

文章编号:1007-8924(2006)02-0060-04

A/O MBR 处理城市污水回用的中试研究

杨春¹, 杨琦¹, 刘若鹏¹, 甘一萍², 高金华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: 采用中试规模(36 m³/d)的缺氧-好氧膜生物反应器(A/O MBR)对城市污水处理回用进行了试验研究. 试验结果表明, 该工艺处理效果优良, 系统对 COD、氨氮、浊度、细菌的平均去除率分别为 94%, 98.3%, 99.6%, lg6, 出水浓度分别为 18 mg/L, 0.65 mg/L, 0.06 NTU, 4 个/mL. 出水水质优于城市杂用水水质标准(GB/T 18920-2002). 该系统具有较强的抗冲击负荷能力.

关键词: A/O MBR; 城市污水; 污水回用; 污泥特性

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A

膜生物反应器, 是将膜分离技术与废水生物处理技术组合而成的新工艺, 该工艺是以膜分离技术替代传统二级生物处理工艺中的二沉池, 具有处理效率高、出水水质稳定; 占地面积小; 剩余污泥量少, 处置费用低; 结构紧凑, 易于自动控制和运行管理; 出水可直接回用等特点^[1]. 在我国, 膜生物反应器作为污水再生回用的一项高新技术, 其开发与研究也正越来越深入. 虽然目前膜生物反应器在我国的实际应用还较少, 然而, 在水资源日益紧缺的情况下, 随着膜技术的发展、新型膜材料的开发以及膜材料成本的逐渐下降, 膜生物反应器将会有较好的应用前景^[2].

本试验利用 A/O 分置式膜生物反应器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, 并希望为该工艺的工程设计和实际运行提供参考.

1 试验装置与方法

1.1 试验装置和流程

本系统主要由缺氧槽、好氧曝气槽、膜组件、水力循环以及自控系统组成. 其工艺流程图见图 1. 污水由泵从初沉池提升至缺氧槽内, 停留一段时间后, 反应器中混合液溢流至好氧曝气槽. 经过一段时间

的反应, 混合液部分经回流泵回流至缺氧槽中进行反硝化(回流比为 2.5~4), 部分进入膜槽, 在抽吸泵的作用下经膜过滤后形成系统出水. 膜槽中混合液部分溢流回好氧槽, 回流比为 2.5~5. 膜出水为间歇方式, 时间控制器控制出水 12 min, 停 0.5 min. 采用穿孔曝气的方式对膜表面进行大气泡擦洗以减缓膜污染速度, 曝气量为 34 m³/h.

