

膜生物反应器处理生活污水运行效能研究

李再兴¹ 杨景亮¹ 叶 莉¹ 郭建博¹ 陈旭东²

(1.河北科技大学环境科学与工程学院 河北 石家庄 050018;2.河北省科学院地理研究所 河北 石家庄 050011)

摘要 采用一体式中空纤维膜生物反应器(MBR)处理生活污水,稳定运行结果表明:进水 COD 质量浓度 180~350 mg/L,COD 容积负荷可达到 2.2~2.8 kg/(m³·d),出水 COD 质量浓度 13.2~22.8 mg/L,COD 的平均去除率为 95.9%。膜组件对整个反应体系的净化效果起着重要的强化作用。

关键词 膜生物反应器;生活污水;废水处理;运行效能

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2007)S1-0107-04

膜生物反应器(MBR)是一种将高效膜分离技术与传统活性污泥法相结合的新型水处理反应器。膜生物反应器最先用于酶制剂工业生产中,1966 年美国 Dorr-Oliver 公司最先将活性污泥法和超滤工艺结合用于生活污水的处理研究^[1]。近年来,已逐步应用于城市生活污水和工业废水的处理。与传统的活性污泥法相比,MBR 具有污染物去除效率高,处理后出水水质好;运行控制可实现水力停留时间(HRT)和污泥停留时间(SRT)完全分离,剩余污泥产量低,生物反应器内可保持高浓度的微生物,容积负荷大,耐冲击负荷,并可提高难降解有机物的净化效果,易于实现自动化控制,操作管理方便等特点^[2-3]。本文采用一体式中空纤维膜生物反应器进行了处理生活污水的试验研究,对 MBR 的运行效能进行了考察。

1 试验装置与方法

1.1 试验流程及装置

试验装置如图 1 所示。MBR 有效容积 8.5 L,内置聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜组件,膜孔径 0.2 μm,有效面积为 0.7 m²。

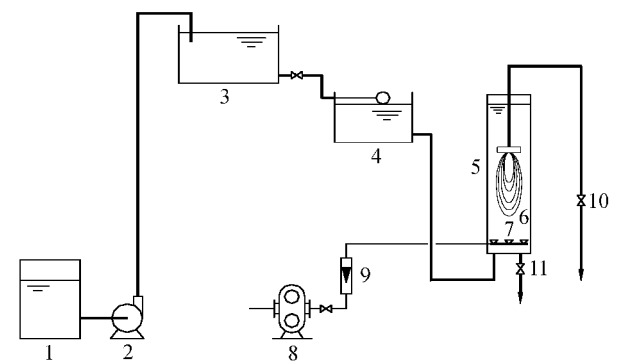
1.2 试验用水

试验用水取自学生公寓排水集水井,水质状况:ρ(COD)=180~350 mg/L,ρ(SS)=122~402 mg/L,pH 值 7.3~7.7。

1.3 接种污泥

接种污泥取自城市污水处理厂二沉池,VSS/SS

为 0.831,污泥接种量为 2 g/L。



1—储水箱 2—提升泵 3—高位水箱 4—恒位水箱 5—生物反应器 6—膜组件 7—微孔曝气器 8—空气压缩机 9—气体流量计 10—出水调节阀 11—排泥阀

图 1 膜生物反应器工艺流程

1.4 分析方法及分析仪器

COD:重铬酸钾法^[4];pH 值:pH S-3 型酸度计^[4];MLSS、MLVSS:重量法^[4];DO:DOxi330i 型溶解氧测定仪;TOC:TOC 测定仪。

2 试验结果分析

2.1 运行结果

反应器运行过程分为 3 个阶段,即启动阶段、负荷提高阶段和稳定运行阶段。

启动阶段:主要是对 MBR 所接种污泥进行培养驯化,使其适应试验水质。反应器启动采用连续进水方式,控制进水量为 8.5L/d,HRT 为 24 h,进水 ρ(COD)为 161.8~210.8 mg/L,COD 进水负荷为 0.15~0.20 kg/(m³·d),水温为 18.2~20.0℃。第 1

至6运行日,反应器运行效果相对较差,出水 $\rho(\text{COD})$ 为21.5~60.8 mg/L,COD去除率在64.2%~88.1%之间。到第7运行日,反应器出水 $\rho(\text{COD})$ 为15.6 mg/L,COD去除率为92.0%。此后,反应器运行效果趋于稳定,COD去除率为92.5%,视为反应器启动成功。

