

沸石-石英砂生物滤池处理微污染水中试研究

杨艳玲¹, 李 星¹, 张 晔¹, 李圭白²

(1. 北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022;

2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘 要: 通过中试考察了沸石-石英砂双层滤料生物滤池处理微污染水的运行效能, 探讨了生物滤池处理此类水体的可行性. 结果表明, 生物滤池可以有效地提高出水水质, 对浊度、 COD_{Mn} 、波长为 254 nm 的紫外吸光度 A_{254} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除率分别达到 93.5%、38%、40%、95% 及 100%, 而且工作区间主要集中在滤层上部 30 cm 内; 反冲洗对滤料表面附着的微生物膜影响很小, 生物膜在反冲洗后 1~2 h 内能恢复到反冲洗前的水平. 因此, 对于该污染水源水, 采用沸石-石英砂生物滤池替代原有普通滤池.

关键词: 生物滤池; 微污染水; 中试; 给水处理

中图分类号: TU 991.2

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2006)12-1067-04

某江水为香港、深圳等市的饮用水源, 由于沿江排污, 水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等指标严重超标, 为 3 类水质, 现有常规处理工艺无法保证供水水质. 生物滤池对微污染水的处理作为一种好氧处理技术发展起来的, 其原理是使净化微生物附着在固定的载体上, 当水流经滤料表面时, 通过有机营养物的吸附, 氧向生物膜内部的扩散以及生物氧化等作用对污染物进行降解.

本研究根据江水的污染特点以及沸石滤料生物滤池在微污染水源水的处理效果^[1-5], 采用沸石-石英砂双层滤料生物滤池工艺对沉淀后出水进行处理, 考察该工艺沿水流不同高层对浊度、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 及 A_{254} 指标的去除效果, 同时考察反冲洗对滤池生物膜的影响, 该研究为水厂普通滤池改造成生物滤池的可行性提供了试验依据.

1 试验装置与进水水质

中试试验装置如图 1 所示, 主要实验装置为一个生物滤池, 滤柱直径为 140 mm, 高度为 4.0 m; 其中上层沸石滤料的高度为 80.0 cm, 粒径为 0.8~1.2 mm, 下层石英砂滤料的高度为 40.0 cm, 粒径为 0.75 mm. 试验期间生物滤池的流速为 7.5~8.0 m/h. 滤后水由水箱收集, 反冲洗时, COD_{Mn} 从水箱中抽水对试验滤池进行冲洗.

试验水温为 23~28 °C; pH 为 6.82~7.53; COD_{Mn} 为 0.96~9.00 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 浊度为 27~72 NTU; ($\text{NH}_3\text{-N}$) 为 0.51~2.88 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; DO 为 4.90~7.39 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

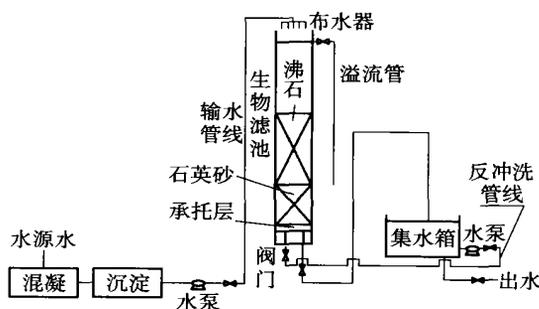


图 1 工艺流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of treatment process

收稿日期: 2005-12-28.

基金项目: 国家高技术发展计划资助项目 (863-2004AA601020); 北京市属市管高校人才强教计划资助项目 (05004014200607)

作者简介: 杨艳玲 (1964-), 女, 副研究员, 辽宁法库人.

