

温度对生物炭滤池处理高氨氮原水硝化的影响

刘建广^{1,2}, 张晓健¹, 王占生^{1*} (1.清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2.山东建筑工程学院环境工程系, 山东 济南 250014)

摘要: 利用臭氧预氧化-生物预处理-混凝沉淀-砂滤-臭氧后氧化-生物活性炭滤池组合工艺对微污染水源水进行了深度处理中间试验, 将一部分未经生物预处理的高氨氮原水经常规处理后进入生物活性炭滤池以提高活性炭滤池进水氨氮浓度, 研究了温度对高氨氮进水条件下生物活性炭滤池硝化能力的影响。试验表明, 生物活性炭(BAC)的生物活性随温度的降低而降低, 在水温 2°C 左右时, 生物活性炭滤池对氨氮的去除能力相当于 6°C 以上时去除能力的 50%; 在温度 >6°C 的条件下, 生物活性炭滤池对氨氮的去除能力在进水溶解氧基本相同时不随温度(水温 >6°C)的变化而发生变化, 对氨氮的去除能力主要受水中溶解氧的影响。

关键词: 生物活性炭; 硝化; 生物膜; 饮用水

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1000-6923(2004)02-0233-04

Influence of temperature on treating nitrification of high ammonia nitrogen source water in biological carbon filter.
LIU Jian-guang^{1,2}, ZHANG Xiao-jian¹, WANG Zhan-sheng¹ (1.Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2.Department of Environmental Engineering, Shandong Institute of Architecture Engineering, Jinan 250014, China). *China Environmental Science*, 2004,24(2): 233~236

Abstract: A deep treatment pilot test was made on micropolluted source water with combined technique of O₃ preoxidizing biological pretreatment-coagulant sedimentation-sand filter-O₃ after oxidizing biological activated carbon (BAC) filter. A part of high NH₄⁺-N source water not biological treated was fed into BAC filter after conventional treatment to enhance the NH₄⁺-N concentration of BAC filter influent water. The influence of temperature on nitrification ability of BAC filter under the condition of high NH₄⁺-N influent water was studied. The text showed that the bio-activity of BAC was reduced with the decline of temperature; and NH₄⁺-N removal ability in BAC filter at about 2°C corresponded to 50% of the ability above 6°C. At the condition of temperature >6°C, the ability did not change with temperature when the dissolved oxygen (DO) was basically same in the influent water; and the ability was influenced mainly by the DO in the water.

Key words: biological activated carbon(BAC); nitrification; biofilm; drinking water

水源水中的氮一般以有机氮、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐的形式存在,其中以氨氮及硝酸盐所占的比例最大。常规处理对氨氮的去除率较低,处理后的水中若含有较高的氨氮,会增加氯消毒的需氯量(理论消耗量为 7.6mgCl₂/mgNH₄⁺-N)。在管网系统中,由于氨氮不完全硝化会生成大量的亚硝酸盐,对人体健康造成危害^[1]。若在氯化前去除 NH₄⁺-N,将明显降低需氯量,减少氯化消毒副产物的生成,并能提高水在供水管网系统中的化学和生物稳定性。生物活性炭滤池被证明是能同时去除可降解有机物和氨氮的有效工艺^[2]。其中,对于生物活性炭滤池硝化工艺的设计与运行来

说,温度条件对高氨氮源水处理的影响尤为重要。本实验在南方某市的水厂内进行了高氨氮水源水深度处理的试验,对生物炭滤池的硝化作用及温度的影响进行了研究。

1 试验流程与方法

1.1 试验流程

深度处理中试试验流程为:原水→O₃ 预氧化→生物预处理→混凝沉淀→砂滤→O₃ 后氧化→活性炭滤池→出水。

收稿日期: 2003-07-20

* 责任作者, 教授, wangzs@tsinghua.edu.cn

生物活性炭滤池采用有机玻璃制作,直径 400mm,柱高 4m,内装炭层 1.6m,柱壁上设多个取样孔.活性炭为不规则煤质破碎炭,规格为 8×12 目,底部设置气水反冲洗装置,采取上进下出运行方式,正常滤速为 8m/h.

