污泥停留时间对 SMBR 净化受污染水源水的影响

田家宇,徐勇鹏,张 艳,潘志辉,韩正双,李圭白

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院 城市水资源与水环境国家重点实验室,150090 哈尔滨, tjy800112@163.com)

摘 要: 为考察用于饮用水处理的浸没式膜生物反应器(SMBR)中适宜的污泥停留时间(SRT),在平行运行的条件下对比研究了80 d和20 d两种SRT下SMBR净化受污染水源水的效能.结果表明,在80 d的SRT下,SMBR对DOC、UV_{254}、TOC、COD_{Mn}的去除率分别为19.6%、13.4%、27.7%和30.7%;而当SRT为20 d时,SMBR的平均去除率为21.2%、13.2%、29.2%和32.7%,去除能力基本相同.此外,80 d和20 d两种SRT下SMBR对NH_3-N的去除率均高于96%.而采用20 d的SRT时,SMBR的跨膜压增长速率略低于80 d的情况.可见,将SRT由80 d缩短至20 d,不仅不会对SMBR净化受污染水源水的效能产生影响,还有助于减缓膜污染.这样,就可以考虑在SMBR中直接投加粉末炭以强化对有机物的去除,并及时排泥,使反应器中的污泥浓度维持在适宜的范围内.

关键词: 膜生物反应器;污泥停留时间;受污染水源水;粉末炭

中图分类号: TU991.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2011)08-0035-04

Influence of sludge retention time on submerged membrane bioreactor for treating polluted raw water

TIAN Jia-yu, XU Yong-peng, ZHANG Yan, PAN Zhi-hui, HAN Zheng-shuang, LI Gui-bai

(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China, tjy800112@163.com)

Abstract: To evaluate the suitable sludge retention time (SRT) in submerged membrane bioreactor (SMBR) for drinking water treatment, two SMBRs under the SRT of 80 d and 20 d were run in parallel and compared in terms of the effectiveness for treating polluted raw water. The results showed that under the SRT of 80 d, the removal efficiencies of SMBR for DOC, UV_{254}, TOC, COD_{Mn} were 19.6%, 13.4%, 27.7% and 30.7%, while those under the SRT of 20 d were 21.2%, 13.2%, 29.2% and 32.7%, respectively. Furthermore, both of the SMBRs achieved over 96% of removal for influent NH_3-N. However, when the short SRT (20 d) was employed, the development rate of trans-membrane pressure in SMBR was lower than that under long SRT (80 d). Therefore, the reduction of SRT from 80 d to 20 d would not affect the effectiveness of SMBR for treating polluted raw water, but mitigate the membrane fouling in SMBR. With the short SRT, it would be possible to dose powdered activated carbon directly in the SMBR, in which the sludge withdrawal could be performed periodically, to maintain the sludge concentration in suitable range.

Key words: membrane bioreactor; sludge retention time; polluted surface water; powdered activated carbon

浸没式膜生物反应器(SMBR)将膜滤作用[1]和生物降解作用有机结合,是一项新型高效的水处理技术,在污水处理中得到广泛研究和应用[1-2].在饮用水处理中,SMBR一般置于混凝沉淀之后,由于进水浊度低,SMBR可保持较长的污泥停留时间(SRT,50~100 d,甚至更长).研究结果表明[3],在80 d的SRT下,SMBR能够强化去

收稿日期: 2010-04-15.

基金项目: 中国博士后科学基金面上项目(20100471074);哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目(QA201017).

作者简介: 田家宇(1979—),男,博士,讲师;
李圭白(1931—),男,博士生导师,中国工程院院士.

除受污染水源水中的氨氮、亚硝酸盐氮以及颗粒性物质. 然而,由于地表水源中的有机物可生化性较差,加之用于饮用水处理的 SMBR 水力停留时间较短,SMBR 对有机物的去除能力较低[4]. 于是,不少学者将粉末炭(PAC)吸附与 SMBR 组合,在 SMBR 中连续或定期投加 PAC,以强化对有机污染物的去除[5-7]. 为了使反应器内的污泥浓度不致过高,保持在适宜的范围内,须及时进行排泥. 而过频的排泥势必会缩短 SMBR 中污泥的停留时间,影响微生物群落的生长与繁殖. 因此,确定 SMBR 中适宜的污泥停留时间具有重要意义,在适宜的 SRT 下,既可最大限度地投加 PAC 强化去除有机物,又不致影响 SMBR 中微生物对氨氮、亚硝酸盐氮的生物降解.

