试验研究

生物滤池处理微污染水效能的试验研究

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，黑龙江 哈尔滨 150090)

[摘要] 以微污染江水为试验水样，通过中试考察了石英砂滤池和 GAC-石英砂滤池的运行效能，探讨生物滤池处理此类水体的可行性。结果表明，生物滤池处理微污染水可获得良好的出水水质。二者对浊度有很好的去除效果；石英砂滤池对 NH_3-N、COD_{Mn} 及 UV_{254} 平均去除率分别为 72.4%、19.6%及 22.9%；GAC-石英砂滤池运行效果更好，平均去除率分别达 84.5%、39.6%和 42.5%；稳定运行期间，二者对 NO_2^--N 的去除率接近 100%，但在运行周期及应对水质突变方面，GAC-石英砂滤池的性能明显优于石英砂滤池，因此，采用 GAC-石英砂滤池可以更好地提高出水水质。本研究为给水厂普通滤池改造成生物滤池的可行性和有效性提供了试验依据。

[关键词] 活性炭-石英砂双层滤池；石英砂滤料；生物滤池；微污染水
[中图分类号] TU991.2 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2007)04-0017-04

Experimental study on the efficiency of the treatment of micro-polluted river water with biofilter

Yang Yanling[1], Li Xing[1], Zhang Ye[1], Li Guibai[2]
(1. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. School of Municipal and Environment Engineering., Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Taking the micro-polluted river water as water sample, the operational efficacy of sand biofilter and GAC-sand biofilter has been investigated through pilot-scale experiments. The feasibility of the biofilters for treating this water body is discussed. The results show that the treated water quality can be obviously improved by the biofilters. Both biofilters show good results for the removal of turbidity. The average removal rate of sand biofilter on NH_3-N, COD_{Mn} and UV_{254} are 72.4%, 19.6% and 22.9% respectively. The GAC-sand biofilter shows much better operational effect. The average removal rate on NH_3-N, COD_{Mn} and UV_{254} are 84.5%, 39.6% and 42.5% respectively. The removal rate of both biofilters on NO_2^--N is nearly 100% during steady operation. But during the operation period and in treating the sudden changes of water quality, the GAC-sand biofilter is clearly better than that of the sand biofilter. Therefore, the treated water quality can be improved much better by the GAC-sand biofilter. This study provides experimental basis for water plants with the feasibility and effectiveness of reforming ordinary filters to biofilters.

Key words: granular active carbon-sand filter; sand filter; biofilter; micro-polluted water

微污染的东江水负担香港、深圳、惠州、东莞和广州等市约 3 000 多万人口的用水。在枯水季节，处于下游的某市河段净流量小，水质较差，为三类水质；到了雨季，大量的污水随着排洪涌进东江，水源的 NH_3-N、有机物等严重超标，其中 NH_3-N、COD_{Mn} 分别达到 6～7、10～12 mg/L，导致现有常规处理工艺处理效果变差，甚至难以处理，影响供水的水质。

生物滤池作为传统的污水生物处理工艺，以其去除有机污染物、NH_3-N 等方面的优异性能，近年来在微污染水处理中的应用受到越来越多的重视，

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

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成为目前饮用水处理中很有发展前景的一种技术。笔者以经常规混凝、沉淀后的东江水出水作为试验原水(滤前水),考察生物滤池工艺对浊度、NH_3-N、NO_2^--N、COD_{Mn}及UV_{254}的去除效果,以便为水厂普通滤池改造成生物滤池的可行性和有效性提供试验依据。

由于生物滤池中所用填料的特性是影响处理效果的关键因素之一,因此选择适合于微生物附着的载体对于提高生物滤池的运行效果具有十分重要的意义[1,2]。试验通过中试对普通石英砂滤料和GAC-石英砂双层滤料两种生物滤池的运行效能进行了比较。

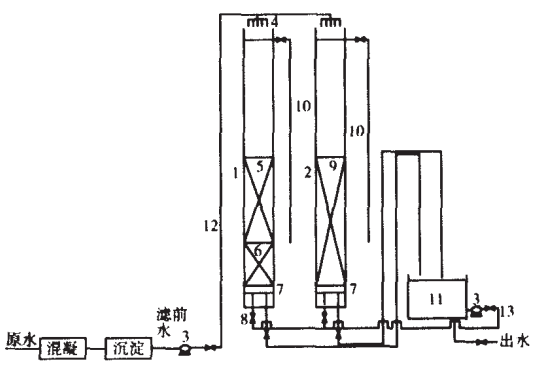
1　试验材料与方法

1.1　原水水质

试验期间原水水质如下:水温23~28 ℃;pH 6.82~7.53;COD_{Mn} 0.96~9.00 mg/L;浊度27~72 NTU;NH_3-N 0.51~2.88 mg/L;DO 4.90~7.3 mg/L

