

一体式膜生物反应器处理生活污水的中试研究

杨琦 尚海涛

(中国地质大学(北京)水资源与环境学院,北京 100083)

王洪臣 甘一萍

(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(1.8 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、总氮、总磷去除率较高,COD、氨氮出水浓度分别为7~39 mg/L、0~1.31 mg/L。出水水质优于城市杂用水水质标准(GB/T18920-2002)。

关键词 膜生物反应器 膜污染 生活污水 去除效果

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 1008-9241(2006)09-0134-05

Pilot study of A/O membrane bioreactor for municipal wastewater treatment

Yang Qi¹ Shang Haitao¹ Wang Hongchen² Gan Yiping²

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

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

Abstract Performance of a submerged hollow fiber membrane bio-reactor (MBR) for treatment of municipal wastewater was investigated. The removal rates for COD, NH₃-N, turbidity, TN, TP were 90%~97%, 90%~99%, 99.6%, 50%~80%, 30%~70% respectively. The concentrations of COD, NH₃-N in effluent were 7~39 mg/L and 0~1.31 mg/L. The results showed that very high quality effluent was obtained. The reclaimed water could be reused either directly or indirectly for municipal or industrial purposes.

Key words MBR; membrane fouling; municipal wastewater; removal efficiency

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,具有下列特点: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^[1-3]。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^[4,5]。本研究是针对北京市某污水处理厂的水源条件和处理水的水质及综合技术要求,对一体式A/O-膜生物反应器工艺的水质、水量、运行工艺参数及工艺的适应性和稳定性进行综合评价。

1 试验装置与方法

1.1 试验工艺流程与试验条件

本工艺主要由预处理、缺氧池、膜生物反应器、动力以及自控工艺组成。其工艺流程见图1。污水由潜水泵从初沉池提升至缺氧池内,停留一段时间后,反应器中混合液溢流至预处理池。随后,混合液被提升至膜生物反应器中,经过好氧微生物的作用去除有机物和氨氮后,在抽吸泵的作用下经膜过滤后形成工艺出水。

膜组件采用日本Kubota公司产品,膜面积98 m²,膜通量在4.08~18.2 L/m²·h,处理能力为

资助项目:北京市排水集团奥运中水回用资助项目

收稿日期:2005-12-22;修订日期:2006-05-23

作者简介:杨琦(1966~),男,副教授,主要从事水处理方面的研究工作。E-mail: yq@cugb.edu.cn

1~1.8 m³/d,膜孔径 0.1 μm,为外压式板式膜组件,膜材料为氯化聚乙烯。

膜出水为间歇方式,出水 8 min,停 2 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 48 m³/h,曝气强度为 135.2 m³空气/m²膜组件投影面积·h,风机运行 120 min,停 1 min。膜生物反应器回流至缺氧池的污泥回流比为 4,变动范围在 2~9 之间变动。