2 试验结果与分析

试验中 2 个滤柱均采用强化挂膜方式,在整个挂膜期间,每天对进出水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 COD_{Mn} 及 DO 进行检测,待 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 等指标的去除达到稳定,表明生物膜已经成熟,即认为生物滤柱挂膜基本完成。

2.1 生物滤池运行效能

2.1.1 生物滤池对浊度的去除效果

图 2 为生物滤池沿程对浊度(n)的去除效果,随着滤层深度的增加,滤池出水的浊度迅速下降,滤池最终出水浊度的去除率为 93.5%,滤层深度为 30 cm 时对浊度的去除率达到了 85%,说明了生物滤池对浊度的去除主要是依靠滤层上部 30 cm 的沸石滤料层,滤层下部的石英砂主要起防止浊质穿透作用。

在生物滤池内,对于浊度的去除有 2 个作用,一个是未被生物膜覆盖的滤料表面对悬浮颗粒的传统吸附截留作用,另一个是滤料上附着的贫营养微生物膜借助于较大的比表面积和微生物分泌的黏性物质对悬浮颗粒的生物吸附作用,同时,滤料生物膜表面之间,仍有传统的吸附截留作用,即生物滤池对浊度的去除是由传统吸附截留作用和生物吸附作用共同完成的^[6]。

2.1.2 生物滤池对有机物的去除效果

从图 3 可以看出,生物滤池对 COD_{Mn} 的去除率为 38%,在滤层 30 cm 处对 COD_{Mn} 的去除率达到了 34%,占总去除率近 90%,吸收有机物的生物膜主要集中在滤层表面 30 cm 内,这是由于生物滤池进水中的有机物含量本身就比较低,随着有机物沿滤层深度不断被微生物降解去除,到达滤层下部的可被微生物吸收利用的有机物就非常少了,因而下层对有机物的降解非常有限。

生物滤池去除有机物一方面是微生物对小分子有机物的降解,由于微生物生长代谢中物质和能量的需要,将部分低分子有机物分解成二氧化碳和水,同时也将降解中生成的部分中间产物合成微生物体;另一方面是微生物胞外酶对大分子有机物的分解作用;此处生物吸附絮凝作用,由于生物膜的比表面积较大,能吸附部分有机物,使部分大分子有机物在生物滤池中被滤料表面的生物膜吸附下来,在反冲洗时被冲出滤池^[7]。

从图 4 可以看出,生物滤池对 A_{254} 的去除率可达 40%,在 0~60 cm 滤层内, A_{254} 的含量随着滤层深度的增加迅速降低,而在 60 cm 以下的滤层,去除率增长较慢。