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

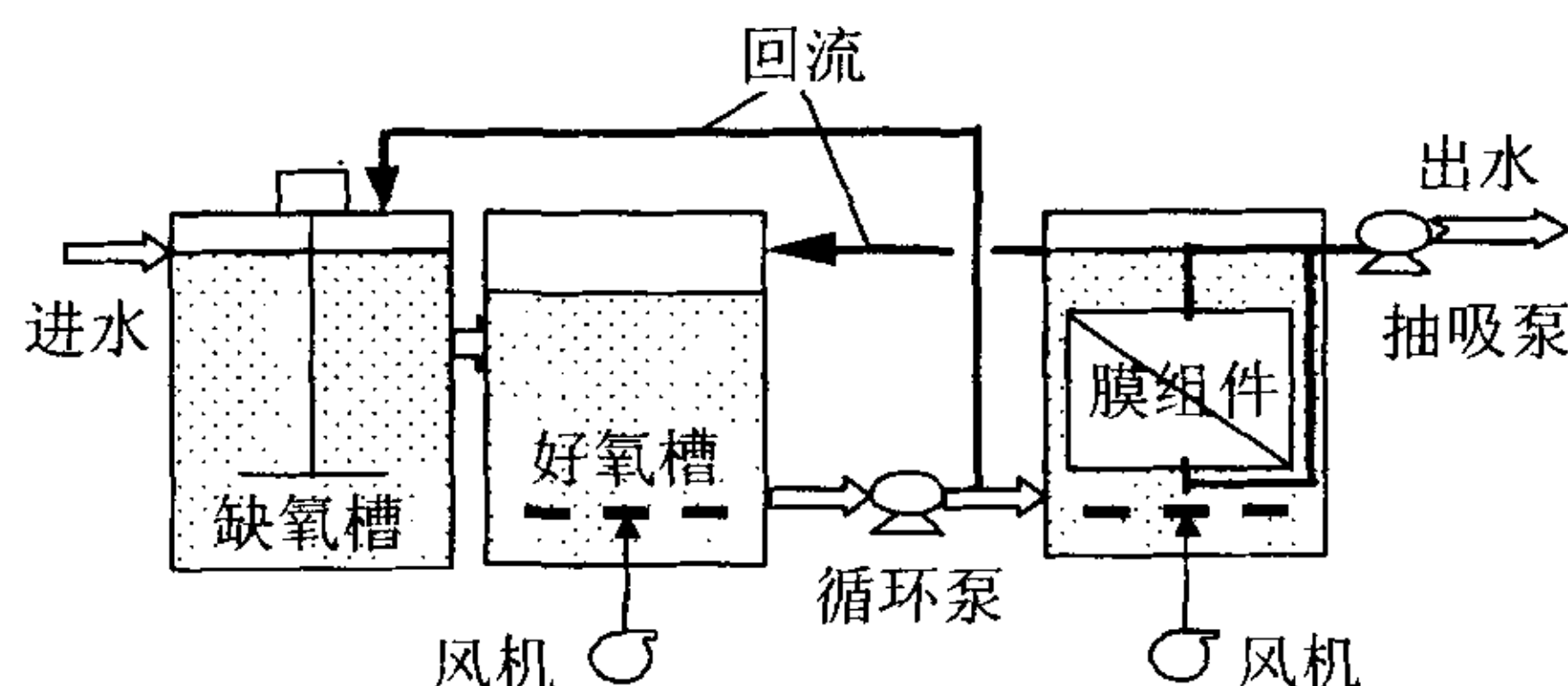


图 1 A/O 分置式 MBR 工艺流程图

Fig. 1 Experimental technical process of A/O MBR

1.2 试验用水及运行参数

本试验用水为典型的城市污水, 经过曝气沉砂池、初沉池和 2 次格栅预处理之后, 进入该系统, 其

收稿日期: 2004-07-13; 修改稿收到日期: 2004-11-25

基金项目: 北京城市排水集团膜生物反应器处理城市污水示范工程

作者简介: 杨春(1974-), 男, 吉林四平人, 硕士生, 从事生物降解和膜生物反应器研究(yangchuncky@126.com).

水质如表 1 所示. 好氧曝气槽的 HRT 为 2.5~4.5 h, 缺氧槽 HRT 为 1.5~2.5 h, MLSS 控制在 8~15 g/L.

表 1 实验用水水质
Table 1 Experimental water quality mg/L

项目	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	SS	pH
浓度	25.5~183.5	173.72~572.21	33.60~110.88	48~600	6.5~7.7
平均	104.5	362.96	72.24	324	7

1.3 分析方法

试验对常规进、出水水质指标进行了检测, 包

括: 水温、悬浮固体、pH 值、COD、BOD₅、DO、氨氮、总氮、总磷等. 均采用国家环保局《水和废水监测分析方法》中的标准方法进行监测^[3].

2 试验结果及回用标准

试验自 2003 年 11 月 21 日开始共进行了 220 天的动态试验, 除了在启动阶段发生一次因风机故障, 在运行后期进行一次恢复性清洗而重新启动外, 稳定运行期间 A/O 膜生物反应器的试验结果见表 2. 表 2 中给出的系统出水各指标为稳定运行期的平均值.

表 2 系统出水及回用标准

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

项 目	pH	色度 /度	浊度 /NTU	TDS /(g·L ⁻¹)	BOD ₅	氨氮	LAS	铁	锰	DO	余氯	大肠杆菌
								(mg·L ⁻¹)				/(个·L ⁻¹)
本系统出水	6.7~7.8	20	0.06	0.56	6.45	0.65	0.358	0.2	0.03	5.8	低于检出	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
市区景观河道用水标准	6.0~9.0	30	—	—	10	5	0.5	—	—	≥1.5	0.05	—

注: 杂用水标准中括号内的适合洗车、扫除用水要求; “—”表示此项无要求.