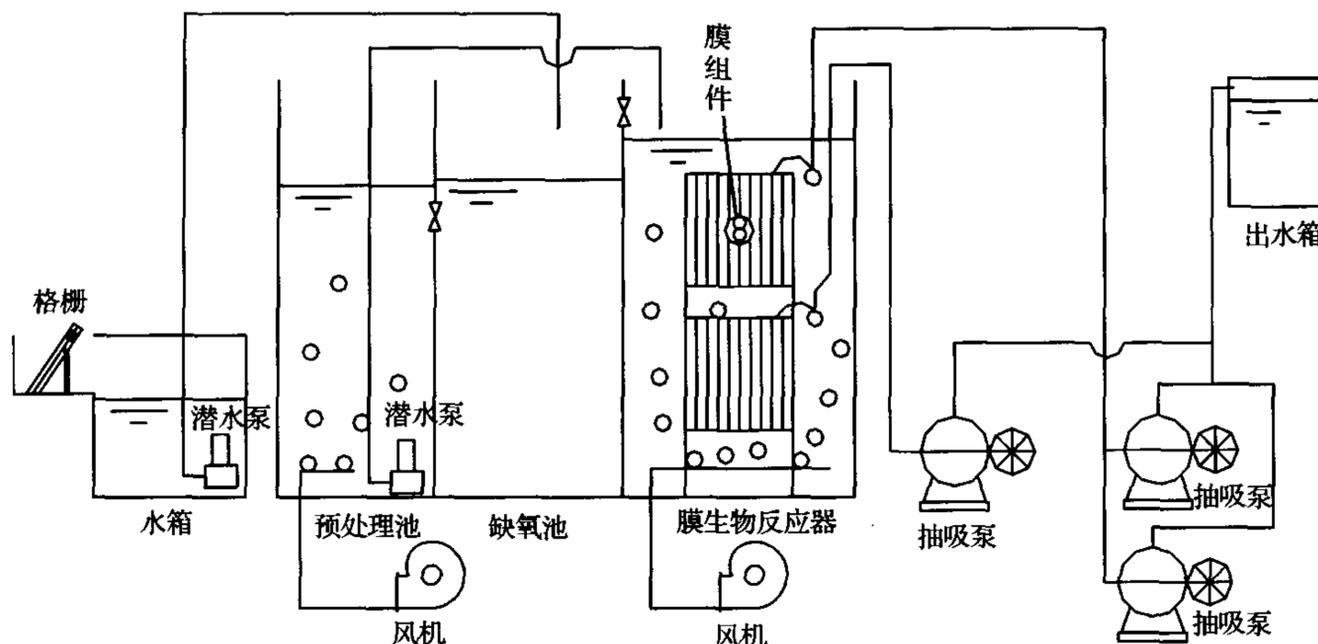


图 1 试验装置工艺流程图

Fig. 1 Process diagram of membrane bioreactor

整个试验过程中的进水均采用该水厂的一沉池出水,试验水质如表 1 所示。

表 1 试验原水水质

Table 1 Quality of feed wastewater

项目	浓度	平均
BOD ₅ (mg/L)	135~183.5	166
COD(mg/L)	173.72~572.21	320.46
NH ₃ -N(mg/L)	33.60~110.88	51.69
SS(mg/L)	48~600	324
Cl ⁻ (mg/L)	80.97~437.66	108.74
pH	7.0~7.56	
碱度(以 CaCO ₃ 计)(mg/L)	122.51~448.34	285.42
TN(mg/L)	40.47~113.62	67.52
TP(mg/L)	5.28~24.66	10.77
TDS(mg/L)	422~6566	1528
浊度(NUT)	124~1561	243.27

1.2 试验工况与方法

试验过程中膜生物反应器 HRT 为 5.5 h,在 2.8~12.8 h 之间波动,缺氧池 HRT 为 3 h,在 1.5~6.9 h 波动;SRT 为 180 d;膜活性污泥 MLSS 为 3.1~13 g/L;膜通量为 9.8 L/m²·h,在 4.08~18.04 L/m²·h 之间变动。

试验达到稳定后,每周取样 2 次,遇有运行参数改变增加 1 次;后期逐渐拉大取样周期,减小取样频率,取样周期 1 次为 7~15 d。

1.3 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。

1.4 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、总氮和总磷等。均采用标准方法进行监测^[6]。

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 d 的动态试验,除了在启动阶段发生 1 次因风机故障,在运行后期进行 1 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如表 2 所示。表中给出的系统出水各指标为稳定运行期的平均值。由表 2 可见,系统处理效果理想,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/T18920-2002)。

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)	BOD ₅ (mg/L)	氨氮 (mg/L)	LAS (mg/L)	铁 (mg/L)	锰 (mg/L)	DO (mg/L)	余氯 (mg/L)	大肠杆菌 (个/L)
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

3 试验效果分析

3.1 对 COD 的处理效果

从图2中可以看出,工艺对COD的去除率很高。由于反应器内MLSS很高(一般在5~13 g/L之间),膜活性污泥可以有效去除进水中的有机污染物,使整个工艺保持较高的COD去除率;当MLSS < 6 g/L,工艺对COD的去除率较低,在90%以下;之后随着微生物的增值和驯化,工艺对COD的去除率逐步增加,稳定时都超过90%;本试验出水COD在7~39 mg/L之间波动,平均值为20.8 mg/L。

