

动态膜生物反应器中动态膜的作用和结构研究

张建, 邱宪锋, 高宝玉, 许春华

(山东大学环境科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: 利用动态膜生物反应器处理生活污水, 对反应器中动态膜的结构和作用进行了研究. 结果表明, 出水水头为 8 cm 的条件下, 100 min 以后出水水质趋于稳定, 动态膜基本形成. 稳定运行状态下, 动态膜生物反应器对 COD、氨氮和总氮的总平均去除率分别为 78.4%、95.0%、40.0%, 其中动态膜对 COD、氨氮和总氮的平均去除率分别为 19.0%、8.5%、6.0%. 动态膜生物反应器对污染物质的去除主要依靠混合液活性污泥, 而附着在膜基材上的动态膜的生物降解作用也能去除小部分污染物质. 微生物活性分析表明, 混合污泥的比耗氧速率约为动态膜比耗氧速率的 5 倍, 混合污泥的生物活性远高于动态膜. 扫描电镜分析表明, 生物动态膜主要由丝状菌、杆菌、球菌及其分泌物组成.

关键词: 动态膜; 膜生物反应器; 污水处理

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)01-0147-05

Structure and Function of Dynamic Membrane in the Dynamic Membrane Bio-Reactor

ZHANG Jian, QIU Xian-feng, GAO Bao-yu, XU Chun-hua

(School of Environmental Science and Technology, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract: Pollutants removal performance in dynamic membrane bio-reactor (DMBR) treating sewage wastewater was studied. The results showed that dynamic membrane could be formed in 100 minutes at the head drop of 8 cm. The average COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and total nitrogen removal rates of the reactor were 78.4%, 95.0% and 40.0% respectively. The average COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and total nitrogen removal rates of the dynamic membrane are 19.0%, 8.5% and 6.0% respectively. Pollutants were mainly removed by mixed activated sludge in the dynamic membrane bio-reactor and dynamic membrane could remove partial pollutants by biodegradation of microorganism attached on the membrane. The specific oxygen consumption rate of mixed sludge was 5 times more than that of dynamic membrane. SEM pictures showed that dynamic membrane was mainly composed of filamentous bacteria, coccus, bacillus and their excretion.

Key words: dynamic membrane; dynamic membrane bio-reactor; wastewater treatment

膜生物反应器(MBR)是一种将膜分离和传统活性污泥法相结合的水处理工艺, 利用膜组件代替二沉池截留活性污泥, 兼具膜法和生物法的特点^[1]. 由于膜生物反应器具有出水水质好、装置结构紧凑、剩余污泥量少、污染物质去除效果好等优点, 得到了广泛的研究和应用^[2,3]. 但是膜价格昂贵和膜污染问题, 限制了 MBR 更为广泛的应用^[4].

范彬等^[5,6]以 0.1 mm 孔径的筛绢为动态膜基材, 研究了一体式动态膜生物反应器处理实际城市污水的效果, 结果表明生物动态膜所具有的较强截留能力主要是由附着的凝胶层产生, 出水水头对生物动态膜过滤性能有重要的影响, 并提出了动态膜生物反应器的运行策略. Yoshiaki 等^[7]采用孔径为 0.1 mm 的尼龙筛网制作膜组件, 研究表明生物动态膜形成之后具有良好的过滤性能. 高松等^[8]以铁丝网为基材, 研究了其对污泥的过滤效果. Seo 等^[9]研究了以无纺布为基材的动态膜生物反应器在中水回用中的应用.

国内外学者的研究表明, 生物动态膜除了具有物理截留作用外, 还具有一定的生物降解污染物的作用. 但是, 目前国内外对动态膜在反应器中的作用尚缺乏统一的认识, 少有对动态膜活性的研究. 本研究以无纺布作为动态膜基材, 考查了动态膜在污染物降解中的作用, 并对动态膜的生物活性和结构进行了分析.

