

文章编号:1000-582X(2011)11-128-05

## 浸没式膜生物反应器处理微污染水的工艺强化

宋正国<sup>a</sup>, 张永吉<sup>a</sup>, 曾 果<sup>a</sup>, 邓慧萍<sup>a</sup>, 周玲玲<sup>b</sup>

(同济大学 a. 长江水环境教育部重点实验室; b. 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**摘 要:**对比了单独膜与膜生物反应器(MBR)对微污染原水的处理效果,并研究了投加氯化铵、葡萄糖和粉末活性炭等强化措施对 MBR 处理效果的影响。结果表明,单独膜工艺对 COD<sub>Mn</sub>和氨氮去除率只有 16%和 5%;而以粉末活性炭为生物载体的 MBR 工艺对 COD<sub>Mn</sub>和氨氮去除率提高到 35.3%和 44.5%;提高原水有机物浓度和氨氮浓度对 COD<sub>Mn</sub>和氨氮去除效率提高作用有限;更换 10%的 PAC 后,提高了 MBR 对 COD<sub>Mn</sub>的去除效果,其去除效率可由原来的 35.3%提高到 50%。

**关键词:**MBR;强化;氨氮;COD<sub>Mn</sub>;粉末活性炭

中图分类号:TU 991

文献标志码:A

### Hybrid of microbial enhancement technique and membrane bioreactor process for micro polluted water treatment

SONG Zheng-guo<sup>a</sup>, ZHANG Yong-ji<sup>a</sup>, ZENG Guo<sup>a</sup>, DENG Hui-ping<sup>a</sup>, ZHOU Ling-ling<sup>b</sup>

(a. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education; b. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

**Abstract:** Comparison of treatment effect is investigated using individual membrane and membrane bioreactor(MBR) for micro polluted water. Hybrid of enhancement technique and MBR is also studied through ammonia chloride, glucose and powdered activated carbon(PAC) added. The results illustrate that the chemical oxygen demand(COD<sub>Mn</sub>) and ammonia-N removal efficiency of individual membrane is 16% and 5% respectively. But the COD<sub>Mn</sub> and ammonia-N removal efficiency of MBR reaches 35.3% and 44.5% respectively. Hybrid of microbial enhancement technique and MBR cannot obtain high removal efficiency for COD<sub>Mn</sub> and ammonia-N by increasing the organic carbon and ammonia-N levels of raw water. 10% PAC renewed raises the COD<sub>Mn</sub> removal efficiency from 35.3% to 50%.

**Key words:** MBR; enhancement; ammonia; COD<sub>Mn</sub>; PAC

膜生物反应器(MBR)工艺在水处理领域最早应用于污水处理中<sup>[1-2]</sup>,它结合了生物处理与膜分离技术各自的优点,能在一定程度上解决单独膜技术不能有效去除水中有机物,及对氨氮去除效率低的

问题<sup>[3-4]</sup>,是一种强化的生物处理工艺。近年来 MBR 工艺在饮用水处理中也逐步得到了重视,郝爱玲<sup>[5]</sup>、田家宇<sup>[6]</sup>等人利用 MBR 对微污染原水进行了研究,都取得了较好的处理效果。

收稿日期:2011-06-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50878164);水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07422-005);长江水环境教育部重点实验室自主课题资助(YRWEY1001)

作者简介:宋正国(1986-),男,同济大学研究生,主要从事饮用水深度处理研究。

张永吉(联系人),男,同济大学副教授,主要从事饮用水深度处理研究,(E-mail) zhangyongji@tongji.edu.cn。

已有研究表明,在 MBR 工艺中,生物处理部分效果的好坏对处理效果有明显的影响,生物强化技术应用于生活污水的生物处理过程,可以显著提高水处理效果,改善污泥性能,减少污泥产生量<sup>[6,7]</sup>。由于微污染原水中有机物含量低,MBR 中微生物生长所需的营养物质少,使得 MBR 中的生物量要明显少于污水处理的情况,因而微生物作用效果相对较差。为提高 MBR 工艺的处理效率,对该工艺中的微生物进行必要的强化是提高 MBR 处理效率的一种有效的方法<sup>[8]</sup>。

