

浸没式厌氧双轴旋转膜生物反应器的开发

白玲^{1,2}, 蓝伟光^{1,3}, 万金保¹, 洪昱斌³

(1. 南昌大学 环境科学与工程学院, 江西 南昌 330047; 2 江西农业大学 理学院, 江西 南昌 330045; 3. 三达膜科技有限公司, 福建 厦门 361022)

摘要: 针对浸没式厌氧膜生物反应器的膜污染问题, 开发了一套内置双轴旋转膜组件的浸没式厌氧膜生物反应器。系统的容积为 120 L, 内装填平板超滤膜。膜组件采用双轴同向旋转, 由膜旋转形成的湍流可减缓膜表面的浓差极化及凝胶层的形成, 从而有效控制膜污染。与传统厌氧膜生物反应器相比, 该工艺具有结构紧凑、除污效果好、能耗低和可大幅度减轻膜污染等优点。

关键词: 厌氧膜生物反应器; 双轴旋转膜组件; 浸没式; 膜污染控制

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2009)07 - 0073 - 03

Development of Submerged Anaerobic Double-shaft Rotating Membrane Bioreactor

BA ILing^{1,2}, LAN Wei-guang^{1,3}, WAN Jin-bao¹, HONG Yu-bin³

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nanchang University, Nanchang 330047, China; 2. College of Sciences, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 3. Suntar Membrane Technology Co. Ltd., Xiamen 361022, China)

Abstract: Aimed at reducing membrane fouling in submerged anaerobic membrane bioreactor, a set of submerged anaerobic double-shaft rotating membrane bioreactor was developed. This bioreactor has a volume of 120 L with an internal flat ultrafiltration membrane. The membrane module rotates in the same direction on a double-shaft, and the turbulence generated by membrane rotation can minimize the concentration polarization on membrane surface and the formation of gel layer, which effectively controls membrane fouling. As compared with the conventional anaerobic membrane bioreactor, the novel bioreactor has the advantages of saving space, good pollutant removal effect, lower energy consumption and less membrane fouling.

Key words: anaerobic membrane bioreactor; double-shaft rotating membrane module; submerged type; membrane fouling control

对于高浓度有机废水的处理, 厌氧生物处理是其中必不可少的一个环节。厌氧膜生物反应器 (AnMBR) 是一种处理高浓度有机废水的有效工艺, 但其运行方式以外置式为主, 能耗高且膜污染严重^[1,2]。在浸没式厌氧膜生物反应器的运行中, 通

常采用高的料液循环速度来产生水力扰动 (98%)^[3], 以控制和降低膜污染。但当进水 COD 浓度增加或在料液浓缩的过程中, 料液粘度也随之增加, 系统很难维持高的循环错流流速^[4]。笔者开发了一套浸没式厌氧旋转膜生物反应器 (SAnRMBR),

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAB23C00); 江西省环境保护局科技计划项目 (2007 - 2009)

通过内置双轴旋转膜组件的同向旋转,在膜表面产生一定强度的剪切力以减轻膜表面的浓差极化及凝胶层的形成,从而有效控制膜污染。

1 工艺流程

厌氧反应器由不锈钢制成,高为 73 cm,直径为 45.7 cm,容积为 120 L,内装填双轴旋转平板超滤膜组件,双轴最大旋转速度为 500 r/min。SA nRMBR 主要由进水系统、厌氧生物反应器、出水系统、双轴旋转膜组件、集气系统和 PLC 自控系统组成,其中双轴旋转膜组件是该装置的关键部分。SA nRMBR 工艺流程见图 1。

