

不同源水的过滤堵塞及臭氧预氧化控制效果研究

王 娜^{1,2}, 马 军^{1,2}, 王 群^{1,2}

(1 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 2 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 以低污染水质期的黄河水作为对比, 研究了两种不同类型污染水质期源水 (滦河水和黄河水) 中的有机物和藻类对滤池堵塞的影响, 以及臭氧预氧化的控制效果。研究显示, 藻类对滤池堵塞有重要影响, 滦河水以个体较大的蓝藻为主, 黄河水以个体较小的绿藻为主, 其中处理滦河水的滤池堵塞较为严重。两种微污染源水中, 颗粒态有机物、溶解性有机物所占的比例不同。其中, 黄河水的溶解性有机物含量高, 造成气浮出水的大粒径颗粒比例增加, 容易缩短滤池的运行周期; 同时臭氧预氧化强化去除颗粒物的效果不明显, 但能延长滤池的运行周期。滦河水中的“颗粒态”有机物所占比例较大, 臭氧预氧化强化去除颗粒物的效果明显, 但水头损失增长曲线表明, 经臭氧预氧化后其过滤呈现出表层过滤的特性。

关键词: 有机物; 藻类; 过滤周期; 臭氧预氧化; 强化过滤

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2011)05-0032-04

Clogging of Filter by Different Source Water and Control Effect of Pre-ozonation

WANG Na^{1,2}, MA Jun^{1,2}, WANG Qun^{1,2}

(1 National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090 China;

2 State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090 China)

Abstract In comparison with Yellow River water in low pollution period, the impact of organic matter and algae in two types of source water from Luan River and Yellow River in pollution period on the filter clogging as well as the control effect of pre-ozonation were investigated. In the case of Luan River water bearing dominantly blue-green algae, the filter is more severely clogged than that in the case of Yellow River water in which the dominant algae species are green algae. In the two types of water from different sources, the proportions of particulate and dissolved organic matter are different. For Yellow River water, the dissolved organic matter is at high level, so the particle size distribution after the air flotation treatment shifts to the large size ranges, thus shortening the operation cycle of the filter. The particle removal is not improved significantly by the pre-ozonation, however the operation cycle of the filter is prolonged. For Luan River water, the proportion of particulate organic matter is relatively high, and the removal of particles is effective after the pre-ozonation. The head-loss development curve shows the characteristic of surface removal with the pre-ozonation in the case of Luan River water.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07421-002-03)

Key words organic matter algae filtration cycle pre-ozonation enhanced filtration

近年来我国饮用水源污染程度加剧,天然有机物(NOM)和藻类污染成为饮用水处理中被广泛关注的对象。水体中的 NOM 根据其来源可分为外源性有机物和自生性有机物,并且随季节、气候条件等而变化; NOM 与金属絮凝剂作用形成的絮体松散、在滤料表面的吸附性差^[1]。对于不同程度的污染水体其优势藻属也不同^[2],与饮用水处理相耦合的藻类特性主要有藻类形态、可移动性、表面电性、藻细胞密度、胞外有机物的组成和浓度等^[3]。源水藻类浓度高时,絮体形成时间较长且难于沉淀去除^[4],容易造成滤床堵塞。

臭氧预氧化作为微污染源水的预处理工艺,具有灭藻、助凝等作用,然而针对不同的源水,臭氧预氧化的强化效果及程度存在差异,W idrig等^[5]的研究表明这在很大程度上取决于源水中有有机物和优势藻属的特性。

快滤池是饮用水处理工艺中的重要单元,然而在处理微污染源水的情况下,有关滤床堵塞方面仍缺乏系统的研究和报道。为此,考察了两种典型特征的高藻、高有机物污染源水的常规过滤运行情况,并研究了臭氧预氧化对滤池过滤性能的影响。

1 材料与方法

1.1 微污染源水及试验装置

源水分别取自两个北方典型的微污染水质期:源水 A(三月份,黄河水)和源水 B(八月份,滦河水),同时以低污染水质期的黄河水作为对比。中试工艺流程:源水—(臭氧预氧化)—絮凝—气浮—过滤,处理水量为 5 m³/h,试验连续运行,其中臭氧预氧化工艺根据试验需要启停以考察其对常规处理的影响。装置参数如下:臭氧预氧化罐的停留时间为 20 min,快速混合为 1 min,二级絮凝池的总停留时间为 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的无烟煤层厚为 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。