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示. 反应器有效容积为 56 L, 中间用挡板一分为二, 2 部分上下均相通. 利用曝气泵在左侧进行曝气, 起到向混合液供氧和推动混合液在反应器内形成环流的作用. 动态膜组件是由 PVC 板、铁丝网和无纺布(单滑面, 60 g/m²)自制而

收稿日期: 2005-11-30; 修订日期: 2006-01-25

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2004BS08009)

作者简介: 张建(1976~), 男, 教授, 主要研究方向为膜生物反应器及水污染控制技术.

成,类似于板式膜.反应器中装有 5 个膜组件,每个膜组件的有效过滤面积为 0.125 m².反应器在液面和出水口之间的高度差 Δh 下自流水.

反应器进水为山东大学环境学院的化粪池出水,其水质如表 1 所示.

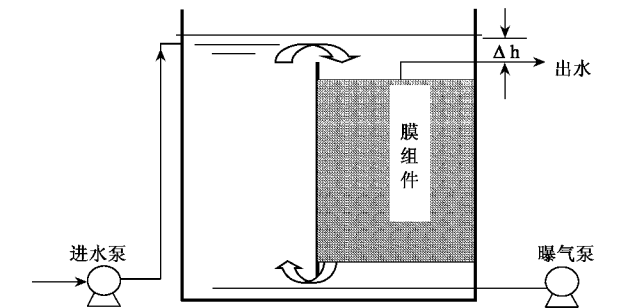


图 1 试验装置示意
Fig.1 Schematic diagram of DMBR equipment

表 1 原水水质/mg·L⁻¹

Table 1 Concentration of pollutants in wastewater/mg·L ⁻¹			
COD	氨氮	总氮	pH
90 ~ 157	27 ~ 49	40 ~ 62	6.8 ~ 7.8

接种污泥来自济南市污水净化一厂的二沉池回流污泥.接种后反应器的污泥浓度为 1.5 g/L,在溶解氧为 2.0~2.5 mg/L条件下,培养驯化10 d后,污泥浓度达到 5 g/L,然后开始稳定运行.

试验过程中,水力停留时间为 6 h,膜通量为 15 L/(m²·h).运行期间除了取样监测未排泥.

1.2 监测项目

反应器运行过程中,测试了进水、混合污泥上清液和出水的 COD、氨氮和总氮,由此计算得到反应器对污染物的总去除率和动态膜对污染物质的去除率,计算公式如下:

反应器的总去除率 = $\frac{c_0 - c_2}{c_0} \times 100\%$

动态膜的去除率 = $\frac{c_1 - c_2}{c_0} \times 100\%$

其中, c_0 为进水中污染物质的浓度; c_1 为上清液中污染物质的浓度; c_2 为出水中污染物质的浓度.

试验过程中 COD 测定采用标准重铬酸钾法, MLSS 的测定采用重量法,氨氮的测定采用纳氏试剂光度法^[11], DO 采用 MC-7W 溶解氧仪测定.污泥及动态膜耗氧速率的测定方法参照文献[12].

利用扫描电镜观察动态膜及基材形态,在进行扫描电镜试验之前进行了以下前处理.①清洗:用生

理盐水对表面污物进行漂洗.②戊二醛-钼酸固定: 2.5%的戊二醛(用 0.1 mg/L的磷酸缓冲液配制, pH 为 7.2~7.4)固定 12~24 h, 0.1 mg/L的磷酸缓冲液清洗2 h以上(中间换 2~3 次新液);再用 1%的钼酸固定1.5 h,用双蒸水洗至无钼酸气味(约2 h以上).③干燥:采用乙醇系列脱水,乙醇系列依次为 50%、70%、80%、90%,每种浓度的乙醇各用 1 次(每次 30 min),最后用 100%的乙醇脱水 2 次(每次 30 min).④醋酸异戊脂置换.⑤CO₂ 临界点 IB-5 离子溅射仪中镀铂.处理后的样品在扫描电镜(Hitachi S-570)下观察并拍照.