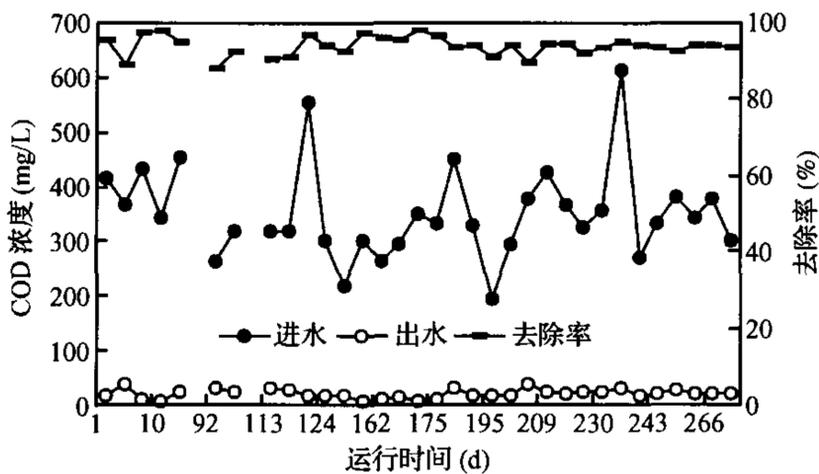


图2 工艺对城市污水中COD的去除效果
Fig. 2 Removal efficiency of COD

3.2 对氨氮的处理效果

从图3可以看出,一般情况下,由于亚硝化细菌和硝化细菌世代时间较长,接种初期氨氮去除效果不是很好。但本试验中,工艺对其去除效果一直都很好,这是因为开始时接种污泥较多,含有的硝化细菌数量多,且监测时已经对污泥驯化了1周的缘故。氨氮的去除率可达95%以上,平均为98.96%。出水氨氮则在0~1.31 mg/L之间波动,一般都低于1 mg/L,平均为0.48 mg/L。

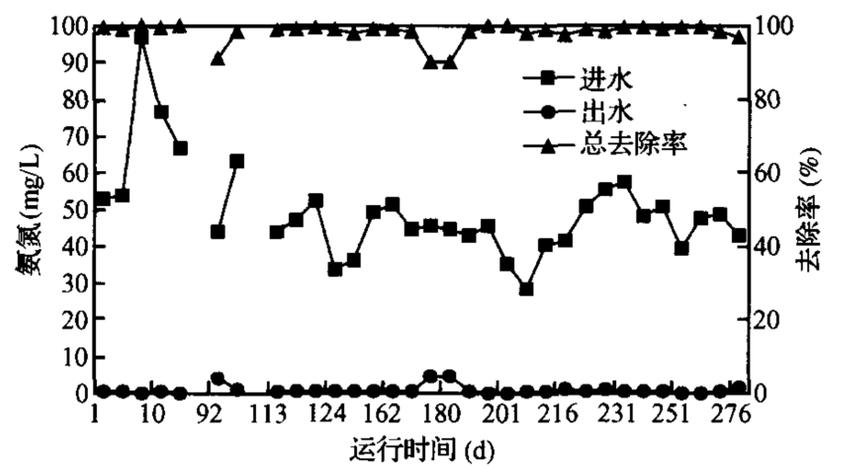


图3 工艺对城市污水中氨氮的去除效果
Fig. 3 Removal efficiency of NH₃-N

3.3 对 TN 的处理效果

从图4中可以看出:(1)在启动阶段,由于MLSS浓度较低,提供的缺氧环境较少,缺氧池内活性细菌较少,TN的去除效果不好,波动较大。(2)120 d之后,随着MLSS浓度由约4000 mg/L上升到约6000~10000 mg/L,缺氧池细菌逐步积累,污泥可提供的缺氧环境增多,再加上工艺的污泥龄较长,使得TN的去除率开始呈现稳定状态,去除率

