

A/O—MBR 工艺处理城市污水的研究

杨 琦¹, 尚海涛¹, 杨 春¹, 甘一萍², 王洪臣²

(1. 中国地质大学 水资源与环境学院, 北京 100083; 2 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100022)

摘 要: 针对水资源短缺、水污染严重和用水量增加的状况,进行了膜生物反应器 (MBR) 处理城市污水的中试,考察了出水回用奥运公园的可行性。试验结果表明,系统出水 SS、COD、氨氮、Fe、Mn 的浓度分别为 0.163、0.65、0.2、0.033 mg/L,去除率分别达到 100%、94.5%、98.3%、99% 和 92.3%;出水浊度和细菌数分别为 0.06 NTU、4 CFU/mL,去除率为 99.7%和 6-lg,出水水质优于城市杂用水水质标准 (GB/T 18920—2002)。系统运行稳定,有较强的抗冲击负荷能力。膜过滤压差的变化和膜的清洗试验表明,DO 和泥饼层增厚压密是影响膜污染的重要因素。

关键词: 膜生物反应器; 污水再生回用; 膜污染; 膜清洗

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)07-0101-04

Pilot-scale Test of A/O and Membrane Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment

YANG Qi¹, SHANG Hai-tao¹, YANG Chun¹, GAN Yi-ping²,
WANG Hong-chen²

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract: In order to alleviate the situation of water shortage, heavily polluted water and increased water consumption, a pilot-scale membrane bioreactor (MBR) was used to treat municipal wastewater, and feasibility of its effluent reuse was investigated. The results show that the effluent quality is stable and excellent. The average removal rate of SS, COD, NH₃-N, turbidity, bacterium, Fe and Mn is 100% (0 mg/L), 94.5% (0.163 mg/L), 98.3% (0.65 mg/L), 99.7% (0.06 NTU), 6-lg (4 CFU/mL), 99% (0.2 mg/L), 92.3% (0.033 mg/L) respectively, and the effluent quality meets the standard of the Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Urban Miscellaneous Water Consumption (GB/T 18920 - 2002). The MBR has a strong ability in resisting loading shock. DO and sludge cake thickening are major influencing factors on membrane fouling.

Key words: MBR; wastewater reclamation and reuse; membrane fouling; membrane cleaning

水质污染的加剧和用水量的增加,使有限的水资源日趋紧张,污水再生回用和资源化成为解决水资源短缺的重要途径之一。但传统回用工艺流程复

杂、占地面积大、出水水质稳定性差,而膜生物反应器 (MBR) 技术,由于具有处理效率高、出水可直接回用等特点,正越来越受到关注^[1]。在我国,MBR

作为污水再生回用的一项高新技术,其开发与研究日益深入,但实际应用较少。

笔者利用 A/O—MBR 工艺处理北京市某污水厂初沉池出水,对膜出水回用于奥运公园的可行性进行了研究。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置和流程

试验流程见图 1。

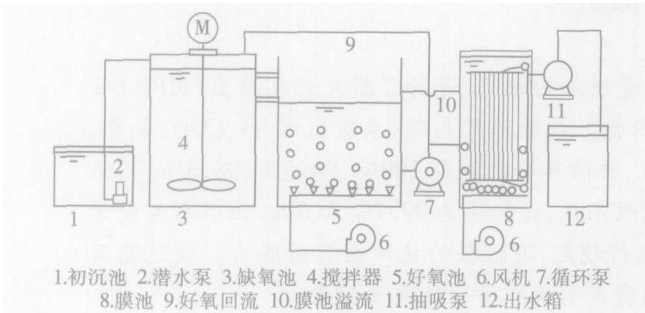


图 1 试验装置及流程

Fig 1 Schematic diagram of experimental system

系统主要由缺氧池、好氧池、膜组件、水力循环系统以及自控系统组成。污水由潜水泵从初沉池提升至缺氧池,停留一段时间后混合液溢流至好氧池,在好氧微生物的作用下去除大部分有机物和几乎全部氨氮。好氧池中混合液部分经循环泵回流至缺氧池进行反硝化,部分进入膜池,在抽吸泵的作用下经膜过滤后形成系统出水,浓缩液溢流回好氧池。膜出水为间歇方式,时间控制器控制出水 12 min、停

