16.83	0.49	0.47	0.10
二期去除率	-	97.1%	97.2%	99.4%

4 小结

(1)上向流活性炭参数设计除满足行业相关标准要求外,可从提高炭吸附性能、提高炭耐磨损性、降低炭装填密度对膨胀率影响,以及缩短洗炭调试用时等角度,对炭粒径、孔积率、比表面积强度、碘吸附值、亚甲蓝吸附值、强度、装填密度及灰分等指标提出更为严格的规定。进水负荷对活性炭层膨胀率影响较大,一方面可以通过在进水渠上设置可调节高度的堰板,提高配水均匀性,避免进水不均匀导致某一格炭池进水负荷过高,从而造成跑炭;另一方面,在设计上应充分考虑不同进水负荷下的炭层膨胀率,确保实际运行中,炭层整体处于微膨胀状态,有利于炭层与水体的充分接触,提高炭层生物对水中有机物的去除。

(2)在气温为17~33℃条件下,连续监测上向流活性炭,池过滤周期内的COD_{Mn}去除效果,COD_{Mn}去除率随运行时间呈先增后降的趋势,过滤周期以

8 d较为合适。

(3)深度工艺对TOC、COD_{Mn}等有机物指标的去除效果较好,平均去除率均达到71%。同时深度工艺运行期间,出厂水中藻类未检出,2-MIB低于检测限(5 ng/L)。

(4)本文以亚热带地区某水厂为研究对象,从活性炭参数设计及水质处理效果两方面进行总结,为亚热带地区上向流活性炭的工程应用提供重要参考。但由于水厂投产运行时间相对较短,活性炭性能、有机物去除效率随运行时间的变化规律,以及尚未暴露出来的问题等均有待进一步研究。

参考文献

- [1] 韩立能. 微膨胀上向流生物活性炭工艺特性及应用研究[D]. 北京: 清华大学, 2013.
- [2] 李靖. 上海市自来水深度处理工艺研究与应用(黄浦江水源)[D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [3] CHEN F, PELDSZUS S, ELHADIDY A M, et al. Kinetics of natural organic matter (NOM) removal during drinking water bio-filtration using different NOM characterization approaches[J]. Water Research, 2016, 104: 361-370. DOI: 10.1016/j.watres.2016.08.028.
- [4] 蔡广强, 卢小艳, 张金松, 等. O₃-BAC深度处理工艺对有机物及三氯乙醛生产潜能的去除[J]. 给水排水, 2017, 43(12): 35-40.
- [5] 张兰芳, 纪永超, 梅新敏. 臭氧-生物活性炭深度处理工艺对有机物的去除效果[J]. 城镇供水, 2013(1): 26-29.
- [6] 宋澄杰, 杜尔登, 王利平, 等. 饮用水预处理和深度处理工艺对有机物去除的特性研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(10): 13-18, 23.
- [7] 李丰庆. 某水厂新型上向流生物活性炭池设计[J]. 给水排水, 2019, 45(s1): 173-174, 178.
- [8] 黄慧, 宋欣, 马越, 等. 前置上向流臭氧生物活性炭深度处理水厂浮游动物监测与控制[J]. 给水排水, 2022, 48(6): 20-25.
- [9] 芮旻. 上向流生物活性炭吸附池的运行特性研究[J]. 给水排水, 2015, 41(5): 11-15.

(上接第8页)

- [12] 李磊, 王波, 张苗, 等. O₃/H₂O₂高级氧化技术抑制溴酸盐生成中试[J]. 中国给水排水, 2021, 37(13): 60-64.
- [13] 沈杰, 熊安越, 关小红, 等. 饮用水中溴酸盐的生成及控制进展[J]. 净水技术, 2021, 40(10): 26-35, 69.
- [14] 杨遇春, 刘成, 刘嘉琪, 等. 使用年限对已失效的生物活性炭热再生效能的影响[J]. 净水技术, 2022, 41(12): 121-

126.

- [15] 刘嘉琪. 水厂生物活性炭典型污染物附着规律研究及脱附方法优化[D]. 南京: 河海大学, 2022.
- [16] 曹振桦, 笪跃武, 刘成, 等. 碘值在水厂生物活性炭应用中的指示作用[J]. 净水技术, 2022, 41(12): 19-25.