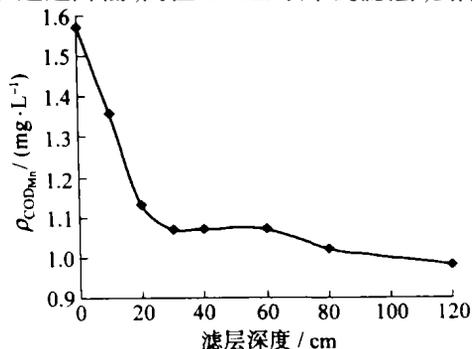


图 3 生物滤池的不同深度对 COD_{Mn} 的去除效果

Fig. 3 COD_{Mn} removal of along depth of biofilter

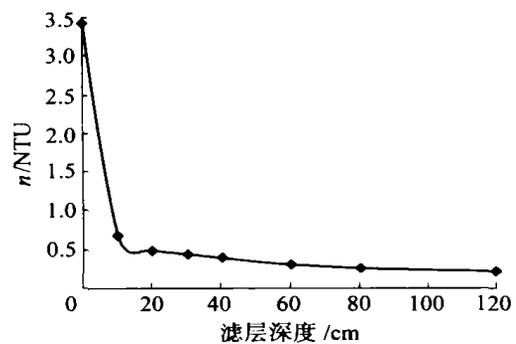


图 2 生物滤池的不同深度对浊度的去除效果

Fig. 2 Turbidity removal along depth of biofilter

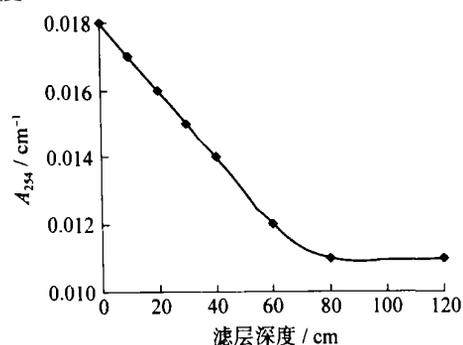


图 4 生物滤池的不同深度对 A_{254} 的去除效果

Fig. 4 A_{254} removal along depth of biofilter

比较生物滤池去除 COD_{Mn} 和 A_{254} 的效果可以发现, A_{254} 在整个沸石滤料段有明显的去除, 而生物膜大部分只存在于滤层表面 $0 \sim 30 \text{ cm}$, 说明沸石生物滤池对 A_{254} 的去除不仅是微生物作用, 由于 A_{254} 反映了腐殖酸一类难于生物降解的有机物含量, 因此沸石生物滤池对其去除还应包括颗粒滤层截留作用以及沸石对极性物质的吸附作用。

2.1.3 生物滤池不同层高水流氮元素的转换

图 5 是氮化合物在生物滤池中的转化。在滤层 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 内生物滤池对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率达到 95% 以上, 对 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除率接近 100%, 说明硝化菌和亚硝化菌绝大部分都生长在滤层表面。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除曲线先是增长的过程, 然后迅速降低, 这是因为水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 首先是在亚硝化杆菌的作用下转化为 $\text{NO}_2\text{-N}$, 然后在硝化杆菌的作用下, $\text{NO}_2\text{-N}$ 进一步被氧化成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。

从图 5 中还可以看出, 生物滤池中沿水流方向 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 和 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 迅速减少的同时, $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度迅速增加, 在滤层下 20 cm 处基本保持了稳定, 而且 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 最终都转化成了 $\text{NO}_3\text{-N}$, 也就是在该生物滤池中只存在硝化反应, 而不存在反硝化反应, 这是因为反硝化反应只能存在于缺氧的环境 DO 中, 既水中的溶解氧要小于 0.5 mg/L 时才会有反硝化反应发生, 而该生物滤池滤后水的溶解氧都大于 2 mg/L , 属于好氧环境, 再由于生物滤池定时的反冲洗, 生物膜不断的脱落更新, 也使得同步硝化反硝化反应难以进行。

2.2 生物滤池水头损失的增长情况

图 6 是在实验滤速下, 生物滤池 1 个周期内的水头损失 (h) 增长情况。水头损失在 48 h 增长到 160 cm , 而且水头损失在前半个运行周期的增长要明显慢于后半个运行周期。这说明生物滤池运行一段时间后, 由于滤料表面生物膜的增厚和截留悬浮颗粒的增多, 使得滤池的水头损失增长更快。滤层表面沸石的空隙率明显大于滤层下部石英砂滤料孔隙率, 使沸石滤料截污更加均匀, 下层石英砂滤料截留悬浮颗粒的作用可得到较充分的发挥。