混凝剂为 FeCl₃,根据源水情况改变混凝剂投量。在非臭氧预氧化工艺流程中,控制气浮出水浊度 < 1.5 NTU,以保证深度过滤而避免表层过滤;在臭氧预氧化工艺流程中,O₃的投加量为 1.0~1.5

mg/L。快滤池采用变水头等速过滤,当水头损失达到 10 kPa时一个过滤周期结束,对滤池进行反冲洗。同时,通过在线颗粒计数仪监测过滤出水,使过滤周期(水质周期)控制在浊度泄漏周期以内。

1.2 检测项目与方法

快滤池的运行指标:①过滤效率——以对胶体颗粒(浊度、颗粒数)的去除效果来表示;②滤池堵塞情况——以滤池水头损失的增长及运行周期来评价。

在单体试验装置后进行系列取样,检测项目为浊度(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)、TOC(岛津 5000A 总有机碳分析仪)。

2 试验结果

2.1 两种源水的有机物及藻类特性

对两种源水的水质检测结果见表 1。

表 1 两种微污染源水的水质对比
Tab 1 Comparison of water parameters between two types of micro-polluted source waters

项目	浊度 / NTU	TOC / (mg•L ⁻¹)	COD _{Mn} / (mg•L ⁻¹)	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹
滦河水	4.0~8.0	>4.0	4.5~5.0	0.065~0.075
黄河水	5.0~7.0	>4.5	5.0~5.5	0.090~0.110
对比水	7.0~15.0	<3.0	3.0~3.5	0.085~0.100
项目	颗粒态有机物 /%	碱度 / (mg•L ⁻¹)	pH 值	优势藻属
滦河水	15.63 ^[6]	120~130	7.6~7.9	蓝藻 ^[7]
黄河水	4.25 ^[6]	190~200	8.0~8.3	绿藻 ^[2,8]
对比水		170~180	7.8~8.0	
注:碱度以 CaCO ₃ 计。				

由表 1 可知,两种微污染源水的有机物含量均较高。其中,黄河源水中的腐殖质含量较高,憎水性有机物占较大比例^[6],说明其外源性有机物含量很高;滦河源水中的腐殖质含量较低,亲水性有机物占较大比例^[6],说明滦河水以自生性有机物为主。此外,滦河水中颗粒态有机物所占比例较高,而黄河水则是以溶解性有机物为主。两种源水中藻类均在 1 000×10⁴ 个/L 以上,但优势藻属不同。高藻期间(3月—4月)黄河水以绿藻为主,优势藻属为小球藻、绿梭藻、栅列藻^[8];而滦河水在高藻期间(8月—

9月)以蓝藻为主,优势种属为微囊藻^[7]。

2.2 对颗粒物的去除特性

颗粒计数仪的测定数据显示,在稳定运行期间,气浮、过滤出水的不同粒径颗粒 [(2~3)、(3~5)、(5~7)、(7~10)、(10~15)、(15~20)、(20~25)、>25 μm] 的分布比例稳定。然而在不同的源水质期,气浮出水的颗粒物分布表现出一定差异(见图1)。对于低污染水质期,常规气浮出水中的颗粒物以2~5 μm的为主;而对于微污染水质期的黄河及滦河水,气浮处理出水的颗粒物分布向大粒径移动,以黄河水的表现尤为明显。低污染水质期、滦河水、黄河水的气浮出水中粒径>5 μm的颗粒物所占比例依次为15%、18%、29%。

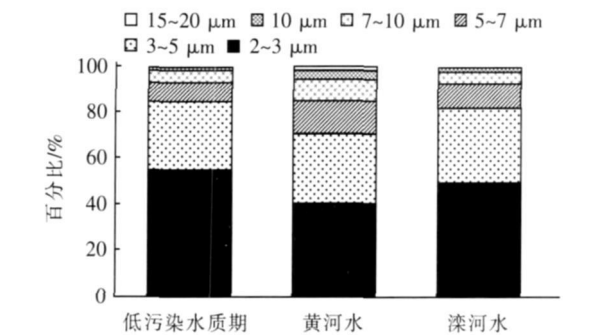


图 1 不同源水经常规气浮处理后出水的颗粒物分布
Fig 1 Particle size distribution in different source waters treated by dissolved air flotation

图2是滤池对粒径>2 μm颗粒物的去除情况。无臭氧预氧化时,过滤单元对三种源水中颗粒物的去除量相当,在5 000~6 500个/mL;增加臭氧预氧化后,滦河水的过滤出水中颗粒数明显降低,但对去除黄河水中颗粒物的影响较小。