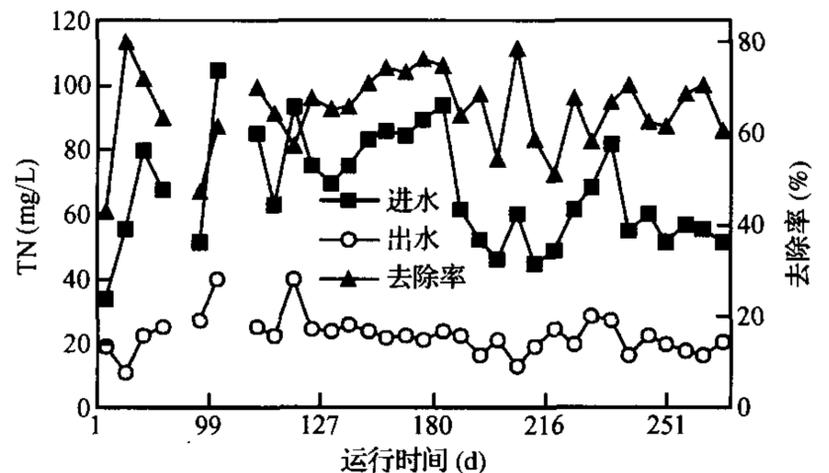


图4 工艺对城市污水中总氮的去除效果
Fig. 4 Removal efficiency of TN

也有较明显提高,出水 TN 逐渐降低,稳定在 20 mg/L 左右。(3)第 195 d,装置发生故障,活性污泥流失,MLSS 降至 6000 mg/L 以下,工艺对 TN 的去除率逐渐降低,且处理效果不稳定。至 237 d 后出水 TN 又趋于稳定。

3.4 对 TP 的处理效果

从图 5 可以看出,由于生物法除磷主要通过聚磷菌从外部过量摄取磷,并将其以聚合态储藏在体内,形成高磷污泥,排出工艺,从而达到除磷效果。由于本次试验污泥龄设置较长(180 d),除了 1 次事故和 2 次重新启动外,没有排泥,因此除磷的效果受到了一定程度的影响,工艺对 TP 的去除率在 30% ~ 80% 之间波动。

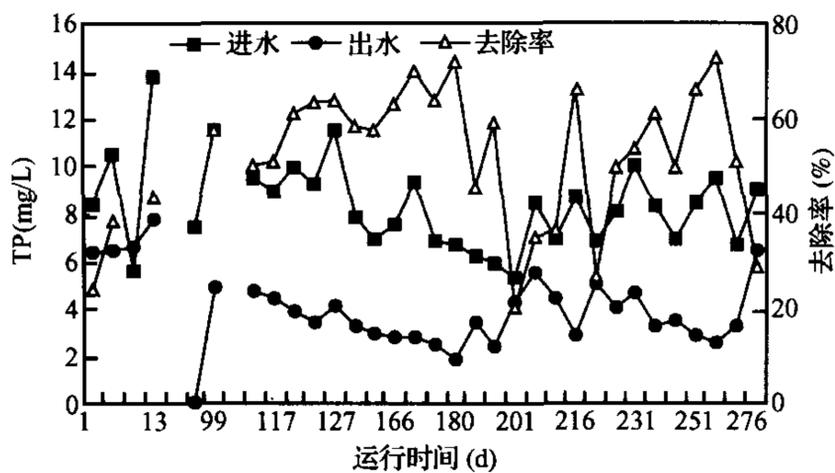


图 5 工艺对城市污水中总磷的去除效果
Fig. 5 Removal efficiency of TP

3.5 对浊度的去除效果

从图 6 可以看出,本工艺对浊度有良好的去除效果,尽管进水浊度波动较大,在 114 ~ 618 NTU 的范围之内,但由于膜对其高效的截留作用,使得出水浊度几乎接近于零,在整个运行阶段去除率一直很稳定,保持在 98% 以上,平均去除率达到 99.87%,稳定期间平均出水浊度为 0.2 NTU。

