

强化混凝与臭氧预氧化强化处理微污染水的对比

王 娜^{1,2}, 马 军^{1,2}, 何文杰³, 韩宏大³, 韩帮军^{1,2}, 王 群^{1,2},
肖 辉玉^{1,2}

(1 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2 城市水资源开发利用
<北方>国家工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150090; 3 天津市自来水集团有限公司, 天津
300040)

摘 要: 当源水的有机物浓度较高时, 常规过滤效果明显降低, 采用强化混凝和臭氧预氧化可强化过滤效果, 但二者的强化机理不同。强化混凝是通过污染物的吸附等作用, 使小颗粒浊度物质、溶解性有机物、UV₂₅₄得到有效去除; 臭氧预氧化则是通过改善粒径相对较大的颗粒物的表面性质来强化过滤效果。臭氧预氧化会使有机物的结构发生改变, 但其必须与其他分离工艺(絮凝、沉淀、过滤等)有效结合, 才能强化去除污染物。滤后水的 THMFP 都较进水有所升高, 其中臭氧预氧化强化过滤后的 THMFP 升幅最小。

关键词: 微污染水; 臭氧预氧化; 强化混凝; 过滤

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)05-0063-03

Comparison of Enhanced Treatment of Micro-polluted Water by Enhanced Coagulation and Ozone Pre-oxidation

WANG Na^{1,2}, MA Jun^{1,2}, HE Wen-jie³, HAN Hong-da³, HAN Bang-jun^{1,2},
WANG Qun^{1,2}, XIAO Hui-yu^{1,2}

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology,
Harbin 150090, China; 2 National Engineering Research Center of Urban Water Resources
Harbin 150090, China; 3 Tianjin Waterworks Group Co., Ltd., Tianjin 300040, China)

Abstract The efficiency of conventional filtration is remarkably lowered when source water contains high content organic matter. Both enhanced coagulation and ozone pre-oxidation can enhance the filtration efficiency, however, the mechanisms of the two enhancement methods are different. In enhanced coagulation, small-particle turbidity, dissolved organic matter and UV₂₅₄ are effectively removed by adsorption. And in ozone pre-oxidation, the filtration efficiency is enhanced by improving surface properties of particles with relatively larger size, and the structure of organic matter is changed, but only through cooperation with other separation processes (flocculation, sedimentation, filtration and so on), ozone pre-oxidation can remove contaminants effectively. In addition, the trihalomethane formation potential (THMFP) is increased after filtration under all the experimental conditions, in which ozone pre-oxidation has the lowest increase in THMFP.

Key words micro-polluted water; ozone pre-oxidation; enhanced coagulation; filtration

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体项目(50821002); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601140)

在颗粒介质过滤过程中,当源水的有机物浓度较高时,颗粒物在滤料表面的吸附率降低^[1,2]。针对微污染源水,强化混凝^[3]、预氧化^[4]成为水处理多级屏障中的备选措施,然而关于这两种强化措施的对比研究却较少。笔者对比研究了优质源水和微污染源水的快滤池过滤效果,考察了强化混凝、臭氧预氧化对微污染源水过滤的强化效果;通过对滤池出水的颗粒物指标和有机物指标平行对比,分析了两种措施不同的强化机理。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验采用两套平行水处理装置,处理水量为 5 m³/h。各装置设计参数如下:原水箱;臭氧氧化罐,停留时间为 20 min;快速混合池,快速混合 1 min;二级絮凝池,总停留时间为 18 min;气浮池,接触区的上升流速为 19.1 mm/s;分离区的停留时间为 14 min;无烟煤/石英砂双层滤料滤池,无烟煤层厚为 400 mm、有效粒径为 1.11 mm,石英砂层厚为 600 mm、有效粒径为 0.65 mm,滤速为 8 m/h。

两套装置平行运行,首先考察优质源水 A、微污染源水 B(水质见表 1)的过滤效率,在此基础上,两套装置分别运行强化混凝和臭氧预氧化,考察对微污染源水的强化过滤效果。

表 1 源水水质

Tab 1 Source water quality

项目	浊度 / NTU	TOC / (mg·L ⁻¹)	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹	碱度(以 CaCO ₃ 计) / (mg·L ⁻¹)	硬度(以 CaCO ₃ 计) / (mg·L ⁻¹)
A	10.0~ 16.0	2.4~ 3.0	0.085~ 0.100	170~ 180	280~ 300
B	7.0~ 9.0	4.5~ 5.3	0.090~ 0.110	190~ 200	330~ 340

