

节水与回用

# 膜生物反应器处理生活污水及中水回用

荆肇乾<sup>1</sup>, 吕锡武<sup>1</sup>, 赵硕伟<sup>2</sup>

(1. 东南大学 环境科学与工程系, 江苏 南京 210096; 2 镇江生态环境咨询中心, 江苏 镇江 212001)

**摘要:** 针对生活污水的特点,在小试基础上建成了膜生物反应器中水回用示范工程 (24 m<sup>3</sup>/d)。运行结果表明,出水浊度、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、动植物油平均浓度分别为 1.8 NTU、8.7 mg/L、1.69 mg/L、0.58 mg/L,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/T 18920—2002)标准。膜及膜面凝胶层对稳定系统出水水质起到了决定性作用。

**关键词:** 生活污水; 膜生物反应器; 中水回用

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)18-0077-03

## Domestic Sewage Treatment and Reuse Using Membrane Bioreactor

JING Zhao-qian<sup>1</sup>, LYU Xi-wu<sup>1</sup>, ZHAO Shuo-wei<sup>2</sup>

(1. Dept. of Environmental Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Zhenjiang Ecological and Environmental Consultation Center, Zhenjiang 212001, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of domestic sewage and pilot-scale experimental operation, a demonstration project of membrane bioreactor (MBR) for domestic sewage treatment and reuse was established (24 m<sup>3</sup>/d). Operation results show that the average concentration of turbidity, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N and oil in the effluent are 1.8 NTU, 8.7 mg/L, 1.69 mg/L, and 0.58 mg/L, respectively. The effluent is colorless or odorless. The parameters of the effluent are better than the *Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Urban Miscellaneous Water Consumption* (GB/T 18920 - 2002). Membrane and gel layer on the membrane surface are critical to the stabilization of effluent quality.

**Key words:** domestic sewage; membrane bioreactor (MBR); wastewater reuse

### 1 示范工程概况

在实验室小试研究基础上,建成了设计流量为 24 m<sup>3</sup>/d 的中水回用示范工程——中国冶金设备南京有限公司污水处理和中水回用工程,处理出水可用作厂区内冲厕、洗车和绿化景观用水。

污水处理及回用工艺流程见图 1。

污水首先经格栅去除较大的漂浮物及悬浮物后进入调节池(池内设置组合填料),调节池设计考虑较长的水力停留时间(充分考虑污水水量变化较大的特点),污水水质、水量在此均和后经污水提升泵(液位

控制、自动启闭、1用1备、自动切换)提升进入膜生物反应器(MBR),大部分污染物在此得到降解<sup>[1,2]</sup>,最后经自吸泵间歇抽吸(抽吸 12 min,停止 3 min)出水,出水经过紫外灯杀菌器消毒后进入清水池。

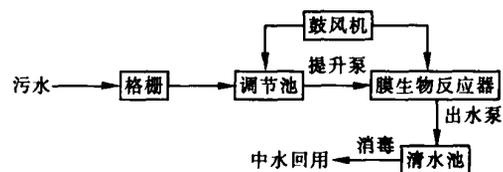


图 1 工艺流程

Fig 1 Schematic diagram of demonstration project

## 2 主要设计参数

### 2.1 水质、水量

设计水质参考典型生活污水设计,经处理后出水水质要求达到《城市污水再生利用——城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002),如表 1 所示。

表 1 污水水质和出水标准

Tab 1 Wastewater quality and effluent standard

项目	进水	城市杂用水水质标准	
		公厕、道路清扫	城市绿化
浊度 /NTU	150	5	10
BOD <sub>5</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	120	10	20
NH <sub>3</sub> - N / (mg · L <sup>-1</sup> )	35	10	20
pH	6~9	6~9	6~9

### 2.2 MBR 主要设计参数

#### 水力停留时间 (HRT)

HRT 直接关系到反应器的容积和所需膜面积,进而影响到处理设施投资,故在保证出水水质的前提下,确定最短的 HRT 具有重要的实际意义。采用 MBR 处理生活污水, HRT 为 2~3 h 即可取得良好的去除效果,考虑到水质和水量变化对微生物活性的影响, HRT 设计范围一般取 3~6 h。