本实验在平行运行的条件下,对比研究了 80 d和 20 d 两种 SRT 下 SMBR 净化受污染水源水的效能,考察了 SRT 对 SMBR 的影响,以期为饮用水处理中 SMBR 组合工艺的进一步研究和工程应用提供基础.

1　实　验

1.1　实验装置

试验装置见图 1,主要由两组平行的 SMBR 组成. 其中的膜组件为束状中空纤维超滤膜,由海南立升净水科技实业有限公司提供,聚氯乙烯(PVC)材质,膜孔径 0.01 μm,膜面积0.4 m^2. 反应器有效容积为 2.0 L,原水通过恒位水箱进入到 SMBR 的反应器,出水通过抽吸泵直接由膜组件抽出. 跨膜压力(TMP)由设置在膜组件和抽吸泵之间的真空表进行监测. 空气泵连续向反应器内曝气以提供溶解氧、进行搅拌混合并清洗膜丝表面.

1.2　运行条件

本试验中膜通量控制在 10 L/(m^2 · h),相应的水力停留时间(HRT)为 0.5 h. 运行方式为抽吸 8 min、停抽 2 min. 空气泵连续向反应器内曝气,气水比为 20∶1.

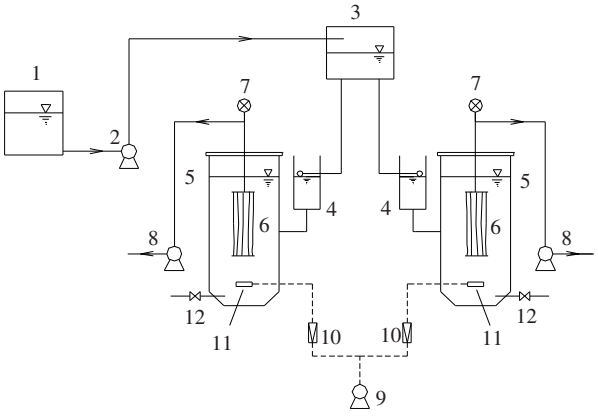
本试验开始之前,两组 SMBR 已经稳定运行数月,SRT 均为 80 d. 本试验中,一组 SMBR 的 SRT 仍维持在 80 d,另一组则采用较短的 SRT:20 d,对比研究 SRT 对 SMBR 处理受污染水源水效能的影响. SMBR 的污泥停留时间通过排放反应器内的混合液进行控制.

1.3　受污染原水

通过以下方式模拟受污染原水:按 30∶1 的比例将当地(哈尔滨)自来水与生活污水混合,同时加入 1 mg/L 的腐殖酸;并投加氯化铵(NH_4Cl)将氨氮浓度维持在 3 ~ 4 mg/L. 该模拟水源水先在室温下稳定 2 d 后再供给两组 SMBR 使用.

1.4　分析方法

本实验中,水中溶解性有机物以溶解性有机碳(DOC)和 254 nm 下的紫外吸光度(UV_{254})表示;总体有机物以总有机碳(TOC)和高锰酸钾指数(COD_{Mn})表示. 对于溶解性有机物,水样首先经 0.45 μm 滤膜过滤后,再进行测定.



1—原水箱; 2—提升泵; 3—高位水箱; 4—恒位水箱; 5—SMBR; 6—UF 膜组件;7—真空表; 8—抽吸泵; 9—空气泵; 10—气体流量计; 11—空气扩散器;12—污泥排放阀.

图 1　试验装置示意图

2　结果与讨论

2.1　SRT 对溶解性有机物去除效能的影响

如图 2(a)所示,试验期间原水中的 DOC 质量浓度平均为(5.959 ± 0.287) mg/L. 当 SRT 为 80 d 时,SMBR 的出水质量浓度为(4.782 ± 0.268) mg/L,平均去除率为(19.6 ± 5.9)%;当 SRT 为 20 d 时,SMBR 的出水质量浓度为(4.687 ± 0.497) mg/L,平均去除率为(21.2 ± 8.5)%.

不同 SRT 下 SMBR 对另一个溶解性有机污染指标 UV_{254}的去除情况如图 2(b)所示. 可见,当 SRT 为 80 d 时,SMBR 将进水中的 UV_{254} 由 (0.074 ± 0.004) cm^{-1}降至(0.064 ± 0.003) cm^{-1},平均去除率为(13.4 ± 4.2)%;而当 SRT 为 20 d 时,SMBR 出水中的 UV_{254}平均也为(0.064 ± 0.003) cm^{-1},平均去除率为(13.2 ± 4.0)%.

