

污泥膨胀对 S-MBR 系统脱氮性能影响的试验研究

张颖^{1,2}, 吴忆宁², 任南琪²

(1 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 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: 以一体式膜生物反应器 (SMBR) 处理模拟污水, 考察了污泥膨胀对 SMBR 脱氮性能的影响。结果表明, 在 SMBR 运行中, 污泥膨胀期对 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果明显优于对照试验期, 丝状菌对氮的竞争能力较强, 对污水中营养物质的利用速率较高, 污泥膨胀期 SMBR 的出水水质较好; 在污泥膨胀期, 随着运行时间的延长, 由于丝状菌的反硝化能力较差, 导致出水中出现 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的少量积累; 丝状菌带来的负面影响即膜污染问题较为严重, 在实际的工程中应采取有效措施控制污泥膨胀。

关键词: 一体式膜生物反应器; 污泥膨胀; 脱氮性能

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)05-0065-04

Study on Effect of Sludge Bulking on Nitrogen Removal in Submerged Membrane Bioreactor

ZHANG Ying^{1,2}, WU Yi-ning², REN Nan-qi²

(1 School of Resource & Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2 School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The sewage was treated by submerged membrane bioreactor (SMBR). The influence of sludge bulking on nitrogen removal in SMBR was investigated. The results show that the removal effects of TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ during the sludge bulking period are much better than that during the contrasting test period as a whole, the filamentous bacteria have highly competitive ability for nitrogen and high utilization efficiency of the nutriment, thus the effluent quality is good. During the sludge bulking period, as the operation time prolongs, the filamentous bacteria have very low ability of denitrification, resulting in a little $\text{NO}_2^- \text{-N}$ accumulation. The negative effect of filamentous bacteria i.e. membrane fouling is serious, so an effective method must be carried out in the practical project.

Key words: submerged membrane bioreactor; sludge bulking; performance of nitrogen removal

一体式膜生物反应器 (SMBR) 因具有能耗较低、结构紧凑、占地面积少、易于从现有传统活性污泥工艺改造等特点而备受关注^[1,2]。在膜生物反应

器 (MBR) 中, 膜的高效分离作用可将微生物全部截留在生物反应器内, 因此其出水水质可不受活性污泥混合液沉降性能的影响而保持稳定^[3]。然而, 污

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2002AA601310); 黑龙江省自然科学基金资助项目 (E0323)

泥膨胀一旦在 MBR 中发生,其对 MBR 的影响如何,仍有待深入研究。为此,笔者考察了污泥膨胀对 SMBR 脱氮性能的影响。

1 试验装置

试验装置见图 1。

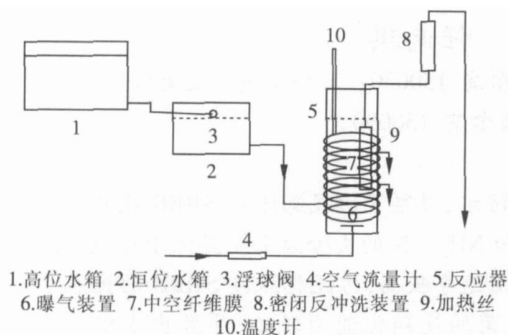


图 1 试验装置

Fig 1 Experimental set-up

试验用水由泵提升至高位水箱, SMBR 的液位由恒位水箱中的浮球阀自动控制;中空纤维膜组件的膜材质为聚丙烯,截留分子质量为 100 000 u,膜孔径为 0.1 μm ,表面积为 2 m^2 ,膜组件长度为 0.5 m;反应器的有效容积为 20.8 L,内径为 18.8 cm,液面高度为 75 cm,反应器内温度控制在 20~25 $^{\circ}\text{C}$ 。

试验用水以豆粉为原料配制而成,豆粉中含脂肪为 18%、蛋白质为 49%、多糖类为 27%、无机物为 6%。

2 初始运行工况

2.1 污泥膨胀期的初始运行工况

接种污泥取自哈尔滨炼油厂二沉池的剩余污泥,与前期试验剩余的活性污泥一起投加后,在反应器中进行间歇曝气培养,每天排出上清液,两周后安装新膜。反应器出水的初始净水头压差为 10 kPa;曝气量由空气流量计调节并控制在 0.1~0.2 m^3/h ,反应器内 DO 浓度在 1~2 mg/L 。