0.5 min。采用穿孔管曝气的方式对膜表面进行大气泡擦洗以降低膜污染速度,曝气量为 34 m³/h。

膜组件采用加拿大 ZENON 公司的外压式中空纤维膜,膜材料为玻璃纤维涂敷 PVDF,膜面积为 67 m²,处理能力为 1~2.7 m³/h,膜孔径为 0.04 μm。

1.2 试验用水及运行参数

试验用水采用城市污水,经曝气沉砂池、初沉池和 2 次格栅预处理之后进入试验系统,水质参数如表 1 所示。好氧池的 HRT 为 2.5~4.5 h,缺氧池的 HRT 为 1.5~2.5 h,MLSS 为 8~15 g/L,好氧池回流比为 2.5~4,膜池回流比为 2.5~5。

表 1 试验水质

Tab 1 Characteristics of experimental water

项目	温度 / ℃	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	COD / (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N / (mg·L ⁻¹)	TP / (mg·L ⁻¹)	SS / (mg·L ⁻¹)	pH
范围	13~27	26~183	173~572	34~110	5.2~24.7	48~600	6.5~7.7

1.3 分析方法

试验检测项目主要包括:水温、悬浮固体、pH、COD、BOD₅、DO、氨氮、总磷、浊度、色度等,均采用《水和废水监测分析方法》中的标准方法进行测定^[2]。

2 试验结果及回用标准

235 d 的动态试验表明,系统运行稳定,处理效果良好,系统稳定运行期间出水各指标的平均值见表 2。

表 2 系统出水水质及回用标准

Tab 2 Effluent quality of MBR and quality standard of wastewater reuse

项 目	pH	色度 / 倍	浊度 / NTU	TDS / (g·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮 / (mg·L ⁻¹)	LAS / (mg·L ⁻¹)	铁 / (mg·L ⁻¹)	锰 / (mg·L ⁻¹)	DO / (mg·L ⁻¹)	余氯 / (mg·L ⁻¹)	大肠菌群 / (CFU·L ⁻¹)
系统出水	6.7~7.8	20	0.06	0.56	6.45	0.65	0.358	0.2	0.03	5.8	未检出	0
杂用水标准	6.0~9.0	30(30)	10(5)	1.5(1.0)	20(10)	20(10)	1.0(0.5)	0.3(0.3)	0.1(0.1)	≥1.0	管网末端 ≥0.2	3

注: 括号内的数值为洗车、冲厕用水水质。

由表 2 可见,出水水质完全满足国家最新颁布的《城市污水再生利用 城市杂用水水质标准》(GB/T 18920—2002)的要求。

3 分析及讨论

3.1 对 COD 的去除

系统对 COD 的去除效果见图 2。

自驯化阶段完成后,整个系统对 COD 的平均去除率为 94.5%,出水 COD 浓度平均为 16.3 mg/L。

生物反应器对 COD 的平均去除率为 64.6%,微生物对 COD 的去除起主要作用,这是因为:MLSS 很高,除启动阶段外一直维持在 8~15 g/L;SRT 较长(为 15~60 d),使处理难降解有机物的细菌得以增殖和富集;另外,缺氧段的酸化水解对有机物的去除也起到了一定的作用。膜的截留作用弥补了生物反应器处理性能的不稳定,提高了反应器的耐冲击负荷能力。

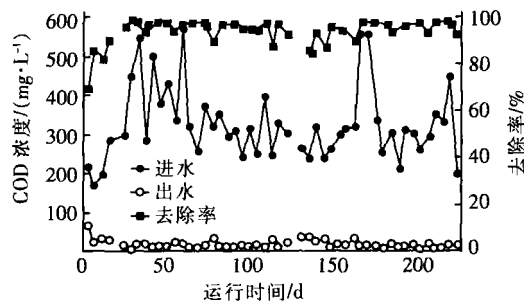


图 2 对 COD 的去除效果

Fig 2 Removal efficiency of COD

3.2 对氨氮的去除

图 3 给出了系统进、出水以及好氧池上清液的氨氮变化曲线。

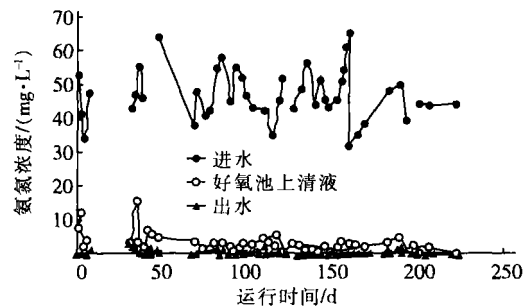


图 3 对氨氮的去除效果

Fig 3 Removal efficiency of NH₃-N

从图 3 可以看出:系统对氨氮的平均去除率为 98.3%;氨氮的去除几乎完全靠生物反应器中微生物的作用,膜对其截留作用极小,这是由于系统的 MLSS 浓度高、SRT 长,使得世代周期长的硝化菌得以在好氧池内富集,从而保证了系统良好的硝化效果和较强的抗冲击负荷能力。