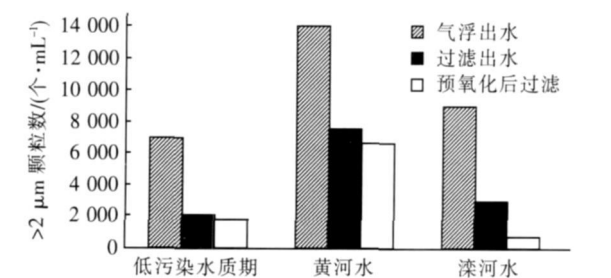


图 2 过滤工艺对不同源水中颗粒物的去除情况
Fig 2 Particle removal from different source waters by rapid filtration

2.3 过滤周期及水头损失

过滤周期是衡量滤池产水能力的一个重要指标,藻类浓度过高会造成过滤周期缩短,影响滤池的

产水量。臭氧预氧化对滤池运行周期的影响如图3所示,处理滦河水时水头损失的增长曲线见图4

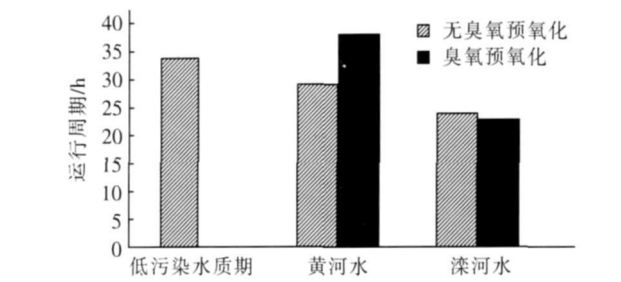


图 3 不同源水及工艺条件下滤池的运行周期
Fig 3 Hydraulic cycle of filters with different source waters and pre-ozonation

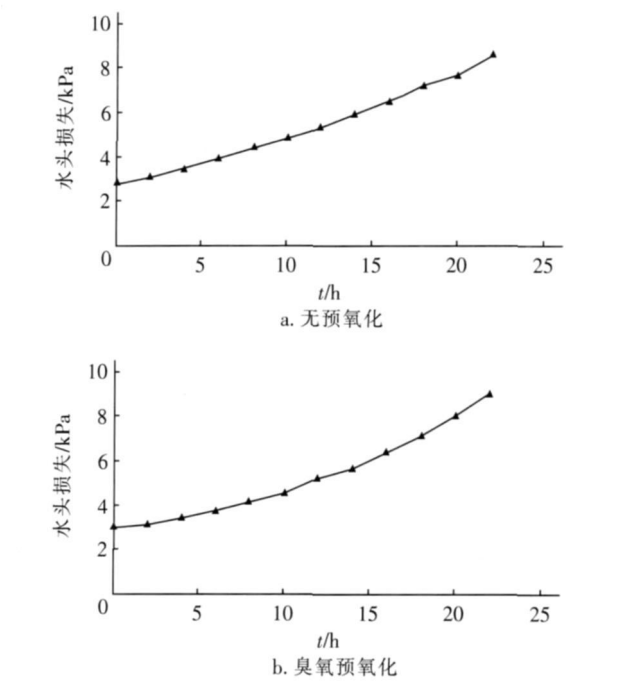


图 4 处理滦河水时滤池的水头损失增长曲线
Fig 4 Filter head-loss increase curve of Luan River water with and without pre-oxidation

气浮出水中的Fe浓度均在0.5 mg/L以下。无臭氧预氧化时,处理低污染水、黄河水、滦河水的滤池进水浊度分别为(1.0~1.4)、(1.0~1.2)、(1.0~1.2) NTU;增加臭氧预氧化后,处理黄河水、滦河水时滤池进水浊度分别为(0.8~1.0)、(0.7~1.0) NTU。由图3可以看出:①处理两种微污染源水时的过滤周期均比低污染水质期的短,以处理滦河水的滤池堵塞情况更为严重;②增加臭氧预氧化后,能够明显延长处理黄河水时的过滤周期,但处理滦河水时滤池运行周期的变化不明显。另外,从图4可以看出,无臭氧预氧化时,水头损失的增长较为均

匀, 更接近线性; 在采用臭氧预氧化后, 初始阶段的水头损失增长缓慢, 在过滤后期 (约 15 h 后) 水头损失增长迅速。这反映出无臭氧预氧化时, 滦河水的过滤符合深度过滤的特性; 在采用臭氧预氧化后, 滦河水的过滤呈现出表层过滤的特性。

