

两相厌氧膜生物系统处理有机废水的研究*

管运涛 蒋展鹏 祝万鹏 陈中颖

(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实验室, 北京 100084 E-mail: g u a n y t @ 263. n e t)

摘要 采用传统两相厌氧工艺与膜分离技术相结合的系统(MBS)处理有机废水的研究结果表明: 系统 COD 去除率达到 95%, SS 去除率在 92% 以上, 酸化率为 60%—80%, 气化率在 80%—90% 左右, 产酸反应器出水酸化水平高, 低分子有机酸含量高, 使两相工艺分相较为完全. 探讨了 MBS 系统的运行特点和引入膜的作用, 分析表明: MBS 系统从总体上优于两相厌氧生物系统(BS).

关键词 膜分离, 两相厌氧生物系统, 膜生物反应器, 有机废水, 废水处理.

Two-phase Anaerobic Membrane Biosystem for Organic Wastewater Treatment

Guan Yuntao Jiang Zhanpeng Zhu Wanpeng Chen Zhongying

(State Key Lab. of Environ. Simulation and Pollution Control, Dept. of Environ. Sci. and Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084

E-mail: g u a n y t @ 263. n e t)

Abstract The study utilizes the process combined conventional two-phase anaerobic biosystem with membrane separation (MBS) to treat organic wastewater. In the system, COD removal is above 95%, SS removal is above 92%, acidification rate is 70%—80%, and gasification efficiency is 80%—90%. The article inquire into the operation features of MBS and the effect of membrane introduced, and discusses the quality of biological phase in methane-production phase of MBS. It also compares the operation of MBS with conventional two-phase anaerobic biosystem (BS), and makes a conclusion that MBS is superior to BS in the whole.

Keywords membrane separation, two-phase anaerobic biosystem, membrane bioreactor, organic wastewater, wastewater treatment.

近年来, 废水综合处理再利用系统已较多地在好氧生物处理法中得到研究和应用^[1]. 已有的厌氧膜生物系统的研究中大都是把膜技术作为生物系统出水过滤的末端处理单元^[2,3]. 本研究采用了两相厌氧工艺与膜分离技术相结合的系统, 即产酸反应器+ 膜分离单元+ 产甲烷反应器的工艺技术路线, 讨论了该工艺在废水处理、能源回收等方面的运行特点及与传统两相厌氧生物系统的比较.

1 试验材料与方法

1.1 试验流程

两相厌氧膜生物系统(Two-phase Anaer-

obic Membrane Biosystem, MBS) 试验工艺流程如图 1 所示. 产酸反应器和产甲烷反应器置于 35 ± 0.5 的恒温箱内, 膜分离单元置于两相反应器之间, 常温下运行. 膜组件设进水槽.

对比试验, 即传统的两相厌氧生物系统(Two-phase Anaerobic Biosystem, BS) 流程是在图 1 所示流程中去掉了膜组件所形成的工艺.

产酸反应器体积 3L, 其中反应区 1.65L, 沉降区 1.35L; 产甲烷反应器为上流式厌氧污

* 中法国际合作项目
管运涛: 男, 27 岁, 博士, 讲师
收稿日期: 1998-02-27

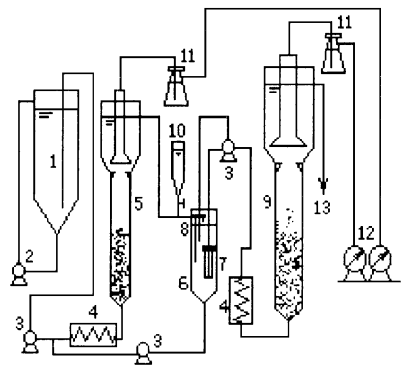


图1 两相厌氧膜生物系统试验流程

1. 配水槽 2. 循环泵 3. 蠕动泵 4. 恒温装置 5. 产酸反应器 6. 中间稳定槽 7. 膜组件 8. 水位控制器 9. 产甲烷反应器 10. 碳酸钠 11. 水封 12. 湿式气体流量计 13. 出水

泥床反应器, 体积 7L, 其中反应区 3.6L, 沉降区 3.4L; 膜组件为外压式聚丙烯中空纤维膜, 膜孔径 0.1—0.4 μm 。

1.2 试验水质及接种污泥

试验原水采用具有大分子成分的工业淀粉及葡萄糖配制, 按比例投加 N、P, 并投加微量元素 Ni、Co、Mo。试验进水水质范围: COD=1500—7000mg/L, SS=1000—4000mg/L, BOD₅=1000—5000mg/L, pH=4—7, 进水碱度约 200—300mg/L (CaCO₃), 由膜进水槽回流调节产酸反应器中碱度为 700—1100mg/L。

产酸反应器接种污泥取自污水处理厂二沉池底泥, VSS 接种量 8g/L, VSS/SS 为 57%; 产甲烷反应器接种污泥取自啤酒厂厌氧反应池污泥, VSS 接种量 13g/L, VSS/SS 为 57%。