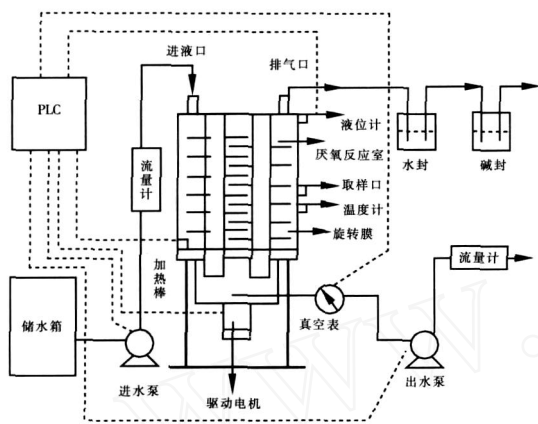


图 1 浸没式厌氧旋转膜生物反应器工艺流程

Fig 1 Flow chart of SA nRMBR process

储水箱内的原水经进水泵提升由顶部进入反应器,通过液位计控制 SA nRMBR 内的水位恒定,温度控制仪维持反应器内温度一定,并控制双轴旋转膜组件的转速恒定。双轴旋转膜组件在一定的转速下可保证泥水均匀混合,同时对膜表面进行冲刷。采用出水泵对膜组件抽真空,渗透液在过膜压差的驱动下透过膜进入反应器底部的储水池。

膜片安装于圆形塑料支撑板的上下两面,并被固定于两根同向旋转的中空轴上,两轴的膜片交叉放置。在该系统中水力扰动由膜旋转引起,而进水泵仅仅是提供过膜压差。膜组件采用双轴同向旋转,交叉膜片之间的水力流动形成了相反的运动,这个区域的水力扰动程度加大,因而膜的自清洁效应也得到提高。通过膜组件的可控旋转以及组件间的交错旋转可在膜表面产生一定强度的剪切力和紊动,在减轻膜表面浓差极化及凝胶层形成的同时,还促进了传质,提高了膜的渗透通量。

试验证明,系统产生的渗透反压随着膜旋转速度的增加而升高,即膜旋转速度越快则系统运行的操作压力越大,也就越不经济。系统的最大膜旋转速度为 500 r/min,此时的剪切流速理论值为 4.4 m/s,满足一般料液的处理要求^[3]。因此在有效控制膜污染的前提下,应尽量在低的转速下运行。

2 原水水质

采用该反应器处理人工配制的模拟啤酒废水,考察了对 COD 的去除效果。接种污泥取自南昌某啤酒厂 UASB 底部的颗粒污泥。试验用水以啤酒混合自来水配制而成,同时添加 NH₄Cl 作为氮源,磷酸盐为磷源,并加入镁、钙等微量元素。在进水中加入一定量的碳酸氢钠以维持其 pH 值为 6.5~7.5。经测定,该配水的 COD 为 1200~2100 mg/L,氨氮为 15.24~25.67 mg/L,总磷为 5.3~12.9 mg/L。

3 处理效果

聚醚砜(PES)平板膜的截留分子质量为 50 ku,有效膜面积为 0.32 m²。稳定运行期间反应器的操作参数:膜旋转速度为 150 r/min,温度为 32℃,操作压力(过膜压差)为 9 kPa,污泥浓度为 12 g/L 左右,HRT 为 12~13 h,容积负荷为 2.5~3.5 gCOD/(L·d)。经测定,出水 pH 值为 6.9~7.4,COD 为 80~195 mg/L,对 COD 的去除率为 90%~95%;出水氨氮为 17.55~28.66 mg/L,出水总磷为 13.33~21.86 mg/L,应进行后续处理。稳定运行 1 个月以来未做任何清洗,但膜通量维持在 24~26 L/(m²·h),未见明显下降;将膜取出观察,膜表面基本未见泥饼层,用清水浸泡 24 h 后测定膜通量,已恢复到膜初始清水通量的 98%,说明膜污染得到了很好的控制。

4 经济分析

系统的总能耗为旋转电机、加热棒、进水泵和出水泵的能耗之和。按膜旋转速度为 150 r/min,HRT 为 12 h 计算,总能耗约为 0.80 kW·h/m³,远低于外置式膜生物反应器的(2~10 kW·h/m³)。同时,固液分离效果好,剩余污泥量少,产生的沼气可作为二次能源使用。

5 结论

新型浸没式厌氧双轴旋转膜生物反应器对模拟啤酒废水中的 COD 具有良好的去除效果,且能耗低、剩余污泥量少,并大幅度减轻了膜污染。

(下转第 78 页)

