

MBR 在垃圾渗滤液处理中的应用研究

季民 杨拓 张亮 李征 霍贞 刘卫华

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要 对比研究了 UASB - MBAC 工艺、普通 MBR 工艺及投加专性耐盐菌强化 MBR 工艺处理垃圾渗滤液,特别是对高含盐垃圾渗滤液的效果。结果表明:采用普通 MBR 处理高含盐垃圾渗滤液时,对有机物去除能力有限,运行时间越长,处理效率越低;投加耐盐菌可有效改善 MBR 对高含盐渗滤液中有机物的去除效果。试验发现不论是普通 MBR 还是投加耐盐菌强化的 MBR 处理高含盐渗滤液时,对氨氮都具有较高的去除率,几乎达到 100 %。

关键词 膜生物反应器 垃圾渗滤液 耐盐菌

Applied research on MBR in landfill leachate treatment

Ji Min, Yang Tuo, Zhang Liang, Li Zheng, Huo Zhen, Liu Weihua

(School of Environment Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In this research we compare the processes of UASB-MBAC, normal MBR and MBR applied with *halotolerant bacteria* in treatment of landfill leachate. Especially we research the effect of these reactors treating high salinity landfill leachate. The research results show: the normal MBR have limited capability to remove organic substances. The longer operation of the facility, the removal efficiency is decreased more. The organic substances removal of MBR from high salinity landfill leachate could be improved by additionally applied *halotolerant bacteria*. While we also notice that they all have high removing rate of ammonia nitrogen, nearly 100 %.

Keywords: MBR; Landfill leachate; *Halotolerant bacteria*

膜生物反应器(MBR)是膜分离技术和传统活性污泥法相结合的一种新型废水处理技术。由于膜的截留作用,反应器中的生物完全被截留在反应器中,实现了水力停留时间和污泥龄的完全分离,同时使反应器内保持较高的 MLSS,对污染物的去除率高,出水 SS 和浊度很低,细菌和微生物则完全被去除,出水水质较好。并且膜代替了传统的二沉池,设备结构紧凑,占地面积小,因此 MBR 已被广泛应用于小规模污水处理^[1]。垃圾填埋场产生的渗滤液是一种含高浓度氨氮和难降解有机物、成分非常复杂的废水,该类废水的有效处理是目前国内外环境工程领域的难点之一。本文重点探讨 MBR 在垃圾填埋场渗滤液处理中的应用,研究了 UASB - 膜生物炭反应器(MBAC)工艺、普通 MBR 工艺及投加专性耐盐

菌强化 MBR 工艺对垃圾渗滤液的处理效果,特别是高含盐垃圾渗滤液的适配生物工艺,旨在探索出一种高效、稳定、低投资的垃圾渗滤液生物处理工艺。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

1.1.1 UASB - MBAC 工艺

UASB - MBAC 串联工艺,试验装置示意图 1 所示。其中反应器均采用透明有机玻璃柱加工而成,UASB 反应器高 1.4 m,内径 80 mm,体积为 6.128 L,三相分离区高 0.3 m,内径 120 mm,体积为 4.25 L,整个反应器的总体积为 10.65 L;UASB 控制温度 35℃。好氧生物反应内径 80 mm,高 2 m,体积为 10.04 L。中空纤维膜组件,采用天津工业大学膜天膜技术公司生产的聚偏氟乙烯(PVDF)

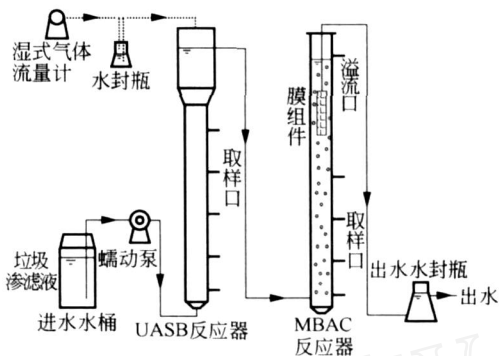


图1 UASB-MBAC处理试验装置

中空纤维微滤膜。膜组件有效面积为 0.5 m^2 ,膜孔径 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 。