1.3 测定项目

每日测定 COD、pH、气体产量、膜运行压力; SS、挥发性有机酸 (VFA)、气体成分、碱度每周测定 3 次; 不定期测定 BOD₅、TN、TP, 并测定微生物计数, 进行微生物照相。

2 试验运行

2 组试验 (BS 及 MBS) HRT 采用 12h, 在几种容积负荷下进行比较。

2.1 试验的启动

试验由 BS 启动, 进水 COD 1500mg/L, SS 320mg/L, 启动时间为 4 周, 产酸反应器 COD 去除率保持在 25% 左右, 产气量由 2.3L/d 下降至 0.5L/d, 出水 pH 保持在 5.5 以下, 酸化率由 20% 升至 60% 左右; 产甲烷反应器 COD 去除率由 50% 上升到 90% 以上, 产气量由 2.5L/d 上升到 8.5L/d。上述结果表明, 试验启动完成。

2.2 负荷提高及 2 组试验运行期比较

试验启动后, 逐渐提高进水 COD 浓度和 SS 浓度, 使 BS 在某一进水 COD 浓度下稳定运行, 然后将膜组件接入流程中, 组成 MBS 稳定运行进行比较。以进水 COD=2500mg/L, SS=1100mg/L; COD=3500mg/L, SS=1800mg/L 及 COD=5500mg/L, SS=2500mg/L 3 种情况及其它一些相近浓度下进行对比研究。

3 试验结果与分析

3.1 有机物去除效率

图 2 所示为 BS 与 MBS 的 COD 去除率 E_{CODt} 及最终出水 COD 浓度与容积负荷的关系。从图 2 可以看出, 随着负荷的提高, BS 的 E_{CODt} 下降, 出水 COD 上升较快, 升至 2000mg/L; 而膜的加入, 使 MBS 保持了较高的处理能力, 而且出水水质很好, 在 COD 容积负荷为 16kg/(m³·d) 时, 也只有 260mg/L。

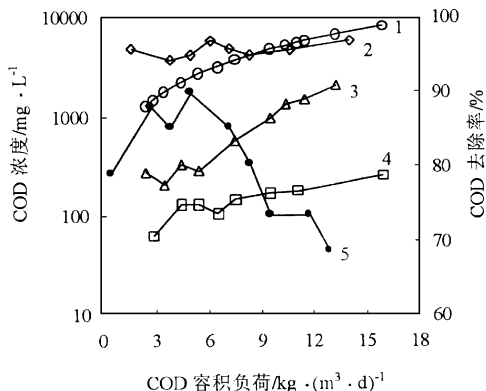


图2 COD去除率及出水COD浓度(BS及MBS)

1. 进水COD 2. E_{CODt} (MBS) 3. 出水COD (BS)
4. 出水COD (MBS) 5. E_{CODt} (BS)

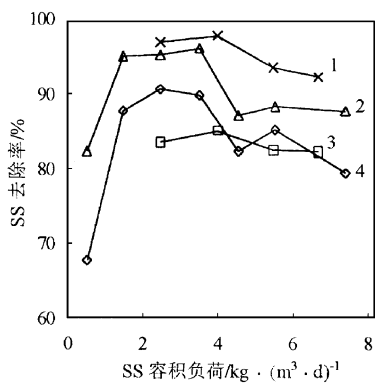


图3 产酸反应器SS去除率、工艺SS及总SS去除率(BS及MBS)
1. E_{SS1} (MBS) 2. E_{SS1} (BS) 3. E_{SS1} (MBS) 4. E_{SS1} (BS)

表1 MBS与BS产气量及气体成分平均值

系统	COD 负荷	产酸反应器产气量		产甲烷反应器产气量		酸相气体 CH ₄ 含量	甲烷相气体 CH ₄
	/ kg · (m ³ · d) ⁻¹	/ L · d ⁻¹		/ L · d ⁻¹		/ %	含量/ %
BS	5.06	2.04		11.11		10.41	79.8
	6.04	0.9		15.99		41.56	79.9
	10.84	5.24		42.5		6.8	71.2
MBS	5.06	2.16		12.83		32.43	84.2
	6.42	1.92		19.6		39.43	84.75
	10.12	7.00		44.6		15.9	74.7

在3种COD容积负荷下,MBS总产气量比BS分别大14%,27%和8%左右,而MBS气体成分中CH₄的含量也略高于BS.

图4是2组试验气化率比较图.在BS系统中,系统气化率在60%—70%之间;加入膜后,MBS的系统气化率大于BS系统,且随负荷的提高而上升,其气化率可稳定地达到80%—

85%以上.

3.3 酸化率和酸化水平

在BS中,一些大分子有机物未经水解就进入产甲烷反应器,使酸化率较低,一般都在65%以下(图5及表2).由于膜的截留作用,

表2 BS与MBS在不同负荷下酸化率平均值

COD 负荷/kg · (m ³ · d) ⁻¹	BS 酸化率/ %	MBS 酸化率/ %
5	50.3	62.6
7	59.5	83
10	64	80

MBS系统产酸反应器中的产酸菌浓度增加,增大了水解发酵的能力,同时膜将大分子有机物截留在产酸反应器中使之水解发酵.因此,MBS的酸化率保持在较高的水平(60%—80%).