负荷提高阶段:反应器进水 $\rho(\text{COD})$ 为250~350 mg/L,负荷提高靠逐步增加进水量、缩短HRT实现。进水量由8.5 L/d逐步增至61.5 L/d,HRT由24 h逐步缩短到3.3 h,COD容积负荷由0.23 kg/(m³·d)逐渐增至2.97 kg/(m³·d),COD去除率为90.3%~97.6%。

稳定运行阶段:重点考察反应器的稳定运行效能。自第50运行日起反应器稳定运行,运行负荷COD为2.2~2.8 kg/(m³·d),HRT为3.5~4 h,COD平均去除率为95.9%,出水 $\rho(\text{COD})$ 为13.2~22.8 mg/L。实验结果见图2。

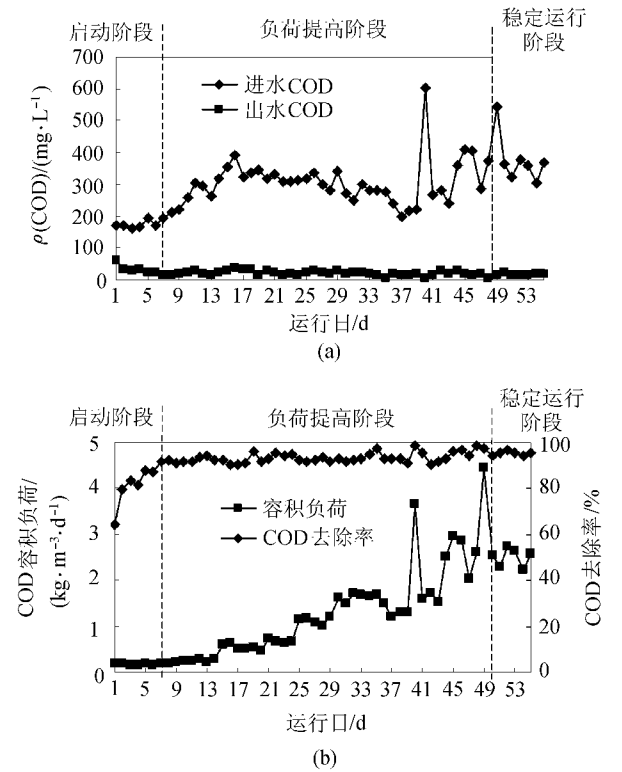


图2 反应器的运行结果

由图2可见,采用膜生物反应器处理生活污水,启动迅速,负荷提高快,有机物去除率高,运行稳定。

2.2 结果讨论

2.2.1 负荷率对反应器净化效果的影响

a. 容积负荷对反应器净化效果的影响。容积负荷是指反应器单位容积、单位时间能够接纳并将其降解到预定程度的有机污染物量。其实质是同一反应器中微生物降解有机物有一定限度。

由图2可知,反应器启动后,随着进水量的增

加,反应器的容积负荷COD由0.15~0.2 kg/(m³·d)开始逐步提高,提高幅度为0.4 kg/(m³·d),到第45运行日,进水量增至61.5 L/d,容积负荷提高到2.97 kg/(m³·d),COD去除率90.3%~97.6%。稳定运行阶段COD容积负荷为2.2~2.8 kg/(m³·d),COD的平均去除率为95.9%。由于反应器HRT已经很短,本试验没有再进行反应器提高负荷试验。反应器容积负荷与COD去除率的关系见图3。

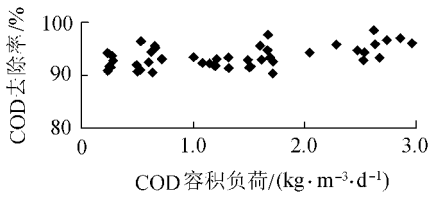


图3 容积负荷与COD去除率关系

从图3中可以看出,整个试验期间反应器COD容积负荷从0.15 kg/(m³·d)提高到2.97 kg/(m³·d),COD去除率始终保持在90%以上,容积负荷的变化对COD去除率未造成影响。

b. 污泥负荷对反应器净化效果的影响。污泥负荷为反应器内单位重量活性污泥、单位时间能够接纳并将其降解到预定程度的有机污染物量,是影响有机污染物降解、活性污泥增长的重要因素。图4为试验过程中反应器污泥负荷的变化情况。图5为反应器在负荷提高和稳定运行阶段污泥负荷与COD去除率的变化情况。

