

膜生物反应器废水处理新技术

鲁南, 普红平

(昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:膜分离生物反应器(MBR)是近年来发展起来的一种新型的废水处理工艺.对一体式和分置式膜生物反应器的优缺点进行了比较.阐述了膜生物反应器的分类、机理、工艺设计参数以及应用现状,并对膜生物反应器的特点和问题进行了分析.

关键词:膜生物反应器; 废水处理; 膜分离技术

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-855X(2004)01-0100-04

New Wastewater Treatment Technique – Membrane Bioreactor

LU Nan, PU Hong-ping

(Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Membrane bioreactor(MBR) is a newly developed technique in recent years. A comparison is made between submerged membrane bioreactor and re-circulated membrane bioreactor to illustrate their advantages and disadvantages. The types, mechanisms, parameters and application status are studied, and the characteristics and problems of MBR are analyzed too.

Key words: membrane bioreactor; wastewater treatment; membrane separation technology

0 引言

膜生物反应器是一种由膜过滤取代传统生化处理技术中二次沉淀池和沙滤池的水处理技术.在传统的生化水处理技术中,如活性污泥法,泥水分离是在二次池中靠重力作用完成的,其分离效率依靠于活性污泥的沉降特性,沉降性越好,泥水分离效率越高.而污泥的沉降性取决于曝气池的运行状况,改善污泥特性必须严格控制曝气池操作条件,这限制了该方法的运行范围.由于二次池固液分离的要求,曝气池的污泥不能维持较高浓度,一般在2 g/L左右,从而限制了生化反应效率.水力停留时间(HRT)与污泥龄(SRT)相互依赖,提高容积负荷与降低污泥负荷往往形成矛盾.系统在运行过程中产生大量的剩余污泥,其处置费用占污水处理厂运行费用的25%~40%.而且易出现污泥膨胀,出水中含有悬浮固体,出水水质不理想.针对上述问题,MBR将分离工程中的膜技术应用于废水处理系统,提高了泥水分离效率,并且由于曝气池中活性污泥浓度的增大和污泥中特效菌的出现,提高了生化反应速度.同时,通过降低F/M比减少剩余污泥产生量(甚至为零),从而基本解决了传统污泥法存在的突出问题.至今已发展了三种处理工艺:一是膜分离生物反应器(BSMBR,简称MBR)工艺;二是膜-曝气膜生物反应器(MABR)工艺;三是萃取膜生物反应器(EMBR)工艺.目前应用较多的是膜分离生物反应器.

1 膜生物反应器的分类及优点

膜生物反应器主要是由膜组件、泵和生物反应器三部分组成.根据微生物生长环境的不同可分为好氧和厌氧两大类.根据泵与膜组件的相对位置不同可分为加压和抽吸式两大类.膜生物反应器的核心部件是膜组件,从材料上可以分为有机膜和无机膜两大类;从构型上可以分为管式、框板式、卷式和中空纤维式;按膜过滤驱动方式分为压力式和抽吸式;按膜组件安放位置分为分置式和一体式反应器.一般将膜生物反

收稿日期:2003-05-06. 基金项目:云南省自然科学基金(项目编号:2000E0034M).

第一作者简介:鲁南(1975.3~),男,在读硕士.主要研究方向:水污染控制工程. E-mail:sdln-1@163.com

反应器分为分置式和一体式两大类。

分置式 MBR 是指膜组件与生物反应器分开设置, 膜组件在生物反应器的外部, 从生物反应器反应后的混合液进入膜组件分离, 分离后的清水流出, 而污泥则回流到反应器中继续参加反应(见图 1)。分置式的特点是运行稳定可靠, 操作管理容易, 易于膜的清洗、更换^[1]。但分置式 MBR 动力消耗大、系统运行费用高, 其单位体积处理水的能耗是传统活性污泥法的 10~20 倍。污泥回流是造成系统运行费用高的主要因素, 一般条件下为了减少污泥在膜表面的沉积, 循环泵提供的水流流速都很高。且泵的回流造成的剪切力可能影响微生物的活性^[2]。