图6为试验进程中产酸反应器COD去除率与酸化率的叠加曲线.由于去除掉的COD与出水中含有的低分子VFA总量较小,BS的产酸反应器出水中含有大量(约10%—40%)

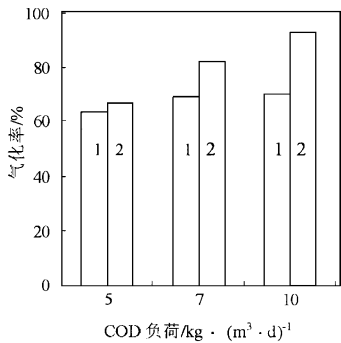


图4 不同负荷下BS及MBS气化率比较
1. BS 2. MBS

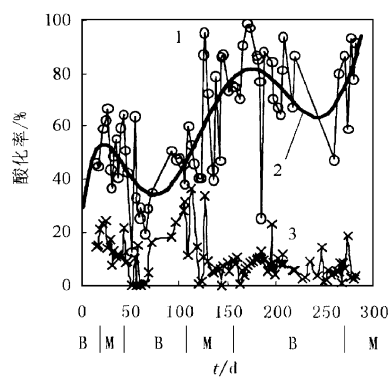


图 5 BS 及 MBS 酸化率随时间变化
1. 酸化率 2. 酸化率趋势线 3. 1# 进水酸化率
B: BS 试验阶段 M: MBS 试验阶段

的非低分子 VFA 的有机成分, 为产甲烷反应器中的产酸菌提供了营养基质, 使产甲烷反应器分相不完全. 由于膜的截留作用, 进入 MBS 产甲烷反应器的非低分子有机酸的物质则只占该进水 COD 的 0%—10% .

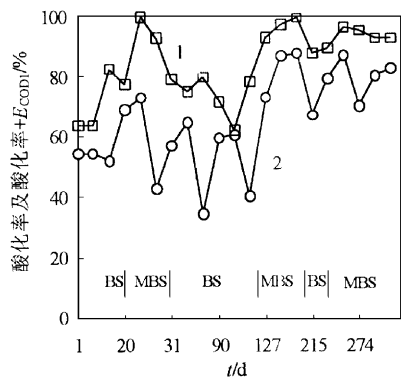


图 6 BS 及 MBS 酸化率和 COD 去除率随时间变化
1. 酸化率+ E_{COD} 2. 酸化率

从产甲烷反应器进水的酸化水平(图 7)也可以看出, 膜的渗透液中低分子 VFA 占其全部 COD 的 97% 以上, 而膜的截留液酸化水平也在 85% 左右, 远大于 BS 系统产甲烷反应器进水酸化水平(55%—75%) . 高的产甲烷反应器进水酸化水平使产甲烷反应器中产甲烷菌成为优势菌种, 使分相较为彻底. 随着负荷的提

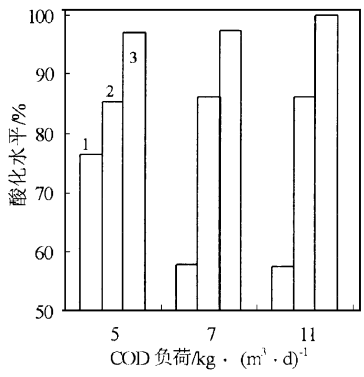


图 7 BS 及 MBS 酸化水平比较
1. BS 产酸相出水 2. MBS 产酸相出水
3. MBS 膜后产甲烷相进水

高, BS 的产酸反应器出水(即产甲烷反应器进水)的酸化水平呈下降趋势, 而 MBS 产酸反应器出水的酸化水平保持在 85% 左右, 产甲烷反应器进水(即膜滤过水)的酸化水平则为 97%—100% .

4 结论

- (1) 两相厌氧膜生物系统处理淀粉配制废水, COD 去除率在 95% 以上, SS 去除率在 92% 以上, 系统出水 COD 浓度及 SS 较低.
- (2) MBS 系统产气量和气体成分(CH_4 含量)要高于 BS 系统, 有利于回收生物能源.
- (3) 膜的加入不仅有利于产甲烷反应器较完全的分相, 而且使两相厌氧消化系统运行的稳定性增加.

参 考 文 献

- 1 Keith B, Tom S. The Application of Membrane Biological Reactors for the Treatment of Wastewater. *Biotech. Bio-eng.*, 1996, **49**: 601—610
- 2 Ross W R et al. . Practical Application of the ADUF Process to the Full-scale Treatment of a Maize-processing Effluent. *Wat. Sci. Tech.*, 1992, **25**(10): 27—39
- 3 Hogetsu A et al. . High Rate Anaerobic Digestion of Wool Scouring Wastewater in a Digester Combined with Membrane Filter. *Wat. Sci. Tech.*, 1992, **25**(7): 341—350