1.2 检测项目

COD_{Mn}、NH₄⁺-N 均按国家标准方法,DO 采用便携式溶氧仪(YS1-55),BAC 生物活性采用原位耗氧速率法(OUR)^[3,4]测定.

试验用水取自水厂一级泵房取水口,由于河水污染较严重,试验期间,原水的氨氮最高达到 6mg/L 以上(平均在 4mg/L 左右),COD_{Mn} 在 5~7.5mg/L 的范围.

2 结果与讨论

由于深度处理的中试流程中有生物曝气滤池预处理工艺,在曝气滤池的正常运行下,进入活性炭滤池的氨氮浓度较低,基本不影响有机物的去除.为了考察在不同温度下生物活性炭滤池对高氨氮的硝化能力,以确定生物活性炭滤池的适宜进水氨氮浓度,将部分原水经混凝沉淀及砂滤池过滤后(氨氮含量在 4.0mg/L 左右)混合于生物活性炭滤池进水中,以提高进水的氨氮含量.

2.1 温度对生物活性炭滤池硝化菌挂膜的影响

中试自 2002 年 9 月 10 日开始运行,水温为 20~26℃,挂膜期为 14d.为了考察不同温度下的挂膜期,又分别在 2003 年 1 月(水温 2~6℃)与 2003 年 3 月(水温 10~16℃)安装了 2 根活性炭滤柱,进行了挂膜试验.试验发现,水温在 10~16℃时,挂膜时间为 14d 左右,与水温在 20~26℃的挂膜时间基本相同;而在 2~6℃的条件下,经 30d(中间因春节停止进水 8d)的运行未完成硝化菌的挂膜,随温度逐渐上升至 8~10℃,又运行 10d 后(共运行 40d)挂膜成功.说明低温对硝化菌生物膜的挂膜有很大影响.

硝化菌大多适宜在常温下生存,部分硝化菌如亚硝化杆菌(*Nitrosomonas*)和亚硝化球菌(*Nitrosococcus*)适合于 2~40℃的水温,硝化杆菌(*Nitrobacter*)适合 5~40℃的水温条件^[5] 桑军强^[6]

试验结果表明,在 5℃时的微生物活性(用耗氧速率 OUR 表征)是 10℃时的 65%左右;0.5℃时微生物的活性是 10℃时的 25.1%.在低温条件下,硝化菌的活性及种类将大大受到限制,生长速率甚至会降至 0^[7],这是低温条件下挂膜困难的主要原因.另外,在进入滤池前,混凝沉淀能将水中 99%的硝化菌去除掉^[8],也影响了低温时的挂膜时间.

2.2 温度对生物活性炭滤池去除氨氮的影响

在稳定运行期(2002 年 10 月~2003 年 4 月),进水 NH₄⁺-N<1.5mg/L、COD_{Mn} 为 3.2~4.0mg/L、DO>7.5mg/L 的条件下,出水 COD<3.0mg/L;进水 NH₄⁺-N 较高(>2.0mg/L)时,出水 COD_{Mn} 高于 3.0mg/L(COD_{Mn} 的运行数据未列出).不同温度下生物活性炭滤池对氨氮去除率见图 1.从图 1 可以看出,在水温为 2℃左右,BAC 对氨氮的去除量与滤速有关,滤速为 8m/h 时,对氨氮最大去除量为 1.0mg/L,进水氨氮小于 0.7mg/L,可全部去除.当滤速为 5m/h,最大去除量为 1.5mg/L,最大去除负荷与滤速关系不大,为 131gNH₄⁺-N/(m³ 滤料·d).在水温为 6~8℃,进水氨氮浓度 1.3~2.8mg/L 的条件下,去除量与滤速(6~8m/h)无关,生物活性炭滤池对氨氮的去除率为 85%~99%,最大去除负荷为 316gNH₄⁺-N/(m³ 滤料·d).在水温为 12~16℃,进水氨氮浓度为 0.70~3.00mg/L 的条件下,生物活性炭滤池对氨氮的去除率为 66%~99%,最大去除负荷为 263gNH₄⁺-N/(m³ 滤料·d),在进水氨氮浓度小于 1.9mg/L 时,能完全硝化,对氨氮去除率大于 98%,出水氨氮浓度低于检测限;可见,在水温 2℃左右时,生物活性炭滤池对氨氮的去除能力相当于水温 6℃以上时去除能力的 50%;造成几个温度区间去除负荷差异的原因如下.

