

膜生物反应器中水回用示范工程

戈 军¹, 荆肇乾², 吕锡武¹

(1.东南大学环境科学与工程系,江苏 南京 210096; 2.南京林业大学土木工程学院,江苏 南京 210037)

摘 要:采用膜生物反应器工艺建立了 24 m³/d 的中水回用示范工程。对示范工程设计运行参数和污染物去除机理进行了探索,并进行了技术经济分析。结果表明系统出水浊度、BOD₅、NH₃-N 分别为 1.8 NTU、7.2 mg/L、1.69 mg/L,总大肠菌未检出,出水无色无味,各项指标优于回用标准要求。膜生物反应器在有效去除常规污染物的同时,可以对致病菌和病毒进行有效截留。MBR 用于生活污水处理和回用,在降低污染的同时可以带来一定的经济效益。

关键词:膜生物反应器;中水回用;设计运行参数;去除机理;技术经济分析

中图分类号: X703.1

文献标识码: B

文章编号: 1000-3770(2007)04-075-03

膜生物反应器(MBR)将活性污泥法和膜分离技术有机组合,利用膜分离技术作为处理单元中微生物富集的手段,并对污染物进行有效拦截或吸附,具有工艺流程简单、占地面积小、出水水质好、可直接回用、剩余污泥产量低、维护管理方便等特点。随着膜技术发展和膜价格下降,膜生物反应器已经越来越多地应用于污水处理行业,在中水回用方面具有广阔的应用前景。本文结合实验室小试试验研究结果,建立了 MBR 中水回用的示范工程,对实际运行的工艺参数和运行的稳定性进行研究,确立了系统长期稳定运行的控制条件,并进行了经济效益分析,为 MBR 在污水处理与回用领域的应用提供了有益的借鉴。

1 水质水量及工艺流程选择

南京某冶金设备有限公司办公区与生活区生活污水排放量 24 m³/d,结合工程前期水质监测资料,设计进水水质按 SS、COD、BOD₅、NH₃-N 分别为 200、300、150、35 mg/L,经处理后出水水质同时满足《城市污水再生利用—城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)要求,即浊度 ≤ 5 NTU、BOD₅ ≤ 10 mg/L、NH₃-N ≤ 10 mg/L、总大肠菌 ≤ 3 个/L。污水经处理后可直接用于厕所冲洗、洗车和绿化景观用水。污水处理工艺流程如图 1 所示。

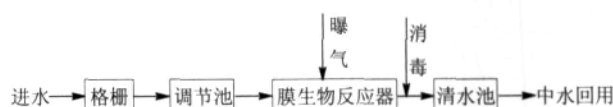


图1 中水回用示范工程工艺流程
Fig.1 Schematic diagram for intermediate water reuse demonstration project

污水经粗细两道格栅去除较大的悬浮物和漂浮物后,自流进入调节池,调节均化进水水质,然后污水经潜水泵(利用液位控制器自动运行)提升进入膜生物反应器(MBR),结合曝气措施利用反应器内存在的大量微生物完成有机物降解和氨氮氧化,利用自吸泵间歇抽吸出水。由于膜表面的吸附和截留作用,出水有机物和 SS 浓度大大降低,MBR 出水经过紫外线消毒后进入回用清水池。

2 MBR 主要设计与运行参数

2.1 水力停留时间

水力停留时间(HRT)决定反应器容积和所需膜面积,直接影响处理设施投资,故在保证出水水质前提下,需确定较佳的 HRT。膜生物反应器中具有较高的微生物浓度,因而可以大大缩短反应器中的水力停留时间,一般在 2~7h 即可取得良好的去除效果^[1],考虑到本工程水量较小,水质水量存在一定的变化,为提高反应器中微生物对水质水量的适应性,

收稿日期 2006-05-12

作者简介:戈 军(1964-),男,博士研究生,主要从事水污染控制研究工作

联系电话:025-86317516, E-mail: gexun616@163.com.