常规处理保证气浮出水的浊度 < 1.5 NTU,混凝剂 FeCl₃ 的投加量(以 Fe 计)为 5.5 mg/L;强化混凝的 FeCl₃ 投加量(以 Fe 计)为 9.7 mg/L;预氧化的 O₃ 投加量为 2 mg/L。

1.2 取样及检测

检测水样分别为源水、气浮出水、滤池出水,两套系统同时在过滤稳定阶段取样。

浊度: HACH 2100A 型浊度仪;颗粒数: IBR 在线颗粒物计数仪; UV₂₅₄: 752 型紫外分光光度计; COD_{Mn}: 酸性高锰酸钾法;溶解性有机碳(DOC): 岛津 5000A 总有机碳分析仪; THMF: 气相色谱法。

上述指标除 DOC、THMF 外,其他均现场检测。

2 结果与分析

2.1 微污染源水的过滤效果

滤池的进水浊度控制在 (1.0 ± 0.2) NTU、颗粒 (> 2 μm)数控制在 4 500~5 000 个/mL。对源水 A、B 进行过滤后,二者的出水浊度分别为 (0.15~0.30)、(0.23~0.43) NTU,颗粒 (> 2 μm)数分别为 (500~550)、(2 600~2 700) 个/mL。可见,源水 B 的滤池出水浊度、颗粒数明显较高,过滤效果明显较低。这与颗粒物的表面性质有关,源水 B 的有机物浓度明显高于源水 A 的,而当水体中有机物浓度较高时,胶体颗粒表面 ζ 电位的负电性升高,颗粒与颗粒之间、颗粒与滤料介质之间的静电斥力增大,致使胶体颗粒在滤料表面的吸附率降低。

2.2 强化混凝、臭氧预氧化的强化过滤效果

强化混凝、臭氧预氧化强化微污染源水的过滤效果见表 2。

表 2 强化混凝、臭氧预氧化的强化过滤效果

Tab 2 Enhanced filtration effect by enhanced coagulation and ozone pre-oxidation

项 目	过滤出水 颗粒 (> 2 μm)数 / (个· mL ⁻¹)	过滤出水 浊水			
		浊度 / NTU	DOC / (mg· L ⁻¹)	THMF / (μg· L ⁻¹)	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹
常规处理	2 800	0.53/1.30	4.2/4.3	165/129	0.085/0.084
强化混凝	2 000	0.35/0.74	3.6/3.6	170/134	0.076/0.075
臭氧 预氧化	1 600	0.41/0.94	4.1/4.2	157/133	0.075/0.075

2.2.1 对颗粒物的去除效果

浊度(浊度仪能有效检测粒径 < 1 μm 的颗粒)、颗粒 (> 2 μm)数反映了不同粒径的颗粒物。从表 2 可以看出,强化混凝、臭氧预氧化过滤出水的浊度和颗粒数均有所降低,其中强化混凝对浊度物质等小颗粒物的去除效果较好,滤后水的浊度为 0.35 NTU;而臭氧预氧化对粒径 > 2 μm 的颗粒物的去除效果较好,滤后水的颗粒数比常规工艺的低 43%。可见,两种措施的强化过滤机理不同。

2.2.2 对 DOC、UV₂₅₄ 的去除效果

滤池本身对 DOC、UV₂₅₄ 的去除效果并不明显,滤后水中 DOC、UV₂₅₄ 浓度的降低主要是基于前处理工艺的去除效果。与常规工艺相比,强化混凝对 DOC 有一定的去除效果,其滤后水的 DOC 浓度较常规工艺的低 14%;臭氧预氧化对 DOC 的去除效

果不明显。强化混凝和臭氧预氧化对 UV_{254} 的去除效果较明显,滤后水的 UV_{254} 较常规工艺的约低 12%。

2.2.3 对 THMFP 的去除效果

表 2 显示常规工艺、臭氧预氧化、强化混凝过滤出水的 THMFP 都较进水的高,THMFP 分别升高了 36、24、36 $\mu\text{g/L}$,强化混凝对过滤阶段 THMFP 的升高现象没有改善,臭氧预氧化强化过滤后的 THMFP 升幅最小。过滤后 THMFP 升高,可能是由于微污染水中有机物浓度较高,在滤料上有一定积累所致。张金松^[5]等在试验中同样发现砂滤出水的 THMFP 有所升高。