80 d 和 20 d 这两种不同的 SRT 对 SMBR 去除水源水中溶解性有机物的能力几乎不产生影响. 原因可能如下:当采用较长的污泥停留时间时,反应器内可以产生并积累一定量的慢速生长微生物,这些微生物能够降解水中的某些通常情况下难于生物降解的有机物;而采用较短的污泥停留时间时,水中的难生物降解有机物被膜及其表面污泥层截留于反应器中[8],可通过污泥排放而及时排出反应器. 结果造

成不同的污泥停留时间下两组 SMBR 对水中溶解性有机物的去除效能基本相同.

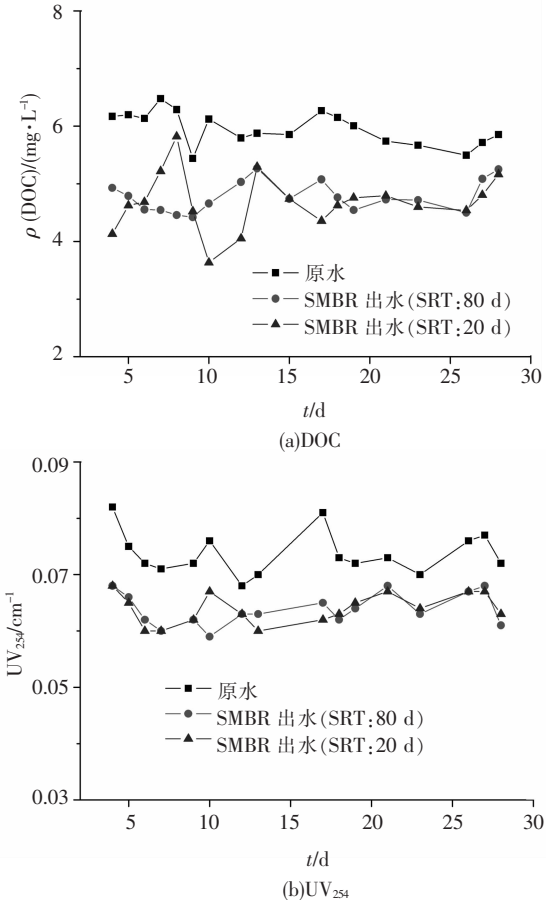


图 2　SRT 对 SMBR 去除 DOC、UV_{254}效能的影响

2.2　SRT 对总体有机物去除效能的影响

不同污泥停留时间下 SMBR 对水中总体有机物的去除情况如图 3 所示. 试验期间原水中 TOC 和 COD_{Mn}的质量浓度分别为(6.646 ± 0.456) mg/L 和(4.25 ± 0.54) mg/L. SRT 为 80 d 时,SMBR 出水中的质量浓度平均为(4.782 ± 0.268) mg/L 和(2.92 ± 0.41) mg/L,平均去除率分别是(27.7 ± 6.8)% 和(30.7 ± 10.2)%;当 SRT 为 20 d 时,SMBR 出水中 TOC 和 COD_{Mn} 的质量浓度分别为(4.687 ± 0.497) mg/L和(2.84 ± 0.39) mg/L,平均去除率为(29.2 ± 8.6)%和(32.7 ± 8.4)%.

可见,与对溶解性有机物的去除情况类似,在 80 d 和 20 d 两种 SRT 下,SMBR 对水中总体有机物的去除能力基本相同. 水中的总体有机物大体上可以分为颗粒性有机物和溶解性有机物两类. 对于颗粒性有机物,无论 SRT 是 80 d 还是 20 d,SMBR 中的超滤膜都可以有效地将其截留于反应器中,通过生物降解或污泥排放将其去除. 而对于溶解性有机物,由 2.1 中的讨论可知,SMBR 对其的去除能力也几乎不受 SRT 的影响. 因此,80 d 和 20 d 两种污泥停留时间下 SMBR 对水中总体有机物表现出几乎相同的去除能力.

