悬浮载体生物膜反应器修复受污染河水试验研究

王荣昌 ,文湘华 ,景永强 ,钱易
(清华大学环境科学与工程系 环境模拟与污染控制国家重点联合试验室 , 北京 100084)

摘要:利用自行开发的悬浮载体生物膜反应器(SCBR)进行了修复受污染河水的试验 ,考察了水力停留时间对 COD_{Cr}和氨氮去除效果的影响. 试验结果表明 ,在水温为 15～20 ℃,进水 COD_{Cr}为 70～100mg/ L ,进水氨氮为 8～20mg/ L 的条件下 ,反应器水力停留时间采用 1. 0h 时 ,SCBR 反应器可以有效去除河水中的 COD_{Cr}和氨氮 ,其中对 COD_{Cr}的平均去除率可以达到 56. 9 % ,对氨氮的平均去除率可以达到 76. 0 %.

关键词:生物膜反应器 ;河水修复 ;水力停留时间 ;氨氮
中图分类号:X703 **文献标识码**:A **文章编号**:0250-3301(2004)增刊-0067-03

Remediation of Polluted River Water by Using a Suspended Carrier Biofilm Reactor

WANG Rong-chang , WEN Xiang-hua , JING Yong-qiang , QIAN Yi
(State Key Laboratory of Environment Stimulation and Pollution Control ,Department of Environmental Science and Engineering , Tsinghua University , Beijing 100084 ,China)

Abstract :The removal of COD_{Cr} and ammonia from the polluted river water by a suspended carrier biofilm reactor (SCBR) was studied in this paper. The results showed that under the conditions of water temperature 15～20 ℃, the influent COD_{Cr} 70～100mg/ L , the influent ammonia 8～20mg/ L , hydraulic retention time 1. 0 h , the SCBR can reach average COD_{Cr} removal ratio of 56. 9 % and average ammonia removal ratio of 76. 0 %.

Key words :biofilm reactor ; river water remediation ; hydraulic retention time ; ammonia

污染水体原位生物修复技术的研究在我国尚处于起步阶段. 随着我国水体污染趋势的日益加重 ,除了对污染物进行源头控制之外 ,对已经受到污染的水体进行原位修复变得日益迫切. 所以 ,污染水体原位修复反应器的研究与开发有其必要性和迫切性[1]. 在水体修复反应器中 ,大多采用生物膜反应器的形式 ,主要是因为生物膜在去除有机物同时具有脱氮除磷的作用 ,尤其对受有机物和氨氮污染比较严重的河水具有明显的净化效果[2]. 另外 ,生物膜上还可能大量出现丝状细菌、轮虫、线虫等 ,从而进一步加强了生物膜对污染物的净化能力. 目前 ,生物膜反应器主要用于中小河流的整治修复 ,其形式以卵石生物滤池[2]和生物接触氧化池[3]为主. 生物膜载体多采用卵石、砾石或者人工组合填料、弹性填料等. 这些填料一般成本比较低廉 ,但其生物可附着生长的表面积比较低. 为了达到较好的污染处理效果 ,反应器内需要保持一定的生物量 ,这些反应器的容积一般比较大 ,这样就增加了基建成本和占地面积. 为了进一步提高反应器对污染物的处理效率 ,本研究针对水体原位修复反应器的要求 ,设计开发了一种新型的悬浮载体生物膜反应器(SCBR) ,该反应器采用较小粒径(2. 5～3. 0mm)的生物膜载体 ,较高的载体投加量(体积比 50 %～60 %) ,并通过曝气的气提作用保证载体充分悬浮. 在对悬浮载体生物膜反应器进行了结构改造和流态优化的基础上 ,将其应用于受污染河水水质的原位修复. 本文主要对悬浮载体生物膜反应器用于修复实际河水的效果进行考察 ,并初步确定了适用于所研究河水的 SCBR 反应器的最佳水力停留时间.