由表 2 可见, 系统处理效果理想, 所统计的出水指标远低于国家污水综合排放一级标准, 出水水质完全满足国家最新颁布的城市杂用水水质标准和市区观赏性景观河道用水水质标准 (GB/T 18920—2002).

3 分析及讨论

3.1 COD 的去除

试验期间水温为 13~27 ℃, DO 为 0.3~6.3 mg/L, 膜生物反应器对 COD 的去除效果见图 2. 自系统污泥驯化完成后, 整个系统对 COD 的去除效率一直很高, 去除率为 82.6%~98.4%, 平均达 94%, 出水 COD 小于 36 mg/L. 所统计的数据包括启动阶段, 和冬季近 3 个月的低温 (最低水温达 13 ℃) 运行阶段的数据. 尽管如此, 生物反应器处理率仍在 42.42%~82.76%, 平均为 65.13%; 活性污泥对 COD 的去除起重要作用, 主要是因为: MLSS 很高, 除启动阶段外 MLSS 维持在 8~15 g/L; SRT 较长, 为 15~60 d, 使难降解有机物降解菌得以增值和富集; 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. 膜分离对 COD 的去除作用随生物反应器性能的好坏而变化, 膜分离的截留作用弥补了

生物反应器处理性能的不稳定, 提高了反应器耐冲击负荷能力, 使总的 COD 去除效率保持在较高水平.