2 结果与讨论

2.1 动态膜的形成

在污泥浓度为 5 g/L,出水水头为 8 cm,膜通量为 15 L/(m²·h)条件下,动态膜形成过程中出水 SS 和 COD 随时间的变化如图 2 所示.

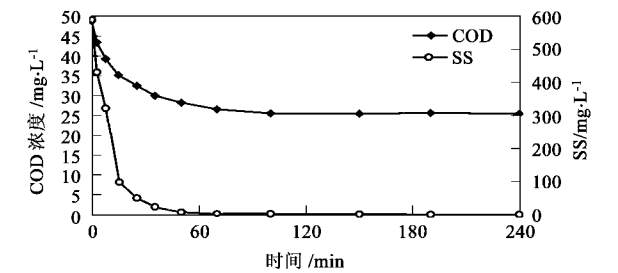


图 2 出水 SS 和 COD 随时间的变化
Fig.2 Changes of effluent SS and COD

从图 2 可以看出,在出水瞬间污染物浓度很高, SS 高达 590 mg/L, COD 为 48.6 mg/L.自开始出水到第 20 min,污染物质的浓度急剧下降,25 min 以后下降趋势变缓,通过对膜表面的观察可以看出滤饼层基本形成.到 100 min,出水 COD 为 25.6 mg/L, SS 监测不出,达到了城市污水再生利用城市杂用水水质标准(GB/T 18920-2002).此后,出水 SS 检测不出,其它各项水质指标趋于稳定,可以认为此时动态膜基本形成,反应器进入稳定运行状态.

2.2 动态膜的作用分析

2.2.1 对 COD 的去除效果

稳定运行期间,反应器对 COD 的去除效果如图 3 所示.

由图 3 可以看出,进水 COD 在 90~157 mg/L之间,平均浓度为 113 mg/L,处理出水 COD 平均浓度为 24.4 mg/L.反应器对 COD 的平均总去除率为 78.4%,其中动态膜对 COD 的平均去除率为

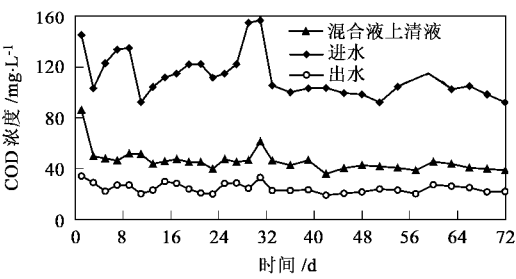


图 3 对 COD 的去除效果
Fig.3 COD removal performance

19.0% .可见动态膜生物反应器中,有机物的去除主要依靠混合液中活性污泥的降解作用,动态膜的生物作用也能去除少部分有机物.

2.2.2 对氨氮的去除效果

稳定运行期间,反应器对氨氮的去除效果如图 4 所示.

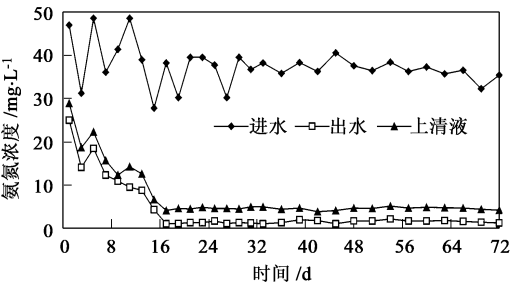


图 4 对氨氮的去除效果
Fig.4 Ammonia removal performance

由图 4 可知,进水氨氮浓度为 27 ~ 49 mg/L, 反应器运行 15 d 之后,出水氨氮浓度为 1 ~ 1.5 mg/L, 氨氮的总去除率由 45.0% 逐渐上升到 90.0% 以上, 最终去除率可以稳定在 95.0% 左右.这是由于动态膜对混合污泥的良好截留作用,使得硝化细菌在反应器内得以大量繁殖,反应器可以取得良好的硝化效果.

