

固定化生物活性炭强化饮用水深度处理

安 东, 李伟光, 崔福义, 赫 鑫, 宋佳秀
(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 为比较固定化生物炭工艺与普通活性炭工艺的净水效果,以南方某水厂的滤后水为原水进行了试验。结果表明,固定化生物炭工艺对 TOC 的去除率稳定在 40% ~ 50%,可以提高氨氮去除率 30%;对三卤甲烷生成势 (THMFP) 的去除率比普通活性炭工艺提高了 11% ~ 39%;对臭氧氧化副产物 (甲醛) 具有长期的去除效果。

关键词: 饮用水处理; 固定化生物炭; 三卤甲烷生成势; 甲醛

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4602(2005)04 - 0009 - 04

Immobilized Biological Activated Carbon Process for Enhancing the Advanced Drinking Water Treatment

AN Dong, LI Wei-guang, CUI Fu-yi, HE Xin, SONG Jia-xiu

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Experiment was made in a water treatment plant in south area by using its filtered water as raw water, in order to make comparison between immobilized biological activated carbon (BAC) and conventional activated carbon (AC) process for their water treatment efficiency. The result shows that immobilized BAC process can remove 40% - 50% of TOC, and can increase removal rate of ammonia nitrogen by 30%; the removal rate of trihalomethane formation potential (THMFP) is raised by 11% - 39% as compared with conventional AC process; the process can remove ozonation byproduct (formaldehyde) for a long period.

Key words: drinking water treatment; immobilized biological activated carbon; trihalomethane formation potential; formaldehyde

臭氧生物活性炭技术被广泛用于饮用水的深度处理,然而在活性炭表面自然形成生物膜中生物相复杂,生物作用受水质条件影响大,难以保证足够的去除效率。固定化生物活性炭技术将人工驯化培养的微生物固定于活性炭上,强化了活性炭的生物作用,并可以延长活性炭的使用寿命。

1 试验装置及方法

工程菌的驯化培养及固定

将已筛选出的 28 株功能菌的斜面用适量无菌水洗脱,接种于不同的培养基上进行摇床培养 (摇床转速为 150 r/min,温度为 37℃,时间为 24 h)。

将完成驯化的菌液投入 25 L 容器中扩大培养,每天加入适量的液体培养基,培养至工程菌数量达到试验需求为止。

采用间歇式物理循环吸附法对活性炭柱进行工程菌的固定,经反冲洗后投入正常运行,此时认为已

经形成人工固定化生物活性炭。

试验装置

工艺流程如图 1 所示,滤后水经臭氧接触后进行活性炭过滤,对普通活性炭和人工固定化生物活性炭进行对比试验。在内径为 10 cm 的普通活性炭柱和固定化生物活性炭柱中分别填充 1.0 m 高的宁夏颗粒活性炭,两炭柱均为下向流的运行方式,处理水量为 576 L/d,臭氧投量为 1.0~2.0 mg/L,臭氧接触时间为 10~15 min,活性炭柱空床停留时间(EBCT)为 10~14 min。稳定运行期间炭床每隔 4~5 d 进行反冲洗。

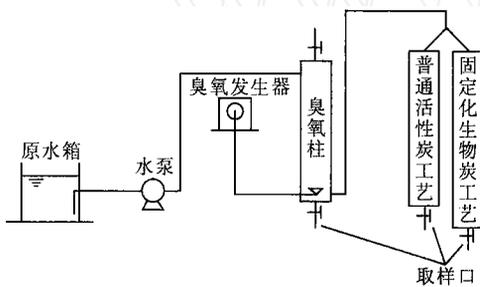


图 1 工艺流程图

Fig 1 Flw chart for treatment process

参数测定

悬浮颗粒数: BR Versa Count™ 型颗粒计数仪;甲醛:乙酰丙酮光度法;THMFP^[1]:气相色谱法[惠普 5973 气相色谱仪, VOC 色谱柱, ECD 检测器,柱升温程序 40 (3 min) (10 /min) / 160,载气流量为 1 mL/min]; TOC: UV-过硫酸盐氧化法(美国 Phoenix 8000 TOC 仪, NDR 检测器,检测限为 $2 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-2}$)。