MBR采用连续进水间歇出水的方式运行,进水同UASB串联在一起,因为采用的膜组件的额定流量远远大于反应器运行的流量,所以出水用时间继电器结合电磁阀控制膜组件出水,膜出水靠水位差自压出水,曝气装置开始阶段采用污水处理厂集中曝气管路曝气,后期采用空气压缩机曝气,转子气体流量计计量,气水比控制在 $100\text{ }1\sim 200\text{ }1$ 。MBR中控制粉末活性炭的投加量为 2 g/L 反应器。

该处理工艺的进水采用天津双口垃圾填埋场的渗滤液,水质见表1。

表1 试验进水水质

COD_{Cr} / mg/L	$\text{NH}_3\text{-N}$ / mg/L	TN / mg/L	BOD_5 / mg/L	BOD / COD	pH
1 500 ~ 8 300	520 ~ 980	700 ~ 1 100	700 ~ 5 900	0.25 ~ 0.71	7.8 ~ 9

1.1.2 处理高含盐垃圾渗滤液的 MBR 工艺

MBR 试验装置示意如图 2 所示。

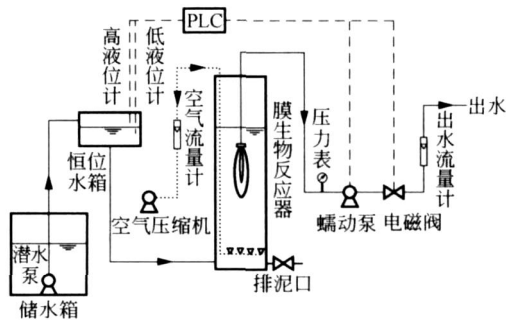


图2 MBR 试验装置

其中储水箱有效体积 50 L ;恒位水箱有效体积 5.25 L ;MBR由有机玻璃柱加工而成,内径 100 mm ,高 1200 mm ,有效体积 6 L ;中空纤维膜组件同1.1.1

表2 进水水质

COD_{Cr} / mg/L	$\text{NH}_3\text{-N}$ / mg/L	BOD_5 / mg/L	SS / mg/L	色度 / PCU	Cl^- / mg/L	pH
925 ~ 1 467	98 ~ 132	15 ~ 22	1 ~ 14	780 ~ 952	5 186 ~ 9 430	8.7 ~ 8.99

中。进水为厌氧生物滤池的出水,水质见表2。

1.2 分析项目与方法

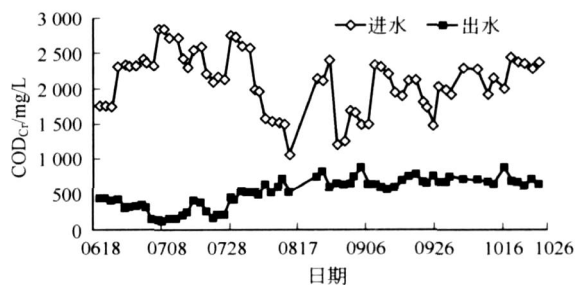
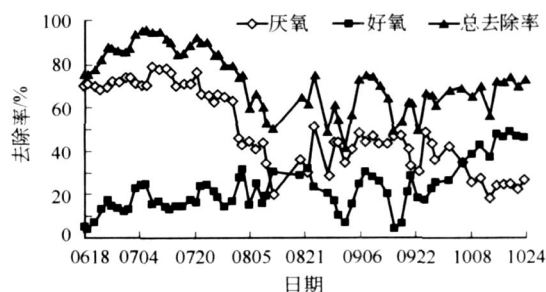
COD_{Cr} 、氨氮、总氮均采用标准方法测定。 BOD 采用国标五日生化需氧量法测定; MLSS 采用重量法测定;产气量用 $30\%\text{NaOH}$ 溶液吸收后用湿式气体流量计测定;pH采用HANNA HI19321型微电脑式酸碱度计测定;色度采用HANNA C200多参数离子测定仪; UV_{254} 采用TU-1800紫外/可见分光光度计测定;TOC采用日本岛津TOC-V_{CPH}测定。

2 结果与讨论分析

2.1 UASB-MBAC工艺处理双口垃圾填埋场渗滤液的试验研究

2.1.1 对 COD_{Cr} 的去除效果

组合工艺对 COD_{Cr} 去除效果以及各阶段对 COD_{Cr} 去除的贡献见图3、图4^[2]。由图中可以看出进水 COD_{Cr} 为 $1\,000\sim 3\,000\text{ mg/L}$,平均去除率为73%。10月以前,UASB对 COD_{Cr} 去除率贡献大,10月以后,温度下降导致UASB去除率下降,MBR的去除贡献增大。