#### 污泥浓度

污泥浓度最佳值的确定应综合考虑 MBR 的处理效果和运行能耗。试验结果表明, MBR 中的污泥浓度宜控制在 5~10 g/L, 此时 MBR 系统既能取得较好的处理效果又能维持较低的运行能耗。

#### 曝气强度

在一体式 MBR 中曝气,除维持好氧微生物生命活动所需溶解氧外,还能形成上升气流加大混合液的紊动以达到强制脱膜、控制膜污染的目的。因此,曝气强度的确定需从生物需氧量和控制膜污染两方面综合考虑,建议 MBR 处理生活污水时气水比采用 (25:1)~(30:1)。

### 2.3 主要构筑物、设备及工艺参数

调节池有效容积为 6 m<sup>3</sup>, HRT 为 6 h; 生物处理池有效容积为 6 m<sup>3</sup>, HRT 为 6 h; 清水池有效容积为 6 m<sup>3</sup>, HRT 为 6 h; 提升泵为 2 台 WQ8-10-0.55 型潜污泵, 1 用 1 备; 自吸泵: 2 台 Delta505 型, 1 用 1 备; 鼓风机: 2 台 TSA32 系列三叶罗茨风机, 1 用 1 备; 膜组件: 采用聚丙烯中空纤维微孔膜, 膜内径为 320~350 μm, 膜壁厚为 40~50 μm, 膜孔径为 0.1~0.2 μm, 膜总表面积约为 192 m<sup>2</sup>。

## 3 运行结果与讨论

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 2 所示。

表 2 监测结果

Tab 2 Determination results

监测项目	BOD <sub>5</sub>	氨氮	动植物油
进水 / (mg · L <sup>-1</sup> )	99	11.90	2.30
出水 / (mg · L <sup>-1</sup> )	8.7	1.69	0.58
去除率 / %	91.2	85.8	74.8

注: 进、出水 pH 值均为 6.9~7.0; 进水浊度为 126 NTU, 出水浊度为 1.8 NTU, 去除率为 98.6%。

由表 2 可见, MBR 工艺处理生活污水, 其出水浊度、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub> - N、动植物油、pH 及嗅觉等指标均优于《城市污水再生利用——城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)。因此, 从对浊度、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub> - N 去除效果等方面考虑, MBR 可直接用于城市污水的处理与回用。

### 3.1 对浊度的去除

由膜分离工艺特点可知, 物理拦截和筛滤作用是去除浊度的主要机理<sup>[3]</sup>。MBR 对浊度的去除主要靠膜孔及膜面形成的生物膜沉积层协同截留作用, 共同提高对浊度的去除率。

### 3.2 对有机物的去除

MBR 对有机物的去除效果主要来自两方面<sup>[4]</sup>: 一方面为生物反应器对有机物的降解; 另一方面为膜将大分子物质及浊度物质截留于反应器内, 获得比传统活性污泥法更多与微生物接触的时间和机会, 同时膜的截留有助于某些专性微生物的培养、提高有机物去除率。此外, 膜表面凝胶层截留小分子物质对进一步提高反应器去除率有着不可替代的作用<sup>[5]</sup>。

### 3.3 对 NH<sub>3</sub> - N 的去除

MBR 对 NH<sub>3</sub> - N 的去除主要基于: 膜的截留作用使反应器内保持很高的污泥浓度 (示范工程污泥浓度达到 5.2 g/L), 从而降低了 F/M 值 [通常 F/M < 0.15 kgCOD / (kgVSS · d), 而普通活性污泥法中 F/M 为 0.1~0.4 kgCOD / (kgVSS · d)], 减弱了异养菌对溶解氧的竞争, 有利于自养硝化的进行;