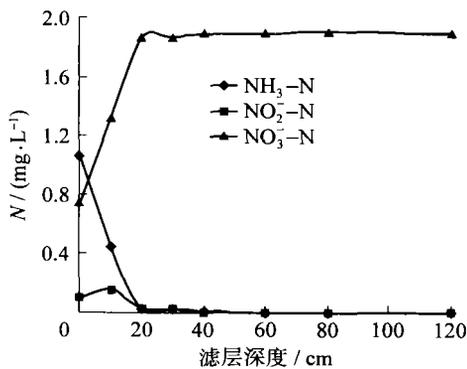


图 5 生物滤池的不同深度氮化合物的转化

Fig. 5 Conversion of nitrogen compound

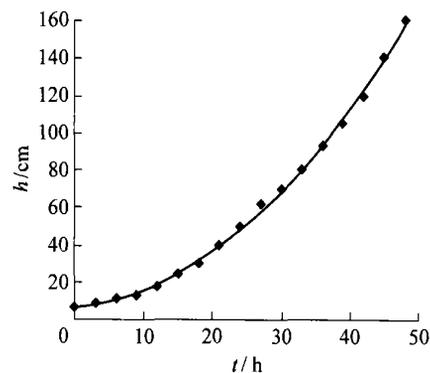


图 6 生物滤池内水头损失的变化

Fig. 6 Variations of head loss in biofilter along depth of biofilter

2.3 反冲洗对生物滤池的影响

试验反冲洗滤料膨胀度为 25% ~ 30%。在流速 $7.5 \sim 8.0 \text{ m/h}$ 的状态下, 运行 48 h 对滤池进行反冲洗。

2.3.1 反冲洗对生物滤池去除有机物的影响

图 7 是生物滤池反冲洗后 1 个运行周期内有机物的去除率。反冲洗 0.5 h 后, COD_{Mn} 和 A_{254} 的去除率分别是 24% 和 25%; 反冲洗 2 h 后, 两者的去除率分别达到 30% 和 40% 以上, 在随后的运行时间里能维持稳定的去除率。

适宜的反冲洗强度和反冲洗时间不会对生物滤池的去除效果产生影响, 而且反冲洗后生物膜恢复很快。这是由于反冲洗使得滤层循环流动, 使上段附着活性好的菌群的滤料与下段菌群含量少且活性差的

滤料发生置换,使冲脱的活性生物膜在上段适当蓄积,从而反冲洗后只需短暂的稳定,滤层表面的去除能力便立即发挥出来,保证了在滤料生物膜成熟前生物滤池去除效率^[8]。

2.3.2 反冲洗对生物滤池 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果的影响

图8是生物滤池反冲洗后1个运行周期内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果。生物滤池反冲洗0.5 h后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率达到63%,1 h后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率就能稳定达到90%以上。和有机物去除率相比,反冲洗对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率影响更小,主要是因为相同的环境条件下,生长速度慢的硝化菌、亚硝化菌形成的生物膜比生长速度快的有机异养菌的生物膜更为致密,抗反冲洗剪切力的能力更强,也即反冲洗时,异养菌比自养菌更容易脱落^[9-10]。

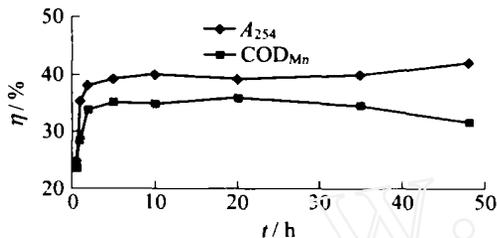


图7 生物滤池对 COD_{Mn} 和 A_{254} 的去除率

Fig. 7 COD_{Mn} and A_{254} removal rate of biofilter

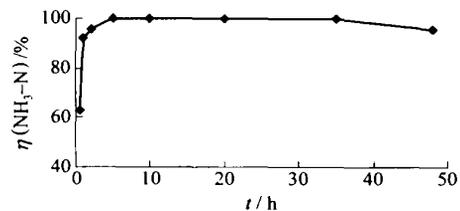


图8 生物滤池对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率

Fig. 8 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal rate of biofilter

3 结论

采用沸石-石英砂双层滤料生物滤池处理微污染水可以获得良好的出水水质,对浊度、 COD_{Mn} 、 A_{254} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除率分别达到93.5%、38%、40%、95%和100%。

生物滤池对浊度和 COD_{Mn} 的去除主要是依靠滤层上部的30 cm工作区,而 A_{254} 在整个沸石滤层都有明显去除效果,硝化反应主要发生在滤层上部20 cm。

反冲洗对滤料表面附着的微生物膜影响很小,生物膜在反冲洗1~2 h后内能恢复到反冲洗前的水平。试验结果表明,采用沸石-石英砂双层滤料生物滤池替代原有普通滤池,在技术上是可行的。