图3 组合工艺进出水 COD_{Cr} 的变化图4 组合工艺中UASB和MBR对 COD_{Cr} 去除的贡献

在垃圾渗滤液进水 COD_{Cr} 为 2 046 ~ 2 976 mg/L 条件下,水力停留时间 14 ~ 16 h,单独运行 MBR 处理垃圾渗滤液。出水 COD_{Cr} 平均浓度为 791 mg/L,平均 COD_{Cr} 去除率为 69 %,达到了与 UASB - MBAC 组合工艺基本持平的 COD_{Cr} 去除效果。

2.1.2 对 BOD_5 的去除效果

组合工艺对 BOD_5 的去除效果如图 5、图 6 所示。进水 BOD_5 变化较大,从 400 ~ 1 800 mg/L 不稳定,但经过组合生物工艺处理,出水 BOD_5 维持在 10 mg/L 左右,平均去除率 98.3 %,达到了很好的去除效果。出水 BOD/COD 已经降至 0.05 以下,这进一步说明经过 UASB - MBAC 组合工艺处理后的垃圾渗滤液剩下的 COD_{Cr} 主要为难降解有机物。在这种情况下,需要考虑进一步采用其他处理工艺对生物组合工艺的出水进行处理,才能实现最终其 COD_{Cr} 浓度的降低直至达标排放。

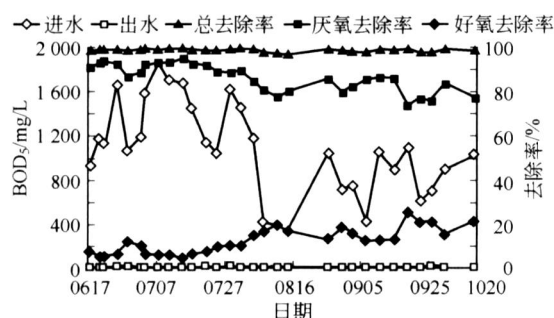


图5 组合工艺对 BOD_5 的去除效果

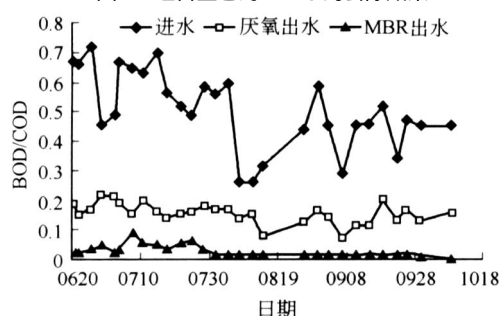


图6 组合工艺进出水 BOD/COD 变化情况

试验中还探讨了 MBR 中膜组件和活性炭对有机物去除的影响。发现微滤膜组件能提高生物反应器对渗滤液 10 % ~ 20 % 的 COD_{Cr} 去除率,而活性炭运用于渗滤液处理中只能在最初阶段形成物理吸附功能,很快达到饱和,难以形成生物炭再生作用。

2.2 MBR 处理高含盐垃圾渗滤液的试验研究

试验以大港垃圾填埋场渗滤液为处理对象。由于大港垃圾填埋场位于海滨,其渗滤液水质与内陆填埋场明显不同: BOD/COD 低于 0.1,可生化性极差;磷含量低,氮氮变化范围较大;溶液偏碱性,色度较高。最突出特点是盐度高,含盐量为 0.68 % ~ 2.1 %,其中约 50 % 的盐度是由氯离子贡献的。针对上述特点,试验设计多级生物处理工艺流程:“厌氧生物滤池—好氧移动床—MBR”。MBR 进水为好氧移动床出水,在此着重介绍 MBR 的效果。

2.2.1 对 COD_{Cr} 的去除效果

MBR 对 COD_{Cr} 的去除效果如图 7 所示^[3]。MBR 启动运行时,投加城市污水处理厂污泥,开始用一定生活污水对渗滤液进行稀释。随运行时间延长,33 d 之后不再对渗滤液稀释时, COD_{Cr} 去除率不断下降,最低 COD_{Cr} 去除率仅为 15 %。整个稳定运行阶段 COD_{Cr} 平均去除率为 22.33 %。其原因在于:随着进水中氯化物浓度的增加,污泥活性降低、数量减少,试验监测该阶段 MBR 的污泥浓度 (MLSS) 由开始的 3 772 mg/L 逐渐下降到 1 500 mg/L 左右,相应 COD_{Cr} 的去除率由开始的 30.77 % 逐渐下降至 16 % 左右。同时进水可生化性差,营养元素比例失调,也造成污泥微生物数量的减少和活性的降低,影响 MBR 对有机物的去除效果。