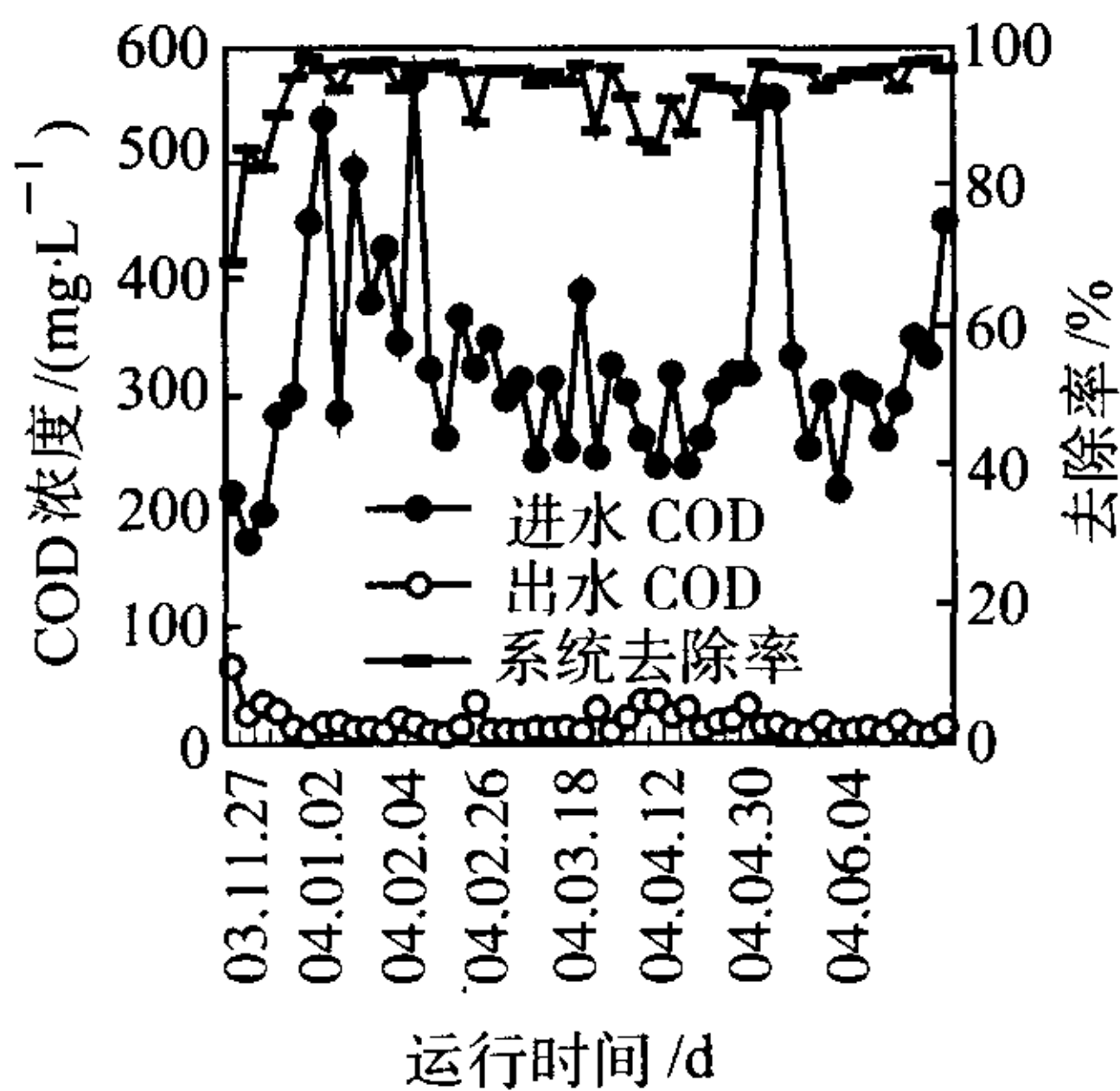


图 2 膜生物反应器对 COD 的去除效果
Fig. 2 Removal efficiency of COD

3.2 氮的去除

图 3 表示了本系统的进出水氨氮浓度的变化情况以及系统和生物反应器对氨氮的去除效果. 从图 3 可以看出: 1) 运行基本稳定后, 系统对氨氮的去除率为 92.77%~100%, 平均为 98.3%; 2) 氨氮的去除几乎完全靠生物反应器中微生物的作用, 膜对

氨氮的截留作用很小. 这是由于系统内的 MLSS 高、SRT 长使得世代周期长的硝化菌得以在曝气池内富集,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.