本试验采用浸没式膜生物反应器,通过投加氨氮、葡萄糖和粉末活性炭<sup>[9-10]</sup>等几种强化措施来改善反应器内微生物生长环境,提高微生物的活性,探讨这几种强化方法对 MBR 工艺处理微污染原水效果的影响<sup>[11]</sup>。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验装置和运行参数

试验装置为一体式浸没式 MBR 反应器,装置如图 1 所示。超滤膜组件采用海南立升公司提供的中空纤维 PVC 超滤膜,膜过滤面积为  $0.1 \text{ m}^2$ ,膜孔径为  $0.01 \mu\text{m}$ 。运行时,采取连续曝气、连续进水、间歇出水的方式,出水 10 min,停止 1 min。MBR 反应器的有效容积为 4 L,设计流量为 1 L/h,水力停留时间为 4 h,膜压力控制在 0.04 MPa。试验进行时,该装置已稳定运行 6 个月,期间没有更换活性炭(活性炭浓度为  $0.5 \text{ g/L}$ ),活性炭由于已吸附饱和,只起到载体的作用,便于微生物的吸附生长。

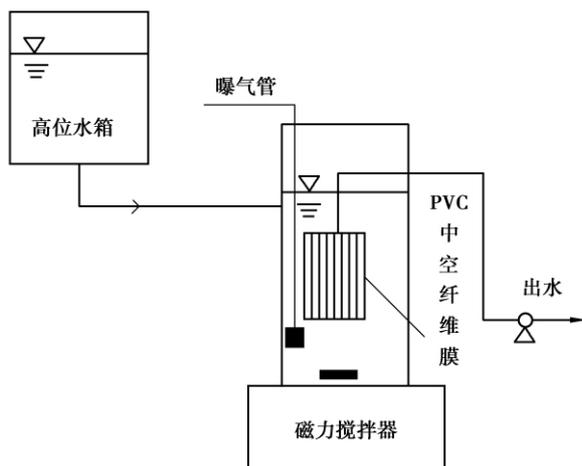


图 1 膜生物反应器装置图

### 1.2 试验用水

本试验用水取自同济大学三好坞湖,试验期

间原水的部分水质情况如表 1 所示,属于典型的微污染原水。

表 1 试验期间原水水质情况

水质指标	范围	平均值
氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.390~0.830	0.550
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.930~5.670	4.560
$\text{NO}_2^-/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.014~0.104	0.052
$\text{UV}_{254}/\text{cm}^{-1}$	0.049~0.076	0.068

### 1.3 检测方法

氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )采用纳氏试剂光度法测定; $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 采用酸性高锰酸钾法测定;分光光度计为上海精密科学仪器厂生产的 752N 型紫外可见分光光度计。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 单独膜对微污染原水的处理效果

图 2 是单独膜工艺对水中  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除效果。可以看出,进水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度为  $4.05 \sim 4.97 \text{ mg/L}$ ,经过膜处理后,出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度为  $3.41 \sim 4.60 \text{ mg/L}$ ,单独经过膜处理对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的平均去除率为 16% 左右,可见单独膜处理虽然可以使  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度降低,但其去除效率较低。由于膜过滤属于一种机械作用,其机理主要有吸附、阻塞和机械截留 3 种作用,因而对颗粒物具有较好的去除效果,而对水中一些溶解性的小分子物质的去除效率较低<sup>[12]</sup>。

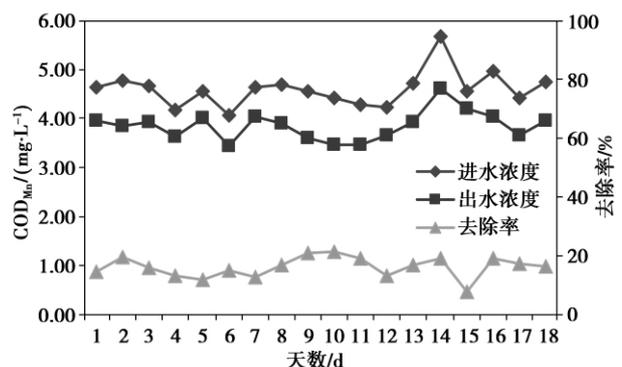


图 2 单独膜对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除效果

图 3 是单独膜处理对水中氨氮的去除效果。由图 3 可知,进水氨氮浓度  $0.40 \sim 0.93 \text{ mg/L}$ ,平均值为  $0.60 \text{ mg/L}$ ,而经膜处理后出水氨氮浓度为  $0.30 \sim 0.85 \text{ mg/L}$ ,平均值为  $0.55 \text{ mg/L}$ ,单独膜处理对氨氮的去除率在 5.1% 左右,单独膜处理不能有效降低水中氨氮浓度。