设计水力停留时间为 6h。

2.2 污泥浓度

膜生物反应器中可以维持较高的污泥浓度,在一定范围内污泥浓度增加可提高反应器处理效率。但随着污泥浓度增加,污泥絮体随之增加,在膜表面形成较为稳定的动态膜,导致较多的细小颗粒和胶体物质在膜表面沉积或吸附,混合液粘度也随之增大,膜污染加剧,致使膜过滤阻力增加,膜通量受到影响^[2]。同时随着污泥浓度增加,氧转移效率下降,为维持反应器中一定的溶解氧浓度,必须提高曝气量。因此 MBR 中的污泥浓度应结合曝气强度进行控制,试验结果表明,MBR 中的污泥浓度控制在 5~10g/L 为宜。本示范工程中控制在 5.2g/L 左右。

2.3 曝气强度

在 MBR 反应器膜组件底部采用穿孔管曝气,为微生物生长及有机物降解和硝化过程提供足够的溶解氧,同时可维持混合液紊动,减缓污泥在膜表面沉积,控制膜污染,提高膜的使用寿命。曝气强度过高或者过低都会引起膜过滤阻力增加^[3],曝气量过低会造成反应器中溶解氧不足,而曝气量过高将导致污泥过于分散。通过实验室研究结合膜过滤阻力和污泥特性分析得出较佳的气水比为 25:1~30:1。

3 主要构筑物与设备参数

主要构筑物规格尺寸和设备组成见表 1 与表 2。构筑物和设备构成较为简单,便于运行控制。主要构筑物一体化布置,占地面积较小,维护管理方便。

表 1 主要构筑物规格尺寸

Table 1 Dimensions of main constructions

构筑物	长(m)×宽(m)×高(m)	材质	HRT(h)
调节池	2×1.2×2.8	钢砼	6
MBR池	2×1.2×2.8	钢砼	6
清水池	2×1.2×2.8	钢砼	6

表 2 主要设备组成

Table 2 Main equipment

设备	规格型号	单位	数量	备注
潜污泵	QW8-10-0.55	台	2	一用一备
自吸泵	Delta505	台	2	一用一备
鼓风机	TSA32	台	2	一用一备
膜组件	孔径 0.2μm	m ²	192	

4 示范工程运行效果及污染物去除机理分析

2005 年 9 月 19 日和 20 日南京市江宁区环境监测站进行了验收采样监测,结果如表 3 所示。满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中一级排放

标准中 SS≤20 mg/L、COD≤60 mg/L、BOD₅≤20 mg/L、NH₃-N≤15 mg/L、动植物油≤20 mg/L 的排放要求。

表 3 验收监测结果

Table 3 Determination results for acceptance

监测项目	SS	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	动植物油
进水平均值(mg/L)	83	248	122	11.90	2.30
出水平均值(mg/L)	13	29	7.2	1.69	0.58
去除率(%)	84.3	88.3	94.1	85.8	74.8

另外在 2005 年 9 月 19 日~25 日实验室监测浊度平均值为 1.8NTU,总大肠菌检不出,结合表 2 中数据发现出水浊度、BOD₅、NH₃-N、总大肠菌等水质指标均优于《城市污水再生利用-城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)冲厕和绿化用水指标,这是常规生化污水处理工艺难以达到的。该工艺中 MBR 反应器中实现了污水生物处理及常规回用工艺中的混凝、沉淀、过滤和消毒的多重功能^[4],出水可以直接满足回用要求。

MBR 反应器中既有高效生物作用,又可以利用膜的物理化学特性对污染物进行有效吸附和截留,通过二者有效结合去除污水中的有机物、NH₃-N、细菌和病毒等污染物。以下对主要污染物的去除机理作简要分析。

4.1 有机物的去除

MBR 中富集大量的微生物,对进入反应器中的有机物进行有效降解;而且膜将悬浮物及有机大分子物质进行截留,大分子物质可以完全被截留在好氧区内,可获得比常规活性污泥工艺更多的反应时间,因而大大提高了有机物的去除效率。随着 MBR 反应器中微生物生长成熟,膜表面可以形成一定的凝胶层,还可以对部分小分子有机物(分子量小于 3000)进行有效截留^[5]。

4.2 NH₃-N 的去除

膜的截留作用使 MBR 中维持较高的污泥浓度,本工程中 MLSS 在 5.2g/L 左右,在进水 BOD₅ 平均为 122mg/L 的情况下,污泥负荷为 0.094 kgBOD₅/kgVSS·d,为低负荷运行,有利于作为自养菌的硝化菌生长繁殖。并且膜生物反应器中曝气强度相对于普通的活性污泥工艺要高,污泥较为分散,有利于氧的传递和硝化效率提高。另外由于 MBR 工艺排泥量较低,有利于世代期较长的硝化菌生长。因此 MBR 中维持较高的硝化效率,有利于 NH₃-N 的去除。

