

文章编号:1009-038X(2005)01-0029-05

## 采用 EGSB-MBR 组合系统处理生活污水

杨云军<sup>1</sup>, 马莉<sup>1,2</sup>, 李秀芬<sup>1</sup>, 华兆哲<sup>1</sup>, 陈坚<sup>1\*</sup>, 张国平<sup>2</sup>, 王洪春<sup>2</sup>

(1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江南大学 生物工程学院, 江苏无锡 214036; 2. 江苏省环境工程技术研究中心, 江苏 宜兴 214205)

**摘要:** 采用有效容积为 150 L 的膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器和 400 L 的一体式膜生物反应器(MBR)新型组合系统处理生活污水, 首先通过模拟废水实验确定反应器的水力停留时间(HRT), 在此基础上进行组合系统处理生活污水的中试研究, 考察 EGSB-MBR 组合系统处理生活污水的技术可行性。结果表明, 在温度 30 ℃、EGSB 水力停留时间为 0.8 h、混合液悬浮固体量(MLSS)在 28.5 g/L, MBR 的 HRT 为 2 h、MLSS 为 10 g/L、DO 为 2 mg/L 时, 系统运行稳定, COD 和 NH<sub>3</sub>-N 去除率分别为 95% 以上和 90% 以上, 色度去除率大于 90%, 悬浮固体(SS)和浊度几乎可以完全去除, 出水水质优于城市污水再生利用——城市杂用水水质标准, 同时组合系统污泥产量低, 可大大减少污泥处理处置费用, 是一项高效、节能的新型城市污水资源化技术。

**关键词:** EGSB 反应器; 膜生物反应器; 生活污水

**中图分类号:** X 703.1

**文献标识码:** A

## Study on Domestic Wastewater Treatment by EGSB-MBR Combined System

YANG Yun-jun<sup>1</sup>, MA Li<sup>1,2</sup>, LI Xiu-fen<sup>1</sup>, HUA Zhao-zhe<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>1\*</sup>,  
ZHANG Guo-ping<sup>2</sup>, WANG Hong-chun<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, School of Biotechnology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China; 2. Jiangsu Environmental Engineering & Technical Research Center, Yixing 214205, China)

**Abstract:** A new type of combined system, with a working volume 150 L of expanded granular sludge bed (EGSB) reactor and 400 L of submerged membrane bioreactor (MBR), was used to treat domestic wastewater. The HRT of two reactors was firstly determined by treating simulant wastewater. The pilot-scaled study on the domestic wastewater treatment with EGSB-MBR combined system was then carried out to validate the feasibility of the new technology. The results showed that the total removal rates of COD and NH<sub>3</sub>-N surpassed to 95 % and 90 % respectively under the following conditions: the temperature of 30 ℃, HRT of 0.75 h, MLSS of 28.5 g/L in EGSB, HRT of 2 h, MLSS of 10 g/L and DO of 2 mg/L in MBR. The removal rate of chroma exceeded 90%. SS and turbidity were almost completely removed in EGSB-MBR system. The effluent was of excellent quality and reached the national standard for urban recycling water. The sludge production rate in the combined system was very low, so the sludge

收稿日期:2004-03-25; 修回日期:2004-05-25.

基金项目:科技部国际科技合作重点计划项目(编号:2002DF000006)和江苏省环境工程技术研究中心项目(JSERC0205)资助课题.

作者简介:杨云军(1972-),男,山东莒南人,助理工程师,工学硕士.  
万方数据

treatment cost would be greatly reduced. The EGSB-MBR combined system is a new type of technology, with which the domestic wastewater can be treated with high efficiency and low cost.