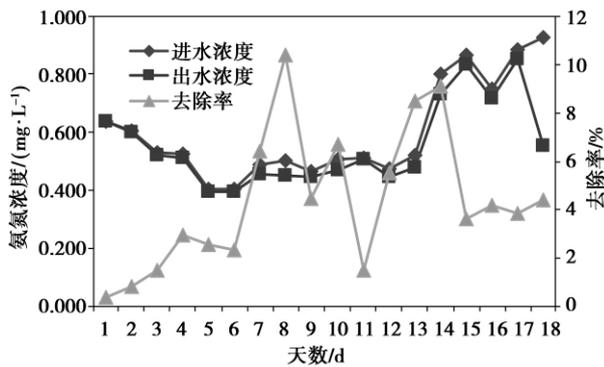
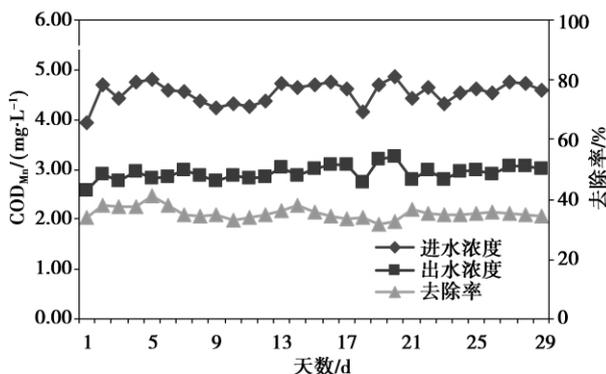


图3 单独膜对氨氮的去除效果

## 2.2 膜生物反应器对微污染原水的处理效果

从以上研究可以看出,单独膜处理对氨氮的去除率很低,对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  虽然有一定的去除能力,但是反应器出水仍不能达到国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)的要求。因此采用膜生物反应器工艺来提高对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮的去除效果,如图 4、5 所示。可以看出,试验期间 MBR 进水的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度 3.93~4.97 mg/L,经 MBR 处理后其  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度降至 2.73~3.17 mg/L,系统对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除率提高到 35.3%左右。经过 MBR 处理后,氨氮浓度由进水的 0.40~0.66 mg/L 降低到 0.21~0.35 mg/L,MBR 对氨氮的平均去除率为 44.5%。

图4 MBR 反应器对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除效果

膜生物反应器对有机物去除效果的提高除了与膜对有机大分子物质的截留作用之外,反应器中生物降解作用对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮的去除也起到了一定的作用。如与单独膜工艺相比,生物作用对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮去除率分别提高了 19%和 39.4%。由于膜分离作用可以将水中的微生物截留,从而提高了反应器中微生物浓度,提高了微生物对有机物的降解能力。由于膜分离作用可以将水中的微生物截留,增加了反应器中微生物浓度,从而提高了微生物对有机物的降解能力。膜生物反应器持续曝气又为反