生物活性炭滤池滤层内无曝气设备,生物作用所需 DO 均来自进水中携带的溶解氧(通过臭氧氧化的曝气与跌水作用能提高进水中的溶解氧).由于氧在水中有一定的饱和度,因此进水中溶解氧是有限度的.氧在水中的饱和溶解度受温度影响,低温时饱和溶解度大,温度高时饱和溶解度小.经测定,在 2~4℃的水温条件下,生物活性炭滤池上部水中的 DO 可达 11.0~12.1mg/L,8~10℃时

DO 可达 10~11.5mg/L,12~16℃水温时的 DO 达 8.5~10.0mg/L.当停止 O₃ 氧化及无跌水时,DO 可降至 6.0mg/L 以下.

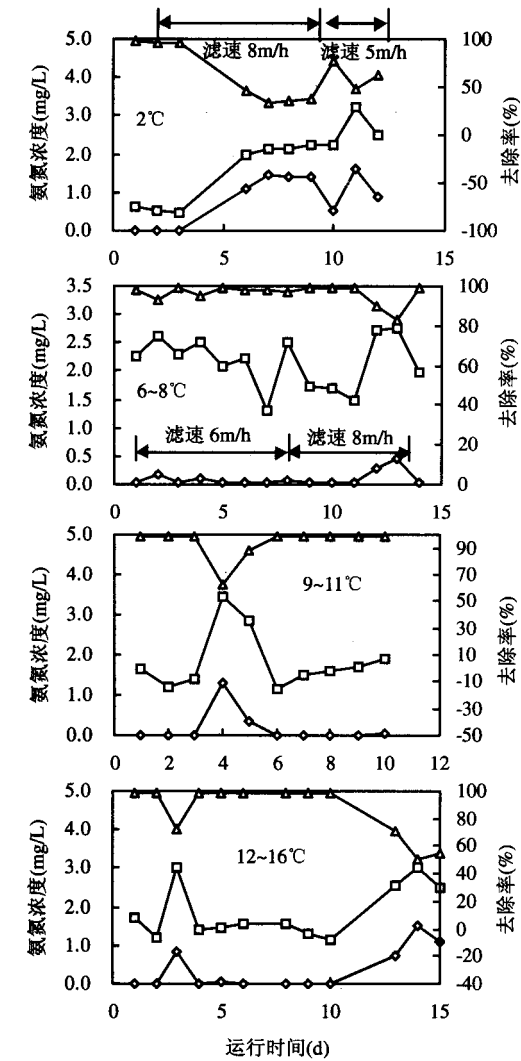
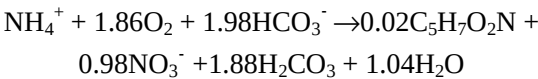


图 1 生物活性炭滤池在不同温度区间的硝化作用
Fig.1 Nitrification capacity in BAC filter at different temperature range

—□— 进水 —◇— 出水 —△— 去除率

生物硝化作用的总反应式可表达为^[7]:



完全氧化 1mg NH₄⁺-N 需消耗 4.25mgO₂,因此生物活性炭滤池对氨氮的去除量随进水 DO 而变化.造成水温不同时生物活性炭滤池对氨氮

去除能力的差异,进水中溶解氧的不同是主要因素之一.从微生物的生理特性来说,无论是自养硝化菌还是异养菌,其生物活性(最大比生长速率和最大比基质降解速率)均受温度影响,温度低时生物活性低.为了考察温度对生物活性炭滤池生物活性的影响,取炭层上部的 BAC 进行了不同水温下的耗氧速率(OUR)试验,并计算出单位体积滤料的比耗氧速率(SOUR)值,见图 2.

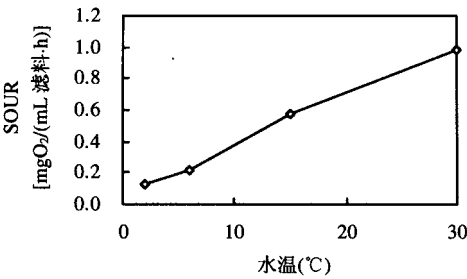


图 2 不同温度下生物活性炭的 SOUR
Fig.2 SOUR of biofilm in BAC at different temperature

从图 2 可见,在低温下,BAC 的生物活性比常温时低得多,与文献[6]的报道一致.尽管如此,由于 BAC 巨大的比表面积及表面具有多孔的性质,保证了足够的生物量,因此在低温下(≥6℃)生物活性炭滤池的去除容量仍然比较大,在有较高溶解氧浓度的情况下,能去除较多的氨氮.但在水温为 2℃时,由于生物活性大大降低,而造成滤池的去除能力下降.

为了考察生物活性炭滤池中的氨氮变化情况,在不同温度下分别从生物活性炭滤池不同高度的取样口取样,测定氨氮与 DO,结果见图 3.由图 3 可见,在水温较低(进水 DO 为 12mg/L)时,沿滤层深度,氨氮浓度逐渐降低,全部滤层均参与了硝化作用.而在温度较高且氨氮较高(进水 DO 小于 8mg/L)时,在第一个取样口处(40cm 高的滤层)溶解氧已基本被消耗殆尽,当氨氮较低时,在第一个取样口处氨氮已接近为零.实际上仅有不足 40cm 高的滤层参与了硝化作用,反映了不同水温下硝化所需的水力停留时间,水温低需要较长的水力停留时间(12~15min),水温较高(11℃以上)时仅需 3min.

在水温较高时,虽然 BAC 的生物活性高,但

由于进水 DO 的限制,使得大部分滤层并没有发挥去除氨氮的作用,因此就生物活性炭滤池整体功能来说,生物活性炭滤池具有较大的去除氨氮的潜力,可通过提高进水溶解氧或在滤层中曝气充氧达到去除高氨氮的目的。

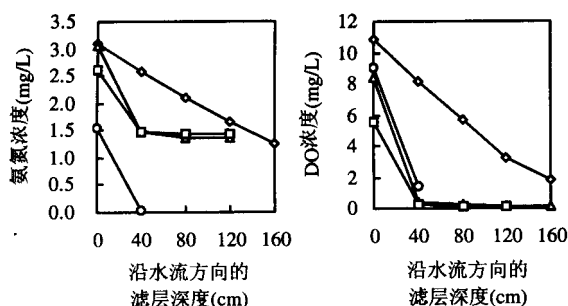


图3 不同水温下滤层中的氨氮及 DO 变化

Fig.3 Ammonia and DO concentration along the direction of water flow at different temperature