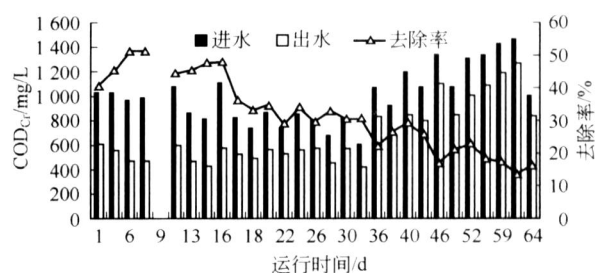


图7 MBR 对 COD_{Cr} 去除的效果

2.2.2 对 BOD_5 的去除效果

MBR 进水为经过一级生物处理的垃圾渗滤液, BOD_5 很低,平均进水浓度为 20 mg/L,出水小于 2 mg/L,平均去除率达 90 %,得到了比较稳定的去除效果。同时,进水 BOD/COD 为 0.014 ~ 0.022,可生化性很差。经过 MBR 处理后,出水 BOD/COD 维持在 0.001 ~ 0.004。可见 MBR 出水中剩余有机物基本为不可生物降解的有机物,需考虑采用其他工艺对其进行深度处理达到去除 COD_{Cr} 的目的。

2.2.3 对氨氮的去除效果

MBR 对氨氮的去除效果如图 8 所示,随着运行时间延长,氨氮去除率由 2.67% 迅速上升到 99.41%,并逐渐稳定,MBR 对氨氮显示出较好的去除效果,甚至氨氮去除率可达到 100%。其原因主要在于: MBR 能够完全截留微生物,可以防止硝化菌的流失,使其得到富集生长; MBR 进水 BOD/TN 很低,硝化菌迅速大量繁殖; MBR 的曝气量较大,有利于降低氧的传质阻力,提高硝化的速率和程度。在第 30 天时,氨氮去除率突然跌至 66.86%,但很快恢复并达到 100%。这是由于之前为了消除污泥膨胀而向 MBR 中投入 H_2O_2 ,引起污泥量减少,负荷上升,对硝化反应产生了一定的影响,停止投加 H_2O_2 后,去除率又上升到较高的水平。从第 36 天开始,MBR 进水氨氮大幅降低,平均值为 11.73 mg/L,出水氨氮低于 1.82 mg/L,最高氨氮去除率为 100%,平均去除率为 98.5%。

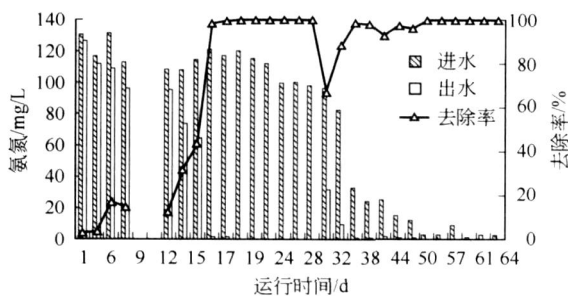


图 8 MBR 对氨氮的去除效果

2.2.4 对色度的去除效果

MBR 对色度的去除效果如图 9 所示。在反应器启动阶段(即 9~32 d),进水为好氧移动床出水的稀释液时,MBR 对色度的去除率较高,平均去除率为 53%。随着进水改为完全的好氧移动床出水(第 33 天开始),色度去除率降到 11.03%,此后稳定在