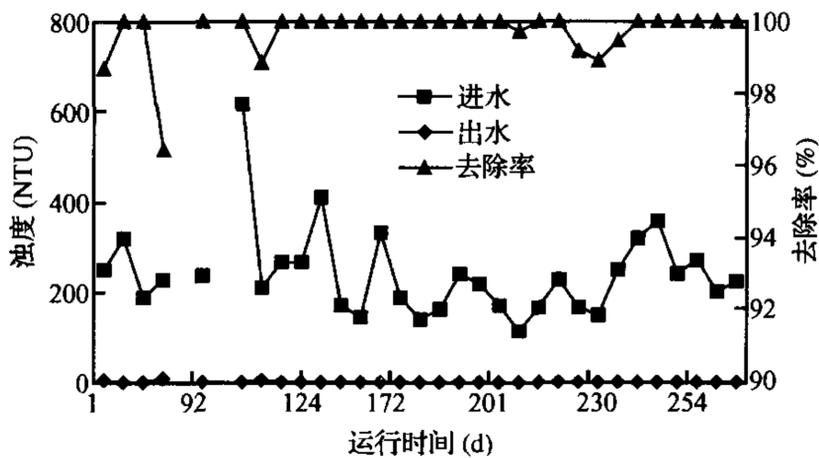


图 6 膜活性污泥对城市污水中浊度的去除效果
Fig. 6 Removal efficiency of turbidity

3.6 试验过程中进出水中 TDS 的变化

试验期间,工艺运行稳定,TDS 去除率在 6.7% ~ 40% 之间,平均去除率为 28%;出水 TDS 波动较小,为 330 ~ 750 mg/L,表明该工艺运行较稳定。

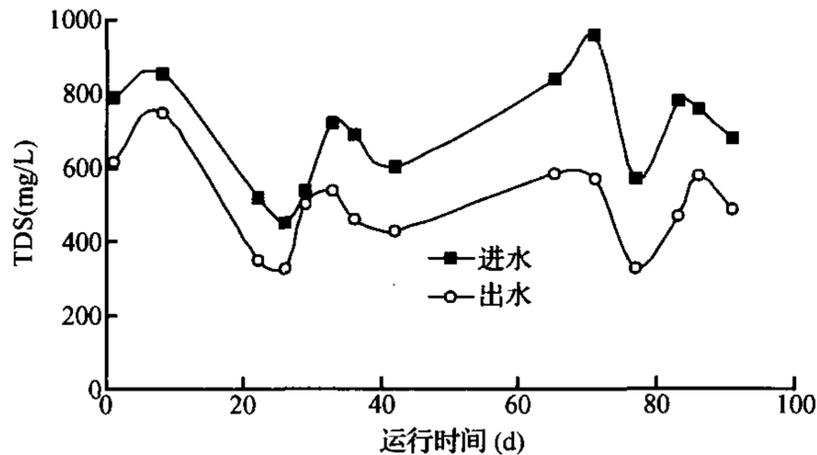


图 7 进出水 TDS 的变化情况
Fig. 7 Removal efficiency of TDS

4 膜的污染与清洗

膜在运行过程中的污染情况可以通过膜过滤压差的变化来表示。本工艺在试验过程中,膜通量一直保持在 9.18 ~ 18.4 L/m² · h,膜过滤压差随时间的变化情况如图 8 和图 9 所示。

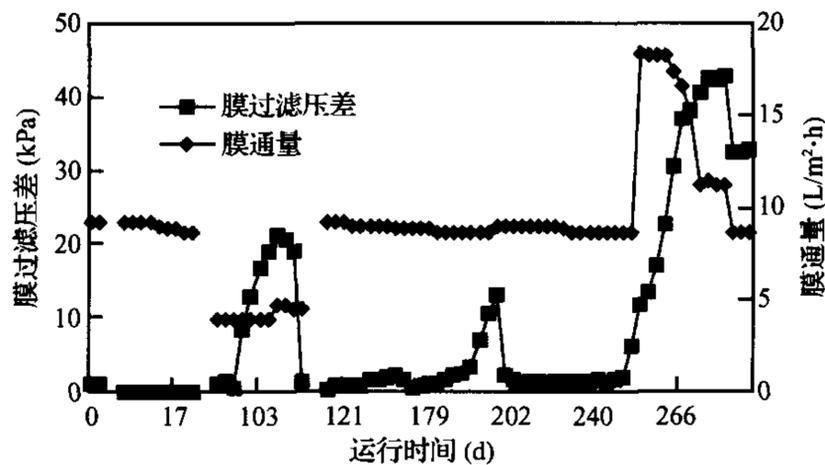


图 8 下段膜阻力和膜通量随时间的长期变化
Fig. 8 Variation of membrane flux and pressure

从图 8 中看出,装置运行的前 90 d 左右,膜阻力一般在 0 ~ 5 kPa 范围内波动,变化较小。运行到 97 d,装置重新启动,污泥浓度过低,混合液过滤性质较差,导致膜阻力迅速上升。经过化学清洗后,装置于 117 d 时重新启动,至 193 d 时,膜过滤压差一直在较低范围内波动,从 195 d 开始,膜阻力上升较快,至 199 d 时达到 13 kPa。经过次氯酸钠的清洗后,膜阻力降到 3 kPa 以下,并且一直保持到第 250 d 左右。随后膜通量由 9.18 L/m² · h 提高到 18.2 L/m² · h,膜阻力随之迅速上升,膜通量迅速下降,20 d 后膜通