1.2　中试工艺

中试工艺流程见图1。生物滤池进水为东江水源水经过混凝、沉淀后的出水,主要实验装置为并联的2个生物滤池,滤柱D 14 mm,滤速7.5~8.0 m/h,1#生物滤池为双层滤料,GAC与石英砂滤料高度分别为800 mm及400 mm;2#生物滤池为石英砂滤料,滤料高度为1 200 mm。滤后水由水箱收集,反冲洗时,启动水泵从水箱中抽水对滤柱进行冲洗。



1—GAC-石英砂生物滤池;2—石英砂生物滤池;3—水泵;4—布水器;5—GAC;6—石英砂;7—承托层;8—阀门;9—普通石英砂;10—溢流管;11—集水箱;12—输水管线;13—反冲洗管线

图1　工艺流程

2　试验结果与分析

试验中的两种生物滤池均采用强化挂膜方式,在整个挂膜期间,每天对进出水中NH_3-N、NO_2^--N、COD_{Mn}及DO进行监测,待NH_3-N、NO_2^--N等指标的去除达到稳定,即认为生物膜已经成熟,生物滤池挂膜基本完成。

2.1　生物滤池对浊度的去除效果

两种生物滤池对浊度的去除效果见图2。

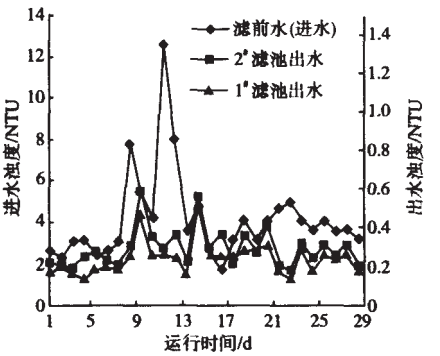


图2　生物滤池对浊度的去除效果

从图2可以看出,两种生物滤池对浊度均有很好的去除效果,GAC-石英砂生物滤池的效果略好于石英砂生物滤池,整个运行期间最大出水浊度仅为0.58 NTU,完全能够达到国家饮用水水质标准。

在生物滤池内,浊度的去除一方面是通过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,另一方面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。因此,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[3,4]。通过测定,生物吸附作用发生在滤料上表面400 mm之内,以上表面200 mm最为集中,而传统的吸附截留作用则发生在整个滤料层中。

2.2　生物滤池对有机物的去除效果

两种生物滤池对COD_{Mn}及UV_{254}的去除效果见图3、图4。

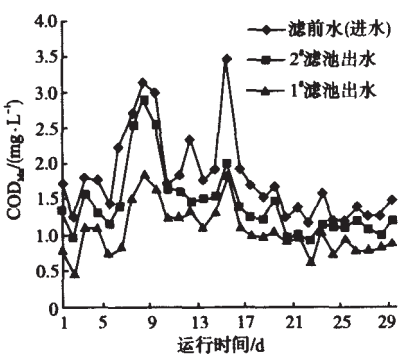


图3　生物滤池对COD_{Mn}的去除效果

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

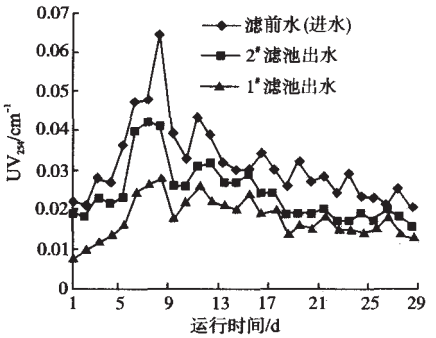


图 4　生物滤池对 UV_{254} 的去除效果

由图 3、图 4 可以看出,两种生物滤池对 COD_{Mn} 及 UV_{254} 均有很好的去除效果,这对于降低后续工艺氯耗,减少 THMs 的生成都有重要的意义。从图 3、图 4 还可以看出,当进水 COD_{Mn} 及 UV_{254} 突然增加时,出水 COD_{Mn} 及 UV_{254} 也会随着增加,并且去除的 COD_{Mn} 及 UV_{254} 的绝对值保持一种稳定状态,即 COD_{Mn} 及 UV_{254} 的去除率下降,说明在稳定运行状态下滤柱中去除 COD_{Mn} 及 UV_{254} 的微生物量是一定的,如果水质 COD_{Mn} 发生较大的改变,滤柱中微生物需要 1~2 d 去适应以重新达到稳定的去除率。另外,双层滤料生物滤池的效果明显好于单层滤料生物滤池,二者对 COD_{Mn} 去除率分别平均为 39.6%和 19.6%,对 UV_{254} 的去除率分别平均为 42.5%和 22.9%。