稳定运行之后,动态膜对氨氮的平均去除率为 8.5% .可见动态膜生物反应器中,氨氮的去除主要依靠混合液中活性污泥的降解作用,动态膜的生物降解也能去除少部分氨氮.

2.2.3 对总氮的去除效果

稳定运行期间,反应器对总氮的去除效果如图 5 所示.

由图 5 可知,进水总氮浓度为 40 ~ 62 mg/L, 反应器运行 18 d 之后,出水总氮浓度为 35 ~ 55 mg/L, 总氮的总去除率可以稳定在 40% 左右.这是由于动

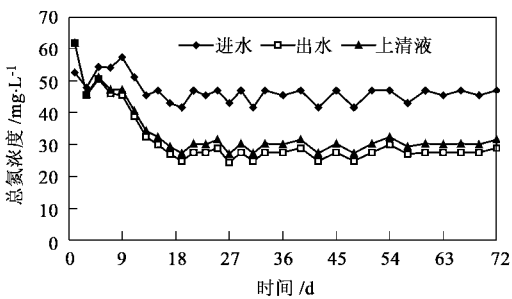


图 5 对总氮的去除效果
Fig.5 Total nitrogen removal performance

态膜对混合污泥的良好截留作用,使得硝化、反硝化细菌在反应器内得以大量繁殖,由于曝气不均匀以及菌胶团内部形成的缺氧区,使得反应器具有一定的总氮去除效果.

稳定运行之后,动态膜对总氮的平均去除率为 6.0% .可见在溶解氧为 2.0 ~ 2.5 mg/L 的条件下,动态膜生物反应器对总氮的去除主要依靠混合液中活性污泥的降解作用,动态膜的生物作用也能去除少部分总氮.

2.3 动态膜的活性分析

为了比较动态膜生物反应器内混合液活性污泥与动态膜基材上附着的动态膜的活性,测定了混合液活性污泥和动态膜基材上附着的动态膜的耗氧速率,试验结果如图 6 所示.

从图 6 可以看出,混合污泥耗氧曲线斜率的绝对值大于动态膜耗氧曲线斜率的绝对值.分别对 2 条曲线进行线性拟合,并进一步求得混合污泥和动态膜的比耗氧速率(以 O_2 计)分别为 6.8 mg/(g·h) 和 1.2 mg/(g·h).混合污泥的比耗氧速率约为动态膜比耗氧速率的 5 倍,这表明混合污泥对污染物质的降解速率快,活性大大高于动态膜.

这是因为膜基材上附着的动态膜主要由滤饼层和凝胶层组成,在未进行膜清洗的情况下,更新和脱落的速率极慢,由此造成了动态膜上的微生物老化、

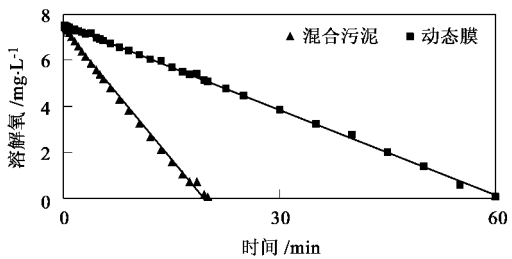


图 6 混合污泥和动态膜耗氧曲线
Fig.6 Oxygen consumption rate of mixed liquid and dynamic membrane

活性较低.这和前述反应器内污染物质的去除主要依靠混合液活性污泥降解作用的结果是一致的.

2.4 动态膜的结构分析

试验中使用的动态膜基材为丙纶长丝缠绕而成的无纺布,未经使用的无纺布扫描电镜照片如图 7 所示.