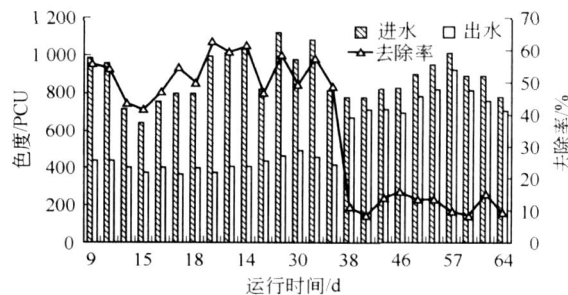


图 9 MBR 对色度的去除效果

12% 左右。进入稳定运行阶段(即 33~64 d),出水色度则有所升高,平均色度去除率仅为 15.25%。其原因可能是: 当 MBR 进水不再稀释时,进水中的生色有机物以小分子溶解态的有机物居多,这些有机物难生物降解,又不能被膜截留,是 MBR 出水中引起色度的主要原因; 微生物一般不能将那些大分子的生色有机物彻底降解,而产生的中间产物仍能引起色度且分子量不大,在较短的时间内又难于去除,造成出水色度偏高。

2.3 耐盐菌强化 MBR 处理垃圾渗滤液的试验研究

试验从高含盐垃圾渗滤液中分离纯化并富集出 4 种耐盐菌,通过一系列的静态批式试验和横向比较,选定 1[#] 菌与 2[#] 菌的组合为最佳投菌方式,对渗滤液中有机物去除效果最好。试验中以 (4 mL 1[#] 菌 + 1 mL 2[#] 菌)/200 mL 反应器容积的配比投加到 MBR 中进行试验。MBR 进水为厌氧生物滤池 (AF) 出水。在启动阶段采用 AF 出水稀释并加入葡萄糖进行共代谢,这一方法可明显改善耐盐菌对渗滤液中难生物降解有机物的降解能力,实现 MBR 的快速启动。耐盐菌强化 MBR 对高含盐垃圾渗滤液处理效果如下。

2.3.1 对 COD_{Cr} 的去除效果

耐盐菌强化 MBR 对 COD_{Cr} 的去除效果见图 10。可见,投加耐盐菌 MBR 对 COD_{Cr} 具有良好去除效果,平均去除率为 65.2%,较 2.2.1 节中 COD_{Cr} 的去除率提高了近 2 倍。

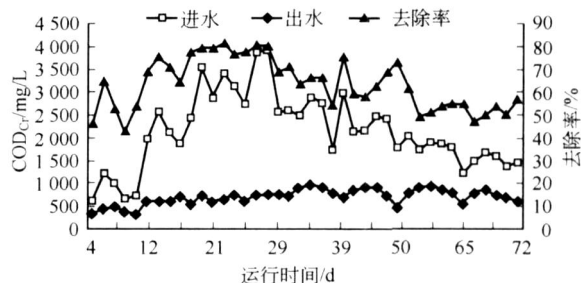


图 10 耐盐菌强化 MBR 对 COD_{Cr} 的去除效果

2.3.2 对氨氮的去除效果

耐盐菌强化 MBR 对氨氮的去除效果见图 11。在向 MBR 投加活性污泥之前(前 48 d),进水氨氮变化范围很大,在 45~411.2 mg/L,氨氮去除率波动也很大,在 20%~40%。投加活性污泥后,进水氨氮趋于稳定,出水中未检出氨氮,氨氮去除率达到

100 %。其原因主要是在反应器启动阶段,硝化细菌数量少、生长缓慢、世代周期长,导致对氨氮的去除率有一定波动;在第 48 天向反应器投加了活性污泥之后,虽然由于基质缺乏、高盐度等原因活性污泥很快死亡,丧失其有机物的去除能力,但活性污泥中的硝化细菌是自养细菌,不受营养匮乏的影响,得以在 MBR 中生存繁殖。此外,膜的截留性使硝化细菌在短时间内富集,为硝化的正常进行提供了重要保证。故在试验后期出水中未检出氨氮,氨氮去除率为 100 %。

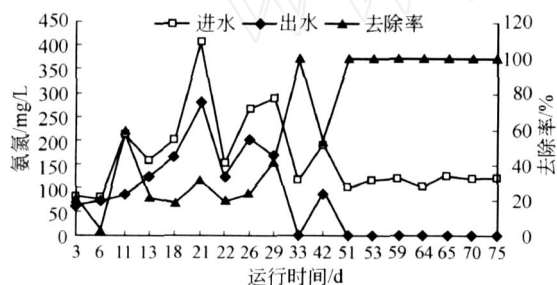


图 11 耐盐菌强化 MBR 对氨氮的去除效果

2.3.3 对色度的去除效果

耐盐菌强化 MBR 对色度去除的效果见图 12。可见,在起始阶段色度去除率较低,为 46.9 %。水力停留时间延长到 31.2 h 之后,色度去除能力明显提高,且随着进水色度的升高,出水色度基本稳定在 900 ~ 1 400 PCU,平均色度去除率为 72.6 %,较 2.2.4 节中色度去除率提高近 4 倍。