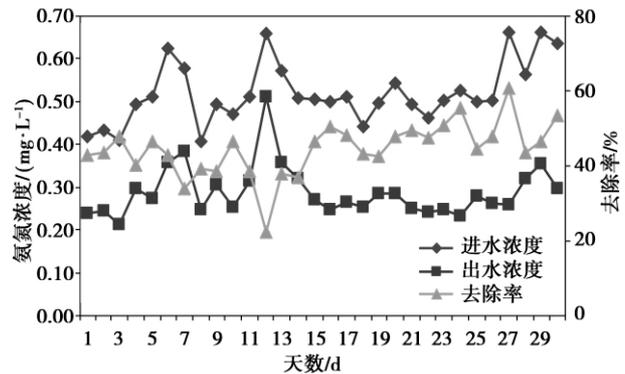


图5 MBR 反应器对氨氮的去除效果

应器中的硝化细菌充足的溶解氧,有利于硝化反应能很好的进行,故能对氨氮有良好的去除效果<sup>[13]</sup>。莫罹使用 MBR 处理人工配制的水,对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮的去除率分别为 40%和 95%。何韵华等对三家店水库水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮的去除率分别为 60%和 62%<sup>[14]</sup>。本试验中氨氮和  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的平均去除率分别为 44.5%和 35.3%,与其他研究者的结果相比  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和氨氮的去除率都较低,为此,对影响反应器中微生物生长的一些条件进行了研究,以提高反应器对微污染原水的处理效果。

## 2.3 提高原水有机物浓度对 MBR 处理效果的影响

原水中营养物质相对较少可能会影响微生物的活性,为此,连续每天向水中投加葡萄糖,使  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的浓度保持在 20 mg/L 左右,考察增加原水有机物的含量能否提高微生物对有机物的降解能力。图 6 是投加葡萄糖后 MBR 反应器对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除效果。从图中可以看出,尽管进水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度高达 20 mg/L,但是出水的浓度依然很低,平均为 2.53 mg/L,去除率达到近 90%,考虑到葡萄糖是易于被生物降解的有机物,其实际去除效率并没有这么高。比较原水中原有的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度可知,投加葡萄糖 7 d 后 MBR 对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除率为 36.1%,较没有投加葡萄糖时仅提高了 1 个百分点,因此投加葡萄糖对微生物强化作用效果有限。

## 2.3 提高原水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度对处理效果的影响

由于原水中氨氮浓度很低,不利于硝化细菌在反应器中的繁殖,为提高氨氮的去除效果,连续向原水投加适量的氯化铵,使原水中氨氮的浓度保持在 1.5~2.0 mg/L,考察氨氮浓度提高下对反应器去除氨氮的影响。从图 7 中可以看出,在投加氨氮的最初 3 d 里,出水氨氮的浓度在较高的 0.3~0.4 mg/L。3 d 以后出水氨氮的浓度降低到 0.14~0.30 mg/L。投加氨氮的最初几天出水氨氮浓度较

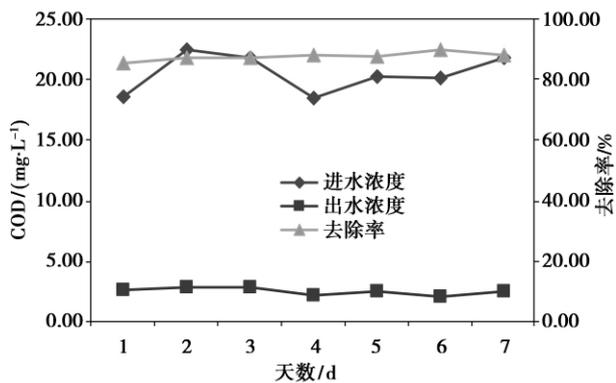


图 6 投加葡萄糖对 COD<sub>Mn</sub> 处理效果

高,因为氨氮浓度的骤增,反应器中的硝化细菌数量相对较少,因此对其的去除效率较低<sup>[14]</sup>;而随着时间的延长,硝化细菌在较高浓度氨氮作为营养物时,其繁殖能力增强,硝化细菌生物量增加,对氨氮的降解能力增强,出水氨氮浓度得到降低。同图 5 比较可知,出水氨氮的浓度只是略有降低,可见投加氯化铵对 MBR 去除氨氮的强化效果有限。