1 试验装置与方法

1. 1 试验装置

试验所用反应器为结构改进后的新型悬浮载体生物膜反应器 ,其结构示意图如图 1 所示. 反应器采用有机玻璃加工而成 ,反应区有效体积为 6L ,沉淀区有效体积为 2L. 生物膜载体选用聚氯乙烯柱状粒料 ,直径为 2. 5mm ,高度在 2. 5～3. 0mm 之间 ,颗粒比重为 1. 0042 ,比表面积为 30. 7m^2/ kg. 反应器底部采用微孔金属板曝气 ,一方面对反应器内微生物供氧 ,另一方面保证反应器内载体的充分悬浮.

基金项目:国家科技部重点专项专题(2000-03) ;清华大学 985 基金项目
作者简介:王荣昌(1976～) ,男 ,汉族 ,博士研究生 ,主要研究方向为水污染控制和水体生物修复.

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

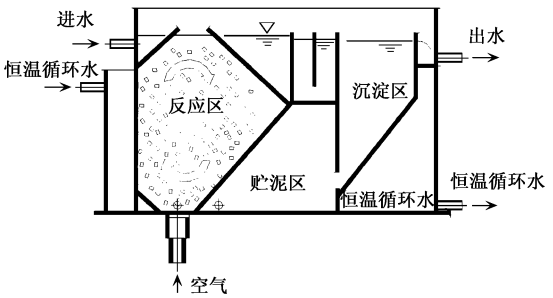

图 1 悬浮载体生物膜反应器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of suspended carrier biofilm reactor

1.2 试验方法

以动态连续运行试验为主,所处理的原水为清华大学校河(万泉河)河水. 在试验期间,河水的水质状况为:COD_{Cr}在 70～100mg/L 左右,氨氮在 8～20mg/L 左右.

采用尺寸完全相同的 4 个反应器(R1、R2、R3 和 R4)进行试验,采用相同的进水水质,各反应器的水力停留时间(HRT)分别采用 0.5、1.0、2.0 和 2.5h,载体投加量均采用 50 %,反应器内水温在 15～20 ℃之间,pH 在 7.0～8.5 之间,溶解氧(DO)在 5.1～6.3mg/L 之间.

1.3 分析项目与方法

COD_{Cr}采用标准方法测定[5]. 氨氮采用纳氏试剂法测定[6]. 光学显微镜采用 Nikon Optiphot X-2 型生物研究显微镜. 生物膜微观结构采用中国科学院微生物所日立 S-570 型扫描电子显微镜观察.

2 试验结果与讨论

2.1 污泥接种和连续运行

首先进行污泥接种,接种污泥为高碑店污水处理厂二沉池的剩余污泥,在微量曝气的情况下,不进水运行 1d,然后排出接种污泥,正常进水连续运行.

在反应器连续运行期间观察到载体表面的生物膜呈黄褐色,有泥腥味. 在运行初期生物膜生长较快,在大约 7d 后生物膜生长减缓,生物膜厚度维持稳定,约 0.1～0.2mm 左右.

2.2 对 COD 和氨氮的去除效果

在各 SCBR 反应器连续运行期间,进水及各反应器出水 COD 的变化情况如图 2 所示. 各反应器对 COD 的去除情况如图 3 所示. 由图 2 和图 3 可以看出,各反应器对 COD 的去除率在连续运行的前 10d 逐步增加,而 10d 以后趋于稳定,认为此时反应器进行稳定运行状态. 此外,当水力停留时间在 0.5～2.5h 变化时,各反应器对 COD 的去除率差别不大,在反应器稳定运行期间,对 COD 的平均去除率均在 60 %左右,如图 4 所示.