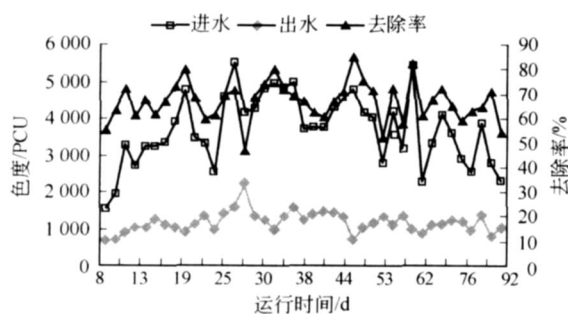


图 12 耐盐菌强化 MBR 对色度的去除效果

2.3.4 膜污染问题

由于本试验是在抽吸压力下运行且膜的出水流量恒定,所以膜的过滤压差存在一个极限值,考虑到膜自身的材质、蠕动泵的型号和出水量等,将过滤临界压差定为 0.04 MPa。在第 4 天反应器即进入了稳定运行状态,压差(即水柱高度)缓慢增长,膜污染很

缓和;在第 17 天开始,膜污染情况开始恶化,表现为压差迅速升高,在反应的第 20 天即达到了临界过滤压差(0.035 ~ 0.04 MPa),不得不对膜进行清洗。分析其趋势,在运行的初期,反应器中的耐盐菌以垃圾渗滤液中基质为养分,在降解 COD_{Cr} 的同时,自身生长繁殖,其胞外聚合物(EPS)作为膜污染的重要污染物,浓度越来越大,待到积累到一定程度,即对膜产生了污染,而且这种污染是快速的,很快膜污染达到很严重的程度,必须对膜进行清洗。第 20 天对膜进行了清洗,清洗之后压差又恢复到比较低的水平,但是没有恢复到初始值,这表明虽然对膜进行了清水洗 + 碱洗 + 酸洗,但膜通量仍然没有恢复到新膜的通透能力,也从侧面表明垃圾渗滤液本身和投加的耐盐菌及其分泌物对膜造成了不可恢复性的膜污染。同时在运行的第 37 天又对膜进行了清洗,两次清洗间隔 17 天,而与普通的 MBR 处理垃圾渗滤相比,普通的 MBR 在运行的第 58 天、第 99 天、第 142 天进行了清洗,间隔 40 多天进行清洗,说明本次试验采用的垃圾渗滤液以及投加的耐盐菌对膜产生的危害是比较大的。

3 结论

(1) 采用 UASB - MBAC 组合工艺处理垃圾渗滤液,在进水 COD_{Cr} 为 500 ~ 3 000 mg/L, BOD_5 为 300 ~ 1 900 mg/L,控制 UASB 水力停留时间 9 ~ 15 h, MBR 水力停留时间 10 ~ 15 h,系统总水力停留时间 19 ~ 30 h,进水 COD_{Cr} 容积负荷为 1.39 ~ 6.76 kg $\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下,出水 COD_{Cr} 为 146 ~ 880 mg/L,出水 BOD_5 在 7.8 ~ 14.2 mg/L, COD_{Cr} 平均去除率为 73 %,最高可达 95.54 %, BOD_5 平均去除率为 98.3 %,最高可达 99.54 %。在垃圾渗滤液进水 COD_{Cr} 为 2 046 ~ 2 976 mg/L 条件下,水力停留时间 14 ~ 16 h,单独运行 MBR 处理垃圾渗滤液。出水 COD_{Cr} 平均浓度为 791 mg/L,最低出水浓度达到 661.25 mg/L, COD_{Cr} 去除率最高达 70.67 %,平均 COD_{Cr} 去除率为 69 %,达到了与 UASB - MBAC 工艺基本持平的 COD_{Cr} 去除效果。

(2) 采用普通 MBR 处理高含盐垃圾渗滤液, COD_{Cr} 去除率十分有限。且渗滤液中高含盐量和有机物难生物降解性对反应器中微生物产生很大的抑制作用。MBR 运行时间越长,处理效率越低。