**Key words:** EGSB reactor; MBR; domestic wastewater

随着厌氧生物处理过程的微生物学、生物化学和反应器理论不断发展,厌氧处理技术的优势逐渐被人们所认识.高效厌氧处理技术被视为环境资源化工工艺<sup>[1~3]</sup>,即消耗最少的资源和能源,能够从废物中获取资源或能源,与长远生活配套,可以以任何规模在任何地点使用以及建设、操作、维修费用低等.目前,厌氧技术已由过去主要用于高质量浓度有机废水处理和城市污水处理厂废污泥的稳定化处理向处理低质量浓度有机废水和含难降解有机物的工业废水方面扩展.膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器作为第三代高效厌氧处理反应器,实现了污泥停留时间和水力停留时间(HRT)的分离,反应器单位容积微生物数量多,同时通过出水循环的方式强化了传质过程,污泥产率低,因而处理低质量浓度生活污水具有明显的优势,应用前景广阔.膜生物反应器(MBR)是膜分离技术与普通活性污泥法相结合的新型废水处理工艺,理论上可实现无污泥排放,在废水资源化及污水回用方面具有诱人潜力,已受到世界各国的普遍关注<sup>[4,5]</sup>.

由于EGSB反应器处理低质量浓度有机废水具有高的效率和有机负荷,可使废水的COD指标降得很低,但对于氨氮、悬浮物、浊度等指标去除效率有限,为了弥补这一缺陷,本研究采用膜生物反应器(MBR)作为后续处理,以期达到两种工艺的耦合,并希望获得处理效果的协同效应.

## 1 方法与条件

### 1.1 实验方法

实验分两个阶段完成:第一阶段运用模拟生活污水进行试验,确定反应器的水力停留时间;第二阶段是在第一阶段的基础上,采用组合系统处理实际生活污水,考察该系统的处理效率和系统的稳定性.

### 1.2 废水水质

实验配制进入EGSB反应器所用模拟废水组分(g):葡萄糖 435,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  (含氮质量分数 $\geq 17\%$ ) 175,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (含磷质量分数 $\geq 22\%$ ) 23,  $\text{NaHCO}_3$  350, 微量元素母液 21 mL, 自来水 1 000 L; MBR 用模拟废水组分(g): 葡萄糖 217,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  (含氮质量分数 $\geq 17\%$ ) 88,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (含

磷质量分数 $\geq 22\%$ ) 9, 自来水 1 000 L. 由于小区生活废水有机物和氮磷含量比较低,因而添加少量葡萄糖、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  来提高废水中各成分的含量,便于研究去除 COD 和脱氮效果. 1 000 L 小区生活污水中添加葡萄糖 200 g、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  (含氮质量分数 $> 17\%$ ) 175 g、 $\text{KH}_2\text{SO}_4$  (含磷质量分数 $\geq 22\%$ ) 20 g、微量元素母液 21 mL, 经过调整后进入整个组合系统的生活污水 COD 质量浓度为 400 mg/L 左右,氨氮为 30 mg/L 左右,磷为 5 mg/L 左右. 微量元素母液组分(g/L):  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  18.8,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1.4,  $\text{NiCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  1.57,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0.5,  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.85,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  1.57,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1.7, EDTA 9.

### 1.3 工艺流程与主要设备

实验工艺流程见图 1. 配水槽中配制好的废水进入由液位开关控制的恒位水箱中,并通过自动控温系统升温,然后与回流水合并进入 EGSB 反应器,EGSB 反应器出水排入 MBR 进水箱,产生的沼气经湿式流量计排空. MBR 反应器底部曝气,为微生物提供氧的同时减轻膜污染,间歇出水,抽吸频率为 10 min 开,5 min 停,实验期间,MBR 没有进行污泥回流. EGSB 和 MBR 反应器的温度控制通过调节进水温度来实现.