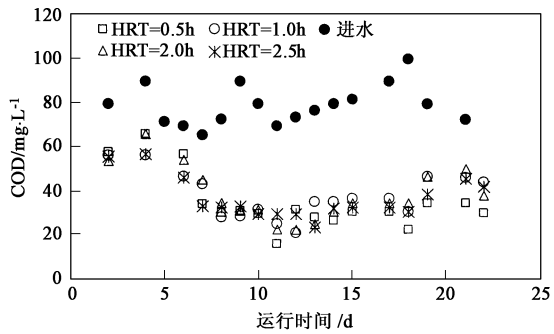

图 2 进水及不同 HRT 时 SCBR 反应器出水 COD 值

Fig. 2 Time dependent variations of the influent and the effluent COD of SCBRs under different HRT

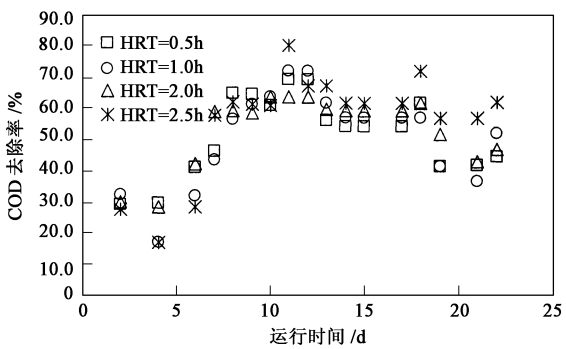

图 3 不同 HRT 时 SCBR 反应器对 COD 的去除率

Fig. 3 Changes of COD removal with time in SCBRs under different HRT

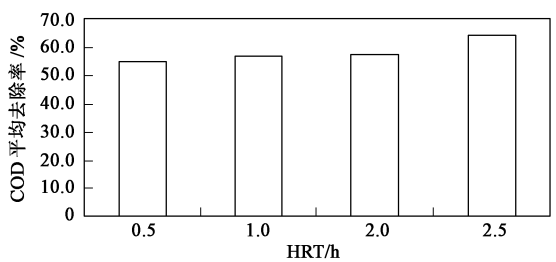

图 4 不同 HRT 时 SCBR 反应器对 COD 的平均去除率

Fig. 4 Average COD removal of SCBRs under different HRT

同样,在各 SCBR 反应器连续运行期间,进水及各反应器出水 COD 的变化情况如图 5 所示. 各反应器对氨氮的去除情况如图 6 所示,由图 5 和图 6 可以看出,各反应器对氨氮的去除趋于稳定需要大约 15d 的时间,比对 COD 去除趋于稳定所需的时间稍长. 反应器稳定运行后,对氨氮的平均去除率如图 7

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

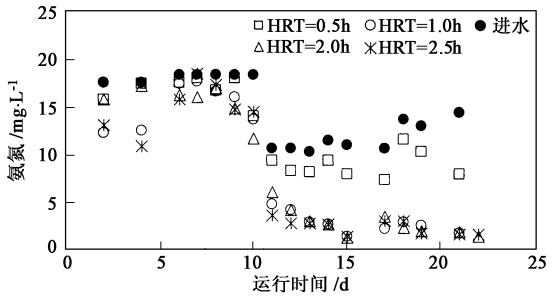

图 5　进水及不同 HRT 时反应器出水氨氮浓度的变化趋势

Fig. 5　Time dependent variations of the influent and the effluent ammonia concentration of SCBRs under different HRT

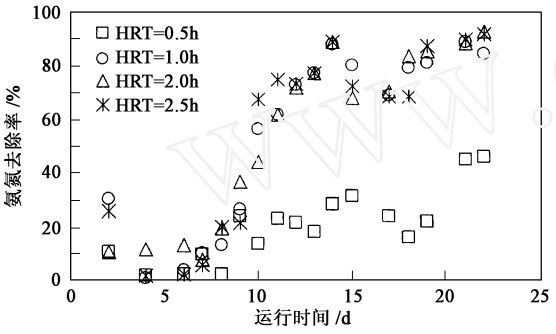

图 6　不同 HRT 时 SCBR 反应器对氨氮的去除率

Fig. 6　Changes of ammonia removal with time in SCBRs under different HRT

所示. 由图 6 和图 7 可以看出,在水力停留时间为 0.5h 时,反应器对氨氮的平均去除率为 25.8 %,明显低于其它工况. 而水力停留时间为 1.0h、2.0h 和 2.5h 的反应器对氨氮的去除效果比较接近,一般氨氮去除率在 65 %～90 %之间,氨氮平均去除率在 75 %左右. 可见,水力停留时间过短,会影响反应器对氨氮的去除效果.