2.3 机理分析

过滤的微观分析以颗粒(包括悬浮杂质颗粒、滤料颗粒)的流体力学、悬浮颗粒的传质及颗粒物界面间的相互作用为基础^[6]。研究表明,过滤前的化学处理对提高颗粒物在滤料表面的有效吸附和过滤效率有重要意义^[4]。根据上述试验结果,对强化混凝和臭氧预氧化的强化过滤机理进行分析。

① 强化混凝

强化混凝过程的 FeCl_3 投加量较高,颗粒物表面吸附有较多的带正电荷的聚合电解质且正电荷分布较均匀,因此在过滤过程中,颗粒物在滤料表面的吸附几率增大,过滤过程的最佳 ζ 电位范围扩大^[7],过滤效率提高。可以推断,强化混凝对小粒径颗粒物的影响更为明显,故对浊度物质的吸附去除率比对大颗粒的明显,这与表 2 的试验结果相吻合。

此外,强化混凝可通过吸附作用去除部分溶解性有机物,对 UV_{254} 表征的分子质量较大、憎水性强的有机物有一定的吸附去除效果。

② 臭氧预氧化

臭氧的氧化作用使颗粒物的表面性质发生改变^[8]。试验结果表明,臭氧预氧化对粒径相对较大的颗粒物有更好的去除效果,使过滤过程中颗粒物在滤料表面的吸附系数提高,表现为过滤后粒径 $> 2 \mu\text{m}$ 的颗粒数明显降低。臭氧预氧化对浊度的去除效果比强化混凝的差,这可能是由于氧化过程中部分大颗粒物质转换成小颗粒浊度物质,而混凝剂的投加量相对较低所致。经臭氧预氧化后,滤后水的 UV_{254} 明显降低、THMFP 的升幅降低,说明臭氧预氧化使有机物的结构发生了改变,但单独臭氧氧化并

不能使溶解性有机物的浓度得到有效降低。可见,臭氧预氧化必须与其他分离工艺——絮凝、沉淀、过滤等相结合,才能实现污染物的有效去除。

3 结论

当源水的有机物浓度较高时,常规过滤效果明显降低,通过化学方法改变颗粒物的表面特性,是提高滤池过滤效率的关键。强化混凝和臭氧预氧化可强化过滤效果,但二者的作用机理不同。强化混凝是通过对污染物的吸附作用,使浊度物质、溶解性有机物、 UV_{254} 得到有效去除;臭氧预氧化则是通过改变粒径相对较大的颗粒物的表面性质,使有机物的结构发生改变来强化过滤效果,但臭氧预氧化必须与其他分离工艺(絮凝、沉淀、过滤等)相结合,才能有效去除污染物。

参考文献:

- [1] 徐兵,高翔,蒋黎明. 活性炭/砂双滤料滤池处理微污染原水[J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 23-25
- [2] 韩宏大,周玉文,何文杰. 强化常规工艺处理黄河原水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(5): 56-59
- [3] 孙士权,马军,黄晓东,等. PPC 强化去除太湖原水中稳定性铁、锰的生产性试验[J]. 中国给水排水, 2007, 23(15): 26-28, 33
- [4] 傅金祥,许巧哲,邹倩,等. 高铁酸盐预氧化强化混凝法去除苯胺的研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(7): 49-51
- [5] 张金松,张红亮,董文艺,等. O_3/BAC 对氯化消毒副产物的控制作用[J]. 中国给水排水, 2004, 20(2): 16-20
- [6] 许保玖,龙腾锐. 当代给水与废水处理原理[M]. 北京:高等教育出版社, 2000
- [7] Gregory D, Carlson K. Relationship of pH and flocculation kinetics to granular media filtration performance[J]. Environ Sci Technol 2003, 37(7): 1398-1403
- [8] Yuksele E, Sarikaya H Z, Ozturk I et al. Ozonation in direct filtration[J]. Ozone Sci Eng 2001, 24(4): 239-247.

电话: (0451) 86283010

E-mail: majun@hit.edu.cn

通讯作者: 马军

收稿日期: 2009-09-12