3 讨论

3.1 藻类特性对过滤的影响及预氧化控制效果

藻类对滤池堵塞有重要影响, 图 3 中滤池运行周期的结果也反映出两种污染水体的不同优势藻属对滤池堵塞的影响程度。黄河水为春季水华, 藻类优势种群为个体较小、易被吞食、生长迅速的种类; 滦河水的水华多发生在夏季, 以个体较大、不易被摄食的种类为主, 因此导致滤池的堵塞更严重。对于黄河水, 臭氧预氧化能提高对藻类的去除率^[8], 降低滤池进水负荷, 使过滤周期延长; 而对于滦河水, 臭氧预氧化则使颗粒物 (包含藻类物质) 在滤料表面的吸附性增强, 导致以蓝藻为主、个体较大的藻类及其他颗粒物在滤料表面发生聚集^[9], 虽然进水负荷降低, 但由于是表层过滤, 运行周期并未延长。

3.2 有机物特性对过滤的影响及预氧化控制效果

从气浮出水的颗粒物分布来看, 黄河水的气浮出水中较大颗粒物所占比例较高, 说明其有机污染的影响更为严重, 颗粒物更不容易被混凝/气浮工艺去除。这增加了后续过滤工艺的进水负荷, 使滤池出水浊度及颗粒物数量升高, 同时导致滤池的运行周期缩短。

臭氧预氧化对滦河水中颗粒物的强化去除效果更为明显。郭瑾认为, “吸附态” NOM 是造成悬浮颗粒负电性和稳定性增加的主要原因。黄河水中外源性有机物占主导, 臭氧氧化效果整体上表现为有机物的吸附/溶解的动态平衡, 因此“吸附性”有机物的整体含量变化不明显, 对颗粒物去除效率的提高有限。对于滦河水, “颗粒态”有机物所占比例较高, 颗粒表面的有机物容易被臭氧氧化, 提高了其在滤料表面的吸附效率。因此, 有机物对过滤或其他处理工艺的影响与其性质有关。

4 结论

① 藻类是造成滤池堵塞的重要因素, 其中以蓝藻为主的滦河水过滤堵塞比以绿藻为主的黄河水过滤堵塞程度严重。

② 针对不同类型的污染水体, 颗粒态有机物、溶解性有机物的影响不同。对于黄河水, 溶解性有

机物污染严重, 气浮出水中大粒径颗粒增加, 容易使过滤周期缩短; 相比较而言, 滦河水的处理效果主要受到“颗粒态”有机物的影响, 相对容易去除。

③ 臭氧预氧化的效果与水体中有机物及藻类的特性有关。试验显示, 受“颗粒态”有机物的影响, 臭氧预氧化对滦河水中颗粒物的强化去除效果明显, 同时随着颗粒吸附性的增强, 过滤呈现出表层过滤的特性; 而对于以溶解性有机物为主的黄河水, 臭氧预氧化对去除颗粒物的影响不明显, 但滤池的运行周期有所延长。

参考文献:

- [1] Gregory D. Understanding and mitigating the negative impact of natural organic matter on filtration process [D]. Colorado Colorado State University, 2004.
- [2] 张军峰, 何建波. 高藻和有机物污染严重水源处理方法的实践 [J]. 机械给排水, 2005 (1): 8-11.
- [3] Henderson R, Parsons S A, Jefferson R. The impact of algal properties and pre-oxidation on solid-liquid separation of algae [J]. Water Res, 2008, 42 (8/9): 1827-1845.
- [4] Henderson R, Sharp E, Jarvis P, *et al*. Identifying the linkage between particle characteristics and understanding coagulation performance [J]. Water Sci Technol Water Supply, 2006, 6 (1): 31-38.
- [5] Widrig D L, Gray K A, McAuliffe K S. Removal of algal-derived organic material by preozonation and coagulation: Monitoring changes in organic quality by pyrolysis-GC-MS [J]. Water Res, 1996, 30 (11): 2621-2632.
- [6] 晏明全, 王东升, 曲久辉, 等. 典型北方高碱度微污染水体强化混凝的示范研究 [J]. 环境科学学报, 2006, 26 (6): 887-892.
- [7] 解岳, 陈霄, 黄廷林, 等. 北方城市供水水源藻类高发特征及其影响因素探讨 [J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2005, 37 (2): 184-188.
- [8] 梁恒, 李星, 李圭白, 等. 水处理工艺流程选择对除藻性能影响研究 [J]. 中国给水排水, 2005, 21 (3): 5-7.
- [9] 马军, 刘伟, 盛力, 等. 腐殖酸对高铁酸钾预氧化除藻效果的影响 [J]. 中国给水排水, 2000, 16 (9): 5-8.

作者简介: 王娜 (1982-), 女, 河北保定人, 博士研究生, 研究方向为给水处理理论与技术。

E-mail: wn_sw@163.com

收稿日期: 2010-09-03