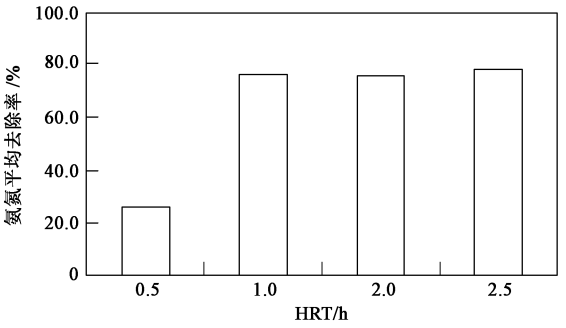

图 7　不同 HRT 时 SCBR 反应器对氨氮的平均去除率

Fig. 7　Average ammonia removal of SCBRs under different HRT

肖羽堂[3]等人采用弹性填料接触氧化法修复河水时,在水温 20～27 ℃,水力停留时间为 1.2～2.0h 时,对氨氮的去除率为 64 %～95 %. 王学江[4]等人采用悬浮填料移动床处理苏州河支流河水,在水温大于 20 ℃,水力停留时间为 1.5h 时,可将河水的氨氮从 30mg/L 降低到 10mg/L 左右. 通过将两者的试验结果与本文比较可看出,在达到接近的氨氮处理效果时,SCBR 反应器所需的水力停留时间比两者都短,说明 SCBR 反应器具有较强的硝化性能.

2.3　最佳水力停留时间的确定

针对本试验所采用的原水的水质情况,根据反应器对 COD 和氨氮的去除效果,可以初步确定最佳的水力停留时间为 1.0h,此时,对 COD 的平均去除率可以达到 56.9 %,对氨氮的平均去除率可以达到 76.0 %.

3　结论

针对试验期间清华大学校河(万泉河)河水的水质变化情况,SCBR 反应器修复校河水比较适合的水力停留时间为 1.0h 左右,此时,对 COD 的平均去除率可以达到 56.9 %,对氨氮的平均去除率可以达到 76.0 %.

由本试验结果可以看出,悬浮载体生物膜反应器用于修复有机污染比较严重的中小型河流时,具有对 COD 和氨氮的处理效率高、可连续运行、无堵塞问题而不需反冲洗、操作管理方便等优点,因此,可推测该反应器具有良好的应用前景.

参考文献:

[1] 陈传宏,田保国. 21 世纪初期中国环境保护与生态建设科技发展战略研究[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2001.

[2] 田伟君,翟金波. 生物膜技术在污染河道治理中的应用[J]. 环境保护,2003,**8**: 19～21.

[3] 肖羽堂,吴鸣,刘辉,等. 弹性填料微孔曝气生物膜法修复污染水源除 NH_4^+-N [J]. 环境科学,2001,**22**(3): 40～43.

[4] 王学江,夏四清,张全兴,等. 悬浮填料移动床处理苏州河支流河水试验研究 [J]. 环境污染治理技术与设备,2002,**3**(1): 27～29.

[5] 美国公共卫生协会 AHPA、自来水厂协会 AWWA、水污染控制联合会 WPCF 合编,宋仁元等译. 水和废水标准检验法(第 15 版) [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1982.

[6] 国家环保局. 水和废水监测分析方法. (第三版) [M]. 北京:中国环境科学出版社,1989.

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