3.3 管道的受力分析

埋地管道在内压、管周土压力、自重等荷载共同作用下,产生的应力状态较为复杂,但实际工程中一般较多关注管道的环向应力与纵向应力^[3]。管道在隧道施工前就具有一定的初始应力,主要表现为环向应力。隧道施工后,引起管道的应力分布发生改变^[4]。表 4 给出了管道的最大拉应力与最大压应力。

表 4 管道的最大拉应力与最大压应力

Tab 4 Maximum tension stress and maximum compressive stress of pipe MPa

项 目	纵向最大拉应力	纵向最大压应力	环向最大拉应力	环向最大压应力
左线施工	6.57	3.66	0.59	7.43
右线施工	5.41	2.35	0.73	8.32

由表 4 可以得出左、右线隧道施工对埋地管道应力影响的一些规律:

管道外壁纵向最大压应力出现在管顶部位,最大拉应力则出现在管底;环向最大压应力出现在管侧,拉应力较小。

右线隧道施工后,管道的纵向应力要小于左线隧道施工后的。这是由于右线隧道施工后,管道沉降曲线的曲率得到了一定程度的改善,从而纵向受力有所减小,也就是说右线隧道施工虽致使管道沉降增大,却改善了管道的纵向受力。

隧道施工期间,管道的最大拉应力为 6.57 MPa,最大压应力为 8.32 MPa。说明管道的最大拉应力和压应力均小于钢筋混凝土容许的拉应力和压应力,管道运行安全。

4 结论

三维数值计算方法的计算结果与实测结果吻合较好,可以较为准确地模拟地铁隧道对近距离

埋地管道的影响规律。

左线隧道施工后,管道沉降曲线和地表横向沉降槽近似符合 Gaussian 正态分布;右线隧道施工后,管道沉降曲线不再符合正态分布,且最大沉降点位置也发生改变。

受双隧道施工的共同影响,地层不同深度处的横向沉降槽形式不一致;靠近隧道顶处表现为两个小的沉降槽,靠近地表处为一个较大的沉降槽。

大直径管道的存在对隧道周围地层位移场的影响较为明显,无论对左线隧道还是右线隧道,管道正上方地表沉降量最小,1 倍管道直径范围内的地表沉降要稍大,但均明显小于不受管道影响处的地表沉降值。

右线隧道施工后,虽致使管道沉降增大,却改善了管道的纵向受力。

管道及地表沉降未超过沉降规定值,最大拉应力和压应力也小于容许的拉应力和压应力。

参考文献:

- [1] 毕继红,刘伟,江志峰. 隧道开挖对地下管线的影响分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(8): 1317 - 1321.
- [2] 刘波. FLAC原理、实例与应用指南[M]. 北京:人民交通出版社, 2005.
- [3] 沈之基. 给水管线的应力分析、爆管原因及对策[J]. 给水排水, 1996, 22(4): 40 - 43.
- [4] Vorster T E B, Klar A, Soga K, *et al* Estimating the effects of tunneling on existing pipelines[J]. J Geotech Geoenviron Eng, 2005, 131(11): 1399 - 1410.

电话: 13033604835

E-mail: sunyukun@zjut.edu.cn

收稿日期: 2008 - 10 - 03

(上接第 74 页)

参考文献:

- [1] Barber W P, Stuckey D C. The use of the anaerobic baffled reactor for wastewater treatment: A review[J]. Water Res, 1999, 33(7): 1559 - 1578.
- [2] Elmaleh S, Abdelmounni I. Experimental test to evaluate performance of an anaerobic reactor provided with an external membrane unit[J]. Water Sci Technol, 1998, 38(8 - 9): 385 - 392.
- [3] Reed B E, Lin W, Viadero R, *et al* Treatment of oily wastes using high-shear rotary ultrafiltration[J]. J Environ Eng, 1997, 123(12): 1234 - 1242.
- [4] Viadero R C, Masciola D A, Reed B E, *et al* Two-phase limiting flux in high-shear rotary ultrafiltration of oil-in-water emulsions[J]. J Membr Sci, 2000, 175(1): 85 - 96.

电话: (0791) 8732527

E-mail: bailing716@yahoo.com.cn

通讯作者: 万金保

收稿日期: 2008 - 10 - 10