—◇— 5°C —○— 11°C —△— 17°C —□— 24°C

试验结果表明,水温为 2°C 左右时对氨氮的最大去除量为 1.0mg/L,此时 DO 很高(可达 12mgO₂/L),因此,硝化菌与异养菌对 DO 不存在竞争问题,进水氨氮浓度不会影响 BAC 对有机物的去除,但由于硝化能力的限制,应控制进水氨氮在 1.5mg/L 以内,以保证出水氨氮小于 0.5mg/L。在水温为 6~11°C, BAC 对氨氮的最大去除量为 2.5mg/L,相应消耗 DO 量达 10.5mg/L,即硝化菌对 DO 的竞争具有明显的优势,因此进水氨氮应控制在 1.9mg/L 以内。在水温为 12~16°C 时,对氨氮最大去除量为 1.83mg/L,所消耗的溶解氧为 7.8mg/L,由于水中溶解氧相对较低,为避免硝化菌过多地竞争 DO 而影响异养菌去除 COD_{Mn},宜控制进水氨氮小于 1.5mg/L。从以上分析可知,控制生物活性炭滤池的进水氨氮小于 1.5mg/L 并保证进水 DO 大于 7.5mg/L,能保证硝化与碳化同时进行。考虑到常规混凝沉淀砂滤对氨氮有一定的去除作用^[8,9](本试验表明在常温下砂滤去除氨氮 0.5mg/L),且南方低于 4°C 水温的时间较短,在没有生物预处理的情况下,生物活性炭滤池可用于氨氮浓度小于 2mg/L 的水源水。若氨氮浓度大于 2mg/L,则应设置生物预处理、或采取曝气

的生物活性炭滤池-砂滤工艺、或采取第一级设曝气装置的二级串联生物活性炭滤池工艺。

3 结论

3.1 在较低温度下水温对 BAC 的生物活性(用比耗氧速率 SOUR 表征)影响较大,在 8m/h 的滤速下,水温在 2°C 时,生物活性炭滤池对氨氮的去除能力相当于 6°C 以上时去除能力的 50% 左右;在较高水温时,水温变化对生物活性炭滤池的氨氮去除能力影响不大,水中溶解氧是影响炭滤池硝化能力的主要因素。

3.2 进水氨氮浓度及水温较高时,生物活性炭滤池中硝化菌与异养菌存在着对 DO 的竞争,高氨氮浓度对 COD_{Mn} 去除有一定的影响。应控制进入生物炭滤池的氨氮 < 1.5mg/L,并应通过 O₃ 氧化、跌水等措施使活性炭滤池上部水中的溶解氧在 7.5mg/L 以上。对于高氨氮的原水则应采取生物预处理以保证生物炭滤池的进水。

参考文献:

- [1] Csanady M. Nitrite formation and bacteriological deterioration of water quality in distribution networks [J]. Water Supply, 1992, 10(3):39-43.
- [2] 龙小庆,富良,顾玉其,等.活性滤池去除微污染水中有机物和氨氮 [J]. 中国给水排水,2002,18(8):44-45.
- [3] 王建龙,吴立波,齐星,等.用氧吸收速率(OUR)表征活性污泥硝化活性的研究 [J]. 环境科学学报,1999,19(3):225-229.
- [4] Joanna Surmacz-Gorska, Gernaey K, Demuyne C, et al. Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen uptake rate (OUR) measurements [J]. Water Res., 1996,30(5):1228-1236.
- [5] 王毓仁.提高废水生物硝化效果的理论探讨及工艺对策 [J]. 给水排水,1994,8:27.
- [6] 桑军强,王占生.低温条件下生物陶粒反应器运行特性研究 [J]. 环境科学,2003,24(2):112-115.
- [7] 姚重华.废水处理计量学导论 [M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [8] Uhl W, Gimbel R. Dynamic modeling of ammonia removal at low temperatures in drinking water rapid filters [J]. Wat. Sci. Tech., 2000,41(4-5):199-206.
- [9] 许保玖,安鼎年.给水处理理论与设计 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.

作者简介:刘建广(1964-),男,山东章丘人,山东建筑工程学院教授,清华大学在读博士生,主要从事水处理技术的教学与研究工作.发表论文 20 余篇。