3.3 对总氮、总磷的去除

系统对总氮和总磷的去除效果如表 3 所示。

表 3 系统对总氮、总磷的去除效果

Tab 3 Removal efficiency of TN and TP

	%									
时间 /d	7	39	69	84	109	137	161	180	199	204
TN 去除率	16.8	59.1	71.9	66.2	61.8	75.1	72.2	60.2	73.1	72.7
TP 去除率	13.1	36.4	28.4	43.9	70.0	68.0	61.4	48.1	46.5	25.6

表 3 表明,系统能达到较好的脱氮除磷效果。试验开始阶段,对 TN 的去除效果很差,去除率 < 50%,这是因为反应器内 MLSS 值低,混合液粘度小,由回流混合液带入的氧的穿透能力强,形成缺氧或厌氧区域的有效容积较小,反硝化作用较弱,随着

MLSS 浓度由约 4 g/L 上升到约 7 g/L,污泥可提供的厌氧环境增多,对总氮的去除效果也有较明显提高。至 109 d 时,由于 DO 不足影响了硝化作用,从而使总氮去除率下降。随着 MLSS 值的进一步上升,总氮去除效果开始转好,至 180 d 时虽然 MLSS 上升到 11.2 g/L,但氨氮去除率的下降影响了反硝化效果。

系统前期的除磷效果不太稳定,主要是因为 SRT 对总磷的去除影响很大,前期的 SRT 较长 (60 d),导致总磷去除率较低;当 SRT 缩短至 15 d 时,总磷去除率 > 60%。另外,循环周期越长则系统的除磷性能越稳定。试验后期 (161 d 后) 的 HRT 只有 4.5 h,不能充分满足聚磷菌释磷和吸磷的时间要求,故总磷去除率又有所下降。实际工程中可考虑增加化学除磷。

3.4 对浊度、色度和 SS 的去除

系统对浊度的去除率始终维持在很高的水平,出水浊度为 0.06 NTU,平均去除率达 99.7%。这主要是膜及其表面凝胶层筛分截留作用的结果。

系统对色度的去除较好,好氧 MBR 效果好^[3],去除率 > 90%;出水色度随 MLSS 的增加而有所升高,这可能与胞外多聚物 (ECP) 的增加有关。在实际工程中可考虑增加活性炭装置。

系统对悬浮颗粒及胶体去除效果好,对 SS 的去除率稳定在 100%,出水为零。

3.5 对细菌的去除

试验过程中,不定期测定进、出水的细菌总数,发现虽然系统对细菌的去除率 > 90%,但出水中仍含有较多细菌,而根据膜对细菌、病毒的去除机理^[1],超滤膜加上膜表面的凝胶层基本上能把细菌完全截留。经分析可能是出水管路过长、弯道过多,使得细菌在管壁上滋生,为此在接近出口处开一采样口,且每次采样前用次氯酸钠清洗采样口,清洗后至少等待 30 min 且出水自流 5 min 后开始采样。结果表明,出水细菌总数 < 20 CFU/mL,系统对细菌的去除率为 6 lg。

综上所述,为防止出水管路特别是长距离回用工程的二次污染,需向工艺出水中投加一定量的消毒剂。

3.6 对金属及其他污染物的去除

系统对金属和其他污染物的去除情况见表 4。

表 4 对金属及其他污染物的去除效果

Tab 4 Removal efficiency of metals and other pollutants												mg · L ⁻¹	
指标	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	总铬	Cr ⁶⁺	LAS	矿物油	氰化物	挥发酚	氟化物	
进水	1.38	19.7	0.427	0.057	0.0008	0.001	0.43	4.120	117	0.257	2.800	0.9473	
出水	0.04	0.2	0.033	0.016	0	0	0.34	0.358	6.7	0.073	0.055	0.8017	