生物滤池对有机物的去除机理主要包括:(1)微生物对小分子有机物的降解作用。微生物生长代谢中可将部分低分子有机物分解成二氧化碳和水,同时也可将降解中生成的部分中间产物合成为微生物体;(2)微生物胞外酶对大分子有机物的分解作用;(3)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,在反冲洗时被冲出滤池[5,6]。

2.3　生物滤池对 NH_3-N 及 NO_2^--N 的去除效果

氮是微污染水处理中的主要去除对象,主要以有机氮、NH_3-N、NO_2^--N 和 NO_3^--N 的形式存在,对饮用水的安全构成一定的威胁。供水中残余的 NH_3-N会促进配水管网中硝化菌的生长,而硝化菌和 NH_3-N 释放的有机物会引起嗅味;出厂水中的 NH_3-N 与氯反应形成氯胺,不仅会消耗大量的氯,而且生成了大量氯化消毒副产物;亚硝酸盐在水中直接导致致癌的亚硝基化合物生成[1]。两种生物滤池对 NH_3-N 及 NO_2^--N 去除效果见图 5 和图 6。

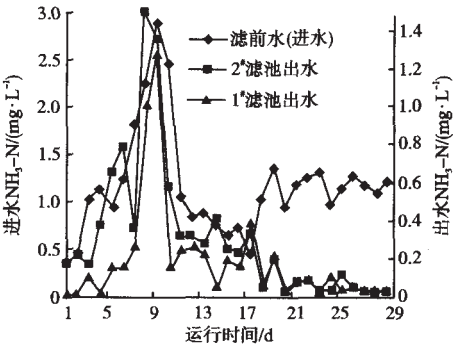


图 5　生物滤池对 NH_3-N 的去除效果

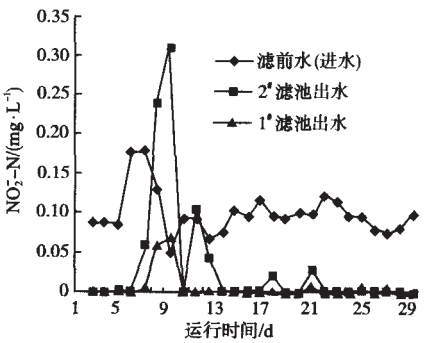


图 6　生物滤池对 NO_2^--N 的去除效果

由图 5 可以看出,经过生物滤池处理后,水中 NH_3-N 的浓度大大降低,石英砂生物滤池平均去除率为 72.4%,GAC-石英砂生物滤池平均去除率为 84.5%;当生物滤池进水中 NH_3-N 质量浓度 <1.5 mg/L 时,两种滤池对 NH_3-N 的去除率都 >90%,出水 NH_3-N 质量浓度均 <0.1 mg/L;在第 7~10 d,进水中 NH_3-N 和 COD_{Mn} 等都大幅度的增加,其中 COD_{Mn} 保持在 3 mg/L 以上时,两种滤池的 NH_3-N 去除率都发生了较大的下降。其原因是高浓度有机物对 NH_3-N 的去除有明显的抑制作用,当 NH_3-N 和有机物同时存在时,硝化菌和异养菌会同时争夺水中的溶解氧。当水中有机物浓度较低时,由于水中的氧较为充分,能满足硝化菌和异养菌的最大需要,这时两菌之间不会产生明显的竞争,表现在微生物对水中的有机物和 NH_3-N 的去除率保持基本稳定;当水中的有机物突然大幅增加时,由于异养菌的生长繁殖速度更快,异养菌首先利用水中的氧,在营养较为丰富的条件下大量繁殖,同时由于生物膜的增厚也阻碍了氧向生物膜的传递,使得水中溶解氧不足,从而限制了硝化细菌的生长繁殖,使硝化反应受到影响,导致生物滤池对 NH_3-N 的去除率呈较大的下降趋势[1]。但此时 GAC-石英砂生物滤池对水质突变的适应能力略好于普通石英砂生物滤池。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从图 6 可以看出，在进水水质状况较为稳定的情况下，两种滤池对 NO_2^--N 的去除率基本达到 100%，石英砂生物滤池偶尔有很小波动，可能与反冲洗有关，因为石英砂表面光滑，没有孔隙的结构，再加上硝化菌生物膜处于去除有机物生物膜的下方，而异养菌的生物膜是在滤料的最表层，在反冲洗过程中，石英砂由于相互的摩擦，处于中间的硝化菌生物膜更容易脱落。不过硝化菌膜恢复的很快，对于出水基本没有太多的影响。