NaClO 作灭菌剂控制诺卡氏菌的应用实践

周爱姣¹ 范举红² 陶 涛¹ 李昌湖² 朱国宏²

(1 华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉 430074; 2 桐乡市水务集团, 桐乡 314500)

摘要 介绍了桐乡市城市污水处理厂运用含有效氯 10 % 的 NaClO 液体控制由诺卡氏菌大量增殖为主引起的丝状菌性污泥膨胀实例。详细阐述了 NaClO 液体投加方法, 包括投加点的选择、加氯量、投加次数的确定、活性污泥再培养等。

关键词 污泥膨胀 诺卡氏菌 灭菌剂 NaClO 溶液

近年来各城市兴建了大批污水处理厂, 由于部分老城区排水体制是雨污合流制, 受季节天气的影响水质水量变化较大, 给采用活性污泥处理工艺的污水处理厂带来运行管理方面的负担。经常会出现污泥结构松散, 不易沉降, 二沉池内污泥上浮, 污泥流失, 即常见的污泥膨胀现象。污泥膨胀分为丝状菌性污泥膨胀和非丝状菌性污泥膨胀, 非丝状菌性污泥膨胀发生的概率较小, 因此, 如何控制丝状菌性污泥膨胀是污水处理过程中面临的重大难题之一。本文总结了桐乡市城市污水处理厂运用 NaClO 液体作灭菌剂控制诺卡氏菌污泥膨胀的实践经验, 供其他有类似问题的污水处理厂参考。

1 污泥膨胀现象

桐乡市城市污水处理厂采用的是 A²/O 工艺, 处理规模为 5 万 m³/d, 进水 70 % 为城市生活污水, 30 % 为工业废水, 部分管网采用的是雨污合流制。

(3) 投加耐盐菌可明显改善 MBR 对 COD_{Cr} 去除效果。在 COD_{Cr} 负荷 2 kg COD_{Cr}/(m³·d), 气水比 30 : 1, 投菌周期 5 d, 反应器中 MLSS 4 000 ~ 5 000 mg/L, 投加耐盐菌的 MBR 反应器对 COD_{Cr} 的去除率可达到 50 % ~ 70 % (采用普通的 MBR 仅为 20 % 左右)。色度的去除率基本保持在 60 % ~ 80 % (采用普通 MBR 仅为 15 % 左右)。应用 MBR 处理高含盐渗滤液时, 不论是普通 MBR 还是投加耐盐菌强化 MBR, 对氨氮都能达到几乎 100 % 的去除。

参考文献

1 Hoilijoki T H, Kettunen R H, Rintala J A. Nitrification of

处理装置分四组(A、B、C、D)并列运行, 每两组共用一个污泥回流渠道。曝气池采用推流式廊道, 微孔曝气。2006 年 11 月 C、D 组发生污泥膨胀。表现在泥水难以分离, SV 高达 99 %, SVI 超过 300 mL/g, 曝气池出现大量黄褐色的生物泡沫, 二沉池泥面剧烈上升导致污泥大量流失。

镜检观察到大量空间网状丝体, 丰度超过 d 级, 其大量增殖使工艺运行状况逐渐恶化, 出水水质严重恶化。根据上述现象, 确认为以诺卡氏菌大量增殖为主引起的丝状菌污泥膨胀^[1]。

2 控制方法

要解决因诺卡氏菌大量增殖引起的污泥膨胀问题, 主要在于控制诺卡氏菌的数量, 可以采取投加灭菌剂的临时控制措施^[2,3]。在调节工艺运行参数和投加助凝剂仍然得不到控制的情况下, 采取投加含有效氯为 10 % 的 NaClO 液体作为灭菌剂控制污

anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature. Wat Res, 2000, 34(5): 1435 ~ 1446

- 2 李征. UASB + MBAC 工艺处理城市垃圾填埋场渗滤液试验研究:[学位论文]. 天津:天津大学, 2003
- 3 霍贞. MBR 及后续工艺处理垃圾渗滤液的试验研究:[学位论文]. 天津:天津大学, 2006
- 4 张亮. 投加专性耐盐菌的强化 MBR 工艺:[学位论文]. 天津:天津大学, 2007

& 电话:15910667067

E-mail: z_1983 @163.com

收稿日期:2007-04-05

修回日期:2007-06-26