参考文献:

- [1] 田文华,文湘华,钱易.沸石滤料曝气生物滤池去除COD和氨氮[J].中国给水排水,2002,18(12):13-15.
TIAN Wen-hua, WEN Xiang-hua, QIAN Yi. Use of zeolite medium biological aerated filter for removal of COD and ammonia nitrogen[J]. Chian Water & Wastewater, 2002, 18(12): 13-15. (in Chinese)
- [2] 李德生,王晓东,王占生.生物沸石反应器在微污染水源水处理中的应用[J].环境科学,2000,21(5):71-73.
LI De-sheng, WANG Xiao-dong, WANG Zhan-sheng. Application of bio-zeolite reactor on micro-polluted source water quality treatment[J]. Environmental Science, 2000, 21(5): 71-73. (in Chinese)
- [3] 王占生,刘文君.微污染水饮用水处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [4] 刘雨,赵庆良,郑兴灿.生物膜法污水处理技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [5] 赵庆良,刘雨.废水处理与资源化新工艺[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [6] 朱亮.供水水源保护与微污染水体净化[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [7] 周群英,高廷耀.环境工程微生物学[M].北京:高等教育出版社,2000:259-260.
- [8] RITTMANN B E. Analyzing biofilm process used in biological filtration[J]. Journal of American Water Works Association, 1990, 82(12): 62-66. (in Chinese)
- [9] POLANCE F, MENDEZ E, VILLAVARDE S. Study of nitrifying biofilms in submerged biofilters by experimental design method[J]. Wat Sci Tech, 1995, 32(8): 227-233.
- [10] 乔铁军,张晓健,于鑫.反冲洗对饮用水生物活性滤池生物量的影响[J].给水排水,2002,25(11):17-21.
QIAO Tie-jun, ZHANG Xiao-jian, YU Xin. Effect of backwashing on biomass in biological active filter of drinking water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 25(11): 17-21. (in Chinese)

Treatment of Saline Sewage With Modified MUCT Process

YE Liu, PENG Yong-zhen, CUI You-wei, WANG Xiao-wei

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: In order to find out the removal efficiency of nutrient pollution of real saline sewage and the influence of salinity shock, a lab-scale nutrient removal activated sludge system, based on the MUCT configuration, is modified to treat 10 g/L saline sewage. The results indicate that after domestication of microorganism at 10 g/L salinity, the total organic nitrogen and phosphorus average removal efficiency can achieve 87 % and 72 % respectively. The nutrient removal efficiency was also changed under different salinity shock. The salinity shock, especially increased salinity shock, influences phosphorus removal efficiency much more than the removal efficiency of nitrogen and organic matter.

Key words: saline; nitrogen removal; phosphorus removal; modify MUCT

(上接第 1070 页)

Pilot-Scale Experimental Study of Micropolluted Raw Water with Zeolite-Sand Biofilter

YANG Yan-ling¹, LI Xing¹, ZHANG Ye¹, LI Gui-bai²

(1. Key Laboratory of Beijing for water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022; 2. School of Municipal and Environment Engineering Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The operational performance of zeolite-sand double-layer biofilter is studied to treat micropolluted raw water on an experimental scale. The feasibility of the micropolluted raw water treated by the biofilter is examined. The results show that the treated water quality can be obviously improved and the removal rate of turbidity, COD_{Mn} , UV_{254} , $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2^- \text{-N}$ has reached to 93.5 %, 38 %, 40 %, 95 % and 100 % respectively. The removal is handled mostly on the top layer of 30 cm in the biofilter. Backwashing process of the biofilter has little influence on the biofilm, which can be recovered within one to two hours after the backwashing. It is feasible to replace an ordinary filter with zeolite-sand double-layer biofilter in the process of micropolluted raw water treatment.

Key words: biofilter; micropolluted water; pilot-scale; drinking water treatment