由图 6 还可以看出，在运行 7~10 d 时，进水水质突然恶化，出水的 NO_2^--N 也大幅度增加，甚至有几天的出水 NO_2^--N 含量高于进水，这是因为，生物膜的硝化作用分为氨氧化和亚硝酸盐氧化两个阶段，分别由氨氧化细菌和亚硝酸盐氧化细菌完成。前者的氧化产物亚硝酸盐是后者的氧化底物，因此滤池中亚硝酸盐氧化细菌所去除的 NO_2^--N 由两部分组成[6,7]，即进水中原有的 NO_2^--N 和由 NH_3-N 经氨氧化而来的 NO_2^--N。由于进水 NH_3-N 的浓度要远大于进水的 NO_2^--N，所以就会出现在进水突然恶化的情况下，受到异养菌和溶解氧的抑制，一部分的 NH_3-N 在转化为 NO_2^--N 后已经没有足够的溶解氧去进一步氧化生成 NO_3^--N 了，这样就会导致出水的 NO_2^--N 浓度大于进水的 NO_2^--N 浓度。但两种滤池相比下，GAC-石英砂滤池抗水质突变的能力仍然要好于普通石英砂滤池。

2.4　两种滤池水头损失的增长

两种生物滤池运行一个周期内水头损失的情况见图 7。

水头损失的大小决定了生物滤池运行的周期和反冲洗时间。由图 7 可以看出，石英砂滤池的水头损失增长速度要明显大于 GAC-石英砂滤池，到 48 h 反冲洗时，石英砂滤池的水头损失比 GAC-石英砂滤池高出 5.88 kPa。这是由于滤池的水头损失与滤料孔隙率和滤料粒径有直接的关系，滤料孔隙率或滤料粒径越小，则滤池水头损失越大。对于 GAC-石英砂滤池，其表面活性炭的空隙率大于普通石英砂滤料，因此截污能力更强，同时下层石英砂滤料截留悬浮颗粒的作用也可以得到较充分的发挥。

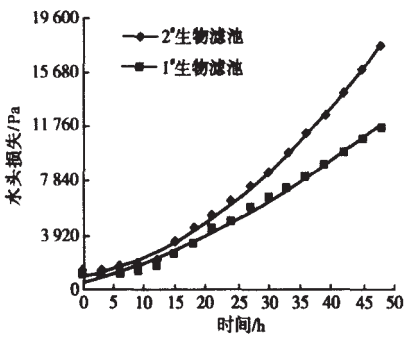


图 7　两种滤池水头损失的变化

3　结论

采用生物滤池处理微污染水可获得良好的出水水质，本实验中，石英砂滤池对 NH_3-N、COD_{Mn} 及 UV_{254} 平均去除率分别达到 72.4%、19.6%及 22.9%；GAC-石英砂滤池运行效果更好，平均去除率分别达 84.5%、39.6%和 42.5%；稳定运行期间，二者对 NO_2^--N 的去除率接近 100%；但在运行周期及应对水质突变方面，GAC-石英砂滤池的性能明显优于石英砂滤池，因此，采用 GAC-石英砂滤池可以更好地提高出水水质。本研究为水厂普通滤池改造成生物滤池的可行性和有效性提供了试验依据。

[参考文献]

[1] 王占生，刘文君.微污染水源饮用水处理[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1999：123-141.
[2] 桑军强，王占生.BAF 在微污染源水生物预处理中的应用[J]. 中国给水排水，2003，19(2)：21-23.
[3] 桑军强，张锡辉，张声，等. 原水生物预处理的轻质滤料滤池和陶粒滤池运行效果对比[J]. 环境科学，2004，25(3)：40-43.
[4] 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，2005：290-310.
[5] 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.
[6] 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，2000：3-4.
[7] 于鑫，乔铁军，张晓健，等.饮用水生物滤池中亚硝酸盐氧化细菌的生长规律[J]. 应用与环境生物学报，2003，9(3)：318-321.

[作者简介] 杨艳玲(1964—)，副研究员，工学博士，研究方向：安全饮用水保障技术。电话：010-88586585，E-mail：yangyanling@bjut.edu.cn。
[收稿日期] 2006-11-22(修改稿)

·简　讯·

抚顺石化化工塑料厂污水实现零排放

中油抚顺石化化工塑料厂加强水资源的综合管理和优化利用，尤其通过污水回用装置，使生产污水由治理排放型转向治理回用型，水资源再生利用能力达到国内同行业领先水平，目前企业已实现化工污水的零排放，并取得明显的经济和社会效益。　　摘自中国环境报 2007-02-02(7)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net