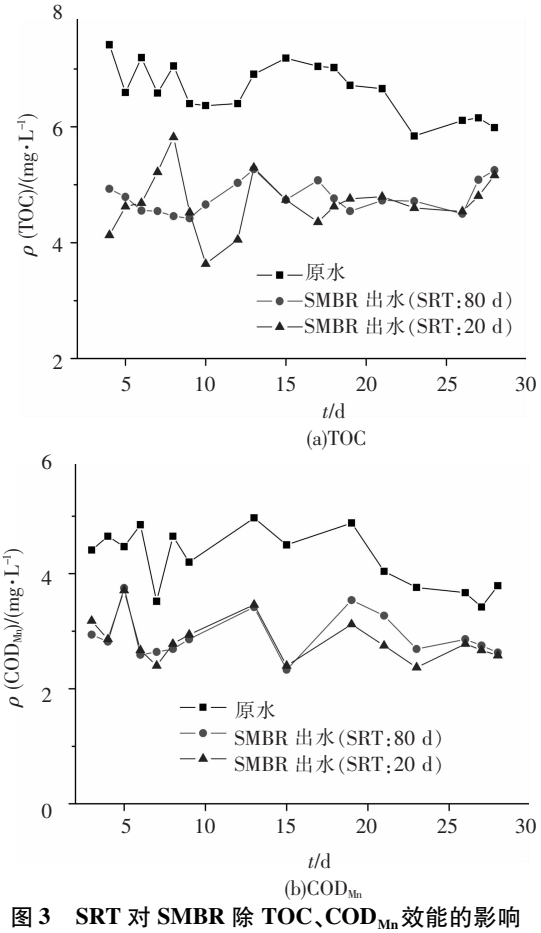


图 3　SRT 对 SMBR 除 TOC、COD_{Mn}效能的影响

2.3　SRT 对 NH_3-N、$NO_2^- -N$ 去除效能的影响

试验期间水源水中的 NH_3-N 和 $NO_2^- -N$ 质量浓度分别为(3.66 ± 0.41) mg/L 和(0.084 ± 0.094) mg/L. 如图 4 所示,80 d 和 20 d 两种 SRT 下 SMBR 对氨氮的去除效率均高于 96%,在将近一个月的运行时间内,出水中平均 NH_3-N 质量浓度低于 0.15 mg/L. 当 SRT 为 80 d 时,SMBR 对 $NO_2^- -N$ 的去除效率为(86.4 ± 18.2)%,出水中 $NO_2^- -N$ 质量浓度为(0.007 ± 0.009) mg/L;SRT 为 20 d 时,对 $NO_2^- -N$ 的去除率为(75.7 ± 31.0)%,出水平均质量浓度为(0.011 ± 0.011) mg/L.

可以看出,80 d 和 20 d 两种污泥停留时间下 SMBR 均保持了对氨氮和亚硝酸盐氮优良的去除效能. 虽然硝化细菌的世代时间较长(亚硝酸菌为 8 ~ 36 h,硝酸菌为 12 ~ 59 h),属慢速生长细菌,但 20 d 的污泥停留时间也足以使其维持一定的生物量,加之反应器内溶解氧充足(平均 7 mg/L 以上),可以满足净化受污染水源水中 NH_3-N 和 $NO_2^- -N$ 的要求.

2.4　SRT 对 SMBR 中 TMP 增长的影响

如图 5 所示,80 d 和 20 d 两种污泥停留时间下两组 SMBR 中超滤膜跨膜压增长趋势基本相

同. 两组 SMBR 的初始 TMP 均为 16 kPa, 经过 28 d的运行, SRT 为 80 d 的 SMBR 中超滤膜 TMP 增长至 33 kPa; 而 SRT 为 20 d 的 SMBR 增长至 30 kPa, 略低于 SRT 为 80 d 的情况. 已有文献表明[9-11], 膜生物反应器中多糖、蛋白质等微生物代谢产物是造成膜污染的主要物质. 当采用短污泥停留时间时, 截留于反应器中的微生物代谢产物可及时排放至反应器外, 因而膜污染势较小; 而较长的污泥停留时间会造成膜污染物质在反应器中的积累, 因而 TMP 略高.