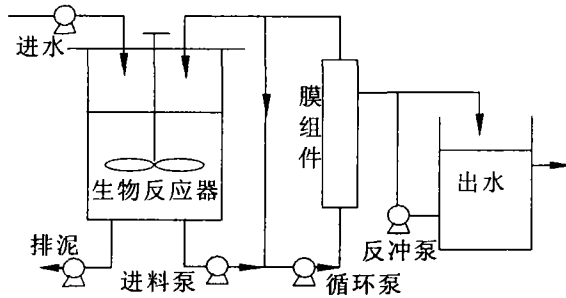


图 1 分置式膜生物反应器示意图

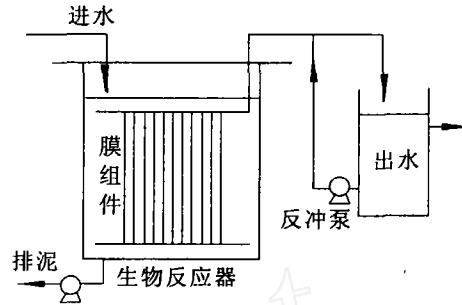


图 2 一体式膜生物反应器

一体式 MBR 是将膜组件直接安放在生物反应器中(见图 2), 通过泵的负压抽吸作用得到膜过滤出水^[3]。由于膜浸没在反应器的混合液中, 因此也称为浸没式(Immersed)或淹没式(Submerged) MBR^[4]。为减少膜面污染, 延长运行周期, 一般泵的抽吸是间断运行的。一体式 MBR 主要靠空气和水流的扰动来减缓膜污染。同分置式相比, 具有工艺简单, 运行费用低等特点, 其能耗仅为 $0.2 \sim 0.4 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ^[1]。但在运行稳定性、操作管理和清洗更换不及分置式。在一体式膜生物反应器中, 多采用中空纤维和平板式等膜组件。

膜生物反应器主要有以下优点:

固液分离率高。混合液中微生物和废水中的悬浮物等大分子有机物不能透过膜, 从而对 SS 去除率达 90% 以上^[5]。

出水水质好。用膜组件代替二沉池, 可在水力停留时间(HRT)很短而污泥停留时间(SRT)很长的工况下运行, 延长了废水难降解大分子有机物在反应器中的停留时间, 达到最终去除的目的, COD 的去除率高达 95% 以上^[6], 而且可以去除细菌、病毒等。

氨氮去除率高。膜组件的截留作用使得增殖缓慢的硝化菌富集在反应器内, 有较高的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率。

污泥发生量少。在限制基质条件下, 反应器中的营养物质仅能维持微生物的生存, 则基质一定, 反应器的微生物浓度一定, 微生物主要靠异化作用来分解污染物, 理论上无需排泥。

耐冲击负荷。反应器的微生物浓度较高, 在负荷较大波动的情况下, 系统的去除效果变化不大, 出水水质稳定。

结构简单, 易于实现自动化操作。用膜组件代替二沉池, 系统设备简单, 占地空间省, 一体式膜生物反应器反应和分离都在同一个容器中进行, 采用间歇操作, 易于实现自动化。

2 膜生物反应器的设计及参数确定

2.1 污泥负荷和体积负荷

MBR 的污泥负荷一般在 $0.1 \sim 0.2 \text{ kg COD}/\text{kgVSS} \cdot \text{d}$ 左右, 而体积负荷平均为每天 $2.1 \text{ kg COD}/\text{m}^3$ ^[7], 约是传统活性污泥法的 2~5 倍, 最大体积负荷为每天 $10.27 \text{ kg COD}/\text{m}^3$, 是传统活性污泥法的 13~27 倍, 具有高效的处理能力。

2.2 污泥浓度(MLSS)的确定

污泥浓度(MLSS)对反应器的去除效率影响较大, 一般说来, MLSS 越大, 则污染物的去除效率越好, 但

对膜生物反应器来说,膜通量与阻力相关,若是 MLSS 越大,则对膜的污染越严重,处理量减小,能耗过大. Y. magara 认为污泥浓度过高会对膜分离产生不利影响,得出了膜通量基本上与 MLSS 呈对数关系^[8]. 桂萍应用正交实验的方法对一体式膜生物反应器中膜污染速度与污泥浓度、曝气量和膜通量的关系进行考察^[9],得到临界膜通量 J 与污泥浓度 MLSS 和曝气强度 Q_A 有以下关系: $Q_A/J = 8.34e^{0.07MLSS}$.

2.3 水力停留时间(HRT)

在膜生物反应器中, HRT 对出水水质有一定的影响. 但曝气池内污泥浓度较高,有较强的抗冲击负荷的能力,膜和膜表面形成的凝胶层能截留大分子有机物,故 HRT 对膜生物反应器的效率影响不大. 但过短的 HRT 将导致系统内的溶解性有机物积累,引起膜通量的下降^[10]. 张绍园^[10]利用微生物反应原理和物料平衡原理推导了分置式膜生物反应器的水力停留时间公式 $HRT = 1.1 \times (1/\beta - 1)(K_s + L)/KS_0$, 式中 K 、 K_s 为待测参数,对不同污水,它们值不同. β 为处理后有机物和处理前有机物浓度之比, L 为出水有机物浓度, S_0 为污泥浓度.