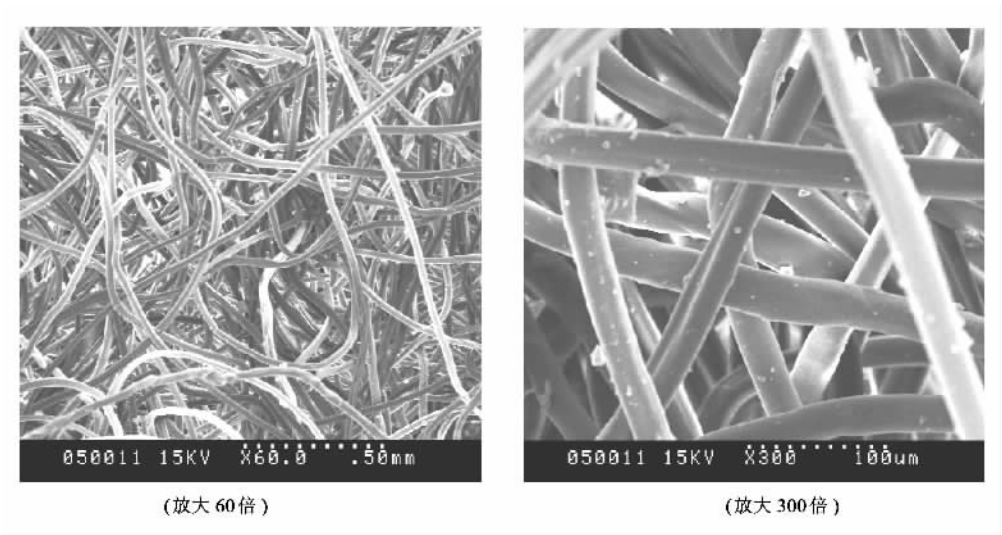


图 7 未使用无纺布表面扫描电镜照片
Fig.7 SEM pictures of non-woven fabrics

在试验过程中,动态膜基材表面覆盖有大量的污泥.动态膜形成后的扫描电镜照片如图 8 所示.

由图 8 的左图可以看出,基材表面为大量的污泥覆盖.右图为局部放大8 000的照片,从右图可以

看出,动态膜主要由细菌及其分泌物组成.细菌主要是丝状菌,另外还有杆菌和球菌.因此动态膜即是通过这些附着在基材上的微生物作用,实现对部分污染物质的去除作用.

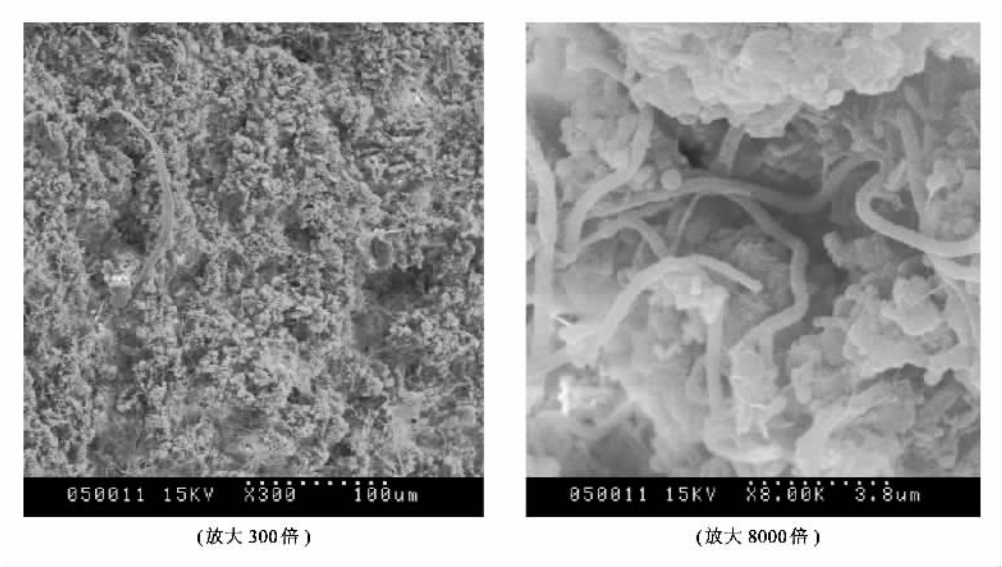


图 8 动态膜扫描电镜照片
Fig.8 SEM pictures of dynamic membrane

3 结论

(1)出水水头为 8 cm 的条件下,100 min 以后反应器出水水质趋于稳定,动态膜基本形成.