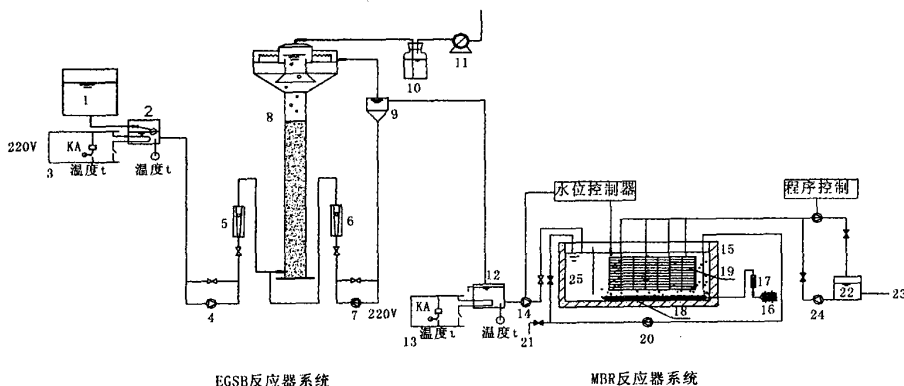
EGSB 反应器采用有机玻璃制成,外壁加保温材料包裹,反应器总高度为 3 000 mm,有效容积 150 L. MBR 好氧生物反应器总有效容积为 400 L,由聚丙烯板制成,外壁加保温材料包裹,内置中空纤维微滤膜组件 1 个[膜组件为天津膜天膜工程技术有限公司生产,膜材质为聚偏氟乙烯(PVDF),膜孔径为 0.2  $\mu\text{m}$ ,膜面积为 12.5  $\text{m}^2$ ].

### 1.4 接种污泥

EGSB 反应器的接种污泥取自无锡太湖水啤酒公司工业规模上流式厌氧污泥床(UASB)反应器中的颗粒污泥,污泥接种量约为 32.5  $\text{kg}/\text{m}^3$  [质量以挥发性悬浮固体(VSS)计]. 采用 COD 约 800 mg/L 葡萄糖合成废水进行驯化,维持 COD 去除率在 80% 以上,通过增加进水流量的方法逐渐增加有机负荷(OLR);启动初期 OLR 为 2.0  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,15 d 后 OLR 达到 8.0  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  (质量以 COD 计). 然后对 EGSB 反应器进行有机负荷冲击试验,

确保 EGSB 反应器已完成启动过程. 本实验开始时,挥发性悬浮固体与悬浮固体的比值(VSS/SS)

为 0.82,反应器内总的混合液悬浮固体量(MLSS)为 28.5 g/L.



1. EGSB 进水箱; 2. 恒位水箱; 3. 自动控温系统; 4. 进水泵; 5. 进水流量计; 6. 循环水流量; 7. 循环水水泵; 8. EGSB 反应器; 9. 缓冲水箱; 10. 水封; 11. 湿式气体流量计; 12. MBR 进水箱; 13. 自动控温系统; 14. MBR 进水泵; 15. MBR 反应器; 16. 风机; 17. 气体流量计; 18. 微孔曝气管; 19. 微滤膜组件; 20. 污泥回流泵; 21. 污泥排出口; 22. 排水缓冲水箱; 23. MBR 排水口; 24. 反冲洗水泵; 25. MBR 厌氧区域

图 1 EGSB-MBR 组合生化系统处理生活污水工艺流程示意图

Fig. 1 The technologic flowsheet of domestics wastewater treatment by EGSB-MBR combined biochemistry system

MBR 反应器是以无锡城北污水处理厂氧化沟好氧活性污泥为接种污泥,污泥接种量为 8.5 g/L. 启动采用 COD 质量浓度为 400 mg/L 的生活污水,维持 COD 去除率在 80% 以上,通过增加进水流量的方法逐渐增加 OLR. 实验开始时, VSS/SS 为 0.75, MLSS 为 10 g/L, OLR 为 3.0 kg/(m<sup>3</sup> · d) (质量以 COD 计).

### 1.5 分析项目及测定方法

COD: 重铬酸钾法<sup>[6]</sup>; NH<sub>3</sub>-N: 钠试剂分光光度法<sup>[6]</sup>; 甲烷产量: 湿式气体流量计(上海煤气表具厂生产)计量; DO: JPB-607 型溶氧仪(上海雷磁仪器厂生产)<sup>[6]</sup>; 浊度: WGZ-100 型浊度仪(上海第二光学仪器厂生产); 色度: 铂钴标准比色法<sup>[6]</sup>; SS: 采用重量法<sup>[6]</sup>; MLSS: 重量法<sup>[6]</sup>.