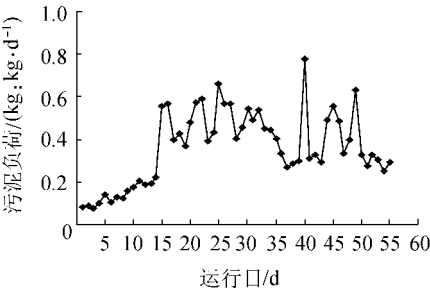


图4 反应器污泥负荷的变化情况

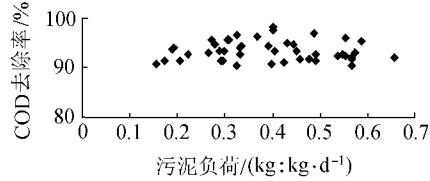


图5 污泥负荷与COD去除率关系

在整个运行过程中,污泥负荷波动较大。在反应器启动及负荷提高初期,由于容积负荷较低,使其污泥负荷也维持在较低状态;第15运行日,容积负荷由0.28 kg/(m³·d)提高至0.60 kg/(m³·d)此时反应器内污泥浓度偏低,致使污泥负荷由0.22 kg/(kg·d)突然升至0.56 kg/(kg·d),在随后的18个运行日内,

污泥负荷在 0.4 ~ 0.6 kg/(kg·d) 之间波动 ;此后 随着污泥浓度的不断增长 ,污泥负荷有所降低 ,第 35 运行日后 ,基本维持在 0.3kg/(kg·d) 。由此可见 ,膜生物反应器属于低污泥负荷生物反应器。反应器长期运行于低污泥负荷状态 ,使污泥硝化得以进行 ,从而表现出较低的污泥产率。由图 5 可见 ,污泥负荷在 0.16 ~ 0.66 kg/(kg·d) 变化 ,COD 去除率均在 90.3% ~ 97.6% 之间 ,污泥负荷的变化对 COD 去除率没有明显影响。

c. 冲击负荷对反应器净化效果的影响。冲击负荷在一定条件下是评价反应器性能的一种运行方式。对反应器形成冲击负荷的方式有两种 :一是进水 COD 浓度大幅度提高 ;二是进水量大幅度增加。

由图 2 和图 3 可以看出 ,在反应器运行过程中 ,由于进水水质的变化分别在第 40 ,49 运行日形成了两次冲击负荷。容积负荷分别由前一天的 1.32kg/(m³·d) ,2.62kg/(m³·d) 提高到 3.68kg/(m³·d) ,4.46kg/(m³·d) ,冲击负荷的提高幅度分别为 2.36kg/(m³·d) ,1.84kg/(m³·d) 。从运行结果看 ,第 40 运行日 ,进水 ρ(COD) 升高至 601.1 mg/L ,出水 ρ(COD) 为 6.4mg/L ,COD 去除率高达 98.9% ,第 49 运行日 ,进水 COD 质量浓度增至 541.6 mg/L ,出水 COD 质量浓度为 13.8 mg/L ,COD 去除率可达 97.5%。可见 ,冲击负荷均未对反应器的运行效果产生影响 ,膜生物反应器表现出较强的抗冲击负荷能力 ,其原因一是反应器内污泥浓度高 ,生物持有量大 ;再就是膜的高效截留作用保证了出水水质的稳定。

2.2.2 膜对反应器净化效果的影响

a. 维持反应器较高的污泥浓度。从生物学观点来讲 ,如果污泥浓度高 ,则生物反应器可以在高容积负荷、低污泥负荷下运行 ,有利于提高有机物的去除效率。传统活性污泥法正常运行时污泥质量浓度一般可控制在 2000 ~ 4000 mg/L 之间。在膜生物反应器中 ,由于膜的截留作用 ,反应器内的污泥浓度较高 ,从而使反应器保持较高的微生物持有量。