新膜的初始膜出水流量为 103 mL/min , HRT 为 3.37 h,第 2 天的膜出水流量为 51 mL/min ,第 4 天的为 38 mL/min ,第 6 天的为 32 mL/min ,此时的 HRT 为 10.8 h。运行前 6 d 没有进行反冲洗,从第 7 天开始每天反冲洗一次,反冲洗水量约为 1 L,并调节净水头压差使膜出水流量为 57 mL/min , HRT 为 6.08 h。试验期间每 2 d 取 1 L 混合液进行分析测定,相当于 SRT 为 42 d。在反应器运行的第 1 周,发现反应器内污泥的沉降性能明显下降,镜检结

果表明污泥絮体较大,其中丝状菌占主体,说明污泥膨胀已发生,仍采用原有的运行条件继续运行 2 周,每天调节净水头压差使 HRT 不变。

污泥膨胀期的运行时间从反应器启动算起,评价污泥沉降性能的指标为 SVI,实际工程中当 $\text{SVI} > 150 \text{ mL/g}$ 时则认为污泥已膨胀。试验中,反应器启动第 2 天的 SVI 为 83 mL/g ,第 4 天时就达到 152 mL/g ,第 6 天时为 234 mL/g ,第 8 天则上升至 299 mL/g ,此后 SVI 值虽略有下降但均大于 200 mL/g ,说明反应器中确实存在污泥膨胀。反应器运行第 2 天的 MLSS 为 2 280 mg/L ,此时的进水 COD 浓度为 525.4 mg/L ,对 COD 的去除率为 76.6%。

2.2 对照试验期的初始运行工况

对照试验阶段的污泥来源、培养与驯化方法均同污泥膨胀期。采用一组新膜进行试验,调节空气流量计使曝气量为 0.4~0.6 m^3/h ,反应器内 DO 浓度为 3.5~4.5 mg/L 。新膜的初始膜出水流量为 106 mL/min , HRT 为 3.27 h,第 2 天的膜出水流量为 53 mL/min ,第 4 天的为 45 mL/min ,第 6 天的为 40 mL/min ,此时的 HRT 为 8.67 h。运行前 6 d 未进行反冲洗,从第 7 天开始每天反冲洗一次,反冲洗水量约为 1 L,并调节净水头压差使膜出水流量为 57 mL/min , HRT 为 6.08 h。试验期间每 2 d 取 1 L 混合液进行分析测定。

反应器运行期间 SVI 值始终保持在 100 mL/g 左右,说明活性污泥状态良好,未发生膨胀。反应器启动初期的 MLSS 为 2 146 mg/L ,启动第 2 天的进水 COD 浓度为 858.2 mg/L ,对 COD 的去除率为 79.4%。

3 运行效果及分析

3.1 不同时期 SMBR 对 TN 去除效果的比较

通常 SMBR 的脱氮作用主要源于三个方面:①生物脱氮,除传统意义上的生物脱氮还包括同步硝化-反硝化作用;②膜本身对大部分有机氮化合物的物理截留作用;③膜组件在长期运行后,其根部出现污泥堆积所导致的局部缺氧反硝化作用。

不同时期 SMBR 对 TN 的去除效果见图 2。

由图 2 可知,在污泥膨胀期, SMBR 启动的第 2 天,对 TN 的去除率为 14.6% (进水 TN 浓度为 26.1 mg/L)。随着运行时间的延长,反应器中丝状菌与絮状菌的竞争使 SVI 值显著升高,丝状菌在系统中占优势,由于其对氮、磷的亲合力较高,使得系统对

TN 的去除率呈上升趋势,到第 22 天时对 TN 的去除率达 71.8%,此时的 MLSS 为 4 362 mg/L,比初始阶段有所增加。污泥膨胀期 SMBR 脱氮的原因不同于通常情况下 SMBR 的脱氮过程,因为丝状菌的反硝化能力,即利用硝酸盐和亚硝酸盐为电子受体氧化有机碳的能力远低于絮状菌^[4],且大多数丝状菌只能将硝酸盐转化成亚硝酸盐,并不能使之最终以氮气的形式释放出,加之启动阶段的泥量较小,反硝化菌的数量有限,其对 SMBR 的脱氮作用贡献不大,且发生污泥膨胀后反应器中丝状菌始终占优势,所以污泥膨胀期对 TN 的去除可能主要源于丝状菌的同化作用。同时,丝状菌的大量繁殖导致了污泥浓度的净增长。