## 2 结果与讨论

### 2.1 EGSB 反应器水力停留时间(HRT)的确定

实验条件: EGSB 温度控制在 30 °C, 回流比 1 : 0.5, 模拟废水 COD 400 mg/L, 改变反应器的进水体积流量 Q<sub>in</sub>, 可得到不同的 HRT.

实验考察了 HRT 对 COD 去除效果的影响, 结果见图 2. 可见, 随着 HRT 的降低, 出水 COD 逐渐升高, COD 去除率随之下降. HRT 为 1.9 h 时, 出水 COD 仅为 60 mg/L, COD 去除率接近 85%, 反应器 OLR 为 5 kg/(m<sup>3</sup> · d) (质量以 COD 计); 当

HRT 降为 0.5 h 时, 出水 COD 质量浓度在 120 mg/L, COD 去除率接近 70%, 此时 OLR 已达到 20.48 kg/(m<sup>3</sup> · d) (质量以 COD 计), 表明 EGSB 反应器用于低质量浓度生活污水的处理具有很大潜力.

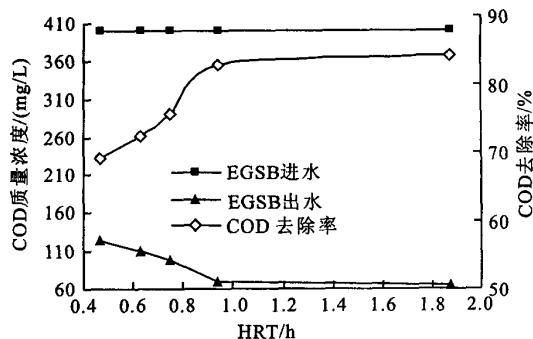


图 2 EGSB 反应器 HRT 对 COD 去除率的影响

Fig. 2 Effect of EGSB HRT on COD removal efficiency

实验期间同时观察了系统的甲烷产量, 结果表明, HRT 与沼气产量成负相关, 随着 HRT 的延长, 系统的 OLR 减小, 沼气产量降低, 即反应器效能未能充分发挥出来. 由此可见, 该实验条件下保持较小的 HRT 更能充分发挥 EGSB 反应器的效能.

### 2.2 MBR 反应器 HRT 的确定

实验条件: 反应器内 DO 通过底部曝气维持在 2 mg/L 左右, MLSS 约 10 mg/L, 模拟废水 COD 为 400 mg/L. 实验通过控制出水体积流量改变不

同的 HRT, 考察 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率的变化, 选择最佳的 HRT, 结果见图 3, 4.