2.4 污泥停留时间(SRT)

在膜生物反应器中污泥被膜组件截留在反应器中,反应器内污泥浓度较高,污泥负荷低,能够保证良好的出水水质. 但由于反应器内无机物的积累,污泥活性(MLVSS/MLSS)会逐渐降低,并最终影响出水水质. 因此,反应器应当定期排泥以保证反应器内污泥较高的活性. 污泥增长的计算较为复杂,目前还没有统一的计算方法. 张立秋^[11]通过污泥增长公式的简化公式 $\Delta X/V = \Delta X_v = 694.94 - 0.107X_v$, 对一定的废水为定值, ΔX_v 是每天增加的活性污泥浓度, X_v 为反应器内的污泥浓度,其值等于前一天的活性污泥浓度加上当天新增加的污泥浓度,采用迭代法,使新增的活性污泥为 0,得到排泥天数和污泥停留时间(SRT). 通过理论计算得到的排泥天数为 37 d,实测天数为 35 d,两者基本符合.

3 膜生物反应器的应用

国外膜生物反应器已进入实用阶段. 自 1983 ~ 1987 年,在日本已有 13 家公司采用膜生物反应器处理大楼废水,经处理后的水可回用,处理水量达 $50 \sim 250 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[12]. 美国在 Mansfield Ohi 建造了一套处理规模为 $151 \text{ m}^3/\text{d}$ 的膜生物反应器系统,用于处理某汽车制造厂的工业废水^[13]. 英国也有用膜生物反应器处理有毒工业废水的实例^[14].

日本山梨县处理规模为 $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 的分置式粪便污水处理厂,于 1989 年 1 月开始投产运行,处理效果好. 预处理出水: $\text{COD}_{\text{cr}}: 4\ 700 \text{ mg/L}$, $\text{SS}: 6\ 700 \text{ mg/L}$, $\text{TN}: 2\ 500 \text{ mg/L}$, 第二段膜出水: $\text{COD}_{\text{cr}}: 67 \text{ mg/L}$, $\text{SS}: < 2 \text{ mg/L}$, $\text{TN}: 13 \text{ mg/L}$. 处理流程为: 活性污泥 → 膜分离工艺 → 混凝 → 膜分离工艺 → 活性炭吸附 → 出水.

我国关于膜生物反应器的研究起步较晚. 华东理工大学林哲(1994)等,进行混合曝气池与 PE 微孔过滤管系统处理模拟废水的研究. 清华大学钱易等(1995 ~ 1997),研究了平板超滤组件、无机陶瓷膜件与活性污泥系统构成的膜生物反应器,以及中空纤维一体式膜生物反应器,处理生活污水的性能. 中国科学院生态研究中心樊耀波(1997)等,进行了膜生物反应器净化石油化工废水的研究. 随着研究的深入,也渐渐进入实用化阶段.

浙江省某生产农用抗生素的生物化工公司采用一体式 PW 膜 - 生物反应器法(图 3)处理制药发酵废水,在进水 COD_{cr} 为 $7\ 310 \sim 7\ 480 \text{ mg/L}$ 、 BOD_5 为 $617 \sim 668 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $141 \sim 149 \text{ mg/L}$ 的条件下排出水的 COD_{cr} 、

BOD_5 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 平均去除率分别达到了 98%、96%、98% 以上^[15],单位运行成本 $4.98 \text{ 元}/\text{m}^3$.

某以中转和储存动、植物油为主的公司在生产经营中产生的凝固程度高的油脂废水,使用一体式 MBR 处理工艺(图 4),总投资为 55 万元,生物反应池采用生物接触氧化法,在流量 $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$,膜通

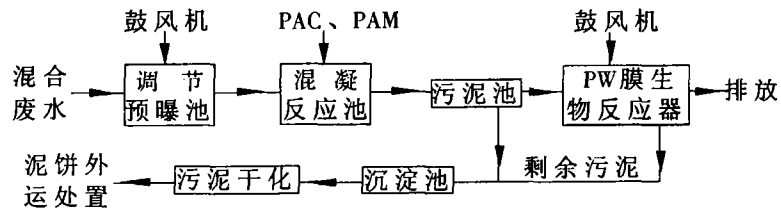


图 3 制药废水处理工艺流程

量第小时为 $0.15 \text{ m}^3/\text{m}^2$, 清洗周期为30 d时, 膜生物反应器的出水 COD、SS、动植物油的去除率均稳定在85%以上^[16].