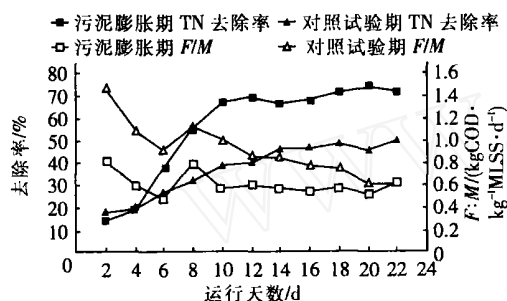


图 2 不同时期 SMBR 对 TN 的去除效果

Fig 2 TN removal effect in SMBR in different periods

从总体上来看,污泥膨胀期对 TN 的去除效果好于对照试验期,在试验结束时(第 22 天)污泥膨胀期的污泥负荷 $[0.625 \text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})]$ 与对照试验期的 $[0.624 \text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})]$ 基本相等,前者对 TN 的去除率明显高于后者,说明在中、低负荷条件下,丝状菌对氮的竞争能力较强。

3.2 不同时期 SMBR 对氨氮去除效果的比较

不同时期 SMBR 对氨氮的去除效果见图 3。

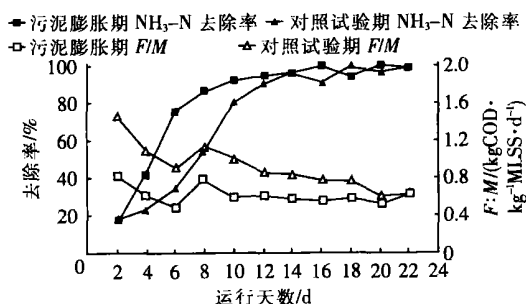


图 3 不同时期 SMBR 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

Fig 3 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal effect in SMBR in different periods

由图 3 可知,在污泥膨胀期, SMBR 启动的第 2

天对氨氮的去除率为 17.0%,第 6 天时对氨氮的去除率为 75%,第 10 天之后出水氨氮浓度均低于 1 mg/L,有时甚至为零,去除率达 100%。由于在此期间丝状菌在系统中占优势,由氮的转化途径可知, SMBR 对氨氮的去除主要包括丝状菌的同化作用合成新细胞和硝化菌在有氧条件下对氨氮的硝化作用。

由图 3 还可看出,在系统运行的前两周污泥膨胀期对氨氮的去除效果明显优于对照试验期的,这是由于发生污泥膨胀的开始阶段丝状菌的增殖速率高于絮状菌,其对水中营养物质的利用速率较高;另外对照试验期在运行开始阶段的进水氨氮负荷较高,也导致了该阶段对氨氮的去除效果欠佳。在试验的最后一周,对照试验期和污泥膨胀期对氨氮去除率的差异不再明显。

3.3 不同时期 SMBR 中 $\text{NO}_x\text{-N}$ 的生成情况

污泥膨胀期 SMBR 出水的 $\text{NO}_x\text{-N}$ 浓度如图 4 所示。

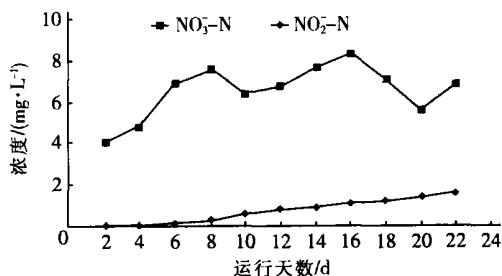


图 4 污泥膨胀期 SMBR 出水 $\text{NO}_x\text{-N}$ 浓度

Fig 4 Variation of $\text{NO}_x\text{-N}$ concentration in effluent of SMBR in sludge bulking period

在污泥膨胀期, SMBR 进水的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 最高浓度为 0.3 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 最高浓度为 0.2 mg/L。从图 4 可以看出, SMBR 启动的第 2 天,出水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 4.1 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 0.01 mg/L。随着运行时间的延长和污泥浓度的增加,出水中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的浓度一直缓慢增加,第 22 天时出水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度为 1.6 mg/L,表现出少量的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 积累。这是因为随着反应时间的延长,丝状菌大量吸附于膜表面,在膜面形成生物膜,其内部存在的厌氧微环境为丝状菌进行反硝化提供了条件,但大多数丝状菌只能将硝酸盐转化成亚硝酸盐,因此导致了出水中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的少量增加。