4.3 细菌和病毒的去 除

通过膜表面的物理拦截和筛滤作用可以有效去除污水中的致病菌和病毒。经过孔径为 $0.2\mu\text{m}$ 的膜过滤,出水中的总大肠杆菌可以达到检不出的水平。

5 技术经济分析

整个示范工程投资包括处理构筑物及风机、水泵及 MBR 系统的控制设备等固定费用与膜组件的费用。工程总投资 6.2 万元,单位水量投资 2583 元/ m^3 ,本工程水量仅为 $24\text{m}^3/\text{d}$,在完成污水处理的同时达到中水回用要求,工程投资相对较省。

工程运行费用主要由设备折旧、膜更换费用、动力费用、膜的清洗及维护费用等四部分组成。经测算,实际运行费用约 1.28 元/ m^3 。

本示范工程出水回用率可以达到 80%,目前南京工业用水价格为 2.60 元/ m^3 ,则建设单位每年可节约自来水 $24 \times 365 \times 80\% = 7008\text{m}^3$,采用中水可节约费用为 1.32 元/ m^3 ,每年可节省水费 9250 元,忽略价格上涨因素整个工程投资可望在 6.7 年收回成本。

鉴于本工程处理水量较小,单位处理水量造价相对较高,若处理规模增加,则单位处理水量投资将会下降,投资回收期将缩短。由此可见,中水回用所带来的节水效益和经济效益都是相当可观的。近年来随着膜组件生产规模的扩大、膜设备使用年限的增加、膜设计通量的大幅度提高,将继续降低膜技术的成本,将使 MBR 工艺在污水处理和中水回用领

域具有更广阔的应用前景。

6 结 论

MBR 应用于生活污水中水回用示范工程表明,反应器中富集了大量微生物,有机物和氨氮去除效率高,膜及膜面凝胶层能有效截留大分子有机物及部分小分子有机物,并可有效去除致病菌和病毒。系统出水浊度、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别为 1.8NTU、7.2 mg/L、1.69 mg/L,总大肠菌检不出,出水无色无味,各项水质指标均优于《城市污水再生利用—城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)标准。MBR 用于生活污水处理和回用,在有效降低污染的同时,可以节省大量自来水,在短期内收回成本的同时,可以为企业创造一定的节水经济效益,具有重要推广应用价值。

参考文献:

- [1] 顾国维,何义亮.膜生物反应器往污水处理中的研究与应用[M]. 北京:化学工业出版社:环境科学与工程出版中心,2002: 59-63.
- [2] 刘锐,黄霞,刘若鹏,等.膜-生物反应器和传统活性污泥工艺的比较[J].环境科学,2001,22(3):20-24.
- [3] 张传义,王勇,黄霞,等.一体式膜-生物反应器经济曝气量的试验研究[J].膜科学与技术,2004,24(5):11-15.
- [4] Muller E B, Stouthamer A H. Aerobic wastewater treatment in a pilot plant with complete sludge retention by cross-flow filtration [J]. Wat Res.,1995,29(4):1179-1189.
- [5] Ognier S, Wisniewski C, Grasmick A. Influence of macromolecule adsorption during filtration of a membrane bioreactor mixed liquor suspension[J]. Journal of Membrane Science, 2002, 209(1):27-37.

DEMONSTRATION PROJECT OF MEMBRANE BIOREACTOR FOR WASTEWATER REUSE

GE Jun¹, JING Zhao-qian², LU Xi-wu¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. College of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: A $24\text{m}^3/\text{d}$ demonstration project with MBR was established for treatment and reuse of domestic sewage. The design, operating parameters of the project and mechanism of pollutant removal were enquired into with the analysis of technique and economy. It was shown that, in the system the effluent turbidity, BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$ were 1.8NTU, 7.2mg/L, 1.69mg/L respectively, colorless and tasteless in the effluent, no coliform being detectable; various indexes were superior to the requirements of water reuse standard. MBR could effectively cutoff pathogen and virus while effectively removing common pollutants. MBR was applied to the treatment and reuse of domestic sewage to lower pollution and also bring a certain economic benefits.

Key words: membrane bioreactor (MBR); wastewater reuse; design and running parameters; removal mechanism; techno-economic analysis

推广节水技术 提高用水效益