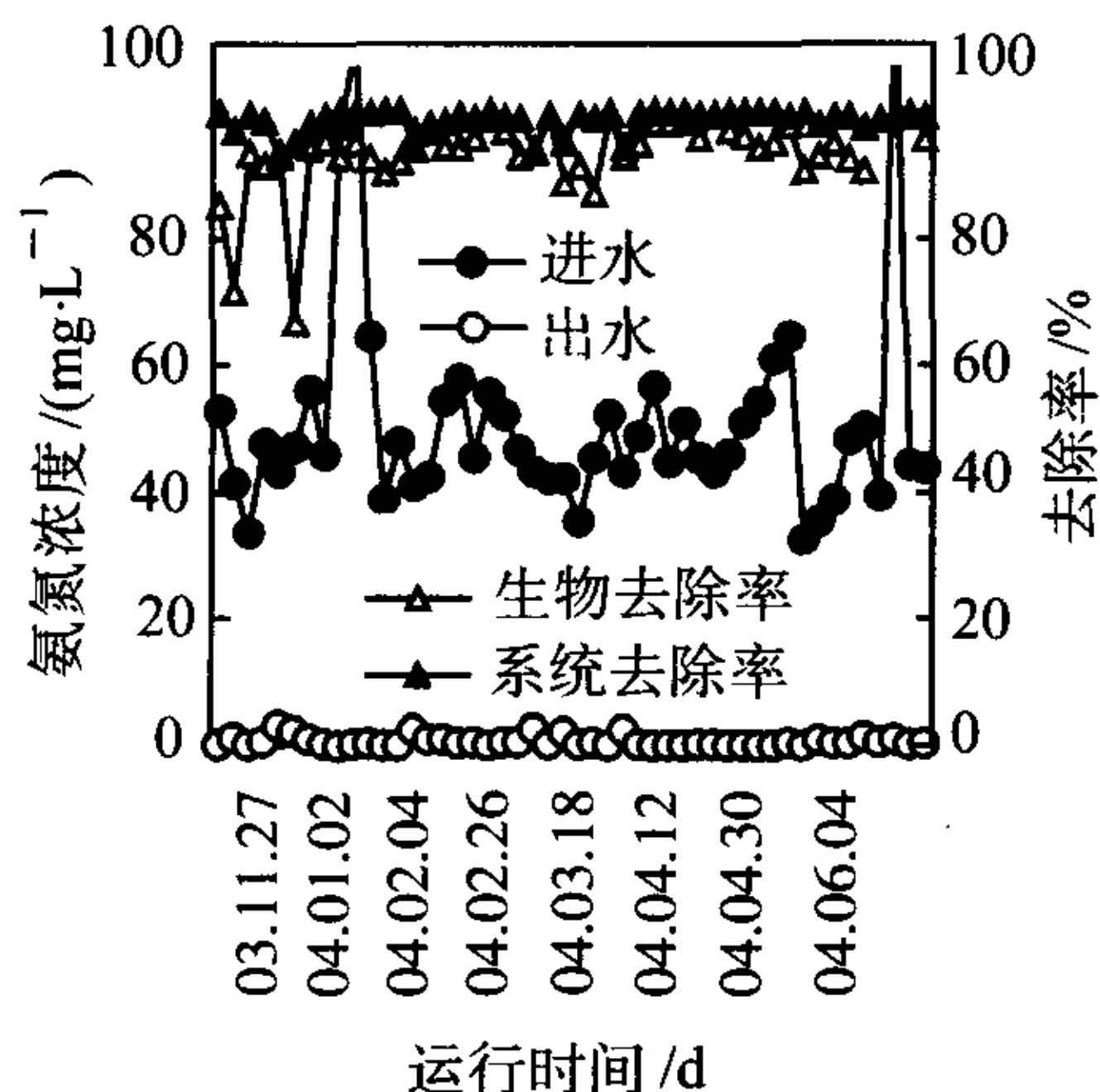


图 3 膜生物反应器对氨氮的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of $\text{NH}_3\text{-N}$

从表 3 可以看出,总氮去除率较高,这一方面是前置缺氧作用的结果,另一方面好氧槽内菌胶团内部存在的缺氧环境也起着不可忽视的作用. 随着 MLSS 浓度由约 4 000 mg/L 上升到约 7 000 mg/L 和 11 000 mg/L,污泥可提供的厌氧环境增多,总氮去除也有较明显提高.

表 3 系统对总氮总磷的去除

Table 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	36.6	28.4	43.9	70.0	68.0	61.4	81.4	65.2	56.1

3.3 总磷的去除

表 3 表明,系统能达到较好的除磷效果. SRT 对总磷的去除影响很大,前期 SRT 较长(60 d)总磷去除率较低,当 SRT 缩短至 15 d 时,总磷去除率一直大于 60%. 另外,循环周期越长,系统的除磷性能越稳定,试验后期(161 d 后)HRT 只有 4.5 h 不能充分满足聚磷菌释放和吸收磷的时间要求,这也是本系统除磷不稳定的原因之一.

3.4 浊度和色度

由图 4 可知,系统对浊度的去除始终维持在很高的水平,平均去除率达到 99.7%. 这主要是膜及其表面凝胶层筛分截留作用的结果. A/O MBR 对色度的去除较好,氧 MBR 效果好^[4],系统对色度的去除率达 90% 以上;出水色度随 MLSS 的增加而有