对照试验期 SMBR 出水的 $\text{NO}_x\text{-N}$ 浓度如图 5

所示。

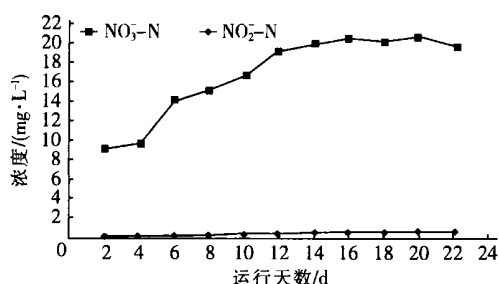


图 5 对照试验期 SMBR 出水 NO_3^- -N 浓度

Fig 5 Variation of NO_3^- -N concentration in effluent of SMBR in contrasting test period

在对照试验期, SMBR 进水的 NO_3^- -N 最高浓度为 0.3 mg/L, NO_2^- -N 最高浓度为 0.2 mg/L。从图 5 可以看出, SMBR 启动的第 2 天, 出水 NO_3^- -N 为 9.1 mg/L, NO_2^- -N 为 0.01 mg/L, 随着运行时间的延长和污泥浓度的增加, 反应器中污泥的硝化能力增强, 出水 NO_3^- -N 浓度增加, 后期略有下降; 出水中 NO_2^- -N 浓度一直很低。这是由于膜的截留作用为硝化菌的生长提供了条件, 使其能够在反应器中积累, 并在 DO 充足的条件下进行硝化反应。

4 污泥膨胀的负面影响

污泥膨胀期和对照试验期随运行时间的延长, 净水头压差均呈增加趋势, 且前者的增幅明显高于后者, 这间接反映出污泥膨胀期的膜污染程度较正常运行时严重, 其原因一方面是由丝状菌较大的比表面积造成的, 另一方面也与丝状菌分泌粘液的生理生化特性有关, 所以尽管对照试验期的污泥浓度高于污泥膨胀期, 但其膜通量仍大于污泥膨胀期的。

试验完成时, 采用扫描电镜 (KYKY-1000B) 对膜表面进行了观察, 结果表明, 与对照试验期相比, 污泥膨胀期的膜面附着物较多, 膜孔阻塞率也略大。污泥膨胀期膜外表面附着有大量的丝状菌, 而对照试验期的膜外表面仅有少量的污染物; 污泥膨胀期的膜内表面附着有大量污染物, 而对照试验期膜内表面的附着物较少, 膜表面的纹理清晰可见。尽管

污泥膨胀期的脱氮效果略具优势, 但不足以弥补膜污染所带来的负面影响。

5 结论

① 在 SMBR 运行中, 污泥膨胀期对 TN 和 NH_3 -N 的去除效果明显优于对照试验期, 丝状菌对氮的竞争能力较强, 对污水中营养物质的利用速率较高, 因此污泥膨胀期 SMBR 的出水水质较好。

② 在污泥膨胀期, 随 SMBR 运行时间的延长, 出水 NO_2^- -N 出现少量积累, 证实了大多数丝状菌只能将硝酸盐转化成亚硝酸盐的观点。

③ 污泥膨胀期膜外表面附着有大量丝状菌, 膜内表面附着有大量污染物, 需要较大的净水头压差来满足流量的要求。丝状菌带来的负面影响即膜污染问题较为严重, 污泥膨胀期在脱氮效果上的优势不足以弥补其导致的膜污染的影响, 因此在实际工程中应采取有效措施来控制污泥膨胀的发生。

参考文献:

- [1] Pierre Cote, Herve Buisson, Matthieu Praderie Immersed membranes activated sludge process applied to the treatment of municipal wastewater [J]. Water Sci Technol, 1998, 38 (4 - 5): 437 - 442
- [2] Rosenberger S, Krieger U, Witzig R, et al Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater [J]. Water Res, 2002, 36 (2): 413 - 420
- [3] Seviour R J, Liu J R, Seviour E M, et al The "Nostocoida limicola" story: resolving the phylogeny of this morphotype responsible for bulking in activated sludge [J]. Water Sci Technol, 2002, 46 (1 - 2): 105 - 110
- [4] Szilia S, Istvan K, Miklos K, et al Microbial population in a hydrogen-dependent denitrification reactor [J]. Water Res, 2002, 36 (16): 4088 - 4094

电话: (0451) 55190825

E-mail: zhangyhrb@neau.edu.cn

收稿日期: 2006 - 11 - 02

合理开发水资源

创造节水型城市