水质条件

以南方某水厂滤后水为原水,试验期间水质变化情况如表 1 所示。

表 1 原水水质

Tab 1 Raw water quality

项目	温度 /	TOC / (mg · L ⁻¹)	pH	浊度 / NTU	氨氮 / (mg · L ⁻¹)	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹
最大值	33	2.36	7.8	0.74	0.55	0.01
最小值	14	0.82	7.0	0.13	0.12	0.003
平均值	27	1.78	7.2	0.35	0.25	0.005

2 试验结果及分析

2.1 对常规指标的去

浊度

根据以往的研究^[2],臭氧生物活性炭工艺对浊

度没有明显的去除效果,活性炭经过较长时间的运行后吸附性能会明显下降,因此单纯依靠物理吸附作用,活性炭不会对浊度的去除具有长期的效果。固定化生物炭工艺和普通活性炭工艺稳定运行后的浊度去除效果对比见图 2。

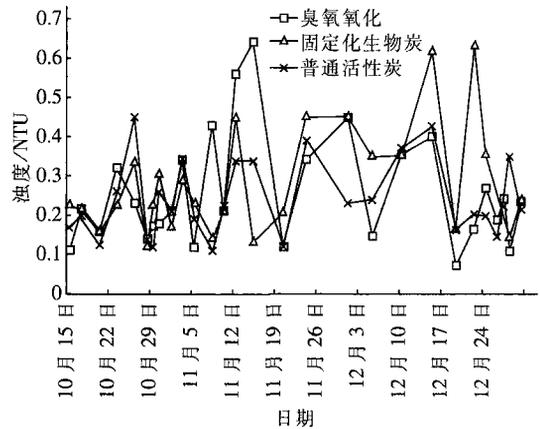


图 2 两种活性炭工艺的浊度去除效果对比

Fig 2 Comparison turbidity removal of with two kinds of activated carbon processes

从图 2 可以看出,臭氧氧化出水浊度稳定在 0.1~0.3 NTU,经过活性炭过滤后浊度值均略有升高,固定化生物炭工艺与普通活性炭工艺去除浊度效果没有明显的差别。这主要是水体中的细小颗粒会随着水流发生流失,从而略微提高了出水浊度值;微生物对水体中形成浊度的物质没有去除作用,但是微生物的正常生长并不会影响物理作用的进行。

水中悬浮物质总颗粒数经臭氧生物活性炭工艺处理后有一定的变化规律。臭氧氧化出水含有的小分子物质(粒径为 2 μm)最多,活性炭柱出水中小分子物质最少,过滤出水的居中。而粒径 > 5 μm 的情况正好相反,活性炭柱出水的最多,臭氧氧化出水的最少。臭氧氧化过程可能会打碎大分子物质成为小分子物质,而活性炭可以吸附较小分子物质,大分子物质则会流失。

TOC

两种活性炭工艺对 TOC 去除效果的对比见图 3。臭氧生物活性炭工艺中的臭氧氧化能够去除 10%~25% 的有机物,在 1.0~2.0 mg/L 的臭氧投量范围内,臭氧投量越高则对有机物的去除率越高;普通活性炭工艺能去除 10%~40% 的有机物,固定化工艺的去除率达到 40%~50%;普通活性炭运行一段时间后吸附性能明显下降,而固定化生物炭对

TOC去除效率相对稳定,这是生物作用与吸附作用协同的结果。

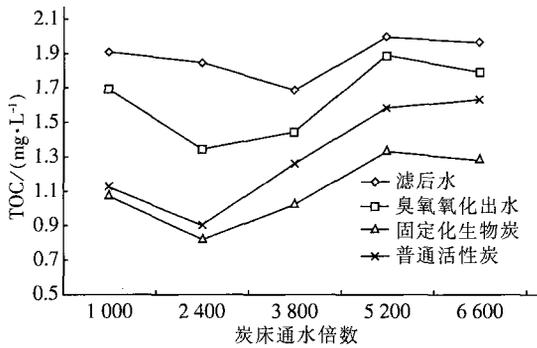


图 3 两种活性炭工艺对 TOC 去除效果对比
Fig 3 TOC removal rate of different water treatment processes