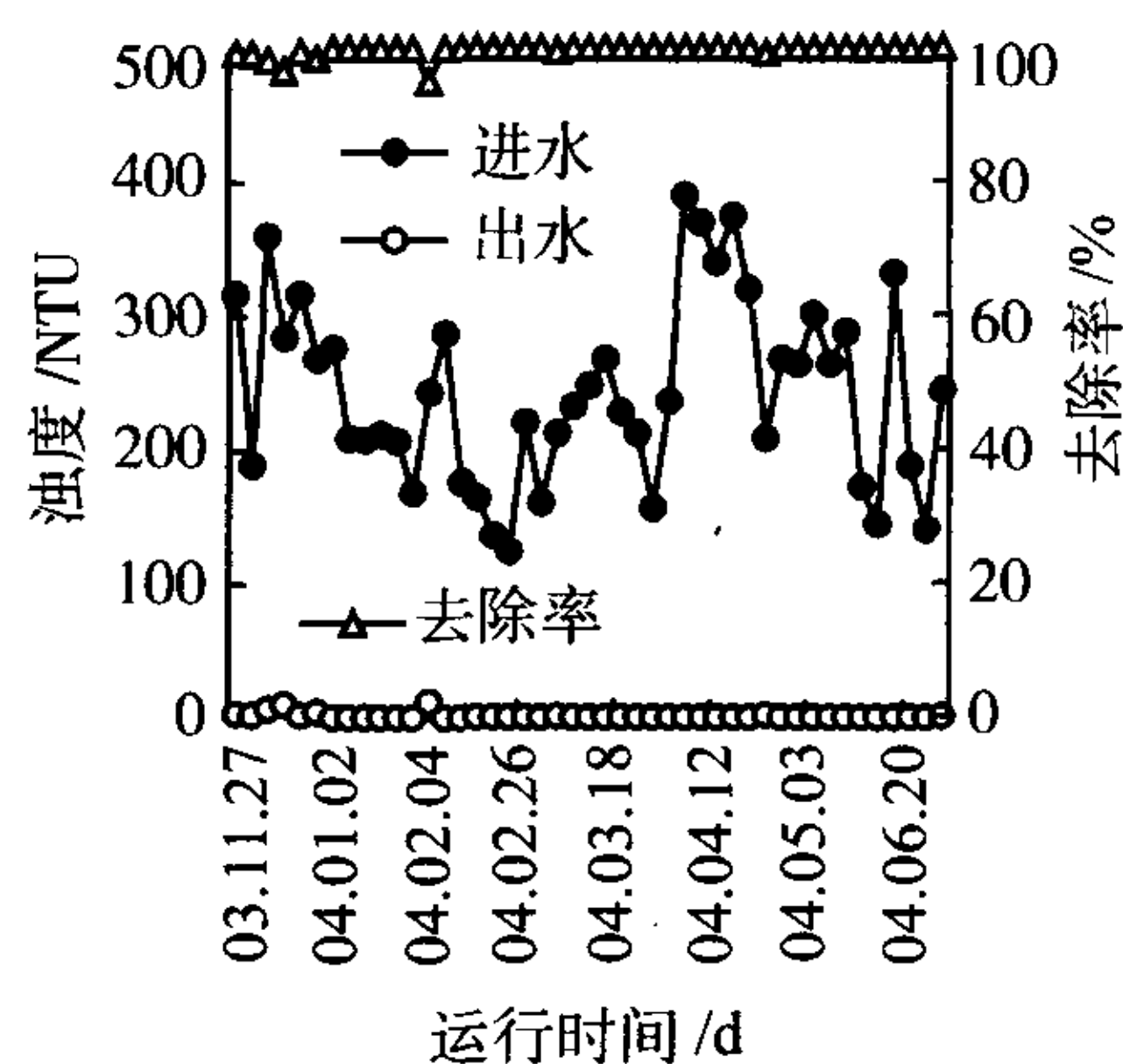


图 4 浊度的去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of turbidity

所升高,这可能与胞外多聚物(ECP)的增加有关^[5].

3.5 细菌的去除

试验过程中,不定期测试进出水的细菌总数,发现系统虽然对细菌去除率很高,达 90% 以上,但是出水中仍然有较高的细菌含量,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. 分析可能是出水管路过长、弯道过多而使细菌在管壁上滋生的结果,因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,结果出水细菌总数降至 0~20 个/mL.

3.6 污泥特性

3.6.1 COD 容积负荷和污泥负荷

试验过程中,膜生物反应器的容积负荷为 1.02~3.21 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,这说明膜生物反应器具有较强的抗冲击负荷能力;试验的初始阶段 MLSS 仅为 3.4 g/L,污泥负荷较高,为 0.9 $\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,稳定运行阶段降为 0.17~0.39 $\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$. 膜的高效截留作用使微生物全部截留在反应器中,维持较高的污泥浓度、容积负荷和较低的污泥负荷,进水负荷的波动对污染物的去除效果没有影响.