本实验中膜的截留作用使 MBR 反应器中污泥质量浓度不断增长 ,最高可达 8926 mg/L ,足够的污泥浓度确保了反应器对有机物良好的净化效果。图

6 反映了运行过程中反应器进、出水 COD 浓度、上清液 COD 浓度及系统和生物反应器对 COD 去除效果的变化情况。

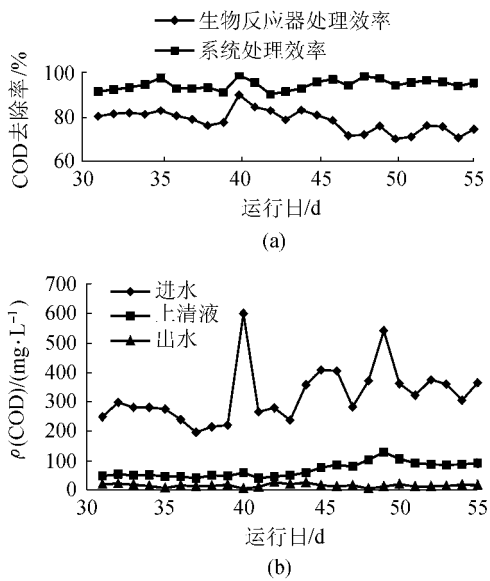


图 6 反应器中 COD 浓度及去除效果变化情况

从图 6 可以看出 ,在进水 COD 变化较大的情况下 ,反应器内活性污泥对有机物仍有良好的净化效果。自第 31 ~ 43 运行日 ,污泥质量浓度为 3 058 ~ 5 178 mg/L ,反应器上清液的 COD 质量浓度为 6.4 ~ 27.3 mg/L ,COD 平均去除率为 93.5%。此后 ,随着运行时间的增长 ,污泥质量浓度最高达到 8926 mg/L ,但因无机成分的不断积累 ,污泥活性有所降低 ,致使上清液的 COD 浓度有所升高 ,但 COD 平均去除率仍能保持在 95.6%。可见高浓度活性污泥对系统中 COD 的去除发挥了重要作用。

b. 强化 MBR 净化效果。在膜生物反应器中 ,膜除靠机械装置对悬浮物、细菌有良好的截留作用外 ,对溶解性有机物也有较好的截留效果 ,其作用主要体现在以下几个方面 ①膜孔的截留作用 ,即膜的筛滤作用对溶解性有机物去除 ;②膜孔和膜表面的吸附作用对溶解性有机物去除 ;③膜表面形成沉积层的筛滤/吸附作用对溶解性有机物去除。为考察膜对反应器净化效果的强化作用 ,在相同条件下 ,对膜出水与混合液上清液进行了对比测试分析 ,结果见表 1。

表 1 膜出水与混合液上清液对比测试分析

进水 ρ(COD)/ (mg·L ⁻¹)	上清液				膜出水			
	ρ(COD)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(TOC)/ (mg·L ⁻¹)	细菌总数/ (个·mL ⁻¹)	COD 去除 率/%	ρ(COD)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(TOC)/ (mg·L ⁻¹)	细菌总数/ (个·mL ⁻¹)	COD 去除 率/%
245.6	40.4	13.4	36000	83.5	17.4	6.0	120	92.9
371.1	59.6	13.8	42000	83.9	31.9	7.7	207	91.4
345.1	50.9	13.5	50000	85.3	21.8	6.1	163	93.7

由表 1 可见,膜对整个反应体系的净化效果起着重要的强化作用。膜对细菌有很好的截留作用;相对 MBR 上清液而言,膜对 COD、TOC 的去除率分别提高了 46.5%~57.2%和 44.2%~54.8%;对整个系统而言,膜对 COD 去除率提高了 9.5%~7.4%。

2.2.3 污泥特性及生物相

2.2.3.1 污泥增长及特性变化

在好氧生物反应器内,微生物通过降解污水中有机污染物增殖,而微生物的增殖表现为活性污泥的增长,反应器内污泥浓度升高。但传统的活性污泥法因污泥流失,污泥浓度仅能维持在 2000~4000 mg/L,而膜的高效截留作用可使反应器内保持较高的污泥浓度。

关于膜生物反应器中的污泥控制浓度及污泥活性的变化情况,因试验控制条件不同,报道的结果有所差异^[5-7],但根据膜生物反应器的运行特点,如维持较高的污泥浓度,反应器在低污泥负荷下运行,污泥活性将会受到一定影响。图 7 为膜生物反应器在运行过程中污泥浓度及特性的变化情况。