氨氮

两种活性炭工艺对氨氮的去除效果对比见图 4。

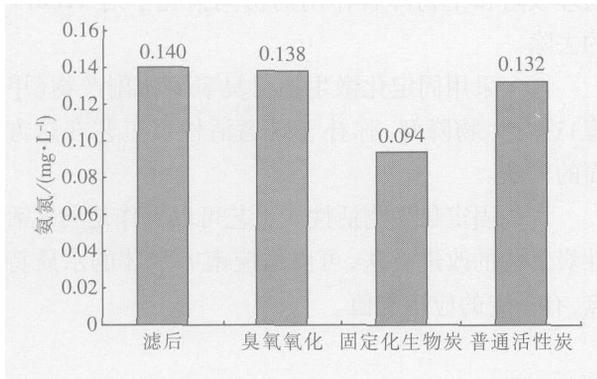


图 4 两种活性炭工艺对氨氮去除效果对比
Fig 4 NH₄⁺ - N removal rate of different water treatment processes

由图 4 可以看出,滤后水中氨氮含量平均值为 0.14 mg/L,经臭氧氧化后氨氮平均值减少到 0.138 mg/L,可见臭氧氧化工艺对氨氮几乎没有去除作用。普通活性炭的物理吸附作用难以去除剩余部分的氨氮,而固定化生物活性炭对氨氮有平均 30% 的去除率。微生物对氨氮的去除通过硝化作用来进行,在固定化过程中通常人为添加硝化细菌以达到较好的氨氮去除效果。如何在长期的运行过程中保持适宜的硝化细菌数量,一方面取决于处理水中无机物的含量,另一方面需保持硝化细菌的活性,避免被环境淘汰。固定化生物技术采用人工驯化手段,通过对菌种的长时间筛选和培养,有效地提高了菌种的生物活性,使得微生物可以适应低营养水平的

水质,因而取得了良好的运行效果。

2.2 对三卤甲烷生成势的去除效果

采用较小的臭氧投加量 1.0~2.0 mg/L,臭氧接触时间为 10 min,对源水中三卤甲烷生成势 (THMFP) 的去除效果进行研究 (结果见图 5)。

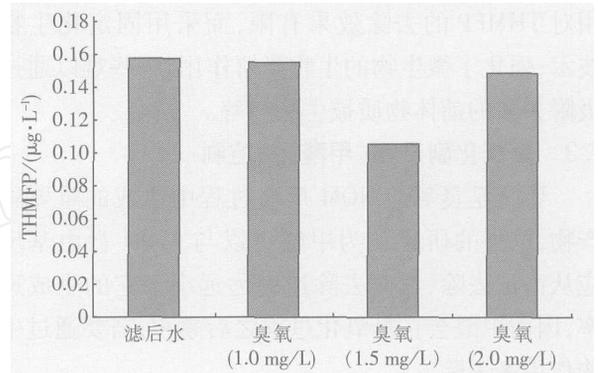


图 5 不同臭氧投量下对 THMFP 的去除效果
Fig 5 THMFP removal rate with different ozone dosage

由图 5 可以看出,滤后水经臭氧氧化后,THMFP 值均有所降低,在臭氧投量为 1.0~2.0 mg/L 时,投加 1.5 mg/L 臭氧可以得到最佳的 THMFP 去除效果,去除率达到 25% 左右。可以认为臭氧氧化对 THMFP 有一定的去除作用,低浓度的臭氧投量达不到去除 THMFP 的作用,而臭氧浓度较高又会生成较多的 CO₂ 和 H₂O,并伴随有中间副产物的生成。

控制工艺条件 (臭氧投加量为 1.5 mg/L, EBCT 为 10 min),经过较长时间的运行,采集臭氧氧化出水、普通活性炭柱出水、固定化生物活性炭柱出水,多次测定 THMFP 的含量,结果如图 6 所示。

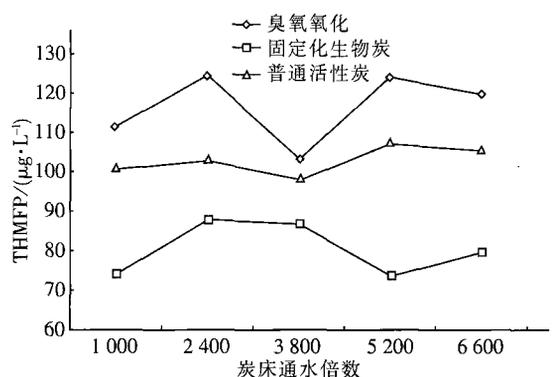


图 6 普通活性炭与固定化活性炭工艺对 THMFP 去除效果对比
Fig 6 Comparison of THMFP removal between BAC and AC