由于气流的剪切作用, MBR 内微生物絮体较活性污泥法细碎, 从而有利于氧的传递, 提高了硝化速率; 膜对微生物的截留作用, 使世代周期较长的硝化菌、亚硝化菌得以在系统内富集、增殖, 硝化作用

大为提高。

#### 4 技术经济分析

##### 4.1 总投资及运行费用

总投资包括处理构筑物及附属设备、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。该工程处理水量小,单位处理水量造价相对较高,MBR 系统构筑物及设备总投资约为 6.2 万元。

MBR 工艺处理城市污水并回用的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。工程运行结果表明,实际运行费用约为 1.28 元/m<sup>3</sup>。

##### 4.2 投资回收期

目前南京工业用水价格为 2.60 元/m<sup>3</sup>,若 MBR 处理出水回用率为 80%,则中国冶金设备南京有限公司可节约自来水 7 008 m<sup>3</sup>/a,节约的水费为 0.925 万元/a,设备投资为 6.2 万元,设备投资回收期为 6.7 a。

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。尤其近年来随着膜组件的大规模生产、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投资,使 MBR 工艺更具有竞争力。

#### 5 结论

MBR 处理生活污水及中水回用示范工程运行结果表明,系统出水浊度、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、动植物油平均浓度分别为 1.8 NTU、8.7 mg/L、1.69 mg/L、0.58 mg/L,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/T

18920—2002)标准。

膜及膜面凝胶层在高效截留悬浮物及微生物的同时,也截留了大量被污泥吸附的有机物,从而对稳定系统的出水水质起到了决定性作用。

技术经济分析表明,MBR 用于处理生活污水并实现回用,其所带来的节水效益和经济效益较为可观。

#### 参考文献:

- [1] Jefferson B, Laine A L, Judd S J. Membrane bioreactor and their role in wastewater reuse [J]. Water Sci Technol, 2000, 41 (1): 197 - 204.
- [2] Gander M A, Jefferson B, Judd S J. Membrane bioreactors for use in small wastewater treatment plants: membrane materials and effluent quality [J]. Water Sci Technol, 2000, 41 (1): 205 - 211.
- [3] Chang J S, Tsai L J, Vigneswaran S. Experimental investigation of the effect of particle distribution of suspended particles on micro-filtration [J]. Water Sci Technol, 1996, 34 (9): 133 - 140.
- [4] 顾国维,何义亮.膜生物反应器在污水处理中的研究和应用 [M].北京:化学工业出版社,2002.
- [5] Ognier S, Wisniewski C, Grasmick A. Influence of macromolecule adsorption during filtration of a membrane bioreactor mixed liquor suspension [J]. J Membr Sci, 2002, 209 (1): 27 - 37.

电话: (025) 83792614

E-mail: carljing@163.com

收稿日期: 2006 - 05 - 09

#### · 工程信息 ·

### 吉林市供水管网改造工程

工程内容:管网改造 370.1 km,监测系统、施工措施、地下障碍物处理及道路复原等附属工程,改造 50 年以上的老管网 200 km,铺设 DN1 200 管线 1.8 km, DN1 000 管线 6 km, DN800 管线 11.2 km, DN600 管线 66.2 km, DN500 管线 37.6 km, DN400 管线 9.4 km, DN300 管线 10.68 km, DN200 管线 14.022 km, DN150 管线 19.068 km, DN100 管线 24.645 km;改造 1950 年—1970 年初的管线 159.6 km,其中 DN300 管线 24.92 km, DN200 管线 32.718 km, DN150 管线 44.45 km, DN100 管线 57.505 km;新建 DN800 管线 9.5 km;本工程过河两处,其中 DN600 一处, DN500 一处,每处长为 700 m,共 1.4 km。穿越铁路 10 处, DN600 五处, DN500 五处,每处长 60 m,共 600 m;投资总额:5 646 万美元;建设周期:2006 年—2009 年;项目单位:吉林市自来水公司。

(沈阳市规划设计研究院 武云甫 任晓燕)