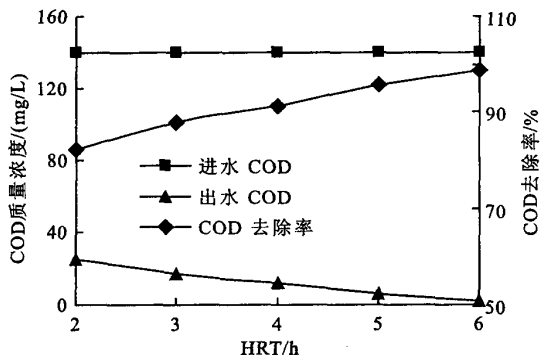


图3 MBR的HRT对COD去除率的影响

Fig. 3 Effect of MBR HRT on COD removal efficiencies

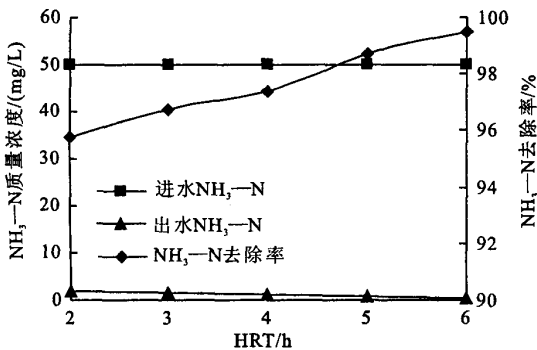


图4 MBR的HRT对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的影响

Fig. 4 Effect of MBR HRT on  $\text{NH}_3\text{-N}$  removal efficiency

可以看出,随着 HRT 增加,COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率均增大,但增加的幅度不同,对 COD 去除率的影响较大.随着 HRT 从 2 h 增加到 6 h,COD 去除率由 82% 增至 99% 以上,而  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率始终高于 96%,MBR 对 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  具有很好的去除效果.系统对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除源于微滤膜的截留作用,使得硝化细菌在反应器中得以保留,同时,反应器内的高污泥质量浓度使得好氧菌胶团内部存在局部厌氧环境,为反硝化细菌生存创造了有利条件.为保证更好的脱氮效果,可适当调节 MBR 中的曝气量.在保证出水水质达标的同时,尽量缩短 HRT,由于受膜通量的限制,只选取最小值 2 h 为 MBR 处理生活污水的 HRT.

### 2.3 EGSB-MBR 组合系统处理实际生活污水

考虑到 MBR 反应器中反硝化作用对有机物的需求,实验通过控制进水体积流量使 EGSB 反应器出水 COD 质量浓度维持在 150~200 mg/L. 实验条件:组合系统中 EGSB 进水体积流量 200 L/h,循

环水体积流量 100 L/h, HRT 为 0.8 h, OLR 为 9.6~12.8  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  (质量以 COD 计); MBR 的 HRT 为 2 h, 污泥质量浓度 MLSS 为 10 g/L, 反应器内溶解氧为 2 mg/L, 实验期间无污泥排放.

**2.3.1 组合系统对 COD 的去除效果** 图 5 给出了组合系统对 COD 的去除情况. 由图 5 可见,进水 COD 在 300~400 mg/L 之间波动时,EGSB 反应器出水 COD 在 100~120 mg/L, COD 去除率为 65%~70%. MBR 出水 COD 却始终稳定在 10 mg/L 左右, COD 去除率为 80%~90%, 组合系统总的 COD 去除率稳定在 95% 左右, 表明组合系统具有很强的有机物降解和抗负荷冲击能力, 同时 MBR 的运用保证了系统出水的稳定和全面达标. 另外总水力停留时间仅为 2.8 h, 这意味设备占地面积小, 一次性投资降低.

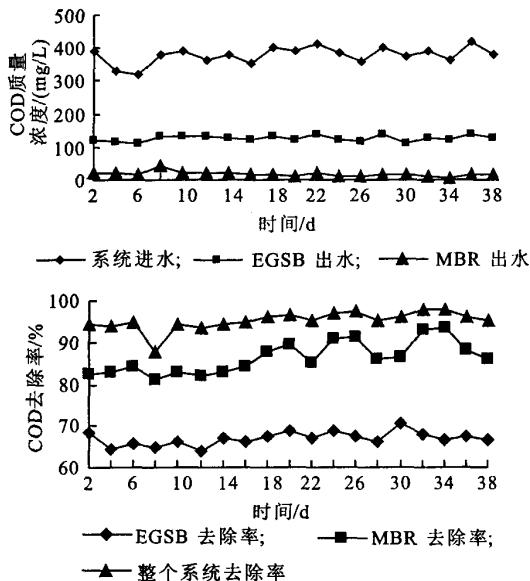


图5 EGSB-MBR 组合系统对 COD 去除效果

Fig. 5 COD removal efficiency of the EGSB-MBR combined biochemistry system

**2.3.2 组合系统对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果** 组合系统对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除能力结果见图 6. 由图 6 可见, EGSB 厌氧反应器对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的脱除效果较差, 去除率仅 30%~40%. 原因在于厌氧环境中硝化菌数量少, 由于生活污水中少量溶解氧可用于  $\text{NH}_3\text{-N}$  好氧硝化以及厌氧微生物新陈代谢对氮源的需要, 因而呈现出较低水平的氨氮去除率. MBR 则因硝化/反硝化细菌被膜截留, 在反应器内大量滞留生长,  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率在 90% 以上, 组合系统出水氨氮质量浓度始终低于 2 mg/L 以下, 系统的稳定性很好.