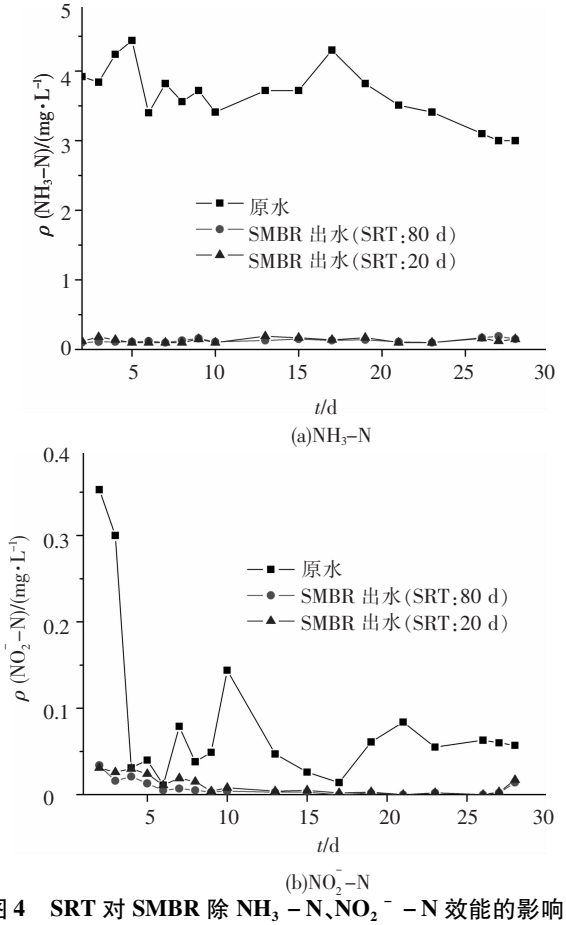


图 4 SRT 对 SMBR 除 NH_3 – N、NO_2^- – N 效能的影响

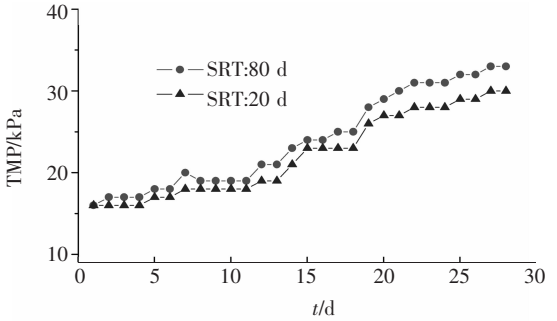


图 5 SRT 对 SMBR 中 TMP 增长的影响

3 结 论

1)将污泥停留时间由 80 d 缩短至 20 d, 不仅不会对 SMBR 去除受污染水源水中有机物、氨氮、亚硝酸盐氮的效能产生影响, 而且还有助于减缓 SMBR 中超滤膜的污染.

2)在实践中, 可考虑采用较短的污泥停留时间(20 d, 甚至更低), 同时在 SMBR 中连续或定期投加粉末炭强化对有机物的去除, 以充分发挥浸没式膜生物反应器的集成化优势, 深度净化受污染水源水.

参考文献:

[1] 封莉, 张立秋, 吕炳南. 污泥浓度对膜生物反应器运行特性的影响研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(3): 307 – 310.

[2] 孙寓矫, 王勇. 膜 – 生物反应器中污泥膨胀对生物相及微生物多样性影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(6): 887 – 889.

[3] TIAN J Y, CHEN Z L, LIANG H, *et al.* Comparison of biological activated carbon (BAC) and membrane bioreactor (MBR) for pollutants removal in drinking water treatment [J]. Water Science & Technology, 2009, 60(6): 1515 – 1523.

[4] TIAN J Y, LIANG H, NAN J, *et al.* Submerged membrane bioreactor (sMBR) for the treatment of contaminated raw water [J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 148(2/3): 296 – 305.

[5] SAGBO O, SUN Y X, HAO A L, *et al.* Effect of PAC addition on MBR process for drinking water treatment [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 58(3): 320 – 327.

[6] 程家迪, 刘锐, 陈吕军, 等. 膜生物反应器处理微污染水源水的研究与应用现状[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(4): 66 – 70, 77.

[7] 郝爱玲, 陈永玲, 顾平. 微污染水处理中投加粉末炭减缓膜污染的机理研究[J]. 膜科学与技术, 2007, 27(1): 35 – 40.

[8] 许燕红, 赵新华, 孙宝盛, 等. MBR 膜丝表面生物膜对出水水质的稳定作用[J]. 中国给水排水, 2006, 22(11): 65 – 68, 72.

[9] MENG F G, CHAE S R, DREWS A, *et al.* Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material [J]. Water Research, 2009, 43(6): 1489 – 1512.

[10] ZHENG X, ERNST M, JEKEL M. Identification and quantification of major foulants in treated domestic wastewater affecting filterability in dead – end ultrafiltration [J]. Water Research, 2009, 43(1): 238 – 244.

[11] HALLE C, HUCK P M, PELDSZUS S, *et al.* Assessing the performance of biological filtration as pretreatment to low pressure membranes for drinking water [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(10): 3878 – 3884.

(**编辑** 刘 彤)