(2)动态膜生物反应器对 COD、氨氮和总氮的总平均去除率分别为 78.4%、95.0%、40.0%,其中动态膜对 COD、氨氮和总氮的平均去除率分别为 19.0%、8.5%、6.0%.动态膜生物反应器对污染物

质的去除主要依靠混合液活性污泥,而附着在膜基材上的动态膜的生物降解作用也能去除少部分污染物质.

(3)混合液活性污泥的比耗氧速率约为动态膜比耗氧速率的 5 倍,混合液活性污泥对污染物质的降解作用速率快,活性远高于动态膜.

(4)生物动态膜主要由丝状菌、杆菌、球菌及其分泌物组成.

参考文献:

- [1] Yamamoto K, Hiasa M, Mhamood T, *et al.* Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in a activated sludge tank [J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1989, **21**: 43 ~ 54.
- [2] 黄霞. 中国 MBR 的研究与工程应用进展[A]. 见:膜法水处理技术国际研讨会论文集[C], 北京:清华大学, 2005. 41 ~ 50.
- [3] 刘锐, 黄霞, 王志强, 等. 一体式膜-生物反应器的水力学特征[J]. *环境科学*, 2000, **21**(5): 47 ~ 50.
- [4] 李春杰, 杨海真, 顾国维. 开发膜生物反应器的经济技术因

素探讨[J]. *上海环境科学*, 1999, **12**: 571 ~ 573.

- [5] 范彬, 黄霞. 动态膜-生物反应器对城市污水的处理[J]. *环境科学*, 2002, **23**(6): 51 ~ 56.
- [6] Fan B, Huang X. Characteristics of a Self-Forming Dynamic Membrane Coupled with a Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment[J]. *Environ. Sci. Tech.*, 2002, **36**: 5245 ~ 5251.
- [7] Yoshiaki K, Jung Y J, Ichinari T, *et al.* Waste water treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a mesh as filter material[J]. *Water Res.*, 2000, **34**(17): 4143 ~ 4150.
- [8] 高松, 周增炎, 高廷耀. 自生生物动态膜在污泥截留中的应用研究[J]. *净水技术*, 2005, **24**(1): 14 ~ 17.
- [9] Seo G T, Moon B H, Lee T S, *et al.* Non-woven fabric filter separation activated sludge reactor for domestic waste water reclamation[J]. *Wat. Sci. Tech.*, 2003, **47**(1): 133 ~ 138.
- [10] 国家环保总局. 水和废水环境监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 刘雨, 赵庆良, 郑兴灿. 生物膜法污水处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 106 ~ 108.

欢迎订阅 2007 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊.

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想,理论和实用技术等.

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE; 美国工程索引 EI; 美国化学文摘 CA; 俄罗斯文摘杂志 AJ; 美国生物学文摘预评 BP; 美国医学索引 IM; 日本科学技术情报中心数据库 JICST; 英国动物学记录 ZR; 剑桥科学文摘(CSA): Environmental Sciences; 剑桥科学文摘(CSA): Pollution Abstracts; 剑桥科学文摘(CAS): Life Sciences Abstracts 等; 国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD); 中文科技期刊数据库(维普); 中国期刊全文数据库(CNKI); 数字化期刊全文数据库(万方); 中国科学引文数据库(CSCD); 中国生物学文摘等.

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续.

《环境科学》2007 年为 16 开本,40 元/册,全年 12 期.

国内统一刊号: CN11-1895/X 国际标准刊号: ISSN 0250-3301

国外发行代号: M 0205 国内邮发代号: 2-821

编辑部地址: 北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编: 100085

电话: 010-62941102; 传真: 010-62849343; E-mail: hjkx@rcees.ac.cn; 网址: www.hjkx.ac.cn