从表 4 可以看出,系统对 Zn、Fe、Mn 等金属都有一定的去除效果,这主要是靠反应器中活性污泥的吸附作用,也有一部分通过和非金属离子结合形成沉淀而沉积在凝胶层中。系统对 LAS 等的去除是微生物降解的结果;检测上清液发现难降解有机物在反应器中有一定的累积;而对氟化物的去除主要是通过活性污泥的吸附作用,去除效果较差。

3.7 膜通量和膜过滤压差

系统运行过程中膜过滤压差与膜通量随时间的变化如图 4 所示。

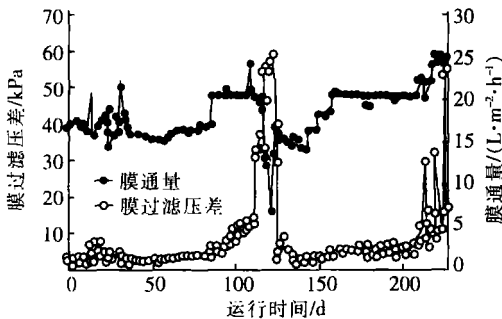


图 4 膜阻力和膜通量变化

Fig 4 Variation of membrane flux and resistance

由图 4 可以看出,当系统运行 90 d 后膜通量稳定在 20.63 L/(m² · h),膜阻力开始缓慢上升,但通过维护性清洗能使之稳定在 8 kPa 以下。当运行至第 101 天时膜阻力开始持续上升,经分析发现是由风机故障导致 DO 值下降所致(99 d 时 DO 由原来的 3.3 mg/L 降为 0.5 mg/L),DO 的不足影响了生物的正常代谢,致使混合液的可过滤性变差,造成膜污染加剧。第 123 天时膜阻力达到了极限值(60 kPa),故将膜通量逐步调低;至第 125 天时系统停止运行,进行恢复性清洗,再次启动后提高膜通量至 20.63 L/(m² · h),则膜过滤压差 <8 kPa;当提高膜通量到 22.35、25.44 L/(m² · h) 时压力上升很快,但增加维护性清洗频率后(清洗频率不高于操作手册的标准),压差仍能维持在 16 kPa 之下。

3.8 膜的清洗

首先排掉膜池中的污泥,然后采用清水浸泡并加大曝气量以增加水力扰动和擦洗力度,3 h 后排

出清洗水,重复上述操作两次后测膜通量,结果显示膜通量由清洗前的 10.94 L/(m² · h)恢复至 24.76 L/(m² · h),增加了 2.26 倍。然后采用 200 mg/L 的次氯酸钠浸泡,其在 10 kPa 下的通量增加至 32.47 L/(m² · h)。最后采用 2 g/L 的柠檬酸浸泡,结果膜通量达到了 34.53 L/(m² · h)。

可见经清水清洗后的膜通量恢复率最大,故推断膜污染加剧是由于泥饼层增厚压密所致。

4 结论

① 长期试验表明,系统运行稳定,出水水质优良,完全满足城市杂用水水质标准(GB/T 18920—2002)的要求。

② 当维持 MLSS 为 8~10 g/L、HRT 为 5~6 h 时,可获得较佳的生物脱氮除磷效果。

③ 由于系统的除磷效果受 SRT 和 HRT 影响较大,实际工程中应考虑增加化学除磷设施和活性炭过滤装置,同时还需采取消毒措施,使其至回用地点后仍能满足对微生物指标的要求。

④ 系统对 Zn、Fe、Mn 等金属均有良好的去除效果,对氟化物的去除效果则较差。

⑤ 通过清水、次氯酸钠和柠檬酸清洗后,膜通量由 10.94 L/(m² · h)恢复至 34.53 L/(m² · h);DO 不足导致的混合液可过滤性变差和泥饼层增厚压密,是膜污染加剧的主要原因。

参考文献:

[1] Stephenson T, Judd S, Jefferson B, et al. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment [M]. London: WA Publishing, 2001.

[2] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[3] 刘超翔,黄霞,文湘华,等. 一体式膜生物反应器处理毛染废水的中试研究 [J]. 给水排水, 2002, 28(2): 56-59.

电话: (010) 82320921
E-mail: shanght@cugh.edu.cn
收稿日期: 2005-11-09