臭氧氧化出水中 THMFP 含量 $> 100 \mu\text{g/L}$, 普通活性炭出水中 THMFP 含量减少到 $82 \sim 107 \mu\text{g/L}$, 普通活性炭工艺对 THMFP 的去除率为 $2\% \sim 19\%$, 固定化生物炭工艺对 THMFP 的去除率相比普通活性炭工艺又提高了 $11\% \sim 31\%$ 。活性炭的吸附作用对 THMFP 的去除效果有限, 而采用固定化生物技术, 强化了微生物的生物降解作用, 一些难以通过吸附去除的前体物质被生物降解。

2.3 臭氧化副产物(甲醛)的控制

甲醛是臭氧与 NOM 反应过程中生成的重要副产物, 国外的研究认为甲醛可以与 $\cdot\text{OH}$ 自由基反应从而被去除, 然而去除速率远远小于它的生成速率, 因而甲醛会在臭氧化过程之后累积, 需要通过生物作用来去除^[3]。

在水处理中甲醛含量的测定是非常困难的。由于水体中甲醛含量很低(通常为 $\mu\text{g/L}$ 级)且甲醛是极性较高的物质, 活性炭去除甲醛效果不明显。投加 1.5 mg/L 的臭氧, 滤后水中低浓度的甲醛有较大程度的提高(增加了 $30\% \sim 70\%$), 这主要与水体的 pH 值和滤后水中有机物浓度和有机物类型有关。臭氧的强氧化性使得大分子有机物被分解成小分子的有机物, 普通的活性炭工艺难以去除极性很强的甲醛。

两种活性炭工艺对甲醛去除率的比较见图 7。

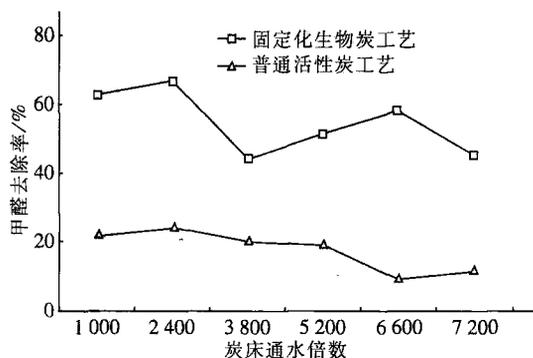


图 7 普通与固定化生物炭工艺的甲醛去除率对比

Fig 7 Comparison of formaldehyde removal between BAC and AC

由图 7 可以看出, 普通活性炭工艺对甲醛的去除率为 20% 左右, 且随着运行时间的增加处理效果下降很快, 在试验后期普通活性炭已经很难依靠物理吸附的作用去除甲醛(去除率只有 10%)。固定

化生物炭工艺在这方面具有明显的优势, 在运行过程中对甲醛的去除率为 50% 。微生物易于利用那些小分子的有机物作为自身合成代谢的底物, 在水质条件稳定的情况下, 微生物对甲醛的生物作用可以稳定地进行, 臭氧化工艺生成的甲醛完全可以通过固定化生物活性炭工艺去除, 使甲醛含量控制在一个较低的水平。

3 结论

固定化生物活性炭工艺与普通活性炭工艺比较, 对常规水质指标的控制有一定的优势, 对小分子物质具有一定的去除作用, 但大分子物质可能会流失; 可有效降低 TOC 含量; 即使原水氨氮浓度较低, 仍然可以提高氨氮的去除率。

固定化生物活性炭工艺对 THMFP 的去除率比普通活性炭工艺提高了 $11\% \sim 39\%$, 活性炭的物理吸附和生物降解作用的协同强化了对 THMFP 的去除。

采用固定化微生物对臭氧氧化副产物(甲醛)进行生物降解, 弥补了普通活性炭工艺在这方面的欠缺。

固定化生物活性炭工艺可以看作是臭氧活性炭工艺的改进方法, 可以适应南方水体的水质特点, 有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 林细萍, 卢益新, 张德明, 等. THMFP 及 HAAFP 的测定方法 [J]. 中国给水排水, 2003, 19(10): 98 - 100.
- [2] 王琳, 王宝贞. 饮用水深度处理技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] Akio Inai, Kazuo Matsushige, Takashi Nagai. Trihalomethane formation potential of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake [J]. Water Research, 2003, 37(3): 4284 - 4294.

作者简介: 安东 (1977 -), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士研究生, 研究方向为给水深度处理技术和生物技术。

电话: (0) 13115603192

E-mail: andonghit@163.com

收稿日期: 2004 - 10 - 28