量下降了近一半,将至 $9.8 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

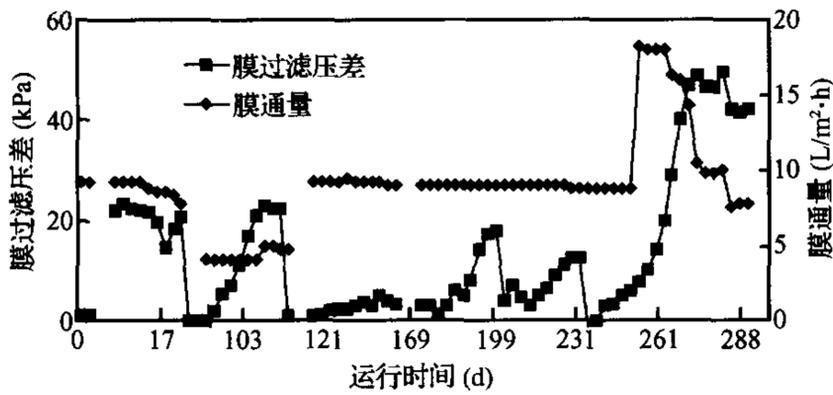


图9 上段膜阻力和膜通量随时间的长期变化

Fig.9 Variation of membrane flux and pressure

由图9可以看出,上段膜组件的膜阻力和下段膜组件的膜阻力的上升趋势除了前期有较大的差别外,基本相似。装置运行至第13 d时,发现膜和抽吸管的连接管脱落,污泥进入膜内,从而使膜阻力迅速上升,事故排除后,膜阻力一直 $> 5 \text{ kPa}$,推测膜内还残留一部分污泥。

5 结论

在整个试验过程中,本工艺处理效率高,工艺出水水质稳定,出水COD、氨氮、浊度、细菌等都很低,出水水质已达到或优于城市生活杂用水水质标准(GB-T18920-2002),可直接回用:

(1) 经工艺去除后,出水COD的浓度绝大部分 $< 30 \text{ mg/L}$,工艺出水COD的平均值为 20.8 mg/L ;如果排除启动阶段的数据,工艺稳定时期COD平均去除率为94%,出水COD平均为 16.9 mg/L 。

(2) 工艺对氨氮的去除率可达到95%以上,平均98.96%;出水氨氮浓度大部分低于 1 mg/L ,平均为 0.48 mg/L 。

(3) 在运行过程中,工艺对TN的去除的效果一般,TN的去除率可保持在50%~80%之间,稳定期间工艺对TN的平均去除率为66.9%,出水TN在 $11.24 \sim 40.92 \text{ mg/L}$ 之间波动,出水TN平均为 21.84 mg/L 。

(4) 工艺对TP的去除率可达到16.03%~99.32%,平均为54.85%,不稳定。

(5) 工艺对浊度的去除效果一直处于最佳状态,出水浊度几乎接近于零,去除率一直可保持在98%以上,平均达99.87%,出水浊度为 0.2 NTU 。

(6) 工艺对TDS有一定的去除效果,平均去除率为28.04%,出水TDS平均为 500 mg/L 。

参考文献

- [1] Stephenson T., Judd S., Jefferson B., et al. Membrane bioreactors for wastewater treatment. 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. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院博士学位论文, 2003
- [3] 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. 清华大学环境工程系博士学位论文, 2000
- [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. 给水排水, 2002, 28(2): 56~59
- [5] 杨琦, 文湘华, 钱易, 等. 分置式膜生物反应器处理染料废水研究. 给水排水, 2004, 30(10): 55~59
- [6] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法(第4版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002