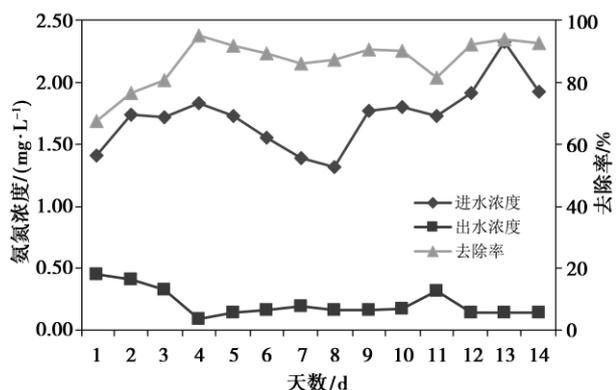


图 7 投加氨氮对 MBR 去除氨氮效果

### 2.4 更换粉末活性炭对处理效果的影响

由于反应器中原有的 0.5 g/L 的活性炭已经吸附饱和和不再具有除污染能力,只是为微生物附着的载体。而粉末活性炭具有较高的比表面积和很强的吸附能力,有利于微生物的吸附成长<sup>[14]</sup>,为此,一次性将反应器内原有活性炭浓度的 10% 进行更换,考察投加粉末活性炭对强化生物效果的影响。由图 8 可知,更换 10% 的 PAC 后,出水 COD<sub>Mn</sub> 的平均浓度由原来的 2.95 mg/L 降至 2.51 mg/L,去除效率由 35.3% 提高到 50%,可见 PAC 的投加增强了 MBR 反应器对 COD<sub>Mn</sub> 的强化去除。这是因为投加的新炭吸附能力较强,可吸附去除水中的 COD<sub>Mn</sub>,所以对 COD<sub>Mn</sub> 去除率很高。可能还会因为活性炭的存在引起了活性污泥组成等性质的变化,使得污泥絮

体对 COD<sub>Mn</sub> 的吸附和降解作用增强<sup>[15]</sup>。其强化去除机理将在后续工作中进行深入研究。

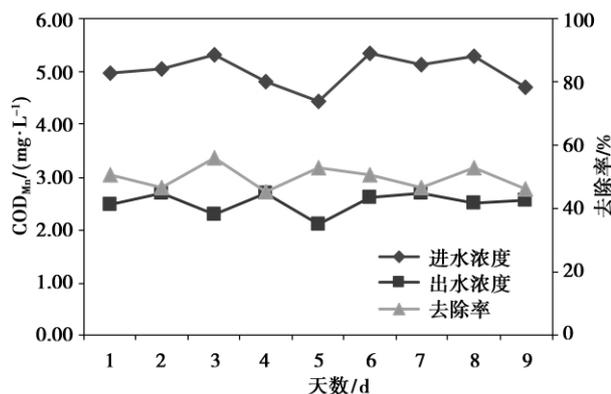


图 8 投加粉末活性炭对 COD<sub>Mn</sub> 的去除效果

图 9 是更换粉末活性炭对氨氮的去除效果,氨氮的去除效率平均为 40%,与未投加粉末活性炭去除效率 44% 比较可知,投加粉末活性炭对氨氮的去除效果影响很小。这是因为氨氮易溶于水,而且极性较大,活性炭对氨氮的吸附作用一般较弱。同时也说明,新更换的 10% 活性炭未对反应器中的硝化细菌造成较大的损失,因此其对氨氮去除率与没有更换时基本保持一致。

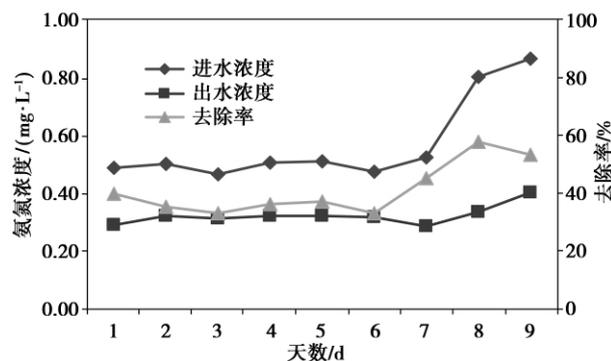


图 9 投加粉末活性炭对氨氮的去除效果

## 3 结 论

通过对膜生物反应器处理微污染原水的强化工艺特性进行研究,得出以下结论:

- 1) 单独膜处理对 COD<sub>Mn</sub> 和氨氮的去除率均较低,其去除率分别为 16% 和 10% 以下;
- 2) 膜生物反应器对 COD<sub>Mn</sub> 和氨氮的平均去除率分别为 35.3% 和 44.5%,其去除效率明显高于单独膜处理;
- 3) 提高原水有机物浓度和氨氮浓度等措施对 COD<sub>Mn</sub> 和氨氮去除效率提高程度有限。
- 4) 更换粉末活性炭能较大程度提高 MBR 对