3.6.2 污泥的沉降性

试验过程中污泥的沉降性能一直较差,驯化完成后 SV 值随着 MLSS 的升高而增大,由 90% 增到 100%,平均为 99.2%;SVI 平均为 142.5 mL/g. 在传统的活性污泥工艺中,污泥沉降性能差将直接导致出水水质变差并影响生化系统的运行,而本工艺由于是通过膜来实现泥水分离而使系统运行不受污泥性状的影响,由此说明该系统的稳定性高.

3.6.3 污泥的过滤性

图 5 表示系统运行过程中膜过滤压差与膜通量

随时间的变化. 在膜通量保持恒定时, 膜过滤压差的变化反映了运行过程中污染物在膜面的积累, 即膜过滤阻力的变化情况. 本试验为减缓运行过程中膜污染与堵塞采用了膜通量分阶段由小到大的运行方式. 将膜通量控制在 $17.19 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 运行, 每周进行一次维护性清洗, 膜过滤压差一直保持在 8 kPa 以下. 系统从 2 月 19 日后, 膜通量稳定在 $20.63 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 下运行, 膜阻力开始缓慢上升, 但通过维护性清洗一直能稳定在 8 kPa 以下运行. 当系统运行至 3 月 1 日, 膜阻力开始持续上升, 分析原因发现, 由于风机故障 DO 由原来的 3.3 mg/L 降为 0.5 mg/L , 故 DO 不足影响了生物体的正常代谢, 导致混合液可过滤性变差, 是造成此次膜污染问题加剧的重要原因. 3 月 23 日, 膜阻力达到了 60 kPa 的极限, 故将膜通量逐步调低. 系统停止运行, 进行恢复性清洗, 再次启动后膜阻力一直维持在较低水平.