4 展望

膜生物反应器在处理废水中具有独特的技术优势, 特别在废水需回用和占地有限的场合下更是一项极具潜力的技术, 其能不能推广应用关键在于解决膜污染和经济上是否可行的问题^[17]. 所以为了

改善膜污染, 减少运行成本, MBR 工艺的研究可从以下几个方面努力^[18]: (1) 研究低成本、高性能的超滤膜. 研制耐污染、耐酸碱、耐生物腐蚀, 有一定机械强度的高性能超滤膜, 使膜的清洗和更换不至过于频繁. (2) 采用一体式膜生物反应器. (3) 研究具有一定结构的曝气池池型. 目前实验研究的曝气池池型太单一, 今后要研究具有一定结构的池型, 这些特别结构具有减少混合液对膜污染的功能.

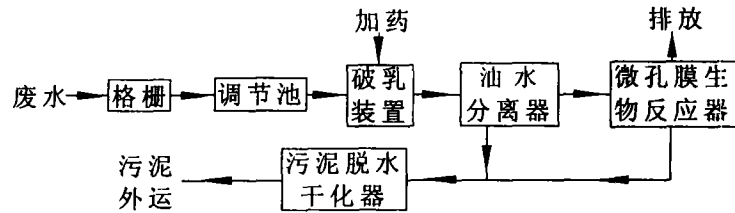


图4 含油废水处理工艺流程

5 结语

随着膜制备技术的进步, MBR 专用膜品种的开发, 膜质量的提高和膜制造成本的降低, MBR 的设备投资也会随之降低, MBR 在水处理中的应用范围必将越来越广. 膜生物反应器水处理技术的发展和广泛应用将成为生化水处理技术发展史上的又一次飞跃, 在未来的水工业技术领域占有重要的位置.

参考文献:

- [1] 马润宇. 膜生物反应器在废水处理中的应用[J]. 化工进展, 2002, 21(7): 502 ~ 505.
- [2] Brockmann M and Seyfried C F. Sludge activity and crossflow microfiltration - a non - beneficial relationship Wat[J]. Sci. Tech., 1996, 34(9): 205 ~ 213.
- [3] Yamamoto K, Hinsu M, et al. Direct Solid - Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in a Activated Sludge Aeration Tank[J]. Wat. Sci. Tech., 1989, 21(4): 43 ~ 51.
- [4] 张军, 聂梅生, 等. MBR 在污水处理与回用工艺中的应用[J], 环境工程, 2001, 19(5): 9 ~ 11.
- [5] 王连军, 蔡敏敏. 无机膜-生物反应器处理啤酒废水及其膜清洗的试验研究[J], 工业水处理, 2000, 20(2): 32 ~ 34.
- [6] 顾平, 姜立群. 中空膜生物床处理生活污水的中试研究[J], 中国给水排水, 2000, 16(3): 5 ~ 8.
- [7] 高从增. 水处理中的膜生物反应器简介[J]. 水处理技术, 2002, 28(1): 60 ~ 62.
- [8] 何义亮, 顾国维. 膜生物反应器工艺参数控制研究[J], 上海环境科学, 1999, 18(2): 83 ~ 84
- [9] 桂萍. 一体式膜生物反应器污水处理特性及膜污染机理研究[D]: [硕士论文]. 北京: 清华大学, 1999.
- [10] 张绍园, 王菊思. 膜生物反应器水力停留时间的确定及其影响因素分析[J]. 环境科学, 1997, 18(6): 35 ~ 38.
- [11] 张立秋, 封莉, 等. 膜生物反应器中最佳排泥时间的确定方法[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34(5): 68 ~ 71.
- [12] Vander Walt S R. The recovery of Fe, Mn and Al from a mine water effluent[J]. Water Research, 1995, 9(10): 865 ~ 868.
- [13] 孙锡禄. 利用含铁盐酸废液生产液体 FeCl_3 氧化剂[J]. 上海环境科学, 1988, 7(2): 30 ~ 32.
- [14] Santoro L. Limestone neutralization of acid waters in the presence of surface precipitates[J]. Water Research, 1987, 21(6): 641 ~ 647.
- [15] 黄其明. PW 膜 - 生物反应器法处理制药发酵废水[J]. 工业用水与废水, 2001, 32(5): 49 ~ 51.
- [16] 鲍建国, 王建功. 微孔膜生物反应器处理含油废水[J]. 中国给水排水, 2002, 18(2): 74 ~ 76.
- [17] 郑祥, 魏源送, 樊耀波, 等. 膜生物反应器在我国的研究进展[J]. 给水排水, 2002, 28(2): 105 ~ 110.
- [18] 陈殿英. 膜生物反应器废水处理新工艺[J]. 化工环保, 2002, 22(5): 261 ~ 265.