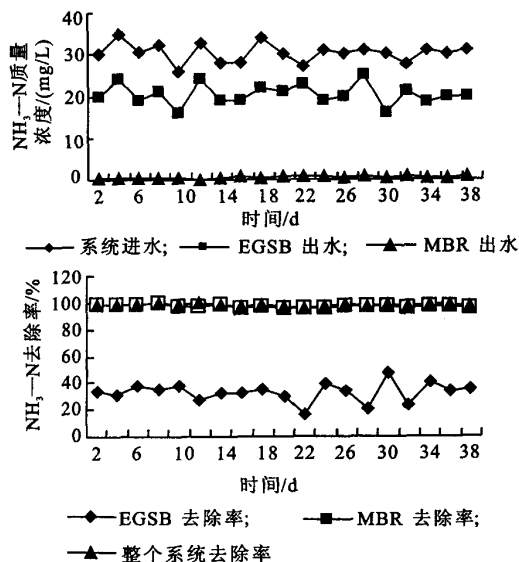


图6 EGSB-MBR组合系统对生活污水中NH<sub>3</sub>-N的去除效果

Fig. 6 NH<sub>3</sub>-N removal efficiency of the EGSB-MBR combined biochemistry system

2.3.3 组合系统对SS、浊度、色度的去除效果 对组合系统中SS、浊度、色度的变化情况观察结果表明,EGSB反应器对SS有一定的去除效果,MBR反应器对SS具有完全的去除作用,出水SS始终未检测到,总去除率达100%;EGSB反应器对生活污水的浊度去除率在55%~65%之间,MBR反应器对浊度具有几乎完全去除的能力,出水浊度接近0 NTU;色度可以降低到20倍以下,其中MBR反应

器对色度去除的贡献大于EGSB反应器,两者的去除率分别为40%~60%和80%~90%,组合系统出水水质优于《城市污水再生利用——城市杂用水标准》对SS、浊度、色度的要求<sup>[7]</sup>。

### 3 结论

1)EGSB-MBR组合系统用于生活污水处理,具有较强的抗冲击负荷能力,运行稳定.出水COD、NH<sub>3</sub>-N和色度分别为10 mg/L以下、5 mg/L以下和20倍以下,去除率为95%以上、90%以上和90%以上,对SS、浊度几乎可以完全去除,出水水质优于《城市污水再生利用——城市杂用水标准》中对各项指标的要求,该系统用于原生活污水的处理和中水回用技术上可行。

2)EGSB-MBR组合系统处理生活污水具有一定的经济优势.与单纯的MBR反应器相比,EGSB有机容积负荷远大于MBR负荷,处理相同负荷的废水所需反应器体积小,设备投资少.由于大部分有机物在EGSB反应器中得以降解,组合系统中MBR分解有机物所需曝气量大为降低,有利于创造更多的局部厌氧环境,氨氮去除效果好,同时系统的运行费用降低。

3)组合系统几乎无污泥产出,可大大减少污泥处理处置费用.EGSB-MBR组合系统是一项高效、节能的废水资源化技术。

### 参考文献:

- [1] Zeeman G, Lettinga G. The role of anaerobic digestion in closing the water and nutrient cycle at community level[J]. *Water Sci Technol*, 1999, 39(5): 187-194.
- [2] Hammes F, Kalogo Y, Verstraete W. Anaerobic digestion technologies for closing the domestic water, carbon and nutrient cycles[J]. *Water Sci Technol*, 2000, 41(3): 203-211.
- [3] Gijzen H J. Anaerobes, aerobes and phototrophs; a winning team for wastewater management[J]. *Water Sci Technol*, 2001, 44(8): 123-132.
- [4] 张颖,任南琪,陈至清.膜生物反应器在日本的应用现状[J]. *中国给水排水*, 2002, 18(2): 91-92.
- [5] 郑祥,魏源送,樊耀波.膜生物反应器在我国的研究进展[J]. *给水排水*, 2002, 28(2): 105-110.
- [6] 国家环保局.水和废水监测分析方法[M].第三版.北京:中国环境出版社,1989.
- [7] GB/T 18920—2002,城市污水再生利用——城市杂用水标准[S].

(责任编辑:杨勇)