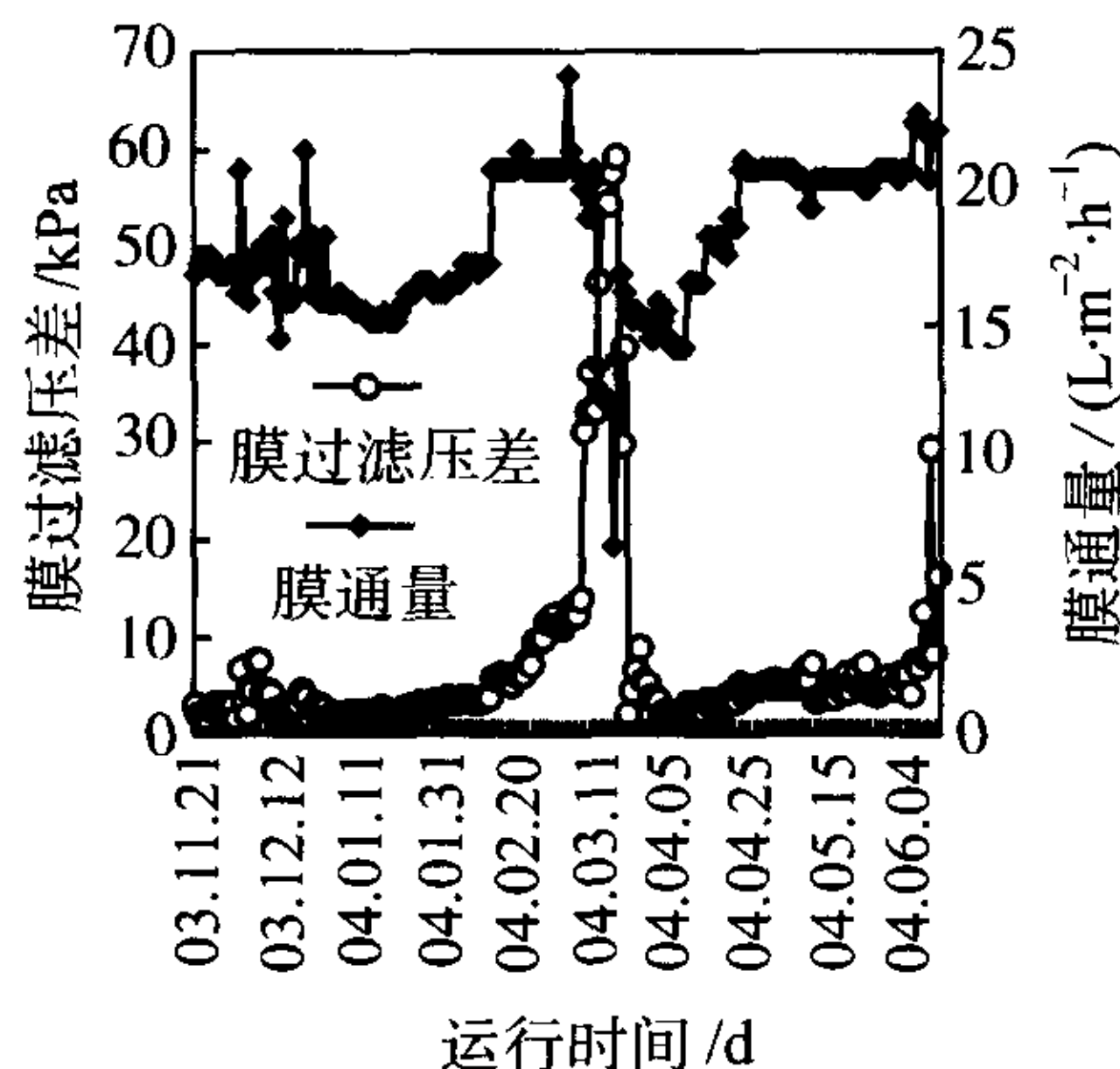


图5 膜阻力和膜通量变化

Fig. 5 Variation of membrane flux and pressure

4 结论

1) A/O MBR 处理城市污水, 220 天以上的连续试验表明, 无论进水水质如何变化, 均能得到优质而稳定的膜过滤出水, 所统计的出水指标达到了国家颁布的城市杂用水水质标准和市区景观河道用水水质标准(GB/T 18920—2002).

2) 系统稳定时期总 COD 去除率达 94% 以上, 其中, 膜分离截留部分去除达 28.87% 以上, 对维持稳定的系统出水起到了决定性作用.

3) 氨氮的去除率达 98% 以上, 较长的 SRT 和较高的 MLSS 保证了系统良好的硝化效果.

4) 该工艺具有良好的脱氮除磷效果和较强的抗冲击负荷能力.

5) DO 不足, 生物作用变差, 导致混合液可过滤性变差, 加剧了膜污染速度.

参 考 文 献

- [1] Stephenson T, Judd S, Jefferson B, *et al.* Membrane bioreactors for wastewater treatment [M]. London: IWA Publishing, 2001.
- [2] 何圣兵. 膜生物反应器在生活污水回用与污泥减量中的实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 2003. 11—15.
- [3] 国家环保总局编. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 49—706.
- [4] 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.
- [5] 刘锐. 一体式膜-生物反应器的微生物代谢特性及膜污染控制[D]. 北京: 清华大学环境工程系, 2000. 70—82.

The pilot studies of A/O membrane bioreactor for municipal wastewater treatment

YANG Chun¹, YANG Qi¹, LIU Ruopeng¹, GAN Yiping², GAO Jinhua²

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract: A pilot-scale ($36 \text{ m}^3/\text{d}$) anoxic/oxic membrane bioreactor (A/O MBR) was used for treating municipal wastewater. The results showed that the effluent was stable and excellent and the average removal of COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$, turbidity and bacterium was 94%, 98.28%, 99.6%, lg6 respectively. Each quota of the treated water met the quality standard of wastewater reuse (GB/T 18920—2002). The A/O MBR had a strong ability to load-ing shock.

Key words: A/O MBR; municipal wastewater; wastewater reuse; characteristics of sludge