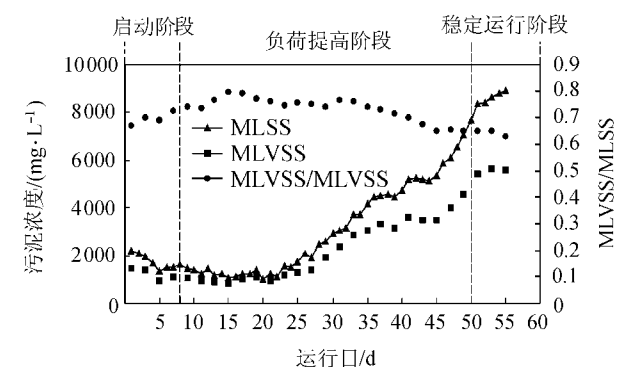


图 7 污泥浓度及特性的变化情况

由图 7 可见,在启动阶段,反应器内污泥的 MLVSS/MLSS 由初始的 0.699 增至 0.799,表明经过一段时间的培养驯化,污泥菌种已经逐步适应了试验水质。但随着运行时间的增长,在不排泥的情况下,到运行结束时,污泥质量浓度至 8926 mg/L,污泥的 MLVSS/MLSS 则由 0.799 降至 0.629。造成污泥活性降低的原因一是由于膜的截留作用,使污水中所含无机颗粒在反应器中造成累积,另外由于长期的低负荷运行,微生物内源代谢、自身氧化残留物的积累,使污泥活性产生一定影响。

2.2.3.2 污泥的物理特性及生物相

在整个运行过程中,膜生物反应器中的活性污泥从感官上经历了由开始时的黑色变为灰褐色最后变为黄褐色的过程。就其沉降性来看,启动后污泥

沉降性能较差,SV>20%,到第 11 运行日后活性污泥逐步有絮体形成,沉降性能有所改善,到第 25 运行日活性污泥形成较为密实、颗粒较大的絮凝体,SV 为 16%,SVI 为 92.1 mL/g。

在生物处理过程中,通过对污泥混合液生物相的镜检,能够观察到出现在活性污泥中原生动物和后生动物,据此能够了解生物处理系统的运行状况。在启动期,污泥处于培养驯化阶段,混合液中游离细菌居多,出现豆形虫、草履虫等原生动物。在负荷提高期,污泥菌胶团培育成熟,结构良好,混合液中的细菌多已“聚居”在污泥上,此时出现钟虫。在稳定运行期,混合液中出现后生动物轮虫。

3 结 语

a. 膜生物反应器处理生活污水,启动迅速,负荷提高快,有机物去除率高,运行稳定。稳定运行结果表明,进水 $\rho(\text{COD})$ 为 180~350 mg/L,反应器运行负荷可达到 2.2~2.8 kg/(m³·d),COD 的平均去除率为 95.9%,出水 $\rho(\text{COD})$ 为 13.2~22.8 mg/L。

b. 膜件除对悬浮物、细菌有良好的截留作用外,对溶解性有机物也有较好的净化效果,对整个反应体系的净化效果起着重要的强化作用。

参考文献:

- [1] 黄霞,桂萍,范晓军,等.膜生物反应器废水处理工艺的研究进展[J].环境科学研究,1998,11(1):40-44.
- [2] 李秀芬,傅学起,胡国臣.膜生物反应器在废水处理中的优势[J].工业水处理,2001,21(8):7-10.
- [3] 邹联沛,王宝贞,迟军,等.膜生物反应器处理污水性能的研究[J].哈尔滨建筑大学学报,2001,34(2):57-60.
- [4] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] 邹联沛,王宝贞,范延臻,等.SRT 对膜生物反应器出水水质的影响研究[J].中国给水排水,2000,16(7):16-18.
- [6] 桂萍,黄霞,汪诚文,等.膜-复合式生物反应器组合系统操作条件及稳定运行特性[J].环境科学,1998,19(2):35-38.
- [7] 顾国维,何义亮.膜生物反应器——在污水处理中的研究和应用[M].北京:化学工业出版社,2002:352-392.

(收稿日期:2007-02-04 编辑:高渭文)