COD<sub>Mn</sub> 的去除效率,但对氨氮的去除效率影响不大。

#### 参考文献:

- [1] CHU L B, LI S P. Filtration capability and operational characteristics of dynamic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment [J]. MEMBR. Technol., 2006, 51: 173-179.
- [2] CORNEL P, KRAUS S. Membrane bioreactors in industrial wastewater treatment — European experiences, examples and trends [J]. Water Science Technology, 2006, 53(3): 37-44.
- [3] CHUNG J, NERENBERG G, RITTMANN B E. Evaluation for biological reduction of nitrate and perchlorate in brine water using the hydrogen based membrane biofilm reactor [J]. Environmental Engineering, 2007, 133(2): 157-164.
- [4] MCADAM E J, JUDD S J. Immersed membrane bioreactors for nitrate removal from drinking water: Cost and feasibility [J]. Desalination, 2008, 231: 52-60.
- [5] 郝爱玲. 膜生物反应器处理微污染地表水的试验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [6] 崔丽, 胡筱敏, 张贤光, 等. 产絮凝剂微生物强化处理生活污水 [J]. 城市环境与城市生态, 2007, 20(6): 39-40.
- CUI LI, HU XIAO-MIN, ZHANG XIAN-GUANG, et al. Bioaugmentation treatment of domestic sewage by bioflocculant-producing microbes [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2007, 20(6): 39-40.
- [7] HUANG Y T, ZACHOPOULUS S A, HORSFALL F L. Effect of bioaugmentation process on sludge production in activated sludge reactors for municipal wastewater treatment [C] // Western Canada Water and Wastewater Assoc. Proceeding, 39th Ann Conference, September 10, 1987, Saskatoon, Canada. Saskatoon: Saskatchewan, 1987: 63-74.
- [8] TIAN JIA-YU, LIANG HENG, YANG YAN-LING, et al. Membrane adsorption bioreactor (MABR) for treating slightly polluted surface water supplies: As compared to membrane bioreactor (MBR) [J]. Journal of Membrane Science 2008, 325(1): 262-270.
- [9] HUANG Y T, HORSFALL F L, WONG J M, et al. Bio-conversion of accumulated sludge with bacterial augmentation process in aerated lagoons for municipal wastewater treatment [J]. Intern J Environmental Studies, 1986, 28-41.
- [10] SAGBO O, SUN Y X, HAO A L, et al. Effect of PAC addition on MBR process for drinking water treatment [J]. Purif. Technol., 2008, 58: 320-327.
- [11] CAI X J, KIM H S. The role of powdered activated carbon in enhancing the performance of membrane systems for water treatment [J]. Desalination, 2008, 225: 288-300.
- [12] 张文妍, 朱亮, 薛红勤. 微污染水源水生物预处理氨氮去除影响因素探讨 [J]. 城市给排水, 2002, 28(11): 1-3.
- ZHANG WEN-YAN, ZHU LIANG, XUE HONG-QIN. Influencing factors on ammonia removal in biological pre-treatment of slightly polluted raw water [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(11): 1-3.
- [13] 程家迪, 刘锐, 陈吕军, 等. 膜生物反应器处理微污染水源水的应用现状 [J]. 环境污染与防治, 2009, 31(4): 66-70.
- CHENG JIA-DI, LIU RUI, CHEN LV-JUN, et al. Application of membrane bioreactor in treatment of micro-polluted source water [J]. Environmental Pollution & Control, 2009, 31(4): 66-70.
- [14] 陈永玲. MBR 及其组合工艺处理微污染地表水的试验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [15] 徐国勋, 潘盛开, 徐国荣, 等. 投粉末炭 MBR 处理微污染原水研究 [J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 43-45.
- XU GUO-XUN, PAN SHENG-KAI, XU GUO-RONG, et al. PAC-Membrane bioreactor for treatment of micro-polluted raw water [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(9): 43-45.

(编辑 郑洁)